

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ РУССКОЙ МЫСЛИ

ТОМ 21

---

**ДОКЛАДЫ  
РУССКОМУ  
ФИЗИЧЕСКОМУ  
ОБЩЕСТВУ,  
2014**

**(Сборник научных работ)**



**Москва  
«Общественная польза»  
2014**

## КУДА ПРИШЛА РОССИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА?

*Потолов Н.А. (Россия, г. Москва)*

Как человек, который в течение 33 лет проработал в НИИ материалов электронной техники, г. Калуга, и почти 6 лет на производстве пластин кремния для изготовления СБ в ООО «Гелио-Ресурс», г. Мытищи МО (тоже электроника!), я с болью наблюдал за процессом разрушения родной мне отрасли, – электронной промышленности. В 2012 году по поручению одного из бывших работников Совета Министров СССР, которого считаю ГОСУДАРСТВЕННИКОМ, я попытался изложить своё видение проблемы и предложил к реализации работы по возрождению утраченного. Однако мои рассуждения не были донесены до людей, принимающих государственные решения, и в феврале 2013 года я самостоятельно направил их в канцелярию руководителя Военно-промышленной комиссии при Правительстве РФ. Своё письмо и ответ на него привожу ниже.

*Уважаемый Дмитрий Олегович!*

*Считаем своей обязанностью обратить Ваше внимание на катастрофическую ситуацию, создавшуюся в России в производстве важнейших полупроводниковых материалов, отсутствие которых существенным образом влияет на обороноспособность государства. Речь идёт о практически полном прекращении выпуска высококачественных монокристаллов кремния, легированного (SC) и полуизолирующего (SI) арсенида галлия, мировое производство которых высокими темпами возрастает год от года, обеспечивая выпуск уникальных электронных компонентов двойного применения; существенные проблемы испытывает производство монокристаллов германия из-за сужения внутреннего спроса на стратегически значимый материал и вынужденного перехода к экспорту этого продукта в интересах оборонных отраслей промышленности США, ЕС и Японии. Напомним виды некоторых электронных компонентов,*

*которые обеспечивают широкое применение указанных материалов в военной технике:*

*- высокоэффективные радиационностойкие многокаскадные фотоэлектрические преобразователи на основе гетероструктур твёрдых растворов соединений  $A^3B^5$  на германиевых подложках для объектов космического базирования;*

*- монолитные интегральные схемы из полуизолирующего арсенида галлия для производства радиолокационного оборудования с активными фазированными антенными решётками (АФАР) для самолётов 4 поколения и выше;*

*- эпитаксиальные структуры твёрдых растворов  $A^3B^5$  на подложках арсенида галлия для изготовления приборов ночного видения;*

*- сверхскоростные радиационностойкие интегральные схемы из полуизолирующего арсенида галлия для изготовления компонентов для хранения и обработки информации, в том числе для создания быстродействующих компактных процессоров для военной техники.*

*Принятые в последние годы меры, определённые органами государственной власти («Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года», утверждённая Минпромэнерго России (приказ № 311 от 7 августа 2007); ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы, утверждённой постановлением Правительства Российской Федерации № 809 от 26 ноября 2007 года) не содержат работ по созданию перечисленных выше материалов и по сути предопределяют невозможность выполнения мероприятий «Стратегии» и ФЦП в полном объёме. Парадокс состоит в том, что развитие материаловедческой базы микроэлектроники не обозначено ни одним из направлений деятельности ОАО «Российская электроника» (см. «Положение о Головной организации по микроэлектронике в Государственной корпорации «Ростехнологии» ИЛТА 18.00.00–2011, утверждённое 20 декабря 2010 года Государственной корпорацией «Ростехно-*

логии» по согласованию с Главным управлением вооружения Вооружённых Сил Российской Федерации и Управлением развития электронной компонентной базы). Подобное положение, обусловленное системными просчётами, привело в конечном итоге к практически полному прекращению выпуска материалов, на базе которых можно было производить отечественную ЭКБ для обеспечения полной независимости ОПК от её импорта.

Создавшуюся ситуацию усугубляет отсутствие в России производства высокочистых мышьяка и ряда вспомогательных материалов, а также прекращение производства поликристаллического кремния и существующая угроза остановки производства высокочистого галлия, сохранившегося на единственном предприятии (ОАО «Глинозём», г. Пикалево Ленинградской обл., принадлежащего «РУСАЛу»). Следует признать факт отсутствия разработки и изготовления современного технологического оборудования для производства полупроводниковых материалов.

В связи с вышеизложенным предлагаем Вам:

1). Рассмотреть предлагаемый проект **«ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫПУСКА ПОЛНОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ ИЗДЕЛИЙ ЭКБ ДЛЯ ОПК»**, ставящий целью полное удовлетворение перспективных потребностей в материалах для создания ЭКБ военного применения.

2). Выполнить разработку детальной программы данного направления с привлечением потенциальных исполнителей, определить порядок и сроки выполнения работ, источник и объёмы финансирования.

Считаем принципиально важным принять все необходимые меры для воссоздания данного производства в кратчайшие сроки для преодоления всё возрастающего от-

**ставания в производстве жизненно важных для ОПК компонентов и формирования базы для последующего развития как производства материалов микроэлектроники, так и электронного машиностроения по изготовлению собственного современного технологического оборудования.**

К письму был приложен проведённый мной анализ состояния развития производства электронных компонентов в Российской Федерации за последние годы (начиная с 2008-2009 гг.) и на основе очевидных выводов были высказаны предложения по исправлению негативной ситуации в развитии отрасли.

Ответ канцелярии:

**Re: Приёмная Д.О. Рогозина. Письмо 20130211161213, До двух недель. развитие оборонно-промышленного комплекса**

**13 мая 2013 года в 15:45**

**Общественная Интернет-Приёмная Rogozin.ru  
oborona.vpk@gmail.com**

**Кому: nik-potolokov@yandex.ru**

**Уважаемый Николай Алексеевич!**

**По поручению председателя Военно-промышленной комиссии при Правительстве Российской Федерации Д.О. Рогозина благодарим Вас за Ваше письмо и сообщаем, что Ваше обращение было рассмотрено в Секретариате Д.О.Рогозина и передано в научно-технический совет Военно-промышленной комиссии для содержательного использования в работе.**

**Ввиду того, что ход рассмотрения материалов в НТС ВПК при Правительстве России является служебной информацией и в связи с характером технологического вопроса, ответы по электронной почте не направляются. Если с Вами до сих пор не связались по указанным контактам, то, вероятно, в Вашем письме было недостаточно данных, либо Военно-промышленную комиссию не заинтересовали Ваши материалы, либо по каким-то иным причинам. Доводим до Вашего сведения, что ВПК не занимается рецензированием технических предложе-**

ний и изобретений; по указанным контактам с Вами свяжутся в том случае, если возникнет необходимость получения дополнительной информации о предлагаемой Вами технологии.

Также сообщаем, что Федеральным законом Российской Федерации от 16 октября 2012 г. N 174-ФЗ "О Фонде перспективных исследований" создан аналог американской DARPA. Целью деятельности Фонда является "содействие осуществлению научных исследований и разработок в интересах обороны страны и безопасности государства, связанных с высокой степенью риска достижения качественно новых результатов в военно-технической, технологической и социально-экономической сферах, в том числе в интересах модернизации Вооружённых Сил Российской Федерации, разработки и создания инновационных технологий и производства высокотехнологичной продукции военного, специального и двойного назначения". Рекомендуем обратиться с Вашим предложением в этот Фонд. См. <http://www.rg.ru/2012/10/19/fond->

[dok.html](#)

С уважением, администрация Общественной Интернет-приёмной <http://oborona.gov.ru/>

---

На сегодняшний день стойко сохраняется желание разобратся в том, что творится в стране в области электроники. Есть желание узнать мнение всех причастных к проблеме специалистов. Поэтому данный материал с некоторыми обновлениями представляю на ваш суд в надежде получить живые отклики. Со своей стороны подтверждаю, что все фактические сведения мной получены из общедоступных источников (соответствующие Интернет-ресурсы), копии которых мной могут быть предоставлены неограниченному кругу интересующихся. Абсолютно уверен, что многим из потенциальных читателей доступна более обширная информация.

## **1. Состояние мирового рынка электроники и полупроводниковых материалов.**

Радиоэлектронные и электронные изделия в целом и полупроводниковые приборы в частности на протяжении многих лет демонстрируют тенденцию устойчивого роста производства и потребления, причём эти темпы роста в 2–3 раза превышают темпы роста экономики в целом. Общий валовой объём производства этого класса изделий в 2008 г. составил 1,240 трлн. долларов, снизившись в 2009 г. до уровня 1,11 трлн. долларов и поднявшись в 2010 г. до 1,19 трлн. долларов. Доля полупроводниковых приборов в этом объёме варьируется в пределах 20–23%.

