Формирования InAs островков на поверхности InP(001) при высокотемпературном отжиге в потоке мышьяка

Д.А. Колосовский, Д.В. Дмитриев, С.А. Пономарев, А.И. Торопов, К.С. Журавлев

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, Новосибирск, 630090, Лаврентьева 13

тел: +7 (913) 954-5584, эл. почта: danil-ak@yandex.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-98

Подложки InP(001) используют для создания гетероэпитаксиальных структур (ГЭС), на основе которых изготавливают транзисторы с высокой подвижностью электронов, лазеры, электрооптические модуляторы и фотодиоды [1]. Рост гетероструктуры начинается с удаления аморфного окисного слоя подложки. Обычно окисный слой на подложке InP удаляют высокотемпературным отжигом в потоке As. Однако в процессе отжига происходит изменение элементного состава поверхности подложки с образованием твердого раствора InPAs и островков InAs [2, 3]. Решеточное рассогласование между InP и InAs приводит к возникновению напряжений и центрам зарождения дефектов в ГЭС [4], что влечет изменения в начальных этапах зародышеобразования и последующих процессах эпитаксиального роста. Поэтому целью работы является исследование процесса формирования InAs островков на поверхности InP(001) в процессе высокотемпературного отжига в потоке мышьяка.

В работе использовались *epi-ready* подложки InP(001) фирмы АХТ. Отжиг проводился в ростовой камере установки молекулярно-лучевой эпитаксии Riber Compact 21T. Температура отжига варьировалась от 480-540 °С, а поток мышьяка изменялся от 8×10^{-6} Торр до 2.5×10^{-5} Торр. Отжиг завершался формированием структуры (4×2) на дифракционной картине. Морфологию поверхности образцов исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на микроскопе Solver Smena-P47H.

В работе наблюдается экспоненциальный рост плотности InAs островков от 4.4×10^7 см⁻² до 1.8×10^8 см⁻² при повышении температуры отжига и потока мышьяка. Островки вытянуты вдоль направления $[1 \ \bar{1} \ 0]$ и имеют латеральный размер от 65 нм до 130 нм вдоль этого направления. Латеральный размер InAs островков вдоль направления $[1 \ 1 \ 0]$ составляет от 40 нм до 90 нм. Суммарная площадь поверхности, занимаемая InAs островками, не превышает 1.5% от площади подложки. Повышение температуры отжига приводит к более равномерному распределению InAs островков по поверхности. Наименьшая плотность островков и занимаемая ими площадь наблюдались при температуре отжига 480 °С и потоке мышьяка 8×10^{-6} Торр.

Причиной появления этих островков является десорбция фосфора и сегрегация индия т.к. температура отжига подложки выше температуры диссоциации поверхности InP [5]. В результате на поверхности образуются избыточная концентрация адатомов индия, которые мигрируют по поверхности. В изломе моноатомной ступени наименьшая энергия связи и встраивание в излом адатомов, находящихся на расстоянии длины диффузии от излома моноатомной ступени, наиболее вероятно [6]. В итоге в изломе моноатомной ступени встраиваются адатомы индия и мышьяка, в потоке которого происходит процесс отжига. В результате образуется InAs зародыш, который разрастается.

В работе экспериментально получены условия отжига подложки InP(001) с наименьшей плотностью островков, что позволяет выращивать ГЭС для СВЧ фотодиодов и электрооптических модуляторов Маха-Цендера с минимальной плотностью дефектов.

АСМ исследования проводились на оборудовании ЦКП наноструктуры.

Литература

- [1] Jesus A. del Alamo // Nature. 2011. V 479. P.317-323.
- [2] Д.В. Дмитриев и др. // ФТП. 2021. Т. 55, вып. 10. С. 877-881.
- [3] D.V. Dmitriev et al. // Surface Science. 2021. V. 710. P. 121861.
- [4] F. Peiro et al. // Applied Surface Science. 1993. V. 65. P. 447-454
- [5] S. Kanjanachuchai et al. // Applied Surface Science. 2021. V. 542. P. 148549.
- [6] W. K. Burton et al. // Phil. Trans. Roy. Soc. 1951. V 243, P 299.