МЛЭ буферных слоев GaP на Si для формирования квантово-размерных гетероструктур

М.О. Петрушков, М.А. Путято, Б.Р. Семягин, Е.А. Емельянов, Д.С. Абрамкин, А.В. Васев, Д.Б. Богомолов, В.В. Преображенский

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 13, тел: +7 (383) 333-19-67, эл. почта: maikdi@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-113

Интеграция соединений $A^{III}B^V$ в кремниевую технологию требует получения совершенных буферных слоев с малой толщиной (до 1 мкм). Фосфид галлия является перспективным материалом для решения этой задачи. Во-первых, из-за малого несоответствия параметров решетки GaP с Si (около 0.3%). Во-вторых, в квантово-размерных гетероструктурах из узкозонных материалов в широкозонной матрице GaP наблюдается сильная локализация носителей заряда, что обеспечивает высокую температурную стабильность приборов на их основе. Несмотря на хорошее согласование параметров решеток, выращивание GaP на Si с требуемыми характеристиками является нетривиальной задачей. Для ее решения необходимо обеспечить формирование совершенного слоя GaP на Si на начальных этапах роста.

В настоящее время наиболее успешным способом достижения указанной цели является использование методики эпитаксии с повышенной миграцией (ЭПМ) (migration-enhanced epitaxy – MEE). ЭПМ представляет собой поочередное взаимодействие поверхности подложки с потоком молекул III и V групп. Временное отсутствие потока фосфора позволяет адсорбированным на поверхности атомам Ga более длительное время мигрировать по поверхности полупроводника без образования химической связи. Это позволяет формировать на поверхности Si сплошные пленки GaP без перехода в островковый режим роста.

На начальных этапах роста толщина таких слоев должна составлять не менее 100 нм. Это обеспечивает сохранение сплошности пленки и подавление развития рельефа поверхности при дальнейшем росте в обычном режиме МЛЭ. Получение эпитаксиальных слоев такой толщины методом ЭПМ требует значительных временных затрат.

В данной работе предложен модифицированный метод ЭПМ для роста GaP на Si. Главное отличие заключается в том, что на поверхность подложки поток молекул V группы подается постоянно, при этом отношение потоков V/III устанавливается меньше 1. Таким образом, обеспечиваются условия обогащения поверхности атомами третьей группы, что также как и в методе ЭПМ, способствует увеличению длины диффузии атомов Ga по поверхности. Чтобы избежать образования капель Ga, необходимо периодически закрывать заслонку источника галлия и выдерживать поверхность в потоке молекул фосфора, пока весь избыточный Ga не встроится в кристалл. Таким образом, время роста слоя оказывается в несколько раз меньше, чем при ЭПМ.

С использованием предложенной методики были выращены буферные слои GaP на Si толщиной 500 нм и гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ) GaAs в матрице GaP на аналогичных буферных слоях. Для сравнения были выращены такие же структуры на подложках GaP. Образцы исследованы методом низкотемпературной фотолюминесценции (ФЛ).

На рисунке 1 (а) представлены спектры ФЛ слоев GaP, выращенных на подложках GaP и Si (обозначены как «1» и «2», соответственно). В обоих спектрах доминируют полосы донорно-

акцепторной рекомбинации. Интегральная интенсивность ФЛ в слое GaP/Si почти в 500 раз ниже, чем для слоя GaP/GaP, что свидетельствует о высокой концентрации центров безызлучательной рекомбинации в структуре GaP/Si.

На рисунке 1 (б) представлены спектры ФЛ гетероструктур с КЯ GaAs/GaP, выращенными на подложке GaP и буферных слоях GaP на Si. Несмотря на высокую концентрацию центров безызлучательной рекомбинации в слое GaP на Si, интенсивность ФЛ КЯ сравнима с интенсивностью ФЛ аналогичной КЯ, выращенной на подложке GaP, что обусловлено сильной пространственной локализацией носителей заряда в КЯ. Структуры характеризуются высокой эффективностью и температурной стабильностью ФЛ, сравнимой с гетероструктурами, выращенными на согласованных GaP подложках.

Работа выполнена в рамках ГЗ 0306-2016-0011, 0306-2018-0011 и при поддержке гранта РФФИ 18-32-00125.