

## ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРОГРАНАТОВИХ ЕПІТАКСІЙНИХ СТРУКТУР

Д. т. н. С. І. Ющук, к. ф.-м. н. С. О. Юр'єв, к. ф.-м. н. Ф. М. Гончар,  
к. ф.-м. н. В. І. Лобойко

Національний університет «Львівська політехніка»  
Україна, м. Львів  
s.o.yuryev@gmail.com

*Досліджено оптичні спектри пропускання епітаксійних структур залізо-ітрієвого (ЗІГ) та залізо-галій-ітрієвого гранатів. Отримано залежності коефіцієнтів поглинання від довжини світлової хвилі у видимій та близькій інфрачервоній областях. На основі аналізу і обробки інтерференційних картин розраховано показники заломлення ферогранатових плівок і підкладок з галій-гадолінієвого гранату в широкому інтервалі довжини хвиль та товщини плівок.*

*Ключові слова: ферогранатові епітаксійні структури, спектри пропускання, коефіцієнт поглинання, показник заломлення.*

Монокристалічні плівки ферит-гранату, вирощені на підкладках, утворюють ферогранатові епітаксійні структури (ФЕС). Монокристалічні плівки ферогранатів мають вікно прозорості в області довжини хвиль 1—6 мкм. При цьому коефіцієнт оптичного поглинання становить  $< 0,1 \text{ см}^{-1}$ . Деякі з цих прозорих магнетиків мають достатньо високий рівень магнітооптичних ефектів [1], що робить їх перспективними для створення магнітооптичних мікроелектронних пристроїв. Для успішного використання ферогранатових плівок в оптоелектроніці і оптичних сенсорних пристроях треба контролювати такі їхні параметри, як товщина, коефіцієнт заломлення світла, оптична пропускна та поглинаюча здатність. Метою даної роботи було дослідити вплив заміщення іонів  $\text{Fe}^{3+}$  в залізо-галій-ітрієвому гранаті (ЗІГ) немагнітними іонами  $\text{Ga}^{3+}$  на спектри поглинання ФЕС і їхні показники заломлення в широкому інтервалі довжини хвиль.

Для досліджень були вирощені монокристалічні плівки ЗІГ  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  і плівки з іонами галію  $\text{Y}_3\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$  ( $x = 0,1; 0,3; 0,5$ ). Ферогранатові плівки вирощували методом ізотермічної рідкофазної епітаксії на підкладках з галій гадолінієвого гранату (ГГГ)  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  орієнтації (111) з розплавів гранатоутворюючих оксидів  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  і розчинника  $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ . Товщина плівок не перевищувала 10 мкм, а товщина підкладок становила 0,5 мм.

Для вимірювання товщини і показника заломлення ферогранатових плівок використовували оптичний інтерференційний метод. Інтерференційна картина утворюється при вимірюванні спектрів пропускання під час падіння світлового променя на зразок в напрямку, близькому до нормалі. Спектри пропускання ФЕС отримували з допомогою спектрофотометрів Specord M-40 і Specord 75IR. Причому для плівок товщиною  $\leq 4$  мкм вимірювання виконувались у видимій і близькій інфрачервоній (ІЧ) областях на спектрофотометрі Specord M-40, а для плівок товщиною  $\geq 4$  мкм — у середній ІЧ-області на спектрофотометрі Specord 75IR.

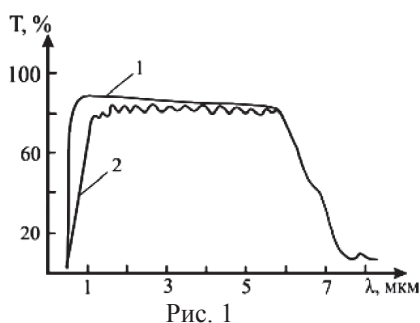


Рис. 1

На рис. 1 наведено спектри пропускання світла підкладки з ГГГ (1) та плівки ЗІГ (2). Тут видно, що оптичні параметри можна визначити тільки в області прозорості підкладки ( $\lambda < 7$  мкм).

Для визначення показників заломлення підкладки і плівки вимірювали спектральні залежності коефіцієнтів пропускання чистої підкладки  $T_0$  та ферогранатової епітаксійної структури  $T$ . Коефіцієнт пропускання  $T_0$  за умови, що товщина підкладки  $h_{\text{підкл}}$  більша за довжину хвилі  $\lambda$ , виражається формулою [2]

$$T_0 = 2n_{\text{підкл}}((n_{\text{підкл}})^2 - 1)^{-1}.$$

За цією формулою розраховували показник заломлення підкладки  $n_{\text{підкл}}$ .

