

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЯЧЕЕК

Азимов Ж.Т.

Доцент кафедры естественных дисциплин Академии вооруженных сил
Республики Узбекистан

Аннотация

Исследованы процессы деградации перовскитных солнечных ячеек с p-i-n-структурой на PEDOT:PSS, и измерены их вольтамперные характеристики. Показано, что общий вид ВАХ слабо зависит или не зависит от направления сканирования по напряжению. Наиболее существенные изменения характеристик и значительное уменьшение I_{sc} и V_{oc} наблюдаются спустя 12 дней после изготовления образцов, причём величины уменьшения рабочих характеристик зависят от условий приготовления абсорбера.

Ключевые слова: солнечная ячейка, деградация перовскитного абсорбера, ВАХ.

В настоящее время, несмотря на достигнутые достаточно высокие значения конверсионных показателей солнечных ячеек на основе перовскитов более чем 22%, одной из основных ключевых проблем, сдерживающих практическое применение этих устройств, является проблема деградации перовскитного абсорбера [1-2]. В соответствии с Календарным планом работ, нами были изучены процессы деградации перовскитных солнечных ячеек, создаваемых в рамках разрабатываемых нами методик.

В качестве объектов исследования был выбран набор ячеек с p-i-n-структурой на PEDOT:PSS. Приготовление образцов производилось по следующей методике [3-4].

1) Нанесение дырочно-проводящего слоя PEDOT:PSS.

Раствор объёмом 50 мкл наносился на стёкла размером 11x11 мм, по 1 ячейке на стекле. Спиннингование производилось в течение 45 с при скорости 6200 об/мин. Далее слой PEDOT:PSS отжигался при 150⁰С в течение 10 мин.

2) Слой йодистого перовскита $CH_3NH_3PbI_3$.

Формирование перовскитного абсорбера осуществлялось одностадийным методом из раствора MAI:PbI_2 (1:1). Спиннингование 50 мкл раствора производилось в течение 40 с при 2500 об/мин. В процессе спиннингования производилось прикапывание 100 мкл толуола в различное время для разных серий образцов, на 6-й и на 4-й секунде соответственно. Полученные образцы затем отжигались 10 мин при 100°C .

3) Нанесение слоя PCBM с электронной проводимостью.

Объём наносимого раствора составлял 250 мкл. Режим спиннингования – 40 с при 1500 об/мин. Отжиг производился в течение 5 мин при 100°C .

После нанесения PCBM, на ячейку на воздухе наносилась полоска из углеродных нанотрубок. Затем поверх нанотрубок наносился слой PCBM (~50 мкл). Образцы высушивались медленным спиннингованием в течение 2-3 мин со скоростью 500 об/мин (3В), а затем осуществлялся отжиг структуры при 100°C в течение 5 мин. После получения слоистой структуры все слои удалялись механически, за исключением области под нанотрубками и непосредственно вблизи них. Площади рабочих ячеек составляли примерно 2x2 мм (область пересечения оставшейся полоски ИТО и полоски нанотрубок).

Перед проведением измерений ВАХ к свежеприготовленным образцам подавалось «прямое» напряжение 3В в течение 30 с.

Проведённые измерения показывают, что ВАХ «свежих» образцов, измеренные непосредственно после их приготовления, имеют выраженные диодные характеристики. В качестве характерного примера на Рис.1а,б,в и далее приведены ВАХ образца, в котором перовскитный абсорбер был получен при прикапывании толуола на 4-й секунде в процессе спиннингования. При подаче освещения значения тока на прямой ветви ВАХ практически не меняются, но незначительно увеличивается обратный ток (Рис.1б). Величина напряжения открытой цепи $V_{oc}=0,75$ В, ток короткого замыкания $I_{sc}=10^{-4}$ А (Рис.1в), т.е. его плотность $j_{sc}\approx 2,5$ $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$. При измерениях ВАХ в различных режимах направления сканирования по напряжению (т.е. от $-U$ до $+U$ или обратно) как общий вид самих ВАХ, так и значения V_{oc} и I_{sc} практически не изменяются.

