



Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики»

Проект научно-учебной группы (НУГ):

«Создание и исследование перспективных материалов для водородной энергетики»

№ 23-00-001

Работа НУГ в текущем году

Руководитель проекта НУГ

Синицын Виталий Витальевич

д.ф.-м.н., профессор факультета физики

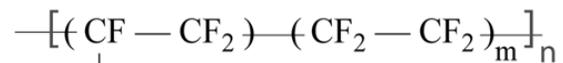
Планы по проекту НУГ на 2024 год:

1. Исследование теплофизических, механических и транспортных свойства нового полинафтоиленимидного полимера с сильно гидрофобным блоком.
2. Создание на основе нового полинафтоиленимидного полимера для единичных топливных элементов (мембранно-электродных блоков, далее-МЭБ) и изучение их электрохимических характеристик.
3. Создание батареи мощностью не ниже 100 Вт на основе бесфторных мембран.
4. Проведение ресурсных испытаний микротрубчатых ТОТЭ с модифицированными катодами.
5. Создание нового катодного материала на базе сложных ферритов.
6. Синтез и исследование протонных проводников для среднетемпературных топливных элементов.
7. Исследование теплофизических свойств гидридов для их практического использование в системах хранения водорода.
8. Изучение электрохимических процессов на растворах водной суспензии из измельченной древесины.

