

# Мировые рынки поликремния и кварца на современном этапе и перспективы комплексного производства этих материалов в России

А. Наумов<sup>1</sup>, В. Рязанцев<sup>1</sup>

УДК 621.315.592 | ВАК 05.27.06

Тема получения основного сырья для современной микроэлектроники и солнечной энергетики – поликристаллического кремния (ПКК) уже освещалась в нашем журнале (А. Наумов. Рынок поликристаллического кремния: состояние и перспективы // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 9. С. 94–101). Важным материалом для микро- и оптоэлектроники является также особочистое синтетическое кварцевое стекло (СКС). Проблемы получения ПКК и СКС возможно решить вместе в одном проекте. Настоящая статья написана по материалам доклада авторов на научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули» Российского форума «Микроэлектроника 2022» (предконференция № 2 «Электронная компонентная база и радиоэлектронные системы»).

**М**инистерство промышленности и торговли РФ подготовил стратегию развития отечественной электроники и микроэлектроники – «Основы государственной политики России в области развития электронной промышленности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу». Проект Минпромторга России указывает на одну крупную проблему российской электроники и микроэлектроники. В документе она звучит как «критическая зависимость процессов проектирования и выпуска продукции от зарубежных технологий, включая программное обеспечение, и материалов (в частности, особо чистой химии и кремния)».

Настоящая работа предлагает вариант ответа на данный вопрос, она продолжает статьи [1, 2] и посвящена анализу мирового производства полупроводникового поликристаллического кремния (далее – ПКК), синтетического особочистого кварцевого стекла (далее – СКС) и ситуации в России. За последние 15 лет мировое производство ПКК продемонстрировало уникальные темпы роста, превратясь из рынка объемом около 20 тыс. т/год в рынок, превысивший 500 тыс. т/год. При этом в последние 5–7 лет предложение ПКК устойчиво превышало спрос, что привело к периоду господства крайне низких цен на ПКК. Нам представляется, что сегодня рынок ПКК близок к переходу в новую фазу развития, что особенно важно для российского рынка. То же можно сказать и о рынке синтетического особочистого кварцевого стекла.

## СЫРЬЕ ДЛЯ ПКК – ТЕХНИЧЕСКИЙ КРЕМНИЙ

Технический (металлургический) кремний производится в количестве более 3 млн т в год и применяется в качестве лигатуры упрочненных алюминиевых (силумины) и магниевых сплавов. Применение находит кремний (в виде карбида кремния) также в производстве абразивных и твердосплавных изделий. В химической промышленности развиваются технологии производства силиконовых (кремнийорганических) материалов, применяемых в производстве пластмасс, лакокрасочной продукции, смазок и т. п. Первое место среди производителей металлургического кремния занял Китай, доля которого на рынке составила 64%, за ним следуют Америка и Западная Европа (судя по ценовым сдвигам на электроэнергию, процесс переноса этих производств из Европы произойдет в ближайшие годы). Основным потребителем металлургического кремния (47%) является производство алюминиевых сплавов, на втором месте (41%) находится химическая промышленность. Производство металлургического кремния, начиная с 2018 года, стало нерентабельно во многих странах: заводы закрывались, производство сокращалось. Согласно текущим прогнозам, ожидается, что после 2022 года рост мирового производства ускорится за счет восстановления базового потребления и роста потребности в сырье для полупроводниковой отрасли. На электронную промышленность и солнечную энергетику приходится ~12–15% мирового производства металлургического кремния, используемого в качестве сырья.

<sup>1</sup> АО «ОКБ «Астрон».

Таблица 1. Динамика и прогноз мирового производства металлургического кремния, тыс. т

Страна/Регион	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Соединенные Штаты	185,0	130,0	140,0	175,0	210,0	220,0	240,0
Бразилия	218,0	202,0	198,0	220,0	235,0	245,0	250,0
Другие американские страны	42,0	35,0	30,0	40,0	44,0	45,0	45,0
Европейский союз	193,4	156,3	142,0	170,0	195,0	205,0	205,0
Другая Европа	225,5	231,0	251,0	258,5	281,8	320,9	336,5
Африка/Ближний Восток	38,0	20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0
Азия и Океания	89,8	87,0	80,5	107,5	135,0	150,0	160,0
СНГ	71,8	64,1	52,0	66,0	75,0	77,5	80,0
Китай	1980,0	1895,0	1837,5	2015,0	2125,0	2217,5	2315,0
<b>Общее количество</b>	<b>3043,4</b>	<b>2820,9</b>	<b>2731,0</b>	<b>3052,0</b>	<b>3300,8</b>	<b>3480,9</b>	<b>3646,5</b>

Спад цен в период 2018–2020 годов был вызван избытком предложения над спросом. Начиная с 2020 года спрос увеличился и цены пошли вверх. В 2021 году произошел скачок цен на металлургический кремний из-за сокращения его производства в Китае – цены подскочили на 300%. Сокращение производства было вызвано энергетическим кризисом в Китае, коснувшимся почти половины китайских предприятий. В Китае 56% энергии зависит от добычи угля, при этом правительство страны установило жесткие экологические ограничения на его добычу и внедрило пиковые показатели по затратам электроэнергии для каждого региона. Недостаток энергии задел по меньшей мере 44% китайских предприятий, что привело к приостановке работы на многих заводах, в том числе производящих металлургический кремний. Влияние на рост цен оказала также санкционная политика США – значительные объемы производства металлургического кремния приходятся на Сицзян-Уйгурский автономный район, действия китайских властей в котором подвергаются критике. Также приостановила продажи норвежская компания Elkem ASA, производящая силиконы, кремний и другие кремнийсодержащие материалы.

В результате стоимость тонны металлургического кремния с 1,2–2,6 тыс. долл. выросла до 10,4 тыс. долл. (пиковое значение) и в настоящее время колеблется на уровне 3–4 тыс. долл. (рис. 1).

