Оптимизация кристаллического совершенства фосфидных гетероструктур с азотом на Si

Большаков А.Д.¹, Федоров В.В.¹, Коваль О.Ю.¹, Сапунов Г.А.¹, Соболев М.С.¹,
Пирогов Е.В.¹, Кириленко Д.А.^{2,3}, Можаров А.М.¹, Мухин И.С.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский Академический университет, 194021, С.-Петербург, ул. Хлопина 8/3

² Университет ИТМО, 197101, С.-Петербург, Кронверский пр. 49

³ ФТИ им. Иоффе, 194021, С.-Петербург, Политехническая ул., 26

DOI 10.34077/Semicond2019-319

Одним из важнейших препятствий развития и снижения стоимости оптоэлектронных решений сегодня является отсутствие технологии монолитной интеграции компонентной базы на основе материалов A_3B_5 на доступной кремниевой платформе [1]. Перспективными подходами в решении указанной проблемы являются применение буферных градиентных эпитаксиальных слоев [2] и синтез структур пониженной размерности, механические напряжения в которых эффективно релаксируют, несмотря на рассогласование материала наноструктуры и подложки (например, в случае нитевидных нанокристаллов A_3B_5 на кремнии) [3], [4]. Тем не менее, на настоящий момент масштабируемая технология создания обсуждаемых приборных гетероструктур отсутствует.

Фосфид галлия (GaP) – непрямозонный полупроводниковый материал с шириной запрещенной зоны 2.26эВ и самым малым из всех A_3B_5 рассогласованием с Si (0.37%) [5]. Разбавление GaP азотом ведет к резкому уменьшению постоянной решетки и существенному изменению его зонной структуры, выраженной в проявлении прямозонности уже при низких концентрациях примеси и снижению ширины запрещенной зоны. При этом, состав $GaN_{0.02}P_{0.98}$ является согласованным по параметру решетки с Si, что определяет перспективы использования GaP для реализации метаморфных гетероструктур на кремниевой платформе.

В данной работе были синтезированы на Si (001) методом молекулярно-пучковой эпитаксии и исследованы гетероструктуры на основе твердых растворов GaPN с концентрацией азота до 2.12%. Исследовано влияние ростовых условий на встраивание азота. Кристаллическая структура синтезированных пленок исследована методами рентгеновской дифрактометрии, просвечивающей электронной микроскопии и рамановского рассеяния. Исследование синтезированных гетероструктур методом фотолюминесцентной спектроскопии демонстрирует красное смещение спектрального пика с увеличением концентрации азота. Обнаружено, что

Рис.1. – ПЭМ изображение гетероструктуры GaP/GaPN/GaP/Si.

рост антифазных доменов с вертикальными границами, распространяющимися от интерфейса буфер GaP/Si эффективно подавляется в слое GaPN даже при низких концентрациях азота (0.5%).

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант 18-72-00231).

[1] T. Martensson et al., “Epitaxial III–V Nanowires on Silicon” 2004.

[2] T. J. Grassman et al. IEEE Trans. Electron Devices, vol. 57, no. 12, pp. 3361–3369, Dec. 2010.

[3] A. D. Bolshakov et al. Beilstein J. Nanotechnol., vol. 9, no. 1, pp. 146–154, Jan. 2018.

[4] V. V. Fedorov et al., CrystEngComm, vol. 20, no. 24, pp. 3370–3380, Jun. 2018.

[5] A. S. Gudovskikh et al. Energy Procedia, vol. 102, pp. 56–63, Dec. 2016.