

**Семенов А.А.¹, Белявский П.Ю.¹, Мыльников И.Л.¹,
Рябцев И.А.¹, Дедык А.И.¹, Иванов И.М.²,
Скрипкин Н.И.²**

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»
²ОАО «Плутон»*

Толстые сегнетоэлектрические пленки для фазовращателей коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн

Представлено технологическое решение по формированию слоистой структуры толщиной порядка 50 мкм посредством седиментации с использованием центрифугирования. Так же представлены полученные результаты эксперимента.

Ключевые слова: толстая пленка, седиментация, центрифугирование, отжиг.

По мере возрастания значения сверхвысокочастотных (СВЧ) систем связи, локации и навигации в современном обществе усиливаются требования к их надежности, мобильности, энергопотреблению. Телекоммуникационные сотовые и спутниковые радиотелефонные системы, передвижные навигационные и радарные станции, глобальные и локальные компьютерные сети испытывают потребность в электрически управляемых и недорогих компонентах. Эта потребность может быть обеспечена заменой сложных схем, использующих активные компоненты, на перестраиваемые СВЧ линии на основе пленочных материалов с нелинейными физическими свойствами, таких как сегнетоэлектрики и ферриты.

Один из способов управления параметрами радиоэлектронных компонентов основан на изменении диэлектрической проницаемости компонентов под действием внешнего электрического поля. «Электрический» способ управления отличается высокой скоростью и малыми энергетическими затратами, поскольку перестройка выполняется без протекания токов через управляющие цепи. Свойство управляемости под действием электрического поля сохраняется у некоторых сегнетоэлектриков (СЭ) в широком частотном диапазоне – от низких до сверхвысоких и крайневысоких частот. Это свойство активно используется в СВЧ устройствах для быстрой перестройки фазо-частотных характеристик.

Аналогами по функциональному назначению разрабатываемых устройств являются фазовращатели СВЧ диапазона на основе рпн элементов и ферритов. Преимущества перед ферритовыми устройствами определяются, прежде всего, электрическим способом управления фазовой скоростью в линиях передачи на основе сегнетоэлектрических пленок. Электроды, образующие линии передачи, создают электрическую емкость для цепи управления. Оценка ее значения дает величину на щелевой линии передачи (10 - 30) пФ. Запасаемая энергия при управляющем напряжении в несколько десятков вольт составляет доли мкДж. Такую энергию можно переключить за (10^{-7} - 10^{-8}) с при потреблении мощности на переключение менее 1 Вт. Таким образом, быстрдействие устройств сверх- и крайне

высокочастотного диапазона практически не ограничено и может быть выполнено на основе стандартных маломощных микросхем.

Для решения описанной задачи было нужно сформировать пленочную структуру толщиной от 50 мкм. На данный момент существует ряд технологий, позволяющих получить пленки такой толщины. Одними из самых популярных являются: метод трафаретной печати и химические методы, например, «Золь-Гель». Однако в данной работе представлен иной метод формирования слоистой структуры нужной толщины. Он основан на седиментации с использованием центрифугирования.

Технологическая схема данного метода включает в себя следующее: 1) Дробление и тщательное взвешивание исходных компонентов; 2) Первичный отжиг; 3) Повторное измельчение с введением органической связки; 4) Повторный отжиг; 5) Нанесение BSTO на подложку с использованием центрифугирования; 6) Сушка в термостате; 7) Процесс запекания пленки в печи; 8) Контроль качества.

Дробление исходных компонентов производилось с использованием планетарно центробежной мельницы. Принцип работы данной мельницы схож с шаровой. Но кроме вращения вокруг собственной продольной оси, барабану придается движение вокруг оси переносного вращения.

Высокотемпературный синтез, проводился в электрической муфельной печи при температурах от 1300 °С. Полученный в результате обжига материал вновь измельчался и смешивался с органической связкой – метилцеллюлозой.

Нанесение подготовленной пасты BSTO на заранее подготовленные подложки из MgO осуществлялось с использованием центрифуги. BSTO паста наносилась на подложку при помощи пипетки или шприца. При включении вращения столика, под воздействием центробежных сил излишки материала «сбрасывались» на стенки центрифуги. Скорость оборотов столика составляла 2500 об./мин.

Полученная пленка помещалась в термостат для просушивания, с целью удаления влаги и понижения содержания органической связки. При горячей сушке в сушильном шкафу пленка постепенно нагревается до 70° С и выдерживается там необходимое время (2–3 часа).

