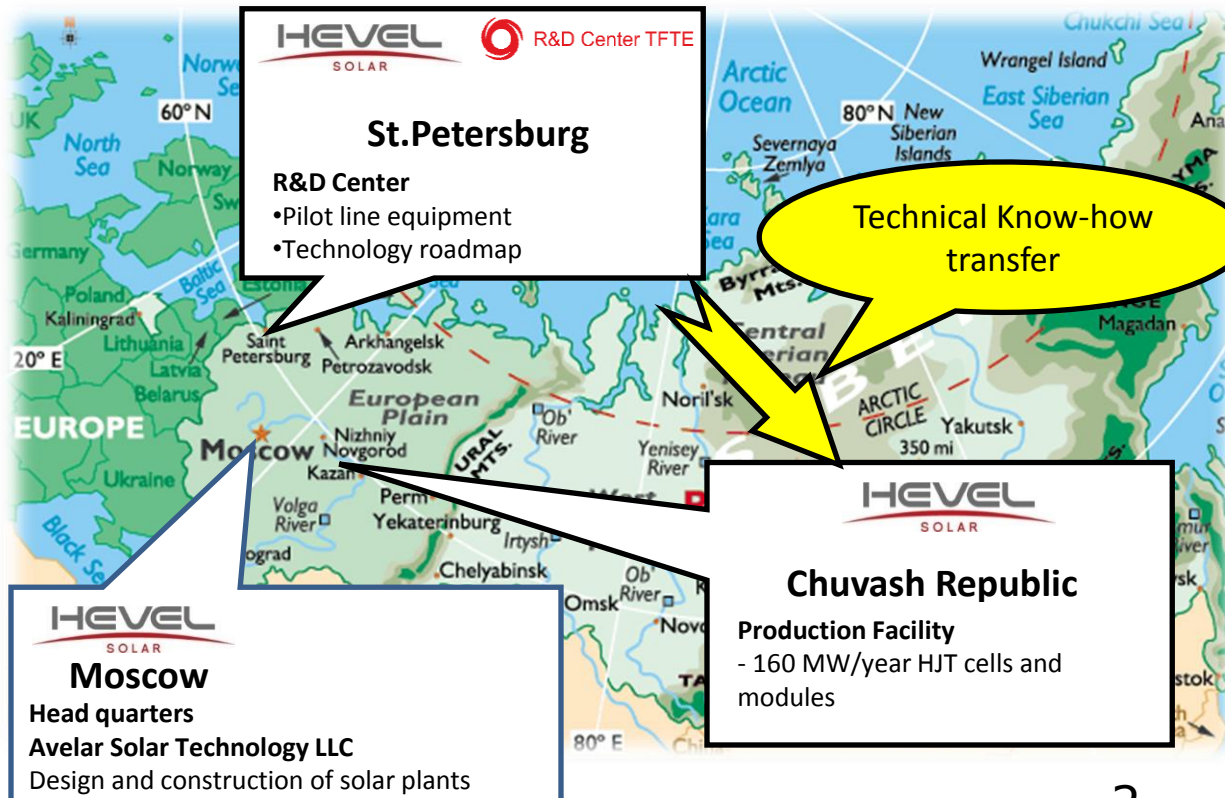


# **Статус и перспективы развития технологии гетероструктурных солнечных ФЭП и модулей на основе кремния**

**Prof.Evgeny Terukov  
R&D Center TFTE**

**ВСЭ ,Санкт-Петербург,7 ноября 2019**

# HEVEL GROUP AT A GLANCE





## PRODUCTION FACILITY

*Location: Novocheboksarsk*

**250 MW per year**

- Heterojunction solar cells.
- Heterojunction solar modules.



## HEADQUARTERS AND ENGINEERING AND GENERATION UNIT

*Location: Moscow*

- Engineering and construction of on- and off-grid solar power plants of any capacity.
- Operation and Maintenance of solar power plants.



## RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTRE

*Location: Saint Petersburg*

- Development of technological advantages and its implementation into production.
- Solar cell efficiency increase.
- Production cost reduction.
- Product line extension (e.g. flexible cells) and PV applications for different industries.



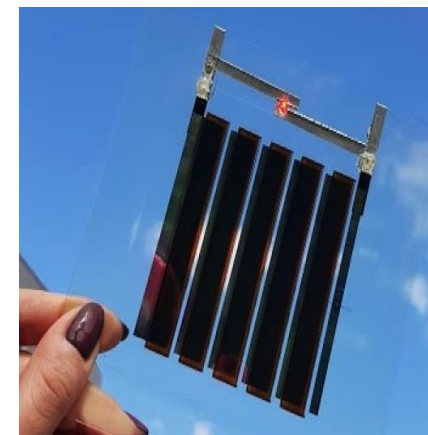
**Тип:** многокаскадные концентраторные ФЭМ на АЗВ5  
**Рекордная эффективность ФЭП:** 46 %  
**Эффективность ФЭМ (производство):** до 32 %  
**Себестоимость ФЭМ:** 1,5-2 \$/Вт  
**Особенности:** сложность конструкции  
**Статус:** мелкосерийное производство



**Тип:** модули на кристаллическом кремнии  
**Рекордная эффективность ФЭП:** 26,6 %  
**Эффективность ФЭМ (производство):** до 22 %  
**Себестоимость ФЭМ:** 0,2-0,5 \$/Вт (в зависимости от технологии и эффективности)  
**Особенности:** экологичность, отработанность решений  
**Статус:** занимают свыше 90 % PV рынка



**Тип:** тонкопленочные модули  
**Рекордная эффективность ФЭП:** 22,6 %  
**Эффективность ФЭМ (производство):** до 17%  
**Себестоимость ФЭМ:** 0,2-0,4 \$/Вт (в зависимости от технологии и эффективности)  
**Особенности:** низкая эффективность, применение токсичных компонентов, низкий выход годных  
**Статус:** доля на рынке снижается



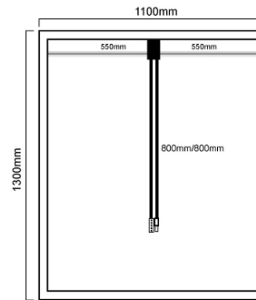
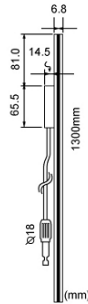
**Тип:** модули на основе органических соединений и перовскитов  
**Рекордная эффективность ФЭП:** 22 %  
**Эффективность ФЭМ (производство):** 8-11 %  
**Себестоимость ФЭМ:** <0,1 \$/Вт (в зависимости от технологии и эффективности)  
**Особенности:** низкая надежность и долговечность  
**Статус:** мелкосерийное производство

## Вывод

Технологии на основе кристаллического кремния доминируют вследствие оптимального соотношения между потребительскими свойствами и себестоимостью



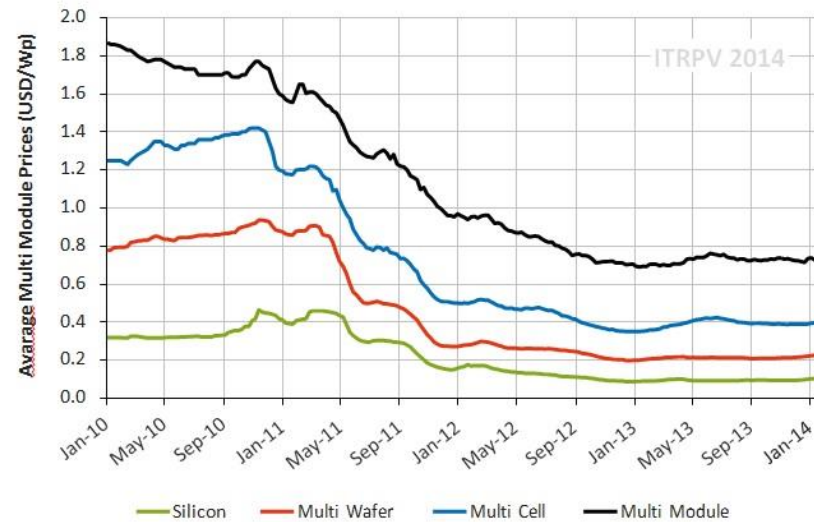
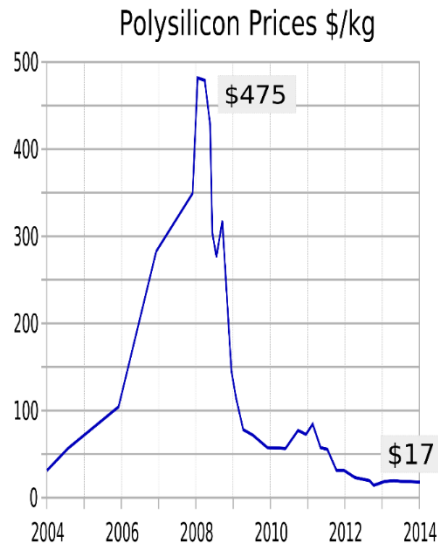
Former product: micromorph modules (by Oerlikon Solar)



Module parameters	
Maximum initial power	<b>145 W</b>
Degradation	<b>12%</b>
Length	<b>1300 mm</b>
Width	<b>1100 mm</b>
Thickness	<b>6,8 mm</b>
Weight	<b>26 kg</b>

Production of micromorph modules with capacity 97,5 MW/y has been started in 2015

