

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

6  
2014

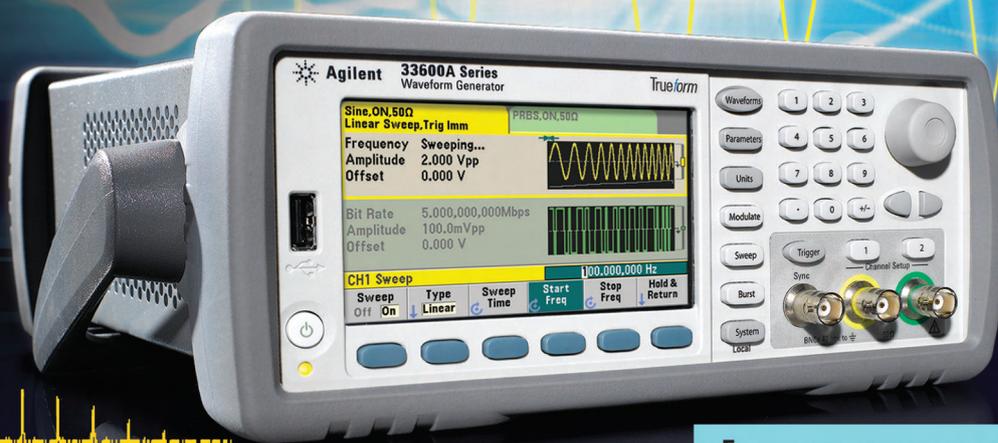


## В номере:

- Новая LPE i-GaAs электроника
  - Алюмо-водородные источники для портативных устройств
  - Повышение радиационной стойкости SRAM ПЛИС
  - Комплексы имитации сетей электропитания
  - Типичные ошибки при работе с анализатором спектра
  - Комплект микросхем для ЖКХ
- и многое другое



# Сигналы более высоких частот идеально точной формы. Эксклюзивная технология Trueform – теперь в генераторах до 120 МГц



## Генератор сигналов произвольной формы серии Agilent 33600A

Частот дискретизации 1 Гвыб/с, диапазон частот  
до 120 МГц

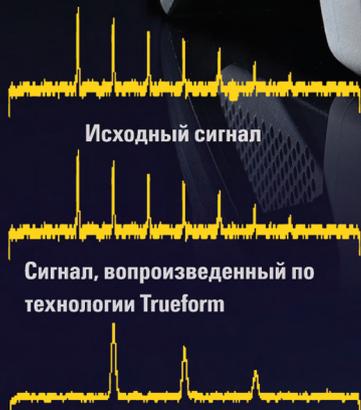
Функция создания сигналов произвольной  
формы по точкам с возможностью многократного  
последовательного воспроизведения сегментов  
сигнала, глубина памяти 64 Мвыб

Джиттер 1 пс, в 100 раз меньше, чем у DDS-  
генераторов

Уровень гармонических искажений в 5 раз ниже  
чем у DDS-генераторов

Совместим с ПО Agilent BenchVue

8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатно)



Исходный сигнал

Сигнал, воспроизведенный по  
технологии Trueform

Сигнал, воспроизведенный по технологии прямого  
цифрового синтеза (DDS)

Генераторы сигналов произвольной формы Agilent 33600A с более высоким диапазоном частот обеспечивают непревзойденное качество сигналов. Выберите нужный Вам прибор из 4 моделей новой серии, и Вы сможете проводить самые сложные измерения более быстро и эффективно.



Посмотрите видеоролик,  
просканировав QR-код или  
посетив <http://qrs.ly/qy3qdhn>

Список официальных  
дистрибьюторов  
[www.agilent.com/find/distributors](http://www.agilent.com/find/distributors)

Создание специальных форм сигналов с помощью  
**БЕСПЛАТНОГО ПО Waveform Builder Pro**  
[www.agilent.com/find/trueformWW](http://www.agilent.com/find/trueformWW)

© Agilent Technologies, Inc. 2014

Предвидеть — Оперезать — Побеждать



Agilent Technologies

# achronix

SEMICONDUCTOR CORPORATION

Самые мощные в мире ПЛИС  
теперь в России



## Первые произведенные на мощностях Intel® по технологии 22 нм 3D Tri-Gate ПЛИС Speedster22i компании Achronix

- До 1,1 млн программируемых LUT и 1.7 млн эквивалентных 4-входовых LUT
- До 145 Мбит встроенной памяти

### Универсальные порты Serdes:

- до 16 портов 28 Гбит/с
- до 64 портов 12.75 Гбит/с

### Аппаратно-встроенные контроллеры, не требующие расходов на интеграцию:

- до 4 контроллеров 10/40/100G Ethernet
- до 4 контроллеров 100G Interlaken
- до 2 контроллеров PCIe Gen 1/2/3 (x1, x4, x8) с аппаратной поддержкой DMA
- до 6 контроллеров DDR 2/3 до 1866 Мбит/с

### Непрерывная цепь производства и поставок:

- производство на мощностях Intel® по технологии 22 нм 3D Tri-Gate
- прямые поставки из США через официальное представительство в Санкт-Петербурге

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ В РОССИИ

ООО «Лаборатория Высокопропускных СБИС»

Тел./факс: 7 (812) 648-00-86  
www.achronix.ru | sales@achronix.ru

**Главный редактор**  
Алексей Смирнов

**Редакционная коллегия**  
Александр Балакирев, Андрей Данилов,  
Виктор Жданкин, Эрмин Машурян,  
Сергей Сорокин, Андрей Туркин,  
Рифат Хакимов

**Литературный редактор**  
Ольга Семёнова

**Вёрстка**  
Марина Петрова

**Обложка**  
Дмитрий Юсим

**Распространение**  
Ирина Лобанова  
(info@soel.ru)

**Реклама**  
Ирина Савина  
(advert@soel.ru)

**Издательство «СТА-ПРЕСС»**  
Директор Константин Седов  
Почтовый адрес:  
119313, Москва, а/я 26  
Телефон: (495) 232-0087  
Факс: (495) 232-1653  
Сайт: www.soel.ru  
E-mail: info@soel.ru



Производственно-практический журнал  
Выходит 9 раз в год  
Тираж 10 000 экземпляров  
Журнал зарегистрирован в Федеральной службе  
по надзору за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия  
(свидетельство ПИ № ФС77-18792  
от 28 октября 2004 года)  
Свидетельство № 00271-000  
о внесении в Реестр надёжных партнёров  
Торгово-промышленной палаты Российской Федерации  
Цена договорная

Отпечатано: 000 ПО «Периодика»  
Адрес: 105005, Москва, Гарднеровский пер.,  
д. 3, стр. 4  
http://www.printshop13.ru

Перепечатка материалов допускается только  
с письменного разрешения редакции.  
Ответственность за содержание рекламы  
несут рекламодатели.  
Ответственность за содержание статей  
несут авторы.  
Материалы, переданные редакции,  
не рецензируются и не возвращаются.  
© СТА-ПРЕСС, 2014

# 6/2014 Contents

<b>MARKET</b>	
<b>News from the Russian Market</b> .....	4
<b>MODERN TECHNOLOGIES</b>	
<b>New Extreme Electronics Based on LPE i-GaAs Single Crystals</b> .....	10
<i>Viktor Voytovich, Anatolii Dumanevich, Aleksander Gordeev</i>	
<b>Power Photo-Electric Converters of the Monochromatic and Concentrated Sunlight</b> .....	20
<i>Vyacheslav Andreev</i>	
<b>Alyumo-Hidrogene Current Sources for Portable Electronic Devices</b> .....	26
<i>Evgenii Shkolnikov</i>	
<b>Hardware and Software Techniques to Increase the Radiation Hardness of SRAM FPGAs</b> .....	30
<i>Aleksey Sokolov</i>	
<b>The Market of Embedded Computer Technologies: Meet Bay Trail</b> .....	34
<i>Sergey Rudenko, Aleksander Kovalev</i>	
<b>ELEMENTS AND COMPONENTS</b>	
<b>Modern 32-bit ARM Microcontrollers Series STM32: Memory Organization</b> .....	40
<i>Oleg Val'pa</i>	
<b>Chips for Utilities Metering Devices</b> .....	42
<i>Vladimir Anufriev</i>	
<b>ASIC for Phase of Quadrature Signal to Position Code Conversion K1382HX045</b> .....	46
<i>Georgii Prokofiev, Veniamin Stahin, Anton Obednin</i>	
<b>Novelties of the Philips Lumileds LED Products</b> .....	50
<i>Igor Mateshev, Alina Mulenikova, Andrei Turkin, Konstantin Shamkov</i>	
<b>Modular DC/DC Voltage Converters: Impeccable Power</b> .....	56
<i>Oleg Negreba</i>	
<b>DEVICES AND SYSTEMS</b>	
<b>Power Network Imitation Facilities for Engineering Tools Testing</b> .....	60
<i>Michael Popov</i>	
<b>Eight Typical Mistakes Made In Spectrum Analysis Measurements</b> .....	64
<i>Bob Nelson</i>	
<b>Power Light-Emitting Diodes in Lighting Devices</b> .....	68
<i>Andrey Kashkarov</i>	
<b>DESIGN AND SIMULATION</b>	
<b>ANSYS HFSS: Advanced Technologies of the Three-Dimensional Solution of Electrodynamical Tasks</b> .....	74
<i>Aleksander Evgraphov</i>	
<b>EVENTS</b>	
<b>ExpoElectronica 2014: Competition of the Soldering and Other Meetings of Experts</b> .....	78

# Содержание 6/2014

## РЫНОК

4 **Новости российского рынка**

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10 **Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs монокристаллов**

*Виктор Войтович, Анатолий Думаневич, Александр Гордеев*

20 **Мощные фотоэлектрические преобразователи монохроматического и концентрированного солнечного излучения**

*Вячеслав Андреев*

26 **Алюмо-водородные источники тока для портативных электронных устройств**

*Евгений Школьников*

30 **Программно-аппаратные методы повышения радиационной стойкости микросхем SRAM ПЛИС**

*Алексей Соколов*

34 **Рынок встраиваемых компьютерных технологий: встречайте Bay Trail**

*Сергей Руденко, Александр Ковалёв*

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

40 **Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: организация памяти**

*Олег Вальпа*

42 **Микросхемы для приборов учёта коммунальных услуг**

*Владимир Ануфриев*

46 **K1382NH045 – микросхема преобразователя фазы квадратурного сигнала в код положения**

*Георгий Прокофьев, Вениамин Стахин, Антон Обедин*

50 **Новинки светодиодной продукции компании Philips Lumileds**

*Игорь Матешев, Алина Муленкова, Андрей Туркин, Константин Шамков*

56 **Модульные DC/DC-преобразователи напряжения: безупречное электропитание**

*Олег Негреба*

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

60 **Комплексы имитации сетей электропитания для испытаний технических средств**

*Михаил Попов*

64 **Восемь типичных ошибок при выполнении измерений с помощью анализатора спектра**

*Боб Нельсон*

68 **Мощные светодиоды в осветительных устройствах**

*Андрей Кашкаров*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

74 **ANSYS HFSS: передовые технологии трёхмерного решения электродинамических задач**

*Александр Евграфов*

## СОБЫТИЯ

78 **ЭкспоЭлектроника 2014: конкурс пайки и другие встречи специалистов**

## ПОДПИСКА НА 2014 год

Концепция распространения журнала – бесплатная подписка для специалистов. Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление на каждый последующий год. Редакция напоминает о необходимости продления подписки на 2014 год. Всё больше подписчиков сообщают нам о фактах пропаяжи журнала на почте или из почтового ящика. Редакция гарантирует только отправку журнала бесплатному подписчику, но не может гарантировать его доставку. Риск пропаяжи журнала можно уменьшить. Во-первых, можно обратиться в отдел доставки вашего почтового отделения и оформить получение журнала до востребования. Во-вторых, можно оформить платную подписку на журнал, и в этом случае почта будет нести ответственность за его доставку.



## ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА

### Преимущества:

- подписаться может любой желающий, тогда как бесплатная подписка оформляется только для специалистов в области электроники. Поступающие в редакцию подписные анкеты тщательно обрабатываются, и часть их отсеивается;
- журнал будет гарантированно доставлен, тогда как при бесплатной подписке редакция гарантирует только отправку, но не доставку журнала;
- эту подписку могут оформить иностранные граждане.

### «Роспечать»

Оформить платную подписку можно в почтовом отделении через агентство «Роспечать». Тел.: (495) 921-2550. Факс: (495) 785-1470

Подписаться можно как на 6 месяцев, так и на год. Подписные индексы по каталогу агентства «Роспечать»: на полугодие – **46459**, на год – **36280**.

Кроме того, можно оформить платную подписку через альтернативные подписные агентства.

### «Агентство „ГАЛ“»

Тел.: (495) 981-0324, (800) 555-4748  
<http://www.setbook.ru>

### «Урал-Пресс»

Тел.: (495) 961-2362  
<http://www.ural-press.ru>

### Читатели из дальнего зарубежья

могут оформить подписку через агентство

### «МК-Периодика»

Тел.: +7 (495) 672-7012  
Факс: +7 (495) 306-3757  
[info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

## Новости российского рынка

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### «Родник» объявляет о выходе обновления Altium Designer 14.3

Компания Altium Ltd. объявила о выходе обновления программы Altium Designer 14.3, которое включило в себя целый ряд новых функций. В общей сложности было добавлено 35 дополнительных возможностей и внесено порядка 150 изменений.

- **Редактирование полигонов.** Теперь для редактирования геометрии полигона не нужно использовать отдельный инструментарий – достаточно просто выделить полигон и двигать его вершины. Причём вершины можно передвигать в трёх режимах: произвольное направление, скругление и фаска. Данная возможность позволяет создавать области со сложной геометрией.

- **Выравнивание длины проводников.** К существующему ранее инструменту для выравнивания длины добавился специальный объект, который является результатом работы инструмента Interactive Length Tuning. Благодаря этому появилась возможность редактировать и удалять «аккордеон», которым выровнена длина проводника на плате.

- **Экранирование топологии.** На плате можно выделить любой фрагмент топологии (дорожка, полигон, дифференциальная пара) и с помощью инструмента Via Shielding сформировать массив переходных отверстий по контуру выбранной топологии. Данная возможность наиболее актуальна для плат, где реализованы фрагменты СВЧ-тракта, которые требуют обязательного экранирования от других участков платы.

В новой версии также добавлена возможность удаления неиспользуемых площадок на внутренних слоях контактных площадок (Remove Unused Pad), расширены настройки каплевидности (Teardrop), добавлены новые (Pad Entry) и изменены существующие (Clearance) правила проектирования.

Более подробную информацию о программе можно получить у специалистов отдела Систем автоматизированного проектирования НПП «Родник» ([www.rodnik.ru](http://www.rodnik.ru)).

#### «КОМПАС ЭЛЕКТРОНИКС» расширяет производственные площади

В связи с увеличением заказов компания «КОМПАС ЭЛЕКТРОНИКС» взялась отремонтировать дополнительно 700 м<sup>2</sup> производственных площадей.

Вновь создаваемый производственно-конструкторский центр предназначен для

выполнения работ по разработке и изготовлению:

- специализированных жгутов проводов для изделий двойного назначения с применением современных технологий оплетения и заливки;
- шкафов промышленной автоматики, в том числе для вентиляционного оборудования, АСУ и т.д.

Новые площади позволят сократить время изготовления изделий и повысить качество работ в связи с установкой нового как автоматизированного оборудования, так и узкоспециализированной полуавтоматической оснастки.

Хотя ремонт ещё продолжается, ООО «КОМПАС ЭЛЕКТРОНИКС» принимает заказы на изготовление жгутов проводов, блоков и шкафов на 4 квартал 2014 года.

[www.kompas-electronics.ru](http://www.kompas-electronics.ru)

Тел.: (495) 228-4785

#### Компания Gigavac получила сертификацию CE

В первой половине 2014 года все реле, контакторы и переключатели компании Gigavac получили сертификацию Conformité Européenne (CE-mark – европейское соответствие), которая удостоверяет, что вся продукция соответствует основным требованиям директив ЕС и гармонизированным стандартам Европейского союза, а также то, что продукция прошла процедуру оценки соответствия директивам.

Маркус Бек, заместитель генерального директора по продажам, так прокомментировал данное событие: «Заказчики давно обращались с вопросами по поводу сертификации нашей продукции. Мы всегда прислушиваемся к замечаниям партнёров. Получение сертификации CE стало для нас важнейшим шагом для усовершенствования продукции и повышения лояльности наших клиентов».

Компания ЗАО «Аппаратура Систем Связи» является официальным дистрибьютором компании GIGAVAC.

[www.escltd.ru](http://www.escltd.ru)

Тел.: (495) 925-5013

#### Системы пайки компании Manncorp: готовые решения любых задач

Американская корпорация Mann предлагает оборудование для выполнения пайки печатных плат любой сложности. В линейку оборудования, выпускаемого

компанией, входит широчайший спектр устройств:

- системы селективной и конвекционной пайки;
- установки пайки в паровой фазе и волновой припоя;
- машины для пайки окунанием и для отверждения материалов.



Одним из главных конкурентных преимуществ компании является гибкая политика, позволяющая удовлетворить нужды любого производителя электроники. Предприятия, выпускающие единичные партии изделий, или работающие с крупносерийными заказами, всегда могут найти для себя необходимое решение, рассмотрев предложения Manncorp.

Перечень систем для пайки начинается с компактных конвекционных печей, работающих на базе операционной системы Android и позволяющих осуществлять программирование и передачу данных по беспроводной сети Wi-Fi.

Данные модели печей, кроме своих главных достоинств – компактности и невысокой стоимости, обладают способностью пайки в среде азота, что на сегодняшний день является довольно частым требованием заказчиков производителей электроники.

Для производителей, выпускающих крупные партии изделий, предлагаются универсальные печи с комбинацией сетчатого и игольчатого конвейеров и общим количеством зон нагрева до 20.

Помимо настольных систем конвекционной пайки, корпорация Mann производит и поставляет настольные установки для выполнения селективной пайки, пайки в паровой фазе, пайки одиночной или двойной волновой припоя, компактные машины для пайки печатных плат методом окунания в ванну припоя, а также печи с сетчатым конвейером для сушки и отверждения различных материалов наносимых на печатные платы.

[www.eltm.ru](http://www.eltm.ru)

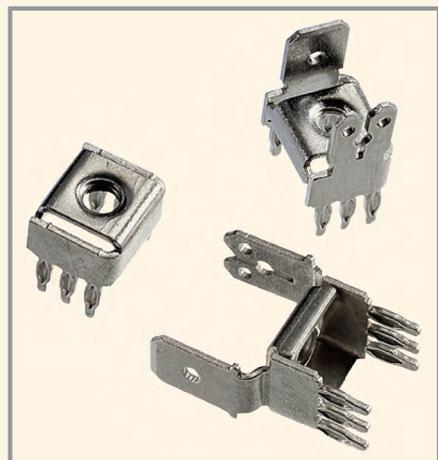
Тел.: (499) 218-2360

## Новости российского рынка

### ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

#### Соединители для силовых печатных плат от компании EPT

Высокие темпы развития технологии изготовления печатных плат неумолимо влекут за собой новые требования к соединителям, применяемым для данных печатных плат.



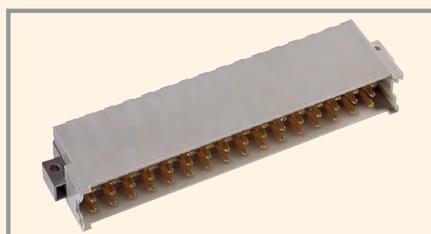
Уже давно отработаны технологии изготовления многослойных печатных плат не только для объединительных панелей, но и для исполнительных модулей.

Большое количество слоёв печатной платы обеспечивает не только увеличение сигнальных линий, но и массивные слои земли и шин питания, которые создают массивные теплоотводы. Это, в свою очередь, очень сильно осложняет процесс монтажа в сквозные отверстия соединителей методом пайки. Припой может не подняться по всем слоям, вследствие чего не будет обеспечен надёжный контакт.

Перегрев платы с целью лучшего нагрева губительно сказывается как на самой печатной плате, так и на близлежащих компонентах.

Всевозможные проблемы при монтаже силовых соединителей («холодная» пайка, перегрев и т.п.) всё ещё присущи при монтаже пастой для силовых печатных плат, в том числе и для блоков питания. Желание избавиться от непропая методом перегрева панели приводит к разбрызгиванию припоя.

Применение соединителей и терминалов с непаянным соединением к печатной плате методом запрессовки в отверстия (технология Press-Fit) помогает решить указанные выше проблемы. При этом чем толще печатная плата и чем больше в ней металла – тем больше поверхность контактирования соединителя с платой, прочнее запрессовка и более надёжное соединение.



Кроме того, применение соединителей и терминалов с технологией монтажа Press-Fit имеет следующие преимущества перед традиционным монтажом методом пайки в отверстия:

- устойчивость к вибрационным нагрузкам;
- устойчивость к коррозии (соединение герметично);
- отсутствие необходимости в нагреве платы и соединителя;
- гигиеничность производства (отсутствие припоев и флюсов);
- экономичность;
- высокая надёжность.

Немецкий производитель, компания EPT, предлагает огромный ассортимент соеди-



нителей и инструментов для их запрессовки на печатные платы. В продуктовый портфель данной компании входят стандартные и заказные соединители как с технологией монтажа при помощи пасты, так и с технологией Press-Fit.

Силовые терминалы от компании EPT уже много лет применяются для подачи питающих напряжений на объединительных платах – начиная от приложений VME и заканчивая современными высоконадёжными приложениями VPX и VSX.

В последнее время силовые терминалы получили широкое распространение и в печатных платах для блоков и модулей питания.



Помимо ножевых конструкций компания предлагает широкий ассортимент винтовых терминалов и стандартные соединители серии DIN 41612 с силовыми контактами типов F, G и др.

Помимо выбора самого соединителя каждый разработчик должен обязательно обращать внимание на требования к отверстиям, составу и толщине печатной платы, куда будет запрессовываться соединитель. Так, например, для силовых терминалов (Power Terminal) толщина печатных плат должна составлять не менее 2,9 мм, а для соединителей DIN 41612 – от 1,6 мм.

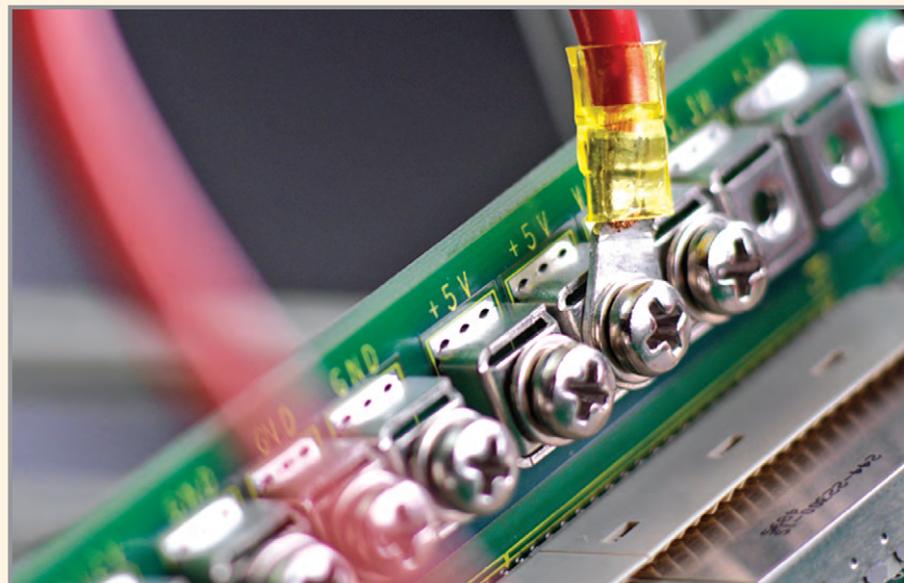
Для запрессовки и ремонта соединителей компания EPT предлагает широкий выбор инструментов – начиная от станка с механическим приводом и заканчивая полностью автоматическим комплексом.

Для удобства разработчиков на предлагаемые соединители подготовлена библиотека документации – от чертежей до объёмных моделей – начиная с 3D pdf файлов и заканчивая Step и dxf файлами для простой интеграции с большинством программ.

Более подробную информацию можно получить у официального дистрибьютора EPT на территории СНГ – компании РСР.

[www.rssp.ru](http://www.rssp.ru)

Тел.: (495) 781-2182



## Новости российского рынка

### PCI-SIG® совместимость аппаратных ядер Аchronix PCI Express, интегрированных в ПЛИС семейства Speedster22i

Компания Achronix Semiconductor анонсировала полную аппаратную совместимость производимых ею на заводах Intel микросхем Speedster22i со стандартом PCI Express® (PCIe®) 3.0 для восьми линий передачи (x8).



Устройства Speedster22i успешно прошли тесты на соответствие и функциональную совместимость в лаборатории PCI-SIG и теперь включены в перечень интеграторов PCI-SIG. Произведённые по технологии Intel 22-нм Tri-gate – устройства Speedster22i – являются на сегодняшний день единственными в мире ПЛИС, имеющими на борту широкий спектр встроенных аппаратных контроллеров, включая PCI Express Gen3 с поддержкой DMA, DDR 2/3, 100G Ethernet и Interlaken.

Полная аппаратная поддержка ключевых интерфейсов освобождает значительную часть программируемой логики, ощутило увеличивая эффективную ёмкость ПЛИС и заметно снижая её энергопотребление. Помимо этого, встроенные аппаратные ядра избавляют разработчика от расходов, связанных с приобретением, интеграцией, оптимизацией временных задержек и верификацией необходимых при использовании «программных» ядер (soft IP). Контроллеры PCI Express, интегрированные в устройства Speedster22i, поддерживают стандарты PCIe Gen1, 2 и 3 в конфигурациях x1, x4 и x8. Логическое ядро разработано компанией Northwest Logic.

Устройства Speedster22i HD – единственные в мире, в которых контроллер DMA интегрирован аппаратно, как часть ядра контроллера PCI Express. По сравнению с программной реализацией это предоставляет значительные преимущества – финансовые, временные и в потреблении электроэнергии.

Устройства Speedster 22i HD1000 и HD680 сегодня уже поставляются и оснащены следующими контроллерами: PCIe Gen3 x8, DDR 2/3, 10/40/100G Ethernet и 12x10G Interlaken.

Видеодемонстрация контроллера PCI Express доступна по адресу <http://www.achronix.com/products/videos/pci-express-demo.html>.

**www.achronix.ru**  
**Тел.: (812) 648-0086**

### Малогабаритные OLED-дисплеи серии REC001602H – разнообразие цветов свечения

Компания Raystar Optronics, Inc. выпустила алфавитно-цифровые двухстрочные дисплеи OLED серии REC001602H с 16 символами в одной строке.



Дисплеи созданы с применением одной из базовых технологий соединения кристалла драйвера с выводами на стеклянной подложке дисплея – COG (Chip On Glass). Эта технология позволяет уменьшить габариты и стоимость прибора. Дисплеи, изготовленные по технологии COG, широко применяются в портативных приборах. В приборах ряда REC001602H применяется микросхема драйвера RS0012, которая формирует управляющие напряжения и изображение символа на основе информации, содержащейся в ПЗУ знакогенератора. RS0012 реализует и внешний интерфейс.

Система команд управления контроллера OLED-дисплеев RS0010 практически идентична набору популярного контроллера ЖК-дисплеев HD44780 (Hitachi). Контроллер типа RS0010 поддерживает наборы символов до четырёх языков, в том числе и кириллический шрифт. Это позволяет использовать одну и ту же серию дисплеев для локализации решения в различных странах и регионах.

Высокий контраст OLED-дисплеев (2000:1) при относительно невысокой яркости (около 100 кд/м<sup>2</sup>) позволяет получать весьма качественное изображение на экране, которое воспринимается как яркое и отчётливое. Дисплейные технологии, основанные на органических светодиодах (OLED-дисплеи), обладают такими преимуществами, как оптимальное потребление энергии и компактная конструкция.

Модель REC001602H является альтернативным исполнением модели REC001602B, которая имеет одинаковые габариты и рабочую площадь экрана, но меньшую видимую область экрана. Дисплеи серии REC001602H характеризуются лучшими показателями однородности яркости.

Компания Raystar Optronics рекомендует заменить REC001602B на модель REC001602H в будущих заказах.

В настоящее время номенклатура алфавитно-цифровых и графических OLED-

дисплеев компании Raystar Optronics включает свыше сорока линеек.

Основные параметры REC001602H:

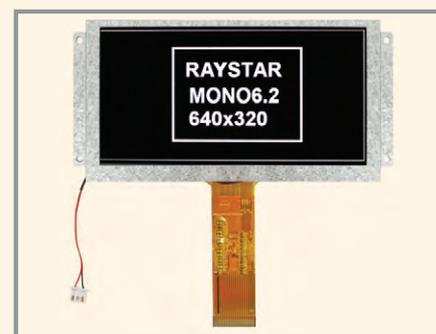
- организация – две строки по 16 символов;
- габаритные размеры 122 × 44 × 10 мм;
- видимая область экрана 98 × 21 мм;
- рабочая площадь 91,14 × 18,98 мм;
- размер пикселя 0,9 × 1,06 мм;
- шаг пикселя 0,96 × 1,12 мм;
- размер знакоместа 4,74 × 8,9 мм;
- тип панели – OLED с пассивно-матричной адресацией;
- время отклика 10 мкс;
- угол обзора более 175° в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- интерфейс – стандартный параллельный, совместимый с шинами 6800 или 8080 (опция); последовательный SPI и I<sup>2</sup>C;
- коэффициент мультиплексирования строк 1/64;
- диапазон рабочих температур –40...+80°C.

Доступны модели с жёлтым, красным, синим, белым и зелёным цветами свечения.

**www.prosoft.ru**  
**Тел.: (495) 234-0636**

### Монохромный TFT ЖК-дисплей с диагональю 6,2" для промышленных применений

Компания Raystar Optronics Inc. объявила о начале производства графических монохромных ЖК-дисплеев серии RFP620A с размером диагонали 6,2" и разрешением 640 × 320 точек.



При производстве этих дисплеев используются TN (Twist Nematic) материалы, встроенные в активную матрицу тонкоплёночных транзисторов (TFT, Thin-Film Transistor), что обеспечивает малое время отклика, высокий контраст (800:1) и высокую яркость 500...600 кд/м<sup>2</sup>. Дисплеи серии RFP620A являются ЖК-панелями нормально чёрного типа, которые отличаются широким углом обзора.

Этот дисплей не требует применения сложной платы контроллера для управления модулем микроконтроллера. Устройство может работать в режимах с 2, 4 или 16 градациями уровня серого (зависит от установок).

## Новости российского рынка

Так как драйвер дисплея поддерживает несколько режимов связи: 3- или 4-проводной последовательный интерфейс и 8-битовый параллельный интерфейс, совместимый со стандартными системами 8080 или 6800 семейств, желаемый режим выбирается пользователем. Также заслуживает упоминания возможность вывода устройства в дежурный режим, который не очищает содержимое памяти дисплея.

Основные параметры:

- тип дисплея – TFT, просветный, нормально чёрный;
- рабочее поле 140 × 70 мм;
- шаг пикселя 0,21875 × 0,21875 мм;
- угол обзора 160°/160°;
- тип системы подсветки – светодиоды белого свечения;
- диапазон рабочих температур –20...+70°C;
- диапазон температур хранения –30...+80°C;
- габаритные размеры 170,32 × 88,3 × 5,3 мм.

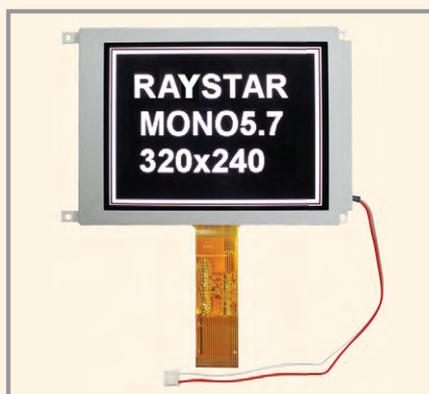
Монохромный TFT ЖК-дисплей является идеальным решением для автомобильных и промышленных применений, где требование полноцветности является излишним.

[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

Тел.: (495) 234-0636

### Монохромный TFT ЖК-дисплей с размером диагонали 5,7"

Компания Raystar Optronics Inc. представляет графические монохромные ЖК-дисплеи серии RFC570S с размером диагонали 5,7" и разрешением 320 × 240 точек (формат изображения QVGA).



Монохромная модель ЖК-дисплея использует твист-нематические (TN) материалы, но нанесённые на активную матрицу тонкоплёночных транзисторов (TFT), в результате чего достигаются малое время отклика, высокий контраст (800:1) и высокая яркость 1000 кд/м².

Эксплуатационные показатели монохромного TFT ЖК-дисплея значительно лучше, чем у традиционного монохромного ЖК-модуля.

Этот дисплей не требует применения сложной платы контроллера для управления модулем микроконтроллера. Дисплей может работать в режимах с 2, 4 или 16 градациями шкалы серого (зависит от установок). Так как драйвер дисплея поддерживает несколько режимов связи (3- или 4-проводной последовательный интерфейс и 8-битовый параллельный интерфейс, совместимый со стандартными системами 8080 или 6800 семейств), желаемый режим выбирается пользователем. Также заслуживает внимания возможность вывода устройства в дежурный режим, в результате чего сохраняется содержимое памяти дисплея.

Основные параметры:

- рабочее поле 115,2 × 86,4 мм;
- шаг пикселя 0,36 × 0,36 мм;
- тип дисплея – TFT, просветный, нормально белый;
- направления наблюдения: сверху (12:00 часов) либо с инверсией градации серого снизу (6:00 часов);
- тип системы подсветки – светодиоды белого свечения;
- диапазон рабочих температур –20...+70°C;
- диапазон температур хранения –30...+80°C;
- габаритные размеры 160 × 109 × 7 мм.

[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

Тел.: (495) 234-0636

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

### Новый набор SmartFusion2 Evaluation Kit

Корпорация MicrosemiSoC представляет новый демонстрационный набор SmartFusion2 EvaluationKit (M2S-EVAL-KIT) для разработки оптимального по стоимости

проекта на основе семейства «систем-на-кристалле» (СНК) SmartFusion2.

SmartFusion2 – это первая в мире СНК, включающая в себя энергонезависимую матрицу ПЛИС, выполненную по Flash-технологии, процессор 166 МГц ARM

Cortex™ M3 с набором периферии, аппаратные контроллеры шифрования, DSP-блоки, SRAM, eNVM, а также стандартные высокоскоростные интерфейсы.

Набор SmartFusion2 Evaluation Kit позволяет:

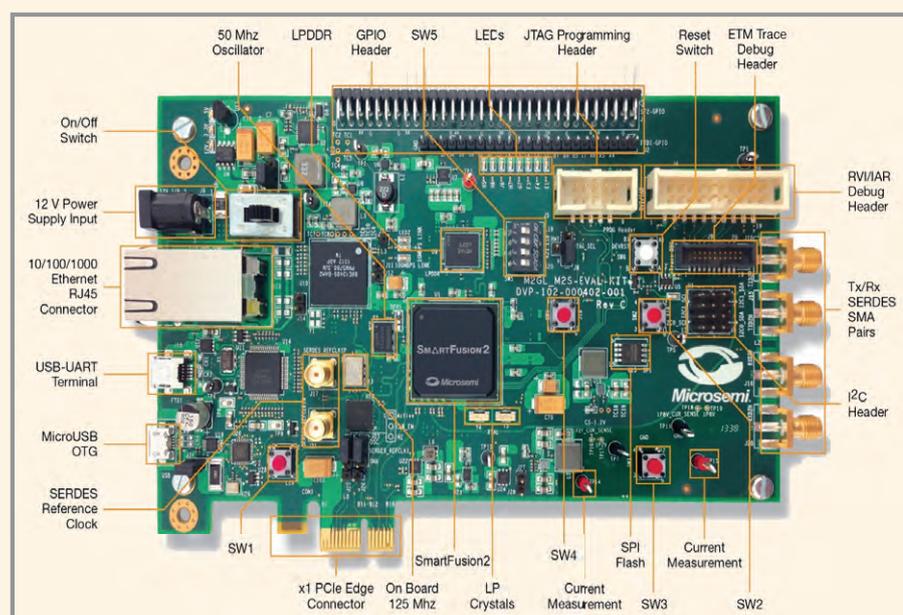
- разработать и протестировать проекты ПЛИС с использованием PCI Express Gen2 x1 и GigabitEthernet;
- проверить качество сигнала на трансиверах ПЛИС, используя полнодуплексные пары SERDES SMA;
- оценить низкое энергопотребление ПЛИС IGLOO2;
- создать работающий канал PCIe с демонстрационным проектом PCIeControl Plane.

Демонстрационная плата обладает малым форм-фактором и совместима с интерфейсом PCIe, что даёт возможность разработчикам быстро выполнять изготовление прототипов с помощью компьютера со слотом PCIe.

Набор M2S-EVAL-KIT соответствует требованиям RoHS.

[www.favorit-ec.ru](http://www.favorit-ec.ru)

Тел./факс: (495) 627-7624



## Новости российского рынка

### Компактные AC/DC: 400 Вт без применения вентиляторов

Компания XP Power представляет одно- и двухканальные 400-ваттные высокоэффективные источники питания AC/DC серии SDH400 с конвекционным отводом тепла.



Эти компактные модули выполнены в низкопрофильных шасси высотой 1U и имеют габаритные размеры 230 × 127 × 40,64 мм. Источники питания способны обеспечить полную выходную мощность 400 Вт без применения внешних охлаждающих вентиляторов или нагнетаемого воздушного потока.

Одноканальные модели к тому же способны обеспечить пиковую мощность 700 Вт в течение 0,5 с. Это свойство является наиболее востребованным в применениях, характеризующихся наличием кратковременных высоких значений пусковых токов, например в электродвигателях. КПД составляет 88% для одноканальных и 85% для двухканальных моделей.

Одноканальные модули ряда SDH400 доступны с популярными выходными напряжениями от +3 до +60 В. Три двухканальные модели также доступны и предлагают сочетания +5/+12 В, +5/+24 В и +12/+24 В.

Функция регулировки выходного напряжения предоставляет возможность подстраивать выходное напряжение в диапазоне ±5% от номинального значения, что позволяет компенсировать потери на нагрузке или обеспечить требования к нестандартным значениям напряжения. Стандартными являются сигнал состояния выходного напряжения Power OK, дистанционное включение/выключение, защита от короткого замыкания и перенапряжения.

Полная мощность при конвекционном охлаждении обеспечивается в диапазоне входных напряжений 90...264 В. Модули серии работают в широком диапазоне температур 0...+70°C (без понижения мощности до температуры +50°C).

Источники питания соответствуют классу В по стандарту EN55022 (для помех, излучаемых в пространство, и кондуктивных помех – в сеть электропитания). Блоки соответствуют требованиям стандартов безопасности UL 60950-1 и EN60950-1.

[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)  
Тел.: (495) 234-0636

### TFT ЖК-дисплеи семейства «Q» от Raystar Optronics

Компания Raystar Optronics Inc. расширила семейство «Q» жидкокристаллических TFT-дисплеев моделями RFC570Q (размер диагонали 5,7"), RFF700Q (7"), RFF800Q (8") и RFF1020Q (10,2"). В настоящее время семейство «Q» ЖК-дисплеев включает 3,5", 4,3", 5,7", 7", 8" и 10,2" модели TFT-модулей.

Все TFT-дисплеи серии «Q» имеют встроенный 36-контактный соединитель на плате управления на основе ИМС контроллера SSD1963. Дисплейные модули серии «Q» являются производными изделиями от существующих стандартных TFT-дисплеев компании RAYSTAR, которые имеют унифицированное назначение выводов 36-контактного соединителя на плате. Дисплеи интегрированы с платой контроллера SSD1963 и 36-контактным соединителем на плате.

Дисплеи серии «Q» обеспечивают следующие новаторские преимущества, которые предлагают высокое качество изображения и простоту применения:

- все модули представленной серии оснащены 36-контактным соединителем на плате контроллера с SSD1963 (все соединители имеют одинаковое направление);
- все TFT-дисплеи данного семейства имеют возможность управления через 8- или 16-битовый интерфейс;
- контакты 33–36 выделены для обеспечения питанием системы подсветки, поэтому не требуется разрабатывать внешнюю схему подсветки;
- предусмотрена встроенная микросхема драйвера системы подсветки;
- все дисплеи данной серии могут быть запитаны напряжением 5 В (3,5" и 4,3" поддерживают также номинал 3,3 В);
- 5,7", 7", 8" и 10,2" модели семейства «Q» позволяют создать режим ожидания (Sleep Mode) записью смещения BIAS (VGH, VGL, AVDD) и осуществить перевод в режим низкого потребления мощности;
- предусмотрена возможность установки резистивного сенсорного экрана для всех дисплеев данного семейства и подача 4-проводного сигнала (X1, Y1, X2, Y2) через 36-контактный разъем;
- имеется возможность установки емкостного сенсорного экрана для всех дисплеев серии «Q» и подключения протокола записи/считывания I<sup>2</sup>C через 36-контактный соединитель;
- яркость: RFC570Q – 150...250 кд/м<sup>2</sup>, RFC800Q – 250 кд/м<sup>2</sup>, RFC1020Q – 250...300 кд/м<sup>2</sup>;
- диапазон рабочих температур –20...+70°C;
- диапазон температур хранения –30...+80°C.

[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)  
Тел.: (495) 234-0636



# 34460A/34461A

## Цифровые мультиметры серии Truevolt 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> разрядов

- Цветной графический дисплей с возможностью отображения аналоговой шкалы, гистограмм, математических функций и статистики, а для 34461A – также графика тренда
- Программа DMM Connectivity Utility позволяет одним щелчком мыши управлять прибором, захватывать и отображать данные на экране ПК или мобильного устройства
- 11 измерительных функций: напряжение и сила постоянного и переменного тока, сопротивление по 2- и 4-проводной схеме, частота, период, температура, неразрывность электрических цепей, тестирование диодов
- Максимальное входное напряжение 1000В, максимальный входной ток 3 А/10 А

Цветной графический дисплей

Разъемы для подключения на задней панели

100% совместимость по кодам SCPI с промышленными стандартами протоколов.

11 функций измерений с применением технологии Truevolt

Возможность измерения тока до 10 А (модель 34461A)

Интерфейсы: USB, LAN/LXI, GPIB (Опционально)

Утвержденные типы средств измерений.

Ключевые характеристики:	
Точность по постоянному току	0.0075/0.0035%
Скорость измерений при разрядности 4.5	300/1000 измерений/с
Измерения	напряжение постоянного и переменного тока, сопротивление, измерение частоты и периода, измерение параметров диодов, прозвон цепи и измерение температуры.
Интерфейсы	USB, LAN/LXI (Опционально на 34460A, стандартно на 34461A), GPIB (Опционально)

Узнайте больше



«ЭрисКом» - официальный дистрибьютор  
 Agilent Technologies в России.  
 Тел./Факс: (499) 218-2353 (мн.)  
 E-mail: [info@eriscom.ru](mailto:info@eriscom.ru)  
 Http://[www.eriscom.ru](http://www.eriscom.ru)



**3 ГОДА ГАРАНТИИ**  
 На всё контрольно-измерительное  
 оборудование Agilent Technologies

# Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs монокристаллов

**Виктор Войтович, Анатолий Думаневич, Александр Гордеев (г. Ульяновск)**

**В статье изложена концептуальная основа создания новой отечественной и мировой электронной индустрии, основанной на LPE i-GaAs монокристаллах, обладающих свойствами изолятора, полупроводника и проводника.**

Двигатель экономики – торговля, двигатель торговли – инновация. Важнейший субъект инновации – энергетика, главный инструмент энергетика – электроника, следовательно, «кровь» экономики – это электроника (сегодня экспортная доля отечественной микроэлектроники на мировом рынке менее 0,1%).

Инновация – это, прежде всего, незаурядная идея (чаще – открытие), воплощённая в новых свойствах материала, уникальной прорывной технологии и, в конечном счёте, – в продукте, которого нет на мировом рынке, но который обладает высокой конкурентоспособностью и спросом, прежде всего, на рынках развитых стран: США, Германии, Великобритании, Японии.

Ни для кого не секрет, что мировая электроника, как инструмент энергетика, развивается по трём основным направлениям: температура, скорость и мощность.

1. К 2015 году в России и за рубежом появятся первые серийные электронные компоненты с рабочей температурой +250°C, значительная заслуга в этом принадлежит интернациональной команде, создающей новую мировую LPE i-GaAs индустрию.

В 2018–2020 гг. рабочая температура рыночной ЭКБ удвоится и достигнет значений до +500...+600°C на  $A_{III}B_V/A_{IV}B_{IV}$ .

К 2025 году появится серия ЭКБ на углероде с преодолением рубежа +900...+1000°C.

2. Частотный диапазон в полупроводниковой электронике в текущем десяти-

летии резко расширится – до миллиарда терагерц и выше. В настоящее время получены экспериментальные кремниевые транзисторы с излучением в радиоактивном, рентгеновском диапазоне (плазменные кремниевые транзисторы).

3. Созданы экспериментальные образцы лазерных излучателей на основе  $A_{III}B_V$  с фантастическими значениями генерации импульсной мощности до  $10^{23}$  Вт/см<sup>2</sup> (за  $10^{-14}$  с, да ещё в придачу с миллионами атмосфер давления).

4. За рубежом в 2013 году микроэлектроника впервые шагнула в литографическую наноэлектронику (созданы первые опытные FinFET с минимальным размером элемента – 7 нм).

5. Тактовая частота в цифровой технике за рубежом давно превысила уровень один терагерц и, видимо, в текущем десятилетии достигнет значений до 10 000 ГГц, в т.ч. на оптической памяти.

Вышеперечисленные, а также другие современные технологии, вполне вероятно, приблизят нас к управляемым термоядерным реакциям, замене нефти на воду, квантовой безвредной терапии человеческого организма на частоте излучения его же органов и многим другим, исключительно важным открытиям и достижениям.

Именно поэтому ФЦП по развитию ЭКБ на последующие годы (до 2025 г.), которая будет являться преемственной по отношению к действующей ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на

2008–2015 гг.», должна отвечать этим вызовам.

Роль инновации, т.е. подавляющего опережения мирового уровня в стратегически важных направлениях, всем давно понятна, потому что это – цена суверенитета России. Так есть ли в России резервы для высокотехнологичных, инновационных прорывов? Многие ответят на этот вопрос без колебаний – инновационные возможности в России – огромные. Основой для этого является то обстоятельство, что у нас одна из лучших в мире академических школ. Фундаментальные исследования и наука РАН – это бесценное национальное достояние.

В основе проекта «Создание производства высокотемпературной, высоковольтной, силовой, фото- и СВЧ-гетероэлектроники на основе GaAs» лежат фундаментальные разработки в области СВЧ-гетероэлектроники талантливой группы учёных ФТИ им. А.Ф. Иоффе под руководством Ж.И. Алфёрова

Проектом предусматривается:

- создание нового сегмента на мировом рынке электроники – высокотемпературной, гиперскоростной, высоковольтной GaAs электроники;
- увеличение к 2025 г. экспортной доли отечественной электроники на мировом рынке на два порядка и более;
- дальнейшее обогащение зонной теории полупроводников.

Проект имеет четыре выраженных направления:

- 1) материал LPE i-GaAs и гетеросистемы на его основе;
- 2) ЭКБ силовой электроники;
- 3) СВЧ и терагерцевые приборы;
- 4) фотоника.

## СПЕЦИФИКА НАПРАВЛЕНИЙ ПРОЕКТА

### Электрофизические свойства i-GaAs материала

LPE (Liquid Phase Epitaxy, жидкофазная эпитаксия) – технология GaAs монокристалла, легированного амфотерными атомами (т.е. атомами при-

Статья опубликована в авторской редакции.

Мнение редакции не всегда совпадает с авторской линией. Но редакция всегда открыта к диалогу и предоставляет специалистам возможность донести свою идею до читательской аудитории журнала. Специализированный журнал – это информационная площадка, на которой порой встречаются самые невероятные инженерные решения и проявления творческой мысли.

меси, проявляющими свойства акцепторов и доноров в полупроводнике одновременно) IV группы таблицы Менделеева. Эта технология была разработана в середине 60-х годов прошлого столетия в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург). Фундаментальные основы жидкостной эпитаксии GaAs отражены в монографии [1].

Особенностью LPE-технологии, отличающей её от газовой или молекулярной эпитаксий, является низкотемпературный процесс кристаллизации GaAs моноэпитаксиальных слоёв с получением уникального сочетания свойств i-GaAs слоя – исключительно низкая дефектность (ниже чем одна дислокация/мм<sup>2</sup>, при плотности в GaAs подложке – от 10<sup>5</sup> см<sup>-2</sup>, высочайшая кристаллографическая однородность i-слоя, его высокая электропрочность (≥30 В/мкм), великолепные изоляционные свойства, высокая подвижность электронов и др.).

