

Структурные и диэлектрические свойства тонких пленок $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, осажденных на подложку из полуизолирующего карбида кремния, в сверхвысокочастотном диапазоне.

А.Р. Карамов, А.В. Тумаркин, А.Г. Гагарин, А. Богдан, Е.Н. Сапего, П.И. Цуцаева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: Тонкие пленки $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BST) выращены на подложке полуизолирующего карбида кремния методом высокочастотного магнетронного распыления. Представлены результаты исследования структуры полученных пленок, а также электрофизических характеристик планарных конденсаторов на их основе в сверхвысокочастотном диапазоне. Полученные конденсаторы характеризуются низкими диэлектрическими потерями и высокой управляемостью.

Ключевые слова: сегнетоэлектрические пленки, титанат бария-стронция, карбид кремния, СВЧ применения

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к сегнетоэлектрикам (СЭ) как к материалу для применения в сверхвысокочастотной (СВЧ) электронике. Данное внимание обусловлено специфическими свойствами СЭ, такими как: высокое значение диэлектрической проницаемости, электрическая нелинейность, относительно низкие потери в СВЧ диапазоне [1].

Использование сегнетоэлектрических материалов в пленочном исполнении обеспечивает ряд преимуществ, в частности: меньшие габариты конечного устройства, большее быстродействие пленок по сравнению с объемным материалом, а также возможность использования низкого управляющего напряжения. На основе сегнетоэлектрических пленок разработаны перестраиваемые фильтры [2], вариконды [3], фазовращатели [4], используемые для работы в СВЧ диапазоне. Одним из ключевых преимуществ устройств на основе СЭ пленок является возможность работать при более высоких мощностях [5]. Однако, необходимо отметить, что важным ограничивающим фактором работы СЭ устройства при высоких мощностях является перегрев рабочей области конденсатора [5]. Данная проблема может быть решена использованием подложек с высоким коэффициентом теплопроводности, например, полуизолирующего карбида кремния. В случае успешного формирования сегнетоэлектрических пленок высокого структурного совершенства на карбиде кремния (что, судя по литературным данным, является нетривиальной задачей) появляется возможность реализации СЭ СВЧ устройств с рекордными уровнями рабочей мощности в СВЧ диапазоне.

В связи с этим, целью данной работы являлось исследование структурных и диэлектрических свойств тонких пленок $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, осажденных на подложку из полуизолирующего карбида кремния.

В качестве подложки использовался карбид кремния политаипа 6Н качества “*epiready*”. Данные подложки изготавливались из монокристаллических слитков, выращенных методом газофазного транспорта и осаждения на установках, реализованных на ЗАО “Светлана-Электронприбор”. Подложки обладали удельным сопротивлением, равным $2.7 \cdot 10^{11} \Omega \cdot \text{см}$, потери на частоте 6 ГГц составляли $\sim 10^{-4}$, шероховатость поверхности – меньше 1 нм.

Пленки BST осаждались методом высокочастотного магнетронного распыления

керамической мишени состава $Ba_{0.4}Sr_{0.6}TiO_3$. Температура подложки варьировалась в диапазоне от 700 до 880°C. Осаждение пленок осуществлялось в атмосфере чистого кислорода при давлении 2 Па. Для части образцов применялся промежуточный отжиг слоев в процессе роста пленки, когда после формирования слоя определенной толщины проводился его отжиг при выключенном разряде.

Кристаллическую структуру пленок исследовали методом рентгеновской дифракции с использованием дифрактометра DRON-6 ("Буревестник" Санкт-Петербург, Россия) Рентгено-дифракционный анализ показал, что качество кристаллической решетки и фазовый состав полученных пленок зависят от температуры осаждения; наилучшими структурными характеристиками (преимущественная ориентация (100) и отсутствие вторичных фаз) обладают пленки, осажденные при температуре подложки 880°C с применением промежуточного отжига.

На основе полученных пленок реализованы планарные конденсаторы. Металлизация наносилась на сегнетоэлектрические пленки методом термического осаждения. В качестве материала электрода использовалась медь с подслоем хрома. Конденсаторы на основе BST пленок, подвергнутых промежуточному отжигу, демонстрировали низкие диэлектрические потери порядка 0,02 и высокую диэлектрическую нелинейность – изменение емкости составляло 2,3 раза на частоте 2 ГГц.

Данная работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта № 075-01438-22-07 - FSEE-2022-0015.

Список литературы

1. Вендик О. Г. (ред.). Сегнетоэлектрики в технике СВЧ. – Сов. радио, 1979.
2. Luo C. et al. Effect of electric field on the dielectric properties of the Barium Strontium Titanate film // Journal of Alloys and Compounds. – 2016. – Т. 687. – С. 458-462.
3. Tumarkin A. et al. Ferroelectric varactor on diamond for elevated power microwave applications // IEEE Electron Device Letters. – 2016. – Т. 37. – №. 6. – С. 762-765.
4. Kozyrev A. B. et al. A finline 60-GHz phase shifter based on a (Ba, Sr) TiO_3 ferroelectric thin film // Technical Physics Letters. – 2002. – Т. 28. – №. 3. – С. 239-241.
5. Soldatenkov O. et al Nonlinear properties of thin ferroelectric film-based capacitors at elevated microwave power // Appl. Phys. Lett. 2006. V. 89. P. 232901.
6. Верма А. Р., Кришна П. Полиморфизм и политипизм в кристаллах. – Мир, 1969.