

УДК 669.017.538

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Л. В. КИРЕНСКИЙ, Н. И. СЫРОВА, И. С. ЭДЕЛЬМАН

ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ И ОПТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ПЛЕНОК ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Авторами ряда работ, посвященных оптическим и магнитооптическим свойствам железных, никелевых и железо-никелевых (35% никеля) пленок ⁽¹⁻⁶⁾, было показано, что на пленках, осажденных в вакууме 10^{-5} — 10^{-6} мм рт. ст., можно получить хорошо воспроизводимые результаты измерений оптических констант, мало отличающиеся от оптических характеристик массивных материалов. В настоящей работе проведены исследования зависимости магнитооптического эффекта Фарадея и оптических констант железо-никелевых пленок от их химического состава.

Методика измерений

Пленки были получены термическим распылением в вакууме $5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. Исходным материалом служили сплавы железа с никелем, начиная с чистого железа и кончая никелем, с интервалом 2—5%. Химический состав пленок исследовался фотокалориметрическим методом. В зависимости от толщины пленок точность определения их состава составляла 1—3%. Толщина пленок, измеряемая с помощью линий равного хроматического порядка с точностью до 10 Å, изменялась в интервале от 20 до 700 Å.

Для измерения эффекта Фарадея был использован компенсационный метод. Луч лазера ЛГ-75 с длиной волны 6238 Å проходил через поляризатор-модулятор, образец, анализатор и попадал на катод фотоумножителя. Для повышения чувствительности была применена модуляция светового потока по плоскости поляризации ⁽⁷⁾. Поляризатор колебался относительно оптической оси системы с частотой 78 гц и с амплитудой колебаний относительно некоторого среднего положения 4—5°. Таким образом, на выходе анализатора световой поток модулировался по амплитуде. При скрещенном положении анализатора по отношению к среднему положению поляризатора частота переменной слагающей светового потока равна удвоенной частоте модуляции. Если скрещение неполное (отклонение более 0,005°), частота переменной слагающей равна частоте модуляции.

Пленка помещалась в зазор электромагнита с максимальным полем 30 кэрст и намагничивалась нормально поверхности. Возникающее при перемагничивании пленки изменение частоты сигнала, обусловленное фарадеевским вращением, компенсировалось поворотом анализатора. Точность отсчета положения анализатора 0,005°. Оптические постоянные — показатели преломления n и поглощения k были получены из анализа эллиптической поляризации отраженного света ⁽⁸⁾.

Экспериментальные результаты и их обсуждение.

1. Эффект Фарадея. Угол вращения Фарадея в железных пленках существенно зависит от скорости их осаждения.

Получены следующие данные по зависимости удельного вращения для пленок железа от скорости напыления:

Скорость напыления, Å/сек	3,7	5,0	7,5	13,8	18,5	20,0	32,8	45,0
Удельное враще- ние φ_0 , 10^4 град/см	22,0	22,4	25,4	29,7	34,5	35,0	35,0	35,0

Удельное вращение $\varphi_0 = \varphi / d$, где d — толщина пленки, возрастает от $22 \cdot 10^4$ град/см при скорости осаждения 3,7 А/сек до $35 \cdot 10^4$ град/см при скорости осаждения 20 А/сек и остается таким до максимальной использованной скорости 45 А/сек. Причиной этого, вероятно, является окисление железа при медленном его осаж-

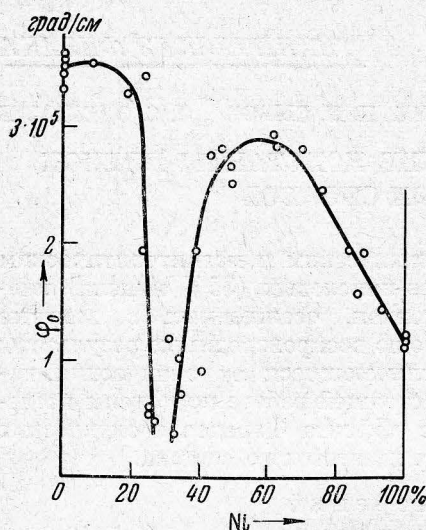


Рис. 1. Зависимость удельного вращения Фарадея от химического состава пленок железо-никелевых сплавов