а)

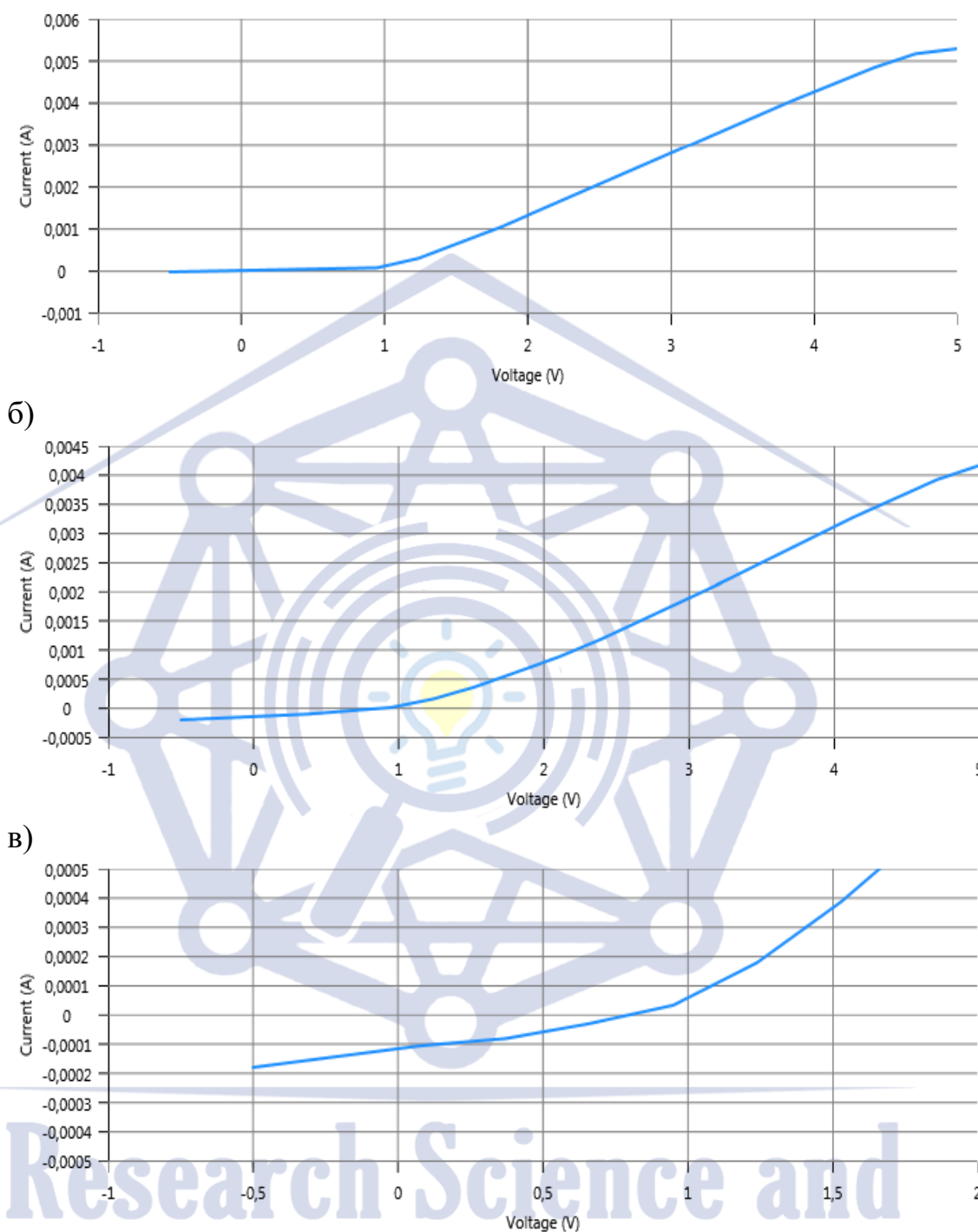


Рис.1. Характерные ВАХ образца, снятые непосредственно после его приготовления:

а) – темновая ВАХ, б)– ВАХ при освещении, в) – фрагмент ВАХ на рисунке б).



