

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу
Гладилина Андрея Александровича
«Структурные и оптические свойства кристаллов селенида
и сульфида цинка, легированных железом и хромом»,
представленной за соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

В последнее время активно разрабатываются лазеры среднего ИК-диапазона на основе широкозонных полупроводниковых соединений группы II-VI, легированных переходными металлами. Компактные полупроводниковые лазеры такого диапазона нужны для целого ряда значимых практических приложений: экологического мониторинга атмосферы, неинвазивной экспресс-диагностики различных серьезных заболеваний и т.д.

В настоящее время созданы экспериментальные образцы лазеров на основе соединений II-VI легированных переходными элементами (Fe, Cr). В таких лазерах инверсная заселенность состояний создается за счет резонансной внутрицентральной оптической накачки с помощью HF и Er:YAG лазеров. В качестве полупроводниковой матрицы использовались кристаллы ZnSe. Легирование переходными металлами осуществлялось термодиффузией с поверхности. На полученных образцах достигнуты уникальные генерационные характеристики, близкие к теоретическому максимуму. Однако, до сих пор данные системы не получили широкого распространения. Скорее всего, это связано со сложностями системы оптической накачки. Следовательно, необходимо проводить поиск других методов возбуждения.

В полупроводниковых активированных матрицах ионы активатора могут возбуждаться горячими электронами, ускоряемыми электрическим полем (ударное возбуждение и ударная ионизация). Такие процессы активно изучаются с целью разработки электролюминесцентных источников света. Создание инверсной населенности между уровнями активатора в полупроводнике при воздействии на активный элемент лазера импульса напряжения представляет собой важную и перспективную научную и инженерно-технологическую задачу, поскольку этот метод накачки обеспечивает высокую эффективность преобразования электрической энергии в световую и позволяет получать большие коэффициенты усиления.

Структурное совершенство кристаллической структуры имеет большое значение для электронной накачки. Но, не смотря на обилие работ, посвященных селениду цинка, нельзя отнести его к хорошо изученным материалам. Соответственно, структурированные знания о сильнолегированных ($\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$) образцах практически отсутствуют. Легирование приводит к изменениям в структуре и примесно-дефектном составе этих кристаллов. При этом результат сильно зависит от технологии и параметров легирования.

Исследования в направлениях изучения влияния легирования железом и хромом на структурные и оптические свойства кристаллов селенида и сульфида цинка и возможности создания инверсной населенности верхнего лазерного уровня иона железа с помощью воздействия потоком электронов с энергией десятков кэВ в кристаллах ZnSe:Fe представлены в диссертационной работе А.А.Гладилина. В ней подробно описываются результаты исследований трех классов образцов: (1) монокристаллы, выращенные методом свободного роста, (2) поликристаллы, выращенные методом осаждения из

газовой фазы и (3) монокристаллы, выращенные методом Бриджмана. Все кристаллы были легированы методом высокотемпературной термодиффузии. В качестве основного метода исследования применялась двухфотонная конфокальная микроскопия. А.А. Гладилиным было обнаружено, что легирование кристаллов ZnSe и ZnS переходными металлами Fe и Cr сопровождается образованием большого количества примесно-дефектных центров и формированием протяженных локальных областей шириной сотни микрон, характеризующихся повышенной интенсивностью люминесценции и расположенных параллельно поверхности легирования. Образование этих областей происходит в результате совместной диффузии железа (хрома) и как минимум двух типов примесно-дефектных центров с разными коэффициентами диффузии. Данный результат является общим свойством для полупроводников, в которых есть пространственные градиенты концентраций рекомбинационно-активных примесно-дефектных центров. Было обнаружено, что гашение краевой люминесценции в областях с высокой концентрацией железа, связано не только с рекомбинацией носителей заряда через ионы железа, как предполагалось ранее, но и с загрязнением кристалла в процессе легирования.

При изучении возможности создания инверсной населенности альтернативными методами было обнаружено, что при облучении пучком электронов с энергией несколько десятков кэВ кристаллов селенида цинка, легированных железом, наблюдается люминесценция в диапазоне от 3,6 до 4,4 мкм, обусловленная излучательным переходом между уровнями внутрицентровых состояний 5T_2 и 5E ионов Fe^{2+} . При этом загрязнение кристаллов в процессе легирования различными примесно-дефектными центрами оказывает большее влияние на эффективность возбуждения ионов Fe^{2+} в ZnSe:Fe пучком горячих электронов, чем наличие крупных структурных дефектов. А также экспериментально было показано, что при увеличении концентрации Fe в кристаллах ZnSe:Fe наблюдается эффект концентрационного тушения времени жизни электрона на возбужденном уровне 5T_2 иона Fe^{2+} при температуре 77 К.

А.А. Гладилин внес определяющую вклад в получение и обработку результатов, обладающих научной новизной и опубликованных в ведущих российских и международных изданиях таких, как Квантовая электроника, Физика и техника полупроводников, Неорганические материалы, Journal of Applied Physics, Journal of Electronic Materials и других. Он многократно представлял свои результаты на российских и международных конференциях. А.А. Гладилин является руководителем одного и основным исполнителем нескольких грантов РФФИ, а также лауреатом стипендий Президента и Правительства РФ.

Считаю, что диссертационная работа А.А. Гладилина «Структурные и оптические свойства кристаллов селенида и сульфида цинка, легированных железом и хромом» выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ, а диссертант заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Научный руководитель

Ведущий научный сотрудник

Кандидат физико-математических наук

В.П. Калинушкин

Подпись в.н.с. В.П. Калинушкина заверяю

И.о. Ученого секретаря ИОФ РАН

В.В. Глушков

