

«ПРОСВЕТЛЕНИЕ» ПЛЕНОК $(\text{Tm}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ С ПОВЫШЕННЫМ ГИРОМАГНИТНЫМ ОТНОШЕНИЕМ

Н. А. Логинов, В. В. Рандошкин

Рассмотрены механизмы зарядовой компенсации нетрехвалентных ионов в МПФГ с повышенным эффективным значением гиромагнитного отношения при выращивании из различных растворителей. Определены пути уменьшения оптического поглощения и увеличения магнитооптической добротности.

В монокристаллических пленках феррит-гранатов (МПФГ) состава $(\text{Tm}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ с повышенным эффективным значением гиромагнитного отношения γ скорость v движения доменных стенок (ДС) может достигать 1–2 км/с [1], что обеспечивает высокое быстродействие магнитооптических устройств. Магнитооптическую добротность Ψ этих МПФГ можно повысить, минимизируя коэффициент оптического поглощения α на рабочей длине волны за счет соответствующего механизма зарядовой компенсации [2, 3]. Возможно использование диффузионного отжига в присутствии восстанавливающего агента [4] для «просветления» МПФГ, толщиной $h \leq 10$ мкм. Однако такое решение практически не пригодно для толстых МПФГ ($h \geq 50$ мкм), поскольку они становятся после отжига неоднородными. В связи с этим в настоящей работе изучена возможность «просветления» МПФГ состава $(\text{Tm}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ с повышенным γ путем введения в раствор—расплав примеси CaO [5].

Пленки выращивали по стандартной технологии методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствор—расплава. Для выяснения механизмов зарядовой компенсации нетрехвалентных ионов Pb^{2+} , Pb^{4+} , Pt^{4+} была выращена серия МПФГ состава $(\text{Tm}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ из свинецсодержащего ($\text{PbO}-\text{Bi}_2\text{O}_3$) и бесвинцового ($\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{CO}_3$) растворителей с добавками CaO , причем выращивание проводили каждый раз из свежеприготовленного раствор—расплава в одинаковых условиях.

Анализ спектров оптического поглощения МПФГ, выращенных из бесвинцового (рис. 1) и свинецсодержащего (рис. 2) растворителей, позволяет сделать следующие выводы.

Коэффициенты оптического поглощения МПФГ, выращенных из обоих растворителей, приблизительно одинаковы в спектральном диапазоне $\lambda < 0.65$ мкм. В спектральном диапазоне $\lambda > 0.65$ мкм коэффициент оптического поглощения бесвинцовых пленок (рис. 1, кривая 1) значительно выше по сравнению с свинецсодержащими пленками (рис. 2, кривая 2). Указанное различие можно объяснить следующим образом. В свинецсодержащих МПФГ зарядовая компенсация примесных ионов Pt^{4+} осуществляется ионами Pb^{2+} , а избыток свинца приводит к образованию пар $\text{Pb}^{2+}-\text{Pb}^{4+}$ и парным переходам $\text{Pb}^{2+}-\text{Pb}^{4+} \xrightarrow{h\nu} \text{Pb}^{4+}-\text{Pb}^{2+}$ при $\lambda = 0.55$ мкм, что определяет повышенное дополнительное поглощение этих пленок в области $\lambda < 0.8$ мкм [2]. Чем меньше концентрация пар $\text{Pb}^{2+}-\text{Pb}^{4+}$, тем меньше дополнительное поглощение при $\lambda < 0.8$ мкм. Наименьшим поглощением обладают свинецсодержащие МПФГ, в которых Pb находится только в двухвалентном состоянии.

