

МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ОКРЕСТНОСТИ СПИНОВОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ В NdFeO₃

С. Н. Барило, А. П. Гесь, А. М. Гурецкий, Н. К. Даньшин,
Г. Г. Крамарчук, А. М. Лугинец, М. А. Сдвижков

Ортоферрит неодима является слабоскошенным антиферромагнетиком с температурой упорядочения ~ 680 К [1, 2]. При охлаждении в интервале температур $T_1 - T_2$ происходит главный поворот слабоферромагнитного момента от ромбической оси c к оси a [1-5]. Подобная спиновая переориентация (СП) типична для ортоферритов [6]. Однако измерения на NdFeO₃ дают очень большую ширину интервала СП $\Delta T = T_2 - T_1$ при чрезвычайно большом разбросе значений T_1 , T_2 и ΔT . Например, согласно [2], $T_1 \sim 80$, $T_2 \sim 210$ К, а по данным работы [4] $T_1 = 112$, $T_2 = 187$ К.

Причина этого, по нашему мнению, может быть связана с различным (и недостаточно высоким) качеством использованных образцов. Известно,

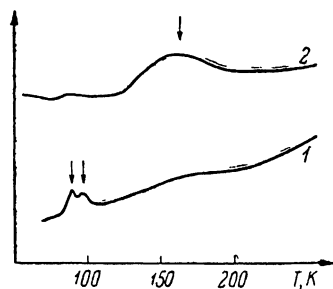


Рис. 1. Записи линии поглощения в NdFeO₃.

1 — 74.86 ГГц ($h \parallel c$), 2 — 72.64 ГГц ($h \parallel a$). Стрелками показаны регистрируемые максимумы поглощения.

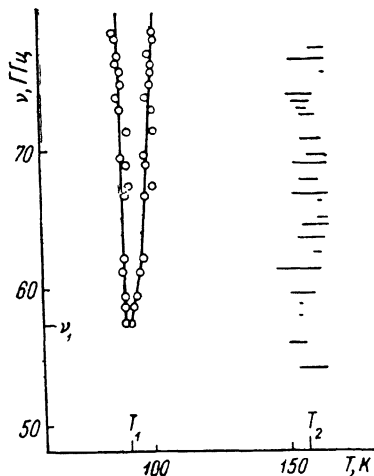


Рис. 2. Температурная зависимость частоты резонансного поглощения NdFeO₃ в окрестности спиновой переориентации.

Горизонтальные линии при $T \sim T_2$ показывают погрешность в определении положения максимума поглощения.

что монокристаллы редкоземельных (РЗ) ортоферритов склонны к блочному росту [7], причем наиболее ярко он проявляется в NdFeO₃. По этой причине получение качественных монокристаллов NdFeO₃ традиционными для ортоферритов методами (спонтанная кристаллизация из Рb-содержащих расплавов и бестигельная зонная плавка) крайне затруднено. Для выращивания монокристаллов NdFeO₃ нами была разработана методика роста на затравке из В₂О₃—ВаF₂—ВаО растворителя, ранее успешно реализованная для других ортоферритов. Разработанная технология позволила получить безблочные монокристаллы с размерами ~ 1 мм (по оси c до 1 мм).

На выращенных монокристаллах NdFeO₃ проведены исследования магнитного резонанса в частотном диапазоне 37—79 ГГц. В указанном диапазоне частот возможна регистрация сигналов поглощения, относящихся к мягкой моде магнитного резонанса только в окрестности СП. На рис. 1 показаны записи сигналов поглощения при различных ориентациях возбуждающего СВЧ магнитного поля. Они получены при медленном сканировании температуры в отсутствие постоянного магнитного поля. По совокупности таких записей, сделанных на различных частотах рабочего диапазона спектрометра, построена температурная зависимость

резонансной частоты мягкой моды NdFeO_3 в окрестности СП (рис. 2). Вблизи $T_1 \sim 92$ К наблюдаются два относительно узких ($\delta T \sim 8$ К) пики поглощения при $\nu > \nu_1$ и один пик поглощения при $\nu < \nu_1$. Частота $\nu_1 = \nu(T_1) = 56 \pm 1$ ГГц определяет величину энергетической щели в точке фазового перехода 2-го рода. В окрестности $T_2 \sim 155$ К регистрируется один широкий ($\delta T \sim 40$ К) пик поглощения, что не позволяет однозначно судить о виде зависимости $\nu(T)$ вблизи T_2 .

