

Ультрафиолетовая люминесценция тонких пленок GaN, полученных методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии на пористых подложках GaAs (111)

© В.В. Кидалов[†], Г.А. Сукач*, А.С. Ревенко, Е.П. Потапенко*

Бердянский государственный педагогический университет,
71100 Бердянск, Украина

* Институт физики полупроводников Национальной академии наук Украины,
01237 Киев, Украина

(Получена 5 февраля 2003 г. Принята к печати 25 февраля 2003 г.)

Методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии получены пленки GaN толщиной 0.1 мкм на пористых подложках GaAs(111). При температуре 4.2 К в спектре фотолюминесценции доминируют экситонные полосы люминесценции. На основе анализа энергетического положения максимума экситонных полос сделан вывод о наличии механических напряжений в полученных пленках GaN.

Ультрафиолетовый спектральный диапазон используется во многих приборах оптоэлектроники [1]. Прямозонный полупроводник GaN, гексагональная модификация которого имеет ширину запрещенной зоны 3.39 эВ [2], наиболее перспективен для получения светоизлучающих диодов, работающих в этом диапазоне. Ультрафиолетовое свечение GaN обусловлено рекомбинацией свободных и связанных экситонов [3]. Для ее решения необходимо получение пленок GaN высокого кристаллического качества. Пленки GaN получают на различных подложках: Si, GaAs, 3C-SiC, Al₂O₃, 6H-SiC. Основная проблема — уменьшение количества дефектов на границе пленка—подложка из-за разницы в постоянных решетках.

В работе [4] впервые использовался пористый монокристалл GaAs в качестве „мягкой“ подложки для получения пленок GaN методом молекулярно-пучковой эпитаксии. В нашей работе рассмотрена возможность получения тонких пленок GaN на пористых подложках GaAs с ориентацией (111) методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии [5]. Главное отличие этого метода от традиционной эпитаксии в том, что один компонент поступает из газовой фазы (атомарный азот), а второй (галлий) геттерируется из объема обрабатываемого кристалла. Вторая важная особенность радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии связана с распределением температуры в реакторе. Обрабатываемый кристалл находится в узкой зоне высокотемпературной части реактора, составляющей его малую часть, а температура остальной части его ниже. Такой температурный профиль приводит к удалению примесей из зоны роста в низкотемпературную часть реактора, что обуславливает высокую чистоту формируемых слоев.

Монокристаллы *n*-GaAs ориентации (111) обрабатывались в водном растворе HF. Исследования пористого GaAs методами растровой электронной микроскопии показали, что диаметр пор составляет порядка 100 нм

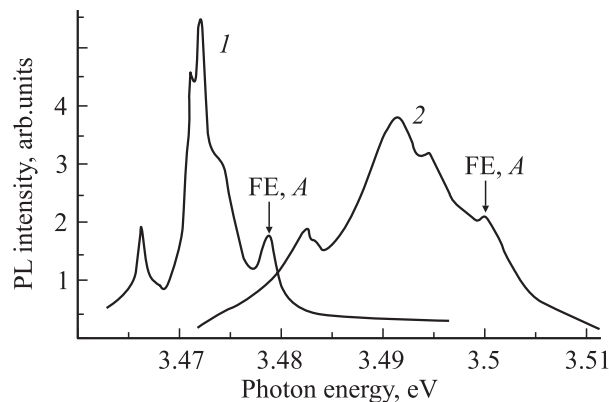
(при данных условиях анодной электрохимической обработки). Толщина слоев пористого GaAs составляет около 2 мкм. Отжиг пористого GaAs в течение 2 ч в плазме азота проводился в установке радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии, подробно описанной в работе [6]. В качестве источника азота использовался особо чистый аммиак. Расстояние между плазмой и обрабатываемым кристаллом регулировали магнитным полем, оптимальное расстояние составляло $d = 2$ см. При меньшем расстоянии происходит травление кристалла, а при большем — резкое уменьшение потока атомарного азота. Рабочее давление в источнике атомарного азота составляло 10^{-3} мм рт.ст. Исследования оптического эмиссионного спектра азотного высокочастотного разряда в видимой части спектра показали наличие полос возбужденного молекулярного азота и атомарного азота, особенно яркая полоса с максимумом при $\lambda = 747$ нм соответствует излучению возбужденного атомарного азота.

Для возбуждения фотолюминесценции использовался азотный лазер ИЛГИ-503 с длиной волны излучения 337.1 нм и длительностью импульса 10 нс. Спектры анализировались с помощью монохроматора МДР-12, управляемого компьютером. Образцы помещали в гелиевый криостат при $T = 4.2$ К.

