

Термостабилизация фильтров на магнитостатических волнах

М.И. Мартынов^{1,2}, В.А. Дубовой¹, А.И. Фирсенков¹

¹ОАО «Завод Магнетон»

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в работе проведено экспериментальное исследование возможности температурной стабилизации параметров фильтров на магнитостатических волнах. Показано, что при повороте пленки ЖИГ на 60°, относительно внешнего магнитного поля, возможно получение типовых значений минимальных потерь и ширины полосы пропускания, а температурный дрейф центральной частоты снижается более чем в 4 раза.

Ключевые слова: ЖИГ, МСВ, термостабилизация, спиновые волны

1. Введение

С момента начала исследований спиновых волн проводились работы по определению температурных зависимостей частоты возбуждения спиновых волн от температуры окружающей среды. Главной причиной смещения частоты возбуждения при изменении температуры является изменение вектора намагниченности. Эта зависимость является функцией от материала примесей и их количества. Первые экспериментальные работы температурной нестабильности проводились с 1973 года [1], однако выражение для температурного коэффициента впервые было определено

только в 1981 году [2]: $C^{def} = \frac{\Delta f}{f \cdot \Delta T}$, где Δf и ΔT , функции изменения частоты и

температуры соответственно. Для всех трех типов магнитостатических волн, данный коэффициент является функцией намагниченности насыщения, внешнего магнитного поля и частоты. Другим фактором снижения температурного дрейфа пленок железиттриевого граната (ЖИГ) является кристаллографическая анизотропией, определяющая вид тензора эффективных размагничивающих факторов. Данный вид анизотропии определяет ориентацию вектора намагниченности в плоскости пленки [3]. Помимо этого, одноосная магнитная анизотропия, обусловленная плотностью энергии, вносит зависимость тензора размагничивания от угла между вектором магнитного поля и вектором намагниченности [4,5]. С учетом того, что кристаллографическая анизотропия является, в данном случае, фиксированным параметром, в работе произведено экспериментальное исследование термостабилизации фильтров за счет использования угла между вектором внешнего магнитного поля и вектором намагниченности (плоскостью пленки).

2. Экспериментальный макет

Изменение угла между плоскостью пленки и вектором внешнего магнитного поля приводит к возбуждению дополнительного типа магнитостатических волн помимо основного. При использовании стандартных поверхностных волн, увеличение угла вызывает возбуждение прямых обратных волн. Одновременное распространение двух типов волн, в общем случае является паразитным явлением, затрудняющим процесс настройки необходимых параметров полосы пропускания, а также смещает диапазон перестройки в область нижних частот. Такое сочетание явлений приводит к необходимости использования пленок ЖИГ с пониженной намагниченностью

насыщения.

Экспериментальный макет был выполнен в виде коаксиального полосно-пропускающего фильтра. Для обеспечения перестройки частоты использовалось сочетание постоянных магнитов и катушек, обеспечивающих дополнительное поле подмагничивания. Предельный ток в катушках составлял 400 мА. В качестве волноведущего элемента была использована пленка ЖИГ с намагниченностью насыщения 960 Гс и полушириной ферромагнитного резонанса 0,8 Э. Для возбуждения и приема спиновых волн были использованы микрополосковые антенны короткозамкнутые на металлических экран под волноведущим элементом. На этапе предварительного макетирования было определено, что наибольшую компенсацию температурного дрейфа в диапазоне до +70 °С обеспечивает угол 60° между пленкой и магнитным полем.

3. Результаты измерений

На рисунке 1 представлены результаты измерений диапазона перестройки полосно-пропускающего фильтра описанной конструкции. Явно выраженные неоднородности в полосе пропускания на всем диапазоне частот вызваны взаимодействием двух типов магнитостатических волн. С увеличением центральной частоты происходит деформация полосы пропускания с уменьшением коэффициента прямоугольности. Такие изменения вызваны тем, что рабочий диапазон частот уменьшается за счет преобладания поверхностного типа волны в области высоких частот и уменьшения эффективности возбуждения прямых объемных волн.

