

УДК 538.638:669.85/86

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ДИСПРОЗИЯ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

С. А. Никитин, А. М. Тишин, С. Э. Быховер, С. В. Редько

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

Проведены измерения магнитокалорического эффекта (МКЭ) в монокристалле диспрозия в магнитных полях до 60 кЭ. В полях $H > 20$ кЭ на кривых температурной зависимости МКЭ наблюдается два максимума. Определено изменение энтропии диспрозия под действием поля при фазовых переходах.

Изучение магнитокалорического эффекта (МКЭ) в тяжелых редкоземельных металлах (РЗМ), обладающих сложными спиральными магнитными структурами, представляет значительный интерес, так как при этом может быть получена ценная информация о характере магнитных фазовых переходов и изменении магнитной части энтропии под действием магнитного поля [1—2]. МКЭ простыми термодинамическими соотношениями связан с изменением магнитной части энтропии и теплоемкости при намагничивании магнетика. Однако в настоящее время МКЭ в монокристаллах РЗМ в достаточно сильных магнитных полях исследован только в тербии [2]. В монокристалле диспрозия измерения МКЭ проведены только в полях до 13 кЭ [3].

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование МКЭ в монокристалле диспрозия в диапазоне температур от 20 до 300 К в магнитных полях до 60 кЭ, направленных в базисной плоскости вдоль кристаллографической оси «а». Измерения МКЭ проводились в поле сверхпроводящего соленоида [2]. Образец быстро (за время порядка одной секунды) вводился в поле, что вызвало изменение температуры образца за счет МКЭ. Ошибка эксперимента не превышала 8÷10%.

На рис. 1 приведены температурные зависимости МКЭ в монокристалле диспрозия в поле, направленном вдоль оси «а». В поле $H=60$ кЭ величина МКЭ достигает максимального значения 7,7 К при температуре 177,5 К. Наличие максимума при этой температуре можно объяснить магнитным фазовым переходом геликоидальный антиферромагнетизм — парамагнетизм. Резкое возрастание МКЭ с повышением температуры вблизи $T \sim 90$ К соответствует фазовому переходу ферромагнетизм — геликоидальный антиферромагнетизм, который в отсутствие магнитного поля наблюдается при температуре $\Theta = 85$ К [4]. Обращает на себя внимание заметное изменение характера кривых температурной зависимости МКЭ при возрастании магнитного поля (см. рис. 1).

Существование широкого «плато» в полях $H < 20$ кЭ в диапазоне температур 90÷135 К, которое наблюдается и на поликристаллических образцах [2], объясняется тем, что в данном интервале температур в диспрозии геликоидальная магнитная структура разрушается полем $H \parallel a$, если $H > H_{кр}$, максимальное значение $H_{кр} \sim 11$ кЭ. Под действием поля стабилизируется ферромагнитное состояние, которое в отсутствие поля существует при $T < \Theta_1$. В больших полях «плато» постепенно исчезает и на кривой температурной зависимости МКЭ в интервале температур 155÷165 К появляется дополнительный максимум, температура которого с возрастанием поля сдвигается в область высоких температур.

Наличие дополнительного максимума в сильных полях можно связать с существованием трикритической точки $T_k \sim 165$ К [3], в которой линия фазовых переходов первого рода переходит в линию фазовых переходов второго рода. Было показано [3], что при температуре T_k , где $dH_{кр}/dT = 0$, выделение и поглощение тепла отсутствует, в то время как возрастание намагниченности σ (H) при $H = H_{кр}$ весьма заметно. Как видно из рис. 1, данный максимум не исчезает даже в поле 60 кЭ. В диапазоне температур 128÷178 К переход от геликоидальной антиферромагнитной фазы к ферромагнитной структуре происходит через промежуточную «веерную» фазу [5]. На основании наших данных, в интервале температур 128÷160 К переход геликоид — «веер» происходит путем фазового перехода первого рода, что проявляется в наличии скачков на кривых зависимости МКЭ от магнитного поля при $H = H_{кр}$. В области температур 160÷178 К эти скачки исчезают, знак МКЭ при $H \leq H_{кр}$ становится отрицательным. Это указывает на то, что здесь геликоидальная магнитная структура непрерывно деформируется магнитным полем (начиная с самых малых полей) вплоть до образования «веерной» структуры и переход геликоид — «веер» является фазовым переходом второго рода.

Измеренная температурная зависимость МКЭ в монокристалле диспрозия и наличие данных по измерению теплоемкости [6] позволили нам вычислить энтропию в магнитном поле.