Вышеперечисленные ключевые свойства монокристаллических i-GaAs слоёв определяются высокой низкотемпературной растворимостью элементов IV группы таблицы Д.И. Менделеева в GaAs, их амфотерными свойствами (одновременное образование акцепторных и донорных уровней), в частности, атомов Si [2].

Атомы Si в LPE-процессе (как, впрочем, и Ge), в отличие от газового и молекулярного выращивания i-GaAs слоя, образуют в запрещённой зоне «неклассические» глубокие уровни с высокой энергией ионизации (согласно классической модели [3] GaAs, атомы кремния образуют мелкие донорные и акцепторные уровни с низкими значениями энергии ионизации – 0,007 эВ и 0,05 эВ, соответственно).

Кроме этого, в LPE i-GaAs технологии обнаружены не характерные для других видов эпитаксии новые глубокие рекомбинационные центры [4], которые вносят существенный вклад в характеристики GaAs-приборов. LPE i-GaAs технология является одним из оснований качественных изменений в мировой электронной индустрии. За последние полвека, благодаря заслугам Г. Ашкинази и В. Войтовича, LPE i-GaAs технология заметно изменилась и переросла из «графитовой» (по типу оснастки в реакторе) технологии Физтеха в «кварцевую», что привело к новым физическим открытиям в приборостроении (в частности, к COOL-диодам)

и обогащению зонной теории полупроводников.

Зонная энергетическая диаграмма GaAs [3], легированного атомами кремния, выглядит следующим образом (см. рис. 1).

Из физики полупроводниковых приборов [3] известно, что значение энергии ионизации Боровской оболочной структуры электронной системы атома отгалькивается от энергии ионизации элемента под № 1 таблицы Менделеева – водорода (H<sup>+</sup>), которая, как

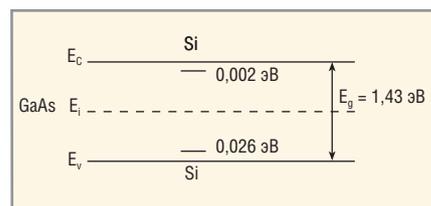


Рис. 1. Энергия ионизации атомов Si в GaAs

известно, равна 13,6 эВ (у атомов кремния энергия ионизации составляет 8,15 эВ). Значение энергии ионизации  $E_n$  акцепторной и донорной при-



**ХОРОШО ПОД СОЛНЦЕМ, ЕСЛИ ТЫ LITEMAX!**

### Дисплеи сверхвысокой яркости

- ЖК-дисплеи серии DURAPIXEL™ с яркостью от 800 до 2000 кд/м<sup>2</sup>
- Размеры по диагонали от 6,5" до 60"
- Разрешения от 640×480 до 1910×1080 (FHD)
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей) –30...+85°C
- Возможна установка сенсорного экрана, защитного стекла
- Разнообразные конструктивные исполнения
- Ресурс до 70 000 часов

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ LITEMAX

**PROSOFT®**

Тел.: (495) 234-0636 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



ФОТО: А. КОЗЛОВ

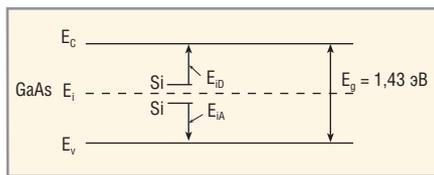


Рис. 2. Энергия ионизации амфотерных атомов Si в LPE i-GaAs

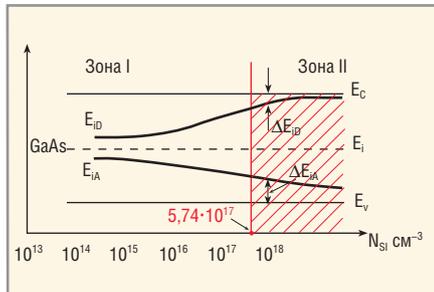


Рис. 3. Зависимость энергии ионизации атомов Si от уровня растворимости в LPE i-GaAs ( $\Delta E_{ID} < \Delta E_{IA}$ )

меси в GaAs полупроводнике (Si, Ge, GaAs и др.) рассчитывается по формуле:

$$E_{II} = \left( \frac{\epsilon_0}{\epsilon_{GaAs}} \right)^2 \times \left( \frac{m_e}{m_0} \right) \times E_H, \quad (1)$$

где  $E_H$  – энергия ионизации атома водорода ( $E_H = 13,6$  эВ);

$\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;

$\epsilon_{GaAs}$  – диэлектрическая проницаемость GaAs ( $\epsilon_{GaAs} = 10,9$ );

$m_0$  и  $m_e$  – масса покоя и эффективная масса электрона.

Если рассмотреть ситуацию со значением энергии ионизации атомов Si в LPE i-GaAs через призму формулы (1) и энергетической диаграммы на рисунке 1, то надо искусственно занизить  $\epsilon_{GaAs}$  в десятки раз, чтобы получить «классическое» значение энергии ионизации или «утопить» мелкие донорные и акцепторные уровни амфотерного Si – расположить их в глубине запрещённой зоны, т.е. около собственного химического потенциала – уровня Ферми ( $E_F$ ), расположенного в середине запрещённой зоны GaAs. В таком случае рисунок 1 преобразуется в рисунок 2.

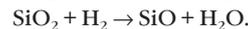
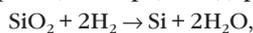
Предполагается, что энергия ионизации амфотерных примесных атомов Si в LPE i-GaAs близка к значениям энергии ионизации примесей, создающих глубокие уровни в i-GaAs в обычном полупроводнике для СВЧ-применений и фотоники, таких как Cr, Fe, Ni, Ag, Au и др.

Есть основания предполагать, что в процессе кристаллизации GaAs с одновременным легированием амфотерными атомами Si атомов Ga (образование донорных центров) с последую-

ющим замещением атомами Si (расположенными в подрешётке Ga) атомов As с образованием акцепторных донорных уровней, связан, предположительно, резкий рост энергии ионизации акцепторной и донорной примеси в GaAs.

Как известно, каждый атом Ga окружён четырьмя атомами Ga (в форме тетраэдра), как, впрочем, и мышьяка. Суммарно обе подрешётки Ga и As образуют энергетически устойчивую кубическую кристаллографическую решётку GaAs-полупроводника, которая, в отличие от малоустойчивых гексагональных кристаллографических решёток политипов 4H, 6H-SiC (деградация из-за «SF-эффекта», слабая радиационная стойкость при концентрациях примеси  $< 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) или «коллапса» GaN при превышении рабочих напряжений НЕМТ  $U_{SD} \geq 0,7U_{max}$ , характеризуется удвоенной температурой эксплуатации у LPE i-GaAs приборов в сравнении с гексагональными  $A_{IV}B_{IV}$ ,  $A_{III}B_V$  или алмазоподобным кристаллическим кремнием.

Источником легирующей примеси в LPE-процессе являются продукты химической реакции кварца с водородом:



Растворённые в LPE GaAs атомы Si и монооксид кремния образуют в GaAs глубокие примесные центры.

В кристаллической решётке GaAs атомы Si располагаются в центрах тетраэдров атомов подрешёток Ga и As, имея или одну свободную ковалентную связь (электрон в Ga-подрешётке), или насыщенную ковалентную связь (дырка в As-подрешётке). Но есть и особенности, предположительно заключающиеся в том, что в «кварцевом» LPE i-GaAs большую роль играют глубокие центры, образующие атомарным кислородом ( $O^{-2}$ ) на s-орбите два активных электрона с противоположными спинами. Потенциально может образоваться и новый субнаноатомный примесный кластер, который будет вести себя в GaAs, вероятно, аналогично элементам IV группы таблицы Менделеева, с той лишь разницей, что его примесная энергия ионизации может оказаться значительно большей, чем общепринятая и «расквартированная» в запрещённой зоне GaAs.

В LPE i-GaAs монокристалле наблюдаются допустимые отклонения от зонной теории полупроводников, которые и будут рассмотрены далее.

**Аномалия закона действующих масс**

Оппоненты иногда беспокоятся о работе этого закона в LPE i-GaAs. Углублённое рассмотрение свойств LPE i-GaAs, легированного атомами IV группы таблицы Менделеева и, в частности, амфотерными атомами Si, вызывает вопросы не только с позиции энергии ионизации акцепторной и донорной примесей, но и с позиции количественной оценки функциональной зависимости энергии ионизации амфотерной примеси Si в GaAs в зависимости от концентрации атомов Si в LPE i-GaAs. На основании изученных свойств поведения амфотерных атомов Ge в GaAs [1, 2] можно определить и с закономерностью ионизации атомов Si в LPE i-GaAs, качественно она принимает вид, показанный на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что закон действующих масс в LPE i-GaAs

$$n \times p = n_i^2 = \text{const} = N_e \times N_v \times e^{-E_g/kT} \quad (2)$$

работоспособен в зоне I и перестаёт быть таковым в зоне II ( $n_i$  – собственная концентрация свободных носителей,  $N_c$  – плотность энергетических состояний в зоне проводимости  $N_c = 4,7 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_v$  – плотность состояний в валентной зоне  $N_v = 7,0 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ). В зоне II произведение плотности состояний  $N_e \times N_v < N_{D\text{Si}} \times N_{A\text{Si}}$  и, в таком случае, надо внимательнее анализировать действие закона действующих масс (2).

В работе [2] показано, что качественный вид зонной диаграммы на рисунке 3 имеет право на существование на примере амфотерного Ge в GaAs:

$$\frac{N_{Ge}}{N_{Ga}} / \frac{N_{Ge}}{N_{As}} = 1,25$$

при  $N_{Ge}$  (в GaAs)  $\geq 3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

Таким образом, при концентрации примеси в LPE i-GaAs выше чем  $3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$  свойства i-слоя GaAs трансформируются в n-тип полупроводника с электронной проводимостью, что абсолютно ожидаемо и поведением атомов Si в LPE i-GaAs. Авторы наблюдали ярко выраженную амфотерность атомов Si в GaAs вплоть до  $(9...10) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

Поскольку энергия ионизации атомов Si выше, чем у атомов Ge, при заметной разнице атомной массы (более чем в два раза) кремния по сравнению с атомами Ga, Ge, As, можно ожидать достаточно высокого значения уровня амфотерности кремния в GaAs ( $N_{Si}/N_{As} / N_{Si}/N_{Ga} = 1$

при  $N \rightarrow 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ), а это не что иное, как инвариантность энергетических уровней в запрещённой зоне GaAs.

Ситуация с амфотерностью будет ещё интереснее, если растворить в LPE i-GaAs одновременно атомы Si и Ge, что приведёт к новым физическим свойствам, точнее, фотонным свойствам LPE кристаллической решётки GaAs. С учётом «божественного» законодательства строгой кристаллографической периодичности кристаллизации твёрдых тел и стехиометрического расположения примесных атомов можно ожидать периодической очерёдности расположения атомов Si и Ge в LPE i-GaAs, за которой последует новая фотонная анизотропия и энергетическая периодичность распространения электромагнитных волн, кратных дислокации атомов Si и Ge в GaAs, что, в конечном счёте, выражается в фотонной модуляции кристалла несколькими волновыми  $h\nu$  (шаг Si, шаг Ge, энергии ионизации  $E_{i\text{Ge}}, E_{i\text{Si}}$ , энергии оптической зоны GaAs).

Исходя из вышесказанного, следует, что свойства LPE i-GaAs, легированного амфотерной примесью, будут исключительно сильно зависеть от концентрации амфотерной примеси, меняющейся энергии её ионизации, присутствия слабо изученных глубоких центров, образованных растворённым кислородом и другими элементами. Ионизированный определёнными пороговыми значениями  $h\nu$  бинарный квазиконденсат в бриллюэновских долинах по разные стороны оптической запрещённой зоны может создать вопросы к некоторым фундаментальным основам зонной теории физики полупроводников, в частности, к инжекционной модели построения приборов, базовому уравнению Шрёдингера и уравнению непрерывности. Эти вопросы кратко отражены далее.

**Неравновесное состояние инжекционной теории Шокли, уравнений непрерывности и Шрёдингера в LPE i-GaAs и гетеросистем на его основе**

*Суперинжекция*

Жорес Алфёров и его коллеги из ФТИ им А.Ф. Иоффе в работе [5] показали обнаруженный ими эффект суперинжекции в гетеропереходах AlGaAs/GaAs  $n^+p$ -типа. Они продемонстрировали возможность инжекции в узкозонный материал с концентрацией элект-

тронов, превышающей их плотность в широкозонном материале (в сто раз и более), что отличается от традиционной моно-ориентированной Шокли-инжекции в  $p$ - $n$ -переходах. Проблемная ситуация создаётся и для основы основ физики полупроводников – уравнения непрерывности.

Как известно, в общем случае движение носителей заряда в полупроводнике определяется не только процессами дрейфа или диффузии носителей заряда, но и временного изменения объёмной плотности (концентрации) неравновесных носителей заряда, обусловленной процессами генерации и рекомбинации носителей, т.е. во всём объёме полупроводника должен работать закон сохранения количества заряда:

$$-\frac{d\rho}{dt} = \text{div}j, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность заряда неосновных носителей, влияющая на дивергенцию (изменение) тока.

Но «слева» и «справа» в  $n^+p$  AlGaAs/GaAs переходе при суперинжекции это правило нарушается и, как следствие, нарушается и уравнение непрерывности:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_p - n_0}{\tau_n} - \frac{1}{q} \text{div}j_n + G_n, \quad (4)$$

где  $n_p$  – неравновесная концентрация электронов,  $q$  – элементарный заряд,  $G_n$  – генерационная составляющая, которая в данном случае пока остаётся теоретическим «фантомом», поскольку плотность традиционных генерационных центров в данном случае ниже на несколько порядков, но в эффекте суперинжекции концентрация электронов  $n_p \gg n_n$  ( $n_p/n_n > 100!$ ), где  $n_n$  – плотность инжектированных электронов.

*Двухсторонняя инжекция в COOL-диодах*

В патентуемых авторами статьи двухинжекционных  $p$ - $i$ - $n$  гетеропереходах на основе i-GaAs показано [6] наличие L-образной прямой вольт-амперной характеристики (ВАХ), которая не вписывается в базовую формулу Шокли-инжекции носителей заряда через  $p$ - $n$ -переход  $j = j_0 (e^{\frac{eV}{kT}} - 1)$ . В указанных  $p$ - $i$ - $n$  COOL-диодных структурах экспериментально показано наличие на прямой ВАХ участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением. COOL  $p$ - $i$ - $n$  GaAs диоды имеют  $i$ -область (физический  $p$ - $n$ -переход) шириной в десятки микро-

метров и ассоциативную соизмеримость диффузионных длин электронов ( $L_n$ ) и дырок ( $L_p$ ). При этом в LPE  $p$ - $i$ - $n$  COOL-структурах неприемлема общепринятая в физике полупроводников классификация/деление носителей заряда на основные и неосновные, поскольку в COOL-диодах инжектируют одновременно и анодная, и катодная области, и делить эти области на условный анод или катод можно только по устоявшейся полярности приложенного напряжения. В  $i$ -слое формируется электронно-дырочная плазма не по типу Шокли (когда основные носители для поддержания квазиэлектрической нейтральности ЭДП экстрагируются из объёма контакт/полупроводник), а ЭДП-плазма, которая создаётся другим путём – двусторонней инжекцией (слева/справа) носителей заряда. В этом суть нового качества: объёмный лазер, излучательное тепловое сопротивление и пр.

Резюмируя вышесказанное, в COOL  $p$ - $n$ -переходах теория инжекции по Шокли не работает. В COOL-диодах плотность тока в 5–10 раз выше, чем в кремниевых или карбид-кремниевых диодах.

*Уравнение Шрёдингера*

При преодолении пороговой энергии ионизации ( $h\nu$ ) амфотерной примеси в GaAs появится бинарный зарядовый конденсат (см. рис. 3), который определит свойства LPE i-GaAs, легированного амфотерной примесью, начиная с начала начал:

$$\sigma = q \times (n \times \mu_n + p \times \mu_p) \\ \text{взамен } (\sigma = q \times n \times \mu),$$

где  $n = p$ ,  $\mu_n > \mu_p$  и вытекающие последствия из этого, как например, модификация соотношения Эйнштейна и его возможная новая интерпретация

$$\frac{\mu_n + \mu_p}{D_n + D_p} = \frac{k \times T}{e}$$

Соответственно, вероятно, изменится и наполняемость формулы  $L = \sqrt{D \times \tau}$  ( $n, p$  – концентрации электронов и дырок, «выделенных с ионизированных амфотерных атомов;  $\mu_n, \mu_p$  – подвижность электронов и дырок в  $i$ -слое;  $D_n, D_p$  – коэффициент диффузии биполярных носителей заряда;  $\tau$  – консолидированное время жизни электронно-дырочных пар).

Уравнение Шрёдингера описывает движение одного электрона при фик-

сированном расположении тяжёлых частиц, рассматриваемых как источники поля. Другими словами – как привязать оптическую запрещённую зону (энергию электрона) к ядру атома? Ещё сложнее второй вопрос, относящийся к взаимосвязи энергии электрона с фоннными колебаниями атомной решётки.

В случае с LPE i-GaAs при ионизации амфотерных атомов появятся два носителя заряда – электрон и дырка. Появится дополнительное многообразие энергетических связей, которое не описывается стандартным уравнением Шрёдингера. А в случае одновременно присутствия ионизированных амфотерных атомов Ge и Si в LPE i-GaAs применение уравнения Шрёдингера вызывает большие сомнения.

*Новая модель инжекционного лазера*

Известно, что излучательная рекомбинация происходит не во всём объёме базовой области *p-n*-перехода, а только в узкой части, примыкающей к *p-n*-переходу. Это излучательная рекомбинация по Шокли-инжекции.

Но в COOL-диодах инжекция в *i*-область – двухсторонняя и достаточно плотная, при этом носители заряда в плазме не делятся на «свои» и «чужие», т.е. неосновные и основные. Естественно, что данная ЭДП (электронно-дырочная плазма) по своему происхождению резко отличается от Шокли ЭДП. COOL-ЭДП – гораздо плотнее, объёмнее, легко управляется вектором  $\vec{H}$  (магнитного поля). Следовательно – налицо все предпосылки для построения объёмных инжекционных лазеров вертикального типа. Зонная диаграмма COOL-диода в режиме инверсии показана в статье [6].

**Мультипроводимость LPE i-GaAs (Si) монокристалла (изолятор, полупроводник, проводник, элементы сверхпроводимости, фотонный проводник)**

LPE i-GaAs – монокристалл с уникальными свойствами, позволяющими создать электронику с новыми функциональными возможностями. На основе технологии LPE i-GaAs будут созданы абсолютно все типы, группы и классы приборов, которые сегодня выполнены на Si, SiC, GaN, InP, Ge/Si и др.

Важнейшая характеристика материала – проводимость. В LPE i-GaAs (Si) можно выделить пять типов проводимости.

1. *Макроскопическая проводимость* – в общем виде полупроводниковая проводимость, обусловленная дрейфом носителей заряда под действием силы электрического поля, при длинах пробега  $L > 0,1$  мкм:

$$\sigma = q \times n \times \mu, \quad (5)$$

где  $q, n, \mu$  – элементарный заряд, концентрация и подвижность электронов.

Рассмотрение данной проводимости не имеет смысла, поскольку она известна из школьного курса физики.

2. *Velocity Overshoot* – проводимость на основе эффекта всплеска дрейфовой скорости носителей заряда (электронов) при  $L < 0,1$  мкм:

$$\sigma = q \times n \times \mu \times A, \quad (6)$$

где  $A > 1$ .

Velocity Overshoot проводимость обнаружена почти полвека назад. Её суть в том, что снижается вероятность рассеяния электронов, их дрейф становится более упорядоченным (векторным), подвижность носителей возрастает, увеличивается и скорость дрейфового пролёта электронов. Соответственно изменяется и плотность тока. В настоящее время в России имеются промышленные инструменты для коммерциализации данного эффекта (MESFET, HEMT, JFET, MOSFET, opto-FET).

При концентрациях плотности потока носителей заряда, сопоставимых или превышающих плотность атомов в твёрдых телах ( $10^{22} \dots 10^{23} \text{ см}^{-3}$ ), возникают признаки сверхпроводимости.

Вышеприведённая плотность дрейфовой электронной массы в таких металлах как Al, Cu, Au или Ni приводит к разрушению кристаллической структуры указанных материалов, как правило, это явление наступает при плотности тока  $j = 10^6 \text{ А/см}^2$ . Металлы испаряются вследствие процессов электромиграции атомов. Монокристалл GaAs, где, в отличие от металлов, имеется запрещённая энергетическая зона для электронных состояний, способен выдерживать плотности токов выше, чем предельные значения плотности потока носителей в металлах, вплоть до  $10^7 \text{ А/см}^2$ .

Такое явление связано с эффектом доменно-лавиной ионизации в GaAs транзисторных и тиристорных высоковольтных структурах с электронной эмиттерной инжекцией.

3. *Коллективная лавинно-доменная проводимость* или элементы сверхпроводимости в условиях высоких темпе-

$$\sigma = q \times n \times \mu \times N, \quad (7)$$

где  $N > 2$ .

Коллективная (признак сверхпроводимости по определению) ЛДП обнаружена [10] в сильных электрических полях. Из-за ярко выраженной поляризации молекул GaAs и наличия доменной проводимости возникают условия для создания суперплотной проводящей плазмы в каналах филаментного типа. Под действием внутримолекулярных кулоновских сил и внутреннего магнитного поля происходит создание «воронкообразных» лавинных каналов с очень высокой (над-Ганновской) подвижностью носителей заряда. На примере конструкции транзистора «пять в одном» [7] был подтверждён эффект, обнаруженный финскими учёными в сотрудничестве со специалистами ФТИ им. А.Ф. Иоффе, который исключительно важен для создания мощных бортовых АФАР в L-, S-, C-, X-диапазонах и ВЧ, а также в СВЧ силовой электроники.

4. *Баллистическая (безрассеянная) проводимость*, т.е. состояние идеального проводника при  $L \leq 45 \text{ \AA}$  (GaAs) или  $L \leq 4,5 \text{ нм}$ .

В 2013 году, как уже было сказано, Запад впервые шагнул в литографическую нанoeлектронику и преодолел рубеж длины дрейфа  $L = 7,0 \text{ нм}$  (в России Правительственной программой запланировано  $L = 10 \text{ нм}$  в 2023–2025 гг.). Следовательно, в текущем или в следующем году за рубежом можно ожидать преодоления размера в 4...5 нм. Из достоверных источников известно, что при дрейфовом пролёте на расстояниях меньших либо равных 8 постоянных кристаллической решётки GaAs (<4,5 нм) электрон не испытывает упругих энергетических столкновений (рассеяния на фонах, электронах и др.). В этом случае понятие «подвижность носителей заряда» теряет смысл, следовательно, теряет смысл и формула плотности тока:

$$j = q \times n \times \mu \times E, \quad (8)$$

где дрейфовая скорость определяется множителем  $v = \mu \times E$ .

Формула (8) трансформируется в новое определение, поскольку дрейфовая баллистическая скорость электрона трансформируется в подобие релятивистской скорости:

$$V_B = \frac{q \times E}{m} \times t, \quad (9)$$

где  $m$  – масса электрона,  $t$  – время пролёта.

Напряжённость электрического поля в данном твёрдовакуумном наномире является комплексной величиной, зависящей от волновой энергии поляризованных молекул GaAs (диполей) и внешнего поля (при приложении, допустим, напряжения порядка 0,1 В поле достигает значений, близких к общепринятым критическим значениям электропрочности в GaAs, т.е.  $\approx 2,5 \times 10^5$  В/см, хотя в твёрдовакуумном кулоновском мире – всё далеко не так просто).

В сильных полях наклон энергетических зон  $E_C$  и  $E_V$  (см. рис. 4) ограничен критической напряжённостью поля, которая связана с лавинным рассеянием электронов на электронных, оптических и акустических фононах.

При сверхмалых длинах пробега, характерных для безрассеянного пробега электронов в волновом энергетическом пространстве, таких как 40...45 Å (0,40...0,45 нм) в GaAs и менее, понятие «критическая напряжённость поля» теряет смысл.

В этом случае энергетический наклон зон может оказаться в пределах энергетической прозрачности перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости, что в физике называется эффектом туннелирования.

На рисунке 4 (а и б) показаны энергетические диаграммы полупроводника при разных значениях сильных электрических полей, которые качественно демонстрируют процесс туннелирования валентных электронов в зону проводимости.

Из диаграммы (см. рис. 4) очевидно, что вероятность туннелирования электронов  $\rho$  в случае (б) значительно выше, чем в случае (а), т.е.  $\rho_2 \gg \rho_1$  ( $E_2 \gg E_1$ ).

Вероятность туннельного перехода электрона будет пропорциональна экспоненциальному множителю:

$$\rho \approx \exp\left(-\frac{E_0}{E}\right),$$

где  $E$  – величина приложенного электрического поля, а  $E_0$  – постоянная напряжённости электрического поля, зависящая от ширины запрещённой зоны  $E_g$  (эВ), экстремумов в зоне Бриллюэна, эффективной массы  $m_r$  носителей [3] и оценивается по формуле:

$$E_0 = \frac{\pi \times E_g^{3/2} \times m_r^{1/2}}{2 \times \hbar e}, \quad (10)$$

где  $m_r = \frac{m_n \times m_p}{m_n + m_p}$  – приведённая эффективная масса электронов и дырок,  $\hbar$  – круговая постоянная Планка.

В источнике [3] приводится расчётное значение  $E_0$  при  $E_g = 1,0$  эВ и  $m_r \approx 0,1 \times m_0$ , которое равно  $E_0 \approx 10^7$  В/см.

Логика безрассеянного дрейфа приводит к тому, что значения  $10^7$  В/см и выше – вполне достижимы, тем более что в GaAs, несмотря на то, что ширина запрещённой зоны  $E_g \approx 1,43$  эВ, значения  $E_0$  маловероятно будут превышать  $10^7$  В/см из-за сильной поляризации молекулы GaAs.

В кремнии, очевидно, значение  $E_0$  будет близко к  $10^7$  В/см или немного выше, а в SiC и GaN значение  $E_0$ , вероятно, будет стремиться к значениям, близким к  $10^8$  В/см. В GaAs при расстояниях безрассеянного пробега электрона  $\leq 40...45$  Å при приложенном напряжении  $U \geq 10$  В можно ожидать с огромной долей вероятности переход валентных электронов в зону проводимости, скорее всего, это произойдёт в первую очередь из-за ионизации атома As, имеющего более пространственно размерную орбитальную группировку валентных электронов.

Туннельную генерацию валентных электронов можно также стимулировать комбинацией энергетических воздействий сверхбольших электрических полей и высокой энергией падающего в объём GaAs высокоэнергетичного кванта (фотона), допустим, рентгеновского фотона ( $c \hbar \nu \geq 10^3$  эВ).

Указанная энергетическая ионизация валентной зоны открывает возможность увеличения плотности носителей заряда в GaAs до плотности, близкой к  $2,41 \times 10^{22}$  см<sup>-3</sup> или выше, что приведёт к признакам сверхпроводимости. В данном случае ещё раз подчеркнём, что речь идёт о наноразмерном GaAs пространстве объёмом не выше либо равным 65...90 нм<sup>3</sup> (в случае элементарного объёмного куба), или 65...90  $\times 10^{-27}$  м<sup>3</sup>.

Следовательно, наноразмерная баллистика в сильных электрических полях – это явление комнатной надпроводимости, которое нереализуемо в металлах. Энергетические возможности такой нано-/субнанобаллистики самые невероятные, от холодного катода (энергия носителей, превышающая работу выхода электронов в вакуум в GaAs  $\approx 4,3$  эВ), до десятков и сотен тысяч электронвольт, характерных вплоть до жёсткого рентгеновского излучения, которое можно будет использовать, в частности, для замены углеводородной энергетики на водородную, для создания феноменаль-

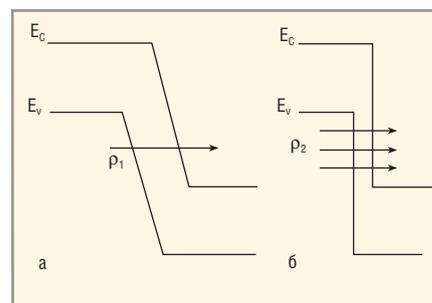


Рис. 4. Диаграмма энергетических зон в полупроводнике, когда  $E_1$  (а)  $\ll E_2$  (б) ( $E$  – приложенное электрическое поле)

ных компьютеров и высокоэффективного холодного катода. Технические и технологические инструменты в США и Европе позволяют приступить к реализации данной задачи уже в 2015 году.

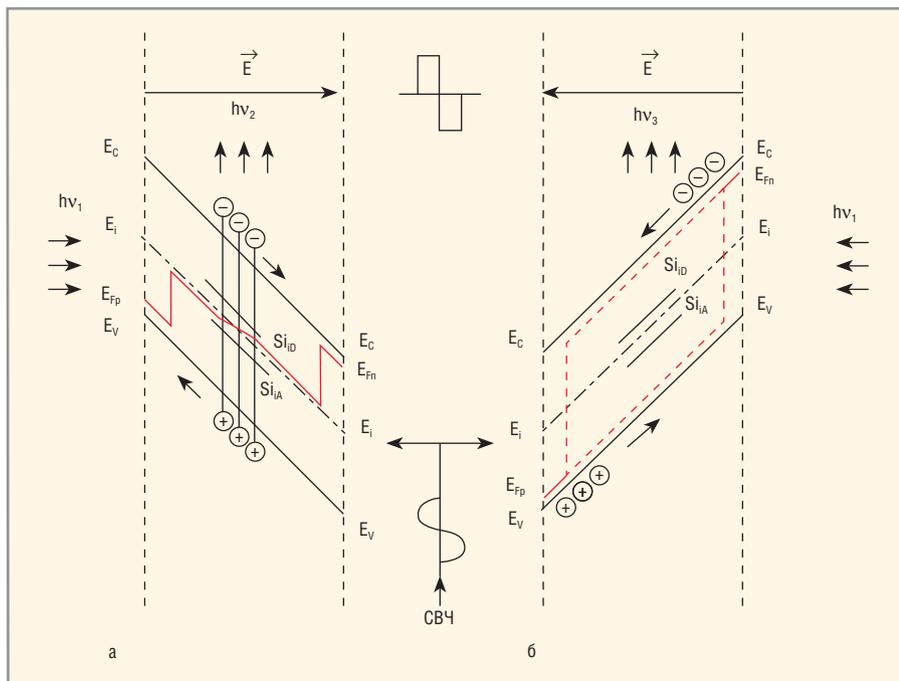
5. *Фотонная проводимость*, характерная при прохождении электромагнитной волны через i-диэлектрик (электромагнитный волновод).

Фотонная проводимость – это перенос электромагнитной энергии с фотонной скоростью  $C/n$  в GaAs (где  $n$  – показатель оптического преломления). Без вброса зарядовой массы (электронов) извне LPE i-GaAs представляет собой диэлектрическую среду ( $\epsilon = 10,9$ ). Слой i-GaAs при приложении к нему потенциала в простейшем случае – это ёмкость  $C$  с удельным значением  $\frac{\epsilon \times \epsilon_0}{S} \approx 2 \dots 5$  пФ/мм<sup>2</sup> при толщинах  $i$ -слоя в несколько десятков микрометров. При приложении внешнего поля к такому «конденсатору» поляризованные молекулы GaAs выстраиваются по силовым линиям, образуя диэлектрические диполи с перекрывающимися волновыми энергетическими функциями, по которым распространяется фотонная (электромагнитная) волна со скоростью  $V_f = C/n$ . Электронов до поры до времени нет, и нет «тормозов» для прохождения фотонной волны в i-GaAs. Поэтому комплексное сопротивление LPE  $i$ -слоя  $Z$  до определённых частот, близких к  $10^{14}$  Гц (пограничных инфракрасных волн), можно оценивать по школьным учебникам:

$$Z = \frac{1}{j \times \omega \times c}, \quad (11)$$

где  $\omega$  – круговая частота фотона.

Исходя из формулы (1) и энергетической зонной диаграммы на рисунке 2, можно прогнозировать, что формула (11), характеризующая фотонную проводимость LPE  $i$ -GaAs (Si) слоя



**Рис. 5. Фотонный LPE i-GaAs преобразователь:**

а – трансформация фотонной проводимости в полупроводниковую; б – инвертирование вектора подвижности носителей заряда в полупроводнике

прекратит свою работоспособность на длинах волн фотонов, близких к 1,5...1,7 мкм ( $\approx 0,72$  эВ =  $\frac{1}{2}E_{g\text{ GaAs}}$ ), т.е. приблизительно на фотонах излучательной рекомбинации Ge, что очень важно, поскольку постоянные решётки Ge и GaAs практически идентичны, и на этих свойствах легко выстраиваются оптические «системы-на-кристалле» любого типа, как чисто оптико-цифровые, так и оптические АЦП и ЦАП СБИС. Частоты скоростей обработки информации (сигнала) таких систем недоступны для других аналогичных систем.

Подводя итог вышесказанному, следует отметить, что скорость передачи электромагнитной энергии в общем виде или электрической, в частном, в LPE i-GaAs (Si) выстраивается следующим образом:

$$10^7 \text{ см/с} < V_T < V_D < V_V < V_B < V_F^* \leq C/n, \quad (12)$$

где  $V_T$  – макроскопическая дрейфовая скорость;  $V_D$  – доменно-лавинная скорость;  $V_V$  – «Velocity Overshoot» скорость;  $V_B$  – баллистическая скорость;  $V_F$  – фотонная скорость.

$V_F^*$  справедливо только до значений энергий ионизации атомов амфотерного кремния, т.е.  $E_F = hv \leq E_{ID} \dots E_{iA}(\text{Si})$  в i-GaAs.

При  $E_F \geq E_{ID} \dots E_{iA}(\text{Si})$  в LPE i-GaAs скорость фотона в LPE i-слое  $V_F$  резко снижается (на три порядка) и трансформируется в типовую «горбатую» Ганна-дрейфовую скорость в пределах

(2...1)  $\times 10^7$  см/с. Это связано с ионизированной генерацией ЭДП с глубокими акцепторных и донорных уровней кремния в GaAs и резким уменьшением соотношения энергетических масс фотона (электрической и магнитной массы) и генерируемых с ионизированных атомов электронов и дырок (обнуление электромагнитной массы фотона и резкое изменение эффективной массы электронов и дырок). В итоге появляется энергетический трансформатор, который выглядит следующим образом (см. рис. 5), где  $E_C$  – дно зоны проводимости GaAs,  $E_V$  – потолок валентной зоны;  $E_i = E_{F0}$  – собственный химический потенциал в GaAs (уровень Ферми);  $hv_1$  – входящая фотонная волна;  $hv_2, hv_3$  – преобразованные, выходящие фотонные волны;  $\vec{E}$  – электрическое поле, приложенное к i-GaAs слою;  $U = \frac{I}{j \times \omega \times c} \times \cos(j \times \omega \times t)$  – СВЧ электромагнитная волна или импульсы, в любом случае, квантованная волна или квантованный импульсный стробопакет;  $E_{SiD}$  – энергия ионизации донорных атомов Si;  $E_{SiA}$  – энергия ионизации акцепторной примеси.

Принцип работы фотонного преобразователя (см. рис. 5) основан на трансформации диэлектрических свойств i-GaAs монокристалла в свойства полупроводникового GaAs монокристалла с модуляцией скорости прохождения электромагнитной волны в i-слое от  $C/n$  ( $C = 3 \times 10^{10}$  см/с) до дрей-

фовой скорости электрона в GaAs (Si) ((1...2)  $\times 10^7$  см/с) с качественным изменением соотношения:

$$n = \sqrt{\epsilon \times \mu / \epsilon_0 \times \mu_0} \quad (13)$$

где  $\epsilon \times \mu$  и  $\epsilon_0 \times \mu_0$  – начальные (фотонные) и конечные (полупроводниковые) значения диэлектрической и магнитной проницаемости, т.е. показатели, характеризующие электромагнитную энергетическую массу в монокристалле в различной энергетической фазе.

Механизм энергетического преобразования на рисунке 5а в LPE i-GaAs (Si), к которому приложено электрическое поле, основан на процессе ионизации амфотерных атомов Si в подрешётках Ga и As, в результате чего происходит генерация ЭДП в объёме i-GaAs.

Под воздействием поля электроны и дырки конденсируются по краям i-GaAs зоны в соответствии с полярностью электрического поля. Ожидаемая энергия фотонов находится в пределах 0,7...1,4 эВ или в пределах гетероизлучателей на основе Ge или InP.

В случае (см. рис. 5а) электронная масса аккумулируется вблизи зоны, находящейся под большим положительным потенциалом, что может привести к инверсной заселённости электронов в этой зоне и последующей электролюминесценции с сильно выраженной когерентной спектральной полосой излучения  $hv_2$ . Дырки конденсируются у противоположной стороны.

При полярности электрического поля (см. рис. 5б) при временах переключения выше чем скорость рекомбинационного заселения ионизированных Si можно ожидать, что произойдёт опережающий дрейф электронов в левую зону. Из-за разницы подвижности электронов и дырок при малых значениях напряжённости поля и при достаточно малых дрейфовых расстояниях произойдёт инверсия электронов и дырок вблизи краёв энергетической запрещённой зоны и, как следствие – практически когерентная рекомбинация носителей.

Такой эффект исключительно важен для построения доменно-лавинных мощных силовых коммутаторов, СВЧ, терагерцевых и лазерных излучателей.

Преобразователь (см. рис. 5) может реализовать следующие функции:

- эффективной волоконно-оптической модуляции СВЧ-сигналов (ВОЛС);

- фотонного вентиля;
  - усилителя (умножителя) частоты фотонной волны;
  - когерентного (лазерного) генератора с разными значениями частоты излучения ( $h\nu$ ), в т.ч. безинжекционного (лавинного) лазера;
  - фотонной памяти на основе интерференционных (смесительных) волновых явлений вследствие амплитудно-фазовой модуляции. Фотонная память на два порядка и более скоростная, чем электрическая в ДЗУ на базе «Trench» MOSFET/MOS-конденсатор;
  - акусто-электронных усилителей/преобразователей/инверторов/смесителей/генераторов;
  - эффективной фотонной вольтаики, не только оптической (солнечной), но и ближней инфракрасной, с использованием гетеросистем на основе GaAs, Ge, AlGaAs, InGaAs;
  - для СВЧ-применений важное значение имеет возможность создания эффективных ДОС-приборов (приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением). На рисунке 5 показана модель создания эффективной плотной ЭДП, когда фотонная проводимость обвальном превращается в полупроводниковую;
  - суперпроводящих opto-HEMT / opto-FET, кардинально меняющих облик СВЧ и терагерцовой электроники.
- Следует ожидать, что opto-FET на основе LPE i-GaAs (наряду с биполярными оптоприборами, такими как opto-thyristors, opto-ЛПД, opto-HEMT, opto-IGBT) достаточно быстро и уверенно вытеснят кремниевые MOSFET и IGBT, а также нерадиационностойкие 4H-, 6H-SiC MOSFET/JFET, JBS.

#### **Высокая рабочая температура эксплуатации LPE i-GaAs монокристалла**

В начале статьи прозвучало, что с 2015 года появится новая мировая электронная индустрия с рабочей температурой ЭКБ в диапазоне +250...+320°C (вдвое выше, чем на кремнии или политипно-гексагональном SiC). Высокотемпературная электроника своим созданием обязана, в первую очередь, промышленной, коммерчески эффективной LPE i-GaAs технологии.

Исследования исключительной температурной стойкости LPE *p-i-n* GaAs переходов при максимальных рабочих температурах  $T = +583...+633$  К

(+360°C!), проведённые в 80-х годах группой учёных ФТИ им. А.Ф. Иоффе [8], протоколы по НИОКР, находящиеся в ЦНИИ-22 (г. Мытищи), протоколы замера параметров LPE *p-i-n* GaAs диодов в фирме «Semelab» (Англия), компаниях «Motorola», «Micros Components» и «Microsemi» (США), ОАО «Орбита» (г. Саранск) – более чем убедительно свидетельствуют о новом, исключительном качестве электроники. В данный момент поднимается вопрос о совершенстве технологии пассивации/защиты поверхности *p-i-n* GaAs высоковольтного перехода.

Начатые в настоящее время работы по созданию технологии пассивации LPE *p-i-n* GaAs структур в ЗАО «Группа Кремний Эл» (г. Брянск) и ОАО «Орбита» (г. Саранск) указывают на очень высокую вероятность быстрого решения данной технологической проблемы и снятия её с повестки дня.

#### **Радиационная стойкость LPE i-GaAs монокристалла**

Советские протоколы (1986–1987 гг.) по результатам испытаний в процессе НИОКР на спецстойкость изготовленных по «графитовой» технологии LPE *p-i-n* GaAs (Si) высоковольтных GaAs диодов и тиристоров, находящихся в архиве ЦНИИ-22 (г. Мытищи), показывают на порядок более высокую радиационную стойкость LPE *p-i-n* GaAs приборов по сравнению с Si высоковольтными приборами.

Сравнивать с SiC MOSFET/JFET и JBS на гексагональных политипах не имеет смысла, поскольку гекса-SiC приборы при содержании легирующей примеси  $>10^{17}$  см<sup>-3</sup> утрачивают радиационную стойкость. Исключение составляют 600-вольтовые SiC SBD (не путать с 1200/1700-вольтовыми JBS SiC диодами Шоттки).

#### **Возможности новой электронной индустрии на основе LPE i-GaAs монокристаллов**

Уникальные свойства LPE i-GaAs монокристалла (изолятор, полупроводник, проводник, фотонный волновод, следы сверхпроводимости), вследствие специфичной энергетики растворённых в GaAs амфотерных атомов IV гр. таблицы Менделеева, дипольной поляризации молекул GaAs (электронных оболочек атомов Ga и As), электромагнитных свойств доменов Ганна, позволяют не просто

реализовать весь совокупный спектр электронных приборов на основе Ge, Si, SiC, GaN, InP, но и значительно расширить его. В ближайшие несколько лет можно ожидать появления целой гаммы вновь открытых классов приборов, начиная с COOL сверхпроводящего диода.

На основании открытых в середине 80-х годов группой учёных Ленинградского ФТИ высокотемпературных GaAs приборов (*p-i-n*-диоды, тиристоры, Шоттки-диоды) [9], СВЧ высоковольтных HBT, в т.ч. доменных «два в одном» транзисторов [10], а впоследствии «пять в одном» транзисторов [7], SMART opto-FET ключей [11], терагерцовых GaAs МОП БИС [12, 13], фотонно-инжекционных импульсных высоковольтных (тиристорных) коммутаторов со скоростью включения в L-SВЧ диапазоне, новых физических моделей и конструкций (COOL L-диоды [6]) и ожидаемого множества других открытий, явлений и моделей на базе LPE i-GaAs монокристалла можно спрогнозировать следующую классификацию сегментов электроники, классов и групп электронных приборов (см. таблицу).

В итоге, ни на одном из известных материалов, таких как Ge, Si, SiC, GaN и InP, невозможно реализовать все вышеназванные классы ЭКБ.

#### **Рынок, экономика, политика**

Мировой рынок электроники характеризуется монополией кремниевых приборов. Общий объём полупроводниковых приборов достиг уровня в \$300 млрд, из которых 95% приходится на кремниевую ЭКБ, около 4,5% – на арсенид-галлиевые приборы (в большинстве случаев, СВЧ-применения), 0,5% приходится на широкозонные GaN, SiC приборы и пр.

В данной публикации показана активная конкурентоспособность LPE i-GaAs электроники по сравнению с кремниевой, карбид-кремниевой и нитрид-галлиевой технологиями.

Как известно, экономика полупроводниковых приборов базируется на стоимости исходного монокристалла, диаметре используемых полупроводниковых пластин, длительности и энергоёмкости технологического цикла производства ЭКБ.

Планируемое «Ростехом», «Ренова» и Минпромторгом создание в пос. Горный Саратовской области высокотехнологичного производства поли- и моно-

кристаллов GaAs Ø100 и 150 мм на основе переработки и ликвидации отходов, образовавшихся в результате уничтожения химического оружия (люизита), нивелирует экономическое превосходство кремниевой металлургии над GaAs-металлургией. Этому мнению придерживаются и ведущие материаловеды компаний ООО «Мега-Эпитех» (г. Калуга) и «Гиредмет» (г. Москва). Вышеназванный «металлургический» проект «Ростеха» и «Ренова» является прорывным для отечественной электроники.

Ведущим (с позиции мирового рейтинга) разработчиком «кварцевой» LPE i-GaAs технологии В.Е. Войтовичем, вопреки стереотипным мнениям оппонентов, разработана коммерческая LPE-технология GaAs (Si) на подложках диаметром в 3" (Ø76 мм). К концу 2014 года будет освоена «кварцевая» LPE-технология на подложках диаметром 4" (Ø100 мм), а в 2015 году запланировано 6" (Ø150 мм).

В данный момент стала возможной поставка LPE *p-i-n* GaAs структур Ø76 мм под высоковольтные приборы – до 1200...1800 В. Готовые LPE i-GaAs мультиэпитаксиальные структуры Ø76 и Ø100 мм значительно дешевле изготовленных по «газовой» технологии эпитаксиальных кремниевых

структур аналогичного диаметра из-за дешевизны LPE-процесса и в два-три раза более короткого цикла изготовления готовых чипов. Это технологический прорыв в электронике.

Из вышесказанного вытекают 3 важнейших экономических вывода.

1. Себестоимость монокристалла, который может быть произведён на основе переработки люизита, ниже себестоимости кремниевых монокристаллов аналогичного диаметра.

2. «Кварцевая» LPE i-GaAs технология в несколько раз дешевле газовой эпитаксии кремния.

3. Цикл изготовления i-GaAs чипов короче и менее энергоёмкий в сравнении с циклом изготовления кремниевых чипов.

**Политика, риски, адаптация проекта**

Как уже было сказано в начале статьи, экономика – это политика, основа развития экономики – инновация (открытие), значит, инновация – это большая политика, государственная политика. Только на основе политической воли возможна кардинальная перестройка экономики государства.

Основным тормозным риском запуска, адаптации и развития проекта

в России является элементарное невежество и безграмотность на почве «силиконового дарвинизма», что было изначально подчёркнуто в проекте. Данный вид риска наиболее опасен для России, поскольку Запад начал разрабатывать массовое производство LPE i-GaAs структур (до 10 тыс. шт. структур/год Ø76 мм в 2015 г.) для перспективной экстремальной электроники. Следовательно, в силу очевидной ярко выраженной анизотропной когерентности мышления оппонентов проекта, Россия теряет преимущество во времени и в деньгах, которые расходятся на очередные ФЦП по «изобретению велосипеда».

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящей публикации показано, что авторами проекта разработаны обновлённая технологическая платформа и новая концепция развития отечественной и мировой высокотемпературной гиперскоростной электроники.