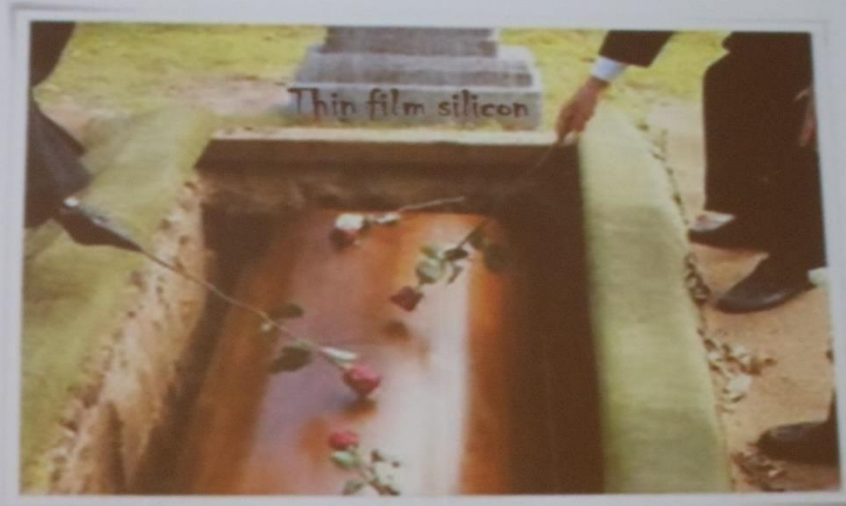




- 90% drop in polysilicon price between 2008-2009 caused later on huge reduction in price on crystalline silicon modules making micromorph technology noncompetitive

European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition  
22 – 26 September 2014 • Amsterdam • The Netherlands

## A keynote speech on thin film silicon...?



PV-lab  
IMT NEUCHÂTEL

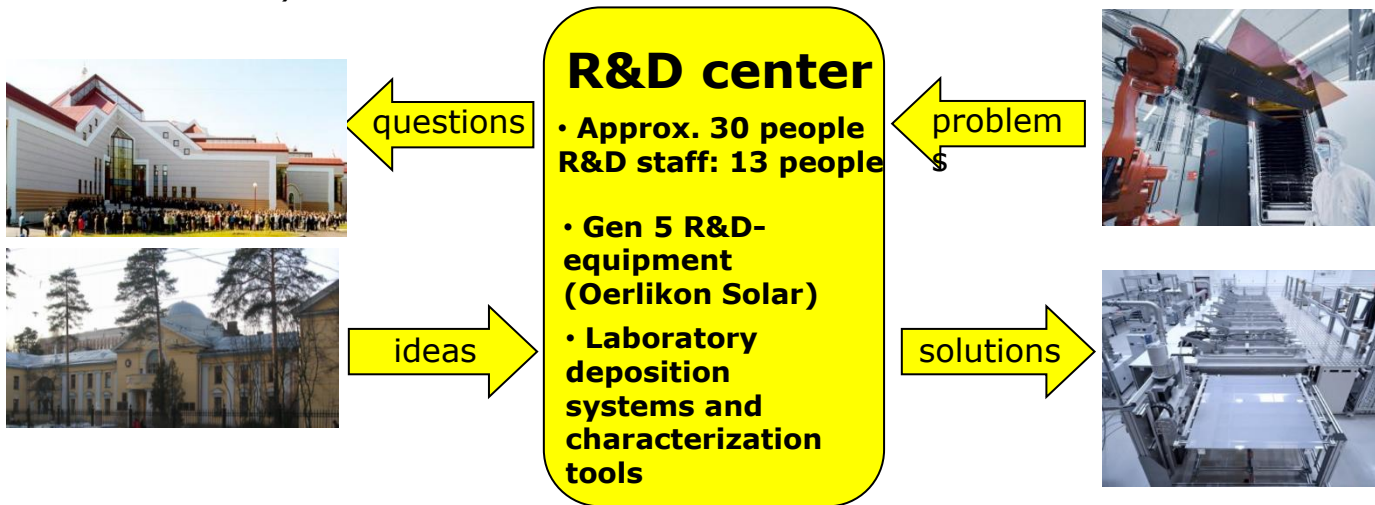
C. Ballif – 2014

6

EPFL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

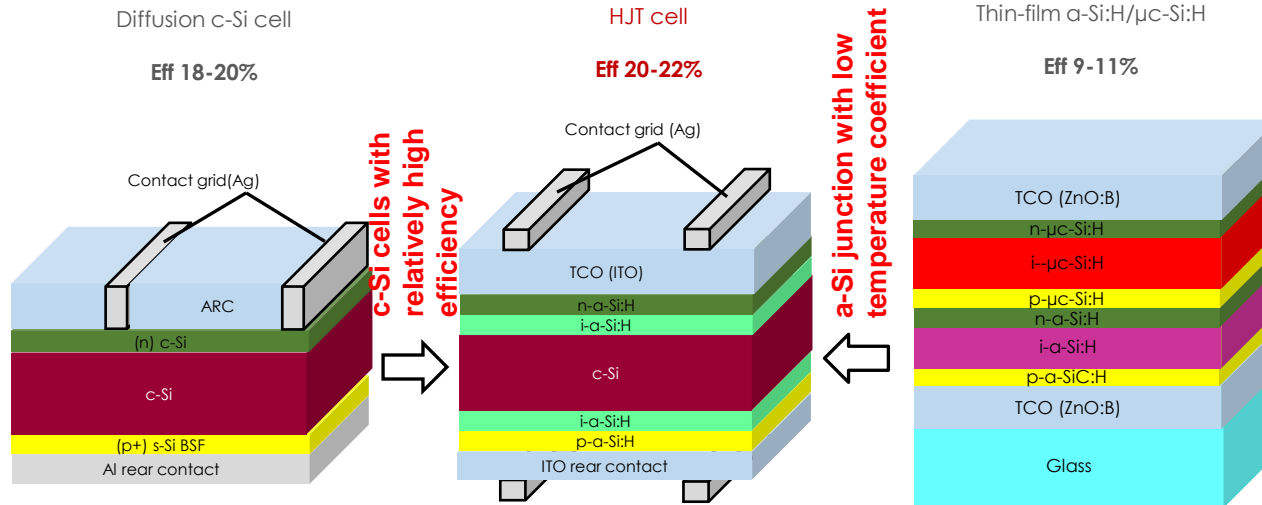
**Ioffe Institute:** world leading scientific center (>1000 researchers, **3 Nobel Prize Winners in 1964, 1978 and 2000**)

**Hevel:** about 100 MWp PV modules production facility (Gen 5, Oerlikon Solar).



R&D-equipment similar to that of the production line is the key feature for efficient feedback from technology experts to questions appeared in mass production and fast transfer of R&D results to the industry





**The idea to transform thin-film micromorph line to HJT production** which combines advantages of high efficiency c-Si technology with low temperature coefficient thin-film p-n junction and passivation using existing line equipment (PECVD, Lamination) **was proposed by R&D Center in November 2013**

# Сравнение НТТ с другими технологиями



Мощность модуля	17%	18,3 % / до 22,1% за счет тыльной стороны	19 % / до 24,3 % за счет тыльной стороны	21,5 %
Температурный коэффициент	- 0,41 % / °С	- 0,38 % / °С	- 0,31 % / °С	- 0,29 % / °С
Гарантия на модуль и КПД	10/25 лет	12/30 лет	15/30 лет	25/25 лет
Деградация в 1-ый год	- 2,5 %	- 3 %	- 2 %	- 1,5 %/год
Средняя деградация в последующие годы	- 0,7 %/год	- 0,5 %/год	- 0,4 %/год	- 0,3 %/год
Коэффициент использования тыльной стороны	0%	70±5%	90±5%	0%
Среднерыночная цена, долл/Вт	0,23	0,35	0,44 +10% к выработке э/э, -10% к стоимости строительства	0,50

## Кластерная установка лабораторных исследований Oxford Instruments

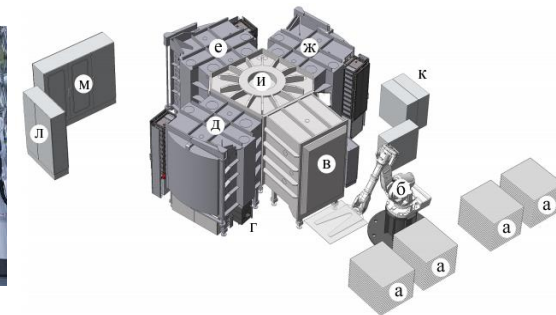


Процесные газы:  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{B}(\text{CH}_3)_3$   
Чистота процесных газов: 99,999%  
Размер подложки: 110x130 см<sup>2</sup>

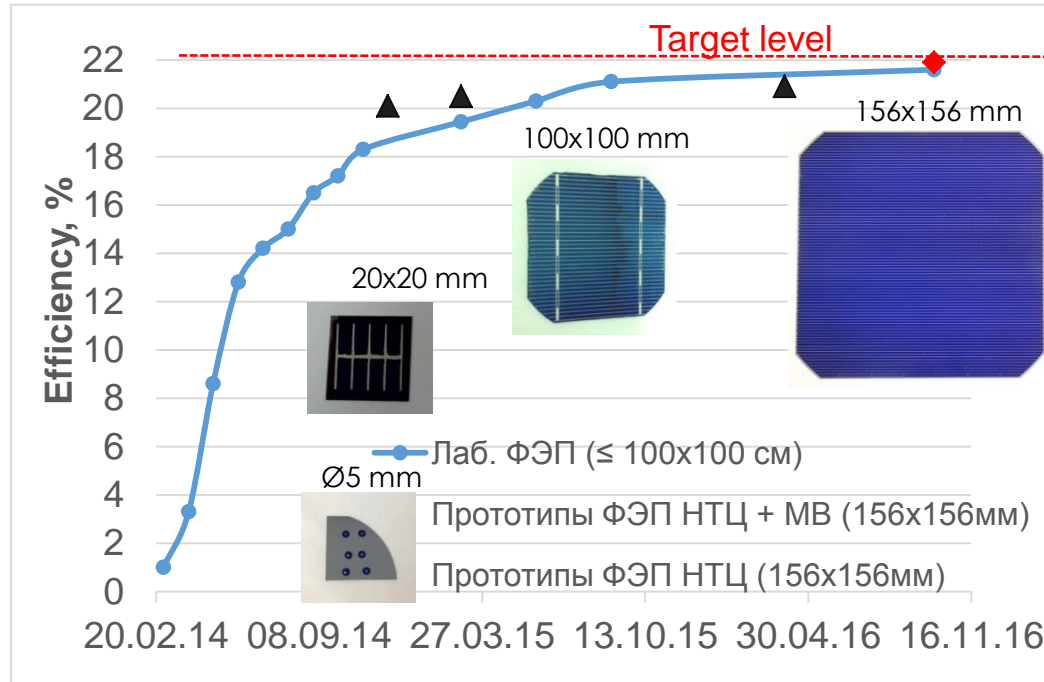
## Опытно промышленная установка ПХО Oerlikon KAI-1200



