

Ag_{Ga} — НОВЫЙ ЯН-ТЕЛЛЕРОВСКИЙ АКЦЕПТОР В GaAsАверкиев Н. С., Гуткин А. А., Осипов Е. Б.,
Седов В. Е., Цацульников А. Ф.

Как показано в работах [1-3], ряд своеобразных оптических свойств акцепторного центра Cu_{Ga} в GaAs определяется заметным статическим искажением окружения Cu_{Ga} в силу эффекта Яна—Теллера и относительно быстрым выстраиванием этих центров в случае одноосной деформации вдоль направления [100] даже при температурах жидкого гелия. О существовании этих особенностей для других центров, созданных элементами I группы периодической системы, ничего не известно. Более того, все известные центры замещения, кроме Cu_{Ga}, в которых отмечалось то или иное проявление эффекта Яна—Теллера, представляют собой центры, образованные элементами с незаполненными внутренними

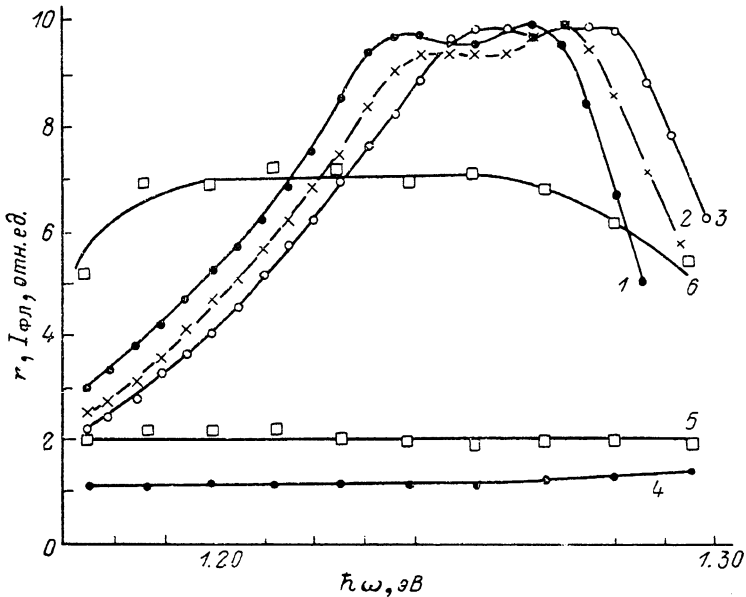


Рис. 1. Спектральная зависимость интенсивности ФЛ $I_{\text{ФЛ}}$ и поляризационного отношения r .

1-3 — $I_{\text{ФЛ}}$ при $P \parallel [111]$; P , кбар: 1-0, 2-2.7, 3-5.6. 4 — r при $P \parallel [111]$, $P = 5.6$ кбар; 5, 6 — r при $P \parallel [100]$; P , кбар: 5 — 0.24, 6 — 8.5. $T = 2$ К.

оболочками (переходные металлы Cr, Co, V). Поэтому выяснение возможности существования других ян-теллеровских центров, подобных Cu_{Ga}, представляет значительный интерес.

С этой целью в настоящей работе были исследованы центры, создаваемые в GaAs серебром, электронная структура которого ($4d^{10}5s^1$) аналогична электронной структуре меди ($3d^{10}4s^1$).

Образцы p -GaAs <Ag> были получены диффузией Ag в GaAs с концентрацией электронов $\sim 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ из напыленного слоя при температурах 800 и 1000 °C в вакууме. Измерялось влияние одноосного давления P вдоль направлений [100] и [111] на полосу низкотемпературной фотолюминесценции (ФЛ), вызванную генерацией электронно-дырочных пар светом и последующим излучательным захватом электрона на акцепторный уровень Ag $E_v + 0.24$ эВ [4]. Спектры этой полосы, измеренные при 2 К с помощью фотоприемника с постоянным квантовым выходом в исследованном диапазоне энергий фотонов (охлаждаемый Ge фотодиод), приведены на рис. 1. При $P = 0$ они практически совпадают с соответствующими спектрами, полученными в [5]. Кроме исследуемой полосы,

в спектре присутствовала полоса с максимумом ~ 1.36 эВ, связанная с неконтролируемым проникновением в образцы центров Cu_{Ga} в процессе диффузии. Интенсивности этих полос были сравнимы. Ширина и структура полосы, связанной с Ag, определяются сильным взаимодействием с LO- и TA-фононами, приводящим к тому, что энергия бесфононных переходов (1.282 эВ) не соответствует положению максимума полосы. Предполагается [5], что центром, вызывающим указанную полосу ФЛ, является Ag_{Ga} , хотя строгих доказательств такой идентификации до настоящего времени не было.

