



# Презентация Silicon Products Group

# 1. Информация о Silicon Products Group

Опытный игрок в области технологии производства кремния с большой историей



2014

Основание Silicon Products Engineering GmbH

2013

Возобновление производства

Выкуп менеджментом производства в г. Биттерфельде

Основание Silicon Products Bitterfeld GmbH&Co.KG

2013

Основание Silicon Products Research Engineering Production GmbH

2012

Кризис в промышленности фотоэнергетики

2011

Выпуск кремния на полную производственную мощность

2009

Начало производства кремния солнечного качества (выпуск первого кремния)

2008

Завершение механических работ на производстве в г. Биттерфельд

2006

Старт проекта по производству поликремния «Солнечный кремний» в г. Биттерфельд

2002

Слияние Crystalox Solar и PV Silicon в PV Crystalox Solar

1997

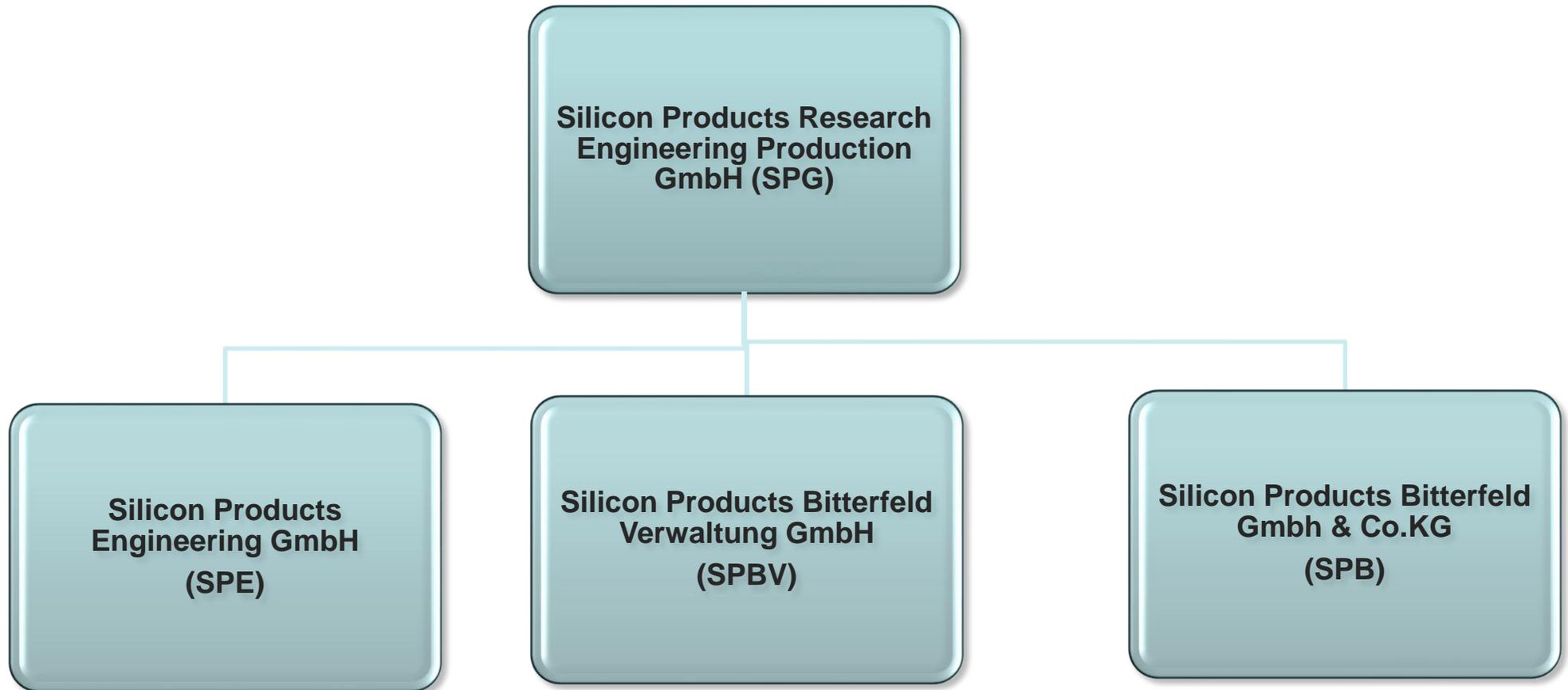
Основание PV Silicon в г. Эрфурт (Германия)

1990

Разработка технологии производства мультикристаллического кремния

1982

Основание Crystalox, Wantage (Соединенное Королевство)



## Инжиниринг

- Консалтинг
- Разработка исходных данных – базового инжиниринга для заводов по производству кремния, отдельных переделов производства, а также индивидуального производственного оборудования.
- Продажа оборудования: конверторов, Сименс CVD реакторов с серебряным покрытием внутренней поверхности, систем для производства тонких прутков-подложек, систем для глубокой очистки хлорсиланов.
- Симуляция производственных процессов (осаждения из газовой фазы, кинетики), реализуемых в аппаратах и установках
- Исследования внештатных ситуаций и рисков
- Сравнительный анализ конкурентоспособности технологии производства и применяемого оборудования
- Оптимизация технологических процессов



## НИОКР

- Производство кремния: процессы и оборудование
- Исследования примесного состава
- Качество конечного продукта/ методы анализа
- Новая технология производства монокремниевых пластин из трихлорсилана « EPI lift-off technology»
- Вторичное использование кремния



## Производство

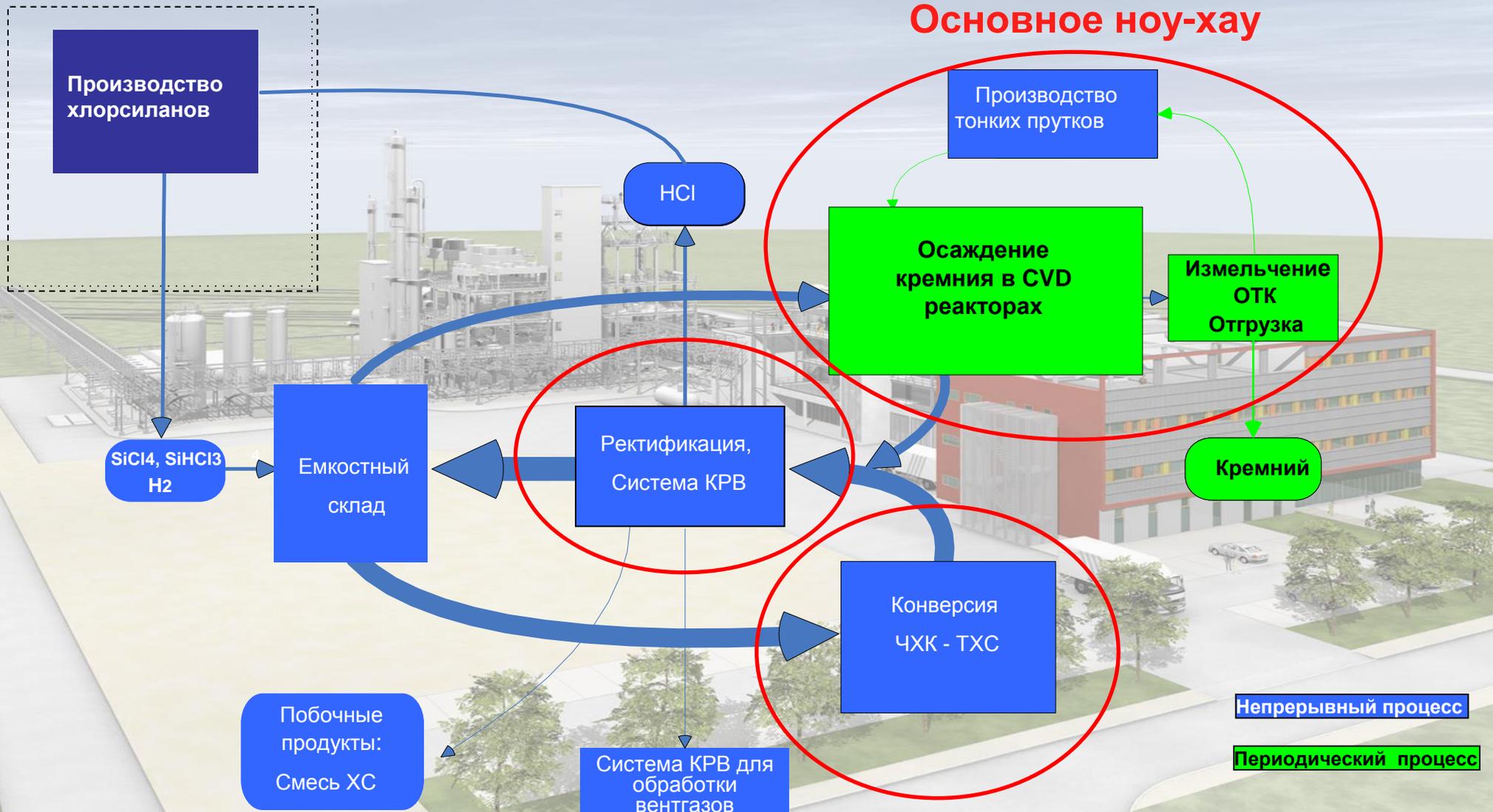
- Поликристаллический кремний для производства мульткристаллического кремния
- Поликристаллический кремний для производства монокристаллического кремния
- Поликристаллический кремний для процесса бестигельной зонной плавки (БЗП) и получения кремния микроэлектронного качества методом Чохральского
- Побочные продукты (тонкие прутки-подложки, трихлорсилан, четыреххлористый кремний, гексахлордисилан)





