

05.2

## **Влияние металлизации ферритового магнетонного кристалла на брэгговские резонансы поверхностных магнитостатических волн**

© С.Л. Высоцкий, Е.Н. Бегинин, С.А. Никитов, Е.С. Павлов,  
Ю.А. Филимонов

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва  
E-mail: vysots1@gmail.com

Поступило в Редакцию 24 мая 2011 г.

Экспериментально показано, что металлизация поверхности ферритового магнетонного кристалла разрушает брэгговские резонансы поверхностных магнитостатических волн вследствие нарушения условий фазового синхронизма падающей и отраженной от поверхностной периодической структуры волн.

В последние годы активно исследуется возможность разработки СВЧ-устройств, использующих распространение магнитостатических волн (МСВ) в ферритовых магнетонных кристаллах (МК). Чаще всего МК представляют собой пленку железо-иттриевого граната (ЖИГ), на поверхности которой с помощью имплантации, химического или ионного травления получены одно- или двумерные периодические структуры [1–4]. При распространении в таких структурах поверхностных (ПМСВ), прямых объемных (ПОМСВ) и обратных объемных (ООМСВ) волн в их спектрах наблюдаются полосы не пропускания на частотах  $f_n$ , отвечающих длинам волн МСВ  $\lambda$ , определяемым из условия Брэгга

$$2d = n\lambda, \quad (1)$$

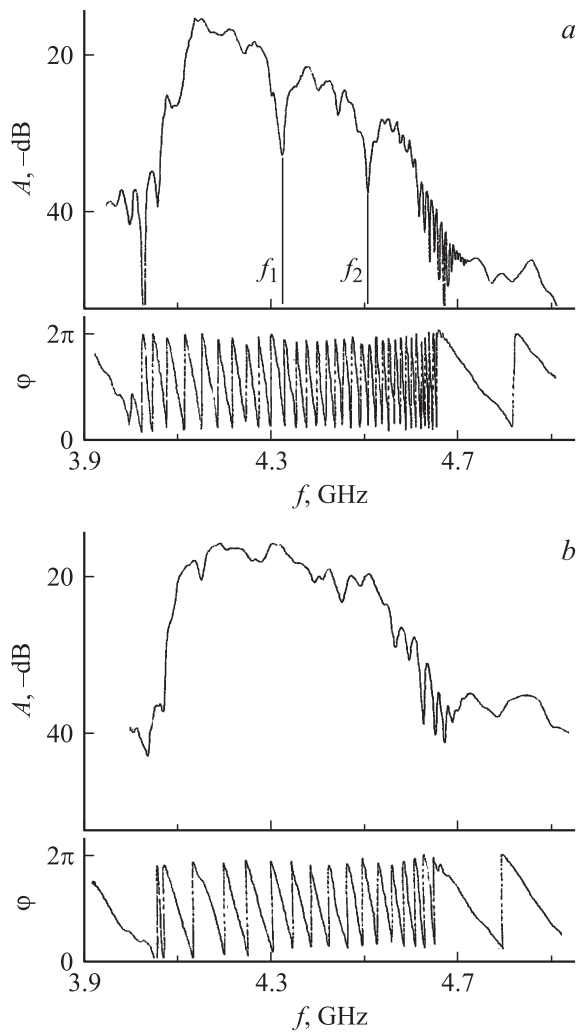
где  $d$  — период поверхностной структуры,  $n = 1, 2, \dots$  [5–7]. Причиной из возникновения является взаимодействие падающей и отраженной от периодической решетки волн, которые на частотах  $f_n$  складываются в противофазе, что и приводит к уменьшению амплитуды сигнала на

выходе устройства. Этот эффект может быть применен для фильтрации СВЧ-сигналов [8].

