ISSN 1024-588X. Вісник Львівського університету. Серія фізична. 2016. Випуск 51. С. 44-51
Visnyk of the Lviv University. Series Physics. 2016. Issue 51. P. 44-51

УДК 537.9
PACS 75.70.-i

# СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ АМОРФНИХ ПЛІВОК СИСТЕМИ Gd-Fe

**В. Присяжнюк О. Миколайчук**

*Львівський національний університет імені Івана Франка*
*вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005, Львів, Україна*
*e-mail: prysjan@i.ua*

Проведено вимірювання магнітних характеристик плівок та масивних сполук системи $Gd - Fe$ ($GdFe_2$, $GdFe_5$ і $Gd_2Fe_{17}$). Досліджено вплив формування структури на магнітні властивості. Отримані петлі гістерезису для масивних і тонкоплівкових зразків вказують на те, що наші матеріали відносяться до магнітомяких сполук. Слід також відзначити суттєві відмінності в характері петель гістерезису отриманих для масивних і тонкоплівкових зразків усіх сполук даної ситеми. Нами встановлено величину коерцитивної сили для аморфних та полікристалічних плівок, а також для масивних сполук. Значення коерцитивної сили зменшується при формуванні аморфних плівок у порівнянні з масивними зразками у 2 рази. Формування полікристалічної фази у плівках приводить до збільшення корецетивної сили 1.5 рази порівняно з масивним зразком (наші полікристалічні плівки стають більш магнітотверді).

**Ключові слова:** тонка плівка, аморфний, полікристалічний, магнітні властивості

## 1 Вступ

Плівкові системи на основі феромагнітних та рідкоземельних металів становлять інтерес із точки зору їх можливого практичного використання при створенні носіїв інформації із високою щільністю магнітного запису, елементів спінової електроніки та магнітооптичних систем. Аморфні плівки таких сплавів характеризуються 3d-4f електронною обмінною взаємодією, мають ряд унікальних властивостей і вважаються новим класом магнітовпорядкованих речовин.

## 2 Експериментальна частина

Аморфні плівки отримувались методом термічного випаровування на фторопластові підкладки при кімнатних температурах. При збільшенні температури підкладки або при відпалі плівок частка полікристалічної фази збільшувалася. Товщину

© Присяжнюк В., Миколайчук О., 2016

Табл. 1: Коерцетивна сила

| Сполука | $GdFe_2$ | $GdFe_5$ | $Gd_2Fe_{17}$ |
|---|---|---|---|
| Коерцетивна сила | H, KA/m | H, KA/m | H, KA/m |
| Масивний зразок | 2.1 | 3.0 | 4.1 |
| Аморфна плівка | 1.2 | 1.5 | 2.1 |
| Полікрист. плівка (підігріта підкладка) | 3.5 | 5.2 | 6.1 |
| Полікрист. плівка (відпал) | 3.6 | 5.1 | 6.0 |

плівок визначали за допомогою оптичного інтерферометра МИО-1 (вона становила близько 200 нм). Структурні дослідження плівок проводились на електронному мікроскопі УЭМВ-100К з використанням високотемпературної приставки ПРОН-2. Магнітні вимірювання проводились на оригінальному вібраційному магнітометрі.

Отримано петлі магнітного гістерезису для масивних і тонкоплівкових зразків (Рис.1-5), які підтверджують той факт, що досліджувані матеріали відносяться до класу магнітомяких феромагнетиків [1, 2]. Вони характеризуються вузькою петлею гістерезису і відповідно невеликою роботою зовнішнього поля по перемагнічуванні (дана робота рівна площі петлі гістерезису). Слід також відзначити суттєві відмінності в характері петель гістерезису отриманих для масивних і тонкоплівкових зразків усіх сполук даної системи.

