

Анизотропия оптического поглощения α -MnS

© И.С. Эдельман, О.Б. Романова, Л.И. Рябкина, Г.М. Абрамова, В.В. Марков

Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук,
660036 Красноярск, Россия
E-mail: ise@iph.krasnoyarsk.su

(Поступила в Редакцию 29 августа 2000 г.
В окончательной редакции 18 декабря 2000 г.)

Впервые исследованы спектры оптического поглощения монокристалла α -MnS для плоскости (100) в интервале энергий от $8 \cdot 10^3$ до $22 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$ и их температурное поведение в интервале от 86 до 300 К. Сравнение этих спектров со спектрами для плоскости (111) выявило существенную анизотропию поглощения в неполяризованном свете. Она заключается в появлении значительно более сильного расщепления самой низкоэнергетической полосы в случае плоскости (100) (по сравнению с плоскостью (111)). Величина расщепления при понижении температуры уменьшается. Предполагаются возможные механизмы обнаруженной анизотропии.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 00-02-81059 Бел. 2000а).

Благодаря обнаружению в твердых растворах $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ эффекта колоссального магнитосопротивления [1] возобновился интерес к исследованию физических свойств моносulfида марганца, на основе которого получены эти вещества. Монокристалл α -MnS имеет гранцентрированную кубическую решетку (ГЦК) типа NaCl, которая при уменьшении температуры претерпевает ромбоэдрическое искажение вдоль диагонали куба в плоскости (111). Согласно [2], структурный переход в α -MnS наблюдается при $T_s = 162 \pm 2 \text{ K}$, магнитный переход антиферромагнетик–парамагнетик реализуется при $T_N = 150 \text{ K}$ [3]. Моносulfид α -MnS в парамагнитной фазе является полупроводником p -типа с энергией активации проводимости $E_a = 0.3 \text{ eV}$. В антиферромагнитной области наблюдается резкое изменение энергии активации: величина E_a при $T < 150 \text{ K}$ практически равна нулю, а величина сопротивления ρ составляет $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ [3,4]. Оптические измерения были проведены на монокристалле α -MnS в плоскости (111) [2,5]. Были выявлены три пика поглощения, связанные с одноионными переходами в Mn^{2+} , и было показано, что с понижением температуры в α -MnS наблюдается синий сдвиг края поглощения.

В данной работе представлены результаты исследования спектров поглощения монокристалла α -MnS, полученного методом насыщения жидкого марганца серой.

Для оптических измерений были изготовлены две пластинки из монокристалла α -MnS (плоскости (111) и (100)), толщина пластинок с идеально отполированной поверхностью составляла $\sim 40 \mu\text{m}$, площадь $\sim 2 \times 2 \text{ mm}$. Измерения проводились в проточном кварцевом криостате в области температур 86–300 К с точностью $\pm 1 \text{ K}$, в интервале энергий $8 \cdot 10^3$ – $22 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$.

На рис. 1 изображены спектры оптического поглощения, снятые для плоскостей (111) и (100) монокристалла α -MnS при комнатной температуре. На рис. 2, а и б

представлены спектры для этих плоскостей при трех температурах. Из рис. 2 видно существенное различие этих спектров. Для плоскости (111) (кривая 1 на рис. 1; рис. 2, а) спектры в основном идентичны спектрам оптического поглощения, полученным в работах [2,5]. Наблюдаются два максимума, которые относятся к электронным переходам иона Mn^{2+} : А-пик (${}^6A_{1g} \rightarrow {}^4T_{1g}({}^4G)$) и В-пик (${}^6A_{1g} \rightarrow {}^4T_{2g}({}^4G)$). В работе [2] наблюдается еще третий максимум С (${}^6A_{1g} \rightarrow {}^4A_{1g}, {}^4E_g({}^4G)$); в нашем случае удалось записать лишь его длинноволновый край. Видимо, это связано с несколько большей толщиной образцов по сравнению с [2,5]. По этой же причине мы не смогли выявить край фундаментального поглощения.

