

А. В. НАУМОВ

Россия, ООО «КВАР»

Перепечатано из журнала "Известия вузов. Материалы электронной техники", № 2'2006

ПРОИЗВОДСТВО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И РЫНОК КРЕМНИЕВОГО СЫРЬЯ В 2006—2010 гг.

На основе публикаций последних лет сделан обзор современных планов производства фотоэлектрических преобразователей на кремнии, рассмотрены вопросы обеспеченности сырьем (поликремнием) и меры, направленные на снижение возникшего в 2003—2004 гг. дисбаланса между возможностями производства поликремния и потребностью в нем.

Темпы роста и планы развития «солнечной» энергетики, которые намечают промышленно развитые страны, впечатляют масштабностью (рис. 1). К 2031 г. в мире планируется иметь совокупную установленную мощность электрогенераторов на солнечной энер-

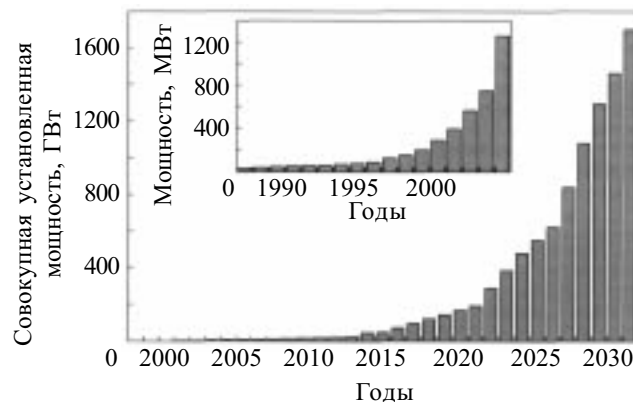


Рис. 1. Прогнозируемая динамика мирового ФЭП-рынка в 1999—2031 гг.

Вставка: динамика ФЭП-рынка в 1988—2004 гг.

гии 1700 ГВт (для сравнения: в 2004 г. — 1256 МВт, см. рис. 1, вставка). Если сегодня солнечная энергетика занимает менее 1% в общемировом балансе произведенной электроэнергии, то к 2040 г. эта доля должна возрасти до 30%. Подобные масштабные «нециклические» планы всегда настаивают. История фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) насчитывает 30 лет, и за это время периоды оптимизма (во времена роста цен на нефть) сменялись сдержанностью. Стоимость 1 кВт·ч электрической энергии, полученной с помощью ФЭП, остается довольно высокой по сравнению с традиционными видами электроэнергии (рис. 2), хотя дальнейшие прогнозы оптимистичны (рис. 2, вставка). Подобные кривые роста гово-

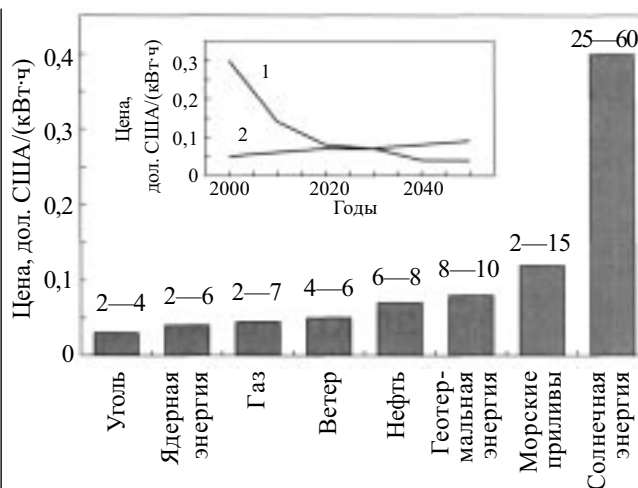


Рис. 2. Типичные значения стоимости генерации 1 кВт электроэнергии различными методами (данные по Европе и США за 2003—2004 гг.).

Вставка — прогноз изменения цен на электроэнергию: 1 — солнечная энергия; 2 — нефть/газ

рят о том, что эти планы носят «нерыночный» характер и, скорее, являются декларацией намерений промышленно развитых государств ослабить свою зависимость от поставщиков традиционных энергоносителей. Таким образом, как это ни парадоксально, сегодняшний бурно растущий рынок солнечной энергетики является нерыночным по своей сути.

