

БЕСПОЛЕВОЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЗОНАНС В РУБИНЕ (T-РЕЗОНАНС)

А. А. Бугай, В. М. Максименко

Система уровней основного состояния иона Cr^{3+} в Al_2O_3 состоит из двух крамеровских дублетов, разделенных энергетическим зазором $2D$, где D – константа аксиального кристаллического поля в спин-гаммильтониане, описывающем поведение этих уровней. Величина константы D неоднократно определялась при комнатной и более низких температурах. Мы нашли, что при температурах выше комнатной D зависит от температуры следующим образом :

$$2|D(T)| = 2|D_0| + D^*T,$$

где $D_0 = -5735 \text{ МГц}$, известное значение D при температуре 300°K ; $D^* = 0,6 \text{ МГц} \cdot \text{град}^{-1}$.

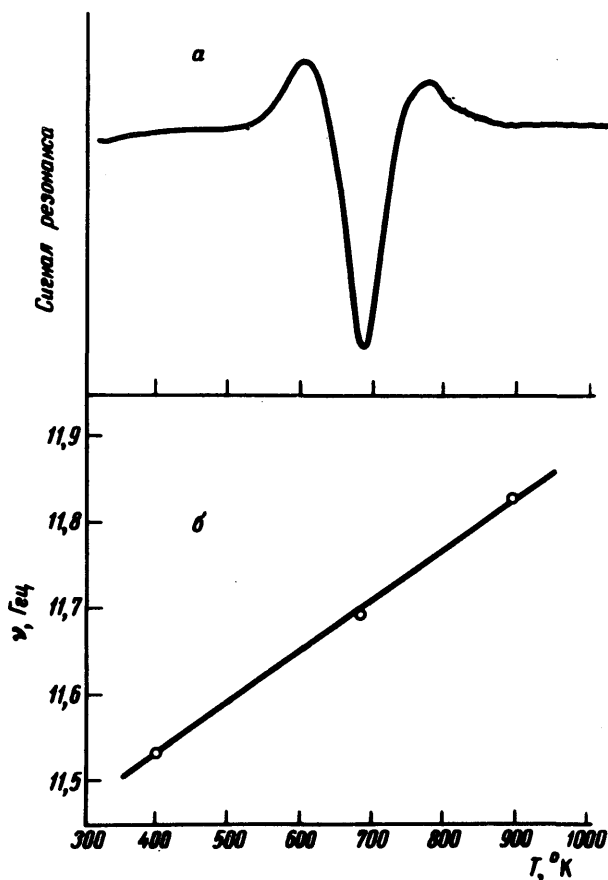
Зависимость D от T позволяет наблюдать в парамагнитном кристалле – рубине – новый вид бесполевого резонанса в условиях, когда частота микроволнового излучения зафиксирована, а "прохождение" через резонанс осуществляется посредством медленного изменения температуры.

Эксперименты по температурному резонансу проводились на образце с концентрацией хрома 0,05%. Образец помещался в резонатор СВЧ спектрометра, где он мог нагреваться до температуры 1000°K платиновой печью. Резонатор настраивался на частоту превышающую $2|D_0|$ на несколько сот мегагерц. Затем температура образца медленно изменялась посредством изменения тока, нагревающего платиновую печь.

С нагреванием образца собственная частота и добротность резонатора изменяются, поэтому применить систему прямого усиления сигнала поглощения трудно. Мы использовали систему магнитной модуляции сигнала поглощения. В резонатор вводились стержни, по которым пропусклся переменный ток с частотой 5 кГц , создававший переменное магнитное поле величиной в несколько гаусс.

Каждый из двух уровней основного состояния, между которыми наблюдались квантовые переходы при выполнении условия резонанса, двукратно вырожден по спину. Наложение слабого внешнего переменного магнитного поля приводит к расщеплению каждого из уровней на два, причем это расщепление происходит дважды за один период модуляции. В этом случае сигнал резонансного поглощения появляется на удвоенной (по отношению к модуляции) частоте, а форма сигнала поглощения является второй производной от огибающей распределения плотности состояний на уровнях, между которыми наблюдается переход.

На рис. *a* представлен один из сигналов поглощения, наблюдавшихся нами при частоте клистрона 11,69 Гц. Температура изменялась в пределах от 300 до 1000°К. В максимуме поглощения температура равна



a – сигнал поглощения T -резонанса в рубине на выходе СВЧ спектрометра, *b* – зависимость частоты резонансных переходов от резонансной температуры

680°К. Ширина линии поглощения в точках, соответствующих точкам максимального наклона интегральной кривой, равна 80°.

На рис. *b* представлена зависимость частоты ν , на которой наблюдалось поглощение, от резонансного значения температуры.

В ряде случаев исследование бесполевого резонанса в рубине имеет преимущества перед исследованиями электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Так, исследования спин-решеточной релаксации в рубине в нулевом магнитном поле [1 – 3] показали, что теоретические

расчеты существенно упрощаются, а сопоставление теории и эксперимента облегчается. В [4] исследовался резонанс в рубине в нулевом магнитном поле при развертке внешнего электрического поля. (Этот вид резонанса в парамагнетике предложено [5] называть *E*-резонансом). В последнем случае в расчетах необходимо учитывать внешнее электрическое поле. Рассмотренный здесь температурный резонанс позволяет в некоторых парамагнитных кристаллах решать ряд задач в условиях, когда система уровней основного состояния парамагнитного иона предельно проста, а отсутствие внешних магнитного и электрического полей существенно упрощает теоретические расчеты. Такими задачами могут быть исследования спин-решеточной релаксации при высоких температурах, неоднородностей внутрикристаллического электрического поля, магнитных диполь-дипольных взаимодействий парамагнитных ионов, температурных изменений констант спин-гамилтониана и т. п. Информацию можно получить из резонансных значений температур (например, график на рис. 6 является температурной зависимостью величины $2D$) и из формы и ширины сигнала *T*-резонанса.

В заключение выражаем благодарность М.Ф.Дейгену и А.Б.Ройцину за обсуждение результатов.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
25 марта 1971 г.

Литература

- [1] А.А.Маненков, Ю.К.Данилейко. Письма в ЖЭТФ, 2, 414, 1965.
 - [2] С.А.Песковацкий. ФТТ, 7, 3678, 1965.
 - [3] С.А.Ватес, J.P.Bentley, R.A.Lees, W.S.Moore. J.Phys. C, 2, 1970, 1969.
 - [4] А.А.Бугай, А.Б.Ройцин. Письма в ЖЭТФ, 5, 82, 1967.
 - [5] М.Ф.Дейген. Труды XVI конгресса АМРЕРЕ (Бухарест, 1–5 сентября 1970 г.), в печати.
-