

## ПОЛЯРИТОННОЕ УСИЛЕНИЕ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ФАРАДЕЯ

В.Е.Кочергин<sup>1)</sup>, А.Ю.Топоров, М.В.Валейко

Институт общей физики РАН

117942 Москва, Россия

Поступила в редакцию 28 июля 1998 г.

Зарегистрировано усиление магнитооптического эффекта Фарадея за счет возбуждения поверхностного поляритона на границе раздела феррит-гранат – серебро. Основной вклад в эффект обусловлен вращением поляризации поверхностного поляритона при распространении вдоль указанной границы раздела.

PACS: 78.20.Ls

Поверхностные поляритоны (ПП) в сочетании с различными типами воздействий на поверхности и тонкопленочные структуры представляют значительный интерес как с фундаментальной, так и прикладной точек зрения [1, 2]. В частности, ПП могут вызывать усиление магнитооптических эффектов. Имеются данные об усилении магнитооптического эффекта Керра (МОЭК) за счет возбуждения ПП на границе магнитная металлическая пленка – воздух, в многослойных структурах благородный металл – ферромагнитный металл, или сверхрешетках Co–Cu [3-5]. Высказывалось также предположение о возможности получения поляритонного усиления магнитооптического эффекта Фарадея (МОЭФ) в структуре из висмут-содержащего феррит-граната (Vi-ФГ), покрытого металлической пленкой [6]. В настоящей работе сообщается об экспериментальном обнаружении усиления МОЭФ за счет возбуждения ПП в подобной структуре при двойном прохождении света через Vi-ФГ пленку, а также анализируются физические механизмы этого явления.

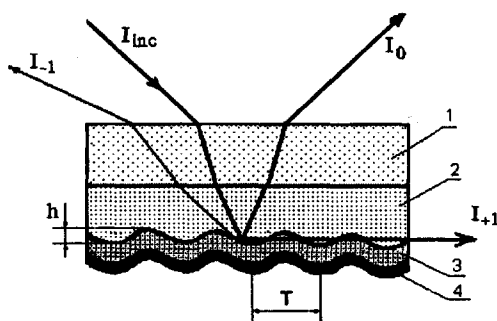


Рис.1. Оптическая схема измерений: 1 – подложка из галлий-гадолиниевого граната; 2 – Bi-содержащая феррит-гранатовая пленка; 3 – серебряная пленка; 4 – золотая пленка

Схема эксперимента приведена на рис.1. ПП возбуждались на границе раздела пленок серебра 3 и Vi-ФГ 2 посредством дифракционной решетки. Решеточный способ возбуждения ПП являлся единственно возможным в данной конфигурации ввиду высокого показателя преломления Vi-ФГ в видимом диапазоне ( $n = 2.17$  на длине волны  $\lambda = 0.63$  мкм). Использовались односторонние Vi-ФГ пленки толщиной

<sup>1)</sup> e-mail: kocherg@kapella.gpi.ru

1.96 мкм, выращенные методом жидкофазной эпитаксии на подложках из галлий-гадолиниевого граната с ориентацией (111) толщиной 300 мкм. Образцы обладали анизотропией типа "легкая плоскость" с полями насыщения и анизотропии 0.9 Э и 2 Э, соответственно. Решетка на поверхности Vi-ФГ пленки с периодом  $T = 0.7$  мкм и глубиной  $h = 0.3$  мкм изготавливалась голографическим методом с засветкой фоторезиста излучением He-Cd-лазера ( $\lambda = 0.44$  мкм) и последующим ионным травлением. Вектор решетки был параллелен одной из легких осей Vi-ФГ пленки. На решетку с помощью электронно-лучевого испарения при давлении  $10^{-6}$  торр наносилась пленка серебра толщиной 60 нм и защитный слой золота толщиной 20 нм.

