

07;11;12

©1994

ОТРАЖЕНИЕ КОГЕРЕНТНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ($\lambda = 632.8$ НМ) ЭПИТАКСИАЛЬНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПЛЕНКАМИ ИТТРИЙ-ЖЕЛЕЗНОГО ГРАНАТА

*А.А.Ржевский, О.Г.Руткин,
О.А.Чивилева, А.Н.Агеев, В.Ф.Пашин*

Волноводные магнитооптические свойства эпитаксиальных пленок гранатов [1] представляют интерес для постановки предельных магнитооптических экспериментов [2,3], связанных с использованием установок и методик [4,5], основанных на применении когерентных источников оптического излучения лазеров.

Предварительный анализ волноводных оптических свойств [6,7,8], основанный на измерениях спектров оптических волноводных мод, изучении фазового синхронизма [4,8], в том числе при взаимодействии с магнитостатическими волнами, а также учет деформации кристаллической решетки эпитаксиальных пленок [9,10], позволяет приблизиться к постановке волноводных магнитооптических экспериментов на основе модельного иттрий-железного граната с малым, неконтролируемым в процессе выращивания, уровнем замещения.

В основу методики, использованной в данной работе, заложен принцип гониометрического измерения коэффициентов Френеля [11] при различной установке поляризации падающего пучка, позволяющий определять по отдельности основную и квадратурную компоненты поляризации отраженного пучка.

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости коэффициентов Френеля $r_{p,s}(\vartheta)$ для p - и s -поляризаций падающего пучка при отражении от эпитаксиальной пленки иттрий-железного граната на подложке гадолиний-галлиевого граната, которые сравниваются с соответствующими экспериментальными зависимостями для случая отражения от объемного монокристалла иттрий-железного граната. Угловые зависимости коэффициентов Френеля характеризуются наличием интерференционной "бахромы", используемой [13,14] в интерференционных спектральных методиках для определения показателя преломления и оптической толщины тонких пленок.

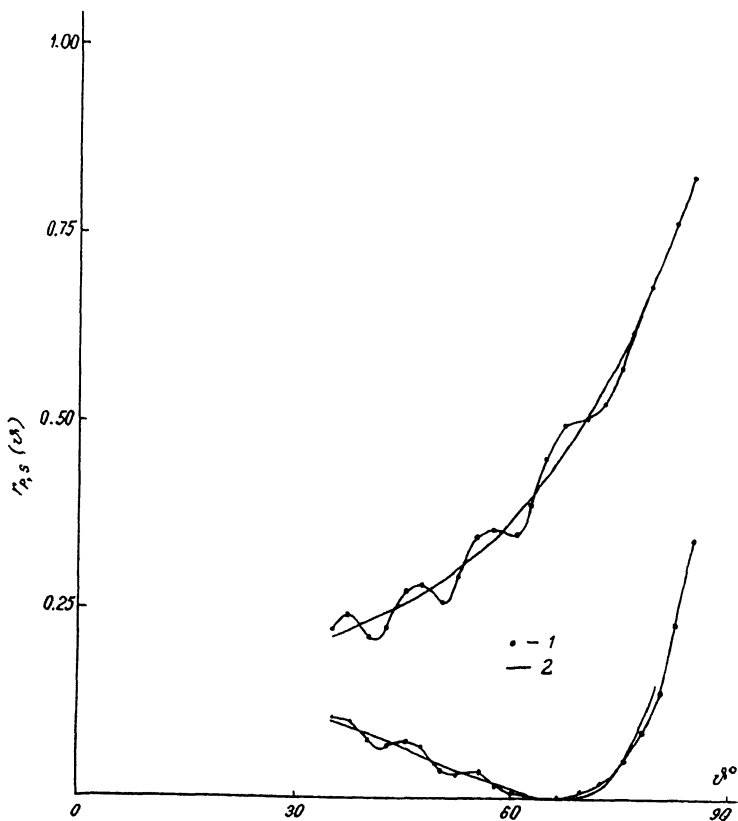


Рис. 1. Эффект интерференционной бахромы в отражении когерентного гауссова пучка от эпитаксиальной пленки иттрий-железного граната:

1 — пленка $Y_3Fe_5O_{12}/Gd_3Ga_5O_{12}$ — № 1, 2 — монокристалл $Y_3Fe_5O_{12}$.

Использование p - и s -поляризаций когерентного гауссова пучка и методики точного отсчета углов падения ϑ позволяет осуществить более точное измерение оптической толщины и показателя преломления эпитаксиальных пленок, особенно в тех случаях, когда неизвестна точно дисперсия показателя преломления исследуемых пленок, например, при наличии в них неконтролируемых технологических примесей.

