

УДК 539.23; 538.971

О.Н. Лебедь

ВЛИЯНИЕ ИЗОВАЛЕНТНОГО РАСТВОРИТЕЛЯ НА ПАРАМЕТРЫ P-N СТРУКТУР GaAs:Si, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ ЖФЭ

У даній роботі досліджено епітаксійні шари GaAs, отримані із розчину-розплаву складу $Bi - Ga - As$ з додаванням домішок кремнію. Розглянуто механізм формування і розподілу легуючої домішки і створення дефектів в епітаксійному шарі при варіації частки вісмуту в розчині-розплаві. Показано можливості управління параметрами p-n структур GaAs:Si, вирощених на основі галій-вісмуткових розплавів.

Введение. P-n переходы методом ЖФЭ могут быть получены добавлением в раствор-расплав донорной или акцепторной примеси, или легированием расплава амфотерной примесью. Для GaAs такой амфотерной примесью является кремний. Основным параметром при этом является температура инверсии (1). Температура, при которой происходит смена типа проводимости, называется температурой инверсии. Изменить температуру инверсии, а следовательно и параметры структур, можно с помощью изменения состава жидкой фазы. Это можно достигнуть добавив в расплав изовалентный металл-растворитель. В данной работе нами показано перспективность применения висмута, в качестве растворителя, а также рассмотрены результаты изучения влияния висмута на излучательную рекомбинацию p-n структур GaAs:Si.

Методика эксперимента и результаты. ЭС p-n структуры GaAs:Si выращивали методом принудительного охлаждения из ограниченного объема насыщенного раствора GaAs в галлий-висмутговом расплаве, содержащего примесь кремния. Содержание висмута в расплаве изменяли от 0 до 0,24 ат.% при постоянных значениях содержания кремния, равных 0 и 0,8 ат.%. В качестве подложки использовали монокристаллический n-GaAs(Sn) с равновесной концентрацией носителей при 300K $n_0 = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и ориентации (100).

Толщины p-, n- слоев измеряли микроскопом МИИ-4 по сколу с выявленной химическим травлением границей раздела. Измерения спектра электролюминесценции, времени релаксации, внешнего квантового выхода излучения выполняли аналогично методике, описанной в [2]. Концентрацию дырок в активной p-области, суммарную концентрацию легирующей примеси, степень компенсации определяли по методам, описанных в [3]. Все измерения выполняли при 300K.

ЭС нелегированного GaAs, выращенные из галлий-висмутгового расплава, имели n-тип проводимости с концентрацией носителей $n \approx 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Спектр фотолюминесценции таких структур состоял из одной краевой полосы, характерной для чистого GaAs, положение которой не изменялось при увеличении доли висмута в расплаве. Добавка в раствор-расплав легирующей примеси кремния, в размере $C_{Si}^I = 0,8 \text{ ат.}\%$, приводила к образованию p-n переходов в ЭС.

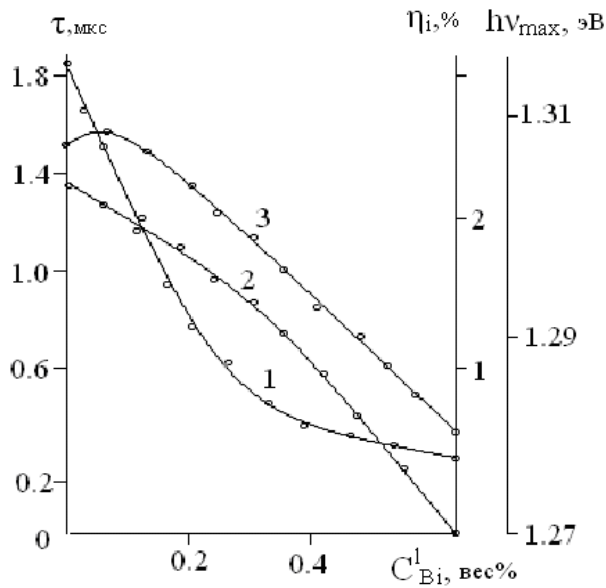


Рис.1. Зависимость времени спада интенсивности τ (1), внешнего квантового выхода излучения η_i , энергии максимума $h\nu_m$ краевой полосы излучения ЭЛ (3) p-n структур GaAs:Si от содержания висмута в расплаве

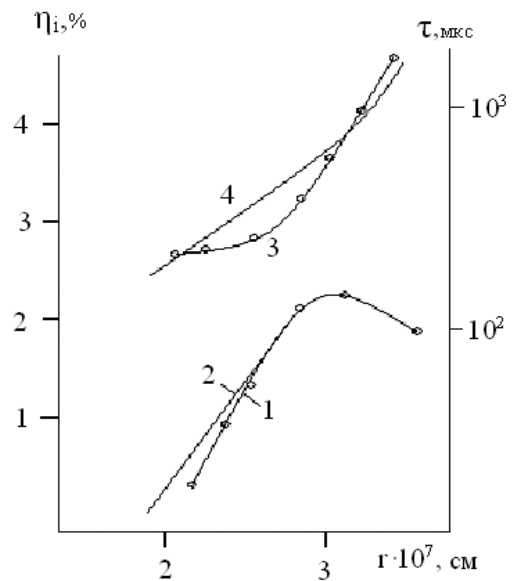


Рис.2. Зависимость внешнего квантового выхода излучения η_i (1, 2), времени спада интенсивности τ (3, 4) p-n структур GaAs:Si от величины масштаба флуктуаций примесного потенциала r ; 1, 3 – экспериментальные результаты, 2, 4 – теоретические результаты