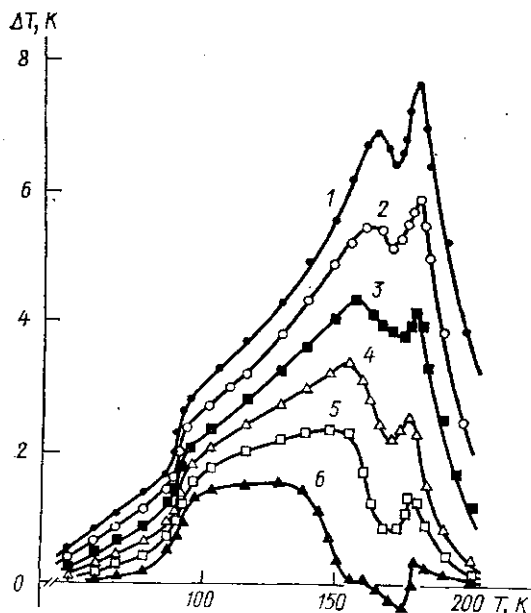


Рис. 1. Температурная зависимость магнитокалорического эффекта в монокристалле диспрозия в магнитных полях: $H=60$ (1), 50 (2), 40 (3), 30 (4), 20 (5) и 10 кЭ (6), приложенных вдоль оси «а»

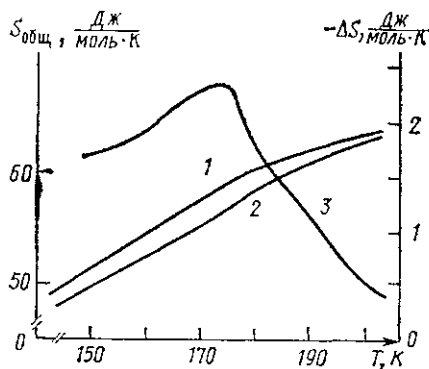


Рис. 2. Температурная зависимость суммарной энтропии монокристалла диспрозия: в отсутствие магнитного поля (1) и в поле $H=60$ кЭ, приложенном вдоль оси «а» (2). Изотермическое изменение энтропии монокристалла диспрозия в магнитном поле $H=60$ кЭ (3)

Из соотношения $CdT = TdS$ с очевидностью следует термодинамическая формула

$$S - S_0 = \int_{T_0}^T \frac{CdT}{T}. \quad (1)$$

При $T_0=0$ величину S_0 можно положить равной нулю в соответствии с теоремой Нернста $\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0$.

Равенство (1) было использовано для расчета суммарной энтропии $S_{\text{общ}}$ в отсутствие магнитного поля из известной экспериментальной зависимости суммарной теплоемкости от температуры $C_{\text{общ}}(T)$ [6]. Результаты расчетов приведены на рис. 2 (кривая 1). Учитывая то, что в условиях нашего эксперимента образец находился при адиабатических условиях, температурную зависимость суммарной энтропии в магнитном поле $S_{\text{общ}}^H(T)$ можно получить путем сдвига значений $S_{\text{общ}}$ при каждой температуре на величину МКЭ при данной температуре. Температурная зависимость суммарной энтропии в магнитном поле 60 кЭ приведена на рис. 2 (2).

На рис. 2 приведено также изотермическое изменение энтропии в поле $H=60$ кЭ: $\Delta S = S_{\text{общ}}^{60}(T) - S_{\text{общ}}(T)$ (кривая 3). В данном поле изотермическое изменение энтропии ΔS достигает максимального значения $-2,3$ Дж/(моль·К) вблизи температуры Нееля при $T=174$ К. Таким образом, можно сделать вывод о том, что энтропия диспрозия даже в сильных магнитных полях изменяется незначительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Hudgins A. C., Pavlovic A. S. Jr. // J. Appl. Phys. 1965. 36, N 11. P. 3628—3631. [2] Никитин С. А. и др. // ФММ. 1985. 60, № 4. С. 689—694. [3] Никитин С. А., Андреевко А. С., Пронин В. А. // ФТТ. 1979. 21, № 9. С. 2808—2810. [4] Белов К. П., Белянчикова М. А., Левитин Р. З., Никитин С. А. Редкоземельные ферро- и антиферромагнетики. М., 1965. [5] Herz R., Kronmüller H. // J. Magn. and Magn. Mat. 1978. 9. P. 273—275. [6] Griffel M., Skochdopole R. E., Spedding F. H. // J. Chem. Phys. 1956. 25, N 1. P. 75—79.

Поступила в редакцию
04.08.87

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1988. Т. 29, № 2

ДЕПОНИРОВАНИЕ

УДК 592.315

Определение параметра флуктуационной неоднородности границы Si—SiO₂ методом поверхностной подвижности / Козлов С. Н., Потапов А. Ю.

Предложен новый метод определения параметра, характеризующего потенциальную неоднородность границы раздела Si—SiO₂. Метод основан на измерении зависимости подвижности свободных носителей заряда в инверсионном канале МДП-структуры от поверхностных избытков свободных носителей. Показано, что экспериментальные результаты, полученные на одних и тех же структурах предложенным методом и с помощью известной методики поперечной высокочастотной проводимости, удовлетворительно согласуются между собой. Продемонстрирована применимость методики в широком диапазоне температур.

Деп. ВИНТИ № 8048-B87 от 17.11.87

УДК 539.293: 538

Влияние замещения ионов Mn ионами Co на магнитные свойства манганитов / Белов К. П., Свирина Е. П., Шляхина Л. П., Нтахомвукийе В.

Проведены исследования намагниченности и температуры Кюри в зависимости от замещения ионов Mn ионами Co в манганитах La_{0,6}Pb_{0,4}Co_yMn_{1-y}O₃, где y=0; 0,08; 0,12 и 0,26. Измерения проводились в интервале температур 78—300 К и в полях до 14 кЭ. Показано, что ионы Co в этих манганитах находятся в основном в четырехвалентном и низкоспиновом состоянии, что и приводит к существенному понижению намагниченности.

Деп. ВИНТИ № 8438-B87 от 02.12.87