

А.С.Татаренко, М.И.Бичурин, А.В.Филиппов, Г.Сринивасан

СВЧ ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТ-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Design and application of new microstrip microwave phase shifter are considered. Calculation of the basic characteristics of the phase shifter is given.

Уникальное сочетание магнитных, электрических и магнитоэлектрических (МЭ) свойств ферритов и пьезоэлектриков открывает новые возможности для создания управляющих СВЧ устройств [1]. К преимуществам таких устройств относится высокое быстродействие, совместимость с технологией изготовления интегральных микросхем.

Нами проведены исследования МЭ взаимодействий в композиционных МЭ материалах в области ферромагнитного резонанса (ФМР) [2,3]. Электрическое поле, прикладываемое к образцу в области ФМР, посредством пьезоэффекта и магнитострикции приводит к сдвигу линии ФМР в резонансном поле. Здесь мы обсуждаем микрополосковый СВЧ фазовращатель 3 см диапазона на основе трехслойной МЭ структуры, состоящей из монокристаллических ниобата титаната магния (НТМ) и железо-итриевого граната (ЖИГ) на подложке из гадолиний галлиевого граната (ГГГ). Принцип действия фазовращателя основан на микроволновом магнитоэлектрическом эффекте, заключающемся в сдвиге линии ФМР под действием электрического поля. Композит в этом случае играет роль резонатора.

Основой конструкции проходного фазовращателя является микрополосковая линия передачи на составной подложке: диэлектрик и МЭ диск толщиной до 1 мм и диаметром 2 мм, служащий резонатором. В объеме МЭ резонатора при помощи шлейфов 0,125 и 0,375 длины волны создается круговая поляризация магнитного поля. На рис.1 представлена конструкция микрополоскового МЭ микроволнового фазовращателя.

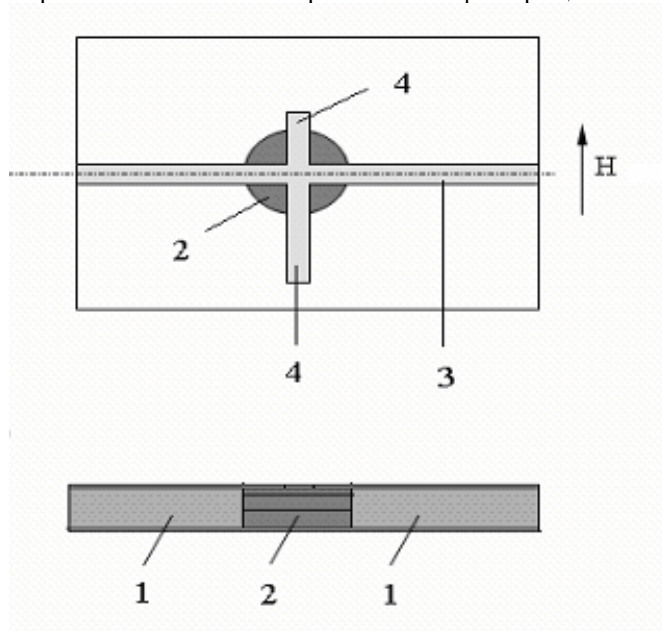


Рис.1. МЭ микроволновый фазовращатель. 1 — подложка; 2 — МЭ резонатор; 3 — микрополосковая линия; 4 — шлейфы

Резонатор установлен в область круговой поляризации микроволнового магнитного поля, постоянное поле H перпендикулярно плоскости образца. Для уменьшения потерь рабочая точка выбирается на дисперсионной кривой вне области резонанса. Используемый композит представляет собой слоистую структуру, магнитная часть которой состоит из пленки ЖИГ (ширина линии ФМР равна 1 Э), нанесенной на подложку из ГГГ. Пьезоэлектриком является тонкая пластинка из НТМ.