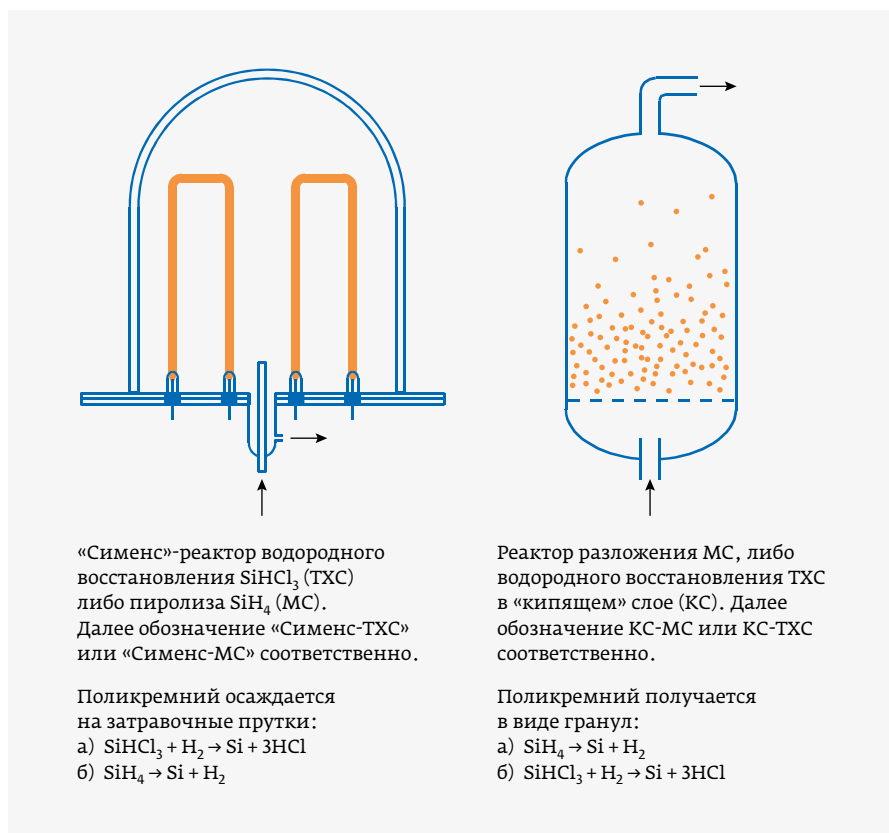


Рис. 1. Промышленные типы реакторов для получения поликремния

Таблица 2. Производители металлургического кремния в СНГ

Страна	Завод	Год запуска производства	Кол-во печей	Производственная мощность, тыс. т	Примечания
Украина	ЗалК. Цех кремния	1938	6	25	Разрушен
Россия	УАЗ «Кремний-Урал», Каменск-Уральский	1942	6	26	Остановлен в 2019 г., частично запущен в 2021 г.
Россия	ИркАЗ («Кремний») Шелехов, Русал	1981	6	44	Частично остановлен в 2020 г.
Россия	БрАЗ, Русал	1987	4	40	С 2000 г. переведен на производство FeSi
Казахстан	ТОО «Тау Кен Темир»	2009	2	24	Остановлен в 2019 г.

## СИТУАЦИЯ В РОССИИ

Основные производители металлургического кремния в СНГ приведены в табл. 2. Все российские производители входят в контур управления компании Русал.

## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПКК

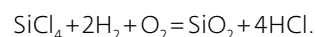
Металлургический кремний имеет значительный объем примесей. Для получения ПКК желательно использовать более чистый металлургический кремний (табл. 3).

Для получения поликремния, качество которого соответствует требованиям, предъявляемым к применению в электронной и фотоэлектрической промышленности (электронного или «солнечного» качества), необходим процесс глубокой очистки металлургического кремния. Промышленно применяемые технологии представлены на рис. 1.

Технология «Сименс-ТХС» сегодня является абсолютно доминирующей. Однако, выходящая из реактора парогазовая смесь содержит в больших количествах

непрореагировавший  $H_2$ , ТХС, тетрахлорид ( $SiCl_4$  или ЧХК),  $HCl$ , полисиланхлориды. Это связано с тем, что только 20–25% кремния из ТХС осаждается на затравочных стрижнях за один цикл, при этом в реакции участвует около 10% подаваемого в реактор  $H_2$ . На 1 кг поликремния образуется около 12,5 кг тетрахлорида.

Исторически первым «классическим» подходом к этой проблеме является использование избыточного ЧХК для производства других видов продукции – пирогенного  $SiO_2$  (аэросил), кремнийорганических соединений и пр. Аэросил часто получают методом высокотемпературного гидролиза тетрахлорида кремния. Некоторые зарубежные фирмы, выпускающие ПКК (например, Wacker Chemie GmbH, Tokuyama Soda), используют побочный тетрахлорид именно в производстве аэросила. Метод высокотемпературного газофазного гидролиза  $SiCl_4$  базируется на реакциях, протекающих в водород-кислородном факеле при подаче паров тетрахлорида кремния:



После отделения аэросила от пылегазовой смеси обычными методами сухой пылеочистки отходящие газы подвергают водоабсорбционной обработке с получением соляной кислоты. Весь процесс можно организовать таким образом, что оба продукта – аэросил и соляная кислота – будут иметь высокую степень чистоты. Из отработанной парогазовой смеси, отходящей из аппаратов водородного восстановления на первом этапе переработки конденсацией, выделяются хлорсиланы. После разделения конденсата хлорсиланов один из них – трихлорсилан – возвращают в производство кремния, а тетрахлорид кремния направляют на производство аэросила. Для этого пары тетрахлорида кремния смешивают с воздухом и неконденсирующимися газами, выходящими из системы конденсации хлорсиланов.