Полученная таким образом структура помещалась между двумя скрещенными парами катушек, которые создавали магнитное поле напряженностью до 20 Э, достаточное для насыщения Vi-ФГ пленки. Поле было направлено в плоскости Vi-ФГ пленки вдоль вектора решетки. В качестве источника излучения использовался одномодовый He-Ne-лазер с длиной волны  $\lambda = 0.63$  мкм и расходимостью 1 мрад. Угол падения излучения на структуру устанавливался с точностью до 0.5 мин. Для возбуждения ПП использовалось излучение (+1)-го порядка дифракции. Исходя из геометрии эксперимента, было удобно регистрировать МОЭФ для излучения, дифрагировавшего в (-1)-й порядок. К тому же, это позволяло избегать влияния МОЭК, связанного с зеркальным отражением от границы раздела Vi-ФГ пленка – подложка. Измерения проводились в переменном магнитном поле с помощью дифференциального (балансного) поляриметра [7, 8]. Падающее излучение было линейно поляризовано под углом  $45^\circ$  к плоскости падения.

Измерялись зависимости амплитуд суммарного и дифференциального сигналов  $S_{sum}$  и  $S_{dif}$  балансного поляриметра от угла падения света на структуру. Амплитуда  $S_{sum}$  пропорциональна полной интенсивности излучения, дифрагировавшего в (-1)-й порядок, а  $S_{dif}$  – произведению полной интенсивности излучения (-1)-го порядка дифракции и угла поворота плоскости поляризации. Угловая зависимость  $S_{sum}$  приведена на рис.2. В ней наблюдается минимум, соответствующий возбуждению ПП. Из-за того, что наряду с фарадеевским вращением поляризации имела место перекачка энергии излучения в ПП, по-разному проявлявшаяся для  $p$ - и  $s$ -поляризованных компонент излучения, в зависимости  $S_{sum}$  от приложенного магнитного поля наблюдался гистерезис. Зависимость амплитуды петли гистерезиса от угла падения имела резонансный максимум, совпадавший своим положением и формой с минимумом на рис.2. По той же причине гистерезис в зависимости от магнитного поля наблюдался и для  $S_{dif}$ . Угловая зависимость отношения сигналов  $S_{dif}/S_{sum}$  характеризует угол поворота плоскости поляризации света при его взаимодействии со структурой и представлена на рис.3 кривой 1. Видно, что это отношение возрастает при углах, соответствующих возбуждению ПП, причем угловые положения максимума МОЭФ и минимума отражения совпадают.

Вращение плоскости поляризации света при его взаимодействии с рассматриваемой структурой может быть обусловлено тремя эффектами: 1) фарадеевским вращением при двойном прохождении через Vi-ФГ пленку; 2) изменением поляризации света, вызванным тем, что воздействие магнитного поля на магнитооптический материал (Vi-ФГ) влияет на различие амплитуд и фаз коэффициентов отражения (переизлучения)  $p$ - и  $s$ -компонент от границы раздела Vi-ФГ – серебро; 3) вращением плоскости поляризации ПП при его распространении вдоль границы раздела Vi-ФГ

– серебро. Влияние первого эффекта хорошо изучено и описано в литературе [9]. Второй эффект усиливается в условиях возбуждения ПП, и его вклад также может быть рассчитан на основе известных методик [10]. Суммарный вклад эффектов 1 и 2, рассчитанный на основе экспериментальных зависимостей  $S_{sum}$  и  $S_{dif}$ , а также амплитуд петель гистерезисов, представлен для той же структуры кривой 2 на рис.3. Таким образом, различие кривых 1 и 2 на рис.3 следует отнести к проявлению третьего эффекта. Видно, что он приводит к усилению МОЭФ примерно в пять раз.