<b>Выпускаемая продукция:</b>	кремний
<b>Мощность производства:</b>	1800 т/ год
<b>Капзатраты:</b>	прибл. 120 млн. Евро
<b>Технология:</b>	Сименс-процесс
<b>Персонал:</b>	около 85

## Основное ноу-хау





Silicon Products – важное звено в сети снабжения хлорсиланами в Химическом Парке г. Биттерфельд.



## **2. Производство поликремния солнечного и электронного качества**

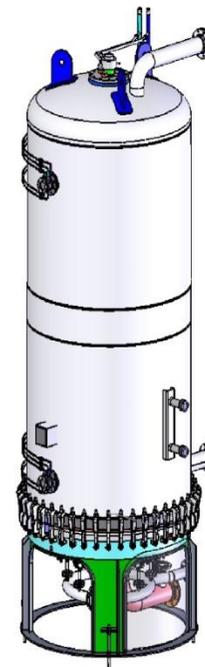


## Спецификация

Описание	Значение	Единицы измерения
Длина кремниевых стержней	до 3.200	мм
Диаметр осаждаемых кремниевых стержней	150 - 180	мм
Масса осажденного кремния за 1 рабочий цикл	до 3,5	тонн/ цикл
Удельное энергопотребление	< 45	кВт/ кг Si
Толщина серебряного покрытия	от 1,5 до 3	мм
Горячая вода на охлаждение		
Расчетная температура	200	°C
Типичная температура в ходе процесса	до 165	°C
Смотровые стекла	3	



*Поликремниевые стержни после осаждения из газовой фазы*

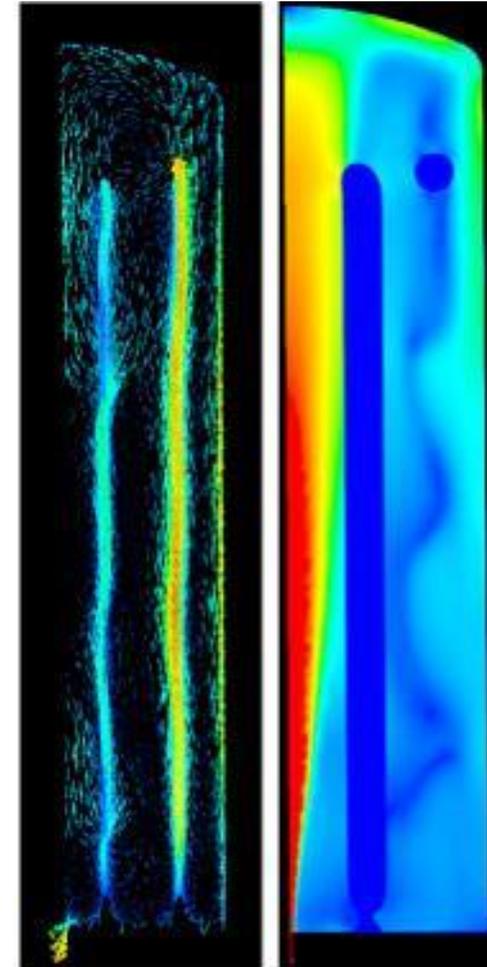


*Схематическое изображение Сименс-реактора*

**Возможно производство реакторов в соответствии с индивидуальными требованиями заказчика**

## Разработка технологического процесса

- Температурная и динамическая симуляция с целью оптимизации процесса осаждения.
- Заданное удельное энергопотребление в процессе осаждения: < 45 кВт/кг кремния
- Оптимизация процедуры старта процесса во избежание перелома тонких прутков
- Улучшение контакта электрод – тонкий пруток-подложка
- Высокая степень автоматизации контроля процесса осаждения из газовой фазы с целью снижения используемого персонала и повышения воспроизводимости результатов



*Температурная и динамическая симуляция процесса осаждения из газовой фазы*

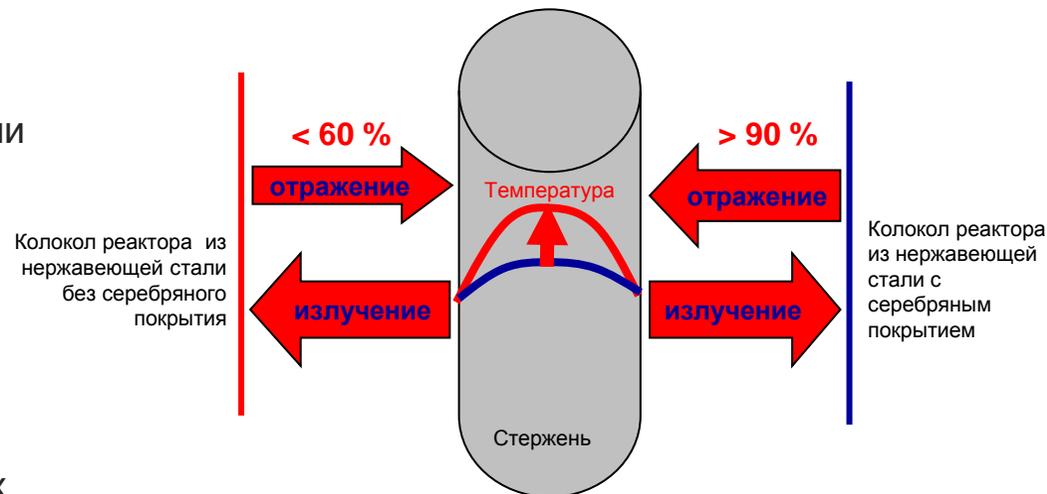
## Преимущества:

### Экономические преимущества:

- Экономия электроэнергии благодаря снижению потерь при отражении в реакторе составляет >50%.
- Увеличение диаметра осаждаемых стержней пропорционально снижению потерь при отражении (до 180 mm).
- Более легкая и менее интенсивная процедура очистки колокола реактора.