После сушки проводился этап обжига пленки. Обжиг происходит при температурах $t=1250-1450^{\circ}\text{C}$. Окончательный обжиг обеспечивает спекание керамической массы пленки – часть компонентов расплавляется, пропитывая всю массу изделия, при этом в ее среде происходят реакции растворения и образования новых соединений.

Описанная технология предварительно была отработана на базовом материала - семействе твердых растворов титанатов бария стронция.

На рисунке 1 показано изображение фрагмента пленки полученное с использованием просвечивающей электронной микроскопии. Полученный слой представлял собой керамику, размеры зёрен 0,1-1 мкм. Также присутствовали поры аналогичного размера. Рентгено-дифракционный анализ показал, что все исследованные образцы состоят из следующих фаз: $\text{Ba}_{0.992}(\text{TiO}_3)$ тетрагональной сингонии и $\text{Ba}(\text{TiO}_3)$ гексагональной сингонии и $\text{Ba}_4\text{Ti}_2\text{O}_{27}$ моноклинной сингонии в следовых количествах.

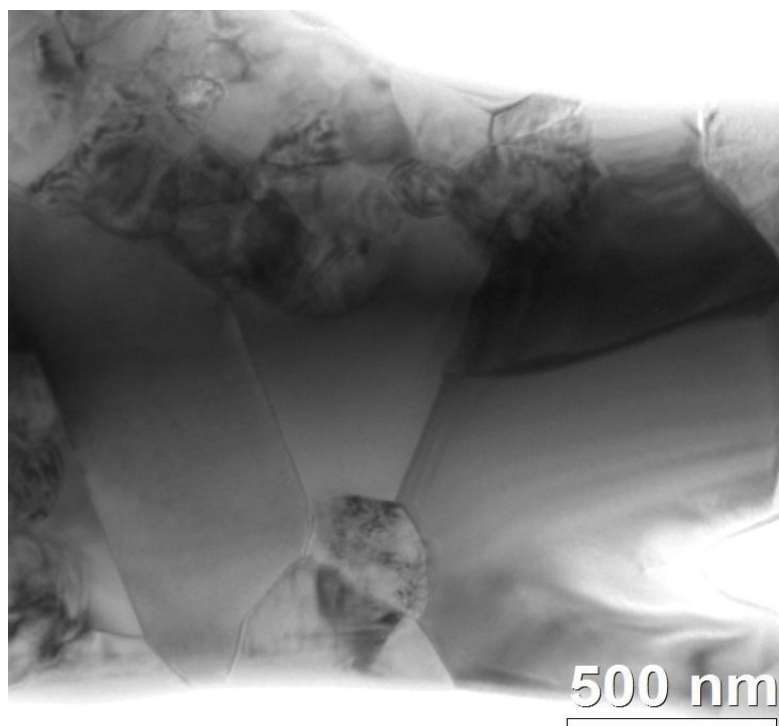


Рис. 1. Изображение фрагмента пленки

На рисунке 2 показана температурная зависимость диэлектрической проницаемости полученного керамического слоя.

