

07;09;12

©1995

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ И НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПРЯМЫХ ОБЪЕМНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*О.В. Колокольцев, Ю.А. Гайдай*

Исследование процессов магнитооптического взаимодействия оптических волноводных мод (ОВМ) с дипольными спиновыми волнами и колебаниями в пленках железоиттриевого граната (ЖИГ) представляет значительный интерес в рамках проблем создания быстродействующих функциональных устройств интегральной оптики.

С другой стороны, магнитооптическое (МО) взаимодействие ОВМ с магнитоэлектрическими волнами (МСВ), как возмущающий метод зондирования, открывает новые возможности для экспериментального исследования фундаментальных параметров пленок ЖИГ, характеристик пучков МСВ, в том числе их нелинейных свойств [1,2].

Целью настоящей работы является исследование пространственной эволюции углового спектра (УСП) пучков прямых объемных МСВ (ПОМСВ) оптическим методом, в основе которого лежит закон сохранения импульса при анизотропной ( $TE \leftrightarrow TM$ ) брегговской дифракции ОВМ (что позволяет фиксировать величину волнового вектора ( $k_s$ ) исследуемой ПОМСВ), и возможности реализации прямой зависимости интенсивности оптической дифракционной моды от мощности ПОМСВ, а также определение данным методом основных характеристик ПОМСВ: коэффициента затухания  $k''$ , параметра релаксации  $\Delta H_k$  и пороговой мощности  $P_p$  в функции волнового числа.

Геометрия эксперимента представлена на рис. 1, а. В эксперименте была использована пленка  $Y_3Fe_5O_{12}/GGG_{(111)}$  (толщиной  $s = 6.8$  мкм), выращенная методом жидкофазной эпитаксии. Намагниченность насыщения пленки  $M_0 = 140$  Гс, ширина линии ФМР  $\Delta H_0 = 0.4$  Э. Основная мода ПОМСВ возбуждалась микрополосковым преобразователем (МП) в диапазоне частот  $\Omega = 2-3$  ГГц. Возможность перемещения МП вдоль координаты  $Y$  с последующим поворотом вокруг оси ( $x'$ ) на угол  $\varphi$  позволяла регистрировать УСП пучка ПОМСВ по интенсивности оптической дифракционной моды. Апертура преобразователя  $L = 0.5$  см, ширина 20 мкм.

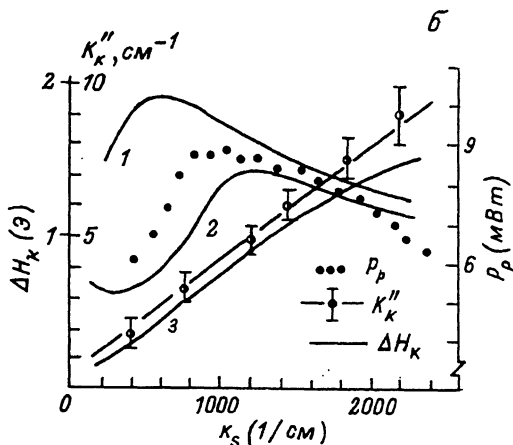
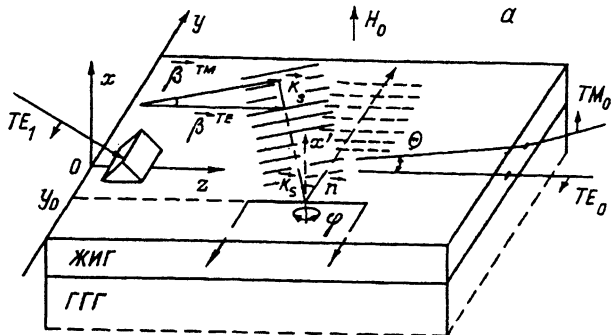


Рис. 1. Геометрия эксперимента (а).

Экспериментальные зависимости коэффициента затухания  $K''$  и пороговой мощности  $P$  ПОМСВ от величины волнового вектора для пленки ЖИГ толщиной  $s = 6.8$  мкм; зависимости параметра диссипации  $\Delta H$  рассчитаны для пленок с толщинами: 1 —  $s = 18$ ; 2 —  $6.8$ ; 3 —  $3$  мкм (б).

