

плотность атмосферы. Наличие же предыдущих значений B говорит либо о наличии некоторого переходного процесса в определении B , либо о необходимости сглаживания его значений с некоторыми весами.

- Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. — М.: Мир, 1974.—Вып. 1.—406 с.
- Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. — М.: Мир, 1974.—Вып. 2.—198 с.
- ГОСТ 25645. 115-84. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли. — М.: Изд-во стандартов, 1985.—39 с.
- Гроп Д. Методы идентификации систем. — М.: Мир, 1979.—302 с.
- Типовые линейные модели объектов управления / С. А. Анисимов, И. С. Зайцева, Н. С. Райбман и др. / Под ред. Н. С. Райбмана. — М.: Энергоатомиздат, 1983.—264 с.

- Эльяберг П. Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. — М.: Наука, 1965.—540 с.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF BALLISTIC FACTOR CHAGE PREDICTING ON THE BASIS OF OUTER-TRAJECTORY MEASUREMENTS WITH THE USE OF STABLE ATMOSPHERE PARAMETERS FOR CALCULATIONS

A. V. Golubek, I. A. Yemel'yanova, P. G. Khorol'skii

The paper is devoted to the statement of the problem and investigation of the possibility of ballistic factor definition accuracy improvement for space objects moving in top layers of atmosphere. The investigation was carried out with the use of the NORAD data for the «Sich-1» spacecraft as well as solar and geomagnetic indexes freely distributed via Internet.

ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТОЖЕСТКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe-Ag

© С. И. Рябцев, В. Ф. Башев, В. А. Мусинова, И. С. Рябцев

Дніпропетровський національний університет

Проведено експериментальне дослідження структури, фазового складу, магнітних властивостей і зміни електричного опору при постійному нагріванні пілівок $\text{Fe} + (12.4—48.6)$ ат. % Ag, отриманих модернізованим методом триелектродного напилення. Виявлено, що незмішувані навіть в рідкому стані залізо і срібло після загартування з пароподібного стану утворюють однорідні сплави з метастабільною структурою. Показано, що температурна стійкість метастабільних структур із збільшенням вмісту срібла зменшується. Виявлено різкі зміни магнітних і електрических властивостей пілівок $\text{Fe} + 22.6$ % Ag після відпалювання.

Структура тонких пленок, осажденных на холодную подложку методом ионно-плазменного напыления, по своей природе является неравновесной. При этом степень метастабильности структуры пленки зависит от условий получения и последующей обработки. Поэтому уже при комнатной температуре в таких пленках протекают процессы перестройки структуры, понижающие ее свободную энергию. Система Fe-Ag относится к классу систем, элементы которых полностью не смешиваются даже в жидким состоянии, и характеризуется чрезвычайно высокой положительной энергией смешения. Представляет значительный интерес получение однородных сплавов в таких системах с помощью модернизированного метода трехэлектродного ионно-плазменного напыления [1].

Исследовались пленки $\text{Fe} + (12.4; 22.6; 48.6)$ ат. % Ag. Фазовый состав пленок контролировался по рентгенограммам (рис. 1), снятых в фильтро-

ванном кобальтовом излучении в свеженапыленном состоянии и после нагревов, а также с помощью просвечивающей электронной микроскопии.

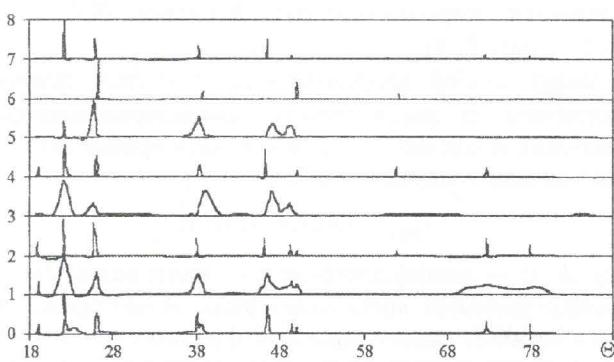


Рис. 1. Рентгенограммы чистого Fe(6), Ag(7) и пленок Fe-Ag в свеженапыленном (1, 3, 5) и термообработанном состоянии (0, 2, 4): 0; 1 — $\text{Fe} + 46.8$ % Ag; 2, 3 — $\text{Fe} + 22.6$ % Ag; 4, 5 — $\text{Fe} + 12.4$ % Ag

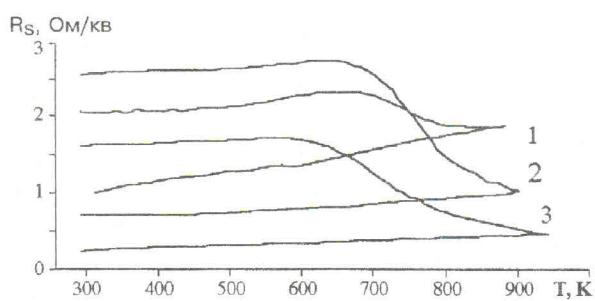


Рис. 2. Политермы ПЭС пленок Fe + 12.4 % Ag (1), Fe + 22.6 % Ag (2) и Fe + 48.6 % Ag (3)

