МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК СИСТЕМИ Gd-Fe

В. І. Присяжнюк, О. Г. Миколайчук
Львівський національний технічний університет,
фізичний факультет, кафедра фізики металів
(Отримано 28 листопада 2018 р.)

Виміряно магнітні характеристики плівок та масивних сполук системи Gd-Fe (GdFe_2 , GdFe_5 і $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$). Зокрема, отримано петлі магнітного гістерезису, визначено величину коерцитивної сили. Установлено температурні залежності магнітного насичення для масивних сполук та плівок GdFe_2 і $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$ та температуру Кюрі для цих сполук.

Ключові слова: система Gd-Fe, тонка плівка, магнітне насичення, коерцитивна сила, температура Кюрі.

DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.23.2701>

PACS number(s): 75.70.-i

І. ВСТУП

Тонкі шари сполук типу РЗМ-Fe викликають особливий науковий інтерес, оскільки мають цікаві магнітні властивостями, які роблять їх перспективними для використання під час створення носіїв інформації з високою щільністю магнітного запису, елементів спінової електроніки та магнітооптичних систем. Зокрема, у системі Gd-Fe існує досить багато структурних типів [1]. Формування структури або розупорядкування впливає на всі фізичні властивості таких систем і на магнітні властивості зокрема. А з іншого боку, на формування структури в тонкоплівкових зразках суттєво впливає методика отримання й умови осадження плівок.

ІІ. ЕКСПЕРИМЕНТ

Аморфні плівки подвійних сполук системи Gd-Fe отримували методом термічного випаровування на фторопластові підкладки за кімнатних температур. Зі збільшенням температури підкладки або під час відпаду плівок частка полікристалічної фази збільшувалася. Товщину плівок визначали за допомогою оптичного інтерферометра МІО-1 (вона становила близько 200 нм). Досліджували структуру плівок на електронному мікроскопі УЭМВ-100 К з використанням високотемпературної приставки ПРОН-2. Магнітні вимірювання проводили на оригінальному вібраційному магнітометрі (вектор намагніченості поля був паралельний до площини плівки, максимальне насичувальне поле 300 кА/м).

ІІІ. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ми виміряли ряд магнітних характеристик плівок та масивних сполук системи Gd-Fe.

На рис. 1–3 зображено петлі магнітного гістерезису для полікристалічних плівок GdFe_2 , GdFe_5 і $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$.

Плівки цих сполук належать до класу магнітом'яких феромагнетиків [2]. Вони характеризуються вузькою петлею гістерезису і, відповідно, невеликою роботою зовнішнього поля з перемагнічування (ця робота дорівнює площі петлі гістерезису).

Рис. 1. Петля гістерезису для полікристалічної плівки GdFe_2 .

Рис. 2. Петля гістерезису для полікристалічної плівки GdFe_5 .

Рис. 3. Петля гістерезису для полікристалічної плівки $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$.

Рис. 4. Залежність магнітного насичення від температури для масивного GdFe_2 .

Рис. 5. Залежність магнітного насичення від температури для аморфної плівки GdFe_2 .

Установлено [3], що коерцитивна сила зменшується під час формування аморфних плівок порівняно з масивними зразками. Це зумовлено відсутністю даль-

нього порядку в аморфних матеріалах і, як наслідок, набагато меншою магнітною анізотропією, що своєю чергою спричиняє невелике коерцитивне поле. А формування полікристалічної фази у плівках приводить до того, що наші зразки стають більш магнітотвердими, навіть порівняно з масивними зразками. Це пояснюється тим, що ми вимірювали намагніченість плівок уздовж їхньої поверхні. А відомо, що в плівках є плоскі домени, які значно легше намагнітити вздовж, ніж перпендикулярно до поверхні [4]. Ми також установили, що для величини коерцитивної сили немає значення, як відбувається кристалізація плівки: чи в процесі формування самої плівки на підігрітій підкладці, чи в процесі відпалу аморфних плівок після їх отримання.