При измерениях ВАХ на всех образцах спустя сутки их общий вид как в темноте, так и при освещении практически не отличаются от полученных ранее (Рис.2). Численные значения напряжения открытой цепи V_{oc} и тока короткого замыкания I_{sc} также в пределах точности измерений остаются неизменными.

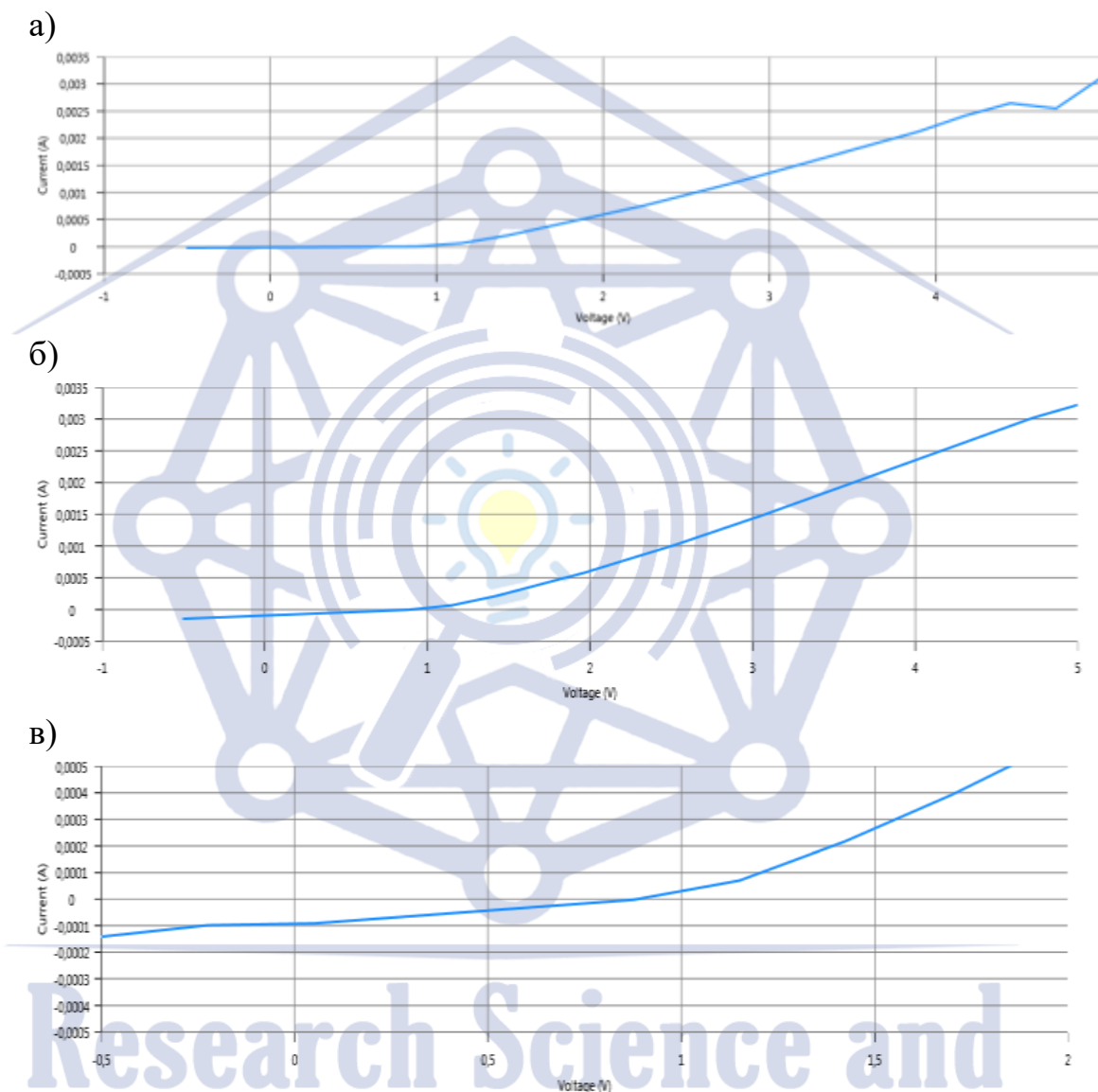