Таблица 3. Наименование и гарантируемые параметры металлургического кремния «высоких марок», пригодных для получения «солнечного» и «электронного» ПКК

Марка	Si Min, %	Fe Max, %	Al Max, %	Ca Max, %	P Max, ppm
1101	99,79	0,1	0,1	0,01	30
1501	99,69	0,15	0,15	0,01	30
1503	99,67	0,15	0,15	0,03	30
2202	99,58	0,2	0,2	0,02	30
2502	99,48	0,25	0,25	0,02	30

Таблица 4. Основные области применения тетрахлорида кремния и некоторых его производных

Материал	Область применения
Тетрахлорид кремния	Эпитаксия кремния, полупроводниковый кремний, солнечный кремний, волоконные световоды, силикагель, органохлорсиланы, кремниеорганические полимеры, кремниевая кислота, силицирование стали
Аэрозольный диоксид кремния (аэросил)	Наполнитель для смол и клеев, аэрозоли, косметика, лекарства, смазки, полирующие материалы, химикаты, кварц, тиксотропный агент в лаках и красках, наполнитель для пластмасс и резины
Кварц, в том числе высокочистый	Тигли, лодочки и другие контейнеры для высокочистых веществ, лабораторная аппаратура и посуда, трубы, арматура, приборы, иллюминаторы, смотровые стекла, оптические приборы, светотехнические детали, опорные трубы для производства волоконно-оптических линий связи

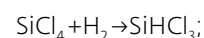
Эти газы состоят из водорода (около 90 об. %) и хлористого водорода. Специальной горелкой формируется факел, в котором происходит высокотемпературный гидролиз тетрахлорида кремния. Отходящие из камеры термогидролиза газы промывают солянокислыми растворами и водой. Полученную соляную кислоту либо реализуют как товарную продукцию, либо перерабатывают на безводный хлористый водород. Описанный метод обладает тем достоинством, что позволяет одновременно утилизировать водородсодержащий газ, тетрахлорид кремния и хлористый водород. Получаемые при этом продукты могут быть выделены в чистом виде. Примером практического осуществления такого метода может служить технология, предложенная японской фирмой Tokuyama Soda. Диоксид кремния высокой чистоты и регулируемым размером зерна (1–20 мкм для волоконной оптики и 1–100 мкм для полупроводниковой электроники) получают взаимодействием тетрахлорида кремния с водой, входящей в состав жидкого абсорбента. Регулирование размера частиц осуществляют разбавлением инертным газом паров тетрахлорида кремния, контактирующих с водосодержащим абсорбентом. Основные области применения тетрахлорида кремния и некоторых его производных приведены в табл. 4.

Однако с начала 2000-х годов объемы производства ПКК для каждого конкретного производителя по методу «Сименс-ТХС» выросли настолько, что утилизировать таким образом «избыточный» ЧХК стало технически и экономически невозможно.

Встала задача использования «избыточного» ЧХК вновь в производстве ПКК. Тогда метод «Сименс-ТХС» разделился на две разновидности: «Сименс DC» и «Сименс HC». Отводимые из реактора продукты процесса водородного восстановления необходимо было полностью регенерировать в процессах конденсации и разделения смеси ( $\text{SiHCl}_3 + \text{SiCl}_4$ ). Соответственно, реализуются два подхода к работе со значительными количествами  $\text{SiCl}_4$ ,

попутно образующимися после водородного восстановления ТХС:

- конверсия избыточного  $\text{SiCl}_4$  в ТХС в специальных реакторах-конверторах (так называемый метод «Сименс-DC»):



- подача обратного  $\text{SiCl}_4$  в реактор исходного синтеза ТХС (так называемый метод «Сименс-HC»):



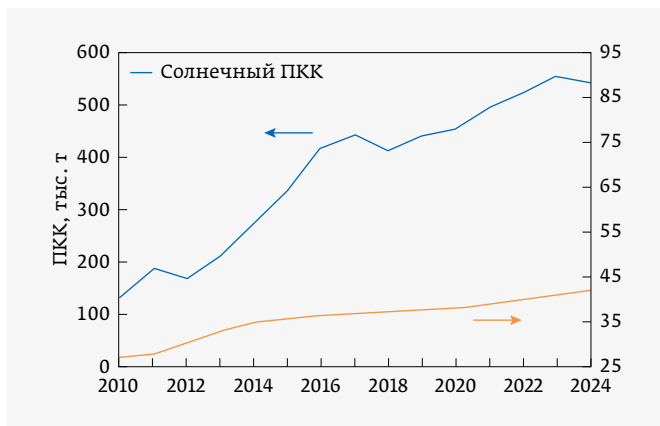
Оба эти подхода в настоящее время в равной степени используются ведущими производителями ПКК [3, 4].

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА ПКК

С целью минимизировать производственные затраты, производители ПКК резко разграничили качество производимого ими материала для разных целей. Так, появились понятия:

- ПКК для производства мультикремния методом «литья» или solar grade for multicrystalline cells (multi grade): с чистотой 99,99999% (7N) – 99,999999% (8N);
- ПКК для производства монокремния методом Чохральского или solar grade for monocrystalline cells (mono grade): с чистотой от 9N до 11N;
- ПКК электронного качества или electronic grade for semiconductors: с чистотой от 11N и более;
- ПКК «электронного» качества производится и потребляется около 35–40 тыс. т в год. Потребление ПКК «солнечного» качества превысило 500 тыс. т в год (рис. 2).

Качество электронного ПКК и самого чистого ПКК солнечного качества, также предназначенного для получения монокристаллов методом Чохральского, тем не менее, заметно отличается (табл. 5).



**Рис. 2.** Потребление ПКК солнечного и электронного качества, история и прогноз

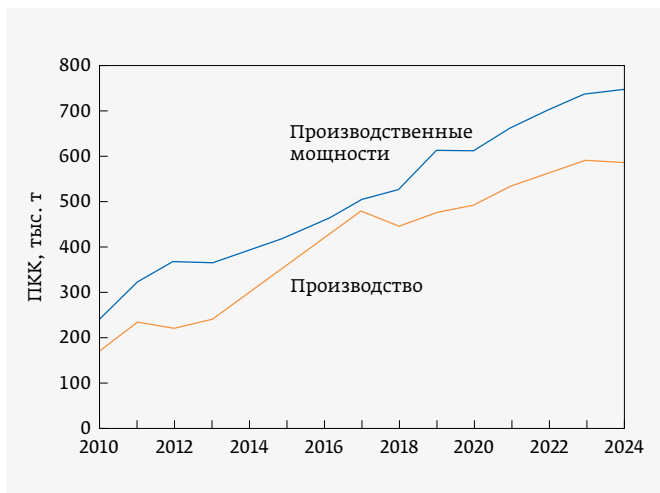
Производственные мощности по производству ПКК за последние два десятилетия выросли в несколько раз. Период бурного роста часто приводил к значительному переизбытку мощностей, что сопровождалось падением цен (рис. 3).

