

[6] Горбунов В.А., Никольская Л.С., Петрухин А.И., Пушкарик В.А., Рыбаков В.А. — Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 2, с. 349–354.

Институт высоких температур АН СССР

Поступило в Редакцию
21 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 13

12 июля 1988 г.

ФЛУКТУАЦИИ ШИРИНЫ КВАНТОВЫХ ЯМ
И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ
 $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР,
ПОЛУЧЕННЫХ МОС-ГИДРИДНЫМ МЕТОДОМ

А.Г. Машевский, М.А. Синицын,
Д.Р. Строганов, О.М. Федорова,
Б.С. Явич

В работе [1] сообщалось о выращивании МОС-гидридным методом газофазной эпитаксии при атмосферном давлении в системе $Ga(CH_3)_3 - Al(CH_3)_3 - AsH_3 - H_2$ $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ ($x \approx 0.3$) квантоворазмерных структур (КРС). Из результатов фотолюминесцентных исследований (77 К и 300 К) и данных просвечивающей электронной микроскопии следовало, что в полученных КРС ямы шириной $L_z = 50-100 \text{ \AA}$ имеют близкую к прямоугольной форму при шероховатости гетерограниц, не превышающей двух монослоев.

В настоящей работе приводятся результаты исследования спектров низкотемпературной фотолюминесценции (НТФЛ) таких структур. Изучение примесных и экситонных полос излучения при варьировании мощности возбуждения в широких пределах позволило получить данные о характере распределения акцепторных примесей в КРС и о продольных размерах островковых увеличений ширины слоев $GaAs$ в КРС, обуславливающих энергетическое положение и форму экситонной полосы фотолюминесценции (ФЛ) [2, 3].

Исследовавшиеся КРС состояли из слоев $GaAs$ с толщинами около 300, 100 и 50 \AA , разделенных и ограниченных сверху барьерными слоями $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ толщиной $L_B = 300 \text{ \AA}$. Условия выращивания структур приведены в работе [1]. Качество материала слоев, составляющих КРС, предварительно оценивалось по результатам холловских и фотолюминесцентных измерений эпитаксиальных слоев $GaAs$ и $AlGaAs$ толщиной 1–2 мкм, выращенных в идентичных режимах. Нелегированные слои $GaAs$ имели n -тип проводимости, концентрация носителей в них составляла $(2-5) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Основные акцепторные примеси в $GaAs$ идентифицированы как углерод, цинк и магний [4]. Слои $Al_xGa_{1-x}As$ ($x \approx 0.3$) были, как правило, высокоомными, либо имели n -тип проводимости и концентрацию свободных носителей $\sim 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Эти слои обладали

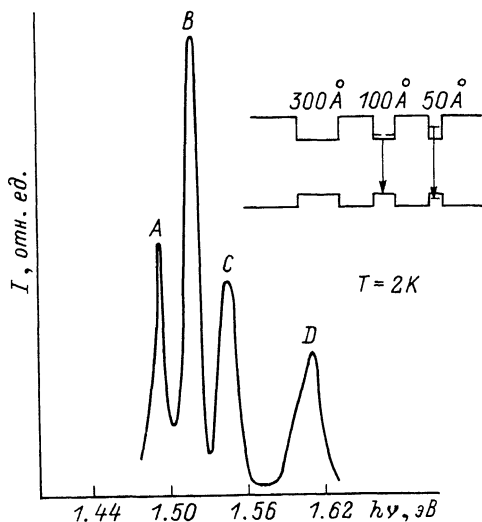


Рис. 1. Спектр НТФЛ $GaAs - AlGaAs$ квантоворазмерной структуры при $T = 2 K$, $\lambda_{возб} = 4888 \text{ \AA}$ и плотности возбуждения $P = 150 \text{ Вт/см}^2$.

хорошими излучательными свойствами: в спектрах ФЛ наблюдалась краевая полоса, которая при $77 K$ и плотности возбуждения $P = 10^2 \text{ Вт/см}^2$ по интенсивности на порядок превосходила акцепторную. Однако достигнутый уровень чистоты слоев не обеспечивал преобладания экситонного канала излучательной рекомбинации в исследовавшихся КРС при относительно малых плотностях возбуждения.

