

Как завоевать мировой рынок электроники в посткремниевую эпоху?

Александр Гордеев (г. Ульяновск)

В статье рассматривается вопрос конкурентоспособности отечественной микроэлектронной промышленности в посткремниевую эпоху. Приводятся примеры перспективных отечественных разработок в области материалов для терагерцовой электроники.

Введение

Как известно, Минпромторгом в 2015 году был утверждён «План мероприятий по импортозамещению в радиоэлектронной промышленности Российской Федерации» (приказ № 662 от 31 марта 2015 года) (так называемая «Программа импортозамещения»).

Программой импортозамещения, в частности, предусматривалось резкое увеличение доли отечественных продуктов ЭКБ на внутреннем и внешнем рынках, достижение в 2018 году технологического проектного уровня 28 нм в цифровых системах, сокращение отставания от ведущих фирм мира, таких как TSMC, Samsung, Intel, IBM, до 5...8 лет.

На решение этих задач были выделены огромные ресурсы, неоднократно докладывалось о том, что «мы идём с опережением выполнения программы импортозамещения по ЭКБ».

Всё было хорошо, пока в декабре 2019 года на конференции «Электроника в России: будущее отрасли» вице-премьер Ю.И. Борисов не поставил всех на место, заявив:

«Сегодня просто глупо говорить, что в России существует серьёзное серийное микроэлектронное производство. Мы даже не присутствуем в мировой статистике».

Нужно констатировать, что и закон Мура тоже сработал, правда в отрицательно-показательную сторону, на фоне того, что компания TSMC вот уже год как освоила 5-нанометровую полевую технологию и разработала цифровые чипы по технологии GAA (gate-all-around) (кольцевой затвор) с размерностью 3 нм.

И вот 06.05.21 была опубликована информация о том, что компания IBM (США) продемонстрировала цифровой чип с проектной нормой 2,0 нм (!) и плотностью транзисторов до 50 миллиардов/чип.

Если так «российский закон Мура» будет работать, то в условиях мировой терагерцовой цифровой экономики к 2030 году в России придётся выполнять информационно-технологические, финансовые операции, операции с искусственным интеллектом «на счетах». Не спасёт ситуацию и выделение госсредств на 22-нанометровую технологию в размере около \$1,0 млрд. Под что их выделять? Ведь мировое массовое рыночное производство, начиная с TSMC и заканчивая компаниями Бельгии, Китая и др., в основном работает в диапазоне 5–14 нм. Напомним давнее заявление (2015 года) специалистов компании IBM, касающееся 7-нанометрового техпроцесса: «...нынешние прогрессивные 14-нанометровые чипы будут казаться рядом с 7-нанометровыми устаревшими, медленными и горячими «динозаврами». Тогда какими же по сравнению с ними будут 22-нанометровые чипы? Правда, необходимо отметить, что спецстойкие CMOS-приборы не могут быть выполнены на 14 или 22 нанометрах. Но уместно отметить, что для мелкосерийных партий радиационно стойких CMOS в России имеются как минимум два литографа с разрешением до 10 нм. Следовательно, абсолютно необходима новая национальная идеологическая платформа, которая, вероятно, находится в разработке в Правительстве РФ.

Идеология и правовая политика

Подлинная, не рекламно-мифическая (до 100 нм) наноэлектроника с проектными нормами 0,1...10 нм требует огромных финансовых вложений. Для того чтобы приблизиться к технологическому уровню TSMC или IBM, необходимо вкладывать в те же наши флагманские зеленоградские площадки до \$30 млрд ежегодно. Таких средств у государства нет. В таком случае необходимо искать другие резервы.

