

01;07

## ВЕКТОРНОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА ПРОФИЛИРОВАННЫХ ДОМЕННЫХ РЕШЕТКАХ

© А.В.Воляр, Н.А.Грошенко, Т.А.Фадеева

Рассеяние света на полосовых доменных решетках с симметричным распределением вектора намагниченности уже подробно обсуждалось в работах [1,2]. Вопросы, затрагиваемые в этих статьях на основе векторной и скалярной теории рассеяния в основном касались явления Рамана-Ната и рассеяния Брэгга. Результаты исследований хорошо согласовывались со скалярной теорией Рамана-Ната на ультразвуковых решетках и толстослойных голограммах [3]. В тонких доменных магнитных пленках не всегда строго выполняются требования магнитной симметрии пространственных групп, характерные для сплошных магнитооптических сред [4]. Это связано с возникновением в магнитных пленках внешних потоков, стимулирующих квазирегулярную полосовую структуру.

В настоящей работе сделана попытка экспериментально и модельно-теоретического изучения векторного рассеяния света на доменной решетке, профилированной несимметричным распределением вектора намагничивания.

1. Будем считать, что в оптическом диапазоне вклад магнитного поля пренебрежимо мал и положим магнитную проницаемость  $\mu = 1$ . Тогда основной вклад в магнитооптические свойства будет вносить только фарадеевское вращение  $Q$ .

Рассмотрим частный случай потери симметрии магнитооптического тензора, элементы которого можно представить в виде:

$$\begin{aligned} a_{11} &= a_{22} = a_{33} = \varepsilon, \\ a_{21} &= -a_{12} = iQ \cos \varphi, & a_{23} &= -ibQ \sin \varphi, \\ a_{32} &= iaQ \sin \varphi, & a_{13} &= a_{31} = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Запишем векторное волновое уравнение:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \nabla(\nabla \mathbf{E}) + k_0^2 \hat{\varepsilon} \mathbf{E} = 0, \quad (2)$$

где  $\varphi$  — угол между намагниченностью  $\mathbf{M}$  и осью  $Z$ .

Величины  $a$  и  $b$  могут принимать значения от  $-1$  до  $+1$  и подбираются экспериментально.

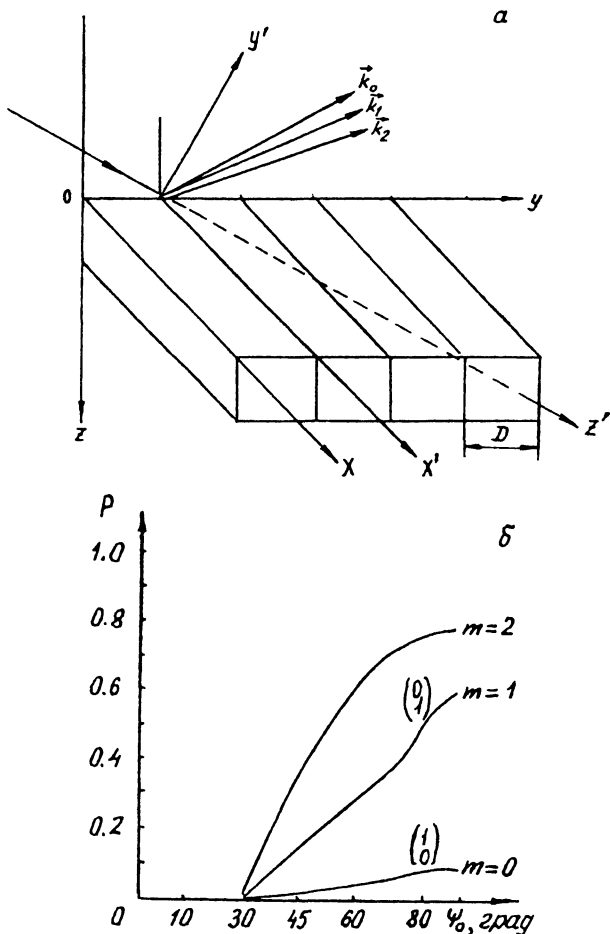


Рис. 1. а — схематическое представление процесса несимметричного рассеяния света; б — зависимость степени поляризации  $P$  от угла падения  $\Psi_0$  при несимметричном рассеянии света в  $m = 0, -1$  и  $-2$  порядки.