Как показано в [3], угловые спектры пучков МСВ, возбуждаемых МП с апертурой  $L$ , можно описать интегралом Френеля:

$$F_{\mathbf{k}}(k_z) = (1/2\pi) \int_{-L/2}^{L/2} \Phi_{\mathbf{k}}(y', z') \exp(-jk_z z' - jk_y y') dz, \quad (1)$$

где  $F_{\mathbf{k}}(\varphi) \equiv F_{\mathbf{k}}(k_z)$  — спектр плоских волн, суперпозиция которых формирует пучок;  $\Phi_{\mathbf{k}}(y', z')$  — пространственное распределение амплитуды пучка;  $k_z = |k_s| \sin(\varphi)$ ;  $k_y = |k_s| \cos(\varphi)$ ;  $\varphi$  — угол между нормалью к МП и волновым вектором гармоники;  $L$  — апертура преобразователя. В

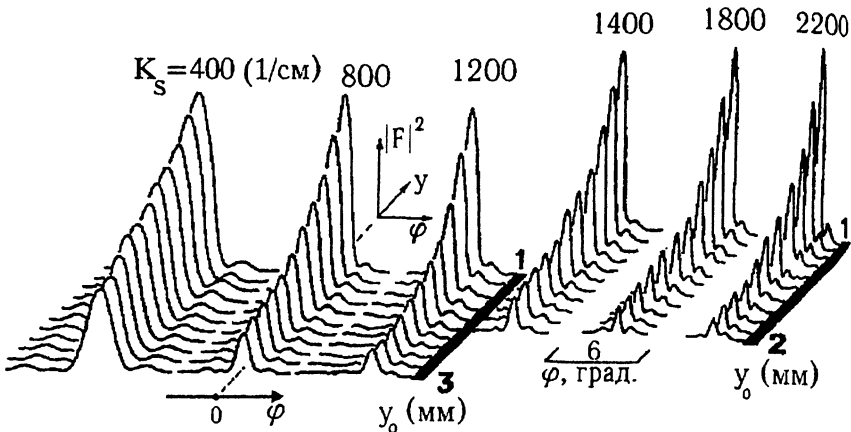


Рис. 2. Пространственная эволюция УСП пучков ПОМСВ.

приведенных выражениях координата  $z'$  направлена вдоль МП.

Функцию  $F_k(\varphi)$  легко вычислить, зная условия на границе:

$$\Phi_k(0, z') = \Phi_0(z'). \quad (2)$$

При возбуждении МСВ условие (2) задается распределением тока вдоль МП. В случае если  $\Phi_0(z')$  является произвольной функцией, зависимость  $F_k(\varphi)$  будет иметь сложный вид, что нежелательно для запланированных экспериментов. Поэтому нами был изготовлен МП с равномерным распределением амплитуды СВЧ-тока по апертуре. Для этого случая условие  $\Phi_0(z') = \text{const}$  и УСП пучка описывается наиболее простой функцией:

$$f_k(\varphi) = \text{sinc}(0.5L|k_s|\sin(\varphi)). \quad (3)$$

Если расходимость пучка падающего света намного меньше расходимости пучка ПОМСВ, то, регистрируя интенсивность дифракционной ТМ-моды при вращении МП вокруг оси  $x'$ , можно получить искомую зависимость  $|F_k(\varphi)|^2$ .

На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости, характеризующие пространственную эволюцию УСП пучков ПОМСВ  $|F_k(\varphi)|^2$ . Видно, что все пространственные гармоники имеют экспоненциальный характер зависимости по координате  $Y$ , а их форма описывается функцией вида (3). Это дает основание построить искомую зависимость коэффициента затухания ПОМСВ  $k_k'' = k''(k_s)$  по изменению только нормальной составляющей спектров  $|F_k(0)|^2$ .

На рис. 1, б представлена зависимость  $k_k''$  из одной серии экспериментов. Как видно, данная зависимость имеет линейный характер и может быть описана прямой (прерывистая линия на рис. 1, б):

$$k_k'' = \bar{\kappa} k_s + \bar{a},$$

где  $\bar{\kappa} = 4.3 \cdot 10^{-3}$ ,  $\bar{a} = 0.3$  ( $\text{см}^{-1}$ ) — коэффициент пропорциональности и начальное смещение, усредненные по серии экспериментов на трех образцах. Приведенные величины получены с точностью 10% и 15% соответственно.

