



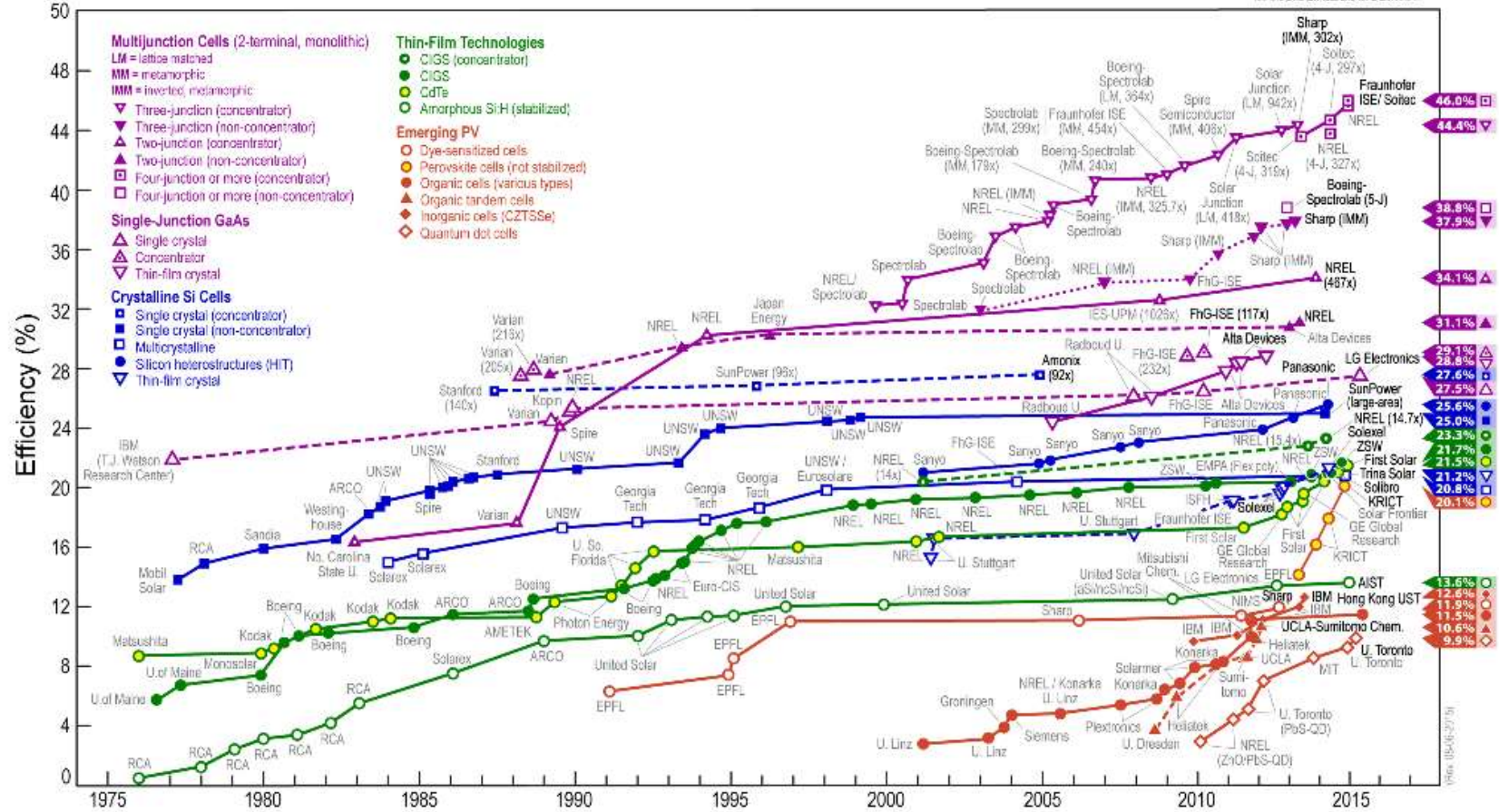
Перспективные технологии повышения энергетической и экономической эффективности солнечных преобразователей

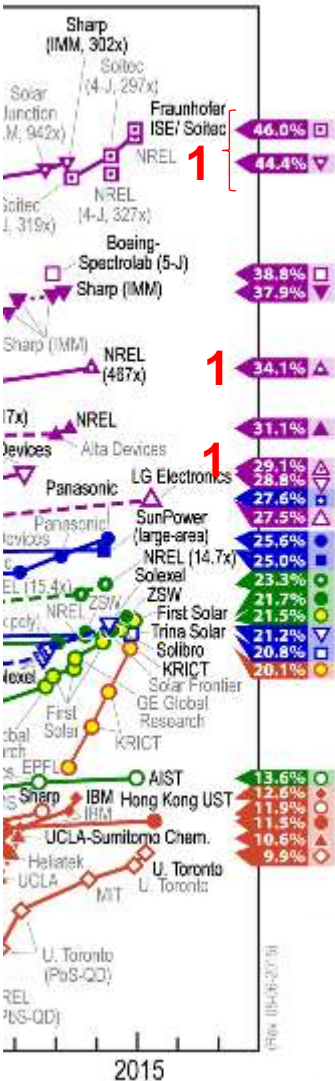


**Заместитель генерального директора
по научной работе ООО «НТЦ ТПТ»,
д.т.н. Теруков Евгений Иванович**

Рекордные эффективности лабораторных солнечных ячеек изготовленных по различным технологиям (согласно данным Национальной лаборатории по возобновляемой энергетике (NREL, США))

Best Research-Cell Efficiencies





На сегодняшний день максимальную эффективность имеют ячейки на основе соединений III и V групп.

Основные особенности:

1. Применение концентраторов для получения высокой эффективности (эффективность до 46 %)

Недостатки:

- Большие оптические потери. При эффективности до 46 % измеренной на лабораторных ячейках при специальных условиях освещения, эффективность концентраторных модулей составляет около 30 %;
- Необходимость применения механически сложных опорных конструкций, включающих схемы слежения;
- Неработоспособность при освещении рассеянным светом;

2. Применение многокаскадных ячеек (multijunction cells) (эффективность до 38.8 %)

Недостатки:

- Сложность технологии;
- Использование дорогостоящих подложек c-Ge и GaAs.

