

Из уравнения (5) видно, что решение граничной задачи связано с решением волнового уравнения для неоднородной упругой среды, но с неоднородностью, описываемой обобщенной функцией в виде производных характеристической функции $\gamma(x)$. Из этого следует, что для приближенного решения обратной граничной задачи можно воспользоваться теми же итерационными алгоритмами, которые были разработаны для решения обратных задач рассеяния звука на сильных неоднородностях параметров среды [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Горюнов А. А. Препринт № 8 физ. фак. МГУ. М., 1984. [2] Yih-Hsing Pao, Vasundara Varatharajulu. JASA, 1976, 59, p. 1361. [3] Владимир В. С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1981. [4] Байков С. В., Буров В. А., Горюнов А. А., Сасковец А. В. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1982, 23, № 6, с. 22.

Поступила в редакцию
16.10.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1986, Т. 27, № 3

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 539.213

ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ АМОРФНЫХ ПЛЕНОК Gd—Fe В ПРОЦЕССЕ ИХ ОКИСЛЕНИЯ

Г. В. Смирницкая, Л. В. Никитин

(кафедра общей физики для естественных факультетов;
кафедра магнетизма)

Аморфные пленки из сплава редкоземельных и переходных металлов могут использоваться в качестве носителей термомагнитной записи и в ЦМД-устройствах. Для надежной работы приборов необходимо постоянно параметров полученных пленок.

В настоящей работе исследуется изменение магнитных свойств, структуры и химического состава поверхностного слоя аморфных пленок Gd—Fe при длительном пребывании их на воздухе. Пленки получались в разряде с осциллирующими электронами распылением поликристаллических катодов из сплава GdFe₂ при анодном напряжении $V_a=2,5$ кВ, напряженности магнитного поля $H=275$ Э в атмосфере Kr при двух значениях давления криптона p_{Kr} , соответствующих различным режимам разряда: 1) $p_{Kr}=1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. (режим разряда с отрицательным пространственным зарядом; $I_p=900$ мкА); 2) $p_{Kr}=5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. (плазменный режим разряда; $I_p=4$ мА) [1]. Скорость нанесения пленок в 1-м режиме равнялась $S=(20 \pm 2)$ А/мин, во 2-м $S=(22 \pm 2)$ А/мин. Описание метода и установки дано в работе [2].

Для исследования магнитных свойств поверхностного слоя использовался эквивалентный эффект Керра (ЭЭК), пропорциональный намагниченности. При этом свет проникает в металлический ферромагнетик на глубину порядка 0,03 мкм [3]. Концентрационные профили компонент по глубине пленки исследовались с помощью оже-электронного анализа на установке Varian. Химический состав пленок определялся рентгеновским микроанализатором ХМА-5В, структура — рентгеновским дифрактометром УРС-50 ИМ. Съемка велась на $Co K_{\alpha}$ -излучении с β -фильтром из Fe как непосредственно после выноса пленок в атмосферу, так и через несколько месяцев после пребывания их на воздухе.

На рис. 1 приведены зависимости ЭЭК от энергии квантов падающего света $h\nu$ в области $h\nu=0,6-2,64$ эВ при угле падения $\varphi=70^\circ$. Величина и характер этих зависимостей определяются режимом разряда при получении пленки и существенно меняются в ходе пребывания их на воздухе. Для пленки, полученной в плазменном режиме и исследованной в первый день, величина эффекта слабо зависит от $h\nu$, что указывает на то, что пленка находится в аморфном состоянии, так как отсутствие дальнего порядка приводит к размыванию пиков, связанных с электронными переходами. Для пленок, полученных в режиме разряда с отрицательным пространственным зарядом, наблюдаются более ярко выраженные особенности при энергиях 0,8—1,4 эВ, что характерно для частичной кристаллизации аморфной фазы. Основной причиной образова-

