

**О.Ю. Буслов¹, А.А. Иванов¹, Д.В. Велькин^{1,2}, М.В. Орлова¹,
В.И. Шарапова^{1,2}, М.А. Алексеева^{1,2}, А.И. Фирсенков¹,
И.Г. Мироненко²**

¹ОАО "Завод Магнетон"

²ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

СВЧ-свойства термостабильных сегнетоэлектрических конденсаторов на основе тонких нанокompозитных пленок

Ключевые слова: электромагнитно-спиновые волны, мультиферроик, феррит, сегнетоэлектрик

Сегнетоэлектрики - это класс материалов, которые изменяют свою относительную диэлектрическую проницаемость под действием внешнего управляющего электрического поля. Используя это свойство материала, возможно построение устройств, с электрически перестраиваемыми амплитудно и фаза- частотными характеристиками, имеющими низкие энергии потребления по цепям управления, обладающие высокой радиационной стойкостью, высоким быстродействием и малыми массогабаритными параметрами. В микроэлектронике и технике СВЧ, находят применение сегнетоэлектрики класса титаната бария стронция. Однако, возможность их применения в элементной базе СВЧ может быть реализована только в виде тонких плёнок, нанесённых на диэлектрическую поверхность. Это обусловлено тем, что они имеют аномально высокую ($\sim 10^3$) диэлектрическую проницаемость. Основными сдерживающими факторами широкого применения элементной компонентной базы (ЭКБ) на основе сегнетоэлектриков, является их температурная нестабильность, высокие диэлектрические потери и технологические сложности изготовления. Устранение этих негативных свойств возможно при использовании новых химических компонентов и элементов в составе структуры сегнетоэлектрической плёнки и технологических приёмов её напыления на диэлектрическую подложку. На сегодняшний момент основные направления исследований по улучшению свойств получаемых сегнетоэлектрических структур [1] лежат в области синтеза материалов наноразмерных композитов, их технологий нанесения на основания подложек различной физической природы: ионно-плазменным, золь-гель методами, лазерной абляцией и т.д. Оценивая общую мировую тенденцию научно-технологического развития за последнее десятилетие по данным Texas Instruments, IMEC, STMicroelectronics, Murata, Applied Materials, NEC, Toshiba, Samsung и др., видно, что наметилась положительная динамика в устранении негативных факторов в свойствах сегнетоэлектрических плёнок СЭП. Полученные технологии стали использованы в промышленном производстве аналоговых СВЧ (Triquint USA) и цифровых ИС, а также элементов запоминающих устройств. Устройства на новой элементной базе обладают исключительными качественными функциональными возможностями – расширенными рабочими частотным и температурным диапазонами, высокими скоростями переключения и низкими энергетическими потерями, высокой радиационной стойкостью, более широкими спектрами применения по сравнению с их аналогами на полупроводниковых, p-i-n диодах и ферритах.

В данной статье представлены экспериментальные характеристики планарных конденсаторов со встречно щелевой структурой электродов и электрически перестраиваемой ёмкостью на основе многослойных нанокompозитных СЭП. Сегнетоэлектрическая плёнка в структуре планарного конденсатора, не является нанообъектом. В многослойной нанокompозитной плёнке каждый слой имеет свою наноразмерную толщину, при этом сохраняя свою температурную и полевую зависимости диэлектрической проницаемости и внося вклад в формирование электромагнитного поля конденсаторной структуры.

Многослойная нанокompозитная СЭП формировалась на сапфировой диэлектрической подложке методом магнетронного распыления из мишеней с различным компонентным и элементным составами. Технологические режимы напыления слоёв структуры СЭП из твёрдотельных составов мишеней (минимальное количество используемых мишеней - семь) стандартные. Фотография на рисунке 1.а, показывает часть подложки (размер подложки 30x48мм²) с планарными конденсаторами различной ёмкости. Конденсаторные структуры рисунке 1.б, имеют различное число электродов встречно щелевой структуры рисунке 1.в.

