

УДК 537.9
PACS 75.70.-i

ПРОЦЕСИ НАМАГНІЧУВАННЯ ПЛІВОК І БІНАРНИХ СПОЛУК ІНТЕРМЕТАЛІЧНОЇ СИСТЕМИ Gd-Fe

В. Присяжнюк, О. Миколайчук, К. Трач

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

Проведено вимірювання температури Кюрі, магнітного насичення та питомої намагніченості сполук та плівок системи $Gd - Fe$. Методом магнітного фазового аналізу встановлено фазовий склад сполук $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} . Результати магнітного фазового аналізу було порівняно з раніше дослідженими структурами.

Ключові слова: плівка, сполука, магнітні властивості, фазовий аналіз, структура

1 Вступ

Великий інтерес до сполук на основі $Gd - Fe$ пов'язаний з перспективами їх подальшого використання для виготовлення функціональних елементів для сучасних мікроелектронних приладів і сенсорів, зокрема мова йде про можливість створення тонко плівкових датчиків і середовища для запису інформації.

2 Експериментальна частина

Аморфні плівки $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} отримувались методом термічного випаровування на фторопластові підкладки при кімнатних температурах. При збільшенні температури підкладки або при відпалі плівок частка полікристалічної фази збільшувалася. Товщину плівок визначали за допомогою оптичного інтерферометра МІО-1 (вона становила близько 200 нм).

Вимірювання магнітних властивостей плівок та масивних зразків досліджуваних матеріалів та їх температурних залежностей виконували з допомогою вібраційного магнітометра. У випадку дослідження плівок, для покращення точності вимірювань нами застосовувалась така методика: плівки напилялись на тонку фторопластову підкладку, потім з суцільної плівки вирізалися кільця діаметром 8 мм і складалися одна на одну в кількості 100 штук. Такий «сендвіч» потім і досліджувався в магнітометрі.

Застосування магнітометра з вібруючим зразком [1] дозволяє моделювати режими термічної обробки і слідкувати за характером фазових перетворень в широкому інтервалі температур та швидкостей нагрівання.

Точність вимірювань вібраційним магнітометром залежить від точності його калібрування. Нами був застосований метод порівняння, коли магнітометр калібрується з допомогою еталону з відомим магнітним моментом. За магнітним моментом зразка обчислювали його питому намагніченість, як магнітний момент одиниці маси зразка. Використання при температурних вимірюваннях питомої намагніченості насичення σ_s має перевагу у порівнянні з намагніченістю насичення I_s , оскільки для обчислення I_s необхідно знати густину матеріалу при різних температурах. Намагніченість зразка в магнітометрі з вібруючим зразком визначається е.р.с., наведеною в індуктивних перетворювачах:

$$E_x = k \cdot M_x = k \cdot \sigma_x \cdot m_x$$

де: k – коефіцієнт пропорційності, котрий визначається конструктивними особливостями установки; E_x – е.р.с., наведена зразком в індуктивних перетворювачах при вимірюванні; M_x – магнітний момент зразка; σ_x – питома намагніченість зразка.

Коефіцієнт k визначається за напругою E_{et} , котра наведена еталонним зразком з масою m_{et} і відомою питомою намагніченістю насичення σ_{set} .

Для намагніченості насичення зразка можна записати:

$$\sigma_{sx} = \frac{E_x}{E_{et}} \cdot \text{frac} \sigma_{set} \cdot m_{et} m_x$$

В якості еталону застосовували чистий непористий нікель з густиною $8900 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Для проведення фазового магнітного аналізу нами використовувались властивості феромагнетиків, які вони набувають у сильних магнітних полях – в стані технічного насичення. Слабка залежність намагніченості насичення і точки Кюрі від напруженого стану, від форми і ступені дисперсності феромагнетика дозволяє вибрати ці фізичні параметри в якості характеристик фази. Якщо в рентгеноструктурному аналізі класифікація фаз системи проводиться за кристалічними ґратками, то в магнітному фазовому аналізі з цією метою використовують магнітні властивості фаз (I_s та Θ_C) [2]. Своєрідність цих величин значно полегшує дослідження систем, в котрих напруженість фаз, їх дисперсність і форма змінюються в широких межах в залежності від умов термічної обробки. Саме ті фактори, котрі сильно впливають на результати кількісного рентгенівського аналізу, в магнітному фазовому аналізі практично не впливають на результати дослідження.

