

**СПЕКТР МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ДВУХФАЗНОГО
СОСТОЯНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ МАНГАНИТА ЛАНТАНА**Г.А.Петраковский ¹⁾, Н.В.Волков, В.Н.Васильев, К.А.СаблинаИнститут физики им. Л.В.Киренского Сибирского отделения РАН
660036 Красноярск, Россия

Поступила в редакцию 10 января 2000 г.

В спектре магнитного резонанса монокристалла $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$ ниже T_c в широком температурном диапазоне наблюдаются две линии поглощения, которые соответствуют двум магнитным фазам в образце. Частотно-полевые зависимости спектров, полученные в диапазоне частот микроволнового излучения $10 \div 77$ ГГц, позволяют идентифицировать их как ферромагнитную и парамагнитную фазы. Соотношение между объемами фаз зависит от температуры и величины внешнего магнитного поля. Особенности в температурном поведении параметров линий магнитного поглощения наблюдаются в области максимального магнитосопротивления образца. Результаты трактуются в рамках механизма электронного фазового расслоения.

PACS: 72.20.Mu, 76.50.+g

Одним из широко обсуждаемых в настоящее время механизмов эффектов колоссального магнитосопротивления в ферромагнитных манганитах со структурой перовскита является механизм электронного фазового расслоения [1]. Непосредственное доказательство сосуществования в объеме материала ферромагнитной металлической фазы и фазы с локализованными носителями заряда было получено в экспериментах по исследованию ЯМР [2], оптических свойств [3], электронной дифракции [4], нейтронному рассеянию [5]. Очевидно, что такое смешанное двухфазное состояние должно проявляться при исследовании методом магнитного резонанса, который весьма чувствителен к магнитной неоднородности материалов. Более того, поскольку при электронном расслоении двухфазное состояние управляется внешним магнитным полем, спектры магнитного резонанса, снятые на разных частотах микроволнового излучения, могут существенно различаться. Предыдущие немногочисленные исследования магнитного резонанса в материалах манганитов лантана неоднозначны и в такой постановке задачи не проводились. В то же время результаты практически всех работ свидетельствуют о магнитной неоднородности исследуемых материалов, хотя в кристаллографическом отношении они являлись однородными [6, 7].

В настоящей работе мы предлагаем результаты исследования спектров магнитного резонанса монокристаллов, обладающих эффектом колоссального магнитосопротивления, – $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$. Измерения проводились на спектрометрах: 1) с рабочей частотой $\nu = 10$ ГГц и постоянным магнитным полем; 2) с перестраиваемой в диапазоне $\nu = 37 \div 77$ ГГц частотой и импульсным магнитным полем. Монокристаллы $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$ выращивались методом спонтанной кристаллизации из раствора-расплава [8]. Исследуемые образцы имели форму тонких пластинок ($4 \times 2 \times 0.1$ мм), плоскость которых совпадала с одной из главных плоскостей кристалла. Магнитное поле прикладывалось вдоль плоскости образца.