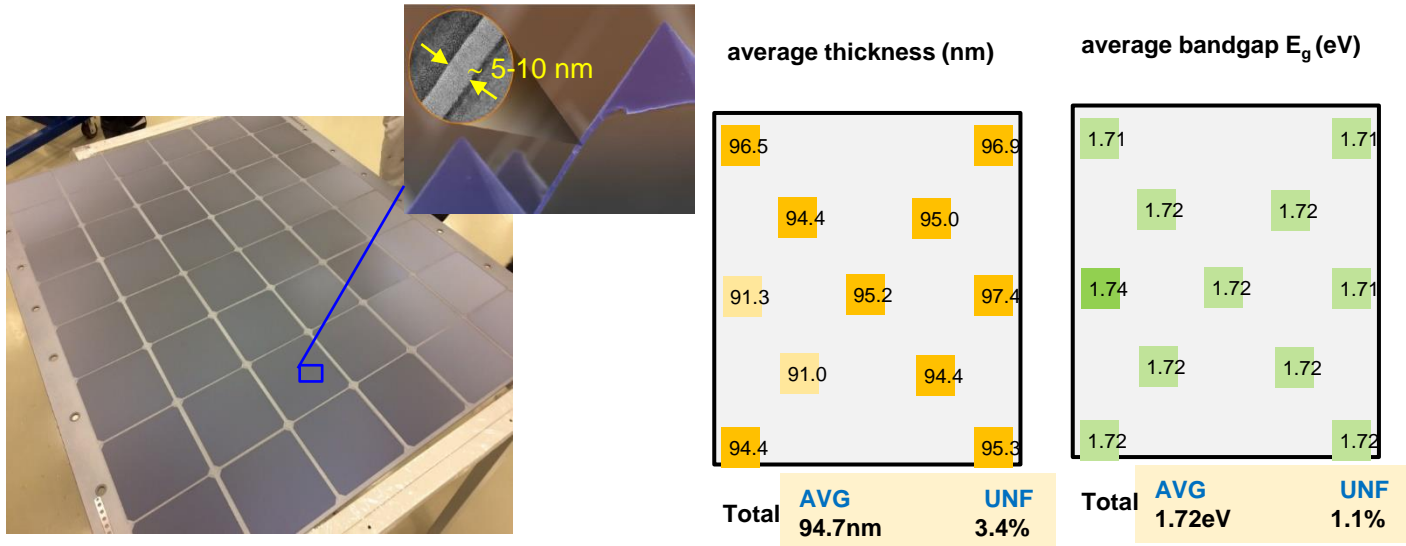
## Промышленная установка ПХО Oerlikon KAI-MT



- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| а - кассетная станция           | ж - рабочий модуль 3                                     |
| б - робот (внешний манипулятор) | и - транспортный модуль                                  |
| в - загрузочный модуль          | к - водный теплообменник                                 |
| г - внешний источник плазмы     | л - газораспределительный узел внешнего источника плазмы |
| д - рабочий модуль 1            | м - газораспределительный узел                           |
| е - рабочий модуль 2            |  |



Research has been started in March 2014. Starting from small laboratory cells now R&D center is able to operate with industrial size 156x156 mm cells. In 2,5 years we have reached cell efficiencies about 22 % for full-size 6" front- and rear emitter HJT cells.



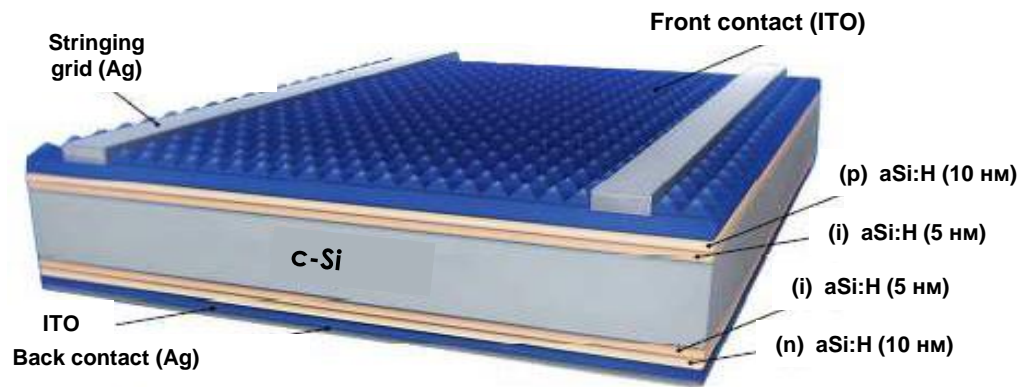
- wafer trays for simultaneous loading of 48 wafers and parameters compatible with using KAI-MT reactor
- deposition recipes providing excellent a-Si layer uniformity required for HJT cells

has been successfully developed by R&D center

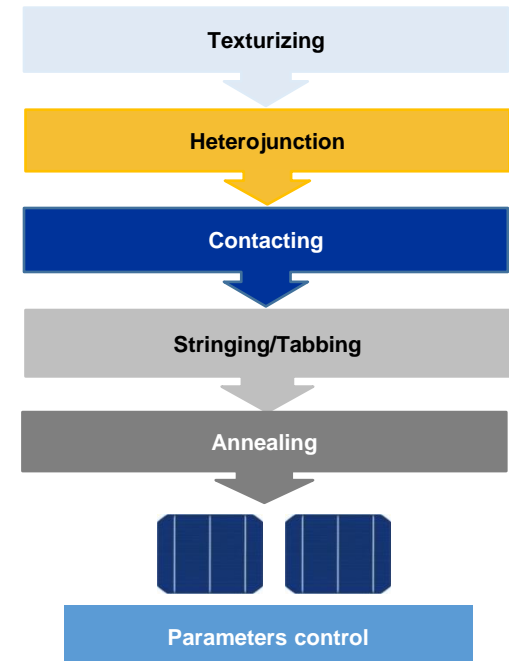


The basis of HJT technology is the formation of solar elements with heterojunction:  
amorphous (a-Si: H) — crystalline silicon (c-Si)

