Молекулярно-лучевая эпитаксия кремния на подложках GaAs(001) и GaAs(111)B

Путято М.А., Емельянов Е.А., Петрушков М.О., Васев А.В., Преображенский В.В.,
Семягин Б.Р.

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

DOI 10.34077/Semicond2019-126

Тонкие эпитаксиальные слои Si, сформированные на поверхность или в объеме гетероструктур соединений $A^{III}B^V$, способны существенным образом модифицировать их свойства. Так, нанесение нескольких атомных слоев кремния на поверхность наноструктур с квантовыми проволоками AlGaAs/GaAs ведет к значительному увеличению интенсивности фотолюминесценции. Тонкие кремниевые слои также можно использовать как элемент управления зонной структурой гетеросистем на базе соединений $A^{III}B^V$. Кроме того, эпитаксиальные пленки кремния пригодны для формирования защитных масок в технологии выращивания наноструктур методом селективной молекулярно-лучевой эпитаксии.

В представленной работе методом ДБЭО исследовался процесс зарождения и роста тонких (толщиной до 15 атомных слоев) пленок Si на подложках GaAs(001) и GaAs (111)B при МЛЭ. Результаты нашего исследования процесса роста Si на GaAs(001) хорошо согласуются с литературными данными, в то время как по росту кремния на GaAs(111)B нами получены новые экспериментальные факты, не описанные в литературе.

В представленной работе слои кремния выращивались методом МЛЭ с использованием тигельного источника. Зарождение пленок кремния осуществлялось на подложке GaAs(111)B как с реконструкцией (2×2) , так и с реконструкцией $(\sqrt{19} \times \sqrt{19})$. Условия проведения эксперимента в нашей работе отличались от условий, описанных в литературе, диапазоном изменения температуры подложки. В нашем случае она варьировалась от 400°C до 450°C. В процессе зарождения и роста пленки кремния регистрировалось как изменение интенсивности зеркального рефлекса (ИЗР) картины ДБЭО, так и изменение сверхструктурного состояния поверхности.

По мере осаждения кремния реконструкция поверхности подложки $((2 \times 2)$ или $(\sqrt{19} \times \sqrt{19}))$ менялась на реконструкцию (1×1) , которая сохранялась до конца роста. Релаксация растущего слоя кремния начиналась после осаждения $\sim 3 - 4$ атомных слоев. Переход пленки от псевдоморфного состояния к релаксированному сопровождался изменением расстояния между линейными рефлексами картины ДБЭО. Обнаружено, что в рассмотренных условиях релаксация растущей пленки не ведет к развитию трехмерного рельефа, даже при толщинах в несколько раз превышающих толщину псевдоморфности.

В процессе роста пленки кремния наблюдались осцилляции ИЗР ДБЭО, которые сохранялись на протяжении почти всего роста (до 10 атомных слоев). Согласно литературным данным при МЛЭ Si на GaAs(111)B осцилляции ИЗР ДБЭО затухают после выращивания 3 монослоев. Наличие осцилляций ИЗР свидетельствует о двумерно-островковом механизме роста пленки. Осциллограмма имеет два участка, отличающихся периодом осцилляций. На начальном этапе роста, когда пленка растет псевдоморфной, период осцилляций ИЗР соответствует времени осаждения одного атомного слоя кремния. При релаксации растущей пленки период осцилляций меняется, увеличиваясь вдвое. Данный эффект ранее ни кем не отмечался.

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