

*Маврина А.С.<sup>1</sup>, Дубовой В.А.<sup>1</sup>, Федин Д.Н.<sup>1</sup>,  
Козин А.Э.<sup>1</sup>, Гусев М.Ю.<sup>2</sup>, Неустроев Н.С.<sup>2</sup>,  
Вирченко М.К.<sup>2</sup>, Гайдукевич В.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ОАО «Завод Магнетон»

<sup>2</sup>ЗАО «НИИМВ»

## **Перестраиваемые фильтры на магнитостатических волнах с малыми потерями на основе эпитаксиальных структур ЖИГ**

*Представлены результаты создания ряда перестраиваемых полосно-пропускающих СВЧ фильтров на магнитостатических волнах с малыми потерями в полосе пропускания. Приведены параметры образцов фильтров в широком диапазоне частот.*

**Ключевые слова:** полосно-пропускающий фильтр на МСВ, малые вносимые потери, перестройка центральной частоты.

Фильтры на магнитостатических волнах (МСВ) хорошо известны и применяются в приемно-передающей аппаратуре сверхвысокочастотного диапазона. Стандартное значение минимальных потерь фильтров ООО «НПО «Завод Магнетон» составляет 3,5- 4 дБ [1]. Такое значение потерь ограничивает их использование во входных каскадах приемной аппаратуры, малозумящих каскадах преселекторов. Результаты по созданию фильтров с низкими вносимыми потерями были представлены в работе [2], однако это были макеты способные работать в лабораторных условиях и ограниченном рабочем диапазоне частот.

В настоящей статье представлены результаты изготовления ряда образцов перестраиваемых фильтров в диапазоне частот от 2 до 11 ГГц с минимальными потерями до 1 дБ на частоте настройки и 2,5 дБ в диапазоне перестройки более 1000 МГц на основе использования в фильтрах эпитаксиальных структур железо-иттриевого граната (ЭСЖИГ). При этом за счет высокой прямоугольности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтров подавляются близлежащие по частоте паразитные сигналы и помехи, что делает малозумящие каскады защищенными от появления комбинационных гармонических составляющих и подавления слабого сигнала сильным.

Малые потери получены за счет согласования с трактом СВЧ 50 Ом с КСВн менее 1,2 и снижения потерь на распространение МСВ в волноведущем элементе (ВВЭ), изготовленном из ЭСЖИГ. Фильтры имеют коаксиальные вход и выход сечением 3,5 мм. При этом габариты магнитной системы 20x23x23 мм фильтров рабочего диапазона частот от 2 до 6 ГГц и 26x29x29 мм фильтров рабочего диапазона частот 9 - 11 ГГц (рисунок 1).

Для снижения потерь на распространение в фильтрах использованы ВВЭ толщиной 13-25 мкм и при этом полоса пропускания фильтров составила 60 – 120 МГц. Применение ВВЭ с толстым эпитаксиальным слоем ЖИГ позволило обеспечить режим распространения МСВ с большой групповой скоростью  $V_g$  [3] и малыми потерями  $\alpha$ .

