

## ОТЗЫВ

Научного консультанта на диссертацию **Жидкова Ивана Сергеевича**

«Электронная структура и дефекты в гибридных перовскитах, зарядово-транспортных слоях и на их интерфейсах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертация Жидкова И.С. посвящена **актуальной** проблеме исследования электронной структуры и структурных дефектов в гибридных перовскитах, зарядово-транспортных слоях и их интерфейсах. Тема исследования связана с поиском оптимальных составов галогенидных перовскитов с высокими эксплуатационными параметрами, устойчивых к температуре, облучению видимым светом и частицами высоких энергий (электронов, протонов и гамма-лучей) на основе анализа локальной атомной и электронной структуры, что имеет **значительную научную и практическую ценность** в контексте повышения эффективности энергетического преобразования солнечной энергии в земных условиях и космосе. В диссертации четко сформулированы цель и задачи исследования: установление взаимосвязи между дефектами, свойствами химической связи, электронной структурой и механизмами фотохимической, термической и радиационно-стимулированной деградации гибридных перовскитов и зарядово-транспортных слоёв, а также межслойных реакций с учетом реальной архитектуры солнечных ячеек третьего поколения.

Основными объектами исследования выбраны гибридные галогенидные перовскиты  $ABX_3$  на основе свинца, олова, германия, висмута, сурьмы с частичным замещением  $A$  и/или  $B$  катионов и анионным ( $X$ ) смешиванием, а также интерфейсы гибридных перовскитов с зарядово-транспортными слоями на основе широкозонных оксидных полупроводников ( $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ), в том числе полученных при их ионной имплантации примесями 3d-металлов, для выяснения роли кислородных вакансий, кластеризации и антиструктурных дефектов.

В качестве основного метода исследования выбран метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) с высоким пространственным и энергетическим разрешением, позволяющий получить полную информацию о составе исследуемых материалов, зарядовом состоянии атомов компонентов и распределении электронов в валентной зоне, что может быть непосредственно сопоставлено с численными зонными расчетами.

**Научная новизна** работы заключается в развитии РФЭС метода для визуализации структурных дефектов и контроля фотохимической и термической деградации гибридных перовскитов при изменении их состава и структуры интерфейсов. Разработанный в диссертации подход позволил эффективно контролировать пассивацию некоординированных ионов свинца при использовании аддитивных добавок, а также частичном замещении свинца различными металлами, что дает возможность определить условия повышения устойчивости гибридных перовскитов к внешним воздействиям. Кроме того, следует отметить использование метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для анализа метавалентной связи в перовскитах, которое выполнено впервые и использование этого метода представляется весьма перспективным для изучения других материалов, в том числе термоэлектриков.

**Практическая значимость** работы состоит в определении оптимальных составов гибридных перовскитов, способных выдерживать радиационные нагрузки, что подтверждено лабораторными тестами и в настоящее время проходит долговременные испытания в космосе. Не случайно, что совместная работа с Федеральным исследовательским центром проблем химической физики и медицинской химии РАН по генерации и хранению энергии в космосе была отмечена в числе наиболее выдающихся достижений по отделению химии и наук о материалах РАН за 2024 год. Кроме того, в работе Жидкова И.С. впервые обнаружен эффект повышения устойчивости гибридных перовскитов  $\text{MAPbI}_3$  и  $\text{MAPbBr}_3$  к облучению видимым светом при снижении температуры от 60 до 10 °C, что открывает возможность долговременного использования перовскитных солнечных элементов на их основе при низких температурах в районах Урала, Сибири и Крайнего Севера без модификации состава и структуры.

По теме диссертации и опубликована 51 статья в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus/Web of Science; апробация на 34 конференциях, включая международные, что подтверждает высокое качество работы.

Диссертация Жидкова И.С. соответствует области исследований п. 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», п. 4 «Теоретическое и экспериментальное исследование

воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ» и п. 7. «Теоретические расчеты и экспериментальные измерения электронной зонной структуры, динамики решётки и кристаллической структуры твердых тел» Паспорта специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Таким образом, диссертация Жидкова И.С. «Электронная структура и дефекты в гибридных перовскитах, зарядово-транспортных слоях и на их интерфейсах» представляет собой законченное исследование, соответствующее требованиям, предъявляемым пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней УрФУ, к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Жидков Иван Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

**Автор отзыва**

ФИО: Курмаев Эрнст Загидович

Ученая степень: доктор физико-математических наук

Ученое звание: профессор

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской  
академии наук (ИФМ УрО РАН).

Должность: главный научный сотрудник

Контактная информация: почтовый адрес: 620108, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 18, ИФМ УрО РАН, лаб. рентгеновской спектроскопии, e-mail: [ernst.kurmaev@gmail.com](mailto:ernst.kurmaev@gmail.com).

03 сентября 2025 г

27

Эрнст Загидович Курмаев

Подпись Э.З. Курмаева заверяю:

И.о. учёного секретаря ИФМ УрО РАН

А.М. Поволоцкая

