

АНИЗОТРОПИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛА NdMn_2O_5

Гатальская В. И., Ширяев С. В., Бычков Г. Л., Барило С. Н.,
Szymczak R.¹, Baran M.¹, Krzymańska B.¹

Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ 220072 Минск, П. Бровка, 17

¹ — Institute of Physics PAS 02-668 Warsaw, al. Lotnikow, 32/46, Poland

Бурное развитие новой области электроники — спиновой электроники (спинтроники) связано с использованием материалов, так называемых мультиферроиков, в которых одновременно существуют (анти)ферромагнитное [(AFM)FM] и (анти)ферроэлектрическое упорядочение. В спинтронике для преобразования электрического сигнала используется не только зарядовая степень свободы электрона, но также и спин, что позволяет создавать принципиально новые устройства для быстродействующей оперативной памяти в компьютерах, сенсоры, преобразователи магнитной информации в оптический сигнал и др. Магнитоэлектрический (ME) эффект до последнего времени наблюдался только при низких температурах и величина его была очень мала ($\approx 10^{-4}$). Но затем были получены материалы с гигантским ME при комнатной температуре ($\alpha \gg 10^{-2}$) [1]. Редкоземельные манганиты RMn_2O_5 ($R = \text{Nd—Lu, Y, Bi}$) являются типичными мультиферроиками и вызывают живой интерес в последнее время. Их изучению посвящен ряд работ, например, [2 и ссылки в ней]. Известно, что RMn_2O_5 принадлежат к орторомбической пространственной группе $P6am$; при комнатной температуре кристалл имеет сложную структуру из октаэдров Mn^{4+}O_6 и пирамид Mn^{3+}O_5 . Искажённые октаэдры образуют 1D-цепочки вдоль оси c , соединённые своими вершинами. Искажённые пирамиды Mn^{3+}O_5 соединяют эти цепочки в плоскости (ab) . Редкоземельный ион R^{3+} окружён восемью атомами кислорода. Результаты нейтронно-дифракционных исследований свидетельствуют о геликоидальном характере распределения моментов ионов марганца в плоскости (ab) [3].

Монокристаллы RMn_2O_5 проявляют сильную магнитную анизотропию, направление лёгкой оси намагничивания зависит от сорта R^{3+} иона [2]. Отметим, что соединение NdMn_2O_5 практически не изучено. Известна лишь работа [3], в которой проведено нейтронографическое исследование структуры соединений RMn_2O_5 , в том числе, и системы NdMn_2O_5 . Исследования структуры и магнитных свойств авторами [3] проведено на поликристаллических порошкообразных образцах.

Целью настоящего сообщения является получение монокристаллов NdMn_2O_5 и исследование анизотропии их магнитных свойств. Важно отметить, что все известные в литературе монокристаллы RMn_2O_5 были выращены методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве. Объекты нашего исследования — монокристаллы NdMn_2O_5 — впервые были получены методом электрохимического осаждения [4].

2. Методика эксперимента

На монокристаллах кубической формы с типичными размерами $1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$ проводился рентгеновский фазовый анализ, подтвердивший орторомбическую симметрию с пространственной группой $P6am$. Ориентировка монокристалла осуществлялась рентгеновским способом с точностью порядка 1° . Измерения температурных и полевых зависимостей намагниченности $M(T, H)$ монокристаллов NdMn_2O_5 (NMO) проводились с помощью СКВИД-магнитометра (Quantum design, MPMS-5) в температурном интервале 2—300 К, в магнитных полях до 5 Тл для 3-х ориентаций поля.

3. Результаты измерений NMO и их обсуждение

На рис. 1 приведены температурные зависимости восприимчивости M/N монокристалла NMO, измеренной в поле 6 кОе в режиме ZFC для 3-х направлений магнитного поля. Характер зависимостей $M_{FC}(T)$ и $M_{ZFC}(T)$, измеренных в поле 100 Ое (не показаны), практически тот же во всем интервале температур 2—300 К. При понижении температуры от 300 К для всех конфигураций H наблюдается рост восприимчивости, причём для H || a, b величина M/N резко возрастает, начиная от температур $T < 100$ К. Для H || c, которая является осью трудного намагничивания, некоторое увеличение M/N происходит, в основном, в интервале температур, меньших 50 К. Другое отличие в поведении кривых M/N заключается в том, что в области очень низких температур ($T \approx 5,5$ К) только для H || a, b наблюдается касп, связанный с AFM упорядочением спинов (рис. 1). В работе [3] в поликристаллическом порошкообразном $NdMn_2O_5$ при $T = 5$ К на кривой M/N(T) также наблюдался касп.. Авторы [3] предположительно связывали этот максимум с переходом к модулированной магнитной структуре. По нашему мнению, этот касп связан с AFM упорядочением ионов Nd^{3+} . Восприимчивость кристалла в области самых высоких температур 300—75 К (H || a,b) и 300—50 К (H || c), хорошо описывается законом Кюри-Вейсса.

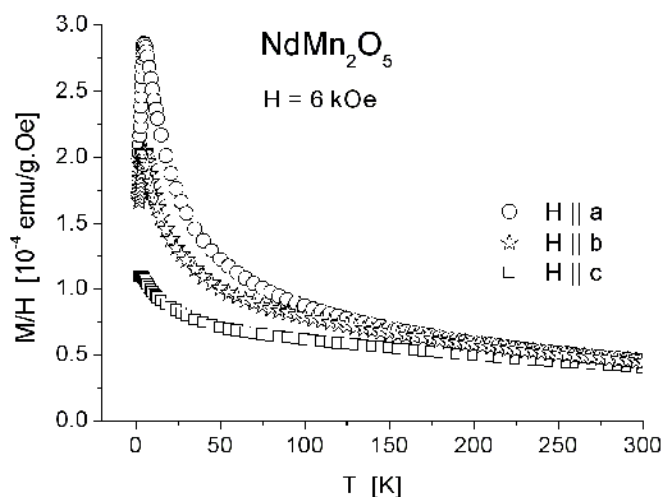


Рис. 1. Температурная зависимость восприимчивости монокристалла NMO для 3-х направлений магнитного поля. $H=6$ кОе.