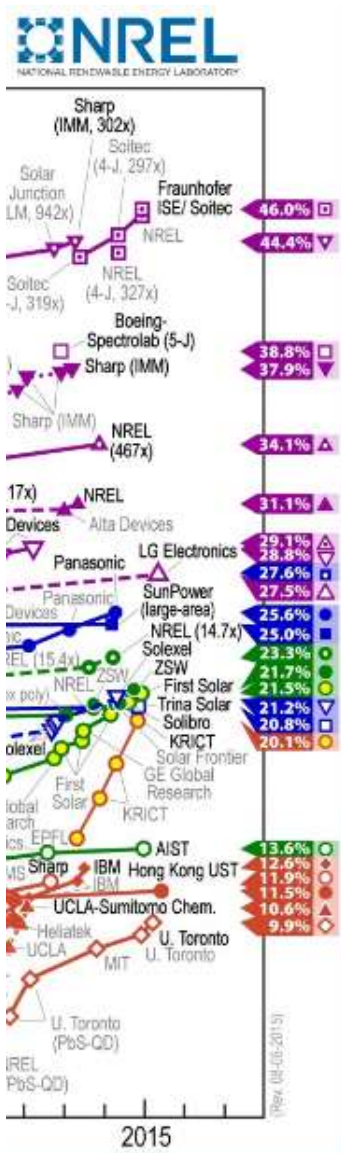
3. Однокаскадные ячейки (эффективность до 27.5 %)

Недостатки:

- Эффективность незначительно выше чем на кремнии (25.6 %) при существенно более высокой цене (не менее 2 USD/Вт).

Общие выводы:

- Основной недостаток – высокая стоимость;
- Основная область применения – солнечные батареи для космических аппаратов;
- Наземные СЭС малоприменимы по экономическим причинам.



Технологии на основе кремния являются основными в электронике и фотовольтаике на протяжении многих лет, что обеспечивает отработанность технологических решений.

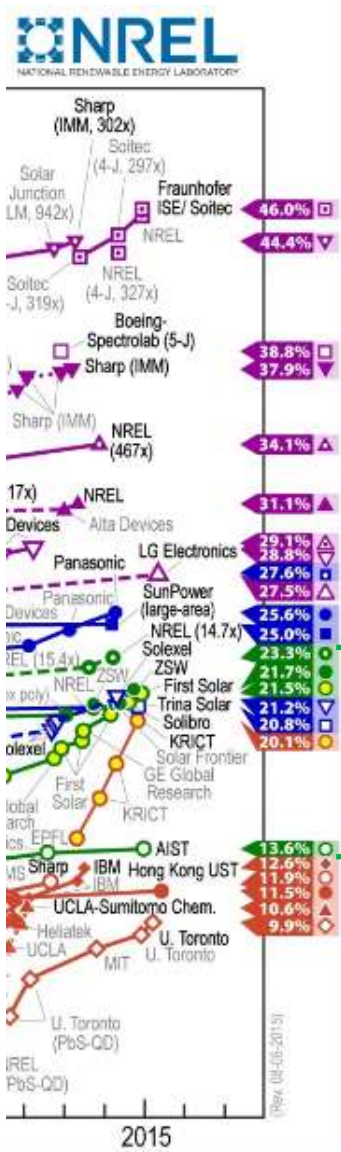
Основные особенности:

- эффективность от 20.8 до 27.6 % (с применением концентраторов);
- Солнечные ячейки изготавливаются на основе моно и мульти-кристаллического кремния. Применение мульти-кристаллического кремния приводит к меньшей эффективности;
- Без применения концентраторов **максимальную эффективность имеют HIT ячейки (25.6 %)**;
- Ячейки на основе кремния выполненные по другим технологиям требуют большого количества технологических шагов (IBC) или имеют более низкую эффективность и подвержены деградации (PERC);

Дополнительные преимущества технологии HIT:

- Низкий температурный коэффициент HIT ячеек. При температуре эксплуатации 60 °C дает прирост +6 отн.% по сравнению с остальными технологиями на основе кристаллического кремния;
- Низкотемпературный процесс - возможность применения более тонких пластин по сравнению с классической технологией (BSF).

Вывод: HIT технология наиболее перспективна для применения в коммерческих наземных СЭС

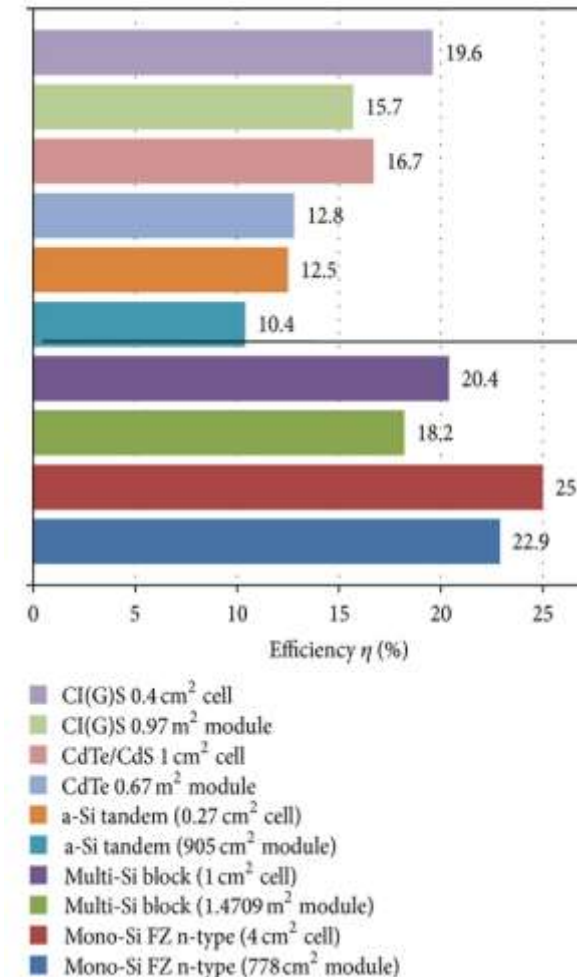


Технологии с минимальным расходом полупроводниковых материалов. Получили развитие в период высоких цен на кремний.