Оскільки, намагніченість насичення практично не залежить від форми, дисперсності і напруженого стану фази, магнітний момент феромагнетика є лінійно залежним від його маси (об'єму):

$$M = \sigma_s \cdot m$$

де M – магнітний момент зразка; σ_s – питома намагніченість зразка; m – маса зразка.

Обов'язковою умовою виконання кількісного магнітного фазового аналізу є використання насичуючих магнітних полів. Величина напруженості магнітного поля

Табл. 1: Магнітні властивості масивних зразків та плівок

Сполука	Температура Кюрі, К	Магнітне насичення, μ_b	Питома намагніченість насичення, $\text{Am}^2/\text{кг}$
$GdFe_2$ масивний зр.	811	2.7	44.3
$GdFe_2$ полікрист. плівка	773	1.9	38.2
$GdFe_5$ масивний зр.	544	1.9	55.1
$GdFe_5$ полікрист. плівка	491	1.6	51.8
Gd_2Fe_{17} масивний зр.	472	1.7	82.9
Gd_2Fe_{17} полікрист.плівка	464	1.1	81.2

при проведенні магнітного фазового аналізу складала $800\text{кА} \cdot \text{м}^{-1}$. Залежність справедлива не лише для однофазних феромагнітних тіл, вона зберігається і у випадку, коли тіло складається з кількох феромагнітних фаз.

3 Результати і обговорення

Нами проводився вимірювання магнітного насичення (при температурі 273К), температури Кюрі та питомої намагніченості сполук $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} та їх плівок (табл.1). Встановлено, що визначені значення температур Кюрі співпадають з літературним даними [3]. Питома намагніченість і магнітне насичення досліджуваних плівок зменшується у порівнянні з масивними зразками, що пояснюється розупорядкованістю структури плівок.

Нами проведено магнітний фазовий аналіз сполук $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} і порівняння його результатів з дослідженими раніше структурами [4].

Для сполуки $GdFe_2$ на кривих залежності питомої намагніченості від температури (рис.1) спостерігаються 2 перегини при 750 і 900К. Дані температури характерні для температур Кюрі $GdFe_2$ і $GdFe_3$ [3]. З іншого боку за допомогою рентгеноструктурного аналізу даної сполуки ідентифікуються 2 фази (рис.2) – $GdFe_2$ кубічного структурного типу $MgCu_2$ (червоні лінії) і фаза $GdFe_3$ гексагонального структурного типу $PuNi_3$ (сині лінії).

Для сполуки $GdFe_5$ на кривих залежності питомої намагніченості від температури (рис.3) спостерігаються 2 перегини при 490 і 960К. Дані температури характерні для температур Кюрі $GdFe_5$ і чистого Fe [3]. З іншого боку за допомогою рентгеноструктурного аналізу даної сполуки ідентифікуються 2 фази (рис.4) – $GdFe_5$ структурного типу $CaCu_5$ (червоні лінії) і $GdFe_3$ структурного типу $PuNi_3$ (сині лінії). Температура Кюрі для $GdFe_3$ становить 730К. В цій області на кривих залежності питомої намагніченості від температури не спостерігається особливих змін, а перегин при 960К вказує на наявність чистого заліза, яке не фіксується рентгеноструктурним аналізом.

Для сполуки Gd_2Fe_{17} на кривих залежності питомої намагніченості від температури (рис.5) спостерігаються 2 перегини при 460 і 960К. Дані температури характерні для температур Кюрі Gd_2Fe_{17} і чистого Fe [3]. З іншого боку за допомогою рентгеноструктурного аналізу даної сполуки ідентифікуються 3 фази (рис.6) – Gd_2Fe_{17}