При небольших добавках висмута в расплаве, ($C^I_{Bi} \leq 0,1 \text{ ат.}\%$), спектр ЭЛ p-n структур GaAs:Si также содержал одну краевую полосу излучения, аналогичную для нелегированного GaAs. При увеличении содержания висмута в жидкой фазе в спектре ЭЛ появлялась дополнительная низкоэнергетическая полоса излучения, с энергией максимума 0,98Эв. При этом ее положение не изменялось с увеличением доли висмута в жидкой фазе, в то время как максимум краевой полосы излучения смещался в длинноволновую область (Рис.1, кривая 3). Полуширина ее при этом не изменялась.

Внешний квантовый выход излучения не зависел от содержания висмута в растворе-расплаве при $C^I_{Bi} \leq 0,05 \text{ ат.}\%$ и уменьшался с его ростом при более высоких содержаниях (Рис.1, кривая 2). Время спада интенсивности (время затухания) ЭЛ уменьшалась с увеличением содержания висмута в растворе-расплаве во всем интервале ее изменений (Рис.1, кривая 1).

Обсуждение результатов. Смещение энергии максимума краевой полосы излучения ЭЛ связано с увеличением концентрации легирующей примеси кремния в твердой фазе. Возрастание концентрации кремния в твердой фазе связано, по-видимому, с уменьшением растворимости мышьяка при наличии висмута.

Из приведенных результатов следует, что наличие висмута в растворе-расплаве приводит к увеличению амплитуды флуктуаций примесного потенциала и к уменьшению их масштаба. Отсутствие увеличения внешнего квантового выхода при небольших добавках висмута связано, по-видимому, с увеличением концентрации дефектов структуры с ростом C^I_{Bi} , о чем свидетельствует возрастание интенсивности длинноволновой полосы излучения с $h\nu_m=0,98 \text{ эВ}$, связываемой в арсениде галлия с дефектами (4).

Уменьшение времени спада интенсивности излучения с увеличением содержания висмута в растворе-расплаве обусловлено, очевидно, как уменьшением масштаба примесного потенциала, так и увеличением роли безызлучательной рекомбинации.

На рисунке 2 приведены теоретические и экспериментальные зависимости $\eta_i(r)$, b , $\tau(r)$ для исследуемых структур. Теоретическая зависимость $\eta_i(r)$ с учетом безызлучательной рекомбинации (5) согласуется с экспериментальной зависимостью, однако имеет расхождение при $r < 3 \cdot 10^7 \text{ см}$, что свидетельствует о появлении в этом диапазоне изменения C^I_{Bi} дополнительных центров рекомбинации.

Увеличение C^I_{Bi} усиливает дефектообразование растущего слоя, так как атомы висмута по своим параметрам значительно отличаются от атомов мышьяка, а также увеличивают концентрацию захваченного кремния, что, в свою очередь, приводит к усилению безызлучательной рекомбинации. Об увеличении концентрации дефектов свидетельствует также рост интенсивности длинноволновой полосы

ЭЛ с максимумом 0,98 эВ и энергией активации температурного гашения $\Delta E \sim 0,475$ эВ, природа которой связывается дефектообразованием в GaAs [4].

Выводы. Таким образом, добавка в раствор-расплав Ga-GaAs, с легирующей примесью кремния, изовалентной примеси висмута не образует твердого раствора замещения, а оказывает влияние на характер распределения легирующей примеси и образования дефектов структуры ЭС. Это в свою очередь позволяет, в определенной степени, управлять параметрами р-п структур GaAs:Si, выращиваемых из галлий-висмутовых расплавов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алферов Ж. И., Андреев В. М., Гарбузов Д. З., Трукан М. К. // Излучательная рекомбинация в эпитаксиальном компенсированном арсениде галлия. – ФТП – 1972, т. 6, в. 10. – С. 2015-2026
2. Пека Г.П., Коваленко В.Ф., Куценко В.Н. Люминесцентные методы контроля параметров полупроводниковых материалов и приборов. – К: Техніка, 1986. – 152 с.
3. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. – М: Высшая школа, 1987. – 239 с.
4. Вовненко В.И., Глинчук К.Д., Прохорович А.В. // Характеристика полосы люминесценции с $h\nu_{\max} = 0,93-0,98$ эВ. – ФТП. – 1977. – т.11. – №6. – С.1150-1153.
5. Баскин Э.М., Вилке А.Л., Лисенкер Б.С., Сидоров В.Г. // Эффективность элетролюминесценции в р-п переходах из арсенида галлия. – ФТП. – 1979. – т.16, в.4. – С. 2227-2232.

ЛЕБЕДЬ Олег Николаевич – к.т.н., доцент кафедры научно-естественной подготовки Херсонской государственной морской академии.

Научные интересы:

– исследования структурных параметров эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений A^3B^5 .