

## Упруго-деформационные механизмы влияния температуры, магнитного поля и давления на резистивные и магнитные свойства магнитных полупроводников

П. И. Поляков, С. С. Кучеренко

*Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина НАН Украины  
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина  
E-mail: poljakov@host.dipt.donetsk.ua*

Статья поступила в редакцию 18 апреля 2002 г., после переработки 10 июня 2002 г.

Проведен анализ результатов исследований изменения удельного сопротивления объемного поликристаллического образца  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$  под влиянием температуры ( $T$ ), давления ( $P$ ) и магнитного поля ( $H$ ) и изменения магнитострикции в монокристаллическом  $\text{LaMnO}_3$  в зависимости от  $T$  и  $H$ . Установлено, что пики магнито-, баро- и баромагниторезистивного эффектов имеют одинаковую температуру, которая не зависит от магнитного поля и давления и соответствует температуре  $T_{ms}$  фазового перехода металл–полупроводник в отсутствие магнитного поля и давления. Обнаружены «охлаждающий» и «нагревающий» эффекты давления и магнитного поля и эквивалентное соответствие влияния  $T$ ,  $P$  и  $H$  на удельное сопротивление поликристаллического образца и  $T$  и  $H$  на магнитострикцию монокристалла  $\text{LaMnO}_3$ . Показана линейность смещения пиков  $T_{ms}(P)$  и  $T_{ms}(H)$  в резистивных свойствах  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ , а также  $H_g(T)$  в магнитных свойствах на примере изменения гистерезиса магнитострикции в монокристалле  $\text{LaMnO}_3$ . Выявлена и объяснена роль закономерностей упруго-деформирующего механизма действия  $T$ ,  $P$  и  $H$  на магнитные, резистивные свойства и фазовые состояния. Установлена знакопеременность влияния  $T$ ,  $P$  и  $H$  и ее роль в изменении резистивных и магнитных свойств (магнитных фазовых переходов). Обоснована связь структурных, упругих, резистивных и магнитных свойств в магнитных полупроводниках.

Проведено аналіз результатів досліджень зміни питомого опору об'ємного полікристалічного зразка  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$  під впливом температури ( $T$ ), тиску ( $P$ ) та магнітного поля ( $H$ ) та зміни магнітострикції у монокристалічному  $\text{LaMnO}_3$  в залежності від  $T$  і  $H$ . Встановлено, що піки магніто-, баро- та баромагніторезистивного ефектів мають однакову температуру, яка не залежить від магнітного поля та тиску і відповідає температурі  $T_{ms}$  фазового переходу метал–напівпровідник у відсутності магнітного поля та тиску. Виявлено «охолоджуючий» і «нагрівальний» ефекти тиску і магнітного поля та еквівалентна відповідність впливу  $T$ ,  $P$  та  $H$  на питомий опір полікристалічного зразка і  $T$  та  $H$  на магнітострикцію монокристалу  $\text{LaMnO}_3$ . Показано лінійність зміщення піків  $T_{ms}(P)$  та  $T_{ms}(H)$  у резистивних властивостях  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ , а також  $H_g(T)$  у магнітних властивостях на прикладі зміни гистерезису магнітострикції у монокристалі  $\text{LaMnO}_3$ . Виявлено і обґрунтовано роль закономірностей пружно-деформуючого механізму дії  $T$ ,  $P$  та  $H$  на магнітні, резистивні властивості та фазові стани. Встановлено знакоперемінність впливу  $T$ ,  $P$  та  $H$  і її роль у зміні резистивних та магнітних властивостей (магнітних фазових переходів). Обґрунтовано зв'язок структурних, пружних, резистивних та магнітних властивостей у магнітних напівпровідниках.

PACS: 73.61.–r, 62.50.+p

### Введение

Вследствие колоссального магниторезистивного эффекта редкоземельные манганиты перовскитовой структуры относятся к наиболее интенсивно исследуемым функциональным материалам [1,2]. Изучение свойств и их интерпретация, к сожалению, не позволяют окончательно определить природу уникальной взаимосвязи магнитных и электрических свойств.

В работах [3–5] исследовали резистивные свойства этих соединений под влиянием температуры ( $T$ ), магнитного поля ( $H$ ) и давления ( $P$ ). Авторы [6–11] обнаружили, что с увеличением гидростатического давления и напряженности магнитного поля происходит уменьшение электросопротивления и рост температуры фазового перехода металл–полупроводник  $T_{ms}$ ; выявлена линейная зависимость удельного сопротивления от давления при фиксированной температуре, а также  $T_{ms}$  от давления и напряженности магнитного поля.