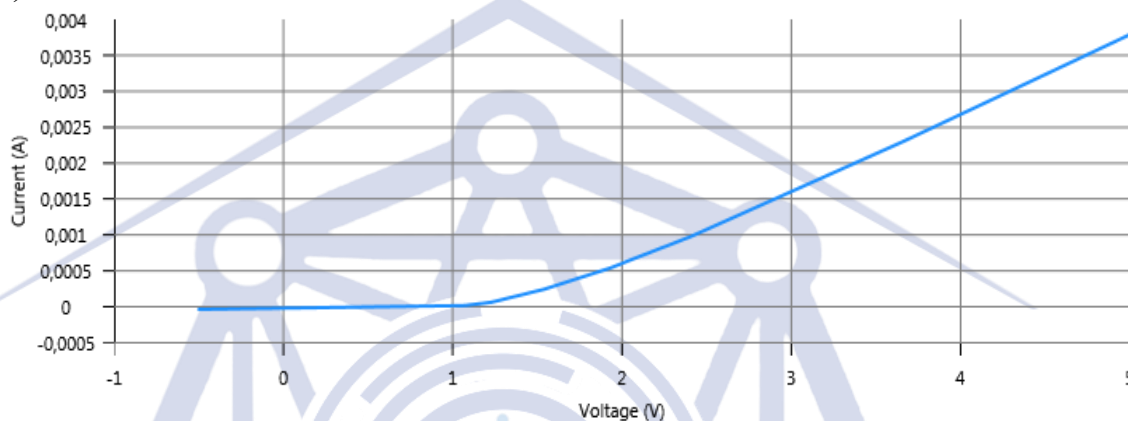
Рис. 2. ВАХ образца, снятые спустя сутки после его приготовления: а) – темновая ВАХ, б)– ВАХ при освещении, в) – фрагмент ВАХ на рисунке б).

Измерения спустя 6 дней показывают слабое отличие общего вида ВАХ от измеренных ранее (Рис.3.). Также не наблюдается существенных различий

