

# Магнетики и сегнетомагнетики с сильной связью между спиновыми, электронными и структурными состояниями

В. А. Санина

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия

Рассматриваются физические свойства магнитных и сегнетомагнитных кристаллов (мультиферроиков), обусловленные сильной связью спинов, орбитальных состояний, структурных искажений, а также их влияние на проводимость.

I. Характерным примером **магнитных кристаллов** с такой сильной связью являются манганиты со структурой перовскита  $\text{RMnO}_3$  (R — редкоземельные ионы, Bi), как стехиометрические, так и легированные двухвалентными ионами Sr, Ba, Ca. Стехиометрические составы являются диэлектрическими, а легированные — полупроводниками.

Анализируется связь между спиновыми и орбитальными состояниями в стехиометрических кристаллах  $\text{RMnO}_3$ ; эффект Яна–Теллера, обусловленный ионами  $\text{Mn}^{3+}$  с вырожденным орбитальным состоянием; орбитальное упорядочение и его связь со спиновыми состояниями.

Легированные полупроводниковые кристаллы  $\text{R}_{(1-x)}\text{A}_x^{2+}\text{MnO}_3$  ( $\text{R}^{3+} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}; \text{A}^{2+} = \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Ca}$ ) с крупными редкоземельными ионами очень интенсивно изучаются в последнее время в связи с обнаруженным в них переходом металл–диэлектрик (MI-переход) и колоссальным магнитосопротивлением (КМС) вблизи этого перехода. Для таких кристаллов характерны следующие свойства:

- a. фазовое расслоение на проводящие ферромагнитные и диэлектрические антиферромагнитные области;
- b. двойной ферромагнитный обмен между спинами локализованных ионов через носители заряда;
- c. эффект Яна–Теллера и его влияние на фазовое расслоение и MI-переход;
- d. колоссальное отрицательное магнитосопротивление;
- e. зарядовое упорядочение ( $x = 0.5$ ).

II. Характерным примером **сегнетомагнитных кристаллов**, в которых реализуется как магнитный, так и сегнетоэлектрический дальний порядок (и по определению имеется сильная связь между магнитными и структурными состояниями), также являются манганиты со структурой перовскита —  $\text{RMnO}_3$  (R — редкоземельные ионы с промежуточными величинами ионных радиусов:

Eu, Gd, Tb), а также перовскито-подобные кристаллы  $\text{RMn}_2\text{O}_5$  (R — от Pr до Dy, Y). Для таких сегнетомагнетиков температуры магнитного и сегнетоэлектрического фазовых переходов оказались близкими ( $\sim 30 - 40$  K), а потому, теоретически, в них реализуется максимально возможная связь между магнитными и структурными состояниями. Эти кристаллы являются несобственными сегнетоэлектриками, в которых сегнетоэлектрический параметр порядка (электрическая спонтанная поляризация) индуцируется магнитным порядком. Возможность взаимного управления магнитными свойствами с помощью электрического поля, а электрическими свойствами — магнитным полем в последнее время привлекает пристальное внимание исследователей к этим кристаллам.

Рассматриваются классические сегнетомагнетики; альтернативность условий существования дальнего сегнетоэлектрического и магнитного порядков; возможность сосуществования этих упорядочений в сегнетомагнетиках; влияние магнитного поля на поляризацию, фазовые переходы и диэлектрическую проницаемость; эффект колоссальной магнитоемкости.

При различном легировании сегнетомагнитных кристаллов  $\text{RMnO}_3$  возникают полупроводниковые составы сегнетомагнетиков, а также состояния с сильным случайным беспорядком в решетке (электродипольное стекло, релаксорные состояния). Рассматривается влияние случайного беспорядка, неоднородного полярного состояния кристалла на характер проводимости в таких полупроводниковых составах. Обсуждается самоорганизация локализованных носителей заряда в неоднородной полярной среде и влияние на нее напряжения смещения и магнитного поля.

## Литература

- [1] E. L. Nagaev, Phys. Rep. **346**, 387 (2001).
- [2] J. M. D. Coey, M. Viret, and S. Von Molnar, Adv. Phys. **48**, 167 (1999).
- [3] Л. П. Горьков, УФН **168**, 665 (1998).
- [4] М. Ю. Каган и К. И. Кугель, УФН **171**, 577 (2001).
- [5] Б. А. Струков и А. П. Леванюк, *Физические принципы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах*, (М. Наука, 1995).
- [6] T. Kimura, T. Goto, H. Shintani *et al.*, Nature **426**, 55 (2003).
- [7] В. А. Санина, и др. ФТТ **30**, 3015 (1988).
- [8] A. R. Long, Adv. Phys. **31**, 587 (1982).
- [9] Б. И. Шкловский и А. Л. Эфрос, *Электронные свойства легированных полупроводников*, (М. Наука, 1979).
- [10] Е. И. Головенчиц и В. А. Санина, Письма в ЖЭТФ **81**, 630 (2005).