Этот механизм зарядовой компенсации подтверждается тем, что дополнительное поглощение Pb -содержащих пленок (рис. 3, кривая 3) практически

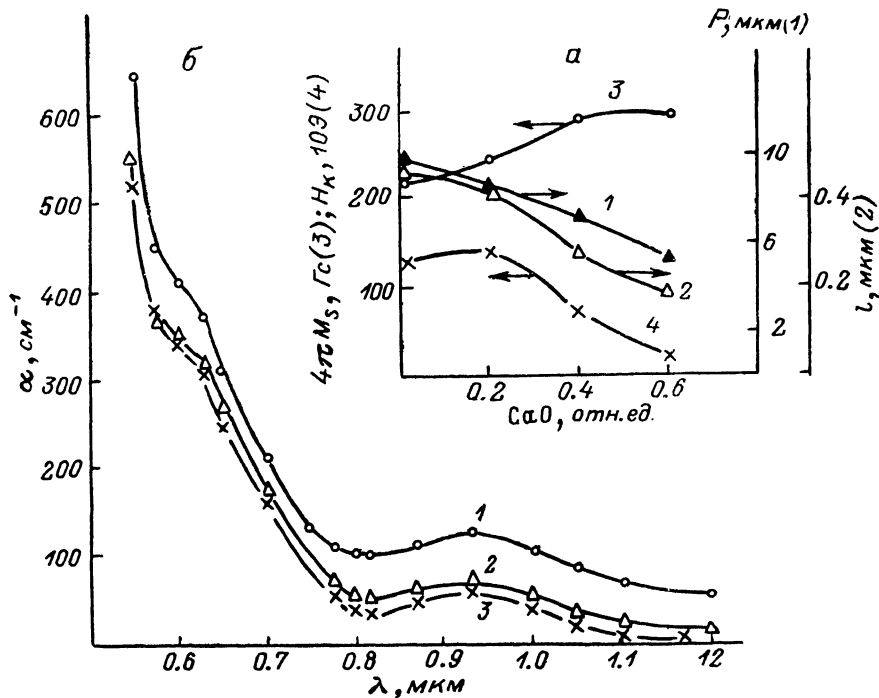


Рис. 1. Влияние концентрации CaO в бесвинцовом раствор—расплаве на намагниченность насыщения $4\pi M_s$, характеристическую длину l , период полосовой доменной структуры P_0 в размагниченном состоянии и поле одноосной анизотропии H_k (а). Спектральные зависимости коэффициента оптического поглощения α МПФГ (б) при добавлении в бесвинцовый раствор—расплавы добавок CaO (отн. ед.): 1 — 0.0, 2 — 0.2, 3 — 0.4.

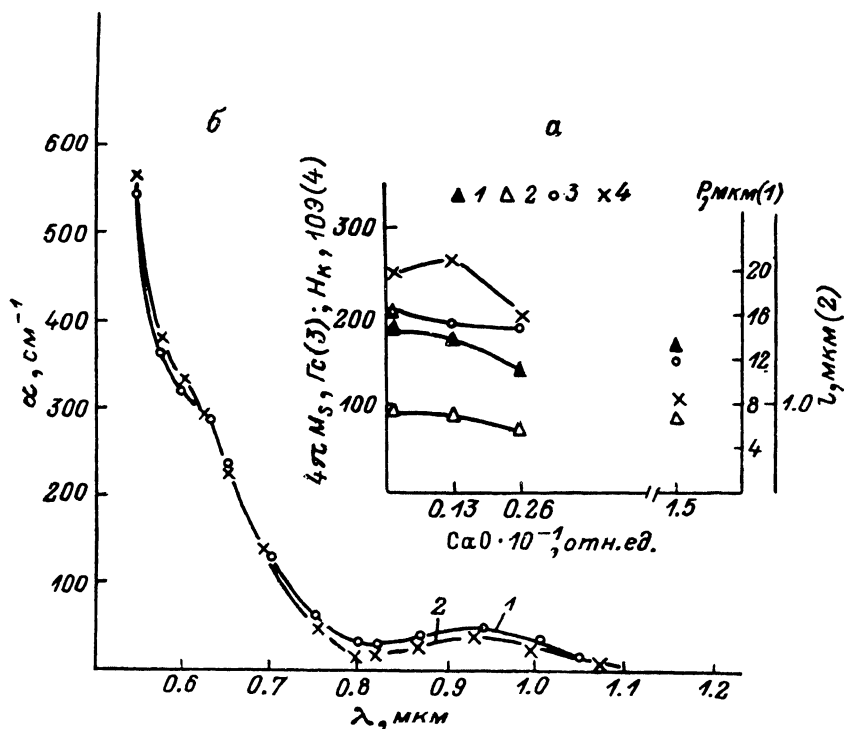


Рис. 2. Влияние концентрации CaO в свинецсодержащем раствор—расплаве на намагниченность насыщения $4\pi M_s$, характеристическую длину l , период полосовой доменной структуры P_0 и поле одноосной анизотропии H_k (а). Спектральные зависимости коэффициента оптического поглощения α МПФГ (б), выращенных из свинецсодержащего раствора—расплава без добавок (1) и с добавкой CaO (2).