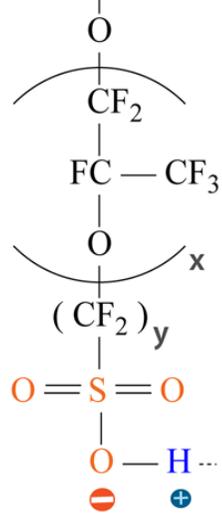
Протон-обменные мембраны

основная цепь

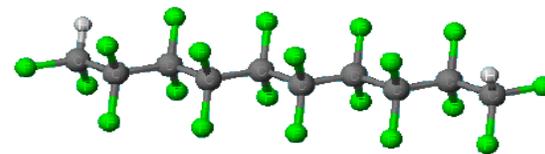
боковая цепь



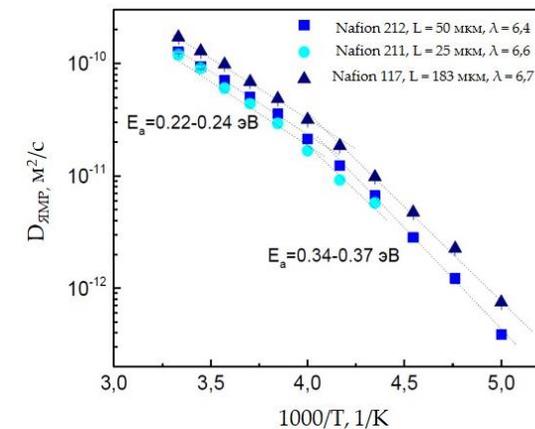
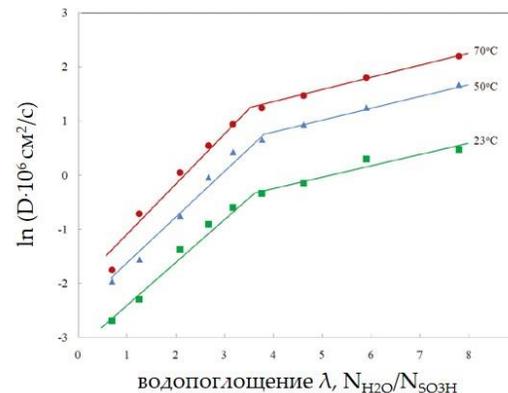
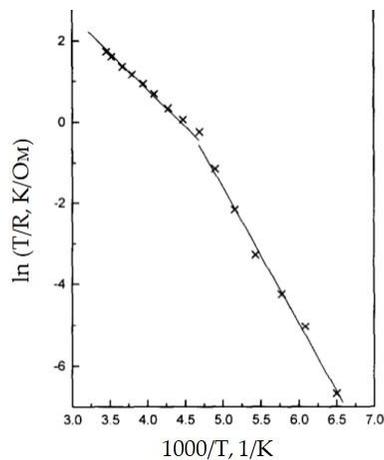
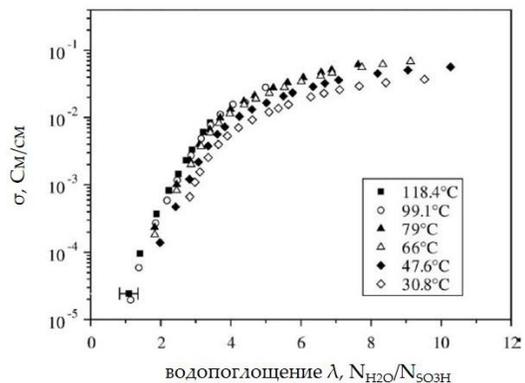
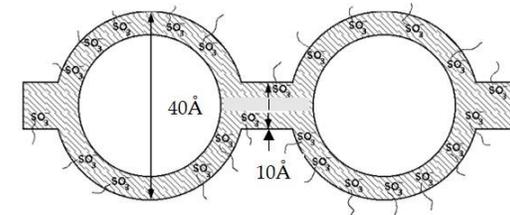
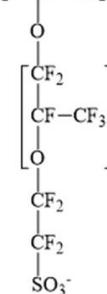
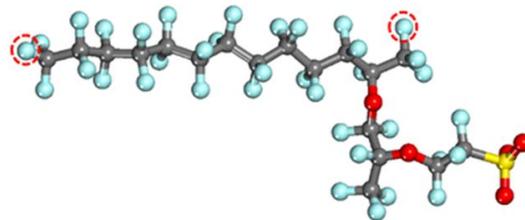
TFE repeat units

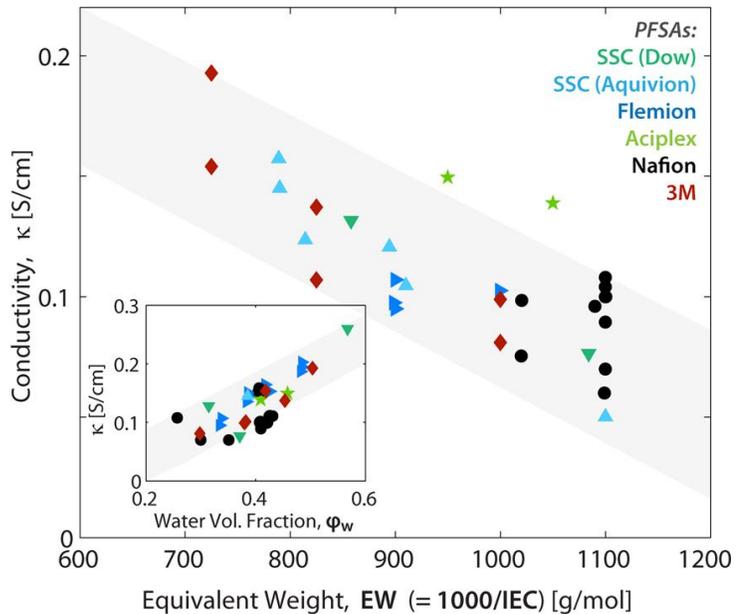


Nafion	x = 1	y = 2
Aciplex	x = 0 - 3	y = 2 - 5
Flemion	x = 0 or 1	y = 1 - 5
3M	x = 0	y = 4
SSC	x = 0	y = 2