В основе работы аттенюатора лежит явление микроволнового МЭ эффекта. Нами проведен расчет микроволнового МЭ эффекта и получено выражение для сдвига резонансной линии во внешнем электрическом поле:

$$\Delta H_E = AE,$$

где A — магнитоэлектрическая константа, зависящая от параметров композита; E — внешнее управляющее электрическое поле. Результаты эксперимента представлены на рис.2.

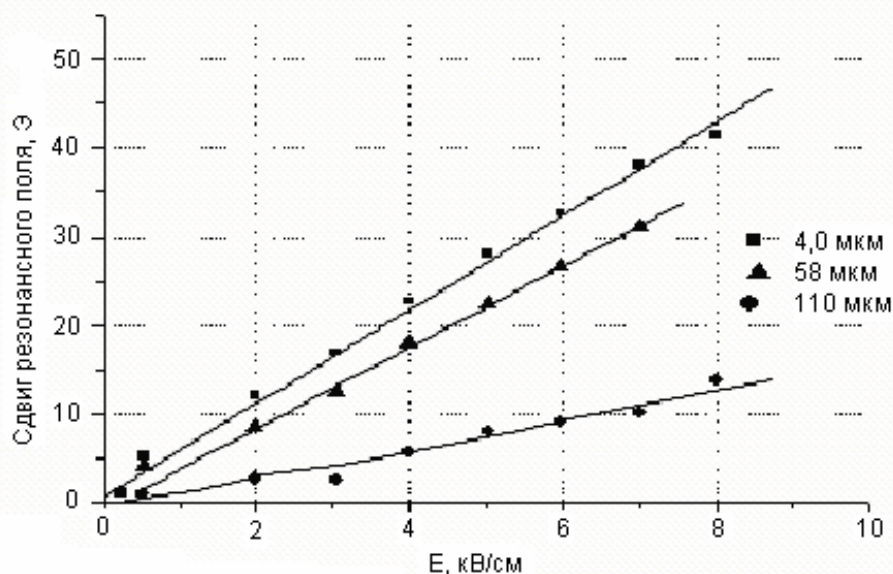


Рис.2. Зависимость сдвига резонансного магнитного поля от напряженности управляющего электрического поля для пленок ЖИГ различной толщины. H параллельно [111]

Как следует из эксперимента, величина сдвига зависит от толщины пленки ЖИГ. Максимальный сдвиг, равный 40 Э, приходится на пленку толщиной 4,9 мкм (при толщине ГГГ 0,3 мм). С учетом того, что ширина линии ФМР равна 1 Э, полученный сдвиг в 40 Э позволяет осуществить эффективное управление параметрами фазовращателя.

Работа фазовращателя основана на следующем: для выбора рабочей точки, лежащей на дисперсионной кривой, к резонатору прикладывается внешнее магнитное поле на частоте, близкой к резонансу. Под воздействием управляющего напряжения, прикладываемого к электродам, расположенным на торцах МЭ резонатора, вследствие микроволнового МЭ эффекта происходит сдвиг линии ФМР, и реализуется электрическое управление параметрами фазовращателя.

Расчет проведен для фазовращателя с резонансной частотой 10 ГГц. МЭ композит включен в качестве неоднородности в область круговой поляризации магнитной составляющей СВЧ поля. Изменение фазового угла достигается выбором сильной невязимной связи резонатора с линией передачи. При этом регулирование фазового угла достигается изменением управляющего напряжения на электродах, нанесенных на резонатор.

Для анализа работы фазовращателя использовано выражение для коэффициента связи МЭ резонатора с микрополосковой линией передачи:

$$k = \frac{16VM_0z_0}{h^2\Lambda Z\Delta H} \left(\operatorname{arctg} \frac{120\pi}{z_0\sqrt{\varepsilon}} + \frac{1}{3} \operatorname{arctg} \frac{360\pi}{z_0\sqrt{\varepsilon}} \right)^2,$$

где V — объем МЭ резонатора; M_0 — намагниченность насыщения; ΔH — полуширина линии ФМР; Λ — длина волны в линии передачи; z_0 — волновое сопротивление микрополосковых линий передачи; ε — относительная диэлектрическая проницаемость подложки; h — толщина составной подложки.