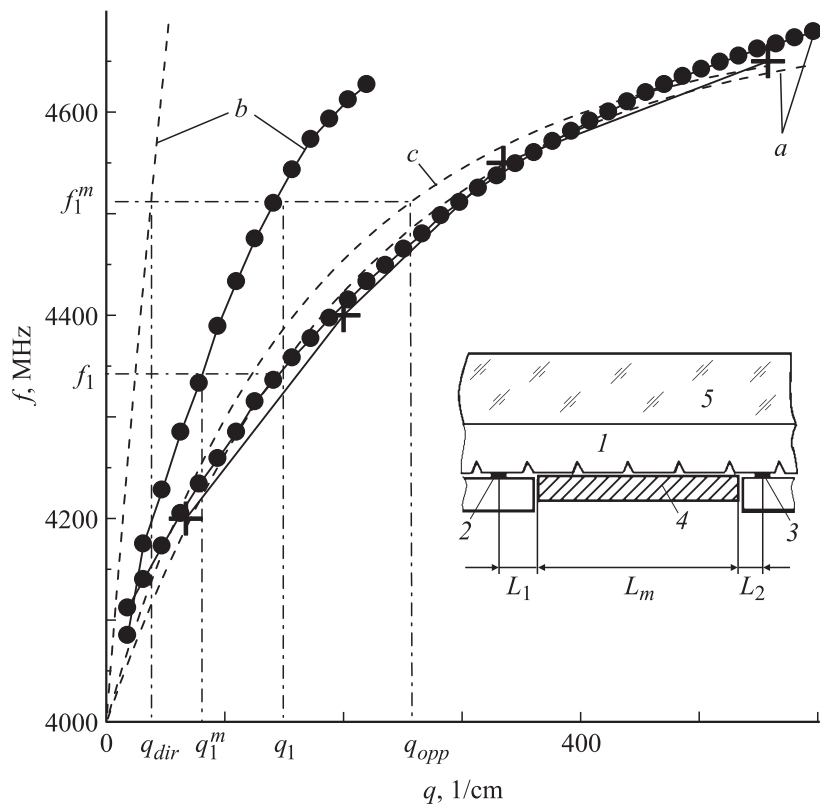
При разработке СВЧ-устройств, использующих распространение МСВ, часто используется изменение вида дисперсионной зависимости МСВ с помощью расположения над поверхностью пленки металлического экрана [9,10]. В структуре МК-металл при изменении зависимости  $f = f(q)$  можно ожидать изменения частот  $f_n$  в соответствии с (1). Кроме того, для ПМСВ, имеющих невзаимный характер, фазовые условия сложения падающей и отраженной волн могут нарушиться вследствие различия дисперсионных зависимостей волн, распространяющихся в структуре феррит–металл в противоположных направлениях [11].

Целью данной работы является исследование влияния металлизации МК на формирование полос непропускания в спектре распространяющихся в нем ПМСВ.

Исследованный в работе МК был изготовлен из пленки ЖИГ толщиной  $22 \mu\text{m}$ , на поверхности которой с помощью скрайбирования алмазным резцом получалась решетка с  $d = 200 \mu\text{m}$  из канавок шириной  $\sim 2 \mu\text{m}$ , глубиной  $\sim 0.2 \mu\text{m}$ . (Отметим, что способ получения периодической структуры для дальнейшего не является принципиальным.) На рис. 1, *a* представлены амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики макета линии задержки на ПМСВ в МК, полученные с помощью измерителя разности фаз и ослабления ФК2-18 при величине постоянного магнитного поля  $H = 800 \text{ Oe}$  и расстоянии  $L$  между входным 2 и выходным 3 микрополосковыми преобразователями, на которые помещается МК 1, (см. вставку к рис. 2), равном 4 mm. Видно, что АЧХ содержит узкие полосы возрастания затухания ПМСВ вблизи частот  $f_1$  и  $f_2$ . Соответствующие этим частотам длины волн, определенные с использованием ФЧХ в предположении, что набег фазы  $\theta(f)$  ПМСВ связан с ее волновым числом  $q$  соотношением  $q(f) = 2\pi/\lambda(f) = \theta(f)/L$ , оказались равны  $\lambda_1 = 392 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_2 = 206 \mu\text{m}$ , что хорошо соответствует (1). Таким образом, на частотах  $f_1, f_2$  возникновение полос увеличения потерь в АЧХ обусловлено береговским рассеянием ПМСВ на поверхностной периодической структуре МК. В то же время при наложении на поверхность МК 1, расположенную между микрополосковыми платами, металлического экрана 4 (см. вставку к рис. 2) АЧХ изменяется таким образом, что на частотах  $f_1, f_2$  особенностей не наблюдается (см. рис. 1, *b*).



**Рис. 1.** АЧХ и ФЧХ макета линии задержки на ПМСВ в МК (а) и в структуре МК–металл (b) при  $H = 800$  Ое.



**Рис. 2.** Дисперсионные зависимости ПМСВ в МК (*a*) и в структуре МК–металл при распространении в прямом (*b*) и обратном (*c*) направлениях при  $H = 800$  Ое (штриховые линии — расчет, сплошные — построенные с помощью ФЧХ.)

На рис. 2 сплошными линиями представлены построенные с использованием ФЧХ дисперсионные зависимости ПМСВ в исследуемом МК в отсутствие (*a*) и при наложении (*b*) металлического экрана при  $H = 800$  Ое. Штриховые линии отвечают рассчитанным дисперсионным зависимостям ПМСВ в пленке ЖИГ толщиной  $22 \mu\text{m}$  для случаев распространения вдоль свободной (*a*) и металлизированной (*b*) поверхности пленки. При распространении ПМСВ в противоположном направле-