Однако начиная с 2004 г. некоторые наиболее крупные производители модулей и систем (вначале в Японии, а потом и в Европе) впервые стали фиксировать в отчетах прибыль с учетом всевозможных льгот со стороны своих государственных органов. Это может означать, что мы являемся свидетелями не традиционного оживления интереса к солнечной энергетике из-за высоких цен на нефть, а начала более масштабного процесса — запуска действия рыночных механизмов в отрасли.

В настоящее время производство ФЭП, а значит, и производство легированных бором монокристаллов (~33% всех ФЭП) и специальных крупноблочных литых поликристаллов кремния, их часто называют мультикристаллами (~56% всех ФЭП), быстро развивается. (По мнению многих, такая структура производства сохранится примерно до 2010 г.) Рост производства ФЭП вызвал в 2005 г. нехватку сырья для производства кристаллов поликремния [1—4].

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Цель работы — краткий обзор сложившегося после 2004 г. положения в области производства поликремния для солнечной энергетики, оценка все время нарастающего дисбаланса между производством и потребностью и обзор основных путей снижения этого разрыва на период 2006—2010 гг.

Общая ситуация

Первоначально (до 2000—2001 гг.) сырьевой базой солнечной энергетики являлись отходы «электронной» индустрии: некондиционный (off-grade) поликремний, получаемый в цикле производства поликремния электронного качества, — куски слитков с повышенным содержанием лимитирующих примесей, например углерода (~7—8% от общего произведенного количества поликремния), а также верхние и нижние конусы выращенных слитков кремния «электронного» качества (~10% от общего количества выращенных кристаллов).

Теперь источники сырья изменились: свыше 60% общей потребности обеспечивает поликремний, специально произведенный для солнечной энергетики двумя путями:

— по традиционной, но «упрощенной» технологии (либо прутки поликремния, полученные осажде-

нием из трихлорсилана (ТХС) в «сименсовских» реакторах, либо гранулы поликремния, полученные пиролизом моносилана в реакторах вихревого слоя конструкции МЕМС);

— по технологиям, специально разработанным для производства «солнечного» поликремния.

По-прежнему используется некондиционный поликремний «электронного» качества (~14% потребности), а также верхние и нижние конусы и тигельные остатки слитков кремния «электронного» качества (18—20% от потребляемого количества).

Основные производители поликремния, которым принадлежит свыше 90% рынка, перечислены в **табл. 1**, в **табл. 2** приведен пример балансового расчета, который производят для оценки потребности в сырье для производства заданного количества ФЭП.

Несмотря на невысокую точность такого расчета, очевидно, что дефицит сырья на рынке, впервые появившийся в 2004 г., в дальнейшем будет расти. Подобные оценки проведены до 2010 г., когда ожидаемый «дефицит» вырастет, по разным оценкам, до ~8—10 тыс. т (**рис. 3**). Слово «дефицит» взято в кавычки, т. к. будет правильнее назвать эту величину «условным дефицитом» и уподобить «движущей силой», давящей на рынок и побуждающей всех участников рынка принимать активные меры по снижению дисбаланса спроса и предложения.

Таблица 1
Производство поликремния (в тоннах) в период с 2000 по 2005 г.

Фирмы-производители (страна)	Годы					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
HEMLOCK (США)	4600	4300	5100	5300	7800	7800
Wacker (Германия)	3700	3000	4000	4200	4200	5000
Tokeyama Soda (Япония)	2600	3300	3600	4000	4800	800
Mitsubishi Material Poly Si (Япония)	1450	1200	1400	1400	1600	1600
Mitsubishi Material Poly Si USA (США)	800	800	1000	1000	1200	1200
Italy МЕМС (Италия)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
USA МЕМС (США)	1000	1000	1500	1500	2000	2100
Sumitomo Titanium (Япония)	630	700	700	700	700	700
ASiMi (США)	2600	2500	1900	2150	2400	2400
SGSil (США)	0	0	150	1900	2100	2200
Всего:	18380	17800	20350	23150	27800	28800
В том числе:						
для электроники	15380	14800	15400	16350	20800	21100
для солнечной энергетики	3000	3000	4950	6800	7000	7700

