

УДК 538.913:537.632.5:537.622.4

ИК МАГНИТОПРОПУСКАНИЕ В ДВОЙНОМ МАНГАНИТЕ $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ УПОРЯДОЧЕНИЯ В А-ПОЗИЦИИ

© 2024 г. Е. В. Мостовщикова^{1,*}, Е. В. Стерхов², С. В. Пряничников², С. Г. Титова²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Институт физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук”, Екатеринбург, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук”, Екатеринбург, Россия

* E-mail: mostovsikova@imp.uran.ru

Поступила в редакцию 15.11.2023

После доработки 22.11.2023

Принята к публикации 28.12.2023

Изучены структурные, магнитные и оптические свойства двойных манганитов $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ в зависимости от степени упорядочения атомов Nd и Ba в А-позиции. При анализе температурных зависимостей пропускания света обнаружены изменения в зарядовой подсистеме в области структурных и магнитных фазовых переходов. В случае наличия перехода металл-изолятор наблюдается эффект магнитопротекания вблизи температуры Кюри.

DOI: 10.31857/S0367676524040172, EDN: QHAXNB

ВВЕДЕНИЕ

Двойные манганиты с общей формулой $R\text{BaMn}_2\text{O}_6$ привлекают внимание с начала 2000 гг., когда было обнаружено, что послойное упорядочение ионов редкоземельных элементов R и бария (упорядочение в А-позиции) приводит к существенному изменению свойств манганитов по сравнению с неупорядоченными $R_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{MnO}_3$ [1–3]. Упорядочение в А-позиции приводит к увеличению температур магнитных фазовых переходов, появлению структурных переходов, зарядового и орбитального упорядочения [2]. При этом в большинстве работ приводятся данные по структурным и магнитным свойствам, а особенности зарядовой подсистемы исследованы слабо, поскольку в основном изучаются порошковые образцы, для которых рассеяние носителей заряда на границах зерен может давать существенный вклад в электросопротивление, особенно при низких температурах. Кроме того, слабо изучено изменение свойств в зависимости от степени упорядочения по А-позиции. Оптические исследования в ближнем ИК диапазоне в области взаимодействия света с носителями заряда позволяют сделать выводы о характере проводимости, обнаружить переход металл-изолятор (если он есть) и установить взаимосвязь с изменениями в структурной, магнитной и орбитальной подсистемах [4].

Двойные манганиты представляют не только фундаментальный интерес в связи с богатыми

фазовыми диаграммами, но и рассматриваются с прикладной точки зрения, поскольку в них наблюдается эффект магнитосопротивления [1, 2, 5, 6], магнитокалорический эффект [7, 8], ферроэлектричество [9], а также они могут рассматриваться как электродные материалы для ТОТЭ [10]. Особый интерес вызывает обнаружение в $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ большого по величине эффекта “колоссального магнитосопротивления” в “слабых магнитных полях” ($\Delta\rho/\rho_H \sim 2300\%$, $H=7$ Тл) при комнатной температуре [5]. Для легированных неупорядоченных манганитов $R_{1-x}(\text{Ba}, \text{Ca}, \text{Sr})_x\text{MnO}_3$ было показано, что на колоссальное магнитосопротивление существует оптический отклик в виде магнитопротекания света в ближней ИК области (в области взаимодействия электромагнитного излучения с носителями заряда) [11], и это магнитопротекание может быть использовано для создания магнитооптических устройств, работающих на естественном свете [12]. При этом, поскольку магнитосопротивление в легированных манганитах обычно наблюдается вблизи температуры Кюри (как правило, ниже комнатной температуры) в довольно узком температурном интервале, существовал вопрос расширения температурного интервала или управления температурой, при которой наблюдается магнитопротекание. Для неупорядоченных в А-позиции манганитов, в частности, это достигалось переходом к наноструктурированным образцам [13] или созданием материала, содержащего несколько фаз с разными T_C . Ранее при изучении

$\text{PrBaMn}_2\text{O}_6$ нами было показано, что и в двойных манганитах наблюдается эффект магнитопротекания [14]. При этом величина и температура максимума магнитопротекания меняется при изменении степени упорядочения в А-позиции, так же как это происходит с магнитосопротивлением [2], что позволяет предположить возможность управления техническими параметрами рабочего элемента магнитооптического устройства, работающего на магнитопротекании, путем варьирования степени упорядочения. В упомянутой выше работе [5] эффект магнитосопротивления скорее был связан с “плавлением” зарядового/орбитального упорядочения под действием магнитного поля (метаманнитный переход). В связи с этим возникает вопрос, возможно ли существование эффекта магнитопротекания в двойном манганите $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ и как он меняется в зависимости от степени упорядочения в А-позиции. В настоящее время в литературе имеется единственная работа [15], в которой рассматривается $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ с разной степенью упорядочения, и показано изменение структурных, магнитных свойств и магнитосопротивления.

