

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В δ -ЛЕГИРОВАННЫХ УГЛЕРОДОМ СВЕРХРЕШЕТКАХ В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

В. Я. Алешкин, А. В. Аншон, Л. М. Батукова, Е. В. Демидов,
Е. Р. Демидова, Б. Н. Звонков, И. А. Карпович, И. Г. Малкина

Нижегородский исследовательский физико-технический институт при Нижегородском государственном университете им. Н. И. Лобачевского, 603600, Нижний Новгород, Россия
(Получено 26.02.1992. Принято к печати 7.05.1992)

Фотолюминесценция (ФЛ) в δ -легированных слоях GaAs исследовалась в [1-3]. В [1] исследована δ -*n*-легированная сверхрешетка (СР), в [2] — слои с одиночным δ -*n*-слоем (Si), в [3] — с одиночным δ -*p*-слоем (Ge). Данная работа посвящена выяснению особенностей фотолюминесценции в δ -*p*-легированных углеродом сверхрешетках в GaAs.

Периодические многослойные структуры с δ -слоями, легированными углеродом путем пиролиза CCl_4 [4], выращивались методом МОС гидридной эпитаксии на полуизолирующих подложках GaAs (100). СР состояли из 50 δ -слоев, разделенных барьерными слоями GaAs толщиной $l_0 \sim 600$ Å, легированными германием ($N_d \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Так как $l_0 \ll 2l_s$, где $l_s \approx 2000$ Å — ширина *p-n*-перехода в базовом слое *n*-типа, высота периодических барьеров в СР, как показали оценки, $\varphi_0 < 0.3$ эВ. В целом слой СР толщиной ≈ 3 мкм проявлялся в эффекте Холла как материал *p*-типа с некоторой эффективной концентрацией дырок p_{eff} . Поверхностная концентрация углерода в δ -слое оценивалась по формуле $N_s = p_{\text{eff}} l_0$ и была $> 4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. ФЛ исследовалась при возбуждении излучением гелий-неонового (10 мВт) или аргонового (1 Вт) лазера при 77 К.

В однородно легированных углеродом слоях *p*-GaAs при концентрации дырок $p_0 < 10^{18} \text{ см}^{-3}$ максимум ФЛ $E_m \approx 1.49$ эВ (рис. 1, кривая 2) смещен на ≈ 15 мэВ относительно максимума ФЛ в нелегированном *n*-слое (кривая 1) в сторону меньших энергий, и его положение не зависит от уровня легирования (до $p_0 \approx 10^{18} \text{ см}^{-3}$), что указывает на доминирование излучательной рекомбинации через уровни углерода. При больших концентрациях дырок E_m сдвигается в область меньших энергий вследствие образования примесной зоны и при $p_0 \approx 3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ достигает значения ≈ 1.457 эВ (кривая 3).

В СР при минимальном уровне δ -легирования, соответствующем $N_s \approx 4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ ($p_{\text{eff}} \approx 7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$), наблюдается максимальное смещение E_m в сторону меньших энергий ($E_m \approx 1.405$ эВ, кривая 4), и дальнейшее увеличение уровня δ -легирования в отличие от случая однородного легирования приводит к сдвигу

E_m в сторону больших энергий (кривые 5, 6). Сдвиг сопровождается уменьшением интенсивности ФЛ в несколько раз.

Значительное смещение E_m в СР в низкоэнергетическую область, очевидно, связано с прост-