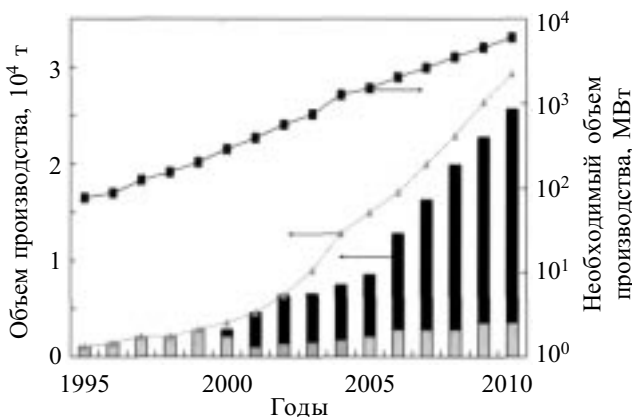


Рис. 3. Несоответствие между наличием и потребностью кремния «солнечного» качества (1995—2010 гг.) и выпуск солнечных модулей (источник — Wacker Polysilicon): ■ солнечный поликремний; ■ скрап «электронного» кремния; ▲ общая потребность в солнечном кремнии; ■ производство солнечных модулей

Таблица 2
Баланс производства и потребления (в тоннах) поликремния в солнечной энергетике за период с 2000 по 2005 г.

Статьи баланса	Годы					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Производство поликремния:						
выращенный специально для солнечной энергетики	3000	3000	4950	6800	7000	7700
некондиционный (7,5% от поликремния для электроники)	1162	1110	1155	1226	1560	1583
верхние и нижние конусы «электронных» слитков и тигельные остатки (~10%)	1530	1480	1540	1635	2080	2110
Итого:	5692	5590	7645	9661	10640	11393
Потребление*:	3367	4576	6552	8684	11349	13221
Баланс:	+2325	+1014	+1093	+9	-709	-1828

* Потребление определяется как произведение объема выпуска солнечных элементов (в МВт) на норму расхода кремния (13 т) для производства 1 МВт (13 т/МВт).

Общие возможные подходы

Получить исходный поликремний «солнечного» качества (poly-Si^{sol}) для выращивания кристаллов «солнечного» кремния можно различными путями:

— традиционные подходы, основанные на переводе металлургического кремния в форму хлорсиланов и моносилана с последующей очисткой и восстановлением;

— подходы, основанные на очистке металлургического кремния до степени, соответствующей необходимым требованиям;

— подходы, основанные на получении кремния из особо чистого кварца путем его восстановления с последующей доочисткой.

К нетрадиционным подходам можно также отнести работы по получению poly-Si^{sol} из металлургического кремния методом очистки иодида кремния через газовую фазу или через реакции металлургического кремния с этиловым спиртом на катализаторе с последующим восстановлением моносилана.

Источник poly-Si^{sol} — традиционные производители поликремния

Основные производители поликремния (рис. 4), такие как HEMLOCK, Wacker Chemie, Italy MEMC, Tokuyama Soda и др., используют классический сименсовский реактор, в котором U-образные слитки поликремния получают при 1100—1200°C водородным восстановлением ТХС, осаждаясь на затравочные прутки кремния. Компания ASiMi, принадлежащая японской Komatsu и расположенная в США (Montana), использует разновидность сименсовского реактора, в котором при температуре ~800°C идет разложение моносилана с осаждением на затравочный пруток кремния. MEMC USA разработала и использует процесс получения гранул поликремния в реакторах «с кипящим слоем» (fluidized bed reactor). При температуре ~600°C моносилан разлагается и образуются гранулы диаметром до 2 мм.

В России после ликвидации в 2003 г. производства поликремния на ПХМЗ не осталось действующих производств. Последние годы идет создание производства поликремния в рамках конверсии Красноярского горно-химического комбината.

На Украине мощности по производству поликремния на ЗТМК (после закрытия в 1997 г. цеха № 26 по производству ТХС) и в Волновахе (на Донецком ХМЗ — с 1998 г.) простаивали. В последнее время предпринимаются попытки их восстановления.

