



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

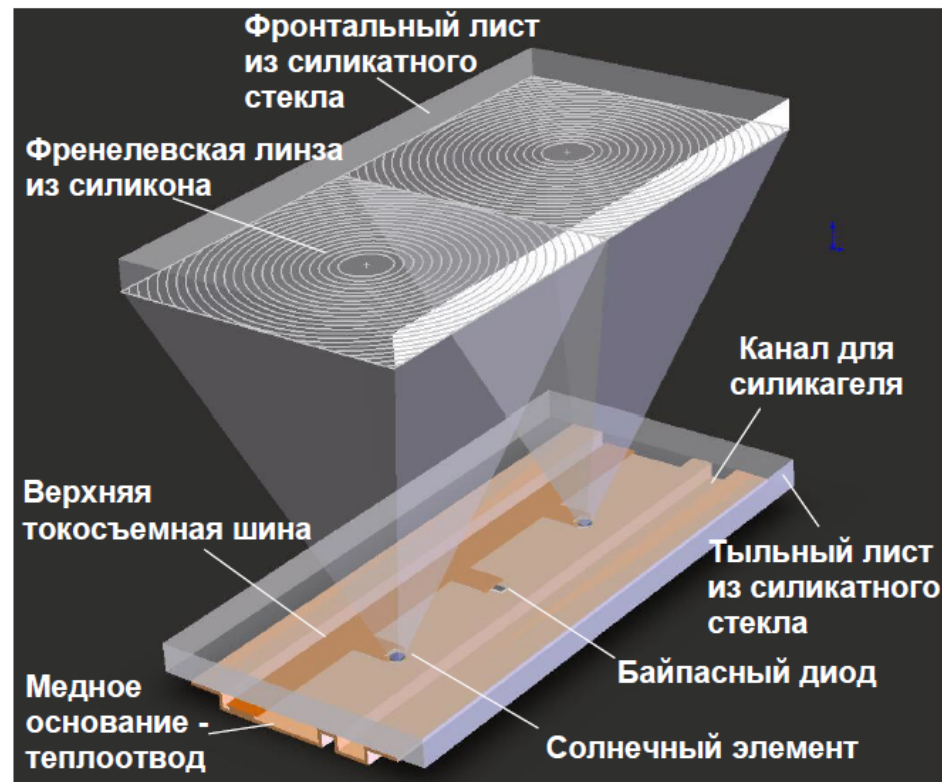
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

Садчиков Н.А. «Концентраторные фотоэлектрические модули»

E-mail: N.A.Sadchikov@mail.ioffe.ru



Концентраторный фотоэлектрический модуль – КФЭМ



**Схема концентраторного модуля с
минилинзами Френеля**

КФЭМ- КОНЦЕНТРАТОРНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДУЛИ НА ОСНОВЕ ЛИНЗ ФРЕНЕЛЯ и МНОГОПЕРЕХОДНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ InGaP/InGaAs/Ge с КПД 42-43%

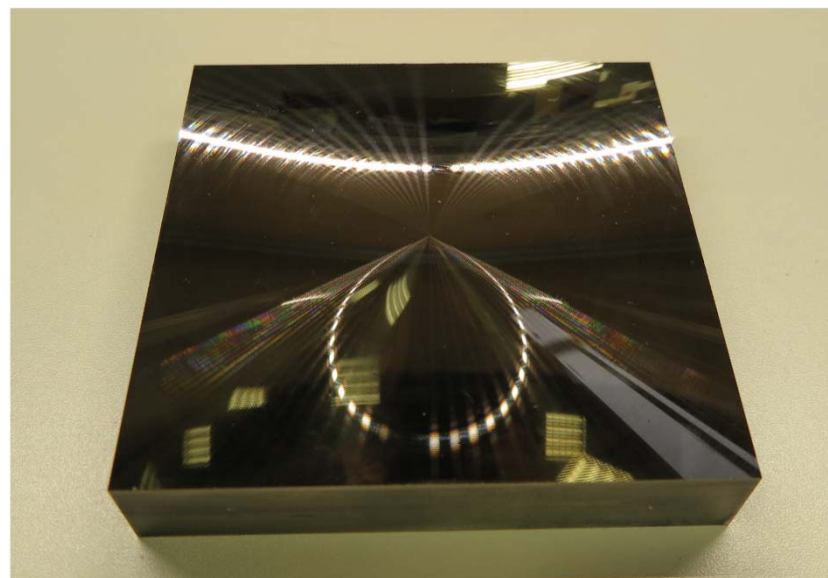
- Два варианта конструкции КФЭМ – **КФЭМ60, КФЭМ120**
- КФЭМ60 – Линза Френеля 60х60мм, фокусное расстояние 105 мм, СЭ 3х3мм – концентрация 400 Солнц
- КФЭМ120 – Линза Френеля 120х120мм, фокусное расстояние 220-225мм, СЭ 5,5х5,5мм – концентрация 476 Солнц
- Полноразмерные образцы КФЭМ с общей площадью 0.5 кв.м.
- **КФЭМ60 – размер 980х500х115мм**
- 128 пар - линза Френеля 60х60мм - СЭ 3х3мм
- **КФЭМ120 –размер 980х500х230мм**
- 32 пары - линза Френеля 120х120мм - СЭ 5,5х5,5мм

Линза Френеля – технология силикон на стекле

Единичная мастер матрица с профилем Френеля, прецизионное точение алмазным резцом в слое никеля

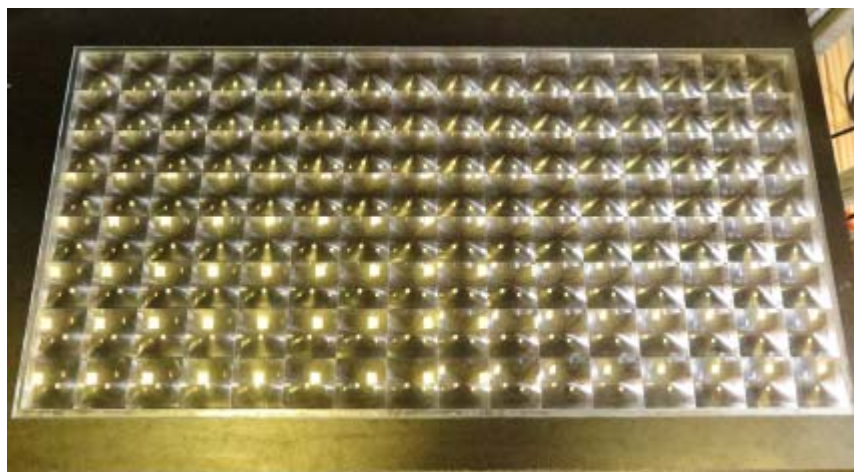
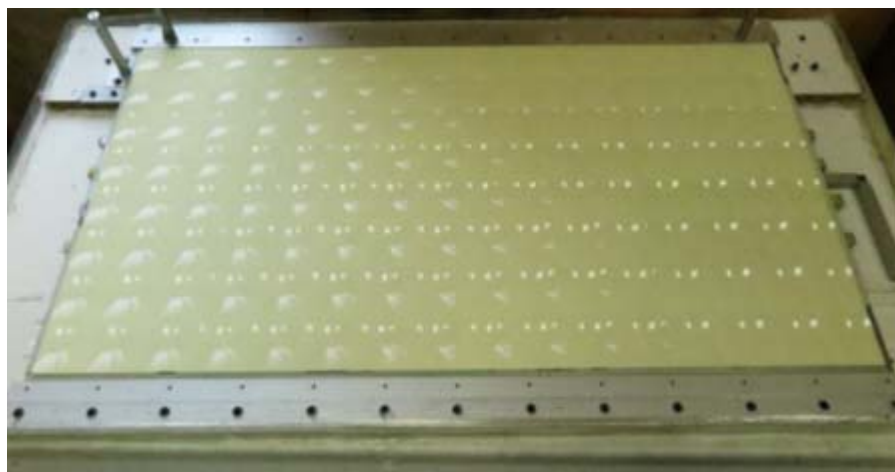
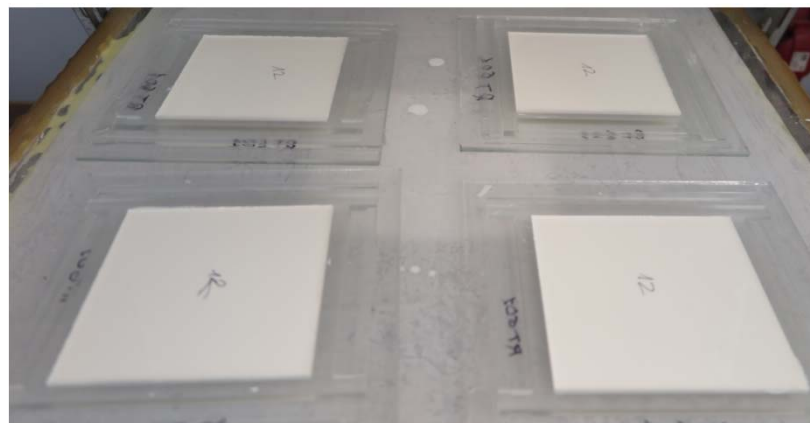