Заявленные физические свойства разработанного электронного материала (изоляторы, полупроводники, проводники) и принципы работы приборов на его основе приведут к новым системным подходам и решениям в силовой

**Классификация сегментов электроники, классов и групп электронных приборов, спроектированных по технологии LPE i-GaAs монокристаллов**

Сегменты электроники	Продукты	Диапазон частот
Силовая электроника	COOL-диоды (двухинжекционные диоды), ультра-, гипербыстровосстанавливающиеся биполярные диоды, диоды Шоттки, в т.ч. с $UF_0 = 0$ ; лавинно-доменные транзисторы, лавинно-пролётные диоды, динисторы, тиристоры с управляющим электродом, тиристоры с МОП-управлением, фототиристоры, МОП-транзисторы, биполярные транзисторы с изолированным затвором, полевые транзисторы со статической индукцией (с <i>p-n</i> -управлением), опто-полевые транзисторы, опто-биполярные транзисторы, силовые драйверы, микроконтроллеры, датчики контроля температуры, фотонные датчики, стабилизаторы (варикапы)...	0,5...30 МГц
СВЧ-электроника	Полевые транзисторы с <i>p-n</i> -переходом, МОП-транзисторы, гиперскоростные <i>p-i-n</i> , <i>n<sup>+</sup>-i-n<sup>+</sup></i> диоды, диоды Шоттки, ЛПД, лавинно-пролётные транзисторы, лавинно-доменные транзисторы, опто-полевые гетеротранзисторы, комплементарные гетеротранзисторы, варикапы с супердобротностью, HEMT (транзисторы с высокой подвижностью электронов), MESFET-транзисторы (с затвором Шоттки), таймер-транзисторы, транзисторы на основе ДОС (отрицательное дифференциальное сопротивление), <i>n<sup>+</sup>-i-n<sup>+</sup></i> -транзисторы, ВОЛС (волоконно-оптические линии связи) – оптомуляторы), квантовые трансформаторы, МЭМС, фазовращатели, коммутаторы, фотонные смесители, фотонные линии задержки, ЭМИ-волнорезы, умножители напряжения, СВЧ-стабилизаторы, СВЧ электронные приборы для освещения с солнечным спектром, ионно-реактивных двигателей...	0,3...300 ГГц
Терагерцовая электроника	Полевые транзисторы с <i>p-n</i> -управлением, гетеро-биполярные транзисторы, униполярные <i>n<sup>+</sup>-n-n<sup>+</sup></i> -транзисторы, униполярные <i>n<sup>+</sup>-n-n<sup>+</sup></i> -диоды, фототранзисторы, фотодиоды, когерентные генераторы, некогерентные (регулируемые) генераторы, преобразователи фотонной скорости (скорости «света» – <i>c/n</i> в баллистическую скорость в твёрдом теле), ССИС, ВОЛС, плазменные генераторы...	0,3...300 ТГц
Баллистическая электроника (твёрдо-вакуумная атомнооболочная)	Приборы с безрассеянным пролётом, холодный катод, плазменные транзисторы, генераторы водорода из воды, радиоактивная локация, радиационные лазеры...	300...30000 ТГц
Фотонные приборы	Акустические приборы, ВОЛС, интерференционные (смесительные) приборы, приборы с амплитудно-фазовой модуляцией (АФМ), фотонные вентили, фотонная память, умножители частоты, безинжекционные лазеры, некогерентные генераторы, инжекционные (объёмные) лазеры, LED, инфракрасные и солнечные батареи...	1,0...10 <sup>17</sup> Гц
Цифровые системы и устройства	<i>n</i> -МОП СБИС, КМОП-СБИС, Би-КМОП СБИС, ССИС, БМК, опто-ПЗС, фотонные вентили, фотонные АЦП/ЦАП, интерференционная фотонная (оптическая / интерференционная) память, память на основе молекулярного SBD As/GaAs...	1000...10 000 Гбит/с
Функциональная электроника	ВОЛС, датчики температуры, умножители частоты, датчики гамма-излучения, датчики нейтронного излучения, фотонные вентили, гетеро-МЭМС, оптические модуляторы, инфра / оптические приёмники (в т.ч. фотovoltaика), объёмно-акустические системы...	1,0...10 <sup>11</sup> Гц

электронике, СВЧ-технике, терагерцовой и инфракрасной электронике, фотонной энергетике.

Проект создаёт условия для прорывной перестройки отечественной электронной промышленности и уверенного вхождения в мировой рынок, зарождения новых сегментов электронного рынка и возврата утраченных позиций.

Теоретические и технологические наработки проекта могут привести к элементам обогащения зонной теории твёрдого тела.

Проект имеет стратегическое значение для энергетического контроля ближнего космоса.

Проект исключительно важен с позиции импортозамещения, особенно в части радиационно-стойкой элементной базы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Андреев В.М., Долгинов Л.М., Третьяков Д.Н.* Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. Москва. Советское радио. 1975 г.
2. *Нашельский А.Я.* Монокристаллы полупроводников Si, Ge, GaAs, GaP. Москва. Металлургия. 1975 г.
3. *Бонч-Бруевич В.Л., Калашиников С.Г.* Физика полупроводников. Москва. Наука. 1977 г.
4. *Ашкинази Г., Войтович В., Лейбович М. и др.* Влияние взаимодействия глубоких уровней на безизлучательную рекомбинацию в эпитаксиальных слоях арсенида галлия. Известия Академии Наук Эстонии. Физика и математика, 1990 г. № 1 (39). С. 75–79.
5. *Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Корольков В.И., Портной Е.Л., Третьяков Д.Н.* Инжекционные свойства гетеропереходов  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} - p\text{-GaAs}$ . ФТП (1968). Том 2. Вып. 7. С. 1016–1017.
6. *Войтович В., Гордеев А., Думаневич А.* GaAs-диоды для PFC, SMPS, UPS, IPM, Solar Invertors и замены синхронных выпрямителей. Силовая электроника. № 6. 2012 г.
7. *Войтович В., Гордеев А., Думаневич А.* Новые возможности GaAs силовой электроники. Силовая электроника. № 2. 2014 г.
8. *Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Корольков В.И., Третьяков Д.Н., Тучкевич В.М.* Высоковольтные p-n-переходы в кристаллах  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ . ФТП (1967). Том 1. С. 1579–1581.
9. *Ашкинази Г., Золотаревский Л., Тимофеев В., Мазо Л., Шульга А., Войтович В., Тагесаар М., Олеништейн И., Юйрике Х., Челноков В.* Силовые высокотемпературные высокочастотные приборы на осно-

ве арсенида галлия. Известия Академии наук Эстонской ССР. 1984 г.

10. *Vainshtein S.N., Yuferev V.S., Kostamo-vaara J.T., Kulagina M.M., Moilanen H.T.* Significant Effect of Emitter Area on the Efficiency, Stability and Reliability of Picosecond Switching in a GaAs Bipolar Transistor Structure. IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 57. No. 4. 2010.
11. *Sarkar T., Mazumder S.K.* Epitaxial Design of Direct Optically Controlled GaAs/AlGaAs – based Heterostructure Lateral

Superjunction Power Device for Fast Repetitive Switching. IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 54. No. 3. March, 2007.

12. Freescale Creates First Commercially Viable GaAs MOSFET Device. AUSTIN. Texas. Jan. 30, 2006.
13. *Passlack M., Droopad R., Rajagopalan K., Abrokwab J., Zurcher P.* HIGH MOBILITY III-V MOSFET TECHNOLOGY. CS Mantech Conference. May, 14-17. 2007. Austin. Texas. USA.



**Магнитодиэлектрики MICROMETALS**

**Применение сердечников Micrometals гарантирует:**

- снижение стоимости индуктивных компонентов
- повышение надёжности аппаратуры
- снижение потерь на 30...50% по сравнению с ферритами
- оптимизацию конструкции и уменьшение габаритов индуктивных компонентов



Активный компонент вашего бизнеса  
 Тел.: (495) 232-2522 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

# Мощные фотоэлектрические преобразователи монохроматического и концентрированного солнечного излучения

Вячеслав Андреев (Санкт-Петербург)

Фотоэлектрические преобразователи на основе AlGaAs/GaAs гетероструктур обеспечивают рекордные значения КПД более 56% при длине волны 0,82...0,85 мкм и плотности мощности лазерного излучения до 100 Вт/см<sup>2</sup>. Каскадные солнечные элементы на основе гетероструктур GaInP/GaAs/Ge имеют КПД более 30% при концентрированном до 100 крат солнечном излучении в условиях околоземного космического пространства. На основе каскадных солнечных элементов и линз Френеля созданы концентраторные модули для космических солнечных батарей. Результат их применения – уменьшение площади и стоимости солнечных элементов, улучшение радиационной защиты.

## ВВЕДЕНИЕ

Передача энергии по лазерному лучу актуальна для систем дистанционного энергопитания космических аппаратов лазерным излучением, передаваемым с Земли, а также при передаче лазерной энергии между космическими аппаратами и с космических солнечных батарей на Землю. Главной проблемой фотоэлектрического преобразования лазерной энергии является обеспечение достаточно высокой эффективности преобразования при оптической мощности в диапазоне 0,1...100 Вт/см<sup>2</sup>. Основными материалами для фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) излучения полупроводниковых лазеров являются: GaAs/AlGaAs-гетероструктуры с шириной запрещённой зоны активной области 1,42...1,8 эВ для излучения с длиной волны  $\lambda = 0,4...0,9$  мкм; InGaAs, антимонид галлия (GaSb) и гетероструктуры AlGaAsSb/GaSb, InGaAsP/InP с шириной запрещённой зоны фотоактивной области 0,7...1,2 эВ для излучения с  $\lambda = 0,9...1,7$  мкм. Теоретические оценки показывают, что ФЭП на основе этих материалов могут обеспечить преобразование лазерного излучения с КПД 50–65%.

Повышение требований к бортовым системам космических аппаратов приводит к необходимости создания солнечных батарей (СБ), обладающих более высокими энергетическими и эксплуатационными характеристиками с увеличенным ресурсом работы. Для создания СБ наиболее перспективными являются каскадные солнеч-

ные элементы (СЭ) из арсенида галлия и родственных ему соединений  $A_3B_5$ .

За последние 4 десятилетия накоплен большой опыт разработок [1–11] и эксплуатации космических солнечных элементов и батарей на основе AlGaAs/GaAs, AlGaInP/GaAs/Ge и других гетероструктур. Показано, что эти СБ обеспечивают увеличение КПД, удельного энергоёмкости и радиационной стойкости по сравнению с кремниевыми батареями. Это достигается за счёт уменьшения толщины широкозонного «окна» до нескольких сот ангстрем, улучшения параметров материала активной области, создания тыльных потенциальных барьеров и встроенных полей, создания встроенного брегговского зеркала.

В каскадных СЭ, выполненных на основе нескольких последовательно соединённых *p-n*-переходов в материалах с различной шириной запрещённой зоны, обеспечено существенное увеличение КПД до значений более 30% в условиях околоземного космоса (нулевая атмосферная масса – АМ0). При этом наибольшее применение получили СЭ на основе гетероструктур с тремя *p-n*-переходами: германий и арсенид галлия в качестве материалов узкозонных элементов и твёрдые растворы GaInP в качестве материала широкозонного элемента. Несмотря на большую стоимость каскадных СЭ по сравнению с кремниевыми, их использование обеспечивает приблизительно 2-кратное снижение суммарных затрат, благодаря увеличению удельного энергоёмкости, уменьшению размеров и веса СБ, уве-

личению ресурса работы СБ и снижению расхода топлива на доставку СБ на орбиту, ориентацию и стабилизацию космического аппарата (КА).

Для достижения наивысших значений КПД в таких ФЭП при количестве слоёв более 30, толщины ряда слоёв должны составлять 10...100 нм, что необходимо для снижения рекомбинационных и оптических потерь. Дальнейшие перспективы увеличения КПД связываются с разработкой 4- и 5-переходных каскадных СЭ, а также с использованием гетероструктур с квантовыми ямами и точками. Получение таких СЭ возможно только с применением высокопроизводительных прецизионных технологических установок МОС-гидридной и молекулярной эпитаксии и современных постростовых технологий.

Чрезвычайно важным преимуществом гетероструктурных СЭ на основе  $A_3B_5$  соединений является их способность эффективно преобразовывать более чем 100-кратно концентрированное солнечное излучение. Это позволяет снизить расход полупроводниковых материалов пропорционально степени концентрирования и, следовательно, существенно снизить стоимость «солнечной» электроэнергии. Дополнительными преимуществами при переходе к концентраторным СБ в космосе являются:

- возможность организации защиты ФЭП элементами конструкции концентрирующей системы от ионизирующих излучений;
- возможность осуществления термического фотонного и инжекционно-го отжига радиационных дефектов.

## ФЭП ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Основными требованиями к ФЭП лазерного излучения являются:

- высокий КПД при выбранных длинах волн лазерного излучения;
- эффективная и надёжная работа ФЭП при высокой плотности излучения и повышенных температурах;
- эффективный отвод тепла от ФЭП без существенного увеличения массы;

- устойчивость к воздействию внешних факторов в космическом пространстве;
- возможность компенсации неравномерного распределения плотности лазерного излучения.

В качестве источника лазерного излучения предполагается использовать полупроводниковые лазеры с длиной волны излучения в диапазоне 1,6...0,8 мкм, работающие в импульсном или непрерывном режимах. Наиболее подходящими материалами для ФЭП такого излучения являются гетероструктуры AlGaAs/GaAs, антимонид галлия (GaSb) и InGaAsP.

КПД ФЭП увеличивается при увеличении мощности лазерного излучения до оптимальной величины 10...100 Вт/см<sup>2</sup> вследствие увеличения рабочего напряжения ФЭП. При дальнейшем увеличении интенсивности засветки возрастают омические потери, что приводит к снижению КПД ФЭП. Величина оптимальной плотности мощности лазерного излучения уменьшается также с увеличением площади ФЭП.

При построении реальных лазерных систем дистанционного энергопитания на большие расстояния мощность приходящего лазерного излучения может составлять менее 0,1...1,0 Вт/см<sup>2</sup>. В этом случае уменьшение необходимой площади ФЭП может быть достигнуто путём концентрирования лазерного излучения в 100...1000 раз. При этом может быть получен максимальный КПД преобразования, а площадь и стоимость ФЭП снижена пропорционально кратности концентрирования при использовании относительно дешёвых линз Френеля [4–6].

Для дальних волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) наибольшее распространение получили ФЭП на основе системы InGaAs/InP, перекрывающие спектральный диапазон излучения лазеров 1,3...1,55 мкм, в котором достигнуты минимальные оптические потери и минимальная дисперсия в оптических волокнах, что очень важно для ВОЛС большой протяжённости. Однако для ВОЛС малой протяжённости (внутриобъектных и других длиной менее 1 км) затухание излучения  $\lambda = 0,8$  мкм составляет менее 1 дБ, и потери в волокне не играют заметной роли. Таким образом, для коротких ВОЛС, а также для излучения, распространяющегося в открытом пространстве, использование ФЭП на основе AlGaAs/GaAs-гетероструктуры не только приемлемо,

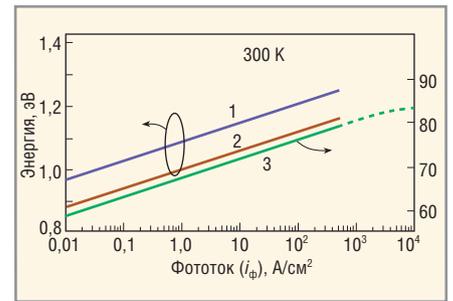
но и является предпочтительным для детектирования лазерного излучения с длиной волны 0,87...0,4 мкм.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЭП ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В условиях освещения ФЭП, когда количество фотогенерированных носителей тока остаётся меньше количества основных носителей, варьирование освещённости будет означать, что прямо пропорционально изменяется и плотность фототока  $i_{\phi}$ . Поток излучения полагаем монохроматическим с  $h\nu = E_g$  (GaAs) = 1,424 эВ. Из рисунка 1 видно, что КПД увеличивается при увеличении  $i_{\phi}$ , т.е. уровня освещённости. Это происходит за счёт увеличения напряжения холостого хода ( $U_{xx}$ ) и связанного с ним увеличения напряжения в точке оптимальной нагрузки ( $U_{opt}$ ).

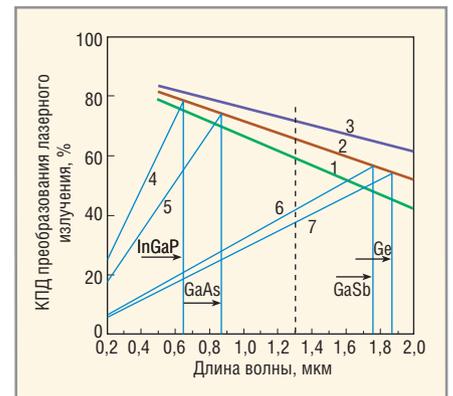
В диапазоне плотностей тока  $i_{\phi} = 10^{-2}...10^3$  А/см<sup>2</sup> имеет место близкая к линейной зависимость расчётного КПД от плотности фототока. При больших плотностях фототока ( $i_{\phi} > 10^3$  А/см<sup>2</sup>) начинается отклонение от линейной зависимости  $\eta = f(i_{\phi})$ , показанное штриховой кривой, вследствие того что концентрация фотогенерированных носителей тока при  $i_{\phi} > 10^3$  А/см<sup>2</sup> приближается к концентрации основных носителей. При этом максимальное теоретическое значение КПД преобразования лазерного излучения ( $h\nu = 1,424$  эВ,  $\lambda = 0,87$  мкм) при  $i_{\phi} = 10^3$  А/см<sup>2</sup> составляет ~80% при 300 К.

Граничная длина волны  $\lambda_r$ , меньше которой фотоны будут поглощаться в материале ФЭП с шириной запрещённой зоны  $E_g$ , равна  $\lambda_r = 1,24 E_g$ . Фотоны с энергиями  $h\nu > E_g$  создают «горячие» носители тока, имеющие, помимо избыточной потенциальной энергии  $E_g$ , ещё и избыточную кинетическую энергию, равную разности  $h\nu - E_g$ . Однако эта кинетическая энергия быстро расходуется на нагревание кристаллической решётки (носители термализуются, т.е. приходят в тепловое равновесие с решёткой). Таким образом, в потенциальную энергию электронно-дырочных пар преобразуется лишь часть высокоэнергетичных фотонов. Значения монохроматического КПД (при  $h\nu = E_g$ ) показаны линиями 1, 2 и 3 на рисунке 2 для трёх значений фототока  $i_{\phi}$ . На этом рисунке по оси абсцисс отложена длина волны, которую в данном случае следует рассматривать как граничную длину волны для каждого полупроводникового материала. Для



**Рис. 1. Зависимость КПД и энергии лазерного излучения от уровня освещённости ФЭП:**

зависимость энергетических величин  $qU_{xx}$  (1),  $qU_{opt}$  (2) и КПД (3) от плотности фототока для идеализированного p-n-перехода в GaAs; линия 3 и правая ось – зависимость КПД от плотности фототока при преобразовании монохроматического излучения с энергией квантов  $h\nu = E_g$

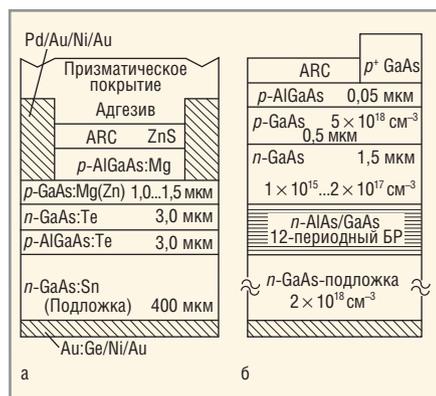


**Рис. 2. Зависимость КПД ФЭП от длины волны лазерного излучения:**

Максимальные значения монохроматического КПД для величин фототока  $i_{\phi} = 0,1; 1,0$  и  $10$  А/см<sup>2</sup> (линии 1, 2, 3 соответственно) в зависимости от граничной длины волны полупроводникового материала ФЭП; 4, 5, 6, 7 – КПД преобразования энергии монохроматического излучения для идеализированных ФЭП на основе InGaP, GaAs, GaSb и Ge соответственно в зависимости от длины волны преобразуемого излучения

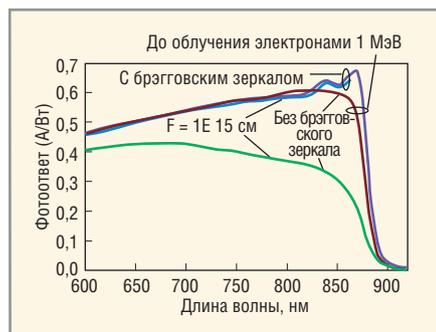
каждого материала значения КПД преобразования более коротковолнового по сравнению с  $\lambda_r$  излучения должны быть уменьшены в  $\lambda/\lambda_r$  раз, что в качестве примера изображено четырьмя наклонными прямыми для материалов InGaP (4) GaAs (5), GaSb (6) и Ge (7) при  $i_{\phi} = 1,0$  А/см<sup>2</sup>.

Максимум для КПД идеализированного ФЭП лазерной энергии на основе каждого из выбранных материалов увеличивается с увеличением плотности фототока, т.е. с увеличением мощности лазерного излучения, и уменьшается с увеличением длины волны лазерного излучения. При этом для лазерного излучения с энергией 0,8...0,87 мкм опти-

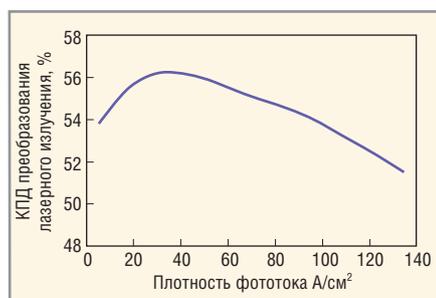


**Рис. 3. Гетероструктура преобразователей лазерного излучения на основе GaAs:**

а – с призматическим покрытием, б – с внутренним брэгговским отражателем



**Рис. 4. Спектр фотоответа в AlGaAs/GaAs ФЭП двух типов: с брэгговскими отражателями (Б0) и без Б0 до облучения электронами 1 МэВ и после облучения дозой  $10^{15} \text{ см}^{-2}$**



**Рис. 5. КПД преобразования в зависимости от плотности фототока для GaAs-элемента ( $d_a = 2 \text{ мм}^2$ ) при засветке лазером с длиной волны излучения 820 нм**

мальным материалом для изготовления ФЭП является GaAs, а для лазерного излучения с длиной волны 1,55 мкм оптимальными являются полупроводники GaSb и твёрдые растворы InGaAsP, InGaAs (теоретическое КПД ~45%).

**Теоретический предел КПД ФЭП на основе GaAs и GaSb для излучения лазеров, выполненных на основе различных материалов при  $i_{\phi} = 1 \text{ А/см}^2$**

Материал лазера	Лазер Длина волны, нм	КПД фотодетекторов	
		ФЭП на основе GaAs	ФЭП на основе InGaAs и GaSb
AlGaInP	650	55	20
AlGaAs	840	75	27
YAG:Nd	1060	–	35
InGaAsP	1300	–	40
InGaAsP	1550	–	45

Значения КПД на рисунке 2 и в таблице рассчитаны в предположении нулевых оптических потерь излучения на отражение света от поверхности ФЭП и на затенение контактами и нулевых рекомбинационных потерях фотогенерированных электронно-дырочных пар до их разделения *p-n*-переходом. Не учитывались также потери, связанные с протеканием в объёме *p*- и *n*-области ФЭП фотогенерированных носителей тока. При учёте этих потерь реально достижимыми в GaAs ФЭП являются значения КПД = 60–65% при  $\lambda = 0,82...0,85 \text{ мкм}$  и  $i_{\phi} = 10...50 \text{ А/см}^2$ .

Лазеры, предназначенные для передачи энергии от Земли в космос и из космоса на Землю, должны излучать в спектральных диапазонах, характеризующихся минимальным поглощением земной атмосферы. Минимальная длина волны этих лазеров, вследствие поглощения озоновым слоем и сильным рэлеевским рассеянием коротковолнового излучения, равна 350 нм. Максимальная длина волны ( $\lambda_{\text{макс}}$ ) лазеров определяется длинноволновым краем поглощения рассматриваемых ФЭП:  $\lambda_{\text{макс}} = 870 \text{ нм}$  для GaAs ФЭП и ~1700 нм для GaSb и InGaAs ФЭП.

В таблице приведены предельные теоретические значения ФЭП излучения различных лазеров на основе GaAs и GaSb. Максимальный КПД передачи лазерной энергии может быть получен в системе с лазером на основе AlGaAs ( $\lambda = 840 \text{ нм}$ ) и ФЭП на основе AlGaAs/GaAs гетероструктур.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ALGaAs/GaAs ФЭП ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

ФЭП лазерного излучения на основе GaAs имеют следующие преимущества:

- GaAs ФЭП имеют меньшие значения темновых токов, вследствие большей ширины запрещённой зоны – 1,4 эВ в GaAs (0,75 эВ в InGaAs, изопериодичном с InP) и, следовательно, меньшие шумы и лучший порог фоточувствительности;
- GaAs ФЭП имеют большее значение КПД. Теоретическое значение КПД в GaAs ФЭП, работающем в фотовольтаическом

режиме (без внешнего напряжения) для мощного ( $10^2...10^3 \text{ Вт/см}^2$ ) лазерного излучения ( $\lambda = 0,85 \text{ мкм}$ ) превышает 75% (40% в InGaAs ФЭП для  $\lambda = 1,3 \text{ мкм}$ );

- GaAs ФЭП имеют лучшую стабильность температурного коэффициента КПД  $\eta_r = -1,4 \times 10^{-3} \text{ град}^{-1}$  при плотности фототока  $30 \text{ А/см}^2$  (в 1,8 раза меньше, чем в ФЭП на основе Si и в 3 раза меньше, чем в InGaAs ФЭП).

Структуры ФЭП на основе GaAs, выращенные методом жидкостной эпитаксии, показаны на рисунке 3. Они состоят из: *n*-GaAs базы (3 мкм); *p*-GaAs эмиттера ( $p = (0,2...2,0) \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , легированный Mg, Ge и Zn, 1,0...1,5 мкм); *p*-Al<sub>0,85</sub>Ga<sub>0,15</sub>As «окна» (Mg, Ge, Zn, 0,05...5,0 мкм) (см. рис. 3а). Эти структуры были оптимизированы для работы с лазерами мощностью до  $200 \text{ Вт/см}^2$ . Элементы должны иметь низкое слоевое сопротивление, что обеспечивалось увеличением толщины уровня легирования *p*-GaAs эмиттера (сохраняя достаточную диффузионную длину электронов в этом слое) и *p*-AlGaAs «окна».

Методом МОС-гидридной эпитаксии были изготовлены также структуры ФЭП с внутренним брэгговским рефлектором (БР) (см. рис. 3б). В этих элементах наблюдалось увеличение фотоответа (см. рис. 4) в длинноволновой части спектра ( $\lambda = 820...880 \text{ нм}$ ), вызываемое сильным отражением (до 96%) от БР в спектральной области 820...900 нм. В структурах с БР удалось также значительно улучшить радиационную стойкость за счёт реализованной возможности уменьшения толщины (до 1...1,5 мкм) базового слоя *n*-GaAs и снижения за счёт этого количества радиационных дефектов, генерируемых в этом слое.

Эксперименты с лазерами большой плотности излучения в диапазоне 50...300 Вт/см<sup>2</sup> проводились на элементах с площадью облучения  $d_a = 2 \text{ мм}^2$ . Расстояние между полосами контактной решётки в этих элементах было 0,1 или 0,05 мм; ширина полос была 4...6 мкм при их толщине 2...3 мкм.

В лучших образцах был достигнут фотоответ 0,62...0,67 А/Вт при  $\lambda = 820...870 \text{ нм}$  (см. рис. 4). В GaAs-элементах с призматическим покрытием был получен высокий внешний квантовый выход 94–96%. Напряжение холостого хода увеличивалось от 1,1...1,15 В при  $P_{\text{лаз}} = 5 \text{ Вт/см}^2$  до 1,2...1,26 В при  $P_{\text{лаз}} = 200 \text{ Вт/см}^2$ . При  $\lambda = 820 \text{ нм}$  был получен КПД = 56% при плотности фототока  $i_{\phi} = 30...40 \text{ А/см}^2$  (см. рис. 5) и 52% при  $i_{\phi} = 130 \text{ А/см}^2$ .

Сохранение высокого значения КПД при увеличении мощности лазерного излучения до  $P_{\text{лаз}} > 200 \text{ Вт/см}^2$  возможно за счёт уменьшения сопротивления растекания во фронтальных слоях ФЭП и создания более густой контактной сетки без увеличения степени затенения освещаемой поверхности.

### ФЭП КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

СБ являются основным источником энергии КА. Анализ тенденций развития информационных и энергетических космических систем, условий и сроков их функционирования позволяет сформулировать и ранжировать требования к характеристикам перспективных СЭ и СБ для таких систем.

Основное требование – повышение КПД СЭ и плотности вырабатываемой мощности ( $\text{Вт/м}^2$ ) СБ. Для низкоорбитальных КА повышение КПД необходимо для снижения площади СБ, без чего невозможно обеспечить требуемую длительность существования КА на орбите из-за тормозящего действия остаточной атмосферы.

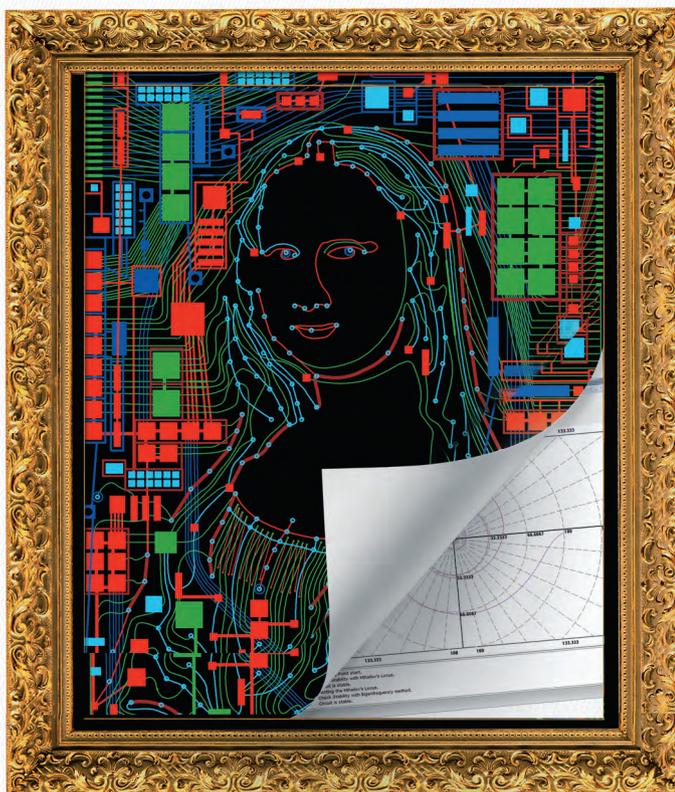
Для средне- и высокоорбитальных КА повышение КПД СЭ также имеет очень важное значение, так как сокращение площади позволяет уменьшить массу СБ, необходимую для получения требуемой электрической мощности, и, как следствие, снизить стоимость запуска КА.

Второе по значимости требование – повышение устойчивости СЭ и СБ к действию факторов космического пространства. Выполнение этого требования имеет большое значение для успешного функционирования КА, размещаемых на любых орбитах. В частности, в случае низкоорбитальных КА необходимо обеспечить устойчивость СБ к действию термоциклов и атомарного кислорода. Для СБ КА, которые должны работать на ГСО (геостационарная орбита) и орбитах, проходящих через радиационные пояса Земли, наиболее важно обеспечить высокую устойчивость полупроводниковых СЭ к действию частиц высоких энергий – электронов и протонов.

Третье требование, значимость которого возрастает по мере увеличения высоты орбиты КА, – высокая удельная мощность СБ ( $\text{Вт/кг}$ ), которая, очевидно, зависит от КПД и радиационной стойкости СЭ, а также от удельной массы СБ ( $\text{кг/м}^2$ ). Удельная масса СБ, в свою очередь, определяется удельными массами СЭ и конструкции СБ.



# САПР



Топологический трассировщик печатных плат



Пакет моделирования электронных схем



info@eremex.ru • www.eremex.ru

Москва, ул. Профсоюзная, д. 108  
Тел.: +7 (495) 232-18-64

Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 29А  
Тел.: +7 (812) 448-04-44

Реклама



**Рис. 6. Космическая станция «Мир» с гетероструктурной AlGaAs/GaAs СБ, установленной на базовом модуле**

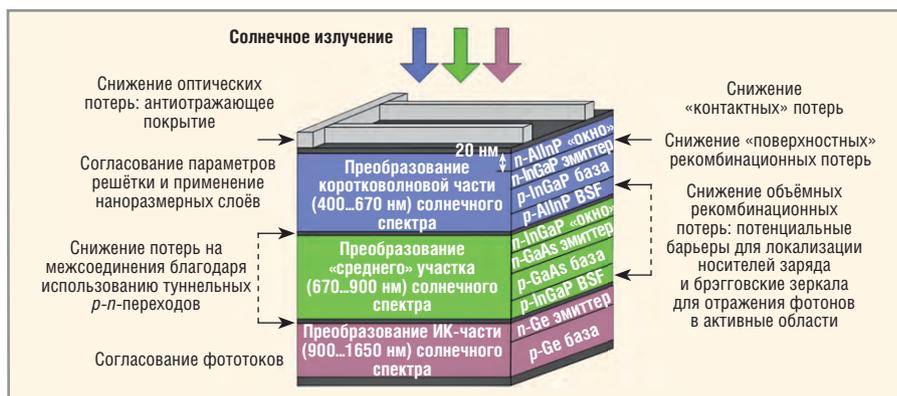
Ещё одно требование – минимизация стоимости единицы вырабатываемой электрической мощности (\$/Вт) – может быть удовлетворено лишь при выполнении всех предыдущих требований, организации массового автоматизированного производства СЭ и СБ космического назначения и конверсионного использования разработанных технологий при создании систем наземной коммерческой солнечной энергетики.

### Состояние работ по космическим СЭ и СБ

На протяжении более сорока лет лидирующее положение в космической солнечной энергетике занимали кремниевые СЭ и СБ, которые обеспечили выполнение подавляющего большинства космических программ во всём мире. Однако в настоящее время достигнуты практически предельные показатели их энергетической эффективности при массовом промышленном производстве: КПД СЭ 14–16% (AM0, 28°C), плотность мощности СБ 150...175 Вт/м<sup>2</sup> и удельная мощность 50...70 Вт/кг. Такие показатели явно не соответствуют требованиям к параметрам СБ нового поколения. Это означает, что кремниевые СБ должны быть заменены батареями на основе более эффективных каскадных СЭ.

Основными разработчиками и производителями каскадных солнечных элементов для космических батарей в мире являются: Spectrolab Inc. (www.spectrolab.com), Emcore (www.emcore.com), AZUR Space Solar power GmbH (www.azurspace.com).

Максимальные достигнутые значения КПД космических СЭ этих производителей составляют 29–30% при освещении прямым солнечным излучением с нулевой воздушной массой (AM0), т.е. в условиях околоземного космического пространства.



**Рис. 7. Гетероструктурный каскадный СЭ**

В России производителями космических солнечных батарей являются: ОАО НПП «Квант» (www.npp-kvant.ru) и ОАО «Сатурн» (www.saturn.kuban.ru). Однако существующий объём производства отечественных гетероструктурных солнечных элементов не обеспечивает потребности страны в космических СБ. По этой причине российские космические батареи оснащаются в основном каскадными СЭ зарубежного производства. Повышение КПД каскадных СЭ и создание отечественного крупномасштабного производства высокоэффективных, радиационностойких космических батарей на их основе является чрезвычайно важным для выполнения Федеральной космической программы.

Впервые гетероструктурные AlGaAs/GaAs фотоэлементы были созданы в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН под руководством Ж.И. Алфёрова [1–7]. С использованием этой технологии в НПО «Квант» (Москва) было организовано крупномасштабное производство гетероструктурных СБ. Одна из таких батарей площадью 70 м<sup>2</sup> была установлена в 1986 году на базовом модуле космической станции «Мир» и проработала там весь срок эксплуатации без заметного снижения мощности (см. рис. 6).

В последние годы в ФТИ достигнуто значительное увеличение КПД в каскадных гетероструктурных ФЭП за счёт «расщепления» солнечного излучения на несколько спектральных интервалов и осуществления более эффективного преобразования энергии фотонов каждого из этих интервалов в определённой части полупроводниковой структуры. Трёхкаскадные ФЭП включают в себя три фотоактивные области, выполненные из трёх полупроводников GaInP/GaAs/Ge с шириной запрещённой зоны, уменьшающейся от фронтальной освещаемой поверхности ФЭП (см. рис. 7). Коротковолновая

часть солнечного излучения преобразуется в GaInP-области, средневолновая часть – в GaAs-области и инфракрасная часть – в Ge-области.

Для космических применений созданы каскадные СЭ Ge/GaAs/GaInP, в которых достигнуты значения КПД, превышающие 30% для внеатмосферного солнечного излучения (AM0). На основе разработанных каскадных ФЭП и концентраторов (линз Френеля) созданы космические концентраторные модули, обеспечивающие повышение удельного энергосъёма и снижение стоимости СБ.

### Модули СБ с концентраторами излучения и каскадными СЭ

При концентрировании солнечное излучение перехватывается линзой или зеркалом и фокусируется на СЭ малого размера, который вырабатывает практически такую же электрическую мощность, как планарный СЭ, равный площади концентратора. В этом случае производственные возможности каждой установки МОС-гидридной эпитаксии по обеспечению потребляемых КА мощностей увеличиваются на один-два порядка, в зависимости от степени концентрирования солнечного излучения, которая для космических СБ будет находиться в диапазоне 10...100 крат. В частности, если производительность одной установки около 100 м<sup>2</sup>/год, то даже при кратности концентрирования равной 10 эта установка обеспечит производство многопереходных СЭ для СБ с концентраторами (СБК) площадью около 1000 м<sup>2</sup>/год. Это означает, что при плотности мощности СБК 300 Вт/м<sup>2</sup> такая установка МОС-гидридной эпитаксии позволит создать космические СБ общей мощностью не менее 300 кВт/год. При более высоких уровнях концентрирования солнечного излучения эта цифра пропорционально возрастет.

В последние годы в ФТИ проводятся исследования и разработки фотоэлектрических модулей (ФЭМ) с короткофокусными линейными линзами Френеля, вторичными оптическими элементами и трёхпереходными (каскадными) СЭ. В процессе создания космических ФЭМ были разработаны новые материалы, конструкции и технологии изготовления короткофокусных линзовых концентраторов, устойчивых к воздействию факторов космической среды. Так, были разработаны композитные френелевские линзы «силикон–стекло». В качестве основы линз используется стекло, а в качестве френелевской структуры используется очень тонкий (в среднем ~0,2 мм) профиль, изготовленный из прозрачного силикона. Силикон известен как высокопрозрачный полимерный материал, устойчивый к воздействию УФ-радиации. Он также характеризуется хорошей эластичностью и хорошими термическими свойствами. Будучи полимеризован прямо на стеклянной поверхности (при использовании специальных промежуточных адгезивных слоёв), силикон остаётся в прочном контакте со стеклянной подложкой при изменении температуры и других воздействиях.

Разработаны также концентраторные СЭ (см. рис. 8) с КПД ~30% (АМ0, 100 солнц). Достигнуто улучшение радиационной стойкости СЭ [10, 11] благодаря использованию встроенных брэгговских отражателей, увеличивающих «захват» солнечных лучей в фотоактивных областях гетероструктур, что позволяет уменьшить их толщину и, как следствие этого, уменьшить количество радиационных повреждений СЭ.

Дополнительная радиационная защита СЭ в концентраторных модулях обеспечивается элементами вторичной оптики, помещаемыми на поверхности СЭ с целью улучшения разориентационных характеристик СБК. При этом такая защита практически не увеличивает вес СБ, т.к. площадь СЭ и площадь покрытий на них значительно меньше апертуры СБК пропорционально кратности концентрирования.

Приведённые выше результаты свидетельствуют о безусловной перспективности СБК по следующим факторам:

- в СБК повышается устойчивость полупроводниковых ФЭП к действию космической радиации за счёт экранирующего действия концентраторов и других элементов конструкции, а также в результате процессов

фотоинжекционного и термического отжига радиационных дефектов;

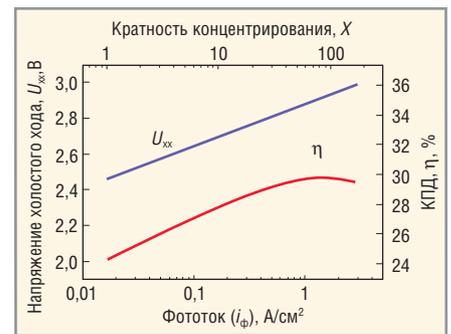
- технологии производства СБК и их элементов имеют широкие перспективы конверсионного использования при создании высокоэффективных и экономичных наземных фотоэлектрических систем, что будет, безусловно, выгодно фирмам-производителям; при этом в наземных СБК оптимальные степени концентрирования солнечного излучения находятся в диапазоне 500...1000 крат, в результате чего одна технологическая установка сможет обеспечить создание на Земле СБК площадью 100 тыс. м<sup>2</sup>/год. Конструктивные схемы СБК должны быть, по возможности, приближены к традиционным схемам и параметрам плоских космических СБ, чтобы их можно было применять в составе существующих и разрабатываемых ракетно-космических систем. Для этого необходимо обеспечить:

- малый транспортировочный объём, который определяется строительной высотой (толщиной) СБК и зависит от фокусного расстояния концентратора;
- возможность точного слежения СБК за Солнцем как по двум, так и по одной оси, поскольку многие КА имеют одноосную систему слежения;
- малую удельную массу (кг/м<sup>2</sup>), не превышающую этот показатель для плоских СБ;
- простую и надёжную систему раскрытия СБК в космосе и т.д.

Как показала практика отечественных и зарубежных исследований и разработок, этим требованиям в наибольшей степени соответствуют СБК с круговыми и линейными линзами Френеля. Именно в этом направлении ведутся работы в данной области.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Каган М.Б., Протасов И.И., Трофим В.Г. Солнечные преобразователи на основе гетеропереходов p-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As – n-GaAs. ФТП. Т. 4. № 12. 1970. С. 2378.
2. Андреев В.М., Гриликес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения (монография). Изд-во «Наука». 1989.
3. Andreev V.M., Grilikbes V.A., Rummyantsev V.D. Photovoltaic Conversion of Concentrated Sunlight (monograph). J.Wiley & Sons Ltd. 1997.
4. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития сол-



**Рис. 8. Зависимости напряжения холостого хода ( $U_{сх}$ ) и КПД каскадного СЭ от величины фототока ( $i_\phi$ ) и кратности концентрирования солнечного излучения АМ0**

нечной фотоэнергетики. «Физика и техника полупроводников». Т. 38. Вып. 8. 2004. С. 937–948.

5. Alferov Zh.I., Andreev V.M., Rummyantsev V.D. III-V heterostructures in photovoltaics in: «Concentrator Photovoltaics». Eds.: A.Luque, V.Andreev, Springer Series in Optical Sciences. V. 130. 2007. P. 25–50.
6. Alferov Zh.I., Andreev V.M., Rummyantsev V.D. III-V solar cells and concentrator arrays in «High-Efficient Low-Cost Photovoltaics». Eds.: V. Petrova-Koch, R. Hezel, A. Goetzberger, Springer Series in Optical Sciences. V. 140. 2008. P. 101–141.
7. Andreev V.M., Khvostikov V.P., Kalimovskiy V.S., Grikkbes V.A., Rummyantsev V.D., Shvarts M.Z., Fokanov V., Pavlov A. High current density GaAs and GaSb photovoltaic cells for laser power beaming. Proceedings of WCPEC-3, Osaka, Japan. 2003. P. 3P-B5-33.
8. Andreev V.M. GaAs and high-efficiency space cells in «Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals & Applications». Eds. T. Markvart and L. Castaner, Elsevier Science. UK. 2003. P. 418–433.
9. Андреев В.М., Гриликес В.А., Железняков А.Г., Румянцев В.Д., Соколов Б.А. Перспективы создания и применения космических фотоэлектрических энергоустановок с концентраторами излучения и многопереходными гетероструктурными фотопреобразователями. Известия Академии наук. Энергетика. № 3, 2003. С. 60–69.
10. Andreev V.M., Komin V.V., Kochnev I.V., Lantratov V.M., Shvarts M.Z. High-efficiency AlGaAs-GaAs Solar Cells with Internal Bragg Reflector. Proceedings of the First WCPEC. Hawaii. 5–9 December 1994. P. 1894–1897.
11. Andreev V.M., Emelyanov V.M., Chesta O.I., Lantratov V.M., Shvarts M.Z., Timoshina N.Kb. Radiation degradation of multijunction III–V solar cells and prediction of their lifetime. Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. 24–28 September 2012. Frankfurt. Germany. P. 169–174.

# Алюмо-водородные источники тока для портативных электронных устройств

Евгений Школьников (Москва)

Источники тока ограничивают во времени использование портативных электронных устройств. Расширение функциональных возможностей смартфонов и планшетных компьютеров обычно влечёт за собой рост энергопотребления. Удобство пользования мобильными устройствами существенно зависит от энергоёмкости аккумуляторных батарей. Характерное время работы смартфона без подзарядки 1...2 дня, ноутбука – 4...8 часов. В современном мире, где время получения и обработки информации ценится всё дороже, становятся востребованными более энергоёмкие источники питания для поддержания непрерывной и автономной работы устройств в течение более длительного времени.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие литий-ионных и других распространённых типов батарей близко подошло к теоретическому пределу энергоёмкости. К тому же цена литий-ионных батарей довольно высока. В связи с этим активно прорабатываются в качестве источников питания для портативной электроники энергоустановки на основе топливных элементов (ТЭ). Предполагается, что уже в ближайшем будущем источники питания на основе ТЭ смогут увеличить, по сравнению с современными аккумуляторными батареями, длительность автономной работы телефонов и компьютеров в 2...3 раза.

Одной из основных проблем создания компактных портативных систем на основе ТЭ является адекватность механизма снабжения топливом и выбор топлива: метанол, водород из интерметаллидных или металлогидридных накопителей, водород, полученный реформингом метанола. Развивается направление получения водорода гидролизом лёгких металлов (алюминий, магний) или водородсодержащих соединений – гидри-

дов алюминия и магния, боргидрида натрия. Разрабатываются также системы, использующие прямое окисление этанола или боргидрида натрия.

Каждая из схем имеет свои преимущества и недостатки. Интерметаллиды и металлогидриды обеспечивают относительно безопасное хранение водорода в связанном состоянии, однако их массогабаритные характеристики (массовая сорбционная ёмкость по водороду 1...3%), ресурс, стоимость и зависимость десорбционных характеристик от внешних условий наравне с требуемой инфраструктурой перезарядки заставляют искать альтернативу. Топливные элементы с прямым окислением метанола являются самыми разработанными на сегодняшний день портативными системами, но токсичность метанола является неблагоприятным фактором для их применения. Реформинг метанола (и этанола) требует наличия в системе мощного периферийного устройства и специальных схем теплообмена. Часть вырабатываемой мощности будет идти на разогрев топливного процессора, что для требуемого диапазона мощностей (0,1...5 Вт) неприемлемо. Развитие ТЭ с прямым окислением этанола и боргидрида натрия сдерживается отсутствием эффективных электрокатализаторов. Кроме того, в отличие от доступного этанола и относительно дешёвого, но ядовитого метанола, боргидрид натрия является достаточно дорогим и обычно используется в специальных системах.

Алюминий является одним из самых энергоёмких химических элементов. Способ использования энергии алю-

миния, описываемый в данной работе, состоит из двух стадий. Первая – восстановление водорода из воды при помощи алюминия. Вторая – окисление полученного водорода в водородно-воздушных топливных элементах с получением электрической энергии. По совокупности факторов именно этот способ представляется наиболее перспективным, в первую очередь, для портативных источников тока.

## Принципы создания портативных источников тока

Для зарядки мобильных телефонов разработаны прототипы источников тока мощностью 2 Вт и находятся в стадии разработки – 5 Вт. Принцип действия источников тока основан на использовании водородно-воздушных топливных элементов (ВВТЭ). Источником водорода является реакция активированного алюминия с водой (1), которая осуществляется в алюмо-водном микрогенераторе водорода (АМГВ):



Выделяющийся водород поступает в топливные элементы (см. рис. 1). Выходное напряжение повышается и стабилизируется DC/DC-преобразователем.

Концепция разработки портативных источников тока основывается на следующих положениях [1–8]:

- наиболее экологически безопасными являются ВВТЭ с источником водорода «on demand» (по требованию) из воды восстановлением лёгкими металлами;
- восстановление водорода из воды организуется в АМГВ, встроенном в источник тока и соизмеримом с остальными компонентами устройства;
- основным элементом АМГВ является безопасный при хранении, легко сменяемый и дешёвый картридж, содержащий необходимое количество алюминия и воды;
- картридж должен иметь минимальный объём, быть надёжным и простым в эксплуатации;

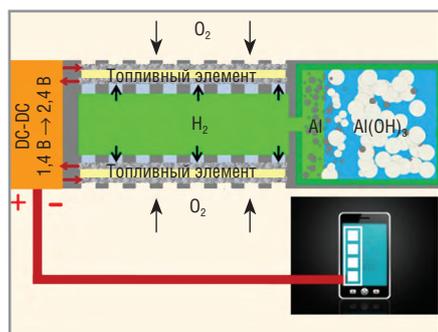


Рис. 1. Схема работы источника питания

- производство необходимого количества водорода должно осуществляться, главным образом, в момент его потребления и являться безопасным для здоровья человека процессом по используемым исходным реагентам и продуктам реакции;
- для портативных источников тока оптимально использование ВВТЭ с твёрдым полимерным электролитом, что позволяет добиться компактности устройства и удобства его эксплуатации (нет необходимости в поддержании высокой температуры или использовании жидких электролитов, как в случае твердооксидных, фосфорнокислых или щелочных ТЭ);
- дизайн устройства должен предусматривать возможность естественной конвекции воздушных электродов топливного элемента, чтобы не было необходимости в использовании вентиляторов или насосов («свободнодышащие катоды»);
- габариты и общее число ВВТЭ должно определяться мощностью потребителя и минимально необходимым напряжением, обеспе-

чивающим высокий КПД его преобразования;

- согласование суммарного напряжения ТЭ с потребителем производится с помощью компактного электронного преобразователя напряжения (DC/DC-преобразователя).