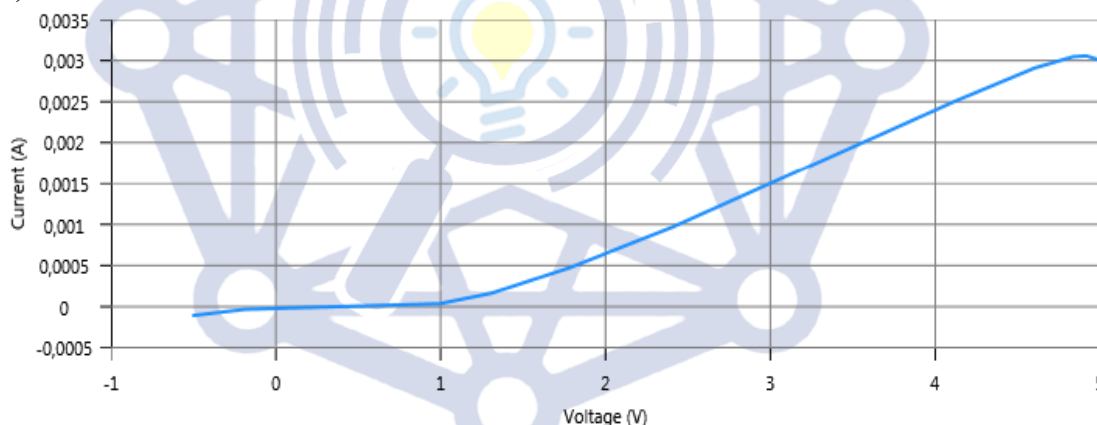


ВАХ, измеренных в темноте и освещении, а также при различных направлениях сканирования по напряжению. В то же время, на всех образцах имеет место уменьшение тока короткого замыкания (до $I_{sc}=3 \cdot 10^{-5}$ А, т.