Целью настоящей работы являлось изучение образцов манганита $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ с разной степенью упорядочения в А-позиции: исследование структурных и магнитных свойств для установления температур фазовых переходов и исследование оптических свойств в ближнем ИК диапазоне для определения особенностей зарядовой подсистемы и поиск эффекта магнитопротекания и изучение его эволюции в зависимости от упорядочения.

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходный упорядоченный манганит $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ представлял собой порошок с размером кристаллитов ~ 1 мкм, полученный методом топотактической реакции, подробно описанной в [16]. Варьирование упорядочения в А-позиции производилось путем отжига исходных упорядоченных манганитов в атмосфере кислорода. В работе [2] показано, что отжиг исходного упорядоченного $\text{PrBaMn}_2\text{O}_6$ при 1250°C в течение 24 ч приводит к уменьшению степени упорядочения до 85–90%, в течение 48 ч – к 70–75%, а отжиг при 1350°C в течение 24 ч – к 35–40%. Режимы отжигов для манганита с Nd были выбраны такими же, как и для манганита с Pr: исходный упорядоченный $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ был отожжен при температурах 1250 и 1350°C в течение 24 ч. При этом не происходило изменения содержания кислорода в манганитах, что контролировалось путем измерения веса образцов до и после отжигов. Далее по тексту образец упорядоченного $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ будем именовать как Nd-o (o = ordered – упорядоченный), образец после отжига при 1250°C как Nd-m (m = middle – промежуточное упорядочение), после отжига при

1350°C как Nd-l (l = low – низкая степень упорядочения).

Эксперименты по рентгеновской дифракции выполнены на аппарате Shimadzu XRD7000, Cu-K α -излучение, графитовый монохроматор, шаг 0.02° . Порошок кремния использовался в качестве внешнего стандарта. Съемки при комнатной температуре выполнены с выдержкой в точке ~ 7 с. Эксперименты с варьированием температуры выполнены с использованием температурной камеры Anton Paar TTK-450, выдержка в точке ~ 1 с. Фазовый анализ выполнен с использованием кристаллографической базы данных PDF-2. Полнопрофильный анализ выполнен с помощью программного комплекса GSAS [17].

Магнитные свойства исследованы с использованием магнитометра Cryogenic CFS9T CVTI центра коллективного пользования ИМЕТ УрО РАН, а также магнитометра MPMS-XL-5 центра коллективного пользования ИФМ УрО РАН. Температурные зависимости намагниченности измерены в поле 100 Э в стандартном режиме охлаждения без магнитного поля с последующим нагревом в магнитном поле (ZFC режим), а также в режиме охлаждения в магнитном поле 100 Э (FC режим).

Для анализа изменений в зарядовой подсистеме в ближнем ИК диапазоне измерены температурные зависимости пропускания света. Измерения проводились в диапазоне 0.09–0.54 эВ в температурном интервале 90–350 К с использованием автоматизированной криомагнитной установки на основе призмленного ИК спектрометра. Установка включает источник некогерентного ИК излучения ЛК4–12 с температурой 1100°C , заливной оптический криостат с окнами из KRS-5, помещенный в электромагнит, монохроматор с диспергирующими элементами в виде призм из NaCl и стекла (Ф1) и приемник излучения – висмутовый болометр с чувствительностью 10^{-11} Вт. Разрешающая способность установки составляет 0.01 эВ, минимальный регистрируемый сигнал пропускания света – 10^{-4} . Температурные зависимости пропускания света исследуемых манганитов измерялись в режиме нагрева с предварительным охлаждением без магнитного поля; скорость изменения температуры составляла ~ 1 К/мин. Пропускание света также измерялось при приложении внешнего магнитного поля 8 кЭ.

Для проведения оптических исследований из порошков изучаемых манганитов и CsI, используемого в качестве прозрачной в ИК области матрицы, были приготовлены оптические композиции. Порошки манганита и CsI массой 3 мг и 300 мг тщательно перетирались в агатовой ступке, затем прессовались под давлением 0.5 МПа. В результате получались полупрозрачные таблетки диаметром ~ 10 мм и толщиной ~ 1 мм. Оптическое

пропускание манганита рассчитывалось как $t=I/I_0$, где I и I_0 — интенсивности света, прошедшего через композит манганит/CsI и таблетку CsI без манганита, приготовленную по той же технологии. Для большей наглядности обсуждаемые в настоящей работе температурные зависимости пропускания света, измеренные при разных энергиях, нормированы на значение пропускания при $T=350$ К.

Магнитопротекание рассчитывалось по формуле $MT(T)=(t_H(T)-t_0(T))/t_0(T)$, где t_H — пропускание света при приложении внешнего магнитного поля, t_0 — пропускание света без магнитного поля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 показаны дифрактограммы исследуемых манганитов, а также на вставке показана часть дифрактограммы в малоугловой части для исходного образца Nd-o, в которой наблюдается сверхструктурный пик при $\sim 11.5^\circ$, подтверждающий упорядочение в А-позиции. После отжига в дифрактограммах появляются пики, связанные с BaMnO_3 , примерная доля этой фазы составляет до 5% для Nd-m и до 8% для Nd-l.

