

# СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ КРЕМНІЮ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ЧИСТОТИ

Викладач: д.т.н., професор Критська Тетяна Володимирівна

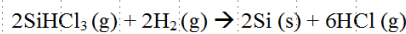
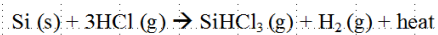
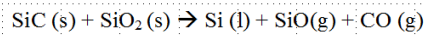
**Метою** дисципліни «Сучасні технології кремнію напівпровідникової чистоти» є ознайомлення з існуючою ситуацією щодо проблем світового виробництва напівпровідникового кремнію, зокрема з методами рафінування металургійного кремнію, удосконалення Siemens-процесу та одержання монокристалів за методами Чохральського, безтигельного зонного плавлення та електронно-променевого очищення розплавів.

По завершенню навчання по даній дисципліні, студенти повинні:

**Знати:**

- технології одержання кремнію напівпровідникової якості, стосовно до потреб регіональних виробництв;
- основні сировинні ресурси (кварцити, вуглецеві відновлювачи, енергетичні добавки до шихти);
- технологічні схеми одержання кремнію для мікроелектроніки, силової електроніки, фотовольтаїки та спеціальних використань.

## ОСНОВНІ РЕАКЦІЇ ОДЕРЖАННЯ КРЕМНІЮ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ЯКОСТІ



**Production of Ingots & Wafers**

Crystalline silicon technologies for PV

**Pulling of Single Crystals (Czochralski)**  
Labels: heating, single crystal, liquid silicon, crucible

**Casting of Silicon Blocks**  
Labels: Inductive heating, liquid silicon, columnar crystallized silicon, columnar liquid / solid interface

**Bridgman Solidification**  
Labels: Inductive heating, liquid silicon, columnar crystallized silicon, liquid / solid interface

**Heat Exchange Method**  
Labels: liquid / solid interface, heating, liquid silicon, columnar crystallized silicon, heat sink

**Edge defined Film fed Growth**  
Labels: casting speed, Si melt (rectangle), solid/liquid interface plane, casting frame, liquid silicon

**Ribbon Growth on Substrate**  
Labels: speed of solid/liquid interface plane, casting frame, casting speed, liquid silicon, solid/liquid interface plane, substrate

Graphics courtesy W. Koch  
Fraunhofer ISE Institut Solare Energiesysteme  
PV Tutorial, ICDS-XXIV 2007

1. ИЗ ПЕСКА1-Баженов [Режим совместимости] - Microsoft PowerPoint

Главная Вставка Дизайн Анимация Показ слайдов Рецензирование Вид

Вырезать Копировать Вставить Буфер обмена

Мaket - Восстановить Удалить Слайды

Направление текста Выводить текст Преобразовать в SmartArt

Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты для фигур

Найти Заменить Выделить

Предупреждение системы безопасности Ссылки на внешние рисунки заблокированы Параметры...

Слайды Структура

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

### Этапы получения пластин для солнечной энергетики

Спект

Река слитка на блоки

Река блоков на пластины

Пластины

Кристаллизация

Нагревание

Плава поликристаллической

Полукристаллической

Заметки к слайду

Слайд 30 из 35 "Оформление по умолчанию" Русский (Россия)

22:54 31.01.2023

Современные технологии получения кремния [Режим совместимости] - Microsoft PowerPoint

Главная Вставка Дизайн Анимация Показ слайдов Рецензирование Вид

Вырезать Копировать Вставить Буфер обмена

Мaket - Восстановить Удалить Слайды

Направление текста Выводить текст Преобразовать в SmartArt

Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты для фигур

Найти Заменить Выделить

Слайд 17 из 42 "Оформление по умолчанию" Русский (Россия)

14 15 16 17 18 19

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Технологии кремневых ФЭП	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
На основе mono-Si (CZ)	34%	27%	33%	36%	37%	38%	40%
На основе «квази-монов»	0%	0%	1%	7%	14%	19%	23%
На основе мульти-Si	47%	58%	55%	50%	42%	36%	29%
Тонкопленочные	18%	13%	10%	7%	7%	7%	8%
Ленточные	1%	2%	1%	0%	0%	0%	0%