Мастер матрица 60x60мм

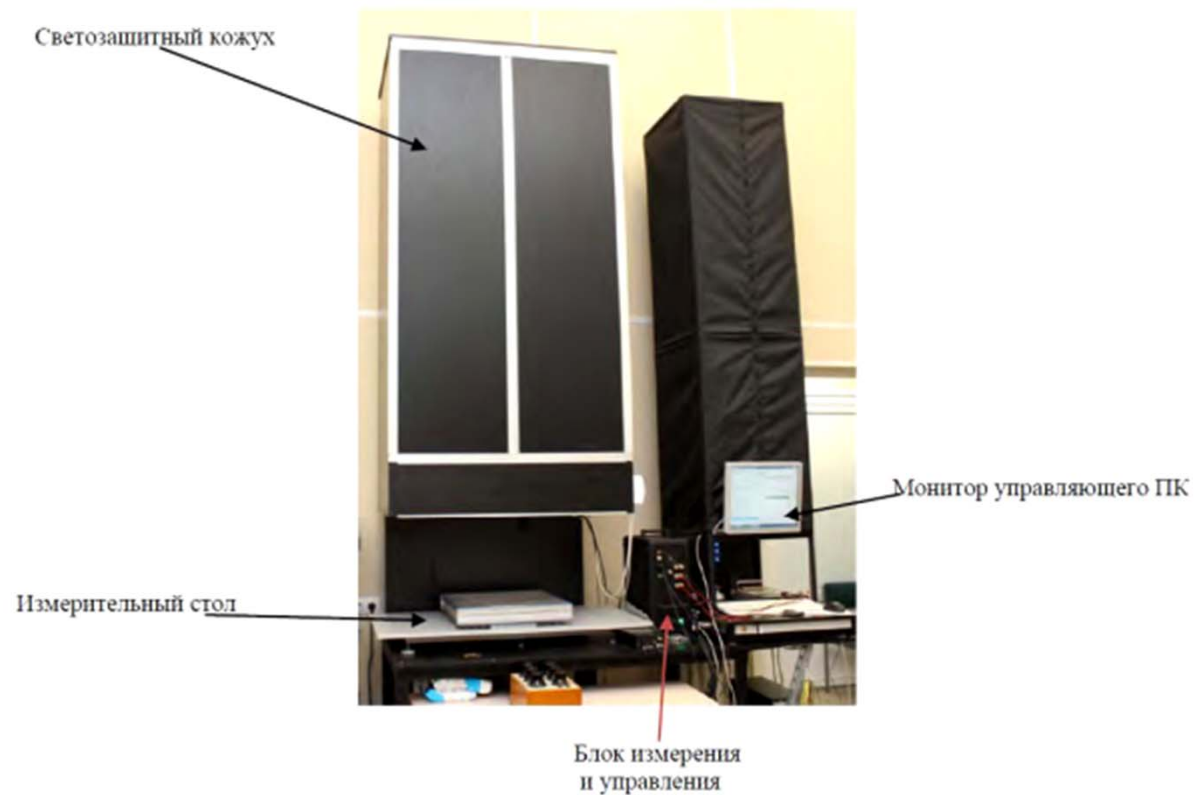


Мастер матрица 120x120мм

Изготовление линзовых панелей с помощью полиуретановых матриц с профилем Френеля методом последовательной репликации.

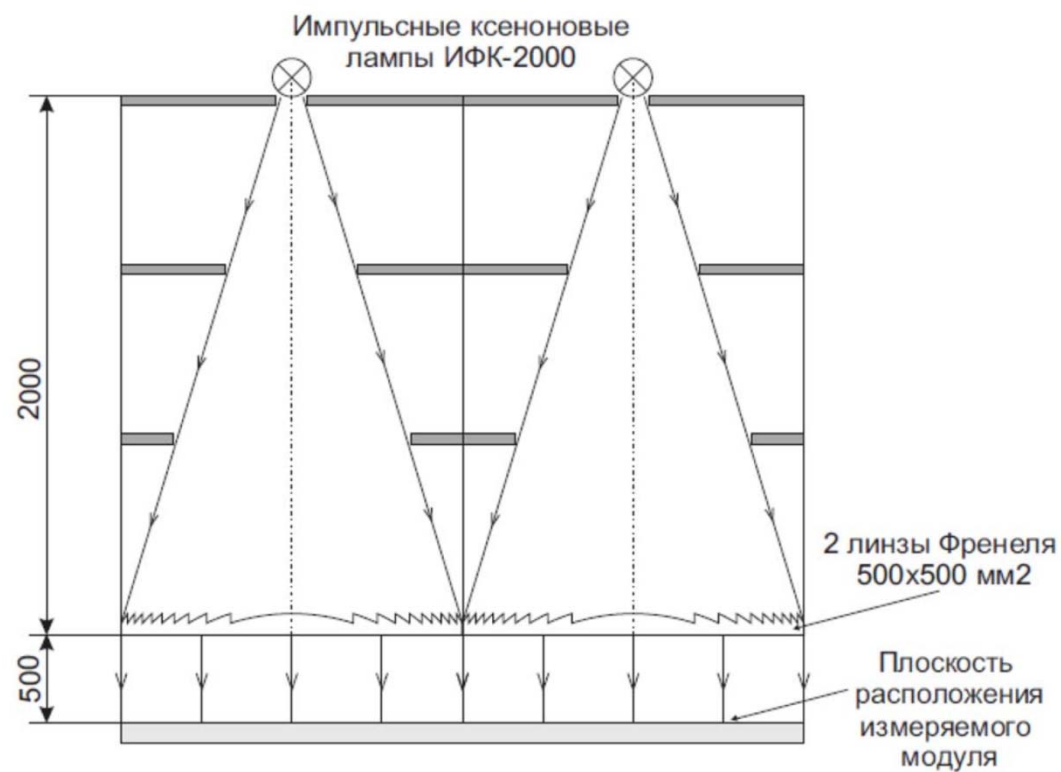


Импульсный имитатор солнечного излучения

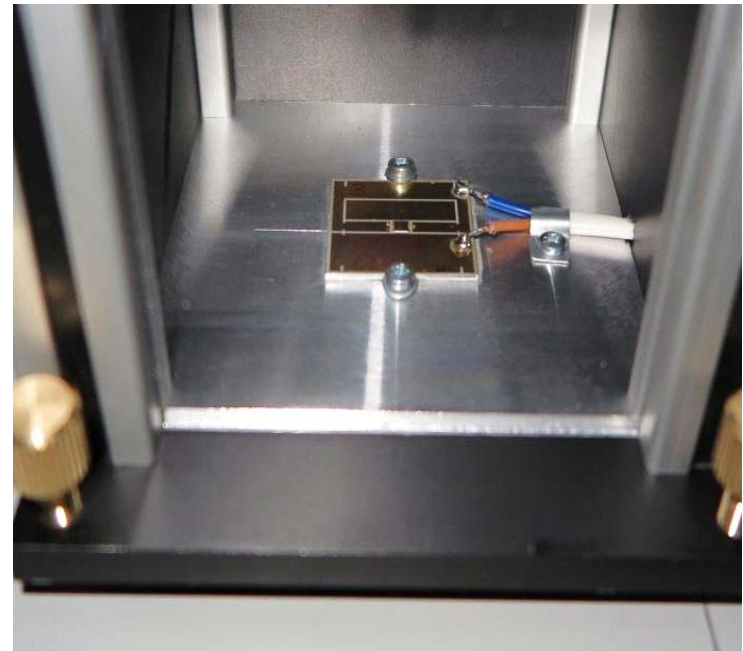


Стенд выходного контроля концентраторных модулей с рабочим полем 1000x500мм - предназначен для измерения фотоэлектрических характеристик концентраторных фотоэлектрических модулей, а также является стендом первоначальной юстировки модулей при сборке.

Оптическая схема коллимирующей системы стенда выходного контроля

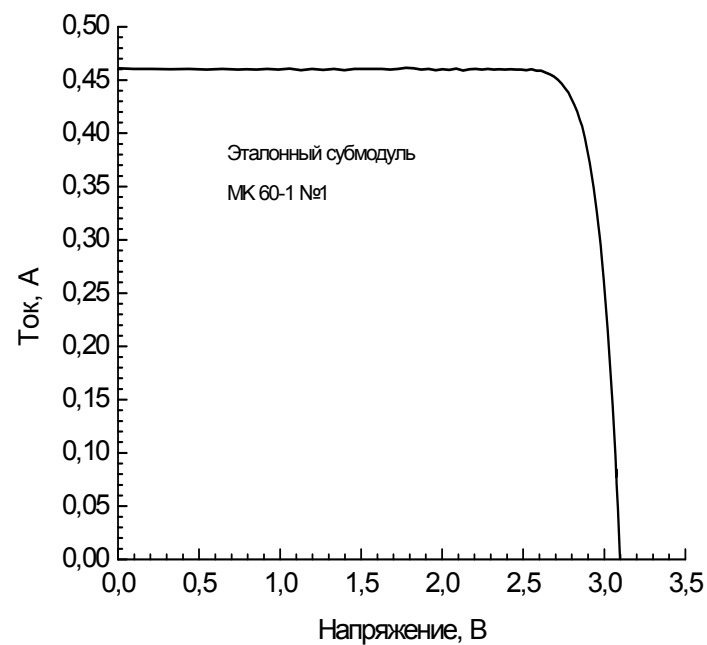
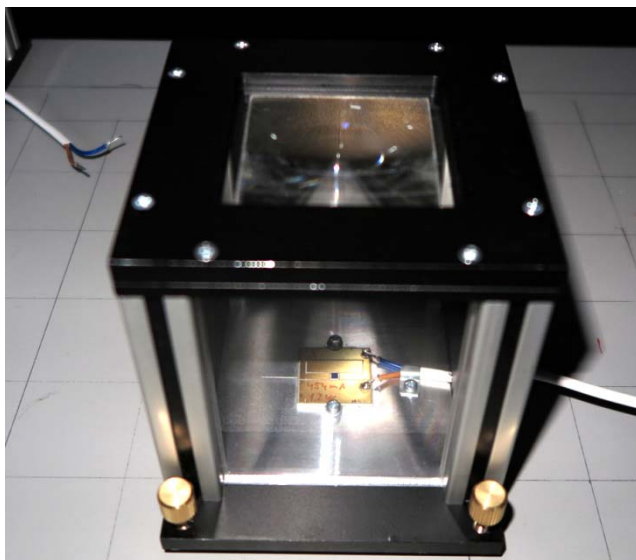


Минимодуль КФЭМ60



Эталонный концентраторный минимодуль КФЭМ60 с алюмооксидной теплоотводящей платой на алюминиевом теплорассеивающем основании: слева – модуль в собранном состоянии, справа – нижнее основание с СЭ

