

06.3;07

©1994

СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ ИЗОПЕРИОДНЫХ GaInAsSb/GaSb И GaInAsSb/AlGaAsSb *p-n* СТРУКТУР

*М.С. Юнусов, Ю.Ю. Абдурахманов,
Е.В. Обведков, А.А. Паттахов*

Цель настоящей работы — исследование светоизлучающих свойств гетероструктур на основе $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$, полученного из расплавов, обогащенных сурьмой. В качестве подложки использовали GaSb:Te(III)A. Были созданы светодиодные структуры (СДС) трех типов. Образцы СДС I типа $n-GaSb-n-GaInAsSb-p-GaSb$ имели различные составы активной области и соответственно максимум спектра электролюминесценции (ЭЛ) в диапазоне 1.93–2.5 мкм. При постоянном составе активной области $X \approx 0.87$ были получены также СДС типа II $n-GaSb-n-GaInAsSb-p-AlGaAsSb$ и III $n-GaSb-n-AlGaAsSb-n-GaInAsSb-p-AlGaAsSb$. Активную область легирования теллуром до концентрации $n \approx 5 \cdot 10^{16} - 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Эмиттерные слои $p-GaSb$, $p-AlGaAsSb$ получали из расплавов на основе галлия и легировали германием.

Были исследованы спектры ЭЛ мезасветодиодов (диаметром 300–400 мкм), изготовленных из СДС при использовании монохроматора МДР-12 и охлаждаемого фотодиода из InSb.

На рис. 1 представлены типичные спектры ЭЛ.

Согласно [1], в СДС, излучающих в диапазоне $\lambda_m > 2$ мкм, значительна роль интерфейсной рекомбинации на границе $n-GaSb-n'-GaInAsSb$.

В нашем случае это обуславливает исчезновение полос излучения, связанных с рекомбинацией через акцепторное состояние, при переходе от состава активной области с $X \approx 0.96 - 0.93$ к $X \approx 0.87 - 0.75$ и близость характеристических энергий длинноволнового спада спектра ЭЛ в структурах I и II типов.

При увеличении тока через СДС II и III типов ($X \approx 0.87$) спектр излучения сдвигается в коротковолновую область. Такая модуляция спектра может быть обусловлена существованием потенциального рельефа в активной области из-за проникновения в него алюминия.

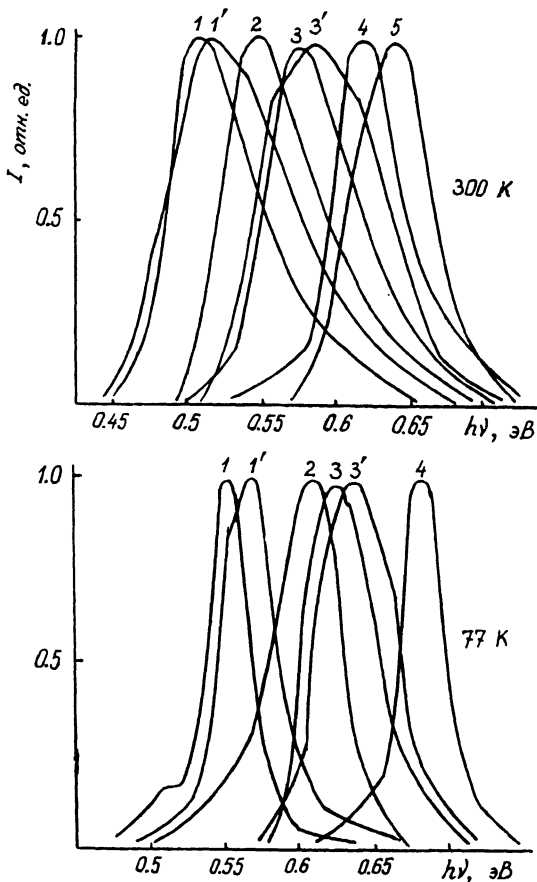


Рис. 1. Спектры ЭЛ СДС на основе $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$.

1 — СДС I типа, $X \approx 0.75$, ток накачки $I = 50$ мА; 1' — СДС I типа, $X \approx 0.75$, $I = 100$ мА; 2 — СДС I типа, $X \approx 0.87$, $I = 100$ мА; 2' — СДС I типа, $X \approx 0.87$, $I = 100$ мА; 3 — СДС II, III тип, $X \approx 0.87$, $I = 50$ мА; 3' — СДС II, III тип, $X \approx 0.87$, $I = 100$ мА; 4 — СДС I типа, $X \approx 0.93$, $I = 100$ мА; 5 — СДС I типа, $X \approx 0.97$, $I = 100$ мА.

Согласно [2], флуктуации локального состава и модуляции энергетических зон возрастают из-за роста корреляционных эффектов в пятикомпонентном твердом растворе, а также обширной области несмешиваемости в системе (Al)-Ga-In-As-Sb.