Спектры НТФЛ ($T = 2 K$) регистрировались с помощью монохроматора ДФС-12 с разрешением 0.2 мэВ . В качестве источника возбуждения использовался $Ax-Kr$ лазер с энергией фотонов 2.54 эВ . Плотность возбуждения изменялась в пределах от 0.2 до 200 Вт/см^2 .

На рис. 1 приведен спектр НТФЛ КРС, измеренный при $P = 150 \text{ Вт/см}^2$. Спектр состоит из четырех полос. Полосы А и В с максимумами при $h\nu = 1.5140$ и 1.4914 эВ соответствуют экситонной и акцепторной рекомбинации в слое $GaAs$ шириной 300 \AA . Полосы С и D с $h\nu = 1.5532$ и 1.6223 эВ обусловлены люминесценцией из ям с $L_g \approx 100$ и 50 \AA соответственно.

На рис. 2,а приведены спектры ФЛ из ямы шириной 100 \AA , записанные при различных уровнях возбуждения. При $P \leq 20 \text{ Вт/см}^2$ основной вклад в ФЛ дают акцепторные переходы ($h\nu \approx 1.543 \text{ эВ}$). При увеличении P свыше 30 Вт/см^2 доминирующим в спектре ФЛ становится коротковолновое излучение, обусловленное экситонной рекомбинацией. При этом отчетливо проявляются два экситонных

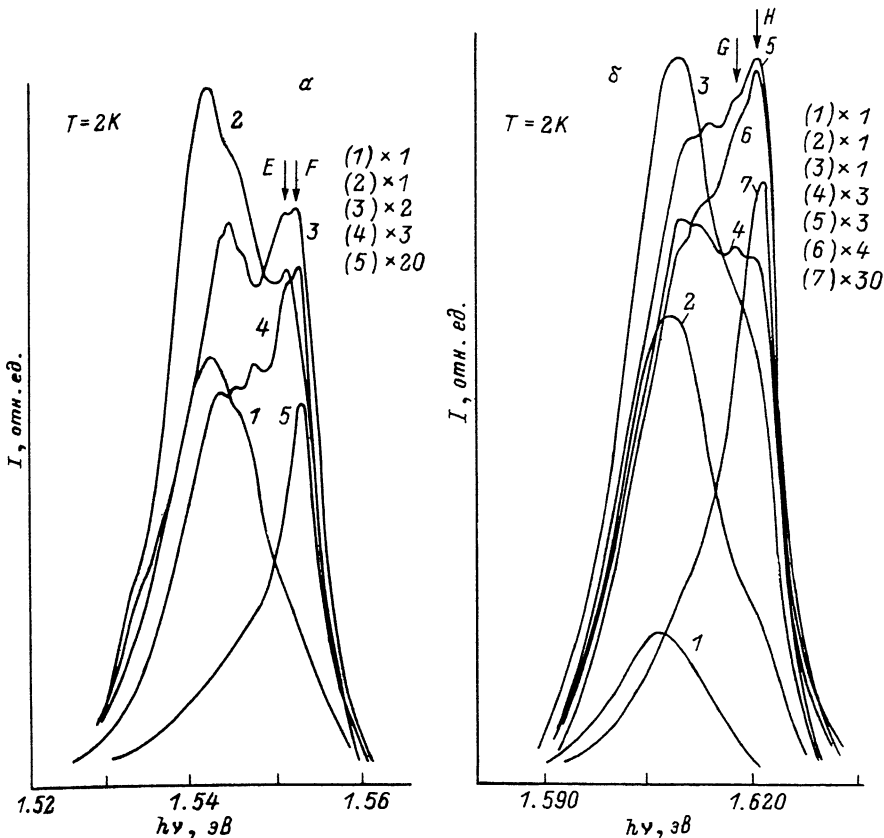


Рис. 2. а) Спектры НТФЛ из квантовой ямы с $L_z \approx 100 \text{ \AA}$ при плотностях возбуждения P : 1 - 8.1, 2 - 19, 3 - 32, 4 - 42, 5 - 128 Вт/см². б) Спектры НТФЛ из квантовой ямы с $L_z \approx 50 \text{ \AA}$ при плотностях возбуждения P : 1 - 2.1, 2 - 8.1, 3 - 19; 4 - 32, 5 - 42, 6 - 51, 7 - 215 Вт/см².

