

## ПРИРОДА МАГНИТОСТРИКЦИИ ДИСПРОЗИИ И ЕГО СИЛАЗОВ С ГАДОЛИНИЕМ

*Р.З. Левитин, Ю.Ф. Попов, О.Д. Чистяков, В.Л. Яковенко*

Проведенные в последние годы исследования показали, что магнитострикция тяжелых редкоземельных металлов (ТРЗМ) (кроме гадолиния) весьма велика: порядка  $10^{-3} - 10^{-2}$  (см., например, обзор [1]). Не выяснена, однако, окончательно природа столь большой магнитострикции ТРЗМ. Наиболее подробно изучены магнитострикционные деформации, обусловленные вращением вектора намагниченности в базисной плоскости гексагонального кристалла, [2-4] и показано, что температурная зависимость этих магнитострикционных деформаций удовлетворительно согласуется с теоретически рассчитанной для модели одноионной анизотропии. Однако такое согласие не может служить доказательством одноионной природы магнитострикции. Как показано в работах [5], обменное взаимодействие  $4f$ -электронов ТРЗМ через электроны проводимости приводит к появлению анизотропных взаимодействий, зависящих от состояния только одного иона, и поэтому магнитная анизотропия, обусловленная таким взаимодействием, должна иметь температурную зависимость, аналогичную зависимости для одноионной анизотропии. Этот вывод можно, по-видимому, распространить и на магнитострикцию, так как анизотропное магнитоупругое взаимодействие можно рассматривать как часть энергии магнитной анизотропии, зависящую от деформаций.

Для выяснения природы магнитострикции ТРЗМ нами была измерена магнитострикция сплавов диспрозий – гадолиний. Если магнитоупругое взаимодействие в ТРЗМ является одноионным, то в сплаве его можно рассматривать как адитивную сумму магнитоупругих взаимодействий отдельных атомов и в этом случае константы магнитострикции должны линейно зависеть от концентрации компонент сплава. Если же магнитоупругое взаимодействие имеет обменную природу, то оно зависит от числа пар взаимодействующих атомов и, следовательно, константы магнитострикции должны квадратично изменяться при изменении концентрации компонент<sup>1)</sup>.

В сплавах с гадолинием интерпретация результатов значительно облегчается, так как его магнитострикция значительно меньше, чем магнитострикция других ТРЗМ, и влиянием гадолиния на магнитострикцию сплава можно пренебречь.

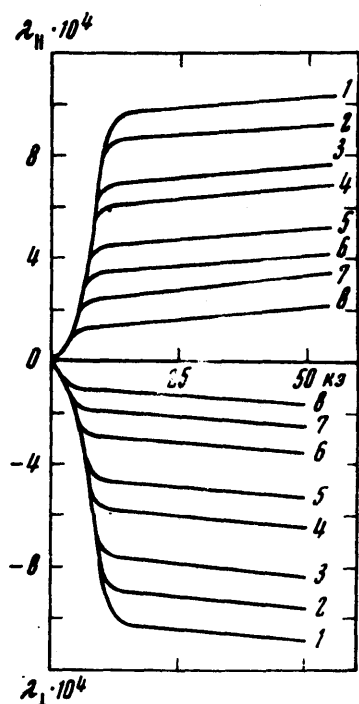


Рис. 1. Изотермы продольной и поперечной магнитострикции в базисной плоскости сплава  $Dy_{0,296}Gd_{0,704}$  при температурах: 1 –  $85^{\circ}K$ , 2 –  $100^{\circ}K$ , 3 –  $120^{\circ}K$ , 4 –  $140^{\circ}K$ , 5 –  $160^{\circ}K$ , 6 –  $180^{\circ}K$ , 7 –  $200^{\circ}K$ , 8 –  $220^{\circ}K$ .

