

# Формирование буферных слоев с помощью анодного оксида алюминия на Si для эпитаксиального роста тринитридов

Г.Г. Горох\*, П.В. Деминский, А.А. Лозовенко, А.И. Захлебаева

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, П. Бровки, 6, Минск, Беларусь, 220013.

\*gorokh@bsuir.by

Предложено две модели формирования темплетно-буферной системы для последующего синтеза на ней низкодефектных эпитаксиальных слоев тринитридов. Первая представляет модифицированную матрицу анодного оксида алюминия (АОА) с синтезированными в порах три нитридными наноструктурами заданного размера. Другая — систему регулярных нанодоверстий на поверхности кремниевых подложек, создаваемых травлением через тонкие маски из АОА, в которых синтезируются наноструктуры нитрида галлия. Определены оптимальные геометрические параметры матричных слоев (радиус и высота пор) для формирования нового бездислокационного эпитаксиального слоя, оптимальные условия селективного эпитаксиального синтеза наночастиц GaN. Исследованы морфология и микроструктура буферных слоев, а также спектры люминесценции эпитаксиального слоев.

## Введение

Большое различие постоянных решетки (17%) и коэффициентов термического расширения (33%) нитрида галлия и кремния являются причиной возникновения высокой плотности дефектов различной природы в эпитаксиальном слое нитрида галлия при непосредственном выращивании его на кремнии [1,2]. Ключ находится в разработке буферов, которые обеспечивают разделение эпитаксиального слоя на границе с подложкой, не нарушая его и не приводя к растрескиванию пластин [3]. В настоящей работе предлагается в качестве буфера применять модифицированные матрицы анодного оксида алюминия (АОА) с синтезированными в порах полупроводниковыми соединениями  $A^{III}B^V$ , на поверхности которых выращены однотипные эпитаксиальные слои.

## Буферные слои на основе матриц АОА с синтезированными в порах тринитридами

Последовательность технологических операций формирования темплетно-буферных слоев на основе матриц АОА на поверхности кремниевых пластин схематически представлена на рисунке 1. Процесс состоит из операций нанесения слоя алюминия на поверхность пластины, двухстадийного электрохимического анодирования его при условиях, обеспечивающих формирование пористой матрицы из АОА заданной толщины, с размерами пор менее 50 нм и удаленным барьерным слоем, заполнения пор матрицы АОА нитридом галлия

методом гидридной газофазной эпитаксии. После формирования наноструктур GaN в порах АОА с его поверхности удаляют внешний слой GaN методом плазмохимического травления, и проводят повторный двухстадийный синтез нитрида галлия на сглаженной поверхности.

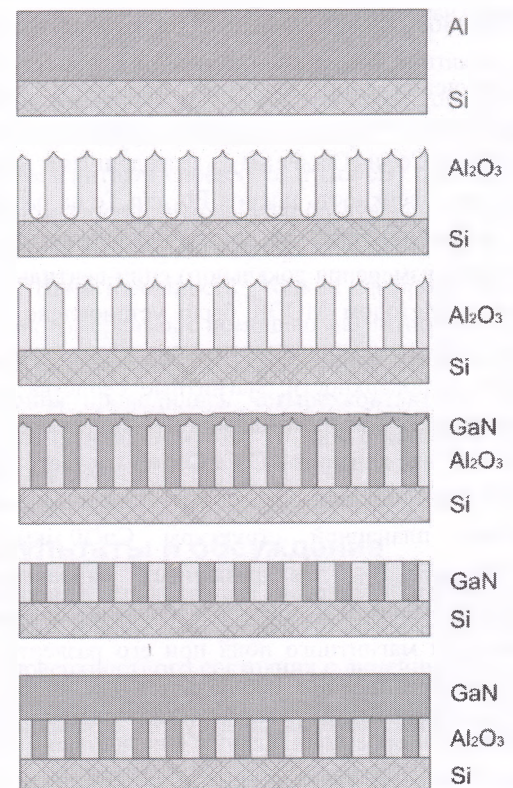


Рис. 1. Схематическое изображение последовательности процесса формирования буферного слоя на кремниевой пластине на основе матрицы АОА



Определены оптимальные геометрические параметры матричных слоев (радиус и высота пор) для формирования нового бездислокационного эпитаксиального слоя III-нитридов на кремнии. Эти параметры определены для степени несогласования решеток ( $\Delta\epsilon = 1.69\%$ ) исходя из рассчитанных с помощью трехмерного моделирования кривых условно бездислокационного рельефа. Оптимальным диаметром пор АООА при  $\Delta\epsilon = 1.69\%$  является 49,1 нм при высоте от 50 до 300 нм.