Низкотемпературный спектр фотолюминесценции пленок GaN толщиной 0.1 мкм на пористых GaAs содержит слабую желтую люминесценцию и люминесценцию в синей области спектра, обусловленную излучательными рекомбинациями внутри донорно-акцепторной пары [7]. Основное излучение находится в области свободных экситонов (FE) — максимумы интенсивности *A*, *B* и *C*, и связанных экситонов (BE) (рисунки). На том же рисунке представлен спектр фотолюминесценции беспримесной пленки GaN толщиной 0.3 мкм, выращенной на объемных монокристаллах GaN методом молекулярно-пучковой эпитаксии [8,9].

Из сравнения этих спектров видно, что максимумы экситонных полос люминесценции пленок GaN, полу-

[†] E-mail: kid@bdpu.org
kidalov32@rambler.ru



Спектры фотолуминесценции (4.2 К) для двух пленок GaN: 1 — выращенной на объемных кристаллах GaN методом молекулярно-пучковой эпитаксии (толщиной 0.3 мкм); 2 — выращенной на пористой подложке GaAs методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии (толщиной 0.1 мкм).

ченных на пористых подложках GaAs, смещены в высокоэнергетическую область на величину 0.02 эВ. Подобный сдвиг спектров фотолуминесценции объясняется механическими напряжениями, возникающими в пленке. Исследования угловой зависимости рентгеновской дифракции для диапазона углов $2\theta = 25-45^\circ$ [10] показали наличие дифракционного пика $2\theta = 34.6^\circ$, соответствующего отражению от плоскости (0002) гексагональной фазы GaN.

Таким образом, на выращенных методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии пленках GaN на пористых подложках GaAs(111) наблюдалось ультрафиолетовое свечение, обусловленное рекомбинацией свободных и связанных экситонов в гексагональной фазе, что говорит о высоком качестве пленок. Незначительно смещенные экситонные полосы в высокоэнергетическую область спектра свидетельствуют о наличии механических напряжений в пленках GaN, но величина этих напряжений гораздо меньше, чем в пленках GaN, выращенных на монокристаллических подложках GaAs методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии, где экситонное излучение не наблюдалось [11].

Список литературы

- [1] S. Nakamura, M. Senoh, T. Mukai. *Jap. J. Appl. Phys.*, **31**, L139 (1992).
- [2] U. Kaufmann, M. Kunzer, M. Maier. *Appl. Phys. Lett.*, **72**, 1326 (1998).
- [3] В. Монемар. *Phys. Rev. B*, **52**, R17028 (1974).
- [4] В.В. Мамутин, В.П. Улин, В.В. Третьяков, С.В. Иванов, С.Г. Конников, П.С. Копьев. *Письма ЖТФ*, **25** (1), 3 (1999).
- [5] А.Н. Георгобиани, М.Б. Котляревский, В.В. Кидалов, Л.С. Лепнев. *Неорг. матер.*, **37** (11), 1287 (2001).
- [6] Т.В. Бумхузи, А.Н. Георгобиани, Е. Заде-Улы, Б.Т. Эльтазаров, Т.Г. Хулордова. *Тр. ФИАН*, **182**, 140 (1987).
- [7] А.Н. Грузинцев, У. Кайзер, И.И. Ходос, В. Рихтер. *Неорг. матер.*, **37** (6), 704 (2001).

- [8] В. Монемар, W.M. Chen, P.P. Paskov, T. Paskova, G. Rozina, J.P. Bergman. *Phys. St. Sol. (b)*, **2**, 489 (2001).
- [9] H. Teisseyre, G. Nowak, M. Leszczynski, I. Grzegory, M. Bockowski, S. Krukowski, S. Porowski, M. Mayer, A. Pelzmann, M. Kamp, K.J. Ebeling, G. Karczewski. *MRS Internet, J. Nitride Semicond. Res.*, **1**, 13 (1996).
- [10] V.V. Kidalov, G.A. Sukach, A.O. Petukhov, A.S. Revenko, E.P. Potapenko. *Proc. Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter ICL'02* (Budapest, Hungary, Aug. 24–29, 2002) p. 116.
- [11] М.Б. Котляревский, Г.А. Сукач, В.В. Кидалов, А.С. Ревенко. *ЖПС*, **69** (2), 234 (2002).

Редактор Т.А. Полянская

Ultraviolet luminescence of GaN thin films grown on porous GaAs(111) substrates by radical-beam getering epitaxy

V.V. Kidalov, G.A. Sukach*, A.S. Revenko, E.P. Potapenko*

Berdyansk State Pedagogical University,
71100 Berdyansk, Ukraine

* Institute of Semiconductors Physics,
National Academy of Science of Ukraine,
01237 Kiev, Ukraine

Abstract GaN films of 0.1 μm thickness have been grown on GaAs(111) porous substrate by a radical-beam getering epitaxy method. At temperature 4.2 K exciton bands dominate in the photoluminescence spectra. Position of the energy maximums of exciton bands point at presence of strains in obtained GaN films.