

ОТЗЫВ

официального оппонента Вайнштейна Ильи Александровича на диссертацию
ЧЕРНОПИЦСКОГО Максима Александровича «Оптические свойства
примесно-дефектных центров в ультратонких пленках слоистых моно- и
дихалькогенидов металлов», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика
конденсированного состояния.

Представленная диссертационная работа посвящена исследованию дефектных состояний собственной и примесной природы в слоистых полупроводниках методами оптической спектроскопии. Один из основных акцентов сделан на получение новых экспериментальных данных для изучения основных механизмов излучательной рекомбинации в пленках селенидов индия и галлия, дисульфида олова и диселенида вольфрама. Кроме того, в диссертации проанализирована роль геометрических параметров синтезированных полупроводников и структурных дефектов, образующихся в них, при формировании электронного спектра как объемных материалов, так и полученных на их основе ультратонких пленок. Выполненные исследования являются актуальными с точки зрения фундаментальных задач физики конденсированного состояния в области низкоразмерных сред, а также представляют интерес в рамках развития оптоэлектронных технологий с использованием 2D материалов.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка публикаций автора и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 127 страниц. Список литературы содержит 113 источников.

Во Введении обосновывается актуальность темы диссертации, описываются цели и задачи диссертационной работы, научная и практическая значимость исследований, формулируются выносимые на защиту положения, а также приводится информация об апробации работы.

В Главе 1 представлен аналитический обзор известных литературных данных о зонной структуре исходных слоистых полупроводников в объемном состоянии, которые исследуются в диссертационной работе. Особое внимание уделено изменениям энергетической структуры при переходе к тонким пленкам, а также особенностям люминесценции, обусловленной примесями. Кроме того,

представлена информация о способах получения тонких пленок различных слоистых полупроводников.

Глава 2 является методической и посвящена описанию экспериментальных методик, используемых для получения и характеристики исследуемых образцов. Описана методика манипуляций с тонкими пленками, а именно переноса на различные подложки и сборки ван-дер-ваальсовых гетероструктур, методика получения больших по площади монослоев с применением золота на примере диселенида вольфрама. Затем обсуждаются особенности спектров фотолюминесценции в монослое WSe_2 , измеренные при температуре 5 К.

В Главе 3 приведены основные результаты, полученные для селенида индия. Проанализированы наблюдаемые трансформации спектров низкотемпературной фотолюминесценции при переходе от объемных кристаллов к пленкам различной толщины. Основное качественное изменение спектров приписывается внедрению планарных дефектов в процессе микромеханического расщепления. В завершающих разделах главы описана наблюдаемая антистоксовая люминесценция в исследуемых образцах, обсуждается взаимосвязь указанных процессов с различными дефектами.

В Главе 4 приведены результаты исследования объемных кристаллов и тонких пленок селенида галлия. Полученные экспериментальные данные обсуждаются в рамках единого подхода и подкрепляются соответствующими выводами.

Глава 5 диссертации посвящена характеристике и описанию микрокристаллов дисульфида олова, синтезированных при высоком давлении и высокой температуре. Обнаружен новый люминесцентный центр, который может быть связан с примесью углерода, показано влияние параметров синтеза на эффективность процессов внедрения углерода в решетку дисульфида олова. Обсуждаются структурные особенности изготовленных тонких пленок.

В Заключение сформулированы основные выводы и итоги работы.

В работе получен ряд новых научных результатов, касающихся, в частности, процессов возникновения антистоксовой люминесценции в селенидах индия и галлия. Продемонстрирована роль планарных дефектов при формировании оптических свойств пленок слоистых полупроводников,

в дисульфиде олова обнаружена и изучена люминесцентная система на основе примеси углерода. Полученные результаты для пленок слоистых полупроводников имеют несомненное практическое значение, которое определяется, прежде всего, технологиями создания современных оптоэлектронных устройств на основе ван-дер-ваальсовых гетероструктур.

Степень обоснованности и достоверности положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается постановкой задач диссертационного исследования, применением апробированных экспериментальных методик и современного научного оборудования, использованием современных методов статистической обработки результатов и проведением сравнительного анализа с независимыми теоретическими и экспериментальными данными других исследовательских групп.

Вопросы и замечания по диссертационной работе:

1. Из текста диссертация остается неясным, исследовались/учитывались ли в работе возможные различия электронных характеристик и оптических свойств для свободных полупроводниковых пленок (в виде моно- или мультислоёв) и пленок, закрепленных на подложках?
2. При обсуждении оптических свойств пленок исследуемых слоистых полупроводников не используются кинетические измерения, не проанализированы, в частности, температурные зависимости для времени жизни возбужденных состояний. Такая информация, была бы полезна при интерпретации механизмов наблюдаемых излучательных процессов.
3. В работе присутствует заметное количество опечаток, неудачных формулировок, стилистических неточностей и рисунков с очень мелкими деталями. Например, «широта пика» (стр. 40), «переходами, связанными со «связанным экситоном»» (стр. 40), «экситонное излучение прямого края фундаментального поглощения» (стр. 55), «Разность энергии между бесфононной линией и линией фононного повторения для первого и последнего фонона совпадает..» (стр. 56) и др. При этом качество рис. 3.1а не позволяет визуально различить упоминаемые фононные реплики. Подпись к рис. 3.6 не соответствует ни самому рисунку, ни его описанию в тексте, а практически полностью совпадает с подписью к рис. 3.5.