В 2004 г. общий выпуск поликремния в Китае составил ~100 т. (При этом выпуск монокристаллического кремния — 1500 т, из которых 910 т — для солнечной энергетики.)

Дальнейшая динамика производства поликремния в Китае приведена в табл. 3. Необходимо отметить, что в Китае на всех предприятиях поликремний «электронного» и «солнечного» качества по-

лучается при использовании одинаковых технологий и оборудования. Удешевление производства «солнечного» кремния (иногда его называют «non-prime silicon») достигается путем упрощения некоторых стадий техпроцесса: снижение требований к глубине очистки ТХС или моносилана, скорости осаждения и т. д. Исключение составляет Solar Grade Silicon (SGSi) — предприятие, созданное в 2002 г. компаниями ASiMi LLC и Silicon Technologies AS специально для производства только poly-Si^{sol} (мощность ~2000 т/год). Используется двухстадийная технология, состоящая из получения ТХС и тетрахлорида из металлургического кремния. ТХС реакцией с тетрахлоридом кремния далее переводится в моносилан, из которого осаждением из газовой фазы в специально разработанных реакторах получают poly-Si^{sol}.

Кроме того, существуют разновидности традиционных «хлорных» технологий получения poly-Si^{sol}, разработанных специально для солнечной энергетики.

1. Wacker Chemie разработала технологию получения гранул кремния «солнечного» качества используя реакцию разложения ТХС в «реакторе с кипящим слоем». В отличие от универсальной технологии MEMC, такой кремний, имея более низкую чистоту, может использоваться только для «солнечных» целей. На заводе в Burghausen в 2006 г. планируется выход на полную мощность 5000 т/год.

2. Tokuyama Soda сообщает, что работает над собственной технологией poly-Si^{sol}, используя высокотемпературное разложение ТХС с осаждением на подложку. В 2006 г. планируется начало промышленных испытаний.

3. В 2003 г. Solar World AG и Degussa сообщили о создании совместного предприятия Joint Solar Silicon GmbH для производства poly-Si^{sol} методом разложения моносилана и осаждения его на разогретые стенки кремниевых труб. Полунепрерывная технология разработана американской компанией GT Solar Technologies. Планируется выход на производство до 1000 т/год в 2006 г. и далее до 5000 т/год.

4. Норвежская компания Renewable Energy Corp. (REC) и ASiMi проводят исследования на базе суще-

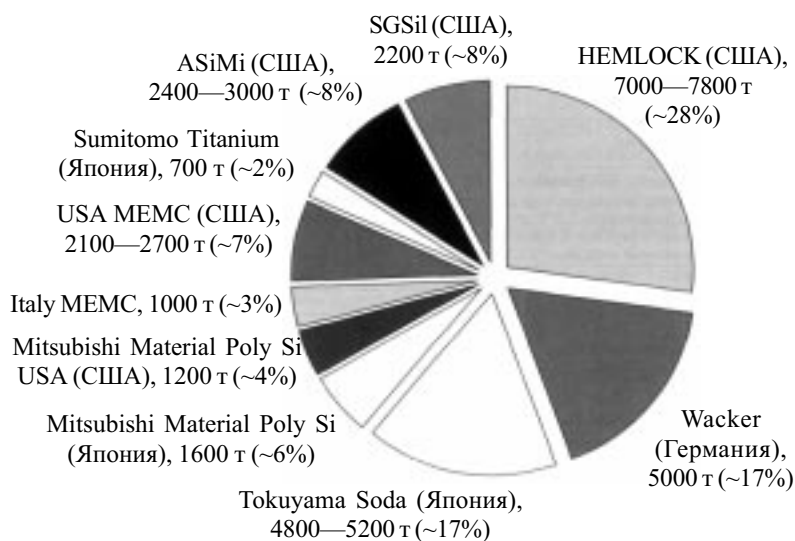


Рис. 4. Производство поликремния в мире в 2005 г. (ожидаемое)