### Качественные преимущества :

- Снижение концентрации дендритов на поверхности стержней → повышение чистоты
- Уменьшение термических напряжений в стержнях → снижение разломов стержней при разгрузке реактора.
- Минимизация загрязнения осаждаемого кремния примесями материала аппаратуры по сравнению с реактором из нержавеющей стали
- Повышенное отражение → улучшение распределения излучения → повышение гомогенности структуры материала стержней.



*Сравнение отражения от поверхности стенок реактора с (вид справа) и без (вид слева) серебряного покрытия*

## Преимущества серебряного покрытия внутренней поверхности реактора:

### Эффективное использование энергии/ Вторичное использование энергии

- Внутренняя поверхность колокола реактора покрыта слоем серебра
- Теплообменник- трубка Либиха
- Водяная рубашка охлаждения с циркуляцией воды с высокой температурой

### Повышенная производительность реактора

- Длина стержней до 3200 мм
- Диаметр стержней до 180 мм
- Производительность до 3700 кг за один цикл

### Повышенное качество кремния

- Снижение термических напряжений в стержнях
- Снижение концентрации дендритов на поверхности стержней
- Равномерный диаметр осаждаемых стержней
- Отсутствие трещин на поверхности



*Производство кремния*

### Основные показатели:

- Скорость роста стержня по диаметру– до 1,9 мм/час
- Скорость осаждения кремния– до 30 кг/час
- Молярное соотношение  $H_2/ТХС$  – 3,5 моль/моль

Применяя один и тот же технологический процесс и оборудование SP Group успешно производит кремний солнечного и микроэлектронного качества для различных областей применения :

- Мультикристаллический кремний для фотоэнергетики,
- Монокристаллический кремний для фотоэнергетики и
- Поликристаллический кремний для микроэлектроники (для процессов БЗП и Чохральского).



*Вид структур стержней из поликремния солнечного и микроэлектронного качества*

## Важные аспекты при производстве высокочистого кремния:

### Подготовка реактора

- Чистота

### Качество исходных материалов

- ТХС, H<sub>2</sub>
- Тонкие прутки
- Графитовые держатели

### Процесс

- Процедура старта
- Молярное соотношение ТХС/H<sub>2</sub>
- Профиль массовых потоков
- Температурный профиль

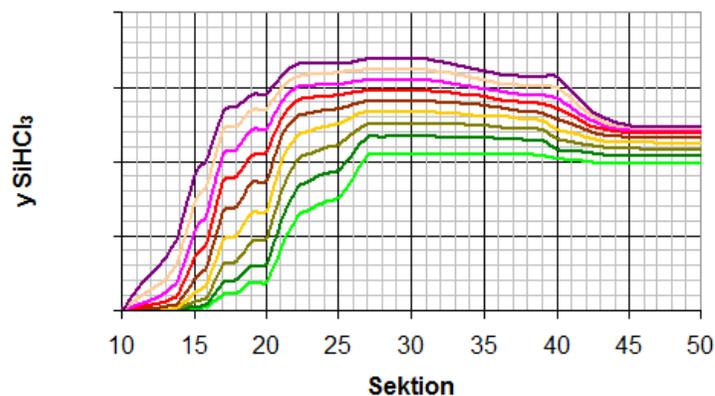
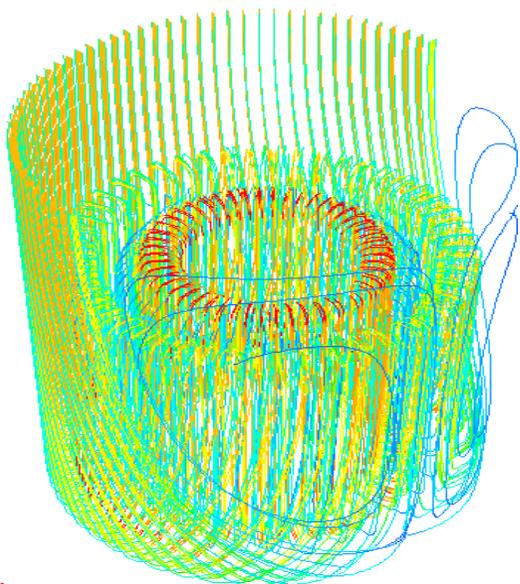
### Процедура остановки реактора