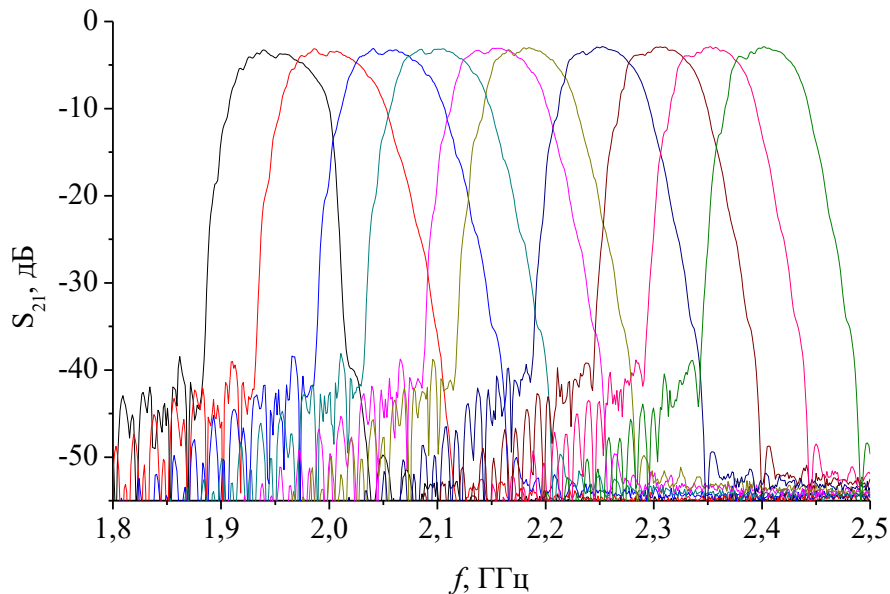


Рисунок 1. Перестройка полосы пропускания экспериментального макета фильтра, с пленкой ориентированной под углом 60 градусов к нормали.

В таблице 1 приведены результаты измерения минимальных потерь α , ширины полосы пропускания Δf в диапазоне перестройки центральной частоты f_c . По приведенным значениям понятно, что при используемом угле подмагничивания, объемные волны повышают прямоугольность полосы пропускания, но вместе с тем увеличивают минимальные потери.

Таблица 1. Параметры перестройки в нормальных условиях

α , дБ	Δf , МГц	$f_{ц}$, ГГц
3,3	70	1,95
3,1	70	2,1
2,9	65	2,25
2,9	60	2,40

Влияние угла между внешним полем и плоскостью пленки на характеристики фильтра исследовались при температуре окружающей среды $+70^\circ\text{C}$. Результаты измерения изменения параметров представлены на рисунке 2. На рисунке 2 (а) изображены кривые соответствующие изменению минимальных потерь в полосе пропускания и смещению центральной частоты. Видно, что обе зависимости имеют возрастающий характер с повышением центральной частоты, что говорит об уменьшении температурного дрейфа параметров, за счет равноценного возбуждения обоих типов волн. Характерно, что изменение минимальных потерь не превышает 0,4 дБ. Дрейф центральной частоты в пределах от 25 до 50 МГц в несколько раз ($\sim 4\div 6$) ниже дрейфа чисто поверхностных волн. На рисунке 2(б) изображена кривая изменения ширины полосы пропускания для каждой частоты, измеренной при нормальных условиях. Изменения составили от 3,5 до 8,7 МГц, что примерно в 2 раза ниже, чем у чисто поверхностной волны.