Из уравнения реакции (1) следует, что массовая доля водорода относительно массы смеси алюминия и воды составляет 3,7%. Если суммарная масса реагентов (масса алюминия и воды) равна  $M_p$ , то масса получаемого водорода составит  $M_p \times 0,037$ . Водород при окислении даёт 120 МДж/кг (LHV, низшая теплота сгорания). КПД ТЭ, преобразующего энергию окисления водорода в электрическую энергию, около 40% (относительно LHV).

Если обозначим массу всего устройства  $M_y$ , массу деталей генератора водорода  $M_p$ , а массу ТЭ  $M_{тэ}$  ( $M_y = M_p + M_{тэ}$ ), то максимальная удельная энергоёмкость системы «алюминий – водород – топливный элемент» составит:

$$\begin{aligned} (0,037M_p \times 0,4 \times 120) / M_y &= \\ = 1,776 \text{ МДж/кг} \times M_p / M_y &= \\ = 493 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг} \times M_p / M_y & \end{aligned}$$

В предельном случае, когда масса реагентов, запасённых в устройстве, много больше массы топливного элемента и деталей генератора, удельная энергоёмкость стремится к 493 Вт·ч/кг. Энергоёмкость литий-ионных батарей составляет 110...180 Вт·ч/кг. Очевидно, что предлагаемая схема источников тока потенциально имеет преимущество по энергоёмкости перед существующими аккумуляторами. По сравнению с источниками тока на метанольных и боргидридных ТЭ, алюмо-водородная схема представляется более безопасной для гражданского применения.

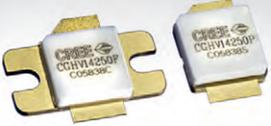
### РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПОВ АМГВ И ИСТОЧНИКОВ ТОКА

МГВ представляет собой устройство, состоящее из картриджа и ответной части, закреплённой на стеке топливных элементов. Картридж состоит из контейнера с водой и контейнера с водород-генерирующим веществом (активированным алюминием), помещённых в герметичный корпус (см. рис. 2). Корпус герметизирован плёнкой, снимаемой перед использова-



## Новое поколение GaN транзисторов

# CREE

 <p><b>CGHV14250</b>                      Диапазон частот: 1200-1400 МГц                      Мощность: 250 Вт                      Коэффициент усиления: 18 дБ</p>	 <p><b>CGHV14500</b>                      Диапазон частот: 1200-1400 МГц                      Мощность: 500 Вт                      Коэффициент усиления: 17 дБ</p>	 <p><b>CGHV35150</b>                      Диапазон частот: 2900-3500 МГц                      Мощность: 150 Вт                      Коэффициент усиления: 13,5 дБ</p>
--	--	--

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ CREE (MICROWAVE)**



**ProCHIP**  
POWERED BY ProSOFT

**Активный компонент вашего бизнеса**

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU

Реклама

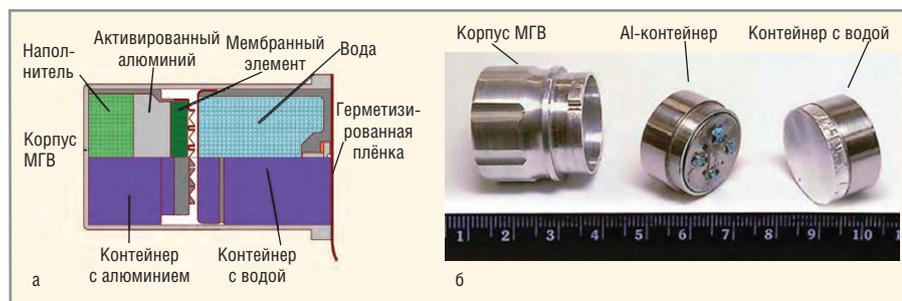


Рис. 2. Устройство алюмо-водного картриджа: а – схема, б – составные части

нием картриджа. Вода находится в специальных влаговпитывающих материалах, расположенных в контейнере. Активированный алюминий находится в виде порошка. Обе части разделены мембранным элементом, имеющим заданную пористую структуру. На пути выхода водорода расположены водоудерживающие сепараторы для удерживания конденсата, уносимого из картриджа вместе с водородом.

В режиме хранения контейнеры с реагентами разделены специальной влагонепроницаемой перегородкой во избежание контакта алюминия с водой или её парами. При установке картриджа в источник тока контейнер с водой вдавливается внутрь картриджа, перегородка разрывается, и вода начинает поступать к реагенту с определённой скоростью, которая и определяет производительность АМГВ. Скорость поступления воды определяется разностью потенциалов массопереноса (в простейшем случае, разностью капиллярных давлений) пористых сред в обеих частях картриджа. Она зависит от давления сжатия, длины пути воды, пористой структуры и площади открытой поверхности мембраны (площади контакта), температуры и других факторов. После приведения в контакт воды и реагента начинается реакция окисления алюминия, и выделяется водород.

Номинальная скорость выделения водорода задаётся конструктивно (площадью контакта, введением влагопроводящих компонентов и другими элементами конструкции). Однако первоначальная скорость образования водорода всегда оказывается выше номинальной за счёт первой порции воды, попадающей в активную массу при сжатии. Образующийся при этом водород с повышенным давлением обеспечивает первичную продувку водородом ВВТЭ, необходимую для удаления воздуха из рабочих полостей при запуске источника тока.

За счёт мембранного элемента в АМГВ реализована способность к авторегулированию. При отсутствии потребления водорода его давление в алюминиевом контейнере повышается и выдавливает из него воду. Вода сохраняется в порах мембранного элемента, но перестаёт поступать к алюминию за счёт капиллярных сил. Причём, в случае мембраны с большим давлением точки пузырька, водород не проходит через мембрану насквозь в контейнер с водой и остаётся запёртым в зоне реакции. По мере истощения остатков воды в активной зоне реакция останавливается и рост давления водорода прекращается.

Важнейшими выходными характеристиками АМГВ являются его номинальная производительность и энергоёмкость. Производительность АМГВ задаётся требуемой мощностью источника тока и должна быть на уровне 11...15 мл/Вт·мин, в зависимости от напряжения и КПД топливного элемента. Энергоёмкость МГВ регулируется количеством закладываемого в картридж алюминия и составляет 1,3...1,8 Вт·ч/г алюминия, т.е. также зависит от эффективности работы ТЭ. Например, для зарядки полностью разряженного аккумулятора мобильного телефона требуется 3...4 Вт·ч, т.е. картридж должен содержать 2...3 г Al.

Производительность АМГВ (скорость выделения водорода) в ходе работы показана на рисунке 3. В картридж закладывалось 1 г активированного алюминия и 4 мл дистиллированной воды. В начале реакции скорость возрастает, что связано с поступлением первой порции воды в зону реакции. Затем наблюдается равномерная скорость выделения водорода в течение двух часов (в среднем 15 мл/мин), что достаточно для питания ВВТЭ мощностью 1 Вт. Постоянная скорость выделения водорода обеспечивается специальным мембранным элементом, имеющим пористую структуру и пропускающим воду с определённой скоростью.

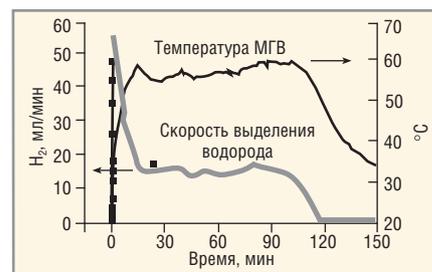


Рис. 3. Изменение параметров источника питания в процессе работы

По стехиометрии реакции (1) на 1 г алюминия требуется 2 г воды. Однако реально часть воды расходуется не на реакцию, а впитывается в продукты реакции, задерживается в пористых материалах, испаряется вместе с отходящим водородом. Поэтому требуется закладывать большее количество воды, чем по стехиометрии. Экспериментально было установлено, что в принятой конструкции на 1 г алюминия требуется 4 г воды. Исследование баланса воды показало, что около 5% воды уносится с водородом, 50% идёт на реакцию и около 45% воды впитывается в продукты реакции и остаётся в пористых материалах картриджа.

На основе вышеприведённой концепции были разработаны экспериментальные образцы источников тока, включающие АМГВ и батарею ВВТЭ (см. рис. 4а). Для повышения эффективности его работы в экспериментальные образцы был введён металлгидридный буферный накопитель водорода (БНВ), который поглощает водород при его избыточном выделении из АМГВ и отдаёт его при недостатке водорода для питания ВВТЭ. При согласованности скорости производства водорода в АМГВ и его потребления в ТЭ, в буферном накопителе нет жёсткой необходимости, однако он может повысить общую эффективность устройства. В этом случае источник тока состоит из АМГВ, стека ВВТЭ, металлгидридного БНВ и DC/DC-преобразователя (см. рис. 4б). Для коммерческой реализации зарядного устройства был доработан его дизайн и изготовлена концепт-модель HandyPOWER мощностью 5 Вт, подключаемая к гаджетам через USB-разъём (см. рис. 5). Маленький корпус представляет собой запасной картридж (алюминий с водой).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показывают перспективность концепции создания компактных источников тока ново-



Рис. 4. Источник тока на базе МГВ и ВВТЗ: а – с 7 ТЭ, б – дополненный БНВ с DC/DC-преобразователем

го поколения на основе алюмо-водных генераторов водорода и водородно-воздушных топливных элементов с твёрдым полимерным электролитом.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Sokolnikov E.I., Vlaskin M.S., Ilyukhin A.S. et al.* 2 W Power Source Based on Air-Hydrogen PEM FCs and Water-Aluminum Hydrogen Micro-Generator. *Journal of Power Sources*. 2008. V. 185. I. 2. P. 967–972.  
 2. *Шейндлин А.Е., Школьников Е.И., Пармузина А.В. и др.* Микрогенераторы водорода на основе окисления алюминия водой для портативных источников тока. *Известия РАН. Энергетика*. 2008. № 3. С. 28–35.

3. *Янилкин И.В., Школьников Е.И., Клямкин С.Н. и др.* Комбинированная система питания топливных элементов на основе алюмо-водного генератора и металлгидридного накопителя водорода. *Известия РАН. Энергетика*. 2010. № 1. С. 85–95.  
 4. *Школьников Е.И., Жук А.З., Булычёв Б.М. и др.* Окисление алюминия водой для эффективного производства электроэнергии. *Москва: Наука*. 2012. С. 173.  
 5. *Ilyukhina A.V., Ilyukhin A.S., Sokolnikov E.I.* Hydrogen generation from water by means of activated aluminum. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012. V. 37. I. 21. P. 16382–16387.



Рис. 5. Концепт-модель источника тока HandyPOWER мощностью 5 Вт; маленький корпус – запасной картридж (алюминий с водой)

6. Патент РФ № 69681. Школьников Е.И., Пармузина А.В., Григоренко А.В., Янушко С.А., Тарасова С.А. Генератор водорода для автономного источника питания топливных элементов. 2008.  
 7. Патент РФ № 72360. Школьников Е.И., Булычёв Б.М., Кравченко О.В., Пармузина А.В., Григоренко А.В., Янушко С.А., Тарасова С.А. Генератор водорода для автономного источника питания на топливных элементах. 2008.  
 8. Патент РФ № 87573. Школьников Е.И., Янилкин И.В., Булычёв Б.М., Клямкин С.Н., Кравченко О.В., Пармузина А.В., Влашкин М.С. Генератор водорода для автономного источника питания на топливных элементах. 2009. ©

# НИ БАЙТА ВРАГУ!

**ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ НАКОПИТЕЛИ для ответственных применений**

**Безопасность**

- Быстрое стирание данных QErase
- Уничтожение данных SErase
- Защита от записи

**Производительность**

- Скорость чтения до 200 Мбайт/с
- Скорость записи до 170 Мбайт/с
- Интерфейсы PATA и SATA

**Надёжность**

- Расширенный диапазон температур -40...+85°C
- Конформное покрытие

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ INNODISK**

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

# Программно-аппаратные методы повышения радиационной стойкости микросхем SRAM ПЛИС

Алексей Соколов (Москва)

В статье рассматриваются алгоритмы повышения радиационной стойкости микросхем SRAM ПЛИС. Дан сравнительный анализ различных программных подходов к повышению радиационной стойкости этих ИС.

Микросхемы ПЛИС в качестве компонентной базы космических аппаратов (КА) используются уже более десятилетия. На основе ПЛИС создаются высокопроизводительные бортовые системы, в том числе для цифровой обработки изображений перед отправкой на землю, радиоинтерфейсы транспондеров телекоммуникационных спутников, блоки обработки данных, поступающих с научного оборудования КА и т.д.

Ещё одна важная сфера применения ПЛИС – это бортовые компьютеры малых космических аппаратов и микроспутников. Для вышеуказанных типов КА важен баланс размеров системы и её производительности.

Целесообразность широкого применения микросхем ПЛИС обусловлена следующими факторами:

- возможностью реконфигурации ПЛИС под новый функционал в случае изменения задач КА;

- возможностью улучшения алгоритмов, реализованных в ПЛИС, во время пребывания аппарата на орбите;
- продлением срока службы КА за счёт добавления новых функций;
- параллелизмом вычислений;
- значительным прогрессом в технологии производства ПЛИС (см. рис. 1), который позволил создать микросхемы с большим числом логических вентилей и быстродействием.

Широкий спектр возможностей и совокупность впечатляющих характеристик привели к тому, что микросхемы ПЛИС стали уверенно занимать нишу заказных микросхем в составе элементной базы космических систем различного назначения (см. рис. 2).

Согласно типам конфигурационных ячеек микросхемы ПЛИС делятся на три группы:

- 1) на основе SRAM (статического ОЗУ), где конфигурационная ячейка выполнена на 6 МОП-транзисторах;
- 2) на основе восстанавливаемых перемычек Antifuse, где в качестве средства конфигурации ячейки используется проводящая перемычка между слоем металла/поликремния и кремниевой подложкой, образующаяся в момент подачи напряжения на ПЛИС;
- 3) на основе флэш-памяти (электрически перепрограммируемого ЗУ) с двумя МОП-транзисторами, формирующими конфигурационную ячейку.

В таблице представлены основные характеристики ПЛИС каждого типа.

С точки зрения проектировщика бортовых систем КА, микросхемы SRAM ПЛИС имеют несколько ключевых преимуществ перед другими типами ПЛИС:

- самая высокая тактовая частота – означает возможность реализации производительных компьютерных систем КА;
- высокая логическая ёмкость, позволяющая реализовать структурно сложные и ресурсоёмкие алгоритмы;
- высокая скорость перепрограммирования (реконфигурации).

К недостаткам SRAM ПЛИС следует отнести меньшую радиационную

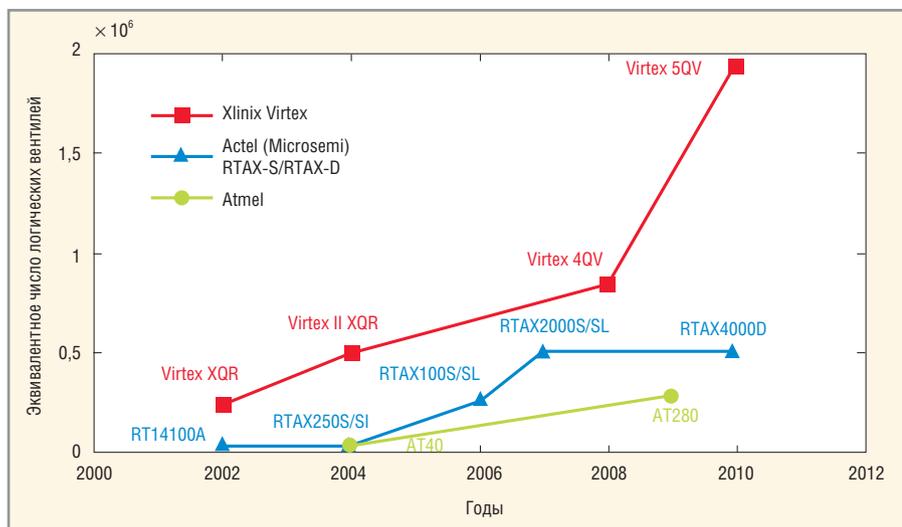


Рис. 1. Рост производительности микросхем ПЛИС [1]

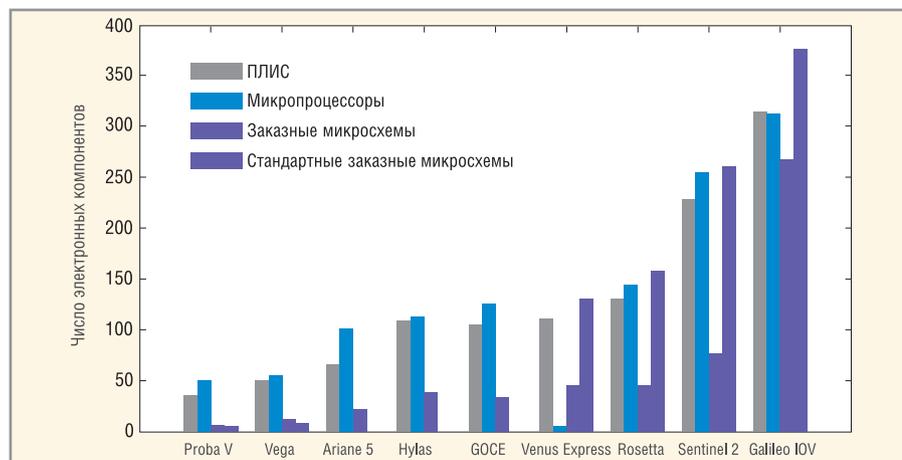


Рис. 2. Использование микросхем ПЛИС в проектах ЕКА/ЕСА [2]

# СДЕЛАНО В РОССИИ!

Тел.: (495) 721-85-00  
Факс: (495) 721-86-00  
E-mail: info@ptkgroup.ru  
www.ptkgroup.ru



## Разработка и производство

электрифицированных систем и их компонентов:

-  Провода;
-  Экранирующие плетёнки;
-  Электрические соединители;
-  Элементы крепления и монтажа жгутов;
-  Электрические жгуты;
-  ВЧ, СВЧ кабельные сборки;
-  Оптические кабельные сборки;
-  Линии передачи информации мультимплексного канала информационного обмена (ЛПИ МКИО);
-  Светотехническое оборудование;
-  Контрольно-проверочная аппаратура и тестирующие комплексы.



Реклама





Рис. 3. Схема полного скраббинга для микросхем SRAM ПЛИС

стойкость в сравнении с микросхемами Antifuse и флэш-ПЛИС. Однако гибкий функционал, предоставляемый разработчику микросхемами SRAM ПЛИС, позволяет на программно-аппаратном уровне повысить радиационную стойкость и предотвратить накопление ошибок в блоках конфигурационной памяти логики микросхемы, вызванных воздействием ионизирующих излучений. Обзору методов, повышающих радиационную стойкость микросхем SRAM ПЛИС, и посвящена настоящая статья.

Производителями микросхем SRAM ПЛИС проделана большая работа по улучшению характеристик радиационной стойкости микросхем на аппаратном уровне: для этого используются специальные схемотехнические решения для ячеек памяти SRAM, тройное резервирование особо чувствительных к радиационным воздействиям функциональных блоков микросхем, а также специальные технологические процессы при их производстве.

Под воздействием ионизирующих излучений космического пространства в SRAM ПЛИС (семейство Virtex) одиночные сбои проявляют себя на

уровне приложений (функциональные элементы памяти, на которых реализована пользовательская конфигурация ПЛИС), а также на конфигурационном уровне – логических ресурсов и трассировочных матриц. Одиночные сбои на конфигурационном уровне являются постоянными во времени и сохраняются до тех пор, пока не будет осуществлена реконфигурация системы. Примером может служить функциональный сбой конфигурационной логики, который исправляется перезагрузкой ПЛИС.

Для борьбы с проявлениями одиночных сбоев используется метод полной реконфигурации (скраббинга). Суть полной реконфигурации микросхемы состоит в следующем: внешний скраб-контроллер периодически полностью обновляет конфигурационную память SRAM ПЛИС, загружая так называемую эталонную конфигурацию из энергонезависимой памяти (см. рис. 3). Главным минусом такого подхода является неработоспособность системы во время процесса загрузки «эталонной конфигурации».

Для устранения недостатков полного скраббинга была выдвинута концепция частичного скраббинга.

Частичный скраббинг (т.н. скраббинг открытого типа) представляет собой периодический процесс по-фреймового обновления конфигурационной памяти. Преимуществом такого подхода является простота реализации. Следует подчеркнуть, что внешний контроллер не детектирует момент возникновения единичного (SEU) или функционального сбоя (SEFI).

Существенным недостатком скраббинга открытого типа является то, что не всегда возможно синхронизировать частоту обновления фреймов конфигурационной памяти (путём загрузки из внешнего контроллера) с частотой проявления сбоев, связанных с радиационными воздействиями.

Для улучшения способности детектирования ошибок в конфигурационной памяти используется схема скраббинга закрытого типа, временная диаграмма которого представлена на рисунке 4. В момент времени  $t_0$  скраб-контроллер считывает фрейм  $i, j$ , затем проверяет его на ошибку (в момент времени  $t_1$ ), в случае отсутствия ошибки контроллер переходит к фрейму  $i + 1, j + 1$  в момент времени  $t_2$ . Детектирование ошибки в текущем фрейме запускает процедуру загрузки эталонного фрейма. Пример применения схемы закрытого скраббинга представлен на рисунке 5.

В среде разработки создаётся конфигурация ПЛИС, а также система детектирования и исправления ошибок, вызванных одиночными сбоями. Для начальной конфигурации генерируются коды EDAC (коды обнаружения и исправления ошибок), затем конфигурация ПЛИС, система детектирования и исправления ошибок. После чего сге-

Таблица сравнительных характеристик микросхем ПЛИС

Характеристики	SRAM		Antifuse		Flash
	Xilinx Virtex-5QV	ATMEL AT/ATF	Microsemi RTAX-S	Aeroflex Eclipse	Microsemi RT ProASIC3
Число логических вентиляей	1М	40к...450к	30к...500к	320к	3М
Тактовая частота	450 МГц	20...70 МГц	≤ 350 МГц	120 МГц	250...350 МГц
Возможность перепрограммирования	Есть		Нет		Есть
Скорость перепрограммирования	Высокая		–		В 3 раза медленнее, чем SRAM
Энергонезависимость	Нет		Да		Да
Требуется ли внешний конфигурационный файл	Да		Нет		Нет
Быстрая загрузка при подаче питания	Нет		Да		
Размер конфигурационной ячейки	Большой (6 транзисторов)		Маленький		Средний (2 транзистора)
Показатели радиационной стойкости	Среднее		Низкое		Среднее
Накопленная доза	1 Мрад	> 300 крад	300 крад	300 крад	300 крад
SEU, 1/бит·день	$3,8 \times 10^{-10}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-10}$		
SEU to LETth (ЛПЭ), пороговые значения единичных ошибок, МэВ·см <sup>2</sup> /мг			> 37	> 42 (триггеры) > 64 (SRAM блоки)	> 6 (триггеры D-типа) > 1 (SRAM блоки)
SEL, пороговые значения радиационного защёлкивания, МэВ·см <sup>2</sup> /мг	> 100	> 80	> 117	> 120	> 68

нерированные коды EDAC загружаются в ПЛИС. Система детектирования и исправления ошибок использует ICAP-порт. На рисунке 6 представлен процесс исправления ошибок во фреймах конфигурационной памяти.

Сама система детектирования и исправления ошибок реализуется на одном из языков описания аппаратной части СБИС (например, Verilog). Последняя, в свою очередь, может быть реализована как «внутри» ПЛИС, так и во внешнем скраб-контроллере.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программные методы повышения радиационной стойкости целого класса микросхем SRAM ПЛИС – сравнительное новое направление в практике обеспечения радиационной стойкости электрорадиоизделий (ЭРИ). Развитие и совершенствование программных методов позволяет в полной мере использовать возможности, заложенные разработчиками SRAM ПЛИС, для создания систем КА. Кроме того, применение программных методов позволяет уменьшить стоимость проекта космического аппарата.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Codinachs D.M.* Overview of FPGA activities in the European Space Agency. ESA Report.
2. *Gardenyevs R.B.* Trends and patterns of ASIC and FPGA use in European space missions. TU Delft Thesis. 2013.
3. Xilinx. Space-grade Virtex-5QV FPGA. [www.xilinx.com/products/silicon-devices/fpga/virtex-5qv/index.htm](http://www.xilinx.com/products/silicon-devices/fpga/virtex-5qv/index.htm).
4. Atmel. ATF280F Rad-Hard Reprogrammable FPGA Datasheet.
5. Microsemi. RTAX-S/SL FPGAs. [www.microsemi.com/fpga-soc/radtolerant-fpgas/rtax-s-sl](http://www.microsemi.com/fpga-soc/radtolerant-fpgas/rtax-s-sl).
6. Aeroflex. UT6325 RadTol Eclipse FPGA Datasheet.
7. Microsemi. RT ProASIC3 FPGAs. [www.microsemi.com/fpga-soc/radtolerant-fpgas/rt-proasic3](http://www.microsemi.com/fpga-soc/radtolerant-fpgas/rt-proasic3).
8. Xilinx. Radiation Effects & Mitigation Overview.
9. *I. Herrera Alzu.* Self-reference Scrubber for TMR Systems Based on Xilinx Virtex FPGAs. Integrated Circuit and System Design. Power and Timing Modeling, Optimization, and Simulation Lecture Notes in Computer Science. Vol. 6951. 2011.
10. *Lanuzza M.* An Efficient and Low-Cost Design Methodology to Improve SRAM-Based FPGA Robustness in Space and Avionics Applications. ARC '09 Proceedings of the 5th International Workshop on Reconfigurable Computing: Architectures, Tools and Applications. 2009.

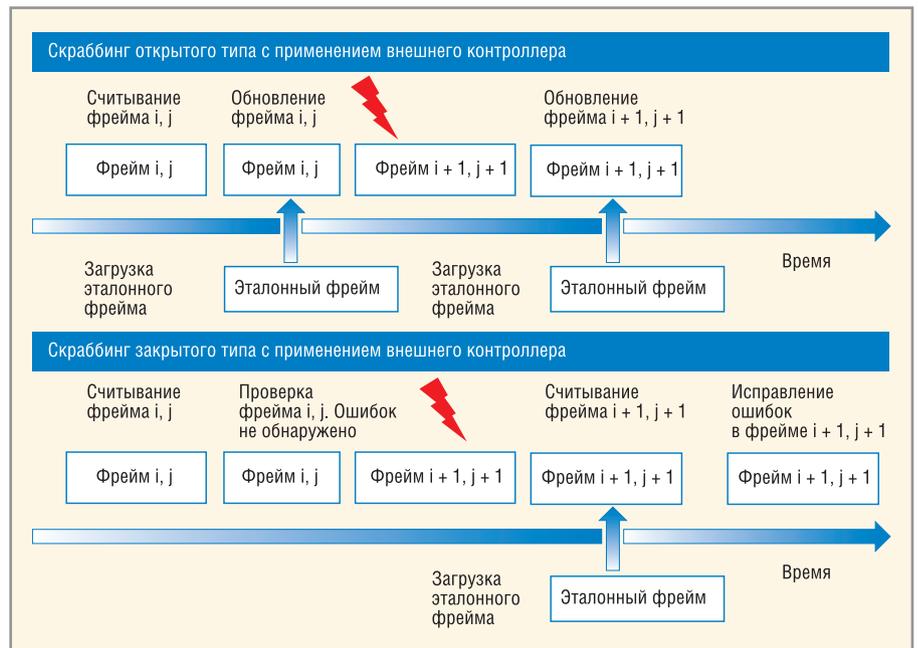


Рис. 4. Скраббинг открытого и закрытого типов

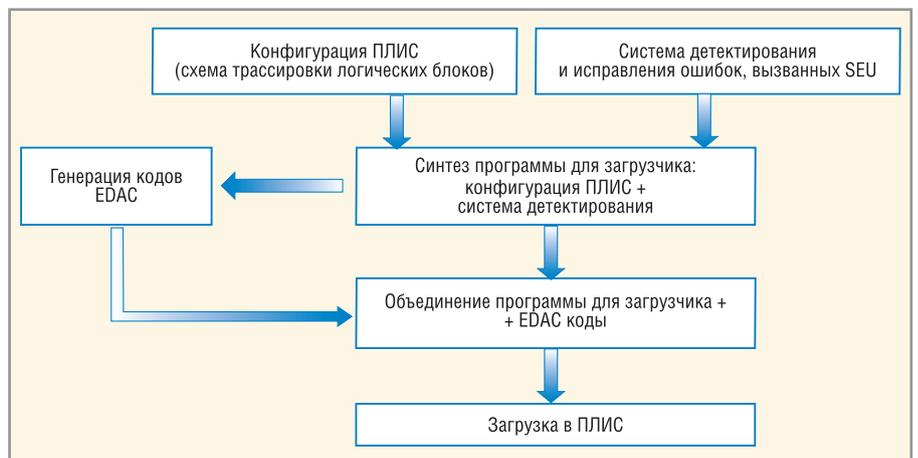


Рис. 5. Скраббинг закрытого типа с применением кодов EDAC

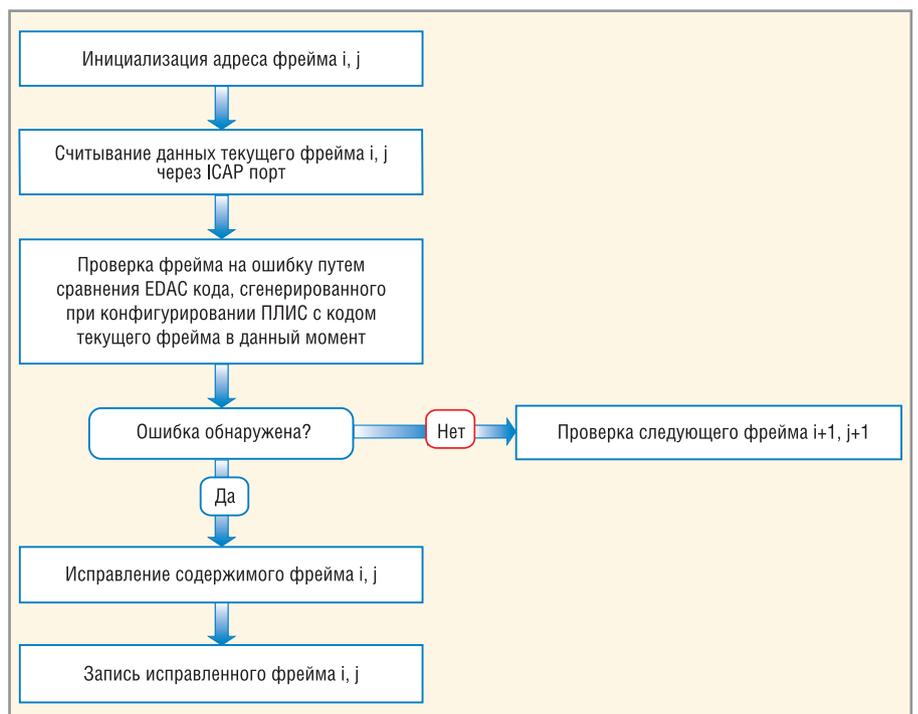


Рис. 6. Алгоритм работы скраббинга закрытого типа

# Рынок встраиваемых компьютерных технологий: встречайте Bay Trail

Сергей Руденко, Александр Ковалёв (Москва)

В статье рассматриваются перспективы использования процессоров компании Intel под кодовым названием Bay Trail на рынке встраиваемых компьютерных технологий.

Серьёзный шаг вперед – именно так большинство экспертов характеризуют микропроцессоры Intel, получившие известность под названием Bay Trail. Системы-на-кристалле серии Atom E3800 – яркий представитель этого поколения. В данной статье попробуем оценить их влияние на рынок встраиваемых компьютерных технологий (ВКТ) – сейчас и в дальнейшем.

В ходе ежегодной февральской выставки Embedded World'2014 в Нюрнберге это влияние было заметно: широкий ассортимент анонсированных изделий на базе процессоров Bay Trail стал «гвоздём программы» форума, который является одним из главных событий года в индустрии ВКТ. Поддержка со стороны производителей аппаратных средств опирается на инженерные свойства, которыми обладают системы-на-кристалле Intel Atom 3800 (см. таблицу). Не зря в англоязычных источниках ещё до официальной

премьеры этих процессоров их стали называть «Game Changer», т.е. источник перемен на рынке, задающий новые правила игры.

## Немного истории

В марте 2008 года корпорация Intel объявила о новом семействе микропроцессоров с пониженным энергопотреблением – Intel Atom. Архитектуры x86 и ARM вступили в фазу конкуренции – вскоре она охватила широкий спектр решений, отличительными особенностями которых являются экономичность, компактность и невысокая цена. Компания Intel ещё не так давно выпускала процессоры на основе архитектуры ARM, но не преуспела в этом, поэтому решила переключиться на более привычный бизнес.

В 2010 году появились модификации Atom, специально разработанные для рынка встраиваемых систем. Эти процессоры (Tunnel Creek и Stellarton) ока-

зались довольно успешными в рыночных сегментах, где не требовалась высокая производительность. Фундаментальными свойствами архитектуры Atom и систем на её основе являются:

- высокая энергоэффективность;
- компактность;
- совместимость со всем спектром программного обеспечения (ПО), разработанного для систем x86;
- длительный цикл коммерческой доступности процессоров (7 лет и более);
- возможность работы в расширенном диапазоне температур;
- низкая стоимость.

Альтернативой микропроцессорам Atom является постоянно совершенствуемая полупроводниковая продукция различных компаний, основанная на архитектуре ARM. Именно на усиление конкурентных преимуществ в секторе бюджетных энергоэффективных решений x86 ориентированы продукты семейства Bay Trail, выпущенные в 2013 году.

## Особенности архитектуры процессоров Bay Trail

Микроархитектуру Silvermont, составляющую основу процессоров Bay Trail, никак не назовёшь очередной эволюционной ступенью в развитии семейства Atom. По масштабу и значимости её можно сравнить, например с микроархитектурой Intel Core, из которой выросли четыре поколения процессоров Intel для высокопроизводительных мобильных и настольных систем. В Silvermont реализован полноценный механизм внеочередного исполнения команд OOE (Out-of-Order Execution), тем самым разорвана связь с семейством Atom с процессорами Pentium (в первоначальном варианте на ядре P5) и Pentium MMX. Ещё одним усовершенствованием является использование графической подсистемы Intel 7-го поколения, заимствованной из процессоров Intel Core 3-го поколения (Ivy Bridge). Прямое следствие такой модернизации – внушительный прирост производительности.

Интегрированная графика – одно из выигрышных свойств процессоров Bay

Технические характеристики процессоров Intel Atom серии E3800

Наименование продукта	Intel Atom E3815	Intel Atom E3825	Intel Atom E3826	Intel Atom E3827	Intel Atom E3845
Конструктив	FCBGA 1170				
Техпроцесс, нм	22				
Количество процессорных ядер	1	2		4	
Тактовая частота процессорного ядра, ГГц	1,46	1,33	1,46	1,75	1,91
Кэш-память L2	512 Кбайт		1 Мбайт		2 Мбайт
Тип и объём поддерживаемой памяти	до 4 Гбайт DDR3L-1067 (1 канала)		до 8 Гбайт DDR3L-1067 (2 канала)		до 8 Гбайт DDR3L-1333 (2 канала)
Поддержка ECC	Да				
Базовая частота графического ядра, МГц	400	533	533	542	542
Пиковая частота графического ядра в режиме Burst Mode, МГц	400	533	667	792	792
Поддержка PCI Express	4 линии PCI Express 2.0				
Поддержка USB	USB 2.0, 3.0				
Поддержка SATA	2 порта SATA II				
Технология Intel VT-x	Да				
Технология Intel 64	Да				
Контроллер Intel HD Audio	Да				
Инструкции AES-NI	Да				
Диапазон допустимых температур (для кристалла процессора)	-40...+110°C				
Требования к теплоотводу (TDP), Вт	5	6	7	8	10
Габаритные размеры, мм	25 × 27				



# МАЛ ТЕЛОМ, ДА ВЕЛИК ДЕЛОМ

Встраиваемые платформы на Intel Atom E38xx (Bay Trail)



COMe-mBT10



CP3010-SA



mITX-E38



pITX-E38

- Интегрированная графика теперь втрое быстрее!
- Лучшая энергоэффективность в отрасли.
- Великолепная производительность.
- Соответствие открытым стандартам.
- Передовые технологии: PCI Express Gen 2, USB 3.0, eDP, ECC.
- Максимальная надежность и соответствие жестким эксплуатационным требованиям: исполнение от 0 до +50 °C и от -40 до +85 °C.
- MTBF от 150 000 часов.

- Расширенная поддержка ОС: Windows/Windows Embedded, Linux, LynxOS, VxWorks, QNX и др.
- Длительный жизненный цикл от 7 лет.
- Конкурентоспособные цены.
- Профессиональная поддержка «РТСофт» и Kontron на всем жизненном цикле вашей системы!

**Используйте готовые комплекты разработчика и тестовые образцы. Закажите тест-драйв!**



средства и системы автоматизации

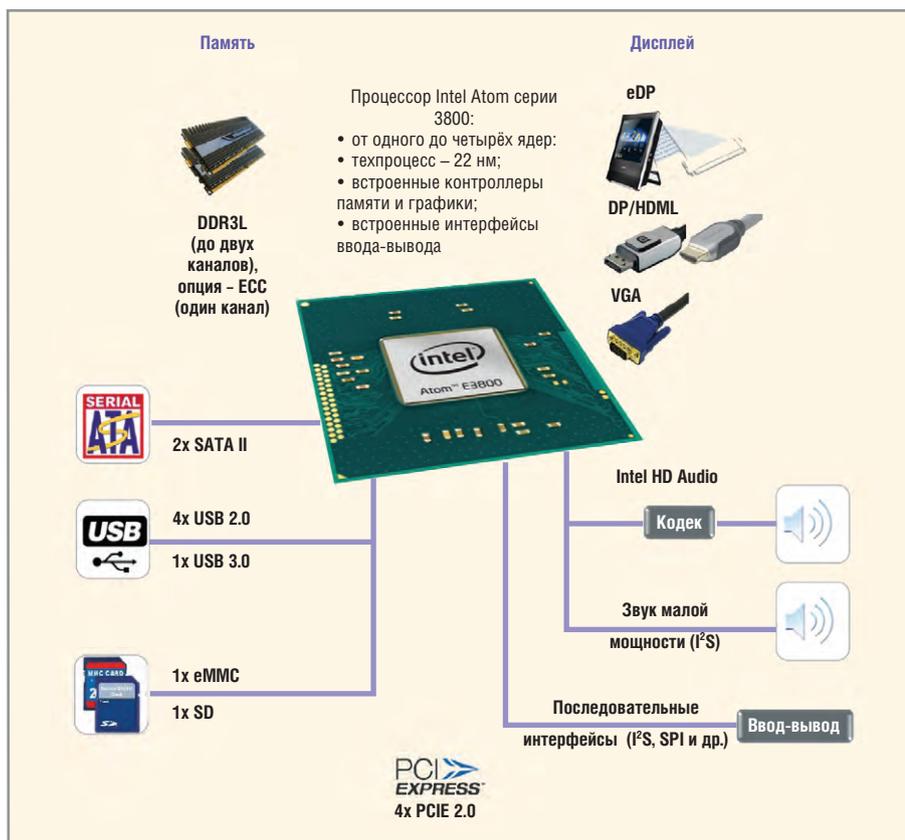


Рис. 1. Функциональная схема платформы встраиваемых систем на основе процессоров Intel Atom серии E3800 (Bay Trail)

Trail, особенно на фоне предыдущего поколения встраиваемых платформ на базе Atom. Вышеупомянутая графическая подсистема Intel 7-го поколения позволяет выводить на экран изображение с разрешением вплоть до 2560 × 1600 (при частоте кадров 60 Гц), допускает одновременное воспроизведение двух независимых видеопотоков и включает аппаратную поддержку графических интерфейсов DirectX 11 и OpenGL 4.0, а также ряда популярных видеокодеков. Это актуально для разработчиков промышленных АСУ, систем видеонаблюдения, медицинского оборудования, цифровых табло, торговых автоматов, интерактивных информационных киосков, кассовых терминалов и других устройств, применяющихся в рекламном бизнесе и розничной торговле.

Немаловажным фактором является то, что продукты серии Atom E3800 представляют собой однокристальные микросхемы SoC (СнК) с соответствующим набором интегрированных функций, реализация которых потребовала бы дополнительных активных компонентов и, как следствие, большего размера печатных плат. В семействе Atom уже были изделия СнК – Stellarton, которые не пользовались большим успе-

хом на рынке. Но это были микросхемы, состоящие не из одного кристалла, а из двух, смонтированных в одном корпусе.

Однокристальный Bay Trail является простой и удобной в использовании современной малогабаритной встраиваемой платформой (см. рис. 1) с отличным набором поддерживаемых аппаратных и программных интерфейсов, масштабируемой в тех же границах энергопотребления и тепловыделения, которые зафиксированы для предыдущих поколений Intel Atom. Следовательно, при проектировании систем с качественно новым уровнем функциональности и производительности разработчики могут опираться на опыт проектирования устройств охлаждения для платформы Intel Atom. В частности, можно отметить, что процессоры Bay Trail идеально подходят для создания устройств, выполняющих функции человеко-машинного интерфейса – НМІ (Human Machine Interface). Примером является бортовой компьютер «РТКон» компании «РТСофт», предназначенный для широкого спектра ответственных задач в промышленности, энергетике, оборонном комплексе, на транспорте и т. д. Эта защи-

щённая НМІ-платформа может быстро и недорого адаптироваться для конкретных приложений.

## НА ПУТИ К РЕКОРДАМ

По имеющимся протоколам испытаний встраиваемых процессоров серии Atom E3800 складывается однозначная картина: Bay Trail убедительно превосходит своих предшественников (серию Atom E600), особенно в графических тестах (см. рис. 2 – рис. 4).

Сравнивать Bay Trail с процессорами на ядре ARM – дело неблагодарное, поскольку архитектурные различия затрудняют выработку и унификацию тестовых методик. Однако промышленная система на основе Intel Atom серии E3800 может обрабатывать и воспроизводить видеопотоки высокого разрешения в реальном масштабе времени, и во многих случаях платформа Bay Trail оказывается вполне адекватной сложности решаемых задач за вполне приемлемую цену.

## МАКСИМАЛЬНАЯ СВОБОДА ВЫБОРА СИСТЕМНОГО ПО

Исторически так сложилось, что архитектура x86 всегда может дать фору любой альтернативной аппаратной платформе по части совместимости с программным обеспечением и средствами разработки. В случае с Bay Trail потребовалось выполнить огромный объём работ для обеспечения этой совместимости. Написание и отладка драйверов, библиотек и прочего необходимого инструментария для различных ОС были начаты задолго до официальной премьеры серии Intel Atom E3800. Имея возможность следить за ходом процесса, можно было проследить как меняется программный «интерьер» готовящейся к запуску платформы – от альфа-версий для внутреннего тестирования – через публичные бета-версии – к стабильным релизам.

В итоге получилась платформа, для которой гарантирована поддержка самых популярных ОС, существующих на рынке встраиваемых решений. Это – классическая «открытая дверь» для тех разработчиков, которые хотели бы располагать наибольшей свободой выбора в области системного ПО. Во-первых, обеспечена полная «боеготовность» к разработке встраиваемых решений под управлением современных ОС семейства Windows. Во-вторых, гарантирована поддержка популярных кло-

нов ОС Linux. И, наконец, список был бы неполным без ОС реального времени – QNX, VxWorks и др.

«Билет в будущее»

С модной аббревиатурой IoT, что расшифровывается как Internet of Things, процессоры Atom E3800 неразрывно связаны со дня официальной премьеры. По-прежнему не выработано чёткого определения, что такое этот самый «Интернет вещей». Каждый может сравнить тракторки, выбрать ту, что ему ближе, или придумать собственную. Растущий рынок ждёт реальных дел. Именно такой, сугубо материалистический, подход адресуют разработчикам встраиваемых решений корпорация Intel и её многочисленные партнёры.

«Интернету вещей» требуется множество новых и умных вещей. Их кардинальное отличие от привычных вещей, окружавших нас раньше, состоит именно в интеллекте, который в них встроен. Хотите, чтобы ваши продукты стали частью этой «формирующейся Вселенной»? Вот вам «входной билет» – платформа Bay Trail. Она для тех, кто хочет делать вещи умными, способными генерировать данные, анализировать их, обмениваться ими с другими вещами. Или, если хотите, это архитектурный фундамент для принципиально нового поколения компактных встраиваемых решений – не просто подключаемых к сетевым средам, а реализующих концепцию M2M (Machine-to-Machine), т.е. межмашинного взаимодействия. А ещё – удобный и надёжный способ перенести на эти решения программный интеллект, ранее требовавший производительности уровня настольных систем.

Без лишнего риска

Архитектурные достоинства и графические возможности Bay Trail, бесспорно, «согреют душу» многим разработчикам. Но не будем забывать, что все пять моделей серии Intel Atom E3800 штатно выпускаются с расчётом на эксплуатацию в диапазоне рабочих температур от –40 до +110°C, а заявленные для них базовые сроки доступности, по уже сложившейся традиции, составляют семь лет.

Эти шаги – ключ к дальнейшему расширению сферы применения систем на основе Bay Trail. На первых порах, ведущие производители аппаратных

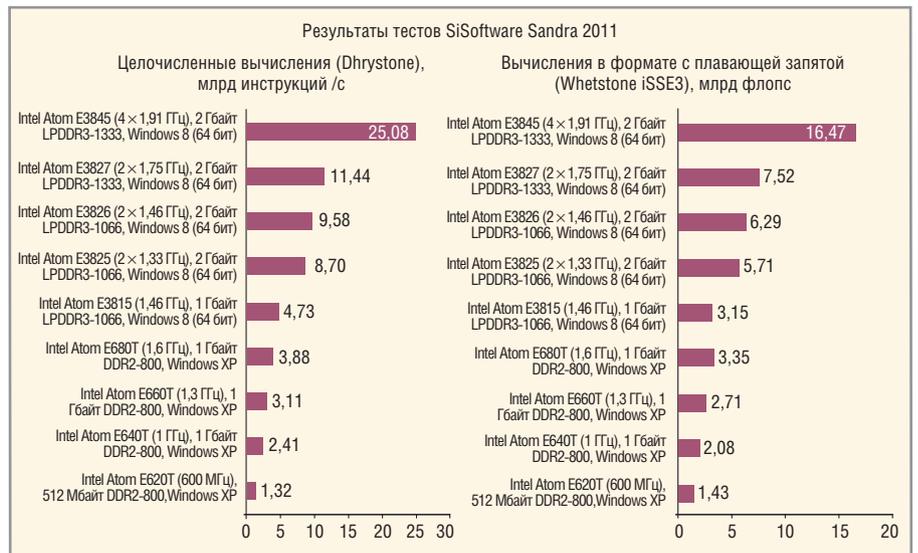


Рис. 2. Сравнение производительности защищённых встраиваемых платформ Kontron на базе модулей COM Express mini с процессорами Intel Atom серий E3800 (Bay Trail) и E600 (Tunnel Creek) по результатам тестов SiSoftware Sandra 2011

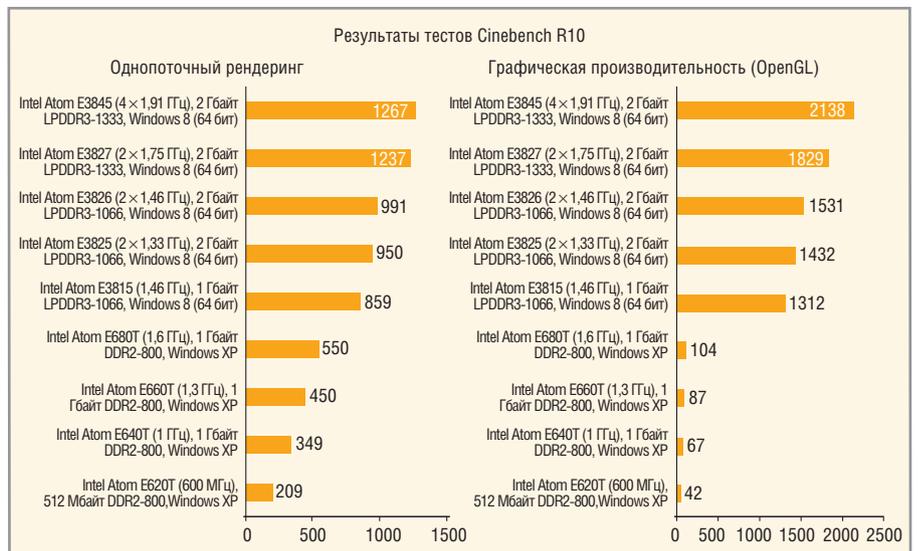


Рис. 3. Сравнение производительности защищённых встраиваемых платформ Kontron на базе модулей COM Express mini с процессорами Intel Atom серий E3800 (Bay Trail) и E600 (Tunnel Creek) по результатам тестов Cinebench R10

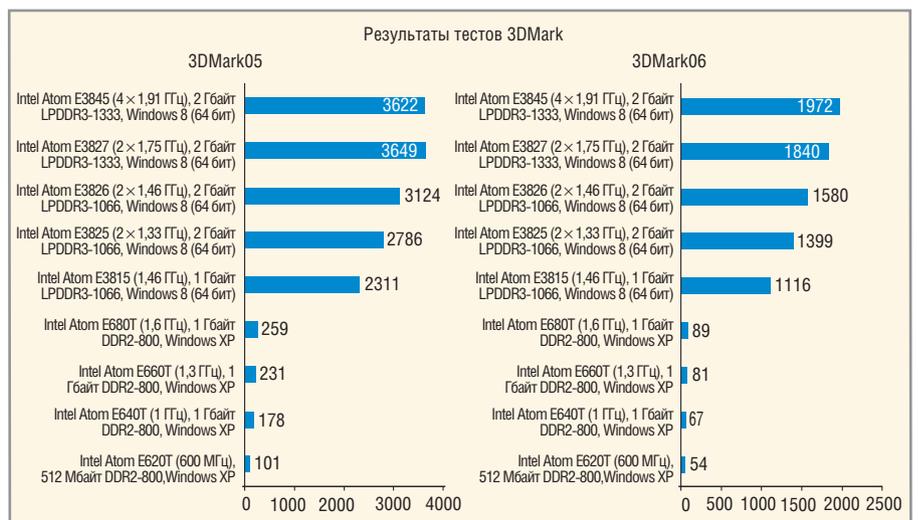


Рис. 4. Сравнение производительности защищённых встраиваемых платформ Kontron на базе модулей COM Express mini с процессорами Intel Atom серий E3800 (Bay Trail) и E600 (Tunnel Creek) по результатам тестов 3DMark



**Рис. 5. Компьютеры-на-модуле серии Kontron SMARC-sXB7i рассчитаны на эксплуатацию при температурах от -40 до +85°C**

средств для встраиваемых решений остановились на сравнительно небольшой номенклатуре продуктов – процессорных платах для систем CompactPCI форм-фактора 3U, малогабаритных материнских платах бюджетного класса (типа Kontron mITX-E38 и rITX-E38), одноплатных решениях в различных стандартах семейства PC/104 и ряде вариаций на тему COM (Computer on Module), или компьютеров на модуле. Разумно, что они начали с тех направлений, где предыдущие поколения процессоров Atom завоевали неплохие позиции.

