

Влияние состава рабочего газа на структурные свойства тонких пленок титаната стронция для СВЧ применения

А. Богдан, Е.Н. Сапего, А.В. Тумаркин, А.Р. Карамов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: Представлены результаты исследования сегнетоэлектрических тонких пленок SrTiO_3 , полученных методом магнетронного ВЧ распыления при различных технологических параметрах на подложках сапфира и поликора. Результаты исследования влияния состава рабочего газа на структурные свойства и морфологию поверхности тонких пленок SrTiO_3 говорят о их перспективности их применения в СВЧ диапазоне.

Ключевые слова: сегнетоэлектрические пленки, магнетронное распыление, титанат стронция.

1. Введение

Тонкие сегнетоэлектрические (СЭ) пленки представляют особый интерес для применения в сверхвысокочастотных (СВЧ) устройствах наряду с полупроводниками и ферритами, демонстрируя сравнительно лучшие характеристики, такие как: высокая управляемость, низкие диэлектрические потери и высокое быстродействие [1]. Одним из наиболее перспективных материалов является титанат стронция (SrTiO_3 , STO), обладающий хорошей температурной стабильностью, относительно низкими потерями и высокой нелинейностью диэлектрической проницаемости [2].

Для достижения оптимальных и однородных характеристик управляемости и потерь в пленочных сегнетоэлектрических материалах, применяемых в СВЧ устройствах, критически важна высокая структурная упорядоченность по направлениям роста. Ключевую роль в формировании таких структур и обеспечении высокой добротности конечного устройства играет подложка. В качестве оптимальных подложек для СВЧ применений выделяются поликор и сапфир (г-срез) благодаря их низким потерям, хорошей теплопроводности, стабильной диэлектрической проницаемости и доступной стоимости. Целью данной работы является исследование влияния состава рабочего газа на кристаллическую структуру и качество поверхности тонких пленок титаната стронция, выращенных на диэлектрических подложках из оксида алюминия.

Исследуемые в работе пленки были получены методом ВЧ-магнетронного распыления керамической мишени STO. Осаждение происходило в атмосфере рабочего газа Ar/O_2 с изменяемым соотношением компонентов при давлении 6 Па. Температура подложки во время процесса поддерживалась на постоянном уровне резистивным нагревателем и составляла 900°C . После осаждения пленки охлаждались в атмосфере рабочего газа со скоростью $2\text{--}3^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Кристаллическая структура и фазовый состав полученных пленок исследовались методом рентгеновской дифракции с помощью дифрактометра ДРОН-6 (излучение $\text{CuK}\alpha 1$). Структура поверхности исследовалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в полуконтактном режиме с использованием кантилеверных зондов средней жесткости (частота свободного резонанса $200\text{--}300\text{ кГц}$), размеры сканируемой области – $15 \times 15\text{ мкм}$.

Рентгенофазный анализ тонких пленок STO, полученных на диэлектрических подложках при варьировании состава газовой смеси Ar/O_2 от 10/90 до 90/10

демонстрирует образование ($h00$) ориентированных структур во всем диапазоне составов рабочего газа. С увеличением пропорции Ar в смеси наблюдается улучшение кристаллической структуры, характеризующееся увеличением интенсивности рефлекса (200), а также уменьшением механических напряжений в пленке. Максимум интенсивности достигается при использовании смеси газов 90/10. Сравнительный анализ дифракционных пиков свидетельствует о формировании на поликоровых подложках более упорядоченной структуры плёнок STO, по сравнению с сапфировыми, что проявляется в уменьшении полуширины дифракционного пика. Исключениями из монотонно возрастающего ряда интенсивностей рентгеновских рефлексов составляют пленки, полученные в чистых газах (кислороде или аргоне), отличающиеся поликристаллическостью структуры и наличием вторичных фаз при используемых технологических параметрах.

Анализ поверхности пленок STO на подложках поликора показывает значительное изменение размера зерна и шероховатости покрытия с увеличением объемной доли аргона в смеси рабочего газа. Для составов $Ar/O_2 = 20/80$ и $80/20$ фиксируется уменьшение размера зерна с 0,3 мкм до 0,12 мкм, а также уменьшение шероховатости поверхности в масштабах 30%.

Таким образом, формирование наименее напряженных ($h00$) высокоориентированных пленок титаната стронция на сапфире и поликоре происходит при использовании смеси рабочего газа Ar/O_2 с соотношением 90/10. Увеличение количества аргона в смеси приводит к уменьшению дефектности структуры, среднего размера зерна и среднеквадратичной шероховатости, что открывает новые перспективы использования пленок титаната стронция в СВЧ-устройствах.

Исследование выполнено за счет **Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта (проект № FSEE-2025-0010).**

Список литературы

1. Вендик О. Г., Козырев А. Б. Применение сегнетоэлектриков в антеннах с электронным сканированием //Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2005. – №. 1. – С. 20-23.
2. Martin L. W., Rappe A. M. Thin-film ferroelectric materials and their applications //Nature Reviews Materials. – 2016. – Т. 2. – №. 2. – С. 1-14.