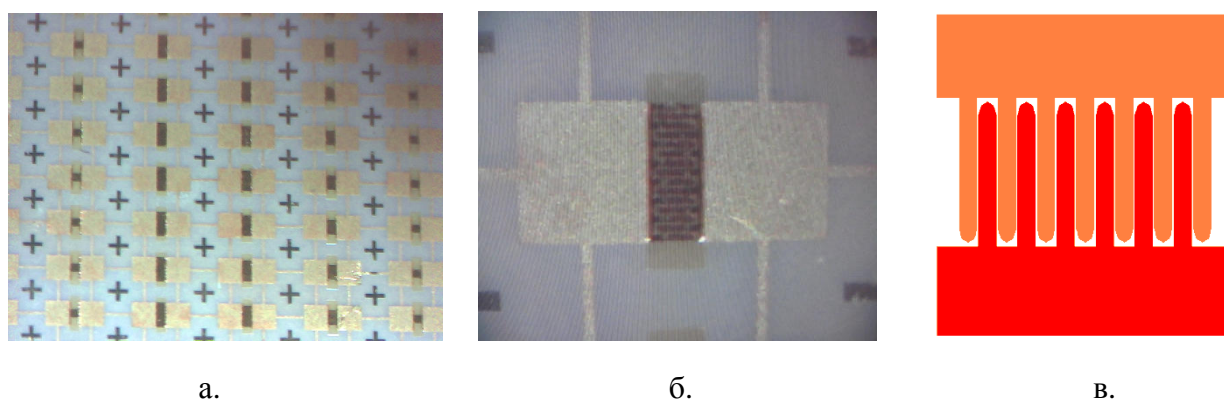


Рисунок 1

На рисунке 2 представлены экспериментальные зависимости ёмкости конденсатора на нанокompозитной СЭП от температуры при различном управляющем напряжении. Конденсатор содержит 25 нанокompозитных слоёв СЭП, толщина сегнетоэлектрической структуры равна 850 нм. Из рисунка видно, что максимальное отклонение ёмкости в широком диапазоне температур не превышает 7%, без управляющего напряжения, а с приложенным напряжением практически исчезает. Эффект температурной стабилизации достигается за счёт применения в процессе распыления из мишеней с комбинацией разнокомпонентных составов с близкими фазовыми переходами и кратными значениями постоянных решёток. Влияние этих параметров существенно при получении качественных плёнок с малыми диэлектрическими потерями в широком частотном диапазоне и приемлемым коэффициентом перестройки эффективной диэлектрической проницаемостью. Рисунок 3 иллюстрирует разброс семисот планарных ёмкостей одного номинала сформированных на подложке размером 30x48мм². Следует отметить, что величина значения ёмкости обусловлена качеством поверхности, получаемой многослойной СЭП, рисунок 4, а также точностью повторения топологических размеров

встречно щелевых структур конденсатора.