Гораздо интереснее вопрос: что будет дальше? Свойства и возможности новых процессоров Intel Atom и систем на их основе таковы, что можно прогнозировать тотальный характер их экспансии на рынке ВКТ – не в этом поколении, так в следующем. В первую очередь, это относится к решениям класса Vox PC и различным типам промышленных ПК. Нет сомнений и в том, что волна, поднятая Bay Trail, накрывает практически все стандарты и форм-факторы COM-продуктов. Это касается, в том числе, и стандарта SMARC, зна-

чально ориентированного на архитектуру ARM.

В системах VPX уже проводились эксперименты с созданием процессорных плат на основе Intel Atom. Но по производительности те процессоры серьезно уступали современным приборам. Рынок VPX – сверхконсервативный, с приложениями высочайшей ответственности. Здесь заказчики в первую очередь ценят надёжность и защищённость оборудования, опыт и репутацию его поставщика. Но многократно проверенные временем решения, используемые в оборонном комплексе, атомной энергетике и аэрокосмической отрасли, также нуждаются в модернизации.

Наконец, платформу Bay Trail не могут обойти стороной нестандартные решения. Промышленность, транспорт, телекоммуникации, энергетика, оборонный комплекс и авионика – самые платёжеспособные рынки ВКТ в России. Здесь уже проявили интерес к решениям на основе Bay Trail, и ожидается, что он будет расти.

Фактор стоимости играет не последнюю роль. Одноплатная платформа жёсткого исполнения (с расчётом на эксплуатацию при температурах от -40 до +85°C) на базе процессора Intel Atom серии E3800 при прочих равных условиях будет стоить, как минимум, вдвое дешевле аналогичных систем на основе процессоров Intel Core i7 3-го или 4-го поколений. Да, по производительности она им уступит, но при этом будет на 100% адекватна требованиям многих разработчиков в части минимизации энергопотребления и упрощения схем охлаждения. Это – рациональный выбор.

Не следует недооценивать и фактор длительных сроков доступности про-

дуктов. Семь лет базовой доступности на рынке – великолепный показатель. Поставки, к примеру, недавно дебютировавших на рынке модулей COM Express серий Kontron COMe-cVTi6 (в форм-факторе COM Express compact) и COMe-mVTi10 (COM Express mini), а также SMARC-модулей Kontron SMARC-sXB7i (см. рис. 5) и вышеупомянутых материнских плат Kontron mITX-E38 и rITX-E38 гарантированы до конца 2020 года.

Не будем обсуждать способы, позволяющие удлинить сроки доступности продуктов ВКТ в 2–3 раза по отношению к базовым, как того требуют консервативные рынки (т.е. до 15, 20 и 30 лет). Важно, что такие способы существуют – легальные, сравнительно недорогие и обеспечивающие надёжное качество поставок. Само их наличие ещё больше убеждает в том, что ставка на Bay Trail – это надёжный вариант, не несущий в себе дополнительных рисков для разработчиков.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

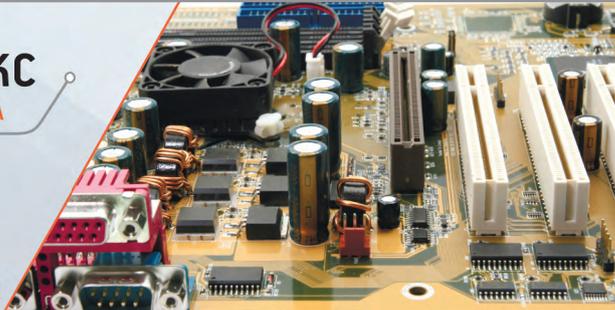
Потенциал предыдущего поколения встраиваемых процессоров Intel Atom (Tunnel Creek и Stellarton) к концу 2013 года был, в сущности, исчерпан, а сами они в значительной степени устарели. Пришедшие им на смену процессоры Bay Trail стали серьёзным шагом вперёд, олицетворяя новый уровень амбиций компании Intel в сегменте встраиваемых решений бюджетного класса с малыми габаритами и низким энергопотреблением. Платформа Bay Trail покрывает широкий спектр встраиваемых решений и обещает разработчикам существенное продвижение в реализации недоступных ранее функциональных возможностей.





## КОМПАС ЭЛЕКТРОНИКС

ВАШ ПРОВОДНИК В МИРЕ ПРОИЗВОДСТВА



- РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА ЭЛЕКТРОННОГО ИЗДЕЛИЯ;
- ПОСТАВКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ЛЮБОЙ СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ;
- ПОСТАВКА КОМПЛЕКТУЮЩИХ;
- ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЖГУТОВ ПРОВОДОВ;
- МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ;

- КОРПУСНАЯ СБОРКА БЛОКОВ И ШКАФОВ;
- РАЗРАБОТКА ТОПОЛОГИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ;
- ЗАЛИВКА И ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ;
- ВНУТРИСХЕМНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ;
- ЕДИНИЧНЫЕ ОБРАЗЦЫ И СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Юридический и почтовый адрес:**  
125565, г. Москва,  
Ленинградское шоссе, д. 92А  
Тел.: +7 (495) 228-47-85

info@kompas-electronics.ru

**Адрес производства:**  
119619, г. Москва,  
ул. Производственная, д. 6, стр. 35  
Тел.: +7 (495) 435-37-83

www.kompas-electronics.ru

Реклама

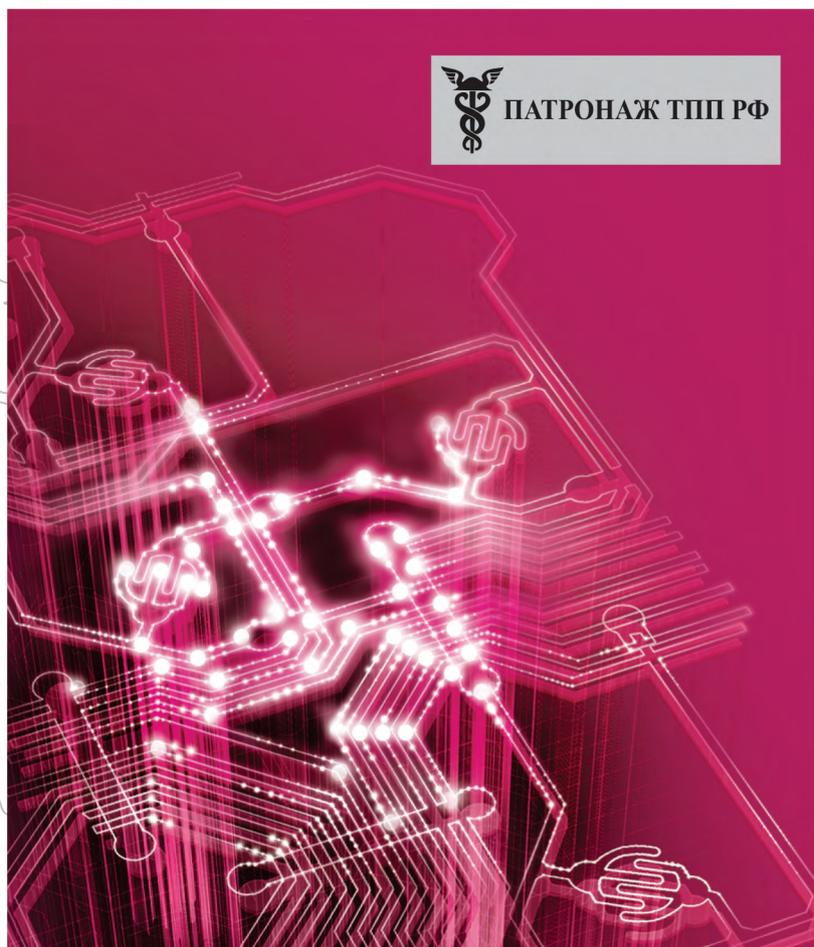


# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



ПАТРОНАЖ ТПП РФ



- Электронные компоненты
- Комплектующие
- Печатные платы
- Светотехника
- Материалы
- Конструктивы
- Технологии
- Промышленное оборудование и инструменты
- Контрольно-измерительные приборы и лабораторное оборудование

Организаторы выставки:



**FareXPO**  
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER



[www.farexpo.ru/radel](http://www.farexpo.ru/radel)  
тел.: +7 (812) 777-04-07

Место проведения: Санкт-Петербург, СКК, пр. Ю. Гагарина, 8, м. «Парк Победы»

**28-30 октября 2014**  
Санкт-Петербург, СКК

# Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: организация памяти

Олег Вальпа (г. Миасс, Челябинская обл.)

В статье приводится описание организации памяти 32-разрядных ARM-микроконтроллеров серии STM32 компании STMicroelectronics. Рассматриваются состав, архитектура и особенности памяти микроконтроллера, а также освещаются некоторые нюансы программирования.

## ВВЕДЕНИЕ

Структура памяти любого микроконтроллера является важной областью при его изучении. Каждый микроконтроллер может иметь определённые особенности в организации памяти. Понимание этих особенностей позволяет успешно программировать и избегать ошибок. Сделаем неболь-

шой экскурс в память микроконтроллера STM32 [1], чтобы легче и лучше было понимать его работу.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПАМЯТИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Адресное пространство микроконтроллера STM32 организовано в виде линейного пространства. Размер это-

го пространства определяется 32-разрядной шиной и может иметь предельное значение  $2^{32} = 4$  Гбайт. Данный размер памяти очень велик и практически используется лишь частично. Неиспользуемые области памяти зарезервированы для новых моделей микроконтроллеров. Наглядное представление карты памяти STM32 представлено на рисунке 1.

Всё адресное пространство микроконтроллера STM32 разделено на 8 блоков по 512 Мбайт, т.е. с интервалом в  $0x20000000$  байт.

Память программ начинается с адреса  $0x00000000$ . В этой области хранятся коды программ пользователя и системная информация. Оперативная память STM32 имеет начальный адрес  $0x20000000$ . Регистры функциональных блоков и устройств ввода-вывода микроконтроллера также отображены в памяти, начиная с адреса  $0x40000000$ . Специальные регистры микроконтроллера находятся в памяти, начиная с адреса  $0xE0000000$ .

Байты 32-разрядных слов организованы в памяти в порядке возрастания. Байт слова с меньшим номером считается самым младшим байтом этого слова, а байт с большим номером – самым старшим.

## Блок начальной загрузки

Первые 2 Кбайт памяти, в зависимости от состояния выводов управления загрузкой, могут быть связаны с флэш-памятью, системной или оперативной памятью.

Микроконтроллеры STM32 имеют 3 различных режима начальной загрузки, которые могут быть выбраны с помощью выводов BOOT0 и BOOT1, как показано в таблице.

Чтобы получить требуемый режим начальной загрузки (см. таблицу), необходимо установить с помощью переключки определённое состояние входов BOOT0 и BOOT1, которое считывается микроконтроллером после сброса.

Кроме того, микроконтроллер считывает состояние входов BOOT0 и BOOT1

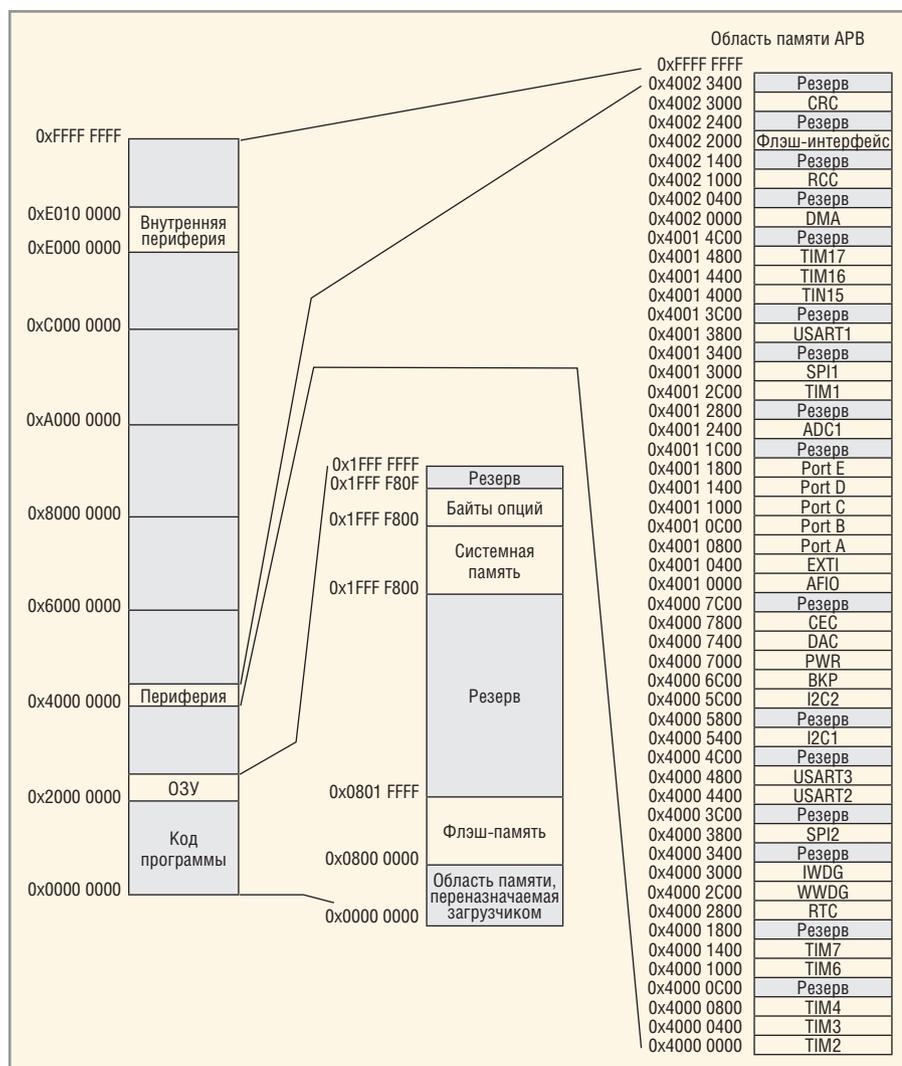


Рис. 1. Карта памяти микроконтроллера STM32

и при выходе из режима ожидания. Поэтому в режиме ожидания выставленные уровни должны удерживаться в состоянии, необходимом для режима загрузки.

Как правило, состояние входов BOOT0 и BOOT1 изменяют перед программированием микроконтроллера для активации внутреннего загрузчика. Затем состояние этих входов переопределяют на чтение памяти программ и не изменяют в течение всего времени работы.

Встроенный загрузчик расположен в системной памяти и программируется фирмой ST при изготовлении продукции. Он используется для перепрограммирования флэш-памяти с помощью одного из доступных последовательных интерфейсов.

### Метод битового объединения

Обычно битовые операции в оперативной памяти микроконтроллеров выполняются с помощью инструкций AND и OR. Для этого необходимо выполнить последовательность таких операций, как чтение, модификация и запись. Использование этого метода требует несколько циклов на выполнение установки или сброса отдельных бит и увеличивает размер программы.

Устранить эти недостатки можно введением новых инструкций для сброса и установки бит, но это приводит к усложнению процессора. В STM32 применён способ, называемый битовым объединением (Bit Banding), который позволяет напрямую воздействовать на биты памяти, не используя при этом новых инструкций. Это реализовано с помощью специальных областей памяти, позволяющих выполнять побитовую адресацию.

Бит-адресуемые области карты памяти STM32 разделены на две части. Первая часть служит для хранения бит и в неё входит до 1 Мбайт физической памяти или регистров устройств ввода-вывода. Вторая часть служит для доступа к битам и занимает до 32 Мбайт памяти. При выполнении операций с областью доступа происходит обращение к фактическим адресам бит в памяти.

Метод битового объединения рассмотрим на примере работы с регистрами портов ввода-вывода GPIO. Для вывода данных в них используется регистр ODR, запись в который производится через операции «чтение-модификация-запись» с использованием 16-раз-

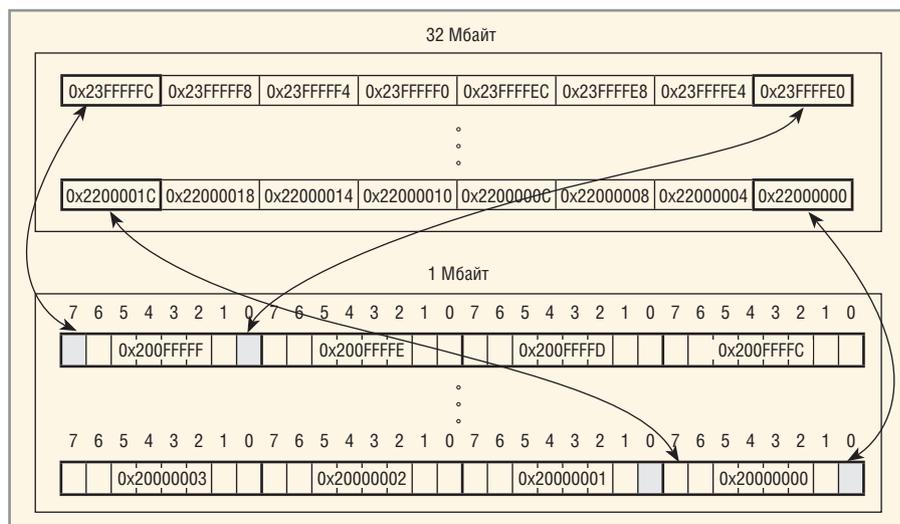


Рис. 2. Схема соответствия областей памяти битового объединения

### Режимы начальной загрузки

Состояние выводов управления		Память	Режим загрузки
BOOT1	BOOT0		
0 или 1	0	Основная флэш-память	Программа пользователя в основной памяти
0	1	Системная память	Встроенный загрузчик системной памяти
1	1	Оперативная память	Программа в оперативной памяти

рядных значений. Но существует и другой способ управления битами этого регистра – с помощью регистра побитовой установки и сброса выводов порта BSRR. Примеры такого управления описаны ранее [2].

Приведём формулу для вычисления адреса слова в области доступа к битам на соответствующий бит в области хранения бит.

$$\text{bit\_word\_addr} = \text{bit\_band\_base} + (\text{byte\_offset} \times 32) + (\text{bit\_number} \times 4),$$

где:

bit\_word\_addr – адрес слова в области доступа к битам, которое отражается на нужный бит;

bit\_band\_base – начальный адрес области доступа к битам;

byte\_offset – номер байта в области хранения бит, который содержит нужный бит;

bit\_number – позиция нужного бита от 0 до 7 в байте.

Следующая формула показывает, как отобразить бит 2 из байта, расположенного в ОЗУ по адресу 0x20000300, на область доступа к битам:

$$\text{bit\_word\_addr} = 0x22000000 + (0x300 \times 32) + (2 \times 4) = 0x22006008.$$

Запись по адресу 0x22006008 будет иметь такой же эффект, что и операция «чтение-изменение-запись» для бита 2 из байта в ОЗУ по адресу 0x20000300.

Чтение по адресу 0x22006008 вернёт значение бита 2 для байта в ОЗУ по адресу 0x20000300 в виде значений

0x01 (если бит установлен) или 0x00 (если бит сброшен).

С помощью макроса можно создать указатель на этот адрес в виде следующей строки:

```
#define PB8 (*(volatile unsigned long *) 0x22006008) // Port B bit 8
```

Данный указатель можно использовать для установки и сброса бита 8 порта В следующим образом:

```
PB8 = 1; // Установить бит 8 в единичное состояние
```

```
PB8 = 0; // Установить бит 8 в нулевое состояние
```

Таким образом, можно воздействовать на значение отдельных бит путём обращения к определённой области памяти микроконтроллера за минимальное количество тактов.

На рисунке 2 наглядно видно соответствие между областью хранения бит размером 1 Мбайт и областью доступа к битам размером 32 Мбайт.

В программах, где часто используется установка и сброс множества бит в регистрах устройств ввода-вывода, использование данного метода позволяет существенно сэкономить размер кода программы и время его выполнения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.st.com>
2. Вальна О. Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: блок резервных данных ВКР. Современная электроника. № 3. 2014.

# Микросхемы для приборов учёта коммунальных услуг

Владимир Ануфриев (Москва)

К микросхемам для приборов учёта коммунальных услуг предъявляется ряд специфических и довольно строгих требований. По этой причине ни один из разработчиков не в состоянии производить полный комплект микросхем для всех возможных применений в этой сфере. В статье рассматриваются сегменты рынка микросхем для приборов учёта, технологические подходы к их реализации и примеры продуктов.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработка микросхем для приборов учёта коммунальных услуг и сбора телеметрической информации превратилась в отдельное направление с определённым набором специфических требований:

- длительность сроков службы – до 15–20 лет непрерывной работы;
- низкое энергопотребление, позволяющее работать без замены автономных источников питания более десяти лет;
- высокие показатели метрологических свойств, позволяющие создавать измерительные системы и приборы коммерческого учёта с погрешностью измерения не более 0,5% в широком диапазоне внешних воздействующих факторов, в том числе в диапазоне температур окружающей среды –40...+65 °С;
- возможность работы в автоматизированных локальных сетях сбора информации.

Исходя из этих требований, при разработке микросхем, особенно их аналоговых узлов, отвечающих за метрологические характеристики, необходимо учитывать факторы старения и дрейфа параметров при эксплуатации, а также необходимость снижения потребления тока и уровня собственных шумов. Следует также принимать во внимание специфику поведения и основные особенности тех физических сред и объектов, параметры которых измеряются. Иными словами, инженеры-разработчики микроэлектроники должны владеть не только технологиями создания микросхем, но и обладать знаниями в смежных областях, касающихся природы физических явлений, происходящих в контролируемых объектах.

Приведённые требования резко ограничивают круг фирм, разрабатываю-

щих микросхемы такого рода. Нередко небольшие коллективы инженеров, хорошо владеющие теми или иными смежными специальностями, создают микросхемы с оптимальными характеристиками для той или иной области применения. Примером такого подхода является компания Chipcon, созданная в 1996 г. учёными из скандинавского Фонда научных и промышленных исследований (SINTEF), а в 2006 г. вошедшая в состав Texas Instruments как самостоятельное подразделение. В 2002 г. Chipcon создала на базе технологии SmartRF 02 первую в мире реально работающую RF-систему-на-кристалле, интегрированную с микроконтроллером, для систем, работающих в частотных диапазонах ISM/SRD 315, 433, 868 и 915 МГц.

Изучив рынок микросхем, которые используются для создания систем учёта коммунальных услуг и передачи полученных данных по локальным сетям нижнего уровня (при этом выдерживается необходимый технологический уровень и соответствие высоким показателями по основным параметрам), можно сделать вывод: сегодня ни один из ведущих мировых производителей полупроводников не производит полного комплекта микросхем для подобных применений. Фактически, произошло разделение рынка по основным компонентам подобных систем.

## РЫНОК МИКРОСХЕМ ДЛЯ ПРИБОРОВ УЧЁТА КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ

Рассмотрим современное состояние рынка микросхем для интеллектуальных систем сбора и передачи информации о потреблении коммунальных услуг и сопутствующей телеметрической информации.

К основным компонентам систем сбора и передачи информации в приборах учёта коммунальных услуг можно отнести:

- микросхемы для электросчётчиков;
- микросхемы для учёта расхода воды и бытового газа;
- микросхемы для учёта расхода тепла (теплосчётчиков);
- микросхемы для измерения иных физических величин;
- радиочастотные микросхемы субгигагерцевого и гигагерцевого диапазонов;
- микросхемы для систем связи по силовым проводам (PLC);
- иные интерфейсные микросхемы.

Наблюдается устойчивая тенденция объединения функций перечисленных микросхем в одном кристалле (системе-на-кристалле – SoC) с целью снижения стоимости итогового решения.

## Микросхемы для электросчётчиков

Наиболее полно на рынке микросхем для учёта коммунальных услуг представлены микросхемы для электросчётчиков. В первую очередь, это связано с тем, что при их проектировании нет необходимости закладывать экономию электроэнергии, а в существующих системах САПР легко моделируется любая нагрузка. Примеры таких микросхем и их производители приведены в таблице 1.

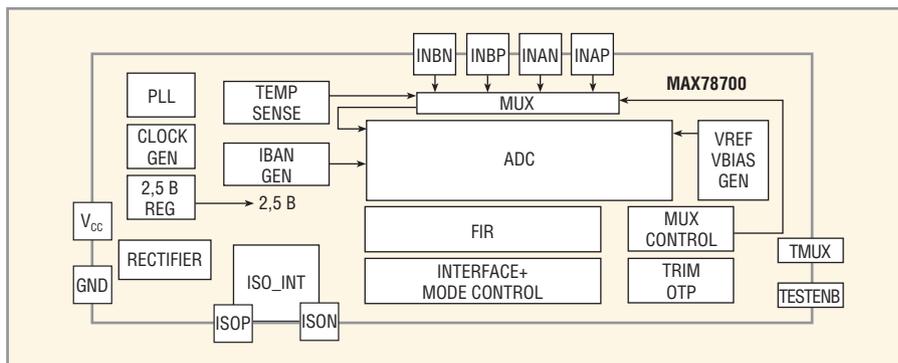
Оригинальным техническим решением по замене трансформаторов тока в многофазных счётчиках является микросхема MAX78700 фирмы MAXIM. Данная микросхема представляет собой двухканальный дельта-сигма АЦП (ADC) со встроенным интерфейсом гальванической развязки. Её структурная схема показана на рисунке 1.

Микросхема содержит специализированный интерфейс ISO\_INT, позволяющий через один развязывающий трансформатор как подавать питание, так и передавать информацию в обе стороны. Этот интерфейс идеологически похож на интерфейс I-Ware, разработанный Dallas Semiconductor.

**Микросхемы для счётчиков воды, газа и тепла**

С микросхемами для контроля потоков жидкостей и газов, а также для теплосчётчиков дело обстоит гораздо сложнее. Учитывая требования к таким микросхемам (указанные во введении), ведущие производители полупроводниковых приборов не берутся за разработку специализированных микросхем.

Скорость потока можно измерять десятком различных способов. Разрабатывать микросхему, которая успешно реализовывала бы все эти способы при различных характеристиках датчиков, может только коллектив, занятый созданием конкретных типов расходомеров, основанных на каком-либо одном физическом принципе. Такие микросхемы, как правило, проектируются с типовым аналоговым выходом или стандартным цифровым интерфейсом. Фактически, это специализированные датчики потока, например датчики потока воздуха, основанные на термоанемометре. Часто это МЭМС, например сенсоры серии D6F компании Omron. Такие приборы выпуска-



**Рис. 1. Блок-схема MAX78700**

**Таблица 1. Микросхемы для электросчётчиков**

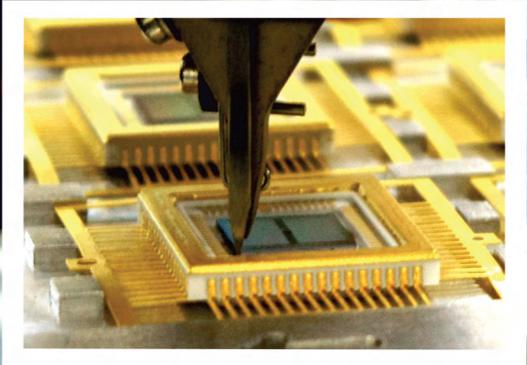
Наименование	Измеряемые параметры	Компоненты	Корпус	Производитель
ADE7763	Watt, VA, I <sub>rms</sub> , V <sub>rms</sub>		SSOP-20	Analog Devices
ADE7116	Watt, VA, I <sub>rms</sub> , V <sub>rms</sub>	MCU 8052;	LQFP-64	
ADE7156		104-сегментный LCD-драйвер		
ADE7166	Watt, VA, VAR, I <sub>rms</sub> , V <sub>rms</sub>	MCU 8052;	LQFP-64	
ADE7169		108-сегментный LCD-драйвер		
STPM01	Watt, VAR		TSSOP-20	STMicroelectronics
STPM11				
STPM13	Watt, VAR, детекция вмешательства			
71M6513	Watt, VA, I <sub>rms</sub> , V <sub>rms</sub>	MCU 80515;	LQFP-100	Teridian
71M6511		168-сегментный LCD-драйвер		
		MCU 80515;	LQFP-64	
		128-сегментный LCD-драйвер		





...сохраняя достигнутое,  
созидая настоящее,  
приближая будущее...

[www.milandr.ru](http://www.milandr.ru)



Разработка и производство интегральных микросхем

Реклама

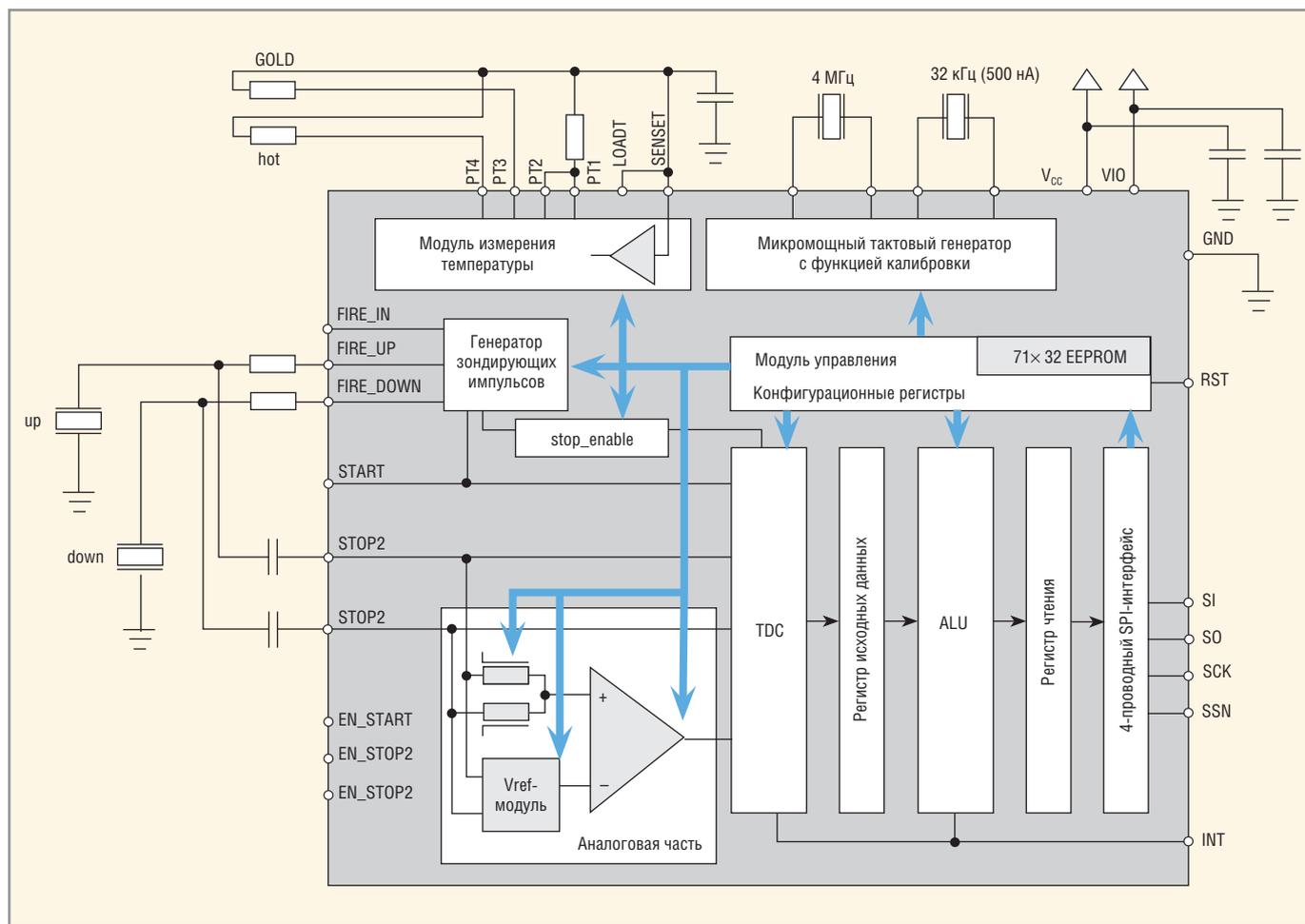


Рис. 2. Блок-схема TDC-GP22

ют также компании Dantec Dynamics и Caltech.

В то же время некоторые компании создают конструктивно и функционально законченные микросхемы измерителей потоков. Примером может служить микросхема TDC-GP22 группы компаний ACAM (Германия), функциональная схема которой приведена на рисунке 2.

В микросхеме TDC-GP22 запроектированы два канала измерения потока ультразвуковым способом и четыре канала измерения температуры, а также встроенный микроконтроллер с последовательным интерфейсом. На основе этой микросхемы создаются расходомеры газов и жидкостей, а также теплосчётчики. При этом ток потребления в режиме паузы (работает таймер)

составляет не более 1 мкА, что позволяет использовать батарейное питание без замены батарей в течение четырёх-десяти лет в зависимости от типа расходомера.

Примеры микросхем для измерения иных физических величин представлены в литературе [1].

**Микросхемы для радиомодулей**

В периодической литературе постоянно появляются обзоры рынка радиочастотных микросхем. Отметим только появление оригинальных приборов, оптимизированных для использования в системах сбора телеметрической информации и учёта коммунальных услуг. В первую очередь, хочется отметить семейства микросхем CC430F613x, CC430F612x и CC430F513x компании

Texas Instruments. Их характеристики приведены в таблице 2.

Отличительной особенностью семейства является наличие радиоканала диапазона 300..928 МГц и развитой периферии для обработки сигналов первичных датчиков. При этом в режиме таймера (или ожидания) микросхема потребляет менее 1 мкА. Радиоканал адаптирован к современным интерфейсам стандарта IEEE 802.15.4.

Другой оригинальной микросхемой является сетевой процессор CC1180 (опция системы-на-кристалле CC1110F32), который поставляется с прошитым стекком протоколов NanoStack 2.0 Lite компании Sensinode для сетей 6LoWPAN. Такое решение позволяет производителям телеметрической аппаратуры не заниматься разработкой и тестированием сетей, а применять готовое решение. Это сокращает стоимость и сроки внедрения аппаратуры.

**Микросхемы для сетей PLC**

На данный момент единой нормативной базы для передачи данных по электрическим проводам, аналогич-

Таблица 2. Семейство микросхем CC430Fxxxx

Наименование	ПЗУ, кбайт	Характеристики	Корпус
CC430F612x	16...32	Два таймера; компаратор на восемь входов; 96-сегментный LCD-драйвер; RF-опция	RGC-64
CC430F613x		8-канальный АЦП 12 бит; два таймера; компаратор на восемь входов; 96-сегментный LCD-драйвер; RF-опция	
CC430F513x	8...32	6-канальный АЦП 12 бит; два таймера; компаратор на восемь входов; RF-опция	RGZ-48

ной нормативной базе для радиодиапазонов, не существует. Есть отдельные документы, ставшие нормативами де-факто для разработки ряда микросхем и устройств на их основе. К таким документам можно отнести стандарт IEEE 1901.2, основанный на более ранних документах CENELEC, таких как PRIME и PLC G3.

Развитие микросхем и модемов для организации сетей передачи данных на основе PLC-технологий в настоящее время идет по трём основным направлениям:

- 1) узкополосные PLC-модемы с использованием S-FSK-модуляции;
- 2) широкополосные PLC-модемы, где используется OFDM-модуляция;
- 3) модемы PLC с применением шумоподобных видов модуляции.

Узкополосные модемы PLC позволяют решить проблему связи с наименьшими затратами аппаратных и программных ресурсов. S-FSK-модуляция может быть реализована на простом микроконтроллере с производительностью не более 20 MIPS. Интересным решением для узкополосных PLC является модуль PLC AMR компании «Юником-Юг» ([www.digitalpowermeters.com](http://www.digitalpowermeters.com)) стоимостью менее 150 руб.

Примером серийно выпускаемых микросхем PLC-модемов могут служить микросхемы ST7538/ST7540 компании STMicroelectronics. Их структурная схема показана на рисунке 3. Микросхемы позволяют передавать данные со скоростями до 4600 бит/с, имеют удобный последовательный интерфейс.

Направление широкополосных PLC-модемов является наиболее перспективным для создания сетей PLC. Используемая в таких модемах OFDM-модуляция позволяет передавать данные в диапазоне до 145 кГц со скоростями свыше 120 кбит/с. Примеры микросхем для таких модемов приведены в таблице 3. Наблюдается устойчивая тенденция интеграции широкополосных PLC-модулей в состав специализированных микросхем сбора информации.

К микросхемам PLC с применением шумоподобных видов модуляции можно отнести оригинальные микросхемы Yitran IT700. Для передачи данных по сильно зашумлённым силовым линиям электропитания со скоростью до 7,5 кбит/с компания Yitran применяет кодирование DCSK (Differential Code

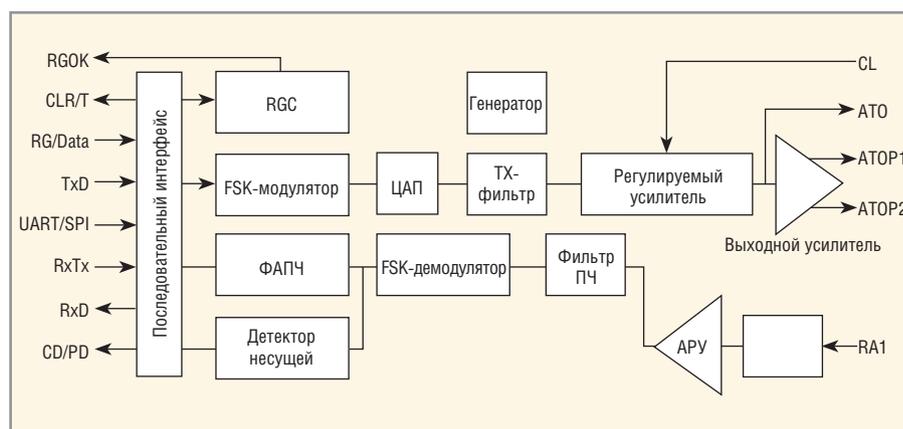


Рис. 3. Структурная схема ST7538/ST7540

Таблица 3. Микросхемы PLC-модемов с OFDM-модуляцией

Наименование	Производитель	Характеристики	Корпус
SM2200	Semitech	175 кбит/с; 54 несущих; MCU; SPI	LQFP-44
MAX2990	Maxim	100 кбит/с; MCU16; SPI; I2C	LQFP-64
ST7590	STMicroelectronics	128 кбит/с; 96 несущих; MCU; SPI	QFN-48

Shift Keying). Применение технологии DCSK позволяет передавать данные на расстоянии до 10 км с высокой степенью достоверности. Напряжение питания микросхемы – 3,3 В, потребляемый ток – не более 500 мА, тип корпуса – LQFP-56. Встроенные протоколы позволяют поддерживать до 1023 логических сетей и до 2047 узлов сети (т.е. до  $1023 \times 2047$  точек учёта энергоресурсов).

### МИКРОСХЕМЫ УЧЁТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЗАО «ПКК Миландр»

В настоящее время ЗАО «ПКК Миландр» серийно выпускает микросхему K1986BE23V, которой комплектуется серийно выпускаемый электросчётчик «Милур-104» – первый электросчётчик, выпущенный на российской элементной базе.

В стадии серийного освоения находится микросхема K1986BE21V, предназначенная для комплектации трёхфазных счётчиков, в том числе российских электросчётчиков серии «Милур».

В процессе разработки (выход планируется в 2015–2016 гг.) находятся микроконтроллеры, являющиеся дальнейшим развитием серии микроконтроллеров K1986BE2xx. Новые микроконтроллеры будут содержать встроенные модули PLC с OFDM-модуляцией и RF-модули диапазона 300...930 МГц с модуляцией FSK, GFSK BPSK и QPSK со скоростями передачи данных не менее 40 кбит/с.

В стадии разработки находится также микроконтроллер-клон TDC-GP22, аналогичный описанной в статье микросхеме со встроенным радиоканалом для комплектации расходомеров с автономным питанием.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев В.Н. Микропроцессорные наборы бескорпусных микросхем ПКК «Миландр» для интеллектуальных датчиков физических величин. Компоненты и технологии. № 9. 2013.
2. Павлюк М., Коточигов А., Сахно Ю. Микроконтроллер K1986BE23V компании ЗАО «ПКК Миландр» для счётчиков электроэнергии. Электроника: НТБ. № 4. 2014.
3. Павлюк М., Сахно Ю., Малых В. Комплексное решение компании «Миландр» для учёта потребления энергоресурсов. Электроника: НТБ. № 2 (00133). 2014.
4. Сахно Ю., Павлюк М., Какоулин М. Микроконтроллер K1986BE21V компании «Миландр» для счётчиков электроэнергии. Электроника: НТБ. № 8 (00122). 2012.
5. Павлюк М., Козлов С., Сахно Ю., Малых В. Счётчики электроэнергии. Модульная конструкция, низкая себестоимость. Электроника: НТБ. № 3 (00134). 2014.
6. Самоделов А. Между датчиком и микроконтроллером: новые микросхемы семейства sensor AFE. Новости электроники. № 10. 2012.
7. Попов Р., Иванов Р. Для обработки аналоговых сигналов: новые микроконтроллеры STM32F3. Новости электроники. № 6. 2012.
8. Брехта М. Преобразователи ёмкости в цифровой код на основе сигма-дельта модулятора. Компоненты и технологии. № 1. 2006.



# K1382NH045 – микросхема преобразователя фазы квадратурного сигнала в код положения

Георгий Прокофьев, Вениамин Стахин, Антон Обеднин (Москва)

В статье описывается специализированная микросхема преобразователя фазы квадратурного сигнала с датчиков положения в код, её структура, технические характеристики и области применения.

Микросхема предназначена для создания малогабаритных датчиков углового и линейного положения с использованием внешних чувствительных элементов, таких как магниторезисторы, элементы Холла, синусно-косинусные энкодеры.

## ВВЕДЕНИЕ

Измерение положения объекта (линейного и углового) является весьма распространённой задачей при построении сложных систем автоматического управления.

В настоящее время для создания электроники обработки сигналов с датчиков положения в ответственных применениях используют отечественные микроконтроллеры либо применяют блоки обработки на дискретных компонентах. Наиболее оптимальным с точки зрения массогабаритных характеристик, потребляемой мощности и надёжности устройства в целом является использование специализированной большой интегральной схемы (БИС) обработки сигналов датчиков положения.

Для решения этой задачи коллективом дизайн-центра ЗАО «Зеленоградский нанотехнологический центр» была разработана БИС преобразовате-

ля фазы квадратурного сигнала в код положения – K1382NH045.

## ОПИСАНИЕ БИС

Микросхема предназначена для работы с внешними чувствительными элементами или датчиками, формирующими сигнал положения в виде фазы квадратурного сигнала, такими как магниторезисторы, датчики Холла, законченные энкодеры с синусно-косинусным выходом, вращающиеся трансформаторы.

Структурная схема БИС показана на рисунке 1.

Дифференциальные синусно-косинусные сигналы с датчика положения поступают на вход микросхемы. Далее сигналы усиливаются в программируемом усилителе (PGA) и поступают на сигма-дельта АЦП.

Для сопряжения с широким набором внешних датчиков и чувствительных

элементов микросхема имеет программируемый усилитель с регулировкой коэффициента усиления в диапазоне 12–28 и напряжения смещения в диапазоне  $\pm 80$  мВ с шагом 5 мВ. Кроме того, для подключения датчиков с большим размахом выходного сигнала предусмотрена возможность установки коэффициента усиления программируемого усилителя – 1.

После АЦП возможна дополнительная коррекция напряжения смещения синусного и косинусного сигналов по отдельности в цифровой форме. Вычисление кода положения обеспечивается встроенным CORDIC-процессором. После операции вычисления производятся дополнительные подстройки кода положения: смещение нулевой точки, подстройка крутизны и ограничивающих верхнего и нижнего пороговых уровней, изменение направления вращения. Все пользовательские настройки сохраняются в энергонезависимой памяти.

Микросхема обеспечивает выдачу сигнала углового положения в двух представлениях: цифровое значение кода положения, передаваемое через интерфейс SPI/SSI, и аналоговое представление кода положения, снимаемое с выхода ратиометрического цифроаналогового преобразователя (ЦАП).

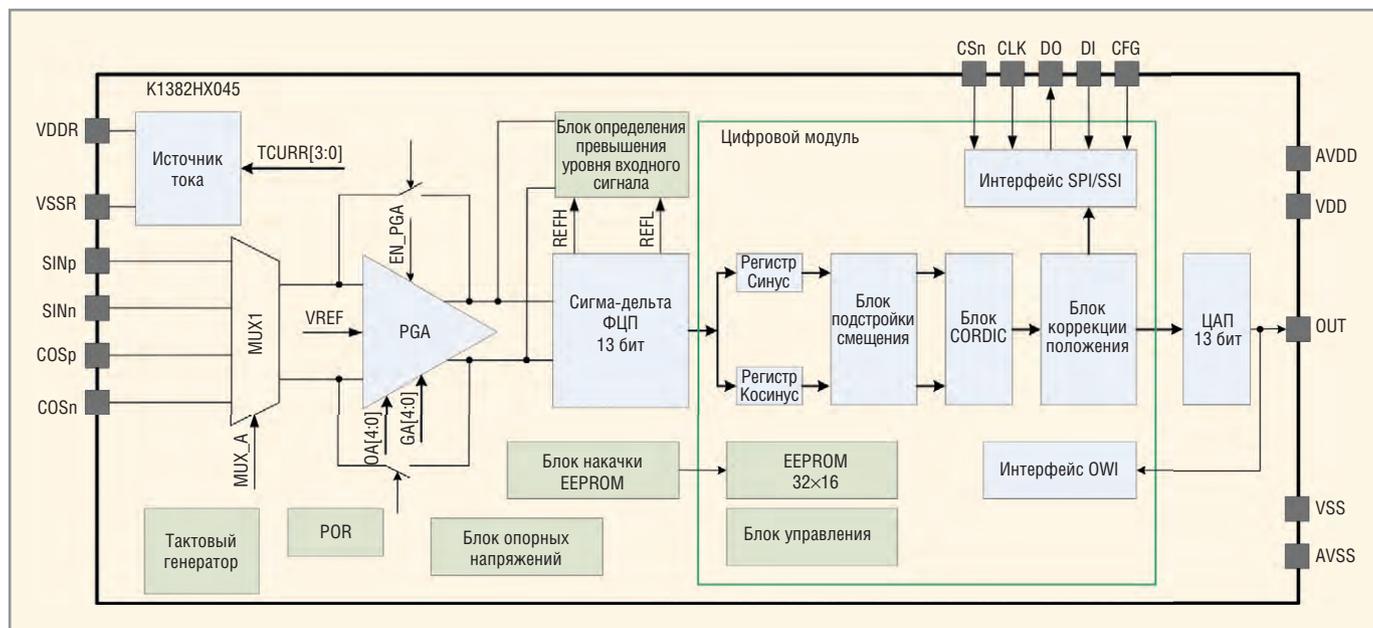


Рис. 1. Структурная схема БИС K1382NH045

Технические характеристики микросхемы приведены в таблице.

