Заращение N-полярных инверсионных доменов из буферных слоев AlN в процессе роста слоев AlGa_xN

Осинных И.В.¹, Малин Т.В.¹, Журавлев К.С.¹, Бер Б.Я.², Казанцев Д.Ю.²

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, 633090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

DOI 10.34077/Semicond2019-332

Нитриды металлов III группы AlN и GaN и их твердые растворы Al_xGa_{1-x}N являются прямозонными полупроводниками, обладающими уникальными свойствами и интенсивно исследующимися с целью создания оптоэлектронных и СВЧ мощных высокотемпературных приборов на их основе. Полярность материала (металлическая или азотная) сильно влияет на их физические свойства из-за наличия пирозлектрических и пьезоэлектрических полей в напряженных эпитаксиальных слоях. По этой причине контроль полярности эпитаксиальных слоев Al_xGa_{1-x}N является важной задачей. Полярность формируется условиями в начале роста, при неоптимальных условиях в матрице нужной полярности возникают инверсионные домены (ИД) с противоположной полярностью. Эти дефекты в эпитаксиальных слоях могут прорасти до поверхности всей структуры [1]. Рост буферных слоев AlN на нитридизованных сапфировых подложках в условиях обогащения Al позволяет формировать слои металлической полярности, однако возможно формирование N-полярных ИД [2]. В рамках данной работы было исследовано заращение N-полярных инверсионных доменов из буферных слоев AlN в процессе роста слоев Al_xGa_{1-x}N.

Была выращена серия слоев Al_xGa_{1-x}N, сильно легированных кремнием, методом молекулярно-лучевой эпитаксии из аммиака на установке фирмы Riber CBE-32. Сапфировые подложки нитридизовались в потоке аммиака, после чего на нитридизованную подложку сапфира наносились 2 монослоя металлического алюминия, далее выращивался буферный слой AlN толщиной ~ 200 нм и на заключительном этапе исследуемые слои Al_xGa_{1-x}N толщиной ~ 500 нм. Содержание алюминия (x) в слоях менялось от 0 до 0.7. Морфология поверхности была исследована методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Концентрации атомов кремния и фоновых примесей – кислорода, углерода измерялись методом динамической вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) с использованием вторично-ионного микрозонда CAMECA IMS 7f.

На АСМ изображениях поверхности буферных слоев AlN видны N-полярные инверсионные домены (ИД) высотой 30-50 нм, занимающие около 25% площади поверхности, N-полярная природа подтверждается их травлением в растворе КОН. Поверхность Al_xGa_{1-x}N имеет блочную структуру, однако блоки имеют металлическую полярность, это означает, что N-полярные ИД зарастают в процессе роста Al_xGa_{1-x}N. Известно, что концентрация атомов О существенно отличается для Al_xGa_{1-x}N различной полярности: в N-полярных слоях GaN концентрация кислорода более чем на порядок выше, чем в Ga-полярном материале, что отображается на экспериментальном профиле распределения для фоновой примеси кислорода, полученном методом ВИМС и позволяет оценить толщину переходного слоя, в котором зарастают ИД. Профили распределения для кислорода и алюминия находятся на примерно одинаковой глубине, что означает быструю смену полярности N-полярных ИД на металлическую полярность. Предположительно при начале роста Al_xGa_{1-x}N происходит образование металлического бислоя на поверхности ИД, что приводит к перевороту полярности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №18-52-00008, 17-02-00947).

[1] A.V. Tikhonov et al., *J. Cryst. Growth*, **338**, 30, (2012).

[2] T.V. Malin, D.S. Milakhin, V.G. Mansurov, et al., *Semiconductors*, **52**, 789, (2018).