

Спектральный сдвиг полос фотолюминесценции эпитаксиальных пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, обусловленный лазерным отжигом

© Г.К. Сафаралиев, Ю.Н. Эмиров, М.К. Курбанов, Б.А. Билалов

Дагестанский государственный университет,
367025 Махачкала, Россия

(Получена 4 октября 1999 г. Принята к печати 14 февраля 2000 г.)

Исследовано влияние лазерного отжига на фотолюминесцентные свойства эпитаксиальных пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$. Выдвинуто предположение о том, что отжиг приводит к выбиванию атомов Al и N из узлов и образованию центров свечения — донорно-акцепторных пар $\text{Al}_{\text{Si}}-\text{N}_{\text{C}}$. В соответствии с этой моделью увеличение времени отжига сопровождается образованием донорно-акцепторных пар с наименьшими межатомными расстояниями за счет ассоциатов отдаленных друг от друга дефектов и, соответственно, к сдвигу соответствующей полосы фотолюминесценции в высокоэнергетическую область спектра.

1. Введение

Воздействие излучениями допороговых мощностей на полупроводниковые материалы является одним из традиционных способов выявления и исследования их дефектной структуры [1,2]. В настоящей работе представлены результаты исследования фотолюминесценции (ФЛ) эпитаксиальных пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ ($x = 0.03-0.17$), выращенных на подложках SiC и подвергнутых лазерному отжигу. Структура как подложек, так и эпитаксиальных пленок соответствовала политу типу 6H.

Методика эксперимента

Фотолюминесценция структур $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x/\text{SiC}$ ($x = 0.03-0.17$) возбуждалась излучением азотного лазера ЛГ-21 малой мощности (длина волны $\lambda = 337$ нм, средняя мощность $P_{\text{av}} \approx 3 \cdot 10^{-3}$ Вт, мощность в импульсе $P_p \approx 1600$ Вт) со стороны пленки. Свечение ре-

гистрировалось при 77 К на спектральной установке СДЛ-2. Эпитаксиальные пленки $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ подвергались отжигу на установке "Кварц-5" с азотным лазером большой мощности, $(1-5) \cdot 10^7$ Вт/см², импульсно-периодического действия ($\lambda = 337$ нм, $P_p = 15$ кВт, частота $f = 1$ кГц). Лазерный отжиг проводился на воздухе путем строчно-шагового сканирования поверхности эпитаксиальной пленки сфокусированным световым зондом диаметром 50–60 мкм при средней поверхностной плотности мощности $P = (2-5) \cdot 10^3$ Вт/см² (скорость сканирования 0.2 см/с, шаг 50 мкм).

2. Результаты и их обсуждение

Спектры ФЛ не подвергнутых отжигу структур $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x/\text{SiC}$ оказались идентичными для всех исследованных составов ($x = 0.03-0.17$). Типичный спектр в виде полосы с максимумом при энергии фотона $h\nu_m = 1.9$ эВ представлен на рис. 1 (кривая 1).

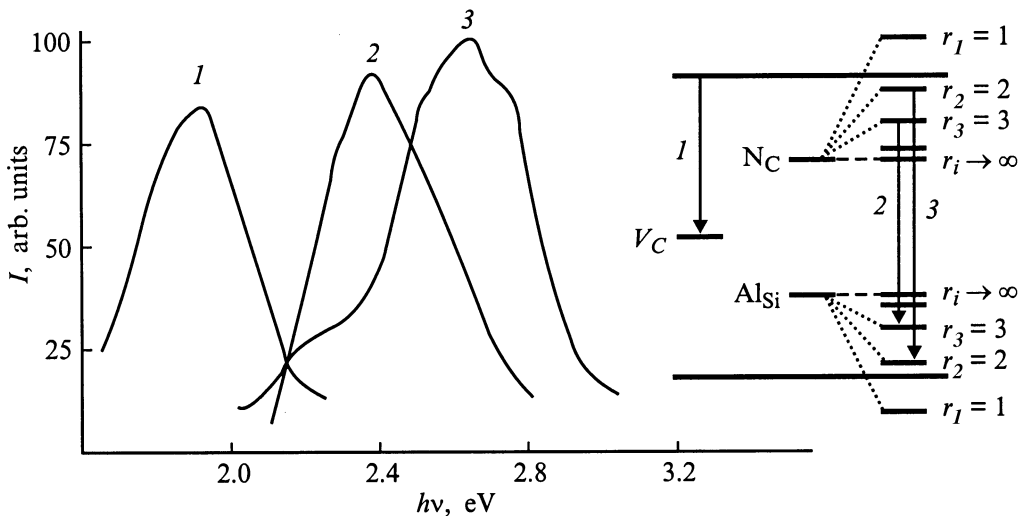


Рис. 1. Спектры ФЛ эпитаксиальных пленок $(\text{SiC})_{0.93}(\text{AlN})_{0.07}$ при 77 К до (1) и после (2, 3) лазерного отжига с плотностью мощности $2.5 \cdot 10^3$ (2) и $5 \cdot 10^3$ Вт/см² (3). На вставке — схема уровней донорно-акцепторных пар $\text{Al}_{\text{Si}}-\text{N}_{\text{C}}$; стрелками 1, 2, 3 показаны излучательные переходы, обуславливающие полосы фотолюминесценции 1, 2 и 3; r_i — относительные межатомные расстояния донорно-акцепторных пар.