Рис. 6. Залежність магнітного насичення від температури для масивного $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$.

Рис. 7. Залежність магнітного насичення від температури для аморфної плівки $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$.

Отримано температурні залежності магнітного насичення для масивних сполук та плівок GdFe_2 і $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$ (рис. 4–7). Ці залежності характерні для матеріалів такого класу. В таблиці наведено значення магнітного насичення за кімнатної температури та температури Кюрі. Як видно з цих даних, структурне

розупорядкування приводить до пониження температури Кюрі і величини магнітного насичення, крім того, криві для тонко плівкових зразків є пологішими.

Сполука	Температура Кюрі, К	Магнітне насичення, μ_b
GdFe ₂ масивний зр.	811	2.7
GdFe ₂ полікрист. плівка	773	1.9
Gd ₂ Fe ₁₇ масивний зр.	472	1.7
Gd ₂ Fe ₁₇ полікрист.плівка	464	1.1

Таблиця. Магнітні властивості масивних зразків та плівок.

IV. ВИСНОВКИ

- Сполуки системи Gd-Fe та їхні плівки належать до класу магнітом'яких феромагнетиків
- Коерцитивна сила зменшується під час формування аморфних плівок порівняно 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 порівняно з масивними зразками.

- [1] V. Prysyazhnyuk, O. Mykolaychuk, J. Non-Cryst. Sol. **352**, 4299 (2006); <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrsol.2006.07.039>. 105497100770339923.
- [2] M. Zinkevich, N. Mattern, H. J. Seifert, J. Phase Equilib. **21**, 385 (2000); <https://doi.org/10.1361/>
- [3] В. Присяжнюк, О. Миколайчук, Вісн. Львів. ун-ту; сер. фіз. **51**, 44 (2016).
- [4] Р. Суху, *Магнитные тонкие пленки* (Мир, Москва, 1967).

MAGNETIC PROPERTIES OF Gd-Fe FILMS

V. Prysyazhnyuk, O. Mykolaychuk

*Faculty of Physics, Ivan Franko National University of Lviv,
8a, Kyrylo and Mefodiy St, Lviv, UA-79005, Ukraine*

Using the method of thermal evaporation on fluoroplastic substrates, amorphous films of the compounds of Gd-Fe system have been produced. The substrate carrier temperature was 293 K. The increase in temperature of substrates or annealing of films carrier leads to the increase in amount of a polycrystal phase. The width of the films was 200 nanometers. The checkout of the structure of the films was done by the electron microscope UEMV-100 K with the use of high-temperature prefix PRON-2. Magnetic examinations were done by a vibrational magnetometer. The field magnetisation vector was parallel to the film plane. The peak saturating field is 300 kA/m.

Magnetic hysteresis loops have been obtained by small operation of an external field on magnetisation reversal.

The value of coercive force has been measured. The value of coercive force decreases with the formation of an amorphous film in comparison with bulk samples. The reason for the decrease is the lack of the long-range order in amorphous materials. This in turn leads to a decrease of magnetic anisotropy, which influences the magnitude of the coercive field. The formation of the polycrystal phase in the films leads to an increase in magnetic hardness. The value of magnetic hardness in polycrystal films exceeds that in bulk samples. This can be explained by the fact that we measured the magnetisation of the films along a surface. It is known that in films there are flat domains. Such domains are much easier to magnetise along a surface than perpendicularly to a surface. We have also noticed that for value of a coercive force, it does not matter how the film crystallises. We used two methods of crystallisation. The first method is the formation of a polycrystal film on a warmed-up substrate. The second method is the crystallisation of amorphous films by their annealing.

The temperature dependences of magnetic saturation have been obtained and the Curie temperature for bulk samples and films GdFe₂ and Gd₂Fe₁₇ has been found. It is proved that the structural disorder leads to a depression of the Curie temperature and the degree of magnetic saturation.