

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ГИБРИДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ: ОРГАНИКО-НЕОРГАНИЧЕСКИЙ ПЕРОВСКИТ

Б.Л.Оксенгендлер<sup>1</sup>, Н.Р.Ашуров<sup>2</sup>, С.Е.Максимов<sup>1,2</sup>, Ж.Т.Азимов<sup>2</sup>, В.Ю.Соколов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им.У.А.Арифова Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент; [oksengendlerbl@yandex.ru](mailto:oksengendlerbl@yandex.ru), [maksimov\\_s@yahoo.com](mailto:maksimov_s@yahoo.com)

<sup>2</sup>Институт химии и физики полимеров Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент

Сложилось мнение, что весьма крупные успехи в физике конденсированного состояния (ФКС) в первую очередь связаны с синтезом новых классов объектов. Это, несомненно, относится к так называемым гибридам (Рис.1а-в), основным свойством которых является одновременное нахождение в каждой элементарной ячейке как неорганической, так и органической компоненты. Характерным примером такого рода являются органико-неорганические перовскиты (ОНП) состава  $ABX_3$  (Рис.1а), где А – широкий класс органических молекул, В – элементы группы Pb, X – любые галогены. Особенностью ОНП стала их перспективность по многим параметрам в области преобразования солнечной энергии в электрическую [1,2]. Вместе с тем, на этом пути оказалась серьёзная проблема, связанная с множественностью каналов деградации ОНП. Видимо, среди этих каналов есть настолько характерные, что ОНП могут быть модельным объектом для гибридных материалов, в том числе и в области деградации. Обусловлено это возможной ролью органической молекулы. Представляется, что эта роль многогранна.

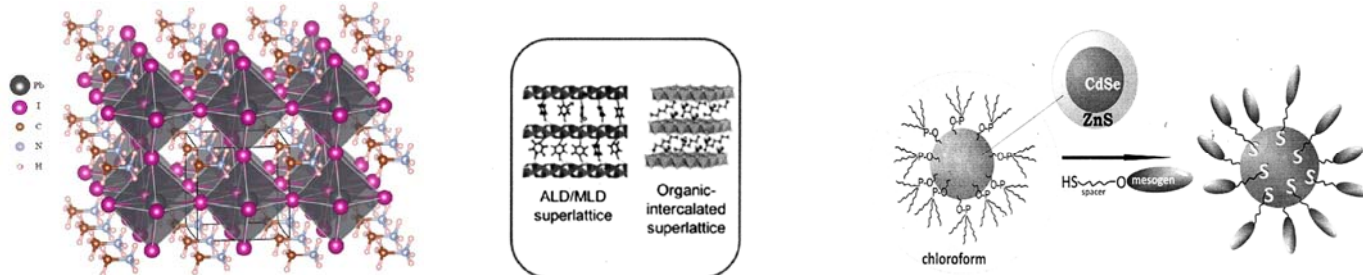


Рис.1. Некоторые примеры гибридных систем. а) органико-неорганический перовскит  $CH_3NH_3PbI_3$ ; б) органические интеркалированные суперрешётки; в) квантовые точки с неорганическим центром и органической оболочкой

1) Наличие большой концентрации до  $10^{22} \text{ см}^{-3}$  атомов водорода позволяет реализовываться двухстадийной схеме дефектообразования при радиационном воздействии:  $e^- \rightarrow (H_s \rightarrow H_i) \rightarrow (I_s \rightarrow I_i) \rightarrow \text{деградация}$ . Этот канал имеет преимущество более лёгкой передачи энергии при рассеянии для пар с небольшой разницей масс, т.е.  $(m_e; M_H) + (M_H; M_I)$  по сравнению с  $(m_e; M_I)$ . В результате порог смещения  $I_s \rightarrow I_i$  понижается более чем на полпорядка, и вследствие высокой концентрации атомов водорода вероятность двухстадийного процесса близка к 1:  $(N_H/N_I) \rightarrow 1$ .

2) Электронно-стимулированные атомные перестройки, определяемые вероятностью электрон-фононных процессов при участии локальных колебательных мод органических молекул на много порядков более вероятны, чем электрон-фононные переходы с участием регулярной неорганической части решётки. Кроме того, важен и другой количественный фактор, представляющий собой отношение числа локальных фононов к числу фононов от неорганической части всей решётки. Это отношение также близко к 1, так что фактор Франка-Кондона весьма высок.

3) Очень важной может оказаться радиационная деструкция хирально упорядоченных цепей из органической части, поскольку именно они, как выяснено не так давно, регулируют фазовые превращения типа  $2D \rightarrow 3D$ ,  $3D \rightarrow 2D$  с изменением стабильности решётки.

## Синергетический фотолиз.

В ряде случаев, когда в качестве галоидной компоненты использовалась совокупность нескольких элементов, был выявлен особо интересный тип деградации – расслоение решётки [3]. Этот удивительный эффект проявлял и специфическую хаотизацию. Проблема торможения или обратимости таких переходов детально не решена, хотя ясно, что причина здесь в многокомпонентности системы и её достаточной степени неравновесности.

## Многослойность структур и наличие интерфейсов.

Обилие интерфейсов в солнечных элементах такого типа и обнаруженная недавно зависимость положения электронных уровней от кривизны границ раздела (нанотопологического происхождения) [4] открывают необычайные перспективы как путей использования этого эффекта для перевода рекомбинационных уровней в область прилипания, так и каналов деградации (сглаживания рельефа) (Рис.1в).

[1] Ashurov N.R., Oksengendler B.L., Maksimov S.E., Rashidova S.Sh. et al. //Modern Electronic Materials. 2017. V.3, №1. P.1.

[2] Ashurov N.R., Oksengendler B.L., Maksimov S.E., Rashidova S.Sh., Zakhidov A.A. //Uzbek Chemical Journal. 2017 (Special issue). P.125-157.

[3] Turaeva N.N., Oksengendler B.L. // Applied Solar Energy. 2018. V.54. №5. P.318–321.

[4] Никифорова Н.Н. и др. //Поверхность. 2018. №2. С.66–71.