

**Фирсенков А.И.², Велькин Д.В.², Сквородников С.В.²,
Мироненко И.Г.¹, Иванов А.А.^{1,2}, Чернявский А.М.^{1,2}, Буслов О.Ю.^{1,2}**

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ»

²ОАО «Завод Магнетон»

Электрически управляемые сэндвич-конденсаторы на многослойных сегнетоэлектрических плёнках

Публикация рассматривает конденсаторы с сэндвич-структурой на основе тонких сегнетоэлектрических многослойных плёнок с температурной стабилизацией электрических характеристик. Представлены результаты создания таких конденсаторов в виде экспериментальных зависимостей ёмкости и диэлектрических потерь от управляющего напряжения и температуры.

Ключевые слова: тонкие плёнки, сэндвич-конденсаторы, сегнетоэлектрики, вариконд, температурная стабильность, титанат бария-стронция.

Введение

На сегодняшний день в технике сверхвысоких частот растут требования к размерам, надёжности и энергопотреблению элементов систем, а также существует спрос на устройства с электрически управляемыми характеристиками. Этим требованиям удовлетворяют СВЧ-элементы на основе тонких сегнетоэлектрических плёнок, в том числе многослойных. Возможность управлять параметрами таких устройств появляется благодаря их свойству менять свою диэлектрическую проницаемость в параэлектрической фазе под воздействием внешнего электрического поля, которое наблюдается в широком частотном диапазоне, включающем СВЧ. Традиционно основными минусами таких элементов считается сильная температурная зависимость их электрических параметров и высокие управляющие напряжения, необходимые для обеспечения высоких значений управляемости. Сильная температурная зависимость определяется материалом, а высокие управляющие напряжения определяются существующей технологией изготовления встречно-штыревых конденсаторов с зазором не менее 5 мкм.

Для решения задачи по снижению управляющих напряжений на ОАО «Завод Магнетон» была разработана технология создания сэндвич-структур на сапфировых подложках методами высокочастотного магнетронного напыления, ионно-плазменного травления и фотолитографии. А для решения задачи температурной стабильности в этих сэндвич-структурах была воссоздана многослойная тонкая сегнетоэлектрическая плёнка из титаната бария-стронция ($\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_3$ (BSTO), при $x = (0.4-0.5)$) с различными легирующими добавками, разработанная в рамках публикации^[1], нивелирующая температурную зависимость диэлектрической проницаемости.

Технология изготовления конденсаторов

Сначала на сапировые (Al_2O_3) подложки толщиной 0.5 мм наносился нижний платиновый электрод, на поверхность которого напылялась многослойная сегнетоэлектрическая плёнка толщиной ~600 нм, а затем наносился верхний электрод из меди. Использование сэндвич-структуры, по сравнению с планарной, позволило значительно снизить управляющее напряжение (от ~200 В для планарной структуры^[1] до ~15 В для сэндвич-структуры), а многослойность сегнетоэлектрической плёнки обеспечила температурную стабильность конденсаторов. Упрощённый вид полученной структуры в разрезе изображён на рисунке 1. В ходе исследования были изготовлены структуры с различной площадью перекрытия электродов - от 75 до 525 μm^2 , что позволило сформировать конденсаторы разных емкостей на одной заготовке. Кроме номинала ёмкости, сформированные конденсаторы одного и того же номинала отличались друг от друга типоразмерами (от 0.6x0.3 мм (0201) до 1.6x0.8 мм (0603)). Сформированную структуру под микроскопом демонстрирует рисунок 2.