Следует отметить, что «лидерами» в объёмах производства полупроводниковых компонентов являются логические схемы, аналоговые схемы и микропроцессоры, доля которых составляет 57%; ежегодные темпы роста с 2008 по 2010 гг. для них составили соответственно 8,8; 9,4 и 10,9% **без снижения объёмов в неблагоприятном 2009 г.**, когда электронная промышленность в целом потеряла 10,5%, восстановив уровень 2008 года только в 2011 г. (по прогнозу). В структуре потребления полупроводниковых приборов сектор в 62% принадлежит стратегической триаде, в которую входит вычислительная техника (37%), средства связи (20%) и космическая электроника (5%); в бытовой электронике используется 10% производимых полупроводниковых приборов.

### ***Производство кремниевых полупроводниковых приборов***

Развитие производства ПП приборов на основе кремния проходило на фоне бума потребления фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) для изготовления солнечных батарей бытового применения. Возникший при этом дефицит кремния в 2005–2006 гг. был преодолен существенным наращиванием мощностей по производству исходного сырья – поликристаллического кремния (ПКК), выполненный ведущими продуцентами ПКК в США, Италии и Германии, а также за счёт ввода в строй новых фабрик ПКК – в основном в Китае. В настоящее время доля ПКК, потребляемого «солнечной» энергетикой, превысил долю ПКК, приходящуюся на производство т.н. «электронного» кремния. Несмотря на то, что и

тот и другой материал производится по одинаковой технологии – большей частью классический *Сименс–процесс* – произошло чёткое разделение потоков продукции с выделением двух категорий материала: Si «EG» («Electronic Grade») для изготовления полупроводниковых приборов и Si «SoG» («Solar Grade») – для производства ФЭП (ввиду того, что процесс производства ФЭП менее чувствителен к содержанию примесей в ПКК).

Введённые мощности позволяют производить в год более 160 тыс. тонн высокочистого кремния (ПКК) при реальном объёме потребления 95 тыс. т/год; таким образом, предложение превышает спрос на 65 тыс. т/год, создавая хорошие перспективы для расширения выпуска ФЭП и электронных приборов традиционных классов. При сохранении темпов роста в 10 % в год выравнивание спроса и потребления произойдёт через 5–6 лет. Таким образом, **промышленно развитые страны и Китай создали прочную сырьевую базу для последующего расширения производства кремниевых ПП и ФЭП.**

Основными производителями ПКК в мире являются следующие фирмы (с приводимыми ниже долями в общемировом производстве), % по 2009 г.:

- Hemlock Semiconductors (США) – 23,8;
- Wacker (Германия) – 14,9;
- MEMC (США, Италия) – 14,9;
- REC (США) – 13,9;
- Tokuyama (Япония) – 12,9;

- Mitsubishi, Sumitomo (Япония) – общий объём производства 19,6 % в составе остальных мировых производителей.

Крупнейшими мировыми экспортерами ПКК в 2010 г. стали США (более 50 тыс. т), Германия (более 8 тыс. т) и Япония (более 12 тыс. т).

Начиная с 2009 г. объём продаж ПКК марки «SoG» превзошли таковой для марки «EG» (в 2009 г. 28 тыс. т против 25, а в 2010 г. – уже 60 тыс. т против 35). При этом цены этих марок отличались несущественно (в пределах 12 %). Средние темпы роста объёмов производства Si «SoG» в период с 2003 по 2009 гг. составили 24,5% в год, показав за 6 лет рост в 3,73 раза.



Несмотря на то, что кремниевые ПП и ФЭП в частности по большинству технических параметров существенно уступают своим конкурентам – арсениду галлия и германию – производство этих изделий будет востребовано достаточно длительное время, если не всегда, поскольку имеет неограниченную сырьевую базу, в совершенстве отработанную технологию производства и низкую себестоимость продукции. Мировым лидером по числу установленных солнечных батарей является Германия – 43,5 % общего количества, далее следуют Испания – 10,5%, Япония – 9,6% и США – 5,4% (по данным к 2010 г.). В то же время по объёму батарей, установленных в течение 2009 г., второе место после Германии (с 3800 *MВт*) заняла Италия (730 *MВт*), далее следовала Япония (484 *MВт*), США (477 *MВт*), Чехия (411 *MВт*), Бельгия (292 *MВт*), Франция (185 *MВт*); на пороге активного роста находятся Китай, Индия, Австралия, Канада; подтягиваются страны третьего эшелона – Бразилия, Мексика, Марокко, Южная Африка. Число участников использования солнечной энергетики растёт по мере распространения режима правительственной поддержки и стимулирования спроса введением серьёзных государственных субсидий для пользователей альтернативных источников энергии.

2010 год был знаменателен тем, что сразу две китайские фирмы – Suntech Power и JA Solar – смогли опередить многолетних лидеров – First Solar (США), Q-Cells (Германия), Sharp (Япония); двух последних из них заодно с Mothech (Тайвань) и Kyocera (Япония) обошли также китайские Trina Solar и Yingli Solar.

В итоге в десятку лидеров, выпустивших в 2010 г. солнечные батареи суммарной мощностью 10836 *MВт*, вошли 5 китайских производителей (для справки – 2 японских и по одному от США, Германии и Тайваня), на долю которых пришлось 54,5% или 5905 *MВт*. Таким образом, Китай на рынке кремниевых ФЭП прочно обосновался в качестве лидера. При этом Китай, интенсивно развивая производство собственного ПКК, вышел на первую позицию также и по его импорту из стран с развитым производством ПКК: им приобретено в 2010 г. более 23 тыс. тонн, в основном из США.

В 2011 г. Китай обеспечил поставку в США солнечных батарей на сумму \$3,1 млрд. и занял около 60% мирового рынка,

используя как технологическое оборудование, приобретаемое в странах Америки и Европы, так и произведённое на своей территории путём прямого копирования оборудования западных фирм. Существенная господдержка позволяет китайским предприятиям поставлять продукцию по демпинговым ценам, что вызвало серию банкротств предприятий США (Evergreen и Solyndra) и Германии: в конце 2011 года разорилась берлинская компания Solon, а затем баварская Solar Millennium; в марте 2012 года обанкротилась компания Solarhybrid, спустя месяц ко дну пошёл крупнейший в стране производитель оборудования для солнечной энергетики Германии Q-Cells, которая пока ещё борется за выживание. Одновременно Китаем были введены жёсткие ограничения на поставку в США редкоземельных элементов, создавшие серьёзные трудности для американских конкурентов. В связи с этим для защиты внутреннего рынка США прибегло к введению высоких заградительных пошлин в размере от 31 до 250% на поставку оборудования для солнечной энергетики.

В части производства «электронного» кремния следует отметить более низкие темпы роста производства ПКК: в среднем за те же 6 лет среднегодовой прирост составил 8,3%, а за весь период с 2003 по 2006 г. кратность роста равнялась 1,6 раза. В сфере производства полированных пластин и эпитаксиальных структур наблюдался существенный спад в 2008 и особенно в 2009 г. (с 8,661 в 2007 г. до 6,707 млрд. кВт. дюймов в 2009 г.); в 2010 г. рынок восстановился, превысив уровень 2007 г. (9370 млрд. кВт. дюймов). Основные мощности по производству пластин для электронной промышленности сосредоточены в Японии (26%), далее следует Тайвань (19%), Северная и Южная Америка (18%), Южная Корея (12%), Европа и Ближний Восток (12%), Китай (7%), Юго-Восточная Азия (5%); примечательно, что доля стран АТР составляет около 70%.

В производстве освоены монокристаллы и пластины диаметром от 150 до 400 мм; в производстве полупроводниковых приборов достигнута технологическая норма – 0,022 мкм.

**Производство полупроводниковых приборов на основе арсенида галлия**

Данный материал является одним из важнейших источников для создания уникальных ПП, которые по сравнению с кремнием обладают большей радиационной стойкостью, широким диапазоном рабочих температур и позволяют создавать микропроцессоры с более высоким быстродействием и более высоким уровнем интеграции. Изменение объёмов производства монокристаллов и пластин арсенида галлия в ниже приведённых таблицах даны в разрезе потребления галлия как основного исходного материала. Как следует из анализа приведённых данных, начиная с 2006 г. объёмы потребления галлия в мире неуклонно падают, снизившись на 57,6 т/год к 2009 г. с 234,4 до 176,8 т/год. При этом снижение в Японии – основном потребителе – составило 57,1 т/год с 168,4 до 111,3 т/год. В это же время США имело рост объёмов потребления на 4,6 т/год – с 20,3 до 24,9 т/год при максимуме 28,7 т в 2008 г. За эти 4 года США, не имеющие производства первичного галлия, ввезли по импорту 141 т материала при общем объёме потребления в 99 т. В 2010 г. импорт в США составлял уже 59 т при объёме потребления 40 т.