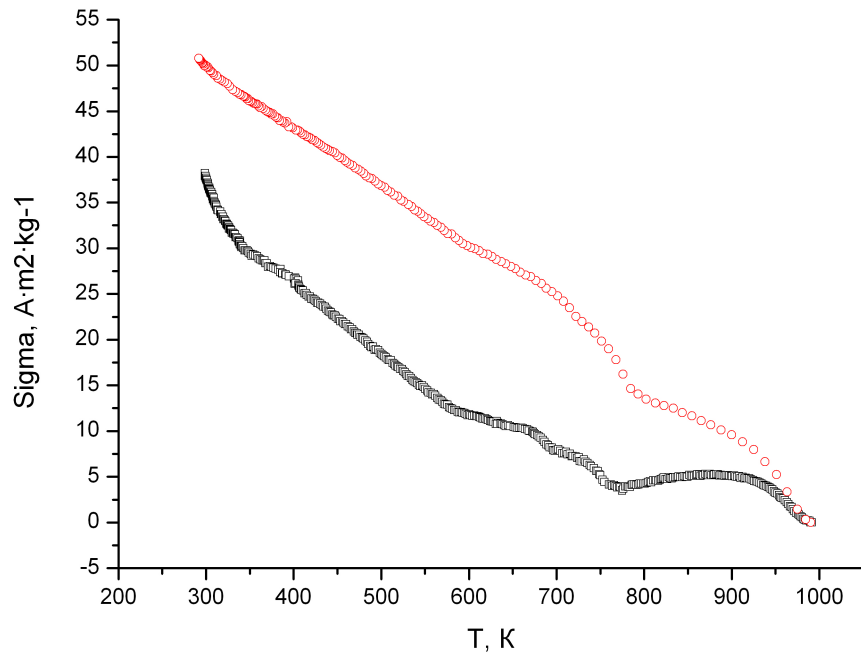
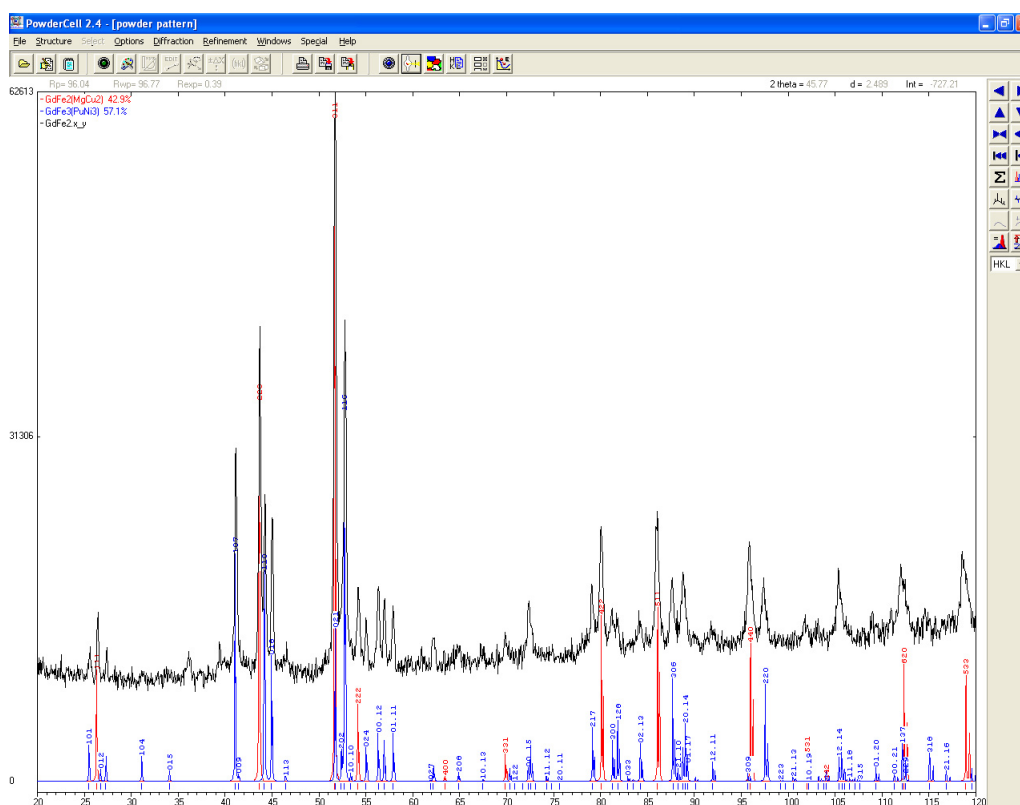


Рис. 1: Крива залежності питомої намагніченості від температури для GdFe_2 (чорні лінії - нагрівання, червоні - охолодження)

структурного типу $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ (сині лінії), $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$ структурного типу $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ (зелені лінії) і чистий Fe (червоні лінії).

