

Техника России ближайших лет: «вечно летающие» дроны, кубсаты, мини-спутники на основе «параллельной» электроники

Александр Гордеев (ООО «АГАТ», г. Москва)

Материал статьи скомпилирован на основании школьных проектов, выполненных в рамках программы Ульяновского Образовательного центра «Сириус» Лалей Нуриевой, Никитой Брескану, Максимом Сыровым (физико-математический лицей № 38, г. Ульяновск) и Ренатой Галимовой, выпускницей гимназии № 2 (г. Ульяновск), ныне студентов РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина (г. Москва), МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Московского политехнического университета, МГТУ им. Н.Э. Баумана соответственно, где наставником и руководителем проектов был автор этой статьи, будучи главным специалистом АО «Концерн радиостроения «Вега».

Вступление

В данной статье мы продемонстрируем необычайные научно-технологические возможности России в глубокой перестройке экономики [1], [2] на основе альтернативной на сегодня «параллельной» электронной индустрии [3], которая зарождается в текущий момент в периметре Росатома.

Статья направлена на преодоление «летаргии» в управляющих структурах в части развития отечественной электроники и на быстрое преодоление катастрофических последствий Программы импортозамещения от 2015 года в этой стратегической отрасли.

Катализатором является проект Программы негосударственной ФЦП развития отечественной электроники до 2030 года, разработанный автором данной статьи с индикаторами и показателями, опережающими мировой уровень на 5–7 лет на имеющейся в реальности в РФ технологической платформе.

Необходимость создания в РФ новой «параллельной» электронной индустрии

Электроника в России – «дитя без глаза у семи нянек» – Ростех, АФК, Росатом (цифра, алмаз), Роснано, Сколково, РАН, частные компании и даже концерн ВКО «Алмаз-Антей».

Россия катастрофически отстает по цифровым технологиям от зарубежного уровня (2-нанометровые микропроцессоры производства TSMC (Тайвань),

Samsung (Корея)), и это отставание уже невозможно ликвидировать даже к середине текущего столетия, поскольку в нанотехнологическое оборудование, технологии и софт, с учётом имеющихся промплощадок Белоруссии и разработки полевых транзисторов, основ цифровых и логических ячеек, потребуются ежегодные вливания от \$30 млрд. Существует и проблема с кремнием зонной плавки диаметром от 150 мм и выше. И хотя вложено свыше миллиарда рублей, но нет серийных SiC – монокристаллических подложек. Финансирование Минпромторгом ОКР систем Si-SiC-AlN-GaN или более дорогостоящих SiC-AlN-GaN (Концерн «Алмаз-Антей») также подчёркивает, что у нас нет качественного эпитаксиального GaN и, соответственно, гетеросистем на его основе под GaN pHEMT в стратегическом миллиметровом диапазоне (ЦРОФАР, ЦАФАР), на чём выстраиваются современные системы ПВО, боевая авиация, ударные БПЛА, космическая «смотрящая» навигационная и связная техника. Что касается монокристаллов GaAs, то нужно отметить наличие устаревшей, но в целом качественной технологии малого диаметра методом Чохральского диаметром до 3 дюймов в АО «Гиредмет» (Росатом), а также целенаправленное финансирование ОКР (свыше 1 млрд руб.) по VGF-методу выращивания слитков монокристаллов GaAs в Обнинске (за рубежом диаметр VGF GaAs кристаллов составляет 150 мм и выше).

Остаётся острейшая проблема с химреактивами особой чистоты, газами, качеством цветных металлов, BeO, AlN-керамикой и др.

Также необходимо отметить необходимость перехода от «семи нянек» к подчинённости одной организации, т.е. к созданию МЭП РФ, как это было в СССР, поскольку на кону национальный суверенитет.

Тем не менее, несмотря на вышеописанную мрачную картину, в России есть технологический и научный фундамент для прорывного скачка в развитии отечественной электроники с опережением зарубежного уровня на пять – семь лет в части экстремальной радиационностойкой электроники на новых уникальных монокристаллах арсенида галлия, полученного, в отличие от MOCVD классической технологии, используемой странами G7, новым жидкофазным методом, отличающимся возможностью создания «параллельной» мировой, новой электронной индустрии, значительно превосходящей всё, что создано на мировом рынке на таких материалах, как Si, SiC, GaN. Необходимо отметить разработанные в ИПМаш РАН, г. Санкт-Петербург (д.ф.-м.н. Сергеем Арсеньевичем Кукушкиным), «тринитридные» технологии выращивания кристаллов SiC, GaN, AlGaIn с рабочими температурами в три раза выше, чем на Si, GaN, SiC, а также сверхпроводящих систем при комнатной температуре и новейших кристаллов для спин-волновой электроники и прорывной, меняющей мир изотопной цифры.