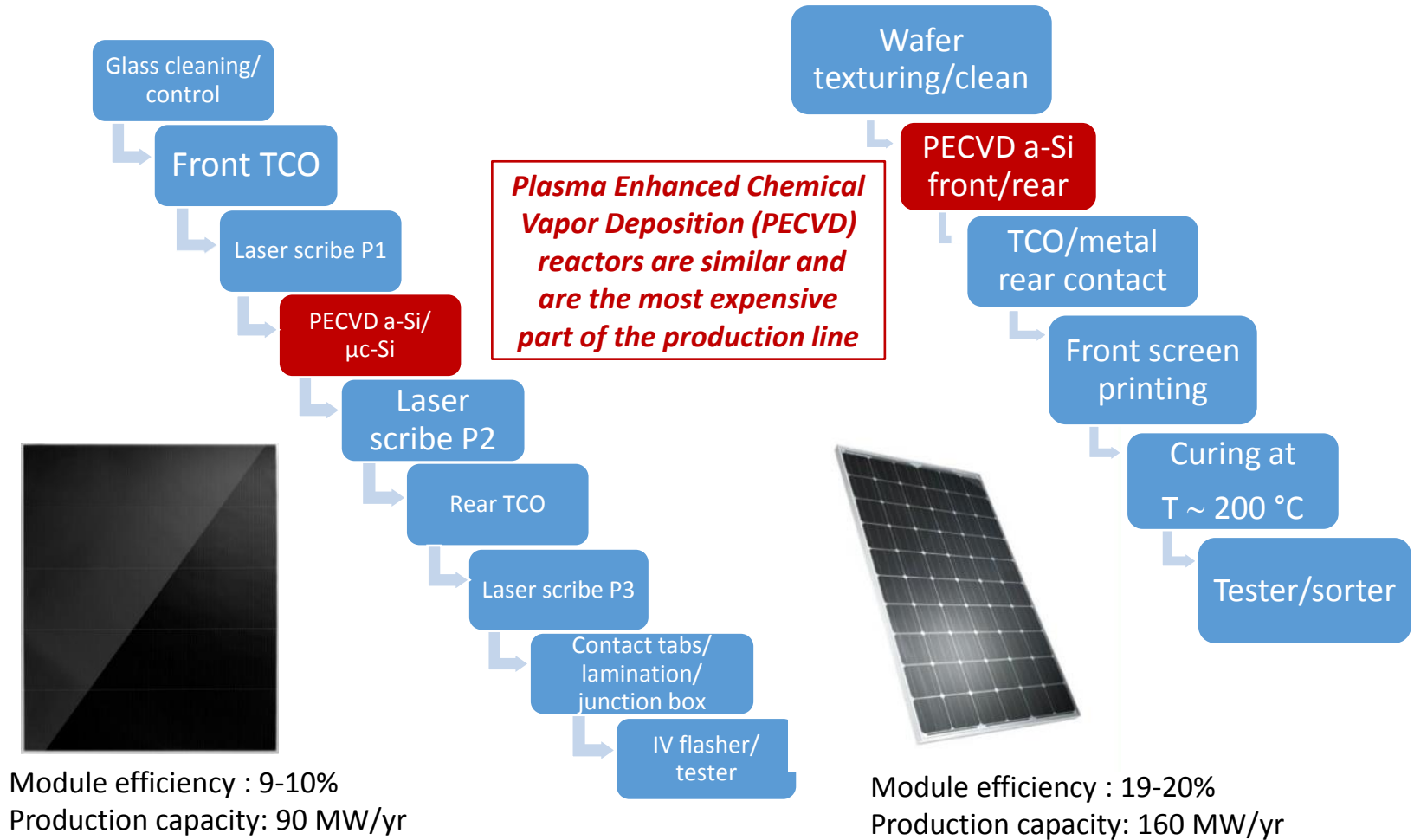
### HJT element structure



### Stages of HJT element formation

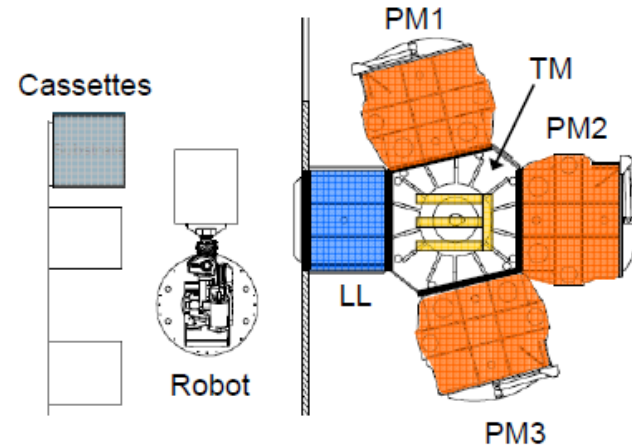


2019 world record for silicon-based solar cells is 26.7%



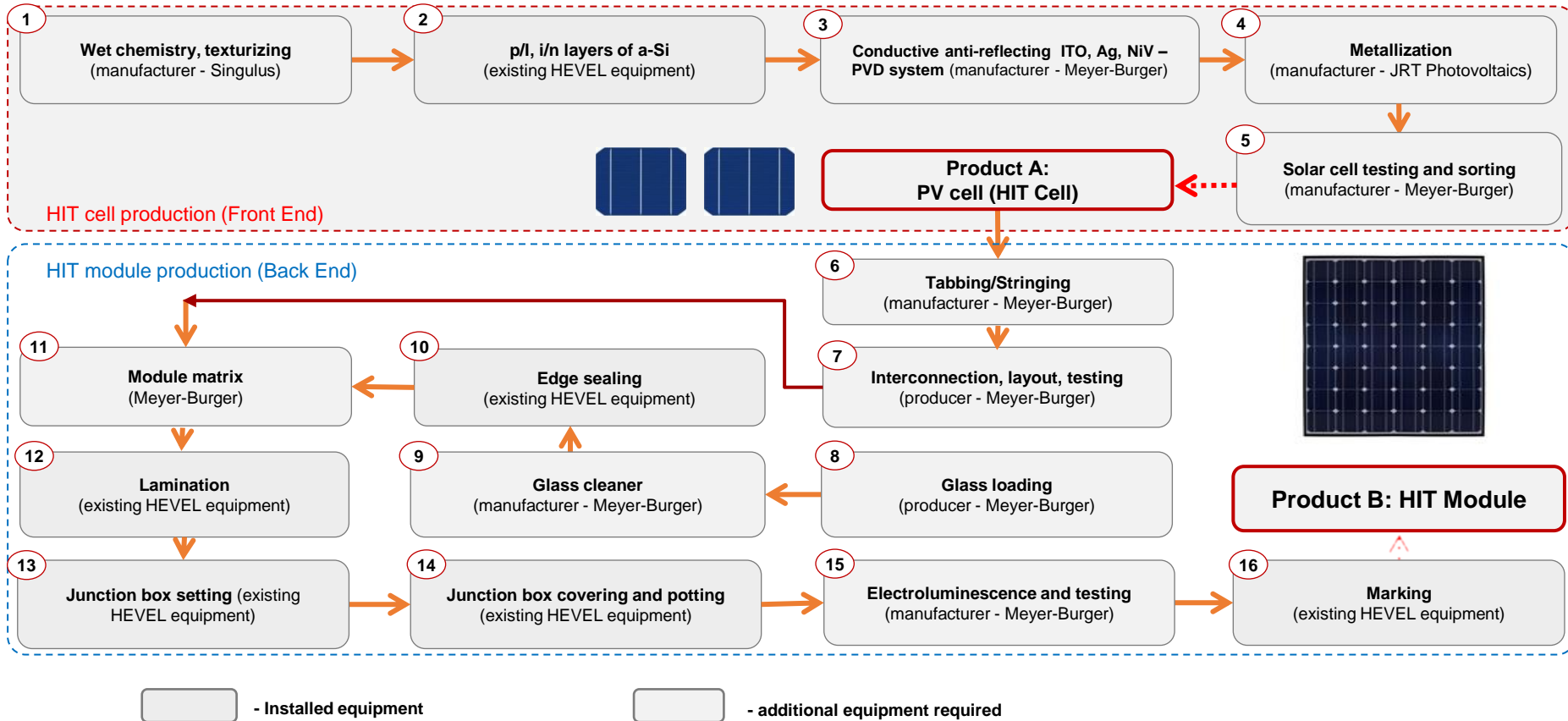


**Gen5 KAI MT PECVD reactors (TEL Solar): VHF (40.68 MHz)**



LL – Load Lock;  
TM – Transfer Module;  
PM1-3 – Process Modules

Hevel's production line includes PECVD KAI-MT system which provide double capacity in case of switching from micromorph technology to HJT





