

О МАГНИТНЫХ СВОЙСТВАХ ГАДОЛИНИЯ, ПОДВЕРГНУТОГО
ВЫСОКОМУ ДАВЛЕНИЮ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

К.П.Белов, Ю.В.Ергин, А.А.Кацнельсон,

А.В.Педько

1. Было установлено [1], что поликристаллический гадолиний, подвергнутый нагреву до 400°C и одновременно всестороннему давлению (в течение 15 мин.), переходит из гексагональной плотноупакованной кристаллической конфигурации в ромбоэдрическую типа самария. Эта ромбоэдрическая модификация гадолиния, по данным [1], является, однако, неустойчивой при атмосферном давлении и при охлаждении до температуры жидкого азота почти полностью переходит в нормальную, гексагональную модификацию. Было указано также [1], что намагниченность насыщения "ромбоэдрического" гадолиния, измеренная в полях порядка 15000 э, при всех температурах вплоть до разрушения ромбоэдрической модификации приблизительно в 1,5 - 2 раза меньше намагниченности насыщения гексагонального гадолиния.

2. С целью выяснения вопроса о том, с чем связано сильное изменение намагниченности насыщения "ромбоэдрического" гадолиния, в нашей работе, помимо измерений намагниченности насыщения, производились измерения точки Кюри и температурной зависимости парамагнитной восприимчивости.

Исследуемые образцы гадолиния содержали менее 0,5% примесей. Так же, как в работе [1], образцы подвергались давлению в 40 кбар в камере высокого давления при темпера-

туре $450 \pm 50^\circ\text{C}$ в течение 15 мин. Затем температура резко уменьшалась до комнатной, после чего снималось давление. Измерения намагниченности (в поле 15000 э), парамагнитной восприимчивости (в поле 7000 э) и температуры Кюри производились на маятниковом магнетометре Доменикали при атмосферном давлении. Рентгенограммы с образцов снимались в камере РКУ-86 на K_{α} -излучении Cu .

3. Результаты рентгеновских исследований даны ниже.

Gd до обработки давлением, d , Å

3,01 2,79 2,67 2,07 1,78 1,61 1,51 1,43 -

После обработки (при

450°C), d , Å

3,43 3,10 3,03 2,90 2,80 2,75 2,60 2,41 2,22

Фаза

- p¹⁾ p p p гд²⁾ p p p

После обработки (при

450°C), d , Å

2,13 1,99 1,85 1,75 1,67 1,64 1,61 1,55 1,52

Фаза

гд p гд p p гд p гд p

Все линии рентгенограммы, приведенные во второй строке, кроме одной ($d = 3,43$ Å), совпадают с линиями, обнаруженными в [1]. Большинство линий соответствует ромбоэдрической фазе типа самария. Несколько слабых линий обусловлено

существованием в образце фазы с двойной гексагональной (четырёхслойной) упаковкой типа лантана. Поскольку интенсивность этих линий мала, можно допустить, что объем, занятый этой фазой, невелик.

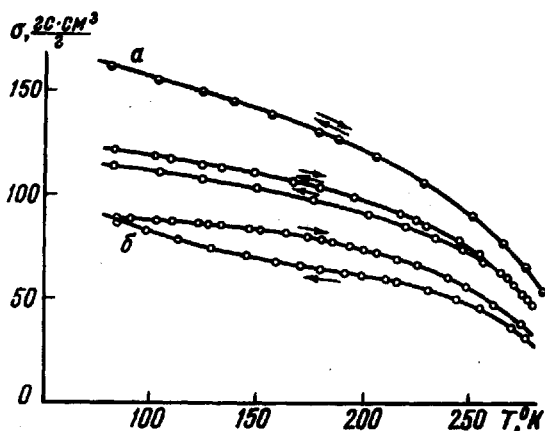


Рис. I. Температурная зависимость намагниченности насыщения Gd

На рис. I приведены кривые температурной зависимости намагниченности насыщения для исходного образца гадолиния (кривые a) и для того же образца после обработки давлением до 40 кбар при температуре $450^{\circ}C$ (кривая b). Кривая b снималась при охлаждении образца от комнатной температуры до температуры кипения азота. Видно, что при всех температурах намагниченность насыщения примерно в два раза меньше, чем намагниченность исходного образца, что согласуется с результатами [1]. При циклах нагрев-охлаждение эта разница в намагниченности насыщения, как следует

из рис. I, постепенно уменьшается. В дальнейшем величина намагниченности перестает зависеть от числа циклов нагрева-охлаждения и остается постоянной, но не достигает величины намагниченности насыщения исходного образца.

На рис. 2 даны кривые зависимости обратной величины парамагнитной восприимчивости от температуры для исходного образца гадолиния (кривая а) и для того же образца после обработки давлением 40 кбар при 450°C (кривая б). Видно, что кривая б имеет сложный температурный ход. При температуре выше 500°K она практически совпадает с кривой для исходного образца. В области температур $300\text{--}340^{\circ}\text{K}$ кривую б можно аппроксимировать прямой линией. Из наклона этой прямой можно оценить эффективный момент, приходящийся на атом "ромбоэдрического" гадолиния. Оказалось, что этот момент равен $\sim 4,5\mu_B$, т.е. почти в два раза меньше, чем момент исходного образца гадолиния, имеющего гексагональную структуру ($\sim 8\mu_B$). Соотношение этих моментов соответствует измерениям намагниченности насыщения при температурах ниже точки Кюри (рис. I).