В 2021 году рынок характеризовался некоторым снижением избыточных мощностей и ростом цен (до 30–40 долл. / кг) после долгого периода их падения (10–15 долл. / кг).

Но в целом, предложение будет превышать спрос еще несколько лет, хотя ожидается, что цены на ПКК стабилизируются после 2023 года (рис. 4). Существуют прогнозы, что в 2025 году мировые производственные мощности превысят 2,5 млн т, а производство ПКК – 2 млн т.

### ОСНОВНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ ПКК

За последние три-четыре года ландшафт мира производителей ПКК кардинально изменился. Традиционные лидеры производителей ПКК-компаний: OCI (Ю. Корея), Wacker (Германия), Hemlock (США), REC (Норвегия-США), Tokuyama (Япония), SunEdison (бывшая MEMC Electronic Materials, США) ушли с первых строчек как по объемам выпускаемой продукции, так и по показателям эффективности. Правда, следует учесть, что эти компании, а также японские Tokuyama



**Рис. 3.** Рост производственных мощностей по выпуску и фактическое производство ПКК (солнечного+ электронного качества) на 2004–2024 годы. Источник: Bloomberg

**Таблица 5.** Параметры ПКК солнечного и электронного качества

	ПКК электронного качества (Electronic grade)	ПКК солнечного качества (solar mono-grade)
Назначение	Производство микроэлектронных и силовых приборов на основе монокристаллов	Производство фотоэлектрических преобразователей на основе монокристаллов
Доля основного вещества	>99,99999999 (>11N)	99,999999–99,999999999 (8–11N)
Доноры	(P, As, Sb) (n-тип, $\rho \geq 1\,000\ \text{ом}\cdot\text{см}$ ) $\leq 0,05\ \text{ppba}$	(P, As, Sb) (n-тип, $\rho \geq 500\ \text{ом}\cdot\text{см}$ ) $\leq 0,1\ \text{ppba}$
Акцепторы	(B, Al) (p-тип, $\rho \geq 9000\ \text{ом}\cdot\text{см}$ ) $\leq 0,03\ \text{ppba}$	(B, Al) (p-тип, $\rho \geq 5\,000\ \text{ом}\cdot\text{см}$ ) $\leq 0,05\ \text{ppba}$
Углерод (C);	$\leq 0,1\ \text{ppma}$	$\leq 0,2\ \text{ppma}$
Металлы:		
• в объеме (Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, Na);	$\leq 0,5\ \text{ppbw}$	$\leq 0,5\ \text{ppbw}$
• на поверхности (Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, Na)	$\leq 1\ \text{ppbw}$	$\leq 1\ \text{ppbw}$
Время жизни основных носителей заряда (на пробном монослитке)	>400 мкс	$\geq 250\ \text{мкс}$

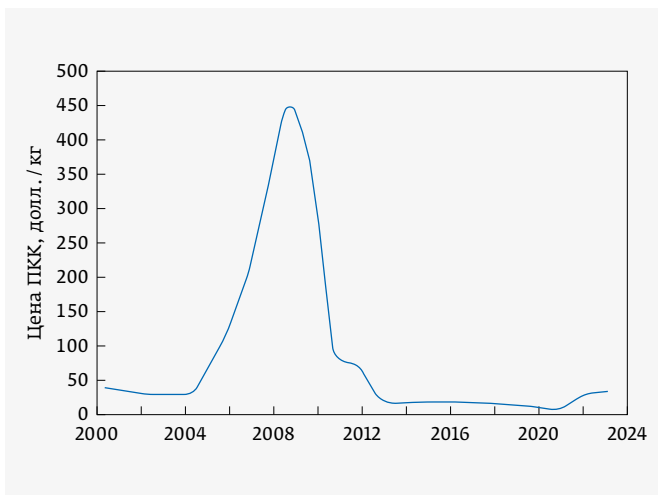


Рис. 4. Динамика и прогноз цен на ПКК 2000-2024 годы. Источник: EnergyTrend

и Mitsubishi – основные производители более затратного и более дорогого ПКК «электронного» качества (рис. 5).

В 2019–2021 годах ситуация еще более изменилась. По оценкам, в 2021 году мировое производство ПКК составило 575 тыс. т, из них Китай – 470 тыс. т (81%) (рис. 6).

Следует ожидать, что после 2022 года доминирование китайских производителей ПКК в мире производителей солнечного ПКК только усилится.



