

Механизм ускорения нитридации сапфира быстрыми электронами

Милахин Д.С., Малин Т.В., Мансуров В.Г., Галицын Ю.Г., Журавлев К.С.

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

Процесс нитридации является основополагающей стадией формирования АЗ-нитридов на подложке сапфира, определяющей уровень качества последующих кристаллических эпитаксиальных слоев. Данный процесс представляет собой экспонирование нагретой подложки в потоке аммиака, используемого в качестве источника активного азота, с последующим образованием 1-2 ML кристаллического AlN.

Нагрев подложки в ростовой камере осуществляется посредством теплового излучения от нагревателя, в результате чего образуется реконструкция поверхности (1x1). При нагреве до температуры 1150 °C происходит реконструкционный переход (1x1) - $(\sqrt{31} \times \sqrt{31}) R \pm 9^\circ$. Реконструированная $(\sqrt{31} \times \sqrt{31}) R \pm 9^\circ$ поверхность сапфира характеризуется пониженным по сравнению с объемом количеством атомов кислорода и содержит большое количество атомов алюминия. В работе [1] было предположено, что реконструированная поверхность $(\sqrt{31} \times \sqrt{31}) R \pm 9^\circ$, обогащенная атомами алюминия, будет активно взаимодействовать с атомами азота, поступающего на поверхность в процессе нитридации. Однако в работе [2] экспериментальным путем было показано, что происходит лишь частичное восстановление алюминия до металлического состояния и кристаллическая фаза AlN не образуется.

В процессе исследования реконструированной $(\sqrt{31} \times \sqrt{31}) R \pm 9^\circ$ поверхности сапфира методом дифракции быстрых электронов на отражение нами было обнаружено, что при непрерывном воздействии пучком электронов высоких энергий 11 кэВ, используемых в данном методе, происходит обратный реконструкционный переход $(\sqrt{31} \times \sqrt{31}) R \pm 9^\circ$ - (1x1) и поверхность успешно нитридуется исключительно в области воздействия пучка. В связи с этим была поставлена цель – изучить механизмы влияния пучка электронов высоких энергий на начальную стадию эпитаксии АЗ-нитридов и определить оптимальные параметры нитридации в его отсутствие.

На основании анализа полученных экспериментальных данных и расчетов был сделан вывод, что в процессе электронного возбуждения поверхностных атомов кислорода, пучок инициирует электронно-стимулированную десорбцию кислорода ускоряя, тем самым, процесс нитридации вглубь подложки сапфира в несколько раз за счет увеличения количества активных атомов алюминия.

С учетом влияния пучка электронов высоких энергий, было определено корректное время нитридации сапфира и значительно повышено структурное качество буферного слоя AlN. В пленках AlN понизилась плотность инверсионных доменов и плотность дислокаций. Работа поддержана РФФИ (грант № 17-02-00947, № 16-02-00018).

[1] B. Agnarsson, M. Gotherid, S. Olafsson, H.P. Gislason, U.O. Karlsson. *J. Appl. Phys.*, 101, 013 519 (2007).

[2] Милахин Д.С., Малин Т.В., Мансуров В.Г., Галицын Ю.Г. и Журавлев К.С., *Физика и техника полупроводников*, 49, 925-931(2015).