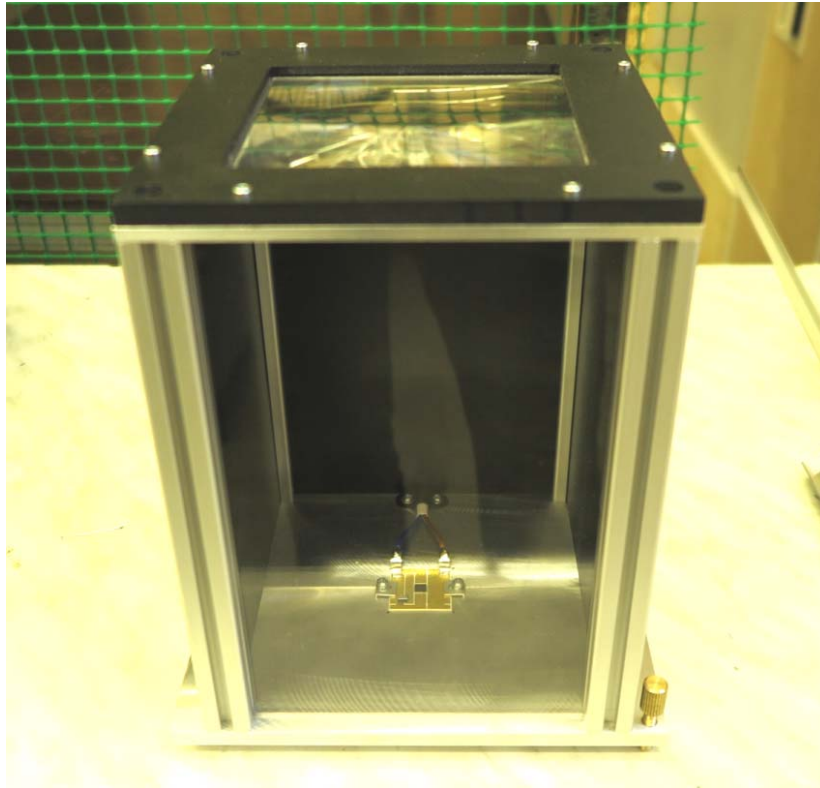
КПД минимодуля КФЭМ60



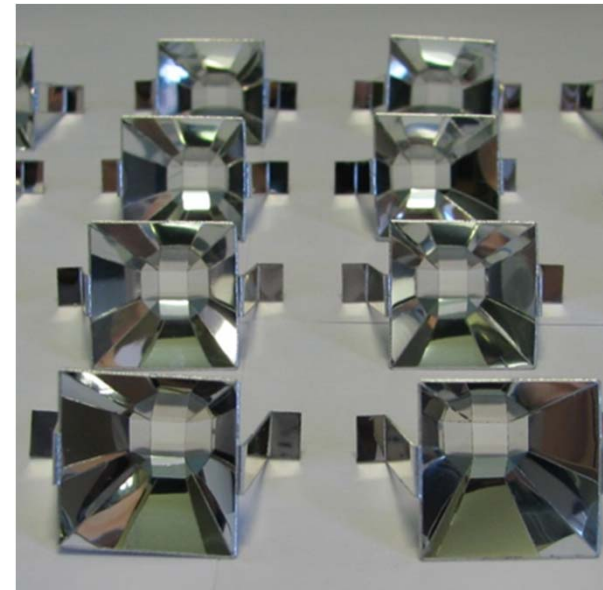
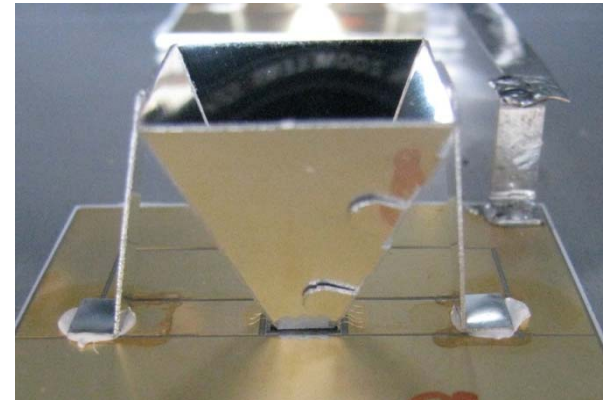
$I_{к.з.},$ А	$U_{х.х.},$ В	$I_{опт},$ А	$U_{опт},$ В	$P_{макс},$ Вт	FF, %	КПД, %
0,46	3,1	0,447	2,74	1,222	85,74	33,95

Световая ВАХ минимодуля МК-60-1 на основе одной линзы 60 мм х 60 мм и СЭ 3х3мм.

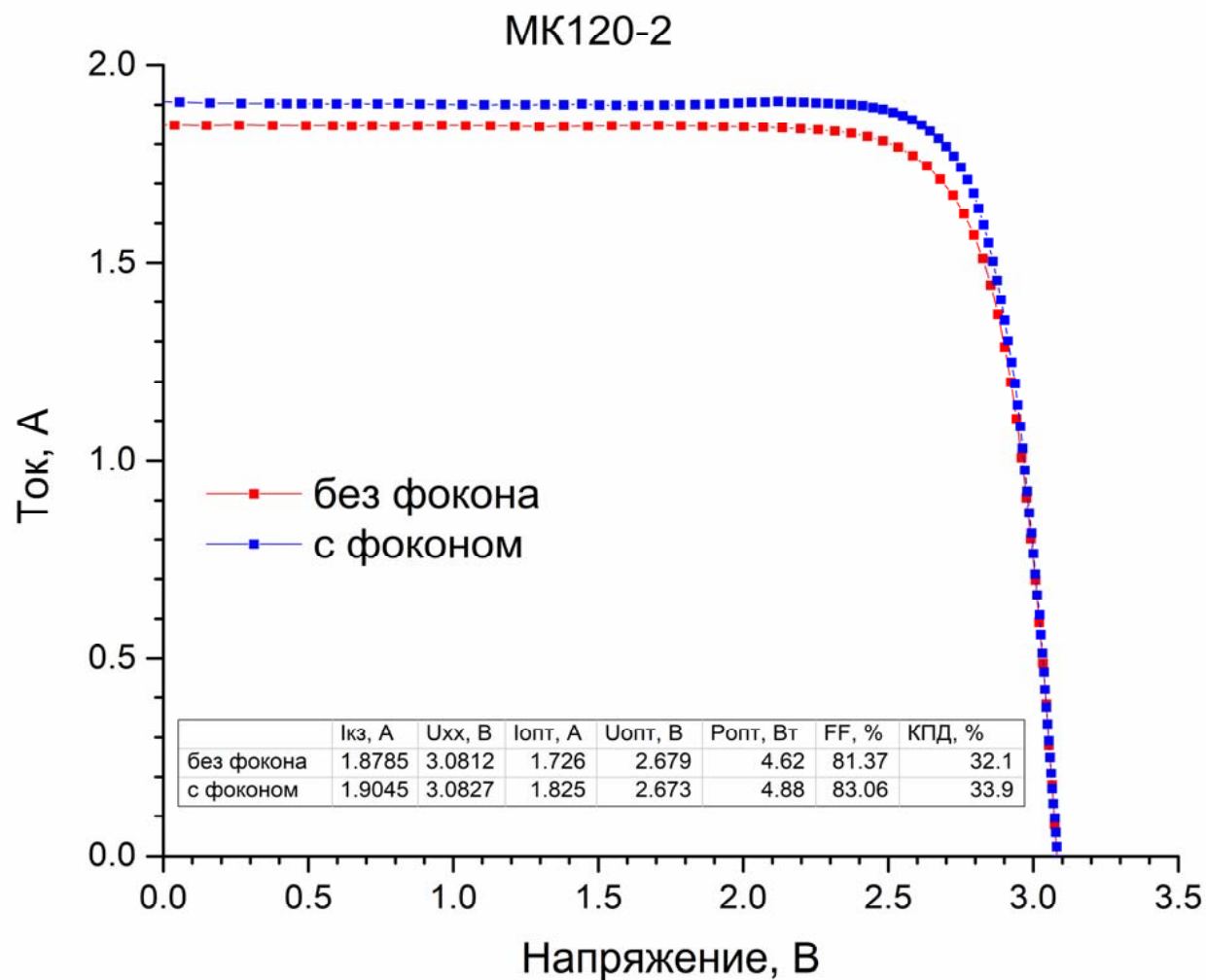
Минимодуль КФЭМ120



Световая ВАХ минимодуля МК-120-2 на основе одной линзы 120 мм x 120 мм и СЭ 5.5x5.5мм, без фокона и с фоконом.

