

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.063.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА  
«ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ИМ. А.М. ПРОХОРОВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28 сентября 2020 г. № 133.

О присуждении Гладилину Андрею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структурные и оптические свойства кристаллов селенида и сульфида цинка, легированных железом и хромом», по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 23 марта 2020 г. (протокол заседания № 131) диссертационным советом Д 002.063.02, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), 119991 ГСП-1, Москва, ул. Вавилова, д. 38, совет создан приказом Рособнадзора № 2048–1308 от 19 октября 2007 г.

Соискатель Гладилин Андрей Александрович, 1990 г. рождения, в 2013 г. окончил Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова.

С 2015 г. по 2019 г. учился в аспирантуре Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, в настоящее время работает в отделе колебаний Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в отделе инфракрасной техники ИОФ РАН.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Калинушкин Виктор Петрович, ведущий научный сотрудник лаборатории низких температур, отдел инфракрасной техники ИОФ РАН.

Официальные оппоненты:

Витухновский Алексей Григорьевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, и.о. заведующего отделом люминесценции им. С.И. Вавилова Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева РАН;

Кузнецов Петр Иванович, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории МОСVD роста полупроводников Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук» в своем положительном заключении, подписанном Якимовым Евгением Борисовичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником, руководителем семинара «Материаловедение и технология» ИПТМ РАН, и утвержденным директором Института, доктором физико-математических наук Дмитрием Валентиновичем Рощупкиным, указала, что диссертационная работа Гладилина Андрея Александровича «Структурные и оптические свойства кристаллов селенида и сульфида цинка, легированных железом и хромом», отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04. 07 – Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, по теме диссертации 11 работ; в изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 6 работ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Gladilin A.A., Chentsov S.I., Uvarov O.V., Nikolaev S.N., Krivobok V.S., Kalinushkin V.P. Luminescence spatial characteristics of ZnSe:Fe // *Journal of Applied Physics*. - 2019. - т. 126, № 1. - с. 015702.
2. Гладилин А.А., Ильичев Н.Н., Калинушкин В.П., Студеникин М.И., Уваров О.В., Чапнин В.А., Туморин В.В., Новиков Г.Г. Исследование влияния легирования железом на люминесценцию монокристаллов селенида цинка // *Физика и техника полупроводников*. - 2019. - т. 53, № 1. - с. 5–12.
3. Балабанов С.С., Гаврищук Е.М., Гладилин А.А., Иконников В.Б., Ильичев Н.Н., Калинушкин В.П., Миронов С.А., Савин Д.В., Студеникин М.И., Тимофеева Н.А., Уваров О.В., Чапнин В.А. Пространственное распределение примесно-дефектных центров в легированном железом поликристаллическом селениде цинка // *Неорганические материалы*. - 2019. - т. 55, № 5. - с. 459–468.
4. Чукачев М.В., Чегнов В.П., Резванов Р.Р., Чегнова О.И., Калинушкин В.П., Гладилин А.А. Католюминесценция ZnSe:Fe в средней инфракрасной области спектра // *Оптика и спектроскопия*. - 2019. - т. 126, № 2. - с. 122-125.
5. Гладилин А.А., Гулямова Э.С., Данилов В.П., Ильичев Н.Н., Калинушкин В.П., Один И.Н., Пашинин П.П., Резванов Р.Р., Сидорин А.В., Студеникин М.И., Чапнин В.А., Чукичев М.В. ИК люминесценция монокристаллов ZnSe:Fe<sup>2+</sup> при возбуждении электронным пучком // *Квантовая электроника*. - 2016. - т. 46, № 6. - с. 545–547.
6. Гаврищук Е.М., Гладилин А.А., Данилов В.П., Иконников В.Б., Ильичев Н.Н., Калинушкин В.П., Рябова А.В., Студеникин М.И., Тимофеева Н.А., Уваров О.В., Чапнин В.А. Исследование распределения центров люминесценции внутри объема исходных и легированных железом и хромом поликристаллов CVD-ZnSe методом двухфотонной конфокальной микроскопии // *Неорганические материалы*. - 2016. - т. 52, № 11. - с. 1–8.

На автореферат диссертации четыре отзыва:

1. Из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, подписала отзыв главный научный сотрудник, заведующая лабораторией диффузии и дефектообразования в полупроводниках, доктор физико-математических наук Заморянская Мария Владимировна. Отзыв положительный, но имеются замечания: 1) на основании автореферата не ясна природа двух максимумов люминесценции в среднем ИК-диапазоне; 2) в автореферате не описан механизм, объясняющий концентрационные зависимости интенсивности и времени послесвечения люминесценции иона  $Fe^{2+}$ .

2. Из Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН», подписал отзыв заведующий лабораторией ТВС и РВС, доктор технических наук Юрий Павлович Кириллов. Отзыв положительный, однако у автора имеются следующие замечания к работе: 1) в литературном обзоре уделяется недостаточное внимание работам по катодолюминесценции селенида и сульфида цинка; 2) не описана природа разложения спектра на полосы, ассоциированные с примесно-дефектными центрами.