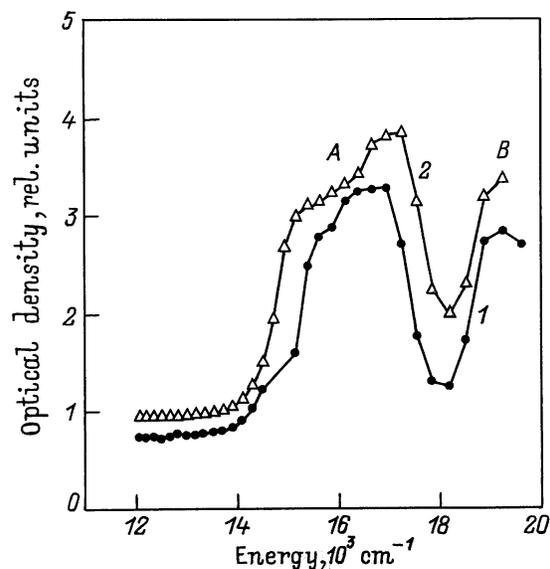


Рис. 1. Оптическая плотность $D = \ln(I_0/I)$, где I_0 и I — падающий и прошедший световые потоки, для монокристалла α -MnS при $T = 300 \text{ K}$. 1, 2 — световой луч нормален плоскости (111) и (100) соответственно.

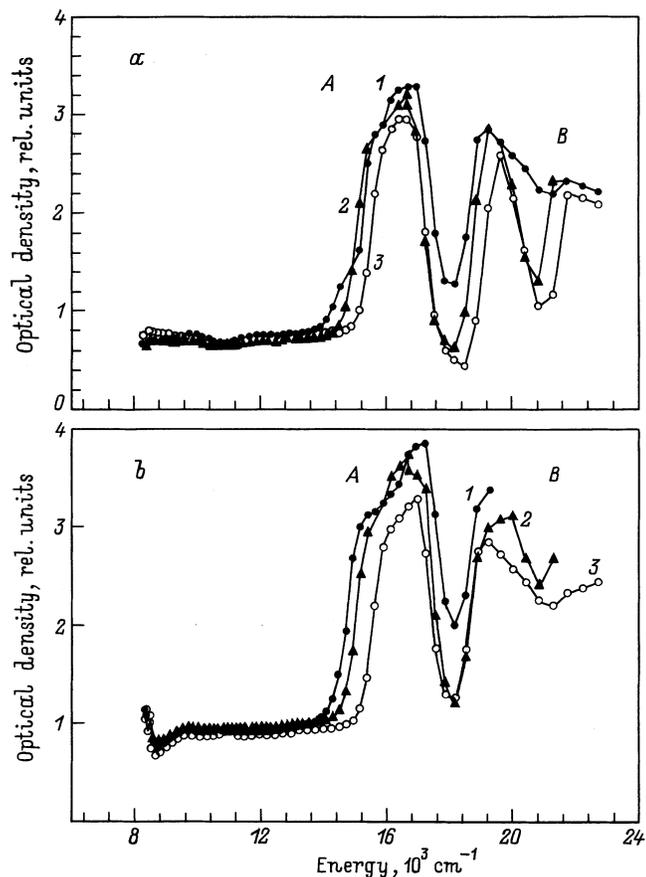


Рис. 2. Спектры оптической плотности монокристалла α -MnS при температурах 300 (1), 160 (2) и 86 К (3). *a, b* — световой луч нормален плоскости (111) и (100) соответственно.

Характер спектра с понижением температуры не изменяется, энергия пика *A* ($E = 16667 \text{ cm}^{-1}$) практически не меняется, а энергия пика *B* ($E = 19608 \text{ cm}^{-1}$ при $T = 300 \text{ K}$) несколько возрастает. Интенсивность обоих пиков *A* и *B* уменьшается.

На рис. 1 (кривая 2) и рис. 2, *b* представлены спектры поглощения для плоскости (100). Ранее для этой плоскости оптические исследования не проводились. В области от $14 \cdot 10^3$ до $18 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$ наблюдается широкая полоса, форма которой свидетельствует о расщеплении по крайней мере на две компоненты. Необходимо отметить, что незначительное расщепление просматривается на полосе *A* и в случае плоскости (111). При понижении температуры компоненты расщепления сближаются. При этом низкоэнергетическая компонента претерпевает существенно больший сдвиг к более высоким энергиям. Амплитуды и ширины обеих компонент уменьшаются. При минимальной использованной температуре полоса *A* для плоскости (100) остается заметно асимметричной, в то время как для плоскости (111) асимметрия этой полосы исчезает практически полностью. Положение полосы *A* для плоскости (100) при низ-

ких температурах соответствует положению полосы *A* в спектре для плоскости (111). На этом основании высокоэнергетическую компоненту полосы соотнесем с переходом ${}^6A_{1g} \rightarrow {}^4T_{1g}({}^4G)$ в ионе Mn^{2+} . Низкоэнергетическая компонента, претерпевающая сдвиг к более высоким энергиям при понижении температуры, может быть связана как с расщеплением полосы ${}^6A_{1g} \rightarrow {}^4T_{1g}({}^4G)$, так и с электронными возбуждениями другой природы.