Основные особенности:

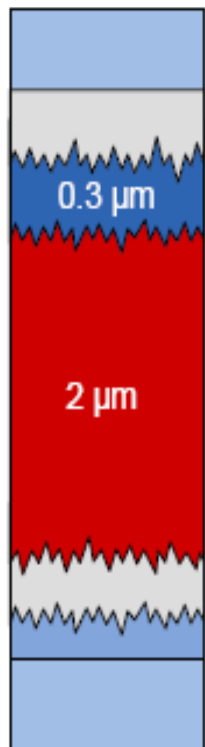
- Максимальная эффективность 21.7% (CIGS);
- Тонкопленочные технологии (CdTe, CIGS) используют токсичные и редкие химические элементы;
- Проблемы с равномерностью нанесения приводят к сравнительно большой потере эффективности (20-25 отн.%) при переходе от ячеек к модулям (см. рис. справа);
- Тонкопленочные модули на основе аморфного кремния имеют небольшой КПД (13,6%) и проблемы с деградацией аморфной ячейки.

Вывод: тонкопленочные модули уступают по эффективности модулям на основе c-Si.
Основное применение - BIPV



Progress in PV: Research and Applications, 2012, Graph: PSE AG 2012

Солнечный свет



Лицевое стекло –подложка для нанесения тонких пленок

Лицевой слой ZnO – оптическое окно и лицевой контакт

Переход на a-Si:H – поглощение коротковолновой части спектра

Переход на μ c-Si:H – поглощение длинноволновой части спектра

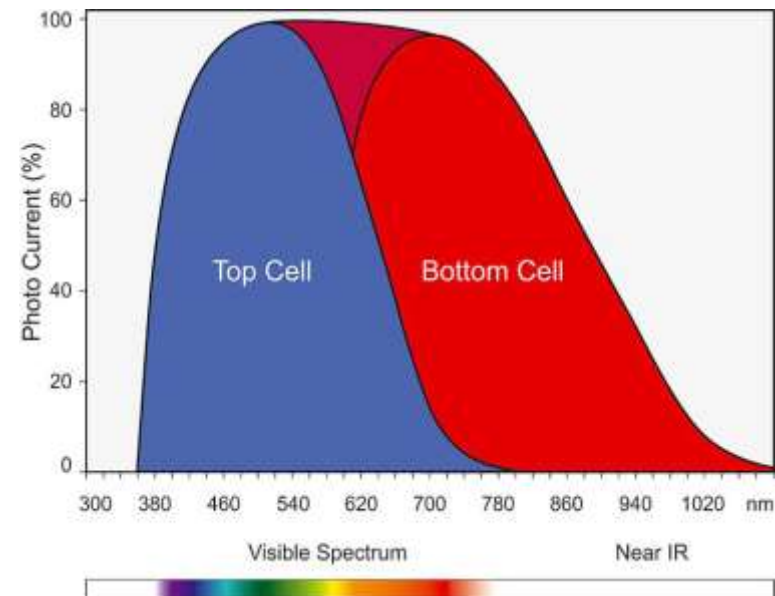
Тыльный слой ZnO – контакт, отражатель, монокристаллическое соединение ячеек

Тыльный отражатель – отражение света с низким поглощением

Тыльное стекло – герметизация модуля

Стартовый КПД - 9%

КПД, достигнутый в НТЦ - 10%

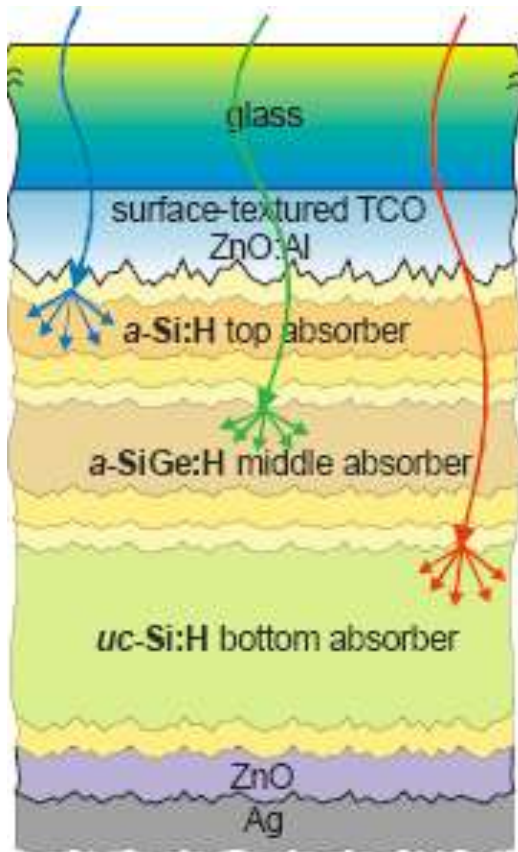


1. Усовершенствование процессов оптического поглощения света в активных слоях модуля
2. Улучшение качества активных слоев в гетерокаскадах и самих гетеропереходах
3. Уменьшение потерь, связанных с отражением света от стекла
4. Разработка антиотражающих покрытий
5. Применение дешевых материалов подложки (полиамидная или металлическая фольга)
6. Разработка «прозрачных» солнечных элементов
7. Проведение исследований в области солнечных элементов на основе гетероструктур a-Si:H|c-Si

Основные «игроки»:

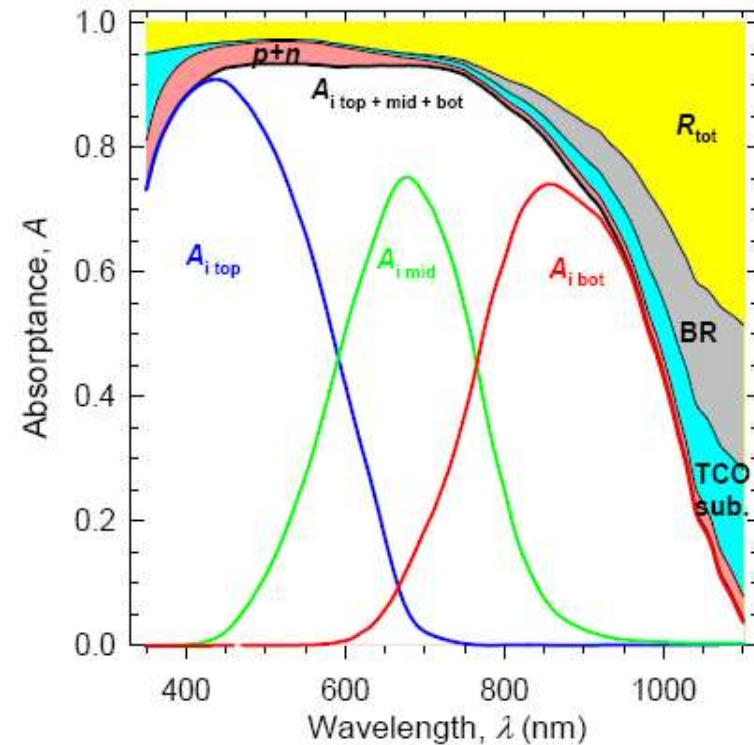
Applied Materials (USA), Energy Conversion Devices (USA), TEL Solar (Swiss), Inventux (Germany), Pramac (Swiss)

