

НУЖЕН ЛИ РОССИИ СОБСТВЕННЫЙ КРЕМНИЙ?

Судьба стратегического материала

Проблема производства российского кремния для отечественной электроники – вопрос специфический. Поскольку у нас микроэлектронное производство сократилось до минимума (практически всего два действующих предприятия – “Микрон” и “Ангстрем”), то и потребности в кремнии соответствующие. К тому же, при существующем уровне технологии – 1,5–1 мкм – и требования к кремнию по мировым меркам не слишком высоки. Но с другой стороны, кремний – это 70% всех потребляемых микроэлектроникой материалов. Нет его – нет и микроэлектроники. Поэтому кроме чисто экономических соображений, производство кремния – это вопрос стратегический, поскольку затрагивает экономическую независимость и безопасность страны.

Тем удивительнее факт, что в России производства особо чистого кремния (пригодного для нужд электроники) практически нет. В лучшем случае выращивают монокристаллический кремний из высокочистого зарубежного сырья. Почему? Казалось бы, в стране с пока еще дешевыми электроэнергией и рабочей силой, с огромными запасами кварцитов только и производить высокочистый кремний и снабжать им не только собственную микроэлектронику, но и микроэлектронику других стран. Но этого почему-то не происходит. И нельзя сказать, что о проблеме кремния никто не думает. Есть поддерживаемая государством программа кремниевого производства под Красноярском. Существует Новочебоксарский проект, не обойденный вниманием мэра Москвы. Работает, правда, на давальческом сырье, Подольский химико-металлургический завод. Есть ряд других проектов. Даже бюджетные деньги выделены. Нет только отечественного высокочистого кремния. А может быть, есть – просто мы об этом ничего не знаем?

Все эти вопросы заинтриговали нас, и мы намерены в данной проблеме разобраться – в меру своих возможностей. Разумеется, не сразу. А начинаем мы свое исследование разговором с одним из наиболее авторитетных в “кремниевой проблеме” специалистов, свыше 35 лет занимающимся проблемами материаловедения в области электроники.



Наш собеседник – Борис Георгиевич Грибов, доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН. С 1981 года он возглавлял НИИ материаловедения и завод “Элма”, а с 1987 года – НПО “Элма” – головное предприятие по высокочистому кремнию (в том числе) в СССР. Сегодня Б.Г. Грибов – директор НИИ особо чистых материалов. Опыт и знания Бориса Георгиевича делают его одним из наиболее авторитетных экспертов в области производства кремния, пригодного для нужд электроники и солнечной энергетики.

Борис Георгиевич, сейчас много говорят о проблеме отечественного кремния. Каково истинное положение с кремнием в нашей стране?

Чтобы производство кремния было рентабельно, его нужно выпускать около 1000 тонн в год. Сегодняшняя же потребность России в кремнии для электроники – не более 50 тонн в год. Вспомним, предприятия электроники в СССР когда-то потребляли в год около 500 тонн кремния. На соответствующем уровне – 500–600 тонн – было и его производство. Во всем же мире сегодня производят порядка 15 тысяч тонн в год, в основном в Японии, Германии и США.

Поэтому производство кремния в России – это скорее политическая, нежели техническая проблема. При нынешнем уровне потребления его проще и дешевле купить за рубежом.

Но ведь были же в стране предприятия-производители кремния?

В технологической цепочке производства кремния основная проблема – получение поликристаллического кремния (поликремния), из которого затем выращивают монокристаллы. Поликремний получают из трихлорсилана (SiHCl_3) особой чистоты. Но изготовление такого материала – отдельная проблема. Во време-

на СССР оно целиком было сосредоточено на Украине. Отметим, трихлорсилан – это массовый продукт, который нужен не только для производства кремния. Его используют и в химической промышленности для получения кремнийорганических соединений, красок, лаков и т.д. После 1991 года производства чистого трихлорсилана в России не оказалось.

