

Универсализация микросхем логики через повышение степени интеграции

Карина Абагян (директор по стратегическому развитию АО «Микрон»), **Андрей Денисов** (главный конструктор по направлению «Интегральные микросхемы» НПК «Технологический центр»)

В статье приводится краткое описание рынка микросхем стандартной логики и его особенностей. Проводится оценка развития подобных микросхем. Подробно рассматривается метод универсализации производства микросхем с помощью МБК и показана его экономическая эффективность.

Стоимость и качество современной микроэлектроники линейно зависит от масштаба ее производства: чем выше серийность у микросхемы, тем ниже её стоимость, выше процент выхода годных изделий, выше надёжность.

Крупнейший российский производитель микроэлектроники АО «Микрон» и ведущая научно-образовательная организация НПК «Технологический центр» при поддержке Минобрнауки в рамках постановления Правительства РФ от 09.04.2010 № 218 реализуют проект, нацеленный на увеличение серийности микросхем через универсализацию сотен типов низкой интеграции в один – матричный кристалл с высокой степенью интеграции.

Введение

Приоритетной задачей отечественной микроэлектронной промышленности является унификация и импортозамещение производства электронной компонентной базы (ЭКБ) в России [1]. Это вызвано следующими факторами:

- геополитическая напряжённость;
- нестабильность цепочек поставки компонентов и сырья для производства электроники;
- дефицит на мировом рынке микроэлектроники.

Данная задача решается отечественными предприятиями радиоэлектронной промышленности при поддержке Правительства Российской Федерации с 2014 года, однако, судя по аналитическим данным [2], доля отечественной ЭКБ на российском рынке занимает всё ещё менее 30%. На рис. 1 и 2 представлены объёмы продаж и доли отечественной и импортной ЭКБ на российском рынке соответственно.

Из приведённых данных следует, что проблема импортозамещения ещё не решена, и предстоит много работы. Причины этого следующие:

- очень большая номенклатура ЭКБ, которая требует замещения;
- нехватка ресурсов предприятий – разработчиков и производителей ЭКБ;
- наиболее передовые технологии, освоенные в России, – 90 нм;
- перестройка мировых цепочек поставок ЭКБ, материалов, технологического оборудования.

Часто задача импортозамещения и унификации решается стандартным путем копирования иностранных образцов ЭКБ, проведения НИОКР и организации производства иностранных аналогов – это требует больших затрат ресурсов отечественной про-

мышленности. Такой подход имеет следующие недостатки:

- себестоимость иностранной ЭКБ намного ниже российских аналогов за счёт массового производства для мирового рынка;
- отечественные аналоги имеют те же технические недостатки, что и у иностранной ЭКБ;
- не развиваются собственные оригинальные разработки ЭКБ.

Таким образом, импортозамещение и унификация ЭКБ требуют выработки и реализации нестандартных подходов с ориентацией на новые технологии.

Рынок микросхем стандартной логики

Микросхемы логики представляют собой полупроводниковые устройства, содержащие счётное число транзисторов для выполнения логических/булевых функций (И, ИЛИ, НЕ в любых комбинациях, битовые сдвиги, триггеры, регистры, сумматоры, компараторы и т.д.), обычно производятся на пластинах 100 мм с проектными нормами ~1 мкм.

Микросхемы стандартной логики широко применяются в составе радиоэлектронного оборудования и систем управления. Системы реального времени, промышленные логические контроллеры, коммутаторы, сигнальные системы используют логику низкой и средней интеграции благодаря её надёжности, быстродействию и гибкости конфигураций.

Микросхемы логики применяются в радиоэлектронной промышленности для выполнения вспомогательных функций и в качестве согласовываю-

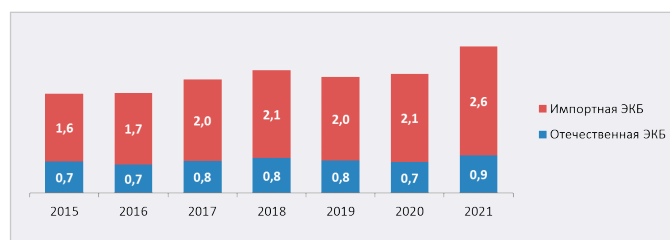


Рис. 1. Объём продаж ЭКБ российского и иностранного производства на российском рынке (млрд долл. США)

