

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ В GaAs МЕТОДАМИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И НАРУШЕННОГО ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ

Я. В. Бобицкий, А. И. Берча, Н. Л. Дмитрук, Д. В. Корбутяк, Н. А. Фидря

Институт полупроводников Академии наук Украины, 252650, Киев, Украина
(Получена 18.03.1992. Принята к печати 26.03.1992)

Методами фотолюминесценции и нарушенного полного внутреннего отражения исследовано лазерное геттерирование структурных и примесных дефектов в монокристаллическом GaAs. По ширине линий нарушенного полного внутреннего отражения, измеренного в области плазмон-фононного взаимодействия, и по интенсивности линий низкотемпературной фотолюминесценции установлены общее снижение уровня дефектности и перераспределение содержания легирующей примеси Si по толщине и поверхности образцов.

Введение. Для исследования структурного совершенства полупроводниковых кристаллов, распределения примесей в плоскости и по толщине полупроводниковых пластин и слоев весьма перспективным является использование высокочувствительных и неразрушающих оптических методов — фотолюминесценции (ФЛ) и нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Так, метод низкотемпературной ФЛ позволяет обнаружить ряд примесей достаточно низкой концентрации ($\leq 10^{14}$ см⁻³) — по появлению новых полос ФЛ, а также проследить за изменением плотности исходных излучательных и безызлучательных центров — по изменению интенсивности полос ФЛ в результате различных обработок кристалла. Метод НПВО, реализуемый в спектральном диапазоне возбуждения поверхностных фононных либо плазмон-фононных поляритонов, оказывается весьма чувствительным к структуре вещества в приповерхностной области, где распространяется поверхностная электромагнитная волна.

В настоящей работе оптические методы ФЛ и НПВО использованы для исследования процесса лазерного геттерирования примесей и дефектов в монокристаллах GaAs, осуществляемого способом сканирования тыльной поверхности лазерным лучом большой мощности, создающим при этом дифракционную решетку.

1. Методика эксперимента

Исследованы монокристаллические образцы GaAs *n*-типа проводимости, легированные кремнием с концентрацией свободных носителей $N = 10^{16} \div 10^{17}$ см⁻³. Образцы вырезали из монокристаллических слитков в виде пластин размерами $10 \times 8 \times 0.3$ мм, шлифовали и травили в полирующем травителе. Геттерные области площадью $S \approx 10$ мм² в исследуемых кристаллах формировали либо путем обработки лучом аргонового лазера мощностью $P \approx 1$ Вт/см² в течение ~ 10 мин, либо созданием с помощью мощного азотного лазера поверхностной дифракционной решетки по методике, описанной в [1].

Спектры низкотемпературной ($T = 4.2$ К) ФЛ измерены на установке, содержащей решеточный монохроматор МДР-23, фотоумножитель ФЭУ-62 и устройство синхронного детектирования. Возбуждение ФЛ осуществляли непрерывным

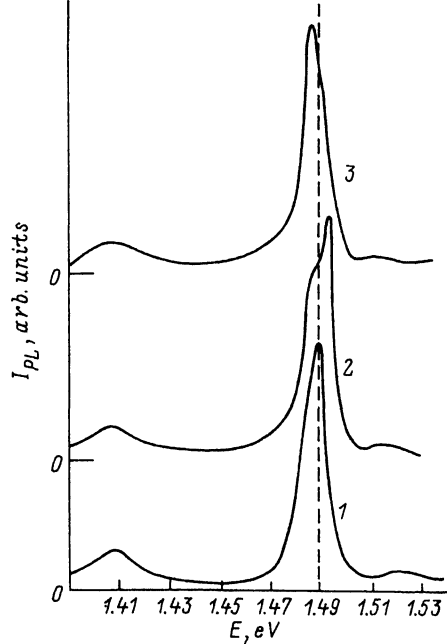


Рис. 1. Спектры интенсивности ФЛ I_{PL} образца GaAs, легированного кремнием. $N = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; $T = 4.2 \text{ К}$. 1 — до; 2, 3 — после создания геттерной области с помощью обработки аргоновым лазером, 2 соответствует области GaAs, непосредственно прилегающей к геттерной, 3 — геттерной области. Площадь геттерной области $S \approx 10 \text{ мм}^2$.