По данным рентгеноструктурного анализа все исследуемые манганиты характеризуются тетрагональной структурой $P4/mmm$ при комнатной температуре. Параметры решетки незначительно меняются с увеличением степени разупорядочения по А-позиции: $a=3.8976(1)$ Å, $c=7.7282(2)$ Å для Nd-o, $a=3.8862(1)$ Å, $c=7.7258(2)$ Å для Nd-m и $a=3.8920(1)$ Å, $c=7.7777(2)$ Å для Nd-l.

Измерения дифрактограмм в интервале температур 80–370 К позволяют обнаружить структурные фазовые переходы (рис. 2). Для упорядоченного манганита Nd-o структурный переход происходит при 270–300 К, при этом тетрагональная структура с пространственной группой $P4/mmm$ сохраняется, но меняется соотношение параметров a и c . После разупорядочивающих отжига происходят следующие изменения. В образце Nd-m появляется вторая фаза с тетрагональной структурой, сосуществующая с фазой, которая была при комнатной температуре. При этом параметры высокотемпературной фазы меняются незначительно. В образце Nd-l структурный фазовый переход не обнаружен, происходит лишь незначительное уменьшение параметров решетки при охлаждении.

На рис. 3а представлены температурные зависимости намагниченности образцов $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ до и после различных отжига. Магнитные свойства упорядоченного манганита $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ детально исследованы в работах [2, 18, 19] и др. На зависимости $M(T)$ образца Nd-o наблюдается узкий пик с максимумом при ~ 280 К, который в ряде работ связывается с близко расположенными по температуре фазовыми переходами из парамагнитного

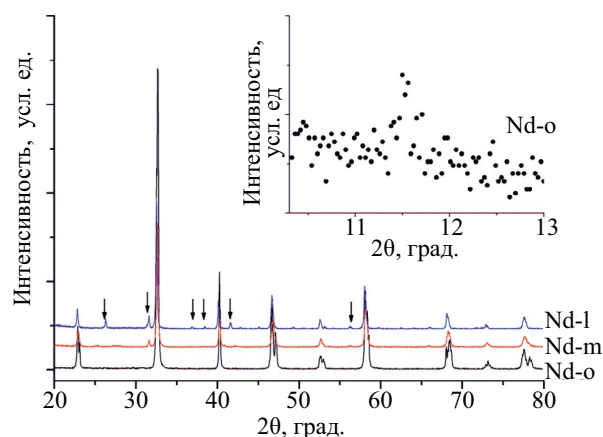


Рис. 1. Дифрактограммы манганитов $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ при комнатной температуре. Стрелками показаны пики BaMnO_3 . На вставке — малоугловая часть дифрактограммы для Nd-o.

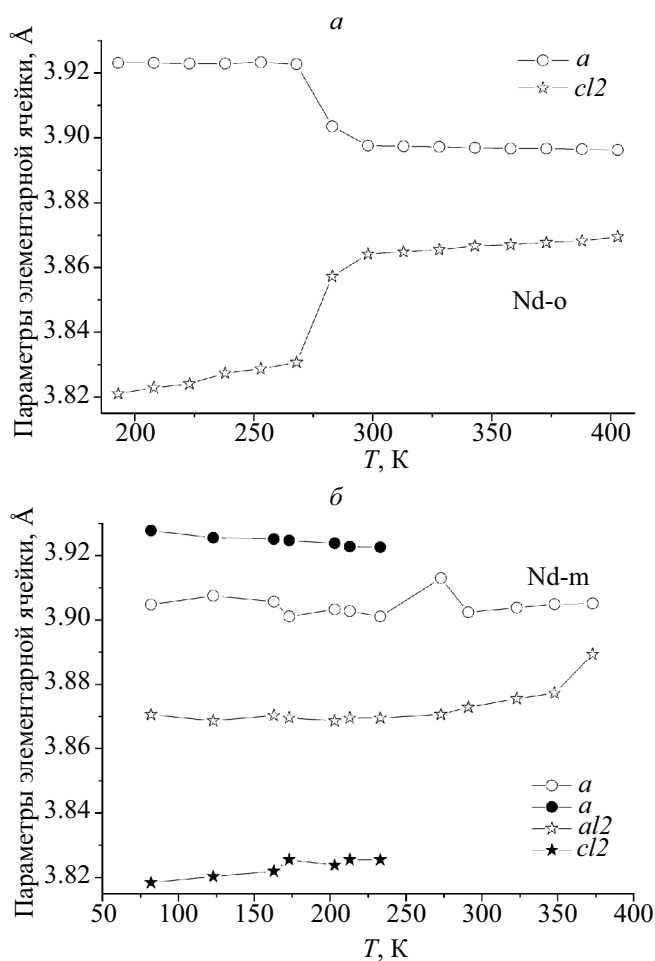


Рис. 2. Температурные зависимости параметров решетки манганита Nd-o (а), Nd-m (б). Светлые символы соответствуют высокотемпературной фазе, темные — низкотемпературной.

