

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Ивановой Александры Сергеевны «**Влияние легирования и модификации структуры на термоэлектрические свойства скуттерудитов и галогенидных перовскитов**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников

Диссертационная работа Ивановой Александры Сергеевны посвящена исследованию влияния условий синтеза, микроструктуры и легирования на термоэлектрические свойства скуттерудитов и гибридных галогенидных перовскитов, в которых реализуется концепция «фононное стекло – электронный кристалл».

В диссертационной работе получены следующие результаты, представляющие научную и практическую значимость: 1) показано, что варьирование методов синтеза дает возможность целенаправленного формирования микроструктуры скуттерудитов. При этом меняются размер, форма и распределение включений InSb в матрице, что является ключевым фактором, определяющим термоэлектрические характеристики материалов. Кроме того, была доказана принципиальная возможность получения скуттерудитов методом реакционного плазменного спекания, который исключает необходимость длительного высокотемпературного отжига. Этот инновационный подход позволяет сократить общее время синтеза примерно в 14 раз в сравнении с классическим твердофазным методом; 2) исследование деградации и окисления CsSnI_3 на воздухе выявило сложный механизм ухудшения свойств. Материал претерпевает цепочку фазовых переходов (орторомбическая чёрная $\rightarrow$ орторомбическая жёлтая) с параллельным окислением олова и распадом на Cs_2SnI_6 , SnI_4 и $\text{Sn}(\text{OH})_4$. Спектроскопические и дифракционные данные подтверждают, что процесс запускается почти сразу (в течение часа) и меняет состав и структуру поверхности. Стоит отметить, что даже после 96 часов на воздухе материал сохраняет проводимость p-типа, что объясняется формированием пассивирующего слоя, частично защищающего объём. Таким образом, ключевым направлением для стабилизации CsSnI_3 является разработка барьерных покрытий, например, с помощью CVD или ионно-лучевых технологий; 3) Разработан низкотемпературный метод получения гибридных

перовскитов $\text{Cs}_{1-x}\text{MA}_x\text{SnI}_3$, который обеспечивает сохранение Sn в степени окисления +2 и предотвращает переход орторомбической фазы в кубическую. Для поликристаллического MASnI_3 впервые изучены термоэлектрические свойства, достигнув значения $zT \sim 0.10$ при температуре 423 К.

По автореферату диссертационной работы можно сделать следующие замечания: 1) в автореферате несколько раз указывается, что наилучшие термоэлектрические характеристики для заполненных скуттерудитов были получены на образцах полученных с использованием индукционной плавки с последующим отжигом, спиннингованием и ИПС. При этом в тексте автореферата объясняется влияние спиннингования и ИПС на термоэлектрические свойства, но полностью отсутствует пояснение применение отжига. Вместе с тем, указано, что *отсутствие отжига после индукционной плавки позволяет получить мелкозернистый образец того же химического состава, что и в случае, когда включена стадия отжига*, а уменьшение размера зерен должно способствовать снижению теплопроводности и как следствие увеличению zT ; 2) в названии статьи [A2] указывается тема влияния нестехиометрического состава скуттерудитов, но в автореферате она не раскрыта. Как именно избыток или недостаток Sb влияет на фазовый состав, образование InSb и электронные свойства? 3) концепция «фононное стекло — электронный кристалл» в цели работы заявлена как основа исследования двух классов материалов, однако её связь с практическими результатами прослеживается слабо. Для большей убедительности необходимо явно сопоставить, каким образом в каждой из систем реализуются механизмы, отвечающие данной концепции.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы в целом. Достоверность полученных данных подтверждается согласованностью с существующими теоретическими оценками и ранее опубликованными экспериментальными данными. Результаты диссертационной работы неоднократно представлялись на российских и международных конференциях, были опубликованы в 11 печатных работах, входящих в международные базы данных Web of Science и Scopus.

Содержание автореферата диссертации позволяет утверждать, что представленная работа выполнена на высоком научном уровне и является завершённой. По актуальности, новизне, практической значимости и

полученным результатам она соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор – Иванова Александра Сергеевна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

Даю свое согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело Ивановой А.С.

кандидат ф.-м. наук, доцент

старший научный сотрудник кафедры магнетизма

Московский государственный университет

им. М.В. Ломоносова

Карпенков Дмитрий Юрьевич

08 декабря 2025 г.

Адрес: 119991, Москва, ГСП-1,

Ленинские горы, д. 1, стр. 2, физический факультет

МГУ им. М.В. Ломоносова

Телефон: +7 915 437 22 12

e-mail: KarpenkovDY@my.msu.ru

Подпись Карпенкова Д.Ю. заверяю