В интервале температур $300\text{--}500^{\circ}\text{K}$ в образце происходит постепенное превращение метастабильной ромбоэдрической фазы в гексагональную. При этом с ростом температуры количество последней растет, и при 500°K практически весь объем занят гексагональной фазой. На рентгенограммах образца гадолиния, обработанного давлением при 450°C и нагретого выше 500°K , полностью отсутствуют линии, соответствующие ромбоэдрической и двойной гексагональной структурам. Таким образом, ромбоэдрическая модификация гадолиния переходит в

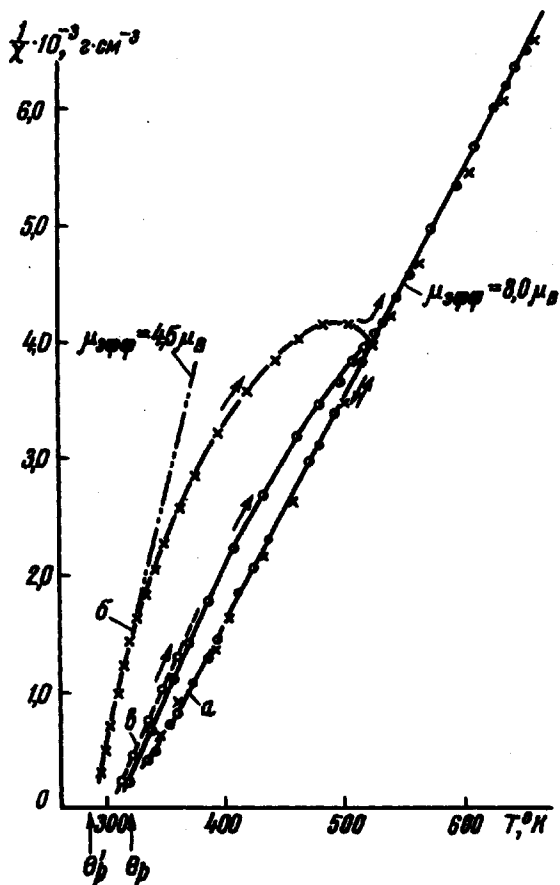


Рис.2. Зависимость обратной величины парамагнитной восприимчивости Gd от температуры: ooo - гексагональный Gd , xxx - ромбоэдрический Gd , ooo - Gd , подвергнутый обработке давлением, после пребывания в течение 15 час. при $78^{\circ}K$, ooo - Gd , подвергнутый обработке давлением, после пребывания в течение 2 час. при $4,2^{\circ}K$

исходную гексагональную не только при охлаждении ниже температуры кипения жидкого азота, как было установлено в [1], но также при нагреве выше 500°K .

Кривая $\chi^{-1}(T)$ для образца гадолиния, выдержанного в течение 15 час. при 78°K после того, как он был обработан давлением при 450°C , близка к кривой для гексагонального гадолиния (кривая *b* на рис.2). Выдержка в течение двух часов при температуре $4,2^{\circ}\text{K}$ также почти полностью уничтожает ромбоэдрическую модификацию, что подтверждается рентгеновскими исследованиями.

Температура Кюри, определенная по методу термодинамических коэффициентов [2], для исходного образца гадолиния равна $\Theta = 295^{\circ}\text{K}$, а для образца, обработанного давлением при 450°C , $-\Theta = 283^{\circ}\text{K}$, т.е. обработка гадолиния давлением привела к уменьшению температуры Кюри на 12° . Величина парамагнитной температуры Кюри Θ_p , определенная при экстраполяции кривой $\chi^{-1}(T)$ на ось температур, для исходного образца равна 315°K , а для обработанного давлением -295°K .

Из наших измерений следует, что гадолиний "ромбоэдрической" модификации имеет меньший эффективный магнитный момент на атом, чем гадолиний, обладающий гексагональной структурой. Это, возможно, связано с тем, что в гадолинии при действии сильного давления и нагреве происходит перестройка электронной структуры $4f$ -слоя, аналогичная той, которая наблюдается в церию [3].

Авторы выражают благодарность Д.С.Геншафту и Л.Д.Лившицу за обработку образцов гадолиния в камере высокого давления, В.П.Дерипаско за проведение рентгено съемок и Р.З. Левитину за участие в обсуждении результатов.

Московский государственный
университет

Поступило в редакцию
24 февраля 1965 г.

Литература

- [1] A. Jayarman, R.C. Cherwood. Phys. Rev. Lett., 12, 22, 1964.
- [2] К.П. Белов. Магнитные превращения, Физматгиз, 1959.
- [3] M. Wilkinson, H. Child, C. Mc. Hargue, W. Koehler, E. Wollan. Phys. Rev., 122, 1409, 1961.

1) р - ромбоэдрическая фаза (типа Sm).

2) гд - гексагональная двойная фаза (типа Ln).