Исследование начальных стадий роста эпитаксиальных слоев GaSb на подложке Si(001)

Лошкарев И.Д., Петрушков М.О., Емельянов Е.А., Путято М.А., Василенко А.П.,
Есин М.Ю., Васев А.В., Преображенский В.В.

ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

DOI 10.34077/Semicond2019-112

Гетероструктуры на основе соединений $A^{III}B^V$ широко применяются в производстве различных высокоэффективных оптоэлектронных устройств ИК диапазона. Производство таких приборов сдерживается малой доступностью подложек GaSb. В этой связи привлекательной идеей является создание, так называемых, альтернативных подложек GaSb/Si.

При эпитаксии соединений $A^{III}B^V$ на подложках Si имеется целый ряд проблем, которые усложняют технологический процесс. Из-за большого отличия постоянных решеток в системе GaSb/Si сетка дислокаций несоответствия (ДН) формируется при росте первых монослоев. Поэтому от выбора условий зарождения зависит преимущественный тип вводимых дислокаций.

В работе обсуждается влияние различных слоев зарождения на формирование системы дислокаций несоответствия и морфологию поверхности при молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) тонких 50 нм пленок GaSb/Si. В целях подавления формирования антифазных дефектов были использованы подложки Si(001), отклонённые на 6° в направлении (111). Рост всех структур начинался в режиме атомно-слоевой эпитаксии с формирования слоев GaP с ориентациями (001) или (00-1), которые задают ориентацию пленки GaSb. Далее выращивалось 15 монослоев (МС) AlSb (обр. № 2, 3 и 6), либо 5 МС GaSb (обр. № 1, 4 и 5). После чего выращивались слои GaSb толщиной 50 нм методом МЛЭ. Образцы были исследованы методами рентгеновской дифрактометрии высокого разрешения (РДВР) и атомно-силовой микроскопии.

На рис. 1 показано распределение структурных параметров пленок в координатах среднеквадратичная шероховатость поверхности (S_q) - угол разворота кристаллической решетки пленки ψ . На графике можно выделить три группы значений: (1) низкие S_q и относительно малые углы разворота – наблюдается для пленок GaSb с ориентацией (00-1); (2) пленки GaSb с ориентацией (001), зарождающиеся через слои GaP и 15 МС AlSb, имеют средние значения S_q и ψ ; (3) пленки GaSb с ориентацией (001), зарождающиеся через слои GaP и 5 МС GaSb, имеют более высокие значения ψ при более развитом рельефе поверхности. На основании измеренного методом РДВР разворота пленки ψ и степени её релаксации оценено соотношение плотностей фактически сформировавшихся дислокационных семейств. Угол ψ формируется сеткой ДН в границе раздела. Расчет показывает, что для системы GaSb на подложке Si(001) 6° , в предположении полной релаксации посредством исключительно краевых ДН разворот будет равен $+2440$ угл.с. при расстоянии между дислокациями 37.2 Å. Таким образом, можно заключить, что условия зарождения пленок GaSb из группы (3) в наибольшей степени способствуют формированию сетки краевых ДН или сетки комплементарных пар 60° -градусных ДН.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-32-00125 мол_а и ГЗ 0306-2016-0011, 0306-2018-0011.

Рис.1. – Группировка структурных параметров в зависимости от способа зарождения.