<b>Динамика и структура мирового спроса на соединения галлия (т)</b>				
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г. <sup>1)</sup>
Всего	234,4	221,1	190,2	176,8
Кристаллы	129,5	127,2	103,8	91,7
GaAs	120,5	119	97,3	85,9
GaP	9	8,2	6,5	5,8
Эпитаксиальные пленки	91,3	75,8	62,2	55,8
GaAs для светодиодов	81,2	67,4	54,4	48,9
GaP для светодиодов	10	8,3	7,7	6,8
GaAs для лазерных диодов	0,1	0,1	0,1	0,1
Прочее	13,6	18,1	24,2	29,3
<sup>1)</sup> Оценка.				

*Источник: "Rare Metal News"*

Динамика и структура спроса на соединения галлия в Японии (т)				
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г. <sup>1)</sup>
Всего	168,4	142,9	122,3	111,3
Кристаллы	80,9	70,4	60,5	54,3
GaAs	72,5	62,6	54,3	48,9
GaP	8,4	7,8	6,2	5,4
Эпитаксиальные пленки	84,5	69	56,6	50,7
GaAs для светодиодов	75	61,2	49,4	44,4
GaP для светодиодов	9,5	7,8	7,2	6,3
Прочее	3	3,5	5,2	6,3
<sup>1)</sup> Оценка.				
<i>Источник : "Rare Metal News"</i>				

Динамика основных показателей американского рынка галлия (кг)					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г. <sup>1)</sup>
Потребление по отчетам компаний	20300	25100	28700	24900	40000
Импорт для потребления	26900	37100	41100	35900	59000
Запасы у производителей <sup>2)</sup>	1890	6010	3820	4100	2000
Средние цены (долл/кг) <sup>3)</sup>	443	530	579	449	670
Зависимость сообщенного компаниями потребления от импорта	99	99	99	99	99
<sup>1)</sup> Предварительные данные Геологической службы США.					
<sup>2)</sup> На конец года.					
<sup>3)</sup> На базе средних импортных американских цен на металл чистотой 99,9999 и 99,999999%.					
<i>Источник: материалы Геологической службы США</i>					

Таким образом, США создаёт существенные запасы стратегически важного галлия, которые в рассматриваемый период составили 61 тонну. Основными поставщиками галлия для США являются (в %): ФРГ – 26, Канада – 23, КНР – 17, Украина – 12, прочие страны – 22 (высокой чистоты 6N и технический продукт 4N из Украины и Китая).

Не исключено, что создание запасов обусловлено структурой его использования в производстве полупроводников в США.

Около 64% всего галлия было использовано для изготовления интегральных схем, 35% – в производстве оптоэлектронных приборов, таких как лазерные диоды, светодиоды, фотодетекторы и солнечные элементы, и 1% – для исследований и разработок, выплавки специальных сплавов и в других сферах.

Оптоэлектронные приборы находят применение в авиакосмической отрасли, в производстве потребительских товаров, а также промышленного, медицинского и телекоммуникационного оборудования. **Интегральные схемы на базе соединений галлия используются преимущественно в продукции военной промышленности, в высококачественных компьютерах и в телекоммуникационной технике.**

Несмотря на отсутствие производства первичного галлия в США развита технология его очистки. Следует отметить, что серьёзное внимание во всём мире уделяется процессу извлечения галлия из отходов производства ПП на основе GaAs, GaP; в частности, мощности по переработке отходов галлия с выпуском продукта марки 6N, 7N американской фирмы «Recapture Metals Ltd», штат Юта, превышают 50 т/год.

### *Производство германиевых полупроводниковых приборов*

В 2009 – 2010 гг. производство исходного германия для изготовления ПП не изменилось даже при наличии обусловленного кризисом снижения объёмов производства изделий из германия (см. таблицу ниже).

Мировое производство рафинированного германия (кг)		
	2009 г.	2010 г. <sup>1)</sup>
Всего <sup>2)</sup>	120000	120000
КНР	80000	80000
Россия	5000	5000
США	4600	4600
Прочие страны	30000	30000
<sup>1)</sup> Оценка Геологической службы США.		
<sup>2)</sup> Округленные показатели.		

## Русское Физическое Общество

Доминирующим продуцентом исходного германия является Китай, который достаточно эффективно влияет на его цены, сокращая объём продаж при появлении тенденции снижения цен. В Китае подготовлены дополнительные мощности, позволяющие стране создать необходимые складские запасы на случай улучшения конъюнктуры рынка и полностью удовлетворять возрастающие внутренние потребности. Основными конечными сферами потребления германия в мире являются (в %) производства: оптических волокон – 30; инфракрасной оптической техники – 25; катализаторов для осуществления полимеризации (в США в катализаторах для полимеризации германий не используется) – 25; электронных и солнечных электрических приборов – 15; прочие сферы (изготовление люминофоров, металлургия, химиотерапия) 5.

Основным потребителем германия в мире является США с долей около 50% при доле в мировом производстве, равной 4%. Динамика американского рынка показана в таблице ниже.

Динамика основных характеристик американского рынка германия (кг)					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г. <sup>1)</sup>
Производство рафинированного материала <sup>1)</sup>	4600	4600	4600	4600	4600
Импорт <sup>2)</sup>	50000	52400	67600	60200	60500
Экспорт <sup>2)</sup>	12400	11700	17900	21200	19500
Отгрузки из государственных запасов	4580	6900	102	68	---
Потребление <sup>1)</sup>	55000	60000	54000	44000	45600
Цены продуцентов (долл./кг) <sup>3)</sup>					
Зонно-очищенный германий	950	1240	1490	940	940
Диоксид германия <sup>4)</sup>	660	800	960	580	580
Зависимость потребления от нетто-импорта (%)	85	80	90	90	90
<sup>1)</sup> Оценка					
<sup>2)</sup> Вес-брутто, в добавлении к очищенному и неочищенному германию, а также германийсодержащих лому и отходам, показатель включает диоксид, но не включает тетрагидрид германия и другие соединения данного элемента, в отношении которых данные не сообщаются					
<sup>3)</sup> Цены по состоянию на конец года					
<sup>4)</sup> Электронный сорт					
<i>Источник: материалы Геологической службы США</i>					

По всей видимости, в отличие от ситуации с галлием создать и наращивать запасы германия Соединённым Штатам не позволяет описанная выше сдерживающая политика основного производителя - Китая. Общее среднегодовое потребление Ge в 2009–2010 гг. составило около 65 т/год. В 2006–2009 гг. германий в США ввозился из следующих стран (в %): Бельгия – 36, Китай – 34, Россия – 17, Германия – 10, прочие страны – 3.

Эксперты отмечают, что при некотором снижении потребления германия производителями инфракрасной оптики в 2010 г. в США (вследствие сокращения государственных закупок; военные и силовые структуры по-прежнему являются лидирующими потребителями инфракрасных приборов на базе германия) потребление германиевых подложек, используемых в светодиодах и солнечных элементах, повысилось по сравнению с тем же периодом 2009 г. В 2010 г. лидирующий в США производитель германиевых подложек завершил строительство нового предприятия данного профиля в штате Оклахома. **Использование германиевых подложек в многокаскадных солнечных элементах для объектов космического базирования оставалось основной сферой их потребления**, при этом расширилось их применение и в системах солнечных концентраторов для солнечных батарей наземного базирования.

## **2. Состояние российского рынка электроники и полупроводниковых материалов.**

Согласно отчету Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ за 2009 – 2012 гг., объёмы выпуска изделий растут. Рост валовых объемов по отношению к предыдущему году составил (в %): 2009 г. - +2,8; 2010 г. – +14,1; 2011 г. – +7,8; рост в 2011 г. по отношению к 2008 составляет +26,44%, среднегодовой – +8%. По сравнению с темпами роста мировой электроники (соответственно в те же годы: минус 10,5; +7,2 и +8,4% и среднегодовой за эти три года +4,0%) представленные темпы роста электроники РФ выглядят существенно предпочтительнее. Считаем необходимым, однако, обратить внимание на то, что, во-первых, темп восстановления мировой электроники после кризиса 2008 г, вызвавшего существен-

## Русское Физическое Общество

ное падение в 2009 г., не хуже, чем среднегодовые в России; во-вторых, доля российской электроники составляет менее 0,4% мирового и оказывает ничтожно малое влияние на конъюнктуру мирового рынка.

Общий анализ состояния с производством изделий и ЭКБ в целом и полупроводниковых приборов и материалов для их производства в рассматриваемых секторах представлен в таблице.