В таблиці 1 наведено коерцитивну силу для аморфних та полікристалічних плівок, а також масивних сполук. Як видно з таблиці, коерцитивна сила зменшується при формуванні аморфних плівок у порівнянні з масивними зразками. Це зумовлено відсутністю дальнього порядку в аморфних матеріалах і як наслідок набагато меншою магнітною анізотропією, що в свою чергу приводить до невеликого коерцитивного поля. Формування полікристалічної фази у плівках приводить до того, що наші зразки стають більш магнітотверді, навіть у порівнянні з масивними зразками. Це пояснюється тим, що ми вимірювали намагніченість плівок вздовж їх поверхні. А відомо, що в плівках існують плоскі домени, які значно легше намагнітити вздовж ніж перпендикулярно до поверхні [3]. Нами також було визначено температури Кюрі та питомі намагніченості насичення для масивних зразків та полікристалічних плівок системи Gd-Fe (табл.2). Прослідковується вплив відносного вмісту заліза в сполуці на магнітні характеристики плівок, зокрема при збільшенні вмісту заліза збільшується питома намагніченість.

Слід також відзначити, що для величини коерцитивної сили немає значення яким чином відбувається кристалізація плівки, чи в процесі формування самої плівки на підігріті підкладки, чи в процесі відпалу аморфних плівок після їх отримання. Хоча, як показали попередні структурні дослідження у цих випадках формуються різні структури [4].

Табл. 2: Температура Кюрі і Питома намагніченість насичення

| Сполука | Температура Кюрі, K | Питома намагніченість насичення, Ам$^2$/кг |
|---|---|---|
| $GdFe_2$ масивний зр. | 811 | 44.3 |
| $GdFe_2$ полікрист. плівка | 773 | 38.2 |
| $GdFe_5$ масивний зр. | 544 | 55.1 |
| $GdFe_5$ полікрист. плівка | 491 | 51.8 |
| $Gd_2Fe_{17}$ масивний зр. | 472 | 82.9 |
| $Gd_2Fe_{17}$ полікрист.плівка | 464 | 81.2 |