Рис. 6. Производители ПКК в 2020-2021 годах

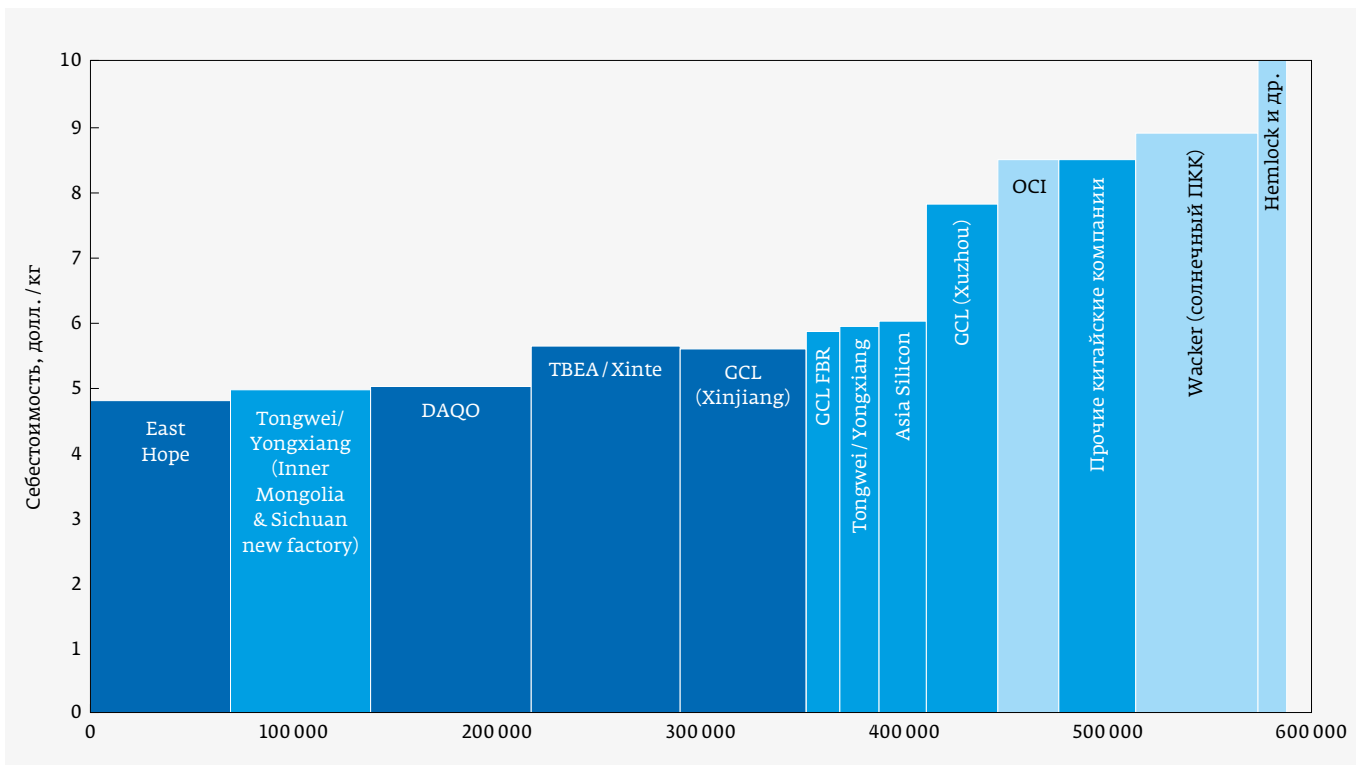


Рис. 5. Эффективность и производственная мощность основных производителей ПКК в 2021 году

Еще в 2012–2013 годах в Китае многие производители ПКК сократили объемы производства, остановили производство или обанкротились, что объясняли сохраняющимся разрывом эффективности производства на отдельных производствах ПКК в Китае по сравнению с уровнем технологий «старых производителей» США, Германии и пр. Этот разрыв в последние годы кардинально сократился благодаря развитию в стране технологий рекуперации отходов из реактора газов, построению производства с низким уровнем энергопотребления. Так, компания Daqo New Energy Corp еще в 2017 году одной из первых объявила о сокращении операционной себестоимости (cash cost) производства ПКК до 8,95 долл./кг.

В Соединенных Штатах Америки из трех производителей ПКК – Hemlock Semiconductor Group, SunEdison (MEMC Electronics) and Renewable Energy Corp. – остался только Hemlock. Суммарные мощности компании для ПКК «солнечного» качества составили 18 тыс. т.

В Германии компания Wacker Chemie нарастила мощности до 84 тыс. т.

Среди корейских компаний-производителей осталась только компания OCI (бывш. DC Chemical) с мощностями 27 тыс. т.

Поликремний в Японии производили четыре компании: Tokuyama, Mitsubishi, OSAKA Titanium Technologies и M. SETEK. Производил ПКК «солнечного» качества только M. SETEK, причем все его производственные мощности также расположены в Китае. Данных о сегодняшнем состоянии этих компаний нет. Представляется, что сохранились только производители ПКК «электронного» качества Tokuyama, Mitsubishi

Стоит заметить, что в последние годы резко проявилась тенденция «вертикализации» китайских компаний, что ведет к немалой вероятности появления больших проблем с приобретением ПКК на рынке по приемлемой цене – большую часть новых мощностей китайские компании планируют «под себя».

Производство поликремния в России имеет долгую историю. Еще в 1957 году в Подольске появилось первое опытное производство ПКК и тогда же там вырастили первый монокристалл кремния. А промышленное производство было организовано на Красноярском заводе цветных металлов (КЗЦМ) в начале 1960-х годов. Объем производства составлял 15 т/год. Затем производство было организовано на Запорожском титаномагниево-комбинате (ЗТМК). Поскольку на комбинате был собственный хлор и опыт работы с ним, то уже в начале 1970-х годов на предприятии был создан крупномасштабный цех по производству поликремния. Впоследствии география расширялась: эту технологию воплощали как в СССР: Чирчикский электрохимический комбинат, Донецкий химико-металлургический завод, Таш-Кумырский завод полупроводниковых материалов, так и в КНР: Сычуаньская научно-техническая кремневая

компания в городе Лэшань, Ичанский и Хух-Хотский заводы по производству поликристаллического кремния. Проектной организацией выступал Государственный институт редких металлов (Гиредмет). Однако в России проекты производства ПКК до сих пор терпели неудачу.

## РЫНОК СКС

Существуют два основных типа кварцевого стекла: натуральное кварцевое и синтетическое кварцевое. Натуральное кварцевое стекло – это кварцевое стекло, изготовленное из предварительно очищенного натурального кристалла или порошка кремнезема (кварцевого песка) путем плавления при высокой температуре. Синтетическое кварцевое стекло изготавливается из четыреххлористого кремния, кислорода и водорода. Улучшение чистоты кварцевого стекла достигается глубокой очисткой ЧХК и водорода.

