Управление генерацией и релаксацией упругих напряжений в AlN/c-Al₂O₃ темплейтах, выращиваемых методом плазменно-активированной МПЭ

О.А. Кошелев¹⁾, Д.В. Нечаев¹⁾, В.В. Ратников¹⁾, С.В. Иванов¹⁾, В.Н. Жмерик¹⁾

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая, 26

тел: +7 (812) 297-2245, факс: +7 (812) 297-1017, эл. почта: etukoshelevoa@gmail.com

DOI 10.34077/RCSP2019-27

Для изготовления большинства оптоэлектронных и сверхвысокочастотных приборов на основе AlN соединений используются темплейты AlN на подложках c-Al₂O₃ с высокой термической, радиационной и химической стойкостью, а также относительно низкой стоимостью. Однако высокое рассогласование решетки (13%) этих подложек с AlN слоями неизбежно приводит к генерации прорастающих дислокаций (ПД) с начальной плотностью $>10^{10}$ см⁻². Кроме того, выращенные AlN темплейты могут иметь высокие растягивающие напряжения (>1 ГПа), что при характерных толщинах темплейта >1 мкм приводит к их растрескиванию. В данной работе рассматриваются процессы генерации и релаксации упругих напряжений на различных стадиях роста AlN темплейтов с помощью плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксии (ПА МПЭ), а также возможность их контроля с помощью варьирования режимов роста зародышевых слоев (ЗС) AlN.

Рисунок 1 – Зависимости *напряжение×толщина* от *толщины* полученные с помощью МОИН для образцов А (а), В (б) и С (с). Пунктирной линией отмечено поведение среднего напряжения в слое.

Темплейты AlN, выращенные ПА МПЭ на подложках c-Al₂O₃ при температуре 780-850°C, представляли собой ЗС AlN толщиной 60 нм, поверх которых выращивались буферные слои (БС) AlN максимальной толщиной ~2 мкм. Для роста ЗС AlN использовались либо непрерывный 3D-режим роста с соотношением III/N ~ 0.6 (образец А), либо эпитаксия с повышенной миграцией (ЭПМ) [1] (образцы В и С) с варьированием времен подачи импульсов Al и N. БС в образцах А, В, С выращивались в режиме металл-модулированной эпитаксии (ММЭ) [2] при соотношении потоков III/N 1.3, 1.05, 1.3 соответственно. Процессы генерации и релаксации упругих напряжений контролировались *in situ* с помощью разработанного многолучевого оптического измерителя напряжений (МОИН).

Из представленных на Рис. 1 зависимостей *напряжение×толщина* от *толщины* для образцов А, В и С следует, что знак и величина напряжений в темплейтах определяются, в первую очередь, условиями роста ЗС AlN. В докладе будут рассмотрены особенности генерации напряжений в AlN темплейтах на различных стадиях роста с учетом процессов коалесценции зародышевых и ростовых зерен AlN, а также встраивания избыточного металла (Al) в межзеренные границы. Кроме того, будут обсуждены основные способы снижения плотности ПД за счет увеличения диаметра зародышевых зерен, приводящего к снижению генерации дислокаций в ЗС на межзеренных границах, а также роста БС в переходном 2D-3D режиме, при котором наблюдается усиление междислокационного взаимодействия.

В заключение, будут сформулированы основные условия достижения полностью релаксированного или упруго-сжатого роста AlN темплейтов на подложках c-Al₂O₃ с концентрацией винтовых и краевых ПД не более 5×10^8 см⁻² и 5×10^9 см⁻², соответственно.

Литература

- [1] Д.В. Нечаев и др. // J. Crystal Growth, 2013, Т. 378, С. 319-322.
- [2] В. Н. Жмерик и др. // J. Cryst. Growth, 2012, Т. 354, С. 188-192.