отсутствует при $\lambda > 0.8$ мкм. Дополнительное поглощение определяли как разность коэффициентов оптического поглощения пленки данного состава и эталона. Эталоню служила тонкая пластинка, вырезанная из монокристалла $Y_3Fe_{3.9}Ga_{1.1}O_{12}$, полученного из высококачественного сырья методом бестигельной зонной плавки под давлением кислорода.

Повышенное поглощение МПФГ, выращенных из бессвинцовых раствор-расплавов, в ближней инфракрасной (ИК) области обусловлено присутствием ионов Fe^{2+} [5, 6], формирующихся в МПФГ для зарядовой компенсации примесных ионов Pt^{4+} . Дополнительное поглощение этих пленок имеет характерную спектральную зависимость в виде монотонно убывающего с ростом длины волны «шлейфа», захватывающего всю ближнюю ИК область (рис. 3, кривая 1).

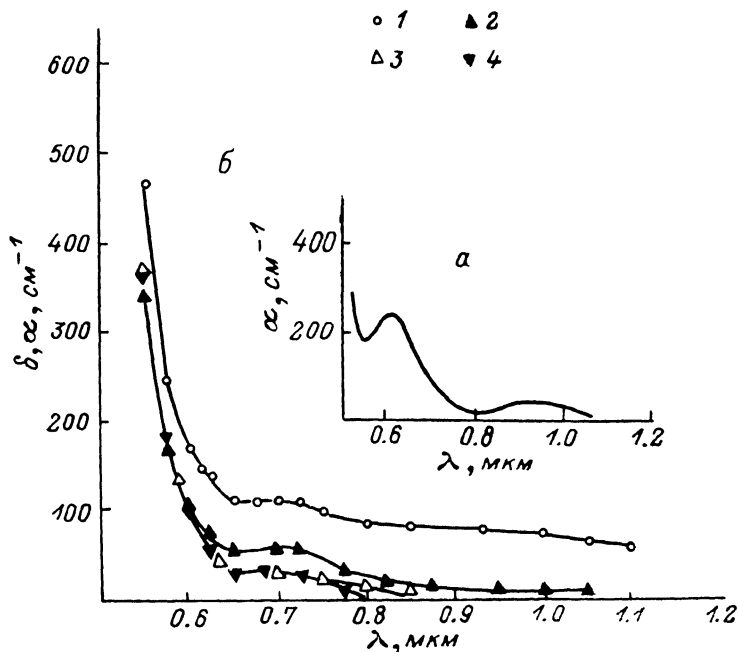


Рис. 3. Спектр поглощения «эталона» $Y_3Fe_{3.9}Ga_{1.1}O_{12}$ (а). Спектры дополнительного поглощения МПФГ (б), выращенных из бессвинцового растворителя без добавок (1), с добавками CaO 0.4 атн. ед. (2) и Pb -содержащего растворителя без добавок (3), с добавками CaO 0.013 атн. ед. (4).

В пользу этого механизма зарядовой компенсации говорит тот факт, что добавление в раствор-расплав CaO приводит к значительному уменьшению оптического поглощения МПФГ в ближней ИК области, т. е. электрокомпенсация ионов Pt^{4+} происходит ионами Ca^{2+} без образования ионов Fe^{2+} (рис. 1, кривая 3).