Рис. 2: Дифрактограма масивного $GdFe_2$

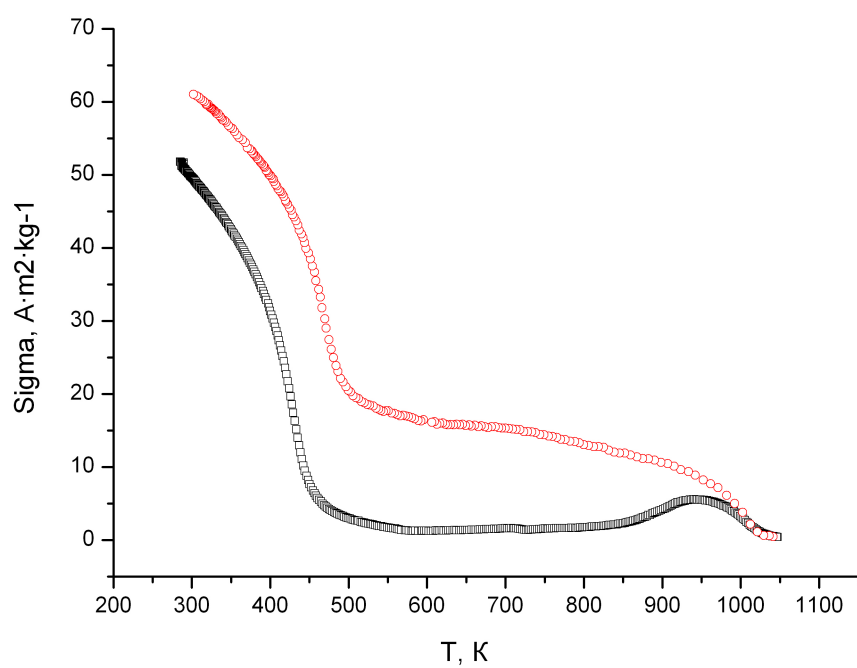
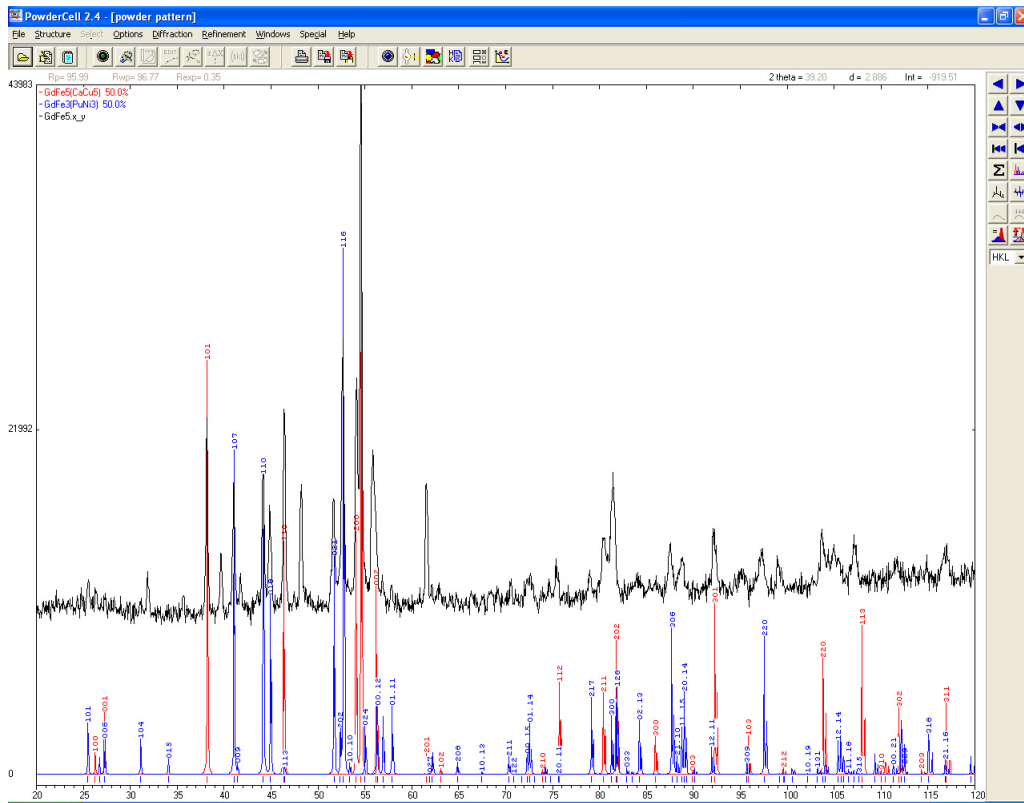


Рис. 3: Крива залежності питомої намагніченості від температури для GdFe_5 (чорні лінії - нагрівання, червоні - охолодження)