Ранее такие же особенности поведения мягкой моды (отчетливая регистрация резонансной ветви вблизи T_1 и широкий максимум поглощения вблизи T_2) наблюдались в ортоферритах Ho и Er [8]. Поскольку резонансное поведение в области СП определяется энергетическим спектром РЗ-иона [9], то по аналогии с данными, полученными на HoFeO_3 и ErFeO_3 , и с учетом [9] результаты измерений NdFeO_3 легко объясняются предположением, что величина обменного расщепления Δ основного кramerсова дублета иона Nd^{3+} меньше частоты ν_2 антиферромагнитного резонанса, причем $\Delta(T < T_1) \gg \Delta(T > T_2)$. Действительно, согласно [10, 11], $\Delta(T < T_1) \sim 120$, $\nu_2(350 \text{ К}) \sim 250$ ГГц.

Наиболее важными результатами проведенных исследований (кроме самого факта наблюдения магнитного резонанса¹) являются определение ширины интервала СП ΔT и оценка ширины резонансных линий δT . В исследованных кристаллах NdFeO_3 $\Delta T \sim 60$ К. Это наименьшая величина из известных значений ΔT для монокристаллов NdFeO_3 [1-4], совпадающая в то же время с шириной СП поликристаллических образцов, полученных по керамической технологии [5]. Столь большая величина интервала СП в NdFeO_3 , значительно превышающая значения ΔT для «чистых» ортоферритов (~ 10 К), больше характерна для смешанных (замещенных) ортоферритов. Как известно, причиной уширения интервала СП в последних являются пространственные флуктуации плотности энергии анизотропии [12]. Неоднородные магнитные взаимодействия в них проявляются также в значительном уширении резонансных линий по сравнению с «чистыми» соединениями [13]. Измерения показывают, что ширина как «узких» (при $T \sim T_1$), так и «широких» (при $T \sim T_2$) пиков поглощения в NdFeO_3 в [4-5] раз больше, чем в HoFeO_3 или ErFeO_3 , близких к NdFeO_3 по резонансным свойствам. Это позволяет предположить наличие связи между большой шириной интервала СП в NdFeO_3 и большой шириной резонансных линий с неоднородностью магнитных взаимодействий, а в конечном счете с качеством кристалла.

Таким образом, нами установлена зависимость качества кристаллов NdFeO_3 от свойств раствора-растворителя и методических особенностей выращивания. Выявленные закономерности позволили вырастить безблочные монокристаллы NdFeO_3 с размерами ~ 1 мм. В настоящее время ведутся работы по выращиванию более совершенных кристаллов. Методом магнитного резонанса определен интервал спиновой переориентации в NdFeO_3 . По ширине резонансных линий сделана оценка качества выращенных кристаллов NdFeO_3 как по отношению к ранее полученным монокристаллам [4], так и в сравнении с другими ортоферритами. Сделано предположение, что несовершенство монокристаллов NdFeO_3 , обусловленное трудностями их выращивания, может быть одной из причин очень большой по сравнению с другими ортоферритами ширины интервала спиновой переориентации.

Список литературы

- [1] Pinto H., Shaked H. // Sol. St. Comm. 1970. V. 10. N 8. P. 663—669.
- [2] Белов Р. П., Кадомцева А. М., Овчинникова Т. Л., Тимофеева В. А., Усков В. В. // ФТТ. 1971. Т. 13. № 3. С. 631—632.
- [3] Hornreich R. M., Jaeger J. // Int. J. Mag. 1973. V. 4. N 1. P. 71—76.
- [4] Карначев А. С. // Автореф. канд. дис. Донецк, 1983.

¹ На образцах NdFeO_3 , ранее использованных в [4], резонансные сигналы вообще не обнаружены.