Взамен трёх бесперспективных последовательных Стратегий и Программы по импортозамещению подготовлены Проект КЦП (пока для Росатома), а в ближайшей перспективе (в течение 2–3 месяцев) будет подготовлен проект ФЦП по созданию экстремальной электроники, фотоники, фононики и спин-электроники для

создания «параллельной» мировой электронной индустрии с опережением зарубежного уровня, как указано выше, на 5–7 лет. Дело за малым – восприятием и пониманием проектной ФЦП на государственном уровне.

Вечно летающие дроны

Это проект «крылатой» доставки грузов, инструмента для МЧС, скорой медицинской помощи, агросектора, мониторинга городской среды, реализации локальных функций GPS, GSM и др.

Вследствие ухода из-за санкционного давления известной логистической почтовой службы DHL были рассмотрены варианты почтовой логистики на новой технологической основе (нет худа без добра). Был поднят с «пыльных полок» проект бывших школьников – десятиклассников физико-математического лицея № 38 г. Ульяновска Лали Нуриевой, Максима Сырова, Никиты Брескану – сегодняшних студентов московских вузов.

Проект под названием «Дрон на основе новой бортовой GaAs-электроники, не имеющей аналогов в мире» (рис. 1) имеет оригинальные перспективные научно-технические решения:

- дрон оснащён СВЧ-системой бесконтактной индукционной зарядки литиевых батарей (патент РФ, см. далее);
- предусматривается создание системы миллиметровой и субмиллиметровой локации, навигации, связи, не имеющей аналогов в мировой практике;
- оснащение бортовой сверхэнергосплотной силовой электроникой (IPM до 20 кВт/дм³);
- СВЧ ВИП для бортовых терагерцевых цифровых систем (с плотностью до 100 кВт/дм³) с высоким КПД;
- оснащение бортовым терагерцевым (бит/с) фотонно-фононным процессором;
- микроклимат для Li-батарей в условиях зимнего сезона;
- приборы ночного и теплового видения, в том числе в условиях «зелёнки» – днём и ночью;
- солнечная бортовая батарея с КПД от 28–30% (до 400 Вт/м²);
- мультифазные асинхронные сверхлёгкие ВЧ-электродвигатели;
- наличие (кроме ТГц-радаров) сверхмалогабаритных видео- и ИК-камер обзора местности;
- SMART-дрон должен быть работоспособным при температуре окру-



Рис. 1. Рисунок smart-дрона из школьного проекта

жающей среды до +200°C (МЧС), в перспективе до +400°C;

- SMART-дрон должен быть работоспособным в «чернобыльских условиях»;
- исполнение дрона – как квадрокоптер, как «летающее крыло» с меняющимся вектором тяги электродвигателя, в том числе с вертикальным взлётом;
- навигационная система – как спутниковая, так и маячковая (миллиметровая ориентация на бесконтактную зарядку);
- дрон должен иметь возможность летать на сверхнизких высотах (до 10 м от поверхности), а также совершать полёт на низкой высоте в условиях городской застройки;
- в дрон может быть встроена система, обеспечивающая локальное «кривое энергостранство в виде «молока» для радаров);
- дрон должен иметь проектную скорость до 500...600 км/час (на ВЧ асинхронных мультифазных электродвигателях).

Новое приборостроение («параллельная» радиационнотойкая, гиперчастотная, высокотемпературная электроника)

ЭКБ для ключевых блоков и систем SMART-дрона. IPM асинхронный электропривод

Для пролёта на сверхнизких высотах дрон должен иметь ВЧ-привод, электронное (субмиллиметровое и ИК) зрение и мгновенную обработку логистики на бортовом суперкомпьютере с управлением через контроллер асинхронных двигателей.

Бортовые асинхронные сверхмалогабаритные ВЧ-электродвигатели (четыре в варианте квадрокоптера или три – в варианте «летающего крыла») должны иметь комплексное управление в системе: «электронное зрение» →препятствие →поражающие кинематические системы (ПЗРК) →цель с субсекундным манёвром.

Для этих целей выполняется бортовой микроконтроллер с силовым драйвером и силовыми ключами трёх- или мультифазного инвертора на i-GaAs изоляторе с удельным сопротивлением свыше 10⁹ Ом/см. Технология исполнения: LPE + MOCVD + ALD, в том числе полностью реализованные реактивные интегральные элементы, включая оптическую развязку системы драйвер-ключ. ШИМ-модуляция в данном случае неуместна, поскольку она уже достаточно консервативна и не может обеспечить ВЧ-инвертирование.

Планируется ВЧ АЧМ с созданием «чистых» синусоид как с положительной, так и с отрицательной противофазными полуволнами с нулевой точкой.

