

НЕКОЛЛИНЕАРНОЕ МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ В Y_2Fe_{17} ,
ИНДУЦИРОВАННОЕ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

А. С. Андреевко, С. А. Никитин, Ю. И. Спичкин, А. М. Тишин

В интерметаллических соединениях редкоземельных металлов (R) с Fe обменные взаимодействия можно разделить на три группы: Fe—Fe, R—Fe, R—R. Известно [1], что наибольшей интенсивностью обладают взаимодействия Fe—Fe, которые в основном и определяют температуру Кюри. Кроме того, согласно кривой Нееля—Слетера, в подрешетке Fe возможны как положительные, так и отрицательные взаимодействия, весьма чувствительные к величине межатомных расстояний. В интерметаллидах серии R_2Fe_{17} , содержащих наибольшее количество железа и имеющих наименьшие расстояния Fe—Fe, эти эффекты проявляются особенно ярко, что выражается в сильной зависимости точки Кюри (T_C) от давления, больших магнитообъемных аномалиях ниже T_C и возникновении в ряде соединений неколлинеарных магнитных структур (см., например, [2]). Таким образом, изучение свойств подрешетки железа соединений R_2Fe_{17} представляется весьма важным.

Нами была исследована температурная зависимость динамической восприимчивости соединения Y_2Fe_{17} под действием высокого гидростатического давления. Поликристаллический образец Y_2Fe_{17} был приготовлен в электродуговой печи на медном водоохлаждаемом поду в атмосфере аргона. Фазовый анализ показал, что образец имеет структуру типа Th_2Ni_{17} , а содержание второй фазы не превышает 4 %. Методика создания высокого гидростатического давления подробно изложена в [3]. Восприимчивость измерялась стандартным индукционным методом в переменном магнитном поле с амплитудой ~ 1 Э и частотой 30 Гц. Сигнал, пропорциональный действительной части восприимчивости, выделялся при помощи синхронного детектора.

Соединения R_2Fe_{17} , где R — тяжелый редкоземельный металл или Y, имеют гексагональную структуру, а их элементарная ячейка содержит 34 атома железа, занимающих четыре неэквивалентные позиции: 6g, 12j, 12k и 4f (F1—F4 соответственно) [4]. Согласно нейтронографическим данным [2], Y_2Fe_{17} является коллинеарным ферромагнетиком, в котором магнитные моменты атомов Fe лежат в базисной плоскости. Магнитные свойства Y_2Fe_{17} обнаруживают типичное для ферромагнетиков поведение [5], а температура Кюри, по данным работ [5, 6], имеет величину 302.5 и 332 К соответственно. Магнитный момент, приходящийся на атом Fe в соединении Y_2Fe_{17} , близок к магнитному моменту чистого Fe и равен $1.95 \mu_B$ [2] \div $2.01 \mu_B$ [7].

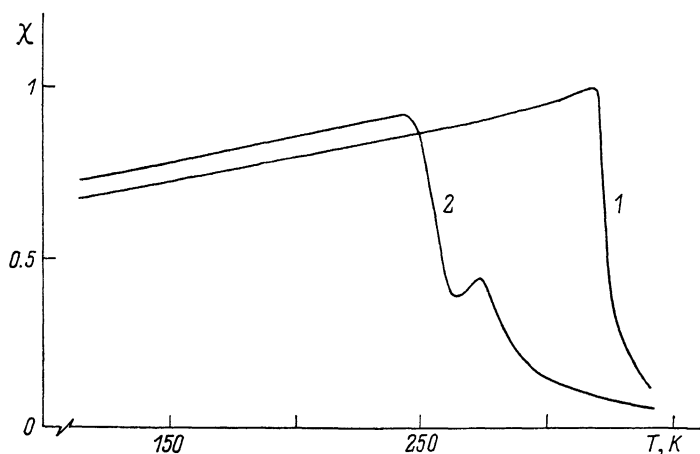
Как уже отмечалось, атомы Fe в соединениях R_2Fe_{17} занимают четыре неэквивалентные позиции с достаточно сложным окружением. Это приводит к широкому интервалу значений кратчайших расстояний между атомами Fe и вызывает появление как отрицательных, так и положительных обменных взаимодействий.

В работах [2, 8] магнитная структура Y_2Fe_{17} была объяснена на основе изложенных выше представлений. При этом предполагалось, что в Y_2Fe_{17} положительный обмен превосходит отрицательный. С другой стороны, как отмечалось выше, согласно нейтронографическим данным [2], соединение Lu_2Fe_{17} обнаруживает в определенном интервале температур геликоидальное антиферромагнитное упорядочение. Магнитный момент атома Fe в соединении Lu_2Fe_{17} эквивалентен магнитному моменту атома Fe в Y_2Fe_{17} [2]. При охлаждении ниже температуры $T_N=270$ К в Lu_2Fe_{17} устанавливается геликоидальный антиферромагнитный порядок, сохраняющийся вплоть до $Q_T=210$ К, когда происходит переход в веерную фазу. Такое поведение объясняется увеличением из-за меньших расстоя-

ний Fe—Fe интенсивности отрицательных обменных взаимодействий, которые становятся сравнимыми по величине с положительными взаимодействиями.

Проведенные нами на основании данных работы [2] оценки объема элементарной ячейки соединения $\text{Lu}_2\text{Fe}_{17}$ показали, что он отличается от объема элементарной ячейки Y_2Fe_{17} крайне незначительно ($\sim 1.9\%$). Таким образом, при воздействии высокого давления можно ожидать возникновения в Y_2Fe_{17} неколлинеарной магнитной фазы.