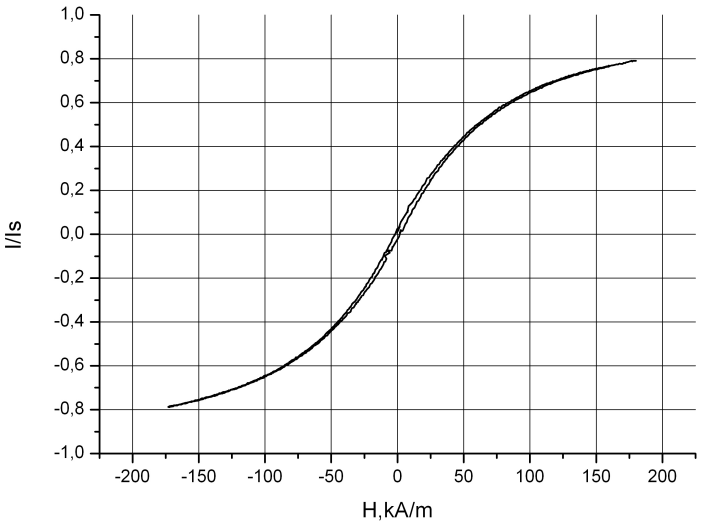


Рис. 1: Петля гістерезису для масивного $GdFe_2$

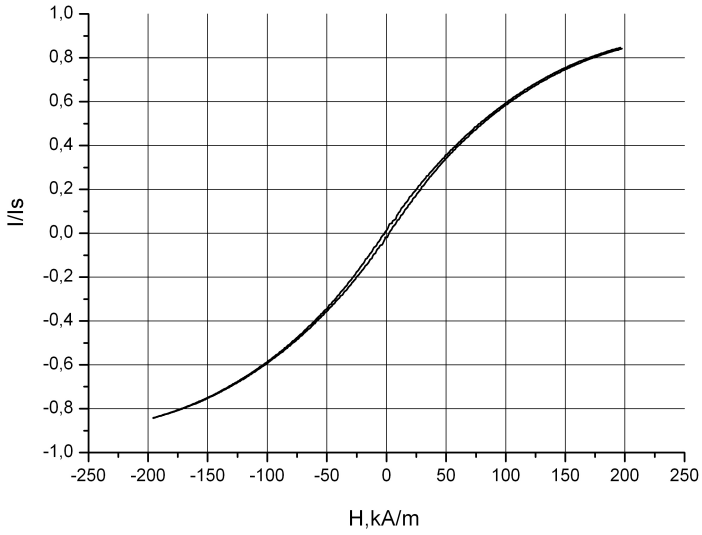


Рис. 2: Петля гістерезису для масивного $GdFe_5$

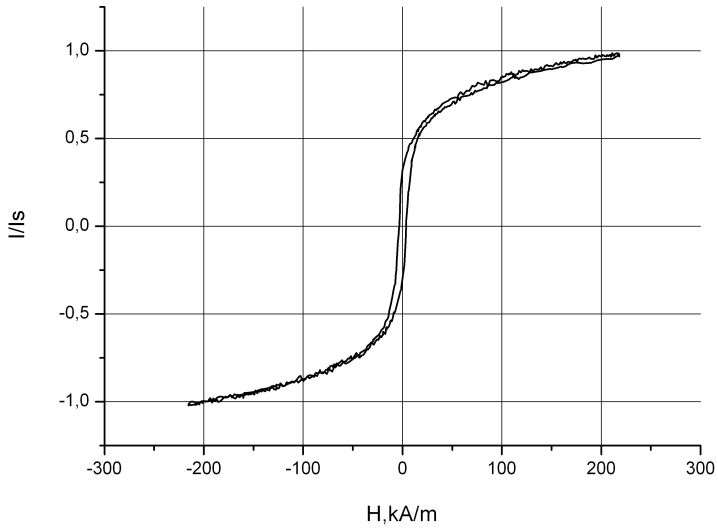


Рис. 3: Петля гістерезису для полікристалічної плівки $GdFe_2$

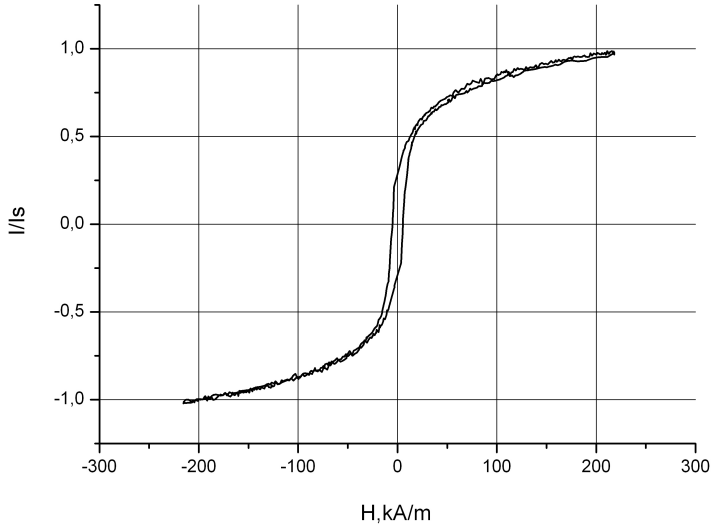


Рис. 4: Петля гістерезису для полікристалічної плівки $GdFe_5$

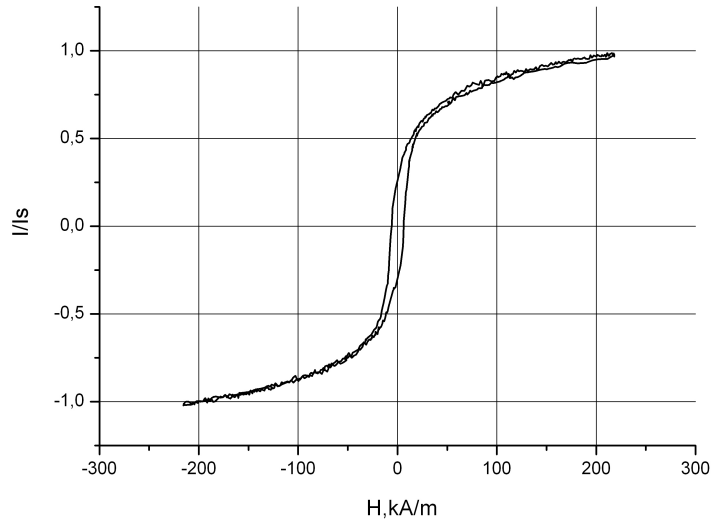


Рис. 5: Петля гістерезису для полікристалічної плівки $Gd_2Fe_{17}$

**Висновки**

Сполуки системи Gd-Fe та їх плівки відносяться до класу магнітомяких феромагнетиків Петлі гістерезису для масивних і тонкоплівкових зразків суттєво відрізняються за формою. Коерцитивна сила зменшується при формуванні аморфних плівок у порівнянні з масивними зразками (це зумовлено відсутністю дальнього порядку в аморфних матеріалах). Формування полікристалічної фази у плівках приводить до того, що наші зразки стають більш магнітотверді, навіть у порівнянні з масивними зразками. Для величини коерцитивної сили немає значення яким чином відбувається кристалізація плівки, чи в процесі формування самої плівки на підігріті підкладки, чи в процесі відпалу аморфних плівок після їх отримання.

**Список використаної літератури**

1. *Zinkevich M.* Reassessment of the Fe-Gd (Iron-Gadolinium) System. / M. Zinkevich, N. Mattern, and H.J. Seifert // Journal of Phase Equilibria. –2000. –V.21, No.4. –P.385-394.
2. *Андреенко А.С.* Магнитные свойства аморфных сплавов редкоземельных металлов с переходными 3d-металлами / А. С. Андреенко, С. А. Никитин // УФН. –1997. –Т.167, №.6. –С.605-622.
3. *Суху Р.* Магнитные тонкие пленки / Р.Суху // М.:Мир, –1967. –422с.
4. *Prysyazhnyuk V.* Structure formation in Gd-Fe thin films / V.Prysyazhnyuk, O.Mykolaychuk. // J. of Non-Cristalline Solids. –2006. –Vol.352. –P.4299-4302.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2016
прийнята до друку 17.06.2016

# STRUCTURAL TRANSFOMATIONS AND MAGNETIC PROPERTIES OF AMORPHOUS FILMS OF Gd-Fe SYSTEM

**V. Prysyazhnyuk O. Mykolaychuk**

*Ivan Franko National University of Lviv*
*Kyryla Mephodiya Str. 8, 79005 Lviv, Ukraine*
*e-mail: prysjan@i.ua*

