

УДК

Свойства структур сегнетоэлектрик-феррит в СВЧ диапазоне

Л.В. Григорьев^{1,2}, А.А. Семенов²

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе приведены результаты исследований коэффициента поглощения в СВЧ полосе спектра тонкопленочных структур ВТО:Nd-ЖИГ. Показана возможность создания на основе таких структур неохлаждаемых приемников СВЧ излучения и фильтров с электронным управлением амплитудно-частотной характеристикой.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, феррит, тонкие пленки, ЦТСЛ, ЖИГ, неохлаждаемый приемник СВЧ

1. Введение

В последнее время проявляется повышенный интерес к созданию приемных и передающих модулей СВЧ диапазона, включая элементы фазированных антенных решеток (ФАР), с управляемыми внешним полем амплитудно-частотными характеристиками.

В работе проведено совместное исследование тонкопленочных структур сегнетоэлектрик-феррит с использованием в качестве феррита тонкой пленки ЖИГ, эпитаксиально выращенной на подложке из галлий гадолиниевого граната (ГГГ), а в качестве слоя сегнетоэлектрика керамики титаната бария, легированного ионами неодима. Согласно ранее проведенных исследований структуры сегнетоэлектрик-феррит проявляют в СВЧ диапазоне совокупность уникальных электрических и магнитных свойств [1]. Совокупное использование электромеханического, ферромагнитного и магнитоакустического резонансов позволит создавать на их основе различные магнитоэлектрические СВЧ устройства микроэлектроники и в дальнейшем создавать управляемые е приемно-передающие модули ФАР [2-7].

2. Подготовка образцов

Керамические образцы из титаната бария, легированного ионами неодима была получена по технологии горячего прессования из мелкодисперсного порошка с размерами фракций не превышающих 1.2 мкм. Первоначально порошок титаната бария легированный неодимом (ВТО:Nd) был создан путём твердофазного синтеза. Для синтеза сегнетоэлектрических керамик ВТО и ВТО:Nd нами был применен метод совместного осаждения [8, 9], позволяющий получать сегнетоэлектрическую керамику и проводить легирование ионами РЗИ в одном технологическом цикле по созданию тонкодисперсного порошка сегнетоэлектрика. Благодаря использованию метода совместного осаждения из растворов прекурсоров существенно снижается температура твердофазного синтеза, которая находилась в диапазоне 1353 – 1373 К. После твердофазного синтеза сегнетоэлектрического материала, далее, методом прессования со связкой из поливинилового спирта и отжига были сформированы образцы в виде тонких дисков. После чего была проведена поляризация образцов из сегнетоэлектрической керамики. Для измерения диэлектрических характеристик полученной керамики ВТО и ВТО:Nd на плоскопараллельные поверхности

керамических образцов наносились серебряные электроды. Толщина пластин сегнетоэлектрика варьировалась в пределах 1,0 – 1,15 мм.

СВЧ фильтры были сформированы на пластинах из ситалла, по топологии связанных перестраиваемыми резонаторами микрополосковых линий. СВЧ резонаторы были помещены между микрополосковыми линиями. Собственно резонаторы были созданы на основе управляемых внешним электрическим полем магнитоэлектрических СВЧ структур: керамика титаната бария – ЖИГ – ГГГ. Керамика титаната бария приклеивалась к структуре ЖИГ - ГГГ цианакриловым клеем.

3. Экспериментальные результаты

Температурные измерения ёмкости проводились с помощью прецизионного измерителя LCR HIОKI 3335. Образец закреплялся в специальном держателе, внутри форвакуумного заземленного латунного оптического криостата, в РЧ-экранированной ячейке. Частота измерительного сигнала составляла 1 МГц. Измерения проводились в диапазоне температур от 213К до 523К при линейной скорости нагревания образца изменения температуры 1 К/мин. Точность измерения ёмкости составляла 0,03% пФ. На рисунке 1 представлены температурные зависимости электрической ёмкости $C(T)$ образцов сегнетоэлектрической керамики.