Отметим, что СДС I типа с составом активной области $X \approx 0.75$, соответствующим границе области несмешиваемости [3], и излучающие свет с $\lambda_m \approx 2.5$ мкм, также имеют характерный коротковолновый сдвиг максимума и уширение спектра ЭЛ при возрастании тока инжекции (рис. 1).

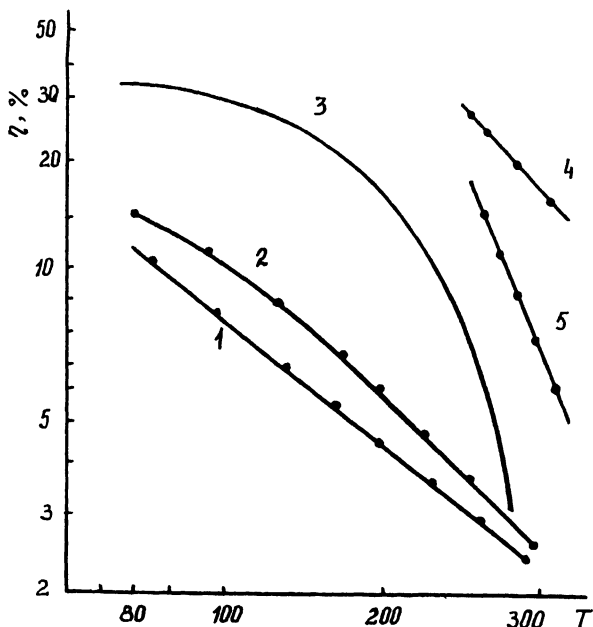


Рис. 2. Зависимость квантового выхода СДС от температуры. 1, 2 — СДС получены из сурьмяных расплавов, 3 — СДС получены из Ga-In расплавов [4], 4, 5 — расчет η_{in} при учете различных механизмов рекомбинации.

Внешний квантовый выход светоизлучающих диодов при 300 К имел значения $\eta_e^{300} \approx 1-4\%$. Лучшие значения получены в двойной гетероструктуре (ДГС) (III тип).

В СДС I и II типов квантовый выход имеет величину $\eta \approx 1-2.5\%$ ($n-n'$ гетеропереходов).

При уменьшении температуры до 77 К внешний квантовый выход возрастает (рис. 2) в 2-5 раз и достигает значения $\eta_e^{77} \approx 13-15\%$.

Значения внешнего квантового выхода при комнатной температуре для наших структур и структур на основе GaInAsSb, полученном из Ga-In расплавов [4], близки. Это указывает на сходство механизмов рекомбинации вблизи 300 К в GaInAsSb, получаемом различными технологическими методами.

Однако при уменьшении температуры квантовый выход СДС [4] меняется сильнее. Учитывая два механизма (безызлучательной рекомбинации Оже и фононностимулированный [5]), для внутреннего квантового выхода

$$\eta_{in}(T) = \frac{1/\tau_r}{1/\tau_r + 1/\tau_A + 1/\tau_{ph}}, \quad (1)$$

где $1/\tau_r$ — вероятность излучательной рекомбинации, $1/\tau_A$ — вероятность безызлучательной Оже-рекомбинации, $1/\tau_{ph}$ — вероятность фоновно-стимулированной безызлучательной рекомбинации, которые можно записать как

$$1/\tau_r = AT^{3/2} [4], \quad (2)$$

$$1/\tau_A = B e^{-C/T} [4], \quad (3)$$

$$1/\tau_{ph} = D e^{-E/T} [5], \quad (4)$$

где A, B, C — константы, зависящие от фундаментальных параметров материала; D и E — константы, характеризуют свойства дефектов.

Сравнение (3) и (4) показывает, что различная глубина залегания уровней, ответственных за фоновно-стимулированную рекомбинацию в GaInAsSb, полученном разными технологическими методами, может обусловить наблюдаемые различия в $\eta_e = \eta(T)$ вблизи 300 К. Оценки по (4) показывают, что существенный вклад в (1) вносят центры рекомбинации с $E_a \leq 0.1-0.15$ эВ.

Авторы благодарят Ю.П.Яковлева и сотрудников лаборатории электронных полупроводников Физико-технического института им.А.Ф.Иоффе за содействие в проведении измерений.

Список литературы

- [1] Андаспаева А.А., Баранов А.Н., Гусейнов А.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 9. С. 845-849.
- [2] Петросян С.Г., Шик А.Я. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 9. С. 1700-1702.
- [3] Именков А.Н., Капранчик О.П., Литвак А.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 24. С. 19-24.
- [4] Андаспаева А.А., Баранов А.Н., Гусейнов А.А. и др. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 10. С. 1708-1714.
- [5] Стоунгэм А.М. // Теория дефектов в твердых телах. Т. I. М., 1978. С. 560.

Институт ядерной физики
Ташкент, Узбекистан

Поступило в Редакцию
17 марта 1994 г.