Идеология развития отечественной электроники должна быть инновационной. Это не имеет ничего общего с лексиконом первого десятилетия текущего века («инновационные мосты», «лифты», «рельсы», «инкубаторы» и т.д.). Этот период прошёл. Инновация – это не копирование западных технологий, не плагиат идей, допустим в нелинейной электромагнитной оптике, и не намерение «тащить» в наноэлектронику Евклидову размерность – 65 нм, 22 нм (мы же не называем 65 мкм микроэлектроникой). Инновация – это когда 2D-дрейфовый канал имеет уже размерность порядка субнанометра, т.е. находится хотя бы на уровне постоянной решётки GaAs (0,56 нм). Это уже другое дело. Или приборостроение, основанное на изменении энергии межатомного пространства, допустим того же GaAs, где величина «твёрдого вакуума» достигает 34% всего объёма кристалла. Или создание систем на основе уже открытой в России сверхпроводимости на гетероструктурах по патентуемой отечественной технологии на основе деформации запрещённой зоны полупроводника в диапазоне температур $-60...+125^{\circ}\text{C}$ (до миллионных долей КТ). Или динамическая сверхпроводимость на плазменных частотах орбитальных электронов в $A_{III}B_{IV}$ с «обнулением» в решётке кулоновских, лоренцовых и джоулевых сил сопротивления проводимости ($\epsilon\epsilon_0 E = \mu_0 H = 0$), т.е. «обнуление» фундаментальных уравнений по Максвеллу. Или создание нестандартного СВЧ HBT-транзистора, который в схеме с общей базой имеет коэффициент усиления 100, а не как в классической физике ≤ 1 . Или разработка «оптического трансформатора», на вход которого подаётся волна $\lambda = 1,0$ мкм, а выходят «на выходных оптических обмотках» две по 1,5 мкм с некоторым сдвигом. Можно построить когерентное излучение на основе рекомбинации дырки зона – энергуюровни с плотностью потока квантов, предположим, $\approx 5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Или из ячейки $10 \times 10 \times 10$ нм излучить всего-навсего два фотона («дырочный» и «электронный») одновременно, разве это не вписывается в архитектуру холодных оптических

микропроцессоров с встроенным ОЗУ, да ещё с тактовой частотой петабиты/с? Или создать динамическую память на основе перехода электрона с р-уровня на s-уровень и обратно (собственно-атомная электроника).

На базе вышесказанного автор подводит читателя к главному: понятие «инновация» – это государственная категория, основанная не на званиях, а на идеях гениальных учёных, талантливых разработчиков. Сколько Нобелевских премий мы получили за исследования и разработки в постсоветские годы в области физики? Ни одной. Ж. И. Алфёров получил Нобелевскую премию в 2010 году за работы 1960...1980-х годов. И всё. А сколько у нас академических НИИ, «насыщенных» академиками, докторами наук, профессорами?

Итак, инновация – это проявление наднациональной гениальности, генерирующей идеи, новую физику, новые материалы, новую технологию, новый продукт, который изменяет среду обитания и уровень жизни земной цивилизации, как это произошло на примере смартфонов за последние два десятилетия. Или как это будет ожидаемо сделано на релятивистских «холодных» (без заметного энергопотребления) компьютерах, например, на стыке фотонной, фононной и плазмидных энергетических технологий (в сочетании, к примеру, с «чёрноволновым» распознаванием образов), для искусственного интеллекта, или цифровых денег, или терагерцового SWIFT.

Инновация, в конечном счёте, это, например, последовательно 7G, 8G и 9G (тера- и петагерцовые диапазоны), где у России (с точки зрения фундаментальной науки и наличия фотонных материалов с показателем преломления $n < 4$) лучшие позиции в мире. Подчеркнём, лучшие с позиции практического выхода.

Подведём итог по этому разделу:

- нужна новая инновационная политика;
- очевидно, что нужен закон об инновациях;
- очевидно, что он вызовет необходимость пересмотра законов №44-ФЗ и №233-ФЗ, где есть лазейки для злоупотреблений и картельных сговоров.

Неслучайно Президент РФ В. В. Путин на Совете по стратегическому развитию в 2019 году отметил, что при составлении технических заданий для участников аукционов документы зачастую

«рисуются под конкретного производителя», а другие предприятия при этом «задвигаются на периферию» и не имеют шанса на успех. «Такую сомнительную практику прошу прекратить, пресечь», – сказал Путин. «Получать заказы должен не тот, кто ближе к распорядителям средств, а тот, кто даёт лучшие предложения и по качеству, и по цене, и по надёжности», – подчеркнул президент.

На основании вышесказанного необходимо принять волевое и политическое решение о запрете проведения НИОКР аналогов и выставлять на торги только разработки в области электроники, опережающие мировой уровень на 3–5 лет, и никак иначе, и только в этом случае можно построить современную терагерцовую цифровую экономику к 2030 году. Если работать по-старому (когда нет даже следов присутствия российской электроники на мировом рынке), то у России нет будущего.

Есть ли база для прорывной электроники?