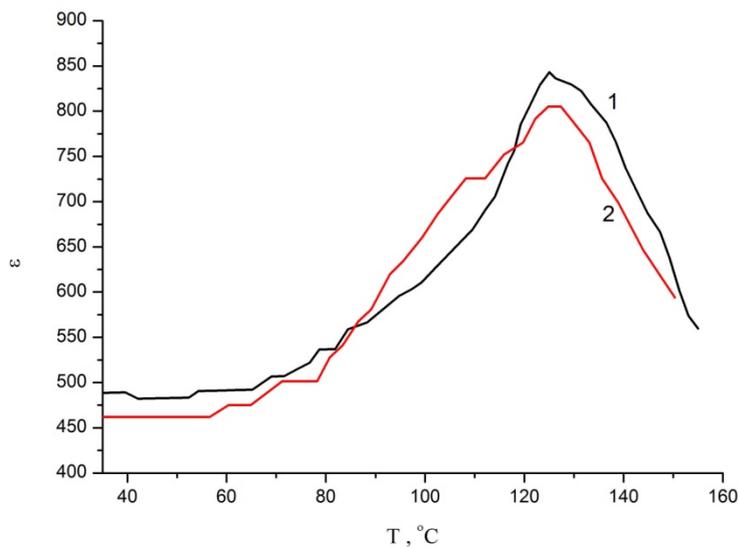


Рисунок 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости керамических образцов: 1- титаната бария, 2- титаната бария, легированного ионами неодима

Наличие на температурной зависимости диэлектрической проницаемости интенсивного пика в области 493 К, для обоих типов образцов, позволяет утверждать, что синтезированная керамика ВТО и ВТО:Nd обладает сегнетоэлектрическими свойствами. Положение пика максимума температурной зависимости диэлектрической проницаемости керамики соответствует литературным данным [8]. Для керамики ВТО:Nd наблюдается существенно изменение вида кривой $\epsilon(T)$ от 353 К и до точки Кюри, а также расширение этой области и превышение значений $\epsilon(T)$ в этой полосе температур по сравнению с зависимостью $\epsilon(T)$ для ВТО. Это может быть объяснено влиянием легирующей примеси неодима на структурные свойства и электронную подсистему пероскитного сегнетоэлектрика титана бария. Диэлектрическая проницаемость, образцов керамики в рабочем диапазоне температур

изделий микроэлектроники 213К – 400К находились в пределах значений $\epsilon(T) = 400 - 900$.

Исследования амплитудно-частотной характеристик исследуемых магнитоэлектрических фильтров проводились в СВЧ полосе 10 – 11 ГГц. Управление АЧХ фильтров осуществлялась путем подачи на структуру внешнего электрического поля. Величина подмагничивания структуры составляла около 1.8 кГс.

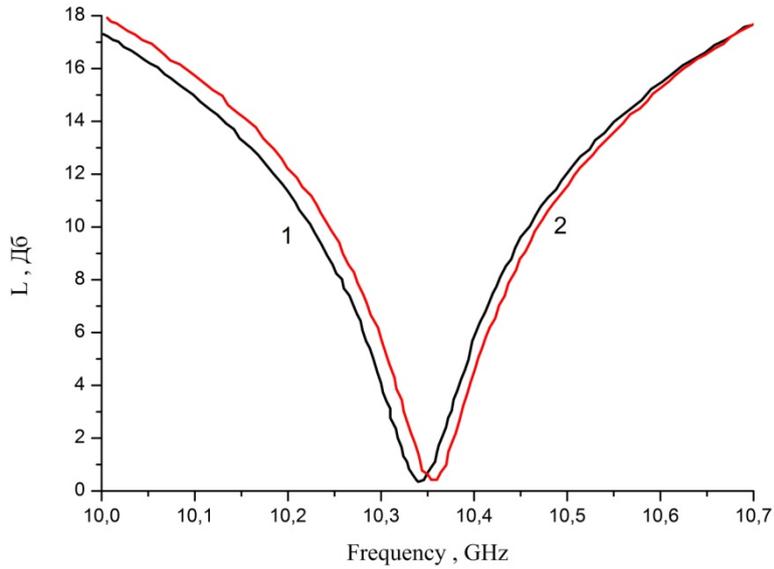


Рисунок 2. Амплитудно-частотные характеристики структуры сегнетоэлектрик-феррит ВТО в СВЧ полосе: 1- без внешнего поля, 2- при приложении к структуре внешнего поля 2,50 кВ/см.

