

**Отзыв официального оппонента
по диссертации Мазаника Александра Васильевича
«Спектроскопия полупроводниковых наноструктур и тонких пленок
для солнечной энергетики и сенсорики»,
представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.05 – Оптика**

Соответствие диссертации специальностям и отрасли науки, по которым она представлена к защите, со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК

Диссертация соответствует специальности 01.04.05 – Оптика (физико-математические науки), в частности, п.п. «Атомная и молекулярная спектроскопия, включая спектроскопию твердых тел», «Спектроскопия комбинационного рассеяния света», «Люминесценция», «Обратимые и необратимые фотопроцессы», «Нанооптика» паспорта специальности (<https://vak.gov.by/node/519>).

Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью улучшения характеристик и параметров известных фоточувствительных структур на основе прямозонных полупроводников, поиска новых фоточувствительных стабильных материалов на основе доступных и нетоксичных химических элементов, дальнейшего развития методов оптической диагностики таких объектов.

Тематика диссертационного исследования в полной мере соответствует ряду приоритетных направлений научных исследований в Республике Беларусь.

Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту

Полученные соискателем научные результаты, выносимые на защиту положения и выводы являются новыми. В частности,

- методом спектроскопии комбинационного рассеяния света установлены закономерности формирования свойств гетероструктур на основе широкозонных полупроводников и наночастиц сульфида кадмия;
- выявлены закономерности радиационного воздействия на фотоэлектрические свойства пленок халькогенидов кадмия;
- показана возможность улучшения электропроводности пленок диоксида олова при допировании их оксидом графена при сохранении высокой оптической прозрачности;
- разработан неразрушающий способ диагностики фотоиндуцированных процессов в инкапсулированных фоточувствительных структурах с использованием оптических методов;
- выявлены факторы, влияющие на фотостабильность солнечных элементов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов;

- разработаны методы подавления безызлучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниках TlInS_2 и Cu_2O ;
- определены оптические и фотоэлектрические свойства полупроводниковых соединений висмута и показаны возможности их применения в солнечной энергетике и сенсорике.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность выводов обусловлена, в том числе, использованием в работе большого количества экспериментальных методов: спектроскопии комбинационного рассеяния света, стационарной и время-разрешенной фотолюминесценции, спектроскопии пропускания и отражения света, спектроскопии фототока, метода фотоиндуцированных динамических дифракционных решеток, сканирующей и просвечивающей электронных микроскопий, атомной силовой микроскопии, рентгеновской и электронной дифрактометрий, Оже-электронной спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Результаты, полученные различными методами, находятся во взаимном согласии и не противоречат фундаментальным положениям современной оптики полупроводников. Результаты прошли апробацию на ряде международных конференций, опубликованы в высокорейтинговых журналах (см. ниже).

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость диссертации связана с получением ряда фундаментальных результатов в области оптики полупроводников, перечисленных выше.

Практическая значимость диссертации связана с возможностью использования ее результатов для оптической диагностики фоточувствительных полупроводниковых материалов и структур; при получении полупроводниковых материалов с подавленной безызлучательной рекомбинацией носителей заряда; для создания пленочных датчиков влажности на основе оксосульфида висмута.

Экономическая значимость диссертации определяется использованием ее результатов при выполнении под руководством соискателя трех международных контрактов по созданию научной продукции.

Социальная значимость диссертации обусловлена ее выполнением в учреждении высшего образования – Белорусском государственном университете – и использованием ее результатов в учебном процессе, что, безусловно, способствовало повышению его качества.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Список публикаций соискателя включает в себя 52 наименования, в том числе, 31 статью в журналах, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь от 02.06.2022.

Стоит отметить, что многие работы опубликованы в журналах с высокими импакт-факторами: ACS Applied Energy Materials (Q1, $IF_{2023}=5.4$), Solar Energy (Q1, $IF_{2023}=6.0$), Chemical Engineering Journal (Q1, $IF_{2023}=13.3$), Electrochimica Acta (Q1, $IF_{2023}=5.5$), Advanced Materials (Q1, $IF_{2023}=27.4$).

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК. Диссертация написана с минимальным количеством стилистических погрешностей, с использованием корректной научной терминологии, материал изложен последовательно и логично.

Замечания по диссертационной работе.