По методике изготовления кварцевое стекло подразделяется на четыре типа:

- Тип I – производится из природного кварца методом электрической плавки и практически не содержит ОН-групп, но содержит относительно высокую концентрацию металлических примесей (до 100 ppm).
- Тип II – производится из измельченного кристаллического кварца в водородно-кислородном пламени (процесс Вернейля). Содержит меньше металлических примесей, чем стекло типа I, но существенно больше гидроксильных групп.
- Тип III – производится гидролизацией хлорида кремния  $\text{SiCl}_4$  в водородно-кислородной горелке, практически не содержит металлических примесей, но концентрация гидроксильных групп в стекле достигает 1000 ppm, также стекло содержит примеси хлора.
- Тип IV – также производится из хлорида кремния, но в пламени плазменной горелки, не содержащем водяного пара, что позволяет достичь минимального уровня примесей ОН-групп и металлов и меньшей концентрации примесей хлора, чем у стекла типа III. Стекло кварцевое оптическое абсолютно однородно, не содержит пузырьков. Благодаря этой особенности материал используется при производстве оптических кабелей высокоскоростной передачи данных (ВОЛС), оптических линз и призм. Метод высокотемпературного гидролиза тетрахлорида кремния также применяется в производстве изделий из высокочистого синтетического кварца: тиглей, лодочек, труб, оптических изделий. Отличительной особенностью синтетического кварца, полученного из тетрахлорида кремния, является его предельно высокая чистота. Сумма примесей – (алюминий, железо, кальций, бор и др.) в горном хрустале максимальной чистоты значительно превышает сумму этих примесей в синтетическом кварце.

Приглашаем Вас 22-24 ноября 2022 г.  
на наш стенд на выставке «Электроника России»  
(МВЦ «Крокус Экспо», Москва, Красногорск)



ПРОЕКТИРОВАНИЕ



ГЕНЕРАЦИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ



КОНТРОЛЬ  
ФОТОШАБЛОНОВ



РЕМОНТ  
ФОТОШАБЛОНОВ



ФОТОЛИТОГРАФИЯ



КОНТРОЛЬ  
ПЛАСТИН



СБОРКА ИЗДЕЛИЙ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

### ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластина – шаблон



### КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом D2DB, D2D
- Высокая производительность
- Контроль неплоскостности



### РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный лазер
- 0.15/ 0.3/ 0.5  $\mu\text{m}$  min элемент
- Размер шаблона до 9"x9"
- Ремонт копированием
- Ремонт через пелликл
- Прозрачные / непрозрачные дефекты



### БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0.35, 0.6  $\mu\text{m}$
- Высокая точность совмещения
- $\varnothing 200, 150, 100$  мм



### СТЕППЕРЫ

- Проектная норма 0.35, 0.8  $\mu\text{m}$
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 200, 150, 100$  мм
- Твердотельный источник света



### КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



### КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



### АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



### ЗОНДОВЫЙ КОНТРОЛЬ

- $\varnothing 200, 150, 100$  мм
- $\pm 4\mu\text{m}$  погрешность контактирования
- Ручное / полуавтоматическое / автоматическое оборудование



### РАЗДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИН И ПОДЛОЖЕК

- $\varnothing 300, 200, 150, 100$  мм
- 2 независимые зоны разделения в одной установке
- 2.4 кВт мощность электрошпинделя
- Полуавтоматическое / автоматическое оборудование



### МОНТАЖ КРИСТАЛЛОВ И ВЫВОДОВ МИКРОСХЕМ

- Термозвуковая сварка
- Ультразвуковая сварка
- Контактная сварка



*Создаем  
традиции  
будущего*

- Единое таможенное пространство
- 60 лет опыта в разработке и производстве прецизионного оптико-механического и сборочного оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства, высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами

220033, Республика Беларусь, г. Минск, Партизанский пр-т 2, корп. 2-31;  
факс.: +375 17 226-12-05; тел.: +375 17 297-37-09; www.planar.by, office@kbtem-omo.by

**ОТДЕЛ МАРКЕТИНГА**  
(Оптико-механическое оборудование)  
тел.: (+375 17) 223-71-28, kbtem.omo@gmail.com

**ОТДЕЛ МАРКЕТИНГА**  
(Оборудование подготовки кристаллов к сборке)  
тел.: (+375 17) 223-22-26, planar\_ovep@kbtem.by



planar.by



Таблица 6. Основные производители СКС

Наименование	Выручка, млрд долл.	Капитализация, млрд долл.
Furukawa Electric Co Ltd	8,27	187
Prysmian Spa	11,2	8,45
Corning Incorporated	12,1	28,3
Kaile Science and Technology Co Ltd Hibe	15	12
Sumitomo Corporation	49,9	14,4
Fugikura Ltd (Япония)	0,106	112,9
Tongding Interconnection Information Co	0,502	5,9
Sterline Technologies (Индия)	0,703	64,5
Futong Technology	0,848	0,168
Yngtze Optical Fiber andCable YSC	1,1	18
Fiberhome Telecommunication Co (Китай)	3,51	29
Hengtoug Optic-Electric Co (Китай)	4,6	28,8
Yiangsu Zhongtion Technologies (Китай)	5,51	33,4

В России основное количество высококачественного кварцевого сырья добывается на Урале. В Республике Коми расположено крупнейшее в России месторождение прозрачного жильного кварца Желанное (>80% российских запасов). Также известно Таштыбутакское месторождение жильного кварца в Нагайбакском районе Челябинской обл. Имеются запасы жильного кварца в Ханты-Мансийском автономном округе. В Восточной Сибири разведаны и оценены кварцевые месторождения: Мало-Чипехетское, Гоуджекитское, Чулбонское, кварц

Патомского нагорья. Месторождения кварцитов: Антоновское, Черемшанское, Баническое. Разведаны в регионе Восточной Сибири: Право-Иликтинское, Сарминское, Халхазур-Ангинское (Куртунское), Уватское.

Мировой рынок СКС характеризуется наличием крупных участников с высокой капитализацией и оборотом (табл. 6).

История и прогноз рынка СКС представлены на рис. 7. Следует подчеркнуть, что это только рынок производителей, торгующих СКС на рынке. Здесь не учтены объемы СКС, выпускаемого для собственных нужд, например, производителями ВОЛС. История и прогноз развития мирового рынка ВОЛС приведены на рис. 8.

\*\*\*

Реализация независимого собственного цикла производства микроэлектроники – задача стратегическая

для России в современных условиях. Стратегия развития электронной промышленности России предусматривает рост производства отечественной электроники с 3 до 9 трлн руб. к 2030 году.

