**Разработка метода анализа ионных потерь при деградации  
перовскитных солнечных элементов с помощью вольтамперометрии**

***Черторижский Н.Н., Марченко Е.И.***

*Студент, 3 курс*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,   
Факультет наук о материалах, Москва, Россия*

*E-mail: chertorizhskiynikita@mail.ru*

Недостаточная стабильность перовскитных солнечных элементов (ПСЭ) продолжает оставаться одной из ключевых проблем, ограничивающих их коммерческую реализацию. Среди множества факторов, влияющих на деградацию ПСЭ, одним из решающих на ранних этапах деградации устройства является наличие и концентрация собственных дефектов кристаллической структуры светопоглащающего слоя, представленного гибридным перовскитом[1]. Дефекты способны экранировать внутренние электрические поля, усиливая рекомбинацию зарядов, что приводит к снижению коэффициента полезного действия (КПД) устройства, особенно на ранних стадиях эксплуатации. Изучение динамики подвижных ионов в гибридных перовскитах позволяет понять природу этих процессов и разрабатывать методы их подавления. Одним из перспективных подходов к оценке ионных потерь является измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ) устройств с оценкой величины гистерезиса. Использование математических моделей, основанных на данных вольтамперометрии открывает возможность количественной оценки концентрации собственных дефектов и подвижных ионов в ПСЭ и прогнозированию времени деградации устройства за счет ионных и не ионных потерь.

В связи с этим, целью данной работы является разработка метода оценки ионных потерь в перовскитных солнечных элементах при деградации устройств с помощью вольтамперометрии. В рамках исследования были изготовлены ПСЭ состава (MA0.019, Cs0.05,FA0.931)Pb(I0.98,Br0.02)3 и (MA0.0475,Cs0.05,FA0.9025)Pb(Br0.05,I0.95)3 (где FA+ – формамидиний, MA+ – метиламмоний) с использованием метода спин-коатинга и исследована их стабильность в условиях непрерывного облучения симулятором солнечного излучения. Устройства были инкапсулированы для предотвращения деградации от внешних факторов. Для анализа использовались периодические измерения ВАХ с различными скоростями сканирования (от 50 мВ/с до 2000 В/с), что позволило оценить величину максимального гистерезиса устройств. В дополнение к этим измерениям проведены измерения аналогичных устройств, долговременно хранящихся в условиях разомкнутой цепи без доступа света. Результаты показали, что положение и величина максимального гистерезиса меняются в зависимости от времени облучения под симулятором солнечного света, что подтверждает наличие и изменение ионного тока в устройствах в зависимости от времени деградации. Плотность подвижных ионов в устройствах была оценена в диапазоне 1015 – 1017 см-3 с применением программы IonMonger. Время потери устройствами 20% КПД (*T80*) в условиях темнового хранения и непрерывного облучения симулятором солнечного излучения отличается в ~ 20 раз и связано с уменьшением тока короткого замыкания, т.е. наличием ионных потерь в устройстве, к которым далее добавляются не ионные потери, преимущественно из-за деградации металлического электрода.

Таким образом в данной работе показано, что с использованием разработанного метода можно успешно оценивать ионные потери в устройствах ПСЭ при деградации и прогнозировать время T80 в условиях темнового хранения устройств в разомкнутой цепи на основании данных об ускоренных тестах на стабильность для аналогичных устройств в условиях непрерывного облучения симулятором солнечного излучения.

*Исследования выполнены за счёт гранта РНФ № 24-73-00308.*

**Литература**

1. Thiesbrummel J. et al. Ion-induced field screening as a dominant factor in perovskite solar cell operational stability //Nature Energy. – 2024. – Т. 9. – №. 6. – С. 664-676.