Итак, констатируем, что в России есть талантливые люди, гении в областях физики твёрдого тела, ядерной физики, зонной теории, мультizonной теории. Бесспорно, что у них есть новые идеи, например как с использованием новых физических принципов создать абсолютно новые рыночные сверхвостребованные продукты. Но для осуществления этих идей нужен новый фундаментальный материал, тогда как в России не могут толком делать даже бездислокационный кремний $\varnothing 200$ мм или GaAs $\varnothing 150$ мм. Но если задуматься, то в России есть множество необычных разработок в области перспективных материалов для электроники. К примеру, кристаллы борированного алмаза с $\mu_p \geq 20\,000$ см²/В·с (к.т.н. В. А. Тарала, Инженерный институт СКФУ, г. Ставрополь) или его же разработка – монокристаллические нанополенки (не поли-!) AlN в несколько нанометров на «наногрунтовке» Al₂O₃ (фирма «Picosun», Финляндия признала это выдающимся технологическим достижением). Хотелось бы, чтобы его уникальные разработки были замечены и по достоинству оценены в России.

Есть великолепная тринитридная технология д.ф.-м.н. С. А. Кукушкина (ИПМаш РАН, г. Санкт-Петербург) на основе дилатационных наногетероструктур A_{IV}B_{IV} или «вертикальных»

GaN эпитаксиальных структур [9] для электроники с рабочей температурой приборов до +600°C, или 3C-SiC, или будущих GeC толстых эпитаксиальных структур (карбид германия) с потенциально уникальными свойствами.

Или наши LPE GaAs структуры с рабочей температурой чипов свыше 300°C, или перспективные LPE GaP кристаллы с рабочей температурой до 500°C, или AlN толстые бездефектные кристаллы для фотоники и фононики, способные обеспечить работу будущих фотонных и фононных компьютеров при 800...1000°C. Или A_{IV}B_{IV} сверхпроводящие кристаллы при «комнате» («комнатные куперовские пары») в диапазоне температур –60...+125°C. Это же феноменально! ОЗУ – это, грубо говоря, $\tau = RC$, а если $R \rightarrow 0$? То чему равна тактовая частота суперкомпьютера на комнатной сверхпроводимости? Или объёмно-акустические ТГц-волны на AlN (так это же Wi-Fi ТГц-электромагнитная волна \rightarrow ТГц-акустика \rightarrow ТГц-электромагнитная волна, выход из положения в проблемах по 8G, когда «комнатные» и человеческие «чёрноволновые» кванты будут «фонить» при приёме-передаче).

В итоге у России есть абсолютно всё: интеллектуальный потенциал, физика, материалы, технология, чтобы сделать к 2030 году подарок земной цивилизации в виде 7G и далее 8G, 9G на частотах (5,0...7,5 ТГц, до 2 Тбит/с); (25...40 ТГц, до 15...20 Тбит/с) и (≈ 800 ТГц, до 400 Тбит/с) с учётом идей и наработок выдающихся учёных, лидеров в фотонных цифровых технологиях: академика И. А. Каляева (ЮФУ, г. Ростов-на-Дону), д.ф.-м.н. С. А. Степаненко (Институт теоретической и математической физики РФЯЦ-ВНИИЭФ г. Саров), д.т.н. С. В. Соколова (Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, г. Ростов-на-Дону), д.ф.-м.н. В. С. Павельева (Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва, г. Самара). Здесь же отметим реальную возможность создания фотонно-фононно-плазмидных цифровых технологий.

Здесь не указаны другие материалы наших российских гениальных материаловедов, значительная часть которых ещё не получила заслуженного признания.