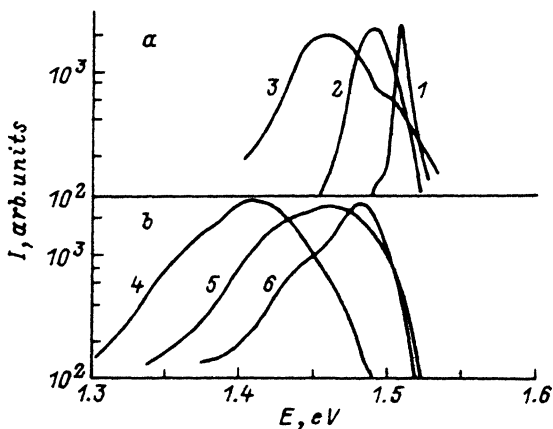
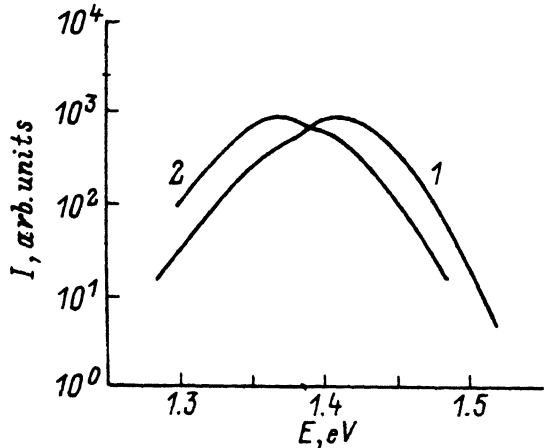


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции при 77 К: а — нелегированного *n*-GaAs (1) и однородно легированных углеродом слоев *p*-GaAs с концентрациями p , см^{-3} : 2 — $1.6 \cdot 10^{18}$, 3 — $3.1 \cdot 10^{19}$; б) сверхрешеток (50 периодов) с δ -слоями, легированными углеродом с концентрациями N_s , см^{-2} : 4 — $4.2 \cdot 10^{12}$, 5 — $1.7 \cdot 10^{13}$, 6 — $2.9 \cdot 10^{13}$.

рис. 2. Спектры ФЛ сверхрешеток с δ -слоями, легированными углеродом, при 77 К. Интенсивность возбуждающего лазера: 1 — I_0 ; 2 — $0.02 \cdot I_0$.



ранственным разделением электронов и дырок в периодическом поле СР и туннельной рекомбинацией электронов с дырками через барьер в δ -слое, т. е. с эффектом Франца—Келдыша [5]. Сдвиг E_m при увеличении уровня δ -легирования может быть обусловлен двумя причинами: смещением вниз дырочной подзоны в результате размерного квантования энергетического спектра дырок в квантовой яме δ -слоя и вкладом в ФЛ областей, разделяющих δ -слои. На последнее, в частности, указывает появление при высоких уровнях δ -легирования спектральных кривых с двумя максимумами (кривая б). Заметим, что полуширина максимумов ФЛ существенно больше полуширины максимумов однородно легированных слоев.

В отличие от [3], где ФЛ от одиночного δ - p -слоя наблюдалась, по-видимому, только при $T < 60$ К, в исследованных СР интенсивность ФЛ была достаточно высокой при 77 К, и пик ФЛ был сильнее смещен в область низких энергий. Это различие, вероятно, связано с большей глубиной δ -ям в наших структурах из-за легирования областей, разделяющих δ -слои, германием.

На СР с относительно низким уровнем δ -легирования наблюдалось смещение E_m на сторону высоких энергий с увеличением уровня фотовозбуждения, достигавшее ≈ 40 мэВ при увеличении уровня фотовозбуждения приблизительно на 2 порядка (рис. 2). Аналогичный эффект имел место и в одиночных δ - p -слоях [3]. Это смещение, вероятно, связано с уменьшением высот δ -барьеров в результате возникновения на них фотоэдс, что приводит к уменьшению эффекта Франца—Келдыша и увеличению вклада в ФЛ областей, разделяющих δ -слои.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] A. C. Maciel, M. Tatham, J. F. Ryan et al. Surf. Sci., 228, 251 (1990).
- [2] J. Wagner, A. Fischer, K. Ploog. Phys. Rev. B, 42, 7280 (1990).
- [3] A. M. Gilinsky, K. S. Zhuravlev, D. I. Lubyshev, V. P. Migal, V. V. Preobrazhenskii, B. R. Semiagin. Superlatt. a. Microstruct., 1.0, 399 (1991).
- [4] Т. С. Бабушкина, Л. М. Батукова, Б. Н. Звонков и др. Изв. АН СССР. Неорганические материалы, 28, 190 (1992).
- [5] В. П. Грибковский. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках, 455. Минск (1975).

Редактор: В. В. Чалдышев