

## О МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСАХ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКАХ

Л.Н. Батуров, Б.И. Альшин, Р.В. Зорин

Показана тесная связь магнитоэлектрических резонансов (МЭР), ранее обнаруженных в  $\text{BaCoF}_4$ ,  $\text{BaMnF}_4$  с пьезоэлектрическим эффектом. Свойства МЭР подробно изучены на кварце. Показана высокая чувствительность величин МЭР к весьма малым деформациям кристалла.

В [1] сообщалось об обнаружении и исследовании в сегнетоэлектриках  $\text{BaMnF}_4$ ,  $\text{BaCoF}_4$  так называемых магнитоэлектрических резонансов (МЭР), т. е. появления в присутствии постоянного магнитного поля  $H$  магнитного излучения кристалла на некоторых частотах приложенного к нему переменного электрического поля  $E\sim$ . Эффект наблюдался как в парамагнитной, так и в антиферромагнитной фазах кристалла. Делался вывод о том, что МЭР имеют магнитную природу и не связаны с пьезоэлектрическими свойствами исследуемого образца.

В настоящем сообщении приводятся результаты дальнейшего исследования этого явления. Методика исследования в основном была та же, что и подробно описанная в [1]. Электрическое поле  $E\sim$  накладывалось на образцы с помощью вожатых серебряных электродов. Магнитное излучение регистрировалось приемной катушкой, включенной на вход усилителя У2-6.

Был изучен широкий класс диэлектриков с весьма разными магнитными свойствами (диа-, пара-, антиферромагнетизм) и имевшими аморфное, поли- или монокристаллическое состояние. Установлено, что МЭР наблюдаются только в монокристаллических образцах, причем не только в сегнетомагнетиках (фторметаллаты, борациты), но и в диамагнетиках (кварц,  $\text{Mg}-\text{Cl}$ -борацит, сегнетова соль, ТГС).

Оказалось, что необходимым условием существования МЭР является совпадение  $E\sim$  с пьезоэлектрическим направлением в кристалле. Так, МЭР в ТГС исчезали при переходе из сегнетоэлектрической фазы в центросимметричную. На кварце МЭР наблюдались при наложении  $E\sim$  вдоль осей  $x$  и  $y$  и не наблюдались при  $E\sim$  вдоль оси  $z$  (непьезоэлектрическое направление). В плавленном кварце эффект отсутствовал.

В  $\text{Ni}-\text{Cl}$ ,  $\text{Ni}-\text{J}$  борацитах,  $\text{BaMnF}_4$  и  $\text{BaCoF}_4$  наблюдалось резкое изменение величин МЭР при температурах магнитных переходов.

Мы подробно исследовали МЭР на кварце — кристалле, не обладающим дипольными магнитным и электрическим упорядочениями. Исследование проводилось в интервале температур 4,2 — 300К при наложении  $E\sim$  (величиной до 3 кВ/см) вдоль оси  $x$  в диапазоне частот  $0,5 \pm 5$  кГц. При комнатной температуре МЭР наблюдались при любом взаимном расположении измерительной катушки, образца и поля  $H$ . Температурные измерения проводились для случая, когда магнитное поле располагалось в плоскости  $yz$  кристалла, а ось катушки совпадала с осью  $x$ . МЭР наблюдались как на частотах поля  $E\sim$ , так и на удвоенных частотах. Вели-

чины МЭР<sup>1</sup> зависили косинусоидальным образом от направления магнитного поля. Направления поля  $H$ , при которых величины МЭР<sup>1</sup> достигали максимума, были различными для резонансов на разных частотах и не соответствовали каким-либо характерным направлениям в исследуемых кристаллах. При 300К ширина МЭР<sup>1</sup> (на уровне 0,7) составляла несколько десятков герц. В интервале 100 ÷ 300К наиболее интенсивные МЭР<sup>1</sup> наблюдались на удвоенных частотах поля  $E^{\sim}$ . С понижением температуры ширина МЭР<sup>1</sup> уменьшалась и при 4,2К составляла несколько герц. При понижении температуры наблюдалось увеличение значения резонансных частот, достигавшее 2 гц/К. Было обнаружено, что отдельные МЭР<sup>1</sup> существуют лишь в интервалах температур в несколько десятков градусов, но при любой температуре какие-либо МЭР<sup>1</sup> всегда наблюдались.

Сдвига частот МЭР<sup>1</sup> при изменении величин  $E^{\sim}$  и  $H$  (до 10 кэ) не наблюдалось.

