

Компонентная база для СВЧ-электроники: где находимся сегодня, куда пойдем завтра?

Сверхвысокочастотная электроника становится всё более востребованной во всех областях жизни, и для ее создания требуется компонентная база, которая должна становиться всё более компактной, производительной, энергоэффективной. Какие технологии считаются сегодня наиболее перспективными в СВЧ-микронике? Как обстоят дела с отечественными разработками в этой области, с возможностями наших кристалльных производств? Свое мнение по этим вопросам для нас сформулировали руководящие сотрудники двух ведущих компаний российской микронной отрасли.



Валерий Буробин, к. т. н., профессор, советник генерального директора АО «НПП «Исток» им. Шокина»

В последние 10–15 лет в итоге значительных исследовательских работ, многие из которых выполнены за счет бюджетных средств, промышленный интерес сосредоточился на успешной работе по созданию кремниевой (Si), арсенид-галлиевой (GaAs) и нитрид-галлиевой (GaN) технологий. Наибольшими темпами среди многокомпонентных широко-

зонных материалов прирастает сегмент GaN, который является неоспоримым лидером по характеристикам среди многокомпонентных полупроводников. Свойства GaN и связанных с ним соединений (AlGaIn, InGaIn и др.) – способность выдерживать высокие значения напряженности электрического поля, большая скорость насыщения, способствующая высокочастотным применениям, низкое сопротивление при включении и, как следствие, низкие потери при переключении – незаменимы в радиочастотных приборах, силовой электронике, технике связи и фотонике.

Следующий этап инноваций, дающий новые преимущества для СВЧ-применений – технология радиочастотного кремния на изоляторе (RF SOI), который выглядит перспективным конкурентом GaAs и GaN в монолитных ИС миллиметрового диапазона.

Важным стимулом для совершенствования компонентной базы СВЧ-диапазона стала мобильная связь поколения 5G, развивающаяся в области миллиметровых волн. Для ее реализации радиочастотные характеристики должны поддерживаться или даже улучшаться при одновременном снижении стоимости, повышении гибкости схемотехники, уменьшении площади чипа и потерь мощности. Чтобы решить эти проблемы, необходимы разработки технологий трехмерной монолитной гетероинтеграции GaN и кремниевых CMOS-транзистора, которые обеспечивают лучшую в своем классе производительность и эффективность, в то же время позволяя интегрировать разнообразные функции в один чип. Этот подход открывает огромные перспективы, поскольку позволяет создавать совершенно новые классы продуктов. Впереди много интересных возможностей, в том числе полная интеграция эффективной высокопроизводительной радиочастотной связи с низким энергопотреблением со стандартными процессорами на основе кремния.

Большие надежды отрасль возлагает на принятую государственную «Стратегию развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года», которая предполагает значительный рывок вперед, преодоление многолетнего отставания от остального

мира и перевод российской электроники на коммерческие рельсы.

Ожидается, что за десятилетие российская микроэлектронная промышленность уйдет от техпроцессов с топологическими нормами 130 нм и более, на которых сейчас выпускается порядка 65% продукции. Должны быть построены собственные фабрики с топологическими нормами 65–45, 28, 14–12 и 7–5 нм, созданы

Алексей Арендаренко, к. т. н., генеральный директор АО «Элма-Малахит»

Перспективность применения материалов во многом определяется конкретной областью применения. В сегменте ЭКБ для СВЧ-электроники на сегодняшний день перспективными материалами можно с определенностью считать нитрид галлия и твердые растворы алюминия и индия на его основе, карбид кремния и алмаз; по-прежнему широко используются структуры на GaAs.

Мировой рынок СВЧ-приборов на GaN растет очень активно – в среднем на 30% ежегодно за последние три года. При этом рост идет как в гражданской, так и в военной сфере; начиная с 2020 года объемы рынков гражданского и военного применения примерно равны.

При производстве гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) на основе GaN важным решением является выбор подложки. Традиционно это подложка SiC, сапфира или кремния. Полуизолирующий SiC в качестве подложки применяется при достижении максимальных уровней мощности, а сильной стороной использования кремния являются наличие подложек большого диаметра и, как следствие, низкие затраты.

В России производство приборов на GaN находится на начальном этапе, при этом отечественные разработки в области ГЭС для СВЧ-компонентов на основе нитридов галлия можно оценить как удовлетворительные. Освоены технологии ГЭС AlGaIn на подложках сапфира и карбида кремния диаметром 50, 76 и 100 мм. Эти ГЭС в целом соответствуют мировому уровню. Ведутся ОКР по технологии ГЭС AlGaIn на подложках кремния диаметром 150 мм; в этой технологии отставание от мирового уровня при благоприятном развитии работ составляет не менее 5–7 лет.

Существенное отставание отечественных разработок от мирового уровня наблюдается в области ГЭС на основе InGaIn, а также в области технологии автоэпитаксиальных структур на SiC

производства OLED-дисплеев не ниже шестого поколения, компонентной базы BiCMOS HBT, HEMT, pHEMT с нормами 65–45 нм, разработано технологическое оборудование для них, осуществлен выход российских предприятий на мировой рынок. И все это необходимо сделать в определенные Стратегией сроки – иначе нам не преодолеть технологическую зависимость от зарубежных стран.

и алмазе. Кроме того, в мире активно ведутся работы по монокристаллам и структурам Ga₂O₃, однако в России работы в этом направлении пока отсутствуют.

GaN является лидером и в области силовой электроники, и таковым он останется на ближайшие 5–7 лет. Успехи в росте ГЭС на подложках большого диаметра, в том числе и на подложках высокоомного кремния, приблизили силовые приборы на GaN к началу массовой коммерциализации. Сегодня широко доступны силовые приборы на GaN, в первую очередь, производства компаний GaN Systems, Panasonic, EPC, Transphorm, а также ряда других фирм. В России проекты в области силовой электроники на GaN еще не вышли из стадии поисковых работ.

Для светодиодов и светодиодных ламп безусловным лидером также являются ГЭС на основе GaN.

Таким образом, для рассмотренных областей применения в ближайшие 5–10 лет перспективными, в зависимости от задач, можно считать ГЭС нитрида галлия, подложки карбида кремния, подложки высокоомного кремния.

Если говорить о возможностях российских предприятий с точки зрения разработки и выпуска современной сверхвысокочастотной ЭКБ, то, как мне представляется, они достаточно скромны. Почему? Главное – проблема отсутствия спроса на гражданское применение, высокая стоимость из-за малого объема производства и существенное отставание от разработок мировых лидеров. Отставание существует как по качественным показателям приборов, так и по уровню развития технологии.



Материал подготовлен В. Е. Мейлицевым