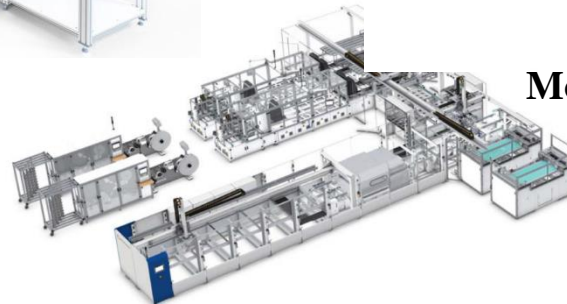
**Wet Bench**



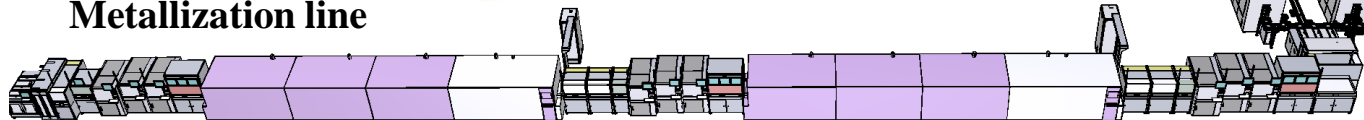
**PVD**



**Module assembly**

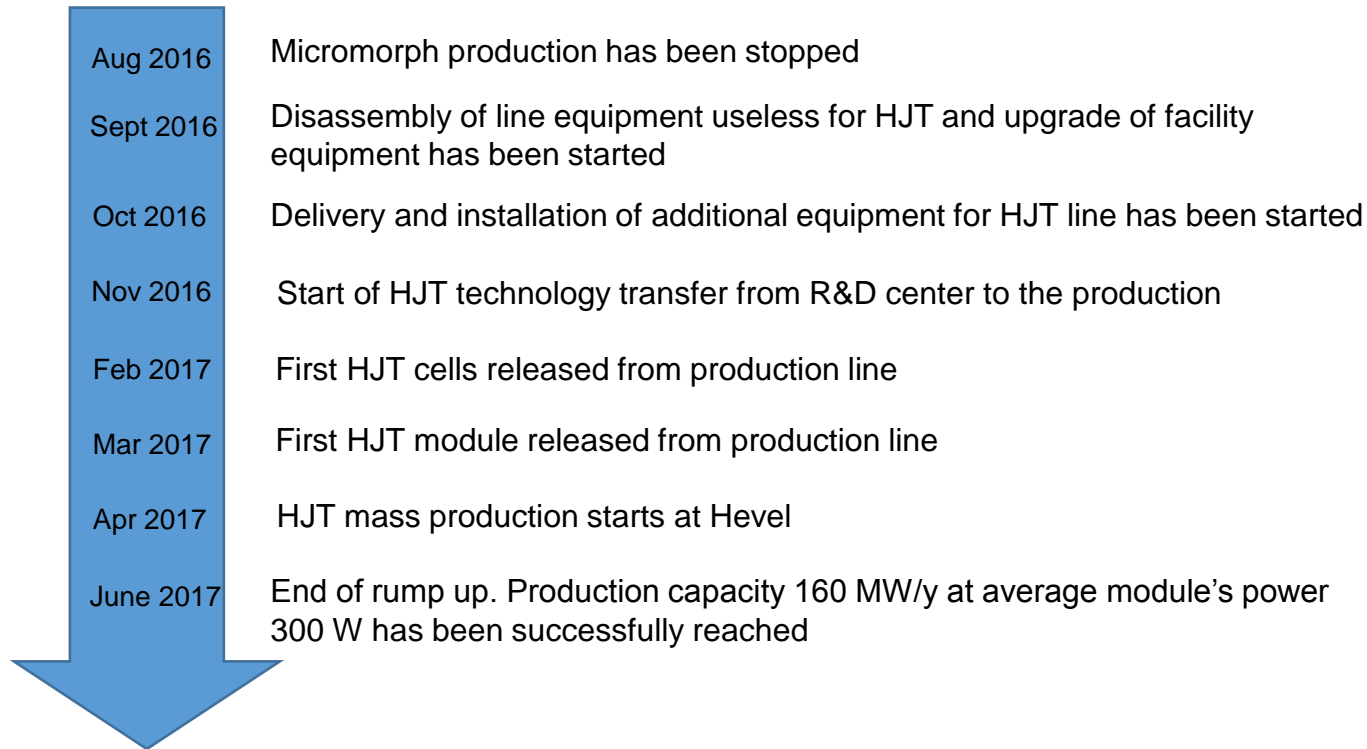


**Metallization line**

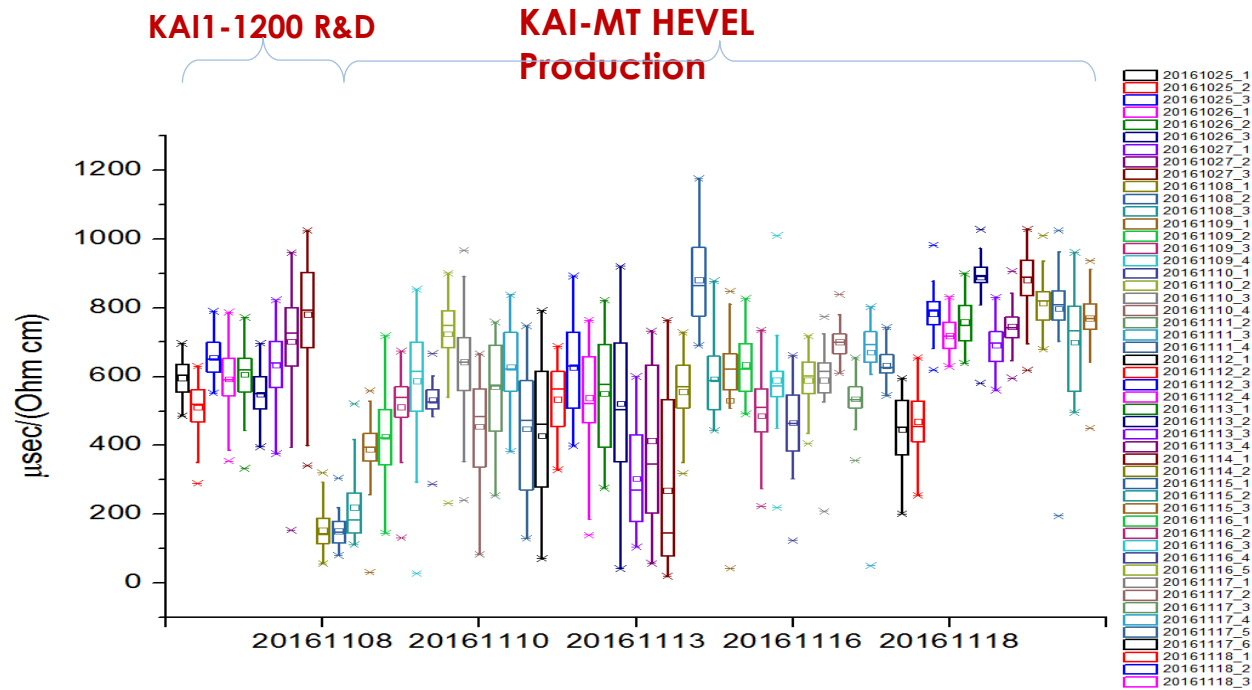


Additional equipment needed to switch to HJT is available on PV market

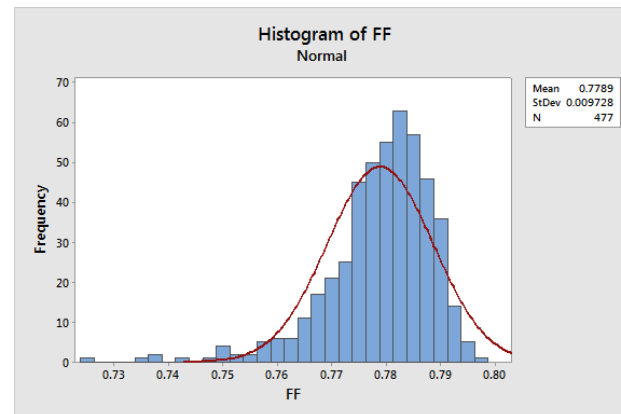
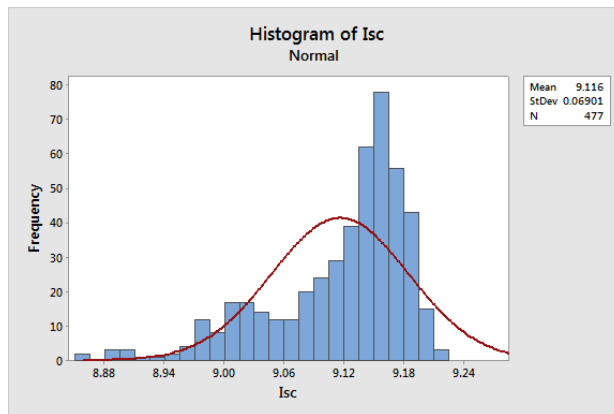
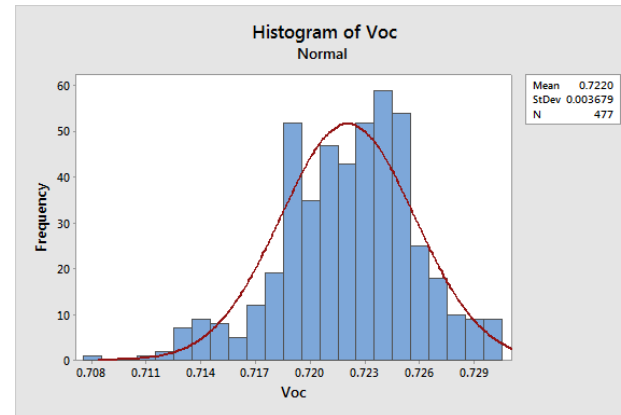
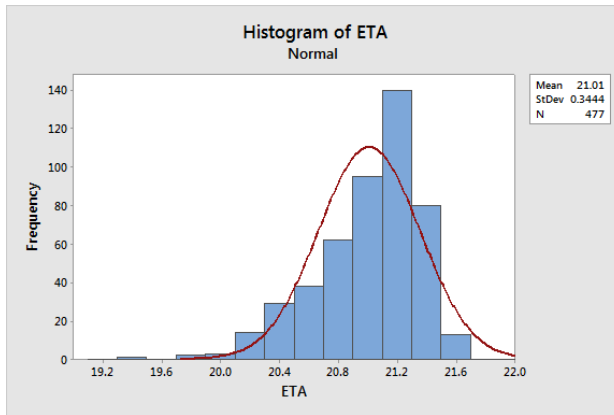




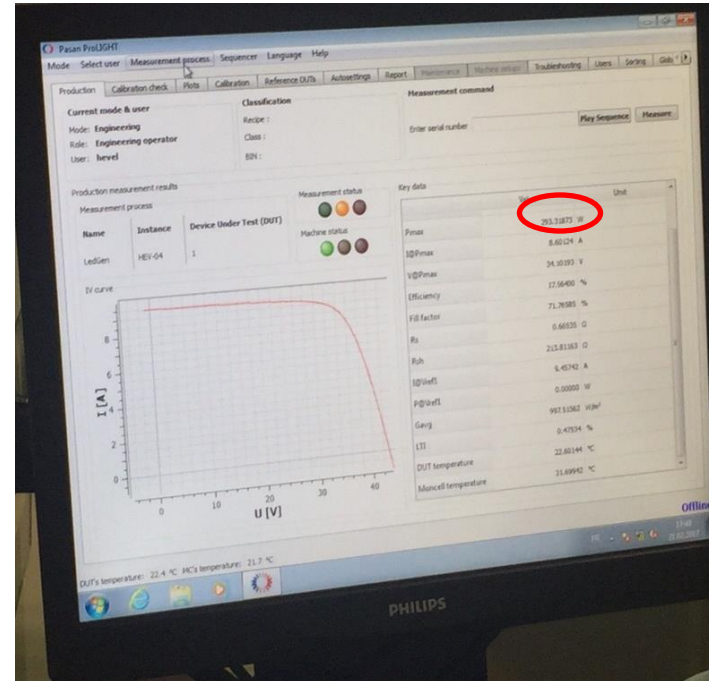
Ultra fast conversion from micromorph to HJT technology has been successfully completed less than in a year



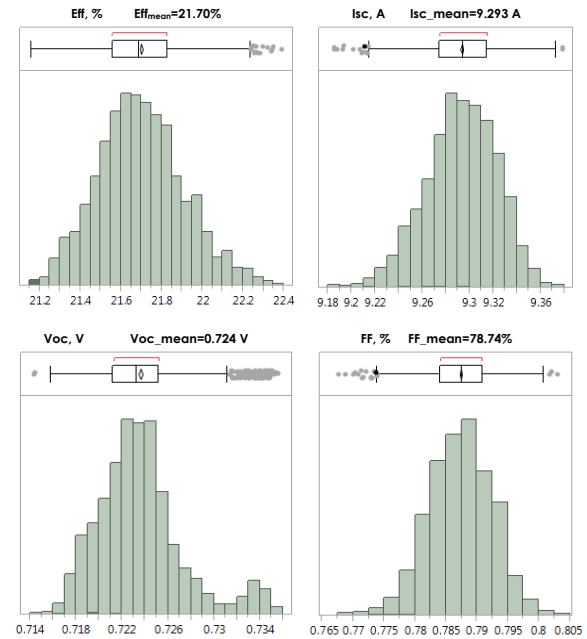
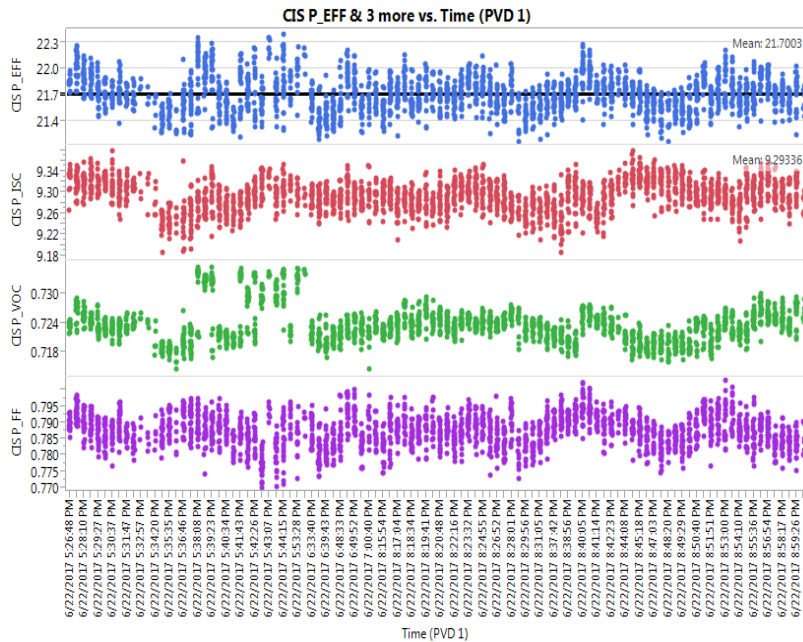
Thanks to the same design of the PECVD reactors of R&D pilot line, transfer of basic heterojunction forming technology to mass production KAI-MT systems takes less than 10 days



