

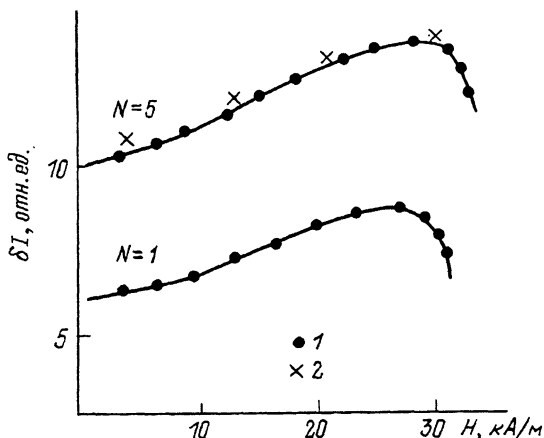
## МАГНИТООПТИКА ПАКЕТА ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНОК С РЕШЕТКОЙ ЦМД

М.В. Быстров, О.М. Комиссарова,  
М.М. Червинский

Основные магнитные параметры эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок, содержащих цилиндрические магнитные домены (ЦМД), обычно определяют, используя магнитооптический эффект Фарадея. Этому благоприятствует высокая магнитооптическая добротность пленок в области длин волн имеющих источники излучения. При исследовании физики магнитных явлений на субмикронных ЦМД-пленках, в которых угол фарадеевского вращения обычно мал, возникают затруднения. В этом случае приходится повышать чувствительность магнитооптического метода путем усложнения электроники [1], либо использовать другие (обычно интегральные) методы [2].

Возможно усиление фотоотклика за счет собственно эффекта Фарадея. Действительно, при измерениях регистрируется дифференциальный эффект, связанный с перераспределением доменов, а полезный сигнал пропорционален смещению доменных стенок в сечении светового пучка, а также длине оптического пути. Поэтому естественно ожидать некоторого накопления сигнала от нескольких пленок, сложенных вместе. Следует выяснить, насколько велик такой выигрыш и не будет ли он подавлен наложением разнополярных доменов.

Рассмотрим простую магнитооптическую схему, в которой пакет из феррит-гранатовых пленок с пренебрежимо малым магнитным взаимодействием, обладающих решеткой ЦМД одного знака, помещен между поляризатором и анализатором, направления пропускания которых образуют между собой угол  $\psi$ . Плоскость поляризации потока излучения поворачивается в каждой пленке на углы  $\pm \varphi$  соответственно в ЦМД и остальной части пленки (матрице). После первой пленки поток распадается на две компоненты, пропорциональные площадям, через которые они проходят (матрицы или ЦМД), отличающиеся знаком фарадеевского угла. После  $N$ -слоеного образца отдельные компоненты потока будут иметь разные фарадеевские углы, кратные  $\varphi$ , и распределяться уже статистически. Другими словами, поток становится неоднородным по азимуту плоскости поляризации, причем его компоненты образуют веер значений углов поворота, симметричный относительно  $\varphi=0$ . Можно показать, что такое распределение подчиняется биномиальному закону и для его исчерпывающего описания потребуются всего два параметра:  $N$  и  $\alpha$ , где  $\alpha$  — относительная суммарная площадь доменов одного знака, например ЦМД. Вероятность реализации угла  $-\varphi$  при прохождении потоком одной пленки задается величиной  $\alpha$ . Нас интересует вероятность реализации любого угла  $-k\varphi$  ( $k=0,1, \dots, N$ ) в  $N$ -слоеном образце, т. е. доля потока,  $k$  раз прошедшая через ЦМД. Биномиальное распределение дает искомое выражение:



Фотоотклик одно- и многослойного образца с потерями в зависимости от поля смещения: 1 - эксперимент ( $\varphi = 0.5^\circ$ ,  $\psi = 45^\circ$ , коэффициент пропускания одной пленки  $T=0.8$ ); 2 - теория (при тех же условиях и пропускании пакета пленок, равном  $T^N$ ).

$$\rho(-k\varphi) = C_N^k \cdot \alpha^k \cdot (1-\alpha)^{N-k}, \quad (1)$$

где  $C_N^k = \frac{N!}{k(N-k)!}$ . Легко видеть, что углу  $-k\varphi$  отвечает результирующий поворот плоскости поляризации светового потока после образца на угол  $\varphi_\Sigma = (N-2k)\varphi$ . Таким образом, определенному значению  $k$  соответствует единственное значение  $\varphi_\Sigma$  (и наоборот), причем  $\varphi_\Sigma \geq 0$  при  $0 \leq k \leq \frac{N}{2}$  и  $\varphi_\Sigma \leq 0$  при  $\frac{N}{2} \leq k \leq N$ . Отсюда следует, что вероятность осуществления  $\varphi_\Sigma$  должна совпадать с  $\rho(-k\varphi)$ .