Заметки к слайду

Слайд 17 из 42 "Оформление по умолчанию" Русский (Россия)

22:49 31.01.2023

Современные технологии получения кремния [Режим совместимости] - Microsoft PowerPoint

Главная Вставка Дизайн Анимация Показ слайдов Рецензирование Вид

Вырезать Копировать Вставить Буфер обмена

Мaket - Восстановить слайд - Удалить слайды

18 Шрифт

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt

Рисование

Заливка фигур - Контур фигур - Эффекты для фигур

Найти Заменить Выделить

16 17 18 19 20 21

Source: H. Aulich, PV Crystalox Solar, 2007

1995: 160 kg  
2004: 330 kg  
2008: 1000 kg

Dr. A. Müller, Deutsche Solar

500 x 600 mm<sup>2</sup> multicrystalline silicon wafer

УЭС, ТНВЗ →

Заметки к слайду

Слайд 19 из 42 "Оформление по умолчанию" Русский (Россия)

22:49 31.01.2023

Современные технологии получения кремния [Режим совместимости] - Microsoft PowerPoint

Главная Вставка Дизайн Анимация Показ слайдов Рецензирование Вид

Вырезать Копировать Вставить Буфер обмена

Мaket - Восстановить слайд - Удалить слайды

24 Шрифт

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt

Рисование

Заливка фигур - Контур фигур - Эффекты для фигур

Найти Заменить Выделить

17 18 19 20 21 22

C5 C4 C3 C2 C1

Квазимонокристаллы

Заметки к слайду

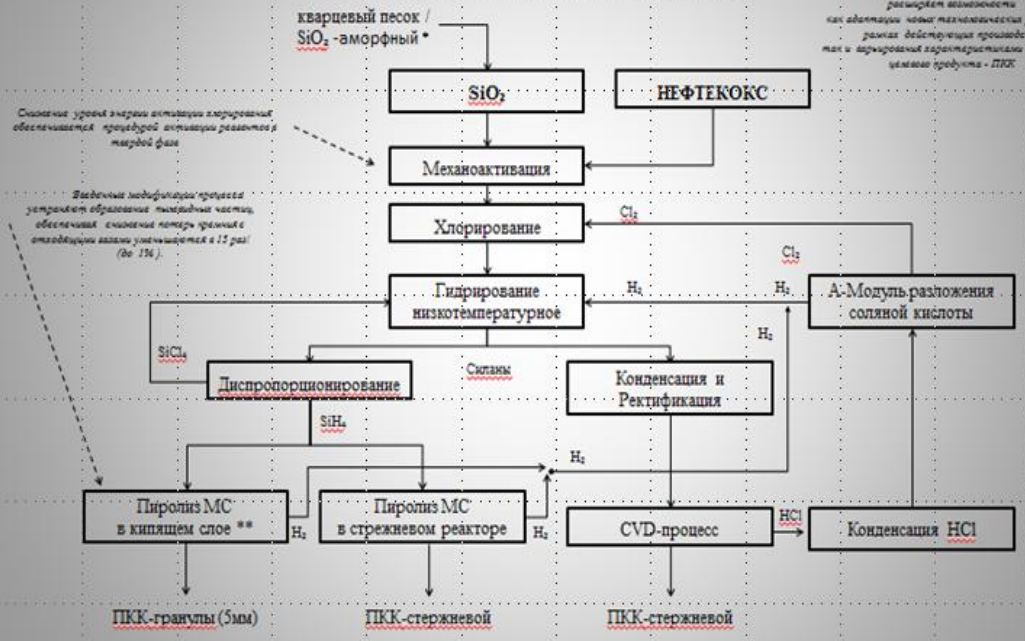
Слайд 20 из 42 "Оформление по умолчанию" Русский (Россия)

22:50 31.01.2023



Предлагаемая технология позволяет **отказаться от энергозатратной высокотемпературной операции карботермического восстановления кремния**.

