

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЯЧЕЕК НА ОСНОВЕ ЙОДИСТОГО ПЕРОВСКИТА С n-i-p-СТРУКТУРОЙ НА SnO₂.

Azimov J.T.

Академия вооруженных сил РУз, Ташкент 100023,
Узбекистан, ул. Паркент

В числе наиболее важных задач развития современной альтернативной энергетики особенно актуальным является поиск и исследование материалов, перспективных с точки зрения их использования в разрабатываемых эффективных преобразователях солнечной энергии. Гибридные перовскитные материалы, в частности $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$), обладают преимуществами идеального абсорбера солнечного излучения с соответствующей и регулируемой шириной запрещенной зоны, высоким коэффициентом поглощения и большой длиной диффузии фотовозбужденных носителей зарядов [1–4]. Используя технологии тонкопленочной электроники, солнечные элементы на основе перовскита достигли весьма высокой эффективности преобразования энергии [5–6]. Значительные усилия были направлены на изучение происхождения уникальных свойств перовскитных материалов, а также на разработку передовых технологий изготовления высокопроизводительных устройств.

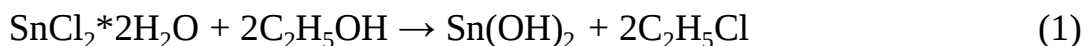
Одним из способов увеличения конверсионных показателей ячеек является выбор материалов электронно и дырочно-проводящих слоёв. В качестве одного из наиболее перспективных электронно-проводящих материалов в настоящее время рассматривается двуокись олова SnO_2 [7–9]. Нами были проведены исследования возможностей создания эффективных перовскитных преобразователей с SnO_2 в качестве слоя с электронной проводимостью. В качестве основы создания ячеек была выбрана методика, сходная с представленной в [9], но сочетающая при синтезе SnO_2 термический прогрев с нагревом при УФ обработке, а также добавление антирастворителя (толуол) в процессе формирования перовскитного абсорбера.

Синтез слоёв SnO_2 .

Синтез золь-геля SnO_2 проводили по методике [9–11]. $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ растворяли в этаноле с образованием раствора с концентрацией 0,1 М, и раствор прекурсора спиннинговали на подложке ИТО/стекло при 3000 об/мин при комнатных условиях. Механизм образования золь-геля SnO_2 в процессе



синтеза можно выразить следующим образом [9,12]:



Полученные спиннингованием плёнки вначале термически отжигались нагревом при 180°C в течение 60 мин. Далее плёнки SnO₂ обрабатывались УФ-излучением ртутной лампы в течение 15 мин при плотности излучения порядка 0,5 Вт/см². Используемая для обработки ультрафиолетом/озоном лампа может производить УФ-излучение на двух длинах волн 253,7 нм и 184,9 нм с соответствующей энергией фотонов 472 и 647 кДж/моль. Обе эти энергии фотонов выше, чем энергии связи Sn-Cl и O-H 350 и 459 кДж/моль соответственно [13]. Они также больше, чем энергия связи C-C (346 кДж/моль), C-H (411 кДж/моль) и C-O (358 кДж/моль) [13]. Следовательно, ультрафиолетовое излучение может легко разорвать эти химические связи, так что реакция продолжается. Длина волны света 184,9 нм может преобразовывать молекулы кислорода O₂ в активные молекулы озона O₃, что способствует образованию SnO₂ и разложению, а также окислению органических компонентов. Конечный побочный продукт будет выделяться в виде углекислого газа CO₂ и паров воды H₂O. Кроме того, сама УФ-лампа приводит к нагреву образцов, и температура образцов во время УФ-обработки составляет примерно 70°C.

Изготовление ячеек.

Формирование ячеек, за исключением покрытия подложек SnO₂, было проведено в перчаточном боксе, заполненном N₂, с содержанием паров воды и кислорода не более нескольких ppm.

На приготовленном слое SnO₂ n-типа формировалась плёнка перовскита CH₃NH₃PbI₃. Перовскитный абсорбер был синтезирован одностадийным методом при соотношении PbI₂:MAI=1:1. Как и в p-i-n-ячейках с PEDOT:PSS, предварительно приготовленный раствор прогревался при 60-70°C в течение 8 часов. Раствор наносился при спиннинговании в течение 40 с при 3000 об/мин с прикапыванием 100 мкл толуола на 7-й секунде. Далее полученный слой перовскита отжигался в течение 10 мин при 100°C.