Полоса в области $(18-20) \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$, соответствующая полосе *B* в спектре для плоскости (111), при комнатной температуре не проявляется полностью. (В этой области чувствительность фотоприемника уменьшается по сравнению с областью вблизи $16 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$, где расположена полоса *A*.) Полоса *B* наблюдается, начиная с $T \approx 160 \text{ K}$. Интенсивность полос поглощения для плоскости (100) заметно больше, чем в случае (111). Поглощение в окне прозрачности вблизи $18 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$ для плоскости (100) существенно больше. Видимо, с этими двумя обстоятельствами связано различие цвета кристаллов, вырезанных из одного блока в разных плоскостях. Монокристалл α -MnS, вырезанный в плоскости (100), приобретает желтый цвет в отличие от зеленого, характерного для плоскости (100) α -MnS. Энергия пика *B*, который наблюдается для плоскости (100) только при низкой температуре, соответствует энергии пика *B* в спектре для плоскости (111).

Таким образом, обнаружена анизотропия оптического поглощения в монокристалле α -MnS в неполяризованном свете. Наиболее яркие ее проявления — разница в расщеплении низкоэнергетической полосы поглощения и в различие интенсивностей полос для двух плоскостей: (100) и (111).

Возможны различные объяснения обнаруженной анизотропии и расщепления низкоэнергетической полосы. Последнее может быть связано с динамическим эффектом Яна-Теллера [6–8]. С другой стороны, можно сделать предположение об образовании магнитного полярона за счет обменного взаимодействия носителей тока с электронами *d*-оболочки иона Mn^{2+} (*c-l*-обмен) [9], подобно тому как это наблюдается в $\text{Cd}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Te}$ [10,11]. При $T = 0$, согласно [9], спин-поляронное состояние совпадает с зонным, при конечных температурах они становятся существенно различными. С ростом температуры спин-поляронная зона смещается в сторону высоких энергий, при этом сдвиг в парамагнитном состоянии может составлять 60% от величины сдвига в магнитоупорядоченном состоянии и достигать значений $\sim 0.1 \text{ eV}$ [9]. Для объяснения самой анизотропии необходимо учесть особенности зонной структуры кристалла и ее изменения при фазовых переходах. Для получения четкой интерпретации обнаруженных аномалий поглощения проводятся дополнительные измерения.

Список литературы

- [1] Г.А. Петраковский, Л.И. Рябинкина, Г.М. Абрамова, Н.И. Киселев, Д.А. Великанов, А.Ф. Бовина. Письма в ЖЭТФ **69**, 12, 949 (1999).
- [2] А.В. Малаховский, Т.П. Морозова, В.Н. Заблуда, Л.И. Рябинкина. ФТТ **32**, 4, 1012 (1990).
- [3] L.I. Ryabinkina, G.V. Loseva. Phys. Stat. Sol. (a) **80**, k179 (1983).
- [4] H.H. Heikens, C.F. van Bruggen, C.J. Haas. J. Phys. Chem. Sol. **39**, 8, 833 (1978).
- [5] D.R. Huffman, R.L. Wild. Phys. Rev. **156**, 3, 989 (1967).
- [6] И.Б. Берсукер. Электронное строение и свойства координационных соединений. Химия, Л. (1976). 348 с.
- [7] M.D. Sturge. Sol. State Phys. **20**, 92 (1967).
- [8] T.E. Freeman, G.D. Jones. Phys. Rev. **182**, 2, 411 (1969).
- [9] Э.Л. Нагаев. Физика магнитных полупроводников. Наука, М. (1979). 431 с.
- [10] И.А. Меркулов. ФТТ **42**, 1, 126 (2000).
- [11] D.R. Yakovlev, K.V. Kavokin. Comments Cond. Matter. Phys. **18**, 2, 51 (1996).