

~500 Å. При цьому збільшення швидкості кристалізації супроводжується зменшенням розмірів комірок. Наприклад, зміна швидкості кристалізації від 4 до 2 м/с супроводжується збільшенням розмірів комірок від 450 до 850 Å. Розрахункові дані задовільно збігаються з експериментальними результатами (рис.2). Необхідно відзначити, що розміри неоднорідних поверхневих структур, які формуються при конституційному переохолодженні розплаву, а також при дисоціації напівпровідників, характеризуються такими ж середніми розмірами, як і комірки на основі легованих і нелегованих напівпровідників, відповідно.

1. *Laser Annealing of Semiconductors* (Ed. by J.M.Poate and James W.Mayer). New York. 1982. 564 p. 2. Гафійчук В.В., Кияк С.Г., Плячко Г.В. Неустойчивость фронта кристаллизации при лазерной эпитаксии полупроводников // Украинский физический журнал. 1984 Т. 29. № 7. С. 1066-1070. 3. Курило И.В., Кияк С.Г., Паливода И.П. Воздействие импульсного лазерного излучения на теллурид ртути // Изв. АН СССР, Сер. Неорган. материалы. 1982. Т. 18. № 6. С. 935-938. 4. Темкин Д.Е. Условия устойчивости плоской границы раздела твердой и жидкой фаз при кристаллизации бинарного сплава // ДАН СССР. 1990. Т. 133. № 1. С. 174-177. 5. Mullins W.W., Sekerka R.F. Stability of a planar interface during solidification of a dilute binary alloy // J. Appl. Phys. 1964. V. 35. № 2. P. 444-451.

УДК 539.23:621.318.1

С.О.Юр'єв, С.І.Ющук, В.Й.Ніколайчук, П.С.Костюк
ДУ "Львівська політехніка", кафедра електронних приладів

ВИГОТОВЛЕННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ШАРУВАТИХ ФЕРОГРАНАТОВИХ СТРУКТУР

© С.О.Юр'єв, С.І.Ющук, В.Й.Ніколайчук, П.С.Костюк, 2000

Описано режими вирощування і фізичні властивості багат шарових феро-гранатових структур, до складу яких входять плівки залізо-ітрієвого гранату і заміщених феритів-гранатів. Шаруваті структури виготовляли методом рідко-фазної епітаксії на підкладках з галій-гадолінієвого гранату. Плівки досліджували за допомогою феромагнітного резонансу та інтерференції магнітостатичних хвиль.

The growth regime and physical properties of multi-layered ferrogarnet structures that consist of films of iron-yttrium garnet and replaced ferrite-garnet are described. Layered structures were formed by method of liquid phase epitaxy on the gallium-gadolinium substrates. These films were investigated by ferromagnetic resonance and interference of magnetostatic waves.

Багат шарові ферогранатові структури привертають увагу дослідників у зв'язку з широкими можливостями керування характеристиками магнітостатичних і спінових хвиль [1,2]. Ми вирощували на підкладках з галій-гадолінієвого гранату (ГГГ) орієнтації (111) монокристалічні структури, що складаються з трьох плівок залізо-ітрієвого гранату (ЗІГ), і структури з двох ферогранатових плівок з різною намагніченістю. Відомо, що при збіль-

шенні швидкості росту зростає ступінь входження в плівку іонів свинцю Pb^{2+} , які надходять з розчинника $PbO-B_2O_3$ і заміщають іони ітрію в плівці ЗІГ - $Y_3Fe_5O_{12}$ [3,4].

Плівки ЗІГ вирощували методом рідкофазної епітаксії (РФЕ) з розчину-розплаву такого складу (мол.%): $PbO-86,46$; $B_2O_3-5,54$; $Fe_2O_3-7,37$; $Y_2O_3-0,63$ в кілька етапів, на кожному з яких ступінь заміщення ітрію свинцем був різним завдяки зміні ступеня переохолодження і швидкості росту. В результаті були отримані тришарові епітаксійні структури, причому в кожному з шарів параметри кристалічної решітки були іншими, а отже, відрізнялись їх склади і магнітні властивості. Режими вирощування плівок ЗІГ і основні їх характеристики наведені в табл.1.

Виготовлення товстих шаруватих плівкових структур стало можливим завдяки перерозподілу механічних напружень по товщині усїєї структури за рахунок поступового збільшення параметра кристалічної решітки кожного наступного шару.

Крім багатошарових плівок ЗІГ ми вирощували двошарові плівки з різною намагніченістю. Спочатку на підкладці з ГГГ з густиною дефектів не більше ніж 1 см^{-2} методом РФЕ вирощували плівки $\{Y,Sm,Lu\}_3(Fe,Ga)_5O_{12}$, які мають циліндричні магнітні домени (ЦМД). Параметр кристалічної решітки цього ферогранату ($a_{\text{ЦМД}}=12,377\text{ \AA}$) є близьким до параметра решітки ЗІГ ($a_{\text{ЗІГ}}=12,376\text{ \AA}$). Товщина цього феритового шару становила 5...6 мкм. На ньому нарощували шари ЗІГ високої якості товщиною h до 70 мкм.