Successful transfer of HJT cells technology from R&D pilot line results in average cells efficiency 21% right at the end of application works on mass production equipment



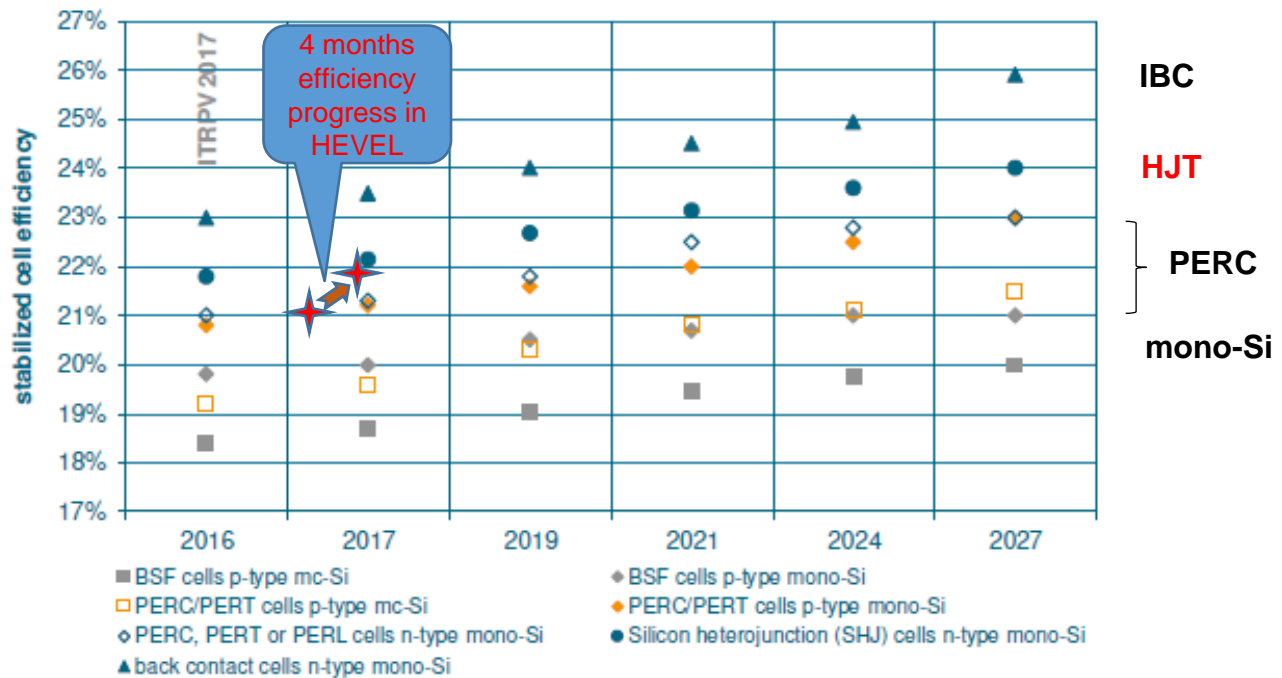
First modules assembled with using of SmartWire technology (from Meyer Burger) show power above 290 W



Stable HJT cells production with average efficiency 21,7 % at efficiency scattering  $\pm 0,5$  abs.% has been achieved within 2 months from the beginning of mass production

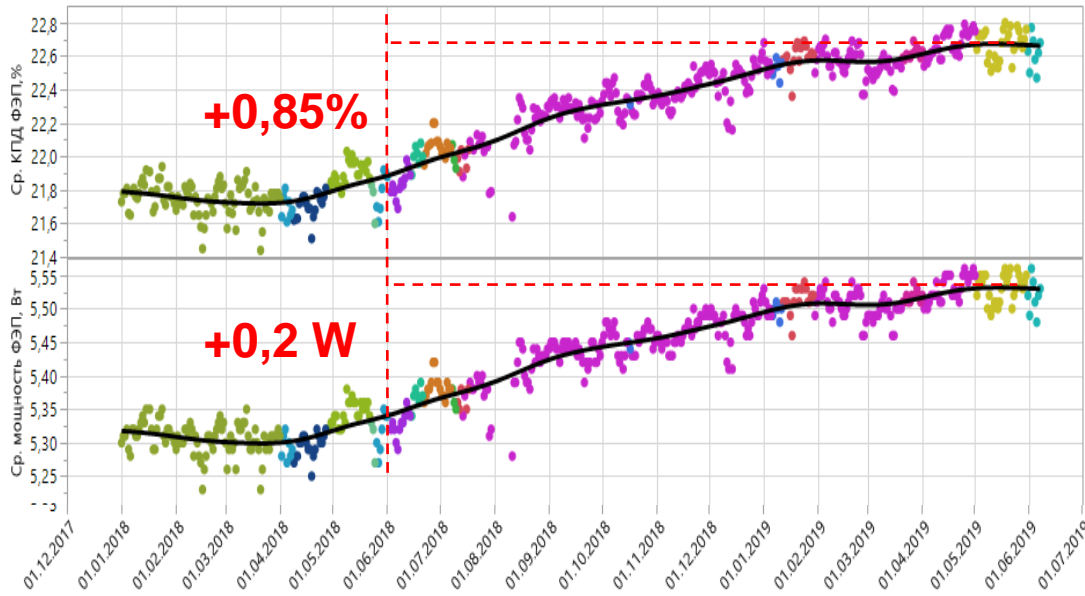


Average stabilized efficiency values for Si solar cells (156x156mm<sup>2</sup>)



Being raised up from 21 to 21,7 % within 4 months, mass production average cell efficiency get close to the general trend of Si cells

# Annual progress: HJT cells production line

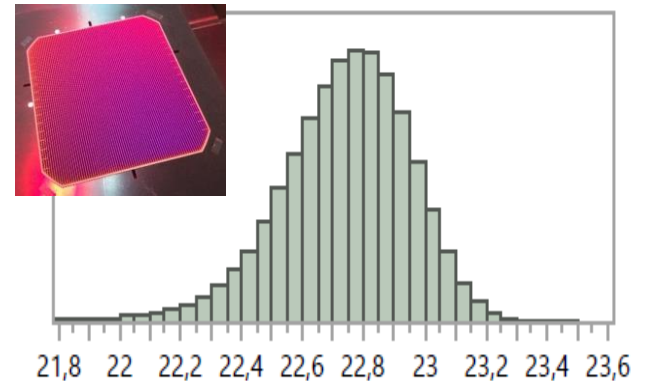


**+ 0,85 % in cells efficiency and +0,2 W of cells power by:**

- Improved stability of production process flow
- Switch to low resistivity silicon wafers
- Using of advanced texturing additives
- Fine optimization of PECVD process
- Improved ITO
- Metallization grid with reduced shadowing

## EFFICIENCY OF SHJ BBL CELLS

### Cell Inspection P EFF



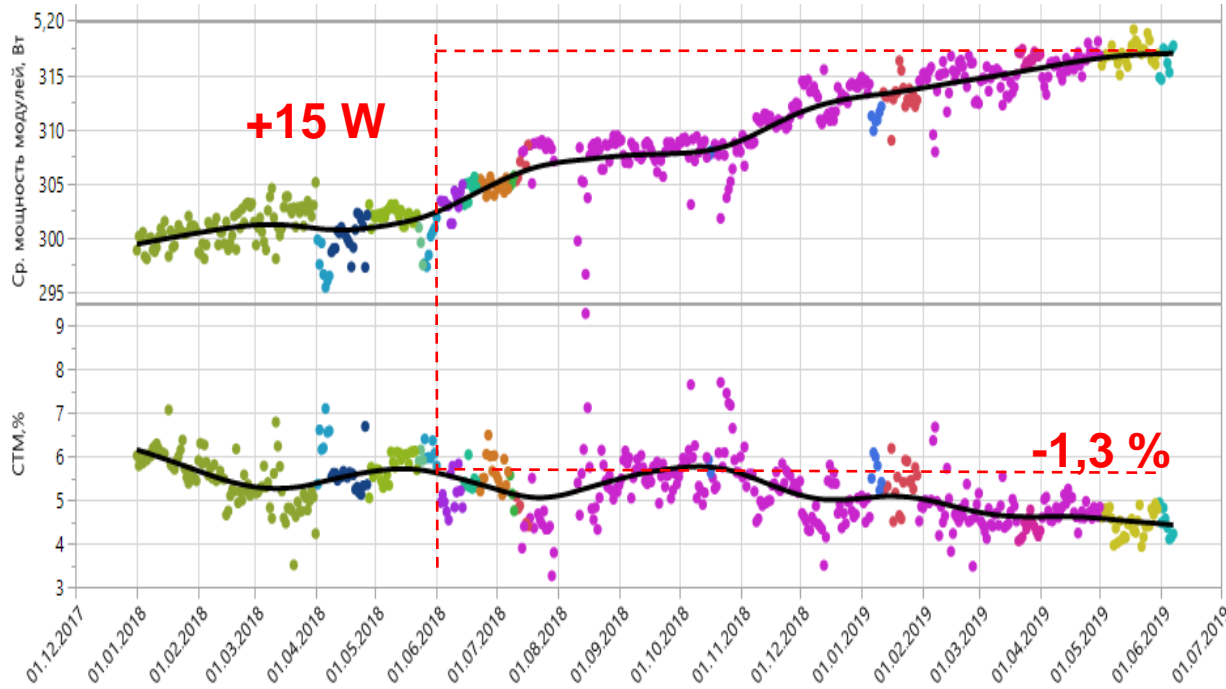
#### Quantiles

100.0%	maximum	23,45898
99.5%		23,1930003
97.5%		23,10113075
90.0%		22,99108
75.0%	quartile	22,88526
50.0%	median	22,7554
25.0%	quartile	22,6106
10.0%		22,46616
2.5%		22,2578285
0.5%		21,9185894
0.0%	minimum	21,4011