Трехкаскадный СЭ на основе α -Si:H/ α -SiGe:H/ μ c-Si:H

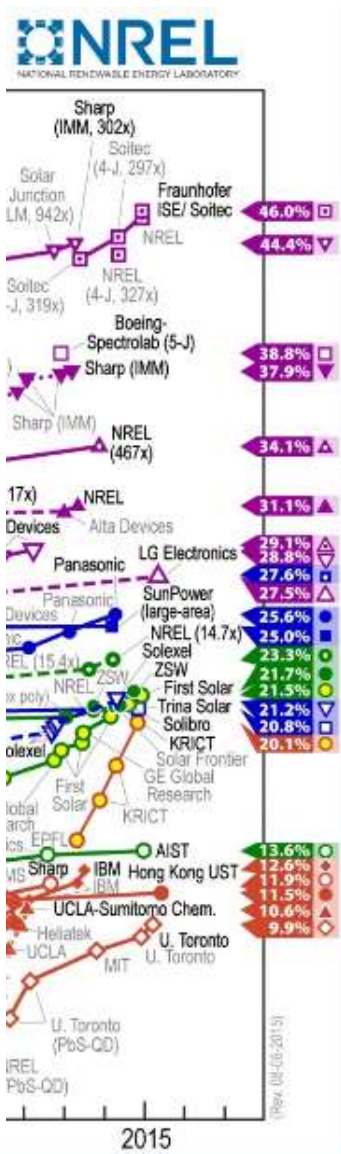


Основные проблемы:

- осаждение высококачественного α -SiGe:H, устойчивого к фотоиндуцированной деградации
- TCO с низким поглощением в ИК области



Теоретическая эффективность около 17 %



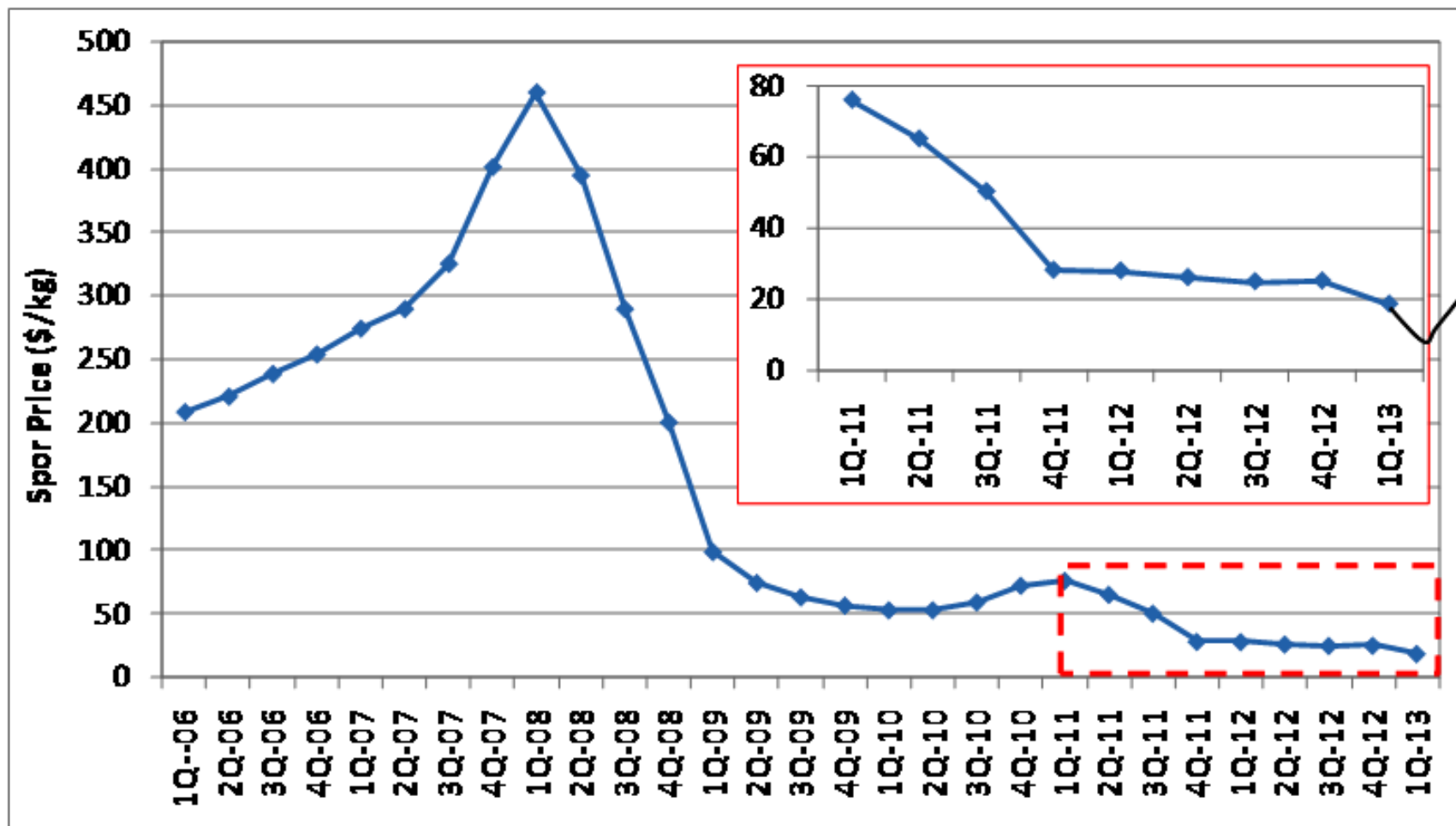
Технологии наиболее быстро развивающиеся в последние годы.