Направим ось  $OZ$  перпендикулярно плоскости пленки, ось  $OY$  — вдоль доменной стенки, ось  $OX$  — перпендикулярно доменной стенке (рис. 1, а).

Пусть изменение намагниченности от одного домена к другому происходит по гармоническому закону:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{1}{2}(e^{eqy} + e^{-iqy}), \\ \sin \varphi &= \frac{1}{2i}(e^{iqy} - e^{-iqy}), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $q = 2\pi/\Lambda$  — вектор решетки,  $\Lambda$  — период доменной структуры.

Дальнейшее рассмотрение проведем в предположении скользящих углов падения  $\psi_0$  ( $\psi_0$  — угол распространения света в пленке).

Решение уравнения (2) будем искать в виде суперпозиции локальных волн:

$$\mathbf{E} = \sum_m E_m(z) \exp \{iQ(k \sin \psi_0 + mg) + [k \cos \psi_0 z]\}. \quad (4)$$

Введем обозначения

$$\mu = \frac{kQ}{4\varepsilon} \cos \psi_0, \quad x = \frac{(a-b)Qk}{4\varepsilon} \sin \psi_0, \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{kQ}{4\varepsilon \cos \psi_0}, \quad q \ll k, \quad kQ^2 \ll kQ.$$

Из эксперимента известно, что при скользящем падении волны в поле излучения наблюдаются только несимметричные порядки дифракции (рис. 2, в, з). Наиболее устойчивы порядки дифракции для проходящего света:  $m = 0, +1, +2$ ; для отраженного света:  $m = 0, -1, -2$ .

Учитывая (3) и (4), запишем уравнения рассеяния для проходящего света:

$$\frac{\alpha}{\alpha\xi} E_0^x = \frac{\gamma}{\mu} E_1^y, \quad \frac{\alpha}{\alpha\xi} E_0^y = \frac{\gamma}{\mu} E_1^x + iE_1^y,$$

$$\frac{\alpha}{\alpha\xi} E_1^x = \frac{\gamma}{\mu} (E_0^y - E_2^y), \quad \frac{\alpha}{\alpha\xi} E_1^y = \frac{\gamma}{\mu} (E_0^x - E_0^x) - i(E_0^y - E_2^y), \quad (6)$$

$$\frac{\alpha}{\alpha\xi} E_2^x = \frac{\gamma}{\mu} E_1^y, \quad \frac{\alpha}{\alpha\xi} E_2^y = -\frac{\gamma}{\mu} E_1^x - iE_1^y,$$

где  $\xi = \mu z$  — безразмерная длина.

Симметрия системы (6) допускает ее квадратурное решение при ( $a = -b$ ). Однако в связи с громоздкостью квадратурной записи ограничимся графическим представлением решения.

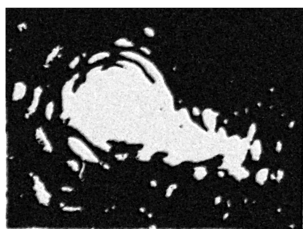
Большой интерес представляет проблема рассеяния на полосовой структуре полностью деполаризованного гауссова пучка света. Решение уравнений (6) для зависимости степени поляризации  $P$  от угла распространения  $\psi_{k_0}^y$  пучка в магнитной пленке приведено на рис. 1, б для трех порядков рассеяния ( $m = 0, m = -1, m = -2$ ). Характерно, что рассеянный свет в  $m = 0$  порядок имеет такое же состояние поляризации, что и начальный световой поток. В



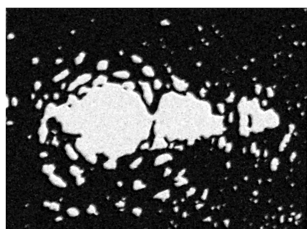
а



б



в



г

Рис. 2. Фотографии: а — общего вида доменной структуры; б — квазиполосовой доменной структуры; в — дальнего поля рассеяния при скользящих углах падения  $\Psi_0 \approx 45^\circ$ ; г — дальнего поля рассеяния при скользящих углах падения  $\Psi_0 \approx 63^\circ$ .