Силовые ключи будут выполнены на основе неизвестных на мировом рынке:

- n- и p-канальных GaAs MOSFET (до 800 В), внеконкурентных даже по сравнению с Si COOL-MOSFET с рабочими частотами до 10 МГц;
- n- и p-канальных IGBT (частоты до 1,0 МГц) на 600 В;
- n- и p-комплементарных GaAs GTO с токами до 300 А/чип и напряжениями до 800 В, в том числе с оптическим управлением (сотни кГц, 600...800 В);
- а также на других решениях, которые не раскрываются.

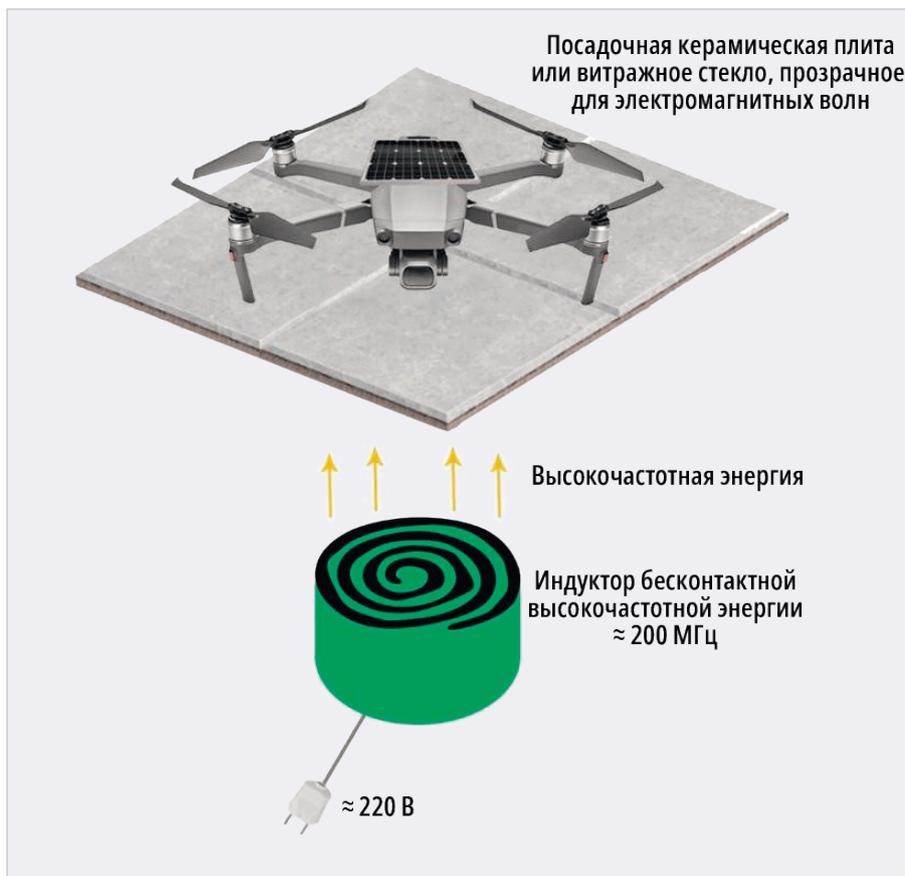


Рис. 2. Схематичное изображение бесконтактной зарядки по патенту д.т.н., профессора Севастопольского университета И.Б. Широкова (рисунок взят из школьного проекта)

Что касается диодов, то возможны «циклоидные», т.е. на квантово-магнитных точках GaAs SBD с $\tau_{гр}$ на порядок меньше, чем у SiC SBD (до 650...800 В, с $\tau_{гр} \approx 1,0$ нс).

Бортовой ВИП

Энергоплотность при $U_{DC\text{ вх.}} = 200$ В до 15...20 кВт/дм³, а при $U_{DC\text{ вх.}}$ до 24 В энергоплотность СВЧ ВИП для СВЧ терагерцевых бортовых систем – свыше 100 кВт/дм³. При этом добавляются новые силовые СВЧ полевые транзисторы и диоды на десятки ампер. Консервативность и бесполезность ШИМ-модуляции – нет смысла обсуждать (см. сообщение [4]).

Зарядное бесконтактное устройство

Это достаточно высоковольтная отечественная приёмо-передающая система, автором которой является профессор Севастопольского Государственного университета, д.т.н. Широков Игорь Борисович, который запатентовал исполнение СВЧ/ВЧ бесконтактного зарядного устройства (Патент RU2704602C1, приоритет от 10.12.2018). Для этой цели

требуются мощные транзисторные ключи со сверхмалыми остаточными напряжениями, отдающие излучательную индукционную мощность 15...20 кВт/200 МГц/200 В.