Основные особенности:

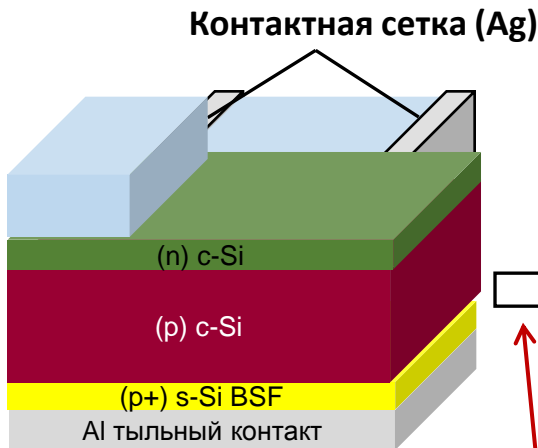
- Максимальная эффективность в исходном состоянии 20.1 %. Ячейки быстро деградируют;
- Повышенные требования к герметизации;
- Применение относительно простых и дешевых методов для изготовления ячеек;
- Отсутствует производство модулей в промышленных масштабах.

Вывод: Потенциально наиболее дешевая технология изготовления солнечных модулей, находящаяся на стадии лабораторных исследований.

Снижение цены на поликремний с 2006 по 2013 г. НТЦ ТПТ

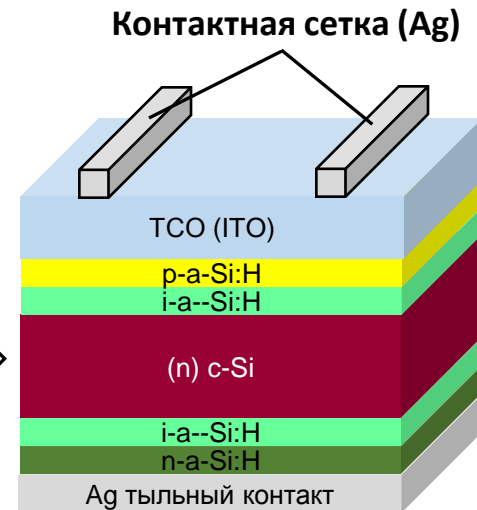


Классическая конструкция
на основе c-Si
КПД 17-19 %

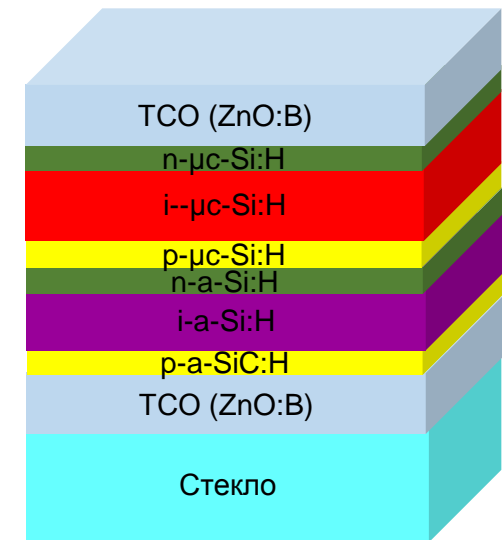


На основе гетероперехода
a-Si:H/c-Si (НИТ)

КПД 18-20 %



Тонкопленочные
на основе a-Si:H/ μ c-Si:H
КПД 9-11 %



**НИТ: c-Si подложки + тонкопленочная технология →
высокая эффективность + низкий температурный коэффициент**

Ключевыми преимуществами технологиями является: высокий КПД, низкая себестоимость, экономия материалов, стабильность параметров.

Основные характеристики	Тонкопленочные модули на основе a-Si/ μ c-Si (tandem)	Модули на основе c-Si	Модули на основе гетероперехода a-Si/ c-Si (НІТ)
Эффективность модуля, %	9 - 11	17 - 19	19 - 20
Температурный коэффициент мощности, %/К	(0,3)	(0,40) – (0,45)	(0,3)
Световая деградация	Есть	Отсутствует	Отсутствует
Суммарная производительность линии Хевел, МВт/год	86	невозможно	от 90 до 200
Продукция завода	модули	модули, ФЭП	модули, ФЭП
Доля на рынке, %	~2-3%	>75%	~1-2% (Panasonic)
Себестоимость модуля, EUR/Вт*	0,60-0,80	0,37 - 0,44	0,48 - 0,52

*EUR/USD = 1,35

Market data is based on current estimates (Bloomberg New Energy Finance, 2014), NPD SolarBuzz(2013 and 2014), GTM Research (2013).

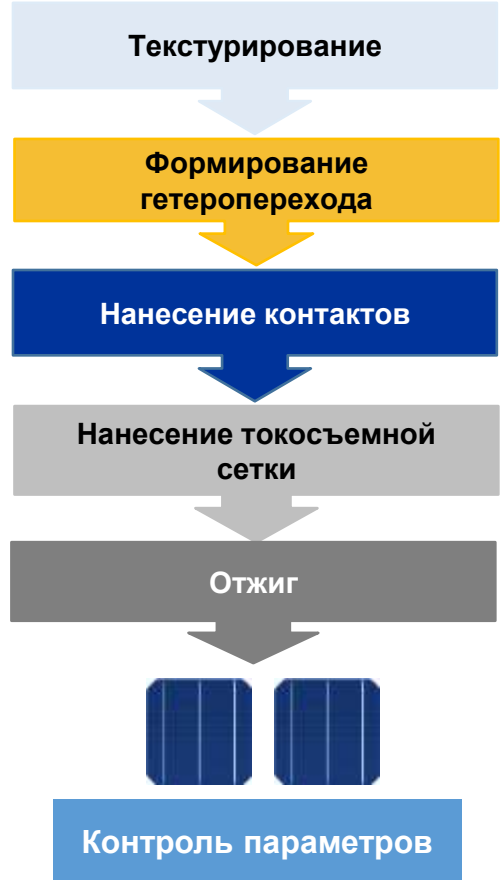
Итак, основа технологии НЖТ это формирование солнечных элементов (СЭ) на основе гетероперехода «аморфный (a-Si:H) - кристаллический кремний (c-Si)»

Структура элемента НЖТ



Мировой рекорд 2014 г. среди солнечных ячеек на основе кремния – 25,6 %

Этапы формирования элемента НЖТ



С момента начала проекта (строительство Завода ООО «Хевел») мировой рынок претерпел существенные изменения, что негативным образом сказывается на конкурентоспособности продукции завода (значительное снижение рыночных цен, затоваривание рынка продукцией азиатских производителей, уход большинства производителей модулей в зону отрицательной операционной рентабельности), в связи с чем целесообразным представляется проведение модернизации завода посредством внедрения технологии НТТ.