Те 40–50 т монокристаллического кремния в год, которые мы потребляем сегодня, делаются из поликремния, покупаемого за рубежом, в том числе – из еще сохранившихся на Украине остатков. В то же время Подольский химико-металлургический завод выпускает около 100 т монокристаллического кремния в год – но из давальческого сырья. У нас дешевле рабочая сила, пока дешевле и электроэнергия, поэтому Япония, Германия, ряд других стран поставляют нам поликремний и отходы производства монокристаллического кремния, из которых выращивают кремний для солнечной энергетики (требования к нему ниже, чем к электронному). Электронного же кремния производится очень мало.

Правда, сейчас на нескольких российских предприятиях, например в Новочебоксарске, производят трихлорсилан – но технического качества. Особо чистый SiHCl_3 выпускают в недостаточном количестве.

Но ведь есть и другие “кремниевые” проекты.

Действительно, есть. Пожалуй, самый серьезный – это проект Министерства атомной промышленности под Красноярском. В соответствии с ним в бывшем закрытом городе, который теперь называется Железногорск, планируют производить от 500 до 1000 т кремния в год. Но опять же все нужно начинать с нуля – и производство трихлорсилана, и технического кремния. По-моему, этот проект носит больше социальный, чем экономический характер. Кремний планируют производить по классической технологии – старой, используемой во всем мире.

А что такое классическая технология?

Если коротко: сначала получают технический кремний при взаимодействии кварцитов с углем и древесной щепой (восстановление кремния из SiO_2). Технический кремний хлорируют, образуется трихлорсилан с неизбежными примесями. В ректификационных колоннах выделяют чистый трихлорсилан, при разложении которого получают поликремний. А из него уже выращивают монокристаллы, которые режут на пластины. Предела совершенству, конечно, нет, но на Западе технология отработана настолько, что выход чистого кремния близок к теоретически возможному.

Чем же плоха классическая технология?

Напомню, уровень рентабельности производства по классической технологии – примерно 1000 т в год. Наша же годовая потребность – всего 50–100 т. Значит, производимый кремний надо продавать. Но кто его купит? За рубежом сейчас проблемы с кремнием нет, рынок поделен.

Чтобы к нашему кремнию возник интерес за рубежом, он по качеству должен отвечать мировым стандартам и быть дешевле. На чем мы можем сыграть? На зарплате – это чисто временное явление. Значительную долю в себестоимости производства кремния составляет стоимость электроэнергии. Да, Железногорск снабжается дешевой электроэнергией Красноярской ГЭС – но дешевизна эта относительна и опять же временна. Работая по традиционной технологии, перегнать конкурентов (т.е. сделать дешевле) нельзя, догнать – большие сомнения. И, даже догнав, возникнет проблема реализации кремния.

Есть ли альтернативы традиционной технологии?

И альтернативы, и потенциал для их появления есть. Существует несколько научных школ. Но их деятельность не востребована – по традиционной технологии в мире выпускают достаточно кремния и пока никто не заинтересован в ее замене. Россия же в этом смысле представляет собой чистый лист – у нас вообще нет производства поликремния. Поэтому нам имеет смысл сосредоточиться на принципиально новых технологиях. А такие есть. Только за последний год ко мне на экспертизу присылали 3–4 проекта. Некоторые из них интересны, например – разработанный в Новосибирске прямой метод восстановления SiO_2 в плазме или другие проекты, позволяющие напрямую, минуя токсичные Cl_2 , HCl , SiHCl_3 , получать чистый кремний. Заслуживает внимания и проект, предложенный государственным научным институтом химии и технологии элементоорганических соединений (ГНИХТЭОС). Его суть – производить поликремний разложением силана, полученного из триэтоксилана, который образуется из технического кремния и этилового спирта.

А проект “Балтийской кремниевой долины”, за который ратует академик Прохоров?

Разговоры об этом проекте идут давно. Предполагается организовать производство нескольких тысяч тонн кремния в год, что соизмеримо с объемами его мирового выпуска. Как всякий большой проект, он требует больших капитальных вложений и длительных сроков реализации. В то же время опытного производства кремния по предлагаемой технологии нет, поэтому невозможно оценить ни качество еще не произведенного кремния, ни экономическую эффективность метода.

