

РАДИКАЛО-ЛУЧЕВАЯ ГЕТТЕРИРУЮЩАЯ ЭПИТАКСИЯ – НОВЫЙ МЕТОД В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ A^3B^5

М.Б.Котляревский, В.В.Кидалов, А.С.Ревенко

Бердянский государственный педагогический институт,
кафедра физики и методики преподавания физики,
ул. Шмидта 4, Бердянск, Запорожская обл
e-mail: kidalov32@rambler.ru

Методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии получены пленки GaN на монокристалле GaAs. Изучены спектры фотолюминесценции пленок GaN. При комнатной температуре, наблюдался слабый максимум в области 3,37 эВ и интенсивный максимум в области 1,7–2,0 эВ. При 4,2 К проявляются полосы свободных и связанных экситонов. Кроме экситонных полос, наблюдалась полоса с максимумом 2,25 эВ. Граница раздела GaN и GaAs исследовалась на Оже-спектрометре.

Вступление

GaN играет важную роль в современной оптоэлектронике. Он является широкозонным полупроводником (ширина запрещенной зоны при комнатной температуре 3,39 эВ) и является основным материалом для светоизлучающих устройств и коротковолновых оптических детекторов. На основе гексагонального GaN [1] работают голубые лазеры и светодиоды, а недавно были изготовлены светодиоды на основе кубического GaN [2]. Среди наиболее распространенных методов выращивания эпитаксиальных пленок GaN является метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Однако пленки, полученные этим методом, очень дорогостоящи, и, согласно прогнозам, выращивание GaN методом МЛЭ в промышленных условиях не планируется.

В данной работе методом радикало-лучевой эпитаксии (РЛЭ), пленки GaN выращивались на подложке GaAs, который ранее хорошо зарекомендовал себя для соединений типа A^3B^5 [4, 5].

Эксперимент

Пленки GaN размером $2 \times 0,5 \times 0,5$ см³ получали методом РЛЭ на подложке GaAs (100). Большие грани образцов (100) шлифовали, а потом полировали алмазными пастами. Механические структурные нарушения приповерхностной области удалялись путем травления на протяжении 2 минут в стандартном растворе $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O-3:1:1$. Затем образцы отжигали в радикалах азота (энергия связи в $N_2 - 9,76$ эВ), для получения которых использовался высокочастотный разряд от генератора 40 МГц и мощностью до 2 кВт (рис. 1). Для измерения концентрации радикалов азота в реакционный сосуд впаивали измеритель концентрации. Измеритель концентрации был изготовлен на базе манометрической лампы ЛТ-2 и впаян в реакционный сосуд таким образом, что каталитическая нить находилась вблизи поверхности образца. Выход радикалов азота в условиях эксперимента достигал 15% от общего количества N_2 . Максимальная концентрация радикалов достигалась в диапазоне давлений 10^1-10^3 мм.рт.ст.

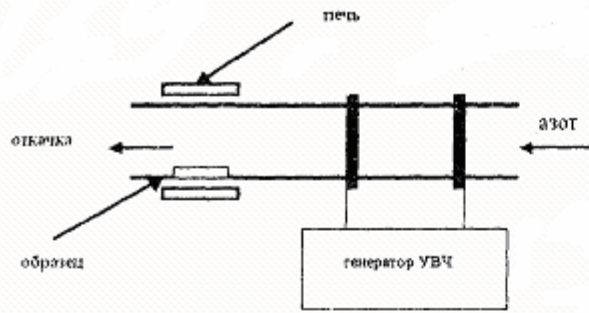


Рис. 1. Схема установки для отжига монокристаллов GaAs в радикалах азота (энергия связи N_2 : 9.76).

