

РОСТ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ В ТЯЖЕЛЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛАХ И ИХ СПЛАВАХ, ВЫЗВАННЫЙ ДОБАВКАМИ САМАРИЯ

Е.И.Кондорский, О.С.Галкина, Л.В.Лазарева

Обнаружено, что малые добавки Sm от 0,2 до 2 ат% к тяжелым редкоземельным металлам Ho, Dy и Tb, а также к их бинарным сплавам, приводят к эффекту увеличения средних магнитных моментов μ_I и $\mu_{эфф}$, рассчитанных на атом сплава. Эффект обусловлен возможным увеличением поляризации электронов проводимости в таких системах.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований магнитных свойств Ho, Dy, Tb и сплавов с самарием, про-

веденных в интервале температур 4,2 — 400К в полях до 50 кЭ. Сплавы тяжелых редкоземельных металлов (ТРЗМ) с самарием изучены мало. Однако, в работах [1, 2] обнаружены аномалии электрических и гальваномангнитных свойств при введении Sm в матрицы Ho и Dy .

Образцы и методика измерений

Исследования проводились на поликристаллических образцах Ho , Dy . Ть и сплавах $\text{Ho}_{1-x}\text{Sm}_x$, $\text{Dy}_{1-x}\text{Sm}_x$; $\text{Tb}_{1-x}\text{Sm}_x$ и $(\text{Ho}_{0,5}\text{Dy}_{0,5})_{1-x}\text{Sm}_x$, изготовленных в Гиредмете из материалов чистоты 99,98%. Концентрация самария в сплавах определялась нейтронно-активационным методом с точностью до 0,1%. Были исследованы сплавы с содержанием самария от 0,15 до 12 ат.%. ($0,0015 \leq x \leq 0,12$). На цилиндрических образцах с $e/d = 10$ баллистическим методом измерялась намагниченность в интервале температур 4,2 — 400К в полях до 50 кЭ. Электронная система стабилизации позволяла поддерживать температуру с точностью 0,03 — 0,5° в зависимости от области температур, в которой проводились измерения. Парамагнитная восприимчивость χ_p рассчитывалась из изотерм намагниченности в области температур $T \gg \Theta_p$, где Θ_p — парамагнитная температура Кюри. Установлено, что у всех исследованных систем сплавов χ_p подчиняется закону Кюри — Вейсса. Это позволяло по численным значениям χ_{pi} строить прямые регрессии вида $1/\chi_{pi} = f(T)$ и оценивать коэффициенты корреляции по методу наименьших квадратов. Температуры Θ_p сплавов определялись по экстраполяции прямых $1/\chi_{pi} = f(T)$ на ось температур. Точность определения Θ_p составляла $\pm 0,5\text{К}$. Полученные значения намагниченности I , χ_p и Θ_p использовались для расчетов магнитных моментов по намагниченности μ_J^* и эффективных моментов $\mu_{\text{эфф}}$. Величины моментов рассчитывались на атом сплава по формулам

$$\mu_J^* = I^* A / Nd \mu_B, \quad (1)$$

$$\mu_{\text{эфф}}^2 = 3 \chi_p (T - \Theta_p) kA / Nd \mu_B, \quad (2)$$

где I^* — намагниченность сплава в поле $H = 50$ кЭ, A — атомный вес сплава, d — плотность сплава, N — число Авогадро, k — постоянная Больцмана. Доверительный интервал магнитных моментов равен $\pm 0,08$ магнетона Бора. Температура Нееля T_N и ферромагнитная температура Кюри T_C сплавов определялись стандартными методами по положению особенностей на изополях намагниченности.

Экспериментальные результаты

Обнаружено, что магнитные свойства резко отличны у сплавов с малым ($0,0015 \leq x < 0,03$ — сплавы I) и большим ($x > 0,05$ — сплавы II) содержанием самария, χ_p сплавов I и χ_p при всех температурах больше, а у сплавов II — меньше, чем эти величины у исходных ТРЗМ-матриц. Θ_p сплавов I с ростом концентрации самария практически остаются постоянными, а в сплавах II Θ_p уменьшаются примерно на 1,5° на 1 ат.% Sm . T_N — линейно падает во всех сплавах с ростом концентрации самария.

