

06:07:12

Исследование фотолюминесценции и модификации гетероструктур InGaP/GaAs/InGaAs методами сканирующей ближнепольной микроскопии

© С.В. Гапонов, В.Ф. Дряхлушин, В.Л. Миронов,
Д.Г. Ревин

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород

Поступило в Редакцию 14 марта 1997 г.

Работа посвящена локальной спектроскопии и модификации полупроводниковых гетероструктур InGaP/GaAs/InGaAs с квантовыми ямами методом сканирующей ближнепольной оптической микроскопии. Исследовано пространственное распределение интенсивности фотолюминесценции в таких структурах, обнаружена пространственная неоднородность фотолюминесценции, связанная с неоднородностью свойств слоев InGaP. Впервые показана возможность локального гашения фотолюминесценции с помощью стимулируемой оптическим излучением диффузии примеси в область квантовой ямы, что может быть использовано при создании низкоразмерных полупроводниковых объектов.

Одним из применений сканирующих ближнепольных оптических микроскопов является спектроскопия полупроводниковых структур. Так, в работе [1] изучалась фотолюминесценция квантовых ям и нитей в структурах GaAs/AlGaAs. По изменению профиля интенсивности фотолюминесценции из квантовой ямы на границе с квантовой нитью была определена диффузионная длина фотовозбужденных носителей. В работе [2] исследовалось пространственное распределение интенсивности фотолюминесценции вблизи границы травления структур GaAs/AlGaAs с квантовой ямой. Размер переходной области с пониженной интенсивностью фотолюминесценции составил $\sim 2.5 \mu\text{m}$, что, по мнению авторов, объясняется диффузией неравновесных носителей к границе травления с последующей безызлучательной рекомбинацией. В [3] исследовалась фотолюминесценция частично упорядоченных

GaInP структур. Показано, что по положению и ширине пиков в спектрах можно судить о степени упорядоченности таких структур. Другим важным направлением является применение сканирующих ближнепольных оптических гироскопов для изменения свойств поверхности объектов: разработка новых методов нанолитографии [4] и повышение плотности записи информации [5].

В настоящей работе методами ближнепольной микроскопии и спектроскопии исследовались локальные фотолюминесценции структур на основе GaAs/InGaAs, а также возможность локального подавления фотолюминесценции в таких структурах.

Эксперименты проводились на созданном в Институте физики микроструктур РАН ближнепольном оптическом микроскопе, совмещенном со сканирующим туннельным микроскопом [6]. В качестве зонда использовалось адиабатическое суженное одномодовое оптическое волокно, покрытое слоем металла методом углового напыления. Апертура зондов, используемых при получении изображения тест-объектов, была ≤ 100 nm. В экспериментах по исследованию фотолюминесценции использовались зонды с апертурой ~ 1 μ m. В качестве источника зондирующего излучения использовался аргоновый лазер ($\lambda = 0.514$ μ m), работающий в непрерывном режиме. При спектральных исследованиях излучение фотолюминесценции, прошедшее образец, через пучок многомодовых волокон направлялось на монохроматор МДР-23 и регистрировалось фотоэлектронным умножителем. В этом случае сам образец являлся фильтром для лазерного излучения и был прозрачен для излучения из квантовой ямы.

Нами были исследованы две структуры: лазерная гетероструктура InGaP/GaAs/InGaAs/GaAs/InGaP и гетероструктура GaAs/InGaAs/GaAs, активной областью которых являлись квантовые ямы In_{0.2}Ga_{0.8}As шириной ~ 10 nm и In_{0.22}Ga_{0.78}As шириной ~ 8 nm соответственно. Обе структуры были выращены на подложках (001) GaAs методом металл-органической газофазной эпитаксии и отличались наличием у одной из них ограничивающих слоев из InGaP. Интерес к таким структурам обусловлен тем, что In_xGa_{1-x}P ($x \sim 0.5$) все чаще используется в гетеролазерах [7,8], и обладает необычными свойствами, связанными с упорядочением атомов Ga и In, которые располагаются не статистически, а в чередующихся плоскостях ($\bar{1}11$) или $(1\bar{1}, 1)$ [9]. Спектры фотолюминесценции обеих гетероструктур в области прозрачности GaAs имели интенсивные пики на длине волны ~ 980 nm, которые соответ-