Мы предлагаем приступить к созданию предпроекта комплексного производства ПКК и СКС с использованием метода утилизации избыточного ЧХК через высокотемпературный гидролиз и попутным производством изделий из СКС в различных формах. Балансировку потоков избыточного ЧХК возможно при необходимости

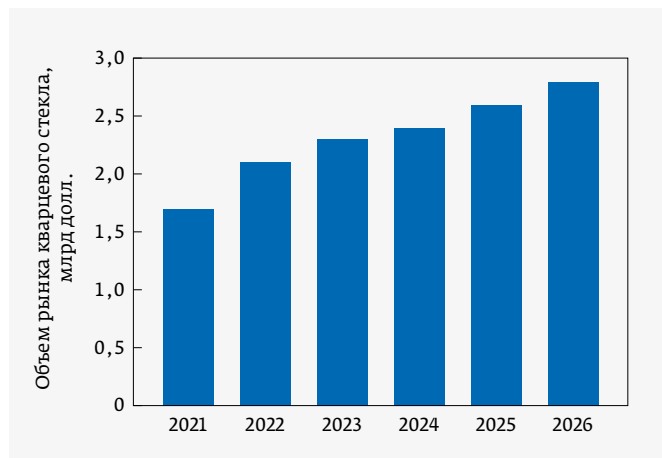


Рис. 7. Рост рынка кварцевого стекла и прогноз.

Источник: ТЕХСЕТ

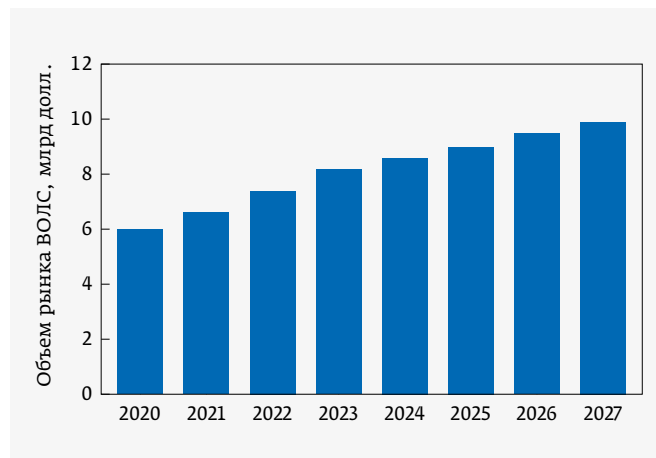


Рис. 8. История и прогноз развития мирового рынка ВОЛС.

Источник: Omida

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:

- Правительство Омской области
- Администрация города Омска
- ОРО ООО «Союз машиностроителей России»
- Омская Ассоциация промышленников и предпринимателей Омской области
- Представительство ГК «Ростех» в Омской области
- Союз «Омская Торгово-промышленная палата»

 **ИнтерСиб**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

**ОМСК-ЭКСПО**  
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

**21-22 марта**  
**ОМСК**  
**2023**

**XXII СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ**

**ПРОМТЕХЭКСПО**

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**СВЯЗЬ • IT - ТЕХНОЛОГИИ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

**ИЗМЕРЕНИЯ • СВАРКА • ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ**

**ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ • ИНЭКСПО ЭНЕРГОСИБ, СИБМАШТЭК**



(3812) 23-23-30



e-mail: [expoomsk@yandex.ru](mailto:expoomsk@yandex.ru), [gd.intersib@yandex.ru](mailto:gd.intersib@yandex.ru)

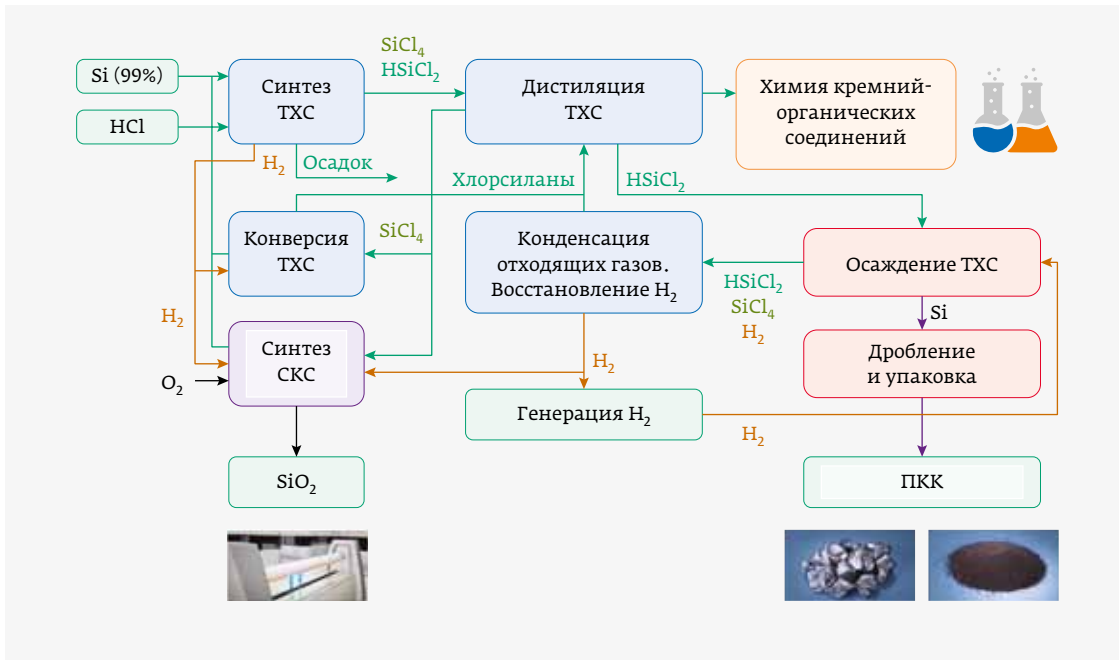


Рис. 9. Схема предлагаемого комплексного производства ПКК и СКС (укрупненно)

осуществлять с применением технологии «Сименс-DC» или «Сименс-НС». Тщательный расчет требуемых количеств ПКК и СКС с учетом Программы развития, а также материальных потоков хлорсиланов является первоочередной задачей предпроекта.