Оказалось, что поведение этой полосы при различных направлениях P существенно различно. В случае $P \parallel [100]$ поляризационное отношение $r = I_{\parallel}/I_{\perp}$ ($I_{\parallel, \perp}$ — интенсивности ФЛ с электрическим вектором, параллельным и перпендикулярным P) быстро растет и практически достигает насыщения ($r \approx 6$) при $P \geq 3$ кбар (рис. 2). С увеличением P до ~ 9 кбар полоса ФЛ заметно не смещалась (рис. 2). В случае $P \parallel [111]$ в исследованном диапазоне P

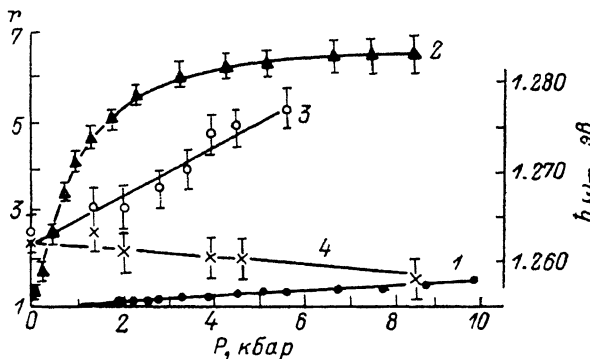


Рис. 2. Зависимость положения коротковолнового максимума ФЛ $h\omega_m$ и поляризационного отношения r при $h\omega = 1.25$ эВ от давления.

1, 3 — $P \parallel [111]$; 2, 4 — $P \parallel [100]$. 1, 2 — $r(P)$; 3, 4 — $h\omega_m(P)$. $T = 2$ К.

полоса ФЛ поляризовалась слабо ($r \approx 1.5$ при $P \approx 10$ кбар) (рис. 2). С увеличением P она смещалась в коротковолновую область (рис. 2). Форма полосы как в случае $P \parallel [100]$, так и случае $P \parallel [111]$ заметно не изменялась. Величина r была постоянной внутри основной части полосы (рис. 1). Изменение r вблизи коротковолнового края полосы (понижение при $P \parallel [100]$ и повышение при $P \parallel [111]$) может быть связано с влиянием фоновой примеси Cu_{Ga} . Поляризация не зависела в пределах точности измерений от плотности потока фотонов возбуждающего света в исследованном диапазоне $\sim 5 \cdot 10^{16} \div 5 \cdot 10^{19}$ фот/см²·с. Во всех случаях изменения поляризации ФЛ со временем после приложения нагрузки не наблюдалось, т. е. время установления поляризации было меньше постоянной времени измерительной установки (2 с).

Все указанные особенности поведения ФЛ качественно аналогичны поведению полосы ФЛ центра Cu_{Ga} в GaAs [1, 2] и, как в случае центра Cu_{Ga} , непротиворечиво могут быть объяснены в модели связывающего две дырки ян-теллеровского анизотропного центра, создаваемого примесным атомом замещения, окружение которого вследствие взаимодействия дырок с E-модой колебаний тетраэдрического комплекса искажено [3]. В результате этого комплекс $\text{Ag}_{\text{Ga}} +$ окружение приобретает тетрагональную симметрию с выделенной осью, параллельной одной из осей $\langle 100 \rangle$ кристалла. При $P \parallel [100]$ происходит быстрое выстраивание центров и возникает поляризация излучения. В случае $P \parallel [111]$ все возможные ориентации центров эквивалентны и выстраивания не происходит [2, 3].