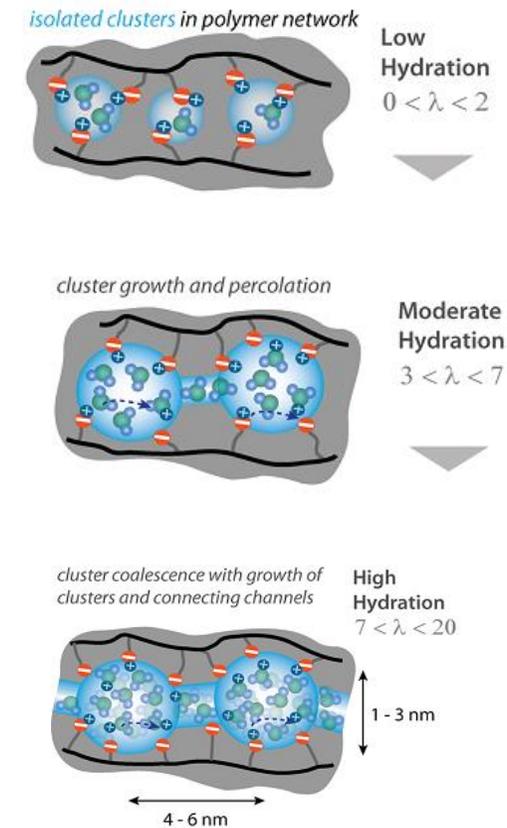
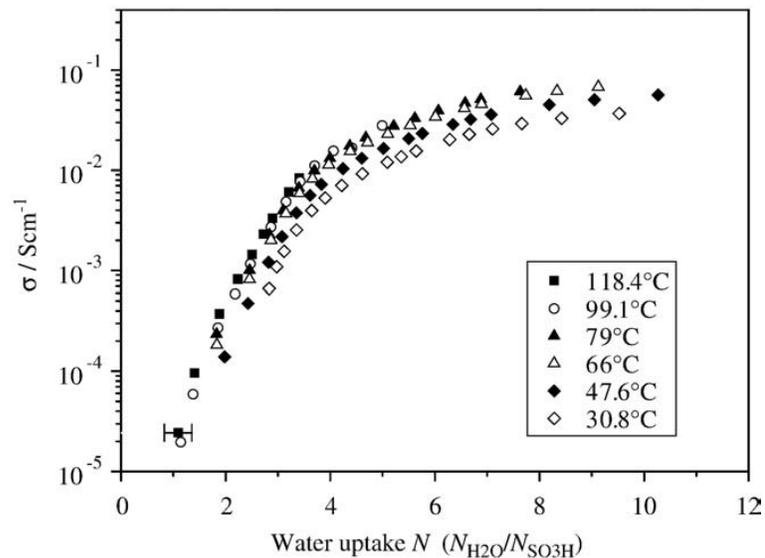
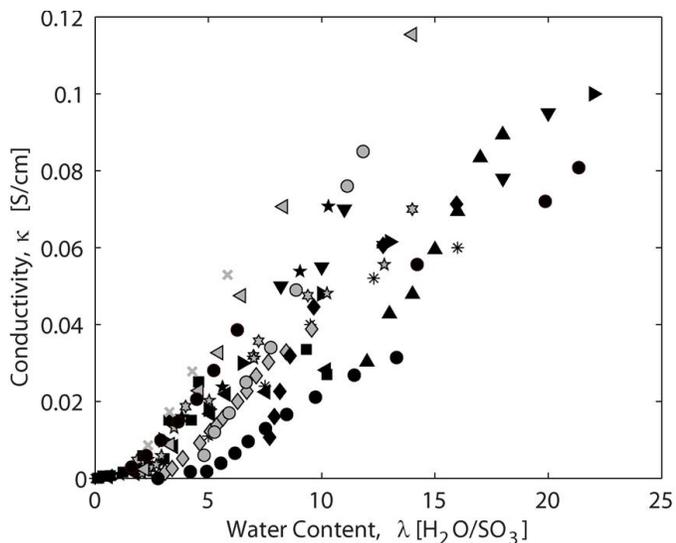
Teflon, $-(\text{CF}_2\text{CF}_2)-$