### Оценка состояния производства полупроводниковых материалов на предприятиях РФ

№	Вид производства	Производители (в т.ч. потенциальные, обладающие оборудованием и технологиями), тип собственности (Частн./Гос.)	Примечание
<b>Производство исходных ОСЧ веществ, полупроводниковых материалов и ЭК на основе кремния</b>			
1	Производство поликремния марки SoG	Группа «Нитол», Усолье-Сибирское (Ч)	Осуществлено изготовление опытных партий. Проекты закрыты.
		Группа компаний «Конти» (Ч), г. Красноярск (производство)	
2	Производство поликремния марки EG	Может быть произведён на тех же производственных мощностях при соответствующей отработке технологии	Производство отсутствует
3	Производство моно- и мультикристаллов кремния и пластин для изготовления ФЭП (для	ОАО «ПХМЗ», г. Подольск МО (Ч)	Пр-во остановлено
		ООО «Красцветмет. Кремний», г. Красноярск (Государственно-частная)	Пр-во остановлено
		ООО «Гелио-Ресурс», г. Мытищи МО (Ч)	Пр-во остановлено



Русское Физическое Общество

№	Вид производства	Производители (в т.ч. потенциальные, обладающие оборудованием и технологиями), тип собственности (Частн./Гос.)	Примечание
	солнечных батарей)	ЗАО «Телеком-СТВ», г. Москва (Ч)	Пр-во остановлено
		ЗАО «Амекс», г. Москва (Ч)	Пр-во остановлено
4	Производство ФЭП и солнечных батарей	ОАО «НПП «Квант», г. Москва (Гос.)	Единичные заказы
		ОАО «Сатурн», г. Краснодар (Ч)	Пр-во для РКА
		ОАО «ПОЗИТ», Правда МО (Ч)	Пр-во остановлено
		ЗАО «ОКБ з. «Красное Знамя», г. Рязань (Ч)	Единичные заказы
		ОАО «ПХМЗ», г. Подольск МО (Ч)	Пр-во остановлено
		ЗАО «Телеком-СТВ», г. Москва (Ч)	Пр-во остановлено
		ОАО «НИИПП», г. Томск (Гос.)	Единичные заказы
		ОАО "Рязанский 3-д металлокерам. приборов", г. Рязань (Ч)	Пр-во остановлено
5	Производство полупроводниковых компонентов (ЭКБ: диоды, транзисторы, варикапы, симисторы, тиристоры, микросхемы и т.п.)	ОАО «НИИМЭ и Микрон» г. Москва («Ситроникс Микроэлектроника») (Ч с участием Гос. – 10,179%) с циклом «Разработка – производство»	Пр-во приборов на базе КМОП, БиКМОП SiGe, КНИ, Биполя, EEPROM, КМОП
		ОАО «Ангстрем», г. Москва (Ч с участием Гос. – 25%). Холдинг из 7 ОАО с циклом «Разр. – произв.»	Пр-во широкого спектра продукции на базе кремния и карбида кремния
		ЗАО «Группа Кремний Эл», г. Брянск (Гос.)	То же

№	Вид производства	Производители (в т.ч. потенциальные, обладающие оборудованием и технологиями), тип собственности (Частн./Гос.)	Примечание
		ОАО «Светлана», г. Санкт-Петербург (Ч с участием Гос. – 33,84%). Цикл «Разраб. – производство», в составе 5 ЗАО, 3 дочерних предприятия, 1 филиал	Пр-во цифровых СБИС, ИС на TTLS и ECL схемотехнике, переключатели на рип-диодах и др. ПП приборы
		ОАО «НЗПП» с ОКБ, г. Новосибирск (Гос., акционирован в 2011 г.)	Пр-во логических интегральных микросхем и БИС
	<b>Производство исходных ОСЧ веществ, полупроводниковых материалов и ЭК на основе арсенида галлия</b>		
6	Производство галлия ОСЧ	Предприятия группы «Русал» и холдинга «Базовый элемент» в г. Николаев, Украина, и Пикалево, РФ (Ч)	Производство работает в основном на экспорт (6N, 4N)
7	Производство мышьяка ОСЧ	-	Производство отсутствует
8	Производство ОСЧ газов для эпитаксии	ФГУП «НПП «Салют», г. Н. Новгород (Гос.)	Малотоннажное пр-во ОСЧ AsH <sub>3</sub> , PH <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , GeH <sub>4</sub>
9	Производства монокристаллов GaAs, легированных Zn, Te, Si, Sn	ОАО «ГИРЕДМЕТ», г. Москва (Гос.)	Единичные заказы
		ОАО «Восход», г. Калуга (Ч)	Единичные заказы
		ОАО «ПХМЗ», г. Подольск (Ч)	Пр-во остановлено
10	Производство пластин легированного GaAs	ОАО «НИИПП», г. Томск (Гос.)	GaAs, InP
		ООО «Мега СМ», г. Москва (Ч)	GaAs, GaP
		ОАО «Восход», г. Калуга (Ч)	Пр-во остановлено

№	Вид производства	Производители (в т.ч. потенциальные, обладающие оборудованием и технологиями), тип собственности (Частн./Гос.)	Примечание
1 1	Производство монокристаллов и пластин полуизолирующего термостабильного GaAs SI	Отсутствуют отработанные и пригодные для промышленного серийного выпуска технологии, а также оборудование для производства монокристаллов GaAs SI	
1 2	Производство эпитаксиальных структур твёрдых растворов на основе GaAs	ЗАО «Свеглана-Рост», г. Санкт-Петербург (Ч)	Производство многослойных ЭС на основе GaAs для СВЧ транзисторов
ОАО «НИИПП», г. Томск (Гос.)		Производство структур в основном для собственного потребления	
ООО «Мега Эпитех», г. Калуга (Ч)		Производство ЭС для СИД вид. и ИК-области, ЭОП	
ОАО «Восход», г. Калуга (Ч)		Пр-во остановлено	
1 3	Производство ЭКБ и полупроводниковых приборов на основе легированного GaAs	ЗАО «Группа Кремний Эл», г. Брянск (Гос.)	Высоковольтные быстровосстанавливающиеся р-і-n диоды
ОАО «НИИПП», г. Томск (Гос.)		Производство широкого класса приборов по GaAs MESFET технологии (полевые транзисторы, диоды Ганна, р-і-n диоды, МИС) на основе собств-ых ЭС	

№	Вид производства	Производители (в т.ч. потенциальные, обладающие оборудованием и технологиями), тип собственности (Частн./Гос.)	Примечание
		<p><b>ФГУП «НПП «Салют»,</b> г. Н. Новгород (Гос.)</p>	<p>Производство полупроводниковой СВЧ электронной компонентной базы</p>
		<p><b>ФГУП «НПП «Исток»,</b> г. Фрязино МО (Гос.)</p>	<p>Полупроводниковые СВЧ генераторы на GaAs, полевые СВЧ транзисторы</p>
1 4	Производство светоизлучающих диодов, оптронов, фотоприёмных материалов, светотехнической продукции	<p><b>ОАО «Протон»,</b> г. Орел (Ч)</p>	<p>Производство оптоэлектронной техники, светодиодов и светотехнической продукции</p>
		<p><b>ОАО «Оптрон»,</b> г. Москва (Государственно (60,67%) - частное)</p>	<p>Производство цифровых индикаторов на СИД, оптопар с ИК диодными излучателями</p>
		<p><b>ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника»,</b> г. Санкт-Петербург (Ч; соучредитель – ОАО «Светлана», 29,05%)</p>	<p>СИД и СИД модули, светильники на СИД</p>
		<p><b>ОАО «Планета-СИД»,</b> г. Новгород (Ч)</p>	<p>Пр-во обычных и сверхъярких СИД, в т.ч. двухцветных; СИД для пов.монтажа</p>

№	Вид производства	Производители (в т.ч. потенциальные, обладающие оборудованием и технологиями), тип собственности (Частн./Гос.)	Примечание
<b>Производство исходных ОСЧ веществ, полупроводниковых материалов и ЭК на основе германия</b>			
1 5	Производство ОСЧ Ge и его соединений, м/к, пластин и изделий моно- и поликристаллического германия	<b>ОАО «Германий», г. Красноярск (Гос.), ООО «Германий и приложения» (Ч)</b> Имеется полный технологический цикл производства от извлечения германия из сырья до м/к германия и изделий для ИК-оптики и полупроводниковой техники	Действующее производство, работающее на экспорт одного из самых дефицитных в мире материалов
1 6	Производство изделий из германия для применения в оптической аппаратуре	<b>ООО "ДОКСАРД", г. Москва (Ч)</b> Производство изделий, консалтинг, техподдержка в эксплуатации оборудования фирмы OptoTech, юридическая поддержка договоров на импорт нового оборудования, ПНР, ТО оборудования.	Производство плоско-параллельных пластин и сферических заготовок – по чертежам заказчика - из Ge, Si и различных марок стекла.
1 7	Производство ЭК с применением германия	<b>ОАО «ВЗПП-С», г. Воронеж (Ч)</b>	Производство ПП приборов на основе гетероструктур Ge/Si
1 8	Производство эпитаксиальных структур GaInP <sub>2</sub> -GaInAs-Ge	Отсутствует технология и оборудование для реализации процесса	

Следует иметь в виду, что количественные показатели производства (в физическом и валовом выражении) привести не всегда представляется возможным, но приведённая выше доля в 0,4% от мирового уровня уже исчерпывающим образом характеризует состояние электронной отрасли шестой экономики мира в целом. Дополнительно отметим, что согласно сведениям, приведённым в годовом отчёте ОАО «Ангстрем» за 2009 г., средняя выработка на одного работающего в электронной промышленности РФ в 16 раз меньше, чем в США, и в 4 раза меньше Китая, а это прямое свидетельство серьёзного технологического отставания.