Производство поликремния в Китае

Наименование предприятия	Город, провинция	Объем производства, т					Примечания
		2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	
Ermei	Ermei, Sichuan	80	180	180	180	180	Расширение существующего производства
Xinguan Silicon	Leshan, Sichuan	—	—	1250	3260	3260	Новое производство
Luoyang Zhong Silicon	Luoyang Henan	30	300	3000	3000	3000	Расширение существующего производства
Luoyang Mono Crystal Silicon	Luoyang Henan	30	30	30	30	30	Существующее производство
Chongjing Jin Yi	Chongjing	—	—	—	—	1000	Новое производство
Applied Physics Institute	Hen an Province	—	—	2000	2000	2000	Новое производство
Jin Hua Ye liang	Linghai, Liaoning	—	—	—	—	1000	Новое производство, перспективы неясны
SMIC	Chengdu, Sichuan	—	—	—	—	3000	Новое производство, окончательное решение будет принято в конце 2006 г.
Shi Zui Shan	Gansu Province	—	—	—	—	1000	Новое производство
Итого:		140	510	6460	8470	14470	

ствующих мощностей ASiMi с целью усовершенствования процесса, используемого ASiMi, и повышения объема выпуска poly-Si^{so1} до 2300 т/год, а потом и до 5000 т/год. REC объявила о покупке 75% акций ASiMi и изменении номенклатуры выпускаемой продукции ASiMi от «электронного» к «солнечному» поликремнию [3—5].

Источник poly-Si^{so1} — нетрадиционные подходы

Металлургический кремний с уровнем чистоты ниже 99,5%, содержащий Al (1200—2000 ppm), Fe (1600—2000 ppm), Ti (150—200 ppm), Ca (400—900 ppm), B (20—60 ppm), P (30—70 ppm), C и O (300—500 ppm), по цене ~1 дол. США/кг представляется многим как идеальный исходный материал для получения дешевого poly-Si^{so1}, минуя перевод кремния в хлорсиланы. Считалось, что т. к. для большинства примесей (кроме бора и фосфора) коэффициент сегрегации $k < 1$, кристаллизационная очистка может достаточно быстро привести к требуемому результату, и осталось только разработать методы очистки от бора и фосфора и создать производительную установку для кристаллизационной очистки. Для очистки от бора и фосфора изучаются различные методы. Одно время проблема казалась близкой к решению, однако и до сегодняшнего дня разработка не доведена до промышленной стадии. Многочисленные исследователи ищут сочетание различных физико-химических методов очистки расплава с последующей кристаллизационной очисткой:

— Japan Ferrous Engineering (JFE Steel, бывшая Kawasaki Steel), Wacker, NREL и др. осуществляют проекты получения «солнечного» кремния путем очистки металлургического (с 2001 г. JFE Steel начала производство поликремния (чистотой 99,9999%) для солнечных элементов в полупромышленных масштабах — до 200 т/год, в 2004 г. объем производства увеличился до 800 т/год);

— Siemens, Exxon, SolSilk, Wacker, Dow Corning и др. работают над получением poly-Si^{so1} карботермическим восстановлением чистого кварца;

— консорциум исследовательских компаний Energy Research Centre (Нидерланды), ScanArc Plasma Technologies и Sintef Materials Technology (Норвегия)

объявил в 2004 г. о разработке опытной технологии, состоящей из трех этапов очистки металлургического кремния, для снижения уровня примесей в кремнии с нескольких сотен ppm до необходимых 2—5 ppm и о создании опытной установки с производительностью 20 кг/ч;

— норвежское предприятие Elkem Solar (подразделение Elkem) представило в 2004 г. данные о том, что поликремний, полученный очисткой из металлургического кремния по разработанной этой фирмой технологии, при добавлении от 25 до 65% к загрузке из «электронного» поликремния позволяет получить ФЭП на мультикремнии с КПД ~16%. В настоящее время Elkem строит завод по выпуску такого поликремния. В 2005 г. в Норвегии создано предприятие ScanSell, которое предлагает элементы и модули, изготовленные по этой технологии;

— в России в рамках программы «Кремний России» в Институте геохимии СО РАН ведутся работы по получению «солнечного» кремния методами очистки (высокотемпературная очистка и барботирование расплава увлажненными газами) рафинированного технического кремния, полученного карботермическим восстановлением чистых природных кварцитов Восточной Сибири. Также интересны полученные в 2005 г. результаты по изучению рафинирования расплава кремния методом электропереноса примесей в магнитном поле.