Параллельно традиционной схеме расширяется возможность как адаптации новых технологических решений в рамках действующей производств, так и апробации перспективных направлений развития производства - ПКК.



Снижение уровня энергии активации хлорирования обеспечивает процедуру активации реагентов в твердой фазе.

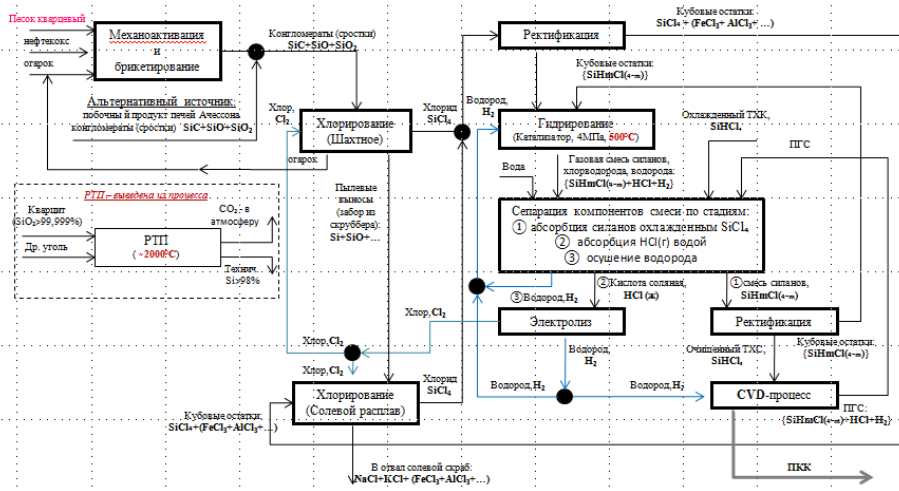
Введенные модификации процесса упрощают образование твердой части, обеспечивая снижение потерь времени в отводных камерах увеличивается в 15 раз! (до 15%).

SiO<sub>2</sub> - аморфный\* - побочный продукт выделения пустой породы (см. Схему обогащения руд)  
 Пиролиз МС в кипящем слое\*\* - модифицированный процесс с элементами ноу-хау.



## Вариант «базовый». Схема низкотемпературного гидрирования, интегрированного с CVD-процессом

CVD – chemical vapor deposition – химическое осаждение из газовой фазы = ПФХО;



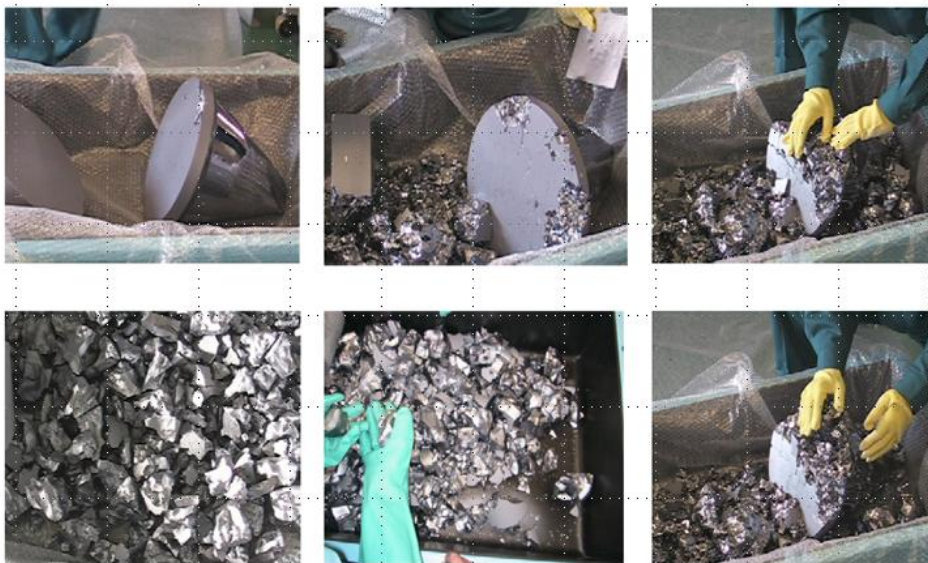
### УЧАСТОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ



