

ЭПР $\text{SrWO}_4 : \text{Er}^{3+}$ В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

В. Ф. Тарасов, Г. С. Шакуров

Редкоземельные ионы в кристаллах со структурой шеелита интенсивно изучались ранее. Имеется ряд работ по ЭПР и спин-решеточной релаксации (СРР) [1], электронному спиновому эху [2], оптическим и магнитным свойствам [3] этих тетрагональных кристаллов с точечной симметрией редкоземельного иона S_4 .

Спектры Er^{3+} в SrWO_4 исследовались в статье [2], где авторы измерили g_{\perp} и g_{\parallel} основного дублета и их сдвиги под влиянием электрического поля. В работе [1] измерены g -факторы основного и первого возбужденного дублетов и из зависимости времени СРР от температуры определено расстояние в нулевом поле до первого и второго возбужденных дублетов.

Данная работа посвящена ЭПР Er^{3+} в субмиллиметровом диапазоне $250 < \nu < 500$ ГГц в магнитных полях до 0.8 Т при температуре 4.2 К. Впервые прямым методом было измерено расстояние до первого возбужденного дублета. Исследовались спектры ЭПР, их полевая и ориентационная зависимости. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими кривыми.

Измерения были выполнены на квазиоптическом субмиллиметровом спектрометре ЭПР. В качестве генераторов использовались лампы обратной волны. Приемником служил кристалл $n\text{-InSb}$. Подробное описание спектрометра сделано ранее [4]. Образец $\text{SrWO}_4 : \text{Er}^{3+}$, 0.2% представлял собой плоскопараллельную пластину толщиной 1.8 мм, овальной формы с максимальным и минимальным размерами 10 и 7.5 мм соответственно.

На рис. 1 показана зависимость частоты переходов от магнитного поля для $\text{V}_{\perp}c$ и $\text{V}_{\parallel}c$. В малых полях все линии сходятся к частоте $\nu = 369 \pm 0.5$ ГГц $\times (12.3 \pm 0.03 \text{ см}^{-1})$. Это значение было измерено непосредственно в нулевом поле, причем ошибка измерения обусловлена в основном погрешностью резонансного волномера, используемого для измерения рабочей частоты спектрометра. Полученное в работе [1] значение (10.5 см^{-1}) объясняется невысокой точностью

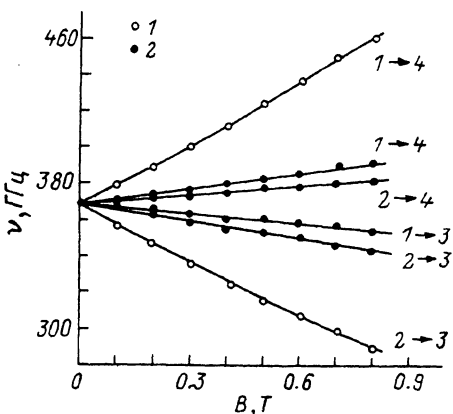


Рис. 1. Зависимость частоты перехода от магнитного поля.

$\text{V}_{\perp}c$ (1), $\text{V}_{\parallel}c$ (2).

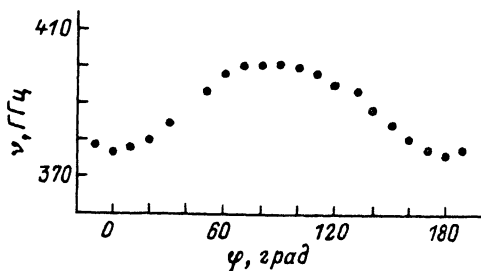


Рис. 2. Ориентационная зависимость перехода $1 \rightarrow 4$ для $B = 0.3$ Т.

метода определения расщепления по температурной зависимости СРР. Для В||с наблюдались переходы $1 \rightarrow 4$, $1 \rightarrow 3$, $2 \rightarrow 4$ и $2 \rightarrow 3$ между подуровнями основного (1, 2) и первого возбужденного (3, 4) дублетов. Определены g -факторы этих дублетов, значения которых ($g_{\parallel}^0 = 0.9 \pm 0.1$ и $g_{\parallel}^1 = 3.4 \pm 0.1$) хорошо согласуются с приведенными в работе [1] ($g_{\parallel}^0 = 0.86$ и $g_{\parallel}^1 = 3.374$). В ориентации В \perp с наблюдались лишь два перехода.

На рис. 2 приведена угловая зависимость спектра ЭПР в поле 0.3 Т, откуда следует, что сигналы ЭПР, наблюдаемые при В \perp с, — это переходы $1 \rightarrow 4$ и $2 \rightarrow 3$. Исследовалась также зависимость амплитуды сигнала от поляризации падающей СВЧ волны V_1 . Максимальный сигнал был при $V_1 \perp B$, при $V_1 \parallel B$ сигналы ЭПР не наблюдались. Ширина линий была порядка 550—600 МГц.

Для расчета положения энергетических уровней $E_{\Gamma^{3+}(4f^1, {}^4I_{15/2})}$ мы ограничились основным и первым возбужденным дублетами, не учитывая влияния вышележащих дублетов. Подобное допущение оправдано тем, что второй возбужденный дублет отделен от основного интервалом 33 см^{-1} [1], что в ~ 3 раза больше расстояния до первого возбужденного дублета.