З експериментальної залежності  $T(\gamma)$ , де  $\gamma$  — хвильове число, визначали мінімальні ( $T_{\text{мін екстр}}$ ) та максимальні ( $T_{\text{макс екстр}}$ ) значення коефіцієнтів пропускання, відношення яких, а також значення  $n_{\text{підкл}}$  входять у формулу для розрахунку показника заломлення ферогранатової плівки  $n_{\text{плів}}$  [2]

$$h_{\text{плів}} = (4 n_{\text{плів}}(\gamma_{n+1} - \gamma_n))^{-1},$$

де  $\gamma_{n+1}$  і  $\gamma_n$  — хвильові числа сусідніх максимумів на графіку залежності  $T(\gamma)$ .

Значення показників заломлення плівок  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  та  $\text{Y}_3\text{Fe}_{4,5}\text{Ga}_{0,5}\text{O}_{12}$  за різної довжини хвилі наведено в таблиці. Згідно з цими даними спостерігається явище нормальної дисперсії ( $n \approx 1/\lambda$ ).

$\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ( $h = 5,1$ мкм)	$\lambda$ , мкм	1,60	2,09	2,19	2,31	2,43	2,57	2,92	3,14	3,65	4,35	5,20
	$n_{\text{плів}}$	2,23	2,22	2,21	2,23	2,22	2,23	2,23	2,23	2,17	2,15	2,14
$\text{Y}_3\text{Fe}_{4,5}\text{Ga}_{0,5}\text{O}_{12}$ ( $h = 7,2$ мкм)	$\lambda$ , мкм	1,57	2,07	2,14	2,25	2,38	2,51	3,25	3,50	4,62	5,04	5,62
	$n_{\text{плів}}$	2,08	2,06	2,07	2,06	2,06	2,06	2,05	2,05	2,04	2,04	2,05

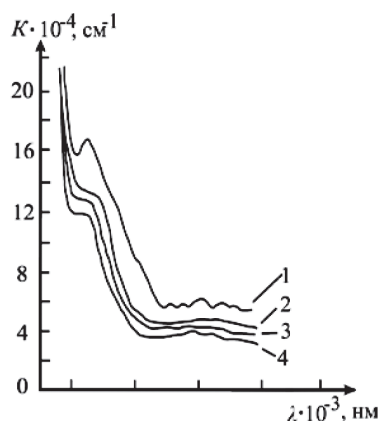


Рис. 2

Зменшення показника заломлення при введенні в плівку чистого залізо-ітрієвого гранату ( $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ) іонів галію, очевидно, пов'язано з тим, що галій в основному заміщує іони заліза в тетрадрах, які роблять основний внесок в поляризованість  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ .

Нами отримано залежності коефіцієнтів поглинання плівок  $\text{Y}_3\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$  від довжини світлової хвилі, які наведено на рис. 2: 1 —  $x = 0$ ; 2 —  $x = 0,1$ ; 3 —  $x = 0,3$ ; 4 —  $x = 0,5$ . З рисунку видно, що при збільшенні вмісту іонів  $\text{Ga}^{3+}$  зменшується значення коефіцієнта поглинання. Як встановлено в [1] на основі оптичних досліджень Ga-заміщених і Sc-заміщених ЗІГ, спостерігається загальна тенденція до зменшення поглинання при заміщенні заліза як в тетраедричних, так і в октаедричних положеннях. Отримані нами значення показників заломлення для  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  і тенденція до їхнього зменшення при введенні в плівку ЗІГ іонів галію узгоджуються з даними [3, 4].

Отже, заміщення в плівці  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  іонів  $\text{Fe}^{3+}$  іонами  $\text{Ga}^{3+}$  ( $x \leq 0,5$ ) приводить до зменшення коефіцієнта поглинання і показника заломлення феритової плівки, а оптичний інтерференційний метод може бути успішно використаний для контролю товщини феритової плівки і показників заломлення плівки та підкладки ФЕС.

Точність вимірювання товщини плівок становила приблизно 2%, показників заломлення плівок і підкладок — біля 0,1 %.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Рандошкин В.В., Червоненкіс А.Я. Прикладная магнитооптика.— Москва: Энергоатомиздат, 1990.
2. Рыков А.В. Спектрофотометрия тонкопленочных полупроводниковых структур.— Москва: Сов. радио, 1975.
3. Hanson P., Krumme J. Magnetic and magneto-optical properties of garnet films // Thin Solid Films.— 1984.— Vol. 114.— P. 69.
4. Wemple S.H., Tabor W.J. Refractive index behavior of garnet // J. Appl. Phys.— 1973.— Vol. 44.— N 3.— P. 1395.

S. I. Yushchuk, S. O. Yuryev, F. I. Honchar, V. I. Loboiko

#### Optical properties of the ferrogarnet epitaxial structures

The authors study optical transmission spectra of epitaxial structures of iron-yttrium and iron-gallium-yttrium garnets and obtain the dependences of absorption coefficients on the length of the light waves in the visible and near-infrared regions. The results of the analysis and processing of the interference patterns are used to calculate the refractive indices of the ferrogarnet films and substrates of gallium-gadolinium garnet in the wide range of wavelengths and film thickness.

Key words: ferrogarnet epitaxial structures, transmission spectra, absorption coefficient, refractive index.