

Солнечные батареи на базе кремния стоят сегодня в среднем 75 центов за 1 кВт, а солнечные батареи на основе перовскита снижают их стоимость до 10-15 центов за 1 кВт, то есть технология солнечных батарей на перовските в 5-7 раз дешевле кремния как при производстве батарей, так и при их эксплуатации, а количество производимой электроэнергии такое же.

Ключевые слова: солнечные батареи; электроэнергия.

Akymbekov A.M.  
Nazarov B.B.

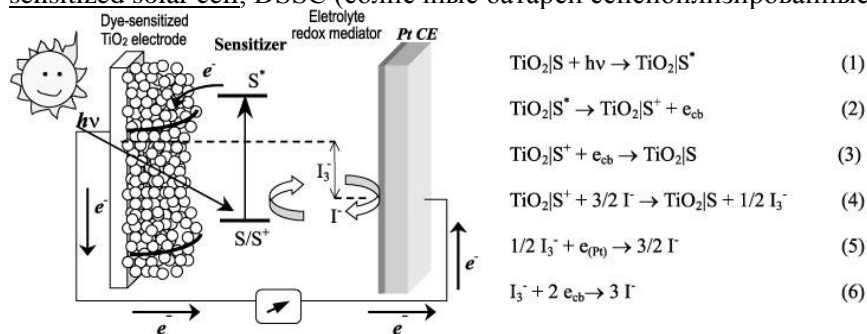
International University of Innovative Technologies

## ORGANIC PHOTOVOLTAICS

Solar cells based on silicon today cost an average of 75 cents per 1 kW, and perovskite-based solar cells will reduce their cost to 10-15 cents per 1 kW, that is, the technology of solar batteries on perovskite is 5-7 times cheaper than silicon as in production Batteries, and at their operation, and the amount of electricity produced is the same.

Keywords: solar batteries; electricity.

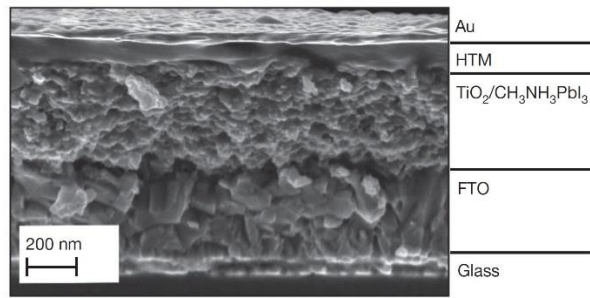
В 1988 году Михаэль Гратцель (Michael Grätzel), ныне профессор в Лозанской Политехнической Школе (EPFL, Швейцария), совместно с Брайаном О'Реганом (Brian O'Regan) предложили на тот момент абсолютно новую идею, а именно, использовать красители в солнечных батареях для поглощения света и передачи поглощённой энергии на полупроводник (впоследствии – диоксид титана). После чего электрон «перемещается» по полупроводнику, пока не достигнет анода, а оставшийся без электрона краситель (по сути «дырка», в терминах полупроводников) получает его от ионов I<sup>-</sup>, которые, в свою очередь, превращаются в ионы I<sup>3-</sup> (так называемая редокс пара), переносящие заряд к катоду. В результате на двух контактах имеется некоторая полезная разность потенциалов. С течение времени такие ячейки стали называть ячейками Гратцеля или Dye-sensitized solar cell, DSSC (солнечные батареи сенсбилизированные/активированные красителем).



### Принцип работы DSSC

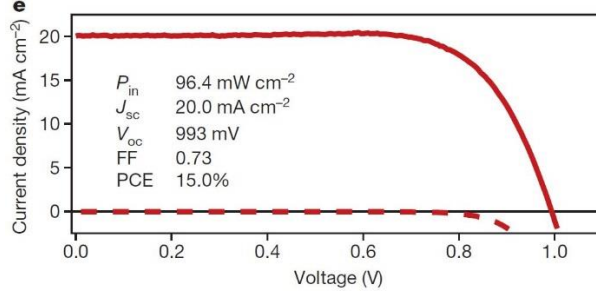
С точки зрения физических и химических законов, КПД такой батареи не может превышать 33% — да и то, только в теории. Единственным преимуществом данного рода солнечных батарей является их баснословно низкая себестоимость производства по сравнению с кремниевыми, например. Стоит напомнить, что в 1991 году миром безраздельно правила вера в кремний для земных применений (в том числе и зарождавшийся класс тонкоплёночных технологий) и арсенид галлия (GaAs) для космоса.

