

## Магнитное состояние никель-цинковых ферритов в области больших концентраций цинка

© Ю.Г. Чукалкин, А.Е. Теплых

Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук,  
620219 Екатеринбург, Россия

(Поступила в Редакцию 19 декабря 1997 г.)

Нейтроннографическими и магнитными методами исследованы ферриты системы  $Zn_xFe_{1-x}[Ni_{1-x}Fe_{1+x}]O_4$ . Установлено, что во всей ферримагнитной области не наблюдается каких-либо дифракционных эффектов, указывающих на упорядоченное расположение перпендикулярных проекций спинов при 4.2 К. В области концентраций  $x > 0.45$  при гелиевых температурах обнаружены высокополевая магнитная восприимчивость и интенсивное малоугловое рассеяние нейтронов, характерные для локальных угловых структур с эффективными размерами 1–10 нм. Определены температуры разрушения локальных угловых структур.

Известно, что в системе ферритов  $Zn_xFe_{1-x}[Ni_{1-x}Fe_{1+x}]O_4$  по мере замещения ионов никеля ионами цинка происходит постепенное изменение ферримагнитного упорядочения на антиферромагнитное [1]. Магнитное состояние никель-цинковых ферритов в области больших концентраций цинка ( $x > 0.4$ ), где в результате конкуренции меж- и внутрислоевого взаимодействий наблюдается отклонение от неелевского ферримагнитного упорядочения, является предметом многолетних дискуссий. Авторы работ [2,3] на основе нейтроннографических данных утверждают, что в этой области реализуется тот или иной тип дальнего упорядочения перпендикулярных проекций спинов. С другой стороны, по мнению авторов [4–6], более физически обоснованной в данной системе является концепция неупорядоченной угловой структуры. Поэтому мы провели детальное исследование никель-цинковых ферритов с помощью нейтроннографических и магнитных методов.

Поликристаллические образцы с концентрацией цинка  $x = 0, 0.15, 0.30, 0.45, 0.60, 0.68, 0.75, 0.90, 1.0$  синтезировались по обычной керамической технологии. Нейтроннографические исследования выполнялись при 4.2 К на мультidetекторном дифрактометре с длиной волны  $\lambda = 0.181$  нм. Намагниченность образцов измерялась на вибрационном магнитометре в магнитных полях до  $1.6 \cdot 10^6$  А/м. Динамическая восприимчивость  $\chi_{ac}$  на частоте 60 Гц измерялась мостом взаимной индуктивности.

Из рис. 1 видно, что при  $x = 0.45$  наблюдается небольшое отклонение от линейного роста магнитного момента  $n_B$ , предсказываемого коллинеарной теорией Нееля (штриховая линия на рис. 1). При концентрации цинка более 0.6 наблюдается резкое уменьшение  $n_B$ . Экстраполяция  $n_B$  к нулевому значению показывает, что магнитный момент обращается в нуль при  $x \sim 0.8$ . Именно этот концентрационный интервал представляет наибольший интерес. На нейтроннограммах исследованных образцов при 4.2 К мы не обнаружили каких-либо дифракционных эффектов, указывающих на упорядоченное расположение перпендикулярных проекций спинов. Вместе с тем для ферримагнитных образцов с  $x = 0.60, 0.68,$

0.75 при низких температурах отчетливо проявляется высокополевая восприимчивость, характерная для неколлинеарной магнитной структуры. Для этих же образцов при 4.2 К возникает интенсивное малоугловое рассеяние (кривая 2 на рис. 1), указывающее на появление магнитных неоднородностей  $z$ -проекции магнитных моментов. Этот факт свидетельствует в пользу локальной угловой структуры. Исходя из величин переданных квазимпульсов  $q = 4\pi \sin \Theta / \lambda$  ( $\Theta$  — угол рассеяния), при которых наблюдается малоугловое рассеяние, мы оценили, что эффективные размеры магнитных неоднородностей составляют 1–10 нм.

На основе анализа данных работ [5,6] можно ожидать, что локальные угловые структуры трансформируются в коллинеарное ферримагнитное упорядочение по мере увеличения температуры. Поскольку замороженные при низких температурах неколлинеарные спиновые конфи-