максимума: E с $\hbar\nu = 1.5516 \text{ эВ}$ (основной при $P \approx 20 \text{ Вт/см}^2$) и F с $\hbar\nu = 1.5531 \text{ эВ}$ ($P \geq 40 \text{ Вт/см}^2$). Присутствие двух экситонных максимумов, отстоящих один от другого на 1.5–2 мэВ, может быть объяснено наличием монослойных крупномасштабных флуктуаций ширины квантовой ямы с характерным размером L_a в плоскости гетерограницы, достаточным для локализации квазидвумерного экситона [2, 3]. О малой дисперсии L_a также свидетельствует отсутствие изменения спектрального положения экситонных максимумов с повышением плотности возбуждения. Полуширина полосы излучения из ямы с $L_z \approx 100 \text{ \AA}$ при $P = 200 \text{ Вт/см}^2$ составляет 6.4 мэВ.

В акцепторной полосе проявляются переходы, обусловленные акцепторами, расположенными на краю ямы. Лишь при наиболее низких

плотностях возбуждения наблюдается слабое длинноволновое плечо ($h\nu \approx 1.534$ эВ), соответствующее переходам на акцептор в центре ямы. Сложная структура акцепторной полосы, по-видимому, обусловлена присутствием нескольких типов акцепторов в твердом растворе и в *GaAs* [4], а также наличием крупномасштабных флуктуаций ширины ямы, приводящих к изменению спектрального положения переходов первый электронный уровень — акцептор на краю ямы.

В спектрах НТФЛ из ямы шириной $L_z \approx 50$ Å (рис. 2,б), как и в случае ямы с $L_z \approx 100$ Å, при низких уровнях возбуждения доминирует акцепторная полоса. По мере увеличения плотности возбуждения, начиная с $P = 40$ Вт/см², преобладающим в спектрах ФЛ становится коротковолновое экситонное излучение, в котором также наблюдаются два максимума G и H , но расстояние между ними составляет 5 мэВ. Эта величина соответствует сдвигу в энергетическом положении перехода $Ie \rightarrow Ihh$ в яме с $L_z = 50$ Å при изменении L_z на один монослой.

Таким образом, можно выделить следующие особенности *GaAs/AlGaAs* КРС, полученных МОС-гидридным методом при атмосферном давлении: а) акцепторные примеси в квантовых ямах сосредоточены в основном вблизи гетерограницы, что проявляется в спектрах НТФЛ при малых плотностях возбуждения; б) флуктуации ширины квантовых ям обусловлены формированием на гетерограницах островков (ступеней) монослойной толщины с характерным размером l_a в плоскости ямы, достаточным для локализации экситона, т.е. $l_a \approx 300$ Å.

В заключение авторы выражают признательность Ж.И. Алферову за интерес и внимание к работе.

Л и т е р а т у р а

- [1] Коваленков О.В., Машевский А.Г., Сеницын М.А., Федорова О.М., Явич Б.С. — Письма в ЖТФ, 1988, т. 14, в. 3, с. 222-224.
- [2] Копьев П.С., Мельцер Б.Я., Уралъцев И.Н., Эфрос А.Л., Яковлев Д.Р. — Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 42, в. 8, с. 327-330.
- [3] Deveand B., Regreny A., Emeru J.Y. — J. Appl. Phys., 1986, v. 59, N 5, p. 1633-1640.
- [4] Зорин А.Д., Каратаев Е.Н., Машевский А.С., Сеницын М.А. — ФТП, 1986, т. 20, в. 12, с. 2163-2168.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
21 апреля 1988 г.