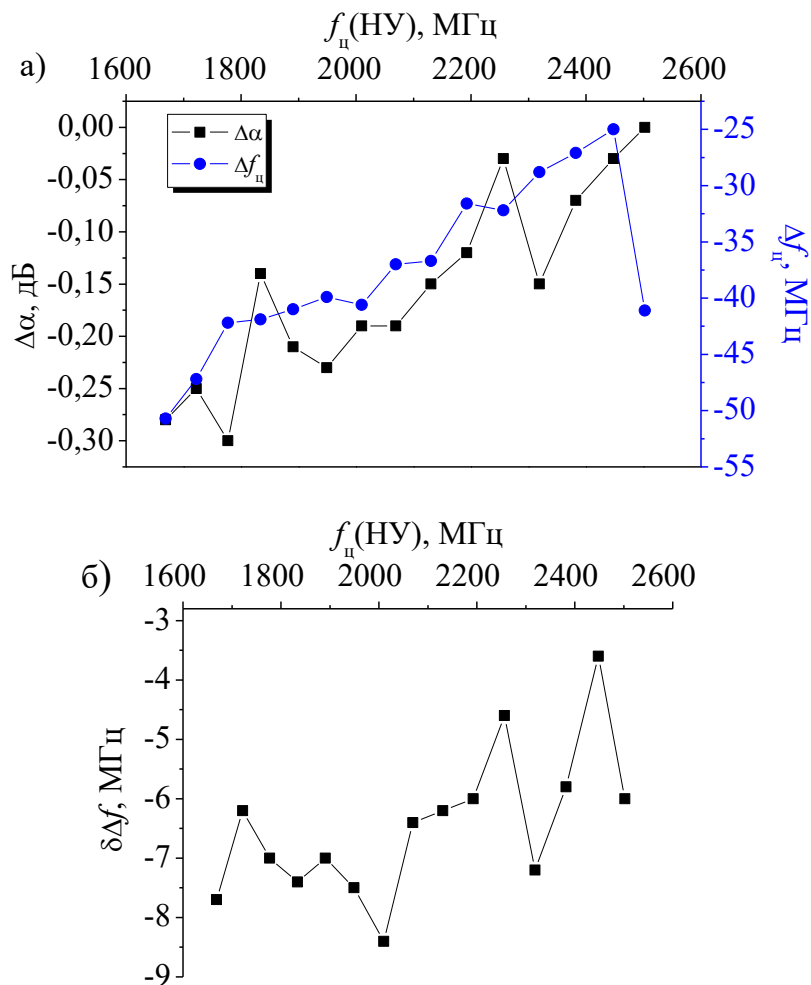


Рисунок 2. Зависимость изменений, вызванных нагревом до $+70^\circ\text{C}$, потерь, полосы пропускания (а) и центральной частоты (б) от значений центральной частоты при нормальных условиях.

На рисунке 3 приведены кривые абсолютных значений минимальных потерь и ширины полосы пропускания при нормальных условия (а) и +70 °С. По данным кривых можно видеть, что нагрев фильтра, в представленной конфигурации, не меняет характера частотных зависимостей.

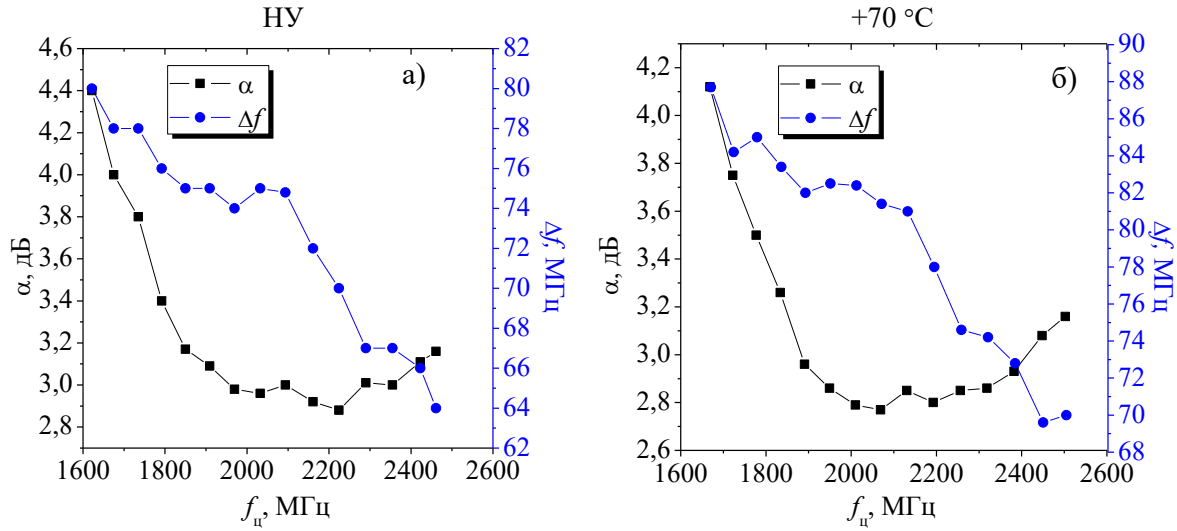


Рисунок 3. Зависимости потерь и ширины полосы пропускания при НУ (а) и +70°С (б)

4. Заключение

Приведенные результаты экспериментального исследования показывают, что поворот плоскости пленки относительно внешнего магнитного поля приводит к компенсации температурного дрейфа параметров полосно-пропускающих фильтров в положительном интервале температур за счет влияния кристаллографической анизотропии на тензор размагничивания. Экспериментально полученные минимальные потери и ширина полосы пропускания, при возбуждении двух типов волн, соответствуют значениям, обычно получаемым для фильтров на чисто поверхностных волнах.

Список литературы

1. Okada F., Rai E. Temperature characteristics of microwave YIG delay line using magnetostatic waves //Memoirs of the Defense Academy. – 1973. – Т. 13. – С. 1-10.
2. Castéra J. P. Magnetostatic wave temperature coefficients //Proc. of the 1981 RADC Microwave Magnetics Technology Workshop. – 1983. – С. 178.
3. Шагаев В. В. Анизотропия температурных характеристик магнитостатических волн в планарных ферритах //Журнал радиоэлектроники. – 2012. – №. 5. – С. 4-4. //Радиотехника и электроника. – 2013. – Т. 58. – №. 1. – С. 83-90.
4. Шагаев В. В., Тун Т. Л. Температурные характеристики поверхностей магнитостатической волны в системе плёнка железиттриевого граната-редкоземельный магнит //Журнал радиоэлектроники. – 2014. – №. 12. – С. 10-10.
5. Marcelli R., Rossi M., Slavin A. N. Thermostability of obliquely magnetized magnetostatic wave straight edge resonators //IEEE Transactions on Magnetics. – 1996. – Т. 32. – №. 5. – С. 4177-4179.