Для конфигурирования микросхемы предусмотрено два типа интерфейсов:

- 1) SPI;
- 2) однопроводный OWI, совмещённый с аналоговым выходом.

Интерфейс OWI позволяет минимизировать количество проводов, идущих к датчику. В данном режиме датчик может иметь минимальный набор соединительных проводников: общий, шина питания и порт OWI.

Для входа в режим конфигурирования после подачи питания в течение заданного времени необходимо подать специальную команду на шину OWI. После получения команды блок управления микросхемой отключает ЦАП и производит конфигурирование по двунаправленной шине OWI. Для применения настроек после конфигурирования необходимо выключить и снова включить питание.

Для обеспечения учёта и идентификации датчиков EEPROM микросхемы содержит 32-битное поле идентификации номера микросхемы CHIP\_ID, доступное для программирования пользователю.

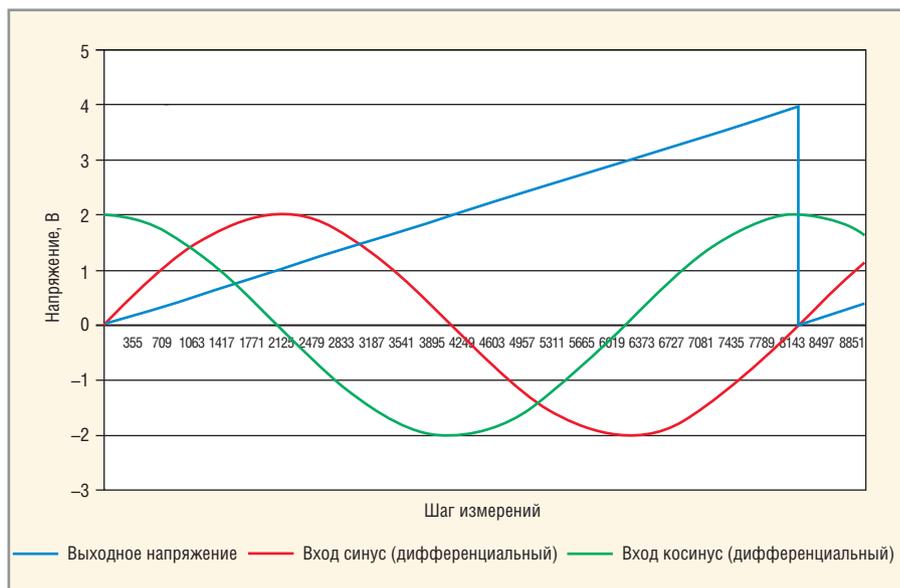
На рисунке 2 показан пример зависимости выходного напряжения от фазы входного синусно-косинусного сигнала, иллюстрирующий передаточную характеристику микросхемы. Результаты измерений получены при работе с отключённым программируемым усилителем и крутизной преобразования 0,5.

На рисунке 3 показана зависимость выходного напряжения от входного при тех же входных сигналах, но при запрограммированном смещении нулевого положения на 180°.

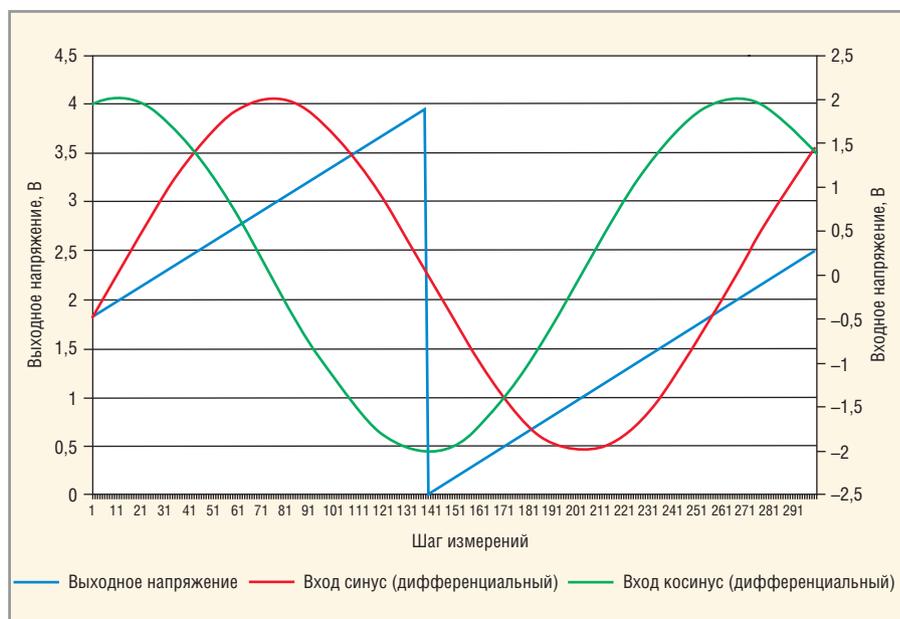
**ПРИМЕНЕНИЯ**

Базовая схема применения микросхемы K1382NH045 при создании датчика угла с аналоговым выходом на основе магниторезисторов приведена на рисунке 4.

На основе данной схемы был разработан датчик положения дроссельной заслонки для автомобилей ВАЗ. В качестве сенсоров использовался сдвоенный магниторезистивный мост производства ЗАО «ЗНТЦ», аналогичный по характеристикам мосту KMZ41. Датчик настраивается через порт OWI, совмещённый с аналоговым выходом.



**Рис. 2. Передаточная функция микросхемы K1382NH045 (зависимость выходного напряжения от фазы входного синусно-косинусного сигнала)**



**Рис. 3. Передаточная функция микросхемы K1382NH045 (нулевое положение смещено на 180°)**

**Технические характеристики БИС K1382NH045**

Параметр	Значение		
	min	тип	max
Напряжение питания, В	4,5	5	5,5
Ток потребления, мА	–	12	15
Электрическое разрешение, градус	–	–	0,09
Угловая ошибка, градус	-1,35	–	1,35
Настройка нулевого положения, градус	0	–	180/360
Нижний рабочий порог выходного напряжения, % от Vcc	5	–	30,5
Верхний рабочий порог выходного напряжения, % от Vcc	40	–	95
Вариация значений порогов, % от Vcc	-3	–	3
Максимальный выходной ток, мА	2	–	–
Время включения, мс	–	–	7
Время преобразования, мкс	–	–	300
Время установления выходного сигнала, мс	–	–	6
Частота сигнала CLK интерфейса SPI/SSI, МГц	–	–	4
Диапазон регулировки коэффициента усиления	12	–	28
Диапазон рабочих температур, °С	-40	–	125

Работоспособность микросхемы проверена в диапазоне -60...+150°С

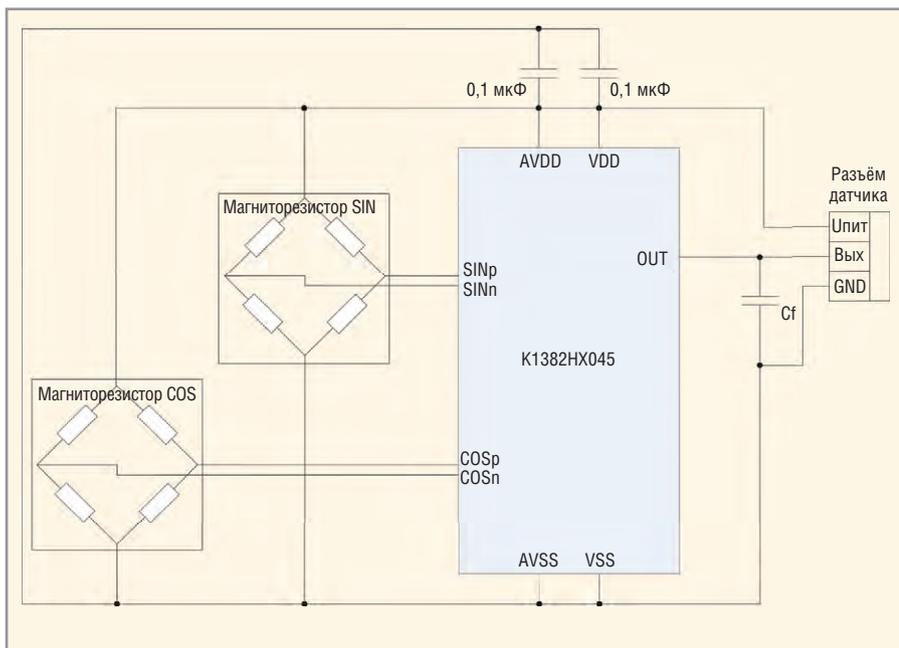


Рис. 4. Базовая схема применения БИС K1382HX045

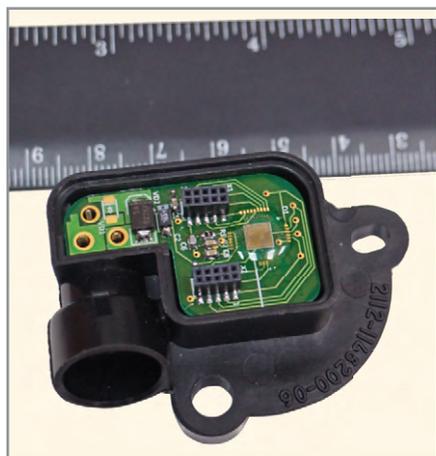


Рис. 5. Датчик положения дроссельной заслонки на основе K1382HX045



Рис. 6. Конструктив абсолютного энкодера положения на основе K1382HX045

Фотография платы датчика представлена на рисунке 5.

На основе микросхемы K1382HX045 также был разработан абсолютный однооборотный энкодер углового положения. Энкодер предназначен для определения углового положения вала в пределах 0...360°. В качестве чувствительных элементов применялись датчики Холла. Для считывания углового положения использовался интерфейс SPI.

На рисунке 6 приведены фото конструктивов углового энкодера.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная микросхема K1382HX045 преобразователя фазы квадратурного сигнала в код положения позволяет создавать малогабаритные датчики углового положения с разрешением до 0,1° при использовании одной пары полюсов магнита. Использование многополюсных магнитов позволит увеличить данное разрешение пропорционально числу полюсов.

Благодаря возможности обработки сигналов различных типов чувствительных элементов и датчиков, а также гибкой системе настроек микросхема позволяет удовлетворить потребность отечественных разработчиков датчиков положения широкого класса.

Микросхема доступна в корпусном исполнении QFN-40, N16.48, 5122.24 и 5123.28. Предусмотрен бескорпусный вариант.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Измерители коэффициента шума NFA внесены в Госреестр СИ РФ

Измерители коэффициента шума серий N8973A, N8974A, N8975A включены в Госреестр СИ РФ за номером 57752-14 (приказ от 04 июня 2014 года).

Высокопроизводительные анализаторы коэффициента шума серии NFA позволяют выполнять быстрые, точные и стабильные измерения. Основные характеристики приборов включают простой пользовательский интерфейс, графический дисплей, возможность сохранения данных, выбор значения полосы пропускания и установку на экране граничных линий для тестирования по критерию «Годен / Не годен». Анализаторы коэффициента шума серии NFA обе-

спечивают достоверные измерения в диапазоне частот до 26,5 ГГц.

Анализаторы N8973A (от 10 МГц до 3 ГГц, разъём типа N (вилка)), N8974A (от 10 МГц до 6,7 ГГц, разъём типа APC 3.5 (вилка)), N8975A (от 10 МГц до 26,5 ГГц, разъём типа APC 3.5 (вилка)) обеспечивают одновременное измерение коэффициента шума и коэффициента усиления с возможностью просмотра, вывода на печать и сохранения данных и результатов измерений в различных форматах. Они позволяют также определять параметры усилителей и устройств переноса частоты, включая управление гетеродином через второй специализированный интерфейс GPIB.

Анализаторы совместимы с источниками шума N4000A, N4001A и N4002A серии SNS.

[www.agilent.com/find/nfa](http://www.agilent.com/find/nfa)



Лидер в области разработки и производства  
высоковольтных реле и контакторов



Вакуумные реле



Газонаполненные реле



Герконовые реле



Контакторы

# Новинки светодиодной продукции компании Philips Lumileds

**Игорь Матешев, Алина Муленкова, Андрей Туркин,  
Константин Шамков (Москва)**

Компания Philips Lumileds, в начале 2000-х годов первой разработавшая мощные светодиоды, которые в последнее время стали самыми перспективными источниками света для осветительных приборов, продолжает успешно развивать свою линейку продукции. В статье приводится обзор новых светодиодных изделий, разработанных компанией за последнее время.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько лет рынок светотехнических изделий весьма динамично развивается во многом благодаря новинкам светодиодной промышленности. Появляются новые приборы, разработанные на основе мощных светодиодов. Существенный прорыв в физике и технологии полупроводников, произошедший в середине 90-х годов XX века благодаря созданию гетероструктур на основе нитрида галлия и его твёрдых растворов [1–4], позволил светодиодам проникнуть в коротковолновую область и тем самым перекрыть весь видимый диапазон оптического спектра [1–5]. Также у данных светодиодов наблюдались высокие значения КПД и квантового выхода [1–6], до тех пор никогда не наблюдавшиеся у светодиодов. Это позволило говорить о светодиодах как о перспективных источниках света, прежде всего, для оптической индикации и отображения информации. Создание же в конце 90-х годов XX века светодиодов белого свечения, и, особенно, разработка в самом начале 2000-х годов принципиально нового класса – мощных светодиодов – утвердило светодиоды в качестве новых перспективных источников света для освещения [3, 7]. Основная роль в этом принадлежит разработчикам компании Philips Lumileds, явившим миру первый мощный светодиод [8–10]. Именно их стараниями то, о чём не предполагали ещё несколько лет назад, стало сейчас реальностью.

## ИСТОРИЯ БРЕНДА PHILIPS LUMILEDS

Начало развития современного бренда Philips Lumileds связано с известной компанией Hewlett Packard, которая являлась одним из лидеров рынка полу-

проводниковой электроники и оптоэлектроники в 60–80-х годах XX века. В то время полупроводниковые материалы уже стали применяться для создания биполярных и полевых транзисторов [7–11], а по мере развития их исследований стало понятно, что полупроводники также являются перспективными материалами для разработки на их основе источников излучения [7–11].

Серийный выпуск светодиодов был налажен в конце 60-х годов XX века сначала компанией Monsanto Corporation на основе GaAsP, а затем и компанией Hewlett Packard на основе GaP и его твёрдых растворов, в разработке которых специалисты компании добились значительных успехов [8–11]. Например, к этому типу материала относятся структуры соединения из четырёх компонентов AlInGaP, которые используются для создания источников излучения, перекрывающих практически весь длинноволновый диапазон видимого спектра – от жёлтого до оранжевого [8–11]. К концу 1980-х – началу 1990-х годов светодиоды красного и жёлтого свечения, разработанные этой компанией, устанавливались во многих устройствах, в том числе в первых светодиодных светофорах в России – к 850-летию юбилею Москвы в 1997 году [8–13].

Эти структуры и сегодня успешно продолжают использоваться для изготовления светодиодов в диапазоне видимого спектра. Кристаллы на их основе используют в своих изделиях многие производители светодиодов [8–11].

Полученные в середине 90-х годов XX века сотрудниками японской компании Nichia Chemical во главе с Шуджи Накамурой результаты по разработке технологии выращивания GaN мето-

дом металлоорганической газофазной эпитаксии [1–12] дали импульс развитию работ во всём мире. Вслед за специалистами компании Nichia, которые первыми разработали светодиоды синего, голубого и зелёного цвета свечения на основе гетероструктур GaN и его твёрдых растворов InGaN и AlGaIn с КПД порядка 10% [3, 6, 8], технологию выращивания светодиодных кристаллов на подложках из сапфира ( $Al_2O_3$ ) освоили специалисты и других компаний, среди которых одними из первых были сотрудники компании Hewlett Packard, выпустившие свои первые зелёные светодиоды на рынок уже в 1997 году [8–11].

Следует отметить, что и другая важная разработка исследователей фирмы Nichia в середине 90-х годов XX века – светодиод белого свечения с использованием комбинации синих кристаллов на основе GaN и его твёрдых растворов и люминофоров, преобразующих длину волны синего свечения кристалла в жёлто-зелёное свечение [3, 7–11], в результате сложения сигналов которых получается белый цвет свечения, – также не прошла незамеченной специалистами компании Hewlett Packard. В 1999 году они вместе с коллегами из компании Philips, признанного лидера светотехнической промышленности, основали компанию Lumileds [8–11], задачей которой являлась разработка на основе светодиодов источника света для применения в светотехнике. Это должен был быть принципиально новый источник света, световая отдача которого должна была превысить световую отдачу лампы накаливания, самого популярного на тот момент источника света. В будущем же предполагалось, что световая отдача такого светодиодного источника должна была сравняться и даже превысить световую отдачу разрядных ламп, включая натриевую лампу высокого давления – самого эффективного источника света.

В 2003 году компанией Lumileds был сделан первый мощный светодиод белого цвета свечения Luxeon I со световым потоком более 25 лм и световой отдачей более 20 лм/Вт [3, 7–11],

что превышало световую отдачу лампы накаливания практически в два раза [3, 8–10]. Достигнутый результат позволил начать говорить о светодиодах как о новых эффективных источниках света.

Действительно, такой светодиод был принципиально новым изделием по многим параметрам: по размеру кристалла, значению рабочего тока, корпусу [8]. Данным изделием компания Lumileds открыла новый класс приборов, получивших название «мощные светодиоды». Именно их и предполагалось использовать в качестве источников света в светотехнических изделиях [8–10].

Естественно, что в погоню бросились разработчики и других крупных производителей полупроводниковых изделий: японской компании Nichia, немецкой компании Osram, американской компании Cree. Как следствие, это стимулировало достаточно быстрое и эффективное развитие мощных светодиодов – на рынке появилось множество их типов. Стоит отметить, что компания Philips Lumileds ничуть не утратила свои позиции одного из лидеров

и продолжает активно развивать свою продуктовую линейку, предлагая новые интересные модели светодиодов.

Ряд таких моделей будет рассмотрен в следующем разделе статьи.

### ОБЗОР НОВЫХ МОДЕЛЕЙ СВЕТОДИОДОВ LUXEON КОМПАНИИ PHILIPS LUMILEDS

Компания Philips Lumileds регулярно обновляет модельный ряд своих светодиодов.

Одной из новинок компании стали светодиоды Luxeon TX в компактном корпусе 3737 (см. рис. 1). Отличительными особенностями новинки являются высокая плотность светового потока, невысокое типовое значение напряжения, равное 2,8 В, а также низкое тепловое сопротивление, составляющее 3°C/Вт. Светодиод оптимизирован для использования в промышленных системах освещения, основные требования которых – высокие светотехнические характеристики и световая отдача [9, 10].

Основные характеристики светодиодов Luxeon TX компании Philips Lumileds представлены в таблице 1.

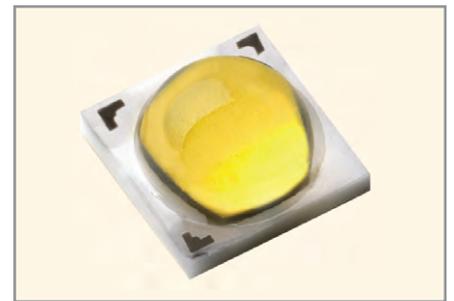


Рис. 1. Мощный светодиод Luxeon TX

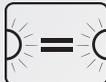
Другой новинкой компании Philips Lumileds стала серия светодиодов Luxeon Q, представленных на рисунке 2. Новая серия светодиодов Luxeon Q изготавливается на основе кристаллов синего цвета свечения, разработанных компанией в феврале 2014 года. Конструкция корпуса светодиодов Luxeon Q обеспечивает более высокий коэффициент вывода света из кристалла, а в кристалле реализуется более эффективное преобразование электрического тока в излучение, т.е. более высокий КПД. Благодаря двум указанным факторам эти светодиоды имеют высокую световую отдачу, особенно на высоких токах. Размеры корпуса светодиодов



**PHILIPS LUMILEDS**

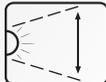
## МОЩНЫЕ СВЕТОДИОДЫ LUXEON

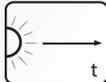


- 

Однородность цветовых характеристик
- 

Высокий индекс цветопередачи
- 

Стабильность цветовой температуры
- 

Постоянство углового распределения спектра
- 

Постоянство характеристик во времени

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ PHILIPS LUMILEDS**



POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

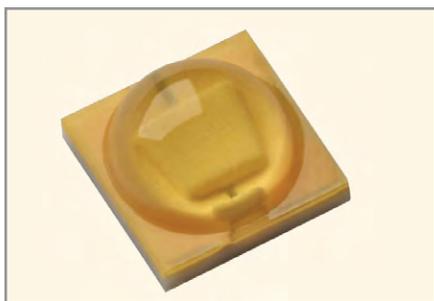


Рис. 2. Мощный светодиод Luxeon Q

Luxeon Q составляют 3,5 × 3,5 мм. Длина волны излучения этих приборов лежит в синем диапазоне видимого спектра, что соответствует максимуму спектра возбуждения люминофора. Синий свет

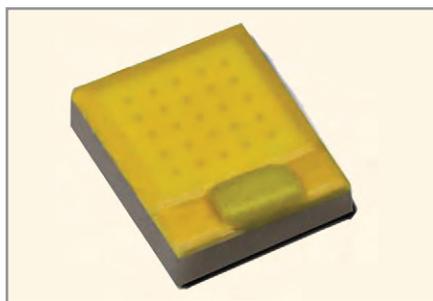


Рис. 3. Мощный светодиод Luxeon Z ES

кристалла частично используется для преобразования в жёлто-зелёное свечение люминофора, и в результате сложения двух указанных сигналов получается белый цвет. Усовершенствованная технология эпитаксиального роста кристаллов, корпус, обеспечивающий улучшенный коэффициент вывода излучения, а также оптимизированный коэффициент преобразования вместе обеспечивают одно из самых высоких значений световой отдачи в отрасли.

Светодиоды Luxeon Q выпускаются в диапазоне цветовой температуры от 2700 до 5700 К. У белых светодиодов с более тёплым свечением минимальный индекс цветопередачи (CRI) равен 80, тогда как у светодиодов с температурой свечения 4000 К и выше минимальное значение CRI равно 70. Точность координат цветности этих светодиодов при производстве соответствует 3- и 5-шаговому эллипсу МакАдама. При этом основное назначение Luxeon Q – обеспечить большой световой поток при высокой эффективности (световой отдачи) и, таким образом, снизить себестоимость люмена.

Основные характеристики светодиодов Luxeon Q компании Philips Lumileds представлены в таблице 2.

Светодиоды серии ES, пополнившие семейство Luxeon Z (см. рис. 3), предназначены для ламп направленного света, разрабатываемых на основе светодиодов взамен устаревающих технологий. В первую очередь, новые светильники будут использоваться для освещения гостиниц и торговых площадей, где уже сейчас становится необходимым осуществлять управление цветом свечения [9, 10].

Светодиоды имеют компактные размеры корпуса, составляющие 1,6 × 2,0 мм, и выпускаются в модификациях с кристаллом синего свечения и комбинации такого кристалла с люминофором, преобразующим излучение в белый цвет. В последнем случае однородность цвета обеспечивается в пределах 1-, 3- и 5-шагового эллипса МакАдама. Оценки специалистов компании говорят о том, что отсутствие куполообразной первичной линзы у корпуса обеспечивает на 10–15% лучшие характеристики цвета в зависимости от угла обзора по сравнению с куполообразной конструкцией.

Основные характеристики светодиодов Luxeon Z ES представлены в таблице 3.

Пожалуй, самой оригинальной новинкой стал новый тип светодиодов Luxeon Flip Chip (см. рис. 4), выведенный недавно на рынок компанией Philips Lumileds. Основное преимущество данного типа светодиодов состо-

Таблица 1. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon TX

Цветовая температура, К	Угол, °	Максимальный ток, mA	Напряжение, В (при 700 mA, Tj = +85°C)	Минимальный CRI	Световой поток, лм (при 700 mA, Tj = +85°C)		Код заказа
					мин.	тип.	
3000	120	1000	2,80	70	230	245	L1T2-3070000000000
4000				70	250	269	L1T2-4070000000000
5000				70	260	275	L1T2-5070000000000
5700				70	260	275	L1T2-5770000000000
6500				70	260	275	L1T2-6570000000000
2700				80	200	216	L1T2-2780000000000
3000				80	210	227	L1T2-3080000000000
3500				80	220	238	L1T2-3580000000000
4000				80	230	247	L1T2-4080000000000
5000				80	230	247	L1T2-5080000000000
2700				85	170	186	L1T2-2785000000000
3000				85	180	197	L1T2-3085000000000
3500				85	190	208	L1T2-3585000000000
4000				85	200	217	L1T2-4085000000000
5000				85	200	217	L1T2-5085000000000
2700				90	160	175	L1T2-2790000000000
3000				90	170	188	L1T2-3090000000000

Таблица 2. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon Q

Цвет	Угол, °	Максимальный ток, mA	Напряжение, В (при 700 mA, Tj = +85°C)	Минимальный CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм (при 350 mA, Tj = +85°C)		Код заказа
						мин.	тип.	
Тёплый белый	120	1200	2,93	80	2700	80	100	L1Q0-2780
				80	3000	90	102	L1Q0-3080
Естественный белый				80	3500	90	106	L1Q0-3580
				70	4000	110	123	L1Q0-4070
Холодный белый				70	5700	110	123	L1Q0-5770

Таблица 3. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon Z ES

Цвет	Угол, °	Максимальный ток, mA	Напряжение, В (при 700 mA, Tj = +85°C)	Минимальный CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм (при 700 mA, Tj = +85°C)		Код заказа
						мин.	тип.	
Тёплый белый	120	1200	2,85	80	2700	160	175	LXZ2-2780-Y
				90	2700	110	135	LXZ2-2790-Y
				80	3000	160	180	LXZ2-3080-Y
90				3000	120	145	LXZ2-3090-Y	
Естественный белый				80	3500	170	190	LXZ2-3580-Y
				80	4000	180	195	LXZ2-4080-Y
				70	4000	190	210	LXZ2-4070
Холодный белый				70	5000	200	215	LXZ2-5070
				70	5700	200	215	LXZ2-5770

ит в отказе от использования проволоки для термокомпрессионной сварки, используемой для соединения контактов кристалла с выводами корпуса. Эта проволока не только является возможной причиной отказа светодиода, но и ограничивает значение плотности протекающего через него тока.

До появления новой конструкции, предложенной компанией Philips Lumileds, бескорпусные кристаллы Flip Chip были недостаточно прочными, что ограничивало возможность их применения.

Теперь же у производителей светильников имеется возможность не только устанавливать данные корпусированные кристаллы в светильники традиционным способом, но и самостоятельно подбирать люминофор и корпус для таких светодиодов в соответствии с требованиями того или иного применения.

Компания Philips Lumileds стала первым производителем, который разрабатывает и поставляет светодиоды в корпусах CSP, размеры которых, по сути, те же, что и у кристаллов. Площадь основания светодиода Luxeon Flip Chip ком-

пании Philips Lumileds почти совпадает с площадью кристалла. Единственное различие состоит в присутствии контактных площадок на основании светодиода, которые оптимизированы под стандартный процесс монтажа светодиода. Квантовый выход излучения кристалла такой конструкции размером  $1 \times 1$  мм составляет от 56 до 61% в зависимости от длины волны [9, 10].

Основные характеристики светодиодов Luxeon Flip Chip компании Philips Lumileds представлены в таблице 4.

Также стоит отметить обновление серии Luxeon CoB (см. рис. 5). Спустя лишь несколько месяцев после анонса светодиодных модулей Luxeon CoB, компания Philips Lumileds заявила о повышении их эффективности на 10%. Это означает, что данные продукты сегодня являются самыми эффективными светодиодными модулями.

Специалистам компании Philips Lumileds потребовалось лишь три месяца, чтобы увеличить производительность изделий Luxeon CoB на 10%. Световая отдача данных обновлённых светодиодных модулей может достигать значения 130 лм/Вт.



Рис. 4. Мощный светодиод Luxeon Flip Chip

Приведём для примера несколько значений. Световой поток светодиодного модуля тёплого белого цвета с диаметром области излучения 9 мм составляет 2200 лм, а его световая отдача – 100 лм/Вт; световой поток аналогичного модуля холодного белого цвета составляет 2500 лм, а световая отдача – 105 лм/Вт.

Обновлённые светодиодные модули Luxeon CoB выпускаются в диапазоне цветовой температуры от 2700 до 5700 К, минимальный коэффициент цветопередачи (CRI) в зависимости от модели равен 70, 80 или 90.

Основные характеристики светодиодных модулей Luxeon CoB приведены в таблице 5.

# PROCHIP

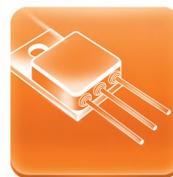
POWERED BY PROSOFT

## Активный компонент вашего бизнеса

- + Различные решения по подбору элементной базы
- + Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- + Поддержка склада
- + Оказание технической и информационной поддержки



+7 (495) 232-2522  
INFO@PROCHIP.RU  
WWW.PROCHIP.RU



Реклама

BULGIN

Grayhill

HARTING  
Pushing Performance

SHARP

anadigm

International  
IOR Rectifier

Switchcraft

SEMILEDs

RFHIC  
www.rfhic.com

CREE

LUMINEO  
POWERED BY BENEQ  
Formerly known as Phosor G. Motion

AVO

XP  
XP Power

MICROMETALS

MPS  
Maxim Integrated

RAYSTAR  
OLED Display Provider

PHILIPS  
LUMILEDS



Рис. 5. Светодиодный модуль Luxeon CoB

Небольшие размеры областей излучения модулей, диаметры которых составляют 9, 13 или 15 мм, позволяют создавать компактные светильники с достаточно высокой яркостью пучка, благодаря чему можно уменьшить себестоимость решений, например сократив затраты на дополнительную оптику.

Преимущество обновлённых светодиодных модулей проявляется не только в оптических характеристиках, но и в более эффективном отводе тепла от активной области кристалла, который обеспечивает печатная плата на металлической основе. В результате размеры радиаторов можно сократить на 40%, либо повысить надёжность осветительной системы, не меняя размеры теплоотвода [10, 14].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный обзор новинок линейки светодиодов компании Philips

Lumileds показывает, что данная компания, являющаяся одним из лидеров светодиодного рынка, эффективно развивает свою технологию производства светодиодов. Специалисты компании в разное время были в числе основных разработчиков сначала технологии GaP и его соединений, а затем и GaN и его твёрдых растворов.

Стоит отметить огромный вклад разработчиков компании Philips Lumileds в продвижение идеи светодиодного освещения – возможность использовать светодиоды в качестве источников света в осветительных приборах.

В настоящее время специалисты компании Philips Lumileds, принявшие эстафету у своих предшественников, продолжают разрабатывать интересные продукты, оставаясь среди лидеров светодиодного рынка. Достаточно чёткая сегментация светодиодов данной компании под определённые направления светотехники делает их весьма

привлекательными для разработчиков светодиодных осветительных систем.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юнович А.Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия (GaN) и его твёрдых растворов. Светотехника/ 1996. Вып. 5/6. С. 2–7.
2. Туркин А.Н. Нитрид галлия (GaN) как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике. Компоненты и технологии. № 5. С.176–180. 2011.
3. Туркин А.Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы. Полупроводниковая светотехника. № 5. С. 28–33. 2011.
4. Туркин А.Н. Обзор развития технологии полупроводниковых гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN). Полупроводниковая светотехника. № 6. С. 44–47. 2011.
5. Золина К.Г., Кудряшов В.Е., Туркин А.Н., Юнович А.Э. Спектры люминесценции голубых и зелёных светодиодов на основе многослойных гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN с квантовыми ямами. ФТП. 1997. Т. 31. № 9. С. 1055–1061.
6. Туркин А.Н., Юнович А.Э. Измерения мощности излучения голубых и зелёных InGaN/AlGaIn/GaN светодиодов с помощью фотопреобразователей из аморфного кремния. Письма в ЖТФ. Т. 22. Вып. 23. С. 82–86. 1996.
7. Светодиоды и их применение для освещения / Под общей редакцией акад. АЭН РФ Ю.Б. Айзенберга. Московский Дом Света. 2012. 280 с. М. Знак. 2012.
8. Туркин А.Н. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее. Полупроводниковая светотехника. № 2. С. 6–9. 2012.
9. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Мощные светодиоды Philips Lumileds – от истоков до новинок рынка. Современная электроника. № 6. С. 24–29, 2013.
10. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Обзор новых светодиодных продуктов компании Philips Lumileds. Полупроводниковая светотехника. № 5. С. 30–32. 2013.
11. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. М. ФизМат-Лит. 2008.
12. Юнович А.Э. Ключ к синему лучу или о светодиодах и лазерах, голубых и зелёных. Химия и жизнь. № 5–6. С.46–48. 1999.
13. Тринчук Б.Ф. Светосигнальная аппаратура на светодиодах. Светотехника. № 5. С. 6–11. 1997.
14. Дорожкин Ю., Матешев И., Туркин А. Светодиодные модули серии СХА компании Cree. Полупроводниковая светотехника. № 1. С. 36–39. 2013.

Таблица 4. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon Flip Chip компании Philips Lumileds

Длина волны, нм		Максимальный ток, мА	Напряжение, В (при 350 мА, Tj = +85°C)	Выходная оптическая мощность, мВт (тип.)	Код заказа
мин.	макс.				
440	445	1050	2,9	500	LHDF-RB10300005000
445	450			500	LHDF-RB10400005000
450	455			500	LHDF-RB10500005000
455	460			450	LHDF-RB10600004500

Таблица 5. Основные характеристики светодиодных модулей Luxeon CoB компании Philips Lumileds

Цвет	Угол, °	Максимальный ток, мА	Напряжение, В (при ном. токе, Tj = +85°C)	Номинальный ток, мА	Минимальный CRI	Цветовая температура, К	Световой поток, лм (при ном. токе, Tj = +85°C)		Код заказа
							мин.	тип.	
Тёплый белый	100	600	36	300	80	2700	1000	1100	LHC1-2780-1203
		900		450		2700	1500	1650	LHC1-2780-1204
		1200		600		2700	2000	2200	LHC1-2780-1205
		1800		900		2700	3000	3300	LHC1-2780-1208
		600		300		3000	1050	1150	LHC1-3080-1203
		900		450		3000	1550	1725	LHC1-3080-1204
		1200		600		3000	2100	2300	LHC1-3080-1205
		1800		900		3000	3100	3450	LHC1-3080-1208
Естественный белый		600	300	4000	1080	1200	LHC1-4080-1203		
		900	450	4000	1620	1800	LHC1-4080-1204		
		1200	600	4000	2160	2400	LHC1-4080-1205		
		1800	900	4000	3240	3600	LHC1-4080-1208		





Светодиодные кластеры серии XLD-Line6 предназначены для подсветки витрин, карнизов, декоративного освещения, дизайнерской и рекламной подсветки.

Широкий ассортимент, возможность деления, простота наращивания и подключения делают кластеры удобными для реализации проектов любого уровня сложности.

## Преимущества

- Использование для замены светильников с лампами
- Высокий световой поток
- Деление на отрезки 70 мм
- Простота подключения благодаря специальным разъёмам
- Коммутация кластеров в линию произвольной длины
- Широкий диапазон рабочих температур  $-40...+70^{\circ}\text{C}$
- Срок службы не менее 50 000 часов



# Модульные DC/DC-преобразователи напряжения: безупречное электропитание

Олег Негреба (г. Воронеж)

В статье рассматриваются унифицированные стабилизированные DC/DC-преобразователи напряжения специального назначения.

Модуль электропитания как законченное устройство появился в середине 1980-х годов, когда впервые в практике построения источников вторичного электропитания силовые унифицированные модули питания стали базовыми элементами конструкции устройств и систем во многих областях применения – от коммерческих до аэрокосмических. Сочетание в таких преобразователях уникальных электрических характеристик, высокой энергетической плотности и надёжности предоставляет разработчикам РЭА широкий выбор, сокращая затраты на проектирование.

В настоящее время темпы роста мирового производства модулей электропитания обусловлены повышением уровня автоматизации современной техники, её энерговооружённости, а следовательно, увеличением объёмов потребления и преобразования электрической энергии. Электропитание является основой любой аппаратуры. От него в значительной мере зависит её эффективность, а главное – надёжность.

Стоимость устройств силовой электроники, включая модули электропитания, в значительной степени определяет стоимость систем электропитания и электронной аппаратуры. Очевидно, что переход на новые технологии и материалы, развитие схемотехники и технологии изготовления силовых полупроводников одновременно со стандартизацией и унификацией будут решающими факторами

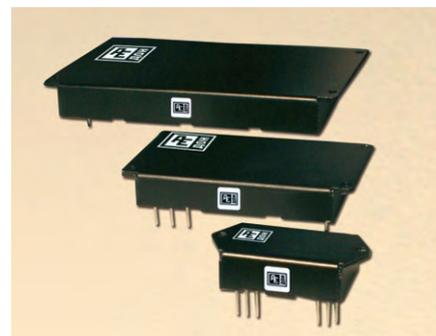
улучшения потребительских свойств устройств электропитания и снижения стоимости РЭА. Но для этого необходимо решение следующих основных задач:

- увеличение энергетической плотности и эффективности устройств;
- повышение их надёжности.

Указанные задачи подразумевают выполнение определённых исследовательских и опытно-конструкторских работ:

- развитие производства полупроводниковых материалов с более высокой удельной мощностью и допустимой рабочей температурой;
- разработка активных и пассивных электронных компонентов на основе новых материалов, в том числе обеспечивающих повышение скорости переключения силовых полупроводниковых приборов;
- совершенствование схемотехники устройств электропитания – переход на адаптивные методы управления, повышение частоты преобразования;
- улучшение способов отвода тепла, в том числе путём совершенствования конструкции корпусов устройств для снижения их габаритных размеров;
- совершенствование технологии производства устройств электропитания.

Комплексное применение новых решений позволит повысить энергетическую эффективность серийных унифицированных преобразователей до значений свыше 90%.



В таблице 1 приведены основные конструктивные и электрические параметры модульных DC/DC-преобразователей напряжения специального назначения серии МДМ-Р ООО «АЕДОН» с относительно низким входным напряжением [1]. Следует отметить, что увеличение габаритных размеров с ростом мощности от 25 до 1500 Вт происходит в направлении роста площади основания корпуса, в то время как высота профиля изменяется незначительно. Это достигается за счёт использования современной элементной базы, а также схемотехнических, конструктивных и технологических решений, защищённых патентами и авторскими свидетельствами [2–5].

Все DC/DC-преобразователи ООО «АЕДОН» характеризуются очень широким температурным диапазоном корпуса (рабочая температура от  $-60$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ ). Низкопрофильная конструкция позволяет использовать преобразователи в компактной аппаратуре, поскольку толщина корпуса варьируется от 10,1 до 12,8 мм в зависимости от мощности.

Помимо этого, преобразователи МДМ-Р обладают рядом дополнительных преимуществ и сервисных функций, в их числе:

- подстройка выходного напряжения в диапазоне  $\pm 5\%$  от номинального даёт возможность установить нестандартное напряжение или, при необходимости, отрегулировать его в достаточных пределах;
- вход обратной связи позволяет компенсировать падение напряжения на соединительных проводах или вызывающих диодах;

Таблица 1. Номенклатура преобразователей МДМ-Р

Наименование преобразователя	Выходная мощность, Вт	Максимальный выходной ток, А	Входное напряжение, В	Габариты без учёта фланцев и выводов, мм
МДМ25-Р	25	5	9...36 (40); 18...75 (84) по ГОСТ 19705-89 (ГОСТ Р 54073-2010)	30 × 20,2 × 10,1
МДМ50-Р	50	10		40 × 30,2 × 10,1
МДМ100-Р	100	20		47,5 × 33,2 × 10,1
МДМ200-Р	200	40		57,5 × 40,2 × 10,1
МДМ400-Р	400	80	18...75 (84) по ГОСТ 19705 (ГОСТ Р 54073-2010)	72,5 × 52,7 × 12,8
МДМ800-Р	800			95 × 67,7 × 12,8
МДМ1500-Р	1500			110 × 84,2 × 12,8

# КОМПАКТНЫЕ АС/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ВЫСОКОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ

- ~ Выходная мощность 500 Вт, 1500 Вт, 3000 Вт ~
- ~ Выходной ток до 125 А (для мощности 3000 Вт) ~
- ~ Трёхфазное входное напряжение  $\approx 323...437$  В,  $\approx 187...253$  В ~
- ~ Рабочий температурный диапазон  $-50^{\circ}\text{C}...+85^{\circ}\text{C}$  ~
- ~ Категория качества ВП ~
- ~ Гарантия 20 лет ~

Реклама

«АЕДОН» («АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК Дон»)  
Россия, г. Воронеж, ул. Дружинников, 1  
Тел./факс: +7 800 450-11-39, +7 473 251-95-18  
aedon.ru, mail@aedon.ru



Таблица 2. Номенклатура преобразователей МДМ-В с высоковольтным входным напряжением

Наименование преобразователя	Выходная мощность, Вт	Максимальный выходной ток, А	Входное напряжение, В	Габариты без учёта фланцев и выводов, мм
МДМ40-В	30; 40	8	175...350 (400)	72,5 × 52,7 × 12,8
МДМ200-В	80; 120; 200	30		95 × 67,7 × 12,8
МДМ500-В	320; 400; 500			110,2 × 84,2 × 12,8
МДМ1000-В	1000	40		168 × 110 × 16

● активное выравнивание выходных токов нескольких источников при параллельной работе на общую нагрузку обеспечивает наращивание выходной мощности системы или повышение её надёжности за счёт резервирования.

Во всей линейке мощностей преобразователей реализованы схемы защиты от перегрузки, короткого замыкания и превышения входного напряжения. Также предусмотрена защита аппаратуры потребителя от превышения выходного напряжения и защита от перегрева корпуса.

Охлаждение преобразователей серии МДМ-Р происходит путём кондуктивного отвода тепла от корпуса. Источники МДМ-Р могут иметь максимальную выходную мощность до 1,5 кВт и максимальный выходной ток до 100 А. Диапазон стандартных входных напряжений

перекрывает потребности телекоммуникационной, промышленной и специальной аппаратуры с относительно низкими входными напряжениями.

Источники серии МДМ-В с высоким входным напряжением, перечисленные в таблице 2, предназначены для питания аппаратуры в относительно высоковольтных сетях постоянного тока. В этих преобразователях реализованы практически все сервисные функции, свойственные DC/DC-преобразователям серии МДМ-Р. Использование источников серии МДМ-В в сетях переменного тока совместно с выпрямительным мостом и накопительным конденсатором позволяет реализовать уникальный сверхнизкопрофильный AC/DC-преобразователь с диапазоном рабочей температуры корпуса от -60 до +125°C.

Перед отгрузкой на склад или потребителю каждая партия изделий про-

ходит специальные температурные и предельные испытания, в том числе и электротермотренировку с экстремальными режимами включения и выключения.

Если заказчику требуются DC/DC-источники электропитания с нестандартными характеристиками и/или с облегчённым (бюджетным) климатическим исполнением, возможно изготовление их в минимальные сроки и с минимальными затратами, в том числе за счёт высокотехнологичного производственного оборудования.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. <http://aedon.ru/produkcija/dcdc-preobrazovateli/seriya-mdm-r/>
2. Пат. 113905 Российская Федерация / Гончаров А.Ю.; приоритет 08.02.2011; опубл. 27.02.2012.
3. Пат. 105036 Российская Федерация / Гончаров А.Ю.; приоритет 08.02.2011; опубл. 27.05.2011.
4. Пат. 106071 Российская Федерация / Гончаров А.Ю.; приоритет 22.10.2010; опубл. 27.06.2011.
5. Пат. 2265977 Российская Федерация / Гончаров А.Ю.; приоритет 04.07.2002; опубл. 10.12.2005.



В рамках форума «Российский промышленник»  
www.promexpro.lenexpro.ru

**Санкт-Петербург**  
**15-18 сентября 2014 г.**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ И ВСТРАИВАЕМАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 2014**

Российская специализированная выставка электронных модулей и систем промышленного, бортового и специального назначений

WWW.INDUSTRIAL-EMBEDDED.RU

Реклама

## Новости мира News of the World Новости мира

### Сенсоры CMOSIS вступают в борьбу с раком

Прошёл год с тех пор, как компания CMOSIS стала неотъемлемой частью совместного проекта по созданию новейшей системы неинвазивной диагностики раковых заболеваний.

Проект CAREiOCA (интраоперационное лечение рака при помощи оптической когерентной томографии) стартовал в рамках Седьмой рамочной программы Еврокомиссии, направленной на поддержку совместных исследований, осуществляемых научными коллективами всех стран. Проект объединил усилия технических и медицинских специалистов: экспертов в разработке и производстве высокотехнологичных светочувствительных КМОП-сенсоров (CMOSIS), камер (Adimes) и биомедицинских оптических систем (LLTech) наряду с медицинскими учреждениями, такими как LUMC (Медицинский центр Лейденского университета) и Gustave Roussy Cancer Campus (Институт исследования и лечения раковых заболеваний в городе Виль-

жюиф) для проведения «полевых» испытаний новой системы.

Оптический когерентный томограф (ОКТ) – это оптический бесконтактный прибор для неинвазивного исследования живых тканей, позволяющий получить прижизненное послойное изображение тканей в виде морфологического среза и оценить их функциональное состояние. Такой инструмент позволяет в реальном режиме времени с высокой точностью определить очаг заболевания, что незаменимо при проведении высокоточных хирургических операций.

При обеспечении необходимого качества изображения и скорости съёмки можно достичь детализации среза тканей сравнимой или даже большей, чем при извлечении живых образцов. Это позволяет применять прибор как для диагностики, так и для лечения, в том числе при проведении хирургических операций. Существующим приборам ОКТ, основанным на неадаптированных стандартных камерах, недостаёт скорости и чувствительности.

Запланированы два исполнения инструмента: сверхбыстрый микроскоп для поверхностных исследований и эндоскоп.

Задача инженеров CMOSIS состоит в определении технических условий, разработке, производстве и тестировании готовых образцов КМОП-матриц с составлением их подробной спецификации. По характеристикам будущий сенсор должен значительно превосходить существующие аналоги: быть в 20 раз более быстрым и в три раза более чувствительным. При разрешении в 2 Мп матрица будет иметь глубину потенциальной ямы 2 М $\mu$  и фиксировать изображение с частотой кадров равной 1 кГц. Первые образцы были продемонстрированы уже в марте этого года, сейчас они проходят полномасштабное долгосрочное тестирование.

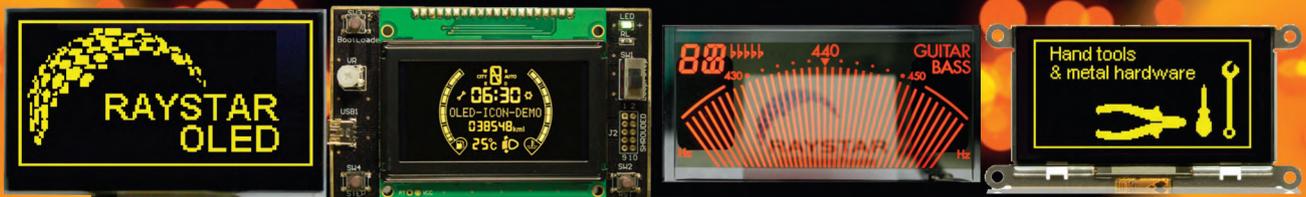
Компания CMOSIS также принимает участие в создании камеры на основе этого сенсора в сотрудничестве с Adimes, первые снимки этой камерой запланировано сделать уже в июне.

[www.npk-photonica.ru](http://www.npk-photonica.ru)



### Лучшая замена ЖК-панелям

### OLED-дисплей Raystar



Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

#### Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м<sup>2</sup> обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокий контраст 2000:1
- Широкий угол обзора до  $\pm 175^\circ$
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122x32, 128x64, 240x64, 256x64 и 96x64 точки
- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светоэмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от -40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ RAYSTAR

**PROSOFT**®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



Реклама

# Комплексы имитации сетей электропитания для испытаний технических средств

Михаил Попов (Москва)

В статье описаны функциональные возможности типовых комплексов имитации помех и нестабильностей в бортовой сети электропитания постоянного и переменного тока.