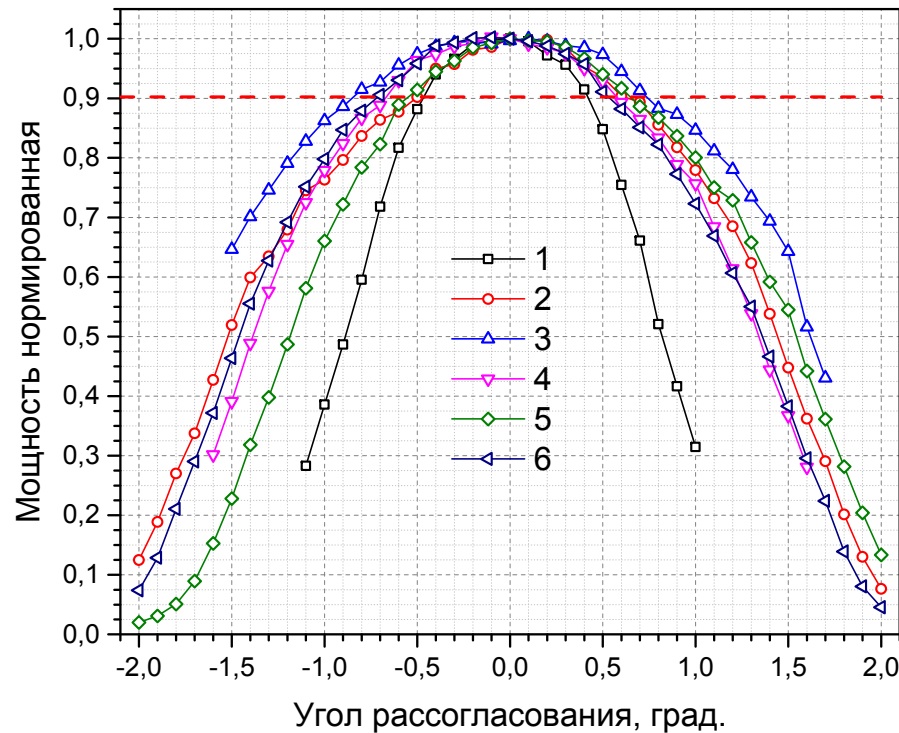


КПД минимодуля КФЭМ120



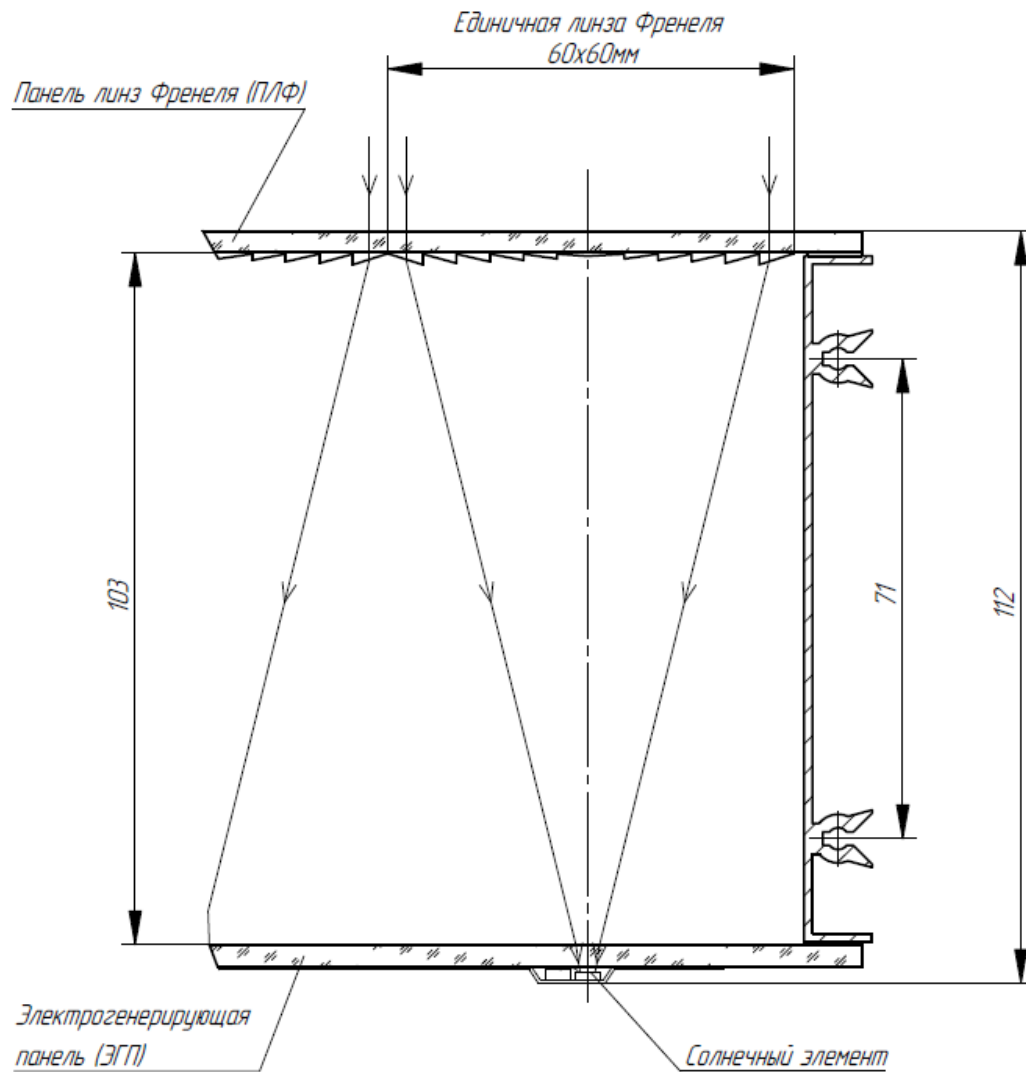
Световая ВАХ минимодуля МК-120 без фокона и с фоконом.

Вклад вторичной оптики - фоконов



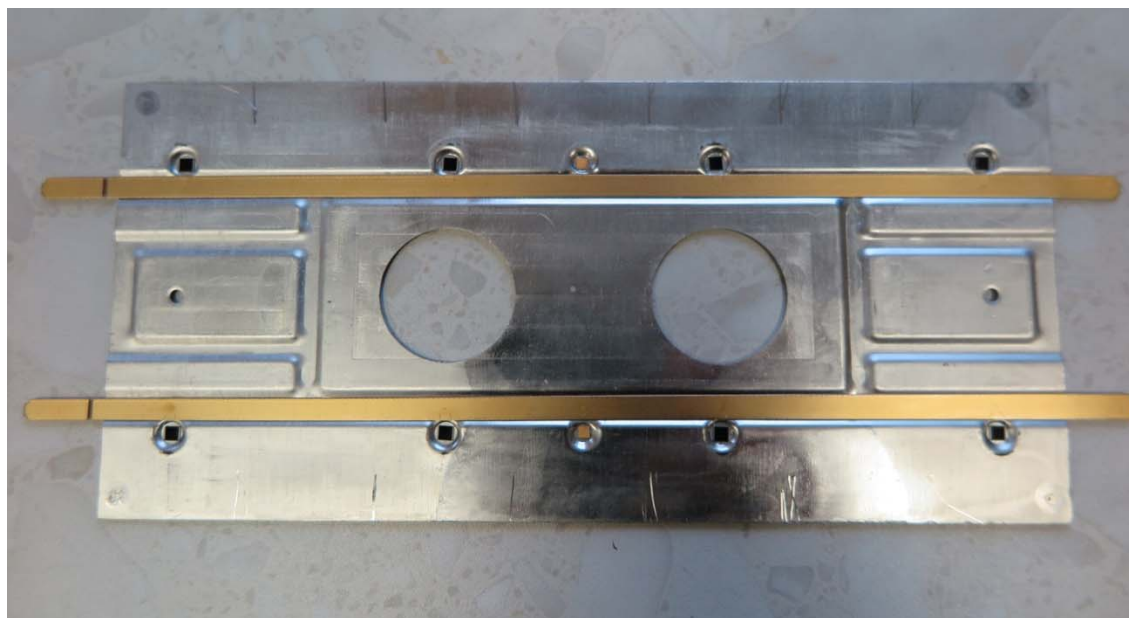
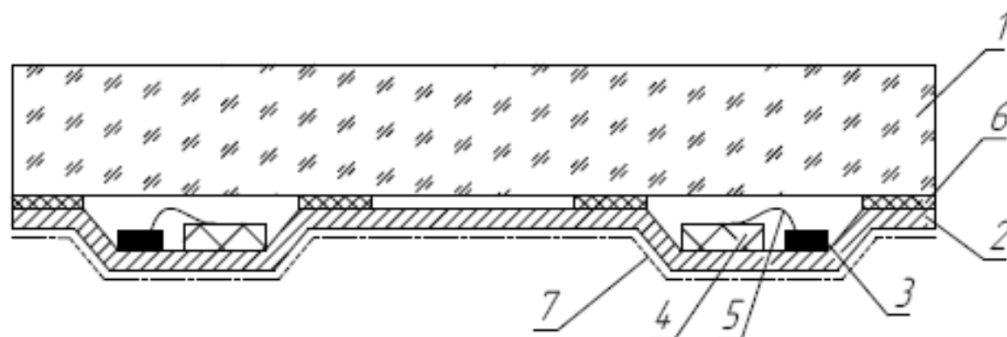
Разориентационные кривые для субмодуля: 1- без фокона; 2 – с фоконом с углом наклона граней $\alpha = 20^\circ$; 3 – с фоконом с углом наклона граней $\alpha = 22^\circ$ и расстоянием от ФЭП $f = 0$; 4 – с фоконом с углом наклона граней $\alpha = 25^\circ$ и расстоянием от ФЭП $f = 0$; 5 – с фоконом с углом наклона граней $\alpha = 22^\circ$ и расстоянием от ФЭП $f = 200$ мкм; 6 - с фоконом с углом наклона граней $\alpha = 25^\circ$ и расстоянием от ФЭП $f = 200$ мкм.

