МПЭ рост с свойства нитридных и других 3-5 ННК на гибридной SiC/Si подложке. Восходящая диффузия Si из подложки в GaN ННК

Резник Р.Р.¹⁻⁵, Котляр К.П.¹, Кукушкин С.А.^{3,6}, Цырлин Г.Э.^{1,3,5}

¹ Санкт-Петербургский Академический университет РАН, ул. Хлопина, 8/2, Санкт-Петербург, 194021.

² Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251.

³ Университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101.

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Санкт-Петербург, Россия

⁵ Институт Аналитического приборостроения РАН, ул. Ивана Черных, 31-33, лит. А, Санкт-Петербург, 198095.

⁶ Институт Проблем Машиноведения РАН, Большой проспект, 61, Санкт-Петербург, 199178.

DOI 10.34077/Semicond2019-176

Широкозонные наногетероструктуры на основе GaN, InN, а также A_3B_5 соединения представляют большой интерес для создания электронных [1] и оптоэлектронных устройств [2]. Отсутствие подложек из нитрида галлия побуждает исследователей к поиску подходящих подложек для роста структур на основе GaN. Использование в этом качестве сапфира приводит к генерации высокой плотности дислокаций [4] из-за значительного (13%) рассогласования межатомных расстояний в плоскости интерфейса (0001). Подложки из карбида кремния, наиболее подходящие для формирования GaN с точки зрения согласования параметров решеток на границе раздела, не могут широко использоваться по причине малых площадей и их высокой стоимости. С другой стороны, очень перспективными являются работы по выращиванию слоев GaN на кремнии [5], так как кремний - такая технология выращивания позволяет интегрировать оптоэлектронные приборы на основе нитрида галлия в кремниевую микро- и нанoeлектронику. Однако при сопряжении плоскостей Si(111) и GaN(0001) несоответствие параметров решетки составляет 17%, различие коэффициентов термического расширения — 33%. Это приводит к образованию высокой плотности дефектов различной природы в эпитаксиальном слое, ухудшающих характеристики созданных на его основе приборов.

В данной работе для уменьшения плотности дислокаций несоответствия использовался нанометровый (порядка 50÷100 nm) буферный слой SiC, который выращен на Si методом химического замещения атомов. Различие параметров решетки, например, в плоскостях (0001) GaN и (111) SiC составляет только 3% [2]. Целью данной работы является демонстрация принципиальной возможности роста нитевидных нанокристаллов GaN, InN и A_3B_5 соединений на буферном слое карбида кремния на кремнии и сравнение кристаллографических и оптических свойств полученных структур с выращенными ранее ННК на кремнии без буферного слоя.

Результаты оптических измерений выращенных GaN ННК свидетельствуют о высоком содержании кремния в ННК. Этот факт был подтвержден и другими измерениями.

В своем большинстве ННК, вследствие достаточно большого диаметра (обычно превосходящего или сравнимого с длиной волны де Бройля объемного материала) представляют собой не одномерные, а квази-одномерные наноматериалы. Для наиболее полного применения ННК как квантовых материалов необходимо уменьшать их поперечный диаметр. Критический диаметр капли катализатора, под которой может формироваться нитевидный нанокристалл, зависит от соотношения постоянных решеток материалов подложки ННК и уменьшается с увеличением этого соотношения. Таким образом, следует ожидать, что дальнейшее рассогласование по постоянной решетки подложки и материала ННК приведет к уменьшению диаметра выращенных ННК. К тому же, благодаря релаксации механических напряжений на гранях нитевидных нанокристаллов, дальнейшее увеличение рассогласования не приведет к образованию дефектов в выращенных наноструктурах.

В данной работе с целью уменьшения диаметра A_3B_5 (GaAs, AlGaAs и InAs) нитевидных нанокристаллов для роста методом молекулярно-пучковой эпитаксии были использованы гибридные подложки кремния ориентации (111) с нанометровым буферным слоем карбида кремния. Для данных гибридных подложек рассогласование по постоянной решетки с этими A_3B_5 соединениями значительно больше, чем обычной кремниевой подложки (так, для GaAs и AlGaAs - 44% (для кремния - 4%), для InAs - 48% (для кремния 11 %)).

[1] S.J. Pearton, F. Ren. *Advanced Materials*, **12**, 1571 (2000).

[2] S. Nakamura, G. Fasol. *New York: Springer-Verlag*, **368** (1997).

[4] Р. Н. Кютт. *Письма в ЖТФ*, **15**, 14 (2010).

[5] И.Г. Аксянов, В.Н. Бессолов, Ю.В. Жилев, М.Е. Коман, Е.В. Коненкова, С.А. Кукушкин, А.В. Осипов, С.Н. Родин, Н.А. Феоктистов, Ш. Шарофидинов, М.П. Щеглов. *Письма в ЖТФ*, **11**, 54 (2008).

[6] В.Г. Дубровский, Г.Э. Цырлин, В.М. Устинов. *ФТП*, **43**, 1585 (2009).

[7] Z. Zhong, F. Qian, D. Wang. *Nano Letters*, **V. 3**, 343 (2003).

[8] H.J. Choi, J.C. Johnson, R. He. *J. Phys. Chem. B.*, **107**, 8721 (2003).