### *Производство кремниевых полупроводниковых приборов*

В 2007 г. Россия на рынке кремниевой продукции занимала сегмент примерно в 0,2 %, хотя в начале 90-тых годов он составлял более 5%. Одной из причин такого положения является полное прекращение производства исходного материала – поликристаллического кремния ПКК, которое на территории СССР функционировало достаточно успешно в нескольких точках (общий объём его выпуска составлял около 1100 т в год):

- Запорожский титаномагниевого комбинат (закрыт в 1996 г.);
- Донецкий химико-металлургический завод (закрыт в 1997 г.);
- ПХМЗ, г. Подольск (закрыт в 2003 г.);
- производство на заводе «Кристалл», Киргизия – законсервировано на стадии строительства.

В 2004-2011 гг. ряд предприятий РФ совместными усилиями экспортировали моно- и мульткристаллические пластины для производства ФЭП с применением ввозимых из Европы, США и Японии отходов (скрапа) кремния, однако экспансия Китая и неблагоприятный экономический фон в странах-потребителях (США, Германия, Испания, Италия), сокративших господдержку производителей ФЭП, заставил российские предприятия – или закрыть производство (ПХМЗ, ООО «Гелио-Ресурс»), или существенно снизить объёмы выпуска продукции (ООО «Амекс»).

Ряд российских производителей полупроводниковых приборов смогли сохранить свои производства в условиях прекращения поставок ПКК и соответственно монокристаллов Si EG внутри СНГ с переходом на импорт из европейских стран (Италии, Германии и Чехии) и США; как правило, приобретались обработанные пластины кремния диаметром 100 и 150 мм. Многочисленные же российские производители, использовавшие кремний марки Si «SoG», лишившиеся рынков сбыта в годы кризиса, вынуждены остановить свои производства без особых надежд на его возобновление, поскольку на внутреннем рынке потребности отсутствуют практически полностью.

В 90-е годы в России было начато строительство нового производства ПКК в рамках конверсии ГХК, г. Железногорск, с проектной мощностью до 3000 т/год. Однако до настоящего времени данное производство не функционирует и судьба его неясна. В 2009 г. собственник завода поликристаллического кремния (ЗПК) – ГК «Росатом» – продал свой непрофильный актив в пользу ООО «Группа Компаний «Конти», которая по соглашению с ГК «Росатом» и Администрацией Красноярского края планировала завершить модернизацию производства с доведением мощности до 4000 т/год и провести запуск завода для реализации собственного проекта создания вертикально интегрированной компании по выпуску солнечных батарей с годовой мощностью, эквивалентной 250 МВт (более 60 млн. в год пластин кремния стандарта 156×156 мм, что требует около 1500 т кремния марки «SoG»). Однако к настоящему времени практически никаких продвижений в направлении реализации проекта нет. Положение усугубляется появлением взаимных претензий ООО между «Группой Компаний «Конти» и ГК «Росатом», вылившихся в судебные разбирательства.

В период возросшего ажиотажного спроса на ПКК и небывалого взлета цен на кремниевую продукцию (2006–2008 гг.), доходившей на спотовом рынке до 400 \$/кг, большое количество бизнес структур России также заявили о желании реализовать финансовые проекты по кремнию; таких проектов было озвучено более 10. Однако к реально выполнявшимся проектам, кроме ЗПК, следует, по-видимому, отнести проект Группы «Нитол» братьев

Котенко, развёрнутый на площадке ОАО «Усолье-Сибирский силикон», под который выделено \$75 млн. Международной финансовой корпорацией, \$100 млн. – компанией Suntech Power; в феврале 2009 г. наблюдательный совет ГК «Роснано» одобрил участие ГК в проекте с общим объёмом финансирования 7,5 млрд. руб. Общая стоимость модернизации производства оценивалась суммой 18,9 млрд. руб. За последние годы произведены поставки партий ПКК марки Si «SoG» (2,7 т в 2008 г., 93,8 т в 2009 г. и 159,0 т в 2010 г.); эти объёмы пока слишком далеки от проектной мощности (в планах на конец 2009 г. называлось 3700 т/год) при том, что материал в силу специфики технологического процесса производится изначально с высоким уровнем легирования бором и не предназначен для производства иных полупроводниковых приборов, кроме СБ.

Отличительной особенностью этого проекта, создающего преимущество перед проектом ЗПК, является наличие у исполнителя собственного производства трихлорсилана (ТХС) – исходного сырья для ПКК.

Несмотря на положительные предпосылки, настоящий проект был закрыт в ноябре 2013 г. из-за отсутствия положительных результатов.

Вероятность реализации остальных проектов (Холдинг «Базэл» с проектом «Русский кремний» в Абакане; Ze Poly Pte Ltd, Сингапур, с проектом в Томской ОЭЗ; Centroterm Photovoltaik AG, Германия, с проектом в Омской области; Группа «Промышленные инвесторы» с проектом по производству ПКК в г. Данков Липецкой обл. и СБ в г. Рязань; ОАО Химпром, Волгоград; проект «Полисил», Ленинградская обл.; проект ОАО «ПХМЗ», г. Подольск и другие) в настоящее время также оценивается близкой к нулю. Отсутствие интереса к проектам со стороны потенциальных инвесторов диктуется в настоящий момент резким снижением мировых цен на ПКК, составляющих 15 – 20 \$/кг, и наличием огромного запаса производственных мощностей у зарубежных производителей.

В рамках ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 годы (далее – ФЦП)



финансируется единственная для РФ технологическая работа в области исходных материалов – ОКР "Кремний Луч» «Создание экологически безопасной технологии производства высокочистого кремния в обеспечение получения интегральных схем и полупроводниковых приборов на базе многослойных кремниевых структур», исп. ОАО "Научно-исследовательский институт особо чистых материалов», ставящая целью разработку технологии ПКК через моноокись кремния и моносилан. С учётом отсутствия у исполнителя технологической базы следует ожидать, что завершением работы в лучшем случае будет разработка документации с выпуском незначительного количества экспериментальных образцов.

Крупнейшими в России производителями полупроводниковых приборов на кремнии являются следующие предприятия (два первых из них руководство ОАО «Российская электроника» относит к флагманам электроники):

**1). ОАО «Ангстрем»,** г. Москва, Зеленоград (доля участия государственной структуры – ОАО «Российская электроника» – 25%»; один из соучредителей – ОАО «Ситроникс», 10,96%, принадлежащая АФК «Система» В. Евтушенкова); объём производства товарной продукции (ТП) в 2012 г. составил 694,137 млн. руб. против 982,07 млн. руб. в 2009 г. (снижение в 1,4 раза); вид продукции – интегральные схемы; освоенные диаметры пластин – 100 и 150мм; топологическая норма 0,6-0,8 мкм достигнута не на всех видах продукции. Объём государственного финансирования НИОКР составил 2169,827 млн. руб. против 290,711 млн. руб. в 2009 г.