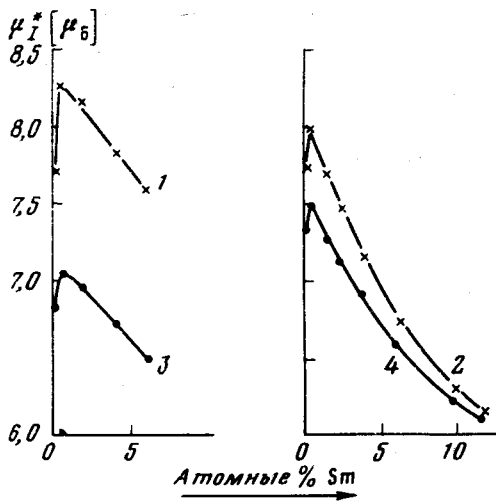


Рис. 1. Зависимость магнитного момента μ_I^* от концентрации самария в сплавах систем:

- 1 — $(\text{Ho}_{0,5}\text{Dy}_{0,5})_{1-x}\text{Sm}_x$, $T = 4,2\text{K}$;
 3 — $(\text{Ho}_{0,5}\text{Dy}_{0,5})_{1-x}\text{Sm}_x$, $T = 80\text{K}$;
 2 — $\text{Tb}_{1-x}\text{Sm}_x$, $T = 4,2\text{K}$;
 4 — $\text{Tb}_{1-x}\text{Sm}_x$, $T = 80\text{K}$

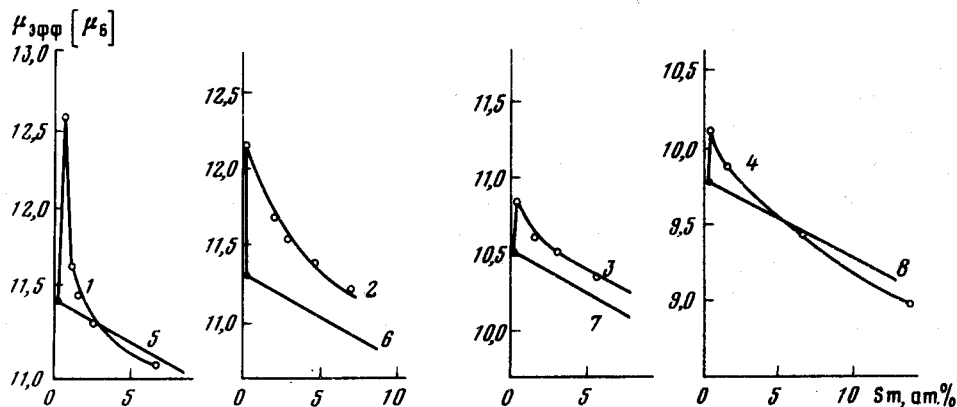


Рис. 2. Зависимость эффективного магнитного момента $\mu_{\text{эфф}}$ от концентрации самария в сплавах систем: 1 — $\text{Ho}_{1-x}\text{Sm}_x$, эксперимент; 5 — $\text{Ho}_{1-x}\text{Sm}_x$, теория; 2 — $(\text{Ho}_{0,5}\text{Dy}_{0,5})_{1-x}\text{Sm}_x$, эксперимент; 6 — $(\text{Ho}_{0,5}\text{Dy}_{0,5})_{1-x}\text{Sm}_x$ — теория; 3 — $\text{Dy}_{1-x}\text{Sm}_x$, эксперимент; 7 — $\text{Dy}_{1-x}\text{Sm}_x$, теория; 4 — $\text{Tb}_{1-x}\text{Sm}_x$, эксперимент; 8 — $\text{Tb}_{1-x}\text{Sm}_x$, теория

На рис. 1 приведены графики зависимостей $\mu_I^*(x)$, рассчитанных при $T_1 = 4,2\text{K}$ и $T_2 = 80\text{K}$ для сплавов систем $(\text{Ho}_{0,5}\text{Dy}_{0,5})_{1-x}\text{Sm}_x$ и $\text{Tb}_{1-x}\text{Sm}_x$. (Соответственно кривые 1 — 3 и 2 — 4). Из рисунка видно, что при T_1 и T_2 в сплавах I наблюдается рост μ_I^* по сравнению с μ_I^* матриц. В сплавах II μ_I^* падают, и при $x > 0,05$ становятся меньше, чем μ_I^* матриц. Аналогичный эффект увеличения μ_I^* наблюдается на сплавах I всех исследованных систем.