В работе [12] показана линейная зависимость  $T_N$  от давления. В результате исследований магнитной восприимчивости полупроводников  $\text{La}_{0,875}\text{Sr}_{0,125}\text{MnO}_3$  под гидростатическим давлением авторы [13] обнаружили линейную зависимость  $T_{ms}$  от давления. В публикации [14] приведены данные по тепловому расширению и магнитострикции при фазовых переходах монокристалла  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  и сделано предположение о связи упругих деформирующих стрикционных напряжений в структуре с изменением напряженности магнитного поля.

Основная цель предлагаемой работы – установление закономерностей и связи упругих механизмов, резистивных, магнитных свойств, а также объяснение эффектов влияния температуры, давления и магнитного поля на свойства магнитных полупроводников.

### Экспериментальные результаты и обсуждение

Исследуемый поликристаллический образец  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$  был получен по традиционной методике двухстадийного синтезирующего обжига с последующим спеканием порошков, спрессованных в металлической пресс-форме по технологии, приведенной в [10,15].

Сопротивление измеряли четырехзондовым методом при постоянном токе в отсутствие и при наличии магнитного поля различных напряженностей ( $H = 0, 2, 4, 6, 8$  кЭ). Температуру определяли по сопротивлению бифилярно намотан-

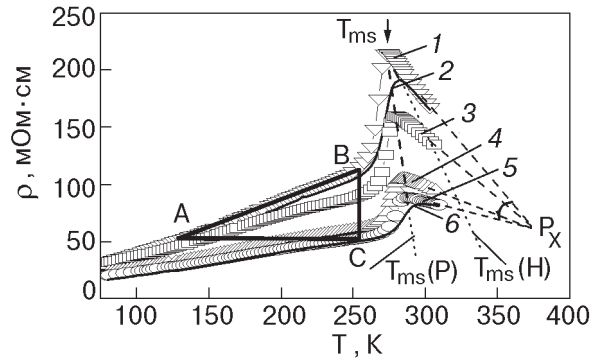


Рис. 1. Температурные зависимости удельного сопротивления объемного поликристаллического образца  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ : 1 –  $P=0, H=0$ ; 2 –  $P=0, H=8$  кЭ; 3 –  $P=6$  кбар,  $H=0$  кЭ; 4 –  $P=12$  кбар,  $H=0$ ; 5 –  $P=18$  кбар,  $H=0$ ; 6 –  $P=18$  кбар,  $H=8$  кЭ. ( $P_X$  – условное обозначение, в неявном виде связанное с параметром структуры перовскита и магнитным ионом Mn.)

ной медной катушки. Высокие гидростатические давления создавали в интервале  $P = 0–1,8$  ГПа в камере высокого давления [16].

1. Температурные зависимости удельного сопротивления объемного образца под влиянием магнитного поля и давления представлены на рис. 1. Здесь показаны аналогичные по характеру термо-  $\rho_0(T)$  (кривая 1), магнито-  $\rho_H(T)$  (2), баро-  $\rho_P(T)$  (3–5) и баромагниторезистивная  $\rho_{PH}(T)$  (6) зависимости. С повышением давления или магнитного поля температура пика удельного сопротивления смещается в область более высоких температур, а интенсивность пиков при этом снижается.

На рис. 2 (кривая 6) приведена температурная зависимость магниторезистивного эффекта при  $H = 8$  кЭ, которая демонстрирует, что величина его пика незначительна и составляет 30 % [17]. Впервые выявленные нами баро-  $(\rho_0 - \rho_P)/\rho_0$  и баромагниторезистивный  $(\rho_0 - \rho_{PH})/\rho_0$  эффекты в области фазового перехода (рис. 2, кривые 1–5) достигают 70 % [18]. Важно отметить, что пики магнито-, баро- и баромагниторезистивного эффектов имеют одну и ту же температуру  $T_{PP}$  (рис. 2). Следует подчеркнуть, что  $T_{PP}$  остается постоянной независимо от величин магнитного поля и давления, действующих как отдельно, так и совместно. Постоянство температуры  $T_{PP}$  указанных эффектов позволяет утверждать, что в их формировании участвуют механизмы, подчиняющиеся одним и тем же закономерностям. Весьма существенно, что в выявленных эффектах  $T_{PP}$  совпадает по величине с температурой  $T_{ms}$  фазового перехода металл–полупроводник в отсутст-