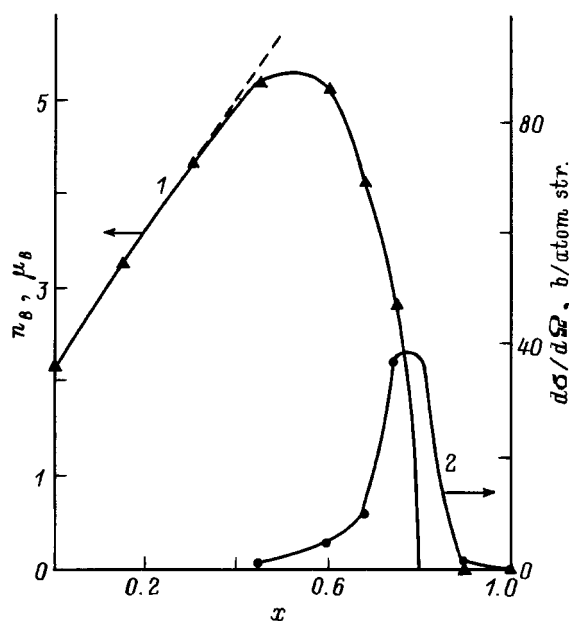
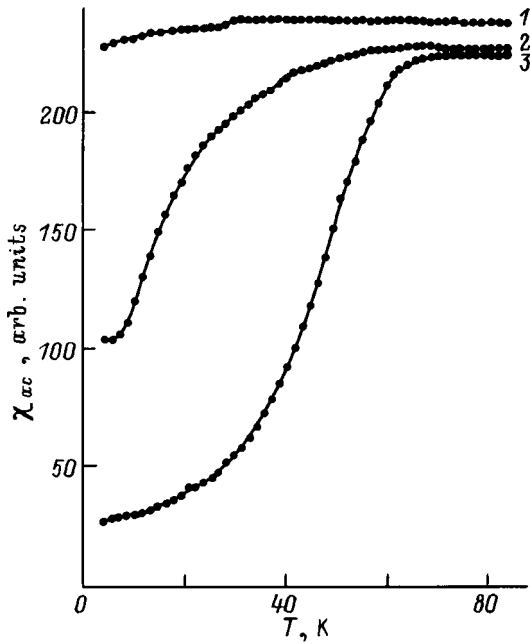


Рис. 1. Концентрационные зависимости магнитного момента (1) и сечения малоуглового рассеяния нейтронов ( $q = 0.79 \text{ nm}^{-1}$ ) при 4.2 К (2).



**Рис. 2.** Температурные зависимости динамической восприимчивости для образцов с  $x = 0.45$  (1),  $0.60$  (2),  $0.75$  (3).

гурации таких эффективных размеров будут являться препятствием для доменных стенок, для их обнаружения и изучения возможной эволюции удобно использовать измерения динамической восприимчивости. Из рис. 2 видно, что для образцов с  $x = 0.45, 0.60, 0.75$  наблюдается заметное падение  $\chi_{ac}$  в области низких температур, наиболее ярко выраженное для двух последних составов. Температуры начала падения  $\chi_{ac}$  составляют 33, 57 и 67 К для составов с  $x = 0.45, 0.60$  и  $0.75$  соответственно. Ниже этих температур мы наблюдали и необратимости статической намагниченности, характерные для взаимодействующих ферри- и антиферромагнитных фаз [7]. Совокупность этих данных позволяет полагать, что указанные температуры соответствуют разрушению локальных угловых структур.

Ферриты с содержанием цинка  $x = 0.90$  и  $1.0$  не являются ферримагнитными. Особенности антиферромагнитного упорядочения в цинковом феррите ( $x = 1.0$ ) подробно рассмотрены в предшествующей работе [8]. Согласно нашим данным, в образце с  $x = 0.90$  отсутствует какой-либо тип дальнего магнитного порядка. Нейтронографически наблюдается лишь ближний антиферромагнитный порядок.

Авторы благодарят профессора Б.Н. Гощицкого за полезные дискуссии.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГНТП "Актуальные направления в физике конденсированных сред", направление "Нейтронные исследования", в рамках проектов № 96-104 и 96/301.

## Список литературы

- [1] С. Крупичка. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов. М. (1976). Т. 1. 353 с.
- [2] N.S. Satya Murthy, M.G. Natera, S.I. Youssef, R.J. Begum, C.M. Srivastava. Phys. Rev. **181**, 2, 969 (1969).
- [3] V.G. Vologin, S.F. Dubinin, V.D. Parhomenko, S.K. Sidorov. Solid State Commun. **29**, 5, 447 (1979).
- [4] J. Piekoszewski, J. Suwalski, L. Dabrowski. Acta Phys. Pol. **A 51**, 2, 179 (1977).
- [5] S.C. Bhargava, N. Zeman. Phys. Rev. **B 21**, 1717 (1980).
- [6] С.М. Жилияков, В.В. Иволга, Е.П. Найден, Т.Н. Симонова. Изв. вузов. Физика, 7, 23 (1986).
- [7] Ю.Г. Чукалкин, В.Р. Щтирц, Б.Н. Гощицкий. ФТТ **30**, 11, 3201 (1988).
- [7] Ю.Г. Чукалкин, В.Р. Щтирц. ФТТ **30**, 10, 2919 (1988).