- Газовая фаза
- Температурный профиль

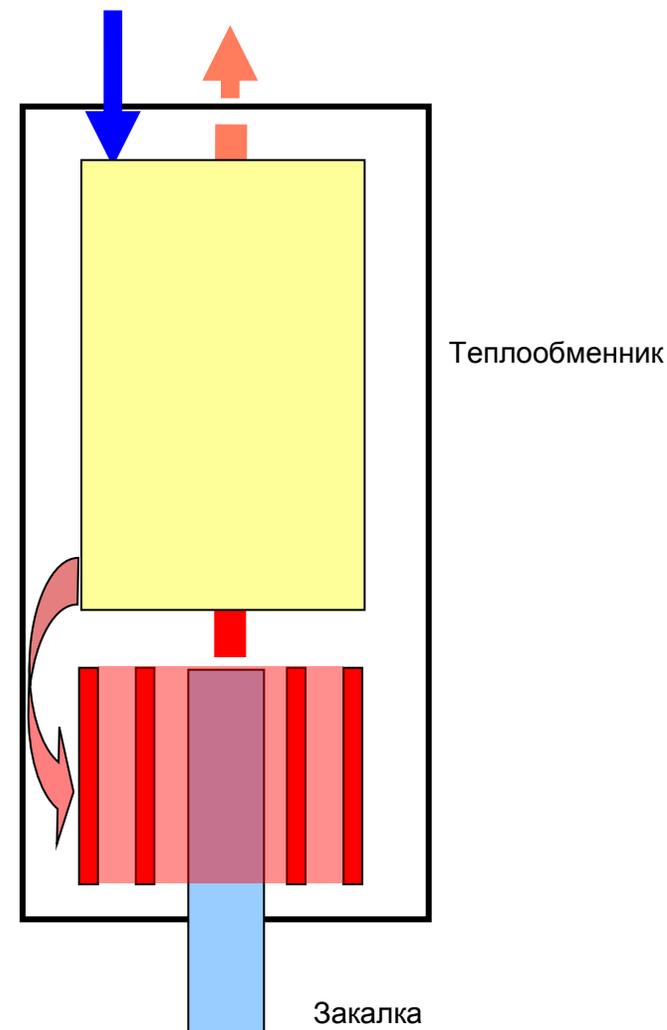
### Оборудование

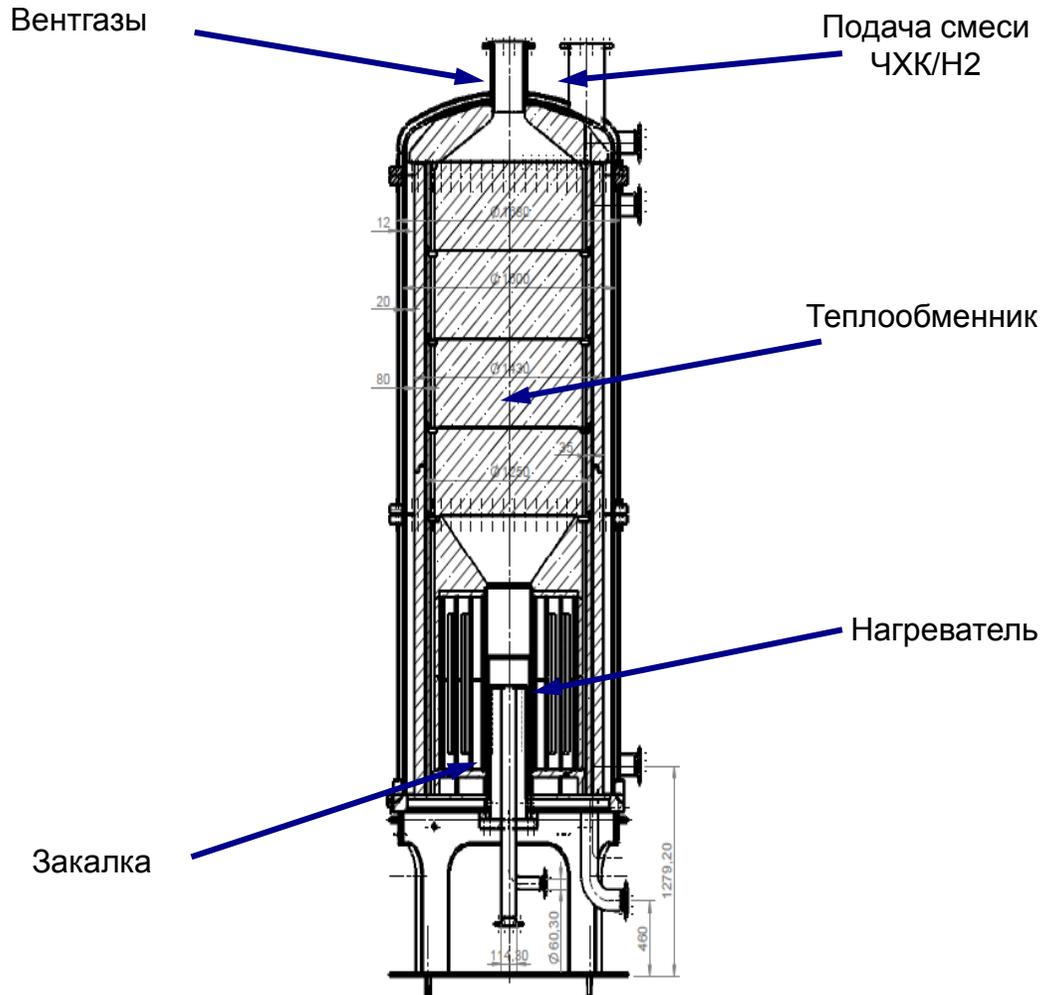
- Колокол с серебряным покрытием
- Конфигурация форсунок
- Энергоснабжение
- Дизайн графитовых держателей

- Новый конвертор собственной разработки
- Высокий выход целевого продукта ТХС
- Низкое энергопотребление < 0,8 kWh/kg TCS
- Высокая пропускная способность до 15.000 кг/час ЧХК
- Высокая рекуперация энергии



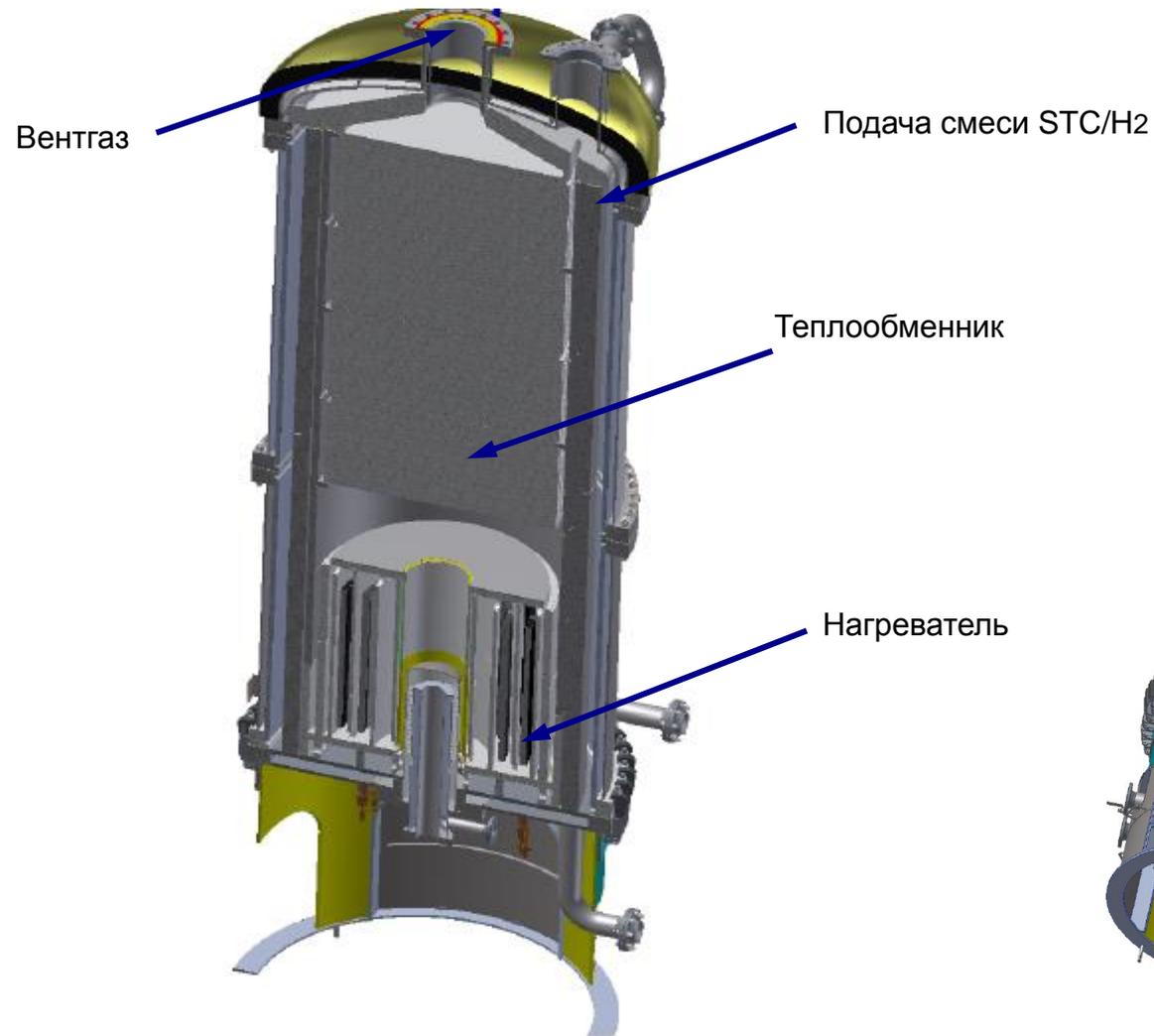
STC + H<sub>2</sub>      STC + TCS + HCl + H<sub>2</sub>



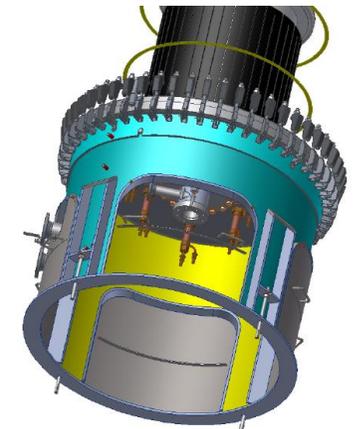


Схематическое изображение конвертора 1го поколения

Многолетний производственный опыт SP Group позволил накопить глубокие знания процесса конверсии ЧХК в ТХС, что, в свою очередь обеспечило успешную разработку и внедрение в производство усовершенствованного высокоэффективного конвертора второго поколения.