Однако в настоящее время еще никто не вышел на промышленный объем получения poly-Si^{so1}, удовлетворяющего требованиям производителей кристаллов и приборов. В отличие от универсальных традиционных технологий при использовании такого материала требуется тесная «привязка» к технологическому процессу получения ФЭП. Так, при использовании poly-Si^{so1}, разработанного Elkem Solar, удалось получить ФЭП с высоким КПД введением стадии дополнительного отжига диффузионного слоя [6—9].

Резерв «солнечного» кремния, получаемый при выращивании «электронного» кремния. Традиционно для выращивания кристаллов используют части слитков «электронного» кремния *p*-типа проводимости с удельным электрическим сопротивлением $\rho > 0,5$ Ом·см и *n*-типа с $\rho > 3$ Ом·см. Последние собы-

тия вынудили производителей использовать более широкие диапазоны удельного электрического сопротивления — применять сильнолегированный кремниевый скрап *n*- и *p*-типа проводимости.

1. Сильнолегированный кремниевый скрап *n*-типа (части слитков и тигельные остатки с $\rho \ll 1 \dots 3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) образуется в электронной промышленности в количестве 1300—2600 т/год, что эквивалентно возможности получения дополнительных 100—200 МВт/год. Его пытаются использовать по двум направлениям. Во-первых, это разработка и производство p^+n -структур для ФЭП вместо привычных n^+p -структур. Немаловажно, что ФЭП на кремнии *n*-типа, полученном методом Чохральского, не подвержен известному эффекту деградации характеристик ФЭП, вызванному облучением светом метастабильных комплексов бор—кислород, на легированном бором кремнии. Во-вторых, ряд исследователей (например, в Токийском университете, Япония) разработали технологию электронно-лучевой очистки сильнолегированного скрапа *n*-типа от легирующей примеси (фосфора, сурьмы) до уровня $\sim 20 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ (*n*-тип).

2. Сильнолегированный кремниевый скрап *p*-типа — это части слитков и тигельные остатки с содержанием бора 50—400 ppm. Их образуется порядка 2000—3000 т/год. Вовлечение этих количеств в «солнечную» энергетику эквивалентно возможности получения дополнительных 150—250 МВт/год. Удачный подход продемонстрировала компания Crystal Systems, разработав технологию очистки от бора путем обработки расплава кремния (от 60 до 140 кг за цикл) увлажненным аргоном. Первоначально эта технология разрабатывалась для очистки металлургического кремния от бора, фосфора и углерода. Тогда удалось снизить содержание бора с 20—60 до $\sim 0,3 \text{ ppm}$ ($\sim 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), однако для фосфора и углерода снижение оказалось недостаточным. В случае переработки сильнолегированного «электронного» скрапа *p*-типа технология оказалась удачной и позволяла снизить содержание бора на несколько порядков (до $\sim 1 \text{ ppm}$ или $\sim 0,4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$). Путем последующей кристаллизации по Чохральскому или методом бестигельной зонной плавки удается получать слитки кремния для производства ФЭП.

Резерв «солнечного» кремния, получаемый при резке слитка на пластины. Ежегодно в электронной промышленности используются примерно 5—10 млн «тестовых» пластин, которые потом покупает солнечная энергетика. Бракованные электронные пластины, лом и прочие остатки также поступают для переработки в солнечную энергетику. Крупным неиспользованным резервом остается шлам после резки слитка кремния на пластины, состоящий из кремния, масла (или иного реагента, используемого в режущей суспензии), карбида кремния, железа, диоксида кремния и прочих примесей. Подсчитано, что при производстве каждого мегаватта пикового (МВт_п) «солнечной» электроэнергии образуется $\sim 30 \text{ т}$ такого шлама, содержащего 5 т кремния. Ставится задача вернуть 75% этого количества (т. е. 3,8 т/МВт_п) в производство. Консорциум из Organsynth SA, ScanWafer A/S, EPM и HCT Shaping Systems пытается решить

эту задачу. НСТ разработала оборудование, позволяющее с 90%-ной эффективностью разделить сепарацией шлам и получить твердую фракцию, содержащую до 22% свободного кремния и 8% железа.