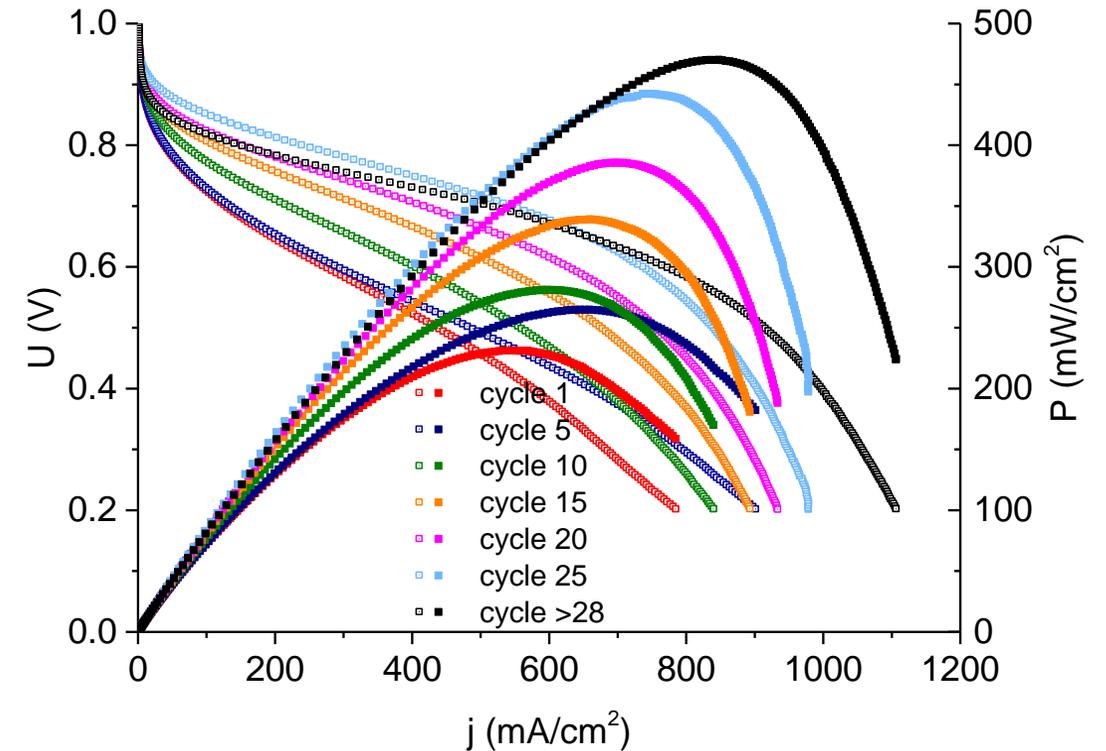
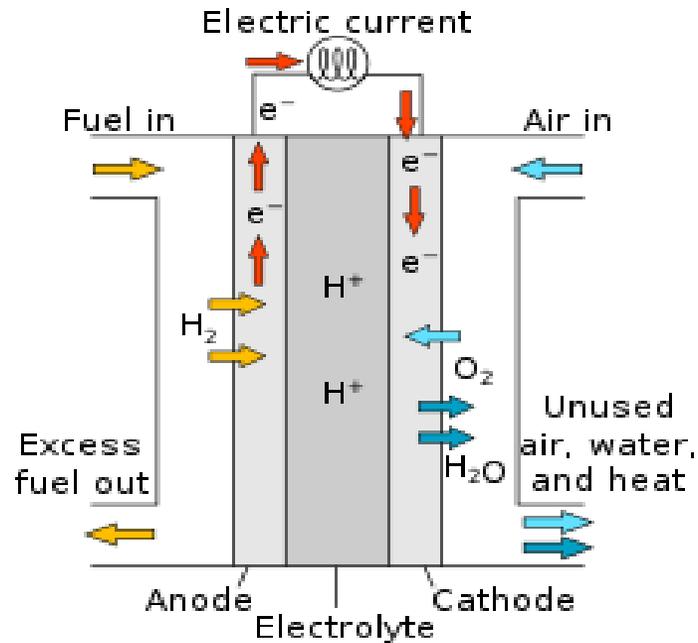
Эквивалентный вес (EW) является параметром, характеризующим концентрацию сульфогрупп в объеме полимера — это вес полимера, в котором содержится 1 моль сульфогрупп — т.о. с уменьшением эквивалентного веса растет концентрация сульфогрупп в полимере.