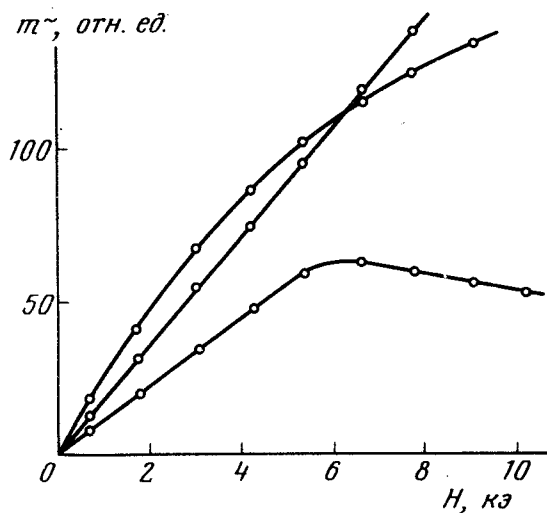


Рис. 1. Виды зависимостей величин резонансов от значения магнитного поля

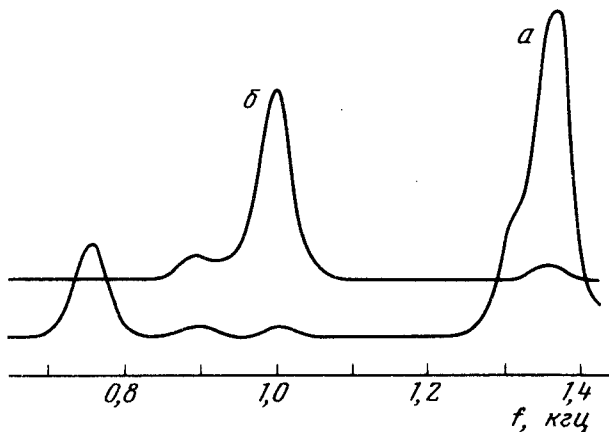


Рис. 2. Вид части спектра МЭР<sup>1</sup> при давлении  $\sigma = 300$  г/см<sup>2</sup> (а) и  $\sigma = 0$  (б)

При одной и той же температуре характер зависимости величины резонансного сигнала от значения  $H$  был различным на разных частотах (рис. 1) и не менялся с изменением величины  $E^{\sim}$ . Зависимость величин МЭР<sup>1</sup>, наблюдаемых на основных и удвоенных частотах, от значений  $E^{\sim}$  имела, соответственно, линейный и квадратичный характер.

Следует отметить, что вид спектра МЭР<sup>1</sup> часто не воспроизводился при одной и той же температуре после термоциклирования, а также при переходе от одного образца к другому, что существенно затрудняет исследование физической природы явления. Одной из причин такой невоспроизводимости, по-видимому, является обнаруженная нами чрезвычайная чувствительность величин МЭР<sup>1</sup> к малым деформациям образца. Так, давление порядка 300 г/см<sup>2</sup> в некотором направлении в плоскости  $yz$  приводило к увеличению в несколько десятков раз амплитуды одних МЭР<sup>1</sup> и практическому исчезновению других (рис. 2). Подобные явления наблюдались и на других пьезоэлектриках.

Наблюдение МЭР<sup>1</sup> на кварце указывает на то, что резонансы связаны с пьезоэлектрическим эффектом и не связаны с магнитным или электрическим упорядочениями какого-либо типа.

Известно [2], что на низких частотах колебания заряженной кристаллической решетки не дают магнитного поля вблизи кристалла. Поэтому, принимая во внимание наличие МЭР<sup>1</sup> в самых разных по физическим свойствам образцах, можно предположить, что МЭР<sup>1</sup> связаны с примесными магнитными центрами, наличие которых является общим свойством обычных кристаллических решеток. Вопрос же о характере взаимодействия этих центров с решеткой остается, конечно, открытым.

Всесоюзный  
научно-исследовательский институт  
физико-технических  
и радиотехнических измерений

Поступила в редакцию  
18 октября 1978 г.

### Литература

[1] Б.И.Альшин, Д.Н.Астров, Р.В.Зорин. ЖЭТФ, 63, в. 12, 1972; Р.В.Зорин, Б.И.Альшин, Д.Н.Астров. ЖЭТФ, 62, в.3, 1972.

[2] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля, М., изд. Наука, 1973, § 72.