

Исследование радиационной стойкости комплексных галогенидов свинца и оценка перспектив использования перовскитных солнечных батарей в космосе

В.В. Озерова¹, Н.А. Емельянов¹, М. И. Устинова¹, Д.П. Кирюхин¹, С. Г. Васильев¹,
И. С. Жидков², Л.А. Фролова¹, С.М. Алдошин¹, П.А. Трошин¹

¹ Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, г. Черноголовка, Россия

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

КПД преобразования света в солнечных батареях на основе комплексных галогенидов свинца уже превышает 26 %, приближаясь к характеристикам фотоэлементов на основе кристаллического кремния. Кроме того, полупроводники на основе комплексных галогенидов свинца с перовскитной структурой могут быть использованы для создания химических сенсоров, фотодетекторов и детекторов ионизирующего излучения, в частности рентгеновских и гамма-лучей, что является крайне важной задачей для медицинской диагностики.

Применение перовскитных солнечных батарей в космосе и создание детекторов ионизирующего излучения требуют высокой радиационной стойкости комплексных галогенидов свинца. Среди различных типов ионизирующего излучения гамма-лучи характеризуются наибольшей проникающей способностью, поэтому невозможно защитить от них устройство с помощью стандартной инкапсуляции, которая блокирует воздействие низкоэнергетичных электронов и протонов. Однако в научной литературе практически отсутствуют работы по исследованию стабильности комплексных галогенидов свинца по отношению к гамма-лучам и ускоренным электронам высокой энергии.

В данной работе были систематически изучены четыре модельные системы: MAPbI_3 , FAPbI_3 , $(\text{CsFA})\text{PbI}_3$ и $(\text{CsMAFA})\text{PbI}_3$, где MA^+ и FA^+ — катионы метиламмония и формамидиния, соответственно. Установлено, что под действием гамма-лучей органические катионы в пленках MAPbI_3 скапливаются на границах зерен, при этом образуется комплексный галогенид со слоистой структурой MA_2PbI_4 . Механизм этого явления был предложен ранее на основании квантово-химических расчетов, указывающих на радиолиз $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ до CH_3I и NH_3 , эти молекулы выделяются на границах зерен, где рекомбинируют, что приводит к реформированию $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ (MAI). Реакция MAI с MAPbI_3 на границах приводит к MA_2PbI_4 . Кроме того, радиолиз MAPbI_3 приводит к образованию металлического свинца и, вероятно, молекулярного йода (по аналогии с фотолизом). Так называемые «многокатионные» перовскиты $(\text{Cs}_{0.12}\text{FA}_{0.88})\text{PbI}_3$ и $(\text{Cs}_{0.1}\text{MA}_{0.15}\text{FA}_{0.75})\text{PbI}_3$ под действием гамма-лучей претерпевают фазовую сегрегацию с образованием отдельных доменов, обогащенных каждым из входящих в их состав одновалентных катионов. Например, $(\text{Cs}_{0.1}\text{MA}_{0.15}\text{FA}_{0.75})\text{PbI}_3$ разлагается с образованием фаз, близких по составу к MAPbI_3 , CsPbI_3 и FAPbI_3 . Важным результатом является обнаружение высокой радиационной стойкости комплексного галогенида свинца FAPbI_3 : он является единственным из исследованных материалов, который не подвергается какому-либо разложению даже после воздействия сверхвысоких доз гамма-излучения, достигающих 10-20 МГр. Сходные результаты получены при исследовании стойкости комплексных галогенидов свинца к электронным пучкам высокой энергии (8-10 МэВ).

Установлено, что лабораторные образцы перовскитных солнечных батарей также демонстрируют рекордную радиационную стойкость и выдерживают высокие дозы излучения 1-2 МГр с сохранением 70-85 % исходной эффективности. Полученные результаты указывают на значительные перспективы практического использования перовскитных полупроводников для солнечных панелей в космосе и как компонентов детекторов ионизирующего излучения в медицинской технике.