

Оптические свойства нитрида галлия, синтезированного ионной имплантацией азота в арсенид галлия

Бумай Ю.А.^а, Бобученко Д.С.^а, Власукова Л.А.^б, Комаров Ф.Ф.^б,
Акимов А.Н.^б, Филипп А.Р.^б

^аБелорусский национальный технический университет

^бБелорусский государственный университет

В настоящее время GaN является одним из наиболее перспективных материалов силовой электроники и оптоэлектроники. В связи с трудностью получения монокристаллов GaN больших размеров слои этого соединения выращивают на подложках из других материалов [1,2]. Использование ионной имплантации азота в подложки соединений Ga-V позволяет осуществить синтез слоев GaN. [3,4]. В данной статье приведены результаты имплантации больших доз ионов азота в GaAs с целью синтеза соединения GaN и исследованы оптические свойства полученных структур.

Имплантация ионов азота энергией 100 кэВ и дозами $3 \cdot 10^{16}$ см⁻² и $3 \cdot 10^{17}$ см⁻² проведена в пластины полуизолирующего GaAs с ориентацией (100). Образцы были отожжены в печи при температуре 750 °С в течение 30 мин двумя способами – в токе молекулярного азота и под порошком GaAs, предварительно насыщенным As. Затем на образцах были выполнены измерения катодолюминесценции (КЛ) при 300 К и 77 К, а также образцы исследованы методами спектроскопии инфракрасного (ИК) отражения и рамановской спектроскопии. Профили распределения атомов азота по глубине определены методом масс - спектроскопии вторичных ионов.

В спектрах КЛ при 77 К выше энергии фотонов, соответствующих значению ширины запрещенной зоны GaAs, на отожженных образцах наблюдались две широкие бесструктурные полосы с энергиями фотонов в максимуме ~2.8 –3.1 эВ (полоса I) и ~3.4 –3.5 эВ (полоса II). Соответствующие значения ширины полос на полувысоте составляли 0.8 эВ и 0.4 эВ. При этом более сильные сигналы КЛ наблюдались для образцов с более низкой дозой имплантации. Существенного различия между спектрами КЛ образцов, отожженных в разных условиях, соответствующих различным потерям As и N с поверхности, не об-

наружено. При температуре измерений 300 К интенсивность полосы II сильно уменьшалась по сравнению с интенсивностью полосы I. Полоса II может быть приписана краевому излучению гексагонального GaN [1,2], что свидетельствует о синтезе нитрида. Большая ширина обоих полос обусловлена низкой температурой отжига, сильной неоднородностью образцов и, очевидно, присутствием других фаз, в частности кубического GaN. Известно, что несколько атомных процента N в GaAs, а также As в GaN сильно уменьшают ширину запрещенной зоны соединения [5,6], так что $\text{GaAs}_x\text{N}_{1-x}$ соединения не вносят вклад в КЛ в исследованной нами области энергий фотонов. Полоса I является сложной и связана, вероятно, и с дефектами в синтезированном GaN из-за его сильного отклонения от стехиометрии ($[\text{Ga}]/[\text{N}] > 1$) и с сильным легированием синтезированной фазы примесью As [7]. Отметим также, что заметная люминесценция в данной области энергий фотонов, соответствующих полосе I, наблюдается и в неимплантированных образцах и, вероятно, частично обусловлена наличием природных окислов на поверхности образцов.

Известно, что для гексагонального GaN как при ИК отражении так и рамановском рассеянии света A_1 и E_1 фононные моды являются активными, в то время как две E_2 моды активны только при рамановском рассеянии. Они могут быть признаками формирования нитрида в GaAs матрице. В спектрах ИК отражения имплантированных и отожженных образцов помимо сильных TO и LO фононных мод с волновыми числами 269 см^{-1} и 292 см^{-1} от GaAs обнаружены моды близкие к модам $E_1(\text{TO})$ (560 см^{-1}) и $A_1(\text{LO})$ (735 см^{-1}), наблюдаемым в гексагональном GaN [8]. Хорошо заметный колебательный резонанс вблизи $\sim 470 \text{ см}^{-1}$ в исследованных образцах может быть признаком формирования тройного соединения, так как он наблюдался ранее в структурах $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ и был связан с содержанием азота в них [9]. Необходимо отметить, что в спектрах рамановского рассеяния света имплантированных и неотожженных образцов также обнаружены слабые E_1 , A_1 и E_2 фононных моды. Это свидетельствует о том, что начальная стадия синтеза фазы GaN произошла уже в процессе имплантации, температура образцов при которой не превышала $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Несмотря на то, что оптические методы показали наличие синтезированной GaN фазы в GaAs подложках, профили распределения азота, полученные с использованием масс – спектроскопии вторичных ионов, не показали его значительного перераспределения после отжига по сравнению с неотожженными образцами. Отметим, что максимальная концентрация атомов азота для используемых доз имплантации существенно ниже стехиометрической концентрации азота в GaN ($[N]=4.4 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$) Поэтому синтез соединения в процессе требует геттерирования ионов азота в места образования нитрида, что должно было бы существенно изменить профиль распределения азота. Из этого следует, что в синтезе нитрида принимает участие достаточно малая часть имплантированного азота. Это приводит, очевидно, к формированию в области среднего проективного пробега ионов слоя ориентированных хаотически нанокристаллов GaN (и $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$) в GaAs матрице в результате твердофазной эпитаксиальной рекристаллизации аморфизированного имплантацией слоя от GaAs подложки.

Литература

- [1] Gil B. Group III Nitride Semiconductor Compounds: Physics and Applications. Clarendon Press, Oxford, 1998.
- [2] Pearton S.J., Zolper J.C., Shul R.S., Ren F. J Appl. Phys. 1999; 86: 1-78.
- [3] Lin X.W., Behar M., Maltez R., Swider W., Liliental-Weber Z., and Washburn J. Appl. Phys. Lett. 1995; 67: 2699-2701.
- [4] Kuriyama K., Kondo H., Hayashi N., Ogura M., Hasegawa M., Kobayashi N., Takahashi Y., Watanabe S. Appl. Phys. Lett. 2001, 79: 2546-2548.
- [5] Buyanova L.A., Chen W.M., Monemar B. MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 2001; 6: 2.
- [6] Yu K M. Semicond. Sci. Technol. 2002; 17: 785-796.
- [7] Li X., Kim S., Reuter E.E., Bishop S.G., Coleman J.J. Appl. Phys. Lett. 1998; 72: 1990-1992.
- [8] Haboeck U., Siegle Y., Hoffman A., Thomsen C. Phys. Stat.Sol. (c) 2003; 0: 1710-1731.
- [9] Sik J., Schubert M., Hofmann T., Gottschalch V. MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 2000; 5: 3.