

УДК 546.28:782

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ «КРЕМНИЕВОЙ ДОЛИНЫ»

**А.В. ВАСЮКОВ**

(Полоцкий государственный университет),

канд. техн. наук, проф. **В.П. ВАСИЛЕВИЧ**

(ООО «Пластма», г. Минск),

**О.Л. КАЙДОВ**

(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск)

*Дано технико-экономическое обоснование организации производства отечественного полупроводникового кремния на территории Витебской области для изготовления солнечных электростанций и интегральных микросхем.*

Полупроводниковый кремний является важнейшим стратегическим сырьём для электронной промышленности и промышленности фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) для солнечной энергетики. Промышленный полупроводниковый кремний имеет две основные модификации: поликристаллическую и монокристаллическую.

Поликристаллический кремний электронного качества является товарным продуктом, свободно обращающимся на мировом рынке в ценовых пределах 38-60 дол./кг в зависимости от соотношения спрос/предложение. Мировые мощности по производству поликристаллического кремния оцениваются в 26 000 тонн в год (1999 г.), из которых в 2001 г. использовалось около половины (14 000 т). Объём продаж поликристаллического кремния определяется его потреблением электронной промышленностью, подверженной периодическим спадам, возникающим раз в 5 - 7 лет. Поликристаллический кремний «солнечного» качества образуется как некондиционный (второсортный) поликристаллический кремний в объёме 5 - 10 % от общего объёма производства, продаётся промышленности ФЭП по цене не выше 25 дол./кг. Промышленность ФЭП характеризуется устойчивым ежегодным 15 %-ным приростом объёма производства, который в 2000 г. достиг 260 МВт, к 2005 г. она увеличится в 2 - 2,5 раза, а к 2006 утроится [1], при удельном расходе кремния 17 - 20 т/МВт. Промышленности ФЭП в настоящее время ежегодно требуется около 5 000 тонн поликристаллического кремния, а его потребление в 2010 г. оценивается в 15 000 - 20 000 тонн. При этом рынок поликристаллического кремния для промышленности ФЭП характеризуется устойчивым дефицитом. Мировое производство поликристаллического кремния сосредоточено в основном в США, Японии, ФРГ и Италии (таблица).

**Товарная структура производства поликристаллического кремния в 2002 г.**

Страны и фирмы-производители	Кремний электронного качества	Кремний «солнечного» качества	Всего
США	7,60	2,40	10,00
Hemlock Semiconductors	3,30	2,00	5,30
ASiMi	2,40	-	2,40
MEMC	1,00	-	1,00
Mitsubishi Materials Polysilicon	0,90	0,10	1,00
SGS	-	0,30	0,30
Япония	4,60	1,10	5,70
Tokuyama	2,70	1,00	3,70
Mitsubishi Materials Polysilicon	1,20	1,10	1,30
Semimoto Titanium	0,70	-	0,70
ФРГ			
Waker Sitronics	2,50	1,00	3,50
Италия	-	1,00	1,00
MEM C	-	1,00	1,00
Всего	15,70	4,50	20,20

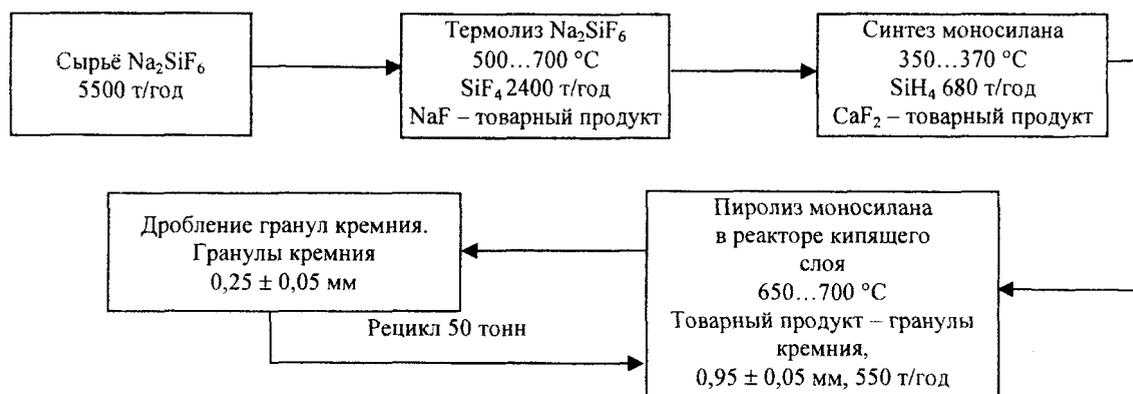
Монокристаллический кремний не имеет свободного обращения на рынке, а поставляется по прямым контрактам потребитель - производитель. При этом цена материала колеблется в пределах от 100 до 1 000 дол./кг, а объёмы продаж чаще всего являются коммерческой закрытой информацией.