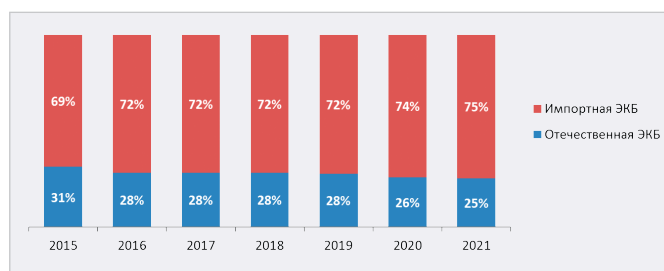


Рис. 2. Доли отечественной и импортной ЭКБ на российском рынке

щей логики в компьютерах и промышленной электронике.

Развитие технологий процессоров и контроллеров приводит к вытеснению микросхем логики программируемыми решениями, но нишей логики остаются применения, где важны надёжность и время задержки, а также многочисленные функции, не требующие сложной обработки сигнала и вычислений. На сегодня ниша имеет стабильные размеры, и рынки между логикой и микрокомпонентами стабильно разделены. На рис. 3 представлена динамика мирового рынка микросхем стандартной логики.

Совокупный среднегодовой темп роста мирового рынка микросхем логики за период 2016–2021 гг. составляет 6,4%. При этом, по данным IC Insights, для всего мирового рынка микросхем тот же показатель почти вдвое выше – 11,0% за 2016–2021 гг. [4].

Таким образом, спрос на микросхемы логики устойчив, но исторически сложившееся значительное разнообразие типонамиалов ставит под вопрос экономическую эффективность развития такого направления в силу малой серийности.

Развитие продукции микроэлектроники осуществляется двумя способами:

- снижение проектных норм – уменьшает площадь кристалла микросхемы при одновременном повышении энергоэффективности;
- переход на пластины большего диаметра – позволяет одновременно обрабатывать большее число кристаллов микросхем.

Эти способы влекут за собой следующее:

- повышение стоимости пластины с кристаллами ввиду удорожания технологических процессов;
- с увеличением числа кристаллов на пластине – снижение цены отдельного кристалла;
- увеличение числа кристаллов на пластине означает уменьшение выпуска пластин при сохранении спроса на одном и том же уровне.

В табл. 1 продемонстрировано, как переход на новые технологии влияет на выпуск пластин.

Таким образом, переход на новые технологии при сохранении спроса приводит к следующим последствиям:

- при переходе на новые технологии цена кристалла существенно снижается;

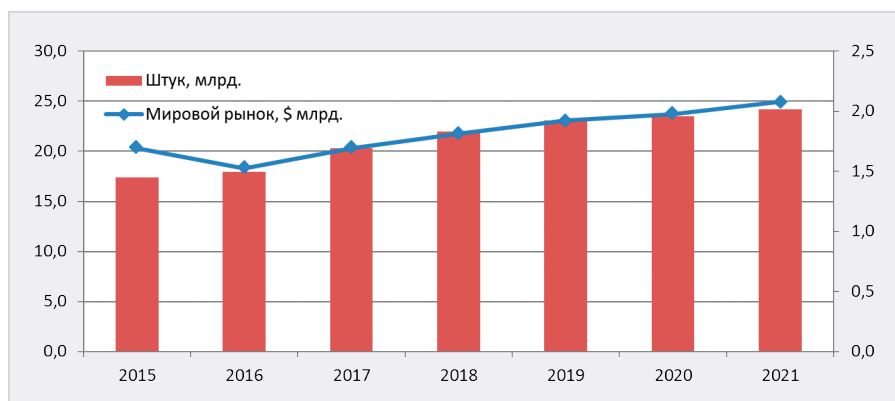


Рис. 3. Объём мирового рынка микросхем стандартной логики [3]