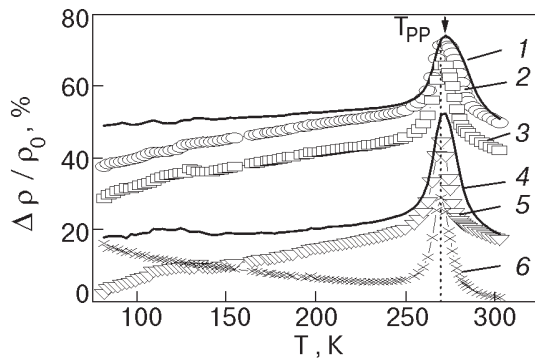


Рис. 2. Температурные зависимости характеристик объемного поликристаллического образца  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ : барорезистивный эффект  $(\rho_0 - \rho_P)/\rho_0$ : 2 —  $P = 18$  кбар; 3 —  $P = 12$  кбар; 5 —  $P = 6$  кбар; баромагнорезистивный эффект  $(\rho_0 - \rho_{PH})/\rho_0$ : 1 —  $P = 18$  кбар,  $H = 8$  кЭ; 4 —  $P = 6$  кбар,  $H = 8$  кЭ; магнорезистивный эффект  $(\rho_0 - \rho_H)/\rho_0$ : 6 —  $P = 0$ ,  $H = 8$  кЭ;

вие магнитного поля и давления (см. рис. 1, кривая 1). Выяснение природы этих механизмов и постоянства  $T_{PP}$  привело нас к более пристальному анализу результатов, приведенных на рис. 1.

Оценим влияние  $T$ ,  $P$  и  $H$  на динамику линейных зависимостей  $\rho_0(T)$ ,  $\rho_H(T)$ ,  $\rho_P(T)$  и  $\rho_{PH}(T)$  вплоть до температуры 250 К (рис. 1, кривые 1–5). В отсутствие  $H$  и  $P$  приращение сопротивления  $\Delta\rho$  на один градус составляет  $\Delta\rho/\Delta T = 0,46$  Ом/К (рис. 1, кривая 1). При фиксированной температуре  $T \approx 250$  К изменение удельного сопротивления от давления равно  $\Delta\rho/\Delta P \approx 2,83$  Ом/кбар (кривые 1, 5 на рис. 1). Отсюда следует, что изменение температуры на  $\delta T = 6,2$  К в пределах линейного участка вследствие термоупругого расширения изменяет сопротивление так же, как и упругое сжатие под действием гидростатического давления 1 кбар. Такое соответствие показывает роль упругих свойств в изменении удельного сопротивления. Линейный участок зависимости удельного сопротивления от температуры был отмечен и для поликристаллического образца  $\text{La}_{0,9}\text{Mn}_{1,1}\text{O}_3$  [10].

По характеру зависимостей  $\rho_0(T)$ ,  $\rho_P(T)$  и  $\rho_H(T)$  можно судить, что давление и магнитное поле влияют на сопротивление во всем температурном интервале равнозначно — приводят к смещению пиков  $\rho$  и  $T_{ms}$  в одну сторону (кривые 1–5 на рис. 1). На кривых 1, 2 видно, что в области фазового перехода действие магнитного поля напряженностью  $H = 1$  кЭ вызывает изменение сопротивления  $\Delta\rho/\Delta H = 2,1$  Ом/кЭ. Барическое изменение удельного сопротивления в этой области температур (см. кривые 1 и 5) составляет  $\Delta\rho/\Delta P = 5,27$  Ом/кбар. Такое соответ-

ствие показывает, что увеличение напряженности магнитного поля на  $\delta H = 2,37$  кЭ приводит к такому же изменению удельного сопротивления, как и увеличение гидростатического давления на 1 кбар. Соотношение верно и в области линейной зависимости  $\rho(T)$ . Такие же оценки можно провести для линейных зависимостей смещения пиков  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$ . Для этого действие магнитного поля на удельное сопротивление можно сравнить с соразмерным влиянием гидростатического давления. На идентичность механизмов действия магнитного поля и давления указывает и соизмеримое смещение температуры  $T_{ms}$  фазового перехода металл–полупроводник. Учитывая это, можно утверждать, что гигантская магнорезистивность есть результат скачка удельного сопротивления вследствие магнитоупругих деформирующих напряжений в образце, вызванных влиянием магнитного поля большой напряженности.