Определены оптимальные условия селективного эпитаксиального синтеза наночастиц GaN методом гидридной газофазной эпитаксии в двухстадийном режиме. Сначала на подложке при температуре 550°C создавали тонкий зародышевый слой из GaN толщиной ~ 30 нм, после чего резко поднимали температуру до 1000°C и проводили отжиг зародышевого слоя. Затем в потоке чистого аммиака при температуре около 1050°C проводили высокотемпературный синтез наноструктур GaN в порах АООА. Скорость потока газа-носителя (азота) составляла 1000 см<sup>3</sup>/мин, а потока HCl через источник галлия – 17 см<sup>3</sup>/мин. Время процесса эпитаксии варьировали от 30 до 120 мин. Путем подбора соотношения этих скоростей, при которых происходило равномерное и последовательное зарастание пор от кремния на дне до поверхности оксида, были определены оптимальные режимы синтеза наноструктур GaN в матрицах АООА. Определена оптимальная морфология и микроструктура буферных слоев.

### Буферные слои на основе матриц регулярных нанотверстий на поверхности кремниевых подложек

Вторая модель темплетно-буферных слоев (рисунок 2) представляет собой массив регулярных нанопор на поверхности кремния, сформированный методом ПХТ через маски из модифицированного АООА. Основная задача состояла в подборе маски с требуемой микрогеометрией, обеспечивающей формирование в SiO<sub>2</sub> на поверхности кремния нанопор с заданным размером пор и требуемой глубиной. Формирование три нитридных наноструктур осуществляли методом селективного атомного наслаивания GaN в отверстиях в SiO<sub>2</sub> и кремнии. Затем проводили ПХТ GaN до поверхности SiO<sub>2</sub>, формируя планаризованную поверхность, на которой выращивали эпитаксиальный слой GaN. Полученные матрицы отверстий были использованы для последующего эпитаксиального роста нитрида галлия.

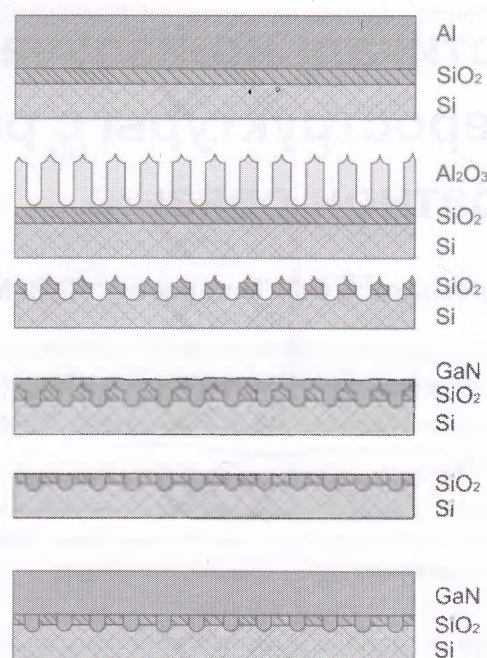


Рис. 2. Схематическое изображение последовательности процесса формирования буферного слоя на основе матриц регулярных нанотверстий на кремниевой пластине

Низкая размерность наноструктур и использование низкотемпературного буферного слоя GaN позволило минимизировать плотность структурных дефектов. Рентгеноструктурный анализ показал, что полученные эпитаксиальные слои GaN, являются монокристаллическими с неполярной *a*-ориентацией, на дифрактограммах обнаружен единственный рефлекс при  $2\theta = 57,77^\circ$ , что очень близко к рефлексу от кристаллографических плоскостей. Полуширина двукристаллической рентгеновской линии составила ~ 450 arcsec, что свидетельствует об относительно низкой плотности дефектов кристаллической структуры и связанных с ними дислокаций. Такие темплетно-буферные системы способны обеспечить согласование решеток и способствуют формированию низкодефектных эпитаксиальных слоев на кремниевых подложках.

### Литература

1. A.Y. Polyakov, A.V. Markov, G.G. Gorokh, *et al.* // Applied Physics Letters, 94(2), 022114 (2009).
2. G.G. Gorokh, D.V. Solovej, V.A. Labunov *et al.* // Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies, V. 9, Iss. 4, 913 (2011).
3. G. Gorokh, V. Osinsky, D. Solovej *et al.* // Proc. of 20th Int. "Microwave & Telecommunication Technology". – V.2, 789 (2010)