Предлагаемый нами предпроект комплексного производства ПКК и СКС будет предусматривать производство «Сименс-методом» ПКК электронного качества, ПКК солнечного качества (при необходимости) и СКС в разных формах (опорные трубы для ВОЛС, крупногабаритная оптика для специальных целей и пр.) (рис. 9).

Часть технологических звеньев предлагаемой схемы предпроекта не нова и проверена на практике. Разработанная в Советском Союзе (Подольский ХМЗ) технология получения синтетических кварцевых тиглей, базирующаяся на высокотемпературном гидролизе тетрахлорида кремния, очищенного до суммарного содержания примесей  $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-7}$  % (по массе), позволяет получать материал с уровнем суммарного содержания примесей не более  $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-5}$  (по массе). В соответствии с технологией высокотемпературного гидролиза высококачественный дисперсный диоксид кремния с размером частиц 0,1–100 мкм образуется в гидролизующем факеле, как и при производстве аэросила.

Этот диоксид напыляется на формообразующую оправку из инертного материала, расположенную в зоне факела на расстоянии 80–120 мм от отверстия горелки. Сформированную таким образом пористую заготовку изделия подвергают затем уплотняющему спеканию при 1400–1500 °С с одновременной корректировкой формы изделия. Сходным образом можно получать заготовки, из которых после их спекания получают опорные трубы для производства волоконно-оптических линий связи. При использовании кварца для волоконной оптики особое

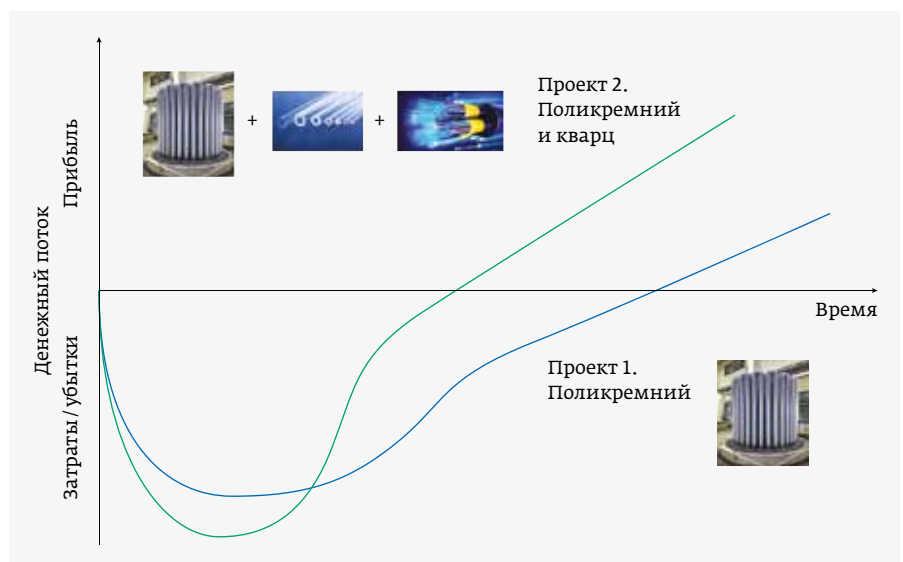


Рис. 10. Сравнительные графики финансовых затрат и возврата средств традиционного проекта производства ПКК и проекта производства ПКК+СКС (условно)

значение имеет содержание в нем гидроксильной группы, существенно снижающей светопроводимость кварцевого волокна. Содержание гидроксила в синтетическом кварце, полученном в факеле водородсодержащего газа (водород, метан и др.), составляет  $(1-5) \cdot 10^{-2} \%$  (по массе).

Следует отметить, что подобный подход резко улучшает технико-экономические показатели проекта (рис. 10).

До 2021 года решение вопроса развития производства ПКК в России блокировалось низкой внутренней потребностью (700–800 т в год) и низкими мировыми ценами, которые делали нереалистичным создание производства, ориентированного на экспорт. То же самое можно сказать о СКС. Сегодня ситуация меняется. Это позволяет заявить, что отечественная микроэлектроника приблизилась к порогу, который делает жизненно необходимым реализацию внутри РФ всей технологической цепочки производства. В свою очередь, реализация производства позволит дать импульс по смежным направлениям (производство комплектующих и расходных материалов, чистых вспомогательных материалов, технологических газов и многое другое). Кроме того, обоснованным будет и производство оборудования для этих задач, поставки которого проблематичны из-за санкционных ограничений. Краеугольной задачей, безусловно, будет являться создание производства ПКК – продукта, выпуск которого

прекратился с распадом СССР и так и не возобновился в последующие годы. В настоящее время в России, наконец, сформировались условия для осуществления этого амбициозного и наиважнейшего для полупроводниковой индустрии проекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Наумов А. В., Орехов Д. Л., Кульчицкий Н. А.** Прогресс в технологиях полупроводникового кремния (обзор) // Успехи прикладной физики. 2022. Т. 10. № 1. С. 32–49. <https://doi.org/10.51368/2307-4469-2022-10-1-32-50>.
2. **Наумов А. В., Орехов Д. Л.** Новый этап развития рынка поликристаллического кремния // Известия вузов. Материалы электронной техники. 2022. 25(1). С. 23–38. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2022-1-23-38>.
3. **Митин В. В., Кох А. А.** // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2017. Т. 20(2). С. 99. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2017-2-99-106>.
4. **Критская Т. В., Шварцман Л. Я., Додонов В. Н., Кравцов А. А.** Новые направления модернизации технологии кремния полупроводниковой чистоты // XIII Междунар. конф. по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, наноразмерных структур и приборов на его основе («Кремний-2020»). Ялта, 21–25 сентября 2020 г. С. 27.

**АСТРОН**  
Оптико-механическое конструкторское бюро

**ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**  
140080, МО, г. Лыткарино, ул. Парковая, д.1; тел: +7 (495) 215-13-82; info@astrohn.ru, www.astrohn.ru