Результаты и обсуждение

Спектры фотолюминесценции пленок GaN, полученных методом РЛЭ на подложке GaAs, исследовались при комнатной температуре и при температуре 4,2 К при помощи импульсного азотного лазера ЛГЛ-21 ($\lambda = 337$ нм,)

Результаты измерений представлены на рис.2. Как видно, при комнатной температуре (рис.2,а) наблюдается слабый пик 3,37 эВ, а основная широкая полоса излучения находится в диапазоне 1,7–2,0 эВ. При температуре 4,2 К (рис. 2,б) наблюдаются полосы связанных экситонов (3,466 эВ – на акцепторе; 3,470 эВ – на доноре) и свободных экситонов (3,473; 3,478; 3,483 эВ). Точность измерения энергии составляла 0,002 эВ.

Кроме экситонных полос, при 4,2 К наблюдается широкая полоса с максимумом 2,25 эВ (рис. 2,в), что обычно приписывается дефектам [6]. Интенсивность этой полосы довольно высокая, что говорит о наличии значительного числа дефектов в переходной области GaAs и GaN. Состояние границы раздела между пленкой GaN и GaAs исследовалось на Оже-спектрометре. Исследование зависимости концентрационных профилей от глубины показало, что в зависимости от условий роста формируются как плавные (рис. 3а), так и резкие (рис. 3б) межфазные переходы.

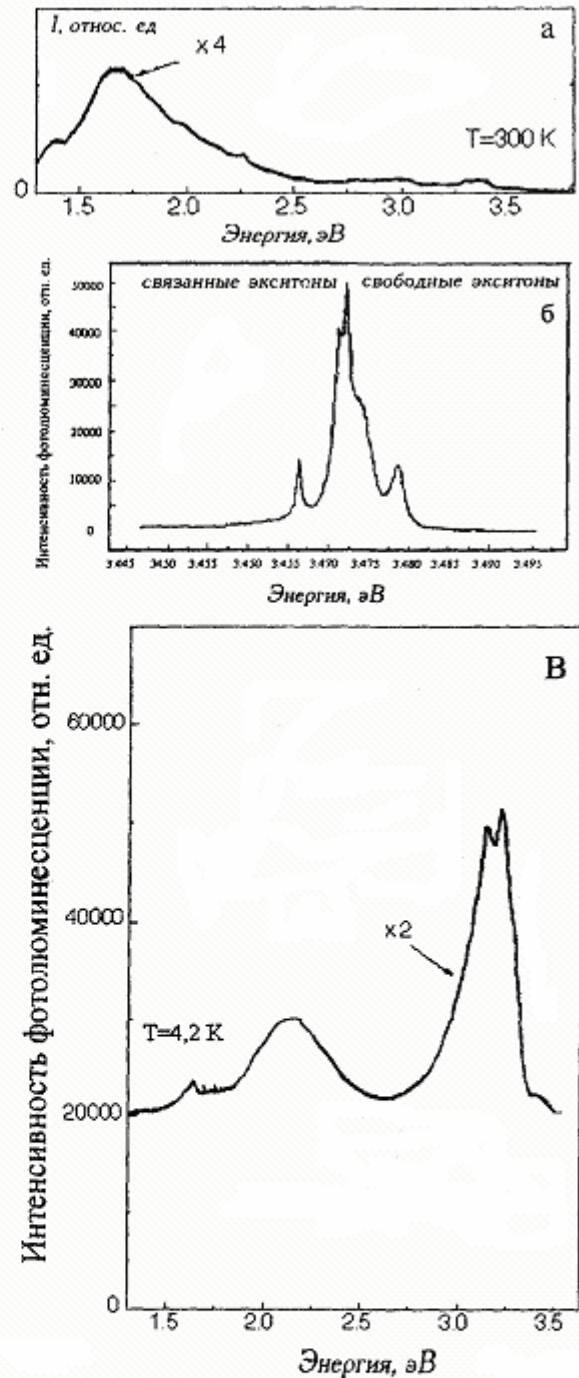


Рис. 2. Фотолюминесценция GaN выращенных на GaAs, измеряемая при температуре: а) $T=300$ К; б, в) $T=4,2$ К.