На рисунке приведена температурная зависимость начальной восприимчивости $\chi(T)$ соединения Y_2Fe_{17} при атмосферном давлении (кривая 1) и при давлении 10^{10} дин/см² (кривая 2). При атмосферном давлении с уменьшением температуры восприимчивость резко возрастает, что связано с установлением ферромагнитного упорядочения при температуре



Температурная зависимость начальной восприимчивости χ (в относительных единицах) соединения Y_2Fe_{17} при атмосферном давлении (1) и давлении 10^{10} дин/см² (2).

$T_c = 320$ К. При давлении 10^{10} дин/см² на кривой $\chi(T)$ появляется дополнительная аномалия, связанная, по нашему мнению, с установлением неколлинеарной магнитной фазы. При дальнейшем охлаждении происходит резкий рост восприимчивости, что может быть обусловлено переходом в ферромагнитную фазу. Вид зависимости $\chi(T)$ соединения Y_2Fe_{17} при давлении 10^{10} дин/см² аналогичен виду зависимости $\chi(T)$ монокристалла Tb при атмосферном давлении [9], в котором, как известно, ферромагнитному упорядочению предшествует установление геликоидальной антиферромагнитной фазы. Таким образом, можно предполагать, что в соединении Y_2Fe_{17} под воздействием давления возникает температурная область, соответствующая неколлинеарному магнитному упорядочению. Такое упорядочение может быть результатом увеличения интенсивности отрицательных взаимодействий в подрешетке железа из-за уменьшения межатомных расстояний.

Список литературы

- [1] Buschow K. H. J. // Phys. Stat. Sol. (a). 1971. V. 7. N 1. P. 199—210.
- [2] Givord D., Lemaire R. // IEEE Trans. Magn. 1974. V. 10. N 2. P. 109—113.
- [3] Леонтьев П. И. // Автореф. канд. дис. М., МГУ, 1988. 14 с.
- [4] Givord D., Lemaire R., Moreau J. M., Roudant E. // J. Less-Common Metals. 1972. V. 29. P. 361—365.
- [5] Strnat K., Hoffer G., Ray A. E. // IEEE Trans. Magn. 1966. V. 2. N 3. P. 489—493.
- [6] Pszczola J., Krop K. // J. Magn. Magn. Mater. 1986. V. 59. N 1—2. P. 95—104.
- [7] Prfanger R., Pluza D., Szymura S., Wyslocki B. // Physica B. 1982. V. 114. N 2. P. 212—216.

СТИМУЛИРОВАННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ

*Л. К. Бунина, Е. П. Гуенюк, А. Ю. Кудзин,
Г. Х. Соколянский, А. С. Юдин*

Электропроводность кристаллов LiNbO_3 исследована в ряде работ [1–4]. Однако данные о величине электропроводности и подвижности носителей заряда, приводимые в этих работах, неоднозначны. По результатам [1] подвижность электронов составляет $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при 500 К и в диапазоне температур 325—560 К экспоненциально растет с увеличением температуры с энергией активации 0.42 эВ. Оценка подвижности при комнатной температуре дает значение $5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. По данным [2] значение подвижности при 300 К $10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, а по данным [3] — $(1.4 \div 8.8) \times 10^{-13} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ и в диапазоне 300—500 К подвижность растет по экспоненциальному закону с энергией активации 0.63—0.7 эВ. В [4] приводятся данные о проводимости при 530 К, которая имеет величину порядка $10^{-13} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ и значительно меняется с введением примесей. В [2] при 300 К $\sigma \sim 10^{-19} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. Различные модели, используемые авторами для объяснения механизма переноса заряда.

Нами проведены исследования электропроводности кристаллов LiNbO_3 в интервале температур 300—650 К в постоянных электрических полях до 15 кВ/см. На образцах в виде плоскопараллельных пластин толщиной $d = 10^{-1} \div 10^{-2} \text{ мм}$ исследовались вольт-амперные характеристики (ВАХ) и температурные зависимости темновой проводимости σ_T . Измерения проведены с помощью электрометрического вольтметра ВК2-16. Перед измерениями образцы прогревались при закороченных электродах до $T = 700 \text{ К}$.

В области низких температур величина σ_T и характер ее температурного хода зависят от методики измерений. При плавном нагреве в постоянном поле 15 кВ/см на зависимость $\sigma_T(T)$ имеется явно выраженный максимум (пик термостимулированного тока [5]) в районе 320 К (рис. 1, кривая I), после которого при $T > 500 \text{ К}$ температурная зависимость выходит на экспоненциальный рост с энергией активации $\Delta E = 1.4 \text{ эВ}$. В то же время величина проводимости, полученная из омических участков ВАХ, измеренных при стабилизированных значениях температуры в интервале 400—500 К, представляет собой экспоненту с $\Delta E = 0.7 \text{ эВ}$ (рис. 1, кривая I'). Это позволяет оценить проводимость кристаллов LiNbO_3 при комнатной температуре $\sigma_T \sim 10^{-19} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, что согласуется с результатами [2].

В процессе выдержки образца в поле 15 кВ/см при температуре 500—600 К величина проводимости непрерывно возрастает до значения $\sim 10^{-10} \div 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. Обратный ход $\sigma(T)$ приведен на рис. 1 (кривая 2). При всех температурах наблюдается экспоненциальная зависимость σ_T с $\Delta E = 0.63 \text{ эВ}$. При этом величина σ_T при комнатной температуре на 5—6 порядков выше, чем в исходном состоянии, и сохраняется повышен-