

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 Мазаника А.В. соответствует специальности 01.04.05 – оптика (физико-математические науки). В частности, имеет место соответствие следующим пунктам паспорта специальности (в редакции Приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 31 декабря 2024 г. № 330):

- атомная и молекулярная спектроскопия, включая спектроскопию ... твердых тел;
- спектроскопия комбинационного рассеяния света;
- люминесценция;
- обратимые и необратимые фотопроцессы;
- нанооптика.

Актуальность темы диссертации

Создание высокоэффективных фотоэлектрических и фотоэлектрохимических преобразователей солнечной энергии представляет собой одну из важнейших задач современной энергетики. Одной из ключевых проблем при этом является поиск материала для формирования фотопоглощающего слоя. Очевидно, что такой материал должен удовлетворять сразу нескольким критериям: иметь высокий коэффициент оптического поглощения; содержать только доступные и малотоксичные элементы; быть стабильным к воздействиям, имеющим место в реальных условиях эксплуатации (воздействие света и атмосферы, циклирование температуры, при эксплуатации в космосе – воздействие высокоэнергетических частиц). В настоящее время материалы, одновременно удовлетворяющие сформулированным выше критериям, отсутствуют. Кроме того, для обеспечения высокой эффективности и стабильности фотоэлектрической (фотоэлектрохимической) системы в целом большое значение имеет состояние интерфейсов между поглощающим слоем и иными функциональными слоями. Это делает актуальным решение таких задач как улучшение свойств известных материалов для солнечной энергетики и структур на их основе, развитие методов диагностики таких материалов и структур. Таким образом, диссертация Мазаника А.В., в которой решаются задачи такого рода, вне всяких сомнений является актуальной.

Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту

Соискателем получен ряд новых научных результатов:

- применена спектроскопия комбинационного рассеяния света для широкозонных оксидов (ZnO , TiO_2 , In_2O_3), сенсibilизированных квантовыми точками CdS , в результате чего получена информация о влиянии природы широкозонного оксида на свойства формируемых наноструктур;

- установлены закономерности облучения высокоэнергетическими (10^6 эВ) электронами на фотоэлектрические и фотоэлектрохимические свойства пленок халькогенидов кадмия; на основании анализа спектров фотоэдс показано сохранение значений энергии Урбаха для пленок CdTe при достаточно больших флюенсах электронов (до 10^{15} см^{-2});

- с применением комплекса аналитических методов (сканирующая электронная и атомная силовая микроскопия, рентгеновская дифрактометрия, термогравиметрический анализ, спектроскопия комбинационного рассеяния света) установлены свойства композиционных материалов SnO_2 –оксид графена; показано, что добавление в пленки оксида графена приводит к заметному повышению их электропроводности при сохранении высокого светопропускания;

- предложен метод неразрушающей оптической диагностики солнечных элементов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов, основанный на мониторинге изменений во времени спектральных (спектры фотолюминесценции и комбинационного рассеяния света) и фотоэлектрических (фотоэдс, ток короткого замыкания) характеристик исследованных объектов при непрерывном воздействии монохроматического излучения из области фундаментального поглощения;

- показана критическая роль состава поглощающего слоя, его интерфейса с дырочно-транспортным слоем, тыльного золотого контакта в обеспечении фотостабильности солнечных элементов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов;

- экспериментально установлено, что использование редкоземельных элементов (Er , Nd , Eu) при выращивании кристаллов TlInS_2 , TlGaSe_2 , Cu_2O подавляет безызлучательную рекомбинацию неравновесных носителей заряда в них, что проявляется в увеличении интенсивности излучательных процессов и возрастании фототока в системе Cu_2O –электролит;

- из спектров квантовой эффективности фототока получены значения энергий для прямых и непрямых оптических переходов в ванадате висмута;

- методом фотоиндуцированных динамических дифракционных решеток определены значения времени жизни и коэффициента диффузии носителей заряда в полупроводниковых соединениях висмута, что позволило в значительной мере объяснить их фотоэлектрические, фотоэлектрохимические и каталитические свойства, а также установить возможность практического применения в солнечной энергетике и сенсорике.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выводы диссертационной работы логически вытекают из представленных результатов и являются обоснованными. В диссертации представлено большое количество экспериментальных результатов, полученных с помощью различных методов. При анализе оптических, фотоэлектрических и фотоэлектрохимических свойств исследованных объектов автор практически всегда опирается на результаты структурных исследований (микроскопических, дифракционных и т.д.). По возможности выполняется критическое сопоставление результатов, полученных с помощью различных методов (cross-check). Например, результаты спектроскопии комбинационного рассеяния света структур вида широкозонный оксид – CdS сопоставляются с результатами спектроскопии фототока; спектры фотолюминесценции пленок Cu_2O сопоставляются с кинетиками затухания фотолюминесценции, а также поляризационными и спектральными зависимостями фототока. Сказанное является весомым аргументом в пользу достоверности результатов, полученных соискателем.