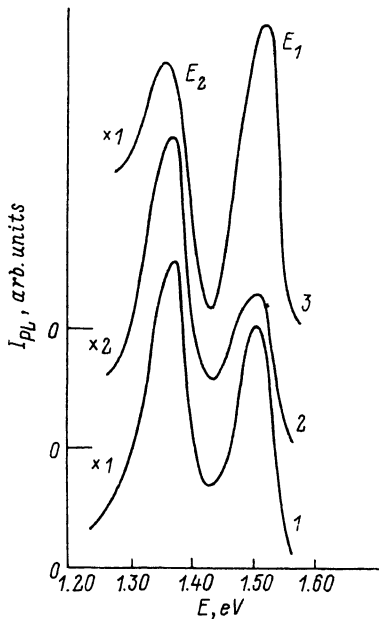


Рис. 2. Спектры интенсивности ФЛ I_{PL} образца GaAs, легированного кремнием. $N = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; $T = 4.2 \text{ К}$. 1 — до; 2, 3 — после создания поверхностной сверхрешетки; 3 — тыльная сторона образца напротив геттерной области.

лучом гелий-неонового лазера ЛГ-38 ($P = 50 \text{ мВт}$), т. е. $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, и глубина зондируемой области не превышала $\sim 0.5 \text{ мкм}$.

Спектры НПВО измерялись на автоматизированной установке на базе спектрометра ИКС-25 с приставкой типа НПВО-1, в которой в качестве элемента связи использован полуцилиндр из CsJ. Изменение угла падения света φ в диапазоне $(45 \div 55)^\circ$ обеспечивало возбуждение поверхностных фоновых поляритонов (ПФП) с приведенным волновым числом $\kappa_x = n\omega/\omega_T \sin \varphi = 1.3 \div 2.5$ (n — показатель преломления призмы, ω — частота ПФП, ω_T — частота TO -фононов). Измерения проводились при двух азимутальных положениях образца относительно плоскости падения света, когда поверхностная волна распространялась либо вдоль, либо поперек штрихов решетки.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены спектры ФЛ при $T = 4.2 \text{ К}$ образца GaAs ($N = 5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$) до (кривая 1) и после (кривые 2, 3) проведения обработки поверхности аргоновым лазером ($S \approx 10 \text{ мм}^2$). При этом кривая 2 соответствует люминесценции из области GaAs, непосредственно прилегающей к геттерной (обработанной аргоновым лазером), а спектр ФЛ 3 снят непосредственно в геттерной области. Вблизи края собственного поглощения спектр ФЛ состоит из трех полос: $E_1 = 1.52$, $E_2 = 1.49$, $E_3 = 1.41 \text{ эВ}$, первая из которых обусловлена излучательной рекомбинацией через мелкие примесные состояния и аннигиляцией связанных экситонов, вторая включает в себя донорно-акцепторные переходы (донор — Si_{Ga} , акцептор — C_{As}) и переходы свободный электрон—акцептор ($e-\text{C}_{\text{As}}$), а третья

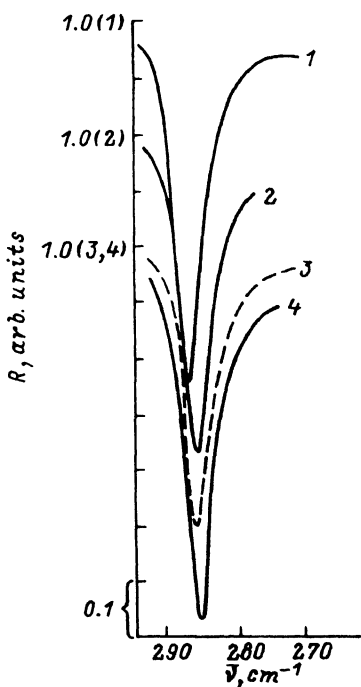


Рис. 3. Спектры НПВО R при $\varphi = 45^\circ$ для разных образцов GaAs. Образцы: 1 — из слитка АГЧО; 2 — эпитаксиальная пленка, $N = 10^{15} \text{ см}^{-3}$; 3 — образец с решеткой С-Г1, период — 15 мкм; 4 — тот же образец С-Г1, тыльная сторона.