$$\lambda = \frac{N_{H_2O}}{N_{SO_3}} \quad \lambda = \frac{\Delta m_{H_2O}}{m_0} \times \frac{EW}{\mu_{H_2O}}$$



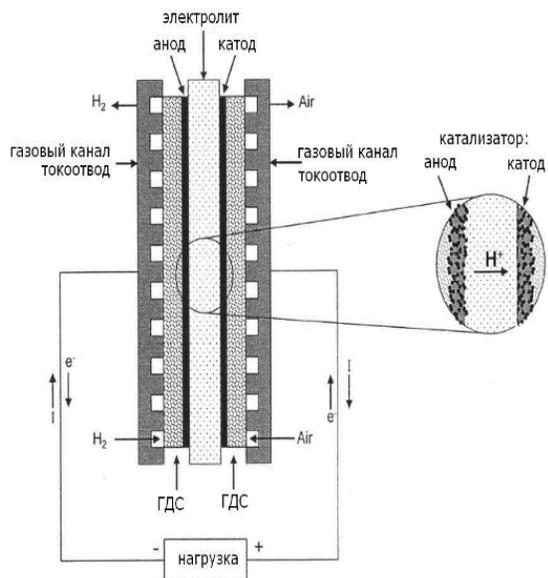
Твердополимерные топливные элементы (ТОМТЭ) (PEMFC proton-exchange membrane fuel cell)

Эти элементы работают при относительно низкой температуре (менее 90°C). $\eta = \frac{\Delta G}{\Delta H} = 0,83$ или 83%