- [5] Chmielowski M., Sosnovska I. // Sol. St. Com. 1983. V. 48. N 12. P. 1007—1010.
- [6] Белов К. П., Звездин А. К., Кадомцева А. М., Левитин Р. З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1979. 317 с.
- [7] Remeika J. P., Cometañi T. Y. // Mat. Res. Bull. 1968. V. 3. N 11.
- [8] Данышин Н. К., Крамарчук Г. Г., Сдвижков М. А. // Тез. докл. 18-й Всес. конф. по физике магнитных явлений. Калинин, 1988. С. 710—711.
- [9] Балбашов А. М., Козлов Г. В., Лебедев С. П., Мухин А. А., Пронин А. Ю., Прохоров А. С. // Препринт ИОФАН. 1988. № 97.
- [10] Loewenhaupt M., Sosnovska I., Frich B. // J. de Phys. 1988. V. 49. N 12. Suppl. 2. P. 921—922.
- [11] Koshizuki N., Hayashi K. // J. Mag. Mat. 1983. V. 31—34. Pt 2. P. 569—570.
- [12] Синицын Е. В., Бострем И. Г. // ЖЭТФ. 1983. Т. 85. № 2. С. 661—669.
- [13] Barilo S. N., Ges' A. P., Guretski S. A., Dan'shin N. K., Kramarchuk G. G., Louginets A. M., Sdvizhkov M. A., Fedotova V. V. // Acta Phys. Pol. 1989. V. A76. N 1. P. 69—73.

Донецкий физико-технический институт
АН УССР
Институт физики твердого тела
и полупроводников АН БССР
Минск

Поступило в Редакцию
8 июня 1990 г.

УДК 535.37

© Физика твердого тела, том 33, № 2, 1991
Solid State Physics, vol. 33, № 2, 1991

АВТОЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ЭКИТОНЫ И ЭКСИТОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ОКСОГАЛОГЕНИДАХ ВИСМУТА И СУРЬМЫ

В. М. Юров, Д. М. Лозинский, Т. А. Кукетаяев

Оксогалогениды висмута и сурьмы имеют ярко выраженную слоистую структуру. В пакете между слоями связь носит ионный характер, а между пакетами — ван-дер-ваальсовский [1]. Спектр фундаментального поглощения в области 3.0—6.0 эВ представлен тремя полосами, связанными с электронными переходами в ионах Bi^{3+} и Sb^{3+} [2] (рис. 1).

В настоящем сообщении мы обсудим, какое приближение лучше описывает реальную ситуацию в оксогалогенидах висмута и сурьмы — модель катионного или анионного экситона.

В модели анионного экситона оптический переход осуществляется с np^6 оболочки аниона на $nsnp$ -уровень аниона или $(n+1)s$ -уровень Bi^{3+} или Sb^{3+} . В модели катионного экситона оптический переход осуществляется с ns^2 -уровня Bi^{3+} или Sb^{3+} на возбужденный $nsnp$ -уровень того же иона. Оптическое создание анионного экситона в BiOCl требует примерно такую же энергию, как и в KCl (~8 эВ).

Перечислим основные доводы в пользу того, что самый низкоэнергетический экситон в оксогалогенидах висмута и сурьмы генетически связан с катионом.

1. Соответствие спектров поглощения оксогалогенидов висмута и сурьмы и ШГК, активированных Bi^{3+} и Sb^{3+} [2].

2. Оценка энергии анионного экситона по известной формуле [3] дает слишком большую энергию для длинноволновой полосы поглощения.

3. Валентная зона анионов расщеплена в результате спин-орбитального взаимодействия. Соответствующее расщепление в хлориде (0.11 эВ) и бромиде (0.47 эВ) в спектрах оксогалогенидов висмута и сурьмы отсутствует. Структура спектра (первые три интенсивные полосы) соответствует спин-орбитальному расщеплению ионов Bi^{3+} и Sb^{3+} (3P_1 , 3P_2 , 1P_1) в $nsnp$ -конфигурации в кристалле.