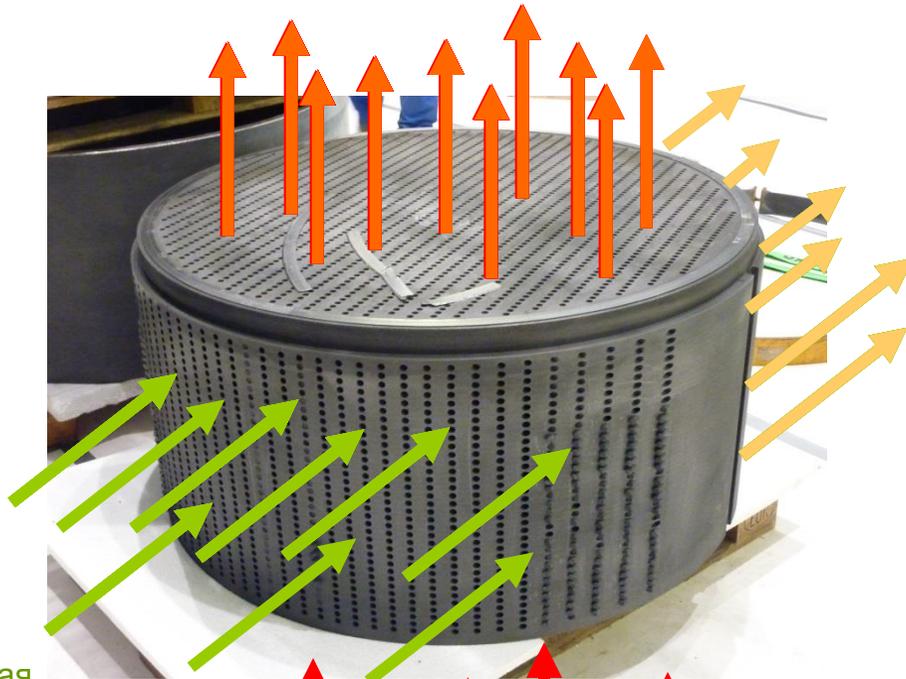


Вид конвертора в разрезе

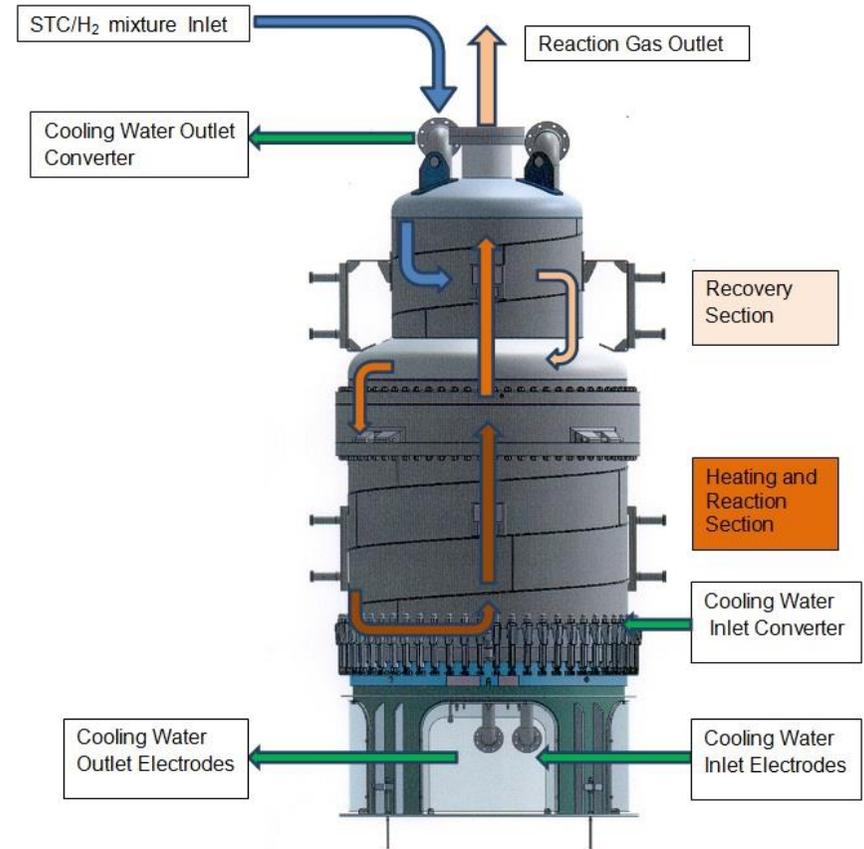


Вид графитового нагревателя

Горячие отходящие газы



Холодная исходная смесь





Графитовый нагреватель (вид спереди)

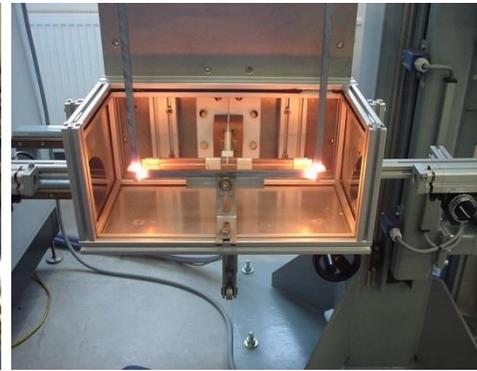


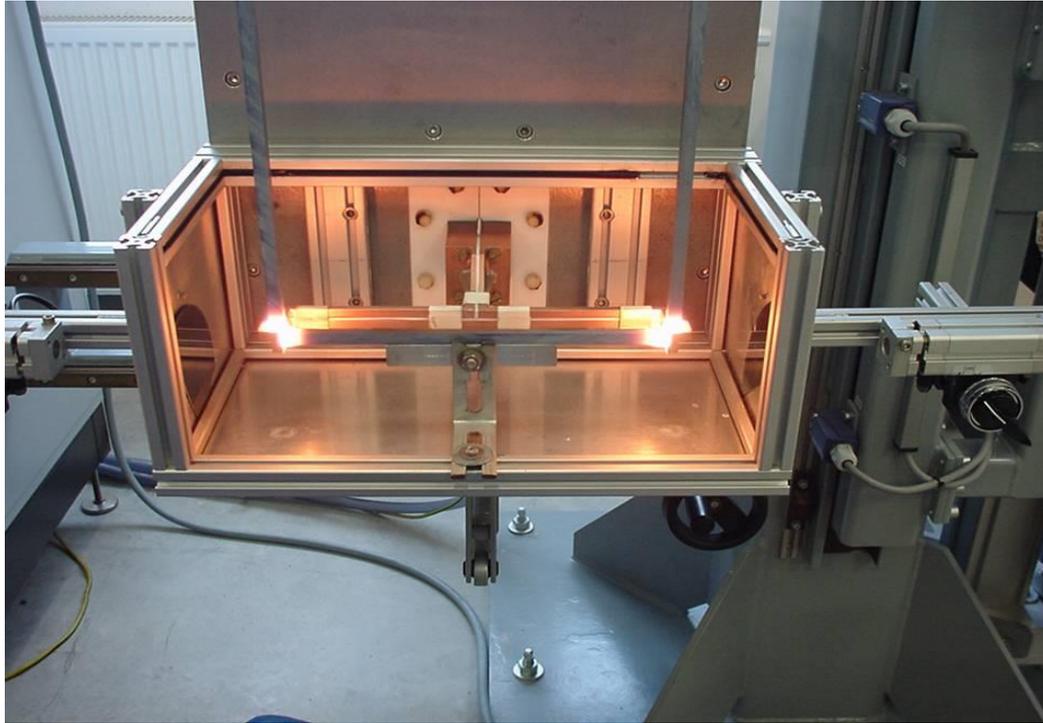
Общий вид открытого конвертора, нагреватели и направляющие цилиндры

В сотрудничестве с: MSA Apparatusconstruction for Chemical Equipment Ltd.

