

**ЭПР В РУБИНЕ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ
БЕЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

А.А.Бугай, А.Б.Ройцин

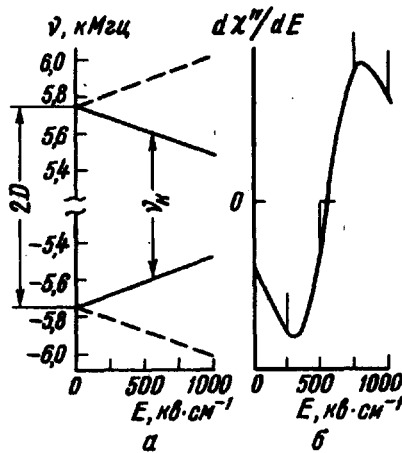
В отсутствие внешнего магнитного поля при включении внешнего постоянного электрического поля энергетические уровни иона Cr^{3+} в рубине описываются спин-гамильтонианом [1]:

$$\hat{H} = D \left[\hat{S}_z^2 - \frac{1}{3} s(s+1) \right] + \sum_{i,j \leq k} \sum_{k=2} \frac{1}{R_{ijk}} E_i (s_j s_k + s_k s_j), \quad (1)$$

где $s = 3/2$; $D = -5746 \text{ МГц}$ [2]; R – тензор содержит пять независимых компонент: R_{111} , R_{222} , R_{333} , R_{123} , R_{113} . Выбор осей координат совпадает с принятым в [1]. В частности, ось z совпадает с кристаллографической осью c .

Из (1) видно, что частота перехода ν между двумя крамерсовыми дублетами зависит, вообще говоря, от величины и направления внешнего электрического поля E . Объявляя второе слагаемое в (1) возмущением по отношению к первому, получаем с точностью до первого порядка теории возмущений:

$$\nu = 2 |D| \pm 3 |R_{333}| E_z. \quad (2)$$



- а.** Энергетические уровни ионов хрома в рубине в постоянном электрическом поле (внешнее магнитное поле отсутствует). Сплошные линии – верхний и нижний крамерсовы дублеты для одного из неэквивалентных положений иона хрома, пунктирные линии – для другого неэквивалентного положения, ν_k – частота СВЧ колебаний, на которой наблюдался сигнал ЭПР, изображенный на соседнем рисунке
- б.** Сигнал ЭПР, записанный на самописце при развертке электрического поля от 0 до 1000 $\text{кв}\cdot\text{см}^{-1}$

Разные знаки в (2) соответствуют двум неэквивалентным положениям иона Cr^{3+} , связанным друг с другом преобразованием инверсии. На рисунке(а) приведена зависимость положения энергетических уровней иона Cr^{3+} от поля E . Зависимость положения энергетических уровней от элек-

трического поля позволяет наблюдать линию ЭПР в нулевом внешнем магнитном поле при развертке внешнего электрического поля.

Эксперимент для наблюдения линии ЭПР без внешнего магнитного поля проводился на спектрометре ЭПР прямого усиления с клистроном, работающим в диапазоне от 11 до 12 кГц . Для повышения чувствительности электрическое поле модулировалось с частотой 680 Гц (амплитуда модуляции могла изменяться). Сигнал усиливался узкополосным усилителем и после синхронного детектирования на частоте модуляции записывался на самописце. Образец рубина с концентрацией хрома около 0,5% был вырезан в виде пластинки $13 \times 8 \times 0,2 \text{ мм}$, плоскость среза перпендикулярна оси c . Источник высокого напряжения позволял получать напряжение до 20 кВ , поэтому максимальная напряженность электрического поля в образце могла достигать 10^6 в. см^{-1} . Прозрачные для СВЧ электроды наносились непосредственно на обе поверхности образца. Образец помещался вдоль оси цилиндрического резонатора H_{011} . Напряжение, прикладываемое к образцу, плавно изменялось от нуля до 20 кВ в течение нескольких минут.

На рисунке (б) приведена фотография одного из полученных сигналов ЭПР.

Благодаря модуляции электрического поля и синхронному детектированию, сигнал записывается в виде производной. В данном эксперименте частота СВЧ колебаний равнялась 11206 МГц . Центр линии ЭПР соответствует электрическому полю 548 кВ. см^{-1} . Из (2) сразу определяется $R_{333} = 0,173 \pm 0,006 \text{ МГц на кВ. см}^{-1}$, что в пределах ошибки эксперимента совпадает с величиной этого параметра, найденной в [1]. Ширина линии ЭПР в точках максимального наклона около 500 кВ. см^{-1} , или, согласно (2), 270 МГц . Положение центра линии в электрическом поле меняется в зависимости от частоты СВЧ колебаний, как и следует из (2). Форма линии ЭПР, приведенной на рисунке (б), лоренцева.

Ширина и форма линии ЭПР, по-видимому, определяются распределением величин параметра D в кристалле [3]. Полученная нами полуширина линии ЭПР соответствует полуширине кривой распределения D в кристалле, равной 135 МГц . Это значительно больше, чем величина, полученная на основе анализа причин уширения обычных линий ЭПР в рубине [3]. Различие может быть обусловлено тем, что наш эксперимент проводился на образцах с гораздо большей концентрацией и очень неоднородным распределением в объеме кристалла иона хрома.

В заключение отметим, что при помощи предложенной нами методики, можно, в частности, непосредственно определить константу D . Для этого необходимо при нескольких значениях ν найти резонансное поле E . Полученная нами таким образом константа близка к известным в литературе.

Выражаем благодарность М.Ф.Дейгену за обсуждение результатов, П.Т.Левковскому, В.М.Максименко и Л.И.Бережинскому за техническую помощь.

Литература

- [1] E.B.Royce, N.Bloembergen. Phys.Rev., 131, 1912, 1963.
- [2] E.O.Schulz-DuBois. Bell Syst. Techn. J., 38, 271, 1959.
- [3] R.F.Wenzel, Y.W.Kim. Phys. Rev., 140, A1592, 1965.