

05; 09; 11; 12

© 1992

МАГНИТОСТАТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В УПРУГО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ФИЛЬТРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

О.А. Мальцев

Распространяющиеся в пленках железиттриевого граната (ЖИГ), поверхностные магнитостатические волны (ПМСВ) и обратные объемные магнитостатические волны (ОМСВ) занимают различные, но соприкасающиеся области на частотной оси. Лишь использование специальных магнитных систем с различной по длине пленки величиной поля подмагничивания дает возможность пересекать спектры этих волн [1]. При этом для части пленки, где распространяются ПМСВ, специально создается меньшее магнитное поле, чем для той части пленки, где распространяются ОМСВ. Разность величин этих полей и будет однозначно характеризовать ширину частотной характеристики такого фильтра.

Нами изучалась возможность пересечения спектров ПМСВ и объемных волн за счет использования пленки ZnO . Исследования проводились в электромагните, поле подмагничивания которого было касательным к плоскости образца. Экспериментальные образцы представляли собой кристаллы галлий-гадолиниевого граната (ГГГ), на плоскости (111) которых была выращена методом жидкофазной эпитаксии пленка ЖИГ. Толщина пленки равнялась 17.3 мкм. Как показано в работах [2, 3], в касательном магнитном поле частота ферромагнитного резонанса (ФМР) для деформируемой пленки будет смещаться в сторону большей частоты, если направления деформации растяжения и поля подмагничивания взаимно перпендикулярны, и в сторону меньшей, если они параллельны (смена знака деформации приводит к смене знака эффекта). Поскольку начало спектров ОМСВ и ПМСВ связано с частотой ФМР, то в условиях деформации спектры будут смещаться вместе с ней.

Поиск наиболее простых и технологичных путей механического воздействия на поверхность пленки показал, что на поверхность ферритовой пленки можно эффективно воздействовать другой диэлектрической пленкой, коэффициент термического расширения (КТР) которой отличается от КТР пленки феррита. В качестве пленки, которая наносилась на поверхность феррита-граната и была выбрана диэлектрическая пленка ZnO . Ее толщина составляла 3 мкм.

Поскольку технологический режим нанесения ZnO проходит при высокой температуре, то при охлаждении до комнатной на поверхности феррита-граната за счет разности КТР создавалось механическое напряжение, которое и обеспечивало неоднородность магнитных свойств по толщине пленки.

Прямоугольный образец с пленкой, размеры которого были $10 \times 5 \text{ мм}^2$, закреплялся в держателе. Антенны из проволоки диаметром 70–100 мкм, которые служили для возбуждения и приема СВЧ сигнала, располагались у краев образца и были параллельны друг другу и краям пленки. При вращении образца в магнитном поле, которое лежало в его плоскости, можно было видеть, что при некоторых углах поворота возникают узкие полосы пропускания сигнала. Эти углы составляли приблизительно 15 градусов от продольной и поперечной осей магнитной системы и показаны штриховыми линиями на рис. 1, а. Там же изображена АЧХ устройства (рис. 1, б), соответствующая одному из углов (рис. 1, в), которая была снята на измерителе коэффициентов передачи и КСВн Р2-57.

Величина указанных углов зависела как от расстояния между антеннами, так и от длины и ширины образца. Это давало возможность предположить, что возбуждаемая антенной ООМСВ распространяется вдоль магнитного поля до боковой стороны образца. Отражаясь от его края, она преобразуется в поверхностную магнитостатическую волну, которая, распространяясь в направлении перпендикулярном магнитному полю до второй боковой стороны и повторно отражаясь от нее, преобразуется снова в объемную волну. Объемная волна принимается выходной проволочной антенной, где снова преобразуется в электромагнитный сигнал.

Прикасаясь в отдельных точках заостренным диэлектрическим штырем к поверхности пленки и разрушая тем самым волновой пучок распространяющейся в этой точке магнитной волны, оказалось возможным устанавливать пути распространения ООМСВ и ПМСВ. Один из них схематично показан на рис. 1, в. При этом, как показал эксперимент, во всех случаях сохранялся прямой угол между направлениями объемных и поверхностных волн. Следует отметить, что угол поворота должен был быть не менее 15 градусов, так как в противном случае ширина АЧХ излучаемых и принимаемых напрямую, т.е. без отражения от боковых сторон образца, волн оказывалась значительно шире изучаемой полосы частот узкополосной характеристики.

Для подтверждения эффекта пересечения спектров объемных и поверхностных волн был также выполнен второй эксперимент. Конструкция исследуемого в этом эксперименте образца показана на рис. 2, а. Здесь входная антенна 1 должна возбуждать ПМСВ, которые, принимаясь и переизлучаясь изогнутой под прямым углом антенной 2 уже в виде объемных волн в другой половине образца, должны приниматься антенной 3. Здесь же представлены АЧХ ПМСВ, измеренная на антеннах 1 и 2 (сплошная линия), и объемных волн, измеренная только на антеннах 2' и 3 (пунктир). Как и ожидалось, спектры этих волн пересеклись, и поэтому черным цветом выделена АЧХ фильтра при излучении и приеме сигнала антеннами 1 и 3 с полосой частот, попадающей в область пересечения. По-видимому, в зависимости от поставленной задачи конструкции антенн могут быть самыми различными. Направление магнитно-

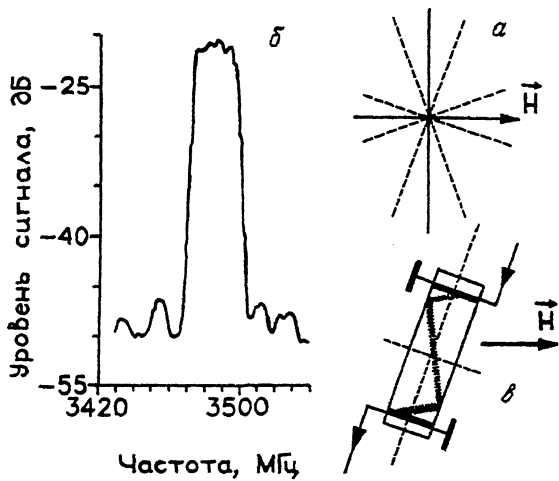


Рис. 1. Линия задержки в касательном магнитном поле: а - фиксированные положения образца в плоскости магнитного поля; б - типичная АЧХ, соответствующая одному из фиксированных положений образца; в - путь распространения МСВ в устройстве.

