Влияние условий отжига подложки (001)InP в потоке As на качество эпитаксиальных слоёв InAlAs

Д.В. Дмитриев, А.И. Торопов, А.М. Гилинский, Д.А. Колосовский, Т.А. Гаврилова, А.С. Кожухов,
К.С. Журавлёв

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,

Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

тел: (383)330-69-45, факс: (383)333-27-71, эл. почта: ddmitriev@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-102

В работе показана зависимость плотности структурных дефектов в решёточно-согласованных слоях InAlAs от условий отжига подложки (001)InP в потоке As. Отработана технология отжига, на основе которой синтезированы структуры мощных СВЧ фотодиодов и модуляторов.

Гетероструктуры на основе слоев InAlAs решёточно-согласованных с подложкой (001)InP, в настоящее время привлекают большое внимание исследователей из-за применения в широком спектре современных приборов[1]. Характеристики приборов напрямую зависят от качества гетероэпитаксиальных слоёв [2]. В работе показана зависимость плотности структурных дефектов в решёточно-согласованных слоях InAlAs от условий отжига подложки InP в потоке As.

Образцы выращены методом МЛЭ на установке Riber Compact-21T, оснащенной с системой дифракции быстрых электронов на отражении. Для роста использовались полуизолирующие легированные Fe (001) InP подложки фирмы AXT.

Подложки отжигались в широком диапазоне температур 500-560°C, для удаления окисного слоя до появления сверхструктуры (4x2). Отжиг проводился в потоке мышьяка, препятствующем разложению подложки и образованию индиевых капель. Поток мышьяка варьировался в широком диапазоне (0.5-7)*10⁻⁵ Торр. В процессе отжига происходит замещение атомов фосфора атомами мышьяка и на поверхности подложки образуется слой InAs. Методом сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) в режиме энергодисперсионной спектроскопии (EDS) было показано, что этот слой может достигать нескольких нанометров, в зависимости от условий отжига. Постоянная кристаллической решётки InP составляет 5.869Å, тогда как InAs 6.058Å. Такая существенная разница приводит к решёточному рассогласованию на начальных этапах роста слоёв InAlAs и возникновению напряжений, которые релаксируют в виде прорастающих дислокаций. На АСМ картинах поверхности наблюдаются структурные дефекты в виде ямок сформированные комплексами дислокаций. Плотность ямок на поверхности слоя InAlAs увеличивается с увеличением толщины слоя InAs на гетерогранице слой/подложка, и может достигать 10⁻⁹ см². Толщина слоя InAs зависит от температуры отжига и времени экспозиции подложки в потоке мышьяка. В работе экспериментально полученные оптимальные условия отжига: температура подложки <520°C, эквивалентный поток мышьяка <1,6х10⁻⁵Торр, время экспозиции при формировании сверхструктуры (4x2) <30 секунд. При этих условиях с поверхности удаляются окислы, но не формируется существенный слой InAs, что позволяет синтезировать высококачественные слои InAlAs для оптоэлектронных приборов. Нами были получены мощные СВЧ фотодиоды 1.55 мкм спектрального диапазона, с частотами до 40ГГц, а также продемонстрированы гетероэпитаксиальные структуры для модуляторов.

АСМ и СЭМ исследования проводились на оборудовании ЦКП «Наноструктуры».

Литература

- [1] X. Meng, C.H. Tan, S. Dimler, J.PR David, J.S. Ng, Optics Express vol. 22, iss. 19, p.22608. (2014).
- [2] I.B. Chistokhin, M.S. Aksenov, N.A. Valisheva, D.V. Dmitriev, A.P. Kovchavtsev, A.K. Gutakovskii, I.P. Prosvirin, K.S. Zhuravlev, Materials Science in Semiconductor Processing 74, 193 (2018).