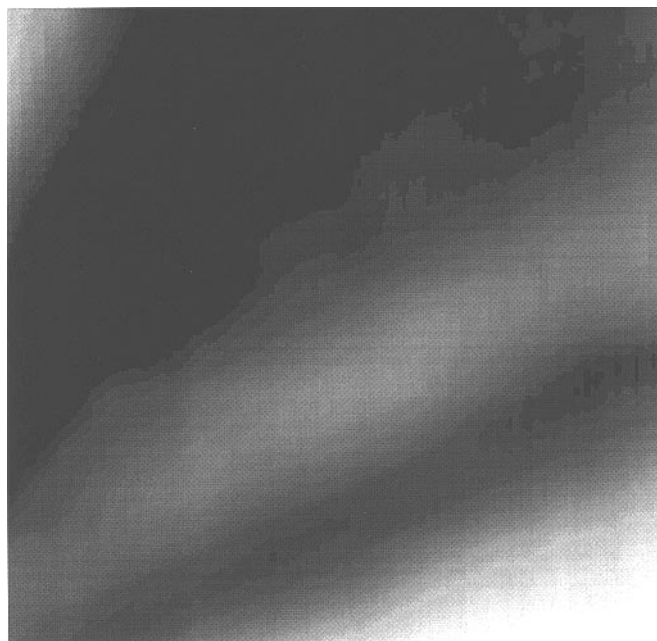


Рис. 1. Карта интегральной интенсивности фотолюминесценции гетероструктуры InGaP/GaAs/InGaAs/GaAs/InGaP при температуре 300 К. Размер кадра $50 \times 50 \mu\text{m}$. Максимальной интенсивности соответствует белый цвет.

ствуют излучению из квантовых ям InGaAs. В настоящей работе изучалась только эта часть спектров фотолюминесценции гетероструктур. Сигнал фотолюминесценции надежно регистрировался при комнатной температуре.

На рис. 1 приведена карта интегральной интенсивности фотолюминесценции образца с InGaP, полученная на сканирующем ближнепольном оптическом микроскопе. Поле обзора составляло $50 \times 50 \mu\text{m}$. На рисунке отчетливо видны области различной интенсивности фотолюминесценции, которые вытянуты в одном направлении. Эти области имели поперечный размер около $15 \mu\text{m}$. Спектры фотолюминесценции, снятые в разных точках этих областей, не отличались по форме, хотя отличались по интенсивности. Они похожи на измеренный по обычной методике

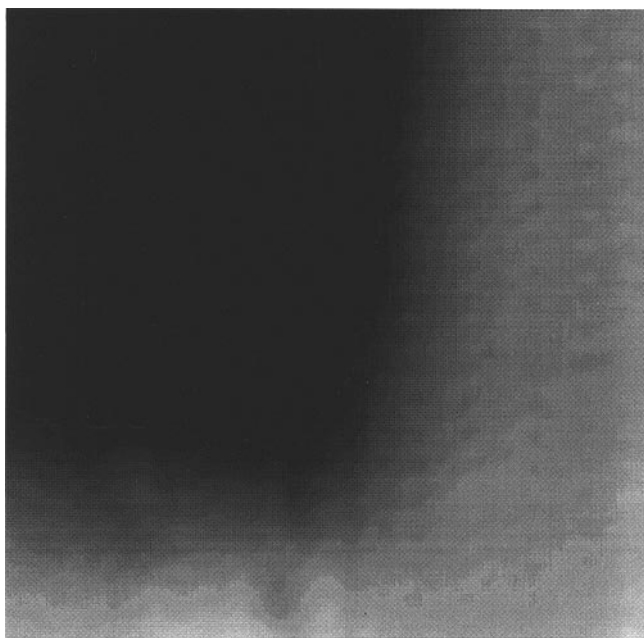


Рис. 2. Карта интегральной интенсивности фотолюминесценции гетероструктуры InGaP/GaAs/InGaAs/GaAs/InGaP при температуре 300 К после модификации части поверхности образца. Апертура зонда $\sim 1 \mu\text{m}$. Размер кадра $15 \times 15 \mu\text{m}$. Максимальной интенсивности фотолюминесценции соответствует белый цвет.