Внедрение именно НТТ-технологии обусловлено следующими факторами:

- ✓ Более чем конкурентные технические параметры продукции (КПД, деградация)
- ✓ Конкурентная себестоимость производства ФЭП и/или модулей, в т.ч. в масштабе мирового рынка фотовольтаики
- ✓ Единственная технология, внедрение которой возможно на существующей производственной линии без её полной модернизации

Основные характеристики	Тонкопленочные модули на основе a-Si/ μ c-Si (tandem)	Модули на основе c-Si	Модули на основе гетероперехода a-Si/ c-Si (НТТ)
Наличие технологического оборудования на площадке «Хевел»	Полный комплект	Отсутствует	Ключевые компоненты в наличии
Суммарная производительность линии Хевел, МВт/год	86	невозможно	160 - 500
Продукция завода	модули	модули, ФЭП	модули, ФЭП
Себестоимость модуля, EUR/Вт*	0,60-0,80	0,37 - 0,44	0,48 - 0,52

**Установка Oxford
Instruments**

Процесные газы:

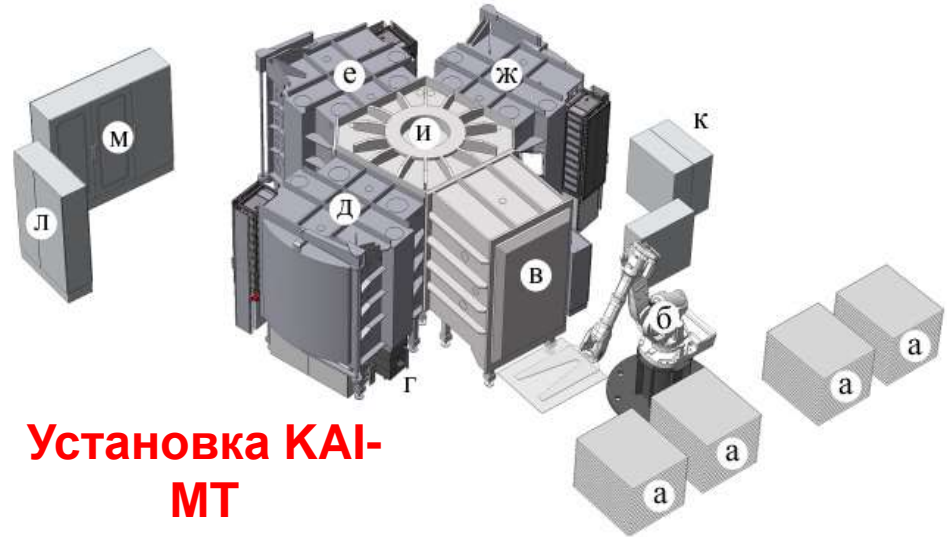
SiH_4 , H_2 , PH_3 , $\text{B}(\text{CH}_3)_3$

Чистота процесных газов: **99,999%**

Размер подложки: **110x130 см²**



Установка KAI-1200

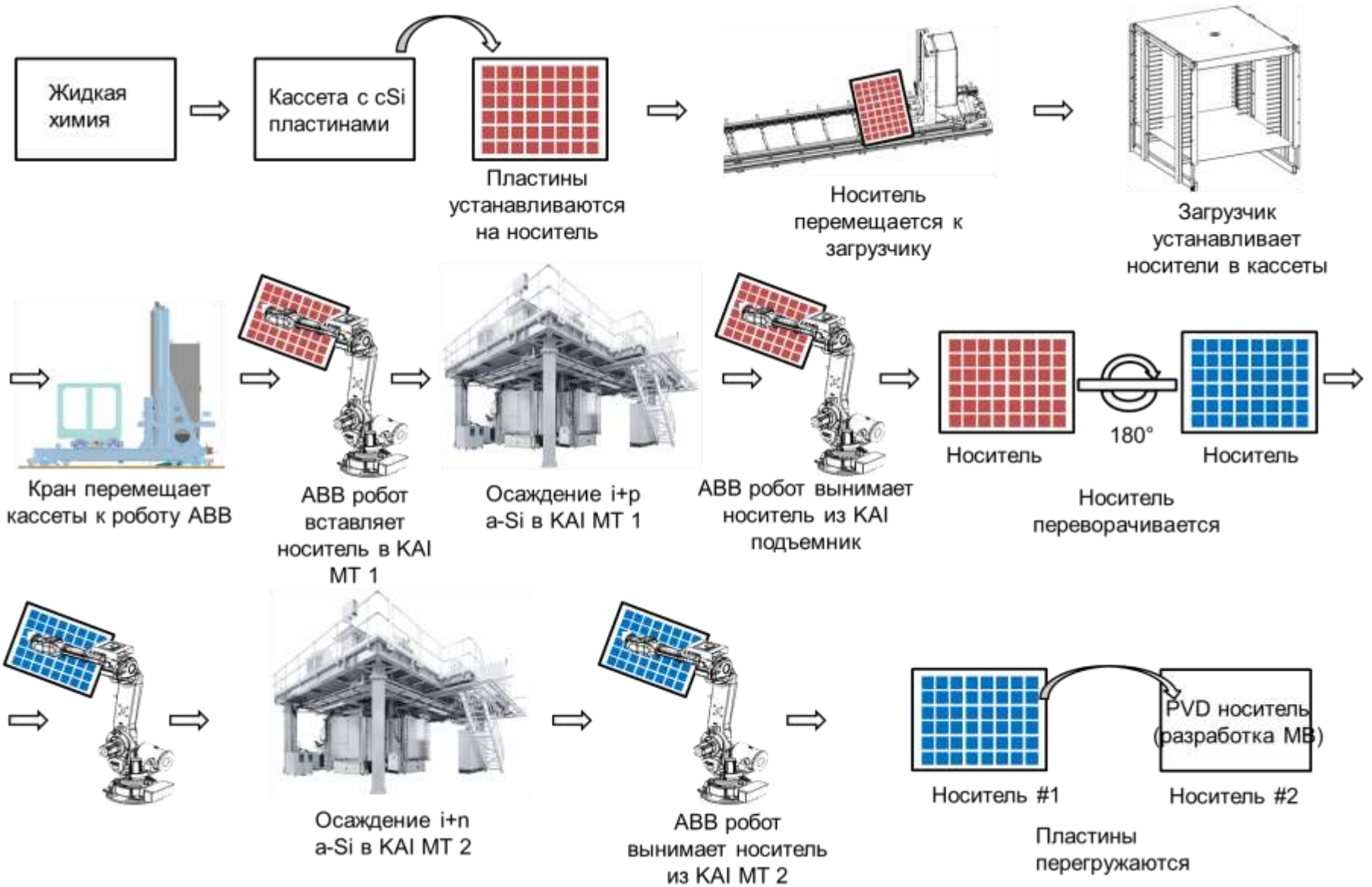


**Установка КАИ-
МТ**

- а - кассетная станция
- б - робот (внешний манипулятор)
- в - загрузочный модуль
- г - внешний источник плазмы
- д - рабочий модуль 1
- е - рабочий модуль 2