Магнитострикция сплавов  $Dy_xGd_{1-x}$  ( $0,046 \lesssim x \lesssim 1,0$ ) измерялась на монокристаллических образцах в виде шариков диаметром 2,5 – 3 мкм в интервале температур 78 –  $300^{\circ}K$  с помощью выносного пьезоэлектрического датчика [6] в импульсных магнитных полях. Была измерена продольная магнитострикция в базисной плоскости, а также поперечная магнитострикция в базисной плоскости, причем при измерении поперечной магнитострикции поле ориентировалось также в базисной плоскости.

<sup>1)</sup> Подобным способом определялась природа магнитострикции в редкоземельных ферритах-гранатах [9].

На рис. 1 приведены изотермы продольной и поперечной магнитострикции сплава с  $x = 0,296$  при различных температурах. Аналогичные зависимости  $\lambda(H)$  наблюдаются и для других сплавов. Нами обнаружено, что на величину магнитострикции насыщения  $\lambda_s$  ( $\lambda_s$  находилась линейной экстраполяцией кривой  $\lambda(H)$  из области сильных полей к нулевому полю) влияет предистория образца. Это связано с зависимостью величины магнитострикции от доменной структуры в размагниченном состоянии. Для получения сопоставимых результатов образец перед каждым измерением размагничивался нагреванием выше температуры магнитного упорядочения  $\theta_2$ .

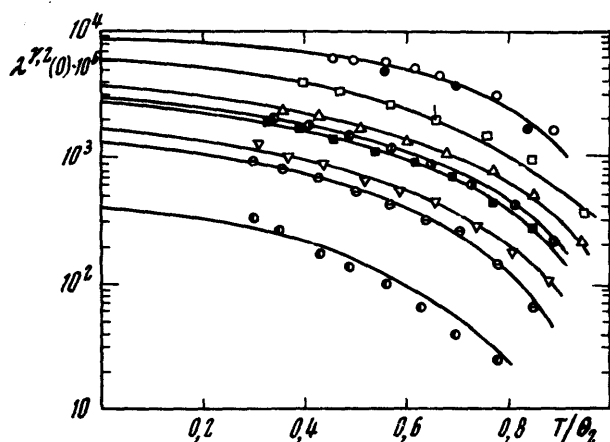


Рис. 2. Температурные зависимости констант магнитострикции  $\lambda^{2,2}$  сплавов  $Dy_x Gd_{1-x}$ . Впячки — экспериментальные результаты:  $\bullet$  —  $x = 0,046$ ,  $\circ$  —  $x = 0,103$ ,  $\nabla$  —  $x = 0,183$ ,  $\blacksquare$  —  $x = 0,296$ ,  $\circ$  —  $x = 0,378$ ,  $\triangle$  —  $x = 0,49$ ,  $\square$  —  $x = 0,7$ ,  $\circ$  —  $x = 1,0$ ,  $\bullet$  —  $x = 1,0$  — данные работы [2]. Сплошные линии — теоретические зависимости для модели одноионной магнитострикции (формула (3))

Проведенные нами измерения магнитострикции позволяют определить константу магнитострикции  $\lambda^{2,2}$ , характеризующую деформацию базисной плоскости гексагонального кристалла при повороте вектора намагниченности в этой плоскости. Из общей формулы для магнитострикции гексагонального кристалла 7 следует, что

$$\lambda^{2,2} = (\lambda_{6П}^{\parallel})_s - (\lambda_{6П}^{\perp})_s, \quad (1)$$

где  $(\lambda_{6П}^{\parallel})_s$  — продольная, а  $(\lambda_{6П}^{\perp})_s$  — поперечная магнитострикция насыщения в базисной плоскости.

На рис. 2 показаны зависимости констант магнитострикции  $\lambda^{2,2}$  сплавов диспрозий — гадолиний от приведенной температуры  $T/\theta_2$ .

