

- [1] Фарздинов М. М., Шамсутдинов М. А., Халфина А. А. // ФТТ. 1979. Т. 21. № 5. С. 1522—1527.
 [2] Фарздинов М. М., Шамсутдинов М. А., Екомасов Е. Г. / ФТТ. 1988. Т. 30. № 6. С. 1866—1868.
 [3] Мелихов Ю. В., Переход О. А. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 3. С. 924—925.
 [4] Малоземов А., Слоззуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982. 384 с.
 [5] Звездин А. К., Попков А. Ф., Редько В. В. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 9. С. 1884—1886.
 [6] Никифоров А. В., Социн Э. Б. // ЖЭТФ. 1986. Т. 90. № 4. С. 1309—1317.
 [7] Звездин А. К., Мухин А. А., Попков А. Ф. // Препринт ФИАН. М., 1982. № 1081.

Башкирский государственный университет
Уфа

Поступило в Редакцию
14 ноября 1989 г.

УДК 537.622.3

© Физика твердого тела, том 32, № 5, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 5, 1990

ТЕМПЕРАТУРА ДЕБАЯ И СПИН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В КРИСТАЛЛЕ $Al_2SiO_5 : Fe^{3+}$

К. В. Ворсунь

Большое значение начального расщепления в спектре ЭПР, удовлетворительные релаксационные и диэлектрические свойства делают андалузит с ионами Fe^{3+} наиболее подходящим активным веществом для квантовых парамагнитных усилителей миллиметрового диапазона [1].

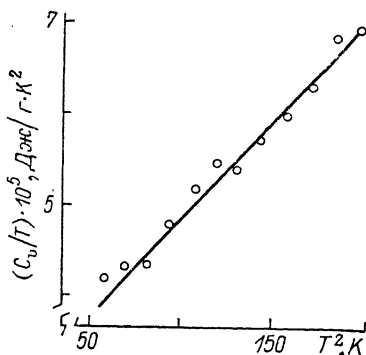
При описании процессов спин-решеточной релаксации важными являются такие характеристики кристалла, как скорость звука, дебаевские частота и температура, значения которых для андалузита отсутствуют в литературе.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования температурного хода теплоемкости андалузита в области низких температур. В интервале $T=4\div 15$ К эта зависимость следует закону $C_v \sim (T/\Theta)^3$. На рисунке точками показан результат эксперимента, сплошной линией — расчет, выполненный при значении дебаевской температуры $\Theta=380$ К (соответствующая дебаевская частота $\omega_D=4.9 \cdot 10^{13}$ с⁻¹). Экспериментально полученное значение температуры Дебая для андалузита [2] оказалось существенно меньше, чем для рубина, что подтверждает сделанное ранее предположение, основанное на сравнении механических свойств этих кристаллов [3]. Усредненная по кристаллографическим направлениям и типам колебаний скорость звука получается из соотношения

$$v = (\omega_D^3 V / 6\pi^2 N)^{1/3}.$$

Значение скорости звука оказалось типичным для ионных кристаллов $v=5.6 \cdot 10^3$ м/с.

Относительно низкая величина Θ для андалузита по сравнению с другими мазерными кристаллами (рубином, рутилом) говорит о преобладании



Температурная зависимость теплоемкости андалузита.

перуры $\Theta=380$ К (соответствующая дебаевская частота $\omega_D=4.9 \cdot 10^{13}$ с⁻¹). Экспериментально полученное значение температуры Дебая для андалузита [2] оказалось существенно меньше, чем для рубина, что подтверждает сделанное ранее предположение, основанное на сравнении механических свойств этих кристаллов [3]. Усредненная по кристаллографическим направлениям и типам колебаний скорость звука получается из соотношения

$$v = (\omega_D^3 V / 6\pi^2 N)^{1/3}.$$

Значение скорости звука оказалось типичным для ионных кристаллов $v=5.6 \cdot 10^3$ м/с.