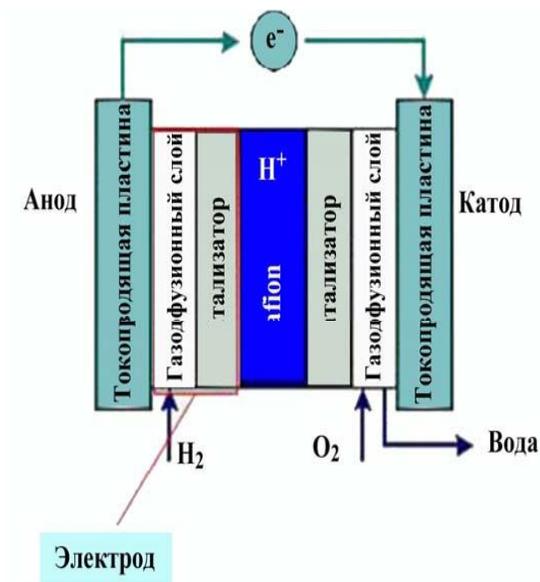


Процесс активации ПОМТЭ

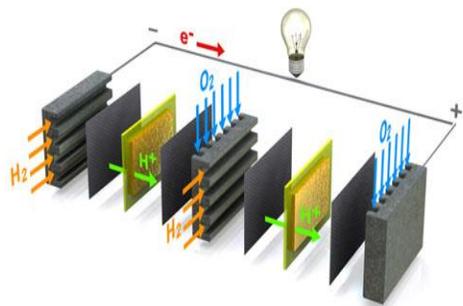
МЕМБРАННО-ЭЛЕКТРОДНЫЙ БЛОК ПОМТЭ



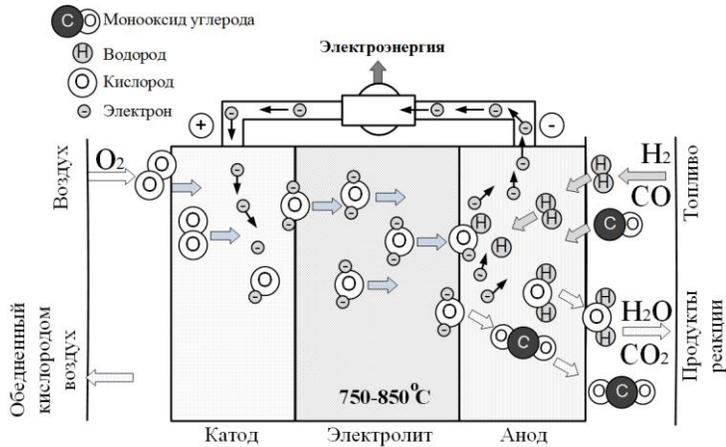
МЭБ состоит из:
Биполярных пластин.
Газодиффузионного слоя (ГДС).
Электрокатализаторы (электроды).
Электролитической мембраны (протон-проводящий полимер)



СТЕК (батарея ПОМТЭ)



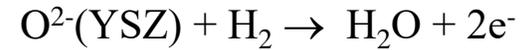
Твердооксидные топливные элементы



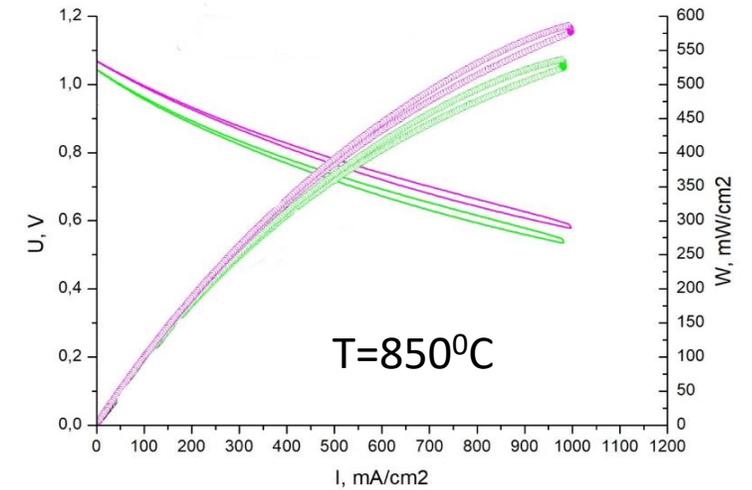
Реакция на катоде



Реакции на аноде



$$U_{\text{Nernst}} = \frac{kT}{4e} \ln\left(\frac{P_{\text{O}_{\text{cathode}}}}{P_{\text{O}_{\text{anode}}}}\right) \approx 1.1\text{V}(1100\text{K})$$