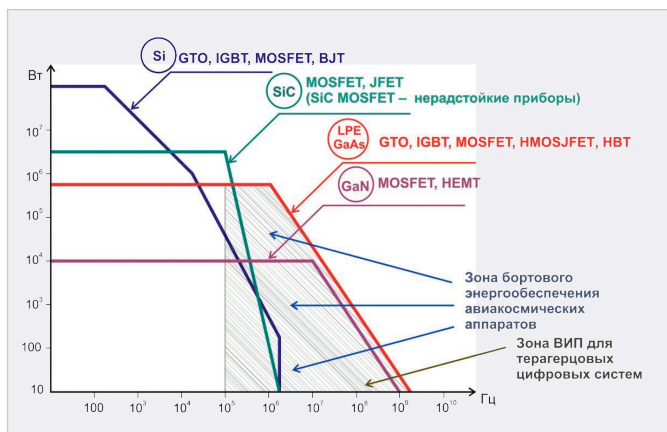


Рис. 1. Возможности силовой ЭКБ на Si, SiC, LPE GaAs, GaN материалах

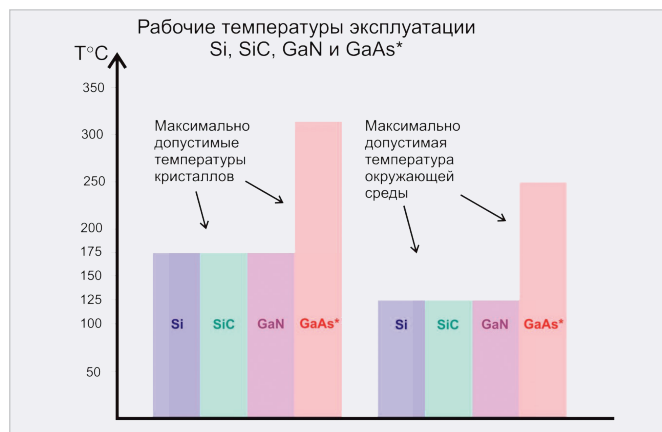


Рис. 2. Рабочие температуры эксплуатации

Силовые приборы нового поколения

В области силовой электроники у России имеется огромное советское наследство (технологии ВЭИ им. В.И. Ленина, г. Москва; завода «Электронприбор», г. Фрязино; завода им. М.И. Калинина, г. Таллин; «Искра», г. Ульяновск; «ВЗПП», г. Воронеж; «Электровыпрямитель», г. Саранск, Брянского завода полупроводниковых приборов, г. Брянск; НИИ «Пульсар», г. Москва и др.).

Сегодня лидерство за АО «Ангстрем», г. Москва; АО «ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ», г. Брянск; АО «ВЗПП-С», г. Воронеж; на постсоветском пространстве следует отметить филиал «Транзистор» ОАО «Интеграл». Огромным потенциалом с позиции SMART-ключей обладает ПАО «Микрон», г. Зеленоград.

Кремний ($T_j \leq +175^\circ\text{C}$), благодаря высоковольтным IGBT и GTO для применений в железнодорожной и нефтегазовой областях, ещё останется до 2040 года, но на смену постепенно появятся силовые приборы на LPE GaAs ($T_j \geq +320^\circ\text{C}$), LPE GaP ($T_j \geq +450^\circ\text{C}$), «вертикальный» GaN (разработка С. А. Кукушкина) с T_j до $+600^\circ\text{C}$, борированный алмаз (разработка Таралы В. А.) с T_j до $+1000^\circ\text{C}$.

Россия имела возможность уже с 2014 года производить силовые высоковольтные LPE GaAs чипы с рабочей температурой T_j до $+320^\circ\text{C}$ (против кремния, SiC, GaN, у которых не более $+175^\circ\text{C}$), но антигосударственная позиция ряда НТС с участием некомпетентных специалистов сорвала эти планы, закрыв тем самым возможности резкого развития некоторых направлений, в том числе гиперзвука как в стратосфере, так и в верхних слоях атмосферы. В это же время появились конкуренты в Германии (компания «3-5 Power Electronics», г. Дрезден), которые «поза-

имствовали» наши отечественные разработки. В то время, когда в России дорога LPE GaAs проекту была жёстко перекрыта, немцы наладили серийный выпуск LPE GaAs силовых высоковольтных приборов для электромобилей и электрозаправочных.

На LPE GaAs материале можно выполнить в 2 раза больше классов силовых приборов, чем на Si, SiC, GaN, вместе взятых (см. наши публикации [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], а также 12 патентов РФ).

Обобщённо техническое превосходство LPE GaAs силовых приборов интерпретируется на рис. 1, 2.

- Титульные показатели следующие:
- SBD (200...800 В; 10...20 МГц (коммутация); $\tau_{\text{тр}} = 0,2...1,0$ нс; $+320^\circ\text{C}$);
 - n-i-p («ниппель») диоды до 800 В; до 0,3 кА/чип; $\tau_{\text{тр}}$ до 5,0 нс; $+320^\circ\text{C}$;
 - COOL-диоды (до 0,5 кА/чип, до 1200 В, частота свыше 1,0 МГц);
 - инжекционные SBD (HJSBD) с $U_F = 0$ до 1200 В [5] и $\tau_{\text{тр}} < 5$ нс;
 - оптотиристоры до 10^{12} А/с;
 - МСТ/ЕТО тиристоры для применения в модулях (токовые характеристики в килоамперах) – для новых «Сапсанов» со скоростями до 500 км/ч и поездов на магнитной подушке со скоростями, близкими к 1,0 Мах.