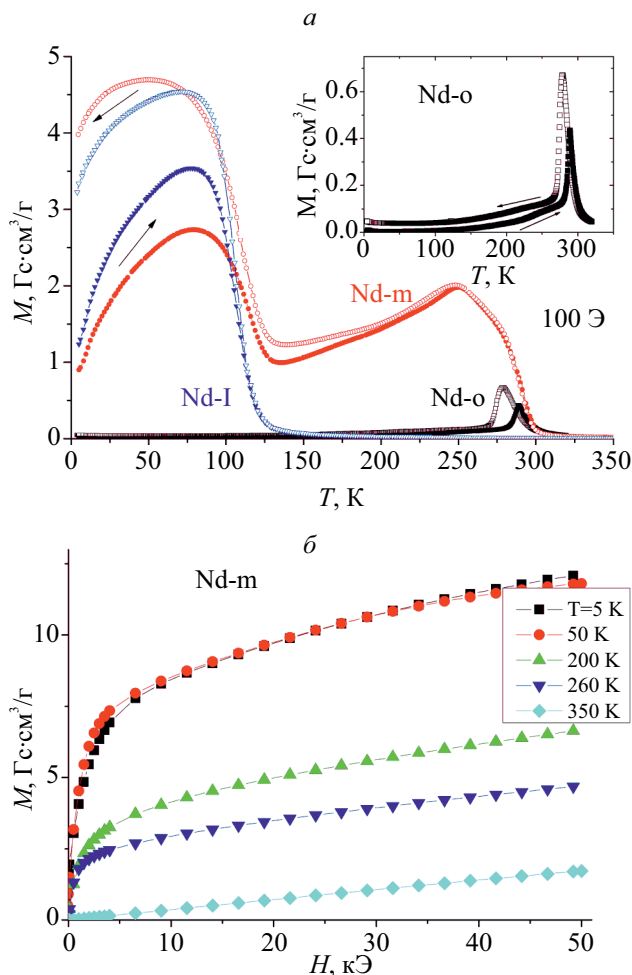


Рис. 3. Температурные зависимости намагниченности манганитов $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ в поле 100 Э (а). Светлые символы соответствуют режиму FC, темные — ZFC. На вставке высокотемпературный пик для Nd-o в увеличенном масштабе. Полевые зависимости намагниченности Nd-m при различных температурах (б).

состояния с развивающимися ферромагнитными взаимодействиями в антиферромагнитное и переходом металл-диэлектрик [2, 18, 19, 20]. С разупорядочением в А-позиции происходит следующее изменение магнитного состояния. Для образца Nd-m высокотемпературный пик становится более широким, и величина намагниченности в максимуме увеличивается. На кривой $M(T)$ наблюдается два широких максимума при 250 и 70 К, которые могут быть связаны с сосуществованием двух фаз, которые были обнаружены при структурных исследованиях (рис. 2б). Каждая из этих фаз характеризуется переходом из парамагнитного в ферромагнитное состояние, а затем в антиферромагнитное; фаза с более низкими температурами магнитных переходов соответствует меньшей степени

упорядочения по А-позиции, как это имеет место в манганитах $\text{PrBaMn}_2\text{O}_6$ [2]. Это предположение согласуется с тем, что значения T_C , определенные по минимуму на кривой dM/dT , для низкотемпературной фазы в Nd-m и Nd-I близки (115 К для Nd-m и 105 К для Nd-I), а начало роста намагниченности в Nd-m ($T_C = 289$ К) в области высоких температур близко к Nd-o. Для сильно разупорядоченного образца Nd-I высокотемпературный максимум на зависимости $M(T)$ исчезает, остается лишь намагниченность при температурах ниже 100 К.

Обращает на себя внимание тот факт, что в интервале температур $T < T_C$ кривые $M(T)$ в режимах FC и ZFC расходятся. Наиболее заметно это расхождение проявляется при низких температурах и уменьшается с уменьшением степени упорядочения в А-позиции. Для выяснения характера магнитного состояния в области максимумов при 70 К и 250 К для образца Nd-m были измерены кривые намагничивания при различных температурах (рис. 3б). Видно, что при 350 К образец находится в парамагнитном состоянии. При понижении температуры ниже 300 К появляется резкий рост намагниченности с увеличением магнитного поля до $H \approx 2$ кЭ, затем намагниченность растет медленнее и практически линейно и не выходит на насыщение вплоть до $H = 50$ кЭ. Такой характер $M(H)$ указывает на суперпозицию ферромагнитного и антиферромагнитного вклада, причем ферромагнитный вклад усиливается при понижении температуры. Менее резкий рост намагниченности в области слабого магнитного поля ($H < 2$ кЭ) при $T = 5$ К согласуется с температурной зависимостью $M(T)$, измеренной при $H = 100$ Э (рис. 3а). Полученные нами результаты об изменении магнитного состояния $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ при уменьшении упорядочения в А-позиции согласуются с данными работы [15]. В этой работе показано, что разупорядочение до 60% приводит к сдвигу температуры Кюри в область низких температур до ~ 270 К и появлению низкотемпературного ферромагнитного вклада ниже 40 К, а уменьшение упорядочения до 28% снижает T_C до 76 К. В то же время, в работах [2, 6, 19] для полностью разупорядоченного $\text{Nd}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{MnO}_3$ указываются более высокие температуры магнитного фазового перехода. Сравнивая магнитные данные для образцов $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$, можно сделать вывод, что в случае слабого разупорядочения в А-позиции (образец Nd-m) мы имеем дело с двухфазным состоянием, при котором сосуществует высокоупорядоченная фаза с высокой T_C и слабо упорядоченная с низкой T_C .

