

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Уточкина Владимира Васильевича «Генерация излучения среднего ИК-диапазона в гетероструктурах с квантовыми ямами на основе HgCdTe», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Инфракрасная и терагерцовая оптоэлектроника является одним из магистральных направлений развития современной твердотельной электроники. В рамках данного направления важной областью деятельности является разработка новых материалов для создания высокоэффективных твердотельных излучателей и фотоприемников инфракрасного и терагерцового диапазонов. Перспективной возможностью для этого является использование полупроводников группы A^2B^6 , характеризующихся, в частности, возможностью вариации их энергетического спектра при изменении состава твердого раствора. В работе В.В. Уточкина исследуется данная возможность в применении к твердым растворам $Hg_{1-x}Cd_xTe$ в диапазоне составов, для которого ширина запрещенной зоны материала мала и соответствует инфракрасному и терагерцовому спектральному диапазону. В последнее время все большее и большее внимание исследователей привлекает более длинноволновый диапазон $\lambda > 20$ мкм, в котором имеется множество характерных спектральных линий газов, а также тяжелых молекул. Кроме того, для определенного диапазона составов твердого раствора и толщин квантовых ям возможно создание эффективных излучателей на средний ИК-диапазон 3-5 мкм, соответствующий окну прозрачности атмосферы. Дистанционное зондирование в этой спектральной области может предоставить ценную информацию о степени загрязнения окружающей среды, о наличии молекул вредных веществ в воздухе, и так далее. Вышеуказанные обстоятельства определяют актуальность диссертационной работы В.В. Уточкина.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация содержит 142 страниц текста, 60 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 160 наименований.

В работе получено большое количество новых красивых результатов. Из числа этих результатов хотелось бы особо выделить следующие, определяющие научную новизну работы.

Получено стимулированное излучение в структурах с квантовыми ямами HgCdTe/CdHgTe при непрерывном оптическом возбуждении на длине волны больше 10 мкм при температурах, близких к температурам жидкого гелия. Показано, что для генерации стимулированного излучения в непрерывном режиме предпочтительны квантовые ямы с ненулевым остаточным содержанием Cd за счёт уменьшения неоднородности параметров квантовых ям и сопутствующего ей неоднородного уширения спектра усиления.

Предложены и исследованы дизайны диэлектрических волноводов с увеличенной толщиной CdTe буфера или сильнолегированной GaAs подложкой для лазерных структур с квантовыми ямами HgCdTe/CdHgTe для диапазона длин волн генерации 24–31 мкм, обеспечивающие подавление модовых потерь за счёт уменьшения «вытекания» лазерной моды в GaAs подложку.

Получено стимулированное излучение в структуре на основе HgCdTe на длине волны 2.75 мкм при комнатной температуре.

Получена лазерная генерация среднего ИК-диапазона при оптической накачке (Длина волны излучения – 9 мкм и короче при криогенных температурах) в мезоструктуре, изготовленной из волноводной гетероструктуры с квантовыми ямами HgCdTe/CdHgTe методом ионного травления в гребенчатой геометрии с модами Фабри-Перо.

Достоверность полученных В.В. Уточкиным результатов не вызывает сомнений и определяется тем, что все экспериментальные данные получены с использованием современной экспериментальной техники и апробированных методик измерений. Полученные в работе данные согласуются с известными экспериментальными результатами других авторов и не противоречат современным представлениям. Положения диссертации вполне обоснованы полученными экспериментальными и расчетными результатами.

Научные результаты, составляющие основу диссертации, опубликованы в наиболее авторитетных российских и международных научных журналах и многократно докладывались на российских и международных научных конференциях самого высокого уровня.

Результаты исследований, проведённых В.В. Уточкиным, представляют несомненный практический интерес. Работа может быть использована в организациях, занимающихся технологиями создания элементов инфракрасной и терагерцовой техники.

Вместе с тем, по диссертации можно высказать некоторые замечания, которые, впрочем, имеют скорее характер пожеланий.

1. На стр. 42 и рис. 1.21 излагается методика измерений спектров фотопроводимости исследованных образцов. Вообще говоря, при исследованиях проводимости (в том числе фотопроводимости) важно исключить влияние сопротивления (и фотосопротивления) контактов. Как правило, для этого используют 4-зондовые измерения. К сожалению, в работе не указано, использовались ли 2-зондовые, или 4-зондовые измерения. И, если использовались 2-зондовые, как оценивался вклад сопротивления (и фотосопротивления) контактов.
2. Возможно ли оптимизировать модовые потери за счет использования вариозонных буферных слоев? Насколько известно рецензенту, структуры такого типа могут быть синтезированы в лаборатории Н.Н. Михайлова, в которой синтезированы все образцы, исследованные в работе.
3. Можно ли ожидать, что лазерные структуры, излучающие на длинах волн порядка 20 мкм, смогут работать не при оптической, а при токовой накачке?
4. При описании различных образцов хотелось бы, чтобы при их обозначении использовались какие-то реальные параметры структур, а не кодовые аббревиатуры (которые, насколько мне известно, просто обозначают дату синтеза соответствующего образца). Все же сравнение различных образцов должно происходить не по дате синтеза, а по их характеристикам.
5. В тексте работы есть небольшое количество технических недочетов.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на достоверность и значимость полученных результатов и выводов. Автореферат и опубликованные работы отражают содержание диссертации. В целом диссертация В.В. Уточкина удовлетворяет всем критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней, а сам автор, безусловно, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специально-

сти 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Официальный оппонент

«05» сентября 2024 года

заведующий кафедрой физического факультета МГУ

член-корр. РАН, профессор,

доктор физ.-мат. наук (01.04.10 – физика полупроводников)

Ленинские горы, 1, стр. 2, Москва 119991, тел. (495)-939-11-51

E-mail: khokhlov@mig.phys.msu.ru

Хохлов Дмитрий Ремович

Согласен на обработку персональных данных.

«05» сентября 2024 года

Хохлов Дмитрий Ремович

Подпись Д.Р. Хохлова заверяю

И.о. декана физического факультета МГУ

профессор

«05» сентября 2024 года

