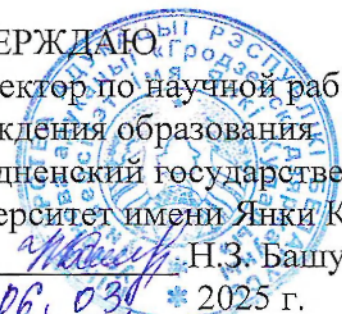


УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
учреждения образования  
«Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы»  
  
\_\_\_\_\_  
06.03.2025 г.

## **ОТЗЫВ ОПОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

учреждения образования

«Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»  
на диссертацию Мазаника Александра Васильевича  
«Спектроскопия полупроводниковых наноструктур и тонких пленок  
для солнечной энергетики и сенсорики»,  
представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 01.04.05 – оптика

### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки**

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», «Разработка основ новых технологий... диагностики... техногенных объектов» паспорта специальности (Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 31 декабря 2024 г. № 330).

### **Научный вклад соискателя в разработку научной проблемы с оценкой его значимости**

Диссертация Мазаника А.В. посвящена исследованию оптическими методами фоточувствительных структур для солнечной энергетики и оптоэлектроники, а также установлению протекающих в них фотоиндуцированных процессов.

Актуальность исследований такого рода обусловлена бурным развитием солнечной энергетики во всем мире. Несмотря на то, что ведутся масштабные работы по совершенствованию существующих и разработке новых фотопреобразующих систем и материалов для их создания, до сих пор отсутствуют материалы солнечной энергетики, одновременно удовлетворяющие критериям возможности достижения высокой эффективности фотоэлектрического преобразования, отсутствия в их составе токсичных химических элементов, доступности, долговременной стабильности в процессе эксплуатации.

Соискателем выполнено систематическое исследование наноструктурированных пленок, сформированных широкозонными оксидами ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) и наночастицами сульфида кадмия методом спектроскопии комбинационного рассеяния света, что позволило установить влияние материала оксида на свойства формируемых наногетероструктур.

Впервые в Республике Беларусь проведены исследования солнечных элементов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов разного состава, что позволило установить закономерности изменения рабочих параметров данных солнечных элементов в условиях эксплуатации (циклирование «свет-темнота»), а также частично выявить факторы, определяющие эти изменения.

Показана возможность улучшения оптических и фотоэлектрохимических свойств пленок  $\text{Cu}_2\text{O}$ , формируемых простым и доступным методом электрохимического осаждения, путем модификации электролита осаждения (добавление солей европия, использование тартрат-анионов).

Выполнено исследование широкого круга полупроводниковых соединений висмута (оксоидид, оксобромид, оксосульфид, ванадат, висмутат меди). С помощью широкого спектра аналитических методов установлены факторы, определяющие их фотоэлектрохимические и фотокаталитические свойства.

Обращает на себя внимание использование большого круга методов анализа, причем не только оптических и спектроскопических, но и позволяющих установить структуру исследуемых объектов. Это повышает достоверность полученных соискателем результатов.

Следует также отметить стремление соискателя исследовать материалы и структуры формируемыми простыми и доступными химическими методами (химическое и электрохимическое осаждение, ионное напыление, центрифугирование) без использования дорогостоящих вакуумных технологий, что говорит о практической направленности выполненного исследования.

Значимость научного вклада Мазаника А.В. подтверждается высоким уровнем его публикаций. В частности, 23 статьи опубликованы в журналах с импакт-факторами 2 и выше.

**Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень**

Ученая степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика может быть присуждена соискателю за следующие новые научно обоснованные результаты:

– установление методом спектроскопии комбинационного рассеяния света закономерностей формирования фоточувствительных гетероструктур на основе широкозонных оксидов и наночастиц сульфида кадмия;

– установление закономерностей изменения фотоэлектрических свойств пленок халькогенидов кадмия при облучении высокоэнергетическими (энергия порядка  $10^6$  эВ) электронами;

– установление факторов, приводящих к фотоиндуцированной деградации рабочих параметров солнечных элементов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов;

– нахождение способов подавления безызлучательной рекомбинации носителей заряда в кристаллах  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$  посредством введения редкоземельных элементов в расплав и электролит осаждения соответственно, а также путем модификации электролита осаждения пленок  $\text{Cu}_2\text{O}$ , что может быть использовано для повышения fotocувствительности структур на основе данных материалов;

– определение энергий прямых и непрямых оптических переходов в перспективном фотокатализаторе – ванадате висмута  $\text{BiVO}_4$ ;

– определение электрофизических и фотоэлектрических свойств слоистых соединений висмута с целью установления возможности их применения в солнечной энергетике и сенсорики.