#### Summary Statistics

Mean	22,73581
Std Dev	0,218998
Std Err Mean	0,00030
Upper 95% Mean	22,7364
Lower 95% Mean	22,73521
N	51539

# Annual progress: HJT modules production line

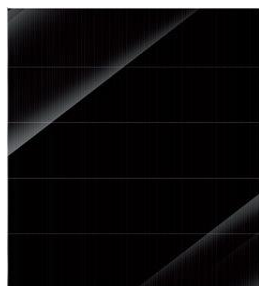


+ 15 W of modules power by:

- Updates of cells production process
- Improved cells interconnection

Commercially available **325 W SHJ modules** are already being manufactured at our production line

N of cells	Area, m <sup>2</sup>	I <sub>sc</sub> , A	V <sub>oc</sub> , V	FF, %	P <sub>max</sub> , W	Eff <sub>app</sub> , %
60	1.67	9.26	44.15	79.53	325	22.2



**Тонкопленочная  
Технология:**

Микроморфный кремний®  
156 секций

КПД:  
**9%**

Мощность:  
**125 Вт**



Технология :  
**НJT**

60 ячеек

КПД ячейки:  
**22.5%**

Мощность:  
**300-310 Вт**

✓ Лучший температурный коэффициент – лучшая выработка энергии при высоких температурах

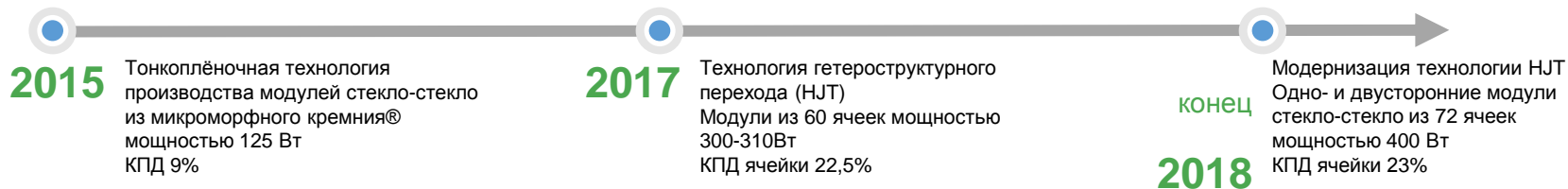


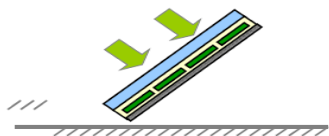
Технология:  
**НJT (одно- / двусторонний)**  
72 ячейки

КПД ячейки:  
**23%**

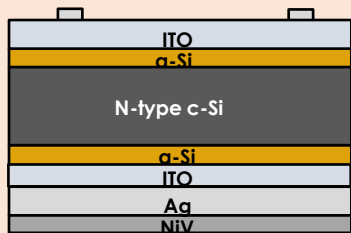
Мощность:  
**400+ Вт**

✓ +15% выработки по сравнению с текущей технологией НJT



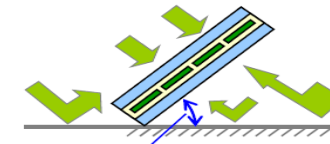


**HJT monofacial**

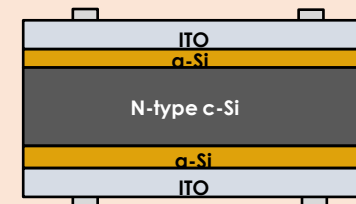


Parameters	Monofacial	Bifacial
Front contacting grid	Yes	Yes
Layers	Thickness, nm	
Front ITO	120	120
Back ITO	40	120
Ag	120	--
NiV	50	--
Back contacting grid	--	да

**Increase of output power up to 25% compared to monofacial modules depending on the tilt angle and albedo level**



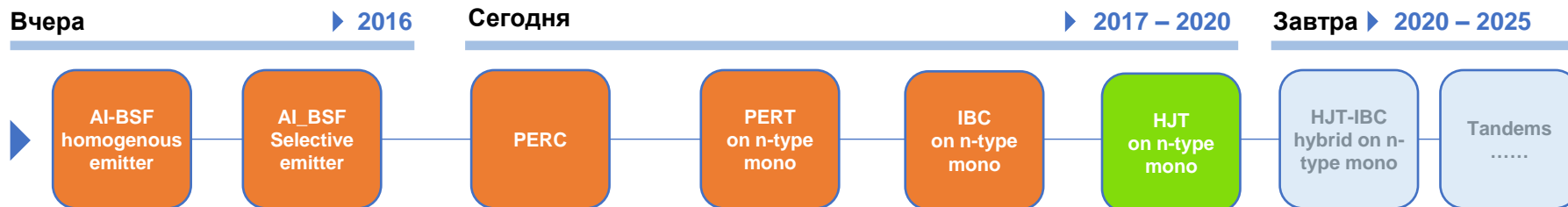
**HJT bifacial**



- 1) The bifacial elements allow using the light reflected from the ground, that is in particular important for the areas with snow coverage
- 2) Availability of the equipment for the production of bifacial elements allows to diversify the factory product range considering the customer's and the installation area requirements



ГК «Хевел» сосредоточила свой научный и производственный потенциал на технологии HJT – самом перспективном направлении развития кремниевых технологий.

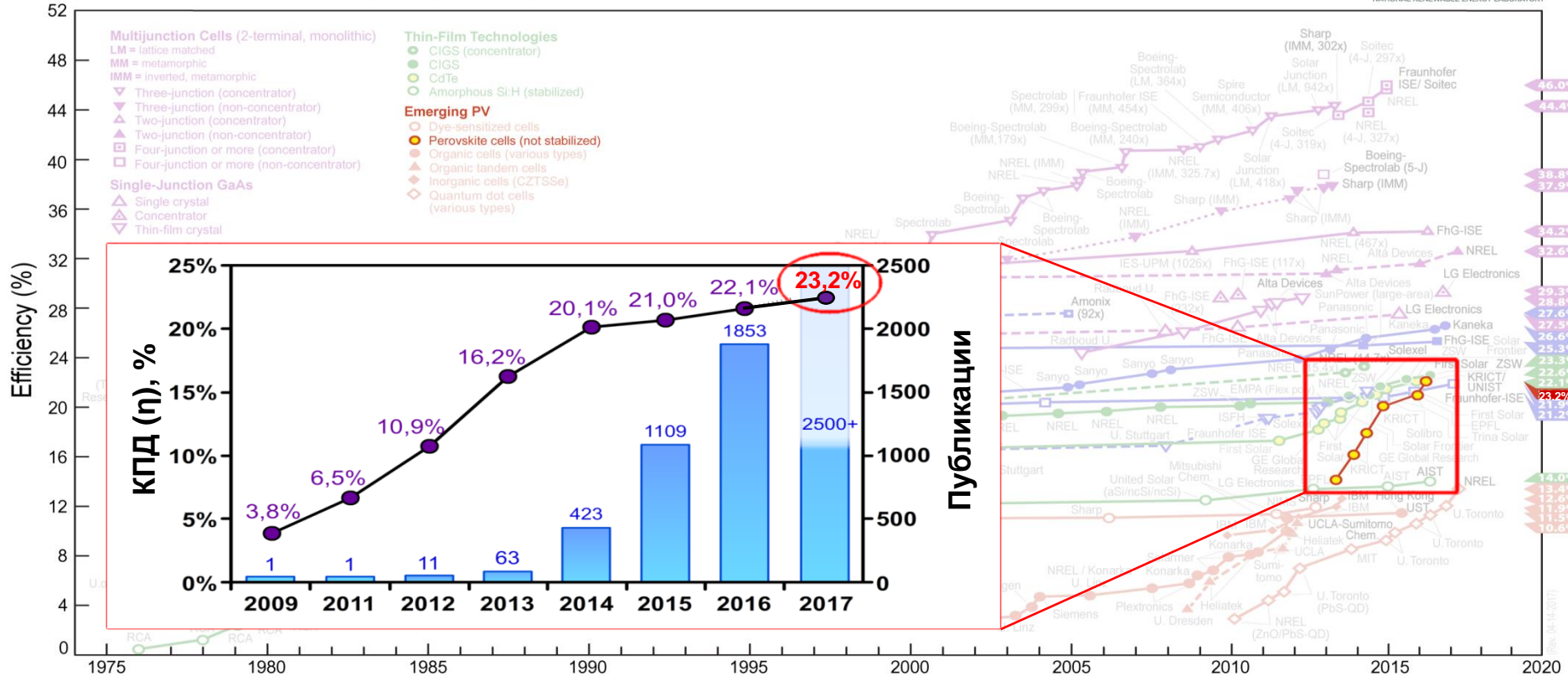


	Multi-S (AI-BSF)	PERC (p—type)	PERT (n—type)	IBC	HJT	Tandem cell
<b>Мин. толщина пластины</b>	180 mkm	180 mkm	180 mkm	100 mkm	90 mkm	
<b>КПД ФЭП</b>	18%	22%	23-25%	25%	23-25%	25-30 %
<b>Температурный коэф.</b>	- 0,41 % / оС	- 0,38 % / оС	- 0,30 % / оС	- 0,30 % / оС	- 0,30 % / оС	—
<b>Коэф. двусторонности</b>	—	80%	80%	—	>90%	—
<b>Деградация</b>	- 0,7 % / год	- 0,5 % / год	- 0,5 % / год	- 0,3 % / год	- 0,4 % / год	—
<b>Стоимость за Вт</b>	0,22 – 0,23 USD/Вт	0,28 – 0,32 USD/Вт	—	0,40 – 0,45 USD/Вт	0,40 – 0,45 USD/Вт	—
<b>Стоимость за кВт*ч*</b>	0,048 – 0,049 USD/кВт*ч	0,046 – 0,042 USD/кВт*ч	—	—	0,040 – 0,038 USD/кВт*ч	—
<b>Потенциал</b>	Предел роста эффективности достигнут, доля рынка снижается	Предел роста эффективности почти достигнут, основная технология на рынке с 2018 г.	Запуск производства в 2019 г., высокий потенциал роста эффективности	Нишевая технология, предел роста эффективности почти достигнут, не ожидается существенного увеличения доли на рынке	Нишевая технология, высокий потенциал роста эффективности и доли рынка	—