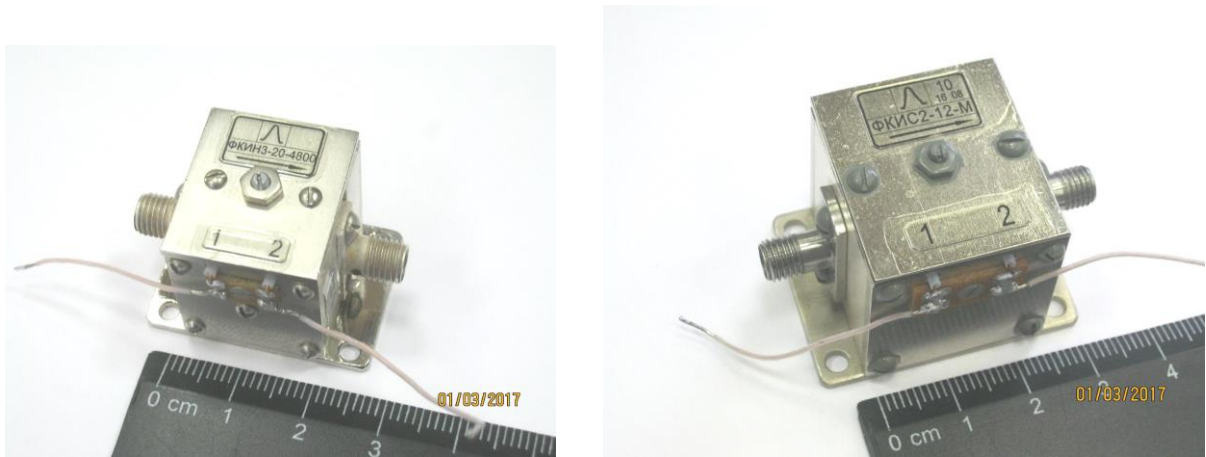


Рис. 1. Фотографии опытных образцов фильтров

Согласно [3] потери  $\alpha$  на распространение МСВ прошедшей путь  $d$  определяются выражениями:

$$\alpha = -8,686 \cdot k'' \cdot d \text{ (дБ)}, \quad (1)$$

$$k'' \approx 2 \pi \gamma \Delta H / V_g, \quad (2)$$

$$\gamma = 2,8 \text{ МГц/Э}, \quad (3)$$

где  $\Delta H$  – полуширина линии ФМР, Э.

В фильтрах использованы ЭСЖИГ, производимые ЗАО «НИИМВ», которые имеют малые потери. Эпитаксиальные структуры железиттриевого граната были получены методом жидкофазной эпитаксии из раствора-расплава на основе  $\text{PbO-V}_2\text{O}_5$ . В качестве гранатообразующих компонентов использовались окись иттрия ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) и окись железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Для регулировки намагниченности насыщения образцов ЭСЖИГ в раствор-расплав добавляли окись галлия ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ). Во всех экспериментах использовались компоненты особой чистоты (ОСЧ).

Выращивание пленок проводилось на подложках, изготовленных из монокристаллов на основе гадолиний-галлиевого граната. Подложки имели кристаллографическую ориентацию (111).

На рисунке 2 приведены типичные АЧХ фильтров диапазона частот 2 – 6 ГГц. В фильтрах использованы ЭСЖИГ намагниченностью насыщения от 750 до 1200 Гс,  $2\Delta H = 0,55 - 0,7$  Э.

На рисунке 3 представлены АЧХ фильтра 3-см диапазона длин волн. Фильтр имеет минимальные потери 1,1- 1,5 дБ, на отдельных частотах получены минимальные потери на уровне 0,9 дБ. В фильтрах использованы ЭСЖИГ намагниченностью насыщения 1750 Гс,  $2\Delta H = 0,35 - 0,5$  Э.

Остальные эксплуатационные характеристики фильтров такие же или лучше, чем у разработанных ранее фильтров [1].

Диапазон электрической перестройки – более 500 МГц

Неравномерность потерь в полосе пропускания - менее 1 дБ

Заграждение - более 50 дБ

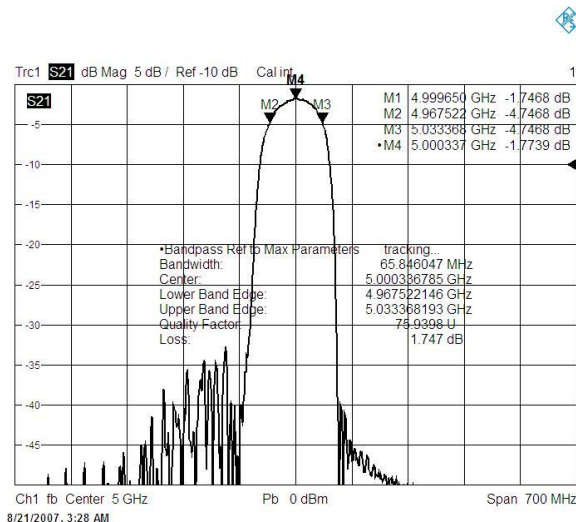
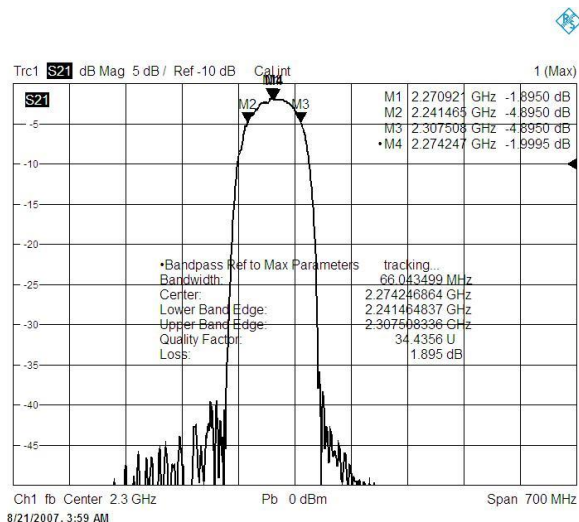