В подтверждение роли упругих свойств на зависимости температуры максимумов удельного сопротивления выделим  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$ , а также линейную зависимость  $\rho(P)$  при  $T = 300$  К (см. рис. 3, 4). Они линейны во всем исследуемом диапазоне магнитных полей и давления. Такие же особенности отмечены в работах [8,10]. Обращаем внимание на то, что при одновременном воздействии магнитного поля и гидростатического давления зависимость  $T_{ms}(P, H)$  расположена между  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$ . Линейная закономерность и различие в последних объясняются наличием анизотропии упругих и магнитоупругих свойств.

2. Приведенные соответствия в резистивных свойствах под влиянием  $T$ ,  $P$  и  $H$  выявляют еще одну закономерность. Действие давления и маг-

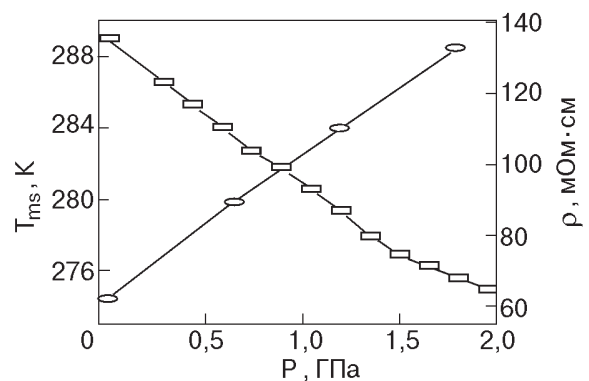


Рис. 3. Зависимость температуры фазового перехода  $T_{ms}$  и удельного сопротивление объемного поликристаллического образца  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$  от гидростатического давления при комнатной температуре.

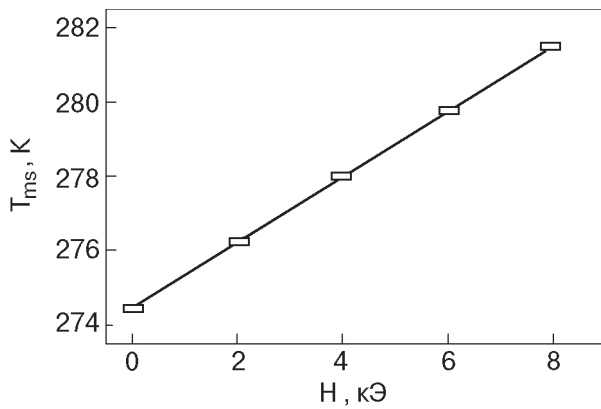


Рис. 4. Зависимость температуры фазового перехода  $T_{ms}$  объемного поликристаллического образца  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$  от напряженности магнитного поля.

нитного поля вызывают «охлаждающий» эффект (т.е. увеличение  $P$  и  $H$  через упругие механизмы изменяет удельное сопротивление образца, эквивалентное понижению температуры) и обратный, «нагревающий» эффект (уменьшение  $P$  и  $H$  влияет на изменение удельного сопротивления образца, эквивалентное соответствующему повышению температуры).

Указанные эффекты в магнитных полупроводниках помогут объяснить линейную зависимость  $T_{ms}(H, P)$  и, несомненно, основополагающую роль упругих свойств в этом процессе. С позиции деформационного механизма формирования фазового состояния переход металл–полупроводник является следствием термоупругого расширения структуры образца и фиксируется по температуре  $T_{ms}$  пика удельного сопротивления (кривая 1 на рис. 1). Приложение гидростатического давления и магнитного поля приводят к эффекту «охлаждения» — уменьшаясь, величина удельного сопротивления становится равной исходной при более низкой температуре. Для реализации фазового перехода в этом случае необходимо увеличение температуры — дополнительное термоупругое расширение компенсирует сжатие структуры в результате действия как давления, так и магнитного поля, что сопровождается повышением  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$ . Температура  $T_{pp}$  максимумов магнито-, баро- и баромагниторезистивного эффектов остается постоянной при различных давлениях и магнитных полях. Это свидетельствует о том, что фазовый переход осуществляется при достижении некоторого условия, постоянного для исследуемого образца.

При обратном рассмотрении данного процесса в качестве исходной примем зависимость  $\rho(T)$  под влиянием  $P$  и  $H$ . Тогда при снижении этих

воздействий величина удельного сопротивления, возрастая, будет соответствовать исходной зависимости, взятой при более высокой температуре. Тем самым выявляется «нагревающий» эффект  $P, H$ . Для реализации фазового перехода в этом случае необходимо уменьшение температуры — дополнительное термоупругое сжатие компенсирует расширение структуры вследствие действия уменьшающихся давления и магнитного поля. Это означает, что снятие внешнего воздействия требует все меньшего перегрева системы для достижения условий фазового перехода,  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$  понижаются.