Добавление в свинецсодержащий растворитель CaO приводит к уменьшению коэффициента оптического поглощения на $\sim 20\%$ в ближней ИК области (рис. 2, кривая 2), вероятно, за счет частичного разрушения пар $Pb^{4+}-Pb^{2+}$, электрокомпенсации ионов Pt^{4+} ионами Ca^{2+} , так как дополнительное поглощение (рис. 3, кривая 4) является типичным для пар $Pb^{2+}-Pb^{4+}$, захватывает область < 0.8 мкм и практически отсутствует в ближней ИК области, что свидетельствует об отсутствии в пленке нетрехвалентных ионов железа.

Необходимо заметить, что при добавлении в расплав CaO независимо от типа расплава в полученных Bi -содержащих МПФГ наблюдается уменьшение константы одноосной анизотропии K_a . Это указывает на то, что ионы Fe^{2+} и Fe^{4+} влияют на константу одноосной анизотропии по известному механизму [7].

С учетом механизмов зарядовой компенсации в МПФГ $(Tm, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ удалось уменьшить коэффициент оптического поглощения на длине волны $\lambda = 0.82$ мкм в три раза при выращивании из бессвинцового растворителя (рис. 1,

кривая 3) и примерно на 20 % при выращивании из свинецсодержащего растворителя (рис. 2, кривая 2), увеличив на столько же магнитооптическую добротность (кривые 3 на рис. 4, 5). Заметим, что на длине волны $\lambda=0.82$ мкм Вi-содержащие МПФГ, выращенные из свинецсодержащего растворителя, по сравнению с бессвинцовым МПФГ обладали меньшим удельным фарадеевским вращением Θ_F (ср. рис. 4, кривая 1 и рис. 5, кривая 1), но более высокой магнитооптической добротности $\Psi=2\Theta_F^2/\alpha$ ($\Psi=250^\circ$ для Pb-содержащих МПФГ и $\Psi\approx 200^\circ$ для бессвинцовых МПФГ).

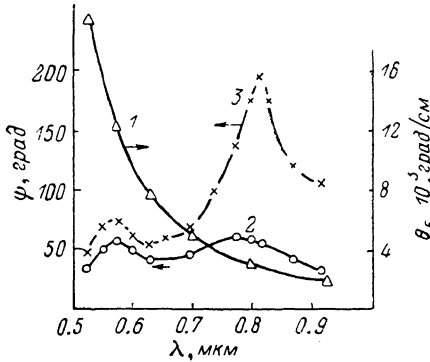


Рис. 4. Спектральные зависимости удельного фарадеевского вращения Θ_F (1) и магнитооптической добротности Ψ МПФГ, выращенных из бессвинцового растворителя без добавок (2) и с добавкой СаО (3).

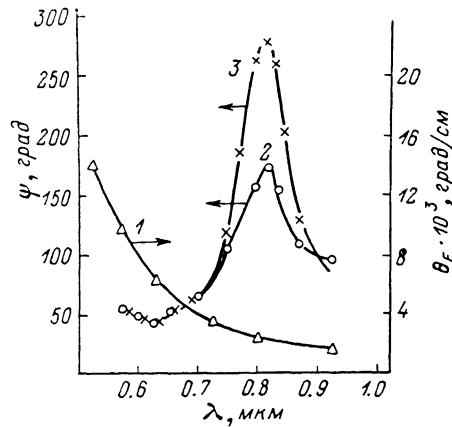


Рис. 5. Спектральные зависимости удельного фарадеевского вращения Θ_F (1) и магнитооптической добротности Ψ МПФГ, выращенных из свинецсодержащего раствора—расплава без добавок (2) и с добавкой СаО (3).