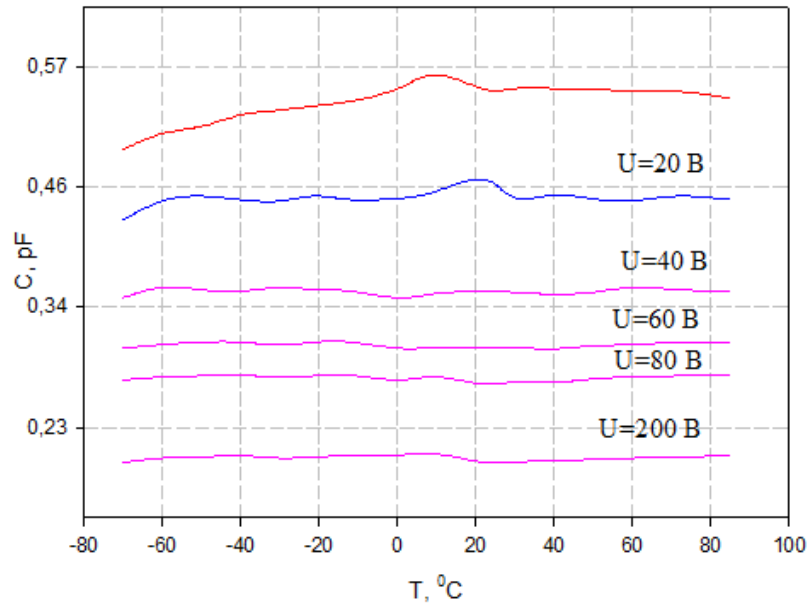


Рисунок 2

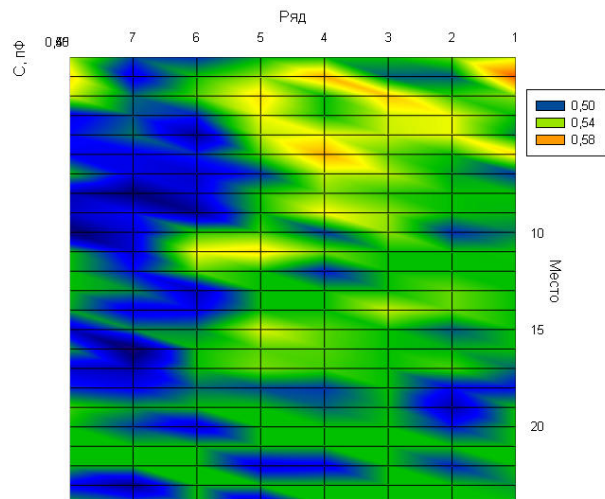


Рисунок 3

Зависимость распределения изменения коэффициента управления ёмкостью конденсатора ($K_C = \frac{C_{U=0}}{C_{U=200B}}$) по подложке показана на рисунке 5. На величину коэффициента управления ёмкостью помимо точности повторения топологии встречно штыревой структуры и качества поверхности плёнки, влияет буферный материал, между поверхностью СЭП и электродами конденсатора. Распределение значений тангенса угла диэлектрических потерь планарных сегнетоэлектрических конденсаторов на частоте 1 МГц, показана на рис. 6.

На рис. 7, показаны экспериментальные частотные зависимости основных параметров планарного конденсатора. Из рисунка видно, что на частоте 3ГГц, тангенс угла диэлектрических потерь составляет $35 \cdot 10^{-3}$, такое высокое значение обусловлено низким качеством электродов конденсатора, и их топологическим расположением. Для

данного типа многослойной нанокompозитной СЭП используемой в исследуемой конденсаторной структуре, значение добротности на частоте 34ГГц по измерениям в волноводном резонаторе составило величину 107, что подтверждает сделанное выше утверждение.