Для анализа изменений, происходящих в зарядовой подсистеме исследованных манганитов, были измерены температурные зависимости пропускания света $t(T)$ в спектральном интервале между краем фундаментального поглощения и началом фоновых полос. В этой области спектра

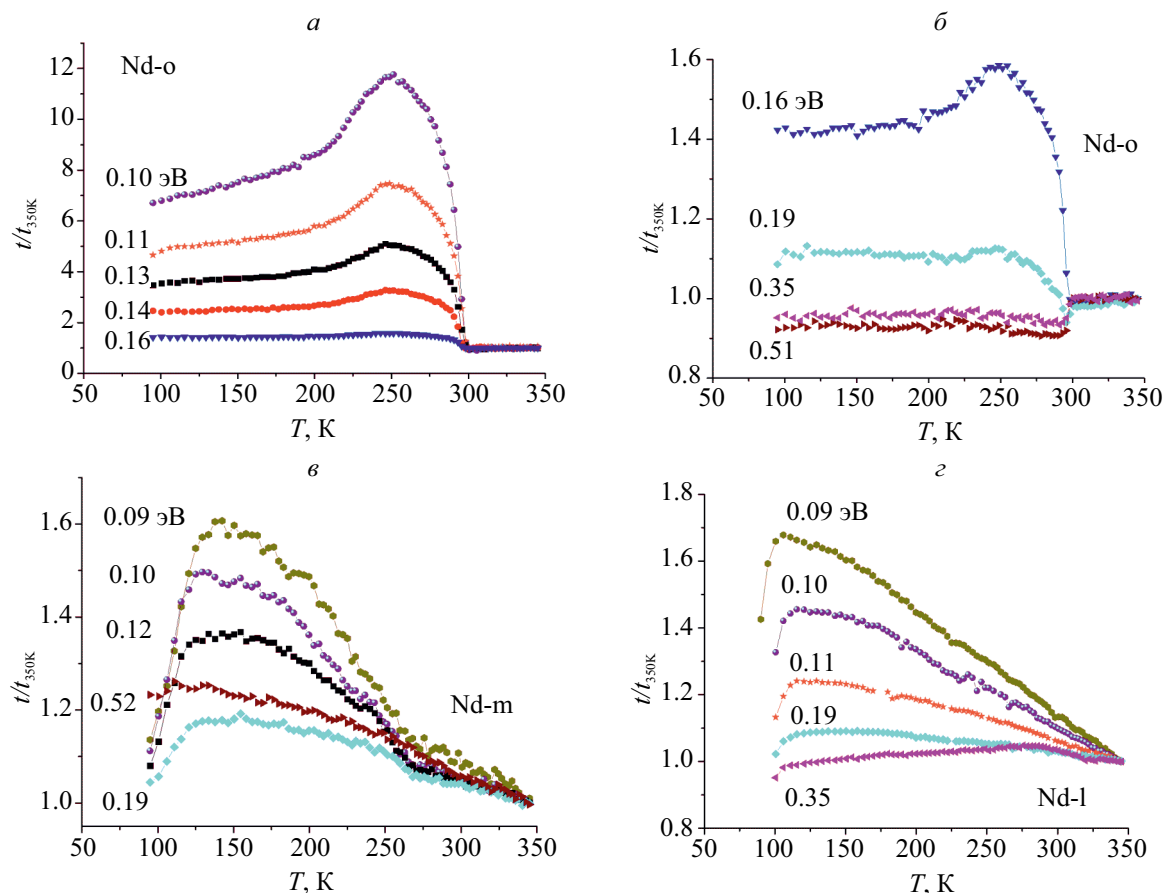


Рис. 4. Температурные зависимости пропускания света, нормированные на пропускание при 350 К, для Nd-o (а, б), Nd-m (в) и Nd-l (г), измеренные при различных энергиях.

преимущественно происходит взаимодействие света с носителями заряда. Ранее в работах [4, 19, 20] мы показали, что из характера температурной зависимости пропускания света можно сделать вывод об особенностях проводимости в материале, наличии перехода “металл-изолятор” и их взаимосвязи с фазовыми переходами в структурной, орбитальной и магнитной подсистемах. Как показано в работах [18, 21], самая низкоэнергетическая полоса фундаментального поглощения, связанная с d-d переходами, в $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ находится при энергии ~ 0.88 эВ, а фоновые полосы в манганитах начинаются вблизи 700 см^{-1} [21]. Следовательно, из измерений $t(T)$ в интервале энергий 0.09–0.6 эВ можно получить информацию об особенностях проводимости и ее изменении от степени упорядочения в А-позиции для рассматриваемых двойных манганитов.