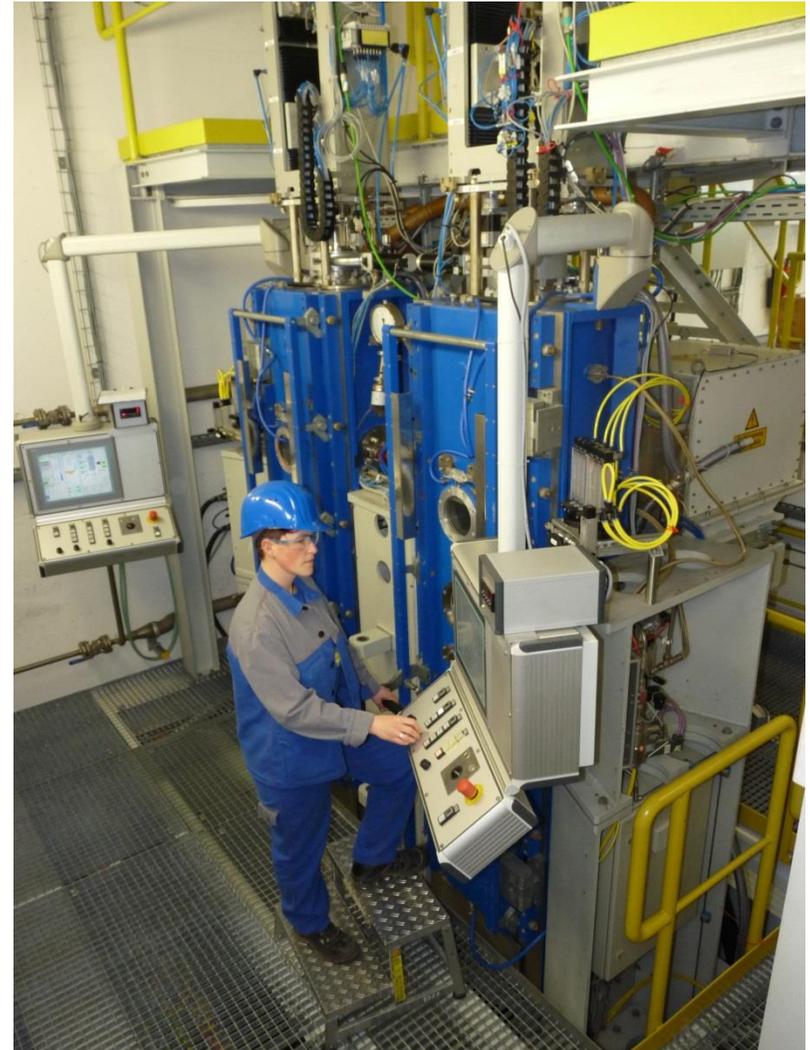
## Преимущества собственной разработки:

- Одновременное вытягивание до 6 тонких прутков из одного питающего стержня
- Бесконтактная плавка питающего стержня
- Вытягивание тонких прутков до 3200 мм.
- Наблюдение с помощью видеокамеры с целью контроля диаметра стержня и скорости вытягивания
- Системы для сварки линейных и U-образных тонких прутков





*Сварка тонких прутков*



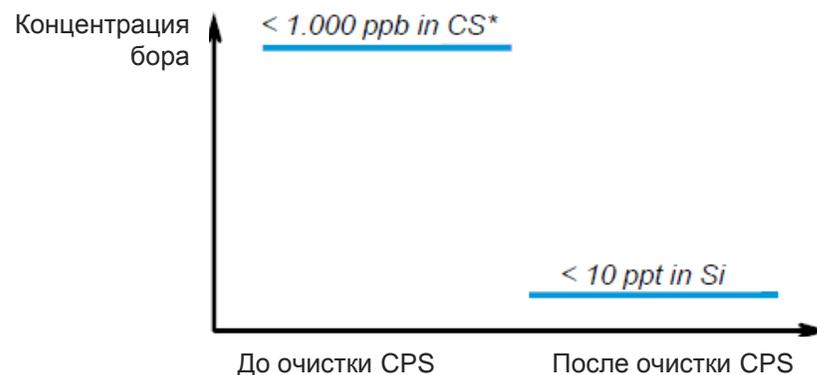
*Производство тонких прутков*

### **3. Производство высокочистых хлорсиланов**

Цель глубокой очистки хлорсиланов – получение кремния электронного качества



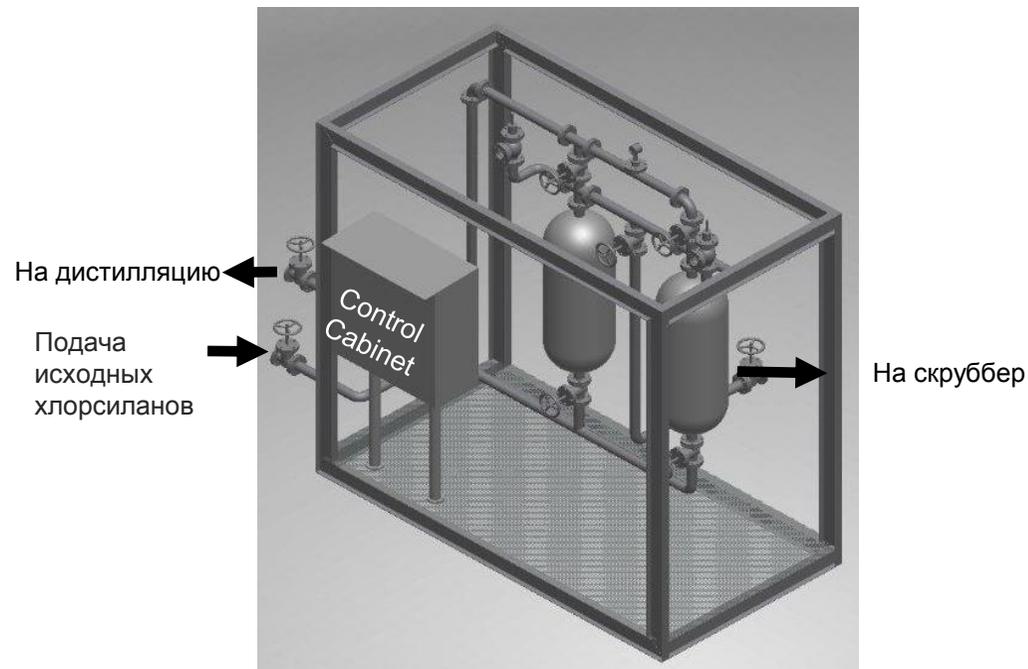
Результаты глубокой очистки



Глубокая очистка хлорсиланов от примеси бора очень важна для получения высокочистого кремния. SP Group располагает собственной разработкой – системой для очистки хлорсилана от примеси бора (CPS), полностью интегрируемой в производственный процесс как на вновь вводимых в эксплуатацию, так и на существующих предприятиях по производству хлорсиланов и поликремния.

## Преимущества системы CPS:

- Система не привносящая собственных примесей в материал
- Тщательно продуманная технология
- Успешное применение в течение длительного периода
- Надежный дизайн и простота в эксплуатации
- Простота в оснащении существующих систем системой CPS
- Надежность в работе в широком диапазоне производственных параметров
- Простота в изготовлении систем большей производительности
- Низкие себестоимость и энергопотребление