Отжиг структур приводит в зависимости от плотности мощности лазерного излучения к смещению полосы ФЛ в область высоких энергий и появлению структуры на контуре полосы как свидетельства генерации новых центров с близкой к энергии основного максимума $h\nu_m$ энергией излучения (кривые 2,3). В конечной стадии отжига наблюдается полоса с $h\nu_m \approx 2.7$ эВ. Дальнейшее увеличение плотности мощности отжигающего света ($P > 5 \cdot 10^3$ Вт/см²) не приводит к изменениям спектра.

Известно, что полоса ФЛ с $h\nu_m = 1.9$ эВ в SiC связана с вакансией углерода (V_C) [3,4]. Можно полагать, что в эпитаксиальных пленках $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ с малым содержанием AlN ($x < 0.17$), в которых ширина запрещенной зоны такая же, как и в чистом SiC [5], исходная полоса ФЛ с $h\nu_m = 1.9$ эВ так же обусловлена рекомбинацией свободного электрона с дыркой, локализованной на V_C . Лазерное излучение с $h\nu = 3.68$ эВ в исследованных эпитаксиальных пленках поглощается вблизи поверхности. Используемая для отжига плотность мощности излучения $P = (2-5) \cdot 10^3$ Вт/см² является предельной. Дальнейшее увеличение P до значений $\geq 8 \cdot 10^3$ Вт/см² приводит к локальному плавлению и испарению вещества, что проявляется в появлении борозд на поверхности пленки (рис. 2). Используемый нами допороговый отжиг, $P = (2-5) \cdot 10^3$ Вт/см², вызывая сильный локальный разогрев пленки, сопровождается выбиванием атомов Al и N из узлов и их последующей миграцией в объем пленки [6]. Поскольку при этом уменьшается полоса ФЛ с $h\nu_m = 1.9$ эВ, связанная с V_C , можно полагать, что именно на этих вакансиях локализуются атомы Al и N. Очевидно, что вследствие большого ионного радиуса атомов Al их положение в вакансиях кремния V_{Si} оказывается энергетически более выгодным, чем в междоузлиях или в V_C . Можно полагать, что образующиеся при этом донорно-акцепторные пары (ДАП) $Al_{Si}-N_C$ могут приводить к появлению более высокоэнергетических полос ФЛ, положение максимумов которых $h\nu_m \approx 2.3-2.7$ эВ зависит от межатомного расстояния в таких ДАП. Аналогичные ДАП проявляются и в SiC, им соответствуют подобные характеристики полосы ФЛ [7]. Если допустить справедливость предположения о связи центров ФЛ с указанными ДАП, то естественно полагать, что увеличение времени лазерного отжига приведет к эффективному образованию ДАП с наименьшими расстояниями за счет уменьшения числа пар отдаленных друг от друга дефектов. Видимым результатом такого перераспределения должно быть, с одной стороны, уменьшение интенсивности низкоэнергетических полос ФЛ, связанных с парами отдаленных дефектов, с другой — образование более высокоэнергетических полос, обусловленных ДАП близко расположенных дефектов. Наряду с этим должна наблюдаться и структура полос ФЛ, свидетельствующая об участии ДАП с более широким набором межатомных расстояний и соответственно энергий излучения, в формировании интегральной полосы ФЛ. Действительно, полученные результаты подтверждают выдвинутое предположение (рис. 1, кривые 2,3).

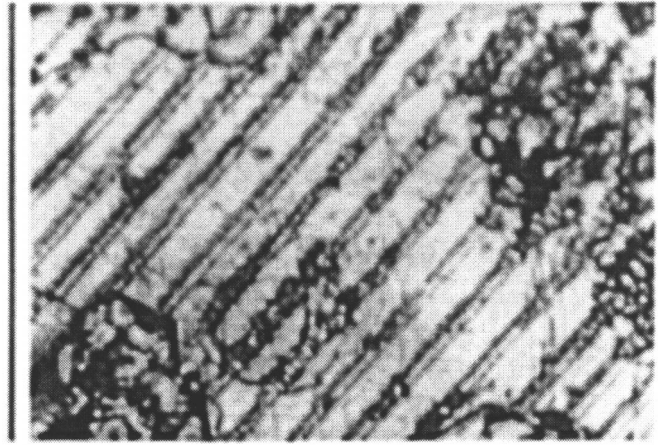


Рис. 2. Фотография поверхности эпитаксиальной пленки $(SiC)_{0.93}(AlN)_{0.07}$, подвергнутой лазерному отжигу. Параллельные линии — результат строчного сканирования лазерным светом мощностью $P \geq 8 \cdot 10^3$ Вт/см².