¹⁾ e-mail: gap@cc.krascience.rssi.ru

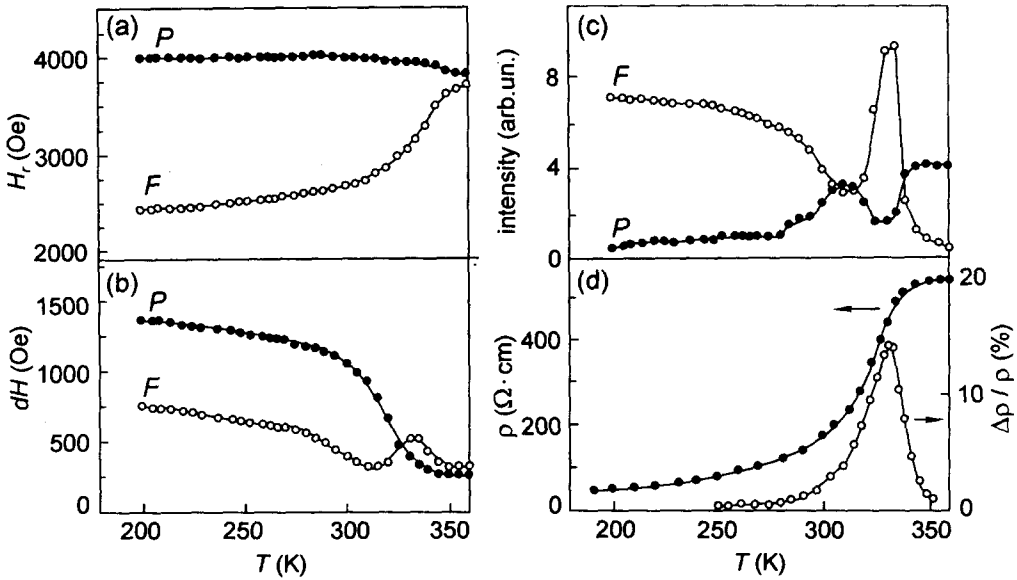


Рис.1. Температурные зависимости параметров линий F и P в спектре магнитного резонанса кристалла $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$ ($\nu = 10$ ГГц): резонансного поля (а); ширины (б) и интенсивности (с) линий поглощения; д – температурная зависимость сопротивления ρ_0 и магнитосопротивления $\Delta\rho/\rho_0$ в поле $H = 7$ кЭ

Главной особенностью спектров магнитного резонанса в исследуемых кристаллах является наличие двух хорошо разрешенных линий магнитного поглощения в широком температурном диапазоне. Температурное поведение параметров линий поглощения для частоты $\nu = 10$ ГГц показано на рис.1. Мы полагаем, что линия, обозначенная на рис.1 как F , соответствует резонансу от областей в кристалле, находящихся в ферромагнитном (ФМ) состоянии. Линия F появляется только ниже температуры Кюри $T_c \approx 360$ К, и ее интенсивность при понижении температуры увеличивается, что можно связать с увеличением намагниченности кристалла M_0 , а также с увеличением объема ФМ фазы в образце. Уменьшение резонансного поля H_r^F с понижением температуры связано с анизотропными взаимодействиями: с ростом магнитной кристаллографической анизотропии и с анизотропией формы образца. Дополнительные ориентационные исследования магнитного резонанса на образцах сферической формы показали, что эффективное поле магнитной кристаллографической анизотропии H_A не превышает величину 100 Э. Изменения H_r^F главным образом связано с ростом размагничивающих полей, которые пропорциональны величине магнитного момента. Для геометрии, в которой проводился наш эксперимент ($H_{0\parallel}$ плоскости образца), можно записать:

$$\omega/\gamma = (H_0(H_0 + 4\pi M_{eff}))^{1/2}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi\nu$ – круговая частота, $\gamma = (g\mu_B/\hbar)$ – гиромагнитное отношение, H_0 – резонансное поле и M_{eff} – эффективная намагниченность, которая в общем случае будет отличаться от M_0 за счет влияния кристаллографической анизотропии, не учтенной нами в (1), а также за счет возможной магнитной неоднородности кристалла (которая, как будет показано ниже, действительно имеет место). Вместе с тем,

температурное поведение $4\pi M_{eff}(T)$, определенной из (1), качественно повторяет поведение величины $4\pi M_0(T)$, полученной из статических измерений.

Линия P , наблюдаемая в парамагнитном состоянии образца ($T > T_c$), при понижении температуры ниже T_c практически сохраняет свое положение, ее резонансное поле H_r^P не зависит от формы образца и ориентации H_0 в кристалле. Незначительное увеличение H_r^P в области температур $340 \div 350$ К может быть связано с изменением g -фактора в результате локальных искажений кристаллической решетки. Такие искажения, возникающие за счет сильной электрон-фононной связи, были обнаружены для ряда составов примесных марганцевых перовскитов в области температуры перехода в ферромагнитное состояние [9]. Уменьшение интенсивности линии P при понижении температуры свидетельствует об уменьшении парамагнитной фазы в образце.