- ж - рабочий модуль 3
- и - транспортный модуль
- к - водный теплообменник
- л - газораспределительный узел внешнего источника плазмы
- м - газораспределительный узел

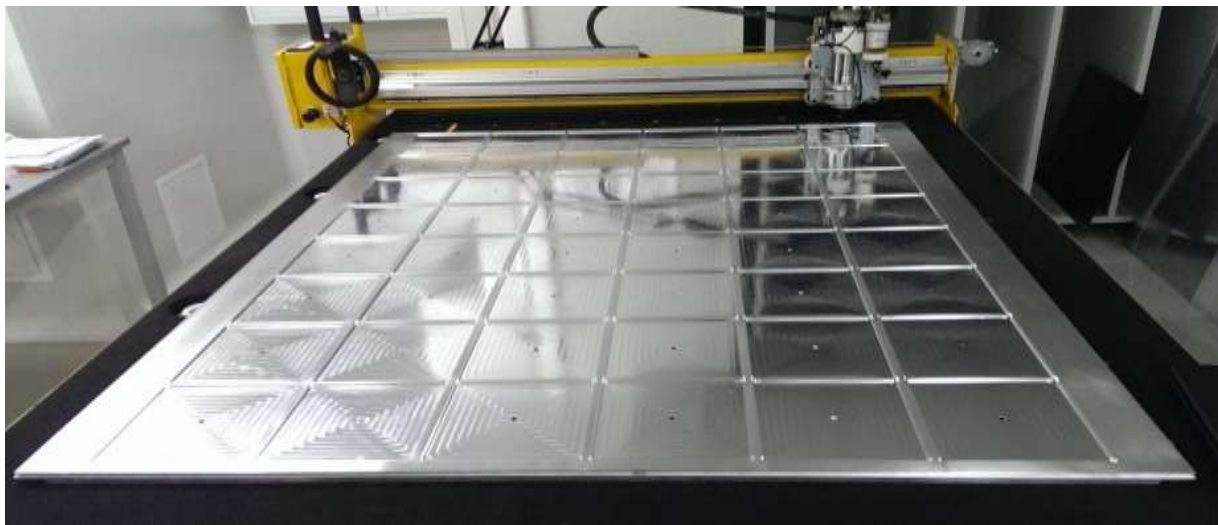
Автоматизация процесса изготовления НИТ с использованием установок KAI



Процесс изготовления 156x156 мм² гетероструктурного ФЭП

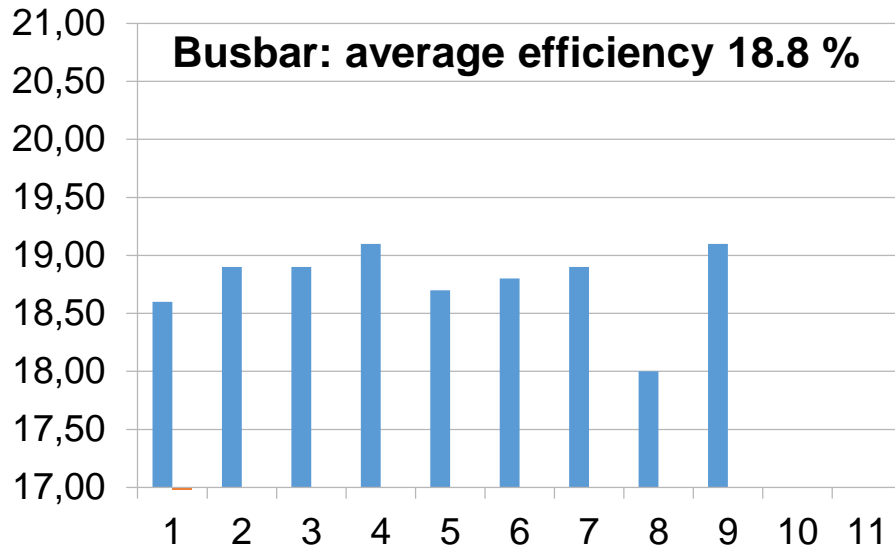
Задача	Оборудование
1. Текстурирование c-Si пластин	Линия хим. отмывки и текстурирования
2. Формирование a-Si/c-Si гетеропереходов	KAl реакторы
3. Нанесение ITO и Ag слоев	PVD реакторы
4. Формирование контактной сетки	Screen printing
5. Тестовые измерения	Sun Simulators /НТЦ и TUV (Германия)