Дальнейшая очистка кремния проводится фирмой EPM плазменным методом. Проект функционирует в опытной стадии.

Достаточно очевидным направлением дальнейшего развития является переход на все более тонкие пластины кремния. Перспективы в этом направлении приведены на рис. 5 [5, 6, 10].

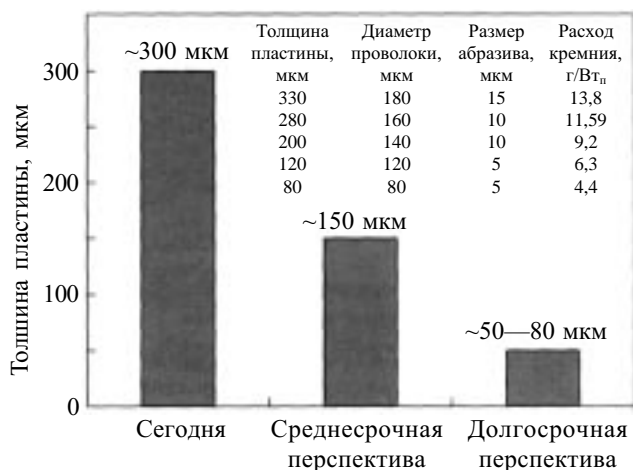


Рис. 5. Динамика толщины пластин кремния для ФЭП

Закключение

В настоящее время стоимость сырья для производства моно- или мультикристаллов для ФЭП стремительно растет. Если в 2003 г. нормальной считалась цена поликремния 23—24 дол./кг, то в 2005 г. — 45—50 дол./кг, а в 2006 г. цена составляет 80—100 дол./кг для производителей ФЭП (США, Европа, Япония), имеющих долгосрочные контракты с производителями поликремния, и выше 150—180 дол./кг для производителей, не имеющих регулярных контрактов и покупающих сырье на спотовом рынке (Россия).

Все меры, направленные на экономии расхода кремния для производства 1 кВт «солнечной» энергии, начиная от повышения КПД ФЭП, вовлечения в производство различного скрапа и до резки более тонких пластин, приведут, по оценкам аналитиков, к результатам, представленным на рис. 6.

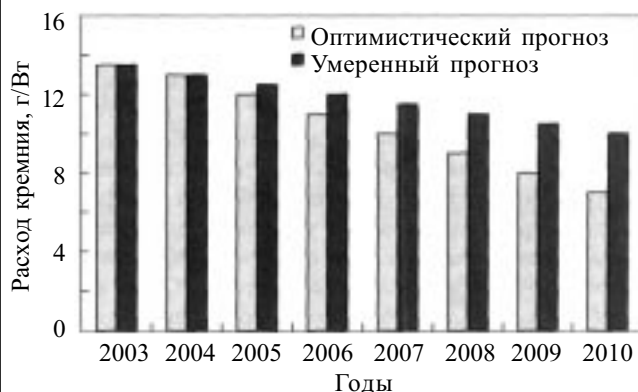


Рис. 6. Прогноз снижения расхода кремния на солнечные элементы (на 1 Вт)

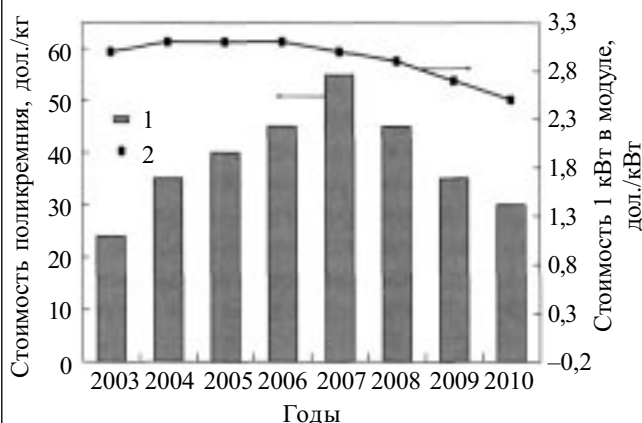


Рис. 7. Прогноз динамики стоимости сырья для ФЭП (диаграмма) и стоимости производимой модулем электрической энергии (кривая) на период 2005—2010 гг. (Стоимость поликремния показана достаточно условно: для крупных потребителей, имеющих долгосрочные контракты с производителями поликремния)

С другой стороны, движение от производителей поликремния, стремящихся увеличить выпуск, приведет к тому, что когда-нибудь цена сырья вернется к уровню 2003—2004 гг. Самые оптимистические оценки (без учета инфляционной составляющей) приведены на рис. 7.