Пленки Fe+12.4 % Ag в свеженапыленном состоянии представляют смесь пересыщенных твердых растворов на основе ГЦК серебра ($a = 0.4085$ нм) и ОЦК α -Fe ($a = 0.28942$ нм) с размерами областей когерентного рассеяния (ОКР) 10 нм и 20 нм, соответственно. После нагрева до 913 К размеры ОКР серебра и железа возрастают до 1000 нм, а периоды решетки твердых растворов становятся сравнимыми с равновесным состоянием — 0.40870 и 0.28710 нм соответственно.

Пленки Fe + 22.6 % Ag в свеженапыленном состоянии представляют смесь сильнопересыщенного твердого раствора серебра с периодом $a = 0.4083$ нм и микрокристаллического железа. После нагрева до 913 К период решетки ГЦК твердого раствора серебра приобретает практически равновесное значение ($a = 0.40870$ нм), а вместо сильнодисперсного железа образуется твердый раствор железа с периодом $a = 0.28886$ нм.

Структура пленок Fe + 48.6 % Ag в свеженапыленном состоянии представляют смесь ГЦК серебра с $a = 0.40817$ нм и ультрадисперсного железа. Размеры ОКР при этом составляют 18 и 9 нм соответственно. После нагрева в структуре пленки выявляется смесь ГЦК серебра с $a = 0.40870$ нм и ОЦК твердого раствора железа с $a = 0.28842$ нм.

Термическая устойчивость фазового состава и электрические свойства пленок Fe-Ag исследовались методами записи изменения поверхностного электросопротивления (ПЭС) при непрерывном нагреве в вакууме со скоростью 18 К/мин, измерения температурного коэффициента сопротивления (ТКС) и анализа рентгенограмм после нагревов.

На рис. 2 приведены политермы ПЭС исследовавшихся пленок. В свеженапыленном состоянии пленки Fe + 12.4 % Ag имеют ПЭС $R_s = 2$ Ом/кв, пленки Fe + 22.6 % Ag — 2.5 Ом/кв, а пленки Fe + 48.6 % Ag — 1.6 Ом/кв. Такое различие исходных ПЭС связано как с особенностями фазового соста-

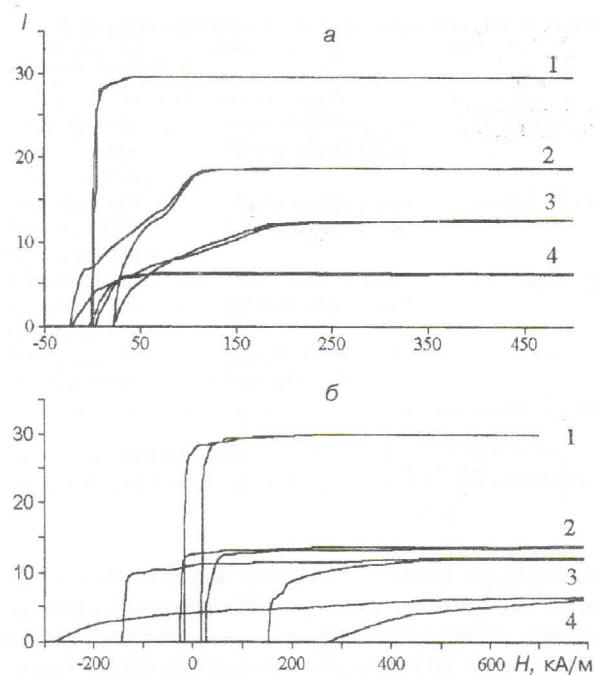


Рис. 3. Кривые размагничивания свеженапыленных (а) и термообработанных (б) пленок: 1) Fe; 2) Fe + 12.4 % Ag; 3) Fe + 22.6 % Ag; 4) Fe + 48.6 % Ag

ва, так и с толщиной пленок. Так пленки Fe + 12.4 % Ag имеют толщину 0.44 нм, а пленки с 22.6 % Ag и 48.6 % Ag — 0.26 нм. Это связано с различными скоростями распыления составных частей мишени и с различной продолжительностью напыления пленок. Но, несмотря на то, что пленки Fe + 12.4 % Ag имели наибольшую толщину, ПЭС для этого состава оказалось самым высоким. Такое высокое сопротивление коррелирует с фазовым составом и морфологией пленок Fe + 12.4 % Ag.