*Общий вид системы*



## 4. Производство поликремния для БЗП

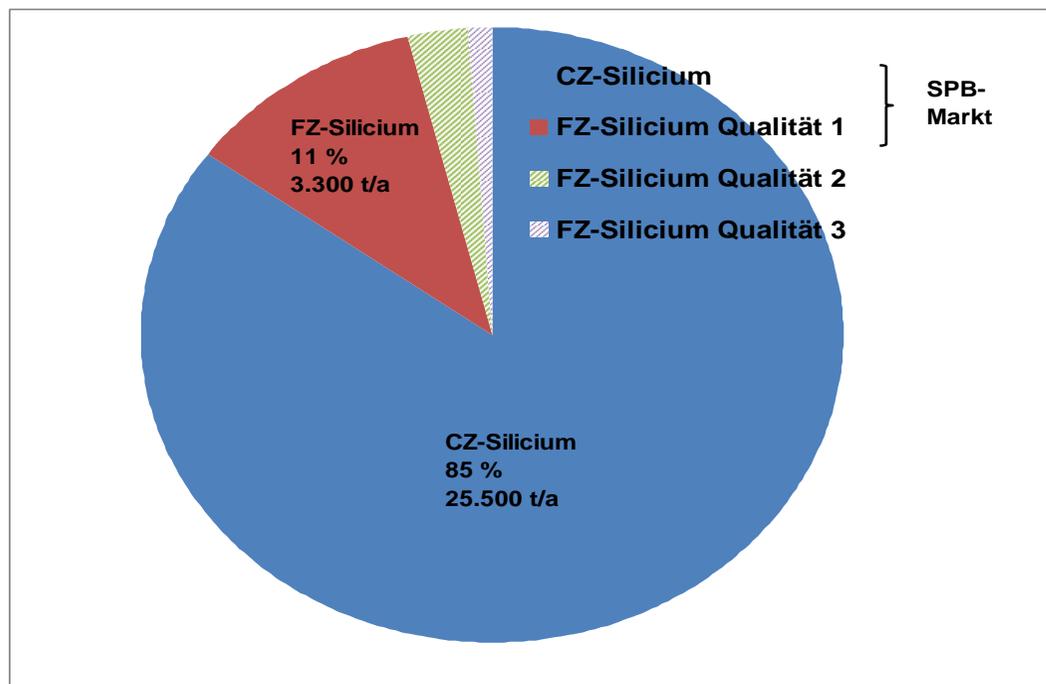
## Производство кремния для процесса бестигельной зонной плавки БЗП(FZ) в Сименс CVD реакторе



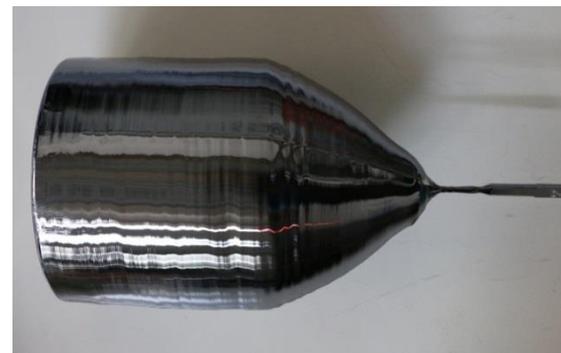
### Важные аспекты при производстве поликремния для БЗП:

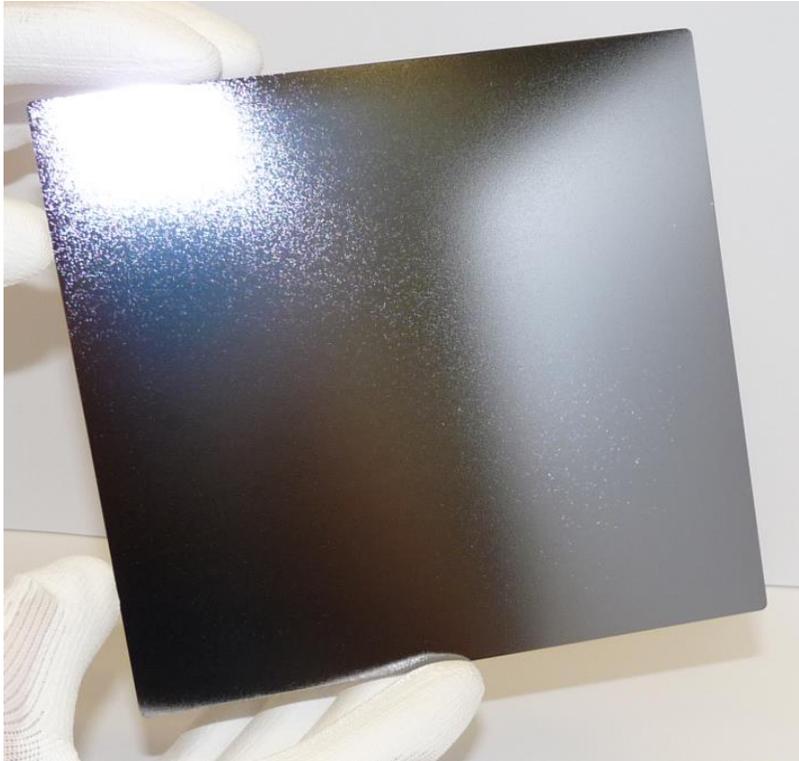
- Геометрия и структура стержня, морфология поверхности
- Низкое внутреннее напряжение кремниевых стержней
- Чистота (легирующие примеси, примеси металлов и неметаллов, содержание частиц)

Статус: Процесс БЗП отработан у потенциальных заказчиков.  
Партнеры : Fraunhofer CSP, Institut für Kristallzüchtung, заказчики  
Рынок: около 35.000 т/год, рыночная цена: 35 – 150 долларов США/кг



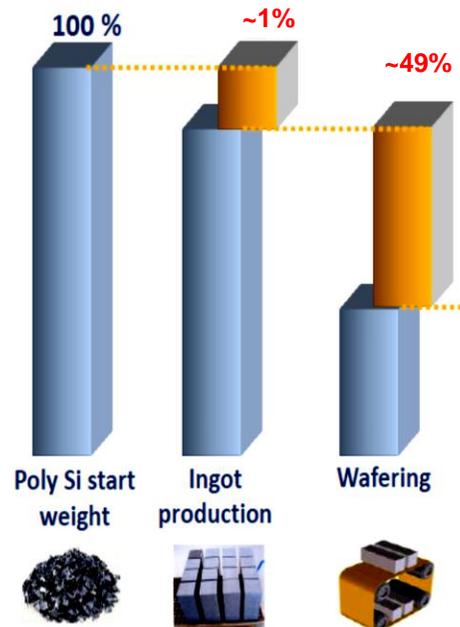
Исследование: Sage Concept 2013





## 5. Научно-исследовательская деятельность

В производстве кремниевых пластин до сих пор доминирует традиционная технология резки кремниевых слитков на пластины



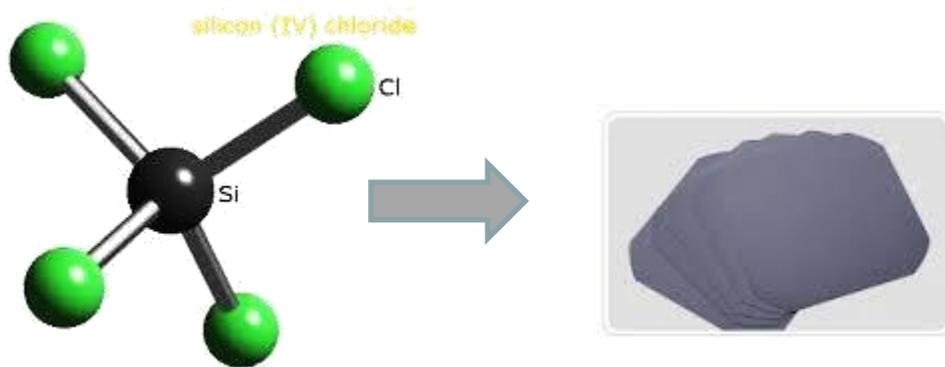
Потери кремния при применении традиционной технологии составляют ~50%

Источник: Garbo, рев. 2014 SPB

Производство кремния:	Siemens CVD	>90% доля на рынке
Кристаллизация моно/ мультикремния:	Czochralski/VGF	100 (40/60)% доля на рынке
Производство пластин:	Многопроволочная резка	100% доля на рынке