Проблема обеспечения надёжной работы современных технических средств (ТС), особенно радиоэлектронной аппаратуры, в условиях воздействия помех и различных нестабильностей в сети их электропитания всегда была актуальной. Отраслевые и государственные стандарты регламентируют качество электрической энергии как в сети общего назначения, так и в автономных системах электроснабжения (СЭС) различных объектов, а также помехи, наводимые на шины питания различными внутренними и внешними источниками (гармонические и импульсные помехи от радиочастотного излучения, коммутации, молниевых и электростатических разрядов). Требования и методы проверки ТС на соответствие качеству электропитания и электромагнитной совместимости (ЭМС) также изложены в многочисленных отечественных и международных стандартах.

Выполнение данных требований в полном объёме с проведением

испытаний ТС на восприимчивость к помехам в сети питания до недавнего времени сдерживалось отсутствием аттестованного испытательного оборудования – имитаторов СЭС, которые обеспечивали бы моделирование всех необходимых показателей качества электроэнергии.

ЗАО «ТЕСПРИБОР» уже несколько лет успешно разрабатывает и поставляет на промышленные предприятия испытательные комплексы для проведения испытаний ТС на соответствие требованиям, установленным как в государственных и отраслевых нормативных документах, так и в частных технических требованиях заказчика. При этом могут быть сформированы комплексы:

- для проведения испытаний авионики, устанавливаемой на борт самолёта или вертолёт, на соответствие требованиям ГОСТ 54073-2010 (19705-89), МУ-160, КТ-160, ДО-160Д;
- для проведения испытаний аппаратуры, предназначенной для оснащения

автомобилей и бронетанковой техники, на соответствие требованиям ГОСТ 28751-90, ГОСТ В 21999-86;

- для проведения испытаний аппаратуры, устанавливаемой на борт кораблей и подводных лодок;
- для проведения испытаний аппаратуры, предназначенной для оснащения передвижных пунктов связи, на соответствие ГОСТ РВ 51937-2002;
- для проведения испытаний аппаратуры, предназначенной для установки на искусственные космические объекты.

Комплексы обеспечивают:

- питание ТС электроэнергией с заданными параметрами качества;
- генерацию стационарных и импульсных электрических (магнитных) полей (по заказу);
- создание на шинах питания кондуктивных помех (по заказу).

Эти комплексы описаны в литературе [1].

Дальнейшим развитием этого направления деятельности компании стало создание типовых, оптимизированных по стоимости и функциональным возможностям моделей комплексов постоянного тока серии ТЕКО-1000 (см. рис. 1) и переменного тока серии ТЕКО-2000.

В соответствии с функциями комплекс состоит из следующего оборудования (см. рис. 2):

- источника – имитатора постоянного тока и/или программируемого источника – имитатора переменного тока (однофазного или трёхфазного), способного изменять выходное напряжение (и частоту) в широких пределах, обеспечивая требуемые в нормативно-технической документации (НТД) параметры;
- персонального компьютера (ПК) с необходимым программным обеспечением;
- цифроаналогового преобразователя, формирующего необходимые управляющие сигналы, подаваемые на источник-имитатор;
- осциллографа – приставки к ПК для контроля имитируемых процессов питающей сети (по заказу).

Всё оборудование размещено в стандартном 19-дюймовом шкафу (настоль-

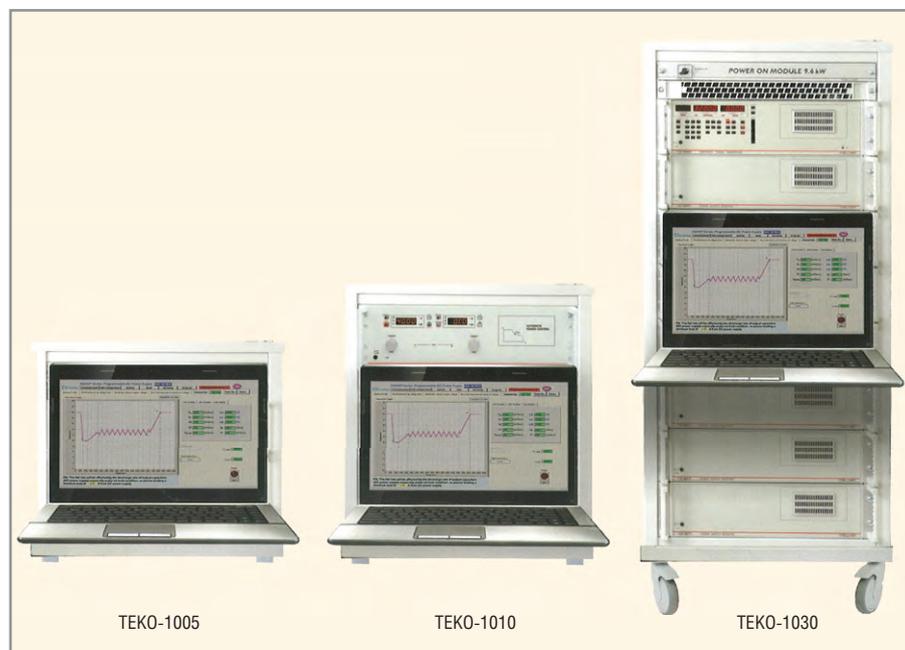


Рис. 1. Типовые КИБС серии ТЕКО-1000

# ТЕКО-1000:

## КОМПЛЕКСЫ ИМИТАЦИИ БОРТОВЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ (КИБС)



**Испытания бортовой аппаратуры  
на надежность работы в условиях нестабильности  
и помех в сетях электропитания**

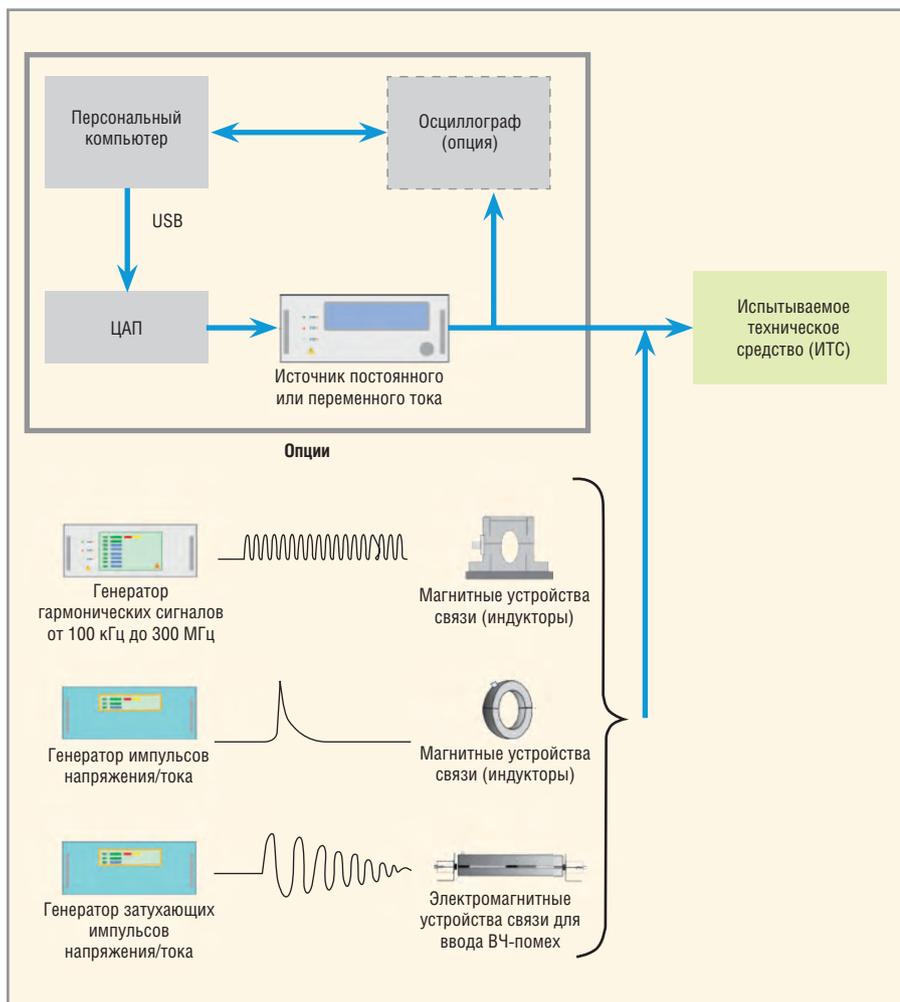


Рис. 2. Функциональная схема комплекса имитации

ном или напольном). Источник электропитания выбирается в зависимости от рода имитируемой сети и требуемой мощности. В качестве источников постоянного тока могут использоваться как модели на основе линейной стабилизации напряжения, так и с использованием импульсных методов преобразования энергии.

Главными достоинствами источников питания на основе линейного стабилизатора напряжения являются формирование очень чистого питания и возможность обеспечить очень быстрое (не более 200 мкс) программное изменение напряжения во всём выходном диапазоне. Эти свойства в совокупности с прилагаемым программным обеспечением для построения зависимостей выходного напряжения позволяют имитировать наложение на постоянное напряжение переменного напряжения (пульсаций) с частотой до 20 кГц. Кроме того, существуют возможности «подмешивать» в питание мощной нагрузки гармонические колебания до 100 кГц, вырабатываемые обычным лабораторным

маломощным генератором. Есть и другие функции, полезные для испытания аппаратуры, например, возможность кратковременной отдачи в цепь питания тока, в три раза превышающего номинальный (максимальный).

Для имитации сети постоянного тока предлагаются программируемые источники питания немецкой фирмы Toellner Electronic Instrumente GmbH серий TOE 88X5-YY или управляемые по аналоговому интерфейсу источники итальянской фирмы DANA S.r.l. (Италия). Данные источники имеют высокое быстродействие по изменению напряжения во всём выходном диапазоне (время изменения напряжения от 10 до 90% диапазона не более 200 мкс), т.к. они построены на основе линейных стабилизаторов напряжения.

Серия TOE 88X5-YY представлена широким модельным рядом с диапазоном выходного напряжения от 0 до 100 В и токами от 0 до 320 А. Конструктивно источники данной серии реализованы по модульному принципу: один модуль является ведущим,

остальные ведомыми (бустерами). Количество бустеров устанавливается в зависимости от необходимой мощности. Ведущий модуль поддерживает до 15 бустеров, что позволяет, например, построить имитатор СЭС номинального напряжения 27 В с мощностью более 1,5 кВт.

Комплексы имитации сети переменного тока строятся на основе программируемых источников питания как однофазных, так и трёхфазных моделей (с возможностью работы в однофазном режиме) с максимальной мощностью до 18 кВт. Однофазные источники могут (для увеличения мощности) работать параллельно; также их можно сконфигурировать в трёхфазные источники.

В режиме переменного тока эти программируемые источники питания позволяют выдавать любое напряжение питания от 0 до 300 В с частотой от 16 до 1000 Гц. Напряжение может быть модулировано как по амплитуде, так и по частоте, а для трёхфазных источников может быть запрограммирован фазовый сдвиг, изменяемый во времени, и разбаланс напряжений в различных фазах. Также возможно получение переменного напряжения со сдвигом на постоянную составляющую. Источники питания фирмы Chroma (Тайвань) серий 61500 и 61700 являются наиболее перспективными для использования в этих комплексах.

Для управления источниками в составе комплексов имитации сети постоянного тока специально разработано программное обеспечение TestPribor-KIBS, предоставляющее широкие возможности автоматизации всего цикла (или отдельных его этапов) испытаний ТС на устойчивость к искажениям параметров качества питающей сети в соответствии со всеми требованиями НТД (см. рис. 3). Программа имеет интуитивно-понятный интерфейс и позволяет создавать, редактировать и выполнять циклы испытательных воздействий на устойчивость к помехам по сети электропитания с автоматическим воспроизведением требуемых значений напряжения (частоты) электропитания и подачи их на испытуемое ТС в заданной временной последовательности.

Имитируемые процессы:

- изменения напряжения (частоты) от 0 до 100% номинального и перерывы питания любой длительности;

- пульсации напряжения с требуемым гармоническим составом (гармоники с частотой от 0,1 до 100 кГц), а также с амплитудной и частотной модуляцией;
- изменения угла сдвига фаз и небаланса напряжений в трёхфазной сети.

Достоинством программы является работа с любым источником питания, имеющим аналоговый интерфейс управления, и настройка под любой диапазон выходных и управляющих напряжений. Имеется возможность воспроизведения как отдельных этапов испытаний с сохранением параметров в пользовательский файл, так и всего испытательного цикла воздействий, записанных в различных пользовательских файлах (см. рис. 4).

Интерфейсом между источником и программой TestPribor-KIBS служит модуль аналогового вывода на основе цифроаналогового преобразователя фирмы National Instruments (США).

Выбор устройств генерации импульсных и гармонических помех для разных типовых вариантов комплектации в основном определяется требованиями НТД. В одних случаях используются ранее описанные возможности источников питания, в других – стандартные лабораторные генераторы с широкополосными усилителями мощности или специализированные генераторы высоковольтных импульсов и мощные генераторы гармонических помех.

Эти генераторы формируют помехи, нормированные по форме, частоте и амплитуде в соответствии с международной системой стандартов по ЭМС для электросетей общего назначения. Форма, частота и амплитуда допустимых помех, регламентированная отраслевыми стандартными, часто отличаются от сигналов, вырабатываемых серийно выпускаемыми генераторами. Например, импульсы напряжения, возникающие в электросети общего назначения, имеют длительность 100 мкс, а в авиационной СЭС по ГОСТ 54073-2010 указана длительность 10 мкс. Используя различные схемы согласования («рассогласования»), аттенюаторы и дополнительные нагрузки, можно преобразовывать формы импульсов одного стандарта в импульсы другого стандарта.

Исходя из требований заказчика, специалисты предприятия могут



Рис. 3. Вид главного окна программы TestPribor-KIBS

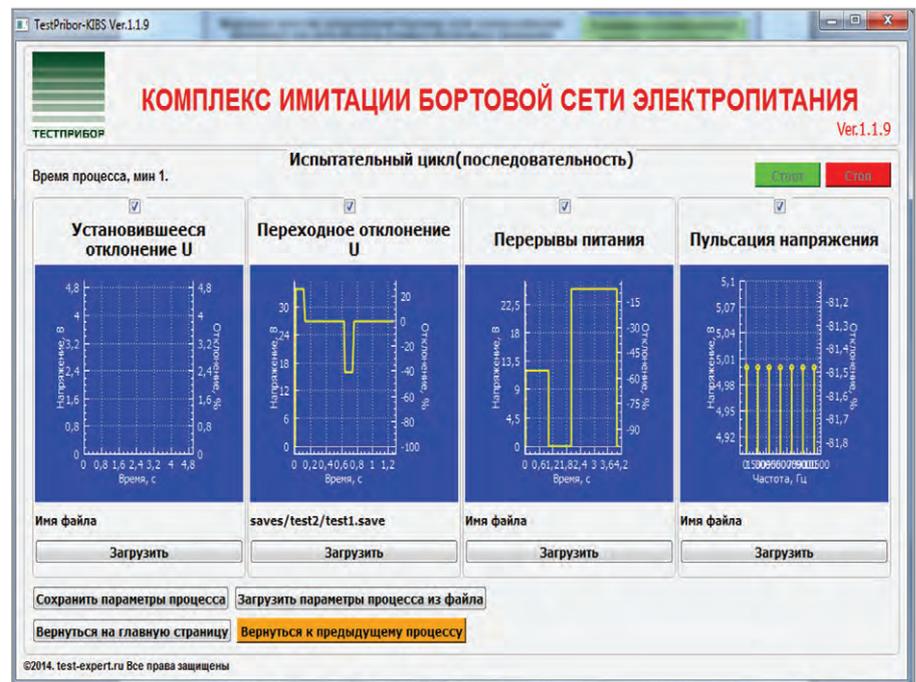


Рис. 4. Вид окна испытательного цикла программы TestPribor-KIBS

сконфигурировать оптимальный вариант испытательного комплекса требуемой мощности. Компактность и удобство использования предлагаемых комплексов позволяет задействовать их на всех этапах жизненного цикла оборудования: от разработки до приёмосдаточных испытаний, а также при аттестации серийно выпускаемой продукции, в том числе зарубежной.

В заключение следует отметить, что поставляемые комплексы имитации могут быть аттестованы по

ГОСТ Р 8.568-97 с участием специализированных организаций, аккредитованных ФГКУ ГНМЦ МО РФ на возможность проведения испытаний оборудования на соответствие требованиям, установленным конкретной НТД.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гудков С.А. Оборудование для проведения испытаний технических средств на соответствие требованиям по электропитанию. Компоненты и технологии. № 9. 2011. С. 177–180.

# Восемь типичных ошибок при выполнении измерений с помощью анализатора спектра

Боб Нельсон, Agilent Technologies, Inc.

В статье рассмотрены восемь типичных ошибок, совершаемых при выполнении измерений с помощью анализатора спектра. Эти ошибки могут привести к тому, что тестируемое устройство будет настроено неправильно, в результате чего заказчик получит не соответствующий спецификациям прибор. Предложенные простые рекомендации помогут избежать ошибок при тестировании устройств с помощью анализатора спектра.

## 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПОДХОДЯЩЕГО ДЕТЕКТОРА

В современных анализаторах спектра предусмотрена возможность выбора детекторов (см. рис. 1). Обычно это детекторы пикового, мгновенного, среднего и действующего значений. Каждый детектор предназначен для сигналов определённого типа. Использование неподходящего детектора приводит к неправильным результатам измерений и, следовательно, к неправильной настройке тестируемого устройства или пропуску присутствующего сигнала помехи. Далее приведены некоторые общие правила выбора детектора в соответствии с типом сигнала и целью измерений.

Детектор мгновенных значений (Sample Detector) выдаёт по одной выборке для каждой точки спектрограммы на экране дисплея. Если экран

дисплея сконфигурирован на отображение, скажем, 1001 точки спектрограммы (#Pnts), то каждая точка представляет собой одну из множества выборок, равномерно распределённых по полосе сканирования прибора (SPAN) в частотной области. Частотный интервал между точками трассы равен  $SPAN / (\#Pnts - 1)$ . Этот детектор идеально подходит для измерения шумоподобных сигналов, но при измерении немодулированных сигналов (CW) необходимо установить полосу пропускания (RBW), которая будет шире частотного интервала между точками спектрограммы. Задав слишком узкую полосу разрешения, можно или получить заниженное значение амплитуды немодулированного сигнала, или полностью пропустить этот сигнал. Большинство анализаторов спектра автоматиче-

ски выбирает детектор мгновенного значения при отображении спектрограммы с усреднением, поэтому этот детектор может быть использован по умолчанию и при измерении немодулированных сигналов.

Пиковый детектор (Peak Detector) обнаруживает максимальное значение амплитуды в каждом интервале и отображает это значение в виде точки спектрограммы. Этот детектор идеально подходит для измерения немодулированных сигналов, но при измерении шумоподобных сигналов он выдаёт неправильное значение за исключением тех случаев, когда нужно обнаружить максимальное значение мощности, а измерение производится с удержанием максимума.

Детектор с усреднением (Average Detector) усредняет мощность между двумя точками спектрограммы и отображает в линейном масштабе в милливаттах среднюю мощность. Этот детектор идеально подходит для шумоподобных сигналов. Кроме того, он правильно отображает амплитуду немодулированного сигнала, если полоса пропускания шире частотного интервала между точками трассы. По аналогии с детектором мгновенного значения, усредняющий детектор может выдать заниженное значение амплитуды немодулированного сигнала при слишком узкой полосе разрешения.

Детектор нормального значения (Normal Detector) в большинстве случаев используется в анализаторах спектра по умолчанию. Это связано с тем, что он выдаёт точное значение амплитуды немодулированного сигнала независимо от соотношения между полосой разрешения и частотным интервалом между точками трассы. Детектор нормального значения эффективно работает и с шумоподобными сигналами. В этом случае, если спектральная составляющая сигнала то возрастает, то убывает, для нечётной точки спектрограммы отображается максимальное, а для чётной точки – минимальное значения сигнала. В результате на экране отображается полный размах шумоподобного сиг-

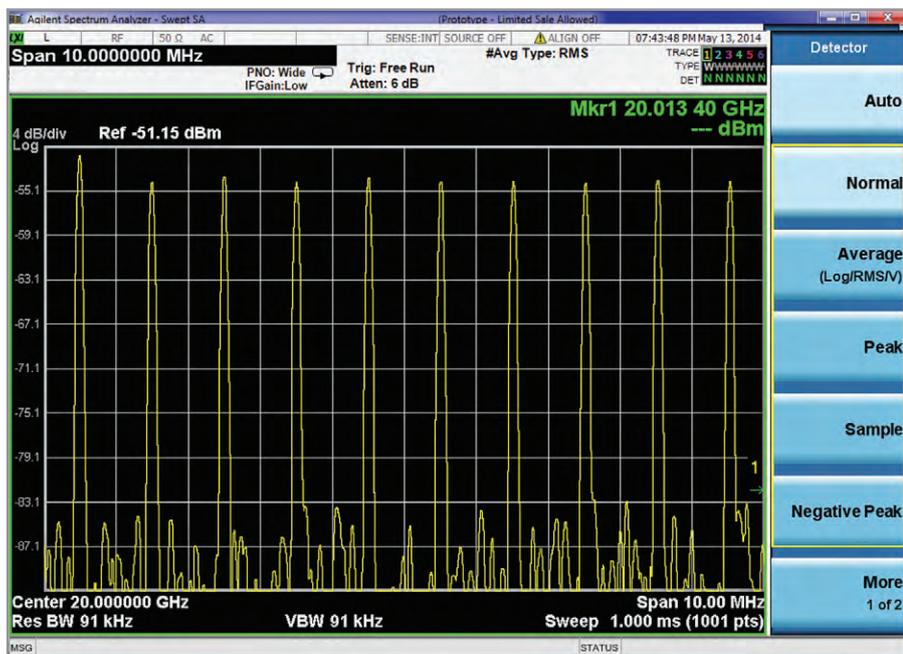


Рис. 1. Выбор правильного детектора

## Представляем новый стандарт.

Осциллографические технологии нового поколения.



### Серия 6000X: новый стандарт соотношения цены и характеристик

- Наилучшее на рынке сочетание цены и производительности
- Непревзойденное качество отображения сигналов
- Высочайшая степень интеграции

### Серия S: Новый стандарт прецизионных измерений

- Лучшие в отрасли показатели по целостности сигнала
- Самая передовая компьютерная платформа
- Широчайший спектр возможностей

	Осциллографы серии InfiniiVision 6000X	Осциллографы Infiniium серии S
Полоса пропускания	1 ГГц – 6 ГГц	500 МГц – 8 ГГц
Максимальная частота дискретизации	20 Гвыб./с	20 Гвыб./с
Самый низкий в отрасли уровень собственных шумов**	115 мкВ (скз) (1 мВ/дел.)	90 мкВ (скз) (1 мВ/дел.)
А также:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Скорость обновления сигналов на экране 450000 осциллограмм/с</li> <li>• Аппаратная функция «запуска касанием» InfiniiScan Zone</li> <li>• Емкостной экран с технологией «мультитач» с диагональю 12,1 дюйма</li> <li>• Функциональность 6 приборов в 1</li> <li>• Голосовое управление</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• АЦП с разрешением 10 бит</li> <li>• Глубина памяти 100 Мвыб. в стандартной комплектации</li> <li>• Емкостной экран с технологией «мультитач» с диагональю 15 дюймов</li> <li>• Усовершенствованный интерфейс пользователя Infiniium</li> </ul>



Просканируйте код или посетите сайт, чтобы посмотреть видеоролики <http://qrs.ly/se3qipe>

Ощутите разницу – закажите демонстрацию прибора.  
[www.agilent.com/find/aneustandard](http://www.agilent.com/find/aneustandard)



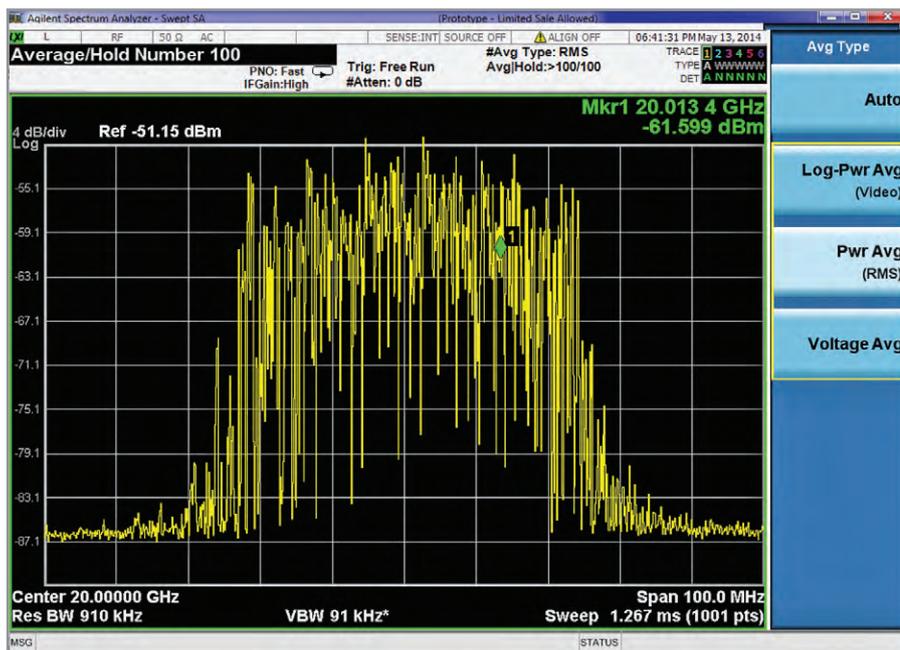


Рис. 2. Установка правильного режима усреднения

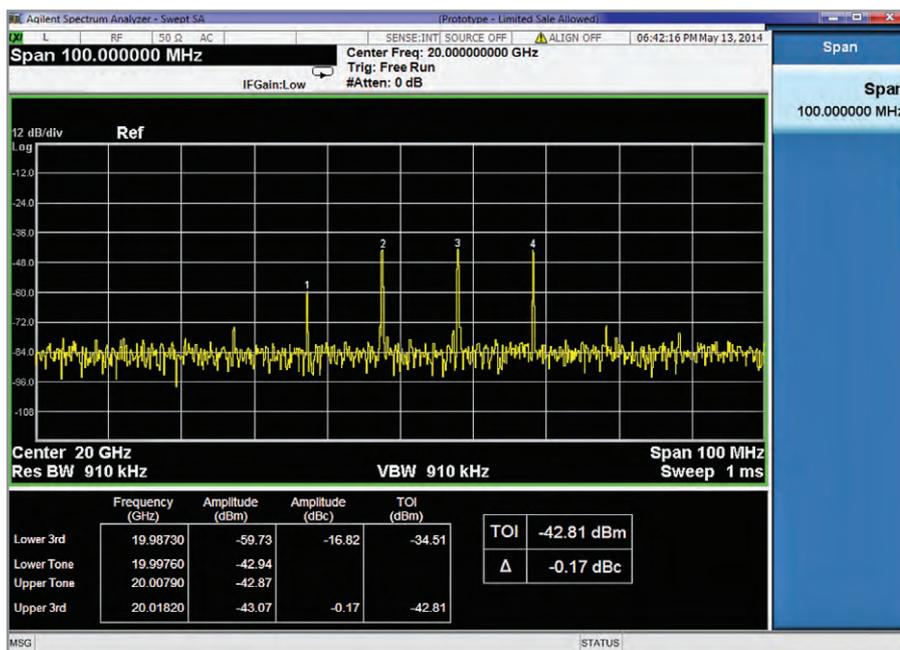


Рис. 3. Измерения искажений на анализаторе спектра

нала. Для участков спектрограммы, где сигнал только возрастает или только убывает, отображается максимальное значение. Это происходит, когда немодулированный сигнал свипируется в пределах всей трассы и поддерживается неизменной амплитуда сигнала. Однако такой детектор не рекомендуется использовать при измерении суммарной мощности шума, например, при измерении мощности шумов в канале или мощности помех по соседнему каналу, поскольку чередование максимальных и минимальных значений неправильно представляют распределение мощности в спектре шумоподобного сигнала.

Если отсутствуют особые причины для выбора специфического детектора, следует применять детектор, выбранный анализатором спектра по умолчанию. При появлении сомнений рекомендуется использовать для измерения немодулированных сигналов пиковый детектор, а шумоподобных сигналов – детектор среднего значения.

## 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРАВИЛЬНОГО РЕЖИМА УСРЕДНЕНИЯ

В большинстве анализаторов спектра можно выбирать один из двух типов усреднения мощности – Log-Video или Power (RMS) (см. рис. 2).

Усреднение Log-Video (логарифмическое усреднение мощности) подразумевает измерение амплитуды огибающей сигнала в логарифмическом масштабе в децибелах. При усреднении Log-Video измеренное значение уровня шумоподобного сигнала, такого, как собственный шум анализатора спектра или сигнал стандарта WCDMA, будет на 2,51 дБ меньше фактического уровня сигнала. Однако на немодулированный сигнал усреднение Log-Video не влияет. Именно поэтому усреднение Log-Video целесообразно использовать для измерения немодулированного сигнала, уровень которого близок к уровню собственного шума анализатора спектра. Усреднение Log-Video позволяет уменьшить влияние собственного шума и увеличить отношение сигнал/шум.

При измерении шумоподобного сигнала почти во всех случаях следует использовать среднеквадратичное усреднение мощности – Power (RMS). Можно выполнить или простое усреднение спектрограммы или усреднение, основанное на уменьшении видеополосы (VBW) до значения, меньшего полосы пропускания (RBW).

Усреднение Log-Video рекомендуется использовать для измерения немодулированного, а Power (RMS) – шумоподобного (модулированного) сигнала.

## 3. ИЗМЕРЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ИСКАЖЕНИЙ АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА ВМЕСТО ИСКАЖЕНИЙ ИСПЫТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА

В ряде случаев анализатор спектра используется для измерения нелинейных искажений тестируемого устройства (см. рис. 3). Можно определить (измерить) точку пересечения по интермодуляционным составляющим третьего порядка (TOI), мощность в соседнем канале (ACP) или гармоники. Амплитуда частотных составляющих искажений обычно определяется относительно уровня входного сигнала устройства. К сожалению, аналогичные искажения генерируются и в анализаторе спектра. Если не принять никаких мер, то их значения будут прибавляться или вычитаться из результатов измерений, делая их полностью недоверенными.

Собственные искажения зависят от уровня сигнала на входе смесителя в анализаторе спектра. Для уменьшения уровня сигнала на входе смесителя можно увеличить коэффициент

ослабления внутреннего или внешнего аттенюатора. Его следует увеличивать до тех пор, пока относительный уровень частотных составляющих искажений не перестанет изменяться. При такой настройке аттенюатора можно уверенно утверждать, что изменяются характеристики испытываемого устройства.

#### 4. НЕПРАВИЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ СИГНАЛА НА ВХОДЕ СМЕСИТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ АМПЛИТУДЫ ВЕКТОРА ОШИБОК (EVM)

Измерение параметров линейных искажений в испытываемом устройстве, например амплитуды вектора ошибок (EVM), выполняется с помощью функции векторного анализа сигналов, реализуемой анализатором сигналов. В этом режиме сигнал, преобразованный с понижением частоты, подаётся непосредственно на АЦП анализатора сигналов. Обычно выбирается подходящая полоса пропускания, но в некоторых случаях анализатор сигналов не оптимизирован для конкретного измерения. При слишком низком или слишком высоком уровне сигнала на входе смесителя качество измерений ухудшается.

Для оптимизации измерений следует сначала уменьшить коэффициент ослабления сигнала на входе до возникновения состояния перегрузки АЦП, а затем увеличить коэффициент ослабления до исчезновения перегрузки. Это гарантирует эффективное использование всего динамического диапазона АЦП. Для оптимизации может потребоваться включить предусилители или использовать дополнительные внешние усилители для сигналов низкого уровня.

Процедуру оптимизации можно автоматизировать, предварительно настроив функцию ограничения по минимальному уровню (если прибор поддерживает такую возможность).

#### 5. ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ ПРИБОРОМ НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ОДНОКРАТНОЕ СВИПИРОВАНИЕ

На первый взгляд кажется, что измерение с непрерывным свипированием должно выполняться быстрее. Однако при дистанционном управлении прибором измерение с непрерывным свипированием будет выполняться медленнее, чем с однократным. Это связано с тем, что когда пользователь

посылает команду INITIATE (инициализировать) для начала цикла свипирования, прибор предварительно должен прервать текущий цикл, что ведёт к потере всех результатов и, следовательно, потере времени. В подавляющем большинстве случаев для поддержания максимально высокого быстродействия и синхронизации измерений рекомендуется перевести прибор в режим однократного свипирования, а затем произвести любые требуемые измерения.

#### 6. ИЗМЕРЕНИЯ НЕ СИНХРОНИЗИРОВАНЫ С ПОМОЩЬЮ ЗАПРОСА \*OPC?

Автоматизация измерений и анализа сигналов усложняется по мере развития новых технологий. Может возникнуть неприятная ситуация, когда пользователь постоянно получает прогнозируемые результаты и вдруг обнаруживает неправильный результат. В азарте выявления ошибки можно обнаружить, что вводятся дополнительные стадии ожидания, чтобы замедлить выполнение кода. Может показаться, что это уменьшит частоту появления ошибок или устранил их полностью. В этом случае, скорее всего, нарушится синхронизация между прибором и управляющей программой.

Для поддержания правильной синхронизации следует использовать маркер Operation Complete (OPC), указывающий на завершение выполнения измерения или свипирования. Код следует запрограммировать следующим образом:

**INIT:CONT OFF** Установить режим однократного свипирования.

**INITIATE:<measurement>** Инициализировать измерение.

**\*OPC?** Запрос прибору на выдачу единицы (1) по завершении выполнения измерения. Получив эту единицу, управляющая программа будет знать, что прибор выполнил измерение.

**FETCH:<measurement>?** Извлечь результаты измерений или установить маркер на трассе.

#### 7. НЕВЫПОЛНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ: ВЫКЛЮЧИТЬ ДИСПЛЕЙ И ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДВОИЧНЫЙ ФОРМАТ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ

Во всех случаях, чтобы добиться максимальной производительности при тестировании, целесообразно выключить

дисплей и использовать двоичное представление данных, чтобы уменьшить объём передаваемой информации. Приведённые далее команды позволят значительно повысить производительность:

**INIT:CONTOFF** Установить измерение с однократным свипированием.

**FORMAT:DATAREAL,32** Преобразовать результаты измерения в 32-разрядный двоичный формат с плавающей точкой.

**DISPLAY:ENABLE OFF** Выключить дисплей.

#### 8. ПРЕВЫШЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ НА ВХОДЕ АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА

Большинство контрольно-измерительных приборов выходит из строя при подаче на вход сигнала мощностью более +30 дБм.

Трудно описать эмоции, возникающие у исследователя, когда, подав сигнал через разъём на передней панели анализатора спектра, он в течение короткого времени видит на экране беспорядочные ложные сигналы, которые затем исчезают. А осознание того, что он подал на свой новый анализатор спектра сигнал мощностью 5 Вт, послужит незабываемым уроком на будущее.

При работе с сигналами, для которых известно, что их мощность выше максимально допустимой, на входе прибора следует использовать устройства, понижающие уровень сигнала. Это позволит не только ускорить измерения, но и избежать затрат на возможный ремонт.

#### Выводы

В этой статье описаны восемь типичных ошибок, совершаемых при выполнении измерений с помощью анализатора спектра. Кроме них существует великое множество других ошибок, с которыми сталкиваются разработчики. Перечисленных же выше ошибок можно достаточно легко избежать.

В течение многих лет производители контрольно-измерительного оборудования проводят большую работу по выбору стандартных настроек, позволяющих получать наиболее точные результаты для конкретного вида измерений. Тем не менее, реальность такова, что опытный пользователь анализатора спектра должен понимать – как выполняются настройки для оптимизации каждого измерения.



# Мощные светодиоды в осветительных устройствах

Андрей Кашкаров (Санкт-Петербург)

**В настоящее время светодиоды – мощные твердотельные источники света – стали популярнее энергосберегающих ламп и ламп накаливания. В статье рассмотрены электрические параметры и особенности эксплуатации сверхъярких светодиодов и модулей на их основе.**

## Мощный светодиод или светодиодная лампа?

Осветительные лампы на основе мощных светодиодов обладают заметными преимуществами перед традиционными осветительными приборами. Автор намеренно опускает термин «светодиодная лампа», поскольку по устойчивой терминологии однозначного определения светодиодных светотехнических изделий сейчас нет, стандарты по терминам и определениям находятся в стадии разработки как в России, так и за рубежом.

Рассмотрим мощные светодиоды для современных светотехнических изделий (ламп для бытового и промышленного освещения). Лампы бытового назначения на основе светодиодов стандартизированы по форм-фактору цоколя, как ранее лампы накаливания и энергосберегающие лампы. Тем не менее, сегодня рынок таких бытовых ламп достаточно разнообразен. В качестве примера на рисунке 1 представлены изделия торговой марки IKEA (Швеция).

Слева на рисунке 1 показана лампа мощностью 7,5 Вт типа LED1205G8E27. Ток её потребления составляет 45 мА, удельный световой поток 53 лм/Вт. Справа – более мощная (10 Вт) лампа LED1307G10E27 с током потребления 46 мА и удельным световым потоком 60 лм/Вт. Этот пример показывает, что увеличение мощности на 2,5 Вт (почти

на треть) увеличивает ток потребления всего на 1 мА. По цифрам, указанным производителем на корпусе изделий, можно рассчитать и световой поток. В случае с лампой LED1307G10E27 он составит  $60 \times 10 = 600$  лм.

В корпусе лампы установлен преобразователь сетевого напряжения 200...240 В в постоянное (модулированное) напряжение 14 В. Следует обратить внимание на размещение светодиодов внутри колбы – она нетипична для таких изделий. Мощные светодиоды расположены вокруг коллиматора, их свет усиливается линзой. Свет от этих ламп действительно «тёплый» – по шкале цветовой температуры он соответствует ~2700 К. Изображение работающей лампы представлено на рисунке 2.

Эти изделия, произведённые в КНР, сильно отличаются от других, например производства РФ, также представленных на рисунке 2 и имеющих колбу классической формы, через которую не виден источник света. Изделия фирмы «Оптолюкс» (Россия) обеспечивают световой поток 570 лм при мощности 9 Вт. Они могут заменить 60-Вт лампы накаливания, т.е. экономят до 80% электроэнергии. Заявленный срок службы светодиодов составляет 15 лет при работе 8 ч в день и включении/выключении не более 4 раз в день. Описанные выше лампы не подходят для систем регулирования яркости,

их нельзя погружать в воду, подвергать воздействию открытого пламени и раскалённых предметов.

В России существует собственное производство ламп на основе мощных светодиодов, которым занимается холдинг «Российские светодиоды». Например, производство светодиодных ламп «Оптолюкс-E27-3015» осуществляется на базе одноимённой фирмы (см. рис. 3). Свет лампы российского производства «Оптоган» по цветовой температуре более холодный (см. табл. 1). Мощность ламп различна – сегодня можно приобрести изделия от 3 до 15 Вт.

Представленные выше светотехнические изделия являются относительно маломощными. Тем не менее, светодиоды, как элементы таких изделий, производятся крупнейшими компаниями, среди которых выделяются Cree Lighting, Lumileds Lighting и Nichia Corporation, имеющие собственное производство кристаллов на основе материалов InGaN. Другие компании-производители, такие как Lamina Ceramics, достигли успехов в изготовлении светильников. Они не производят собственных кристаллов, а корпусируют кристаллы других компаний под своей торговой маркой.

Светотехнические изделия, имеющие форму лампы, различаются не только по внешнему виду, но и по направленности светового потока: с фокусирующей линзой, рассеянного света или матрицей из светодиодных кластеров. К разновидностям светодиодных ламп также можно отнести споты и линейные лампы. Споты – это направленные светильники, которые позволяют выделить отдельные элементы интерье-



Рис. 1. Внешний вид светотехнических изделий в форме ламп торговой марки IKEA



Рис. 2. Лампа торговой марки IKEA типа LED1205G8E27, подключённая в осветительную сеть 220 В



Рис. 3. Светотехнические изделия в форме осветительных ламп производства российской фирмы «Оптоган»



**Рис. 4. Светотехнические изделия LED1205G8E27 (сверху) и Оптолюкс-Е27-3015**

ра точечной подсветкой. Лампы линейной формы в основном используют для светильников общего освещения.

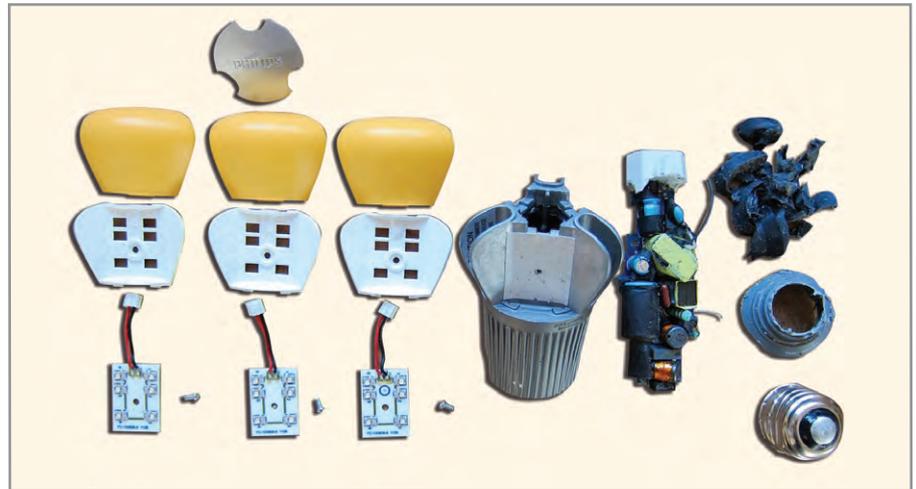
Преимущества светодиодов перед лампами накаливания – малое потребление электроэнергии, долговечность и надёжность в эксплуатации. На рисунках 1–3 представлены современные изделия в форме ламп, различающихся по конструктивному исполнению: с одним мощным светодиодом, «усиленным» линзами и отражателями; с кластером, состоящим из нескольких сверхъярких светодиодов, спрятанных в колбу матового цвета, без применения линз и дополнительных отражателей. Для наглядного сравнения эти два вида изделий показаны на рисунке 4. Внешний вид разобранной светодиодной лампы представлен на рисунке 5.

По сути, оба вида изделий имеют одинаковые преобразователи электрической энергии. В таблице 1 приведены их сравнительные характеристики, а параметры цветовой температуры – в таблице 2. Последние можно использовать и для определения цветовой температуры светодиодных лент и других излучателей света на основе светодиодов.

**ОГРАНИЧЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ**

По электромагнитной совместимости современные светотехнические изделия соответствуют требованиям ГОСТ Р 51318.15, ГОСТ Р 51317.3.2, ГОСТ Р 51317.3.3 и ГОСТ Р 51514. Степень защиты от внешних воздействий по IP20 соответствует требованиям и условиям ГОСТ 14254.

Изделия не требуют обслуживания, кроме периодического (раз в полгода) контроля состояния колбы и желательной (но не обязательной) очистке внешней рассеивающей поверхности мягкой тканью. Органические растворители или легковоспламеняющиеся жидкости использовать для протирки колбы не следует по соображениям электро- и пожаробезопасности.



**Рис. 5. Светотехнические изделия в разобранном виде: теплоотвод – часть корпуса и плата с дискретными радиоэлементами, составляющими схему источника питания – преобразователя 220 В / 14 В**

Бытовые светотехнические изделия имеют 2-й класс защиты от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0. Электрическая прочность изоляции составляет не менее 1,5 кВ в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60598-1 при нормальных условиях (температура окружающего воздуха +22°C, относительная влажность воздуха 20%). Следует отметить, что светодиодные лампы не подлежат ремонту в домашних условиях. Срок службы светодиодов, заявленный производителем, составляет не менее 50 тыс. ч.

Бытовые изделия нежелательно использовать в помещениях с повышенной влажностью окружающего воздуха (более 80%) и с большим содержанием пыли. При работе светодиодных ламп рабочая температура теплоотвода может достигать +70°C. Не рекомендуется смотреть на горящий светодиод – можно повредить глаза.

Не так давно были утверждены дополнения к «Гигиеническим требованиям к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий» (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03). Из новых правил (СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585–10) исключена формулировка, ограничивающая применение источников света двумя типами: лампами накаливания и газоразрядными лампами. Вместо этого в правилах ограничен допустимый диапазон цветовых температур, – от 2400 до 6800 К. В том же регламенте введено требование к наличию защитного угла у светодиодных светильников (конкретные значения не приводятся). В новой версии документа снижение нормы освещённости на одну ступень допустимо для источников света с индексом цветопередачи выше 90.

Важно отметить, что в новой редакции СанПиН запрещено применение

**Таблица 1. Сравнительные характеристики светотехнических изделий (см. рис. 1–3)**

Параметры	Изделие с одним сверхъярким светодиодом (на примере LED1205G8E27)	Изделие, состоящее из кластера сверхъярких светодиодов и элементов усиления светопередачи (на примере Оптолюкс-Е27-3015)
Напряжение питания, переменное, В	220–240	200–240
Мощность потребления (при эквивалентной мощности 60 Вт), Вт, не более	7,5	9
Угол излучения по уровню 0,1 от I <sub>max</sub> , °	50	140
Световой поток при номинальной коррелированной цветовой температуре 2700 К согласно стандарту Energy Star, лм	530	570 (тёплый белый свет)
Ток потребления от осветительной сети переменного тока 220 В, 50–60 Гц, А	0,045	0,065

**Таблица 2. Характеристика света по цветовой температуре**

Характеристика света	Значение цветовой температуры, К
Тёплый белый	2700...3200
Нормальный белый	3201...4200
Дневной белый	4201...5500
Холодный белый	5501...6500



Рис. 6. Светодиодная подсветка железнодорожной станции «Сортировочная» (Санкт-Петербург)

светодиодов в учреждениях дошкольного, школьного и профессионально-технического образования, а также во многих помещениях медицинских учреждений. Вероятно, требуются дополнительные исследования.

### Конструкция

Конструкция светотехнических изделий влияет не только на ресурс работы и надёжность, но и на стоимость готовых изделий. Так, оптимальная конструкция призвана обеспечивать отвод тепла от кристалла, высокую технологичность монтажа и выдерживать термоциклирование. На долговечность работы изделия также влияют метод монтажа кристалла и материал теплоотводящего основания.

Кроме светодиодов белого свечения различной цветовой температуры, существуют RGB источники света, предназначенные для универсальных устройств управления освещением и цветом, в том числе для архитектурной и ландшафтной подсветки, в дизайнерских решениях кафе, ресторанов и др. Система питания и управления RGB источниками света на основе светодиодной матрицы RGB работает как в динамическом режиме по протоколу управления DMX 512, так и в автоматическом режиме по установленной программе.

Все источники света изготавливаются на печатных платах с алюминиевым основанием и могут комплектоваться вторичной оптикой для получения необходимой диаграммы направленности светового потока. Отчасти такое решение реализовано в промышленных светильниках большой мощности.

На рисунке 6 представлено светодиодное освещение железнодорожной

станции «Сортировочная» (Санкт-Петербург). В этом комплексе осветительных систем, покрывающих территорию железнодорожного узла площадью несколько квадратных километров, задействовано более 200 мощных светильников. С учётом экономичности изделий на основе мощных светодиодов и относительно большого срока наработки на отказ, такие решения рентабельны и в части снижения затрат на обслуживание, и по эффективности освещения.

### Базовые изделия в линейке мощных полупроводниковых светодиодов Cree

В изделиях семейства MC-E компании Cree [1] используются многокристалльные светодиоды. Они обеспечивают световой поток в 4 раза больший, чем светодиоды серии XR-E, при прочих равных условиях, в том числе одинаковых массогабаритных характеристиках. Основным отличием семейства MC-E является сниженная себестоимость за счёт уменьшения количества компонентов. Основное назначение – создание высокоэффективных источников света для всех видов освещения (общего, промышленного, уличного и т.д.) в случаях, когда требуется обеспечить большой световой поток при небольших габаритах.

Основной цвет свечения изделий – белый. В светодиодах данной серии используются кристаллы EZ1000 новой серии EZBright. Размер кристаллов 1000 × 1000 мкм. Сборка светодиода осуществляется в корпусе с улучшенными тепловыми свойствами.

Основным назначением приборов семейства XP-C являются компактные

высокоэффективные источники света для общего, аварийного, промышленного и уличного освещения. Цвет свечения – белый, диапазон цветовой температуры от 2600 до 10 000 К. По оттенкам белого цвета светодиоды делятся на три группы: тёплый (2600...3700 К), естественный (3700...5000 К) и холодный (5000...10 000 К) белый цвет.