Паллета на 48 ячеек, разработанная для промышленного реактора

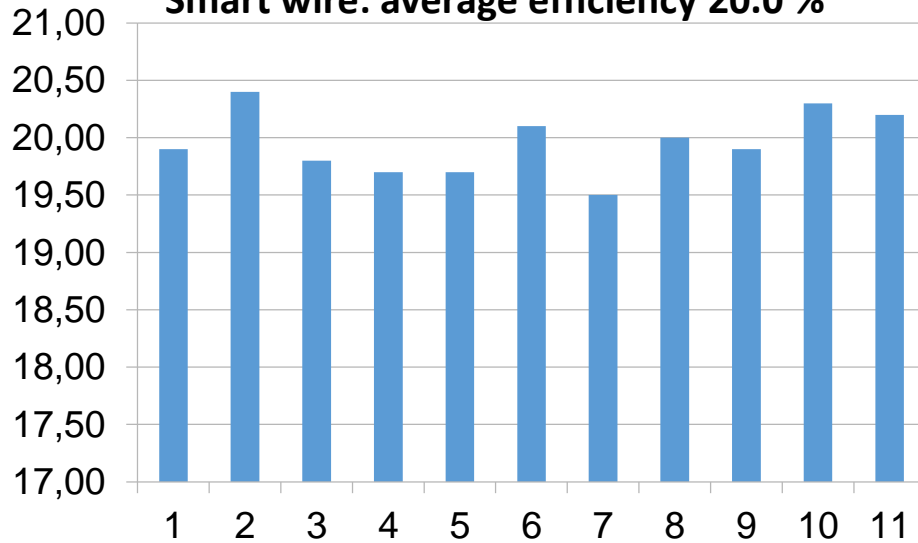


Задача	Оборудование/место
1. Текстурирование c-Si пластин	Линия хим. отмывки и текстурирования/ Singulus (Germany)
2. Формирование a-Si/c-Si гетеропереходов	KAI реакторы/ HTC (СПб)
3. Нанесение ITO и Ag слоев	PVD реакторы/ Roth & Rau (Swiss)
4. Формирование контактной сетки	Screen printing/ Roth & Rau (Swiss) и HTC (СПб)
5. Тестовые измерения	Sun Simulators/Roth & Rau (Swiss) TUV (Germany) и HTC (СПб)

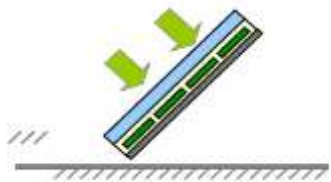
Busbar: average efficiency 18.8 %



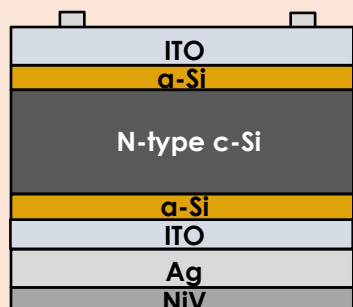
Smart wire: average efficiency 20.0 %



ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ МОДУЛЯ НЈТ - односторонний и двухсторонний

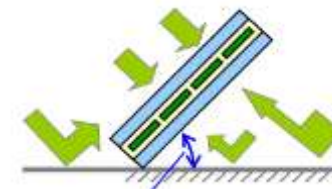


HJT monofacial
(односторонние)

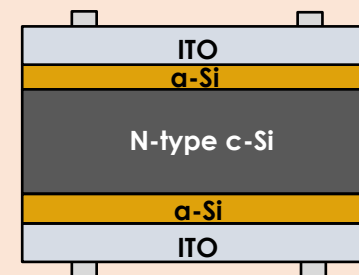


Параметры	Односторонний СМ	Двусторонний СМ
Фронтальная контактная сетка	да	да
Слои	толщина, нм	
Фронтальное ITO	120	120
Тыльное ITO	40	120
Ag	120	--
NiV	50	--
Тыльная контактная сетка	--	да

Увеличение выработки до 25% по сравнению с односторонними модулями в зависимости от угла наклона и уровня альбедо

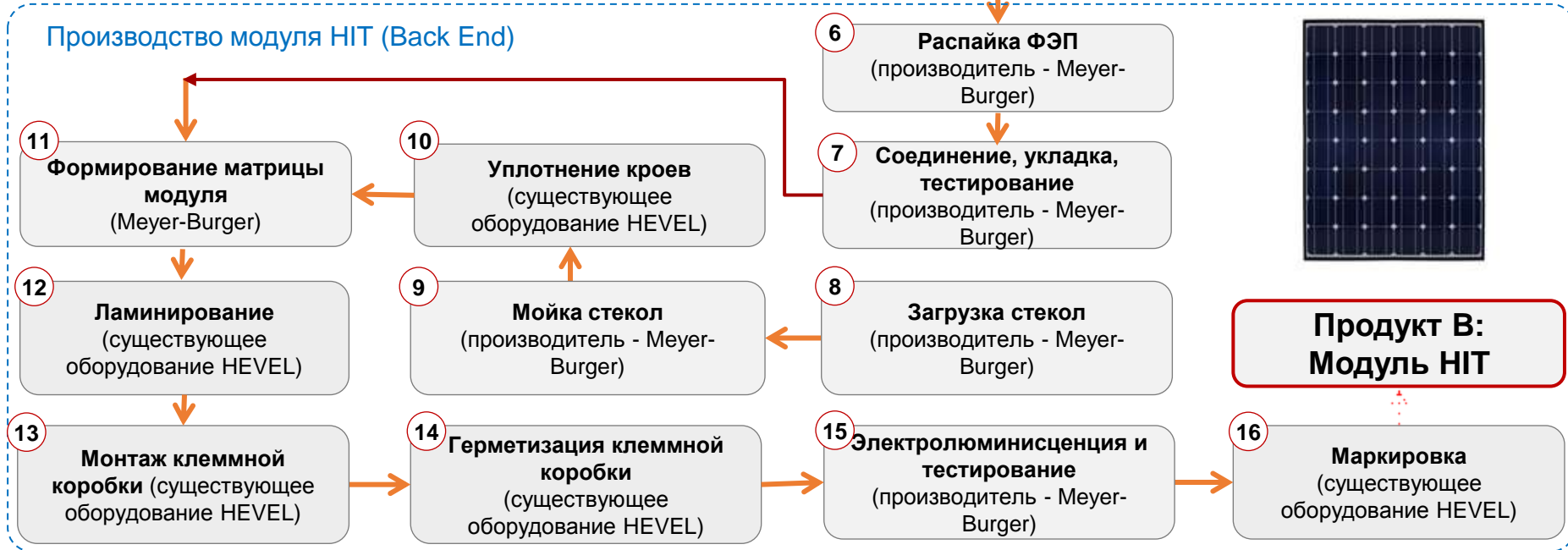


HJT bifacial
(двухсторонние)



- 1) Двухсторонние элементы позволяют использовать свет, отраженный от поверхности земли, что особенно актуально для регионов со снежным покровом
- 2) Наличие оборудования для изготовления двухсторонних элементов позволяет провести диверсификацию продукции завода с учетом требования заказчика и региона установки

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НТТ на существующем производстве ООО «Хевел»



- существующее оборудование
 - дополнительно приобретаемое оборудование



ЦИТАТА ДНЯ

«Главная проблема российской науки: наши результаты практически не востребованы в своей стране ни экономикой, ни обществом. Единственное, что может возродить Россию, – возрождение промышленности высоких технологий».

**Жорес Алферов, академик РАН, лауреат Нобелевской премии
(из интервью ИТАР–ТАСС, 19 июля, Дельфы, Греция)**

Спасибо за внимание