Количественные отличия приведенных результатов от аналогичных зависимостей, полученных для Cu_{Ga} [1, 2], легко могут быть объяснены в рамках той же модели [2, 3]. Так, более высокие величины r вдоль оси $[100]$, необходимые для достижения насыщения r (полное выстраивание центров), могут быть связаны с меньшей величиной константы деформационного потенциала V_T для центра Ag_{Ga} и частично, возможно, с более сильным обменным взаимодействием дырок.

Меньшая величина константы деформационного потенциала D_T , более сильное обменное взаимодействие, более высокая энергия ян-теллеровской стабилизации могут объяснить отсутствие при давлениях вдоль оси [111] до ~ 10 кбар эффектов сильного сужения полосы ФЛ, наблюдавшихся для Cu_{Ga} при $P = 4 \div 6$ кбар. Более высокая величина r в области насыщения зависимости $r(P)$ при $P \parallel [100]$ может определяться тем, что величина ян-теллеровского расщепления уровней сравнима с величиной спин-орбитального расщепления. Это должно привести к изменению волновых функций дырок в основном состоянии Ag_{Ga}^0 и к увеличению поляризации ФЛ в области полного выстраивания центров. Отметим также, что в случае небольших давлений вдоль оси [100] при увеличении интенсивности возбуждающего света в исследованном диапазоне поляризации полосы ФЛ, связанной с центрами Cu_{Ga} в тех же образцах, сильно уменьшилась в соответствии с результатами работы [6]. Отсутствие уменьшения r для полосы Ag_{Ga} может объясняться либо более высокой концентрацией этих центров (т. е. большим промежутком времени между актами рекомбинации через отдельный центр), либо более быстрым выстраиванием центров Ag_{Ga} по сравнению с Cu_{Ga} .

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что ответственный за полосу ФЛ с максимумом 1.25 эВ центр в $\text{GaAs} \langle \text{Ag} \rangle - \text{Ag}_{\text{Ga}}$, симметрия которого в нейтральном состоянии понижена до тетрагональной вследствие взаимодействия локализованных на центре дырок с E -колебаниями примесного комплекса (эффект Яна—Теллера). Детальное выяснение роли различных взаимодействий в электронной структуре центра требует дальнейших исследований.

Список литературы

- [1] Аверкиев Н. С., Аширов Т. К., Гуткин А. А. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 10. С. 1970—1977.
- [2] Аверкиев Н. С., Аширов Т. К., Гуткин А. А. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 1. С. 97—102.
- [3] Аверкиев Н. С., Гуткин А. А., Осипов Е. Б., Седов В. Е. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 3. С. 415—420.
- [4] Bllätte M., Schairer W., Willmann F. // Sol. St. Sommun. 1970. V. 8. N 16. P. 1265—1268.
- [5] Pistol M. E., Nilsson S., Samuelson L. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38. N 12. P. 8293—8295.
- [6] Аверкиев Н. С., Гуткин А. А., Осипов Е. Б., Седов В. Е., Цацульников А. Ф. // ФТП. 1988. Т. 30. В. 5. С. 1459—1465.

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

Получено 6.06.1989
Принято к печати 9.06.1989

ФТП, том 23, вып. 11, 1989

РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В $p\text{-Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с $x \approx 0.1$

Беговатов В. Е., Барышев Н. С., Белый Н. Н., Брязкий М. Н.,
Горбатюк И. Н.

В последние годы проявляется повышенный интерес к узкозонным полупроводникам типа марганец—ртуть—теллур (МРТ) с высоким содержанием теллурида ртути [1]. В данном сообщении приводятся результаты исследования времени жизни и процессов рекомбинации неравновесных носителей заряда в монокристаллах твердых растворов МРТ, содержащих примерно 10 % теллурида марганца.

Исследование проводилось на монокристаллах МРТ p -типа, полученных методом модифицированной зонной плавки и отожженных в парах ртути, с концентрацией нескомпенсированных акцепторов $10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью дырок $150 - 180 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при температуре жидкого азота. Образцы для фотоэлектрических измерений обрабатывались абразивным порошком МЗ с последующим химическим травлением в 20%-м растворе брома в этиловом спирте