Термодинамический анализ с использованием квазихимических реакций позволяет судить о соотношении разных дефектов в стационарном равновесном состоянии. Но равновесие устанавливается довольно быстро только при высоких температурах. Поэтому представляет интерес рассмотреть кинетику и микроме-

ханизмы, с помощью которых происходит взаимодействие кристалла с газовой фазой. Кинетический метод анализа соединения собственных дефектов оказался очень полезным для системы «кристалл – активированная газовая фаза металлоидного компонента». Анализ кинетики дефектообразования позволяет предложить некоторые физико-химические методы управления процессами дефектообразования, которые определяются процессами адсорбционно-десорбционно кристаллизационного равновесия на поверхности кристалла (рис. 4).

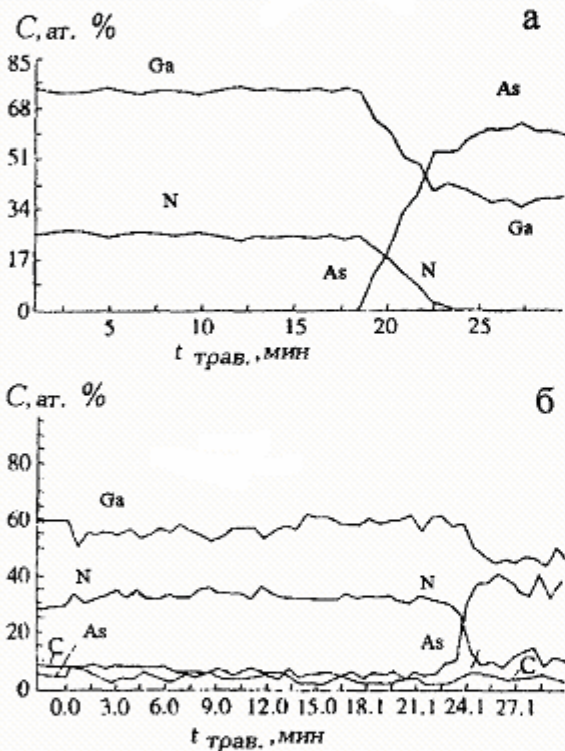


Рис. 3. Концентрационные профили GaAsN для пленок GaN выращенных при температуре : а) $T=800$ К; б) $T=650$ К.

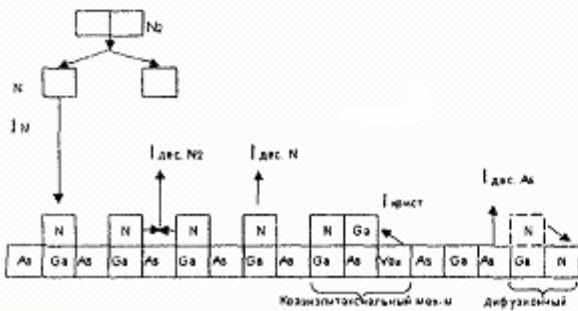


Рис. 4. Кинетика дефектообразования для системы GaN/GaAs.

На поверхностном слое будет адсорбировано определенное количество атомов азота с концентрацией N_N . Адсорбированные атомы могут десорбировать, создавая поток десорбции

$$I_{dec(N)} = N_N^2 \times v_N \times \exp\left(\frac{-G_{dec,N}}{KT}\right),$$

где v_N – частота поперечных к поверхности колебаний атомов азота, G_{dec} – энергия десорбции азота.

Два атома азота, двигаясь по поверхности, при столкновении могут снова создать молекулу N_2 , слабо связанную с решеткой. Эти молекулы образуют поток молекулярной десорбции

$$I_{dec(N_2)} = N_N \times v_{N'} \times \frac{a^2}{4} \times \exp\left(\frac{-G_{diff,N}}{KT}\right)$$

где $v_{N'}$ – частота продольных колебаний атомов азота, a – длина прыжкового перемещения атомов азота по поверхности кристалла.