двух других порядков рассеяния свет имеет ортогональные линейные состояния поляризации. Максимальная степень поляризации в  $m = 2$  порядок достигает 80%.

2. Экспериментально исследовалась дифракция света на висмутсодержащих железоиттриевых магнитных пленках на подложках из галлийгадолиниевого граната. Толщина пленки  $\alpha \approx 12$  мкм, шаг доменной структуры  $\Lambda \approx 7$  мкм. Вектор намагничивания не строго перпендикулярен плоскости пленки внутри домена, и его плотность в плоскости домена различна. Фотография доменной структуры в поляризованном свете приведена на рис. 2, а, б. На поверхности пленки накладывалась прямоугольная рутиловая призма. В пленке свет распространяется в интервале углов  $\psi = (30-75$  угл. град). Вид дальнего поля отраженного света представлен на рис. 2, в, г. Наличие рутиловой призмы позволяло выявить присутствие симметричных порядков рассеяния  $m > 0$ . Однако интенсивность света в этих пределах была на уровне интенсивности шума и ее ослабление по сравнению с соответствующей интенсивностью отрицательных порядков дифракции составляло 37 Дб.

Для работы с неполяризованным когерентным излучением использовался Аг-лазер на длине волны  $\lambda = 0.5145$  мкм с

выходными окнами активного элемента, не имеющего Брюстеровского склоа. Степень поляризации при мощности  $W \approx 100$  мВт составляла  $P \approx 0.017$ . Лазерное излучение направлялось на призму, согласованную с магнитной пленкой. Регистрировались углы различных порядков рассеяния, степень и состояние поляризации света в этих порядках рассеяния. Угол дифракции для  $m = -1$  составлял  $\alpha = 45^\circ + 10$ , а для  $m = -2 - \alpha = 45^\circ + 20$  и мог изменяться от  $10$  до  $32'$  (относительно угла падения) при изменении угла падения света от  $45$  до  $76^\circ$ . Было найдено, что  $m = -1$  порядок рассеяния линейно поляризован вдоль оси  $OX$ , а  $m = -2$  порядок рассеяния поляризован вдоль оси  $OY$ . Зависимость степени поляризации света  $P$  от угла падения  $\Psi_0$  приведена на рис. 1, б в виде экспериментальных точек. Интенсивность света, рассеянного в  $m_n^{III} = 1$  порядок, составила 12% от  $m = 0$  порядка, а интенсивность в  $m = -2$  составила 0.8% от  $m = 0$  порядка. Характерно, что свет в  $m = 0$  порядке рассеяния почти полностью деполяризован —  $P_0 = 0.05 \pm 0.005$ , в то время, как в  $m = -1$  порядке рассеяния максимальная степень поляризации достигала  $P_{-1} \approx 0.39\%$ , а в  $m = -2$  значение степени поляризации было  $P_{-2} \approx 83\%$ .

Согласование экспериментальных и модельно-теоретических результатов показывает, что в тонкой магнитной пленке происходит нарушение симметрии поверхностной доменной структуры. Такие спонтанные нарушения симметрии приводят к асимметричному рассеянию света при скользких углах падения.

### Список литературы

- [1] Морозов А.М., Семенцов Д.И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1979. Т. 22. № 12. С. 1436–1452.
- [2] Семенцов Д.И., Губарев А.П. // Опт. и спектр. 1982. Т. 53. В. 3. С. 501–507.
- [3] Banerjes P.P., Ting-Chung Poon. Principles of Applied Optics. Boston, 1991. 347 p.
- [4] Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 8. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 620 с.

Симферопольский  
государственный  
университет.

Поступило в Редакцию  
13 февраля 1996 г.