В табл. 1, 2 приведены параметры двух пленок иттрий-железного граната на подложках гадолиний-галлиевого граната. На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости $r_{p,s}(\vartheta)$ для пленки 1, которые сравниваются с расчетом по модели многолучевой интерференции без учета одно-

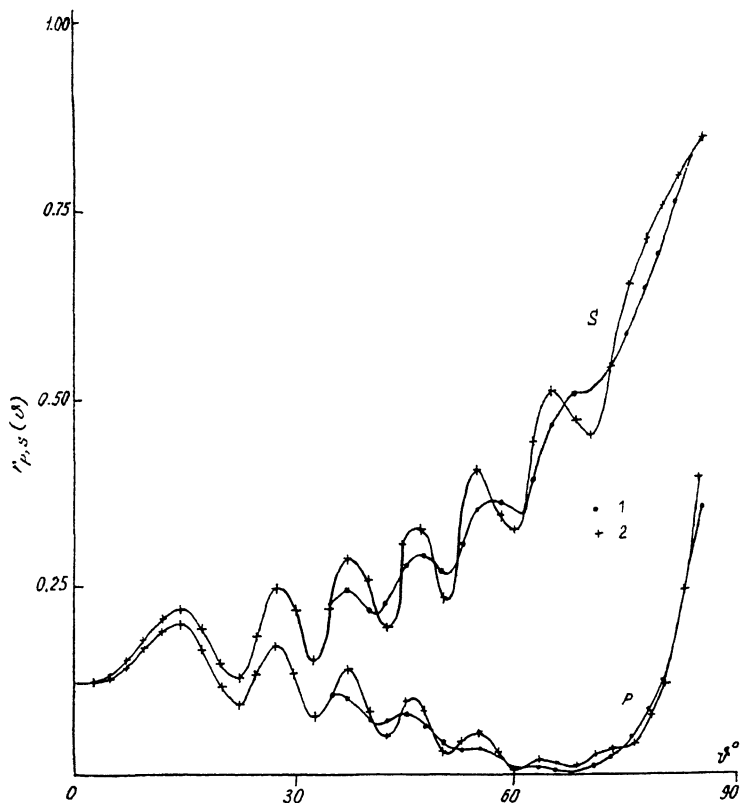


Рис. 2. Анализ эффекта интерференционной бахромы на угловых зависимостях коэффициентов Френеля: 1 — экспериментальные значения $r_{p,s}(\vartheta)$ для магнитной пленки № 1 (см. табл. 2); 2 — расчет без учета поглощения, $d = 9.30$ мкм, $n_f = 2.310$.

Таблица 1. Экспериментальные значения показателей преломления n_p и n_s ($\lambda = 632.8$ нм) в модели отражения оптически изотропных слабопоглощающих диэлектриков для полированных пластинок монокристаллов $Gd_3Ga_5O_{12}$ и $Y_3Fe_5O_{12}$, среднеквадратические дисперсии измерений σ_p и σ_s , постоянные кубической кристаллической решетки a_B .

Химическая формула	n_p	n_s	$\sigma_p \cdot 10^3$	$\sigma_s \cdot 10^3$	$a_B, \text{Å}$
$Gd_3Ga_5O_{12}$	1.9944	1.9903	2.6	1.1	12.383 ± 0.001
$Y_3Fe_5O_{12}$	2.3163	2.3196	3.3	1.3	12.376 ± 0.002

родного поглощения в пленке. Максимальная точность из-

Таблица 2. Показатель преломления (n), коэффициенты оптических потерь Френеля (α_R) и Бугера (α_T), оптическая ($d^{\text{опт}}$) и магнитная ($d^{\text{пмсв}}$) толщина магнитных пленок $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, измеренные методом отражения когерентного гауссова пучка ($\lambda = 632.8$ нм) и с помощью микрополосковой [16] поликоровой технологии (расчет по модели Деймона-Эшбаха).

№ пленки	n	$\alpha_R, \text{см}^{-1}$	$\alpha_T, \text{см}^{-1}$	$d^{\text{опт}}, \text{мкм}$	$d^{\text{пмсв}}, \text{мкм}$
1	2.315	1015	943	9.3	8.5
2	2.310	758	640	11	9.6

мерений достигалась при использовании теста на совпадение измеренных значений коэффициентов Френеля в точках дискретного углового отсчета угла падения ϑ при установке вблизи оптического центра зрительной трубы широкой и узкой (примерно равной диаметру отраженного оптического пучка) приборной диафрагмы. Для расчета значений показателя преломления и оптической толщины была использована модель многолучевой интерференции однородного изотропного оптического слоя с учетом поглощения только в объеме слоя.