Полученные результаты в совокупности является существенным развитием актуального научного направления – оптика материалов солнечной энергетике.

#### **Замечания по диссертации**

1. Положения, выносимые на защиту, несомненно, отражают научную новизну и практическую значимость диссертации, однако некоторые из них, в особенности первое положение, сформулированы очень пространно. Это затрудняет их восприятие.

2. Представленная работа – экспериментальная, а потому методику эксперимента следовало бы представить в отдельной главе. В этом случае можно было бы избежать некоторых ее повторов. (см. гл. 2 и гл. 4).

3. На рис. 6.16 а, б представлена кинетика затухания экситонной фотолюминесценции пленок  $\text{Cu}_2\text{O}$ , при этом время на оси абсцисс выражено в «относительных единицах». Чему равна «относительная единица времени», в подписи к рисунку и тексте не указано.

4. В некоторых случаях имеется использование полужаргонных выражений, получаемых в результате прямого перевода англоязычных терминов, например, «времяразрешенная фотолюминесценция».

Указанные замечания имеют частный характер и не изменяют в целом высокой оценки работы.

#### **Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

Анализ диссертации, автореферата, а также публикаций соискателя позволяет утверждать, что его квалификация **соответствует** ученой степени доктора физико-математических наук, а диссертация – требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям.

## **Конкретные рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты исследования были использованы при выполнении трех международных контрактов по модификации оптических и фотоэлектрических свойств широкозонных полупроводников радиационными воздействиями:

- No LB0607D от 20.03.2017, ГР20170560;
- No LB0607D2 от 05.04.2018, ГР20180867;
- No LB0607D3 от 18.03.2019, ГР20191137.

Заказчик – Вильнюсский университет, исполнитель – Белорусский государственный университет, руководитель – Мазаник А.В.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы с целью проведения оптической диагностики фоточувствительных материалов для солнечной энергетики и оптоэлектроники.

### **Вывод**

Докторская диссертация Мазаника Александра Васильевича «Спектроскопия полупроводниковых наноструктур и тонких пленок для солнечной энергетики и сенсорики» представляет собой завершенную, самостоятельно выполненную квалификационную научную работу, способствующую развитию оптики материалов солнечной энергетики.

Ученая степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика в соответствии с требованиями пунктов 20, 21 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 23.06.2023 № 180), может быть присуждена Мазанику Александру Васильевичу за новые научно обоснованные результаты, включающие:

- установление методом спектроскопии комбинационного рассеяния света закономерностей формирования фоточувствительных гетероструктур на основе широкозонных оксидов и наночастиц сульфида кадмия;
- установление закономерностей изменения фотоэлектрических свойств пленок халькогенидов кадмия при облучении высокоэнергетическими (энергия порядка  $10^6$  эВ) электронами;
- установление факторов, приводящих к фотоиндуцированной деградации рабочих параметров солнечных элементов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов;
- нахождение способов подавления безызлучательной рекомбинации носителей заряда в кристаллах  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$  посредством введения редкоземельных элементов в расплав и электролит осаждения соответственно, а также путем модификации электролита осаждения пленок  $\text{Cu}_2\text{O}$ , что может быть использовано для повышения фоточувствительности структур на основе данных материалов;
- определение энергий прямых и непрямых оптических переходов в перспективном фотокатализаторе – ванадате висмута  $\text{BiVO}_4$ ;



– определение электрофизических и фотоэлектрических свойств слоистых соединений висмута с целью установления возможности их применения в солнечной энергетике и сенсорики.

Отзыв на диссертацию Мазаника Александра Васильевича «Спектроскопия полупроводниковых наноструктур и тонких пленок для солнечной энергетике и сенсорики», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика, согласно приказу проректора по научной работе от «28» февраля 2025 г. № 114, рассмотрен и утвержден на научном семинаре физико-технического факультета «Актуальные проблемы физики» 06.03.2025 (протокол заседания № 1), на котором соискатель Мазаник А.В. выступил с докладом. На заседании состоялась дискуссия, соискатель ответил на все вопросы.

В работе семинара и в голосовании приняли участие 15 членов из 18: 6 докторов физико-математических наук, 7 кандидатов физико-математических наук, 1 кандидат технических наук, 1 кандидат педагогических наук.

Результаты открытого голосования: «за» – 15, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Руководитель научного семинара:  
доктор физико-математических наук,  
профессор, профессор кафедры  
теоретической физики и теплотехники

 Е.С. Ануфрик

Эксперт оппонировающей организации:  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
общей физики

 А.А. Маскевич

Секретарь научного семинара:  
кандидат технических наук,  
доцент, доцент кафедры  
электротехники и электроники

 О.А. Жарнова