Проблема решается на мощных GaAs MOSFET с напряжением 400...600 В, работающих в импульсном режиме с длительностью меньше 0,1...0,5 мкс с мультифазным параллельным включением (режим «наложенной» скважности), т.е., по существу, это – индукционная ВЧ блок-плита с ВЧ-индуктором. Приёмные элементы в днище дрона также выполняются на мощных СВЧ MOSFET-ключях с так называемыми «циклоидными» GaAs SBD, где носители заряда движутся в твердотельно-вакуумном межфононном пространстве по спирали, избегая фононного или электронного рассеивания (улучшение подвижности электронов μ). Такие диоды будут выстраиваться на кристаллах GaAs с квантово-точечными магнитными центрами на основе атомов лантаноидной группы таблицы Менделеева. Дрон с бесконтактной зарядкой показан на рис. 2.

ИК-зрение (ночное, тепловое в «зелёнке»)

Физика, конструкция, основы были подробно изложены на XXV Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения в Государственном научном центре Российской Федерации НПО «Орион» холдинга «Швабе» Госкорпорации Ростех 24 мая 2018 г. [5], а также в проекте в ФПИ года четыре назад по приборам ночного и теплового видения с массогабаритами не более 50 грамм, в том числе всепогодным, на порядок превосходящим по чувствительности и меньше на порядок по массогабаритным размерам в сравнении с тепловизорами типа «МТ-30», «М-ПРО ЩЕГОЛ», «XAVER-100» ООО «Меркурий-Про».

Функциональные физические основы новых GaAs-микроболометров на водородоподобных квантовых точках подробно изложены в публикации [6] и, конечно, в докладе автора.

Подчеркнём, что тепловое излучение человеческого тела может быть на дистанциях, аналогичных ИК – ночному видению, т.е. до нескольких километров, что создаёт предпосылки для создания SMART-дронов с широкими возможностями поиска в ночных условиях, когда можно будет рассмотреть мышшь-полёвку с высоты нескольких километров. Особенно это важно для МЧС при поиске пропавших в тайге, в горах людей или в условиях стихийных бедствий.

Бортовые ТГц РЛС

Новые SMART-дроны должны обладать не только ИК ночным (короткое ИК) или тепловым видением (в окне прозрачности 8...14 мкм или в пределах 20...38 ТГц), но и на начальных терагерцевых частотах.

Для этой цели будут реализованы сверхмалогабаритные терагерцевые «диэлектрические» бортовые РЛС на частотах прозрачности атмосферы 5,0...7,5 ТГц (5000...7500 ГГц). Принципы построения таких терагерцевых РЛС просты и понятны, если внимательно ознакомиться с публикациями [7]. Частоты 5,0...7,5 ТГц обеспечивают видимость отдельного волоса на голове человека. Дальность такой радиолокации, а также 7G (GSM, GPS), не хуже, чем на волнах 1,25...1,06 мм (240...320 ГГц), при более простом и более надёжном фотонно-фононном исполнении.

Бортовой терагерцевый, со сверхнизким энергопотреблением фотонно-фононный суперкомпьютер

Для того чтобы SMART-дрон обладал возможностями всё видеть, слышать, распознавать (взамен нейросетей), обходить препятствия, летать как на метровых, так и на километровых высотах, выявлять «грязную» радиацию («грязные» изотопные бомбы), определять климатические условия, позиционироваться до долей миллиметра на местности, работать в зимних условиях и т.д., **нужен бортовой суперкомпьютер, который в системе бортового энергопотребления будет потреблять единицы процентов от ёмкости аккумулятора.** Как сделать такой бортовой компьютер – изложено в публикации [2].

Напомним, что многоядерный процессор такой фирмы, как TSMC (Тайвань), с точки зрения энергопотребления – эквивалент электроутоюга, а для экзафлопсного суперкомпьютера на тайваньских микропроцессорах понадобится целый блок такой АЭС, как Балаковская.

«Параллельная» электроника для отечественных мини-спутников по типу «Кубсат» («CubeSat») и «Starlink» CubeSat

CubeSat – мини-спутники, именуемые также наноспутниками, чаще всего имеют объём в 1,0 дм³, но иногда имеют форму параллелепипеда с объёмом в 3,0 дм³. Они предназначены как для научных исследований в ближнем, среднем космосе, так и для военных целей.

«Кубсаты» имеют бортовые источники питания от единиц ватт (Li-батареи в виде цилиндрических шайб), либо электрохимические элементы (до 100 Вт/ч), либо дополнительные источники в виде солнечной фотовольтаики на кремнии или поликремнии с КПД 6–16% (до 300 Вт), которая зависима от солнечной радиации в сторону ухудшения эффективности.