3. Из ООО «Исследовательский центр Самсунг», подписал отзыв кандидат физико-математических наук, старший инженер Борис Игоревич Афиногенов. Отзыв положительный. В качестве замечаний к автореферату автор отмечает следующее: 1) В положениях, выносимых на защиту, и в тексте автореферата автор говорит о «загрязнении образцов дефектами» при легировании. Из дальнейшего текста можно сделать вывод о том, что данные дефекты и являются источниками исследуемой в работе люминесценции. Следовало бы прояснить, возникают ли при легировании два класса дефектов: «загрязняющие» и «излучающие» или просто выбрана неподходящая терминология. 2) Результаты третьей главы объяснены в тексте автореферата достаточно подробно, в то время как результаты четвертой главы, имеющей основное прикладное значение, приведены практически без обсуждений.

4. Из ОАО НИИ «Материаловедения», подписал отзыв кандидат технических наук, заместитель начальника НПЛ-294, ведущий научный сотрудник Чегнов Владимир Петрович. Отзыв положительный, однако автор отзыва считает, что к недостаткам работы можно отнести невыясненную природу примесно-дефектных центров, образующихся в объеме ZnSe:Fe диффузионных структур.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен их большим опытом и достижениями в данной области науки, которые позволяют им правильно оценить научную и практическую значимость полученных в диссертации результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Впервые методом двухфотонной конфокальной микроскопии проведены детальные исследования люминесценции в селениде и сульфиде цинка, легированными переходными металлами (Fe и Cr).

Показано, что легирование кристаллов ZnSe и ZnS железом (хромом) сопровождается формированием протяженных локальных областей с повышенной интенсивностью люминесценции шириной в сотни микрометров, расположенных параллельно поверхности легирования.

Создана установка для исследования люминесценции в среднем ИК-диапазоне при облучении материалов пучком электронов с энергией в несколько десятков кэВ.

Впервые зарегистрирована люминесценция ионов железа в кристаллах селенида цинка в диапазоне 3,6–4,4 мкм при возбуждении пучком горячих электронов при температурах 77 и 300 К. Показано, что данный эффект соответствует переходу электрона с уровня  $^5T_2$  на уровень  $^5E$  иона  $Fe^{2+}$ , обеспечивающему лазерную генерацию при оптической накачке.

Проведены детальные исследования интенсивности и кинетики обнаруженной ИК-катодолюминесценции в кристаллах ZnSe:Fe в диапазоне концентраций примеси железа от 0,01 до 14 масс. % при температурах 77 и

300 К, исследовано влияние отжига исследуемых образцов в атмосфере цинка на параметры излучения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные результаты позволяют предложить модель формирования областей с повышенной интенсивностью люминесценции, согласно которой в процессе легирования образцов происходит образование и диффузия как минимум двух типов примесно-дефектных центров. Показано, что данный результат является общим свойством для полупроводников, в которых есть пространственные градиенты концентраций рекомбинационно-активных примесно-дефектных центров.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Обнаружено, что отжиг в атмосфере цинка приводит к регенерации люминесценции ионов  $Fe^{2+}$ , возбуждаемой горячими электронами в кристаллах ZnSe, легированных Fe выше предела растворимости. Показано, что формирование различных примесно-дефектных центров в процессе легирования кристаллов оказывает большее влияние на эффективность возбуждения ионов  $Fe^{2+}$  в ZnSe:Fe пучком горячих электронов, чем наличие крупных структурных дефектов.

Установлено, что наибольшую эффективность возбуждения ионов  $Fe^{2+}$  с помощью горячих электронов показывают структуры с интегральной концентрацией железа 1–3 масс.%, а также образцы с концентрацией растворенного в решетке железа 0,1–0,2 масс.%, дополнительно прошедшие частичную очистку от примесно-дефектных центров путем отжига в газообразном цинке.

Впервые обнаружен эффект концентрационного тушения времени жизни электрона на уровне  $^5T_2$  иона  $Fe^{2+}$  в кристалле ZnSe:Fe при температуре 77 К.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что соискателем использованы современные методики сбора и обработки исходных экспериментальных данных; показана воспроизводимость

результатов; полученные экспериментальные результаты согласуются с данными, опубликованными в независимых источниках, а их интерпретация базируется на современных теоретических представлениях.

Личный вклад соискателя является определяющим и состоит в проведении экспериментов, разработке экспериментальных методик и установок, обработке и интерпретации полученных результатов, апробации результатов исследования на конференциях. Научные статьи по тематике диссертации были написаны при активном участии соискателя на всех стадиях подготовки публикаций.

На заседании 28 сентября 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Гладилину А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета,  
член-корреспондент РАН



*[Handwritten signature of S.V. Garnov]*

С.В. ГАРНОВ

И.О. ученого секретаря диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук

*[Handwritten signature of V.V. Glushkov]*

В.В. ГЛУШКОВ

« 30 » сентября 2020 г.