

06

Лазерное напыление пленок GaN

© И.В. Грехов, И.А. Линийчук, И.Е. Титков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

E-mail: ITitkov@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 10 ноября 2005 г.

Методом лазерного напыления получены изолирующие *c*-ориентированные эпитаксиальные пленки GaN с гексагональной симметрией. Галлиевая мишень распылялась в атмосфере неактивированного азота. Пленки были выращены непосредственно на сапфировой подложке (0001) либо с использованием ZnO-буфера. Обнаружена красная фотолюминесценция пленок на длине волны 370 nm.

PACS: 42.62.-b

Нитрид галлия (GaN) привлекает внимание как материал для создания оптоэлектронных приборов, светодиодов и лазеров для синей и фиолетовой области спектра [1,2]. В настоящее время для получения высококачественных пленок GaN используются методы молекулярно-лучевой и MOCVD эпитаксии [2]. Массовое производство GaN светодиодов стимулирует поиск более экономичных и экологически безопасных технологий формирования слоев GaN. Одним из таких методов может стать получение пленок путем лазерного распыления мишени металлического Ga в атмосфере чистого азота, неактивированного [3] или предварительно ионизированного электрическим разрядом [4]. При лазерном напылении пленок в неравновесных условиях высокотемпературной плазмы качественные пленки могут быть получены даже при низких температурах подложки, вплоть до комнатной. Формирование пленки на холодной подложке позволяет избежать термических напряжений и растрескивания пленок при остывании [5].

Наиболее распространенной подложкой для III-нитридов является сапфир [2], однако значительное рассогласование параметров решетки между GaN и сапфиром (~ 16%) заставляет искать возможность использования буферных слоев. В работе [6] слой GaN выращивался на буферном слое окиси цинка. Кристалл ZnO имеет ту же симметрию, что и GaN, при малом рассогласовании параметров решетки (~ 1.8%).

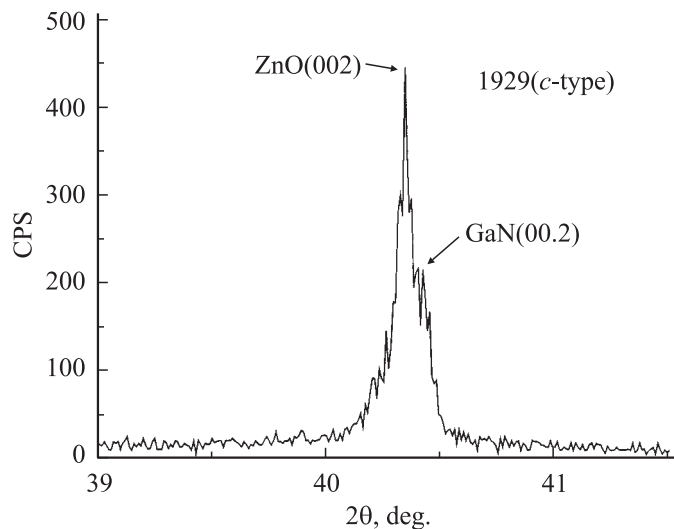


Рис. 1. Рентгеновский дифракционный ($\text{CoK}\alpha$) спектр пленки GaN/ZnO/Al₂O₃ (0001), полученной лазерным напылением при температуре подложки 680°C.

В 2003 г. был впервые продемонстрирован эпитаксиальный послойный рост GaN на атомарно-гладкой монокристаллической поверхности ZnO при комнатной температуре [5]. При этом авторы утверждают, что только методом лазерного напыления возможно получить ненапряженную гетерограницу ZnO/GaN, поскольку ни MBE, ни MOCVD не позволяют напылять пленки при комнатной температуре.

Цель настоящей работы — отработка технологии лазерного напыления для получения GaN пленок на сапфировых подложках с буферным слоем ZnO.

Для распыления мишеней использовались скрещенные лучи двух YAG-лазеров ($\lambda = 1064 \text{ nm}$), работающих в режиме модулированной добротности. Энергия лазерного импульса 200 мДж, длительность 15 нс, частота повторения 25 Гц, расстояние от мишени до подложки 30–40 мм. Пленки ZnO напылялись из металлической цинковой мишени в атмосфере кислорода при давлении 0.15 Торр. Пленки GaN напылялись в атмосфере неактивированного азота при давлении 2 Торр, в качестве мишени использовался жидкий галлий. В качестве подложек исполь-