е. $j_{sc} \approx 0,8$ $mA \cdot cm^{-2}$ в нашем примере, Рис.3.в) и напряжения открытой цепи (до $V_{oc}=0,6$ В).

а)



б)



в)

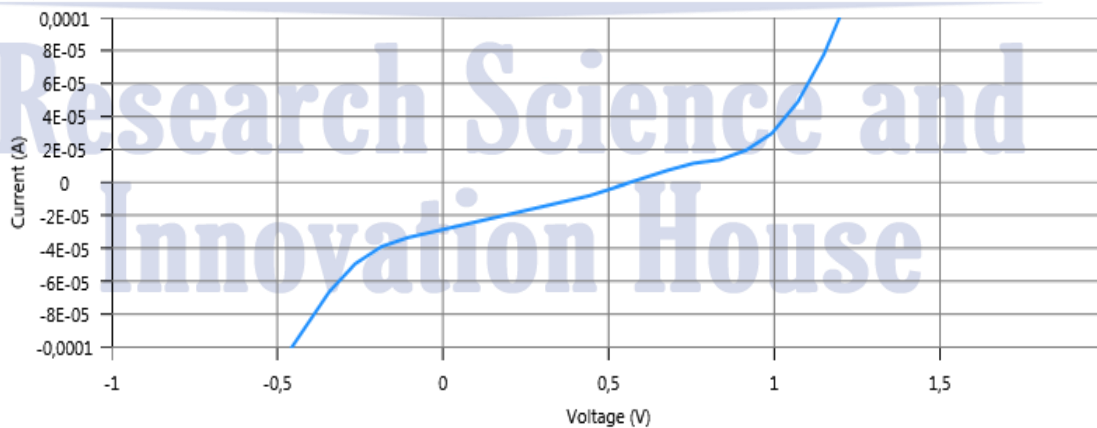
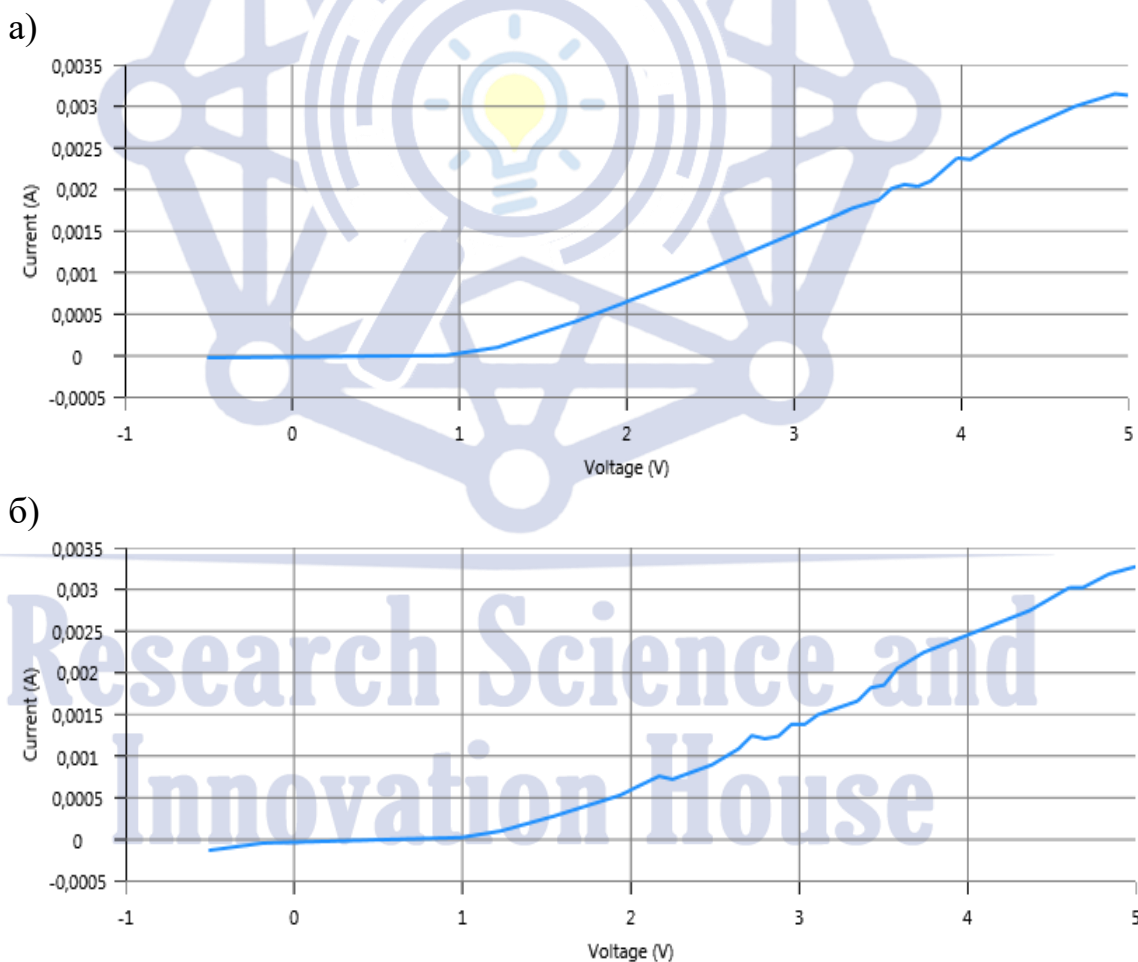