Полноразмерный КФЭМ60



- Оптическая схема
- модуля КФЭМ60

Электрогенерирующая матрица КФЭМ60



КФЭМ60 – конструкция



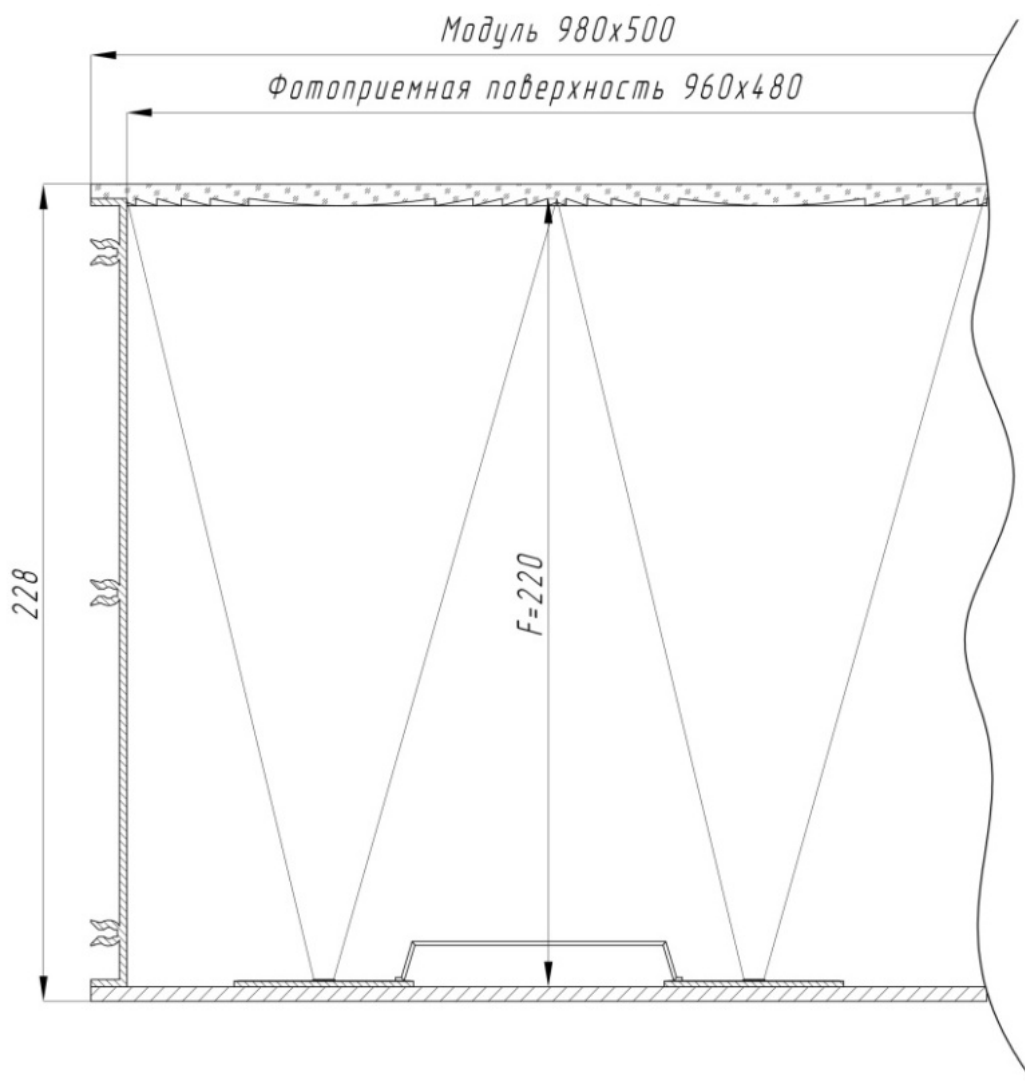
Линзовая панель на основе 128 пар - линза Френеля 60x60 мм² + СЭ 3x3 мм²

КФЭМ60



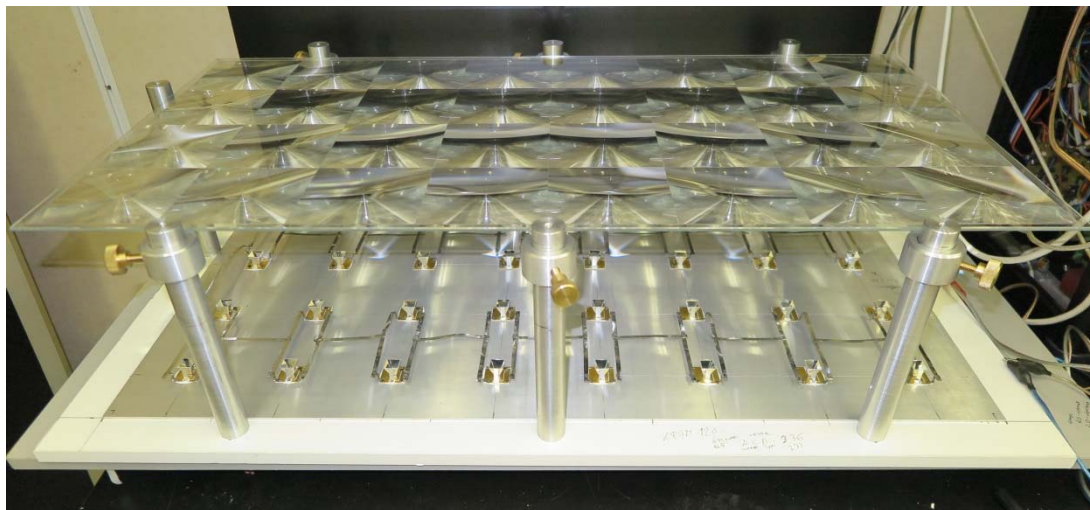
Фотография
концентраторного
фотоэлектрического
модуля конструкции
КФЭМ60

Полноразмерный КФЭМ120

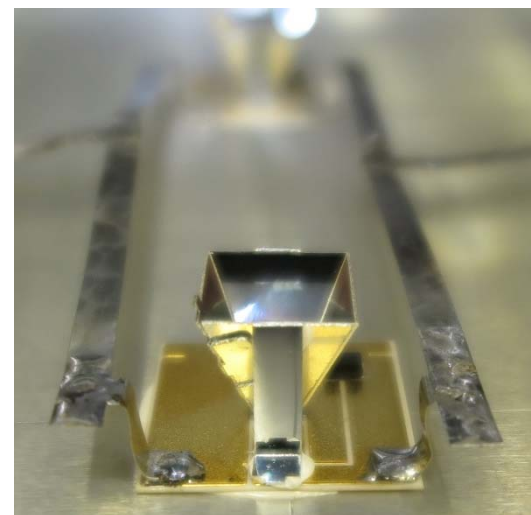
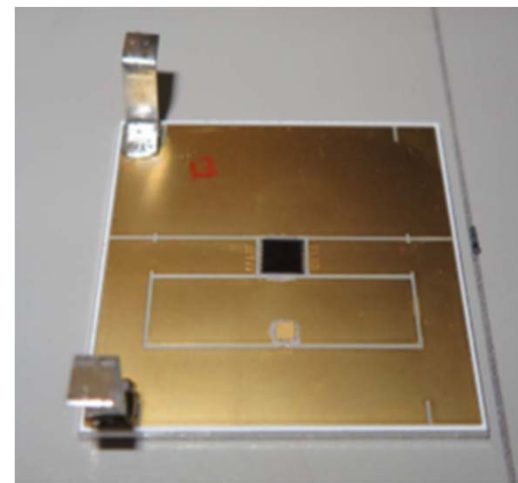


- Оптическая схема
- модуля КФЭМ120

КФЭМ120 - конструкция



Фрагмент модуля КФЭМ-120: линзовая панель с линзами Френеля, размерами 120x120мм, и СЭ размерами 5,5x5,5мм напаяны на теплопроводящие электроизолирующие платы

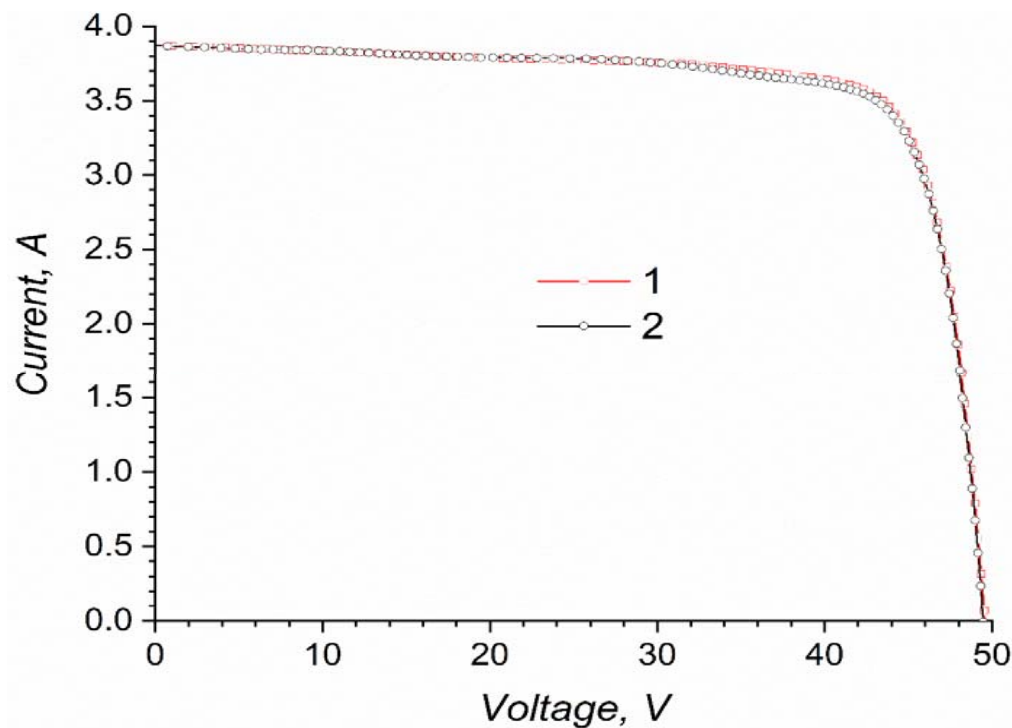


КФЭМ120



Экспериментальный образец КФЭМ-120.

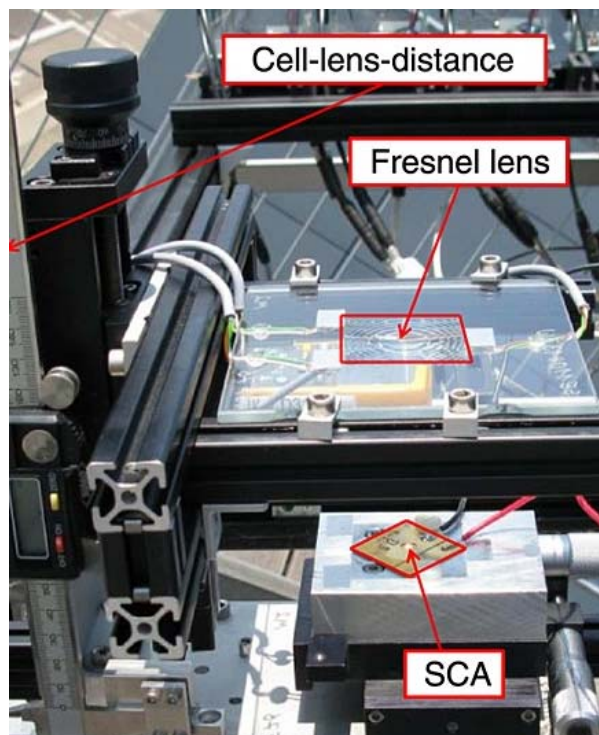
КПД модулей КФЭМ60 и КФЭМ120



Параметры световой вольтамперной характеристики модуля КФЭМ-60 и КФЭМ-120.