А в чем идея?

С этим вопросом лучше обратиться к авторам проекта.

Какой путь вы считаете наиболее правильным?

На мой взгляд, чтобы обеспечить нужды отечественной микроэлектроники в монокристаллическом кремнии, а также для производства поликремния для солнечных батарей, следует использовать сохранившуюся в стране инфраструктуру. Существует Подольский химико-металлургический завод, выпускающий сегодня монокристаллический кремний из импортного поликремния. Его мощностей вполне достаточно, чтобы обеспечить потребности электроники России. В Новочебоксарске есть производство трихлорсилана. Есть и проект, по которому планируется производить в Новочебоксарске не только особо чистый трихлорсилан, но и поликремний. Это позволит избежать транспортных расходов по перевозке экологически безопасного трихлорсилана и рационально использовать побочные продукты, образующиеся при синтезе SiHCl_3 и изготовлении поликремния. В результате Подольский химико-металлургический завод получит отечественный поликремний для выращивания монокристаллического кремния как для электроники, так и для солнечных батарей.

По-моему, Новочебоксарский проект – наиболее привлекательный из всех существующих, поскольку может быть организован не на пустом месте, а с использованием имеющейся инфраструктуры и квалифицированных кадров. Однако и он кардинально не решает вопрос о снижении себестоимости кремния. Выходом может быть разработка принципиально новой технологии, обеспечивающей рентабельность производства уже при небольших объемах выпуска продукции.

Такой технологией может стать прямой метод получения кремния восстановлением SiO_2 в процессе $\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Si} + \text{CO}_2$. Естественно, исходные вещества должны быть высокочистыми. В качестве восстановителя используют сажу, полученную разложением метана. С высокочистой сажой проблем нет, существует ее многотоннажное производство. Исходная же двуокись кремния требует дополнительной обработки. Кварцевый песок промывается, сушится в барабанных сушилках, перемалывается до размеров зерна 5–50 мкм, обрабатывается кислотами и водным раствором сульфомалеинового ангидрида и промывается дистиллированной водой. В результате содержание примеси в SiO_2 не превышает 10^{-4} . Отметим, залежи кварцевого песка чистотой 99,5% имеются в Рязанской и Пензенской областях.

Если не допустить загрязнения кремния в процессе восстановления SiO_2 конструкционными материалами печи, можно добиться его чистоты 10^{-4} . Существует проблема избытка углерода, который также вреден для кремния. Но его можно вывести, нагревая кремний в кислородной среде с образованием окиси углерода. Избыточный же кислород удаляется путем образования летучей монооксида кремния.

А за рубежом метод прямого восстановления не используют?

Собственно, идея прямого восстановления не нова. Начиная с 1965 года зарегистрировано около 20 патентов – советских, российских и зарубежных. Но новый метод – это сокращение рабо-

чих мест, это – перестройка инфраструктуры производства. А ради чего? Как известно, лучшее – враг хорошего. Без крайней нужды ничего менять не будут. В России же это возможно, потому что старых производств просто не стало.

Так есть ли перспективы у “российского” кремния?

Мы могли бы делать на кремнии бизнес. Потребности-то, с учетом солнечной энергетики, гигантские. Если мы заметно снизим его стоимость, то рано или поздно на рынок выйдем. Зарубежные фирмы не будут менять технологию – у них все хорошо. Чтобы наш кремний покупали, он при тех же параметрах должен быть как минимум на 30% дешевле.

Поэтому я убежден – нельзя ставить задачу кого-то догонять. Только обгонять. У нас нет сил догонять, нет ресурсов. Чтобы догнать, нужно строить гигантские заводы. Поскольку в России не выпускается высокочистый поликремний, а организация его производства по традиционной технологии из трихлорсилана требует значительных финансовых затрат и рентабельна при объемах выпуска порядка 1000 т в год, **именно “прямой” метод получения высокочистого кремния позволит России наладить собственное экономически эффективное производство этого стратегического материала в промышленных масштабах.**

С Б.Г.Грибовым беседовали Б.И.Казуров и И.В.Шахнович