Там же построены по формуле

$$\lambda_{Y,2} = \lambda_{Y,2}(0) \hat{I}_{5/2} \left\{ L^{-1}[m(T)] \right\} \quad (2)$$

теоретические зависимости  $\lambda_{Y,2}(T)$  для одноионной модели магнитострикции [7]. В формуле (2)  $\lambda_{Y,2}(0)$  – константа магнитострикции при  $0^\circ\text{K}$ ,  $\hat{I}_{5/2}$  – приведенная гиперболическая функция Бесселя,

$L^{-1}$  – обратная функция Ланжевена,  $m(T)$  – относительная намагниченность диспрозия в сплаве. Величина  $m(T)$  определялась нами в приближении молекулярного поля способом, изложенным в [8]. Из рис. 2 видно, что экспериментальные температурные зависимости магнитострикции сплавов диспрозий – гадолиний удовлетворительно описываются теоретической зависимостью для модели одноионной анизотропии. Несколько худшее согласие теоретической и экспериментальной температурной зависимости магнитострикции сплава с  $x = 0,046$  обусловлено тем, что при малых содержаниях диспрозия на магнитостриксию сплава начинает влиять гадолиний, магнитострикция которого аномально зависит от температуры [1].

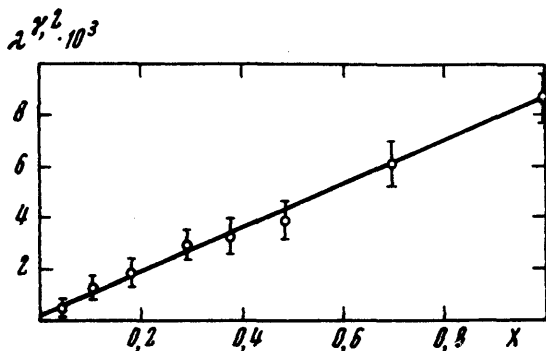


Рис. 3. Зависимость константы магнитострикции  $\lambda_{Y,2}(0)$  от состава сплавов диспрозий – гадолиний:  $\circ$  – наши данные,  $\bullet$  – данные работы [2]

На рис. 3 показана зависимость от состава сплавов диспрозий – гадолиний констант магнитострикции  $\lambda_{Y,2}(0)$ . Видно, что в пределах ошибки наблюдается линейное возрастание константы магнитострикции  $\lambda_{Y,2}(0)$  при возрастании содержания диспрозия в сплаве, что, как было показано выше, свидетельствует об одноионной природе магнитострикции. Таким образом, из наших измерений следует, что магнитострикция сплавов гадолиний – диспрозий является, в основном, одноионной и обусловлена взаимодействием анизотропного облака заряда  $4f$ -электронов диспрозия с кристаллическим полем решетки.

Мы благодарим К.П. Белова за интерес к работе и многочисленные советы, а также Е.М. Савицкого и В.Ф. Терехову за предоставление монокристаллов.

Московский  
государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию  
6 июля 1972 г.

## Литература

- [ 1 ] К.П. Белов, М.Л. Белянчикова, Р.З. Левитин, С.А. Никитин. Редкоземельные ферро- и антиферромагнетики. Изд. Наука, 1965.
  - [ 2 ] A. Clark, B. De Savage, R. Bozorth. Phys. Rev., 138, A 216, 1965.
  - [ 3 ] J. Rhyne, S. Legvold. Phys. Rev., 138, A 507, 1965.
  - [ 4 ] J. Rhyne, S. Legvold. Phys. Rev., 140, A 2143, 1965.
  - [ 5 ] А.А. Казаков, Р.И. Андреева. ФТТ, 12, 240, 1970; Ю.П. Ирхин, В.П. Карпенко. ФТТ, 13, 3585, 1971.
  - [ 6 ] Б.К. Пономарев, Р.З. Левитин. ПТЭ, № 3, 188, 1966.
  - [ 7 ] E. Callen, H. Callen. Phys. Rev., 139, A 455, 1965.
  - [ 8 ] Р.З. Левитин, Е.М. Савицкий, В.Ф. Терехова, О.Д. Чистяков, В.Л. Яковенко. ЖЭТФ, 62, 1858, 1972.
  - [ 9 ] A. Clark, J. Rhyne. E. Cullen. J. Appl. Phys., 39, 573, 1968.
-