Монокристаллический кремний получают из поликристаллического методами Чохральского или зонной плавки. Эти процессы являются энергозатратными, что в основном определяет его стоимость.

Электронная промышленность потребляет исключительно монокристаллический кремний. Для производства ФЭП пригоден как монокристалл, так и крупноблочный мультикристалл, размер зёрен монокристаллов в котором должен быть не менее 5 мм.

В 1999 - 2003 гг. на основании протокола поручений Президента Республики Беларусь и постановлений Правительства в Беларуси выполнен инновационный проект по разработке технологии производства поликристаллического кремния из побочного продукта переработки апатитов. В рамках проекта выполнена лабораторная стадия развития процессов и аппаратов по получению поликристаллического кремния из фторосиликата кремнефторида натрия (КФН), произведённого Гомельским химическим заводом из побочного продукта производства фосфорных удобрений. Гомельский химический завод подтверждает возможность производства КФН в объёмах до 5 000 тонн ежегодно по отпускной цене 130 - 140 дол./т. Это позволяет производить до 500 тонн в год поликристаллического кремния «солнечного» качества [2].

Блок-схема производства гранулированного поликристаллического кремния «солнечной» чистоты представлена на рисунке.



**Блок-схема производства гранулированного поликристаллического кремния «солнечной» чистоты**

Потребление кремния «солнечного» качества для производства ФЭП составило в 2002 г. около 4500 тонн. Его потребление к 2010 г., по разным прогнозам, составит до 20000 тонн. В денежных средствах этот рынок можно охарактеризовать величиной от 200 млн. до 450 млн. дол. Доля рынка, на которую может претендовать предприятие с начала индустриального применения белорусской технологии, составляет 500 тонн в год или в денежном выражении 12,5 млн. дол.

Технико-экономическое обоснование инвестиций в создание такого производства характеризует разработанную технологию как экологически чистую (нет выбросов вредных веществ в атмосферу и в водные источники), низкоэнергозатратную, около 20 кВт·ч/кг. Расход электрической энергии по традиционной технологии составляет 250 - 270 кВт ч на 1 кг кремния. Выделяемые побочные продукты NaF и CaF<sub>2</sub> имеют стабильный потребительский спрос и могут быть включены в состав товарной продукции.

Общие инвестиционные затраты на создание производства поликристаллического кремния на базе РПУП «Завод «Измеритель» г. Новополоцка оцениваются в 28 млн. дол., из которых машины и оборудование - 17 млн. дол., производственные здания и сооружения - 8 млн. дол.

Технико-экономические показатели проекта: годовой выпуск кремния 500 т, годовой расход энергоресурсов - 20 млн. кВт ч, численность промышленно-производственного персонала - 445 человек при рентабельности реализации 38,3 %, себестоимости 1 кг кремния 16,2 дол. и сроке окупаемости 5,3 года позволяют характеризовать инвестиции как выгодное вложение капитала.

Выполненный проект получил признание отечественных и зарубежных специалистов и организаций. Анализ примесного состава кремния, выполненный аккредитованным испытательным центром в Гиредмет (г. Москва), анализ полупроводниковых свойств материала и его опробование в производстве солнечных элементов, выполненные бельгийским центром микроэлектроники IMEC (г. Лёйвен), позволили сделать вывод о целесообразности применения разработанной технологии в промышленном производстве.

Индустриализация результатов НИОКР подразумевает выполнение стадии пилотного (опытно-промышленного) развития технологии, масштабирование оборудования, определение коррозионной стойкости аппаратов, уточнение требований техники безопасности и экологической защиты, сертификацию продуктов производства. Это обусловлено, в первую очередь, уникальностью применяемых технологических процессов и оборудования, использованием ядовитых и взрывоопасных веществ на промежуточных стадиях химических превращений.

Прединвестиционные затраты на разработку и изготовление опытно-промышленного оборудования и исследование технологии опытно-промышленного оборудования оцениваются в 2,4 млн. дол.

Основным потребителем монокристаллического кремния в Беларуси является НПО «Интеграл». Потребность производств полупроводниковых приборов и интегральных схем в кремнии обеспечивается импортом его в объемах 14 - 20 т ежегодно. Экономическая и сырьевая зависимость НПО «Интеграл» от зарубежных поставщиков кремния определяет степень незащищенности предприятия от ценового диктата. Стратегическим вопросом обеспечения экономической безопасности НПО «Интеграл» является создание собственного производства монокристаллических слитков кремния методом Чохральского. Для этого имеется необходимая инфраструктура и производственные площади на заводе «Камертон» г. Пинск. Сырьем для выращивания монокристаллов может явиться поликристаллический кремний, получаемый из КФН после целенаправленного доведения его качества до электронной степени чистоты на стадии опытно-промышленных испытаний.