«Кубсаты» боятся нагрева от солнечной радиации и имеют специальную тепловую защиту на поверхности «куба» или «параллелепипеда». Работоспособность «кубсата» в случае остановки солнечных батарей – всего несколько недель, и затем они входят (падают) в атмосферу. Солнечные батареи резко увеличивают массу мини-спутника.

На борту «кубсата» имеются системы ориентации (телеметрии) на лазерном гироскопе, связанная аппаратура в VHF, UHF, L, S, C, X-диапазонах. Имеются сантиметровые РЛС и GPS, бортовой компьютер, двигатели Холла (ионные двигатели на Кг-ионах для корректировки орбиты), чаще всего они выводятся на ближние орбиты (из-за экранирования ионосферой сантиметровых электромагнитных волн). При способности тяжёлых американских ракет выводить в космос свыше 100 тонн полезной нагрузки и при весе «CubeSat» ≈ 1,33 кг (или до 4 кг – параллелепипедного варианта) можно рассчитать, какой «рой» может быть запущен одной ракетой-носителем. В России «кубсаты» пока находятся на уровне «кружкового рукоделия» в некоторых вузах Москвы и Сибири.

Мини-спутники «Starlink»

В настоящее время на ближней космической орбите находится 3500 активных спутников «Starlink» талантливейшего человека, предпринимателя Илона Маска, которые фактически спасают от разгрома Украину и выявляют нашу технологическую отсталость в области космической связи, навигации и локации.

Спутники Илона Маска предоставляют автономный (без телевышек) доступ в высокоскоростной Интернет, которым пользуются в 45 странах (в диапазоне 5G – до 10 Гбит/с, а к 2030 году – в диапазоне 6G – до 100 Гбит/с). Широкополосность обеспечивается «эстафетной» последовательностью приёмов/передачи.

За создание «Starlink» взялись многие страны мира – от Тайваня до Саудовской Аравии, не говоря уже о Японии, Корее, Индии, Китае, странах ЕС.

Борисов Ю.И., руководитель Роскосмоса, успокаивал нашу общественность и обещал построить два завода по выпуску мини-спутников к... 2025 году и заметной серией к 2030 году.

Кстати: в Воронеже, Ульяновске, Казани, Саратове пустуют огромные технологические площади.

Мини-спутники Илона Маска имеют вес от 200 кг (старое исполнение типа V1.5) до 830 кг (сверхмощный по возможностям широкополосного Интернета спутник V2 Mini).

Такие спутники обеспечивают также СВЧ цифровую связь в миллиметровом диапазоне вплоть до 1,0 мм (300 ГГц), недоступную пока для оте-

чественных приёмников (необходимы субтерагерцевые АЦП, которых нет у нас даже в X-диапазоне). **Это опаснейший вызов для России.**

Самое настораживающее обстоятельство – это то, что с помощью «Starlink» упрощена схема управления беспилотниками, в том числе ударными, а также «Starlink» стал стержнем так называемой системы C4ISR (командование, управление, связь, компьютерная обработка, разведка, наблюдение, рекогносцировка). В этом смысле обладание такими возможностями в вооружённом столкновении в населённых пунктах имеет зачастую решающее значение, поскольку мобильная независимая цифровая связь, обмен видеоизображениями и сообщениями в режиме реального времени обеспечивают тактическую манёвренность, жизненно важную в условиях современной войны.

Энерговооружённость «Starlink» обеспечивается через солнечные панели (последний вариант имеет солнечные панели до 50 м²) мощностью до 10 кВт.

Отметим, что мини-спутники типа «Starlink» в перспективе способны (с бортовыми 30-киловаттными мини-АЭС) «обнулить» возможности баллистических ракет с ядерным оружием уже к 2030 году – на принципах сверхмощного субмиллиметрового электромагнитного излучения и подавления бортовой электроники ядерных ракет ЭМИ-средствами, в том числе с ядерным самоподрывом в космосе (электромагнитные гигаваттные ЭМИ).

Поэтому важнейшей с точки зрения оборонных технологий является задача создания отечественной мощной группировки мини-спутников (по типу как «CubeSat», так и «Starlink»).