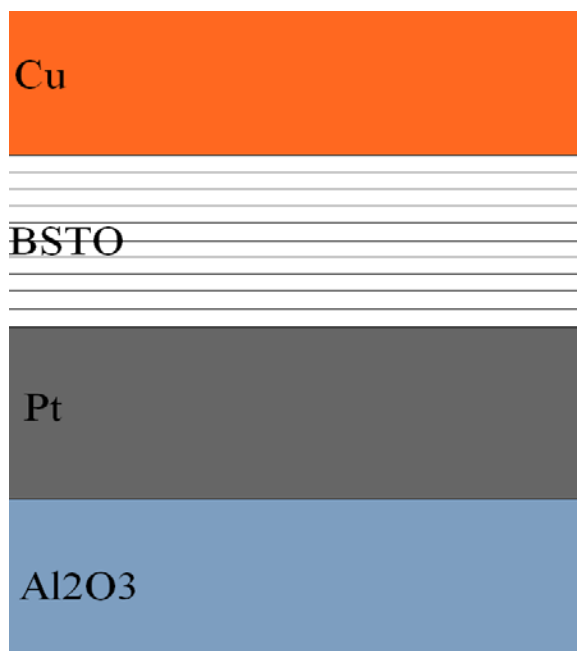


Рис. 1. Сэндвич-структура в разрезе.

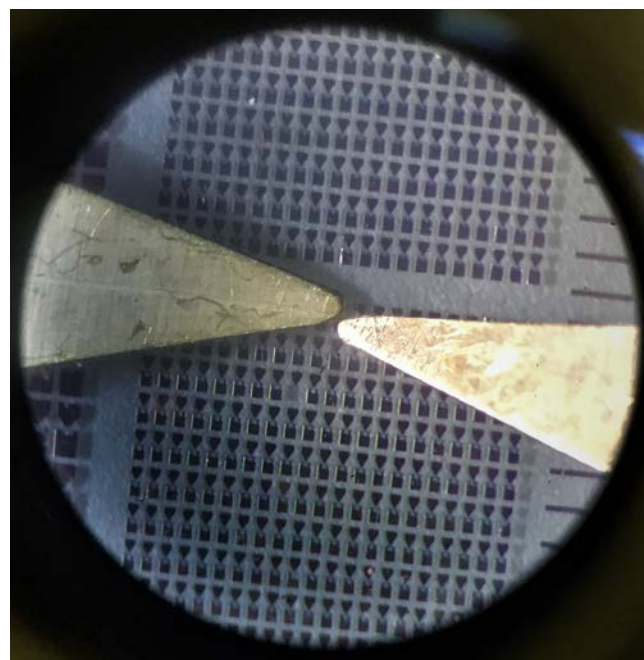


Рис. 2. Рабочая структура под микроскопом.

Результаты измерений

Результаты измерения электрических характеристик получившихся конденсаторов: зависимости их ёмкости от приложенного управляющего напряжения и температуры, а также диэлектрических потерь приведены на рисунках 3 - 6. Характеристики измерялись на частоте 1 МГц.