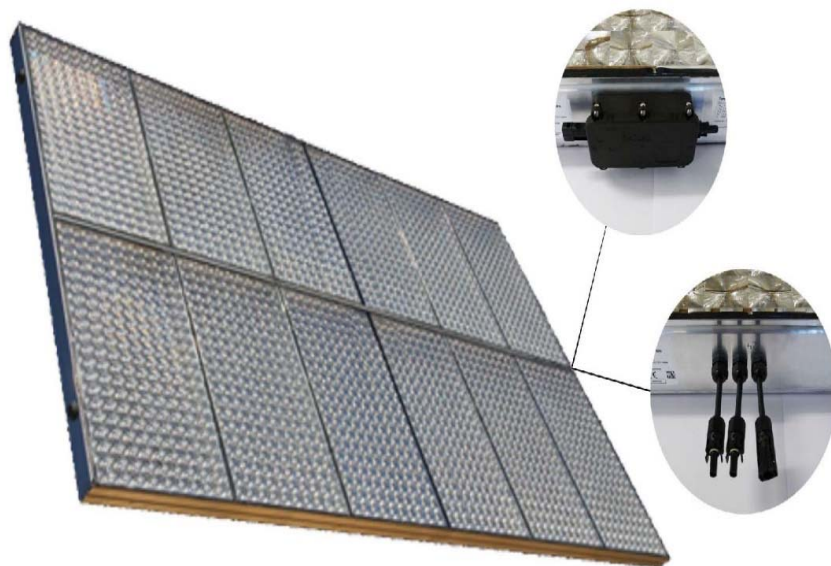
Модуль	$I_{к.з.}, A$	$U_{хх}, V$	$I_{опт}, A$	$U_{опт}, V$	$P_{опт}, W$	FF, %	КПД, %
КФЭМ 60	3.861	49.574	3.554	42.662	151.6	79.2	32.9
КФЭМ 120	3.823	49.585	3.392	43.883	148.87	78.53	32.3

Мировой рекорд КПД для КФЭМ- Fraunhofer ISE (Германия), SOITEC(Франция)



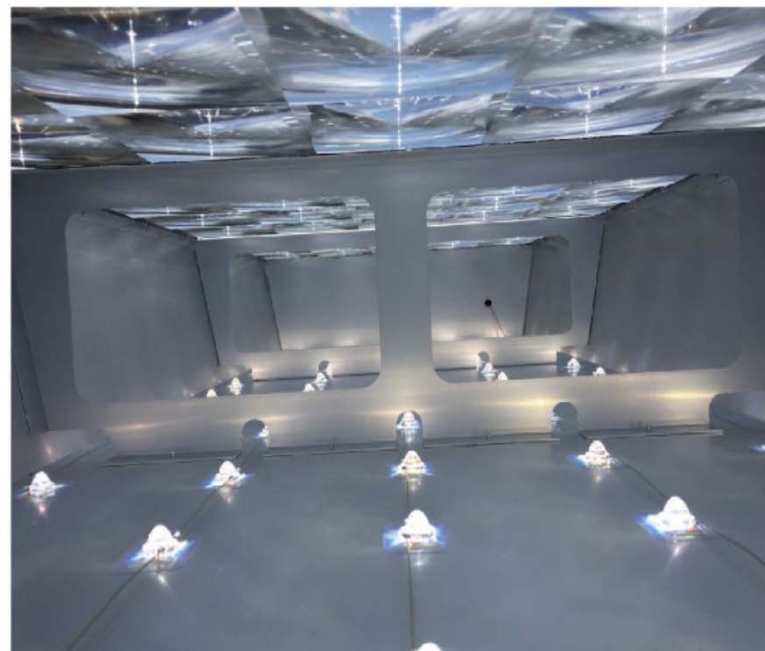
Фотография минимодуля и модуля FLATCON (Fraunhofer ISE) 16 и 829.6 кв.см. – КПД 38,9% и 36,7%, концентрация 220 Солнц.
СЭ GaInP/GaAs//GaInAsP/GaInAs, КПД СЭ 46%

Аналог КФЭМ60



Фотография модуля СХ-М500
производства компании
SOITEC (STACE), размер линзы
Френеля 60х60мм, СЭ 3х3мм,
концентрация 400 Солнц –
КПД КФЭМ 32%

Аналог КФЭМ120



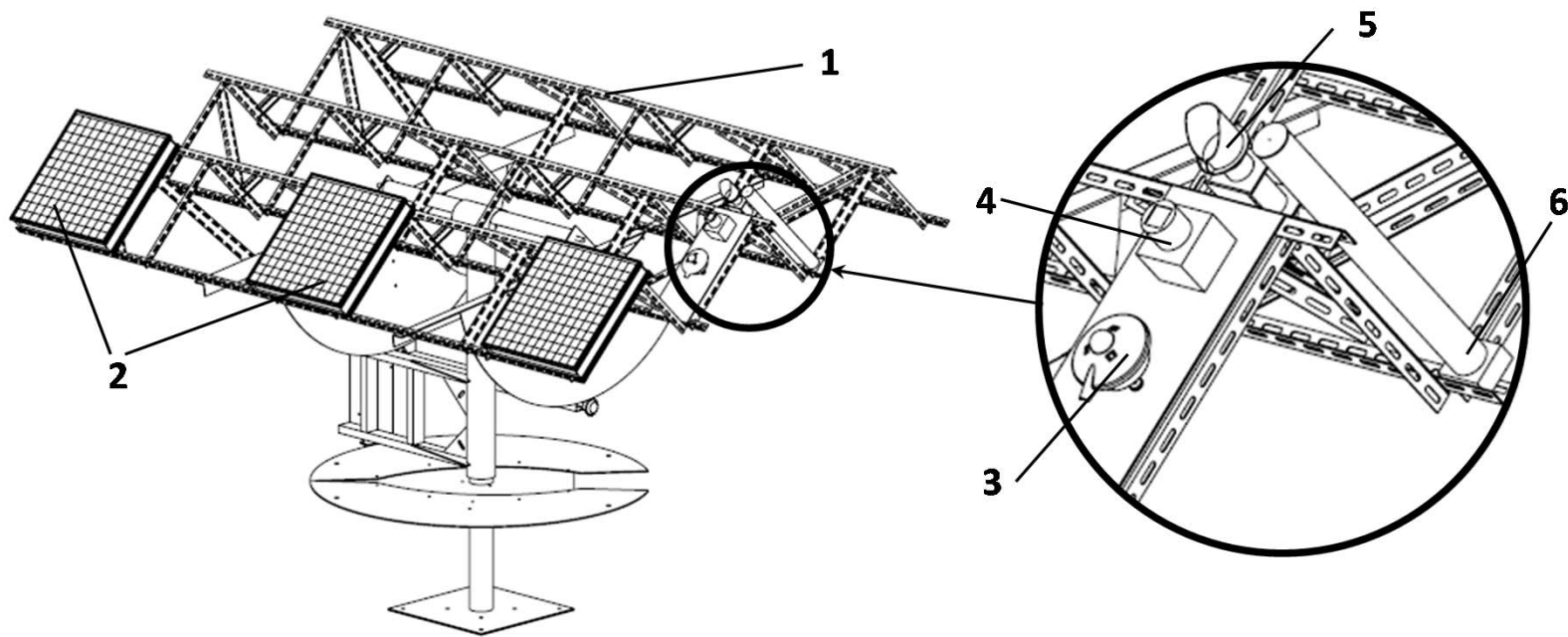
Фотография модуля C3PV
производства компании Azur
Space. Линза Френеля 150x150мм,
СЭ 5.5x5.5мм, вторичная оптика,
концентрация 750 Солнц,
КПД КФЭМ - 31%