ния кристаллической структуры в пленках является высокая степень подвижности адсорбированных атомов. При распылении катодов ионами больших энергий и низком рабочем давлении средняя подвижность осажденных частиц значительно выше, чем при распылении в плазменном режиме, что способствует кристаллизации. С увеличением времени выдержки пленок на воздухе наблюдается значительный рост ЭЭК (кривые 2 и 3), что связано с увеличением магнитного момента подрешетки ионов железа в ходе обогащения приповерхностной области сплава железом. Зависимости ЭЭК от $h\omega$ для α -Fe и его ферромагнитных окислов, таких как Fe_2O_3 и Fe_3O_4 [4], существенно отличаются от полученных в настоящей работе, что свидетельствует о том, что железо находится в связанном с гадолинием состоянии. Появление на кривых ЭЭК для пленок, находившихся длительное время на воздухе, отчетливого максимума в районе 1,6 эВ вызвано кристаллизацией аморфной фазы. На рис. 1 приведена также зависимость ЭЭК для поликристаллической мишени $GdFe_2$ (кривая 4). Видно, что характер зависимости эффекта от $h\omega$ для мишени и пленок, длительно выдержанных на воздухе, совпадает, хотя эффект на пленках больше, чем на мишени, что связано с большим содержанием железа в тонком приповерхностном слое пленки, образованном в результате кристаллизации из аморфной фазы сплава и прикрытого слоем окислов.

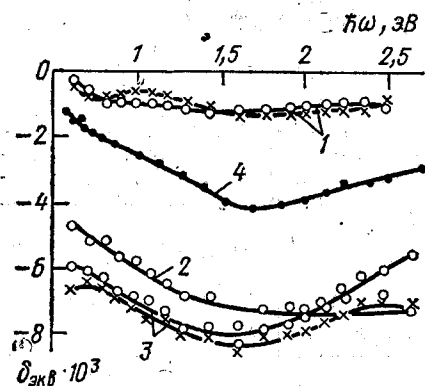


Рис. 1. Экваториальный эффект Керра на пленках Gd—Fe, полученных в режиме разряда с отрицательным пространственным зарядом (×) и в плазменном режиме (○): в первый день (1), через 2 (2) и 6 (3) мес пребывания на воздухе (подложка — ситалл, толщина пленки 1,5 мкм). Экваториальный эффект с поверхности поликристаллического катода $GdFe_2$ (4)

ся аморфными (рис. 2, а), пленки же, нанесенные в режиме разряда с отрицательным пространственным зарядом, сразу обнаруживали на дифрактограммах максимумы, соответствующие Gd_2O_3 , Fe_2O_3 и линии (222), относящейся

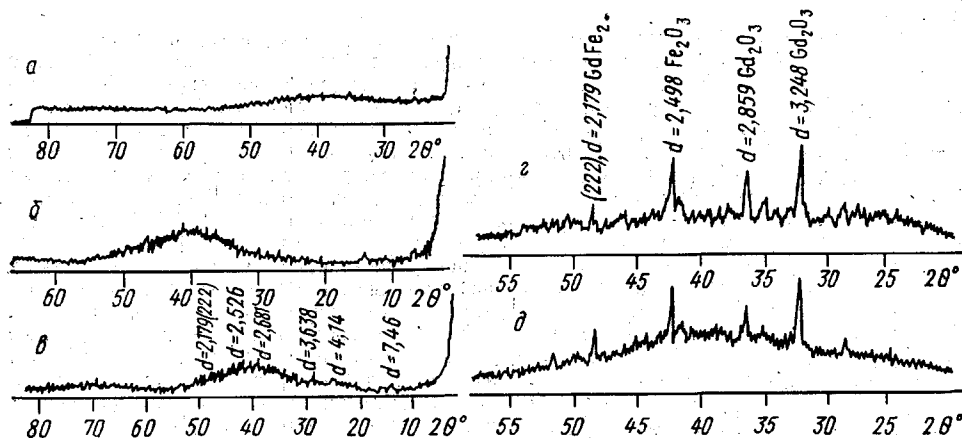


Рис. 2. Дифрактограммы пленки толщиной 3,1 мкм (плазменный режим) через 1 (а), 12 (б) и 15 мес (в) пребывания пленки на воздухе. Дифрактограмма пленки толщиной 1,3 мкм (режим разряда с отрицательным пространственным зарядом), подложка — стекло (г). Дифрактограмма катода $GdFe_2$ (д)