З табл. 2 видно, що магнітні властивості плівок з ЦМД не впливають на ширину ΔH лінії феромагнітного резонансу (ФМР) плівок ЗІГ. Оскільки намагніченість насичення плівок ЗІГ ($4\pi M_s=1750\text{ Гс}$) майже на порядок є більшою від намагніченості насичення плівок з ЦМД ($4\pi M_s=200\text{ Гс}$), їх резонансні частоти сильно відрізняються за величиною. При використанні таких структур в надвисокочастотних пристроях відбиті магнітостатичні хвилі сильніше загасають в граничному шарі, ніж при використанні плівок ЗІГ, вирощених безпосередньо на підкладках з ГГГ. Це, очевидно, зумовлено наявністю в граничному шарі між плівками цієї двошарової структури численних рідкісноземельних іонів Sm^{3+} з великим орбітальним моментом.

Таблиця 1

Технологічні і фізичні параметри шаруватих структур плівок ЗІГ

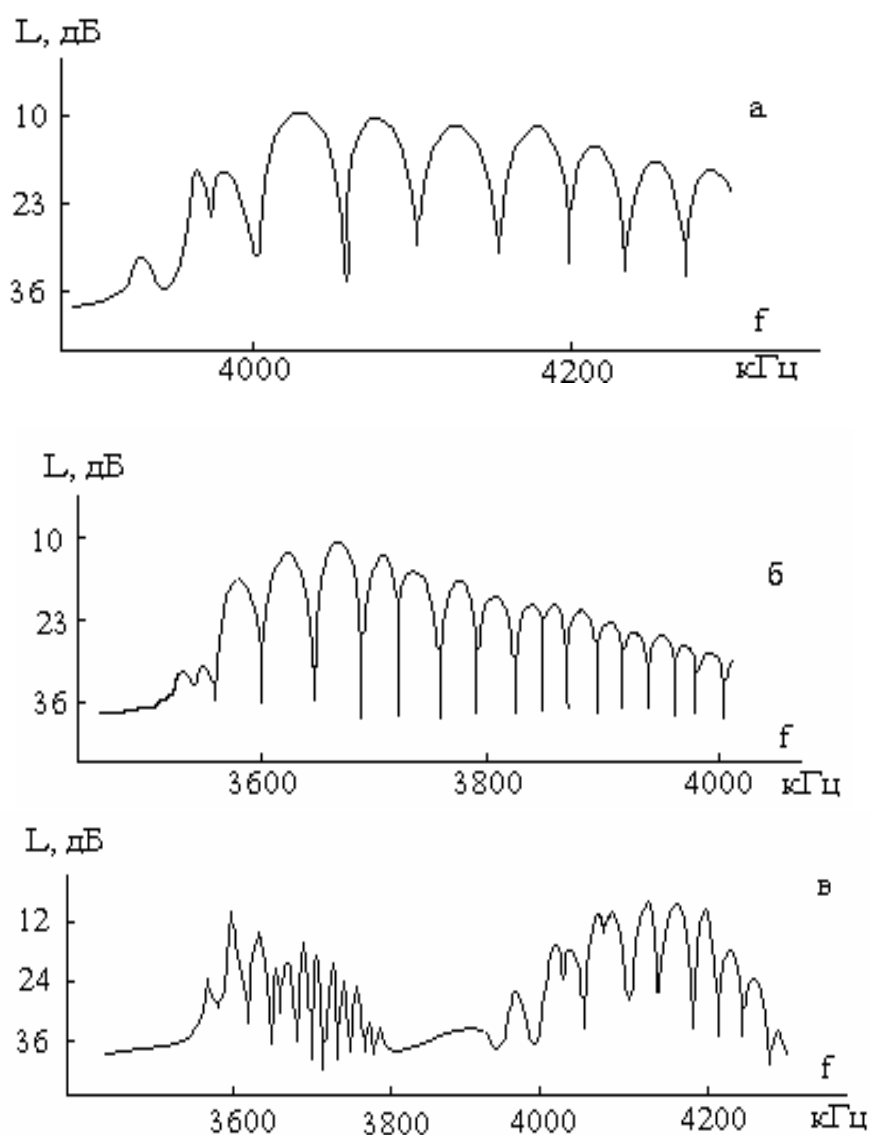
№ зразка	Режими вирощування			Фізичні параметри				
	T_p , К	ΔT , К	f_p , мкм/хв	a_s , \AA	a_f , \AA	h , мкм	Загальна товщина, мкм	ΔH , Е
1	1193	10	0,53	12,3821	12,3767	10	68	5,7
	1188	15	0,82		12,3798	51		
	1173	25	1,30		12,3820	7		
2	1188	15	0,85	12,3821	12,3768	23	83	7,3
	1193	10	0,54		12,3800	8		
	1173	25	1,34		12,3791	52		
3	1173	25	1,31	12,3821	12,3769	59	102	11,5
	1188	15	0,83		12,3810	36		
	1193	10	0,53		12,3823	7		