Фазовая характеристика определяется из выражения для комплексного коэффициента передачи:

$$\varphi = \operatorname{arctg}[2k\xi/(1 - k^2 + \xi^2)].$$

Здесь $\xi = \frac{H_r - H + \Delta H_E}{\Delta H}$ — обобщенная расстройка; H_r — резонансное поле; ΔH_E — величина сдвига резонансной линии под действием управляющего электрического поля; H — постоянное магнитное поле.

Результаты расчета представлены на рис.3. Зависимость для сдвига фазы от управляющего напряжения является квазилинейной.

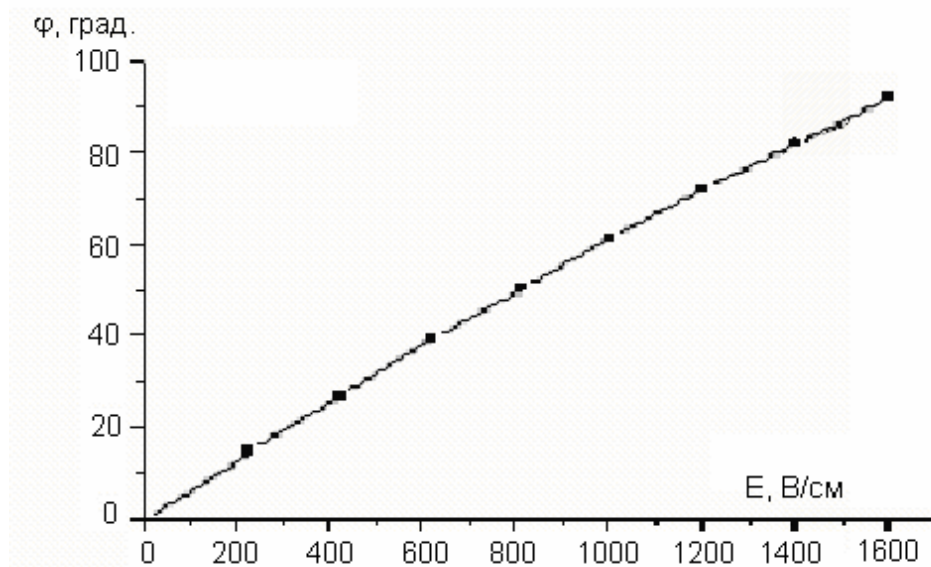


Рис.3. Зависимость фазового сдвига от управляющего напряжения

Как следует из рис.3, для получения фазового сдвига в 60° при толщине пьезоэлектрика 0,1 мм необходимо приложить к электродам управляющее напряжение в 10 вольт, что является приемлемым для практических потребностей.

Проведенные исследования показали, что замена магнитной системы управления на электрическую приводит к определенным преимуществам МЭ приборов перед традиционными ферритовыми. Использование МЭ композитов в резонансных СВЧ устройствах позволяет осуществить электрическое управление их параметрами и открывает новые возможности для создания на их основе устройств с высоким быстродействием и малыми габаритами.

1. Bichurin M.I., Petrov V.M., Petrov R.V., Kapralov G.N., Bukashev F.I., Smirnov A.Yu., Tatarenko A.S. // *Ferroelectrics*. 2002. V.280. P.213.
2. Bichurin M.I., Kornev I.A., Petrov V.M., Tatarenko A.S., Kiliba Yu.V., and Srinivasan G. // *Phys. Rev. B*. 2001. V. 64. P.094409.
1. Shastry S. and Srinivasan G., Bichurin M.I., Petrov V.M., Tatarenko A.S. // *Phys. Rev. B*. 2004. V.70. P.064416.