

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Рахлина Максима Владимировича «Источники одиночных фотонов видимого спектрального диапазона на основе эпитаксиальных квантовых точек InAs/AlGaAs и CdSe/ZnSe», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Бурно развивающиеся в последнее десятилетие оптические квантовые технологии, такие как квантовая криптография, квантовые вычисления и квантовая метрология, предъявляют весьма жёсткие требования к квантовым излучателям, являющимися ключевыми элементами таких технологий. В качестве кандидатов на роль однофотонных излучателей рассматривались одиночные молекулы, центры окраски в алмазах и коллоидные квантовые точки. Однако оказалось, что каждый из перечисленных кандидатов обладает теми или иными недостатками, такими как мерцание в коллоидных точках, или трудности с электрическим управлением в случае алмазов и молекул. Общим существенным недостатком этих систем является достаточно длинное радиационное время жизни, что препятствует достижению высокой скорости генерации однофотонного излучения. Вместе с тем, ряд успешных экспериментов показал, что одним из перспективных кандидатов на роль квантовых однофотонных излучателей является самоорганизующиеся квантовые точки. Однако при этом выяснилось, что для использования квантовых точек в квантовых технологиях необходимы высокая скорость генерации однофотонного излучения, отсутствие мультифотонного излучения и идентичность однофотонных волновых пакетов. Поэтому задача, поставленная в диссертации Рахлина М.В. по оптимизации этих параметров в самоорганизующихся квантовых точках, является актуальной и одновременно имеет очень важное прикладное значение.

Диссертация состоит из введения, пяти оригинальных глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 85 страниц с 30 рисунками. Список литературы содержит 87 наименований. Каждая из Глав предваряется коротким введением и завершается заключением с перечислением наиболее важных результатов.

Из большого числа полученных в диссертации новых результатов отметим те, которые представляются наиболее существенными и вносят принципиально важный вклад

в развитие технологии однофотонных излучателей:

- показано, что в пространственно ограниченных структурах с низкой плотностью квантовыми точками CdSe/ZnSe, выращенными методом молекулярно-пучковой эпитаксии в режиме термической активации, можно реализовать однофотонный излучатель на одиночной квантовой точке.

- показано, что наличие или отсутствие тонкой прослойки GaAs между квантовыми точками и барьером влияет на размер точек и, тем самым, позволяет управлять спектральным диапазоном излучения квантовых точек InAs/Al_xGa_{1-x}As ($x \sim 0.4$). Кроме того, такая прослойка, позволяет уменьшить величину анизотропного обменного взаимодействия до величин менее 20 мкэВ.

- разработаны источники одиночных фотонов на основе квантовых точек InAs/Al_xGa_{1-x}As со скоростью генерации 5 МГц в красной области видимого диапазона света.

- на основе квантовых точек CdSe достигнуто однофотонное излучение со скоростью генерации более 1 МГц в диапазоне 450-600 нм и при температуре жидкого азота.

Результаты, полученные автором, кроме фундаментального, имеют также важное прикладное значение, поскольку вносят существенный вклад в разработку оптимальной конструкции структур, предназначенных для получения однофотонных излучателей в видимой части спектра на основе квантовых точек CdSe/ZnSe и InAs/AlGaAs. Такие однофотонные источники могут найти применение в системах квантовой криптографии. Особенно следует отметить следующие яркие стороны диссертации, где диссертант проявил глубокое понимание физических явлений и нетривиальный подход к решению поставленных задач. Это касается результатов и выводов второй главы, где автор сравнил характеристики излучательных свойств квантовых точек CdSe/ZnSe, выращенных в разных условиях и наглядно продемонстрировал, что наиболее пригодными с точки зрения однофотонных применений, является метод термической активации. Наиболее ярко талант автора как экспериментатора проявился в решении задач, описанных в Главе 4, где были исследованы оптические свойства однофотонных излучателей на основе квантовых точек InAs/AlGaAs в микрорезонаторах с распределёнными полупроводниковыми и диэлектрическими брэгговскими зеркалами и фотонными наноантеннами.

Характеризуя работу в целом, следует отметить её высочайший научный и методический уровень выполнения, большой объем исследований, большое число новых экспериментальных результатов и выводов, цельность и единство тематики. Диссертация

написана доходчиво и аккуратно оформлена, а её научные положения и результаты исчерпывающе обоснованы. Новизна и достоверность результатов не вызывают сомнений. Основные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах в высокорейтинговых научных журналах и неоднократно обсуждались на различных международных и российских конференциях и получили одобрение ведущих специалистов. Надо также отметить личный вклад автора – Рахлин М.В. принимал активное участие в разработке конструкции исследуемых гетероструктур, обсуждении и обработке полученных результатов, написании статей. Самостоятельно создал установку для измерения корреляционной функции второго порядка и проводил на ней измерения.

Вместе с тем, диссертация не лишена некоторых незначительных недостатков:

- это использование не традиционных для оптической спектроскопии единиц измерения интенсивности фотолюминесценции, а именно мегагерц, т.е. частота периодического процесса. Для случайного, излучательного процесса представляется более уместным использовать такую единицу измерения интенсивности как число испущенных фотонов за секунду.
- также представляется неуместным определять интенсивность излучения как «интенсивность излучения на первой линзе» на стр. 31, 51 и 58, которая, тем более не обозначена на рисунке 1.1. Для такой характеристики следовало бы указывать интенсивность излучения в данном телесном угле.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не влияют на её высокую оценку и общее, весьма приятное впечатление о работе. Высокий уровень экспериментальных исследований и результаты, полученные в диссертации, свидетельствуют о высокой научной квалификации ее автора.

Заключение. Диссертационная работа Рахлина Максима Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи – создание и исследование однофотонных излучателей на основе эпитаксиальных квантовых точек InAs/AlGaAs и CdSe/ZnSe, имеющей принципиально важное значение для специальности 01.04.10 – физика полупроводников. Автореферат и научные публикации правильно и полностью отражают содержание диссертации. Считаю, что диссертационная работа «Источники одиночных фотонов видимого спектрального диапазона на основе эпитаксиальных квантовых точек InAs/AlGaAs и CdSe/ZnSe» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (пункт 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней»), а ее автор Рахлин Максим

Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук

Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе

Сапега В.Ф.

194021, Россия, Санкт-Петербург,

ул. Политехническая, 26

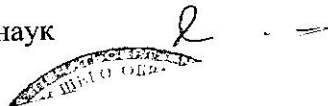
+7 (812) 297-2245

Подпись Сапеги В.Ф. заверяю

и.о. ученый секретарь

Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе

кандидат физико-математических наук



Патров М.И.