Примітка: T_p – температура росту; ΔT – ступінь переохолодження розчину–розплаву; f_p – швидкість росту плівки; a_s і a_f – параметри кристалічної решітки підкладки з ГГГ і плівки ЗІГ; h – товщина феритових шарів, послідовно нарощених на підкладці; ΔH – ширина лінії ФМР епітаксійної тришарової структури (зразка).

Параметри плівок ЗІГ, вирощених на плівках з ЦМД

№ зразка	$a_{\text{ЦМД}}, \text{Å}$	$a_{\text{ЗІГ}}, \text{Å}$	$h_{\text{ЗІГ}}, \text{мкм}$	$\Delta H, \text{Е}$
1	12,3774	12,3768	3	0,34
2	12,3774	12,3768	5	0,41
3	12,3772	12,3765	15	0,65
4	12,3771	12,3770	37	0,80
5	12,3771	12,3770	68	1,22

Ще один дослід полягав у тому, що методом РФЕ на підкладках з ГТГ орієнтації (111) були вирощені структури з шарами ЗІГ товщиною $h=10$ мкм і La,Ga:ЗІГ ($4\pi M_s=1400$ Гс, $h=7$ мкм). Перед нанесенням верхнього La,Ga:ЗІГ шару плівка ЗІГ була досліджена методом



Картини інтерференції магнітостатичних хвиль у ферогранатових плівках:
а– плівка ЗІГ; б– плівка La,Ga:ЗІГ; в– двошарова структура ЗІГ – La,Ga:ЗІГ

**Втрати на поширення магнітостатичних хвиль у плівках двошарової структури
ЗІГ- La,Ga:ЗІГ**

Хвильове число k , см^{-1}	Втрати на поширення α , мм^{-1}			
	ЗІГ на ГГГ	ЗІГ в двошаровій структурі	La,Ga:ЗІГ на ГГГ	La,Ga:ЗІГ в двошаровій структурі
30	0,10	0,21	0,09	0,17
90	0,11	0,22	0,11	0,19
200	0,22	0,27	0,10	0,21

інтерференції магнітостатичних хвиль за методикою [5]. Картина інтерференції наведена на рисунку, а. Поряд з нарощуванням верхнього шару La,Ga:ЗІГ була також вирощена плівка La,Ga:ЗІГ на підкладці з ГГГ. На рисунку, б, в відповідно наведені інтерференційні картини плівки La,Ga:ЗІГ на підкладці з ГГГ і шарової структури з двох плівок. Спостерігається чітке частотне розмежування поширення магнітостатичних хвиль в шарах. З рис. 1, в видно, що наявність перехідного шару між плівками з різними намагніченостями викликає спотворення інтерференційної картини. Відбувається також зростання втрат на поширення хвилі, які розраховували зі значень максимумів і мінімумів інтерференційних картин. З табл.3 видно, що втрати залежать від довжини хвилі і зростають при переході до двошарової структури.

Отже, показана можливість епітаксійного вирощування і досліджені властивості багатшарових ферогранатових структур з плівок близького або різного складу. Метод пошарового нарощування дозволяє виготовляти плівки ЗІГ з товщинами до 70...100 мкм.

1. Вашковський А.В., Стальмахов А.В. Дисперсія магнітостатических волн в двухслойной структуре феррит-феррит// Радиотехника и электроника. 1984. Т.29. №5. С.901-907. 2. Даньшин Н.К., Делалов В.С., Кольцов М.А., и др. Природа связи между магнитными возбуждениями в двухслойных эпитаксиальных феррит-гранатовых пленках// ЖЭТФ. 1996. Т.110. № 3(9). С.938-942. 3. Ющук С.І. Вплив домішкових іонів свинцю і платини на ширину лінії феромагнітного резонансу епітаксійних плівок залізо-ітрієвого гранату// УФЖ. 1999. Т.44. № 9. С.1099-1101. 4. Ющук С.І. Слоистая структура эпитаксиальных пленок железо-иттриевого граната //ЖТФ.1999. Т.69. № 12. С.62-64. 5. Гусев Б.Н., Чивилева О.А., Гуревич А.Г. и др. Затухание поверхностной магнитостатической волны// Письма в ЖТФ. 1983.Т.9. Вып.3. С.159-163.