Из теории релаксации магновов в ферритах [4] следует, что наибольший вклад в релаксацию дипольных волн (в частности, ПОМСВ) вносят процессы трехмагнонного слияния, вероятность которых прямо пропорциональна величине  $k_s$ , что, по-видимому, и лежит в основе полученных результатов.

Полагая, что полученная зависимость  $k''(k_s)$  справедлива для пленок разной толщины, переход к параметру релаксации  $\Delta H_k$  монохроматической ПОМСВ можно осуществить с помощью известного соотношения [5]:

$$\Delta H_k(s) = \frac{2v_g(k_s, s)}{\gamma(\partial\Omega/\partial H)_k} k_k'', \quad (13)$$

где  $\gamma$  — гиромагнитное отношение;  $v_g(k_s, s)$  — групповая скорость  $k_s$ -волны ПОМСВ в пленке толщиной  $s$ , рассчитанная из дисперсионного соотношения  $D(\Omega, k_s) = 0$ . При таком подходе особенности зависимостей  $\Delta H_k$  в пленках разной толщины, представленных на рис. 2, б сплошными линиями (1 —  $s = 18$  мкм, 2 — 6.8 мкм, 3 — 3 мкм), в основном определяются функцией  $v_g(k_s, s)$ .

Прямая корреляция настоящих результатов с ранее полученными [6], в том числе в классических работах [4], затруднительна, так как в цитируемых работах исследовался спектр пленок и объемных образцов только в области ОСВ ( $k_s \geq 10^4$   $\text{см}^{-1}$ ) методом продольной накачки.

Результаты исследований минимального порога неустойчивости ПОМСВ в функции волнового числа представлены точками на рис. 1, б. Пороговая кривая  $P_p(k_s)$  получена по измерению значения интенсивности дифракционной  $TM_0$ -моды при увеличении мощности ПОМСВ до пороговой. При постановке эксперимента учитывалось влияние диссипации ПОМСВ на результаты измерений. Следует отметить, что пороговая кривая  $P_p(k_s)$  характерно коррелирует с зависимостью  $\Delta H_k(k_s)$  исследуемой пленки ( $s = 6.8$  мкм).

## Заключение

В первую очередь следует отметить, что представленная методика позволяет уверенно фиксировать зависимость амплитуд пространственных гармоник пучков ПОМСВ от положения узлов (пучностей) стоячей волны тока МП с точностью не хуже десятых долей от величины  $\lambda_j$ . Хорошее согласие экспериментальных и расчетных результатов для УСП пучков, сформированных элементарными МП, указывает на то, что методика может быть полезной при исследовании излучательных характеристик МП со сложной топологией. Кроме этого, возможность контроля за пространственной эволюцией СПВ пучка невозмущающим оптическим зондом значительно повышает достоверность экспериментальных результатов при определении параметров диссипации и порогов неустойчивости МСВ.

### Список литературы

- [1] Руткин О.Г., Ковшиков Н.Г., Сташкевич А.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 15. С. 933–936.
- [2] Fetisov Y.K., Klimov A.A., Preobrazhensky V.L. // Proceedings of XX Microwave European Conf. Budapest. Hungary. 10–13 Sept. 1990. V. 1. P. 569–572.
- [3] Вашковский А.В., Гречушкин К.В., Стальмахов А.В., Тюлюкин В.А. // Радиотехника и электроника. М, 1987. Т. 32. В. 11. С. 2295–2304.
- [4] Sparks M., Loudon R., Kittel C. // Phys. Rev. 1961. V. 122. N 3. P. 1995.
- [5] Данилов В.В., Зависляк И.В., Балинский М.Г. Спинволновая электродинамика. Киев, 1991. 211 с.
- [6] Калинин Б.А., Ковшиков Н.Г., Космына М.Б., Пузиков В.М., Чарторижский Д.Н. // ФТТ. 1975. Т. 17. В. 11. С. 3434–3436.

Поступило в Редакцию  
3 декабря 1994 г.