Преобразуем теперь с помощью закона Малюса поляризационные свойства компонент в интенсивностные:

$$I = T^N \cdot \sum_{k=0}^N C_N^k \alpha^k (1-\alpha)^{N-k} \cdot \cos^2[\psi - (N-2k)\varphi], \quad (2)$$

где  $T$  - коэффициент пропускания одной пленки. Положим, что относительная площадь ЦМД увеличивается под действием смещающего поля на величину  $\Delta$ . Тогда новое выражение для интенсивности выходящего потока принимает вид:

$$I' = T^N \sum_{k=0}^N C_N^k (\alpha + \Delta)^k (1-\alpha-\Delta)^{N-k} \cdot \cos^2[\psi - (N-2k)\varphi]. \quad (3)$$

Интерес представляет разность интенсивностей  $\delta I = I' - I$ , обусловленная действием магнитного поля. Анализ показывает, что линейный по  $\Delta$  член в  $\delta I$  пропорционален числу пленок  $N$  в пакете. Действительно, для образца в виде одной, двух и трех пленок имеем, ограничиваясь только членами с первыми степенями по  $\Delta$ ,

$$\delta I_{(1)} \sim \Delta \sin 2\psi \sin 2\psi \sim 2\psi \Delta \sin 2\psi; \quad \delta I_{(2)} \sim \Delta \sin 2\psi \sin 4\psi \sim 4\psi \Delta \sin 2\psi;$$

$$\delta I_{(3)} \sim \frac{3}{2} \Delta \sin 2\psi \sin 4\psi \cos 2\psi \sim 6\psi \Delta \sin 2\psi.$$

Проверка этого нетривиального вывода для пакета феррит-гранатовых пленок проводилась расчетным и экспериментальным путем. Расчет  $\delta I$  по биномиальному распределению на ЭВМ для  $N=10$ ,  $\alpha=0.01$  (гексагональная решетка ЦМД) и  $\psi=0.05^\circ$  показал, что  $\delta I_{(10)} / \delta I_{(1)} = 10.08$ , причем абсолютный максимум сигнала имеет место при  $\psi=45^\circ$ . Результаты экспериментального исследования пленок  $(Bi, Sm, Lu)_3 (Ca, Ge, Fe)_5 O_{12}$  с  $\psi \approx 0.5^\circ$  и коэффициентом пропускания  $T \approx 0.8$  (на длине волны 830 нм) приведены на рисунке. Расхождение с расчетом по биномиальному распределению не превышает 2–3%. Необходимо подчеркнуть, что выбранный случай является неблагоприятным с точки зрения потерь. Очевидно, что в окне прозрачности ферритов-гранатов будет наблюдаться больший рост фотоотклика для многослойного образца.

Таким образом, впервые рассмотрена магнитооптика многослойного образца с независимой доменной структурой в каждом слое. Показано, что несмотря на пространственную неоднородность выходного потока по азимуту поляризации, интегральный фотоотклик, измеренный по эффекту Фарадея, возрастает пропорционально числу слоев (при малых потерях, когда  $T \rightarrow 1$ ). Важно отметить, что обнаруженная закономерность может быть распространена на пленки с произвольной доменной структурой. На практике многослойный образец будет эффективен в случае использования интенсивного источника излучения, когда измерения на однослойном образце затруднительны из-за насыщения фотоприемника.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Smith A., Bekerebrende W., Kestigan M. – Rev. Sci. Instr., 1981, v. 52, N 11, p. 1737–1748.
- [2] Рандошкин В.В., Старостин Ю.В. – Радиоэлектроника за рубежом, М.: НИИЭИР, 1982, в. 18, с. 964.

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д.И. Менделеева

Поступило в Редакцию  
17 июля 1987 г.