Рис. 4: Дифрактограма масивного $GdFe_5$

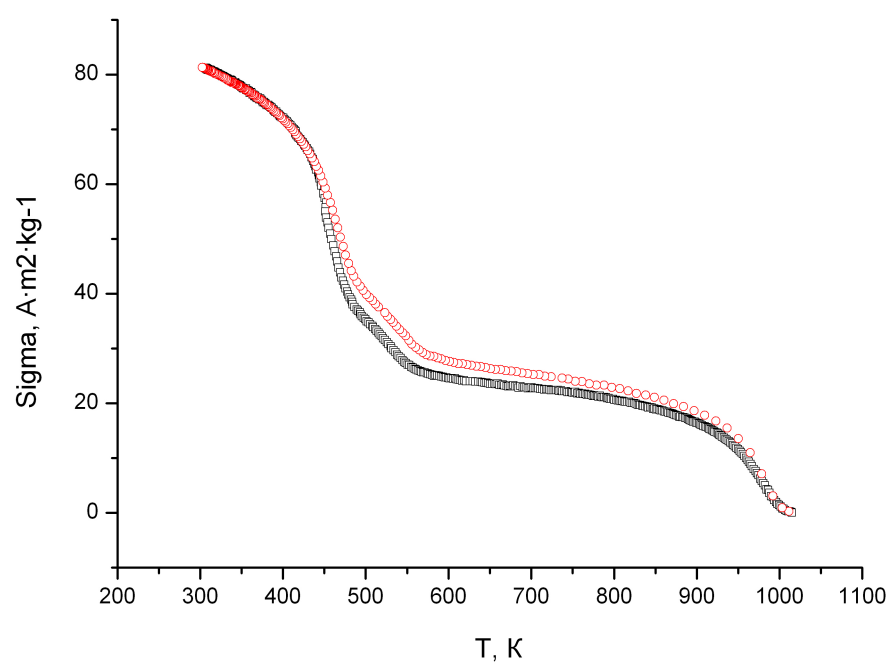
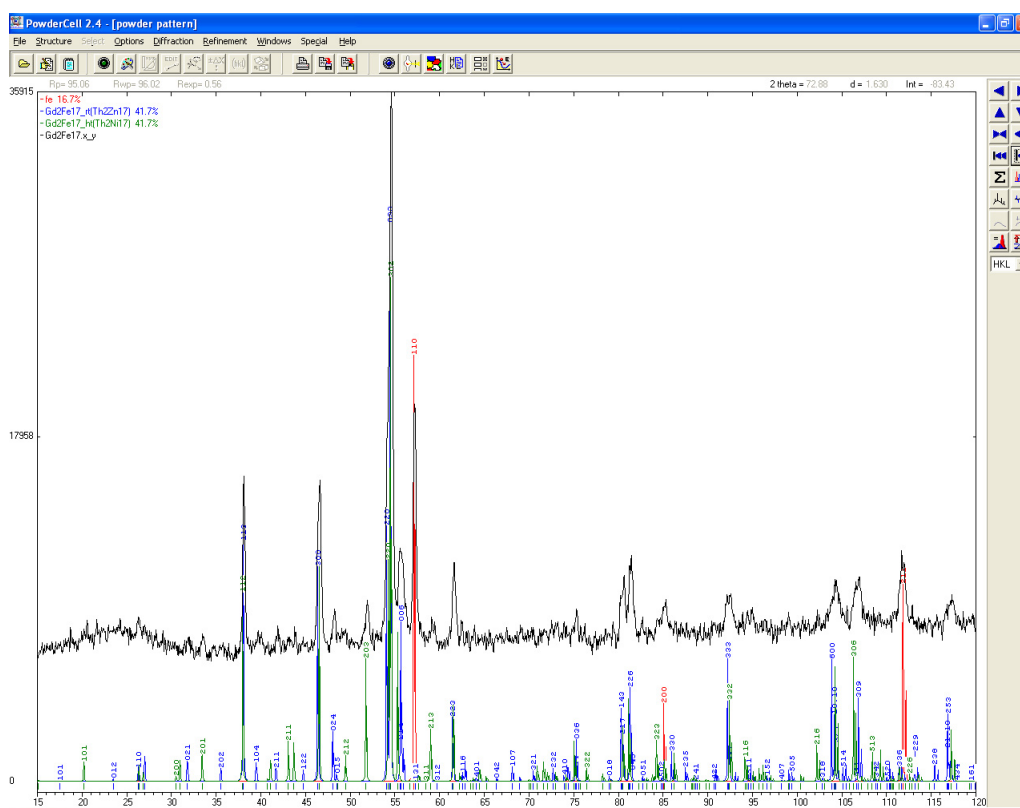