Типы ТОТЭ

Electrolyte-Supported Cell : Dense electrolyte mechanically support whole cell

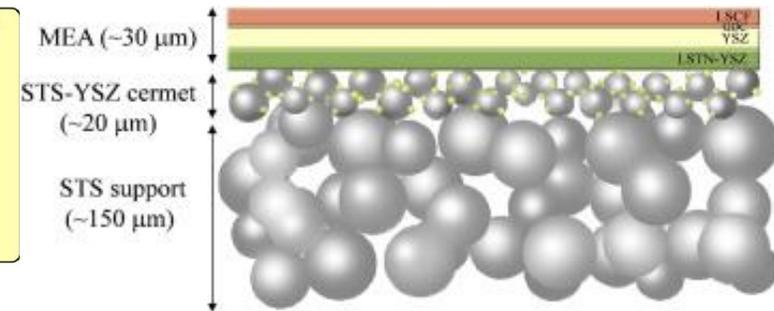
Cathode
Electrolyte (>100 μm)
Anode

Electrode firing temp. 1100~1200°C

Anode-Supported Cell : Ni-based cermet anode mechanically support whole cell

Electrolyte (<10 μm)
Cathode
Anode

Electrolyte / Electrode co-firing temp. ≥1400°C

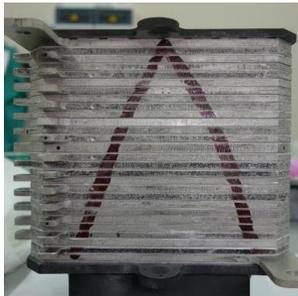
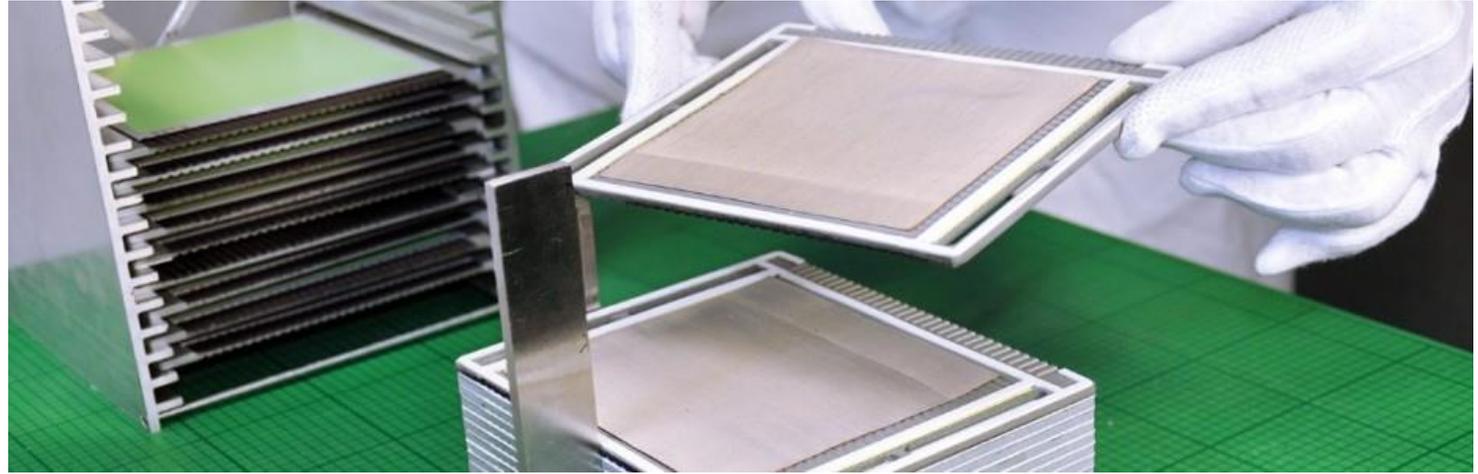


• Электролит-поддерживающие ТОТЭ

Анод-поддерживающие ТОТЭ

ТОТЭ с внешней поддержкой (металл поддерживающие).

