

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

**Научная сессия Отделения общей физики и астрономии
Российской академии наук**

26 октября 1994 г.

26 октября 1994 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы РАН состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук. На сессии были заслушаны доклады:

1. Алферов Ж.И., Бимберг Д., Егоров А.Ю., Жуков А.Е., Копьев П.С., Леденцов Н.Н., Рувимов С.С., Устинов В.М., Хейденрайх И. *Напряженные субмонослойные гетероструктуры и гетероструктуры с квантовыми точками.*

2. Горбачевич А.А., Капаев В.В., Копаев Ю.В. *Бездиссипативная динамика электронов в наноструктурах.*

3. Быков А.А., Квон З.Д., Ольшанский Е.Б., Асеев А.Л., Бакланов М.Р., Литвин Л.В., Насташев Ю.В., Мансуров В.Г., Мигаль В.П., Мощенко С.П. *Квазибаллистический квантовый интерферометр.*

4. Кулаковский В.Д., Бутов Л.В. *Магнитооптика квантовых проволок и квантовых точек в полупроводниковых гетероструктурах.*

5. Петрашов В.Т. *Новые явления в металлических мезоструктурах.*

6. Маслова Н.С., Моисеев Ю.Н., Панов В.И., Савинов С.В. *Влияние локализованных состояний и межчастичных взаимодействий на диагностику наноструктур методами СТМ/СТС и АСМ.*

Краткие сообщения по этим докладам публикуются ниже.

PACS numbers: 73.90.+f

**Напряженные субмонослойные
гетероструктуры и гетероструктуры
с квантовыми точками**

Ж.И. Алферов, Д. Бимберг, А.Ю. Егоров,
А.Е. Жуков, П.С. Копьев, Н.Н. Леденцов,
С.С. Рувимов, В.М. Устинов, И. Хейденрайх

В последнее время значительно усилился интерес к исследованию явлений самоорганизации в процессе выращивания полупроводниковых гетероструктур и к их использованию для создания квазиодномерных и квазинульмерных структур.

В настоящей работе сообщается о новом методе создания напряженных InAs/GaAs-гетероструктур, заключающемся в последовательном нанесении на подложку GaAs с ориентацией (100) или (311) субмонослойных количеств InAs и GaAs. Этот метод назван субмонослойной эпитаксией. Показывается, что оптические свойства напряженных InAs/GaAs-гетероструктур существенно улучшаются при использовании субмонослойной эпитаксии.

Структуры выращивались на установке молекулярно-пучковой эпитаксии ЭП-1203. При использовании подложек с различной ориентацией они помещались рядом на одном и том же держателе. Структуры для фотолюминесцентных исследований и исследований с помощью трансмиссионной электронной микроскопии выращивались на полуизолирующих GaAs-подложках и состояли из слоя GaAs толщиной от 140 до 4000 Å, ограниченного короткопериодной сверхрешеткой GaAs/AlAs для предотвращения ухода неравновесных носителей в подложку и на поверхность.

В середину слоя GaAs помещались субмонослойные сверхрешетки InAs/GaAs или слои GaAs. Содержащая InAs часть структуры выращивалась при пониженной температуре (в диапазоне 250–490 °С) и повышенной интенсивности пучка As, остальная часть структуры — при 600 °С.

В спектрах фотолюминесцентных структур со слоем InAs толщиной менее монослоя появлялся интенсивный узкий (меньше 1 мэВ при 5 К) пик, сдвиг которого в длинноволновую область определялся степенью покрытия.

В спектрах возбуждения люминесценции для этого пика отчетливо наблюдались линии, соответствующие экситонным резонансам с участием тяжелой и легкой дырок, причем стоксов сдвиг между пиками, соответствующими экситону с участием тяжелой дырки, в спектрах фотолюминесценции и возбуждения люминесценции отсутствовал.

Как в спектре фотолюминесценции, так и в спектре возбуждения люминесценции образцов с субмонослойным покрытием InAs наблюдалась анизотропия. Степень линейной поляризации в направлении (011) достигала 20 %.

Полученные результаты указывают на равномерное, но анизотропное распределение молекул InAs на поверхности GaAs при субмонослойных покрытиях и качест-

венно согласуются с образованием ориентированных цепочек молекул InAs.

Исследования люминесцентных свойств структур с квантовой ямой 120 Å на основе твердого раствора $\text{In}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$ с тем же средним составом ($x = 0,17$), но представляющего собой: 1) обычный твердый раствор, 2) монослойную (МС) сверхрешетку 1 МС InAs/5 МС GaAs, 3) субмонослойную сверхрешетку 1 Å InAs/5 Å GaAs, показали преимущество субмонослойной сверхрешетки как в эффективности люминесценции, так и в ширине линии излучения.