На рис. 4 представлены зависимости $t(T)$ (нормированные на значение пропускания света при 350 К) для $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ с разной степенью упорядочения в А-позиции. Видно, что кривые $t(T)$ имеют немонотонный характер. Важно отметить, что

наиболее сильные изменения в зависимостях $t(T)$ наблюдаются в области низких энергий вблизи начала фонованного поглощения, что позволяет предположить связь наблюдаемых особенностей пропускания света с изменениями в системе носителей заряда.

Для исходного Nd-o при $T=300$ К происходит резкое изменение пропускания (более чем в 10 раз в узком температурном интервале) и переход металл-изолятор при 250 К, т.е. вблизи температуры появления антиферромагнитного состояния А-типа, при котором формируется дальний ферромагнитный порядок в плоскостях, что объясняет металлический ход $t(T)$ (положительный знак dt/dT) при $T < 250$ К. Как видно из рис. 4б, в области вблизи края поглощения (0.35 эВ и 0.5 эВ) переход металл-изолятор не наблюдается при 250 К, однако особенность при 300 К сохраняется, что свидетельствует об отсутствии в этой энергетической области вклада от взаимодействия света с носителями заряда, и позволяет предположить, что особенность при 300 К связана с перестройкой зонной структуры вследствие структурного перехода.

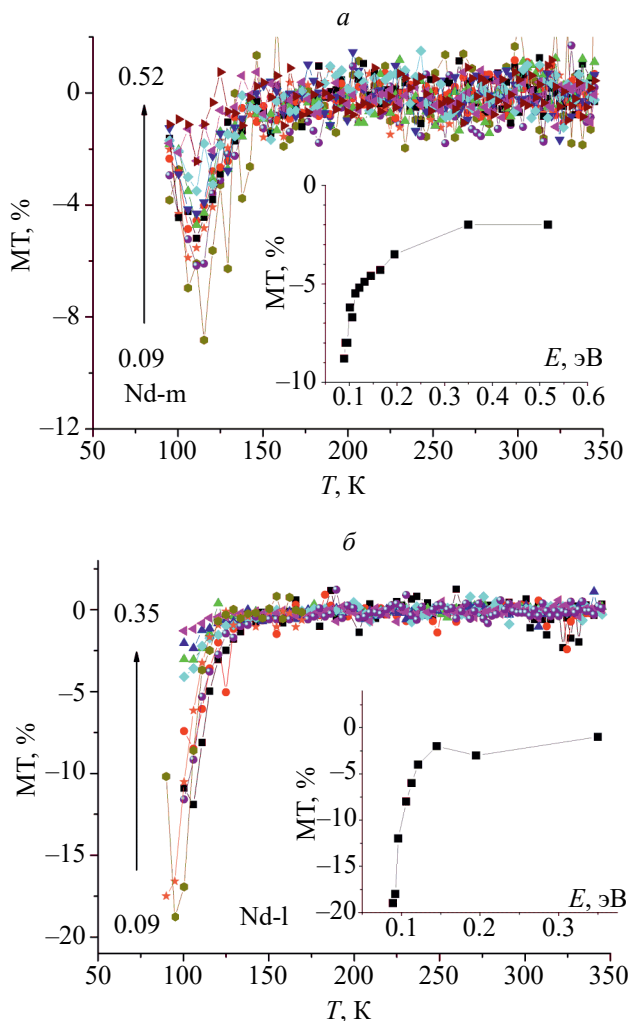


Рис. 5. Температурные зависимости магнитопротекания света образцов манганита Nd-m (а), Nd-l (б) в магнитном поле 8 кЭ, измеренные при различных энергиях. На вставке зависимость магнитопротекания от энергии электромагнитного излучения.

В образце Nd-m, который по магнитным данным характеризуется появлением заметного ферромагнитного вклада (большого, чем в исходном Nd-o), происходят следующие изменения в температурных зависимостях пропускания света. Резкое изменение $t(T)$ в области начала роста намагниченности отсутствует, наблюдается лишь изгиб при температуре $T=270$ К, вблизи которой происходит структурный переход (рис. 2б), и полупроводниковый характер пропускания света ($dt/dT < 0$) вплоть до $T=140$ К. Отсутствие “металлического” характера пропускания света в области 250–300 К, где наблюдается заметная намагниченность для Nd-m, вероятно, связано с тем, что каналы проводимости в виде зигзага, формирующиеся при орбитальном упорядочении x^2-y^2 , разрушаются при создании

беспорядка. Авторы работы [22] отмечают, что хотя в орбитально упорядоченном $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ для А-АФМ состояния характерна металлическая проводимость в ab плоскости вдоль x^2-y^2 упорядоченных орбиталей, в двойниковом монокристалле обнаружить металлический характер проводимости не удастся. Таким образом, формирование орбитального упорядочения в двойных манганитах, в частности в $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$, оказывается фактором, который делает металлическую проводимость слабо устойчивой относительно структурного разупорядочения. Ниже 140 К в образце Nd-m наблюдается “металлический” ход $t(T)$, который связан с фазой с ферромагнитным порядком. Для сильно разупорядоченного в А-позиции образца Nd-l характер $t(T)$ в целом такой же, как для Nd-m, изменяется только температура перехода металл-изолятор до 115 К.