Указанные замечания и заданные вопросы не уменьшают ценности результатов, полученных в диссертации, и не снижают их высокую оценку.

Результаты диссертационного исследования прошли необходимую апробацию, были представлены на российских и международных научных конференциях и симпозиумах, опубликованы в 9 статьях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых международными базами данных (Web of Science, Scopus) и рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ. Автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации, адекватно отражает полученные в работе результаты.

Диссертация ЧЕРНОПИЦСКОГО Максима Александровича «Оптические свойства примесно-дефектных центров в ультратонких пленках слоистых моно- и дихалькогенидов металлов» является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Чернопицкий Максим Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

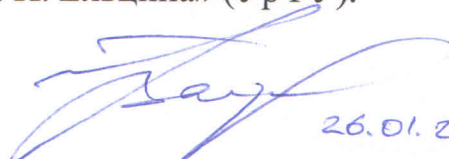
Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, Вайнштейн Илья Александрович, главный научный сотрудник университетского научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» (НОЦ НАНОТЕХ), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ).

Тел.: +7 343 375 93 74

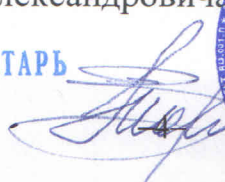
e-mail: i.a.weinstein@urfu.ru

Адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

 / Вайнштейн И. А. /
26.01.2024

Подпись Вайнштейна Ильи Александровича заверяю

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.





Список основных публикаций оппонента доктора физико-математических наук, профессора И. А. Вайнштейна по тематике диссертации М. А. Чернопицкого за последние 5 лет:

1. Savchenko SS, Vokhmintsev AS, Weinstein IA. Activation energy distribution in thermal quenching of exciton and defect-related photoluminescence of InP/ZnS quantum dots. *J Lumin.* 242, p. 118550 (2022). DOI:10.1016/j.jlumin.2021.118550
2. Shilov AO, Savchenko SS, Vokhmintsev AS, Gritsenko VA, Weinstein IA. Thermal quenching of self-trapped exciton luminescence in nanostructured hafnia. *J Lumin.* 247, p. 118908 (2022). DOI:10.1016/j.jlumin.2022.118908
3. Weinstein IA, Spiridonov DM, Vokhmintsev AS, Saraev AA, Henaish AMA. Spectral characterization of long-lived luminescence in h-BN powder under UV excitation. *J Alloys Compd.* 871, p. 159471 (2021). DOI:10.1016/j.jallcom.2021.159471
4. Kudyakova VS, Leonidov II, Chaikin DV, Shishkin RA, Zamyatin DA, Weinstein IA. Microstructure and luminescence properties of the high pressure high temperature sintered AlN–TiN ceramics. *Ceram Int.* 47(12), pp. 16876–16881 (2021). DOI:10.1016/j.ceramint.2021.02.263.
5. Vokhmintsev AS, Weinstein IA. Temperature effects in 3.9 eV photoluminescence of hexagonal boron nitride under band-to-band and subband excitation within 7–1100 K range. *J Lumin.* 230, p. 117623 (2021). DOI:10.1016/j.jlumin.2020.117623
6. Sadovnikov SI, Ishchenko AV, Weinstein IA. Synthesis and optical properties of nanostructured ZnS and heteronanostructures based on zinc and silver sulfides. *J Alloys Compd.* 831, p. 154846 (2020). DOI:10.1016/j.jallcom.2020.154846
7. Vokhmintsev A, Weinstein I, Zamyatin D. Electron-phonon interactions in subband excited photoluminescence of hexagonal boron nitride. *J Lumin.* 208, pp. 363–370 (2019). DOI:10.1016/j.jlumin.2018.12.036
8. Vokhmintsev AS, Weinstein IA, Minin MG, Shalyakin SA. Thermally stimulated processes in the luminescence of carbon-related defects for h-BN micropowder. *Radiat Meas.* 124, pp. 35–39 (2019). DOI:10.1016/j.radmeas.2019.03.001
9. Savchenko SS, Weinstein IA. Inhomogeneous broadening of the exciton band in optical absorption spectra of InP/ZnS nanocrystals. *Nanomaterials.* 9(5), p. 716 (2019). DOI:10.3390/nano9050716