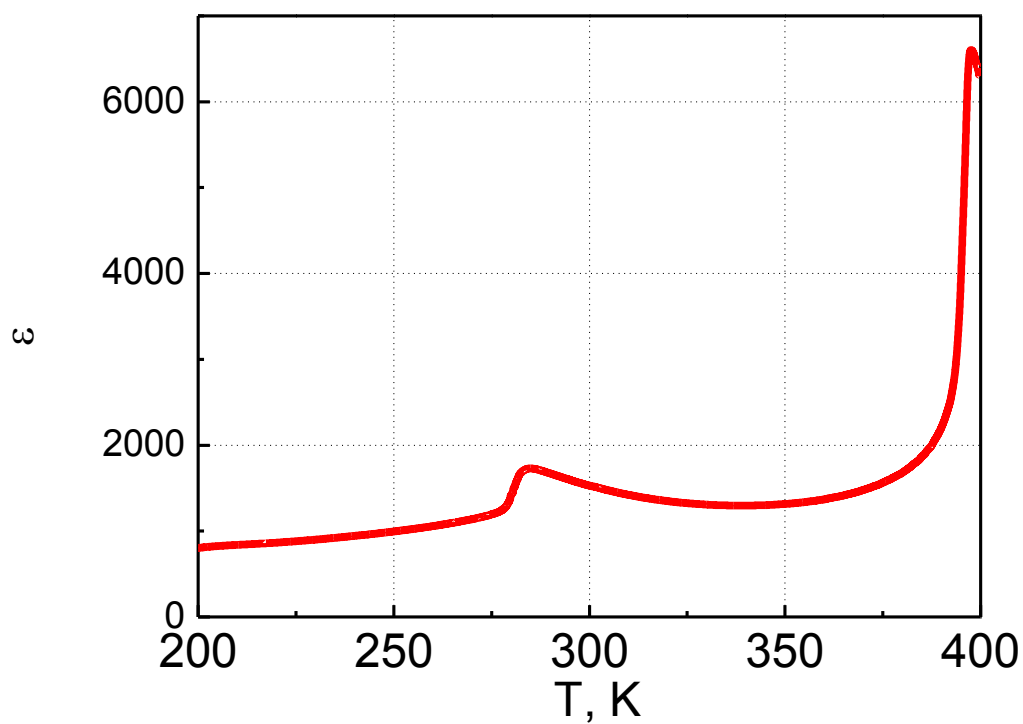


Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости керамического слоя

На рисунке 2 можно видеть ряд последовательных сегнетоэлектрических фазовых переходов при понижении температуры 398 К переход из кубической (параэлектрической) фазы в тетрагональную полярную (сегнетоэлектрическую) фазу, затем при 284 К следует переход в орторомбическую полярную фазу. Такое положение фазовых переходов характерно для титаната бария.

Проведенные исследования вольт-фарадных характеристик (см. рисунок 3) показали, что сформированные слои обладают электрической перестройкой порядка 1,5 при комнатной температуре.

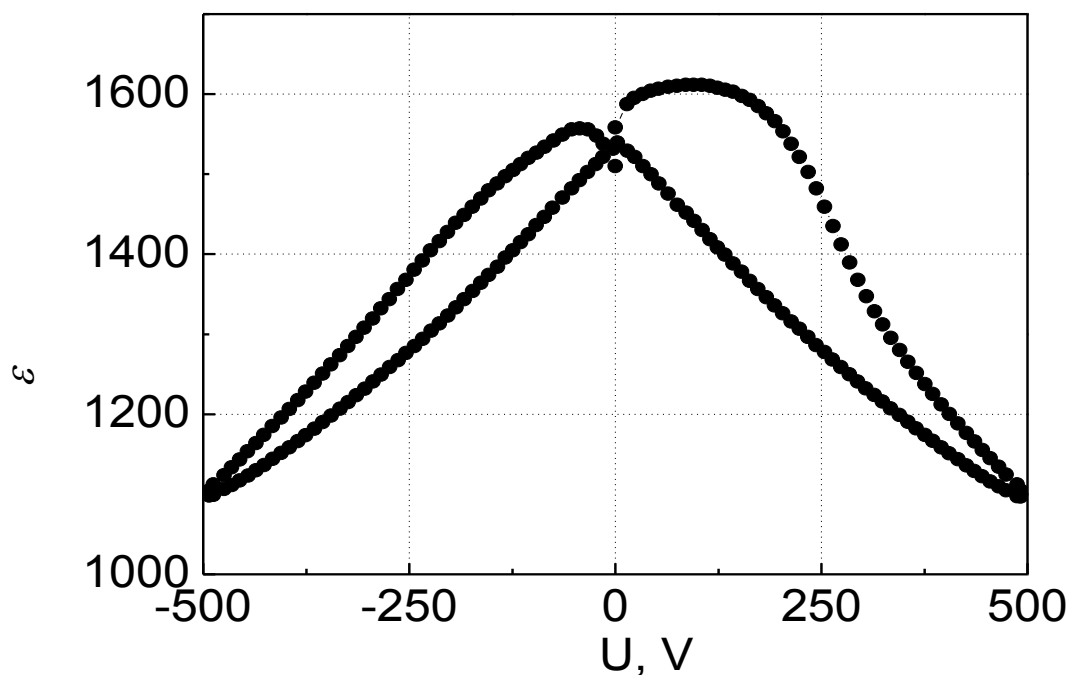


Рис. 3. Вольт-Фарадные характеристики керамического слоя

Библиографический список

1. Имамутдинов И. Сотрём в нанопорошок // Эксперт : журнал. — М., 2003. — № 33 (386).
2. Оськин, В. А., Евсиков В. В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [текст]: в 2 ч. Ч. 1. Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений Гриф Министерства сельского хозяйства / Оськин, В. А., Евсиков В. В. — М.: КолоС, 2008. — 447 с.