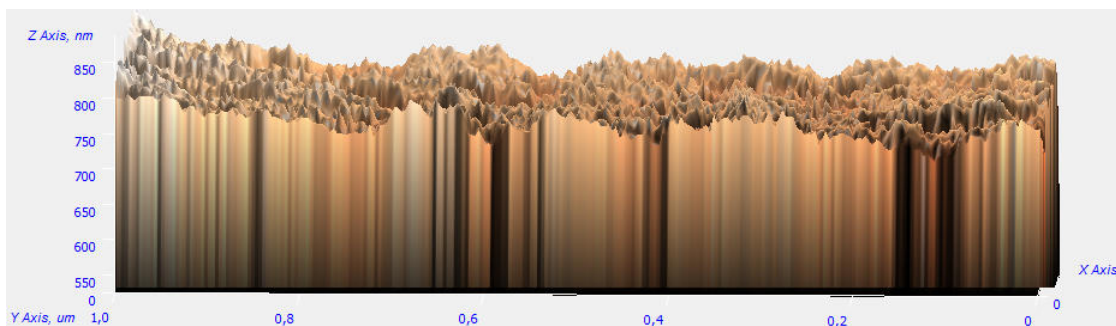


Рисунок 4

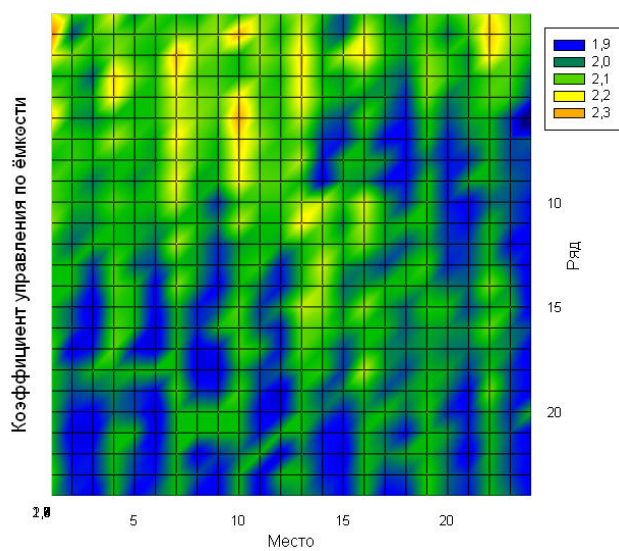


Рисунок 5

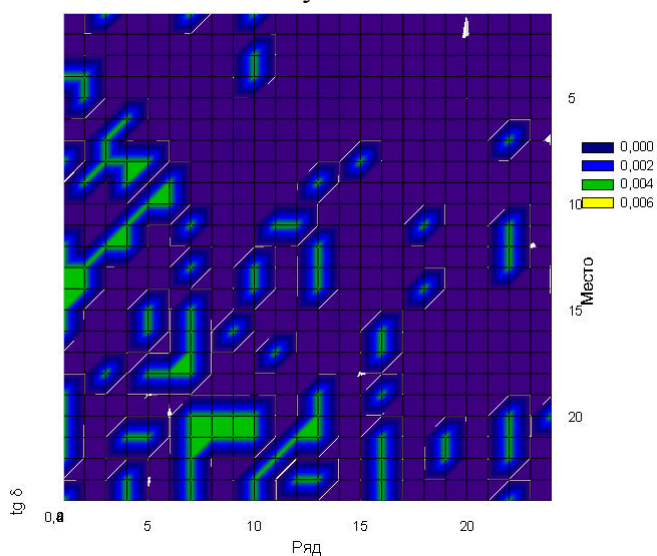


Рисунок 6

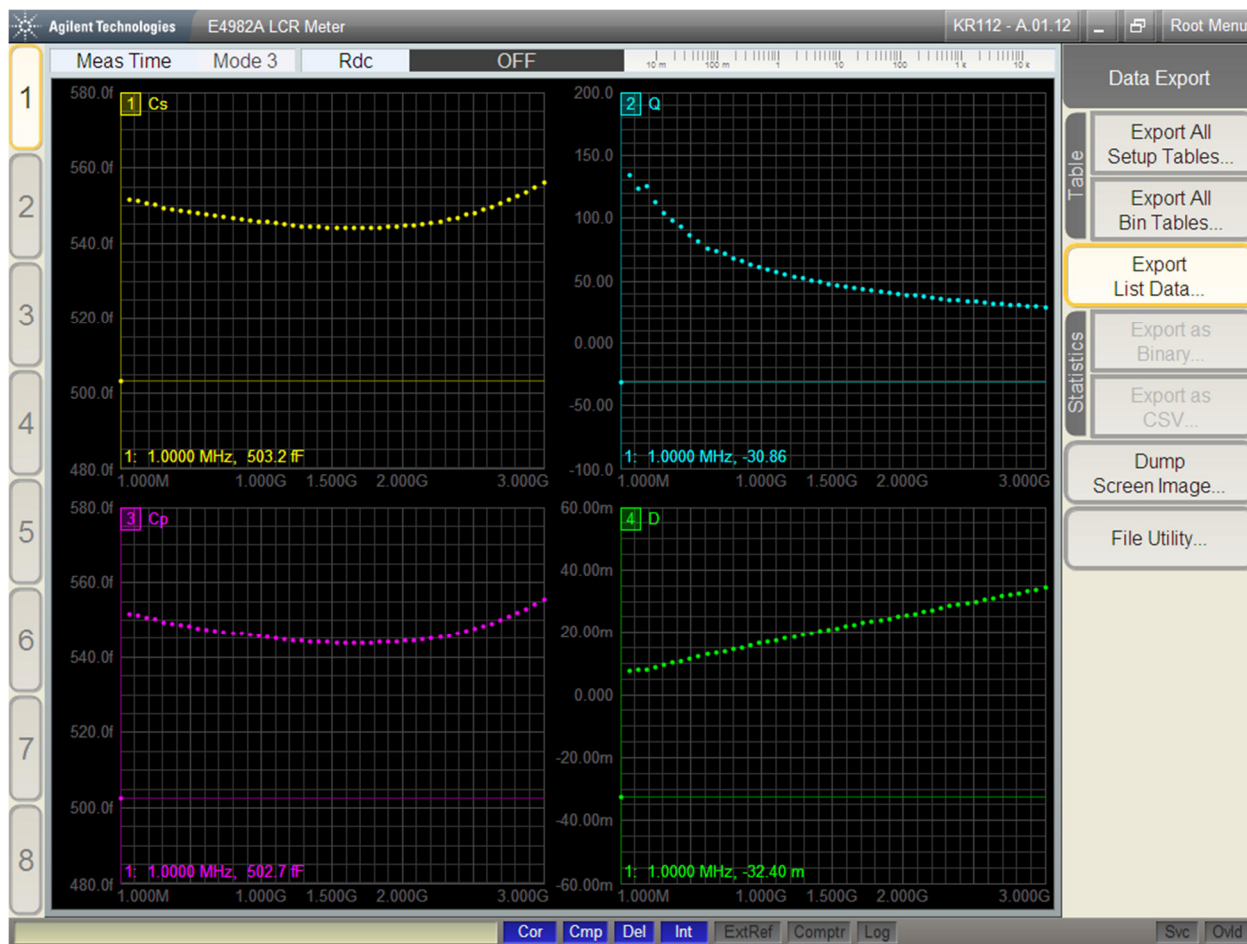


Рисунок 7

На основании полученных экспериментальных данных, можно сделать вывод о том, что созданные перестраиваемые конденсаторы на нанокompозитных СЭП, могут найти широкое практическое применение в современной РЭА работающей в широком частотном диапазоне.

Библиографический список

1. Мироненко И.Г., Иванов А.А., Карманенко С.Ф., Семёнов А.А., Белявский П.Ю., и др. Щелевая линия. Патент по заявке № 2010 148 489/07 от 19.11.2010.