Таблица 1. Влияние новых технологий на выпуск пластин

| Диаметр пластин, мм | 100 | 150 | 200 | 300 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Цена пластины, \$ | 427,39 | 528,37 | 1043,42 | 2473,97 |
| Проектные нормы, нм | 2000 | 1000 | 500 | 90 |
| Ширина кристалла, мм | 3,0 | 2,1 | 1,5 | 1,0 |
| Длина кристалла, мм | 3,0 | 2,1 | 1,5 | 1,0 |
| Площадь кристалла, мм ² | 9,0 | 4,4 | 2,2 | 1,1 |
| Число кристаллов на пластине | 600 | 3095 | 11 061 | 55 924 |
| Объём потребления чипов | 1 000 000 | 1 000 000 | 1 000 000 | 1 000 000 |
| Объём производства пластин | 1667 | 323 | 90 | 18 |
| Цена кристалла (не включает стоимость корпусирования) | 0,712 | 0,171 | 0,094 | 0,044 |

- но при сохранении объёмов потребления чипов на уровне 1 млн шт. объём выпуска пластин также существенно снижается – с серийного производства на единичный выпуск пластин.

Единичный выпуск пластин является существенным ограничением для запуска производства, так как в этом случае возникают дополнительные скрытые затраты, которые трудно идентифицировать:

- корректировка технологического процесса под выпуск единичной партии;
- замена оснастки (мишеней, фотошаблонов);
- корректировка программ и методик испытаний;
- затраты, связанные с временем простоя оборудования.

В связи с этим становится невыгодно выпускать единичные партии пластин – многие фабрики откладывают производство малых партий на неопределённый срок или отказывают в размещении подобных заказов.

Таким образом, переход на новые технологии производства интегральных схем не является оптимальным решением для развития продуктовых

групп в случае микросхем стандартной логики.

Универсализация микросхем стандартной логики

Для универсализации микросхем логики и их импортозамещения предлагается разработать многофункциональные базовые кристаллы (далее – МБК). Проверка концепции МБК реализуется на микросхемах логики двух типов: с 14 и 16 выводами. Доказательство концепции на практике позволит использовать метод МБК на широком ассортименте микросхем логики и аналоговых микросхемах низкой интеграции типа операционных усилителей и массивах транзисторов.

Разработка МБК выполняется в рамках комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства функционально конструктивных аналогов микросхем малой и средней степени интеграции», который поддержан Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 09.04.2010 № 218 «Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных

Таблица 2. Основные технические характеристики МБК

| Тип МБК | Объём поля МБК, не менее, условных вентиляей | Площадь кристалла, мм | Количество внешних выводов, шт. | Тип корпуса | Диапазон напряжения питания, В | Масса микросхемы, не более, г |
|-----------|--|-----------------------|---------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|
| МБК Тип 1 | 3000 | 1,5×1,65 | 14 | 401,14 | 4,5...5,5 | 0,6 |
| МБК Тип 2 | 5000 | 1,65×1,65 | 16 | 402,16 | | 1,6 |



Рис. 4. Структурная схема МБК

организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств».

Разрабатываемые МБК представляют собой кристаллы в формате «море вентиляей», логические функции которых формируются через матрицу логических элементов, а аналоговые характеристики, обеспечивающие полное электрофизическое совпадение параметров, – через массивы RCL-элементов и полное совпадение выводов – через верхние слои металлизации. В табл. 2 приведены основные технические характеристики МБК.

МБК Типа 1 реализует 101 типонаминал логики, имеет 14 внешних выводов, МБК Типа 2 – 54 типонаминала, имеет 16 внешних выводов. Разрабатываемые МБК будут реализовывать следующий функционал:

- мультиплексоры/демультиплексоры;
- логические элементы;
- коммутаторы;
- триггеры;
- регистры;
- счётчики;
- сумматоры;
- шифраторы/дешифраторы;
- арифметико-логические устройства.

При проведении оценки и первичного проектирования было установлено, что микросхемы стандартной логики, серийно производимые АО «Микрон», имеющие 14 выводов, можно заместить одним типом МБК с

количеством вентиляей 3000 шт. Кристалл МБК первого типа будет иметь площадь 1,5×1,65 мм².

МБК второго типа с количеством вентиляей 5000 шт. предназначены для замещения микросхем стандартной логики с 16 выводами. Такие МБК 2-го типа будут иметь площадь не более 1,65×1,65 мм².

Указанная площадь кристаллов МБК 1-го и 2-го типов обеспечивает экономическую целесообразность универсализации, а число типонаминалов позволяет достичь объёмов серийного производства и амортизировать стоимость фотошаблонов. При этом будут полностью воспроизведены технические характеристики и назначении микросхем и осуществлено полнофункциональное замещение устаревших компонентов.