вызвана излучательными переходами через центры, содержащие собственные структурные дефекты GaAs [2].

Следует отметить, что полоса ФЛ в спектральной области ~ 1.49 эВ является сложной и в ряде случаев проявляется в виде дублета, по соотношению интенсивностей компонентов которого можно судить о распределении легирующей примеси кремния в исследуемом участке образца GaAs. Так, если более интенсивным является длинноволновое крыло полосы $E_2' \approx 1.489$ эВ, то это указывает на наличие в данной области образца донорной примеси кремния (преобладание донорно-акцепторных переходов $\text{Si}_{\text{Ga}}-\text{C}_{\text{As}}$) и, наоборот, возрастание интенсивности коротковолнового крыла полосы $E_2'' \approx 1.492$ эВ свидетельствует о соответствующем уменьшении в измеряемой области образца примеси Si, в результате чего преобладающими оказываются излучательные переходы $e-\text{C}_{\text{As}}$ [3-5].

Проведенные нами исследования спектров низкотемпературной ФЛ в различных точках GaAs показали, что полосы E_1 и E_3 слабо изменялись при сканировании возбуждающим лазерным лучом по поверхности образца. В то же время контур полосы $E_2 \approx 1.49$ эВ существенно зависит от точки возбуждения. Вдали от геттерной области, как и на исходном образце GaAs, полоса E_2 содержит излучательные переходы $\text{Si}_{\text{Ga}}-\text{C}_{\text{As}}$ и $e-\text{C}_{\text{As}}$ (рис. 1, кривая 1) приблизительно равные по интенсивности, в результате чего наблюдается бесструктурная полоса ФЛ с энергией в максимуме ≈ 1.49 эВ. В непосредственной близости от геттерной области доминирует коротковолновое крыло полосы E_2 (переходы $e-\text{C}_{\text{As}}$) (рис. 1, кривая 2), в то же время в геттерной области более интенсивным является длинноволновая часть полосы E_2 (переходы $\text{Si}_{\text{Ga}}-\text{C}_{\text{As}}$) (рис. 1, кривая 3). Полученный результат свидетельствует о «стекании» донорной примеси Si в геттерную область из примыкающей к ней области образца. Важно отметить, что и на тыльной стороне образца GaAs (толщина ≈ 300 мкм) напротив геттерной области также существенно уменьшается интенсивность полосы ФЛ $\text{Si}_{\text{Ga}}-\text{C}_{\text{As}}$, что свидетельствует о геттерировании Si из всей толщи образца.

Созданная с помощью сканирования мощным лазерным лучом поверхностная фазовая решетка также является эффективным геттером, причем геттерирована в данную область не только примесь Si, но и собственные структурные дефекты. Данный результат получен нами на легированных ($N \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$) образцах GaAs. Спектр низкотемпературной ФЛ таких образцов (рис. 2) состоит из двух широких полос — краевой с энергией максимума $E_1 = 1.51$ эВ и примесной с энергией $E_2 = 1.34$ эВ, включающей в себя излучательные переходы через собственные структурные дефекты [6]. Создание на поверхности GaAs решетки привело к следующим изменениям в спектре ФЛ. Если в исходном материале полосы E_1 и E_2 были сравнимы по интенсивности (рис. 2, кривая 1), то после создания решетки картина существенно изменилась — в решеточной области существенно возросла интенсивность полосы E_2 (рис. 2, кривая 2), а на противо-

положной стороне образца и в областях, прилегающих к решетке, интенсивность полосы E_2 заметно упала (рис. 2, кривая 3).