Рис. 5: Крива залежності питомої намагніченості від температури для $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$ (чорні лінії - нагрівання, червоні - охолодження)

Рис. 6: Дифрактограма масивного Gd_2Fe_{17}

4 Висновки

Питома намагніченість і магнітне насичення досліджуваних плівок зменшується у порівнянні з масивними зразками, що пояснюється розупорядкованістю структури плівок.

Результати магнітного фазового аналізу сполук системи GdFe співпадають з результатами рентгеноструктурного аналізу, за невеликим винятком для GdFe₃.

Список використаної літератури

1. *Кондир* Кондир А.І. Застосування вібраційного магнітометра для фазового аналізу спеціальних сталей та сплавів. / Кондир А.І., Борисюк А.К., Паздрій І.П., Швачко С.Г. // Вибрации в технике и технологиях. –2004. –№ 2, (34). –С.41-43.
2. *Апаев* Апаев Б.А. Фазовый магнитный анализ сплавов. – М.: Металлургия, 1973. – 280с.
3. *Zinkevich* 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.
4. *Prisyazhnyuk* Influence Of Ageing Processes On Structure And Physical Properties Of Amorphous-Crystalline Films Of Gd-Fe System / V.Prisyazhnyuk, O.Mukolaychuk // Functional materials, –2013. –V.20, №1. –P.64-67.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2017

прийнята до друку 13.12.2017

THE PROCESSES OF MAGNETIZATION IN FILMS AND BINARY COMPOUNDS OF THE Gd-Fe INTERMETALLIC SYSTEM

V. Prysyzhnyuk, O. Mykolaychuk, K. Trach

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

By method of thermal transpiration on fluoroplastic substrates carriers at room temperature it is gained amorphous films $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} . At magnification of temperature of an substrate carrier or at annealing of films the content of a polycrystal phase was incremented. The thickness of films was spotted by means of optical interferometer MIO-1 and made about 200 nanometers. For examination of magnetic properties of films and massive compounds the vibrating magnetometer was used. Films were precipitated on fluoroplastic substrates carriers. For martempering of accuracy of measurings from continuous films rings in diameter of 8 mm were cut out and stacked one on another in number of 100 pieces. This construction was then explored in a magnetometer. A measurement accuracy of a vibrating magnetometer depends on accuracy its calibration. For calibration the comparison method has been used. In an etalon role pure not porous nickel with density $8,9\text{g/cm}^3$ was used. For calculation of specific magnetisation of the sample its moment of magnet was used. It is measured Curie temperature, magnetic saturation (at temperature 273K) and specific magnetisation of $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} compounds and their films. Specific magnetisation and magnetic saturation of films decreases in comparison with volume samples. It is the fact speaks not disordered structure of films. For conducting of the phase magnetic assaying it has been used properties of ferromagnetics which they gain in the strong magnetic fields (in a state of technical saturation). The weak dependence of a saturation magnetisation and a Curie point from a stressed state and a ferromagnetic degree of dispersion allows to choose some parametres in the capacity of phase performances. Quantity of a exertion of a magnetic field at conducting of the magnetic phase assaying made 800 ka/m. It is carried out the magnitno-phase assaying of $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} compounds and comparison of its results with the structures explored earlier. Results of the magnitno-phase assaying of compounds of GdFe system coincide with results of a X-ray diffraction analysis, except for $GdFe_3$ compound.

Key words: film, compound, magnetic properties, phase analysis, structure

ПРОЦЕССЫ НАМАГНИЧИВАНИЯ ПЛЕНОК И БИНАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Gd-Fe

В. Присяжнюк, А. Миколайчук, К. Трач

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

Измерено температуру Кюри, магнитное насыщение и удельную намагниченность соединений и пленок системы $Gd - Fe$. Методом магнитного фазового анализа определено фазовый состав соединений $GdFe_2$, $GdFe_5$, Gd_2Fe_{17} . Результаты магнитного фазового анализа сравнивались с ранее исследованными структурами.

Ключевые слова: пленка, соединение, магнитные свойства, фазовый анализ, структура