Стоимость работ по обеспечению электронного качества поликристаллического кремния оценивается в 1,5 млн. дол.

Следует отметить, что в регионе сложилась не только промышленная инфраструктура, способная в сжатые сроки наладить производство полупроводникового кремния, но имеется и мощная научная база. Полоцкий государственный университет на протяжении многих лет готовит квалифицированных специалистов, которые способны возглавить производственные участки по выпуску поликристаллического кремния «солнечной» чистоты, ФЭП и солнечных электростанций. Пример тому молодые специалисты (выпускники вуза), участвовавшие в инновационном проекте и разработке «солнечных» модулей на РПУП «Завод «Измеритель» (г. Новополоцк).

#### **Выводы:**

1. Необходимо создать в Республике Беларусь (г. Новополоцк) собственное производство товарного поликристаллического кремния: «солнечного» качества мощностью 500 т/год для поставок на экспорт, состояние рынка которого характеризуется нарастающим дефицитом (только кремния электронного качества для нужд НПО «Интеграл», г. Пинск, требуется 40 т в год).
  2. Выполнить прединвестиционные работы, общей стоимостью 6,8 млн. дол., с привлечением государственных средств в рамках научно-технического проекта, включая:
    - создание на Гомельском химическом заводе опытно-промышленной линии по производству кремнефторида натрия, мощностью не менее 4000 т/год (стоимость работ оценивается в 400 тыс. дол.);
    - создание на РПУП «Завод «Измеритель» (г. Новополоцк) опытно-промышленной линии по производству поликристаллического кремния в виде стержней (50 %) и гранул (50 %) мощностью не менее 2 т/год (стоимость работ оценивается в 3,7 млн. дол.);
    - создание на заводе «Камертон», г. Пинск НПО «Интеграл» опытно-промышленной линии по производству монокристаллического кремния мощностью не менее 1 т/год (стоимость работ оценивается в 2,7 млн. дол.).
  3. Общие инвестиционные затраты по проекту выполнить с привлечением средств инвесторов на базе промышленной зоны «Ксты» РПУП «Завод «Измеритель» с использованием существующих зданий и коммуникаций, включая:
    - стоимость земельного участка (3,8 га - 175 тыс. дол.);
    - стоимость машин и оборудования со средним сроком службы 10 лет - 17000 тыс. дол.;
    - стоимость производственных зданий и сооружений - 8500 тыс. дол.;
    - прочие затраты - 600 тыс. дол.
- Итого капитальных затрат - 26275 тыс. дол. С учетом затрат под оборотные средства - 1500 тыс. дол., общие инвестиционные затраты составят 27775 тыс. дол.
4. Ожидаемые технико-экономические показатели предприятия:
    - выручка от реализации - 18757 тыс. дол.;
    - годовой расход энергоресурсов - 20 МВт-ч;
    - численность ППП - 445 чел.;
    - чистая прибыль предприятия -3195 тыс. дол.;

- рентабельность реализации товарной продукции - 38,28 %;
  - срок окупаемости по чистому доходу - 5,3 года.
5. Реализация проекта создаст предпосылки:
- для расширения товарной номенклатуры Гомельского химического завода;
  - улучшения экологической обстановки в регионе за счёт использования побочного продукта производства;
  - создания на базе РПУП «Завода «Измеритель», г. Новополоцк, экспортно ориентированного крупномасштабного (500 т/год) производства поликристаллического кремния для промышленности ФЭП, что создаст дополнительные высококвалифицированные рабочие места в Полоцком регионе;
  - осуществления импортозамещения потребляемого монокристаллического кремния на продукцию собственного производства на НПО «Интеграл», что будет способствовать экономической безопасности предприятия;
  - создания дополнительных рабочих мест и расширения товарной номенклатуры градообразующего предприятия «Камертон» в г. Пинске;
  - создания на базе сертифицированных участков РПУП «Завода «Измеритель», г. Новополоцк, и «Цветотрон», г. Брест, производства с использованием белорусского кремния, «солнечных» модулей и систем солнечной энергетики с годовым объёмом производства 200 млн. дол., поставки которых на экспорт имеют значительно более высокую рентабельность.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Степаненко В.Н. К вопросу создания в Республике Беларусь производств солнечных электрических станций на базе отечественного полупроводникового кремния // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы. III междунар. науч.-техн. конф. - Новополоцк, 2004. - С. 176 - 183.
2. Технико-экономическое обоснование проектирования и строительства производства отечественного полупроводникового кремния на базе РПУП «Завод «Измеритель»: Материалы Государственной приемочной комиссии ГКНТ РБ / А.В. Васюков, В.Н. Степаненко, В.П. Василевич, Л.М. Виноградов. - Мн., 2003. - 129 с.