Рис. 2. АЧХ фильтров с использованием ЭСЖИГ с намагниченностью насыщения 750 - 1200 Гс

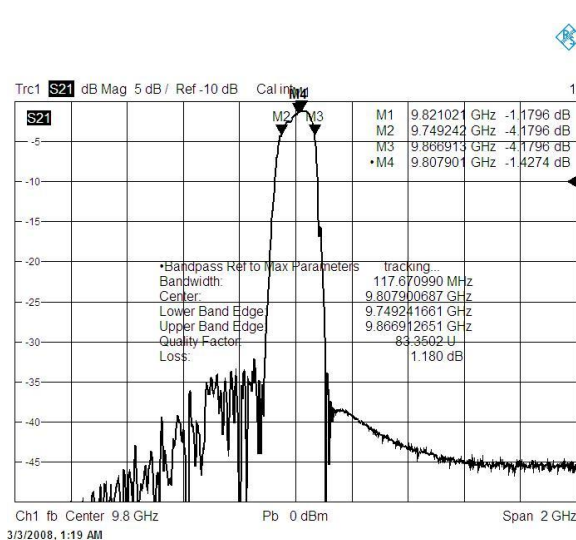
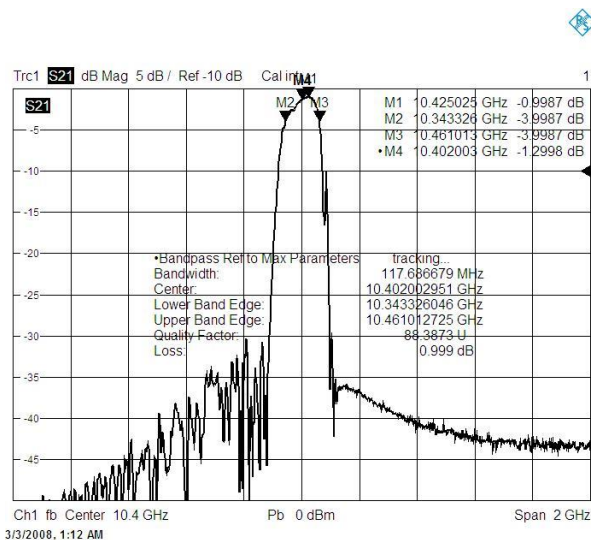


Рис. 3. АЧХ фильтров с использованием ЭСЖИГ намагниченностью насыщения 1750 Гс

Представленные результаты показывают возможность изготовления и производства опытных образцов фильтров на МСВ с малыми потерями на основе эпитаксиальных структур ЖИГ.

#### Библиографический список

1. Перестраиваемые полосно-пропускающие фильтры // ОАО "Завод Магнетон": официальный сайт. СПб. - URL: <http://www.magneton.ru/cat.php?id=104>.
2. Устинов А.Б., Козин А.Э., Калинико А.Б., Фирсенков А.И. Полосно-пропускающие фильтры с низкими вносимыми потерями и широким диапазоном перестройки частоты. Сборник докладов XXII научно-технической конференции, посвященной 60-летию со дня основания АО «НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова», 21-23 апреля 2015г., Жуковский, Россия.
3. Калинико А.Б., Устинов А.Б. Сверхвысокочастотные спиновые волны в ферромагнитных пленках. – СПб: ЗАО «Инсанта»/Изд-во «Литера», 2008г. 124с.