Выявленные «охлаждающий» и «нагревающий» эффекты, а также линейные зависимости  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$  свидетельствуют о компенсирующем взаимодействии упругого и магнитоупругого сжатия, с одной стороны, и термоупругого расширения, с другой. При этом условия реализации фазового перехода остаются постоянными независимо от величины давления и магнитного поля в пределах интервалов наших исследований. Подтверждением этого служит одна и та же температура  $T_{pp}$  пиков баро-, магнито-, баромагниторезистивного эффектов и линейность  $T_{ms}(H)$  в магнитных свойствах. И, как следствие, равенство температуры фазового перехода  $T_{ms}$  (в отсутствие  $P, H$ ) и  $T_{pp}$  подтверждает близкую природу упруго-деформирующих механизмов воздействия  $T, P$  и  $H$ , а также свидетельствует о неизменном условии формирования фазового перехода металл–полупроводник.

**3.** Для установления закономерностей в изменении магнитных свойств под влиянием  $T$  и  $H$  проведем анализ результатов исследований аномалий теплового расширения и магнитострикции при фазовых переходах монокристаллического образца  $\text{LaMnO}_3$  и его модификаций [14]. Деформационные изменения определяются магнитострикционными свойствами под влиянием магнитного поля.

Обратим внимание на полевую зависимость продольной магнитострикции для  $\text{LaMnO}_3$  при нескольких фиксированных температурах (рис. 5 [14]). В малых полях заметна нелинейная область, по мере возрастания напряженности магнитного поля наблюдается линейный участок до и после фазового перехода. Можно утверждать, что этот участок обусловлен преобладающим действием на магнитостриксию магнитного поля по сравнению с температурой. Выберем участок, где при фиксированном магнитном поле влияние температуры на величину магнитострикции линейно, и при  $H \approx 130$  кЭ оценим изменение продольной



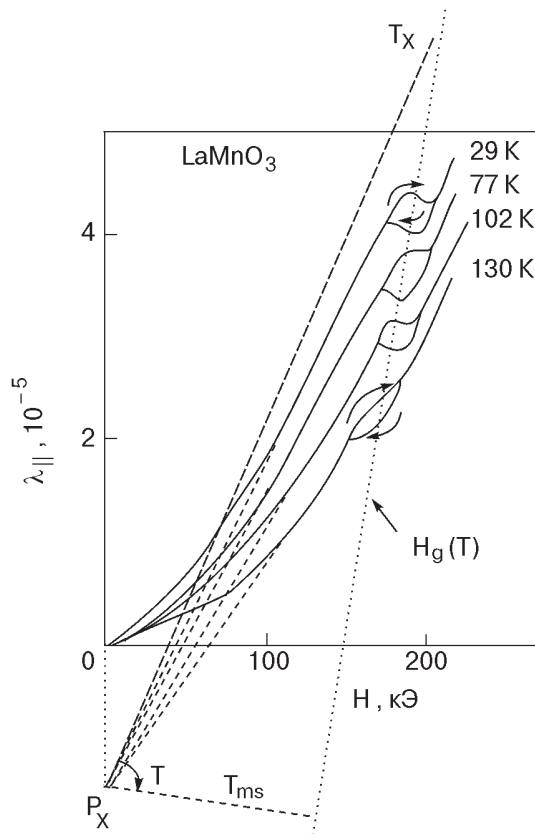


Рис. 5. Полевые зависимости продольной магнитострикции для  $\text{LaMnO}_3$  [14].

магнитострикции  $\lambda_{||}$  от температуры:  $\Delta\lambda_{||}/\Delta T \approx 0,013$ . Такая оценка свидетельствует о том, что изменения магнитного поля  $\Delta H$  на 1 кЭ и температуры  $\Delta T$  на 2,1 К одинаково влияют на изменение величины магнитострикции.

Наблюдаемая на рис. 5 линейная зависимость смещения величины поля гистерезиса от температуры  $H_g(T)$  позволяет оценить коэффициент наклона  $\Delta H/\Delta T \approx 0,27$  кЭ/К и определить величину смещения структурного фазового перехода под влиянием температуры и магнитного поля:  $\Delta T/\Delta H \approx 6$  К/кЭ. Таким образом, зависимость  $H_g(T)$  аналогична  $T_{ms}(H)$  в динамике резистивных свойств.

