

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Бутаева Марата Раджабали оглы  
**«Эпитаксия низкоразмерных гетероструктур соединений  $A^2B^6$  и создание  
полупроводниковых дисковых лазеров на их основе»**,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика

Диссертационная работа Бутаева Марата Раджабали оглы направлена на развитие полупроводниковых дисковых лазеров (ПДЛ), излучающих в сине-зеленой (~480-550 нм) области спектра на основной частоте. Актуальность работы связана с широкими применениями полупроводниковых дисковых лазеров видимой области спектра, а также перспективностью возможного продвижения в сильно востребованный средний ультрафиолетовый диапазон спектра путем генерации второй гармоники внутри резонатора этих лазеров. Для создания такого лазера, в работе использована новая гетероструктура CdS/ZnSe/ZnSSe из широкозонных соединений  $A^2B^6$ , имеющая разрывы зон 2-го типа. В работе обоснована перспективность использования гетероструктуры CdS/ZnSe/ZnSSe с разрывами зон 2-го типа в полупроводниковых лазерах с оптической накачкой для сине-зеленого диапазона. Показано, что несмотря на разрывы зон 2-го типа, в ней может быть достигнуто оптическое усиление, достаточное для успешного создания лазеров с оптической накачкой на ее основе.

Для выращивания гетероструктур CdS/ZnSe/ZnSSe на подложках GaAs, в работе использован метод газофазной эпитаксии из элементоорганических соединений (ГФЭЭОС). Выращенные гетероструктуры подробно исследованы различными методами, такими как фото- и катодолюминесценция, рентгеноструктурный анализ, просвечивающая, атомно-силовая и люминесцентная микроскопия. Создана технология роста стабильных гетероструктур CdS/ZnSe/ZnSSe, которая позволила решить проблему расплывания квантовых ям из-за взаимной диффузии Cd и Zn. При этом также экспериментально доказано, что полученные гетероструктуры CdS/ZnSe/ZnSSe относятся к гетероструктурам с разрывами зон 2-го типа.

В диссертации также разработана технология изготовления активных элементов полупроводниковых лазеров с продольной оптической накачкой. С помощью разработанной технологии, на основе ряда выращенных гетероструктур впервые созданы различные оптически накачиваемые полупроводниковые лазеры (в частности, полупроводниковый дисковый лазер) и исследованы их характеристики. Лазеры излучают в зеленой области спектра. Все основные результаты работы получены впервые. Они опубликованы в 9 статьях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, и 19 в материалах научных конференций.

Автореферат диссертации удовлетворяет требованиям, предъявляемым к авторефератам диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Замечаний по его содержанию нет.

Судя по автореферату, диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к таким работам, и она соответствует паспорту специальности 1.3.19 – Лазерная физика. Таким образом, считаю, что Бутаев Марат Раджабали оглы заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Санников Денис Александрович  
кандидат физико-математических наук,  
заместитель заведующего лабораторией Гибридной фотоники  
Сколковского института науки и технологий (Инновационный Центр "Сколково")

*Санников Д.А.*  
7. сент 2023

Подпись Д.А. Санникова удостоверяю:



Россия, 121205, Москва, Сколково, Большой бульвар, 30, стр.1  
Тел.: +7 930 821-13-80,  
e-mail: sannikovdenis@gmail.com