Выражения для коэффициентов Френеля, полученные в результате суммирования геометрической прогрессии интерференционных вкладов, переотраженных от границ раздела однослойной пленки [12,15], имеют вид:

$$r_{ps}(\vartheta) = \frac{(R_{cf}^{p,s})^2 + 2R_{cf}^{p,s}R_{fs}^{p,s}\cos(2\delta_1)e^{-2\delta_2} + (R_{fs}^{p,s})^2e^{-4\delta_2}}{1 + 2R_{cf}^{p,s}R_{fs}^{p,s}\cos(2\delta_1)e^{-2\delta_2} + (R_{cf}^{p,s})^2(R_{fs}^{p,s})^2e^{-4\delta_2}}, \quad (1)$$

где $R_{cf}^{p,s}(\vartheta)$, $R_{fs}^{p,s}(\vartheta)$ — амплитудные коэффициенты Френеля, соответствующие отражению от границ раздела воздух-пленка ($R_{cf}^{p,s}$) и пленка-подложка ($R_{fs}^{p,s}$) для p - и s -поляризаций соответственно:

$$\delta_1 - i\delta_2 = \frac{2\pi}{\lambda}d(n_f - ik_f)\cos\vartheta_f, \quad (2)$$

где n_f — показатель преломления пленки, d — оптическая толщина, k_f — коэффициент объемного однородного, не учитывающего факторы кристаллического несовершенства, оптического поглощения, ϑ_f — угол преломления.

Совершенные монокристаллы $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ [17] имеют величину однородного объемного поглощения $\alpha_T \approx 10^3 \text{ см}^{-1}$ при $\lambda \cong 0.63$ мкм. Измеренные значения n (см. табл. 1, 2) для эпитаксиальных пленок $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}/\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ и пластинки монокристалла $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ соответствуют результатам измерений [6] волноводно-оптическим методом с использованием некогерентного оптического пучка.

Использование когерентного гауссова пучка и анализа интерференционной оптической бахромой при изменении угла падения позволяет с большой точностью определять значения n , а также измерять значения параметров потерь и толщину слоя.

Авторы благодарят А.Г. Гуревича, П.А. Марковина за обсуждение работы, Н.В. Зайцеву, Н.Н. Сырникову и М.П. Шеглова за рентгеновские измерения, Е.С. Шер за выращивание пленок.

Список литературы

- [1] Прохоров А.М., Смоленский Г.А., Агеев А.Н. // УФН. 1984. Т. 143. В. 1. С. 33-72.
- [2] Агеев А.Н., Гриднев В.Н., Руткин О.Г., Смоленский Г.А. // ФТТ. 1983. Т. 25. В. 2. С. 478-481.
- [3] Руткин О.Г., Гриднев В.Н., Писарев Р.В. // ФТТ. 1991. Т. 33. В. 10. С. 2920-2927.
- [4] Руткин О.Г., Ковшиков Н.Г., Сташкевич А.А., Калинин Б.А., Агеев А.Н., Трифонов А.С., Кравченко В.В., Филимонова Л.М. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 15. С. 933-936.
- [5] Ageev A.N., Rutkin O.G., Trifonov A.S., Krauchenko V.V., Filimonova L.M., Le Gall H., Desvignes J.M. // Rev. Phys. Appl. 1985. V. 20. N 11. P. 753-757.
- [6] Агеев А.Н., Малых Н.В., Руткин О.Г., Шер Е.С. // ЖТФ. 1983. Т. 53. В. 11. С. 2249-2252.
- [7] Агеев А.Н., Мокрушина Е.В., Руткин О.Г. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 6. С. 328-331.
- [8] Трифонов А.С., Агеев А.Н., Руткин О.Г., Кравченко В.В., Филимонова Л.М. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 12. С. 730-734.
- [9] Руткин О.Г., Агеев А.Н., Духовская Е.Л., Саксонов Ю.Г., Шер Е.С. // ФТТ. 1983. Т. 25. В. 1. С. 204-206.
- [10] Агеев А.Н., Байдакова М.В., Руткин О.Г., Саксонов Ю.Г., Трифонов А.С. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 11. С. 193-197.
- [11] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
- [12] Горшков Ю.М. Эллипсометрия. М.: Сов. радио, 1974. 200 с.
- [13] Hagedorn F.V., Tabor W.J. // Appl. Phys. Lett. 1971. V. 19. N 4. P. 95-98.
- [14] Wemple S.H., Tabor W.J. // J. Appl. Phys. 1973. V. 44. N 3. P. 1395-1396.
- [15] Крылова Т.Н. Интерференционные покрытия. Л.: Машиностроение, 1973. 224 с.
- [16] Гусев В.Н., Чивелева О.А., Гурсвич А.Г., Эмирян Л.М., Наронович О.В. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 3. С. 159-163.
- [17] Яковлев Ю.М., Генделев С.Ш. Монокристаллы ферритов в радиоэлектронике. М.: Сов.радио, 1975. 360 с.

Поступило в Редакцию
31 мая 1994 г.