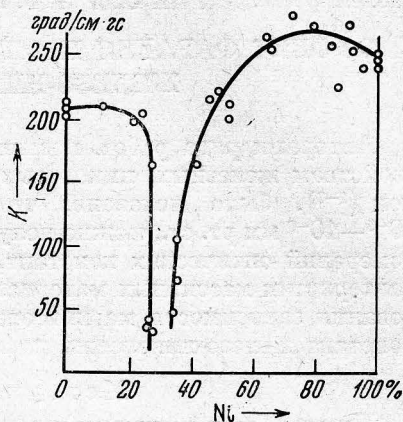


Рис. 2. Зависимость постоянной Кундта от химического состава пленок

дении. Для никелевых пленок и пленок, богатых никелем, такой зависимости не обнаружено.

В дальнейшем будут приведены результаты измерений, полученные на пленках железа, никеля и их сплавов, осажденных со скоростью, превышающей 20 А/сек.

Таблица 1

Оптические характеристики пленок железо-никелевых сплавов

Состав пленок, Ni—Fe, %	d , град.	$\text{tg } \varphi$	n	k	$-\varepsilon_1$	ε_1	A
Fe	67,5	0,438	2,50	3,55	6,35	17,75	0,400
10—90	67,9	0,422	2,52	3,60	6,61	18,41	0,397
20—80	68,0	0,410	2,53	3,58	6,42	18,42	0,400
30—70	67,5	0,412	2,50	3,53	6,21	17,65	0,403
40—60	65,5	0,434	2,25	3,80	9,33	17,10	0,359
50—50	62,7	0,463	1,88	4,10	13,28	15,42	0,299
60—40	60,7	0,475	1,77	4,12	13,84	14,59	0,286
70—30	59,6	0,481	1,75	4,10	13,75	14,35	0,286
80—20	59,5	0,490	1,75	4,03	13,59	14,28	0,288
90—10	59,5	0,500	1,70	4,10	13,92	13,92	0,280
Ni	59,5	0,509	1,60	4,10	14,25	13,12	0,283

Минимальная толщина пленок, при которой еще удавалось наблюдать магнитооптическое вращение плоскости поляризации проходящего через пленку света, составляла 30 Å. Для всех составов с увеличением толщины пленок фарадеевское вращение возрастает линейно.

Для каждого состава были получены зависимости эффекта Фарадея от величины внешнего магнитного поля. Значения намагниченности насыщения J_s , определенные из значений полей насыщения H_s эффекта Фарадея в соответствии с формулой $H_s = 4\pi J_s$, не отличаются от значений J_s пленок тех же составов, полученных методом ферромагнитного резонанса ⁽⁹⁾, и от намагниченности массивных материалов.

На рис. 1 приведена зависимость φ_0 от химического состава пленок. Точки на графике соответствуют усредненным значениям φ_0 для каждого состава, разброс в пределах одного состава составляет в среднем $\sim 8\%$. Как видно из рисунка, зависимость φ_0 качественно соответствует известной зависимости J_s от состава. Это естественно, так как $\varphi_0 = KJ_s$, где K — постоянная Кундта. Представляет интерес выяснить, как изменяется от состава постоянная Кундта K . График зависимости K от состава железоникелевых пленок показан на рис. 2.

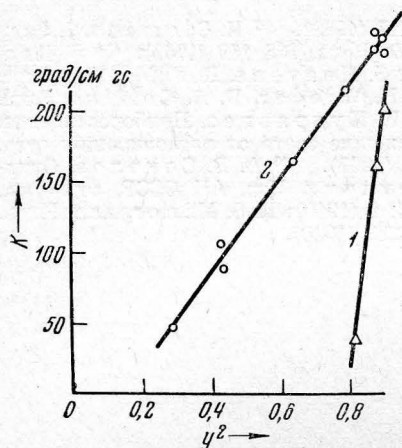


Рис. 3. Зависимость постоянной Кундта от $(J_s/J_{s_0})^2$. 1 — сплавы от 0 до 30% Ni, 2 — от 30 до 100% Ni