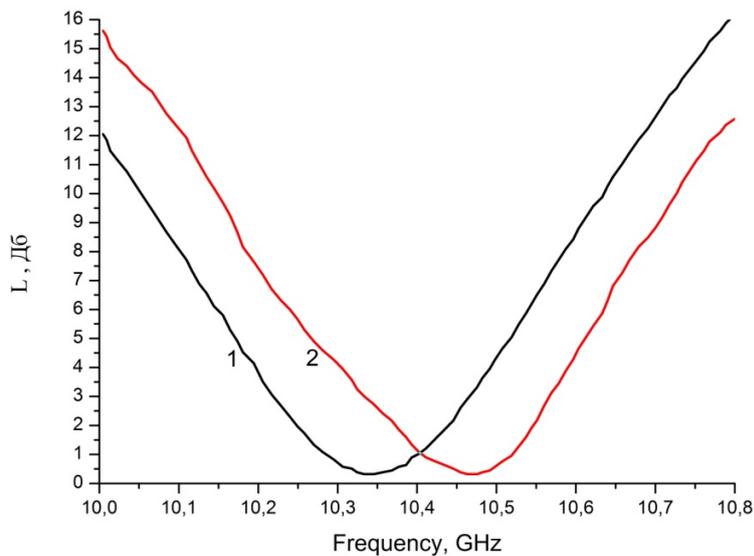


Рисунок 3. Амплитудно-частотные характеристики структуры сегнетоэлектрик-феррит ВТО:Nd в СВЧ полосе : 1- без внешнего поля, 2- при приложении к структуре внешнего поля 2,50 кВ/см.

Из рис.2 и рис.3 видно, что приложение внешнего электрического поля приводит к смещению минимума АЧХ фильтра в область более коротких волн. При сравнении величин сдвига АЧХ для обоих типов исследуемых структур: на основе ВТО и на основе ВТО:Nd, следует отметить, что использование в качестве сегнетоэлектрика ВТО:Nd в структуре магнитоэлектрического фильтра приводит к большему смещению положения минимума АЧХ, величина которой составляет 180 МГц.

3. Заключение

На температурных зависимостях $\epsilon(T)$ исследованных образцов сегнетокерамики ВТО и ВТО:Nd для керамических образцов ВТО:Nd обнаружено существенное изменение вида кривой $\epsilon(T)$ от 353 К и до точки Кюри. На кривой $\epsilon(T)$ также наблюдается расширение этой области и превышение значений $\epsilon(T)$ в этой полосе температур по сравнению с зависимостью для ВТО. Это может быть объяснено влиянием легирующей примеси неодима на структурные свойства и электронную подсистему перосквитного сегнетоэлектрика титана бария.

По результатам исследования АЧХ фильтров СВЧ на основе магнитоэлектрических структур сегнетоэлектрик – ЖИГ – ГГГ наблюдается большая величина сдвига при использовании в качестве сегнетоэлектрика ВТО:Nd.

Использование структур сегнетоэлектрик – ЖИГ – ГГГ может существенно улучшить характеристики модулей ФАР, работающих в области 10 ГГц.

Список литературы

1. Бичурин М.И., Петров В.М. Магнитный резонанс в слоистых феррит-сегнетоэлектрических структурах //ЖТФ. – 1988. – Т.58. – №. 11. – С. 2277-2278.
2. Вендик О. Г. (ред.). Сегнетоэлектрики в технике СВЧ. – Сов. радио, 1979.
3. Bichurin M.I., Petrov V.M. et al. Micrielectronic microwave devices //Ferroelectrics. – 2002. – 280. – P. 211-218.
4. Bichurin M.I., Kornev I.A., Petrov V.M., Tatarenko A.S. et al. Theory of magnetoelectric effects at microwave frequencies in piezoelectric/magnetostrictive multilayer composite//Phys. Rev. B. – 2001. – 64. – 094409(1-6).
5. Bichurin M.I., Filippov D.A., Petrov V.M., Laletsin V.M. et al. Resonance magnetoelectric effects in layered magnetostrictive-piezoelectric composites//Phys. Rev. B. – 2003. – 68. – 132409(1-4).
6. Bichurin M.I., Petrov V.M., Ryabkov O.V. et al. Theory of magnetoelectric effects at magnetoacoustic resonance in single crystal ferromagnetic-ferroelectric heterostructures//Phys. Rev. B. – 2005. – 72. – 060408(R).
7. Bichurin M.I., Petrov V.M., Kuliba Yu.V. Micrielectronic microwave phase shifter //Ferroelectrics. – 1997. – 204. – P. 311-318.
8. Смаржевская Е.Г., Фельдман Н.Б. Пьезоэлектрическая керамика. – Советское Радио, 1971.
9. Окадзаки К., Технология керамических диэлектриков. – Энергия, 1976.