Парамагнитная температура Кюри $\Theta_p = -124,7$ К, а эффективный магнитный момент $\mu_{\text{eff}} = 7,22 \mu_B/\text{f.u.}(H \parallel a)$. Подчеркнём, что для всех конфигураций магнитного поля $\Theta < 0$, что свидетельствует о AFM характере взаимодействия в этой области температур. Теоретические значения магнитных моментов ионов Nd^{3+} , Mn^{3+} и Mn^{4+} , составляющих μ_{eff} монокристалла NMO, равны $3,62 \mu_B$, $4,90 \mu_B$ и $3,87 \mu_B$ соответственно. Следовательно, $\mu_{\text{eff(m)}} = [(p_{Nd^{3+}})^2 + (p_{Mn^{3+}})^2 + (p_{Mn^{4+}})^2]^{1/2} = 7,22 \mu_B/\text{f.u.}$, что совпадает с экспериментальным значением эффективного магнитного момента кристалла NMO. Значение эффективного магнитного момента, полученное для порошкообразного NMO [3], составило $6,85 \mu_B/\text{f.u.}$, заметно отличающееся от ожидаемого (и полученного нами) $7,22 \mu_B/\text{f.u.}$

На рис. 2 приведены полевые зависимости намагниченности NMO для $T = 2$ К (H || a, b, c). В малых магнитных полях намагниченность линейно растёт с полем, но в области

21—23 kOe для $H \parallel a$, b наблюдается излом на зависимости $M(H)$, указывающий на индуцированный полем фазовый переход. Для $H \geq 30$ kOe намагниченность продолжает возрастать, тенденции к насыщению не обнаружено и спонтанный магнитный момент отсутствует. Для $H \parallel c$ зависимость $M(H)$ при 2K линейна вплоть до 50 kOe (Рис.2). Такое поведение $M(H)$ позволяет заключить, что для $H < 20$ kOe NMO в плоскости (ab) практически изотропен.

Сравнение полученных нами результатов исследования магнитных свойств монокристалла NdMn_2O_5 с другими RMn_2O_5 показывает, что NMO является анизотропным кристаллом, так же как и другие RMn_2O_5 , например, такой перспективный мультиферроик как DyMn_2O_5 [2] Ось лёгкого намагничивания в NMO является ось a , в отличие, например, от DyMn_2O_5 , у которого лёгкая ось — b , но обе системы в малых полях изотропны в плоскости (ab).

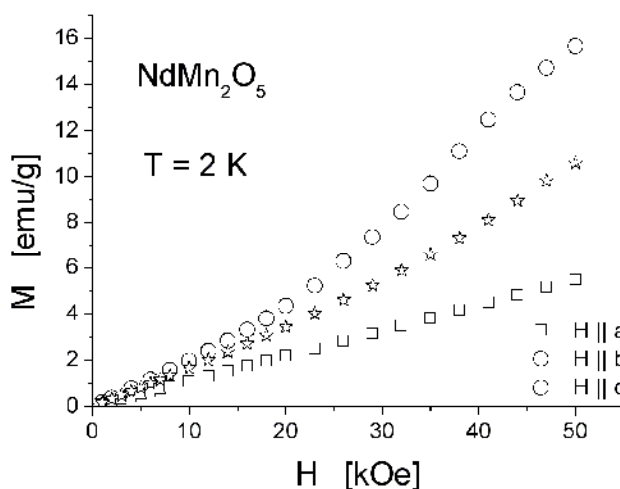


Рис. 2. Полевые зависимости намагниченности монокристалла NMO для различных направлений магнитного поля.

Заключение

Измерения анизотропии восприимчивости монокристалла NdMn_2O_5 , выращенного методом электрохимического осаждения, показали, что ось c является осью трудного намагничивания для подрешеток ионов марганца и неодима. Для $H < 20$ kOe кристалл магнитно изотропен в “лёгкой” плоскости(ab) во всём интервале температур, что важно для практического применения, Индуцированный полем переход при $H = 21—23$ K наблюдался только в плоскости(ab), но вплоть до 50 kOe признаков FM поведения не обнаружено.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ Ф04Р-163, Polish CBN grant 1 P03B 038 27, NATO-linkage grant PST CLG 979369.

Список литературы.

- [1] J. Wang, J. B. Newton, H. Zheng, V. Nagarajan, S. B. Odata, B Liu, D. Viehland, R. Ramesh. Science 299, 1719 (2003).
- [2] N. Hur, S. Park, P. A. Sharma, S. Guka, S-W. Cheong. Phys. Rev. Lett. 93, 10, 107207 (2004).
- [3] J. A. Alonso, M. T. Casais, M. J. Martinez-Lope, J. L. Martinez, and M. T. Fernandez-Diaz. J. Phys.: Cond. Matter. 9, 12, 8515 (1997).
- [4] S. V. Shiryaev, G. L. Bychkov, S. N. Barilo, D. D. Khalyavin, A. G. Soldatov, Yu. Pashkevich, L. A. Kurochkin, V. V. Fedotova, A. S. Shestak. Поверхность, 6, 17 (2002)