Измерения КФЭМ в натуральных условиях

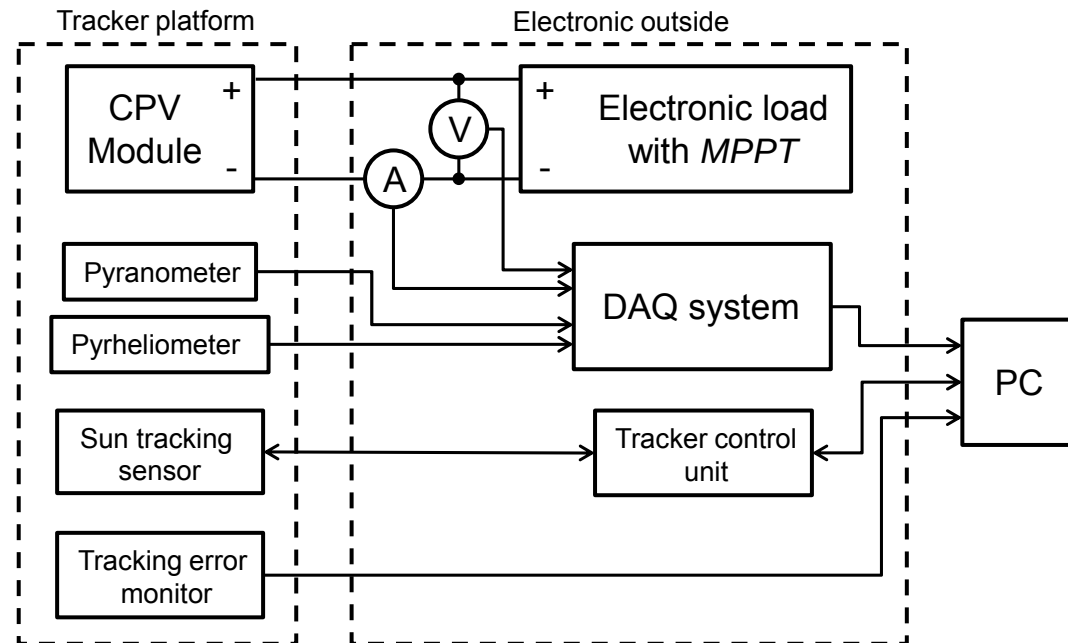


Установка слежения за Солнцем



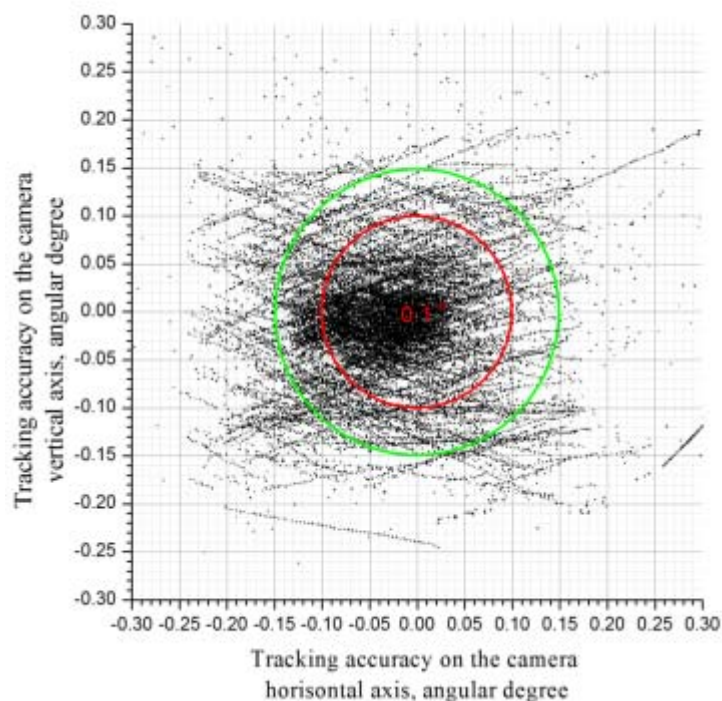
1 – поворотная платформа, 2 Измеряемый КФЭМ, 3- пиранометр, 4 – датчик положения Солнца, 5- пиргелиометр, 6 – датчик точности слежения

Мониторинг параметров КФЭМ

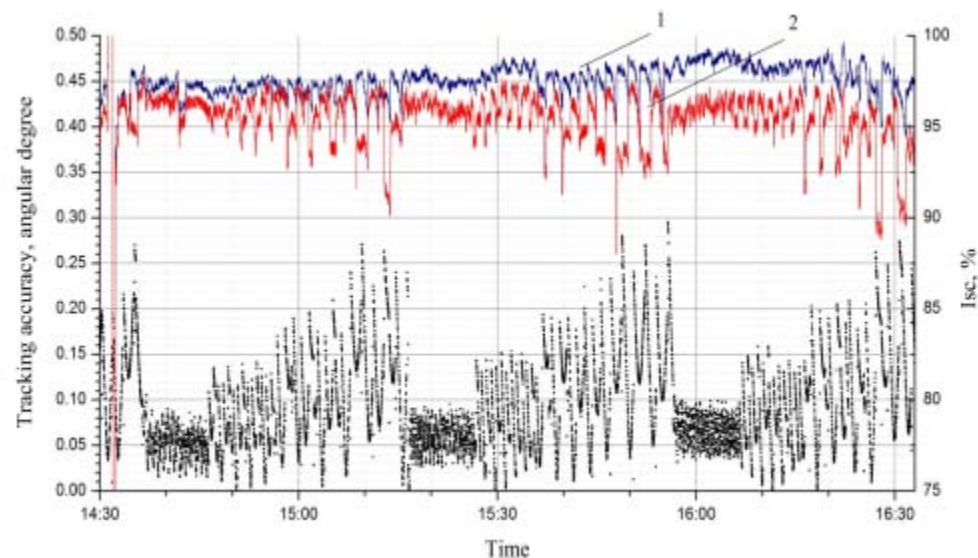


Упрощенная схема специализированного комплекса для управления режимами работы системы ориентации и наведения модулей в направление на Солнце, непрерывного мониторинга точности слежения и параметров солнечной инсоляции, записи основных фотоэлектрических параметров концентраторных модулей.

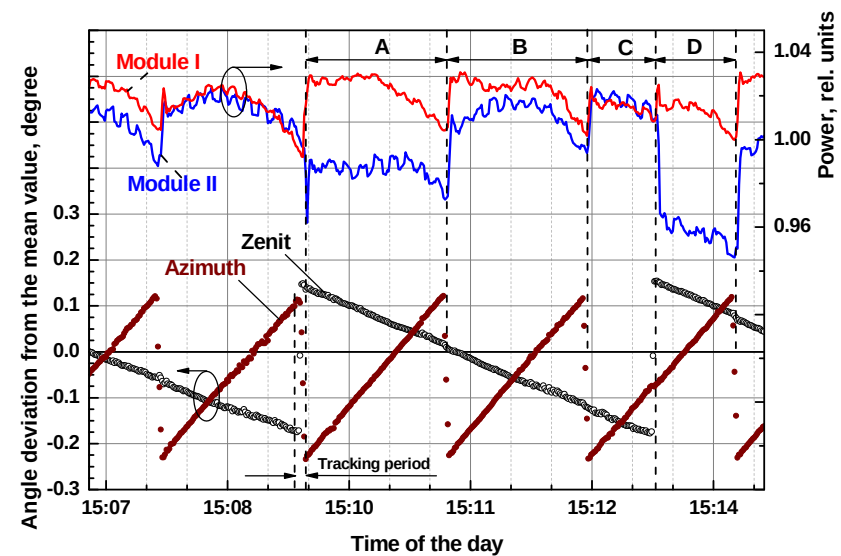
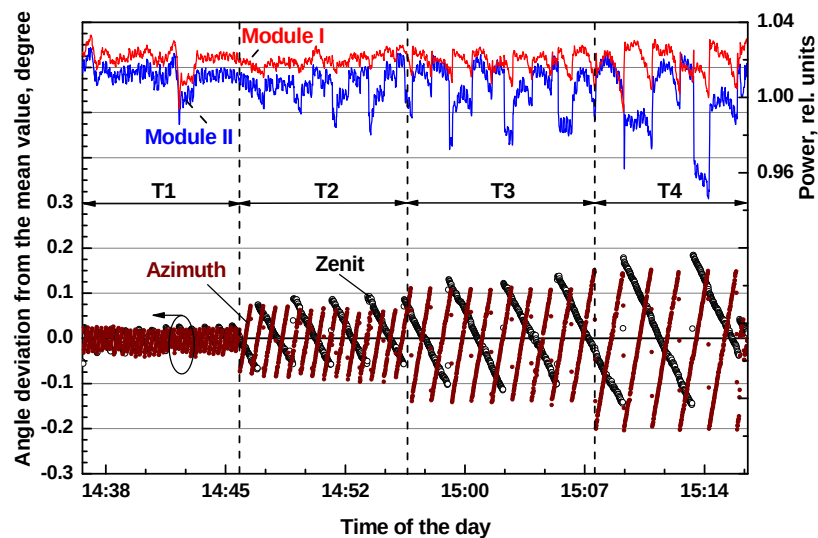
Точность слежения ~ 0.1 градус



Оценка моментальной точности слежения за Солнцем по горизонтальной и вертикальной осям видеокамеры, оптическая ось которой установлена перпендикулярно фоточувствительной поверхности концентраторного фотоэлектрического модуля.



Точность слежения трекера и ток короткого замыкания двух фотоэлектрических модулей (1 и 2) в течение периода времени, равного 2-м часам, демонстрирующие влияние точности слежения на энерговыработку концентраторных модулей.



Временные зависимости энергопроизводительности концентраторных фотоэлектрических модулей (Module I and Module II) при различных режимах слежения (T1-T4) и динамика изменения угловых отклонений следящей системы по направлениям «Азимут» и «Зенит» от точного направления на Солнце в периоды покоя установки (временные интервалы A-D). T1/T2/T3/T4 - допустимые отклонения от точной ориентации $\pm 0.05/0.09/0.13/0.17$ угловых градуса. Tracking period – короткие временные интервалы работы приводов слежения.

Заключение

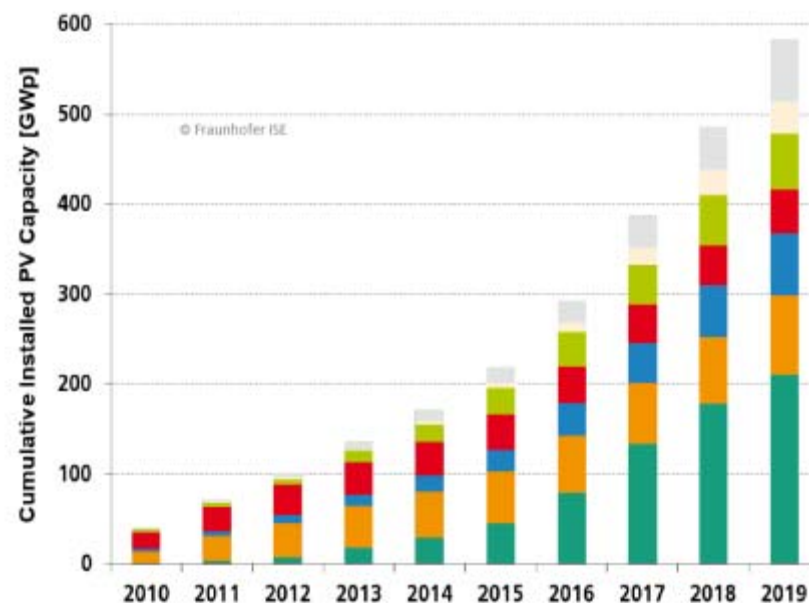
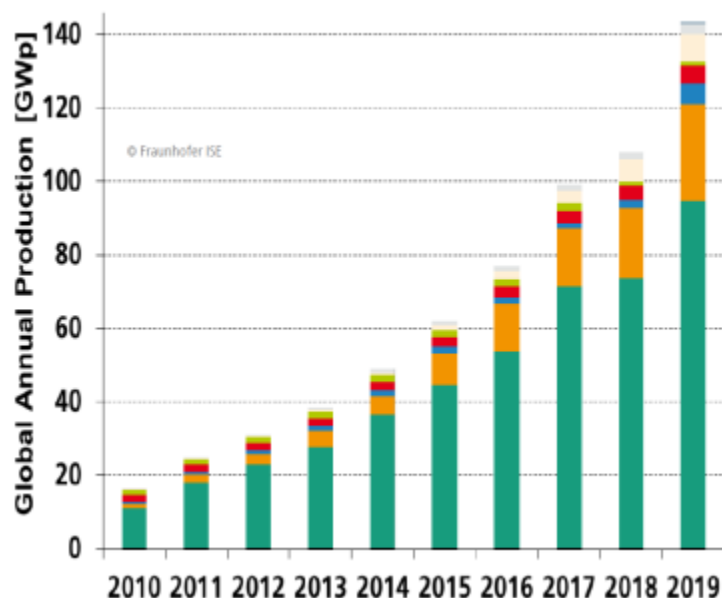
Разработаны концентраторные фотоэлектрические модули с параметрами, соответствующими мировому уровню.