Следует отметить, что вероятность образования "излучающих" ДАП достаточно велика как в специально не легированном карбиде кремния, так и в SiC с различными примесями [7-9].

В рамках предлагаемой модели ДАП полосы $h\nu_m \approx 2.3-2.4$ эВ соответствуют парам удаленных дефектов, а с $h\nu_m \approx 2.7$ эВ (рис. 1, кривая 3) — наиболее тесным ассоциатам. Оценка межатомных расстояний (r_i) таких ассоциатов производилась двумя методами:

а) из теории ДАП, согласно $h\nu_i = E_g - (E_d + E_a) + e^2/\epsilon r_i$ (E_d и E_a — глубина расположения уровней донора и акцептора, ϵ — диэлектрическая проницаемость), в предположении, что величина ϵ зависит от межатомного расстояния ДАП [10];

б) из расчета энергии обменного взаимодействия [11].

Оба расчета показали, что полоса ФЛ $h\nu_m \approx 2.7$ эВ может быть связана с ДАП, в которых дефекты расположены в кристаллической решетке SiC не ближе 6 Å. Уровни более тесных ассоциатов смещаются в соответствующие зоны и в рекомбинационном излучении не проявляются (вставка к рис. 1).

Заключение

1. Обнаружен спектральный сдвиг полос ФЛ эпитаксиальных пленок $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ ($x = 0.03-0.17$), обусловленный лазерным отжигом.

2. Высказано предположение об образовании в процессе лазерного отжига ДАП $Al_{Si}-N_C$.

3. Показано, что увеличение времени отжига приводит к образованию ДАП близкорасположенных дефектов $Al_{Si}-N_C$ за счет уменьшения числа ассоциатов отдаленных друг от друга дефектов.

Авторы выражают благодарность Ю.М. Таирову за полезные замечания, высказанные в процессе обсуждения данной работы.

Список литературы

- [1] Г.П. Яблонский. ФТП, **18**, 918 (1984).
- [2] Г.П. Яблонский. ФТП, **26**, 995 (1984).
- [3] В.И. Левин, Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков. ФТП, **18**, 1194 (1984).
- [4] Ю.А. Водаков, Г.А. Ломакина, Е.Н. Мохов, М.Г. Рамм, В.И. Соколов. ФТП, **20**, 2153 (1986).
- [5] *Справочник по электротехническим материалам* (Л., Энергоатомиздат, 1988) т. 3, с. 464.
- [6] Ю.Н. Эмиров, Г.К. Сафаралиев, С.А. Ашурбеков. М.К. Курбанов. ФТП, **28**, 1991 (1994).
- [7] Ю.А. Водаков, Г.А. Ломакина, Е.Н. Мохов, В.Г. Одинг, В.В. Семенов, В.И. Соколов. В сб.: *Проблемы физики и технологии широкозонных полупроводников* (Л., 1979) с. 164.
- [8] А.С. Бережной. *Кремний и его бинарные системы* (Киев, Изд-во АН УССР, 1958).
- [9] А.И. Венгер, Ю.А. Водаков. Письма ЖТФ, **6**, 1319 (1981).
- [10] K. Srinivasan, R. Srinivasan. Proc. Nucl. Phys. Sol. St. Phys. Symp. (Bombay, 1972) v. 14c, S1, p. 273.
- [11] А.Н. Георгобиани, А.Н. Грузинцев, Ю.В. Озеров, И.М. Тигиняну. Тр. ФИ АН СССР (М., 1985) № 163, p. 39.

Редактор Л.В. Шаронова

Spectral shift of luminescence bands of an epitaxial $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ film due to laser annealing

G.K. Safaralief, Yu.N. Emirov, M.K. Kurbanov,
B.A. Bilalov

Dagestan State University,
367025 Makhachkala, Russia

Abstract The influence of a laser annealing on photoluminescence properties of epitaxial $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ films has been investigated. Supposed is that the annealing leads to displacement of Al and N atoms from their site positions and thus the formation of donor–acceptor pairs $\text{Al}_{\text{Si}}-\text{N}_{\text{C}}$ occurs. According to this model, an increase in the annealing time is accompanied by generation of donor–acceptor pairs having the shortest interatomic distances at the expense detached associates and in this way it gives a shift of photoluminescence bands in a high-energy area of the spectrum.