Начало необратимого уменьшения ПЭС при нагреве свидетельствует о начале фазовых превращений в пленке, рост ПЭС при дальнейшем нагреве свидетельствует об окончании фазовых превращений. Наибольшей термической стабильностью обладает метастабильная структура пленок Fe + 12.4 % Ag. В этих пленках фазовые превращения начинаются при $T > 683$ К. С увеличением содержания серебра до 22.6 % и до 48.6 %, температура начала фазовых превращений снижается до 643 К и до 583 К соответственно. При этом, если судить по величине уменьшения ПЭС при переходе из метастабильного состояния в стабильное, то наибольшей степенью метастабильности характеризуются пленки Fe + 22.6 % Ag. Для них уменьшение ПЭС составляет 1.8 Ом/кв.

Результаты анализа кривых размагничивания пленок Fe-Ag

Состав	Состояние образца	Взаимное расположение поля и пленки	H_c , кА/м	I_r	I_s	m , мг	d , нм
Fe - 12.4 % Ag	свеженапыленный	параллельное	1.84	7	19	400	0.44
	термообработанный	параллельное	2.4	12	14	433	
Fe - 22.6 % Ag	свеженапыленный	перпендикулярное	0.32	0.7	—		
	термообработанный	параллельное	1.6	3.5	12	341	0.26
Fe - 48.6 % Ag	свеженапыленный	параллельное	11.2	11	12	321	
	термообработанный	перпендикулярное	159.2	1.5	—		
Fe	свеженапыленный	параллельное	0.32	0.6	7	610	0.26
	термообработанный	параллельное	21.9	4	7	544	
		перпендикулярное	0.16	0.6	—		
		параллельное	0.56	11	26	210	0.09
		параллельное	1.36	22	26	220	

Здесь: m — масса пленки; d — толщина пленки; I_r — остаточная намагниченность пленки в приведенных условных единицах, учитывающих массу и толщину образца; I_s — намагниченность насыщения пленки в условных единицах; H_c — коэрцитивная сила

Магнитные свойства пленок исследовали с помощью вибромагнетометра. Измерения проводились на свеженапыленных и термообработанных образцах при направлении внешнего поля, параллельном и перпендикулярном к плоскости пленки. Результаты анализа кривых размагничивания пленок Fe-Ag сведены в таблицу.

Как видно из рис. 3, термообработка пленок приводит к значительному росту коэрцитивной силы и остаточной намагниченности, приведенных в условных единицах с учетом массы и толщины образцов. Для сравнения приведены кривые размагничивания чистого железа в свеженапыленном состоянии и после термообработки. Введение серебра, как и термообработка, существенно снижают намагниченность насыщения. Для всех пленок в свеженапыленном и термообработанном состоянии, за исключением Fe-22.6 % Ag после термообработки, гистерезисные кривые наблюдаются только при внешнем магнитном поле, параллельном плоскости пленки. Для пленок Fe-22.6 % Ag после термообработки гистерезисные кривые наблюдаются при направлении внешнего поля как параллельно, так и перпендикулярно к плоскости пленки. Причем коэрцитивная сила при перпендикулярном поле оказалась намного больше, чем при параллельном поле, и составила 159 кА/м. Полученное значение коэрцитивной силы в пленках Fe-Ag сравнимо только со значениями, полученными в магнитожестких пленках на основе системы Fe-Nd-B [2]. Следует особо подчеркнуть, что исследованные в данной работе пленки Fe-Ag более чем в 1000 раз были тоньше упомянутых пленок на основе системы Fe-Nd-B.

В заключение можно отметить:

1. Впервые получены перспективные магнитожесткие пленки в несмешивающейся системе Fe-Ag.
2. Установлены температурные интервалы устойчивости и степень метастабильности возникающих структур в пленках с различным содержанием Ag.
3. Оптимизированы режимы термообработки для получения улучшенных магнитожестких характеристик в тонких напыленных пленках Fe-Ag.

1. Башев В. Ф., Доценко Ф. Ф., Мирошниченко И. С., Пасальский В. М. Структура и электрические свойства пленок Ag-W в метастабильных состояниях // ФММ.—1992.—№ 2.—С. 66—73.
2. Райгородский В. М., Линецкий Я. Л., Соколовский С. Е., Цветков В. Ю. Структура и магнитные свойства сплавов Nd-Fe-B-Si // Изв. Вузов. Черная металлургия.—1990.—№ 9.—С. 56—58.

DERIVING HARD MAGNETIC FILMS BASED ON Fe-Ag SYSTEM

S. I. Ryabtsev, V. F. Bashev, V. A. Musinova, I. S. Ryabtsev

We performed experimental investigations of the structure, phase composition, magnetic properties and change of sheet resistance on continuous heating of the Fe + (12.4—48.6) at. % Ag films. The films were obtained by the streamlined method of triod ion-plasmous sputtering. It is detected that unmixed even in the liquid state, iron and silver form the homogeneous alloys with metastable structure after quenching from the vaporous state. We find that the temperature stability of metastable structures decreases with increasing the silver abundance. The drastic strong changes of magnetic and electric properties in the Fe + 22.6 % Ag films after heating was detected.