

## ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОВЕДЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Л. З. Авдеев, С. А. Никитин, О. В. Снугирев, А. М. Тишин,  
В. В. Ханин

Исследование магнитных фазовых превращений в интерметаллических соединениях типа  $\text{RM}_2\text{X}_2$ , где R — редкая земля, M — 3d-металл, X — кремний, представляет интерес как с точки зрения изучения процессов намагничивания и магнитных структур данных сплавов, так и для получения информации о характере фазовых переходов. В этих соединениях имеют место сложные магнитные фазовые переходы ферромагнетизм—антиферромагнетизм—парамагнетизм. До сих пор свойства этих соеди-

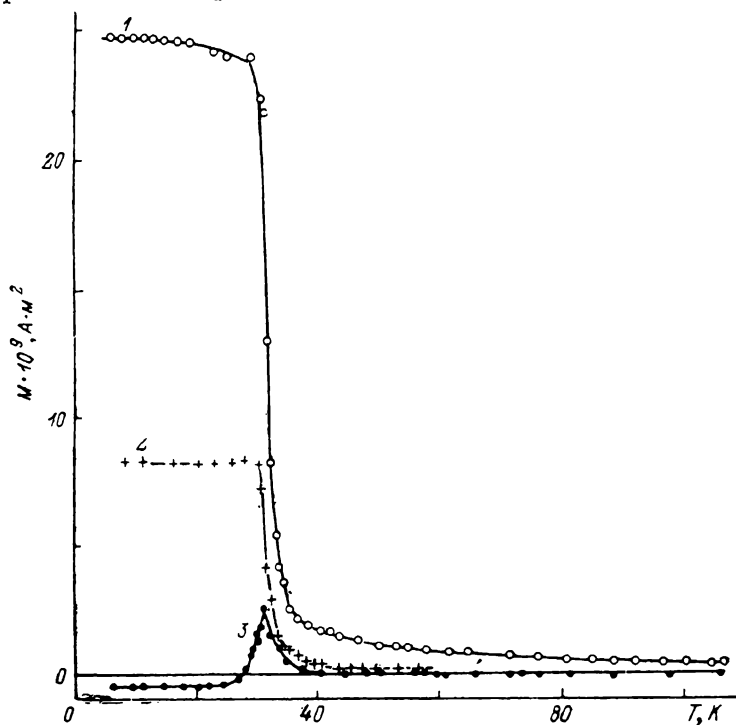


Рис. 1. Температурная зависимость магнитного момента сплава  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  при нагреве образца в магнитных полях.

$H$ , А/м: 1 — 92, 2 — 32, 3 — 12.

нений исследовались только в сильных магнитных полях  $H > 8 \cdot 10^3$  А/м [1-3]. В данной работе авторами проведено экспериментальное исследование намагниченности сплава  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  в слабых магнитных полях  $H < 8 \cdot 10^3$  А/м. Соединение получено методом дуговой плавки на медном водоохлаждаемом поду с вольфрамовым нерасходуемым электродом в атмосфере инертного газа. Фазовый состав сплава контролировался микроструктурным фазовым анализом. Измерения температурной зависимости магнитного момента образца проводились с помощью магнитометра на основе сквида [4]. Чувствительность установки по магнитному моменту составляла  $5 \cdot 10^{-12}$  А·м<sup>2</sup>/Гц<sup>1/2</sup>. Точность калибровки шкалы моментов равнялась  $\pm 5\%$ . Точность определения температуры составляла  $\pm 0.5$  К. Масса образца составляла  $1.25 \cdot 10^{-3}$  г.

Температурная зависимость магнитного момента сплава  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  представлена на рис. 1. На рис. 2 приведены кривые температурного гистерезиса магнитного момента при термоциклировании образца от 4.2 до 110 К. Видно, что в поле  $H=12$  А/м (рис. 1, 3) температурная зависимость магнитного момента испытывает максимум при температуре 32 К, достигая при охлаждении значения  $M=37.2 \cdot 10^{-10}$  А·м<sup>2</sup> (рис. 2, 1). Разница в магнитных моментах в данном поле при охлаждении и при нагреве сплава достигала максимального значения  $13.7 \cdot 10^{-10}$  А·м<sup>2</sup> при 32 К. Вдали от области фазового превращения магнитные моменты при охлаждении и нагреве практически совпадают и характеризуются весьма малыми абсолютными значениями. Обращает на себя внимание ферромагнитный характер поведения магнитного момента в полях  $H=92$  и 32 А/м. Вблизи температуры 32 К магнитный момент в этих полях в узком интервале температур 3–5 К возрастает практически на порядок величины и остается постоянным при низких температурах. Следует

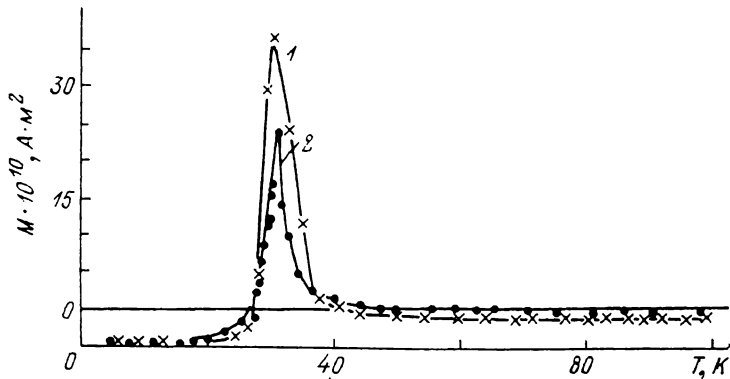


Рис. 2. Температурная зависимость магнитного момента сплава  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  в магнитном поле  $H=12$  А/м.