Квадрокоптеры DHL, логистическая и инфраструктурная урбанизация Москвы

В 2020 году на основе проектных решений школьников физико-математического лицея № 38 г. Ульяновска по созданию великолепных дронов с бесконтактной SMART-зарядкой бортовых батарей молодыми аспирантами МАИ, МГУ им. Н.Э. Баумана, МЭИ был подан проект по описанным в статье SMART-дронам на объявленный конкурс по созданию продвинутых дронов для Москвы. Проект почти дошёл до «финишной ленточки», но, видимо, что-то помешало – то ли пугающая экспертов новейшая бортовая GaAs-электроника, то ли традици-

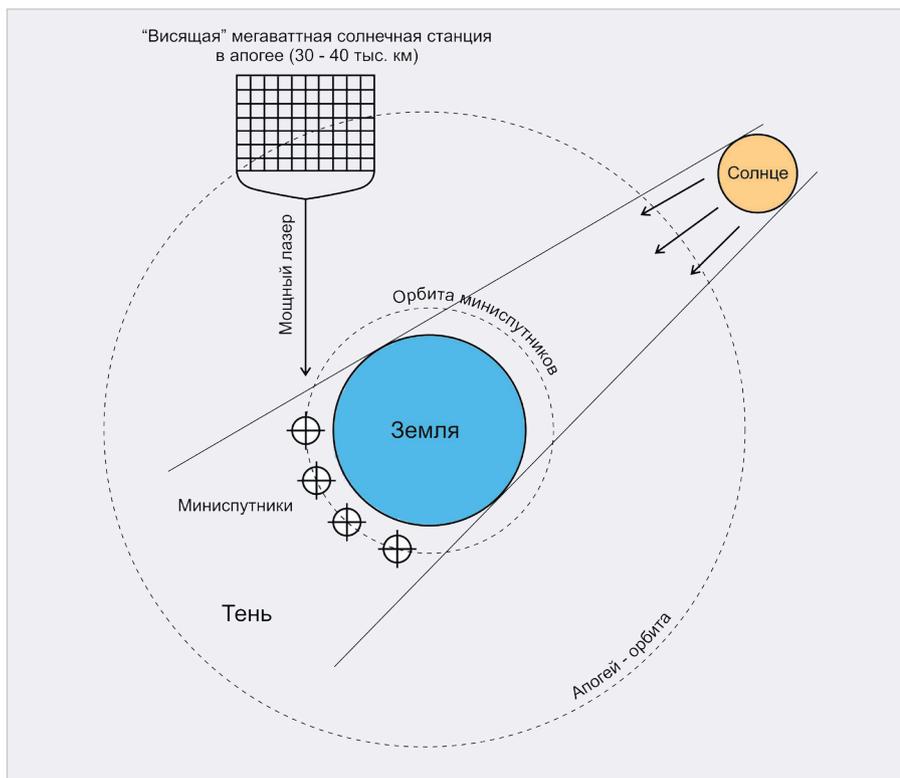


Рис. 3. Беспроводная энерголазерная тенева «подпитка» группировки мини-спутников с мощной бортовой солнечной станцией на апогейной орбите

онные закулисные договорные схемы – неизвестно. Но «вечно летающий» дрон пригодился бы мегаполису.

Что касается воздушной DHL, то такая идея имеет право на существование в виде дронов типа «летающее крыло» с тремя двигателями в носовой части и краевых областях крыльев с меняющимися векторами тяги. Расчёты Никиты Брескану показывают, что на примере квадрокоптера весом 10 кг дрон с бесконтактной подзарядкой будет иметь следующие параметры:

- полная масса – 10 кг;
- грузоподъёмность (полезная нагрузка) – 3,5 кг;
- серно-литиевый аккумулятор с ёмкостью свыше 1675 мА·ч;
- мощность двигателей – 1700 Вт (max 2205 Вт);
- максимальная скорость подъёма ($p-t = mgh$) = 16,7 м/с;
- мощность солнечной панели – от 0,4 кВт/м² (GaAs);
- высота – от 1,0 км;
- сила тяги – 200 Н (при $\cos\alpha = 0,5$ тяга – 173 Н);
- предельная скорость – 26,8 м/с (при полезной нагрузке – 3,5 кг или 96,5 км/ч).

Подчеркнём, что расчёты выполнил десятиклассник.

С учётом новейшей элементной GaAs и «тринитридной» «параллельной» электронной базы, а также прогресса в разработках мультифазных асинхронных двигателей на килогерцовых частотах, **расчёты показывают, что можно утроить скорости ударных мини-беспилотников «Ланцет» Ростеха (т.е. довести до 650 ÷ 750 км/час) с радиусом действия как минимум 100 км** (при использовании бортовой силовой электроники с массой, на порядок меньшей, чем у «Ланцета», и резком снижении энергопотребления энергозатратных СВЧ и ТГц бортовых систем). При радарной малозаметности (пролёте на финишной стадии на высотах 5–10 м) такие «Ланцеты-М» могут иметь решающее значение в современной «беспилотной» войне.

Очень привлекательно выглядит воздушное DHL, например, между Москвой и Санкт-Петербургом, когда новый smart-дрон (внешне похожий на известный беспилотник «Герань») мог бы преодолеть расстояние до С.-Петербурга за 2,5–3 часа, имея зарядные станции через ≈ 100 км (при новых решениях) вдоль трассы М-11. Это, вероятно, очень важно в условиях скорост-

ной доставки документов, денег, цветов, флешек, медпрепаратов и др.