Если такие прогнозы верны, то это означает, что ближайшие 5 лет станут для российской кремниевой промышленности самыми ответственными за последние годы:

— для немалого числа российских предприятий по получению монокристаллического кремния, работающих на ввозимом сырье, ситуация в 2005—2010 гг. может стать крайне тяжелой;

— эти же 5 лет могут оказаться исключительно благоприятными для завершения проекта организации производства поликремния в России, т. к. инвестиционная привлекательность уже созданных активов будет высока (но только до 2010 г.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Maycock P. I / PV News. 2004. V. 19. N 2. (www/pvenergy.com).
2. European Photovoltaic Projects 1999—2002 Europ. Comm. 2003. V. A-3. P. 194. (www.europa.eu.int).
3. Rogol M. Solar Power // CLSA Asia-Pacific Markets, 2004. P. 76 (www.clsa.com).
4. PV Status Report // Europ. Comm. DG JRC EUR 20850EN. 2003. P. 75 (www.pvdatabase.com).
5. Saitoh T. // 12th PVSEC.— Jeju (Korea), 2001.— P. 591.
6. EPIA Communication. 2004. N 1 (www.iea-pvps.org).
7. Strebkov D. S., Pinov A., Zadne V. V. et al. // Intern. Congress Business&Investment for Renewable Energy.— Moscow (Russia), 1999.— P. 22—32.
8. Peter K., Kopecek R., Pernau T. et al. // Mater. 31st IEEE PVSC.— Lake Buena (Florida), 2005.— P. 152—156.
9. Елисеев И. А., Непомнящих А. И., Бычинский В. А. // Третья Российская школа ученых и молодых специалистов по технологии получения кремния.— М., 2005.— С. 103—104.
10. Wang T. Я., Cizek T. F. // J. Electrochem. Soc. 2000. V. 147. P. 1945.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Полимерные материалы / Б. А. Виноградов, Г. П. Мещерякова, К. Е. Перепелкин; Амур. гос. ун-т; С.-Петербург. гос. ун-т.— СПб: Наука, 2006.— 50 л.

Монография посвящена рассмотрению структуры и физических (термических, оптических) свойств полимерных материалов, исследованию воздействия на них лазерного излучения различной интенсивности в ИК, видимом и УФ диапазонах, лазерным методам изучения их микро- и макроструктуры, научным основам лазерного нагрева, термической обработки, сварки, поверхностной и размерной обработки.

Для специалистов в области применения лазерных методов при изучении и обработке полимерных материалов, для преподавателей, аспирантов, студентов.

НОВЫЕ КНИГИ



Коваленко Л. В. Нанодисперсные металлические материалы с биологически активными свойствами / Л. В. Коваленко, Г. Э. Фолманис; Ин-т металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова. — М.: Наука, 2006. — 11 л.

В монографии изложены результаты многолетних исследований, посвященных выбору оптимального способа получения функциональных нанопорошковых металлических материалов, обладающих биологической активностью. Выбран способ низкотемпературного водородного восстановления металлосодержащего сырья. Разработан технологический процесс и его аппаратное оформление. Проанализирован процесс восстановления нанокристаллического металлосодержащего сырья. Разработан способ прямого получения биологически активных сред импульсным лазерным облучением массивного металлического образца. Приведены результаты влияния нанопорошков металлов на биологические объекты. Рассмотрено использование нанокристаллических металлических материалов в растениеводстве, животноводстве, птицеводстве, рыбоводстве, кормопроизводстве.

Для ученых, инженерно-технических специалистов в области материаловедения и биологов, работающих в сельскохозяйственных отраслях агропромышленности.