При проектировании конкретных типов микросхем необходимо достичь компромисса между функциональной гибкостью и простотой реализации. В микросхемах МБК применён способ выбора функции с помощью коммутаторов, которыми являются наборы проводников в верхнем слое металлизации. Коммутаторы обеспечивают электрическую связь внешних выводов с функцией и с линиями задержки. В состав коммутаторов также входят проводники, обеспечивающие блокировку всех оставшихся функций. Структурная схема МБК представлена на рис. 4.

Базовая ячейка поля МБК реализована в виде 4-транзисторной ячейки с объединёнными затворами в ком-

плементарных парах транзисторов и имеет следующие особенности:

- 1) ячейка симметрична относительно пар комплементарных транзисторов;
- 2) размеры транзисторов минимизированы с учётом выполнения правил проектирования;
- 3) конструкция ячейки разработана с учётом разводимости ячеек;
- 4) шины подключения ячейки к источникам питания («Земля» и «Питание») удовлетворяют требованиям ОСТ В 11 0998.

Конструкция ячейки разработана с учётом правил проектирования завода-изготовителя АО «Микрон».

Конструкция базовой ячейки поля МБК позволяет реализовать в поле архитектуру «море вентиляей», удовлетворяющую критерию максимальной разводимости, как на уровне библиотечных элементов, так и с точки зрения трассировки.

Унифицированная периферийная ячейка «входа/выхода» МБК включает в себя контактную площадку размером 100×100 мкм, элементы системы защиты от электростатического напряжения, входные каскады, включая триггер Шмитта с управляемым гистерезисом, выходные транзисторы с управляемыми значениями тока нагрузки от 2 до 20 мА и длительности фронта от 0,5 до 1,5 нс.

Для каждого типа микросхемы формируется уникальный шаблон металлизации, с помощью которого выполняется изготовление данной микросхемы с использованием пластин МБК 1-го или 2-го типа. Такой способ является достаточно простым и наиболее надёжным.

Оценка экономической эффективности универсализации микросхем логики

Переход с проектных норм от > 1000 нм на 180 нм позволит в разы увеличить число кристаллов на пластине. Повышение серийности приведёт к росту коэффициента выхода годных и универсализации процессов функционального контроля и сборки

микросхем. Объём складских запасов продукции, который, как правило, поддерживается для малосерийных микросхем, может быть уменьшен на порядки.

Выводы

- Дано краткое описание рынка микросхем стандартной логики.
- Проведена оценка развития микросхем стандартной логики.
- Представлен метод универсализации производства микросхем логики с помощью МБК.

- Представлены два типа МБК в формате «море вентиляей» – для замены микросхем на 14 выводов (тип 1) и 16 выводов (тип 2).
- Показана экономическая эффективность универсализации микросхем.

Литература

1. Боков С.И., Подольский А.Г. Структура экономической модели выполнения опытно-конструкторской работы по созданию радиоэлектронной аппаратуры в условиях реализации задач унификации и импортозамеще-

ния электронной компонентной базы // Вооружение и экономика. 2019. № 1 (47).

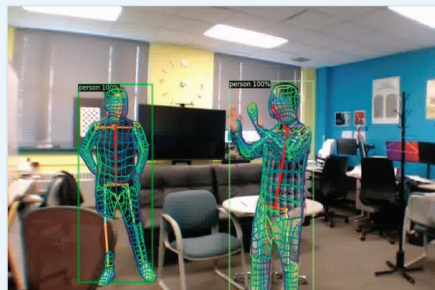
2. Отчёт исследования российского рынка электронных компонентов 2016–2022 // ООО «СовЭл».
3. Статистика IC Insights.
4. URL: <https://www.icinsights.com/news/bulletins/Semiconductor-Sales-To-Rise-At-71-CAGR-Through-2026/>.
5. Отчёт IC Knowledge: IC Cost and Price Model.
6. URL: <http://www.silicon-edge.co.uk/j/index.php/resources/die-per-wafer>.