Мотивация: Производство кремниевых пластин без потерь материала

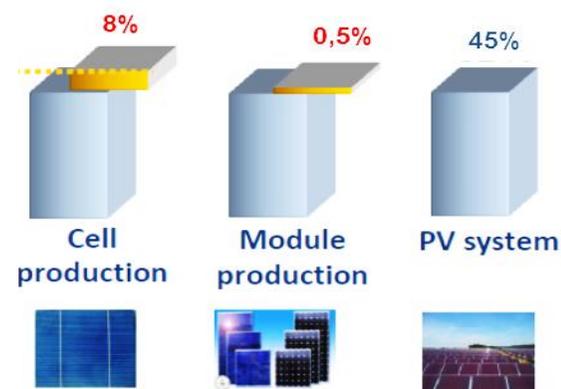
Проект: Производство пластин из газовой фазы «gas-to-wafer technology»



## Gas-to-Wafer/ Epi lift-off Technology

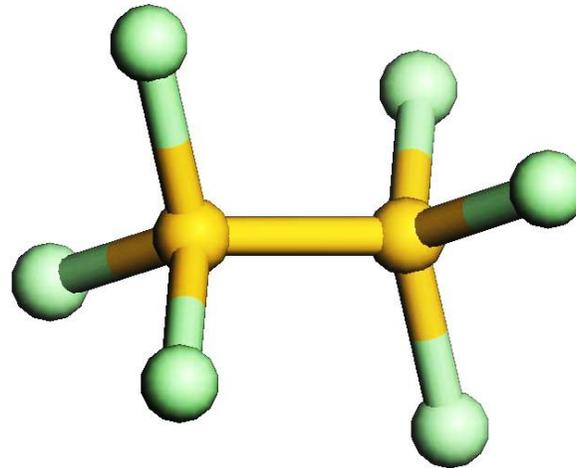
осаждение кремния на подложку из газовой фазы

Сокращение ~~~57%~~ потерь кремния



Источник: Garbo, PHOTON's 10th Solar Silicon Conference, Berlin 03/2012, рев. 2014 SPB

Производство:	10 тонн на складе (смесь) имеется в наличии
Статус:	Отработка концепции на лабораторном уровне, разделение и очистка
Партнеры по проекту:	TU Bergakademie Freiberg, потенциальные заказчики
Экономический потенциал:	Продажная цена гексахлордисилана - до 1000 €/kg
Рынок:	Исходный материал для эпитаксиальных процессов

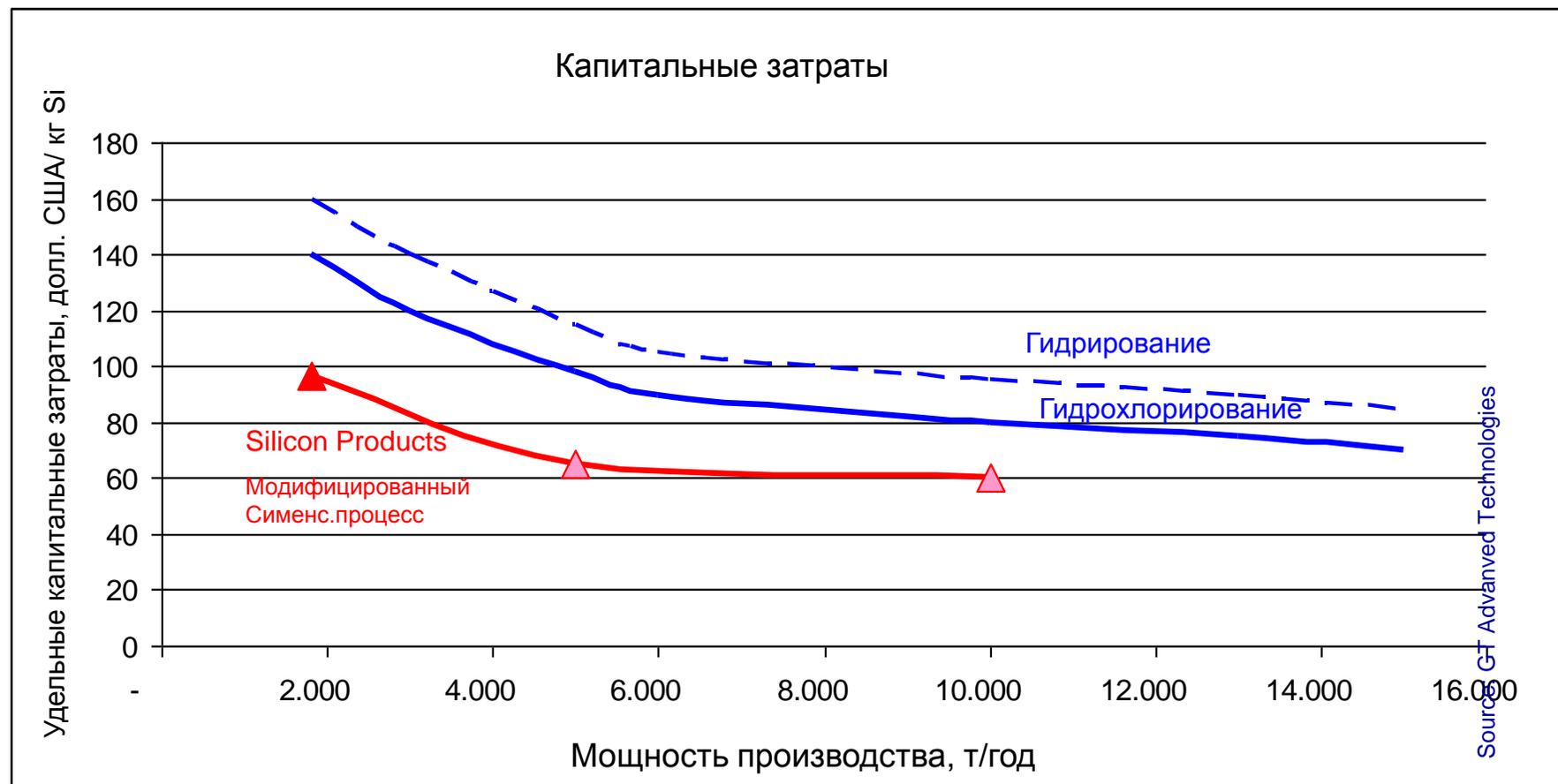


## **6. Технология и инжиниринг производства поликремния**

**Silicon Products Group имеет многолетний практический опыт в области технологии и инжиниринга заводов по производству поликремния.**

- Реализация технологии производства кремния на собственном вновь построенном заводе в г. Биттерфельд , Германия
- Инжиниринг завода по производству кремния электронного качества в Китае
- Поставщик инженерных решений и материалов одного из крупнейших проектов в регионе Ближнего Востока и Северной Африки





- Инжиниринг основного технологического оборудования: конверторов с высокой пропускной способностью и низким энергопотреблением, CVD Сименс реакторов, обеспечивающих высокую стабильность процесса осаждения поликремния, высокий выход конечного продукта, низкое энергопотребление.
- Оптимизация качества выпускаемой продукции в соответствии с требованиями заказчика
- Выбор оптимальной площадки для строительства предприятия

## Silicon Products Group – опытный и надежный партнер

- SP Group располагает многолетним практическим опытом в производстве кремния. В фокусе – качество, выход и снижение себестоимости конечного продукта
- SP Group диверсифицирует спектр продукции и делает для себя доступными новые рынки, к примеру поликремний для процессов Чохральского и бестигельной зонной плавки (БЗП), а также гексахлордисилан для микроэлектроники
- SP Group располагает технологической экспертизой высокого уровня.
- SP Group обладает ноу-хау для основных переделов технологии производства кремния
- SP Group имеет собственное научно-исследовательское подразделение и работает над новыми проектами, в частности производство кремниевых пластин методом непосредственного осаждения кремния из трихлорсилана на пластину (Epi lift-off technology)
- SP Group разработана и оптимизирована технология для крупномасштабного производства поликремния, позволяющая достигать себестоимости производства менее 15 долларов США/кг).



**Thank you very much for your attention**