

“УТВЕРЖДАЮ”

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (ИПТМ РАН)

д.ф.-мн. Д.В. Родуцкий



октября 2018 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых
материалов Российской академии наук»**

на диссертацию Суродина Сергея Ивановича

**«Физико-химические особенности ионного синтеза систем с
нанокристаллами GaN в матрицах Si, Si₃N₄ и SiO₂ для применения в
оптоэлектронике», представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 -
Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
nanoэлектроника, приборы на квантовых эффектах**

Нитрид галлия является на сегодняшний день одним из основных материалов для изготовления светоизлучающих и фотоприёмных устройств, однако, его интеграция с классической кремниевой технологией вызывает серьёзные трудности. Данная задача имеет большое практическое значение, так как её решение открывает широкие возможности для развития оптоэлектроники на основе материалов классической микроэлектроники, а также для создания элементов оптических межсоединений. Одним из путей

Диссертация включает литературный обзор, две главы, описывающие образцы и использованные методы исследования, и две главы, описывающие полученные результаты. К наиболее значимым новым научным результатам работы можно отнести следующие:

1. В результате легирования железом и хромом кристаллов селенида и сульфида цинка образуются как минимум три типа примесно-дефектных центров.
2. Легирование кристаллов ZnSe и ZnS переходными металлами Fe и Cr приводит к образованию локальных областей с повышенной интенсивностью рекомбинации, параллельных поверхности легирования и шириной сотни микрон. Данный эффект наблюдался на всех исследуемых кристаллах и является типичным для всех полупроводниковых структур.
3. Обнаружено частичное восстановление краевой люминесценции в области с высокой концентрацией железа после отжига кристалла в цинке. Предполагается, что гашение люминесценции связано не только с безызлучательной рекомбинацией с участием атомов железа, но и с загрязнением кристалла в процессе легирования.
4. Получен спектр люминесценции железа в кристалле ZnSe:Fe в диапазоне 3,6-4,4 мкм при комнатной и азотной температурах при возбуждении пучком электронов с энергией несколько десятков кэВ. Спектр люминесценции соответствует переходу электронов уровня 5T_2 на уровень 5E иона железа.
5. Получены экспериментальные зависимости интенсивности и кинетики люминесценции в среднем ИК диапазоне ионов железа в ZnSe от концентрации железа при возбуждении пучком быстрых электронов при 77 и 300 К.

Полученные автором результаты вносят существенный вклад в понимание влияния процессов легирования на примесно-дефектный состав и пространственное распределение примесно-дефектных центров в объеме кристалла, в реализацию альтернативных методов возбуждения, а также в развитие экспериментальных оптических методик исследования пространственного распределения оптических свойств полупроводниковых кристаллов.

Практическое значение результатов работы заключается в определение оптимального процесса синтеза наиболее перспективных кристаллов. Исследование природы примесно-дефектных центров может способствовать решению проблемы создания малогабаритного, высокоэффективного и мощного источника лазерного излучения, работающего в диапазоне 4-5 мкм. Такие системы перспективны для широкой области применений, включая зондирование атмосферы, спектроскопию газов, медицину и др. Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию в исследовательской работе в научных и учебных заведениях, занимающихся полупроводниковыми структурами и применением их в различных областях науки и техники, в особенности в фотонике,

оптоэлектронике и лазерной физике в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ФИАН, ИОФ РАН, ИРЭ, МГУ им. М.В. Ломоносова, ИПТМ РАН.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается использованием современного научного оборудования, а также использованием современных методов обработки результатов и анализа. Результаты работы докладывались на 15 Всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 11 статьях, в том числе в 6, входящих в перечень ВАК.

Результаты, выводы и основные положения, выносимые на защиту, в достаточной степени обоснованы, базируются на всестороннем анализе исследуемой проблемы и сравнении результатов с литературными данными по теме работы.

Автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации. Публикации соискателя в полной мере отражают наиболее значимые моменты проведённых исследований.

В то же время следует высказать ряд замечаний к рецензируемой работе:

1. Существенная часть работы основана на разложении спектра на компоненты, однако процедура разложения практически не обсуждается.
2. При концентрациях железа, превышающих несколько процентов, по-видимому, неправильно говорить о легированном полупроводнике.
3. В работе не обсуждаются механизмы возбуждения атомов железа горячими электронами и причины возможного отличия такого возбуждения от оптического.
4. Предполагается, что примесно-дефектные комплексы диффундируют вглубь образца, однако возможность их диффузии совсем не очевидна. Более вероятным представляется диффузия примесей или собственных точечных дефектов с последующим формированием комплексов.
5. При сравнении кинетики спада фото- и катодолюминесценции необходимо учитывать уровень возбуждения.
6. На рис. 4.12 контраст границ различается на разных длинах волн, что представляется весьма интересным, однако в работе это не обсуждается.
7. Следует сделать замечания и по оформлению работы. Так пункты 1 и 2 в разделе «Научная новизна» в значительной степени перекрываются. В работе содержатся грамматические ошибки. В формуле 4.1 Dt должно быть под корнем. На Рис. 5.2 время указано в мкм.

В целом указанные недостатки не снижают положительное впечатление от диссертации, которая является законченным научным исследованием, решающим ряд актуальных проблем в области оптоэлектроники.

Можно констатировать, что диссертационная работа А.А. Гладилина «Структурные и оптические свойства кристаллов селенида и сульфида цинка, легированных железом и хромом» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком профессиональном уровне. Работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, в том числе критериям II-го раздела Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор - А.А. Гладилин, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Диссертация рассмотрена и обсуждена на семинаре Материаловедение и технология ИПТМ РАН. Отзыв утвержден на заседании Ученого Совета ИПТМ РАН (протокол № 4 от 7 сентября 2020 г.).

Руководитель семинара

"Материаловедение и Технология" ИПТМ РАН

гл. науч. сотр. ИПТМ РАН,

д-р физ.-мат. наук, проф.



Якимов Евгений Борисович

телефон: (49652) 44161.

e-mail: yakimov@iptm.ru

Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук

Почтовый адрес: 142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 6

e-mail: general@iptm.ru

Телефон: (49652) 4-40-60

Адрес в сети Интернет: <http://www.iptm.ru>