спектр фотолюминесценции при диаметре сфокусированного лазерного пучка на образце $50\text{--}100 \mu\text{m}$. Исследования структуры без InGaP показали высокую однородность ее свечения по площади. Неоднородность свечения структуры с InGaP, вероятно, связана с наличием в слое InGaP либо чередующихся упорядоченных и неупорядоченных областей, либо дефектов.

Наряду с исследованиями фотолюминесцентных свойств, нами была изучена возможность локального гашения фотолюминесценции в структурах с InGaP за счет стимулирования диффузии примеси с поверхности образца к люминесцирующему слою. С этой целью на поверхность образца наносился тонкий слой $\sim 20 \text{nm}$, содержащий смесь атомов Сг и

С. Такой слой являлся хорошо проводящим и прозрачным для падающего излучения. Выбор примеси обусловлен тем, что Сг образует центры безызлучательной рекомбинации в GaAs. Проведенные эксперименты показали, что существует порог по плотности мощности падающего излучения, при превышении которого происходило гашение фотолюминесценции. По нашим оценкам, этот порог составлял $\sim 10^5$ W/cm². На рис. 2 приведено распределение интенсивности фотолюминесценции с участка поверхности, часть которого была подвергнута модификации. Размер переходной области с пониженной интенсивностью фотолюминесценции составляет ~ 2 μ m, что сравнимо с величиной, полученной в работе [2] для границы травления аналогичной структуры.

Таким образом, в работе получена карта интегральной фотолюминесценции полупроводниковых лазерных гетероструктур InGaP/GaAs/InGaAs/GaAs/InGaP. На участках $\sim 50 \times 50$ μ m обнаружена пространственная неоднородность интенсивности фотолюминесценции, связанная, вероятно, с неоднородностью слоя InGaP. Данный метод может использоваться для диагностики качества люминесцирующих гетероструктур. Показана возможность гашения фотолюминесценции с помощью стимулируемой ближнепольным лазерным излучением диффузии Сг, что может быть использовано в технологии создания низкоразмерных объектов с различными оптическими свойствами.

Авторы выражают благодарность Б.Н. Звонкову и О.И. Хрыкину за предоставленные образцы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 96-02-16990а) и Государственной программы "Фундаментальная метрология" (грант 2.73).

Список литературы

- [1] Grober R.D., Harris T.D., Trautman J.K. et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. P. 1421.
- [2] Казанцев Д.В., Гиппиус Н.А., Ошиново Дж. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1996. Т. 63. С. 523.
- [3] Gregor M.J., Blome P.G., Ulbrich R.G. et al. // Appl. Phys. Lett. 1995. V. 67. P. 3572.
- [4] Smolyaninov I.I., Mazzoni D.L., Davis C.C. // Appl. Phys. Lett. 1995. V. 67. P. 3859.

- [5] *Betzig E., Trautman J.K., Wolfe R. et al. // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 61. P. 142.*
- [6] *Волгунов Д.Г., Гапонов С.В., Дряхлушин В.Ф. и др. // ПТЭ (в печати).*
- [7] *Bour D.P., Paoli T.L., Tornton R.L. et al. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 62. P. 3458.*
- [8] *Алешкин В.Я., Ахлестина С.А., Звонкова Б.Н. и др. // ФТП. 1995. Т. 29. С. 590.*
- [9] *Gomio A., Kobayashi K., Kawata S. et al. // J. Cryst. Growth. 1986. V. 77. P. 367.*