Magnetic properties of films and volume samples of binary compounds of $Gd-Fe$ system ($GdFe_2$, $GdFe_5$ and $Gd_2Fe_{17}$) and also agency of formation of structure on magnetic properties were explored. The hysteresis curves for volume and thin-film samples specify in that fact that these materials belong to the class of magneto-soft compounds. It is necessary to score also the significant differences in character of hysteresis loops for volume and thin-film samples of all compounds of this system. Absolute values of a coercive force for amorphous and polycrystalline films, and volume compounds was determinate. Value of a coercive force decreases at formation of amorphous films in comparison with volume samples in 2 times. Formation of a polycrystalline phase in films give rise to increasing coercive force in 1.5 times in comparison with volume samples (polycrystalline films become more magneto-hard).

**Key words:** thin film, amorphous, polycrystalline, magnetic properties

# СТРУКТРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ПЛЕНОК СИСЕТМЫ Gd-Fe

**В. Присяжнюк А. Миколайчук**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко*
*ул. Кирила и Мефодия, 8, 79005, Львов, Украина*
*e-mail: prysjan@i.ua*

Исследовались магнитные свойства пленок и объемных образцов соединений системы Gd-Fe (GdFe2, GdFe5 і Gd2Fe17), а также влияние формирования структуры на магнитные свойства. Полученные нами петли гистерезиса для объемных и тонкопленочных образцов указывают на тот факт, что эти материалы относятся к классу магнитомягких соединений. Следует также отметить значительные различия в характере гистерезисных петель для объемных и тонкопленочных образцов всех соединений данной системы. Нами определено абсолютные значения коэрцитивной силы для аморфных и поликристаллических пленок, а также объемных соединений. Значение коэрцитивной силы уменьшается при формировании аморфных пленок в сравнении с объемными образцами в 2 раза. Формирование поликристаллической фазы в пленках вызывает увеличение коэрцитивной силы в 1.5 раза в сравнении с объемными образцами (поликристаллические пленки становятся более магнитотвердые).

**Ключевые слова:** тонкая пленка, аморфный, поликристаллический, магнитные свойства