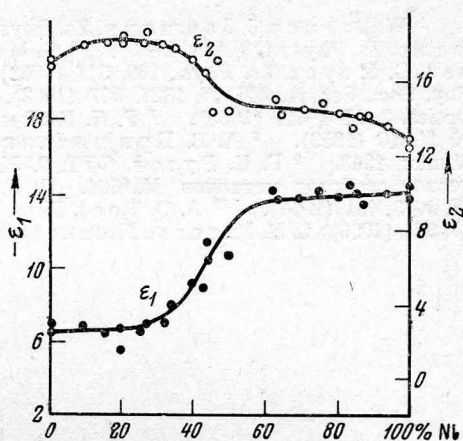


Рис. 4. Зависимость ϵ_1 и ϵ_2 от химического состава пленок

Для инфракрасной области и температур, близких к температуре Кюри, С. В. Вонсовским и А. В. Соколовым ⁽¹⁰⁾ получено следующее выражение для постоянной Кундта:

$$K = a + b(\nu)y^2,$$

где $y = J_s/J_{s_0}$; J_s — намагниченность насыщения при данной температуре; J_{s_0} — намагниченность насыщения при абсолютном нуле; a и b — некоторые параметры, причем b является функцией частоты применяемого света.

Хотя условия эксперимента выходят за рамки этой теории, тем не менее график зависимости K от y^2 , приведенный на рис. 3, показывает, что линейная зависимость и в данном случае имеет место. Наклон прямой, характеризующей зависимость K от y^2 для составов, содержащих от 0 до 30% никеля, отличается от наклона прямой для составов с большим содержанием никеля.

2. Оптические константы. В табл. 1 приведены значения показателей преломления n и поглощения k для пленок различных составов, полученные из измерения элементов эллиптической поляризации отраженного света: отношения полуосей $\tan \psi$ и наклона большой оси эллипса α к плоскости падения света. Коэффициент поглощения A при нормальном падении на достаточно толстую и, следовательно, непрозрачную пленку был вычислен по формуле $A = 4n / [(n+1)^2 + k^2]$, а действительная ϵ_1 и мнимая ϵ_2 части диэлектрической проницаемости по формулам $\epsilon_1 = n^2 - k^2$, $\epsilon_2 = 2nk$.

Из табл. 1 и рис. 4, на котором приводится зависимость ϵ_1 и ϵ_2 от состава пленок, видно, что оптические характеристики пленок для составов от 0 до 30% и от 50 до 100% никеля мало зависят от состава и могут считаться равными оптическим характеристикам железа и никеля соответственно. Значения оптических констант для пленок железа и никеля удов-

летворительно согласуются с данными работ (¹¹, ¹²) для массивных материалов. Резкий перегиб на кривых зависимости ε_1 и ε_2 от состава соответствует пленкам, содержащим от 30 до 50% никеля.

Институт физики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Красноярский педагогический институт

Поступило
10 V 1967

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Breuer, J. Jaumann, Zs. Phys., 173, 117 (1963). ² K. Clemens, J. Jaumann, Zs. Phys., 173, 135 (1963). ³ G. Meyer, Zs. Phys., 168, 169 (1962). ⁴ G. Krause, G. Meyer, Zs. Phys., 169, 511 (1962). ⁵ O. S. Heavens, R. F. Miller, Proc. Roy. Soc., Ser. A, 266, № 1327, 547 (1962). ⁶ H. H. Wieder, D. A. Collins, Appl. Optics, 2, № 4, 411 (1963). ⁷ Р. Я. Кеймах, В. Н. Кудрявцев, Приборостроение, № 11, 10 (1959). ⁸ А. В. Пришивалко, Отражение света от поглощающих сред, Минск, 1963. ⁹ Г. И. Русов, ФТТ, 9, № 1, 196 (1967). ¹⁰ А. В. Соколов, Оптические свойства металлов, М., 1961. ¹¹ Г. С. Криничик, Изв. АН СССР, сер. физ., 28, № 3, 481 (1964). ¹² A. Q. Tool, Phys. Rev., 31, 1 (1910); R. S. Minor, Ann. Phys., 10, 581 (1903); L. R. Ingersoll, Astrophys. J., 31, 282 (1910).