На рис. 5 показаны температурные зависимости магнитопротекания образцов Nd-m и Nd-l, измеренные при различных энергиях. В упорядоченном манганите Nd-o эффект магнитопротекания отсутствует. Однако в случае частичного разупорядочения наблюдается магнитопротекание величиной до 7% и 18% при $T \sim 110$ и ~ 100 К в образцах Nd-m и Nd-l, соответственно. При этом магнитопротекание имеет наибольшее значение вблизи области фононного поглощения, где наблюдались наибольшие изменения пропускания света (рис. 4), и уменьшается с ростом энергии.

Ранее для дырочно-легированных манганитов на основе LaMnO_3 было показано, что магнитопротекание обычно существует вблизи перехода металл-изолятор, который наблюдается при переходе из парамагнитного состояния в ферромагнитное, и имеет наибольшее значение при $T \approx T_C$ [23]. Эффект магнитопротекания, как и магнитосопротивления вблизи температуры Кюри, обычно объясняется уменьшением магнитных флуктуаций вблизи T_C при приложении магнитного поля и, как следствие, уменьшением локализации носителей заряда [24] и/или изменением соотношения металлической и полупроводниковой фаз [23]. В обоих случаях результатом будет увеличение концентрации делокализованных носителей заряда, что приводит к увеличению поглощения света и, следовательно, уменьшению прозрачности образца (уменьшению пропускания света). Аналогичная ситуация, как мы видим, имеет место и в двойных манганитах: эффект магнитопротекания наблюдается вблизи T_C при переходе металл-изолятор. Отсутствие магнитопротекания в манганите Nd-m в области 290 К связано с отсутствием перехода металл-изолятор в результате разрушения каналов для металлической проводимости при разупорядочении.

То, что магнитопротекание связано с изменением в системе носителей заряда, т.е. с увели-

чением концентрации делокализованных носителей заряда, а не с перестройкой зонной структуры, подтверждается зависимостью величины магнитопротекания от энергии. В области вблизи края поглощения магнитопротекание отсутствует или очень слабое, а при уменьшении энергии увеличивается.

Отсутствие эффекта магнитопротекания в упорядоченном Nd-о указывает на то, что заявленное в работе [5] “колоссальное магнитосопротивление” в монокристалле $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ более вероятно связано с “плавлением” зарядового/орбитального упорядочения под действием высокого магнитного поля (метамагнитный переход), а не с подавлением магнитных флуктуаций магнитным полем. Магнитосопротивление такого типа наблюдалось, например, в манганитах на основе CaMnO_3 [25]. Это также согласуется с “обратным” переходом металл-изолятор на кривых $\rho(T)$, при котором высокотемпературному состоянию соответствует более проводящее состояние, а ниже температуры перехода — полупроводниковое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотрена эволюция структурных, магнитных и оптических свойств двойных манганитов $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ в зависимости от степени упорядочения в А-позиции. Рентгеноструктурные данные свидетельствуют о структурном переходе в упорядоченном (Nd-о) и слабо разупорядоченном (Nd-m) образцах. При этом в случае слабого разупорядочения в А-позиции (Nd-m) структурный переход происходит не во всем объеме образца, а возникает сосуществование двух фаз с разными параметрами решетки, которое наблюдается вплоть до 100 К. Магнитные данные также свидетельствуют о сосуществовании в образце Nd-m высоко упорядоченной и низко упорядоченной фазы. В случае сильного разупорядочения (образец Nd-l) структурный переход не обнаружен, а магнитные данные указывают на однофазность образца.