Зависимость  $H_g(T)$  при увеличении напряженности магнитного поля также подчиняется «нагревающему», а при уменьшении — «охлаждающему» эффектам. Это подтверждается изменением магнитострикции под влиянием  $T$  и  $H$ , которое ярко выражено на рис. 5.

Линейность зависимости  $H_g(T)$  и знание величины смещения  $\Delta H/\Delta T$  позволяют связать закономерности изменения угла наклона линейных участков зависимостей  $\lambda_{||}(T, H)$  со знакопеременными областями на полевой зависимости продольной магнитострикции (рис. 5).

4. Изменение резистивных свойств при варьируемом воздействии термоупругого расширения и сжатия при фиксированных давлениях и магнитных полях является следствием «охлаждающего» и «нагревающего» эффектов. Под влиянием варьируемого магнитоупругого сжатия и расширения при фиксированных температурах магнитострикционные свойства изменяют знаки указанных эффектов. Следовательно, закономерность постоянства  $T_{PP} = T_{ms}$  остается в силе; линейность смещения фазового перехода как в магнитострикционных, так и резистивных свойствах определяется упруго-деформирующим соответствием и знакопеременностью влияния и температуры, и магнитного поля.

Знакопеременность — это конкурирующий механизм упруго-деформирующих соответствий термоупругого расширения и магнитоупругого сжатия, который проявляется в изменении пиков резистивности, колоссальных баро- и магниторезистивном эффектах при постоянстве  $T_{PP}$ , а также в линейности зависимостей  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$ . В магнитных свойствах знакопеременность определяется динамикой изменения магнитной восприимчивости  $\chi$  и проявляется в виде магнитных фазовых переходов и магнитного гистерезиса.

Обнаруженное упруго-деформирующее соответствие на температурно-полевой зависимости магнитострикции в монокристалле  $\text{LaMnO}_3$  (рис. 5) объясняет наблюдаемую в начальной области знакопеременность под влиянием магнитного поля и температуры (область нелинейности) и проявляется в изменениях резистивных свойств и магнитных фазовых переходов. Знакопеременность под влиянием  $H$ ,  $T$  (изменение наклона линейной части зависимости при соответствиях  $T$  и  $H$ ) приводит к возникновению пиков в резистивных свойствах, магнитного гистерезиса и, как следствие, знакопеременности в магнитных и резистивных свойствах в области структурного фазового перехода.

Показателен результат упруго-деформирующего соответствия и знакопеременности на полевых зависимостях продольной и поперечной магнитострикции в  $\text{LaMnO}_3$ . Выявлены два конкурирующих механизма термоупруго-деформирующего расширения и магнитоупругого сжатия:

а) при фиксированных малых температурах в начальной области полевой зависимости магнитострикции наблюдается нелинейность, которая обусловлена преимуществом термоупруго-деформирующего влияния и переходит в линейную закономерность при дальнейшем повышении магнитоупругого сжатия;

б) при более высокой температуре происходит термоупруго-деформирующее расширение, преобладающее над магнитоупругим сжатием, наблюдаются резкое увеличение магнитострикции, магнитный гистерезис и образование на зависимости знакопеременной области изменения магнитных свойств, т.е. появляется конкурирующий эффект упруго-деформирующего соответствия влияния  $T$ ,  $H$ ; знакопеременные области магнитострикции проявляются как в магнитном гистерезисе, так и в температурных зависимостях при фиксированном магнитоупруго-деформирующем сжатии ( $H \approx 200$  кЭ) монокристалла  $\text{La}_{0,9}\text{Sr}_{0,1}\text{MnO}_3$  [14].

5. Чтобы сопоставить структурные, резистивные и магнитные изменения под действием  $T$ ,  $P$  и  $H$ , следует обратить внимание на положение  $P_X$  (рис. 1, кривая 5) ( $P_X$  – условное обозначение, в неявном виде связанное с параметром структуры перовскита и магнитным ионом Mn [14]). Учитывая соответствие в изменяющихся свойствах магнитострикции под влиянием  $T$  и  $H$ , линейность структурного фазового перехода  $H_g(T)$ , линейность зависимости  $\lambda_{\parallel}(T, H)$ , можно установить соответствие между структурными, магнитными и резистивными свойствами на примере магнитострикционных изменений под влиянием  $T$  и  $H$ . Линейные участки полевых зависимостей магнитострикции (рис. 5) сходятся в одной точке  $P_X$ . Этот же параметр представлен и в семействе температурных зависимостей удельного сопротивления при различных значениях  $P$  и  $H$  (см. рис. 1) [2,5,11].