**2). ОАО «НИИМЭ и Микрон»,** г. Москва, Зеленоград (доля государственной структуры – Федерального агентства по управлению государственным имуществом – 10,179%; основная доля в уставном капитале – 80,350% – ОАО «Ситроникс»); основной изготовитель кремниевой продукции в России; объём реализации продукции основного производства в 2012 г. – 3456,622 млн. руб.; вид продукции – интегральные схемы, в том числе элементная база на основе гетероструктур Si-Ge; освоенная топологическая проектная норма составляет 0,18 мкм на диаметре 200 мкм; с 2009г. в партнёрстве с ГК «Роснано» осваивается технология с

проектными нормами 0,09 мкм (90 нм) на диаметре 200 мм; проект был закончен в 2012 г.; реализация НИОКР, финансируемых в рамках Федеральной целевой программы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 годы, составила 751,6 млн. руб. Финансирование проводится по трём темам:

- ОКР "Независимость-ЦА" «Разработка базового технологического процесса изготовления цифро-аналоговых СБИС с проектными нормами 180 нм»;

- ОКР "Энергонезависимость" «Разработка конструктивно-технологических решений энергонезависимой полупроводниковой FLASH-памяти с проектными нормами 180 нм»;

- ОКР "Спецстойкость ТЗЧ" «Разработка библиотек логических и аналоговых элементов для отечественной радиационно-стойкой КНИ технологии изготовления с проектными нормами до 0,18 мкм и на их основе технологии проектирования и конструктивно-технологических решений радиационностойких оперативных запоминающих устройств с повышенной стойкостью к тяжёлым заряженным частицам».

Общий объём выполненных в 2012 г. НИОКР, финансируемых из госбюджета, составил 2430,450 млн. руб. против 710,899 млн. в 2009 г.

**3). ЗАО "ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ"**, г. Брянск (государственное предприятие); производит кремниевые эпитаксиально-планарные р-п-р транзисторы, высоковольтные симметричные тиристоры, микросхемы интегральные, радиационностойкие компоненты на основе карбида кремния и арсенида галлия; объёмы производства предприятия ни в физическом, ни в валовом выражении не раскрываются.

Оценка финансовых и технических итогов деятельности первых двух предприятий может быть проведена на основании раскрытия информации ОАО, предопределяемой законодательством РФ.

**ОАО «Ангстрем».** Снижение объёмов производства ТП в 2010 г. было компенсировано реализацией результатов НИОКР на сумму 566,42 млн. руб., что составляет 55,1 % от уровня выпуска

ТП или 37% в общем объёме производства. Доля ТП в общем объёме реализации в период 2009-2012 гг. составляла 73,33; 55,1; 41 и 23 % соответственно. Общая сумма привлечённых из бюджета финансовых средств за 2008-2010 годы составила 1060,56 млн. руб., в 2011 и 2012 г. – 1093,03 и 2169,827 млн. руб. Среднегодовая выработка на 1 чел. возросла с 2009 г. в 2,86 раза. Для поддержания платёжного баланса предприятие вынуждено привлекать заёмные средства; по состоянию на 31.09.2011 г. сумма полученных кредитов составляла 1343,4 млн. руб., сумма непокрытого убытка – 261,983 млн. руб. Не реализован запланированный на 2011 г. переход на проектные нормы 0,35–0,25 *мкм*.

Общие показатели 2009-2012 гг. можно охарактеризовать такими цифрами:

- предприятие в 1,4 раза уменьшило валовой объём производства ТП при существенном увеличении поступления бюджетных средств – в 7,46 раза;

- тем самым объём ТП на 1 рубль вложенных бюджетных средств сократился в 10,6 раза с 3,38 до 0,32 руб.;

- объём экспорта ТП имеет устойчивую тенденцию к снижению; в валовом выражении он уменьшился в 2,43 раза при незначительном росте объёма внутреннего рынка в 1,27 раза;

- положительным моментом следует считать то, что в последние два года предприятие имеет прибыль (2012 г. – около 2% к сумме реализации), но это лишь 3% от суммы бюджетного финансирования).

В отчётной документации предприятие отмечает следующие отрицательные факторы собственного развития:

- недопустимо длительные сроки разработки и освоения производства новой продукции;

- ужесточение со стороны заказчиков требования к качеству продукции и к выдерживанию оговоренных сроков поставки продукции, что не удаётся достичь на морально и физически устаревшем оборудовании;

- неконкурентоспособные по отношению к предприятиям Китая – основным конкурентам – проектные нормы и цены (в мире – начало массового производства продукции по нормам 0,022 *мкм*);

## Русское Физическое Общество

- растущая тенденция к снижению цен на изделия бытовой микроэлектроники;
- низкая производительность труда из-за отсутствия современных автоматизированных технологических линий;
- отсутствие вертикально интегрированных цепочек производства конечных продуктов, что определяет полную зависимость от внешних поставщиков критически важных компонентов – в частности, пластин кремния, к качеству которых также имеются серьёзные претензии.

**ОАО «НИИМЭ и Микрон»** – наиболее крупный производитель продукции микроэлектронных компонентов, постоянно наращивающий объёмы поставок, которые составили (здесь и далее приводятся данные по 2009, 2010 2011 и 2012 гг.) 4588,528; 4571,785; 5264,332 и 6072,742 млн. руб. На 31.12.2011 г. предприятие имело краткосрочную кредиторскую задолженность в сумме 6406,166 млн. руб. при дебиторской задолженности 1784,494 млн. руб. При этом долгосрочные обязательства в виде займов составили 11313,656 млн. руб., увеличившись с 2009 г. на 2628,570 млн. руб. В 2010 и 2011 гг. предприятие получало государственную помощь, объём которой соответственно 220,348 и 221,591 млн. руб. Предприятию в 2011 г. предоставлено в аренду от ООО «Ситроникс-Нано» производственное оборудование на сумму 688,671 млн. руб. Тем не менее, суммарным финансовым итогом деятельности предприятия, отражённым в бухгалтерском балансе 2011 г., явился убыток в сумме 1671,373 млн. руб., в 2012 г. – 1817,315 млн. руб.

Общие показатели 2009-2012 гг. можно охарактеризовать такими цифрами:

- объём производства ТП в 2012 г. практически совпадает с таковым для 2009 г. (рост лишь на 1,3 %), а по сравнению с 2011 г. снизился на 10,9 %; при этом объём поступления бюджетных средств вырос в 3,4 раза;
- аналогично ОАО «Ангстрем», наблюдается снижение выхода ТП на 1 рубль вложенных бюджетных средств с 4,8 руб. в 2009 г. до 1,42 руб. – в 3,4 раза;

- по сравнению с 2009 г. предприятие показывает в бухгалтерской отчётности последних лет существенные убытки.

На наш взгляд, **общим выводом для «флагманов» российской электроники следует указать неэффективное использование государственных средств, приведшее к заметному сокращению выпуска товарной продукции при сказочном росте объёмов финансирования государством научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.**

### *Производство полупроводниковых приборов на основе арсенида галлия*

Как следует из приведённой ранее таблицы, в настоящее время производство монокристаллов арсенида галлия представлено единичными экземплярами слитков, получаемых в **ОАО «ГИРЕДМЕТ», Москва**, и **ОАО «Восход»** (правопреемник **ОАО «НИИМЭТ»**, которое прекратило производственную деятельность в 2010 г.), г. Калуга. Одной из причин низкого объёма заказов является крайне высокий уровень цен при низком качестве продукта. Следует также отметить полное отсутствие производства полуизолирующего нелегированного арсенида галлия, разработка технологии производства которого и соответствующего технологического оборудования не была завершена на последнем этапе существования СССР и не получила продолжения после его распада (в частности, единственная установка выращивания монокристаллов методом ЛЕС при высоком давлении была изготовлена в бывш. ЦКБМ «Донец», г. Луганск, Украина, в начале 80-х годов, но в действие не введена; не было организовано серийного производства монокристаллов методом VGF по разработкам ГИРЕДМЕТ). Производство пластин арсенида галлия для изготовления эпитаксиальных структур в настоящее базируется на использовании материала из Словакии и Украины и выполняется на основе кооперации ряда предприятий: резка слитков на пластины выполняется в **ОАО «НИИПП»**, г. Томск; обработкой же пластин, кроме них, занимается также **ООО «Мега Классик»**, г. Москва. Последнее предприятие производит эпитаксиальные структуры

различного назначения. Общий объём потребления монокристаллов GaAs российскими производителями пластин и ЭС составляет около 300–400 кг в год (около 0,2 % мирового объёма).

Одной из причин прекращения производства высококачественных монокристаллов арсенида галлия является **отсутствие в России производства высокочистого мышьяка**, который по необходимости ввозится из Японии и Германии. Имеющиеся мощности по выпуску галлия высокой чистоты, находящиеся в частном владении (предприятия группы «Русал» и холдинга «Базовый элемент», принадлежащие О. Дерипаске) и финансируемые по остаточному принципу как непрофильный актив, находятся в состоянии крайнего физического износа. В то же время необходимо учитывать, что длительный период практически неуправляемого существования материаловедческой части электронной отрасли привёл к катастрофической ситуации в состоянии технической базы – как в целом по РЭП, так и по производству монокристаллов и пластин: в течение 30 лет не проводятся разработки нового современного технологического оборудования для выращивания монокристаллов и изготовления пластин, а также средств контроля их качества на уровне возросших требований производителей ЭКБ.

