

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П. Н. ЛЕБЕДЕВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 декабря 2021 г. № 15

О присуждении Ченцову Семену Игоревичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математической наук.

Диссертация «Спектроскопия отдельных дефектов в полупроводниковых соединениях A_2B_6 и гетероструктурах на их основе» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 8 октября 2021 года (протокол заседания № 7) диссертационного совета 24.1.262.01, созданного 11 апреля 2012 года приказом №105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Ченцов Семен Игоревич, 13 августа 1993 года рождения, в 2017 году окончил магистратуру на кафедре № 67 Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ «МИФИ») по направлению 14.04.02 «Ядерная физика и технологии». По окончании НИЯУ «МИФИ» поступил в аспирантуру ФИАН, которую закончил 11 октября 2021 года с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2021 году Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Физическим институтом им. П. Н. Лебедева Российской

академии наук. С. И. Ченцов является сотрудником ФИАН с 2015 года, в настоящий момент в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника Лаборатории "Оптика сложных квантовых систем" Отделения оптики ФИАН.

Диссертационная работа С. И. Ченцова выполнена в Отделе твёрдотельной фотоники Отделения физики твёрдого тела ФИАН.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук Кривобок Владимир Святославович, высококвалифицированный старший научный сотрудник Отдела твёрдотельной фотоники Отделения физики твёрдого тела ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Доктор физико-математических наук, доцент Константинова Елизавета Александровна, профессор кафедры Общей физики и молекулярной электроники Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова;
2. Доктор физико-математических наук Ильичёв Эдуард Анатольевич, начальник научно-исследовательской лаборатории функциональной электроники Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация: Институт физики твёрдого тела им. Ю. А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН, Московская область, г. Черноголовка) в своём положительном заключении, подписанном кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником ИФТТ РАН Ваньковым Александром Борисовичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником ИФТТ РАН Максимовым Андреем Анатольевичем и доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, главным научным сотрудником ИФТТ

РАН Кулаковским Владимиром Дмитриевичем, и утверждённом доктором физико-математических наук Левченко Александром Алексеевичем, директором ИФТТ РАН, указала, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе 13 по теме диссертации, из них 8 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science. Результаты работы были представлены в 5 докладах на российских и международных конференциях.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем Ченцовым С. И. работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Изолированные (квантовые) излучатели, сформированные с участием дефектов, в гетероструктуре ZnSe/ZnMgSSe/ Кривобок В. С., Николаев С. Н., Ченцов С. И., Онищенко Е. Е., Багаев В. С., Козловский В. И., Сорокин С. В., Седова И. В., Гронин С. В., Иванов С. В.// Письма в ЖЭТФ. – 2016. – Т. 104. – №. 2. – С. 108–113.

2. Two types of isolated (quantum) emitters related to dislocations in crystalline CdZnTe/ Krivobok V. S., Nikolaev S. N., Chentsov S. I., Onishchenko E. E., Pruchkina A. A., Bagaev V. S., Silina A. A., Smirnova N. A. // Journal of Luminescence. – 2018. – Vol. 200. – P. 240-247.

3. Probing of single acceptors in a wide ZnSe-based quantum well via optical spectroscopy/ Krivobok V. S., Nikolaev S. N., Onishchenko E. E., Pruchkina A. A., Chentsov S. I., Klovov A. Yu., Sorokin S. V., Sedova I. V. // Journal of Luminescence. – 2019. – Vol. 213. – P. 273-277.

4. Optical probing of extended defects in CdTe virtual substrates via isolated emitters produced by weakly perturbed fragments of partial dislocations/ Krivobok V. S., Chentsov S. I., Nikolaev S. N., Chernopitssky M. A., Onishchenko E. E.,

Pruchkina A. A., Martovitskiy V. P., Bagaev V. S., Ikusov D. G., Marin D. V., Mikhailov N. N., and Yakushev M. V. // Applied Physics Letters. – 2019. – Vol. 115. – №. 23. – P. 232102.

5. Обнаружение фазовых переходов в электронно-дырочной системе, связанной с ядрами дислокаций, в теллуриде кадмия/ Кривобок В. С., Николаев С. Н., Багаев В. С., Онищенко Е. Е., Ченцов С. И., Чернопицкий М. А., Шарков А. И.// Краткие сообщения по физике. – 2020. – №. 4. – С. 38-44.

На автореферат диссертации поступил отзыв от доктора химических наук, профессора Губина Сергея Павловича, главного научного сотрудника Института общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Российской академии наук. В отзыве Губина С. П. отмечается, что диссертационная работа Ченцова С. И. является актуальной, так как она посвящена развитию спектроскопических методов, позволяющих выделять отдельные объекты и анализировать их свойства, что является востребованным для систематического исследования протяжённых дефектов. В отзыве отражены следующие критические замечания: 1). в автореферате присутствуют опечатки, не вполне понятные фразы, неточности; 2). из автореферата не ясно, каков уровень нагрева образцов при измерениях микрофотолюминесценции и лазерном воздействии; 3). из автореферата не ясно, имелась ли возможность регулировать элементный и примесный состав в исследуемых образцах. В отзыве указано, что несмотря на указанные недостатки работа выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне, а её автор, Ченцов Семен Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием у них признанных достижений в области физики конденсированного состояния.