Обнаружено, что эффект магнитопротекания в двойных манганитах $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ наблюдается только при частичном упорядочении в А-позиции в случае существования перехода металл-изолятор вблизи T_C , на который можно повлиять небольшим (менее 1 Тл) внешним магнитным полем, уменьшая флуктуации магнитных моментов и изменяя соотношение “металлической” и полупроводниковой фаз и, как следствие, увеличивая концентрацию делокализованных носителей заряда. При этом наибольшее значение магнитопротекания наблюдается в манганите с наибольшим разупорядочением, но температура существования эффекта ниже. Таким образом, варьируя степень упорядочения в А-позиции $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ можно управлять величиной или температурой эффекта магнитопротекания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-22-00507).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Trukhanov S.V., Troyanchuk I.O., Hervieu M. et al.* // Phys. Rev. B. 2002. V. 66. P. 184424.
2. *Nakajima T., Yoshizawa H., Ueda Y.* // J. Phys. Soc. Japan. 2004. V. 73. P. 2283.
3. *Subías G., Blasco J., Cuartero V. et al.* // Phys. Rev. B. 2023. V. 107. Art. No. 165133.
4. *Gan'shina E., Loshkareva N., Sukhorukov Yu. et al.* // JMMM. 2006. V. 300. P. 62.
5. *Yamada S., Abe N., Sagayama H. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2019. V. 123. P. 126602.
6. *Троянчук И.О., Труханов С.В., Шимчак Г.* // Кристаллография. 2002. Т. 4. С. 716; *Troyanchuk I.O., Trukhanov S.V., Szymczak G.* // Crystallography Rep. 2002. V. 47. P. 658.
7. *Aliev A.M., Gamzatov A.G., Kalitka V.S., Kaul A.R.* // Solid State Commun. 2011. V. 151. P. 1820.
8. *Zhang Q., Guillou F., Wahl A. et al.* // Appl. Phys. Lett. 2010. V. 96. P. 242506.
9. *Sagayama H., Toyoda S., Sugimoto K. et al.* // Phys. Rev. B. 2014. V. 90. Art. No. 241113(R).
10. *Afroz S., Karim A.H., Cheok Q. et al.* // Front. Energy. 2019. V. 13. P. 770.
11. *Юрасов А.Н., Борискина Ю.В., Ганьшина Е.А. и др.* // ФТТ. 2007. Т. 49. С. 1066; *Yurasov A.N., Boriskina Yu.V., Gan'shina E.A. et al.* // Phys. Solid State. 2007. V. 49. P. 1121.
12. *Сухоруков Ю.П., Лошкарёва Н.Н., Телегин А.В. и др.* // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. С. 55; *Sukhorukov Yu.P., Loshkareva N.N., Telegin A.V. et al.* // Tech. Phys. Lett. 2003. V. 29. 2003. P. 904.
13. *Mostovshchikova E.V., Loshkareva N.N., Telegin A.V. et al.* // J. Appl. Phys. 2013. V.113. Art. No. 043503.
14. *Mostovshchikova E.V., Sterkhov E.V., Naumov S.V. et al.* // JMMM. 2021. V. 538. Art. No. 168247.
15. *Khatuna A., Aicha P., Schoedel A. et al.* // JMMM. 2023. V. 568. Art. No. 170367.
16. *Titova S.G., Sterkhov E.V., Uporov S.A.* // J. Supercond. Novel Magn. 2020. V. 33. Art. No. 1899.
17. *Larson A.C., Von Dreele R.B.* GSAS — General Structure Analysis System LANSCE MS-H805. NM 87545. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, 1986.
18. *Akahoshi D., Okimoto Y., Kubota M. et al.* // Phys. Rev. B. 2004. V. 70. Art. No. 064418.
19. *Мостовщикова Е.В., Стерхов Е.В., Пыжьянов Я.Я., Тумова С.Г.* // ЖЭТФ. 2023. Т. 163. С. 58; *Mostovshchikova E.V., Sterkhov E.V., Pyzhyanov Ya. Ya., Titova S.G.* // J. Exp. Theor. Phys. 2023. V. 136. P. 46.

20. Sterkhov E.V., Chitchelechev N.M., Mostovshchikova E.V. et al. // J. Alloys. Compounds. 2021. V. 892. Art. No. 162034.
21. Mero R.D., Ogawa K., Yamada S. et al. // Sci. Reports. 2019. V. 9. Art. No. 18164.
22. Yamada S., Sagayama H., Higuchi K. et al. // Phys. Rev. B. 2017. V. 95. Art. No. 035101.
23. Сухоруков Ю.П., Лошкарева Н.Н., Ганьшина Е.А. и др. // ФТТ. 2004. Т. 46. С. 1203; Sukhorukov Yu.P., Loshkareva N.N., Gan'shina E.A. et al. // Phys. Solid State. 2004. V. 46. P. 1241.
24. Loshkareva N.N., Mostovshchikova E.V., Korolyov A.V. et al. // JMMM. 2013. V. 341. P. 49.
25. Loshkareva N.N., Gorbunov D.I., Andreev A.V. et al. // J. Alloys Compounds. 2013. V. 553. P. 199.

IR magnetotransmission in double $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ manganite with different degrees of ordering in A-position

E. V. Mostovshchikova^{a, *}, E. V. Sterkhov^b, S. V. Pryanichnikov^b, S. G. Titova^b

¹*Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 620108 Russia*

²*Institute of Metallurgy of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 620016 Russia*

*e-mail: mostovsikova@imp.uran.ru

The structural, magnetic, and optical properties of double manganites $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ have been studied depending on the degree of ordering of Nd and Ba atoms in the A-position. Analysis of temperature dependences of light transmission shows the changes of charge carrier subsystem in vicinity of structural and magnetic phase transitions. When the metal-insulator transition occurs the effect of light magnetotransmission near Curie temperature was found.