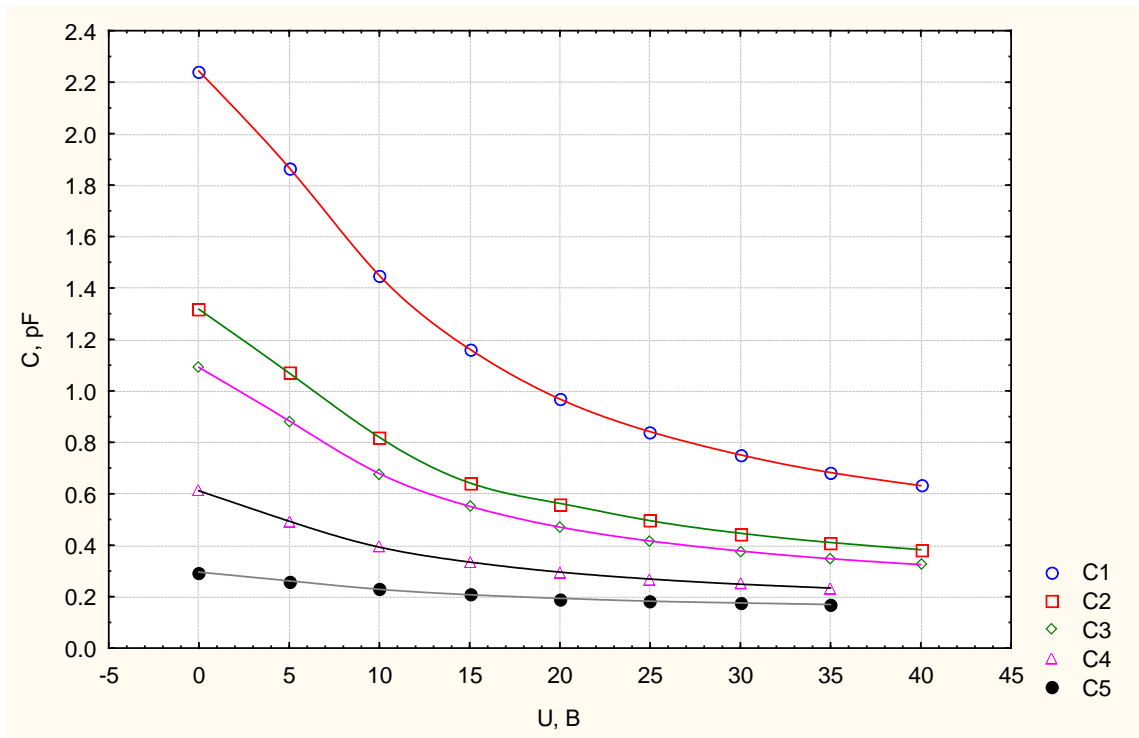


Рис. 3. Ёмкость конденсаторов под воздействием управляющего напряжения.

