Искусственные подложки GaAs/Si(001), выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии, для оптоэлектронных приложений

М.О. Петрушков¹, Е.А. Емельянов¹, М.А. Путятю¹, А.В. Васев¹, А.К. Бакаров¹, А.К. Гутаковский¹,
О.С. Комков², Д.Д. Фирсов², Д.С. Абрамкин¹, В.В. Преображенский¹

¹ ИФП СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. ак. Лаврентьева, 13

² ЛЭТИ, Санкт-Петербург, 197376, ул. Профессора Попова, 5

тел: +7 (383) 333-1967, факс: +7 (383) 333-7745, эл. почта: maikdi@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-40

Интеграция кремниевой электроники и светоизлучающей элементной базы на основе соединений $A^{III}B^V$ открывает перспективу значительного ускорения обработки информации за счёт передачи данных по оптическому каналу как в пределах одного процессора, так и между различными устройствами [1]. Наиболее перспективной гетеропарой в ряду $A^{III}B^V/Si$ является система GaAs/Si, позволяющая надеется на использование уже разработанных оптоэлектронных излучателей на основе GaAs гетероструктур.

Из-за несоответствия постоянных решёток и коэффициентов температурного линейного расширения Si и GaAs в эпитаксиальных пленках образуется большая плотность пронизывающих дислокаций (ПД), которые ухудшают оптические и электрофизические свойства гетероструктур. В данной работе с целью снижения ПД использовались дислокационные фильтры на основе слоев низкотемпературного GaAs (LT-GaAs), выращенных при 250°C. Также проводились *in situ* циклические отжиги эпитаксиальных структур на различных этапах их выращивания и *ex situ* отжиги уже выращенных образцов. Температура отжигов составляла 650°C, что всего на 50°C превышает температуру роста GaAs. Определены условия, при которых совместное применение дислокационных фильтров на основе LT-GaAs и циклических отжигов позволяет снизить плотность ПД в приповерхностных слоях GaAs до $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$, а концентрацию центров безызлучательной рекомбинации до уровня, сравнимого с гомоэпитаксиальными структурами GaAs при общей толщине слоев GaAs/Si до 2.4 мкм [2].

Полученные данные позволяют заключить, что применение дислокационных фильтров на основе слоев LT-GaAs является эффективным по следующим причинам. Во-первых, это наличие механических напряжений в системе LT-GaAs/GaAs из-за присутствия избыточного мышьяка в слоях LT-GaAs [3]. Эти напряжения способствуют изгибанию пронизывающих дислокаций и формированию дислокаций несоответствия на границе LT-GaAs/GaAs, аналогично действию напряжённых сверхрешёток [4]. Во-вторых, LT-GaAs является ограниченным источником вакансий галлия [5], которые диффундируют в высокотемпературные слои GaAs и облегчают скольжение ПД как в

Рис. 1. Спектры люминесценции структур с InAs/AlAs КТ, выращенных на различных подложках.

процессе эпитаксии, так и в процессе циклических отжигов. Так, сопоставление данных просвечивающей электронной микроскопии и фотолюминесценции для структур GaAs/Si, подвергшихся *in situ* циклическому отжигу на различных этапах их выращивания, показало, что повышенное содержание вакансий Ga в высокотемпературных слоях GaAs ведёт к снижению плотности ПД в приповерхностных слоях гетероструктуры.

Полученные GaAs/Si структуры были использованы как искусственные подложки для роста гетероструктур с InAs/AlAs КТ. Гетероструктуры с КТ характеризуются люминесценцией при комнатной температуре в диапазоне длин волн 800-950 нм, сопоставимой по эффективности с аналогичными структурами, выращенными на согласованных GaAs подложках (рис. 1). Таким образом, продемонстрировано, что получаемые нами искусственные GaAs/Si подложки пригодны для выращивания на них светоизлучающих $A^{III}B^V$ гетероструктур.

Литература

- [1] Chen Sun et. al., Nature 528, 534 (2015);
- [2] Д. С. Абрамкин и др. Автометрия 54, 85 (2018);
- [3] C.C. Phua et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 33, L405 (1994);
- [4] M. Yamaguchi et. al., Appl. Phys. Lett. 54 2568 (1989);
- [5] Isao Ohbu et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 31 L1647 (1992).