1 — при охлаждении от 100 до 4.2 К, 2 — при нагреве от 4.2 до 100 К.

отметить, что более резкое возрастание намагниченности в этих полях было обнаружено при нагреве образца.

Для объяснения полученных результатов обратимся к структурным, магнитным и нейтронографическим данным. В соответствии с рентгеновскими [5] и нейтронографическими данными [2] соединения  $\text{RM}_2\text{X}_2$  кристаллизуются в гранецентрированной тетрагональной структуре (пространственная группа  $D_{4h}^{17}-I4/mmm$ ), состоящей из ферромагнитных слоев, содержащих атомы Mn и редкой земли R, со следующей последовательностью слоев: R—X—M—X—R. Эти слои перпендикулярны тетрагональной оси. Легкая ось намагниченности направлена вдоль оси с. Нарасимхан [1] установил, что соединение  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  антиферромагнитно с точкой Нееля, равной 380 К. При  $T=32$  К им был обнаружен скачок намагниченности в полях  $H > 5 \cdot 10^5$  А/м. Было предположено [1], что при высоких температурах решетка Mn упорядочена антиферромагнитно, а решетка Nd магнитноразупорядочена, при  $T < 32$  К решетка Nd упорядочивается и ферромагнитно связывается с решеткой Mn. При этой температуре решетка Mn изменяет свое упорядочение и становится ферромагнитной. Однако позднее эксперименты по дифракции нейтронов [2] показали, что магнитное упорядочение подрешетки Nd при  $T > 1.8$  К отсутствует. Было также установлено, что результаты по дифракции нейтронов противоречат результатам магнитных измерений, которые показывают наличие спонтанной намагниченности при низких температурах [1–3]. Высказано предположение об антиферромагнитном упорядочении Mn ионов в нулевом магнитном поле и о разрушении этого упорядочения в очень малых внешних полях при 32 К путем метамагнитного перехода. Исследование магнитокалорического эффекта и намагничен-

ности [3] показало, что в соединении  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  при  $T > 32$  К в сильных полях  $H \geq 10^6$  А/м, превышающих пороговое поле, происходит разрушение антиферромагнитной структуры путем метамагнитного перехода с образованием ферромагнитной фазы того же типа, что и при  $T < 32$  К.

Таким образом, из полученных нами данных (рис. 1 и 2) и результатов предыдущих исследований следует, что в отсутствие магнитного поля соединение  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  является антиферромагнитным с точкой Нееля  $\Theta_N = 380$  К. В поле  $H \geq 30$  А/м при  $T < 32$  К антиферромагнитная структура разрушается и соединение  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  становится ферромагнитным (на что указывают данные рис. 1).

Отрицательная намагниченность в поле  $H = 12$  А/м, вероятно, обусловлена частичным подмагничиванием подрешетки Nd эффективными обменными полями антиферромагнитной подрешетки Mn или же наличием зародышей ферромагнитной фазы с антипараллельным направлением магнитного момента. Температурный гистерезис, сопровождающий этот переход, можно объяснить сосуществованием ферро- и антиферромагнитных фаз.

Таким образом, результаты исследования магнитного момента соединения  $\text{NdMn}_2\text{Si}_2$  в слабых магнитных полях показывают, что его магнитная фазовая диаграмма имеет гораздо более сложный характер, чем это предполагалось ранее в работах [1-3], обнаруживая в полях, меньших 30 А/м, при  $T < 32$  К дополнительную антиферромагнитную фазу.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] *Narasimhan K. S. V. L., Rao V. U. S., Wallace W. E., Pop J.* Magnetism and Magnetic Materials, 1975, 21 st, Annu. Conf., Philadelphia, Pa, 1975, N 4, 1976, p. 594—595.
- [2] *Siek S., Szytula A., Leciejewicz J.* Sol. St. Commun., 1981, vol. 39, N 7, p. 863—866.
- [3] *Никитин С. А., Попов Ю. Ф., Торчинова Р. С., Тишин А. М., Архаров И. А.* ФТТ, 1987, т. 29, № 2, с. 572—574.
- [4] *Avdeev L. Z., Snigirev O. V., Khanin V. V.* IEEE. Trans. Magn., 1985, vol. 21, N 2, p. 914—915.
- [5] *Книгенько Л. Д., Мокра И. Р., Бодак О. И.* Вестник Львовского университета, сер. хим., 1977, т. 19, N 19, с. 68—71.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова  
Москва

Поступило в Редакцию  
30 июля 1987 г.

УДК 532.783

Физика твердого тела, том 30, № 2, 1988  
■ Solid State Physics, vol. 30, № 2, 1988

## МОДУЛИРОВАННАЯ СТРУКТУРА СМЕКТИКА С ВБЛИЗИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА СМЕКТИК А—СМЕКТИК С

О. Г. Визлий, С. С. Рожков

В смектических жидких кристаллах под воздействием внешних полей и механических напряжений могут возникать различные неустойчивости относительно периодических модуляций смектических слоев. Наиболее типичными неустойчивостями являются волнообразные модуляции в смектике А с гомеотропной текстурой в магнитном поле, параллельном смектическим слоям [1], а также при растяжении образца в направлении, перпендикулярном слоям [2]. Модулированные структуры наблюдались и в менее симметричных смектических состояниях — С-фазе [3], а также в В- и Н-фазах [4]. В [3] было дано качественное описание наблюдаемой