Значительное уширение линии ферромагнитного резонанса dH_r^F при понижении температуры наблюдалось различными авторами и ранее при исследовании кристаллических и пленочных образцов манганитов. Однако скрупулезного анализа механизмов, приводящих к увеличению dH_r^F , не приводилось. С нашей точки зрения, главным фактором, влияющим на dH_r^F , является электропроводность образцов. Действительно, ниже T_c удельное сопротивление ρ кристаллов быстро падает (рис.1). Это означает либо увеличение подвижности носителей заряда, либо их концентрации, что в свою очередь оказывает существенное влияние на динамические магнитные явления. Вклад носителей заряда в процессы диссипации может иметь в своей основе несколько механизмов [10]. Существенное влияние на dH_r^F должно оказывать и неоднородное двухфазное магнитное состояние, которое будет приводить к неоднородному намагничиванию ферромагнитных областей и, следовательно, к уширению линии ферромагнитного резонанса.

Обращают на себя внимание особенности в поведении интенсивностей и ширины линий магнитного поглощения в области температуры $T \sim 325$ К. Интересным оказалось то, что максимум на зависимости $\Delta\rho/\rho$ в исследуемых кристаллах приходится как раз на эту же температуру (рис.1).

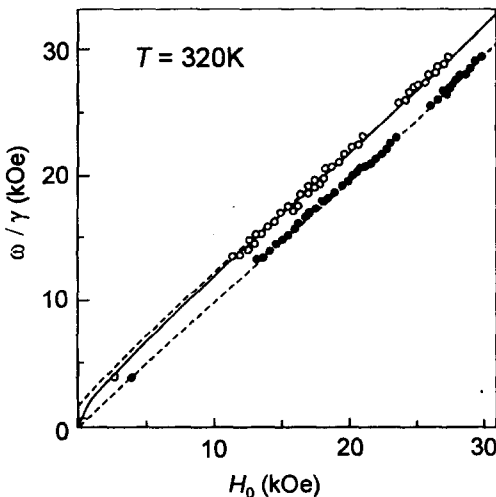


Рис.2. Частотно-полевые зависимости линий F и P в спектре магнитного резонанса кристалла $La_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$, $T = 320$ К. Сплошная линия – зависимость (1) (см. текст), пунктирные линии – линейная экстраполяция зависимостей

Безусловно, важным аргументом в пользу того, что наблюдаемые линии P и F являются резонансным поглощением соответственно от парамагнитных и ферромагнитных областей, есть поведение их частотно-полевых зависимостей (рис.2). Экстраполяция экспериментальных точек частотно-полевой зависимости для линии поглощения P показывает, что зависимость линейна и проходит через начало координат. Такая картина наблюдается для любой ориентации внешнего магнитного поля H_0 . Это подтверждает, что линия P связана с областями в кристалле, находящимися в парамагнитном состоянии даже ниже T_c . Поведение частотно-полевой зависимости для линии F является характерным для однородных магнитных колебаний в ферромагнетике. Сдвиг зависимости относительно начала отсчета определяется в нашем случае в основном анизотропией формы образца (см. (1)).

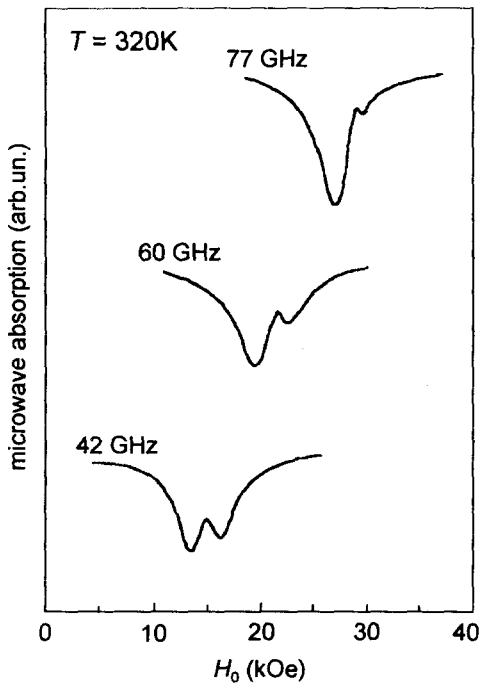


Рис.3. Вид спектров магнитного резонансного поглощения кристалла $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$, записанных на различных частотах микроволнового излучения ν (42, 60, 77 ГГц), $T = 320 \text{ K}$