Эксперименты с длительными остановками роста (до 1000 с) позволили обнаружить, что даже монослойное покрытие InAs, т.е. с толщиной, далекой от критической, нестабильно и трансформируется в InAs-кластеры толщиной 2–3 МС и субмонослойное покрытие остальной поверхности. Субмонослойное покрытие остается стабильным при длительных остановках роста. Эти результаты объясняют превосходство в люминесцентных свойствах структур, выращенных субмонослойной эпитаксией.

С использованием обусловленного напряжением механизма были созданы структуры с квантовыми точками в GaAs-матрице как при выращивании твердых растворов посредством субмонослойной эпитаксии, так и при нанесении чистого InAs. Контроль процесса привел к выводу, что критические толщины в случае InAs/GaAs зависят от отношения In/Ga, а сам процесс формирования может быть существенно заторможен понижением температуры роста.

Прямые наблюдения с помощью трансмиссионной электронной микроскопии показали, что как при выращивании субмонослойной сверхрешетки 1 Å InAs/1 Å GaAs, так и при нанесении чистого InAs с эквивалентной средней толщиной 12–14 Å образуются достаточно упорядоченные системы пирамидальных квантовых точек. Точки имеют основания в форме квадрата с длиной стороны 120–140 Å, ориентированные по направлениям [010] и [001], и высоту около 30 Å.

Поперечное изображение квантовой точки с атомным разрешением свидетельствовало о гладкости на монослойном уровне боковых граней, определяемых плоскостями (320). Оказалось также, что планарная поверхность GaAs восстанавливается после зарастивания точек слоем толщиной 50–70 Å.

В спектрах фотолюминесцентных структур с квантовыми точками наблюдалась интенсивная линия люминесценции, существенно сдвинутая в длинноволновую область по сравнению с положением, ожидаемым для однородной ямы. Максимальная длина волны (1,2 мкм) была получена для структуры со средней толщиной InAs-слоя 12 Å.

Гладкая линия люминесценции с полушириной примерно 2,0 мэВ (при 5 К) при локальном возбуждении структуры электронным пучком превращалась в серию сверхузких (около 0,1 мэВ) линий люминесценции, происходящих из отдельных квантовых точек и сохраняющих свою полуширину при повышении температуры. Приведенный результат является прямым спектроскопическим доказательством дельтаобразной зависимости плотности состояний в квантовых точках.

Эффективность люминесценции структур с квантовыми точками при всех температурах ($1,6 < T < 300$ К) оказалась сравнимой с эффективностью люминесценции

высококачественных GaAs/AlAs-структур с квантовыми ямами.

Была выращена лазерная структура AlGaAs–GaAs с отдельным ограничением и переменным показателем преломления в области оптического ограничения. При этом в середину GaAs-области рекомбинации толщиной 140 Å вводился слой квантовых точек на основе InGaAs.

С помощью инжекционного возбуждения при 300 К впервые было получено лазерное излучение через состояния квантовых точек с пороговой плотностью тока меньше 1 кА/см² и дифференциальной квантовой эффективностью до 70 %.

В диапазоне температур 50–120 К наблюдалась температурная зависимость пороговой плотности тока с характеристической температурой $T_0 = 350$ К, что превышает теоретическое значение для лазеров на основе структур с квантовыми ямами.

PACS numbers: 72.90.+y

Бездиссипативная динамика электронов в наноструктурах

А.А. Горбацевич, В.В. Капаев, Ю.В. Копаев

Недавно в работах [1, 2] был предложен новый способ передачи и обработки информации, основанный на контролируемой передислокации электронных волновых функций $\psi(r, t)$ в наноструктурах. Такая передислокация прямо соответствует нужному типу преобразования информации. Носителем информации служит интегральная вероятность $|\psi(r)|^2$ в какой-либо области наноструктуры.

1. Передислокацию можно осуществлять электрическим напряжением, когда различным значениям напряжения соответствуют различные стационарные электронные состояния с необходимыми распределениями $|\psi(r)|^2$. Переход от одного распределения к другому (передислокацию) по заданному закону $\psi(r, t)$ можно осуществить адиабатическим включением напряжения $U(t)$, необходимую временную зависимость которого можно определить на основе отмеченной Л.Д. Ландау [3] аналогии адиабатического и квазиклассического приближений. Этот метод справедлив только для медленных передислокаций.

В обратном предельном случае ступенчатого включения напряжения, отвечающего новому стационарному состоянию с необходимым распределением $|\psi(r)|^2$, в соответствии с временным уравнением Шрёдингера возникают квантовые биения.

Новое стационарное состояние (прекращение биений) устанавливается лишь под действием диссипативных процессов. В результате процесс передислокации протекает достаточно медленно и сопровождается потерей электрической мощности и тепловыделением. При этом невозможно реализовать необходимый временной закон передислокации.

Можно ли сделать переключение быстрым (анти-адиабатическим) и бездиссипативным?

В настоящей работе показано, что отмеченная выше аналогия между временной и пространственной зада-

© А.А. Горбацевич, В.В. Капаев, Ю.В. Копаев 1995