Новая силовая электроника России может монополизировать мировой рынок силовой ЭКБ для электромобилей (до 50 млн шт./год к 2030 году), электровелосипедов и электромотоциклов (до 200...300 млн шт./год к 2025 году) и др.

На $i\text{-}_{\text{Si}}\text{GaAs}_{\text{Si}}$ -подложках легко выполняются управляющие драйверы и контроллеры для силовых ключей.

Особый интерес вызывают силовые гиперскоростные приборы для ВИП/конверторов с частотами коммутации для резонансно-контурных ВИП цифровых систем, а также для тысяч мини-

спутников (6G, 7G). В перспективе появятся силовые GaAs, GaP, AlN приборы на основе фононной энергии (для 7G, 8G, 9G).

СВЧ-приборы нового поколения

СВЧ ЭКБ используется в системах РЛС, связи, навигации и в основном базируется на классических конструкциях типа p-HEMT (2DEG, открытый в 1961 году Андерсоном), а также на смешительных SBD, p-i-n, диодах Ганна, ЛПД, HBT, MOSFET (точнее – LDMOS) и др.

Время показало, что необходимо переходить на СВЧ-конструкции, в несколько раз более энергоплотные. В частности, вместо устаревших p-HEMT планируются зонно-релятивистские СВЧ MOSFET приборы с мощностями не ниже 1,0 Вт/300 ГГц/ $+250^\circ\text{C}$. То же самое касается и зонно-релятивистских диодов, фотонных транзисторов и многого другого, включая СВЧ-ограничители, оптомодуляторы и др.

Особое значение придаётся синтезаторам частот на рабочих СВЧ-частотах с $\lambda = 1,0$ мм (6G), а также объёмно-акустическим фильтрам субтерагерцового диапазона и многому другому. На борированном алмазе ($\epsilon \mu_p \approx 20\,000$ В/см²·с) можно «снять» непрерывный киловатт в X-диапазоне. Можно также выполнить метровые или дециметровые РЛС «Воронеж» в мобильном исполнении (взамен используемых в настоящее время громоздких конструкций). И всё это на радиационно стойких кристаллах LPE GaAs с температурой эксплуатации до $+250^\circ\text{C}$, а на LPE GaP – до $+450^\circ\text{C}$, «вертикальном» GaN – до $+600^\circ\text{C}$, борированном алмазе – до $+1000^\circ\text{C}$, т.е. можно делать радиофизический телескоп на Венере (температура поверхности $+480^\circ\text{C}$). Нужны или не нужны России эти разработки, остаётся пока загадкой.

Терагерцовое, петагерцовое приборостроение

С физической точки зрения проводимость (полупроводниковые наноканальные приборы) непригодна на терагерцовых частотах в окнах прозрачности атмосферы с $\lambda = 40...60$ мкм (5,0...7,5 ТГц); $\lambda = 8...14$ мкм (25...40 ТГц); $\lambda = 4...5$ мкм (60 ТГц) и $\lambda = 0,38$ мкм (≈ 680 ТГц). Но в России всё есть (см. раздел «Есть ли база для прорывной электроники?» данной статьи): есть материалы и технологии на кристаллах LPE i-GaAs, AlN и будущих – LPE GaP, Al₂O₃, Ga₂O₃, алмаз.

Отметим, что есть гениальные учёные, работающие в области материалов для электроники терагерцового диапазона – д.ф.-м.н. С.А. Кукушкин, д.ф.-м.н. Н.Т. Баграев (г. Санкт-Петербург), которые уже запатентовали терагерцовые фотонные и фононные материалы, в частности терагерцовые генераторы на длины волн от чёрноволнового человеческого излучения (5...18 мкм) вплоть до пограничного СВЧ диапазона [8, 9].

Основы терагерцовой электронно-фононной техники опубликованы в [10].

Следовательно, рынок объёмом до \$1,0 трлн (6G, 7G, 8G, 9G) для России открыт. Но как отнесётся к этому политическая элита? Надеемся, что многие услышат высказанный ранее Президентом РФ призыв: «Надо включать мозги».

Суперкомпьютеры (или догонит ли Россия Марокко)

В России, как нигде, созданы условия для создания эксафлопсных компьютеров, способных выполнять 1 миллион триллионов (10^{18} , квинтильон) вычислительных операций с плавающей запятой в секунду на основе фотонной, фононной и плазмодной энергии в кристаллах LPE i-SiGaAs_{sp}, AlN, полиалмаза и др. (см. раздел «Есть ли база для прорывной электроники?»). Впереди также создание кристаллов LPE i-GaP, Ga₂O₃, Al₂O₃ и др.