В результате экстраполяции на рис. 5 получена точка  $T_X$  – условное обозначение варьируемого параметра, ответственного за состояние структурного фазового перехода в монокристаллическом образце  $\text{LaMnO}_3$ .

Изменение положения  $P_X$  и  $T_X$  обусловлено связью свойств и фазовых переходов, заложенной в структуре, а влияние  $T$ ,  $P$  и  $H$  есть закономерность упруго-деформирующих соответствий и знакопеременность изменяющихся магнитных, резистивных свойств и фазовых переходов.

6. Выделенные характеристические параметры  $P_X$  и  $T_X$ , знакопеременность, зависимость  $H_g(T)$ , аналогичная  $T_{ms}(H)$ , а также зависимость магнитострикции от магнитного поля (рис. 5) позволяют установить еще одну закономерность – роль магнитострикции в «нагревающем» и «охлаждающем» эффектах. «Нагревающий» эффект состоит в следующем: при фиксированном термоупругом расширении  $T < T_C$  приложение магнитного поля «нагревает» систему вследствие

противодавления магнитоупругого сжатия, реализуя условия формирования фазового перехода металл–полупроводник, и обуславливает постоянство  $T_{PP}$ . Обратный «охлаждающий» эффект состоит в том, что, если при тех же условиях уменьшать напряженность магнитного поля, снимая противодавление, происходит расширение, соответствующее повышению температуры фазового перехода. Условия реализации фазового перехода остаются постоянными.

Следует отметить, что эти же закономерности, связанные с влиянием  $T$  и  $H$ , т.е. упруго-деформирующие соответствия, знакопеременность, «охлаждающий», «нагревающий» эффекты, проявляются и в магнетиках.

### Заключение

Проведенный анализ экспериментальных исследований динамики изменения удельного сопротивления поликристаллического образца  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$  под влиянием температуры, давления и магнитного поля, а также анализ магнитострикционных зависимостей монокристалла  $\text{LaMnO}_3$  под влиянием  $T$  и  $H$  [14] позволил:

- установить линейные участки изменения удельного сопротивления  $\rho_0(T)$ ,  $\rho_H(T)$ ,  $\rho_P(T)$  и  $\rho_{PH}(T)$  и фазового перехода  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$ ;
- определить характеристические параметры  $P_X$  и  $T_X$ ;
- оценить упруго-деформирующие механизмы влияния  $T$ ,  $P$  и  $H$  на удельное сопротивление  $\text{La}_{0,56}\text{Ca}_{0,24}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$  и  $T$ ,  $H$  на магнитострикцию  $\text{LaMnO}_3$ ;
- объяснить различие линейных зависимостей  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$  закономерностью отличия анизотропии упругой и магнитоупругой стрикции;
- установить, что пики баро-, магнито- и баромагниторезистивного эффектов имеют одну и ту же температуру  $T_{PP}$ , совпадающую с температурой фазового перехода  $T_{ms}$ ;
- по динамике резистивности под влиянием  $T$ ,  $P$  и  $H$  установить «охлаждающий» и «нагревающий» эффекты, подтверждающие упруго-деформационные механизмы смещения  $T_{ms}(H)$  и обуславливающие постоянство  $T_{PP}$  и ее совпадение с температурой фазового перехода  $T_{ms}$ ;
- установить закономерности изменения магнитного поля гистерезиса  $H_g(T)$  и его соответствие  $T_{ms}(H)$  по параметрам стрикции и значению «нагревающего» и «охлаждающего» эффектов магнитного поля.

Полученные результаты позволяют выделить упруго-деформирующий механизм влияния температуры и магнитного поля на поли- и монокри-

сталлический образцы магнитных полупроводников. Он обусловлен конкуренцией двух видов стрикции — термоупругой расширяющей и магнитоупругой сжимающей и проявляется в знакопеременности свойств.

Приведенный анализ позволяет констатировать, что баро-, магнито-, баромагниторезистивный, «охлаждающий», «нагревающий» эффекты, а также постоянство  $T_{PP}$  для перечисленных эффектов и ее равенство температуре фазового перехода  $T_{ms}$  являются закономерностью упруго-деформирующего механизма влияния  $T$ ,  $P$  и  $H$  на свойства и фазовые состояния магнитных полупроводников.