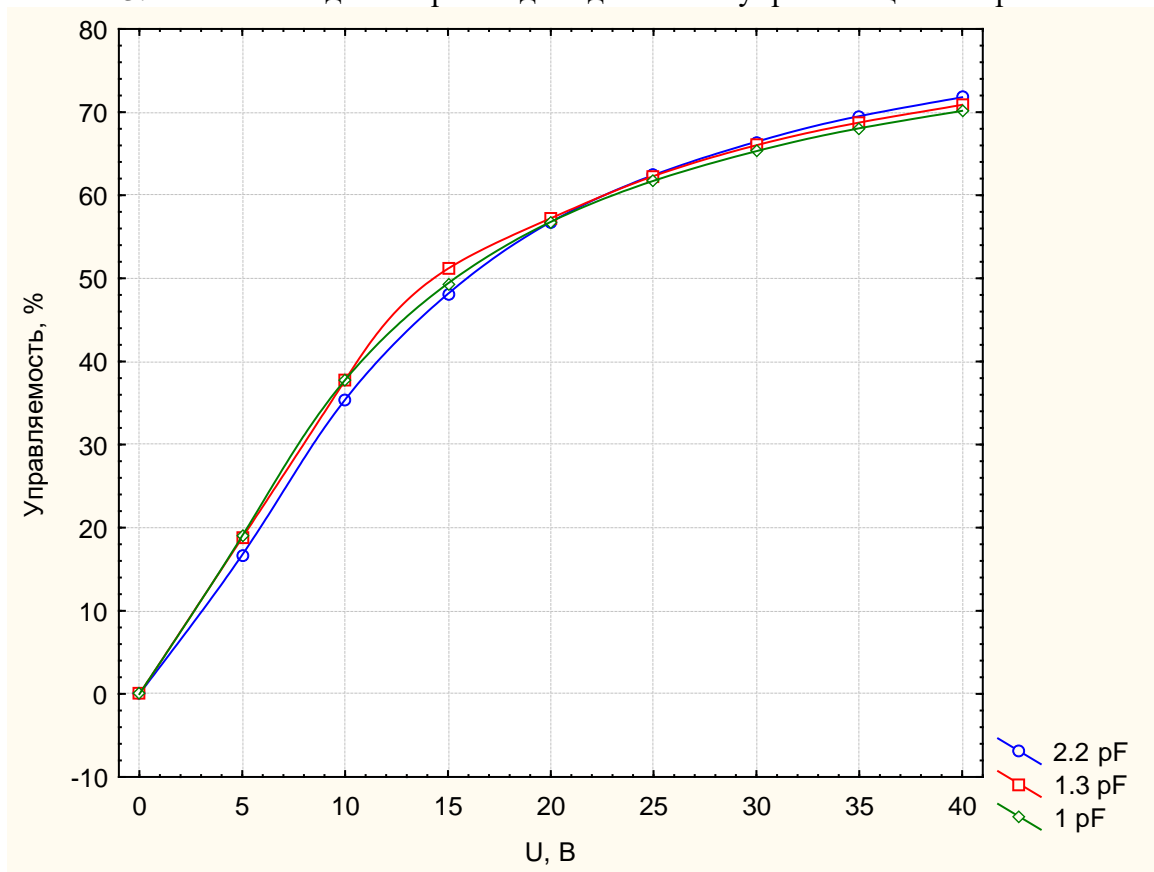


Рис. 4. Управляемость конденсаторов под воздействием управляющего напряжения.

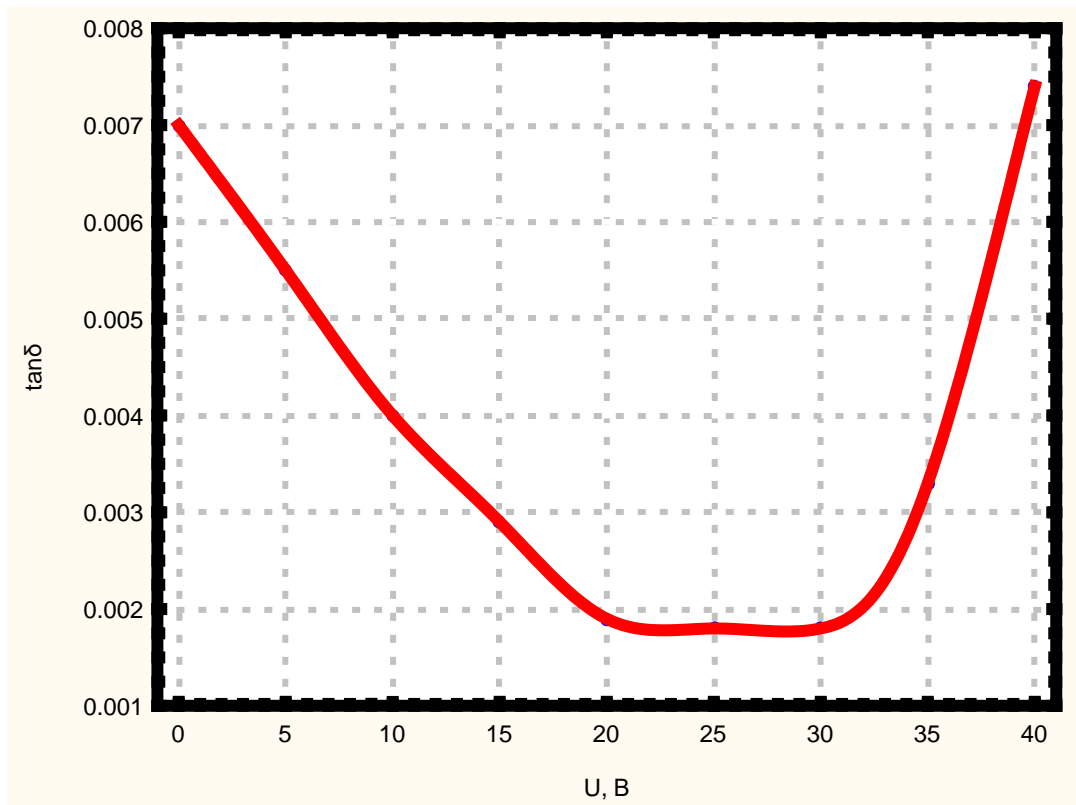


Рис. 5. Диэлектрические потери конденсатора под воздействием управляющего напряжения.