Производителями полупроводниковых приборов на арсениде галлия в России являются в основном предприятия с преобладанием государственной формы собственности (ЗАО «Группа Кремний Эл», г. Брянск; ФГУП «НПП «Салют», г. Н. Новгород; ОАО «НИИПП», г. Томск; ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино МО; ОАО «Оптрон», г. Москва) в силу специфики области применения таких приборов; в сфере производства светоизлучающих диодов (СИД) (преимущественно для гражданского применения) преобладают предприятия с частной формой собственности (ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника», г. Санкт-Петербург; ОАО «Планета-СИД», г. Новгород).

Следует отметить, что Россия усилиями НПП «Квант» была первой страной, освоившей производство солнечных батарей на основе арсенида галлия. Первым космическим аппаратом, снабжённым такими СБ, была запущенная в 1967 г. межпланетная станция

«Венера-4»); такие же СБ функционировали на борту «Лунохода-1», успешно работавшего на поверхности Луны с 1970 г. Создание уже многокаскадных СБ на основе гетероструктур GaInP<sub>2</sub>-GaInAs-Ge импортного производства предприятием осуществлено при подготовке к запуску космической геостационарной платформы «КазСат» (по заказу Казахстана) в начале 21 века. С учётом многолетнего опыта работы с многокаскадными ФЭП предприятием был разработан и предложен ГК «Роснано» проект по созданию солнечных батарей на основе многокаскадных фотоэлектрических преобразователей с использованием сложных полупроводниковых материалов на инородных подложках, однако одобрения его финансирования не получено. Тем самым не получила развития работа, которая крайне необходима Роскосмосу. В течение 2011 г. запуск технических спутников (в том числе системы «ГЛОНАСС», рассчитанных на длительное нахождение на геостационарной орбите) в большинстве случаев осуществлялся в комплекте с кремниевыми СБ. Лишь один аппарат – «Луч-5А» – снаряжён многокаскадными батареями с КПД в 28%, изготовленными в ОАО «Сатурн», г. Краснодар, из импортных материалов (собственник предприятия – Пивоваренная компания «Очаково»). Отметим при этом, что физический объём годового производства кремниевых СБ в 2011 г. мог быть обеспечен выпуском необходимого количества кремниевых пластин всего за 8 часов работы такого небольшого частного производства, как ООО «Гелио-Ресурс», г. Мытищи МО.

Наиболее значимый проект в развитии производства ПП приборов на основе арсенида галлия финансируется ГК «Роснано»: «Арсенид-галлиевые пластины и чипы. Создание оптических компонентов для сетей передачи данных», исп. ООО «Коннектор Оптик» и «VI Systems GmbH», Германия. Цель проекта – создание производства вертикально-интегрированных лазеров (VCSEL), фотодиодов, СВЧ-транзисторов и диодов на основе эпитаксиальных гетероструктур (метод МЛЭ) на подложках арсенида галлия. Планируемый объём производства при выходе на проектную мощность (2015 г.) – 2, 4 млрд. руб., объём инвестиций для реализации проекта – 1,1 млрд. руб. По опубликованной на сайте ГК «Роснано» информации данное предприятие начало выпуск

продукции. Источник поступления исходного материала – монокристаллов арсенида галлия – не указывается.

***Производство полупроводниковых приборов на основе германия***

В настоящее время единственным в России предприятием, специализирующимся на извлечении германия их техногенного сырья, его рафинированием, выращиванием монокристаллов методами Чохральского и направленной кристаллизации и изготовлением пластин для оптических применений является **ОАО «Германий»**, г. Красноярск. В связи с ограниченностью российского рынка германиевой продукции предприятие в основном ориентировано на экспорт. **ООО "ДОКСАРД"**, г. Москва, специализируется на производстве оптических элементов из германия и кремния, которое является одним из приоритетных направлений деятельности компании. Кроме того, предприятие, действующее на территории РФ с 1996 г., проводит пуско-наладочные работы, комплексное гарантийное обслуживание оборудования фирмы OptoTech Optikmaschinen, осуществляет техническую поддержку в эксплуатации станков и оборудования фирмы OptoTech и обеспечивает запасными частями к ним с собственного склада в Москве, а также проводит на своей базе обучение и подготовку специалистов работе на станках и оборудовании фирмы OptoTech.

В настоящее время ГК «Роснано» одобрило к финансированию проект «Германий. Модернизация производства германия и продукции высоких переделов его переработки», исп. **ООО «Германий и приложения»**, объём инвестиций – 2,16 млрд. руб. Предполагается увеличение объёмов производства ОАО «Германий» с 3,9 до 14,4 т/год с созданием производства пластин германия для получения многокаскадных СБ; срок завершения проекта – 2014 г. По сообщениям, опубликованным на официальном сайте ГК «Роснано», данное производство запущено на территории Тульской области в 2013 г.

В рамках ФЦП с применением германия финансируются 2 проекта:



- ОКР "Флора" Разработка технологии проектирования СВЧ кремний-германиевых аналого-цифровых СБИС на основе библиотеки СФ блоков для ППМ АФАР (исп. Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры "Прогресс");

- ОКР "Структура-КГ" Разработка технологии производства гетероструктур Si|SiGe и Si|SiGe:C в составе гетеробиполярного транзистора для SiGe БиКМОП СБИС с проектными нормами 0,25-0,18 мкм (исп. Закрытое акционерное общество "Эпиэл").

Таким образом, на сегодняшний день состояние производства радиоэлектронных изделий и материалов для изготовления ЭКБ в России можно охарактеризовать следующим образом:

1. Российская электроника существенно снизила свой мировой рейтинг и с долей в 0,4% при доле национального ВВП около 3% от мирового объема ВВП значительно ослабила свои позиции. На мировой арене появились серьезные конкуренты традиционным лидерам (США, Японии, Евросоюзу) в лице Китая, Тайваня, Южной Кореи. В то же время роль России как производителя ничтожна, её участие в разделе мирового рынка электроники незначительно. Вследствие многолетнего уничтожения собственного производства Россия вынуждена до 70% ЭКБ закупать по импорту без гарантий качества, что в свою очередь увеличивает вероятность отказов в системах управления полётом авиационной и космической техники, системах связи и навигации и т.п. С учётом устойчивой тенденции снижения объёмов производства продукции «флагманами» российской электроники нельзя исключать такого варианта, когда предприятия ОПК будут закупать на Митинском радиорынке необходимые микросхемы китайского производства и выполнять процедуру их входного контроля по типу «Военной приёмки» для нужд обороны и космической индустрии. Но следует помнить, что электронные изделия на основе арсенида галлия, например, в Китае купить невозможно в силу их отсутствия, а Запад, где они есть, не продаст в силу существующих ограничений.

2. Принятые Федеральные целевые программы, как правило, сосредоточены на изготовлении конечных изделий (ЭКБ, различных радиоэлектронных приборов и систем) без учёта создания базы необходимых полупроводниковых материалов и вспомогательных веществ. При этом в каждом из 3-х перечисленных выше направлений имеются отсутствующие звенья, в том числе:

- кремниевые полупроводники: отсутствует производство высококачественного ПКК, монокристаллов и пластин «электронного» кремния большого диаметра (более 150 мм);

- полупроводники на базе арсенида галлия: полностью отсутствует производство высокочистого мышьяка; морально и физически изношено оборудование для производства высокочистого галлия; отсутствует технология и оборудование для производства монокристаллов и пластин арсенида галлия большого диаметра (в особенно запущенном состоянии находится технология нелегированного полуизолирующего термостабильного материала, требующего особого технологического оборудования – VGF; CZ высокого давления), а также эпитаксиальных структур с применением современных методов осаждения типа MOCVD, MBE;

- полупроводники на основе германия: отсутствует технология производства монокристаллов германия диаметром более 150 мм, не имеющих малоугловых границ; отсутствует технология и производство гетероструктур GaInP<sub>2</sub>-GaInAs-Ge.

В конечном итоге в России отсутствует вертикально интегрированный комплекс, обеспечивающий полный технологический цикл производства стратегически важных изделий с надёжной электронной начинкой.

3. В стране практически разрушен ранее существовавший на территории бывшего СССР комплекс по разработке и изготовлению оборудования для производства и обработки полупроводниковых материалов (оборудования для синтеза сложных полупроводников и выращивания монокристаллов, а также их резки на пластины и их обработки; установок для выращивания эпитаксиальных структур методами VPE, LPE, MBE и тем более MOCVD, так и не освоенных в СССР; автоматизированного оборудования для изготовления и корпусирования чипов и т.п.).