Приведенные выше данные по геттерированию примесей и собственных дефектов подтверждаются результатами измерения НПВО (рис. 3). Действительно, спектр НПВО в случае слаболегированного GaAs содержит одну линию поверхностных фононных поляритонов в области продольно-поперечного расщепления фононов [7], причем полуширина ее значительно меньше, чем в случае монокристаллического GaAs, не подвергнутого лазерному геттерированию (см. таблицу). Как видно из таблицы, минимальная полуширина ($\sim 3.5 \text{ см}^{-1}$) наблю-

Параметры спектров НПВО

№ п/п	Тип образца	Угол падения света			
		$\varphi = 45^\circ$		$\varphi = 50^\circ$	
		положение минимума $\bar{\nu}$, см^{-1}	полуширина $\Delta\nu$, см^{-1}	положение минимума $\bar{\nu}$, см^{-1}	полуширина $\Delta\nu$, см^{-1}
1	Мелкая решетка, $\sim 10^3$ лин/мм	289	6	289	7
2	С-Г, решетка грубая	285.5	5	287	4
3	С-Г1, решетка с периодом 15 мкм	286	4.5	286.5	4.5
4	С-Г1, тыльная сторона	286	5	286.5	3.8
5	Чистая эпитаксиальная пленка	285.5	4.3	286.5	3.2
6	Монокристалл АГЧО	287	5	288	4.5

дается в случае измерения спектра обратной стороны обработанного Ag- лазером образца GaAs (когда создана решетка с периодом ~ 15 мкм) после прогрева при 700°C в течение 2 ч в условиях защиты поверхности другой пластиной арсенида галлия. Эта полуширина примерно такая же, как в случае чистых эпитаксиальных пленок GaAs с зеркальной поверхностью, полученных газотранспортным методом, и заметно меньше, чем в материале такого же уровня легирования ($\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$) из слитка. Эти данные свидетельствуют об ослаблении затухания поверхностных фононных поляритонов, т. е. о сдвиге в направлении структурно-примесного совершенства образцов GaAs при геттерировании. Такая ситуация имеет место в случае решеток лишь при распространении ПФП вдоль штрихов решетки. При изменении азимута образца на 90° , т. е. распространении поверхностной волны поперек штрихов, данный минимум расширяется или даже расщепляется на два, причем более глубоким оказывается тот, который соответствует большему отрицательному значению диэлектрической проницаемости $\epsilon(\omega)$. Кроме того, расщепление практически исчезает при уменьшении волнового числа ПФП k_x , т. е. на склоне дисперсной кривой $\omega(k_x)$.

Таким образом, с помощью оптических методов ФЛ и НПВО установлено, что обработанные лазером области GaAs (особенно в условиях формирования поверхностной решетки) являются эффективными геттерами примесей и собственных структурных дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] З. Ю. Готра, А. В. Бобицкий. Лазерні методи обробки в мікроелектроніці, 168. Львів (1991).
- [2] В. И. Гавриленко, А. М. Грехов, Д. В. Корбутяк, В. Г. Литовченко. Оптические свойства полупроводников, 608. Киев (1987).
- [3] H. Künzel, K. Ploog. Appl. Phys. Lett., 37, 416 (1980).

- [4] E. E. Mendez, M. Heiblum, R. Fisher, J. Klem, R. E. Fhorne, H. Morkoc. *J. Appl. Phys.*, **54**, 4202 (1983).
- [5] A. M. White, P. J. Dean, D. J. Ashen, J. B. Mullin, M. Webb, B. Day, P. D. Greene. *J. Phys. C*, **6**, L243 (1973).
- [6] В. А. Зуев, Д. В. Корбутяк, В. Г. Литовченко, А. В. Дражан. *ФТТ*, **17**, 3300 (1975).
- [7] Н. Л. Дмитрук, В. Г. Литовченко, В. Л. Стрижевский. *Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках*, 375. Киев (1989).

Редактор: Л. В. Шаронова