Диссертационный совет отмечает, что целью диссертации С. И. Ченцова был поиск условий для наблюдения и анализ основных свойств одиночных (квантовых) излучателей, формируемых протяжёнными дефектами в широкозонных полупроводниках A_2B_6 .

В работе получены следующие результаты:

1. На основе измерений низкотемпературной микрофотолюминесценции разработан и реализован неразрушающий спектроскопический метод, позволяющий оценивать структурные свойства протяжённых дефектов в полупроводниках группы A_2B_6 , а также выделять отдельные люминесцентные центры, сформированные фрагментами ядер дислокаций, и исследовать электронную подсистему этих центров.

2. В неравновесной электронно-дырочной системе, связанной с ядрами частичных дислокаций в кристаллах A_2B_6 , обнаружены признаки фазового перехода «электронно-дырочная плазма – экситонные состояния». Экситонные состояния, возникающие в результате фазового перехода, проявляются в спектрах низкотемпературной микрофотолюминесценции как отдельные излучатели и характеризуются полушириной линии ~ 1 мэВ, степенью линейной поляризации ~ 0.8 и слабой связью с кристаллической решеткой через фрёлиховский механизм электрон-фононного взаимодействия (фактор Хуанга-Рис ~ 0.1).

3. Пространственное картирование сигнала низкотемпературной микрофотолюминесценции, разрешённой по поляризации, позволяет восстановить и исследовать картину распространения частичных дислокаций в объемных материалах A_2B_6 и гетероструктурах на их основе. В частности, показано, что ориентация частичных дислокаций в плёнках $CdTe/Si (1\ 0\ 3)$ привязана к выделенному направлению, а в плёнках $CdTe/GaAs (1\ 0\ 3)$ выделенная система ориентированных дислокаций отсутствует. Данные отличия позволили объяснить ухудшение качества КРТ слоев, выращенных на виртуальных подложках $CdTe/Si (1\ 0\ 3)$.

4. С помощью локального лазерного воздействия с длиной волны 1053 нм и энергией лазерного импульса 8 мкДж было реализовано изменение структуры связей в ядрах частичных дислокаций в CdTe, при этом в процессе воздействия кристаллическая решётка оставалась невозмущённой. В этих экспериментах анализ отдельных люминесцентных центров, связанных с дислокациями, позволяет реализовать *in situ* контроль за состояниями ядер отдельных дислокаций.

5. Для квантовых ям на основе ZnSe шириной 20 нм в спектрах низкотемпературной микрофотолюминесценции наблюдалось существование изолированных излучателей, связанных с донорно-акцепторными парами. Для таких излучателей характерны сильная связь с решеткой (фактор Хуанга-Рис ~ 1) и скачкообразные биения бесфононной линии излучения с течением времени на масштабах до 10 мэВ. Анализ обнаруженных излучателей позволил реализовать квантовое зондирование отдельного акцептора (донора), при условии, что свойства другого дефекта, составляющего пару, известны.

Результаты работы С. И. Ченцова оригинальны и научно обоснованы. Их достоверность подтверждается использованием проверенного современного научного оборудования, физической обоснованностью используемых автором подходов, а также согласованностью полученных данных с известными результатами, относящимися к спектроскопии протяжённых дефектов в полупроводниковых материалах.

Все результаты получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии.

Научная новизна работы во многом определяется созданием неразрушающего метода визуализации структуры протяжённых дефектов на основе измерений низкотемпературной микрофотолюминесценции, позволяющего выделять отдельные люминесцентные центры,

сформированные фрагментами ядер дислокаций в кубических полупроводниках A_2B_6 , и исследовать электронную структуру этих центров.

Практическая значимость результатов заключается в том, что представленный в работе бесконтактный метод может быть использован для визуализации дефектной структуры и характеристики электронного спектра отдельных протяжённых дефектов в полупроводниковых соединениях A_2B_6 и гетероструктурах на их основе. Такую характеристику можно, в частности, использовать для отбора подложек на основе CdTe, которые используются для создания КРТ детекторов среднего инфракрасного диапазона. Кроме того, экспериментальные методики, представленные в работе, могут быть использованы не только для полупроводников группы A_2B_6 , но и для других полупроводниковых соединений.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в организациях, работающих в областях физики конденсированного состояния и оптической спектроскопии: Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Институте спектроскопии РАН, Физико-техническом институте имени А. Ф. Иоффе РАН, Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, ЗАО НПО «Орион».

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

В ходе защиты соискатель С. И. Ченцов аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации, оппонентов и автора отзыва на автореферат.

На заседании 21 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить С. И. Ченцову учёную степень кандидата физико-математических наук за решение новой научной задачи о развитии методов оптической спектроскопии, позволяющих неразрушающим образом анализировать свойства отдельных дефектов в полупроводниках группы A_2B_6 и гетероструктурах на их основе.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»), участвовавшие в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени 22,

против присуждения учёной степени 0,

недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета,

чл. корр. РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета,

д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

21 декабря 2021 г.