Такие территориальные комплексы включали в себя специализированные КБ с соответствующим машиностроительным предприятием и были объектами электронного машиностроения (в качестве примеров можно указать комплекс предприятий электронной промышленности г. Зеленограда, а также ряд предприятий, ранее работавших под эгидой ГИРЕДМЕТ, включая ОХМЗ, ПХМЗ в РФ и ЗЧМ на Украине; производственные объединения типа ПО «Донец», г. Луганск на Украине и ПО «Гранат», г. Калуга в РФ).

4. Существенным препятствием на пути развития производства полупроводниковых материалов является существенное сокращение или полное прекращение выпуска ряда вспомогательных материалов, к которым (с учётом их потребления в технологии других, менее распространённых полупроводников соединений  $A^3B^5$ ,  $A^2B^6$ ,  $A^4B^6$  и др.) следует отнести:

- высокочистые элементы, используемые как исходные материалы для синтеза сложных полупроводниковых соединений и для легирования сложных и элементарных полупроводников (галлий, мышьяк, индий, сурьма, селен, теллур, фосфор, сера, кадмий, цинк, висмут, алюминий, бор, олово, свинец и др.), а также ряд металлоорганических соединений и гидридов, применяемых в производстве эпитаксиальных структур;

- высокочистые химические вещества, применяемые в процессах обработки полупроводниковых материалов и изготовлении приборов (диффузенты в форме галогенидов ряда химических элементов, фоторезисты, кремнийорганические соединения, органические растворители, минеральные кислоты, перекись водорода, высокочистые инертные газы и газообразные соединения галогенов с водородом и пр.) – продукция так называемой малотоннажной химии;

- специальные конструкционные материалы (высокочистый плавленный синтетический кварц, кварцевая и иная керамика, высокочистый особоплотный графит; высококачественное тугоплавкое боросиликатное стекло) и изделия из них для изготовления узлов оборудования для получения высокочистых и полупроводниковых материалов:

- высокочистые тугоплавкие металлы и их соединения (тантал, вольфрам, рений, платина, родий, иридий, рений, рутений, палладий, осмий, молибден, цирконий, иттрий и др.), а также РЗМ и их соединения.

Недостаточность (а скорее полное отсутствие) финансирования работ данных направлений привели к настоящему времени к серьёзному отставанию по уровню чистоты материалов для производства ПП: на мировом рынке уже предлагается продукция квалификации 8N и выше при наличии у РФ уровня лишь 6N и в редчайших случаях 7N.

В создавшейся ситуации Правительство обязано принять экстренные меры по исправлению создавшейся ситуации и ввести в действие всеобъемлющую Программу развития производства полупроводниковых материалов для изготовления современных собственных изделий в интересах создания эффективных устройств в интересах ОПК, аэрокосмической отрасли и всего промышленного комплекса Российской Федерации. С учётом состояния направления это – крайне финансово затратная проблема. Но деньги необходимо искать сегодня, ибо завтра будет более затратно, так как исчезнуть и живые носители технологий, – люди, которые ранее занимались разработкой и внедрением технологий полупроводников.

### **Что нужно предпринять и учитывать?**

1. По-видимому, прекратить финансирование ряда ранее введённых Федеральных целевых программ по направлениям, где эффективность использования ресурсов государства мала (в том числе ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 годы). Освобождённые ресурсы направить на решение проблемы производства полупроводниковых материалов.

2. Целесообразна тесная международная кооперация. Потенциальным партнёром может быть Китай, причём по ряду причин. Прежде всего, это государство обладает серьёзными финансовыми возможностями. Кроме того, Китайская электронная отрасль по уровню технического развития и объёмам производства

многократно превышает Российскую. Китай имеет действующую конструкторскую базу и высокоразвитое электронное машиностроение, во многом способные обеспечивать разработку и производство комплекса технологического оборудования для выпуска полупроводниковых материалов. Немаловажно и то, что Китай является крупнейшим производителем целого ряда исходных и вспомогательных материалов для полупроводниковой промышленности (в том числе крайне важных галлия и германия, пригодных для последующей очистки, редких и рассеянных элементов и т.п.).

3. Наряду с Китаем, в качестве потенциальных научно-технических партнёров следует рассматривать Индию и Иран, стремящихся развивать собственную электронику, а также Республику Беларусь, на территории которой в эпоху СССР также создавалась научно-техническая база производства полупроводниковых компонентов.

4. Следует предполагать, что потенциальные страны – участники международной кооперации – будут заинтересованы в создании требуемых производств на своей территории. Россия должна стремиться к тому, чтобы производство ключевых компонентов находилось на её территории, включая изделия с высокой добавленной стоимостью (приборы, оборудование, радиотехнические изделия, средства связи, вычислительная техника и иные гаджеты современного мира) и во всех предприятиях, независимо от места расположения, Россия имела долевое участие, то есть была **СОВЛАДЕЛЬЦЕМ** в лице государства (для предприятий на территории РФ – не менее 51%, для остальных – не менее 35–40%).

5. Следует провести инвентаризацию собственного научно-технического потенциала. Отраслевая наука в области полупроводникового материаловедения в плачевном состоянии – как по материально-техническому оснащению, так и по кадровому составу. Аналогичная ситуация в Академии наук РФ. Необходимо определить потенциальных – наиболее подготовленных – исполнителей по определённым направлениям полупроводникового материаловедения и объединить их в особую структуру для выполнения важнейшей государственной задачи, конечной целью которой должно стать создание надёжно функционирующего ГОСУДАР-

СТВЕННОГО комплекса по производству современных полупроводниковых материалов и разработке, испытаниям и внедрению новых материалов и технологий, конструированию и изготовлению отечественного технологического оборудования для электронной промышленности.

6. Для быстреего освоения производства отечественных полупроводниковых материалов целесообразна организация закупки импортного технологического оборудования, основными производителями которого являются США, Япония, Германия, Франция, Чехия. Часть оборудования на сегодняшний день производит Китай. Здесь встаёт вопрос: доступно ли оно в сегодняшней обстановке и угрозе предполагаемых санкций???

7. В этой связи крайне актуальной является проблема создания собственного производства технологического оборудования. Надеемся, что такая задача по силам сохранившимся конструкторско-машиностроительным организациям Роспрома, Росатома и Роскосмоса, но и здесь потребуются существенная модернизация производства с введением современных технологий обработки металлических, керамических и композиционных материалов, пластических масс и др.

8. Важным направлением развития производства полупроводниковых материалов является сфера создания продукции малотоннажной химии, включая выпуск широкого спектра высокочистых исходных веществ и многочисленных вспомогательных материалов, конструкционных неметаллических, керамических и стеклянных изделий. Данная задача – сфера интересов организаций химической промышленности Минпромэнерго.

Таким образом, возрождение производства полупроводниковых материалов должно стать мощнейшим импульсом для развития целого ряда промышленных отраслей и создания многих тысяч высокотехнологичных рабочих мест как на предприятия радиоэлектронной промышленности, так и в ОПК, Росатоме, Промэнерго, Роскосмосе и других отраслях.

**Важно не упустить время!**

Институт неорганической химии им. Н.С. Курнакова, имея многолетний опыт в создании технологий получения высокочистых веществ и полупроводниковых материалов в рамках кооперации с ныне действующими НИИ и высшими учебными заведениями Центрального административного округа и Сибири, осознавая свою ответственность за судьбу данного направления, предлагает под эгидой государства в кратчайшие сроки организовать комплекс работ по воссозданию утраченного производства и готов взять на себя функции координатора работ по разработке Федеральной целевой программы «Развитие производства полупроводниковых материалов для обеспечения выпуска полного спектра импорто-независимых изделий электронной компонентной базы и устройств на их основе», а также взять на себя исполнение отдельных элементов ФЦП и научно-техническое сопровождение ФЦП в целом.

Контрольными сроками выполнения организационно-технических мероприятий подготовки ФЦП предлагаются следующие:

- проведение заседания Научно-технического совета Военно-промышленной комиссии при Правительстве Российской Федерации (Базовые и критические военные и промышленные технологии) с анализом состояния отрасли производства полупроводниковых материалов: июнь – июль 2014 г.;

- проведение совещания потенциальных соисполнителей ФЦП, выполнение процедуры их технического аудита и закрепление отдельных направлений за конкретными соисполнителями: июль – сентябрь 2014 г.;

- разработка разделов ФЦП, составление ориентировочных смет расходов на выполнение работ: сентябрь – октябрь 2014 г.;

- разработка ФЦП в целом, анализ обоснованности расходов соисполнителей, определение порядка и графика внедрения результатов ФЦП: октябрь – ноябрь 2014 г.;

- проведение заседания НТС ВПК при Правительстве РФ по рассмотрению проекта ФЦП: декабрь 2014 г.

**Потолоков Николай Алексеевич**, – кандидат химических наук; научный эксперт Русского Физического Общества.

E-mail: [nik-potolokov@yandex.ru](mailto:nik-potolokov@yandex.ru)