Рис.3. ВАХ образца, снятые спустя 6 суток после его приготовления: а) – темновая ВАХ, б)– ВАХ при освещении, в) – фрагмент ВАХ на рисунке б).

Измерения спустя 12 дней показывают различный характер изменения ВАХ на различных образцах. Так, наиболее существенно меняются характеристики ячеек, в которых при спиннинговании прикапывание толуола производилось на 6-й секунде. В данных образцах либо полностью исчезает диодная структура ВАХ, либо при относительно малых изменениях общего вида характеристик наблюдается падение тока короткого замыкания I_{sc} и напряжения открытой цепи до V_{oc} до критически низких значений. Что же касается ВАХ образцов с прикапыванием толуола на 4-й секунде, то они практически идентичны при измерениях в темноте и при освещении, а также в прямом и обратном направлении сканирования, и слабо отличаются от начальных (Рис.4а,б).



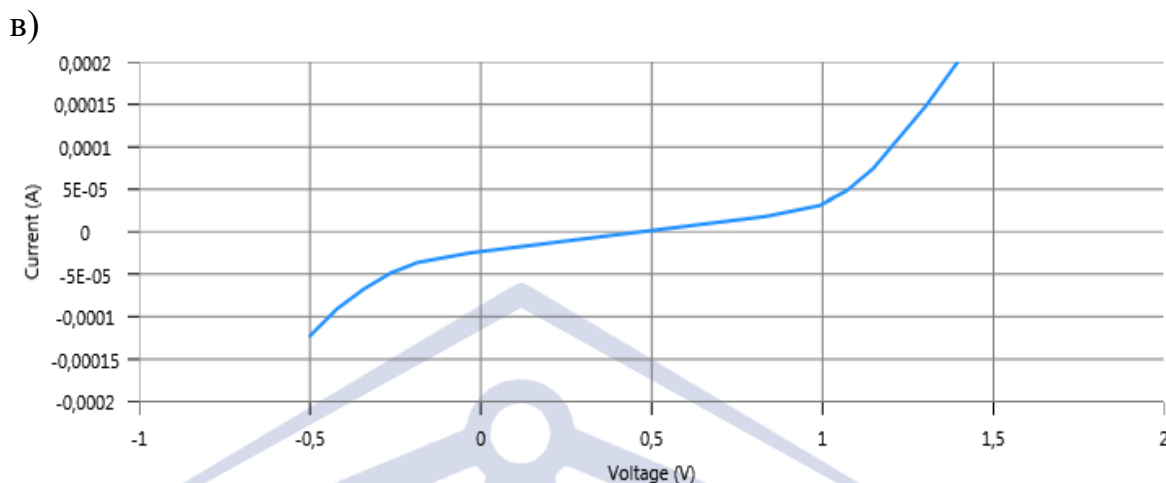


Рис.4. ВАХ образца, снятые спустя 12 суток после его приготовления: а) – темновая ВАХ, б)– ВАХ при освещении, в) – фрагмент ВАХ на рисунке б).

В то же время, наблюдается падение тока короткого замыкания до $I_{sc}=3 \cdot 10^{-5}$ А (Рис.4в), и некоторое уменьшение напряжения открытой цепи до $V_{oc}=0,5$ В.

Таким образом, на основании совокупности выполненных исследований процессов деградации перовскитных солнечных ячеек с р-і-п-структурой на PEDOT:PSS и измерений их вольтамперных характеристик можно сделать следующие основные выводы. Измерения ВАХ всех образцов показали, что их общий вид слабо зависит или не зависит от освещения (за исключением появления небольшого обратного тока), а также от направления сканирования по напряжению. Изменение вида ВАХ практически не происходит на следующий день после изготовления ячеек. Спустя 6 дней на всех образцах имеет место уменьшение тока короткого замыкания I_{sc} и напряжения открытой цепи V_{oc} . Наиболее существенные изменения характеристик и значительное уменьшение I_{sc} и V_{oc} наблюдаются спустя 12 дней после изготовления образцов, причём величины уменьшения рабочих характеристик зависят от условий приготовления абсорбера.



Литература

- 1) B.L.Oksengendler, N.R.Ashurov, S.E.Maksimov, I.Z.Uralov, O.V.Karpova. [Fractal structures in perovskite-based solar cells](http://nanojournal.ifmo.ru/articles/volume8/8-1/DOI10.17586/222080542017819298). //Nanosystems: physics, chemistry, mathematics. 2017. V.8(1). P.92-98. <http://nanojournal.ifmo.ru/articles/volume8/8-1/DOI10.17586/222080542017819298>
- 2) Б.Л.Оксенгендлер Н.Р.Ашуров, С.Е.Максимов, М.И.Ахмедов, И.Н.Нургалиев. Механизмы радиационной деградации солнечных ячеек на основе органико-неорганических перовскитов. //Гелиотехника (Solar Engineering). 2017. №1. С.48-57.
- 3) Н.Р.Ашуров, Н.Ш.Ашуров, Ж.Т.Азимов, З.Н.Жуллиев, С.Е.Максимов, С.Ш.Рашидова. Особенности формирования морфологии перовскитного абсорбера для усиления оптоэлектронных характеристик //Доклады Академии Наук Республики Узбекистан. 2018. №5. С.49-55.
- 4) Н.Р.Ашуров, Н.Ш.Ашуров, Ж.Т.Азимов, С.Е.Максимов, С.Ш.Рашидова. Исследование возможных путей улучшения морфологии слоёв абсорбера солнечного излучения в ячейках на основе перовскитов. //Гелиотехника (Solar Engineering). 2018. №6. С.11-16.

Research Science and Innovation House