«Параллельная» гиперчастотная, высокотемпературная, радиационнотойкая электроника, фотоника и фофоника, а также «комнатная» сверхпроводимость для «вечно летающих»* отечественных «CubeSat», «Starlink»

Функционально мини-спутники по типу «CubeSat» и «Starlink» (в том числе по проекту бывшей школьницы лица № 2, г. Ульяновск, Ренаты Галимовой, студентки МГТУ им. Н.Э. Баумана) будут обеспечены сверхэнергоплотной СВЧ и терагерцевой электроникой, фотоникой и фофоникой, включая бортовые 2-фотонные экзафлопсные суперкомпьютеры (со сверхнизким энергопотреблением).

Подчеркнём, что в ТГц-диапазоне, в частности, связь, навигация, телеметрия, локация невозможны на полупроводниковых приборах и СБИС ввиду огромного времени дрейфового пролёта в активных областях транзисторов и диодов, по сравнению со световыми разница достигает до трёх порядков (в 1000 раз). Поэтому на смену зонной (полупроводниковой) теории приходит релятивистский («световой») транспорт электромагнитной энергии (твёрдовакуумная электродинамика).

Функциональные возможности будущих отечественных мини-спутников – это, конечно же, широкополосный Интернет 6G к 2030 году и 7G к 2035 году, а также естественный обзор поверхности земли с разрешающей способностью, обеспечивающей возможность видеть комара (!), а также, конечно, выполнение МЧС и боевых функций.

Что касается «вечно летающих» свойств, то в проекте Ренаты Галимовой «Новая отечественная электроника и материалы для повышения энергоресурса интернет-мини-спутников» показана генерация солнечной энергии на мини-спутниках (рис. 3).

Такая генерация и бесконтактная ретрансляция энергии мини-спутниками осуществляется на основе заявки на изобретение РФ, поданной в Роспатент в начале текущего года (ООО «АГАТ»,

*Под «вечно летающими» мини-спутниками необходимо понимать функционирование в течение четверти века «кубсатов» и «старлинков» на плазменной «подвеске» ионосферы и, конечно, живучесть LPE GaAs солнечных батарей в условиях протонной радиации космических лучей.

г. Москва), на так называемых *n-i-p* («нипель») LPE GaAs эпитаксиальных структурах. Такие структуры выступают как в роли фотоприёмников и преобразователей солнечной энергии (в космосе до 1600 Вт/м²), так и в роли объёмных мощных ИК-лазеров на границе ИК и красного диапазона световых волн. Также данный метод приёма/передачи энергии в космосе может быть использован с помощью фотовольтаидных электростанций на более высоких орбитах. (Китай планирует создать солнечные электростанции мегаваттного уровня на апогейных орбитах в магнитосфере Земли.)

Что касается «магнитной подвески», то из физики известно, что при прохождении через проводник с круговым контуром (катушка Гаусса, внутри которой плазма, допустим, плазма ионосферы) возникает притягивающая или отталкивающая сила, действующая как на плазму, так и на проводник пропорционально IH/C , где I – ток в проводнике, H – сила наведённого магнитного поля, а C – скорость света.

Поскольку скорость спутника как минимум первая космическая (от 7 км/с), то градиент концентрации плазмы, допустим, в первом ионосферном слое может оказаться очень высоким, что создаст условия «комплексной» составляющей наведённой плотности плазмы (магнитное поле Земли – достаточно слабое, но и его влияние может быть учтено).

При стратосферной орбите вокруг мини-спутника появится очень плотная окружающая плазма, она очень подходит для создания «подушки непотопляемости» мини-спутника. Проблема? Конечно же, бортовая температура, поскольку Si, SiC (кстати, нерадиационностойкие SiC MOSFET), а также GaN-электроника – попросту выгорят. Вот здесь и понадобится высокотемпературная, радиационностойкая электроника, в том числе сверхпроводящая фотоника, фононика на основе новейших уникальных материалов $A_{III}B_{IV}$, $A_{IV}B_{IV}/A_{IV}$, которые осваиваются в периметре РАН (г. Санкт-Петербург) [8], [9] и Росатома, с температурой эксплуатации окружающей среды 250...450°C.