нии, когда волна „прижата“ к границе МК 1 и подложки 5 (см. вставку к рисунку), рассчитанная дисперсионная зависимость в свободной пленке совпала с кривой (а), а для металлизированной представлена на рисунке кривой (с). Видно, что в случае (а) рассчитанные и экспериментально полученные кривые хорошо совпадают между собой и с результатами измерения модуля волнового вектора ПМСВ с помощью изменения величины  $L$  аналогично [12], изображенными крестиками. Заметное различие кривых (b) обусловлено тем, что в описанной конструкции макета набег фазы при распространении ПМСВ на расстояние  $L$   $\theta(f, L)$  представляет собой сумму  $\theta(f, L) = \theta_f(f, \Delta L) + \theta_m(f, l_m)$ , где  $\theta_f(f, \Delta L)$  и  $\theta_m(f, L_m)$  — набег фазы на участке МК длиной  $\Delta L = L_1 + L_2 = 0.5$  mm и участке структуры МК–металл длиной  $L_m = 3.5$  mm соответственно (см. вставку к рис. 2).

Рассмотрим влияние металлизации поверхности МК на примере брегговского резонанса на частоте  $f_1$ . Из экспериментально полученной дисперсионной зависимости (а) на рис. 2 видно, что при распространении ПМСВ в МК этой частоте отвечает величина волнового вектора  $q_1 \approx 157$  cm<sup>-1</sup>, тогда как в структуре МК–металл  $q_m(f_1) \approx 85$  cm<sup>-1</sup>, следовательно на частоте  $f_1$  условие (1) перестает выполняться. При этом в области частот вблизи  $f_1^m$ , формально соответствующей (1), полоса увеличения затухания ПМСВ также не наблюдается вследствие нарушения синхронизма падающей и отраженной от поверхностной структуры волн. Последнее легко видеть из сравнения кривых (b) и (с): на частоте  $f_1^m$  величины волновых векторов ПМСВ, распространяющихся в противоположных направлениях, составляют  $q_{dir} \approx 39$  cm<sup>-1</sup> и  $q_{opp} \approx 274$  cm<sup>-1</sup>. Отметим, что в случае распространения в структуре МК–металл ПМСВ или ОМСВ, являющихся взаимными, можно ожидать изменения положения полос непропускания по частоте по сравнению со случаем МК.

В заключение отметим, что в проведенных экспериментах увеличение уровня потерь на частоте  $f_1$  с  $-15$  до  $-30$  dB достигалось при удалении металлического экрана от поверхности пленки на расстояние  $\sim 100$   $\mu$ m, что позволяет использовать структуру МК–металл в качестве СВЧ-модулятора аналогично [13].

Таким образом, в работе экспериментально исследовано влияние металлизации поверхности ферритового магнетонного кристалла на формирование полос непропускания в спектре распространяющихся на нем ПМСВ.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 09-07-00186-а, 11-07-00233-а), Федерального агентства по образованию РФ (проект РНП 2.1.1/2695), гранта Правительства России для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в Российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (грант № 11.G34.31.0030).

## Список литературы

- [1] *Carter R.L., Owens J.V., Smith C.V., Reed K.W.* // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. № 3. P. 2655–2657.
- [2] *Carter R.L., Owens J.V., Smith C.V.* // IEEE Trans. on Magn. 1980. V. MAG-16 N 5. P. 1159–1161.
- [3] *Высоцкий С.Л., Никитов С.А., Филимонов Ю.А.* // ЖЭТФ. 2005. Т. 128. В. 3(9). С. 636–644.
- [4] *Стогний А.И., Серов А.А., Корякин С.В., Паньков В.В.* // ПТЭ. 2008. Т. 2. С. 162–165.
- [5] *Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Животовский Л.В.* и др. // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т. 77. В. 10. С. 670–674.
- [6] *Chumak A.V., Serga A.A., Wolf S., Hillebrands B., Kostylev M.P.* // Appl. Phys. Lett. 2009. V. 94. P. 172511.
- [7] *Ysotsky S.L., Nikitov S.A., Filimonov Yu.A., Pavlov E.S.* // Abstracts of International Conference „Functional Materials“. Ukraine, Crimea, Partenit. October 1–6, 2007. P. 301.
- [8] *Никитов С.А., Филимонов Ю.А., Высоцкий С.Л., Павлов Е.С., Новицкий Н.Н., Стогний А.И.* // Сб. науч. трудов „Гетеромагнитная микроэлектроника“. 2008. В. 5. С. 78–86.
- [9] *Chang K.W., Owens J.M., Carter R.L.* // Electronic Letters. 1983. V. 19. N 14. P. 546–547.
- [10] *Ishak W.S.* // IEEE Trans. Magn. 1983. Vol. MAG-19. P. 1880–1882.
- [11] *Гуревич А.Г., Мелков Г.А.* Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994. 464 с.
- [12] *Огрин Ю.Ф., Луговской А.В., Темирязов А.Г.* // Радиотехника и электроника. 1983. Т. 28. № 8. С. 1664–1666.
- [13] *Chumak A.V., Neumann T., Serga A.A., Hillebrands B., Kostylev M.P.* // J. Phys. D.: 2009. V. 42. P. 205005.