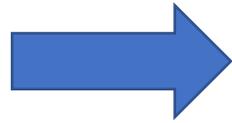
БАТАРЕЯ (стек) ТОТЭ



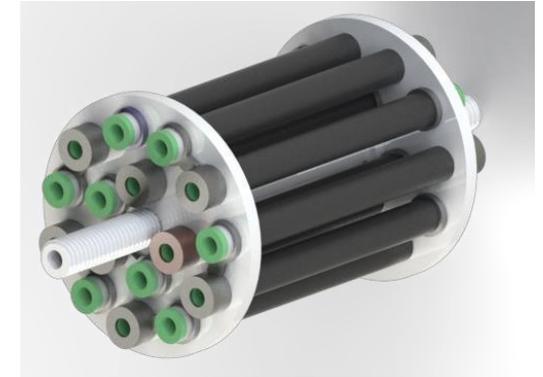
Микротрубчатые ТОТЭ



планарное ТОТЭ



микротрубчатый ТОТЭ
 $d=1,5-3\text{mm}$



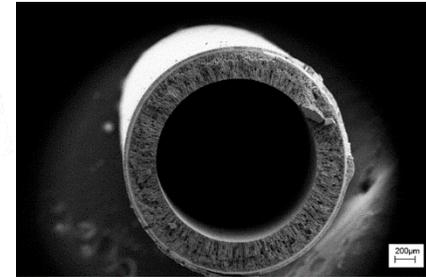
батарея микротрубчатых ТОТЭ



Установка (дипкоутер) для нанесения функциональных слоев микротрубчатого ТОТЭ



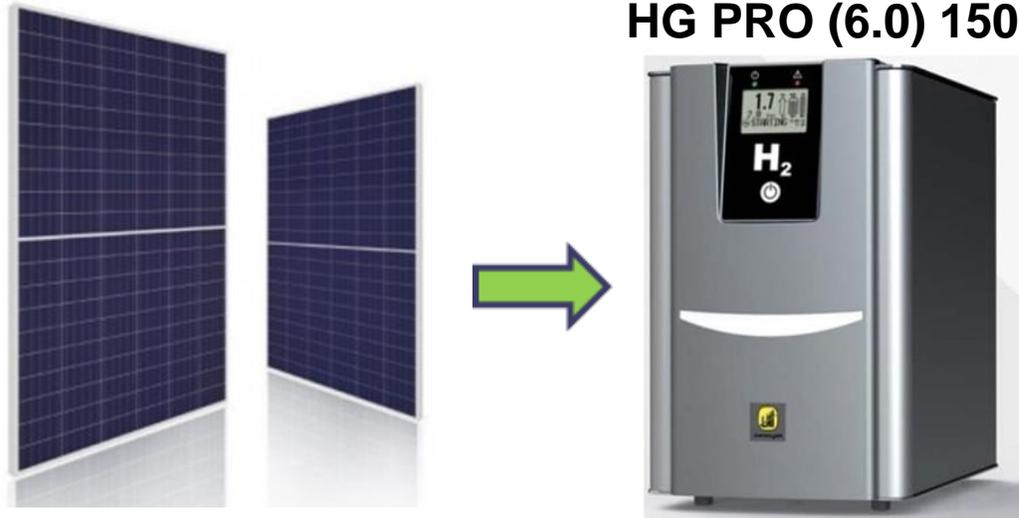
фотографии микротрубчатых ТОТЭ



поперечное сечение микротрубчатого ТОТЭ

Разработка металлгидридного материала и аккумулятора для системы водородного аккумулирования электроэнергии

Электролизер HydroGen
HG PRO (6.0) 1500



Топливный элемент Ballard
FCgen-1020ACS



Возможность гидрирования разрабатываемых материалов электролизным водородом:

Обеспечение питанием водород-воздушного топливного элемента:

Электролитическая ячейка	Многослойная с полимерной мембраной
Количество слоев	5
Чистота водорода, %	>99.99999
Выходное давление, атм	16
Максимальный поток водорода, л/мин	1.5
Мощность, Вт	750

Тип ТЭ	Низкотемпературный, протоннообменный
Мощность, Вт	1260
Количество ячеек, шт	28
Давление водорода на входе, атм	1.16–1.56 атм
Расход водорода, л/мин	13

Обработка водных суспензий и растертой зеленой массы, и древесных опилок сравнительно слабым электрическим полем (порядка 100 в/см) показала, что в течение нескольких секунд у отрицательного электрода образуется высокая пена из пузырьков размерами от десятков микрон до десятых долей миллиметра.