Относительно низкая величина Θ для андалузита по сравнению с другими мазерными кристаллами (рубином, рутилом) говорит о преобладании

однофононных процессов релаксации в значительном температурном интервале. Для кристаллов с низкой концентрацией активатора ($c \leq 0.1\%$) в области низких температур ($T \ll \Theta$) относительная эффективность прямых и комбинационных процессов спин-решеточной релаксации определяется соотношением [4]

$$\frac{w_{ij \text{ комб}}}{w_{ij \text{ пр}}} = \frac{55 (kT)^6}{\rho v^5 h^5 \omega_0^2} \frac{\left\{ (V^{(2)})^2 + \frac{(V^{(1)})^4}{\Delta^2} \right\}}{|V^{(1)}|^2},$$

где w_{ij} — вероятность релаксации между уровнями i и j ; ρ — плотность кристалла; Δ — значение начального расщепления; $V^{(1)}$, $V^{(2)}$ — матричные элементы динамических членов гамильтониана спин-фононного взаимодействия линейных и квадратичных по компонентам тензора деформаций соответственно.

Оценки показывают, что на частоте $\omega_0 = 2\pi \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ в предположении $V^{(1)} \sim V^{(2)} \sim \Delta$ вклады прямых и комбинационных процессов становятся сравнимыми при $T \approx 10 \text{ К}$. Заметная роль комбинационных процессов релаксации при таких температурах может быть одним из объяснений отклонения (начиная с $T \approx 20 \text{ К}$) экспериментальных значений коэффициента инверсии от расчета, выполненного в предположении однофононной релаксации [3].

Известный интерес в плане прогноза инвертированных состояний в спин-системе примесного иона представляет знание абсолютных значений констант спин-фононного взаимодействия [5]. Низкое качество (блочность) имеющихся в настоящее время природных образцов андалузита с объемом $\sim 1 \text{ см}^3$ не позволило непосредственно измерить эти константы методом акустического парамагнитного резонанса так, как это сделано для рубина [6].

В литературе имеются подробные сведения о скорости спин-решеточной релаксации иона Fe^{3+} в андалузите [7]. Кроме того, хорошо согласуется с экспериментами по инверсии спиновых населенностей предположение о кубическом G -тензоре с соотношением $G_{44}/G_{11} = 0.7$ [8]. Эти сведения, а также знание скорости звука позволяют оценить абсолютные значения констант спин-фононного взаимодействия $G_{\alpha\beta}$: $|G_{11}| \approx 1.2$, $|G_{44}| \approx 0.84 \text{ см}^{-1}$.

Полученные величины для иона Fe^{3+} в андалузите оказываются меньше, чем для иона Cr^{3+} в изумруде [9] и рубине [6]. Это говорит о слабой чувствительности спиновой системы к деформации кристаллической решетки и соответствует тому, что для иона Fe^{3+} отсутствует спин-орбитальная связь.

Автор признателен Е. М. Ганапольскому и Д. Н. Маковецкому за полезное обсуждение работы.

Список литературы

- [1] Еру И. И., Peskovatskii S. A., Chernets A. N. // IEEE Quant. Electron. 1968. V. 4. N 11. P. 723—728.
- [2] Ворсуль К. В. // Тез. докл. Всес. конф. по акустоэлектронике и физической акустике твердого тела. Кишинев, 1989. Ч. II. С. 112—113.
- [3] Еру И. И., Песковацкий С. А. // Изв. вузов, радиофизика, 1972. Т. 15. № 1. С. 38—42.
- [4] Абрагам А., Блيني Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. М.; 1972. Т. 1. 651 с.
- [5] Shakhparayan V. P., Martirosyan R. M. // Phys. St. Sol. (a). 1974. V. 25. N 2. P. 681—690.
- [6] Ганапольский Е. М., Маковецкий Д. Н. // ФТТ. 1973. Т. 15. № 8. С. 2447—2452.
- [7] Песковацкий С. А., Шульга В. М. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 6. С. 1898—1900.
- [8] Блинов А. К. // Автореф. канд. дис. Харьков, 1987.
- [9] Бадалян В. Г., Мартиросян Р. М., Манвелян М. О. // ФТТ. 1978. Т. 20. № 12. С. 3599—3602.

Институт радиофизики и электроники
АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
3 июля 1989 г.
В окончательной редакции
20 ноября 1989 г.