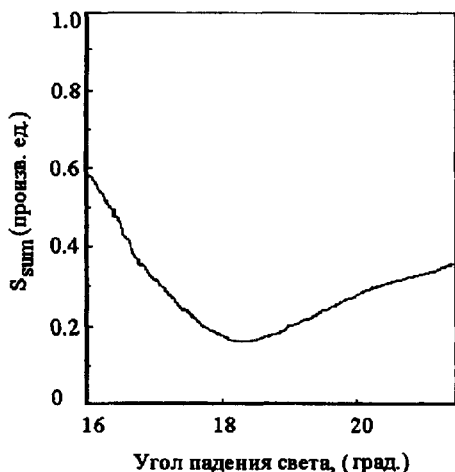


Рис.2. Угловая зависимость суммарного сигнала  $S_{sum}$

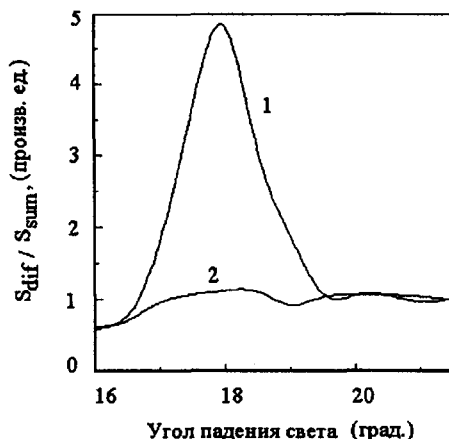


Рис.3. Угловая зависимость отношения сигналов  $S_{dif}/S_{sum}$ : 1 – экспериментальная кривая в условиях возбуждения ПП, 2 – расчетная кривая, в которой исключен поворот поляризации ПП

Расчет третьего эффекта представляет собой сложную задачу, выходящую за рамки данной работы, поскольку к настоящему времени не существует адекватной физической модели, описывающей поведение ПП в гиротропных средах. Дело в том, что, с одной стороны, в соответствии с уравнениями Максвелла в изотропных средах ПП могут существовать только в виде р-поляризованной волны, и любой поворот плоскости поляризации этой волны приведет к дополнительной диссипации энергии. С другой стороны, в геометрии эффекта Фарадея ПП могут существовать в виде двухволнового решения уравнений Максвелла, тем самым допускается наличие  $\alpha$ -поляризованной компоненты ПП [2]. Качественно, вывод о доминирующей роли третьего эффекта согласуется с тем, что длина пробега ПП в рассматриваемой структуре примерно на порядок превышает толщину Ви-ФГ и именно на этой длине происходит основной поворот плоскости поляризации в наблюдаемом МОЭФ.

Таким образом, экспериментально обнаружен эффект усиления МОЭФ за счет возбуждения ПП. Основной вклад в эффект вносится вращением поляризации ПП при распространении вдоль границы раздела металла и гиротропной среды. Коэффициент усиления можно повысить как за счет подбора оптимальных параметров структуры, в которой возбуждается ПП, так и за счет создания структуры, в которой возможно возбуждение длиннопребных ПП.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории проф. В.А.Сычугова за изготовление решеток, а также А.А.Белоглазову за полезные обсуждения. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 98-02-17421.

- 
1. В.М.Агранович, Д.Л.Миллс, *Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях раздела сред*, М.: Наука, 1985.
  2. A.D.Boardman, *Electromagnetic Surface Modes*, John Wiley & Sons Ltd., 1982.
  3. P.E.Ferguson, O.M.Stafsudd, and R.F.Wallis, *Physica* **B89**, 91 (1977).
  4. V.I.Safarov, V.A.Kosobukin, and C.Hermann, *Phys. Rev. Lett.* **73**, 3584 (1994).
  5. В.А.Кособукин, *ФТТ* **38**, 3461 (1996).
  6. A.D.Boardman, A.I.Voronko, A.Yu.Toporov et al., *J. Appl. Phys.* **75**, 6804 (1994).
  7. В.С.Запасский, *ЖПС* **37**, 181 (1982).
  8. P.M.Vetoshko, V.B.Volkovoy, A.Yu.Toporov et al., *J. Appl. Phys.* **70**, 6298 (1991).
  9. А.К.Звездин, В.А.Котов, *Магнитооптика тонких пленок*, М.: Наука, 1988.
  10. В.Е.Кочергин, А.А.Белоглазов, М.В.Валейко и др., *Квант. Электр.* **25**, 457 (1998).