1. Подписи к рис.1.1 и 1.3 имеют размер шрифта меньше необходимого согласно инструкции по оформлению диссертационных работ. Также рисунки в главе 1 используют английский язык для названий осей графиков, в то время как диссертация представлена на русском языке.
2. На рис.2.3 отсутствуют масштабные линейки на снимках электронного микроскопа, на рис.3.6 масштабная линейка трудноразличима, что затрудняет восприятие представляемого материала.
3. Точность определения размера при помощи просвечивающей электронной микроскопии (тысячные доли миллиметра) завышена для таких измерений, что затрудняет воспроизводимость данного результата.
4. В таблице 2.1 определение ширины запрещенной зоны в зависимости от числа циклов осаждения проведено с точностью тысячных долей электрон-вольт, что также затрудняет воспроизводимость представленных значений.
5. Рис.2.8 представляет внешнюю квантовую эффективность в безразмерных относительных единицах. Автору следовало представить данные значения в процентах.
6. Рис.5.2 представляет вольт-амперную характеристику перовскитового солнечного элемента с эффективностью 16%. К сожалению, здесь же не показана темновая характеристика, так как для оценки эффективности важно видеть как световую так и темновую характеристики.
7. В работе имеются как орфографические, так и пунктуационные ошибки. Особенно следует отметить лишние знаки препинания (запятые). В некоторых случаях несколько ошибок на странице. (стр.22 три лишних запятых). Также присутствуют опечатки затрагивающие написание физических величин (стр.43) и химических формул (стр.173).

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Ознакомление с диссертацией, ее авторефератом и публикациями соискателя показывает, что Мазаник А.В. является специалистом высокой

квалификации, соответствующей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Заключение

Принимая во внимание вышесказанное, можно утверждать, что диссертация соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к докторским диссертациям, а соискатель, Мазаник Александр Васильевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени за следующие полученные результаты:

1. Установленные особенности спектров комбинационного рассеяния света для наноструктурированных пленок CdS, сформированных на поверхности широкозонных оксидов (In_2O_3 , ZnO , TiO_2), а именно корреляцию квантовой эффективности фототока и ширины однофононной линии для наночастиц, сформированных на подложках In_2O_3 ; увеличивающий энергию фононов сдвиг однофононной линии для наночастиц, сформированных на поверхности ZnO , резкое увеличение интенсивности однофононной линии с увеличением числа циклов ионного наслаивания при росте наночастиц CdS на подложке ZnO .
2. Выявленную закономерность увеличения радиационной стойкости полупроводниковых пленок $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ за счет замещения серы селеном при радиационных воздействиях (облучение электронами с энергией 1 МэВ) потоком до $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.
3. Установленные закономерности влияния легирования пленок SnO_2 наночастицами оксида графена (с массовой долей от 0,01 до 80 %) на их структуру, оптические и электрофизические свойства, в частности, оксид графена однородно распределен в пленках и при термообработке 400 °С в аргоне увеличивает электропроводность пленок и сохраняет их высокое светопропускание.
4. Метод локального анализа фотоиндуцированных процессов в гибридных органо-неорганических перовскитах и перовскитных солнечных элементах, основанный на использовании конфокального спектрометра с использованием лазерного луча для возбуждения спектров комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции, генерации фототока / фотоЭДС и мониторинга их фотоиндуцированной эволюции во времени.
5. Выявленные закономерности подавления безызлучательной рекомбинации за счет введения редкоземельных элементов (Er, Eu) в расплав или электролит осаждения в процессе роста кристаллов TlInS_2 и Cu_2O соответственно, что проявляется в увеличении интенсивности (вплоть до двух порядков величины) и времени затухания экситонной фотолюминесценции, а также фототока в системе « Cu_2O -электролит».
6. Установленные зависимости фотопроводимости оксосульфида висмута от направления протекания тока, что открывает возможности создания

резистивных сенсоров относительной влажности RH с высокой чувствительностью (увеличение электропроводности до трех порядков при увеличении RH от 5 до 85 %) и быстрым (менее секунды) откликом.

Вышеотмеченное в совокупности является концептуальным развитием актуального научного направления – оптики материалов солнечной энергетики.

Даю согласие на публикацию отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор,
заведующий научно-исследовательской
лабораторией «Интегрированные микро-
и наносистемы» учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

С.К. Лазарук