В разработанных модулях с линзовыми панелями, содержащими 128 линз Френеля, размерами 60x60 mm (КФЭМ-60), или 32 линзы Френеля, размерами 120x120 mm (КФЭМ-120), при входной апертуре 0.46 m², КПД модулей составил: **32.9% в КФЭМ-60 и 32.3% в КФЭМ-120.**

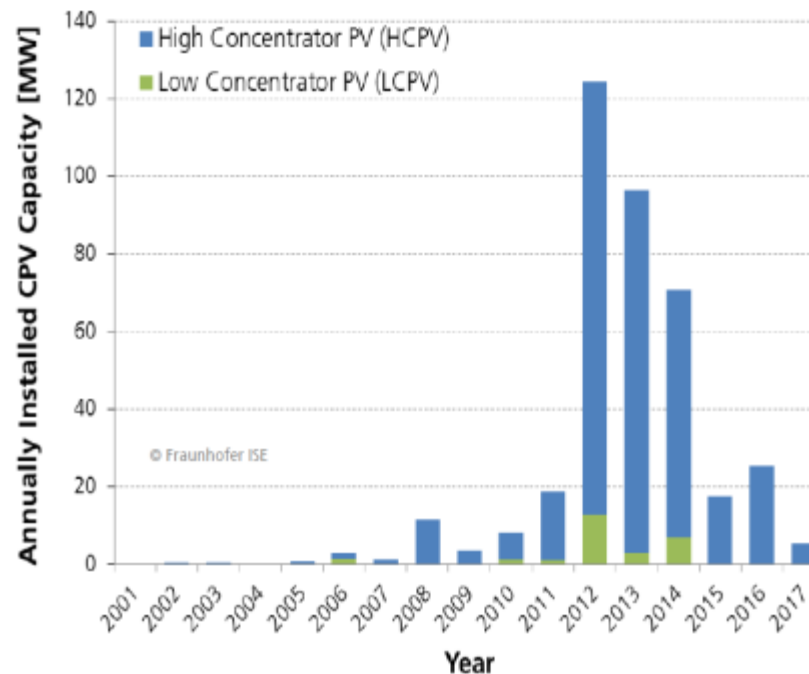
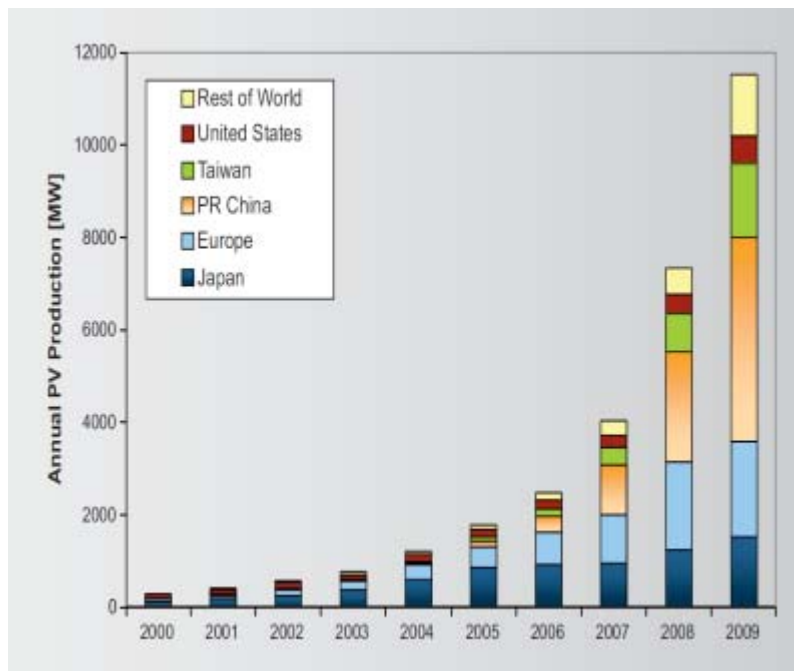
Полноразмерные КФЭМ аналогичной конструкции, произведенные в мире: модули C3PV, компании Azur Space, имеют мощность 440 W и КПД равный около 32%

Компания SOITEC (STACE) - при номинальной мощности модуля 2040 W, эффективность составляет 31.8%

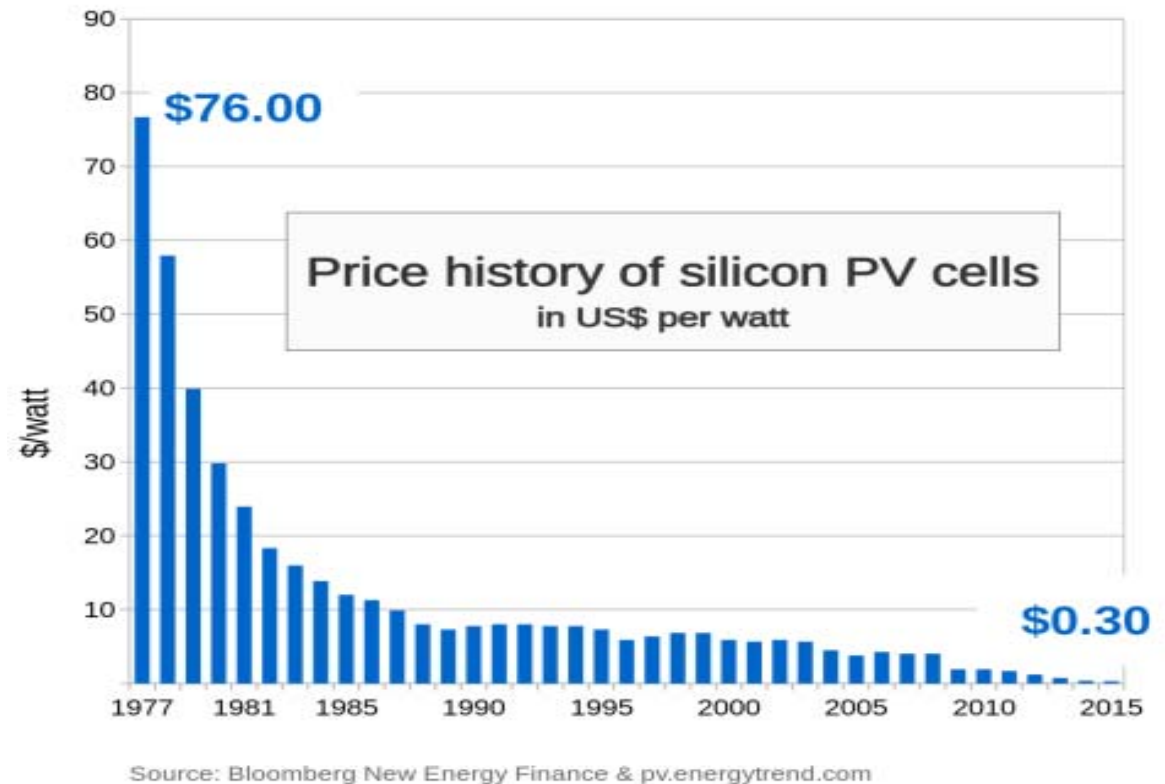
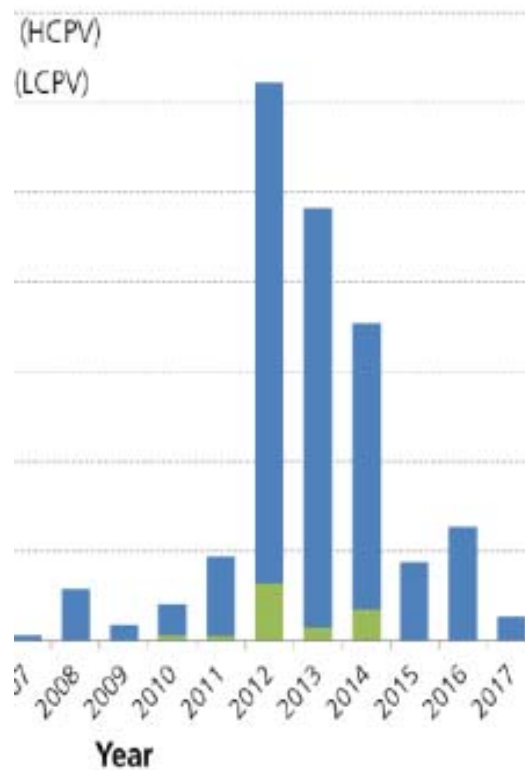
Почему нет массового производства КФЭМ? – важен объем производства



Массовое производство кремниевых модулей –
объемы уже сравнимые с традиционной энергетикой



Массовое производство кремниевых модулей
и пилотное производство КФЭМ в 2010-2017 годах
– пик объемов производства КФЭМ в 2012-13 годах сравним с объемом производства кремниевых модулей в начале 2000-х гг.



2013, Fraunhofer ISE - Стоимость фотоэлектрических систем на основе КФЭМ для объема 10 МВт составила от \$1,6/W до \$ 2,5/W при годовом объеме около 130 МВт – в начале 2000-х гг цена кремниевых модулей при сопоставимых объемах производства составляла 6-7 \$/W. В 2020 году стоимость кремниевых модулей – менее 0.3\$/w

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