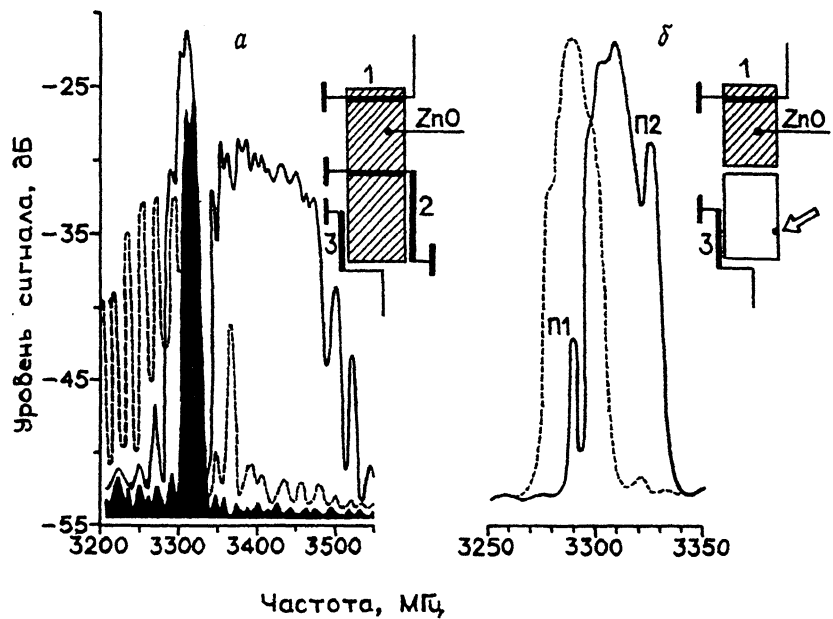


Рис. 2. АЧХ и внешний вид устройства: а - пленка ZnO на верхней поверхности образца, б - пленка ZnO присутствует на одной из сторон состыкованного образца.

го поля в этом эксперименте было строго параллельно продольной оси антенны 1.

Образец же, в котором пленки ЖИГ находились с обеих сторон ПГГ-подложки, а пленка ZnO лишь с одной, разламывался на две части, одна из которых затем переворачивалась и вновь пристыковывалась. Пленка ZnO , таким образом, присутствовала на верхней поверхности только в первой части образца. Здесь же располагалась и возбуждающая проволочная антенна 1 (рис. 2, б). Прием сигнала осуществлялся антенной 3, и в этом случае оказалось возможным преобразование ПМСВ в ООМСВ на стыке двух частей образца через воздушный зазор (антенна 2, присутствовавшая в описанном выше эксперименте, отсутствовала). Характеристика такого устройства была также узкополосной. Она представлена на рис. 2, б (сплошная линия). В этом эксперименте, как и в предыдущем, поле подмагничивания направлялось вдоль антенны 1.

Шириной полосы пропускания таких фильтров можно управлять. Так, в первом эксперименте ширину полосы пропускания фильтра удавалось плавно уменьшать в два раза, путем смещения образца перпендикулярно оси магнитной системы, то есть используя имеющуюся неоднородность магнитного поля. Возбуждающая объемные волны антенна попадала при этом в область с пониженным магнитным полем, что уменьшало в этой области начальную частоту спектра ООМСВ и, как следствие, ширину полосы пропускания фильтра.

В последнем же эксперименте (образец, состоящий из двух частей) изменение ширины частотной полосы пропускания обеспечивалось деформацией, вызываемой приложением механической нагрузки в определенных точках второй части образца. Так, например, приложение нагрузки в точке, показанной на рис. 2, б стрелкой, вызывало изменение АЧХ фильтра. На том же рисунке сплошной линией показана первоначальная АЧХ и штриховой линией - АЧХ фильтра под механической нагрузкой.

Таким образом, можно сделать вывод, что наличие пленки на поверхности пленки ЖИГ, выращенной на подложке из ПГГ, приводит к деформации пленки ЖИГ и, как следствие, к пересечению спектров объемных и поверхностных МСВ. Это явление дает возможность преобразования ПМСВ в объемную волну без промежуточной антенны. На основе этих эффектов возможно получение узкополосных перестраиваемых фильтров, шириной полосы пропускания которых можно управлять.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S e t h a r e s J.C., O w e n J.M., S m i t h C.V. // Electron. Lett. 1980. N 16. P. 825-826.
- [2] Ш е г л о в В.И. // Микроэлектроника. 1985. Т. 16. В. 4. С. 374-376.

[3] Андрианов А.В., Дикштейн И.Е., Мальцев О.А. // Тез. докл. 10-й междунар. конф. по гидромагнитной электронике и электродинамике. Польша, Ширк. Сентябрь 1990. Ч. 1. С. 7-11.

Институт радиотехники
и электроники РАН,
Фрязинская часть

Поступил в Редакцию
2 декабря 1992 г.