НОВОСТИ МИРА

Сообщено о технологии слежки за людьми с помощью Wi-Fi-роутера

Исследователи из университета Карнеги-Меллон (Carnegie Mellon University) разработали метод распознавания трёхмерного образа и движений человеческого тела в комнате с помощью Wi-Fi-роутера, сообщает vice.com.



Для этого они использовали систему DensePose, предназначенную для «картографирования» пикселей на поверхности тела человека, изображённого на фото. На этой основе была разработана нейросеть, привязывающая фазы и амплитуды Wi-Fi-сигналов, отправляемых и принимаемых роутером, к координатам на человеческом теле.

Авторы из Карнеги-Меллон пишут, что верят в то, что Wi-Fi-сигналы «могут служить универсальным заменителем» обычных видеокамер, когда речь идёт об обнаружении людей в помещениях. При этом Wi-Fi-сигналам, в отличие от камер, не требуется, чтобы в комнате было достаточно света или отсутствовали физические преграды между ними и объектами наблюдения.

Занятно, что исследователи позиционируют свою технологию как прогресс в деле защиты конфиденциальности, приводя следующие аргументы: «Технологию можно масштабировать, чтобы монито-

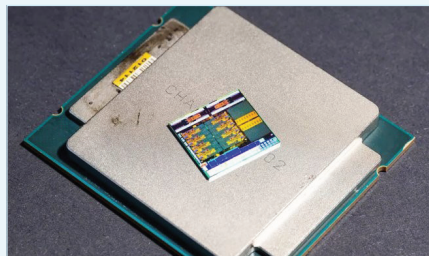
рить условия жизни и быта престарелых или идентифицировать подозрительную активность в доме».

Издание отмечает, что разработки технологий наблюдения за людьми в помещениях без использования дорогостоящих видеокамер или лидаров ведутся давно. Так, в 2013 г. группа исследователей из MIT обнаружила способ «смотреть сквозь стены» с помощью сигналов сотовых телефонов; в 2018 г. другая команда из MIT использовала Wi-Fi, чтобы находить людей в соседней комнате и передавать их движения в схематичном виде.

industry-hunter.com

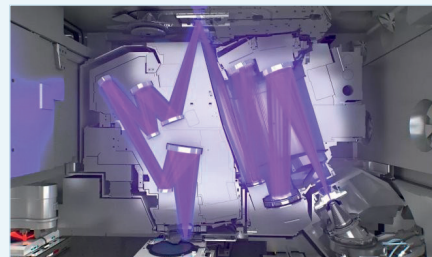
Huawei совершила прорыв в печати микрочипов и обошла санкции США

Компания Huawei запатентовала технологию преобразования ультрафиолетового света для устранения искажений из-за интерференции при работе на предельно малых длинах волн. Эта разработка позволяет ей использовать 10-нанометровый процесс для самостоятельной печати микрочипов. И тем самым не просто обойти санкции США, а бросить вызов всей индустрии производства данных устройств.



Экстремальная ультрафиолетовая (EUV) литография настолько сложна, что нидерландской компании ASML (мировой лидер в области EUV-литографии. – Прим. ред. *Техкульт*) потребовалось 17 лет и более

6 млрд евро инвестиций, чтобы создать коммерческую установку для её применения. В ней капли расплавленного олова дважды облучаются лазером – сначала для придания им формы блина, а потом для его испарения. В результате получается микрооблачко плазмы, которое испускает EUV-свет с нужными параметрами. Процесс происходит с частотой 50 000 раз в секунду.



Данная технология предельно засекречена, доступ к ней имеют лишь пять компаний во всём мире: Intel и Micron в США, Samsung и SK Hynix в Южной Корее и TSMC на Тайване. Другие производители, такие как Huawei, ранее просто заказывали изготовление чипов у TSMC, но после наложения санкций США эта возможность стала недоступной. Повторить технологию чрезвычайно сложно, потому что необходимое EUV-излучение балансирует на границе УФ и рентгеновского спектра.

Однако инженеры Huawei сумели найти выход, применив систему зеркал для борьбы с эффектами интерференции. Исходный луч разделяется на «подлучи», которые передаются на микроскопические зеркала с индивидуальными параметрами вращения. Это позволяет регулировать интерференционные эффекты для их взаимной нейтрализации и в результате складывать все «подлучи» в единый луч с нужными для EUV-литографии свойствами.

techcult.ru