В качестве материала с дырочной проводимостью нами был использован полимер политиофен (P3НТ). Слой P3НТ формировался при спиннинговании в течение 12 с со скоростью 600 об/мин и далее в течение 40 с со скоростью 2000 об/мин. Полученный слой затем отжигался при 100°C в течение 10 мин.

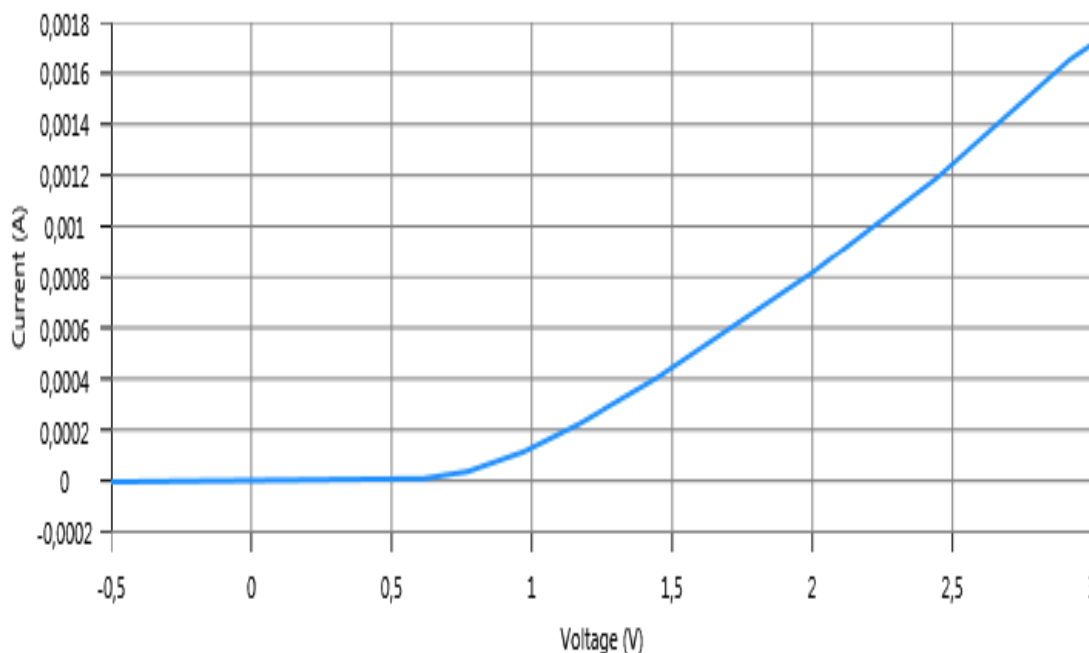


Верхний проводящий слой формировался нанесением на РЗНТ материала из нанотрубок, изготовленных в Институте нанотехнологий Университета Техаса в Далласе (США).

Исследование ВАХ солнечных ячеек.

Исследование вольтамперных характеристик полученных солнечных ячеек на основе йодистого перовскита с п-і-р-структурой на SnO_2 показывает, что данные ВАХ имеют вид, характерный для полупроводниковых структур с р-п-переходом (Рис.1а). При освещении стандартной мощностью в 1 Солнце наблюдается эффективная генерации фотоносителей и фото-ЭДС (Рис.1б). В этих условиях в указанных ячейках плотность тока короткого замыкания имеет величину до $J_{\text{кз}}=0,5\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$, а напряжение холостого хода составляет $V_{\text{oc}}=0,5\text{-}0,7\text{ В}$. Данные значения параметров ячеек близки к описанным в литературе (см., например, [9]) и свидетельствуют о перспективности проведения дальнейших исследований по созданию солнечных преобразователей на основе йодистого перовскита с п-і-р-структурой с SnO_2 в качестве слоя с электронной проводимостью, в том числе при варьировании условий термического отжига и введения антирастворителя в формирующийся абсорбер.