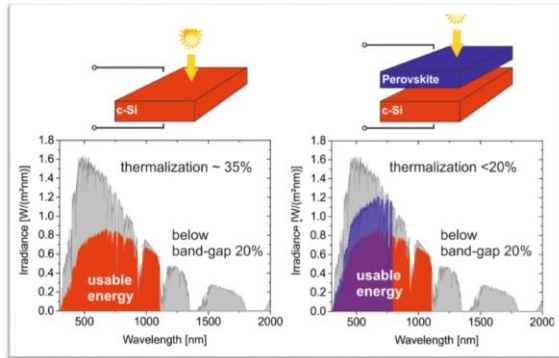
\* источник: Mayer Burger



**Best Research-Cell Efficiencies**



<https://www.nrel.gov/pv/>



## ОПИСАНИЕ

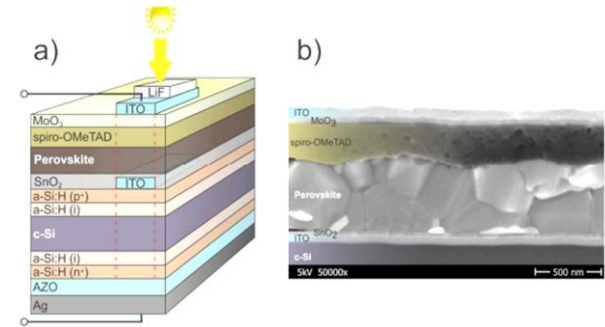
Комбинация высокоэффективной HJT технологии с низко затратной технологией перовскитов с целью увеличения эффективности при сохранении себестоимости ФЭП

## ПОТЕНЦИАЛ

Технология производства модулей на основе ФЭП с эффективностью свыше 27 %

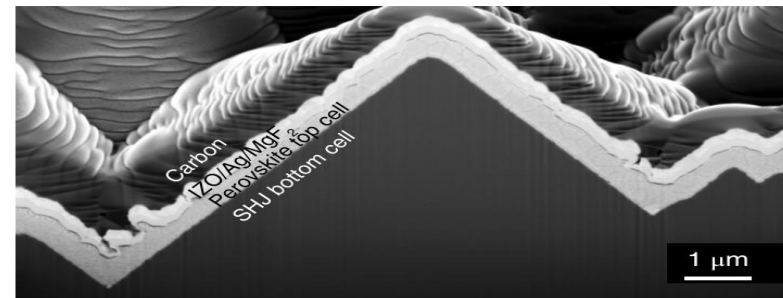
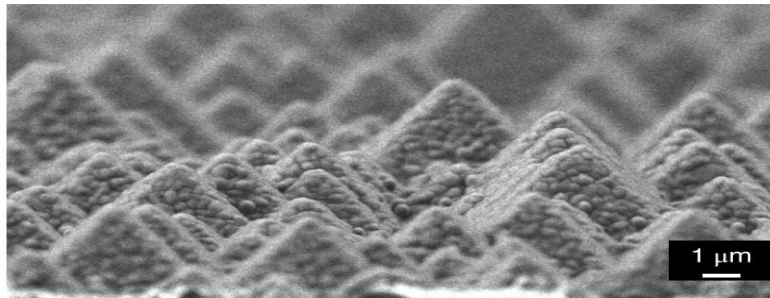
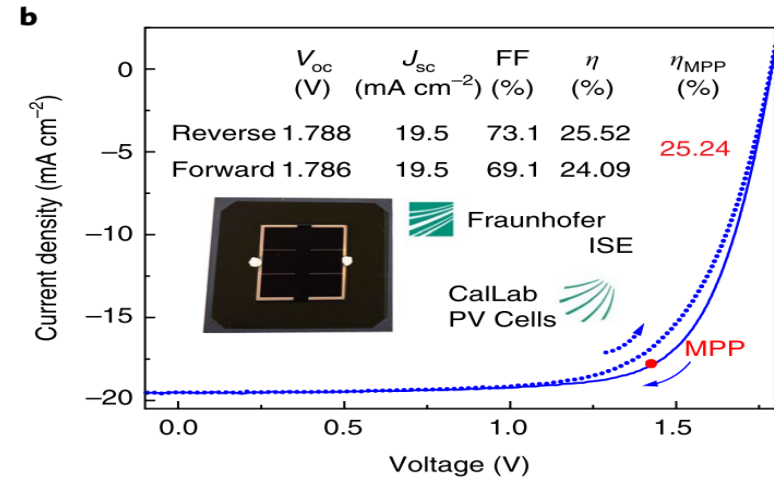
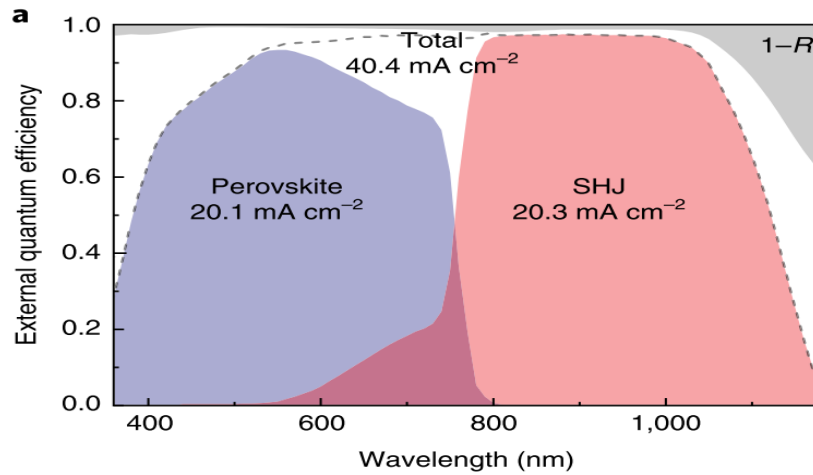
## СТАТУС

Начато взаимодействие с российскими и зарубежными группами, работающими в области перовскитной фотовольтаики. Ведутся работы по определению наиболее перспективных технологических подходов к формированию перовскитного каскада и поиску стратегических партнеров в России и за рубежом



## ГОТОВНОСТЬ К ВНЕДРЕНИЮ

Разработка лабораторного процесса изготовления ФЭП промышленных размеров потребует несколько лет. Сроки разработки и внедрения могут быть существенно сокращены за счет широкой кооперации с российскими и зарубежными исследовательскими центрами и производителями промышленного оборудования



Sahli, F. *et al.* Fully textured monolithic perovskite/silicon tandem solar cells with 25.2% power conversion efficiency. // *Nature Materials*, 17, 820–826 (2018).



- 1. Стабильность ( 25 лет)**
- 2. Токсичность ( Pb?)**
- 3. Масштабируемость  
технологии ( размер и  
производительность)**
- 4. Совместимость с кремниевой  
сборкой модулей ( TCO,  
проводящая паста, ламинация)**
- 5. Стоимость ( кремний менее  
30 Cent/Wt)**

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ  
СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ  
НА НАКЛОННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ  
(УГОЛ РАВЕН ШИРОТЕ)  
ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

## Строительство солнечных электростанций в рамках Постановления Правительства РФ от 28.05.2013 №449

(выполнено НИЛ ВИЭ МГУ и ОИВТ РАН)

Регион	Мощность, МВт
Саратовская обл.	50
Респ. Башкортостан	74
Оренбургская обл.	95
Омская область	25
Респ. Алтай	20
Респ. Бурятия	25
Забайкальский край	10

ООО «Хевел» будет построено 254 МВт  
солнечных электростанций до 2018 года

Солнечная радиация, кВт\*ч/м2

2	3	4	5
2,5	3,5	4,5	5,5

10 - общая установленная мощность  
СЭС в регионе, МВт



## Сетевые



Республика Башкортостан

**40** МВт

Республика Бурятия

**10** МВт

Волгоградская область

**10** МВт

Республика Алтай

**40** МВт

В регионе построена первая в России сетевая солнечная электростанция на гетероструктурных модулях, произведенных в России



Оренбургская область

**50** МВт

Саратовская область

**20** МВт



## Автономные гибридные решения



Республика Алтай  
с. Яйлю

144 кВт

Забайкальский край  
с. Менза

400 кВт



## Инфраструктурные проекты



Краснодарский край Республика Карелия

228 кВт 60 кВт

Алтайский край Челябинская область

134 кВт 244 кВт



## Фасадные проекты



Краснодарский край  
г. Сочи, отель «Русские  
сезоны»

31 кВт

Московская  
область

Южный фасад  
здания  
«Гиперкуб», Сколково

11 кВт





**ПОТРЕБЛЕНИЕ И ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА, ТОНН**



**Достигнута экономия более 50% дизельного топлива**



На текущий момент компания развивает новые направления



**Автономные гибридные решения (АГЭУ)**



**ЕРС(F) подрядчик – строительство и эксплуатация СЭС**



**Экспорт ячеек, модулей и ЕРС, IRR проекты**



**Микрогрид (розничный рынок)**



На открытом пространстве (солнечные парки)



На кровле (плоской и скатной) и фасаде зданий

## ОПИСАНИЕ

Разработка и адаптация конструкции солнечных модулей для применения в качестве источников электроэнергии, интегрированных в здания, специальные сооружения и транспортные средства

## ПОТЕНЦИАЛ

Диверсификация и продвижение продуктов Хевел, расширение рынков сбыта продукции

## СТАТУС

Изготовлены и проходят испытания опытные образцы солнечных модулей для различных приложений

## ГОТОВНОСТЬ К ВНЕДРЕНИЮ

Налажено опытное изготовление модулей с различной конструкцией и создание источников электроэнергии на их основе. Требуется развертывание серийного производства



- Project focused on conversion of micromorph production line to Si-HJ production was successfully completed by HEVEL;
- In house HJT technology with average cells efficiency 22,7 % and maximal efficiency over 25 % was successfully developed and implemented in the production line;
- Mass production with annual capacity 260 MW/y at average modules power 325 W has been ramped up successfully;



# Спасибо за внимание