На рис. 2 приведены полученные нами зависимости $\mu_{\text{эфф}}(x)$ для сплавов всех исследованных систем (кривые 1 — 4). Из рисунка видно, что в сплавах I всех систем $\mu_{\text{эфф}}$ растут, а в сплавах II — падают, по сравнению с $\mu_{\text{эфф}}$ матриц. Установлено, что величина роста $\mu_{\text{эфф}}$ в сплавах I зависит от материала исходной ТРЗМ-матрицы. Эффект максима-

лен для гольмия и минимален для тербия. Так $\Delta\mu_{\text{эфф}}/\mu_{\text{эфф}}$ матрицы, где $\Delta\mu_{\text{эфф}} = \mu_{\text{эфф}} \cdot \text{макс} - \mu_{\text{эфф}}$ матрицы равны: для гольмия — 10,5%, сплава ($\text{Ho}_{0,5}\text{Dy}_{0,5}$) $_{1-x}\text{Sm}_x$ — 7,5%, диспрозия — 4,3%, тербия — 3,1%.

Известно [3], что при сплавлении РЗМ друг с другом $\mu_{\text{эфф}}$ сплавов хорошо совпадают со значениями, рассчитанными по формуле:

$$\mu_{\text{эфф}} = \sqrt{\mu_{1\text{эфф}}^2(1-x) + \mu_{2\text{эфф}}^2}, \quad (3)$$

где $\mu_{1\text{эфф}}$ и $\mu_{2\text{эфф}}$ — эффективные моменты компонент.

На рис. 2 (кривые 5 — 8) приведены зависимости $\mu_{\text{эфф}}(x)$, рассчитанные по формуле (3) для всех исследованных систем сплавов. Из этих графиков видно, что при добавке к ТРЗМ слабомагнитного самария $\mu_{\text{эфф}}$ сплавов в соответствии с формулой (3) должны линейно уменьшаться с ростом концентрации самария в сплавах.

Таким образом, обнаруженный эффект увеличения $\mu_{\text{эфф}}$ в сплавах I систем ТРЗМ — Sm не может быть связан с прямым вкладом магнитного момента изолированного атома самария. Для сплавов II, как видно из рис. 2 наблюдается соответствие между $\mu_{\text{эфф}}$, рассчитанных из данных наших экспериментов и по формуле (3).

Эффект увеличения $\mu_{\text{эфф}}$ и $\mu_{\text{эфф}}^*$, обнаруженный у сплавов I исследованных нами систем, так же, как и аномальное изменение магнитосопротивления и ЭДС Холла, наблюдавшийся в сплавах I систем $\text{Ho}_{1-x}\text{Sm}_x$ и $\text{Dy}_{1-x}\text{Sm}_x$ в работах [1, 2], по-видимому, обусловлены тем, что малые добавки самария к ТРЗМ матрицам ведут к увеличению магнитной поляризации нелокализованных электронов вокруг ионов, связанной с косвенным взаимодействием типа Рудермана — Киттеля — Косуя — Иосиды (РККИ). Это приводит к увеличению эффективных магнитных моментов ионов в кристаллической решетке сплавов по сравнению с моментами изолированных ионов.

Отметим, что поляризационные эффекты в самом самарии дают вклад в магнитный момент, сравнимый по величине с вкладом от 4 — f электронов [4].

Московский
государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию
18 сентября 1979 г.

Литература

- [1] Е.И. Кондорский, О.С. Галкина, А.В. Черёмушкина, И.Н. Захарова. ФММ, 46, 828, 1979.
- [2] И.К. Ильина, О.С. Галкина, Е.И. Кондорский. ФММ, 47, 434, 1979.
- [3] Р.З. Левитин, Т.М. Перекалина, Л.П. Шляхина, О.Д. Чистяков, В.Л. Яковенко. ЖЭТФ, 63, 1401, 1972.
- [4] К. Тейлор, Б. Дарби. Физика редкоземельных соединений. М., изд. Мир, 1974.