В отечественных мини-спутниках, так же как и у Илона Маска, будут использоваться двигатели Холла на ионах криптона (Kr), но на совершенно новой технологической основе, с предварительной УФ-камерой ионизации криптона (в ближнем ультрафиолете на волнах

$\lambda = 240...320$ нанометров на УФ-диодах д.ф.-м.н. С.А. Кукушкина (ИПМаш РАН, г. С.-Петербург)) в сверхсильных полях с использованием силовых преобразователей по типу озонаторов на Si-тиристорных преобразователях, работающих со скоростями тока $di/dt \sim 10^{12}$ А/с на лазерных GaAs высоковольтных тиристорных (десятки киловольт) опгостолбах. Тиристорные опгостолбы также исключительно полезны и удобны для магнитно-полевой ускорительно-ионной установки сопла двигателя Холла со значительно более высокой ионной тягой, чем в мини-спутниках «Starlink» Илона Маска.

Особое значение имеет резкое усиление тяги ионного двигателя с применением сверхсильного магнитного поля на сверхпроводниковых структурах С.А. Кукушкина на основе электронной жидкости в нанослоевой системе 3C/2H-SiC/Si (комнатная сверхпроводимость!).

Заключение

1. В статье показана вероятность создания «параллельной» электроники в России (возможно, в Росатоме) на фоне «пути в никуда» на основе текущих Стратегий, Программ, импортозамещения, Концепций и прочих инициатив в отечественной электронике.

2. Статья ещё раз подчёркивает (наряду с предшествующими публикациями в журнале «Современная электроника» [1], [2] и другими), что у России в области ультрасовременной электроники опережающего уровня имеются такие возможности, которые и не снились в странах G7. Возникает вопрос – а кто препятствовал проектам по LPE GaAs и «тринитридным» технологиям д.ф.-м.н. С.А. Кукушкина (ИПМаш РАН, г. С.-Петербург)? Кто «убивал» эти проекты? Россия генетически не может обойтись без лысенковщины, несмотря на то, что создана платформа для прорывных технологических направлений по LPE GaAs, тринитридной и атомно-замещённой технологиям, опережающим мировой уровень как минимум на пять лет.

3. Вечно летающие SMART мини-спутники – это абсолютно необходимый элемент государственной безопасности. Ультрасовременные космические технологии – это основа основ сохранения национального суверенитета.

4. 7G на базе широкополосного космического Интернета – это цифровая экономика уже в четвёртом десятилетии, включая систему распознавания (но только не на «тупиковых» нейросетях).

5. «Крылатая» DHL, логистическая и инфраструктурная урбанизация, начиная с мегаполисов, с переходом на всю территорию РФ, включая в перспективе и электрический воздушный транспорт, – неплохая новая часть «интеллектуализации» терагерцевой биосреды обитания человека.

6. Новые дроны – мощный антитеррористический инструмент.

7. Надеемся, что новая статья заинтересует топ-менеджеров: в части дронов – А.Р. Белоусова, в части мини-спутников – Ю.И. Борисова, а также С.В. Чемезова.

Литература

1. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Святец Г.В. Крупнейшие в мире перспективные электронные отечественные проекты с ёмкостью мирового рынка в триллионы долларов // Современная электроника. 2022. № 9.
2. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Святец Г.В. Перспективные фотонные и фононные отечественные технологии для терагерцевых микропроцессоров, ОЗУ и интерфейса с сверхнизким энергопотреблением // Современная электроника. 2022. № 2.
3. Гордеев А.И. Как завоевать мировой рынок электроники в посткремниевую эпоху? // Современная электроника. 2021. № 5.
4. Комплексные полупроводники критически важны для ожидаемого всплеска спроса на 5G в миллиметровом диапазоне // Телеграмм-канал RUSMicro // URL: <https://t.me/s/RUSmicro>. (Источник: “Compound semiconductor critical to expected 5G mmWave demand spurt” URL: <https://www.digitimes.com/news/a20230317PD207/5g-compound-semiconductor-mmwave.html>)
5. Материалы XXV Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения в Государственном научном центре Российской Федерации НПО «Орион» холдинга «Швабе» Госкорпорации Ростех 24 мая 2018 г.
6. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Звонарев А.В. Терагерцевая тепловольтаика на основе монокристаллов LPE i-GaAs (SiO). В 2 ч. // Современная электроника. 2017. № 3, № 4.
7. Гордеев А.И. Перспективные терагерцевые поляризованные информационные системы в 2 ч. // Современная электроника. 2016. № 6, № 7.
8. Кукушкин С.А., Осипов А.В. Эпитаксиальный карбид кремния на кремнии. Метод согласованного замещения атомов (обзор) // Журнал общей химии. 2022. Т. 92. № 4. С. 547–577.
9. Кукушкин С.А., Осипов А.В. Оптические свойства, зонная структура и проводимость межфазной границы раздела гетероструктуры 3C-SiC(111)/Si(111), выращенной методом замещения атомов // Письма в ЖТФ. 2020. Т. 46, вып. 22.