1. В. М. Локтев, Ю. Г. Погорелов, *ФНТ* **26**, 231 (2000).
2. M. B. Salamon and M. Jaime, *Rev. Mod. Phys.* **73**, 583 (2001).
3. F. Mascarenhas, K. Falk, P. Klavins, J. S. Schilling, Z. Tomkowicz, and W. Naase, *J. Magn. Magn. Mater.* **231**, 172 (2001).
4. N. Fujii, R. Zach, M. Ishizuka, F. Ono, T. Kanomata, and S. Endo, *J. Magn. Magn. Mater.* **224**, 12 (2001).
5. V. Moshnyaga, S. Klimm, E. Gommert, R. Tidecks, S. Horn, and K. Samwer, *J. Appl. Phys.* **88**, 5305 (2000).
6. С. С. Кучеренко, В. И. Михайлов, В. П. Пащенко, П. И. Поляков, В. А. Штаба, В. П. Дьяконов, *Письма в ЖТФ* **27**, 38 (2001).
7. С. С. Кучеренко, В. П. Пащенко, П. И. Поляков, В. А. Штаба, А. А. Шемяков, *ФНТ* **27**, 761 (2001).
8. С. С. Кучеренко, В. П. Пащенко, П. И. Поляков, С. И. Харцев, В. А. Штаба, *Письма в ЖТФ* **27**, 24 (2001).
9. П. И. Поляков, В. П. Пащенко, С. С. Кучеренко, *ФТВД* **11**, 104 (2001).
10. В. П. Пащенко, С. С. Кучеренко, П. И. Поляков, *ФНТ* **27**, 1370 (2001).
11. I. V. Medvedeva, K. Barner, G. H. Rao, N. Hamad, Yu. S. Bersnev, and J. R. Sun, *Physica* **B292**, 250 (2000).
12. А. Е. Петрова, Е. С. Ицкевич, В. А. Вентцель, В. Ф. Крайденев, А. В. Руднев, *ФНТ* **27**, 1123 (2001).
13. O. Prokhnenko, Z. Arnold, I. Medvedeva, A. Kuchin, and J. Kamarad, *ФНТ* **27**, 375 (2001).
14. А. М. Кадомцева, Ю. Ф. Попов, Г. П. Воробьева, К. И. Камилов, В. Ю. Иванов, А. А. Мухин, А. М. Балбашов, *ФТТ* **42**, 1077 (2000).
15. В. П. Пащенко, С. И. Харцев, О. П. Черенков, *Неорган. материалы* **35**, 1294 (1999).
16. А. В. Олейник, П. И. Поляков, В. Г. Сынков, *ФТВД* **4**, 88 (1994).
17. P. I. Polyakov, V. P. Pashchenko, and S. S. Kucherenko, in: *Proc. Inter. Conf. «Functional Materials»*, Simferopol (2001), p. 49.
18. П. И. Поляков, С. С. Кучеренко, *Письма в ЖТФ* **28**, 8 (2002).

Elastic-deformation mechanisms of temperature, magnetic field and pressure dependences of resistive and magnetic properties of magnetic semiconductors

P. I. Polyakov and S. S. Kucherenko

The influence of hydrostatic pressure, magnetic field and temperature on resistivity behavior of the bulk polycrystal  $\text{La}_{0.56}\text{Ca}_{0.24}\text{Mn}_{1.2}\text{O}_3$  and the magnetic field and temperature dependence of magnetostriction of the single crystal  $\text{LaMnO}_3$  are analysed. It is found that the maxima of the magnetoresistive, baroresistive, and magneto-baroresistive effects coincide at the same temperature. This temperature is independent of magnetic field and pressure and equal to the metal-semiconductor phase transition temperature  $T_{ms}$ . A «cooling» and a «heating» effects of pressure and magnetic field are revealed. It is found that the  $T$ ,  $P$ , and  $H$  influence on the resistivity of  $\text{La}_{0.56}\text{Ca}_{0.24}\text{Mn}_{1.2}\text{O}_3$  and the  $T$  and  $H$  influence on the magnetostriction of  $\text{LaMnO}_3$  are equivalent. Linear changes of  $T_{ms}(H)$  и  $T_{ms}(P)$  in the  $\text{La}_{0.56}\text{Ca}_{0.24}\text{Mn}_{1.2}\text{O}_3$  resistivity and of  $H_g(T)$  in the  $\text{LaMnO}_3$  magnetostriction are observed. The importance of the regularities of the mechanism of the  $T$ ,  $H$ , and  $P$  influence on magnetic, resistivity properties, and phase states is explained. An alternating influence of  $T$ ,  $H$ , and  $P$  and its role in the changes of the resistivity and magnetic properties (magnetic phase transitions) are considered. A correlation between structural, elastic, resistive and magnetic properties is specified.