Зависимость энергетических уровней от магнитного поля может быть получена из зеемановского гамильтониана

$$H_Z = g_{\beta} \beta H J$$

и волновых функций дублетов. В общем виде волновые функции основного $\Gamma_{5,6}$ и возбужденного $\Gamma_{7,8}$ дублетов записываются следующим образом [3]:

$$\Gamma_{5,6} = a_1 | \pm 13/2 \rangle + a_2 | \pm 5/2 \rangle + a_3 | \mp 3/2 \rangle + a_4 | \mp 1/2 \rangle,$$

$$\Gamma_{7,8} = a_1' | \pm 15/2 \rangle + a_2' | \pm 7/2 \rangle + a_2' | \mp 1/2 \rangle + a_4' | \mp 9/2 \rangle.$$

Диагонализация секулярного управления, куда, кроме зеемановских членов, входит величина расщепления в нулевом поле, дает искомое решение. Для В||с значения g -факторов взяты из настоящей работы. В данном случае матрица диагональна, зависимости энергии от магнитного поля линейны. Для В \perp с расчет проведен по теории возмущений. Полагаем E_0^0 и E_0^1 двукратно вырожденными в отсутствие внешнего магнитного поля значениями энергии основного и возбужденного дублетов. Поправкой первого порядка считаем значения энергии $E_1^{1,2} = \pm g_1^0 \beta H / 2$ для основного и $E_1^{3,4} = \pm g_1^0 \beta H / 2$ для возбужденного дублетов, т. е. не учитываем зеемановские члены, связывающие разные дублеты. Величины $g_1^0 = 8.47$ и $g_1^1 = 6.93$ взяты из работы [1]. Для определения поправки второго порядка воспользуемся известной формулой

$$E_2^n = E_1^n + \sum \frac{|H|_{nm}^2}{E_1^n - E_1^m},$$

где $|H_{nm}|^2$ в данном случае равно $g^2 \beta^2 H^2 |\langle \Gamma_{5,6} | J_x | \Gamma_{7,8} \rangle|^2$, причем индексы n и m относятся к разным дублетам. Величина интеграла $|\langle \Gamma_{5,6} | J_x | \Gamma_{7,8} \rangle|$ была вычислена по полевой зависимости сигналов ЭПР при В \perp с с помощью метода наименьших квадратов, минимизировавшего отклонения экспериментальных точек от значений, получаемых из теории возмущений. Мы получили $|\langle \Gamma_{5,6} | J_x | \Gamma_{7,8} \rangle| = 2.49$.

Применность теории возмущений в данном случае обосновывается тем, что условие

$$|g_J \beta H \langle \Gamma_{5,6} | J_x | \Gamma_{7,8} \rangle| \ll |E_1^n - E_1^m|$$

выполняется для всех магнитных полей, при которых выполнены измерения.

Полученные расчетные значения для $V_{||c}$ и $V_{\perp c}$ показаны на рис. 1 сплошными линиями. Сравнение экспериментальных и теоретических результатов показывает, что между ними получено хорошее согласие. Необходимо, однако, отметить, что нет полной ясности в понимании количества наблюдаемых линий в ориентации $V_{||c}$. Теоретические кривые на рис. 1 построены достаточно формально как разности существующих энергетических уровней. Оценка вероятности переходов между подуровнями дублетов показывает, что при $V_{||c}$ должны быть только две линии ЭПР. Отметим, что запрещенные переходы наблюдались и в других работах, посвященных ЭПР с большим расщеплением в нулевом поле [^{5, 6}], где авторы или не обсуждают эту проблему, или объясняют наличие переходов смешиванием волновых функций за счет сильного спин-фононного взаимодействия. Мы предполагаем, что в нашем случае дополнительные переходы могут быть обязаны электрическим дипольным переходам, вызываемым электрической составляющей СВЧ излучения, падающего на образец.

Выражаем благодарность М. М. Зарипову за интерес к работе и полезные дискуссии и И. Н. Куркину за предоставление образцов.

Список литературы

- [1] Куркин И. Н., Цветков Е. А. // ФТТ. 1969. Т. 11. № 12. С. 3610—3613.
- [2] Mims W. B., Mashur G. I. // Phys. Rev. 1972. V. B5. N 9. P. 3605—3609.
- [3] Enrique Bernal G. // J. Chem. Phys. 1971. V. 55. N 5. P. 2538—2549.
- [4] Tarasov V. F., Shakurov G. S. // Appl. Magn. Res. 1991. V. 2. N. 3. P. 571—576.
- [5] Magarino J. et. al. // Phys. Rev. 1980. V. B21. N 1. P. 18—28.
- [6] Лукин С. Н., Прохоров А. Д., Тесля О. П. // ЖЭТФ. 1991. Т. 100. № 6. С. 1939—1944.

Казанский
физико-технический институт РАН

Поступило в Редакцию
15 июня 1992 г.

© Физика твердого тела, том 35, № 1, 1993
Solid State Physics, vol 35, N 1, 1993

ФОТОУПРУГИЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА Rb_4CdBr_6

А. В. Замков, Л. А. Шабанова, В. А. Гранкина

Одной из задач, определяемых потребностями оптоэлектроники, является создание акустооптических устройств для работы в широкой области световых длин волн. С этой точки зрения определенный интерес представляют галоидные соединения со структурой котунита и перовскита, имеющие область прозрачности более 25 мкм. У некоторых представителей этих семейств обнаружены высокие значения коэффициентов акустооптического качества M_2 ($CsPbCl_3$, $PbCl_2$, $PbBr_2$, $TlPbI_3$, M_2 соответственно 33, 136, 428, $864 \cdot 10^{-18}$ ед. СГС [^{1, 2}]).