Кроме того, опубликованность основных результатов диссертации в высокорейтинговых журналах предполагает их тщательную экспертизу многочисленными рецензентами, что также минимизирует вероятность содержания в результатах серьезных ошибок.

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

Научная значимость полученных соискателем результатов обусловлена получением новых знаний о фотоиндуцированных процессах, протекающих в материалах для создания солнечных элементов и фотоэлектрохимических систем, а также развитием способов оптической диагностики таких материалов и систем на их основе.

Практическая значимость обусловлена сформулированными рекомендациями по повышению фотостабильности солнечных элементов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов, предложенными подходами к подавлению безызлучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниковых материалах. Кроме того, важным с практической точки зрения является то обстоятельство, что большинство материалов, исследованных соискателем, могут быть получены простыми, недорогими и доступными жидкостными методами (ионное наплавление, химическое и электрохимическое осаждение, центрифугирование).

Экономическая значимость результатов обусловлена их использованием при выполнении трех международных контрактов по созданию научной продукции (все – под руководством соискателя), а также при разработке учебных материалов в рамках образовательных проектов по программам Tempus и Erasmus+. Во всех случаях организация, в которой

выполнялась работа (Белорусский государственный университет), выступала в качестве бенефициара.

Социальная значимость диссертации связана с тем, что она выполнялась в учреждении высшего образования. Очевидно, что использование результатов диссертации в учебном процессе может способствовать повышению его качества.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Список публикаций соискателя включает 52 научные работы, в том числе 31 статью в рецензируемых научных журналах, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190. Большинство статей соискателя (23) опубликовано в журналах первого и второго квартилей, что говорит о высоком уровне полученных результатов.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация и ее автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК.

Замечания по диссертационной работе

Существенных замечаний по работе нет. Есть лишь вопросы по экспериментальной химической части.

1. Насколько воспроизводимы экспериментальные результаты с учетом синтеза наночастиц различными способами?

2. Графен оксид: состав и спектроскопия зависят от способа получения. Как это учитывалось в работе?

3. Оксосульфид висмута состава $\text{Bi}_{10}\text{O}_6\text{S}_9$ представлен как новое полупроводниковое соединение. В то же время, оно описано в статьях других исследовательских групп, например, Van der Waals Black Phosphorus/ $\text{Bi}_{10}\text{O}_6\text{S}_9$ Heterojunction Harvesting Ambient Electric Field Energy for Enhanced Photoelectrochemical Sense The Journal of Physical Chemistry C 2023 127 (2), 1229-1243. Synergistic enhancing photoelectrochemical response of $\text{Bi}_{10}\text{O}_6\text{S}_9$ with WO_3 optical heterojunction in wide wavelength range, Applied Surface Science, Vol. 509, 2020, 144697. В чем отличие и является ли это вещество индивидуальным, а не смесью полиморфных фаз?

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Объем и уровень полученных результатов, характер их представления в диссертации, количество научных статей автора и рейтинг журналов, в которых они опубликованы, свидетельствуют о том, что квалификация соискателя соответствует ученой степени доктора физико-математических наук. Диссертант в настоящее время имеет *H*-индекс 17 по данным Scopus, что указывает на высокий научный уровень его исследований.

Заключение

Диссертация Мазаника Александра Васильевича в полной мере соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к докторским диссертациям.

Ее автор, Мазаник Александр Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика – за следующие новые, научно обоснованные, достоверные и значимые результаты:

- установление и объяснение особенностей спектров комбинационного рассеяния света структур «широкозонный оксид – сульфид кадмия», что позволило раскрыть влияние природы оксида на свойства формируемых структур;

- нахождение закономерностей радиационного воздействия на фотоэлектрические свойства пленок халькогенидов кадмия;

- установление структуры, оптических и (фото)электрохимических свойств композиционных пленок «диоксид олова – оксид графена»;

- установление фотоиндуцированных процессов, протекающих в солнечных элементах на основе гибридных органо-неорганических перовскитов и нахождение факторов, влияющих на их фотостабильность;

- нахождение способов подавления безызлучательной рекомбинации в полупроводниках TlInS_2 , TlGaSe_2 и Cu_2O ;

- определение энергий для прямых и непрямых оптических электронных переходов в ванадате висмута из спектров квантовой эффективности фототока;

- установление электрофизических, фотоэлектрических и сенсорных свойств нового полупроводникового соединения – оксосульфида висмута, что в совокупности можно рассматривать как концептуальное развитие актуального научного направления – физико-химии материалов солнечной энергетики.

Официальный оппонент,
доктор химических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории химии конденсированных
сред учреждения Белорусского
государственного университета
«Научно-исследовательский институт
физико-химических проблем»

С.В. Войтехович

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



С.В. Войтехович