а)



б)

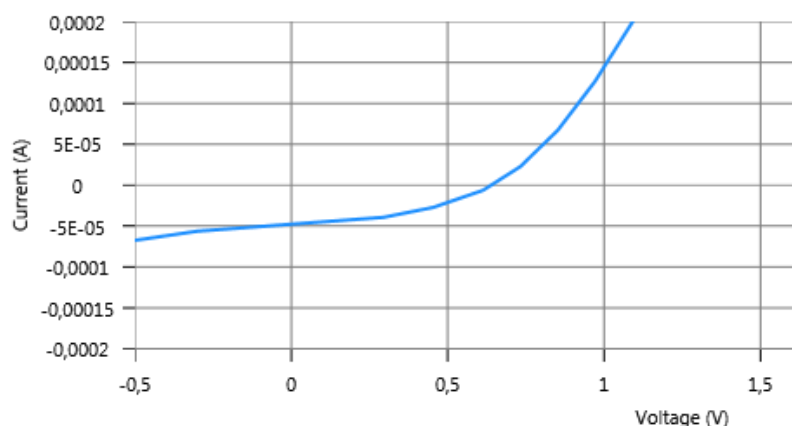


Рис. 1. Типичная вольтамперная характеристика (ВАХ) солнечной ячейки с n-i-p-структурой на основе йодистого перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ с SnO_2 в качестве электронно-проводящего слоя: а) темновая ВАХ; б) ВАХ при освещении (фрагмент).

Заключение

В результате проведённых работ систематических теоретических и экспериментальных исследований процессов преобразования энергии и явлений переноса в материалах солнечных ячеек на основе органико-неорганических перовскитов, были установлены новые экспериментальные факты и сформулированы основные физические закономерности, характеризующие данные процессы [14].

Показано, что параметры ячеек близки к описанным в литературе и свидетельствуют о перспективности проведения дальнейших исследований по созданию солнечных преобразователей на основе йодистого перовскита с n-i-p-структурой с SnO_2 в качестве слоя с электронной проводимостью, в том числе при варьировании условий термического отжига и введения антирастворителя в формирующийся абсорбер.

Совокупность полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности, важности и перспективности продолжения экспериментальных и теоретических работ в данной области.

Литература

- [1] N.-G.Park. //Cryst.Eng.Comm. 2016. V.8. P.5977–5985.
- [2] Н.Р.Ашуров, Б.Л.Оксенгендлер, С.Ш.Рашидова, А.А.Захидов. //Гелиотехника. 2016. Т.52, №1. С.5-15.
- [3] H.J.Snaith. //J. Phys. Chem. Lett. 2013. V.4. P.3623–3630.



- [4] M.Gratzel. //Nat. Mater. 2014. V.13. P.838–842.
- [5] M.Liu, M.B.Johnston, H.J.Snaith. //Nature. 2013. V.501. P.395–398.
- [6] J.-H. Im, I.-H. Jang, N.Pellet, M.Graetzel, N.-G.Park. //Nat. Nanotech. 2014. V.9. P.927–932.
- [7] G.Murugadoss, H.Kanda, S.Tanaka et al. //J. Power Source. 2016. V.307. P. 891-897.
- [8] D.Yang, R.Yang, K.Wang, et al. //Nat. Commun. 2018. V.9. P.3239(1-11).
- [9] L.Huang, X.Sun, Ch.Li et al. //ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. V.9(26). P. 21909-21920.
- [10] W.Ke, G Fang, Q.Liu, et al. //J. Am. Chem. Soc. 2015. V.137, P.6730-6733.
- [11] X.Ren, D.Yang, Z.Yang, et al. //ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. V.9. P.2421-2429.
- [12] V.-H. Tran, R.B.Ambade,; S.B.Ambade,; S.-H. Lee, I.-H. Lee. //ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. V.9. P.1645-1653.
- [13] Л.В.Гурвич и др. Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. М., Наука, 1974. 351 с.
- [14] Н.Р.Ашуров, Н.Ш.Ашуров, Ж.Т.Азимов, С.Е.Максимов, С.Ш.Рашидова. //Гелиотехника (Solar Engineering). 2018. №6. С.11-15.