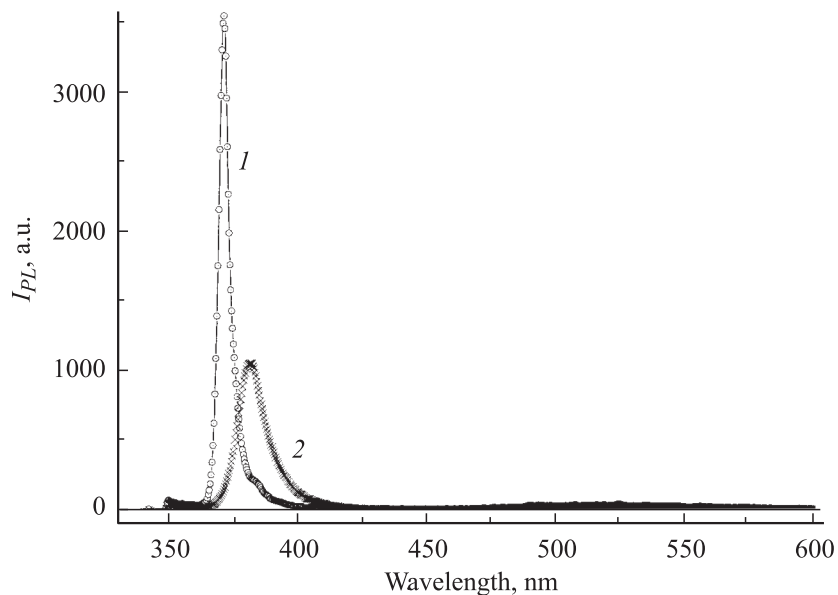


Рис. 2. Спектр фотолюминесценции GaN/ZnO/Al₂O₃ (0001), полученной лазерным напылением при температуре подложки 680°C: 1 — $T = 77$ К, пик — 3.344 eV, полная ширина пика на половине максимума 0.039 eV; 2 — $T = 300$ К, пик — 3.250 eV, ширина пика 0.109 eV.

звался сапфир ориентации (0001), температура подложки при напылении 680°C. Поликристаллические текстурированные эпитаксиальные пленки GaN были получены как при напылении непосредственно на сапфир, так и на буферную пленку ZnO.

Рентгеновские дифракционные ($\text{CoK}\alpha$) спектры полученных пленок исследованы на однокристалльном дифрактометре Rigaku. На рис. 1 приведен спектр отражения под углом 2Θ , снятый на образце GaN/ZnO/сапфир (0001).

Фотолюминесценция (ФЛ) возбуждалась импульсным азотным лазером (длина волны 337.1 nm, длительность импульса 10 ns, частота повторения 100 Hz). Лазерный пучок фокусировался в пятно 2×2 mm при угле падения 45°, плотность энергии в импульсе составляла 50 kW/cm².

Спектры ФЛ снимались при 77 К и при комнатной температуре, разрешение монохроматора 2.1 nm. Интенсивность представленных спектров скорректирована на спектральный отклик установки.

В полученных пленках была обнаружена краевая ФЛ на длине волны вблизи 370 nm (при 77 К). На рис. 2 представлены ФЛ-спектры образца GaN/ZnO/сапфир, снятые при 77 и 300 К. Интенсивность низкотемпературной ФЛ в пленках, напыленных на слое ZnO, была на порядок выше, чем в пленках без буферного слоя.

Таким образом, продемонстрирована возможность получения изолирующих *c*-ориентированных эпитаксиальных пленок GaN методом лазерного напыления. Использование буферного слоя ZnO рассматривается как путь к повышению качества пленок. В настоящее время идет поиск путей оптимизации технологических условий с целью повышения качества пленок. В частности, для получения проводящих слоев материал необходимо легировать, например, магнием, для чего необходимо понизить остаточное давление кислорода в рабочем объеме (ориентировочно до 10^{-8} Torr); для повышения эффективности процесса будет использован метод активации азота газовым разрядом; проводятся эксперименты с напылением GaN на холодную подложку (300 К).

Работа поддержана НПК „Электровыпрямитель“, Саранск, Россия и грантом поддержки ведущих научных школ РФ № РИ-112/001/175.

Авторы выражают благодарность М.А. Яговкиной за проведение рентгеновских измерений и А.С. Зубрилову за измерения фотолюминесценции, а также Д.В. Машовцу за помощь в подготовке материала к публикации.

Список литературы

- [1] Юнович А.Э. // Природа 2001. № 6. С. 1–14.
- [2] Шретер Ю.Г., Ребане Ю.Т., Зыков В.А., Сидоров В.Г. // Широкозонные полупроводники. СПб.: Наука, 2001.
- [3] Cole D., Lunney J. // Material Science and Engineering. 1997. V. B 50. P. 20–24.
- [4] Tong X.L., Zheng Q.G. et al. // Appl. Surf. Sci. 2003. V. 217. P. 28–33.
- [5] Atsushi Kobayashi, Hiroshi Fujioka et al. // Jap. J. Appl. Phys. 2004. V. 43. N 1A/B. P. L53–L55.
- [6] Wang R., Muto H. et al. // Thin Solid Films. 2002. V. 411. P. 69–75.