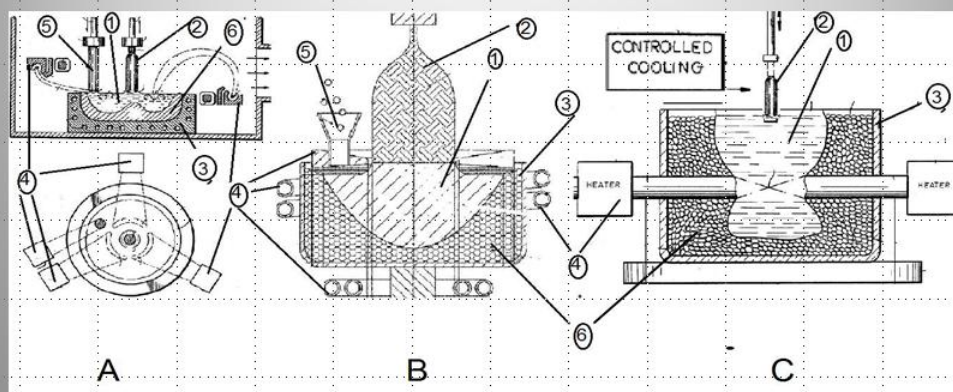
### Реактор кипящего слоя для производства гранулированного поликристаллического кремния



## Подготовка шихтовой загрузки при дроблении термически напряженных оборотов монокристаллов (Компания «PVA TePla»)



## Различные виды процессов вытягивания заготовки

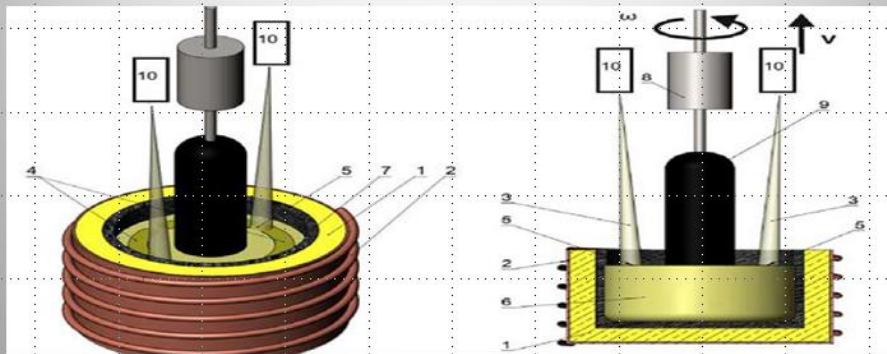


А - из холодного тигля; В- нагрев электрическим током; С - многократный индукционный нагрев;

1- расплав; 2-х сторонний кристалл; 3-тигель; 4-источник нагрева (А- электронный пучок; В- многовитковая катушка индуктивности; С- электрический ток); 5 – подпитка шихтой кремния; 6 – кремниевый гарнисаж



## Вытягивание с использованием электронного луча



1-холодный тигель; 2- изоляция; 3-электронный пучок; 4 - путь фокусировки на поверхности расплава; 5-очковые пятна; 6-расплав; 7- контейнер; 8-держатель заправки 9 – вытягиваемый кристалл; 10-электронно-лучевая пушка

Контроль полученных заготовок кремния методом масс-спектропии показал уровень чистоты по основным фоновым примесям, достаточный для последующего выращивания монокристаллов для целей создания СПП и специальных детекторов. Концентрация кислорода находится на уровне  $(4-5) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  (FTIR, ASTM F 1188).

### ***Вітми:***

- оцінювати існуючі методи за показником орієнтуватись у факторах розмірності мікро- та нанооб'єктів;
- порівнювати особливості процесів, що є загальними для мікро- і нанопроцесів, та оцінювати їх відмінності;
- проводити вибір основного технологічного обладнання (вакуумне, електротермічне, вимірювальне) для виробничого циклу конкретного виробу.