Суть совершенного открытия заключается в использовании поликристаллического перовскитоподобного соединения свинца —  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  — в качестве сенсбилизатора и медиатора (проводника «дырок»). Данный материал фактически химически осаждается — не требует вакуумных установок — на поверхности мезопористого диоксида титана («шарики» на микрофотографии). Получившийся слоеный пирог имеет толщину около 1 микрометра (в ~50-100 раз тоньше человеческого волоса) и при инкубулировании обычно зажимается между двумя более толстыми пластинами стекла:

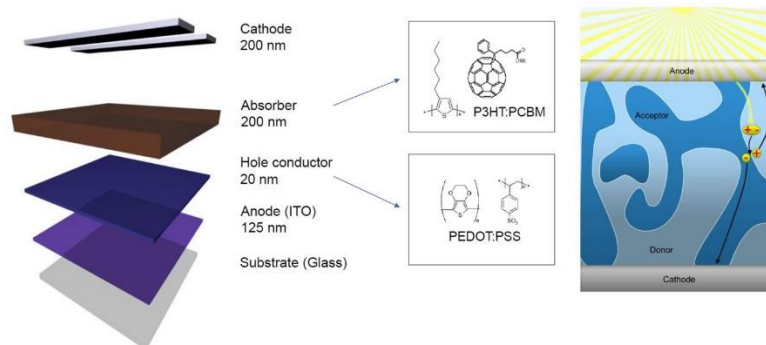


Микроструктура DSSC: HTM (organic hole-transport materials) – материал, хорошо проводящий «дырки», FTO (fluorine-doped tin oxide) – оксид олова, допированный фтором, играющий роль прозрачного токопроводящего электрода.

Но вольтамперная характеристика устройства впечатляет:



PCE (Power Conversion Efficiency) или эффективность превращения энергии достигла значения 15%! Это поистине знаменательное событие в индустрии солнечных батарей, за которое, между прочим, Михаэля Гратцеля в ноябре этого года наградят одной из престижных премией – премией Марселя Бенуа (Marcel Benoist)



Обычно требуется, чтобы акцептор электронов (absorber) и молекулы донора (hole conductor) взаимно проникали друг в друга, формируя так называемый объёмный гетеропереход (bulk heterojunction). Так как реакция разделения электрон-дырочной пары происходит на поверхности, то за счёт взаимного проникновения двух фаз одна в другую и увеличивается эффективная площадь контакта (показано на картинке справа), а это в свою очередь соответствует максимальной эффективности такой батареи.

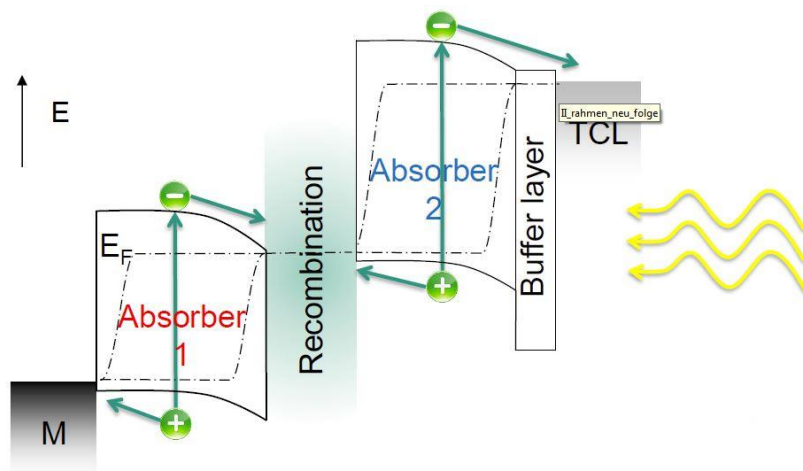
Подложка не обязательно должна быть стеклянной: и катод и анод могут быть выполнены по любой доступной технологии, в том числе и на основе проводящих полимеров, что позволяет в полной мере реализовать преимущества roll-to-roll process.

Да, к глубокому сожалению, должен констатировать, что эффективность у данных батарей не велика до 7-8%, но это всё из-за того, что представленные выше молекулярные мотивы не поглощают во всём диапазоне длин волн от УФ (ультрафиолетового, 300-400 нм) до ИК (инфракрасного 800-1000 нм).

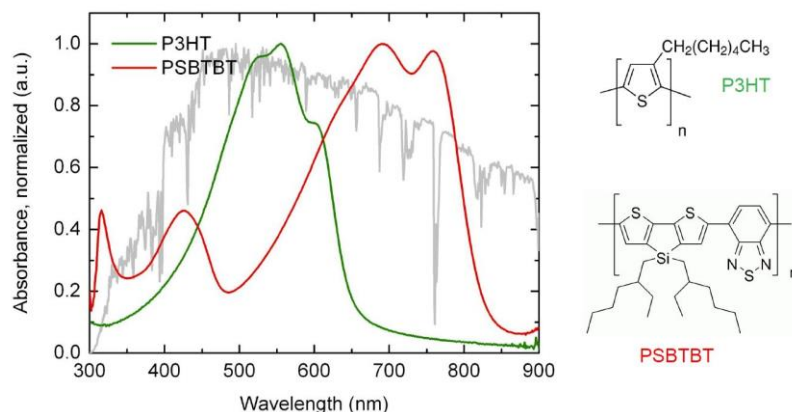
С одной стороны это является проблемой, необходимо придумывать более хитрые схемы с двумя совмещёнными батареями, так называемые тандемные солнечные элементы (tandem solar batteries), либо просто сделать батарею полупрозрачной и наклеить на окно.