Атомы галлия, диффундируя из поверхностного слоя в надповерхностный, в местах локализации атомов азота создают стабильные димеры GaN. Число созданных за одну секунду на 1 см^2 поверхности димеров GaN можно записать таким образом:

$$I_{кр} = m \times N_N \times v_{Ga} \times \exp\left(\frac{-G_{акт,Ga}}{KT}\right),$$

где m – число атомов Ga близ адсорбированного атома азота, v_{Ga} – частота поперечных к поверхности колебаний атомов галлия, $G_{акт,Ga}$ – энергия активации перехода атома Ga из поверхностного слоя в надповерхностный. В этом случае пленка GaN будет расти по квазиэпитаксиальному механизму.

За счет нагревания подложки происходит десорбция As из поверхности кристалла с образованием вакансии As. Поток $I_{dec.[As]}$ определяет генерацию вакан-

сий мышьяка (V_{As}) в поверхностном слое. Эти вакансии могут заполняться атомами азота и скорость такого растворения азота в поверхностном слое определяется потоком

$$I_{рек,N[V_{As}]} = N_N * [V_{As}] * \frac{d^2}{4} * v_{V_{As}} * \exp\left(\frac{-G_{инф,N}}{KT}\right),$$

Такой процесс будет оказывать содействие диффузии N в монокристалл GaAs и пленка GaN будет расти по диффузионному механизму.

Таким образом, предложенная адсорбционно-десорбционная кристаллизаци-

онная модель показывает, что в зависимости от условий отжига подложки GaAs в радикалах азота возможны два механизма роста пленок GaN.

Первый: радикалы азота, адсорбированные на поверхности GaAs, вытягивают из объема атомы Ga, а на поверхности базового кристалла вырастают новые слои GaN. Такой механизм называют квази-эпитаксиальным.

Второй: радикалы азота, адсорбированные на поверхности, диффундируют в объем и пленка GaN растет по диффузионному механизму.

Литература

1. S.Nakamura, G. Fasol, *The Blue Laser Diode*. (Springer-Verlag, Berlin, 1997).
2. H.Yang, L.X.Zheng, J.B.Li, X.J.Wang, D.P.Xu, Y.T.Wang, X.W.Hu, *Appl. Phys. Lett.*, **74**, 2498 (1999).
3. S.Strude, H.Morkoc, *J. Vac. Sci. Technol. B* **10**, 1237 (1992).
4. A.N.Georgobiani, M.B.Kotljarevsky, U.A.Aminov, V.V.Kidalov, I.V.Rogozin, *Nucl. Instr/ and Meth. in Phys. Res. A* **388**, 431 (1997).
5. А.Н.Георгобiani, М.Б.Котляревский, В.В.Кидалов, И.В.Рогозин, *Неорганические материалы*, **33**, 232 (1997).
6. W.Shan, T.J.Schmidt, R.J.Hauenstein, J.J.Song, D.Goldenbery, *Appl. Phys. Lett.*, **66**, 3492 (1985)

RADICAL-BEAM GETTERING EPITAXY – A NEW TECHNIQUE IN III-V GROUP SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY

M.B.Kotlyarevsky, V.V.Kidalov, A.S.Revenko

Berdyansk State Pedagogical Institute, Department of Physics and Physics Teaching,
Schmidt St. 4, Berdyansk, Zaporizhzhya Province
phone (06153)36186, e-mail: kidalov32@rambler.ru.

Thin films of GaN were grown on GaAs substrates by the radical-beam gettering epitaxy. Photoluminescence at room temperature shows a maximum at 3.37 eV and a highly intense maximum at 1.7–2.0 eV. At the temperature $T = 4.2$ K bound exciton and free exciton bands were observed. The boundary region between GaN and GaAs was investigated by Auger electron spectroscopy.