Другой важный экспериментальный результат, кроме доказательства двухфазного парамагнитно-ферромагнитного состояния, – зависимость интенсивности линий P и F от частоты микроволнового излучения, на которой проводилась запись спектра магнитного резонанса (рис.3). При увеличении частоты ν , а следовательно, и величины внешнего магнитного поля H_0 при фиксированной температуре интенсивность линии F увеличивалась, а линии P уменьшалась. Этот факт можно интерпретировать как управление соотношением объемов фаз внешним магнитным полем. Увеличение H_0 приводит к увеличению объема ферромагнитной и уменьшению парамагнитной фаз в образце. Хотя надо заметить, что в интенсивность линии поглощения ферромагнитного резонанса могут давать вклад и другие факторы, например, изменение величины намагниченности M_0 . Однако частотно-полевая зависимость для линии F хорошо описывается выражением (1) с постоянной величиной $4\pi M_{eff} \approx 2 \text{ кЭ}$ (см. рис.2) и, следовательно, ферромагнитные области в

кристалле в магнитных полях, при которых проводились измерения, намагничены до насыщения.

Как отмечалось выше, в качестве одного из механизмов колоссального магнитосопротивления в манганитах лантана рассматривается механизм электронного фазового расслоения, когда в кристалле, однородном в кристаллографическом (химическом) отношении, образуются области с различной концентрацией носителей. Эти области отличаются проводимостью и магнитным состоянием. Причем такое гетерофазное состояние кристалла соответствует состоянию с минимальной энергией, то есть основному состоянию. Неоднородное двухфазное состояние должно быть очень чувствительно к воздействию внешних параметров, например, температуры, и внешнего магнитного поля, что и объясняет большую величину магнитосопротивления.

Аргументом в пользу связи наблюдаемого нами двухфазного магнитного состояния с аномальными магниторезистивными свойствами в монокристаллах $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$ служит наличие особенностей в ширине и интенсивности линий магнитного резонанса в области максимальной величины магнитосопротивления (рис.1).

Нельзя исключать ситуацию, когда реализуется магнитопримесное разделение фаз за счет неоднородного распределения примеси в процессе синтеза кристаллов. Однако в этом случае трудно ожидать сильного влияния внешнего магнитного поля.

Таким образом, в монокристаллах $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$ методом магнитного резонанса наблюдалось двухфазное магнитное (парамагнитно-ферромагнитное) состояние, управляемое величиной внешнего магнитного поля.

-
1. Э.Л.Нагаев, УФН **168**, 917 (1998).
 2. G.Allodi, Phys. Rev **B56**, 6036 (1997).
 3. Н.Н.Лошкарева, Ю.П.Сухоруков, С.В.Наумов и др., Письма в ЖЭТФ **68**, 89 (1998).
 4. M.Uehara, S.Mori, C.H.Chen, and S.W.Cheong, Nature **399**, 560 (1999).
 5. E.Wollan and W.Koehler, Phys. Rev. **100**, 545 (1955).
 6. A.K.Srivastava, C.M.Srivastava, R.Mahesh, and C.N.R.Rao, Solid State Comm. **99**, 161 (1996).
 7. S.E.Lofland, S.M.Bhagat, H.L.Ju et al., J. of Appl. Phys. **79**, 5166 (1996).
 8. Н.В.Волков, Г.А.Петраковский, К.А.Саблина, С.В.Коваль, ФТТ **41**, 2007 (1999).
 9. A.J.Millis, Nature **392**, 147 (1998).
 10. А.Г.Гуревич, Г.А.Мелков, *Магнитные колебания и волны*, М.: Физматлит, 1994.