В светодиодах данной серии используются кристаллы EZ700 новой серии EZBright. Размер кристаллов 700 × 700 мкм. При сборке светодиода кристалл монтируется на кремниевую плату, что улучшает тепловые характеристики изделия. Приборы отличаются от серии MC-E меньшими габаритными размерами, симметричным корпусом и большим значением угла распределения света.

Светодиоды семейства XP-E предназначены для компактных высокоэффективных источников света для всех видов освещения. Характеристики цветовой температуры аналогичны семейству XP-C. В светодиодах данной серии используются кристаллы EZ1000 серии EZBright.

Основное применение полупроводниковых приборов Cree XLamp™ серии XR-C7090 – электронные устройства небольшой стоимости. Выпускаются светодиоды оранжевого, зелёного, голубого и синего цвета. В них используются кристаллы EZ700 новой серии EZBright, сборка осуществляется по технологии, аналогичной семейству XR-E. Эффективность этого кристалла при номинальном токе примерно соответствует приборам семейства XR7090 с кристаллом предыдущего поколения XB900. Благодаря меньшей площади кристалла, его себестоимость в массовом производстве ниже, соответственно ниже и стоимость изделий.

Корпус XR-E7090 обеспечивает рекордно низкое тепловое сопротивление между переходом и теплоотводом – до 8°C/Вт и равномерный градиент температуры поверхности теплоотводящего основания. Высокую температурную стабильность и долговечность первичной оптики обеспечивают линзы из кварцевого стекла с автоматической фокусировкой – одно из новейших технических решений. Малая эквивалентная площадь излучающей поверхности позволяет реализовать небольшие углы рассеивания светового потока при использовании вторичной оптики.

Как и полупроводниковые приборы серии XR-C7090, светодиоды XR-E7090

предназначены только для автоматизированного монтажа с использованием стандартных технологических процессов, что упрощает обеспечение теплового режима приборов. Прежде всего, это высокоэффективные источники света для общего, аварийного и промышленного освещения, взрывобезопасного оборудования, подсветки ЖК-панелей большой площади, автономных светильников и фонарей, систем подсветки автотранспорта.

Светодиоды Cree XLamp™XR-E7090 являются самыми яркими в своём классе. Они реализованы на кристаллах InGaN на подложке SiC и обеспечивают световой поток до 100 лм при токе всего 350 мА. Приборы смонтированы в уникальных корпусах для поверхностного монтажа с рассеиваемой мощностью более 3 Вт. Поэтому применение новейших кристаллов позволило снизить мощность, потребляемую полупроводниковой лампой, на 30% по сравнению с предыдущими семействами фирмы: до 1,05 Вт при токе 350 мА и до 2 Вт при токе 700 мА.

Приборы XLamp™XR-E7090 хорошо себя зарекомендовали и используются

в источниках света для светофоров и автомобильных фар. Эта область техники сегодня развивается стремительными темпами.

### Светодиодные изделия

На российском рынке ведущие позиции занимает компания XLight [2] – разработчик и производитель светодиодной техники и поставщик передовых светотехнических решений. Усилиями её инженеров воплощены в готовые изделия последние технологические достижения в области создания осветительных приборов на светодиодах и их компонентах – светодиодах кластерах, драйверах питания и вторичной оптике (линзы и линзодержатели).

Светодиодные светильники по назначению подразделяются на два основных вида: для уличного, промышленного и архитектурно-художественного освещения (линейные светильники и прожекторы) и светильники для внутреннего освещения (офисные светильники и светодиодные лампы). Высококачественные компоненты светодиодного освещения, такие как коллиматоры и линзы к ним, выпускают, например,

компания Carclo (Великобритания) и Ledil (Финляндия), а сами модули изготавливает фирма XLight.

### Светодиодные модули

Светодиодные модули представляют собой несколько мощных (сверхярких) светодиодов, смонтированных на одной плате. Модули соединяются в светильники в одном корпусе. В модулях XLight использованы светодиоды фирмы Cree, которые считаются самыми надёжными.

Подключение светодиодного модуля к драйверу питания может осуществляться несколькими способами: путем разъёмного соединения или пайкой к контактным площадкам. Применяются три схемы коммутации светодиодов: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная.

Например, светодиодный модуль XLD-AC1x01-01 представляет собой шестиугольную печатную плату на алюминиевом основании с одним установленным мощным светодиодом Cree XLamp размером 3,45 × 3,45 мм. Он адаптирован к применению вторичной оптики Carclo 10 мм для единично-





Pushing Performance

**Соединители PushPull – единый концепт для передачи сигналов, данных и подачи питания**

- Легкий способ фиксации разъема с внутренней защелкой
- Корпус обладает защитой IP65/67
- Миниатюрный и компактный дизайн
- Рекомендованы для применения на ЖД (наличие международного железнодорожного сертификата IRIS)
- Широкий выбор аксессуаров: защитные крышки, защита от случайного размыкания
- Соединители PushPull F.O. duplex для оптической передачи данных

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ HARTING**



POWERED BY PROSOFT

**Активный компонент вашего бизнеса**

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

го светодиода Cree XLamp серий XP-C, XP-E, XP-G или XT-E.

Технические характеристики модуля XLD-AC1x01-01:

- рассеиваемая мощность не более 1,5 Вт (без применения элементов охлаждения);
- тип подключения – пайка к контактными площадкам;
- температура эксплуатации –40...+70°C;
- температура хранения –50...+80°C.

Светодиодный модуль XLD-AC1x01-MCE-01 представляет собой печатную плату Ø47 мм на алюминиевом основании с установленным 4-кристалльным светодиодом MC-E Cree XLamp размером 7,0 × 9,0 мм. Модули выпускаются в двух исполнениях: с последовательным соединением кристаллов – XLD-AC1x01-MCE-SC-01; с параллельным соединением кристаллов – XLD-AC1x01-MCE-IC-01.

Технические характеристики XLD-AC1x01-MCE-01:

- рассеиваемая мощность не более 2 Вт (без применения элементов охлаждения);
- тип подключения – пайка к контактными площадкам;
- соединение светоизлучающих кристаллов – последовательное или независимое;
- модуль адаптирован к применению вторичной оптики Carclo для светодиодов MC-E;
- температура эксплуатации –40...+70°C;
- температура хранения –50...+80°C;
- печатная плата рассчитана на установку одного мощного 4-кристалльного светодиода Cree XLamp серии MC-E.

Светодиодные модули для декоративного освещения представляют собой прямоугольную печатную плату на стеклотекстолитовом основании с напаянными мощными светодиодами. Подключение модулей к источнику питания осуществляется с помощью установленных на плате нажимных разъёмов.

### Технологии монтажа

Лидирующие производители светодиодных кристаллов решают эту задачу по-разному. Например, компании Lumileds Lighting и Nichia используют медное теплоотводящее основание, Nichia приклеивает кристалл к подложке, а технологи фирмы Lumileds Lighting используют пайку эвтектикой. Каждый из методов имеет свои особенности.

Пайка кристалла на подложку позволяет снизить тепловое сопротивление кристалл–корпус, но при этом возникает диодный контакт между теплоотводящим основанием и кристаллом, что требует электрической изоляции изделий при одиночном или групповом монтаже на печатную плату. Это удорожает производство и, в итоге, увеличивает тепловое сопротивление корпус–теплоотвод. Кремниевая подложка и медное теплоотводящее основание имеют значительно отличающиеся коэффициенты объёмного расширения при нагревании, что при термоциклировании приводит к нарушению эвтектики, повреждению кристалла и, как следствие, к преждевременному старению источника света.

В свою очередь, метод приклеивания кристалла к медному теплоотводящему основанию позволяет уменьшить нагрузки на кристалл и одновременно обеспечить лучшую (по сравнению с пайкой) электрическую изоляцию. При этом снижаются не только долговечность и надёжность изделий, но и себестоимость, что делает такую продукцию более доступной при прочих равных условиях.

Сегодня по технологии изготовления кристаллов InGaN больших размеров на карбиде кремния лидирует фирма Cree. Именно она обеспечила прорыв в области производства портативных твердотельных источников света. Себестоимость люмена намного уменьшилась, а световой поток современных светодиодных матриц уже измеряется десятками тысяч люмен, что позволяет изготавливать не только мощные системы рассеянного освещения, но и прожекторы с большой дальностью сфокусированного луча.

Светодиоды, рассчитанные на относительно низкое напряжение ( $V_f < 3$  В), не содержат внутренних ограничительных резисторов в отличие от «высоковольтных» приборов. Различают узко- и широкодиапазонные светодиоды, последние имеют  $V_f = 3...15$  В. Прямое напряжение и цветовая температура светодиода в некоторой степени зависят от прямого тока. При превышении максимального прямого напряжения светодиода наступает его необратимый пробой, если драйвер не ограничивает ток.

Прямой ток через активный светодиод  $I_f = 10$  мА можно считать безопасным током для всех типов светодиодов. Именно его рекомендуется устанавли-

вать при проверке работоспособности прибора. Прямой ток влияет на световой поток, прямое напряжение и цветовую температуру светодиода.

Постоянное обратное напряжение  $V_r$  – напряжение, которое можно подавать на светодиод без опасности его повреждения. Ток утечки при этом гарантируется, как правило, не более 10 мкА. Большинство светодиодов не предназначено для работы в обратном направлении. При увеличении обратного напряжения до 7...10 В светодиод превращается в стабилитрон, максимальный ток стабилизации которого ограничен мощностью рассеяния.

Температура полупроводникового перехода  $T_j$  определяет срок службы светодиода и его цветовую температуру. Прямое напряжение и световой поток светодиода снижаются с ростом  $T_j$ . Для мощного прибора с номинальным прямым током 350 мА изменение прямого напряжения в диапазоне –40...+120°C составляет 0,55 В, а светового потока – 25%.

Ресурс светодиода определяют две составляющие – ресурс самого кристалла и ресурс оптической системы. Для изготовления оптических систем используются различные сочетания эпоксидных смол. Смола, как известно, изменяет свои свойства со временем (особенно под воздействием высоких температур), именно этим объясняется эффект «замутнения» линзы. Поэтому заявляемое в рекламных целях время непрерывной работы светодиода в 100 000 часов (почти 15 лет) вызывает сомнение, тем более что на практике ещё никто не проверил эту магическую цифру.

По информации компании Osram OS [3], прогнозируемый ресурс производимых сегодня светодиодов как минимум в два раза меньше, т.е. примерно 50 тыс. ч, с 30%-ной потерей яркости после 25 тыс. ч непрерывной работы. Это неплохо по сравнению с ресурсом лампы накаливания менее 1000 ч.

### Светильники

Существует множество разновидностей светильников для уличного освещения. Это – энергосберегающие, вандалоустойчивые светодиодные светильники на основе мощных светодиодов фирмы Cree с высокой световой отдачей и специальной оптической системой, обеспечивающей светотехнические характеристики, соответствующие

требованиям нормативных документов РФ к освещению улиц и городскому освещению [1]. Светодиодные светильники для уличного (промышленного) освещения можно классифицировать как консольные светильники, парковые светильники и светильники для ландшафтного дизайна.

Консольные светодиодные светильники серии XLD-ДКУ04 являются оптимальным решением для освещения с небольших опор высотой 4...6 м таких объектов, как пешеходные и парковые зоны, парковки, АЗС и железнодорожные платформы. Они применяются в качестве замены светильникам с лампами ДРЛ мощностью до 250 Вт, МГЛ до 70 Вт и ДНаТ до 70 Вт. Светильники предназначены для установки на консоль диаметром 48 мм и оборудованы поворотным узлом крепления. Модельный ряд светильников серии XLD-ДКУ04 содержит три модификации, отличающиеся световым потоком и потребляемой мощностью. В таблице 3 представлены технические характеристики светильников серии XLD-ДКУ04.

Консольные светодиодные светильники серии XLD-ДКУ05 по назначению примерно аналогичны рассмотренным выше XLD-ДКУ04, а серии консольных светодиодных светильников XLD-ДКУ06 и XLD-ДКУ07 устанавливаются на опоры высотой 8...12 и 14...16 м соответственно, имеют повышенную мощность и предназначены для освещения автомобильных дорог классов А и Б.

Приборы серии XLD-PL относятся к парковым светодиодным светильникам. Они предназначены для создания равномерного и мягкого освещения и являются эффективной заменой светильникам с лампами ДРЛ до 250 Вт, МГЛ и ДНаТ до 150 Вт. Популярные модели XLD-PL, XLD-PL35H отличаются световым потоком и потребляемой мощностью. Прочный алюминиевый корпус и молочный рассеиватель из оптического поликарбоната обладают высокой механической прочностью. Такой светильник не обладает слепящим эффектом. В таблице 4 представлены технические характеристики светодиодных светильников PL24, PL54 и PL72 аналогичного назначения.

Светодиодный светильник для ландшафтного дизайна XLD-GL3 предназначен для выделения пешеходных дорожек и ландшафта. В таблице 5 представлены технические характеристики парковых светодиодных светильников модельного ряда XLD-GL3.

### ПРЕИМУЩЕСТВА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Основным преимуществом светодиодного освещения является экономия электроэнергии – за счёт низкой потребляемой мощности – по сравнению с альтернативными и менее эффективными энергосберегающими устройствами. Длительный срок эксплуатации и большая наработка на отказ определяют сокращение затрат на обслуживание.

Светодиодное освещение имеет хорошие качественные показатели, такие как высокий индекс цветопередачи и низкую пульсацию светового потока. Использование специально рассчитанной опти-

ческой системы обеспечивает снижение светового загрязнения, что благотворно сказывается на комфорте человека.

Низковольтное питание делает светодиодное оборудование пожаро-, взрыво- и травмобезопасным. Благодаря этим факторам, а также большой световой отдаче, светодиодное освещение становится актуальным в сложных условиях эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.cree.com/LED-Components-and-Modules](http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules).
2. [www.xlight.ru](http://www.xlight.ru).
3. [www.ledlight.osram-os.com](http://www.ledlight.osram-os.com).



Таблица 3. Характеристики различных модификаций светильников серии XLD-ДКУ04

Характеристики		XLD-ДКУ04-12	XLD-ДКУ04-24	XLD-ДКУ04-36
Световой поток, лм, не менее	WHC	1860	2790	3720
	WHS	2000	3000	4000
	WHW	1630	2450	3260
Цвет свечения	WHC	холодный белый (~6000 K)		
	WHS	естественный белый (~4500 K)		
	WHW	тёплый белый (~3000 K)		
Потребляемая мощность, Вт	27	40	53	
Напряжение питания переменного тока, В		220 ± 20%		
Степень защиты		IP65		
Температурный диапазон, °С		-40...+50		
Коэффициент мощности (cos φ)		0,95		
Вес нетто, кг		2,5		
Вес брутто, кг		2,7		
Габариты упаковки, мм		600 × 300 × 150		

Таблица 4. Характеристики парковых светодиодных светильников XLD-PL

Характеристики		XLD-PL24	XLD-PL54	XLD-PL72
Световой поток, лм, не менее	WHC	1529	3316	4155
	WHS	1426	3102	3870
	WHW	1147	2568	3206
Цвет свечения	WHC	холодный белый (~6000 K)		
	WHS	естественный белый (~4500 K)		
	WHW	тёплый белый (~3000 K)		
Потребляемая мощность, Вт	30	70	85	
Напряжение питания переменного тока, В		220 ± 20%		
Степень защиты		IP65		
Температурный диапазон, °С		-40...+50		
Коэффициент мощности (cos φ)		0,99		
Вес нетто, кг		13,8		
Вес брутто, кг		15,3		
Габариты упаковки, мм		630 × 630 × 605		

Таблица 5. Характеристики парковых светодиодных светильников модельного ряда XLD-GL3

Характеристики		XLD-GL3-400	XLD-GL3-600	XLD-GL3-800
Световой поток, лм, не менее	WHC	349		
	WHS	320		
	WHW	260		
Цвет свечения	WHC	холодный белый (~6000 K)		
	WHS	естественный белый (~4500 K)		
	WHW	тёплый белый (~3000 K)		
Потребляемая мощность, Вт	4			
Напряжение питания переменного тока, В	220 ± 20%			
Степень защиты	IP65			
Температурный диапазон, °С	-40...+50			
Коэффициент мощности (cos φ)	0,99			
Высота опоры, мм	400	600	800	
Вес нетто, кг	1,4	2,2	3	
Вес брутто, кг	2,5	3,4	4,2	
Габариты упаковки, мм	620 × 685 × 480	620 × 685 × 680	620 × 685 × 880	

# ANSYS HFSS: передовые технологии трёхмерного решения электродинамических задач

Александр Евграфов (Москва)

В современном производстве всё более востребованы передовые технологии автоматизации проектирования. В статье рассматриваются передовые технологии трёхмерного полноволнового электродинамического моделирования в программной среде ANSYS HFSS, где разработчикам предлагается комплексный подход к процессу трёхмерного моделирования антенных и СВЧ-устройств.

Компания Ansoft (с 2008 года в составе компании ANSYS Inc.) – мировой лидер в области разработки программных решений для электромагнитного анализа радиоэлектронных устройств. За 30-летнюю историю существования компании программный продукт HFSS стал отраслевым стандартом трёхмерного решения прикладных электродинамических задач. Обладая высокими точностью и скоростью расчёта, а также удобством использования, данная система автоматизированного проектирования завоевала популярность у разработчиков во всём мире. В последней версии программного продукта ANSYS HFSS [1] предложен комплексный подход к процессу трёхмерного моделирования антенных и СВЧ-устройств.

Передовые технологии ANSYS 2014 года основаны на последних достижениях в области электромагнитного моделирования. Основное внимание уделяется увеличению скорости расчёта, расширению функциональных возможностей и масштабируемости данного пакета программ. Использование современных алгоритмов, основанных на методе конечных элементов, интегральных уравнений и гибридных методов расчёта позволяет анализировать разнообразные задачи в области электродинамики и распространения радиоволн.

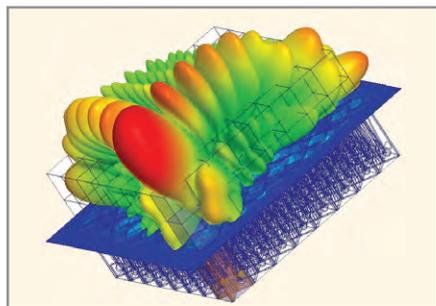


Рис. 1. Расчёт диаграммы направленности антенной решётки в ANSYS HFSS Frequency

## ОСНОВНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ И МЕТОДЫ РАСЧЁТА ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS HFSS

**1. ANSYS HFSS Frequency** – расчёт задач в частотной области методом конечных элементов (FEM, Finite Element Method). Данный метод содержит прямой и итерационный матричный решатель. Пользователям предоставляется возможность выполнить расчёт паразитных параметров (S, Y, Z), отобразить трёхмерную диаграмму распределения электромагнитного поля в ближней и дальней зонах, создать модели для эффективной оценки качества сигнала, рассчитать потери в линиях передачи, в том числе связанные с отражением сигнала, обусловленным рассогласованием импеданса, и влиянием паразитных связей. На рисунке 1 представлен пример расчёта диаграммы направленности антенной решётки, состоящей из антенн Вивальди.

**2. ANSYS HFSS Transient** – расчёт задач во временной области с использованием дискретного метода Галеркина (DGTD, Discontinuous Galerkin Time Domain). Позволяет исследовать задачи с импульсным источником возбуждения, в том числе: радиолокационную станцию (радар), электростатический разряд, электромагнитные помехи, молнии и т.д.

**3. ANSYS HFSS-IE Solver** – расчёт задач методом интегральных уравнений. Включает в себя метод моментов (MOM) и метод физической оптики (Physical Optics). Метод моментов позволяет рассчитывать токи на проводящих поверхностях и диэлектрических объектах. Решатель использует метод адаптивного кросс-приближения (ACA) в сочетании с итерационным расчётом матриц. Данный метод позволяет снизить требования к объёму оперативной памяти компьютера, что даёт возможность применения его для исследования больших объектов.

Метод физической оптики является чрезвычайно полезным при решении очень трудоёмких задач электромагнитного излучения и рассеяния, например, больших зеркальных антенн или крупных объектов (самолёты, корабли). На рисунке 2 представлен расчёт диаграммы направленности антенны, установленной на Международной космической станции. Расчёт производился с использованием метода физической оптики.

**4. ANSYS HFSS Hybrid Finite Element – Integral Equation Method (FE-BI) Solver.** Данный решатель построен на методе декомпозиции и трёхмерном методе интегральных уравнений; сочетает метод конечных элементов для решения сложной геометрии с методом моментов для расчёта функций Грина в свободном пространстве. С помощью этой технологии разработчики антенных устройств могут получить высокую точность модели излучения в дальней зоне.

**5. HFSS Planar EM** – планарный EM-решатель идеально подходит для проектирования СВЧ интегральных схем, монолитных и гибридных микроволновых интегральных схем, система-на-кристалле, беспроводных систем связи и других ВЧ- и СВЧ-устройств. В качестве примера на рисунке 3 представлен расчёт распределения тока по элементам антенной решётки размером 16 × 16.

**6. Antenna Design Kit (ADK).** Данная утилита является бесплатной и содержит большое количество готовых шаблонов различных типов антенн: спиральных, печатных, рупорных, дипольных, полосковых и др. Интерактивная среда ADK (см. рис. 4) позволяет выбирать тип антенны, указывать необходимый частотный диапазон, геометрические размеры, граничные условия и тип решателя. Созданная модель антенны может быть включена в проект ANSYS HFSS для дальнейшего трёхмерного анализа и оптимизации.

Программный пакет ANSYS HFSS использует сетку с конечными элементами в виде тетраэдров для поиска решения исследуемой электромагнитной задачи [2, 3]. Адаптивный метод разбиения позволяет создавать геометрически оптимальную сетку для любого объекта

моделирования. Сетка может состоять из элементов нулевого, первого или второго порядков, а также иметь области с элементами разных порядков. Последний вариант сетки наиболее эффективен с точки зрения расчётов. С его помощью можно описать любую криволинейную поверхность, благодаря чему достигается высочайшая точность описания геометрии всего трёхмерного объекта без аппроксимаций или двухмерного округления. На рисунке 5 представлен пример конформной криволинейной аддитивной сетки разбиения.

**7. Матричный решатель (Matrix Solver),** используемый в HFSS, позволяет масштабировать процессы вычислений, используя возможности многоядерных процессоров. Данная возможность доступна только при наличии опции высокопроизводительных вычислений ANSYS HPC Electronics Pack. Масштабирование задачи и увеличение скорости вычислений достигается за счёт параллельного решения каждого матричного уравнения отдельным ядром процессора. В предыдущих версиях программного пакета каждое матричное уравнение распределялось

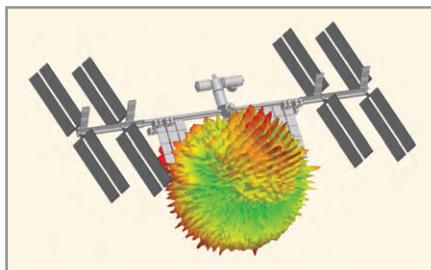


Рис. 2. Расчёт диаграммы направленности антенны на Международной космической станции

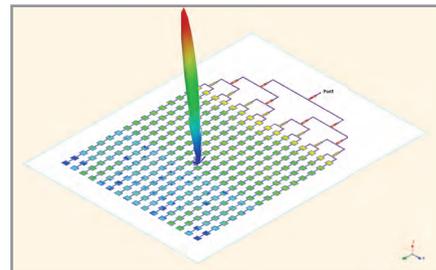


Рис. 3. Электромагнитное моделирование при помощи Planar EM

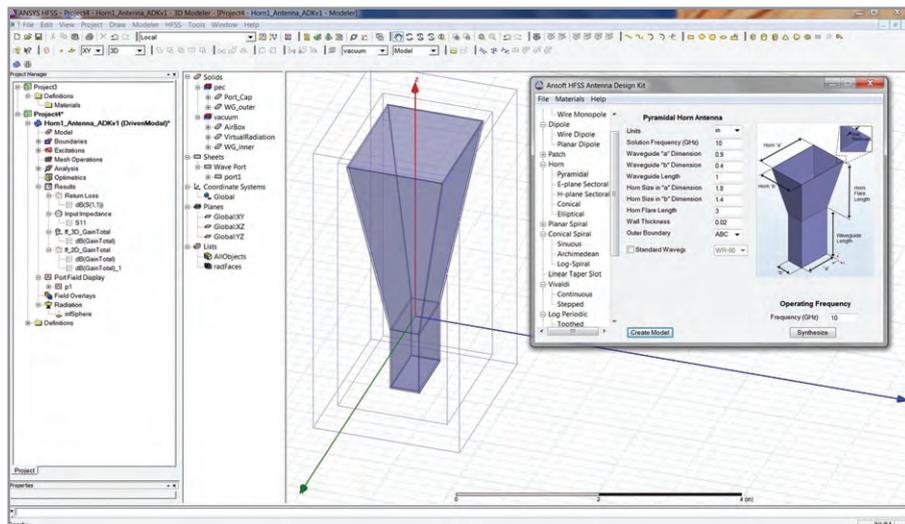


Рис. 4. Интерактивная среда проектирования антенных устройств Antenna Design Kit

Используете несколько разных САПР для одного проекта?

# Работайте с ANSYS® DesignerRF

Решайте комплексные задачи из ОДНОГО приложения

- анализ целостности сигналов
- электромагнитное моделирование
- тепловой анализ
- анализ интегральных микросхем
- моделирование радиочастотных схем
- высокопроизводительные вычисления

Техническая поддержка    Обучение    Дизайн-проекты

Тел.: +7 (495) 943-50-32, [www.orkada.ru](http://www.orkada.ru)

оркада

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР

Реклама

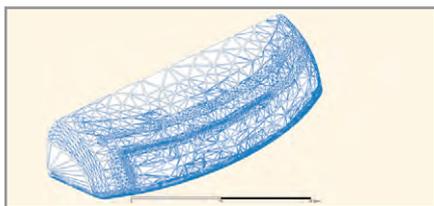


Рис. 5. Конформная криволинейная аддитивная сетка разбиения

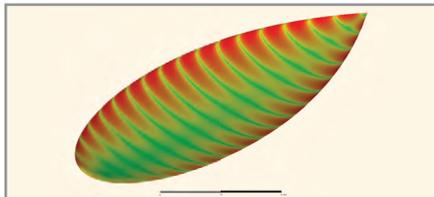


Рис. 7. Расчёт криволинейных объектов в ANSYS HFSS-IE

на соответствующее количество ядер (последовательная обработка матричных блоков). Реализация параллельного алгоритма вычисления «разреженных» матричных блоков обеспечивает более высокую скорость, по сравнению с вычислением одного «плотного» матричного блока всеми процессорами, и высокую сходимость результатов.

**8. Программный модуль ANSYS ALinks для ECAD/MCAD** позволяет импортировать проекты из электрических (ECAD) и механических (MCAD) систем автоматизированного проектирования Cadence, Mentor Graphics, Altium, Zuken, Creo (Pro ENGINEER), AutoCAD, CATIA, Solidworks, Siemens NX и обеспечивает поддержку форматов IGES, STEP, ACIS, Parasolid, DXF и DWG.

**Новый тип сетки  
Phi mesher для проектирования  
электрических схем**

Программный продукт HFSS включает улучшенный графический интерфейс для создания электрической топологии. Эта специализированная среда проектирования автоматизирует процесс подготовки данных об электрических слоях печатной платы, сборках и интегральных схемах для анализа в программном продукте HFSS. На рисунке 6 представлена многослойная печатная плата с наложением 3D-сетки, полученной с помощью технологии Phi mesher.

Технология Phi mesher генерирует более точную сетку конечных элементов для кремниевых подложек, электрических слоёв, интегральныхборок и печатных плат, затрачивая на это меньше времени и вычислительных ресурсов. Phi mesher создаёт начальную 3D-сетку конечных элементов в 30 раз быстрее,

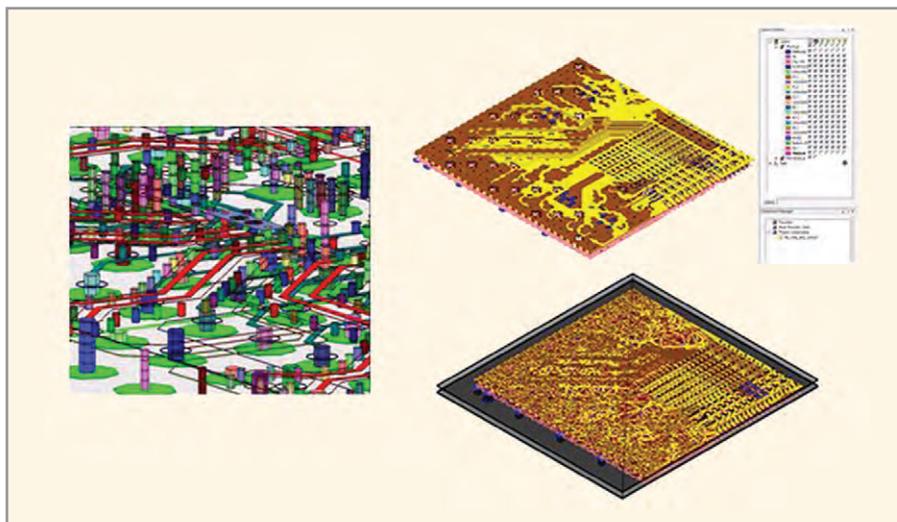


Рис. 6. Вид сетки на многослойной печатной плате, полученный с помощью технологии Phi mesher

чем традиционные методы в предыдущих версиях программного продукта.

**Криволинейный тип  
элементов в ANSYS HFSS-IE**

Современные технологии используют комплекс методов, направленных на снижение радиозаметности крупногабаритных объектов в различных областях спектра, в том числе за счёт использования специальных геометрических форм (см. рис. 7). Точность представления геометрических форм является критическим фактором при расчёте эффективной площади рассеивания (ЭПР). Программный продукт ANSYS HFSS позволяет разработчикам использовать криволинейный тип элементов, обеспечивающих высокую точность описания объектов сложной формы без увеличения времени моделирования. Данный тип элементов позволяет решать задачи по оптимальному размещению антенн и более точно рассчитывать ЭПР.

**Импорт данных об излучении  
в ближнем поле**

При разработке современной электроники необходимо соблюдать строгие нормативные требования к электромагнитной совместимости. Радиоэлектронные средства (РЭС) должны исправно функционировать при воздействии электромагнитных помех и не создавать их. Изготовление и тестирование опытных образцов РЭС можно сочетать, и в ряде случаев полностью замещать построением и тестированием виртуальной модели РЭС в HFSS.

Моделирование виртуального прототипа в HFSS выполняется с очень высокой точностью, иногда недости-

жимой при тестировании физического прототипа. Данные измерений или моделирования ближнего поля могут передаваться между разными проектами в HFSS или из других приложений ANSYS Electromagnetics. Они могут быть использованы для создания граничных условий в виде источника возбуждения, например для имитации излучения. Это позволяет использовать результаты расчётов в нескольких проектах или передавать их третьим лицам или организациям без раскрытия коммерческой тайны.

**Пространственно-зависимые  
свойства композитов  
в ANSYS HFSS**

Многие современные материалы состоят из нескольких слоёв с различными характеристиками. Для достижения уникальных свойств композитных материалов слои могут быть ориентированы в различных направлениях. Например, при производстве печатных плат используется многослойный стеклотекстолит. В конструкциях современных самолётов используют многослойный материал, состоящий из углеродного волокна для снижения радиозаметности.

Материал, из которого изготовлена модель, характеризуется весьма специфическими пространственно-зависимыми свойствами, которые должны быть учтены при моделировании для получения точных результатов, особенно на более высоких частотах. Однако моделирование таких структур на уровне геометрической детализации может занять очень много времени и потребует значительных вычислительных ресурсов. Новая версия программного продукта ANSYS HFSS позволяет моделировать «поведение» сложных много-

слоистых структур с высокой точностью и без значительных временных затрат.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК (FINITE ARRAY 2.0)

Программный продукт HFSS включает усовершенствования, с помощью которых легко создавать антенные массивы и производить расчёт за минимальное время (см. рис. 8). Фазированная антенная решётка (ФАР) может содержать сотни и тысячи элементарных ячеек (Cell Units). В диалоговом окне Array Properties (свойства массива) разработчику предоставляется возможность задать расположение и границы для повторяющихся элементов антенного массива. Пример расчёта ФАР представлен на рисунке 9.

### ОПЦИЯ HPC ОБЕСПЕЧИВАЕТ УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

ANSYS Electronics HPC позволяет разработчику для ускорения моделирования использовать возможности компьютерных кластеров или облачных вычислений. Это возможно благодаря комбинированию вычислительных технологий, основанных на распределении параметров и частот, на использовании многоядерных процессоров и декомпозиции доменов. Распределённый решатель матричных уравнений позволяет использовать оперативную память доступных компьютеров в локальной сети, в результате чего появляется возможность решать задачи больших электрических размеров для объектов со сложной геометрией (см. рис. 10).

В новом выпуске программного продукта значительно расширены возможности HPC:

- улучшены гибридные методы моделирования (FEBI, IE-области) и метод декомпозиции матрицы;
- улучшен метод декомпозиции доменов для анализа многопортовых структур;
- решатель HFSS Transient поддерживает графические процессоры (GPU) для высокопроизводительных вычислений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые возможности и особенности релиза ANSYS HFSS 2014 года:

- новый тип сетки Phi mesher для проектирования электрических схем: технология Phi mesher генерирует более точную сетку конечных элементов

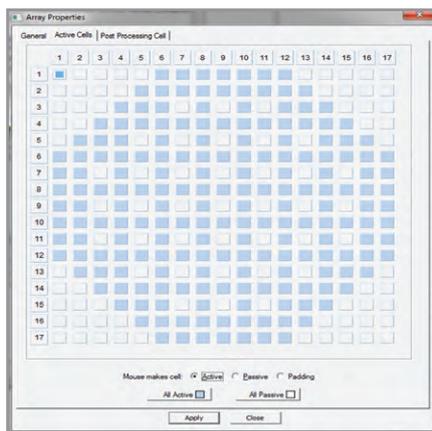


Рис. 8. Среда проектирования фазированных антенных решёток

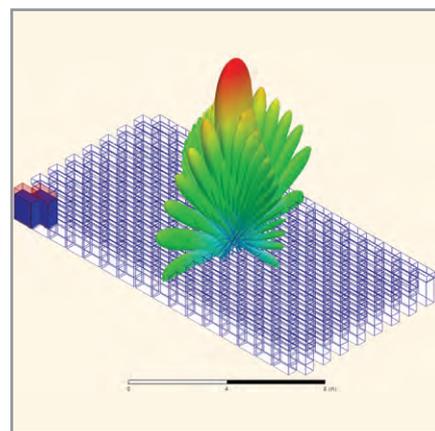


Рис. 9. Анализ ФАР в среде ANSYS HFSS

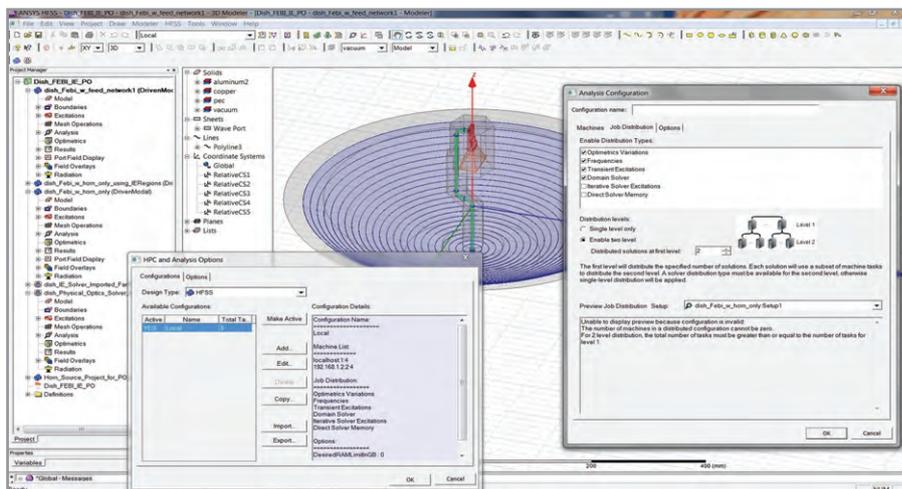


Рис. 10. Опция ANSYS Electronics HPC Pack

- для кремниевых подложек, электрических слоёв, сборок и печатных плат;
- криволинейный тип элементов в ANSYS HFSS-IE: программный продукт ANSYS позволяет разработчикам использовать криволинейный тип элементов, обеспечивающих высокую точность описания объектов сложной формы без увеличения времени моделирования;
- поддержка данных о ближнем поле: данные измерений или моделирования ближнего поля теперь импортируются в HFSS и могут быть использованы в качестве граничных условий в виде источника возбуждения, например в виде падающей волны;
- пространственно-зависимые материалы: новая версия программного продукта ANSYS HFSS позволяет моделировать «поведение» сложных многослойных структур с высокой точностью и без существенных затрат времени;
- увеличена скорость моделирования в режиме HPC;
- анализ целостности сигналов с помощью программных продуктов ANSYS 15.0: расширены технические

возможности 3D-решателей Q3D Extractor и SIwave. С помощью этих программ разработчики электроники могут создавать различные модели кристаллов ИС, сборок и печатных плат с учётом параметров RLCG;

- режим HPC для SI/PI-анализа высокоскоростной электроники позволяет с высокой скоростью моделировать сложные многослойные структуры «кристалл–корпус–печатная плата».

Даже краткое описание технологий трёхмерного электромагнитного анализа позволяет сделать вывод, что компания ANSYS Inc. серьёзно подходит к развитию и совершенствованию своих программных продуктов. Каждый последующий релиз содержит в себе большое число нововведений и улучшений, благодаря которым программный продукт ANSYS HFSS остаётся незаменимым инструментом для разработчиков СВЧ и антенных устройств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. www.ansys.com.
2. ANSYS HFSS Online Help.
3. www.orlda.ru.



# ЭкспоЭлектроника 2014: конкурс пайки и другие встречи специалистов

С 15 по 17 апреля 2014 года в Москве в МВЦ «Крокус-Экспо» прошла самая масштабная выставка электронной промышленности – 17-я Международная выставка электронных компонентов и комплектующих – «ЭкспоЭлектроника». Одновременно с выставкой «ЭкспоЭлектроника» проходили 12-я Международная выставка технологического оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности – «ЭлектронТехЭкспо» и 4-я Международная выставка светодиодных решений, чипов и оборудования для их производства – LEDTechExpo. Такая организация комплекса выставок позволила посетителям получить самую полную информацию о новых разработках и решениях в мире электроники.

Завершился самый ожидаемый и масштабный проект для специалистов в области электроники. Весь комплекс одновременно проходящих выставок сочетал в себе живое профессиональное общение специалистов и обширную экспозицию достижений электронной промышленности. Посетители имели возможность здесь же решить вопросы поставки электронных компонентов и технологического оборудования.

В выставках приняли участие 458 компаний из 20 стран мира: России, Австрии, Великобритании, Венгрии, Германии, Индии, Китая, Латвии, Норвегии, Республики Беларусь, Сингапура, США, Тайваня, Украины, Финляндии, Франции, Чехии, Швейцарии, Швеции и Японии.

Общая площадь экспозиции составила 17 400 м<sup>2</sup>. Выставки посетили около 10 000 специалистов.

Участники выставок порадовали посетителей многочисленными новинками, продемонстрировали новейшие разработки.

Компании-экспоненты выставки «ЭкспоЭлектроника» представили: полупроводниковые устройства; электромеханические компоненты и технологии соединений; встроенные системы;

дисплеи и источники питания; печатные платы и другие модули для монтажа; пассивные компоненты, оборудование и программное обеспечение (тестирование измерений); узлы и подсистемы; встраиваемые и бортовые соединения.

В рамках объединённой экспозиции Департамента радиоэлектронной промышленности и ГК «Ростехнологии» были представлены более 60 российских предприятий-производителей и разработчиков радиоэлектронной аппаратуры. Особое место заняли национальные стенды Китая, Тайваня и Великобритании.

На технологической экспозиции выставки «ЭлектронТехЭкспо» были представлены: микросистемные технологии; оборудование для обработки материалов и кабелей; технологии производства печатных плат и монтажа компонентов на поверхность; технологии пайки; чистовая обработка изделий; оборудование для чистых помещений; контрольно-измерительные системы; испытания и измерения; оборудование для производства полупроводников.

В рамках совместного проекта Группы компаний Остек с ИРЭ РАН по исследованию характеристик печат-

# E·X·P·O ELECTRONICA

ных излучателей на бумаге и полиимиде специалистам были предложены доклады: 1) о технологиях – материал посвящён сравнительному обзору методов нанесения и сушки/спекания функциональных материалов; 2) о потенциальной области применения изделий печатной электроники, включая системы освещения, солнечную энергетику, автоэлектронику, медицину, элементы одежды, розничную торговлю, спецтехнику; 3) о примерах успешной коммерциализации печатной электроники.

Посетителям и гостям выставки LEDTechExpo были представлены светодиоды, а также инновационные решения в области их разработки. Специалисты показали элементы вторичной оптики и оборудование для производства светодиодов, инновационные решения в области разработки светодиодов, светодиодные кластеры и сборки, источники и системы питания и управления для светодиодов, материалы и компоненты для производства светодиодов, вторичную оптику, оборудование для производства светодиодов, метрологию и испытания, оборудование, методики и стандарты.

**В рамках деловой программы выставок** прошло более 25 семинаров и презентаций участников, многочисленные демонстрации новейших разработок и передового оборудования.

16 и 17 апреля 2014 года при поддержке НП Производителей Свето-



диодов и Систем на их основе, состоялась **3-я Международная конференция: «Светодиоды: Чипы, Продукция, Материалы, Оборудование»**. В конференции приняли участие более 80 слушателей. В ходе мероприятия специалисты обсудили вопросы применений, технологий, производственных процессов, развития технологической карты, трендов и готовых решений.

16 апреля 2014 года впервые в рамках выставок состоялся **круглый стол «Электроника в высокотехнологичной медицинской диагностике. Инженерные решения и практика применения»**. Организаторами выступили ОАО «Российская Электроника» и ЭЛИНТ СП. Участники круглого стола коснулись проблем последних достижений современной радиоэлектроники в разработке диагностического медицинского оборудования, развития телемедицины, прежде всего персонального телемониторинга в России и за рубежом, а также законодательного обеспечения развития дистанционных медицинских технологий. В работе круглого стола приняли участие 25 специалистов.

17 апреля 2014 года был проведён **круглый стол «Фотовольтаика: новый вектор развития электроники»**, посвящённый вопросам развития солнечной энергетики как инновационной отрасли экономики. В работе круглого стола приняли участие более 50 специалистов: производители, учёные, разработчики, представители компаний с опытом успешной реализации проектов в обла-



сти солнечной энергетики, девелоперы, инвесторы. Круглый стол прошёл при поддержке МГУ им. М.В. Ломоносова.

В рамках выставок на многофункциональной демонстрационной площадке «ПРОФ-АРЕНА» впервые в России состоялся **конкурс ручной пайки IPC**. Организаторами выступили Ассоциация IPC и ООО «ПРИМЭКСПО». В конкурсе участвовали 25 монтажников, которые на антистатических рабочих местах с помощью паяльного оборудования и паяльных материалов должны были выполнить ручную сборку указанного печатного узла за 45 минут, при этом обеспечив работоспособность и качество сборки в соответствии с требованиями стандарта IPC-A-610E, класс 3.

Всем участникам конкурса была предоставлена одинаковая комплектация, материалы, инструменты и оснастка для сборки печатного узла, содержащего

компоненты для монтажа в отверстия, чип-компоненты и ИМС, в том числе в корпусах с малым шагом выводов.

Генеральным партнёром конкурса выступила компания «Диполь», предоставившая оборудование. Партнёры конкурса: по печатным платам – компания NCAB Group, по компонентам – компания «ДИАЛ». Председателем жюри выступил Хан Раеццен (Han Raetzen), мастер IPC, Balver Zinn. В состав жюри вошли: Андрей Фешко, сертифицированный тренер IPC (IPC-A-610, IPC-A-600, IPC-J-STD-001), Группа компаний «Диполь»; Ксения Кайдалова, сертифицированный тренер IPC (IPC-A-610, IPC-7711/21), ООО «Лион-Тех»; Людмила Чуйкова, сертифицированный тренер IPC (IPC-A-610), ООО «Совмест АТЕ».

Решающее значение в конкурсе имело качество изделия, а не время, потраченное на сборку.

Победительницей конкурса стала Ткачёва Светлана, компания ООО «Микролит», 2-е место заняла Сайфутдинова Эльвира, компания ОАО «НИИ Субмикрон», 3-е место – Голованова Антонина, филиал компании ОАО «НПК СПП».

*Выставки «ЭкспоЭлектроника», «ЭлектронТехЭкспо» и «LEDТехЕкспо» дают дополнительный импульс развитию и обновлению отечественного рынка электроники, способствуют установлению новых партнёрских отношений между производителями российских и мировых компаний, представителями промышленности, науки и бизнеса.*

**18-я Международная выставка электронных компонентов и комплектующих «ЭкспоЭлектроника» пройдёт 24–26 марта 2015 года в Москве в МВЦ «Крокус-Экспо».**



Наша компания ежегодно участвует в выставке «ЭкспоЭлектроника» уже более 10 лет. Хочется отметить хорошую, как, впрочем, и всегда, работу организаторов выставки. На выставке 2014 года на нашем стенде была представлена вся линейка поставок компании: Microchip, NXP, DiGi, ST, VARTA и Ampire. Также была представлена новая для нашей компании продукция фирмы Power Integrations.

Стенд нашей компании пользовался несомненным интересом у посетителей выставки, особенно у инженеров-разработчиков и конструкторов, принимающих решение об использовании современных электронных компонентов, и специалистов, обеспечивающих снабжение производства. Обязательно будем участвовать в выставке в 2015 году!

*Елена Киренкова, ООО «ГАММА-САНКТ-ПЕТЕРБУРГ»*

Выставка организована хорошо. Представлена широкая номенклатура электронной компонентной базы и технологического оборудования. Рекламная кампания, проведённая организаторами выставки, привлекла большое количество посетителей-специалистов.

На стенде нашей компании были представлены изделия пьезотехники, кварцевые генераторы и кварцевые резонаторы, как серийного производства, так и находящиеся в разработке. Особый интерес вызвали программируемые кварцевые генераторы для поверхностного монтажа GK109-C, разработанные при участии ЗАО «ПКК Миландр».

*Юрий Юрьевич Луканин, ОАО «ЛИТ-ФОНОН»*



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ОТВЕТСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ  
ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

# **ВЕРНЫМ ПУТЕМ РАЗВИТИЯ — К УСПЕХУ ЗАКАЗЧИКОВ!**

Открыт дополнительный прием заявок на производство в 2014-2015 гг.



## **Завершен крупный этап модернизации в 2013 г.:**

-  Умножены мощности производственной базы по всем направлениям деятельности на основе самого современного оборудования
-  Реализованы меры жесткого контроля качества процессов и прослеживаемость циклов производства изделий

**В 2014 г. — дополнительная линия автоматизированного монтажа  
и современные программы управления производством**



Реклама

Постановка на серию и серийное производство / ОКР, макеты, адаптация документации и технологий / Тестирование, испытания, спецпроверки / Ответственное комплектование / Сервисная и технологическая поддержка

Приглашаем на наши семинары и в офисы компании (дизайн-центр, производство). Подробнее на сайте

**WWW.DOLOMANT.RU / +7 (495) 739 0775**

# interlight

## MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного и технического освещения,  
электротехники и автоматизации зданий

**11–14 ноября 2014**

ЦВК «Экспоцентр»

Москва

**Энергоэффективные технологии освещения и  
автоматизации зданий**

**Деловая программа в рамках выставки:**

- ▶ LED Forum
- ▶ Форум «Автоматизация зданий и энергоэффективность»

[www.interlight.messefrankfurt.ru](http://www.interlight.messefrankfurt.ru)



messe frankfurt



Advanced Video and Data Systems

## Мировой лидер в разработке систем на основе стандарта ARINC 818 — базового стандарта Интегрированной Модульной Авионики

### GRT предлагает следующие решения:

- Платы захвата кадра и генераторы видеосигнала
- Отдельно устанавливаемые высокоскоростные модули генерации сигнала
- Модули преобразования видеосигнала в защищенном исполнении
- Системы записи и воспроизведения
- Коммутаторы



ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР GREAT RIVER TECHNOLOGY



«Фаворит – Электронная Компания»

WWW.FAVORIT-EC.RU тел./факс: +7(495) 627-76-24, г. Москва

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»  
в Республике Беларусь, г. Минск  
Тел.: +375 (17) 207-01-85  
info@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»  
в Санкт-Петербурге  
Тел.: +7 (812) 449-52-41  
www.spbnek.ru • spb@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»  
в Нижнем Новгороде  
Тел.: +7 (910) 886-80-60  
alexandra@favorit-ec.ru

Реклама