В случае с тандемными солнечными элементами мы просто имеем два последовательно подключённых солнечных элемента, которые поглощают в двух разных диапазонах, например,

зелёном и красном. За счёт этого фактически удваивается эффективность, потому что больше фотонов превращается в ЭДС и ток. Однако главная проблема в данном случае – промежуточный слой, необходимый для комбинирования избыточных зарядов. Понятно, что если слой будет накапливать заряд, то из-за внутренних потерь это снизит эффективность.



*Принцип работы тандемной солнечной батареи: два последовательно соединённых органических солнечных элемента*



*Пример спектра поглощения двух органических веществ, используемых при производстве тандемных солнечных элементов*

На этом моменте можно было бы углубиться в материаловедение, но я этого не буду делать, просто хочу сказать несколько слов в защиту высокоэффективных батарей и процесса их разработки, что это не пустая трата бюджетных средств. Нельзя просто так взять, намазать пасту ровным слоем на подложку, потом второй слой, третий, наклеить контакты и сказать, что готово, приговаривая: «Ладно, и так сойдёт!» (с) И не будем показывать пальцем, где этим любят позаниматься. Но за каждым процентом эффективности стоят патенты, специальные добавки, меняющие упаковку молекул таким образом, чтобы добиться наилучшего проникновения одного компаунда в другой. Для того, чтобы описать такие процессы, почему вещество А помогает, а вещество Б нет, крайне необходима фундаментальная наука со всеми её недостатками, пороками и установками, стоимостью в миллионы и миллиарды долларов.

### Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Солнечные батареи, сенсibilизированные или «активированные» красителем, известны миру достаточно давно. На настоящее время это является абсолютным рекордом среди солнечных батарей данного класса. Принцип работы батарей детально представлен в указанной выше публикации, поэтому не будем на нём останавливаться.

Обычно для производства DSSC необходима стеклянная подложка с токопроводящим покрытием, как то ITO (оксид олова, допированный индием) или FTO (оксид олова, допированный фтором), что отъедает существенную часть расходов на производство. Однако стоит справедливо заметить, что

данные батареи потенциально могут быть адаптированы к печати посредством процесса roll-to-roll, о котором говорилось выше.

И вновь хочется повториться, что область применения таких элементов питания не генерация МВт электроэнергии, а скорее эстетично-практичная, как и в случае с прозрачными органическими батареями – снижении общего энергопотребления, при сохранении высоких стандартов жизни.

Заключение:

Процесс изготовления перовскитовых солнечных элементов видится исследователям довольно простым. Жидкость просто разбрызгивается на поверхность или наносится в виде пара, что очень просто реализовать технологически. На металлическую фольгу или на стекло наносится несколько слоев материалов, один из которых — перовскит.

Другие материалы здесь нужны для того, чтобы способствовать перемещению электронов внутри элемента. Процесс изготовления приближен к идеалу. Физик из Оксфордского Университета, Генри Сайнт, занимающийся разработкой перовскитовых ячеек в США, уверен, что слои солнечной панели будут наноситься так же легко, как при обычной покраске какой-нибудь поверхности.

Несмотря на открывающиеся перспективы, ученые разделились на два лагеря. Первые ратуют за совершенствование уже ставших традиционными, кремниевых батарей, другие — за создание совершенно новых, более эффективных. Так, Мартин Грин считает, что перовскит можно применить как дополнение к кремниевым батареям, совместив кремний с перовскитом, и таким образом снизить стоимость ватта получаемой электроэнергии без значительных убытков для кремниевой отрасли. Майкл Гретцель — напротив убежден, что важны новые разработки, и издержки на повышение эффективности новых фотоэлементов окупятся многократно.

Подключив четыре перовскитовых батареи к литиевому аккумулятору, ученые добились КПД 7,8% в наиболее эффективной на сегодняшний день конфигурации, которая превзошла былые решения по совмещению солнечных батарей с суперконденсаторами и аккумуляторами.

Таким образом, перспективы у перовскита колоссальны, и кто знает, может быть не за горами те времена, когда каждый дом и каждый автомобиль будут оснащены перовскитовыми батареями, поскольку загрязнять окружающую среду продуктами сжигания ископаемого топлива станет уже экономически не выгодно и не целесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Julian Burschka, Norman Pellet, Soo-Jin Moon, Robin Humphry-Baker, Peng Gao, Mohammad K. Nazeeruddin & Michael Grätzel. *Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells. Nature 499,316–319 (18 July 2013).*
2. В.А. Миличко, А.С. Шалин, И.С. Мухин, А.Э. Ковров, А.А. Красилин, А.В. Виноградов, П.А. Белов, К.Р. Симовский. *«Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития.*