к кубической структуре соединения $GdFe_2$ (см. рис. 2, г). Для сравнения на рис. 2, д приведена дифрактограмма катода из поликристаллического $GdFe_2$. Как видно, дифрактограммы г и д идентичны. Рентгенографический анализ также показывает медленное окисление и кристаллизацию пленки при нахождении ее на воздухе. При этом

процесс зависит от толщины пленки и для тонкой пленки протекает быстрее. На рис. 2, а, б, в приведены дифрактограммы пленки толщиной 3,1 мкм, нанесенной в режиме плазменного напыления на стекло и выдержанной на воздухе в течение различного времени.

Исследование химического состава пленки на рентгеновском микроанализаторе показало, что пленки однородны по составу. Через несколько часов после выноса их на воздух содержание неокисленного Fe в них составляло 62 ± 3 ат. %, неокисленного Gd — $23,3 \pm 0,7$ ат. %, остальное — примеси O и C, осажденные из воздуха. Через 2 мес пребывания пленок на воздухе содержание неокисленного Fe снизилось до 58 ± 3 ат. %, неокисленного Gd — до $17,7 \pm 0,7$ ат. %. Пленки, находившиеся на воздухе в течение года, имели неокисленного Fe 49 ± 2 ат. %, неокисленного Gd — $2,2 \pm 0,5$ ат. %.

С целью изучения состава приповерхностной области пленок были проведены исследования на оже-спектрометре. На рис. 3 показаны концентрационные профили распределения компонент по глубине для пленки, находившейся на воздухе в течение 10 мес. Из рис. 3 следует, что поверхностный слой ~ 30 Å сильно обогащен углеродом, адсорбированным из атмосферы. Далее следует окисленный слой гадолиния с повышенным содержанием Gd и O. В нижележащем слое ~ 300 — 400 Å видно увеличение содержания железа и уменьшение гадолиния, что объясняется выходом гадолиния на поверхность и образованием его окислов; последнее согласуется с данными магнитооптики и рентгеновской спектроскопии.

Таким образом, в работе установлено, что при пребывании аморфных пленок

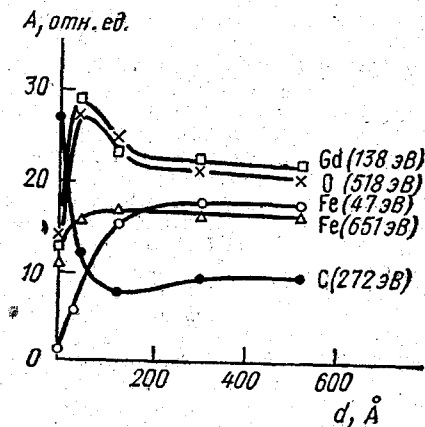


Рис. 3. Концентрационные профили компонент (амплитуды пиков A) по глубине пленки (плазменный режим) толщиной 1,5 мкм (подложка — ситалл) через 10 мес пребывания ее на воздухе

Gd—Fe на воздухе в процессе окисления происходит перестройка структуры приповерхностной области, заключающаяся в образовании кристаллического поверхностного слоя сплава Gd—Fe, обогащенного железом и прикрытого окислами Gd и Fe. При этом существенно меняются магнитные свойства приповерхностной области, что вызвано перераспределением компонент сплава по глубине и поверхностной кристаллизацией сплава.

Авторы выражают глубокую благодарность Н. Н. Кононковой и В. В. Бурмирову за помощь в эксперименте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рейхрудель Э. М., Смирницкая Г. В., Нгуэн Хыу Ти. ЖТФ, 1969, 39, с. 1052. [2] Кононкова Н. Н., Рейхрудель Э. М., Смирницкая Г. В. ЖТФ, 1980, 50, с. 599. [3] Кринчик Г. С., Никитин Л. В. Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, 44, с. 1376. [4] Кринчик Г. С. и др. ЖЭТФ, 1977, 72, с. 699.

Поступила в редакцию
13.06.85