Имеются высококвалифицированные специалисты в области суперкомпьютеров, есть выдающиеся материаловеды, о которых сказано выше. В настоящее время разрабатывается научно-техническая программа по созданию отечественных суперкомпьютеров на основе транспортной логистики релятивистской энергии с минимальным энергопотреблением (к сведению:

на Si 3...5-нанометровых технологиях эксафлопсным компьютерам необходима электроэнергия обеспечения $\approx 50...100$ МВт установленной мощности. Это огромные энергозатраты, поэтому в ведущих научных центрах осуществляются разработки квантовых компьютеров).

Автор данной статьи в сотрудничестве с другими учёными и специалистами также вкладывает свой интеллектуальный и творческий потенциал в разработку гибридных фотонно-фононно-плазмодных элементов памяти.

Отметим, что Россия обладает суперкомпьютерами на санкционной элементной базе. Это, в частности, «Christofari» Сбербанка, «Ломоносов-2» МГУ. В своём недавнем интервью академик И.А. Каляев, касаясь позиции России в рейтинге суперкомпьютеров, подчеркнул: «Нас опережают такие страны, как Бразилия, Саудовская Аравия; и даже в Марокко недавно ввели в строй суперкомпьютер с производительностью 5 Пфлопс. А по производительности суперкомпьютеров на одного исследователя мы в 30...40 раз отстаём от ведущих стран мира».

Нет смысла объяснять актуальность создания суперкомпьютеров в условиях терагерцовой цифровой экономики, создания систем 7G, искусственного интеллекта и в целом цифровой урбанизации цивилизации. У России есть прекрасный шанс шагнуть вперёд в этой стратегической сфере. Но создание суперкомпьютеров со скоростями терабит/с, петабит/с, а также систем 6G, 7G, 8G, 9G необходимо рассматривать в комплексе с созданием цифровых систем и беспроводной связи [11].

Заключение

1. Россия острейшим образом нуждается в отечественной ультрасовременной электронике и системах на её основе.

2. Необходимы разработка и утверждение в кратчайшие сроки опережающей мировой уровень программы развития национальной электроники до 2030 года с созданием группы талантливых разработчиков-дизайнеров данной программы. Концептуальность данного предложения показана в статье.

3. Необходимо кардинально переработать закон №44-ФЗ и создать новейшую законодательную базу (Закон об

инновациях, закон о программах опережающего уровня, новый патентный закон, закон об охране интеллектуальной собственности с определением юридической ответственности согласно статьям УПК РФ и др.).

Литература

1. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н. «Чем заменить SiC диоды Шоттки?», журнал «Силовая Электроника» № 5, 2009 г.
2. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н. «Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs монокристаллов», журнал «Современная электроника» № 6, 2014 г.
3. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н. «GaAs диоды для PFC, SMPS, UPS, IPM, Solar inverters и замены синхронных выпрямителей», журнал «Силовая электроника» № 6, 2012 г.
4. Войтович В.Е., Гордеев А.И. «Эскизы контуров силовой электроники середины текущего века», «Силовая электроника» № 5, 2015 г.
5. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Прокопенко Н.Н., Бугакова А.В. «Перспективы разработки быстродействующих силовых GaAs диодов Шоттки на основе LPE технологии», Международный семинар по проектированию и технологии производства электронных средств (SED-2019), апрель 2019 г., Прага, Чехия
6. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Звонарёв А.В. «Программу экспортозамещения можно начинать с GaAs диодов», журнал «Современная электроника» № 3, 2020 г.
7. Гордеев А.И. «Новые электронные приборы на основе GaAs и их применение в различных видах приводов», журнал «Современная электроника» № 5, 2014 г.
8. Патент РФ 2363067 от 22.01.2008 «Способ изготовления изделия, содержащего кремниевую подложку с плёнкой из карбида кремния на её поверхности» Авторы: Кукушкин С.А., Осипов А.В., Феоктистов Н.А.
9. Кукушкин С.А., Шарофидинов Ш.Ш. «Новый метод получения объёмных кристаллов AlN, GaN и AlGaIn с использованием гибридных подложек SiC/Si», Физика твёрдого тела, 2019, том 61, вып. 12.
10. Гордеев А.И. «Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы» в 2 частях, журнал «Современная электроника» № 6, 2016 г.; № 7, 2016 г.
11. Гордеев А.И. «Проблемы становления российской цифровой экономики и способы исключения ошибок при их решении», журнал «Современная электроника» № 2, 2019 г.