Свойства МПФГ состава $(\text{Tm}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$, выращенных из бессвинцового раствор—расплава с разной концентрацией СаО, приведены в таблице. Доба-

Влияние добавок СаО в раствор—расплавы на параметры МПФГ

	Образцы				
	1	2	3	4	5
СаО, отн. ед.	0.0	0.2	0.4	0.8	0.4
h , мкм	3.6	5.6	4.9	3.4	4.1
R_0 , мкм	19.4	46.3	86.7	23.8	31.5
l , мкм	1.51	2.609	3.49	1.44	1.85
$4\pi M_s$, Гс	140	89.8	69.6	125	137
H_k , 10^3 Э	2.87	3.34	3.4	2.3	2.1
$K_{\text{в}}$, 10^4 эрг·см $^{-3}$	1.6	1.2	0.96	1.16	1.1
T_N , °С	98	100	101	98	99
Θ_F , 10^3 град/см *	2.31	1.92	2.28	2.34	2.27
α , см $^{-1}$ *	90	55	29	95	30
Ψ , град *	51.3	69.5	157.2	49.3	151
ν , м/с **	362	296	29.3	1258	700

* $\lambda = 0.82$ мкм. ** Продвигающее поле $H = 200$ Э.

вление СаО при неизменном мольном отношении $R = \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3$ (образцы 1—4 в таблице) приводит к снижению оптического поглощения. Однако одновременно уменьшается скорость ДС ν , измеренная по известной методике [8] в большом продвигающем однородном магнитном поле $H \geq 100$ Э. В связи с этим в МПФГ с минимальным α значение ν на порядок ниже, чем в исходных МПФГ. Дальней-

шее увеличение содержания СаО в расплаве приводит к росту как α , так и ν . Зависимость ν от содержания СаО в расплаве можно объяснить, приняв во внимание различие спиновых магнитных моментов Fe^{2+} и Fe^{3+} . вследствие чего даже при неизменных коэффициентах распределения гранатообразующих ионов добавление СаО в расплав приводит к изменению суммарной намагниченности окта- и тетраэдрических подрешеток в структуре граната, т. е. к уменьшению γ и, следовательно, уменьшению скорости насыщения при движении ДС. При наличии СаО в расплаве повышенное значение γ можно получить, изменив по сравнению с исходным мольное соотношение R в раствор—расплаве (образец 5 в таблице).

Таким образом, в настоящей работе показано, что в МПФГ $(Tm, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ с повышенным γ , выращенных на подложках ГГГ с ориентацией (111):

1. Зарядовая компенсация ионов Pt^{4+} при выращивании из бессвинцового растворителя осуществляется ионами Fe^{2+} , а при выращивании из свинец-содержащего растворителя ионами Pb^{2+} .

2. За счет введения в состав МПФГ ионов Ca^{2+} оптическое поглощение на длине волны $\lambda=0.82$ мкм уменьшается втрое для бессвинцовых МПФГ и на 20 % для Pb-содержащих.

3. Магнитооптическая добротность на длине волны $\lambda=0.82$ мкм достигает $\sim 250^\circ$ для Pb-содержащих МПФГ и $\sim 200^\circ$ для бессвинцовых МПФГ.

4. В одноосную анизотропию вносят вклад нетрехвалентные ионы железа. Авторы выражают свою благодарность В. И. Чани за помощь при выращивании МПФГ и В. Б. Сигачеву за измерение скорости ДС.

Литература

- [1] Заболотная Н. В., Осико В. В., Рандошкин В. В. и др. Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, № 13, с. 788—791.
- [2] Рандошкин В. В., Червоенкис А. Я. ЖТФ, 1985, т. 55, № 7, с. 1382—1386.
- [3] Рандошкин В. В., Рыбак В. И., Сигачев В. Б. и др. Микроэлектроника, 1986, т. 15, № 1, с. 16—24.
- [4] Клиш В. П., Нам Б. П., Червоенкис А. Я. Электронная техника. Сер. Материалы, 1981, в. 8, с. 26—28.
- [5] Канеко М., Okamoto T., Tamada H., Yamada T. Appl. Phys. A, 1985, v. 38, N 1, p. 281—286.
- [6] Балбашов А. М., Бажтеузов В. Е., Цветкова А. А. и др. ЖПС, 1981, т. 34, № 3, с. 537—539.
- [7] Krutze J. P., Bartels G., Hansen P., Robertson J. M. Mat. Res. Bull., 1976, v. 11, N 3, p. 337—346.
- [8] Рандошкин В. В., Сигачев В. Б. Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 42, № 1, с. 34—37.

Институт общей физики
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
2 марта 1987 г.
В окончательной редакции
8 июня 1987 г.