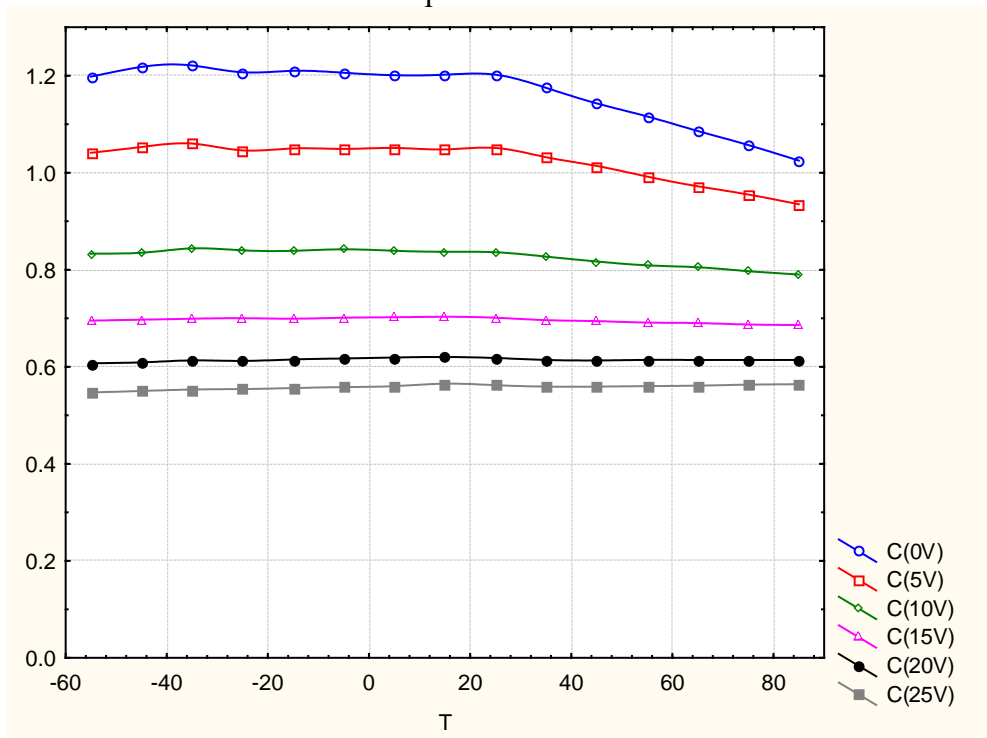


Рис. 6. Температурная зависимость ёмкости конденсаторов.

Как видно из рисунков 3 и 4, конденсаторы демонстрируют снижение ёмкости более чем на 50% под напряжением 15 В. При этом большая часть управляемости (снижение ёмкости на 40%) приходится на линейный участок зависимости (от 0 до 10 В). Рисунок 5 показывает, что на конец линейного участка приходится минимум зависимости

диэлектрических потерь материала от напряжения. Это позволяет прогнозировать оптимальное управляющее напряжение элемента в области 10-20 В. Что касается температурной зависимости характеристик, демонстрируемой рисунком 6, в диапазоне температур от -55°C до +85°C ёмкость изменяется на 15%, что является сравнительно малой для сегнетоэлектрического материала величиной.

Библиографический список

1. И.Г. МIRONENKO, О.Ю. БУСЛОВ, А.А. ИВАНОВ, Д.В. ВЕЛЬКИН и др. / ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ОАО «Завод Магнетон» / Многослойные нанокompозитные сегнетоэлектрики и элементы на их основе – Всероссийская конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ», устный доклад, 2013 г.
2. А.В. Тумаркин, А.Г. Гагарин, А.Г. Алтынников, А.Б. Козырев и др. / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» / Структурные свойства пленочного титаната бария-стронция в зависимости от технологических условий роста пленок - Физика твердого тела, 2015, том 57, вып. 3
3. А.В. Тумаркин, В.И. Иванова, Н.А. Ялымов, А.А. Потешкина и др. / Структура и свойства тонких пленок титаната-цирконата бария и титаната-станната бария для сверхвысокочастотных применений / Электроника и микроэлектроника СВЧ, 2016, том 2, с. 134-139
4. Исаева Д.А., Матросов А.В., Рыбаков А.В., Шарапов Д.А. Перспективность применения титаната бария-стронция в интегральных микросхемах // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5-1. – С. 229-230