

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СПЕКТР ЭЛЕКТРОННОГО РЕЗОНАНСА В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННОМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ

М.П.Петров, С.А.Кижав, Г.А.Смоленский

Существование магнитоэлектрического эффекта в магнитоупорядоченных кристаллах [1] дает основание предположить, что может наблюдаться изменение спектра электронного резонанса в этих кристаллах при наложении внешнего электрического поля.

Мы изучили влияние электрического поля на электронный резонанс в $Ga_{0,85}Fe_{1,15}O_3$ ($T_c = 308^\circ K$) и обнаружили отчетливый эффект, который заключается в изменении формы и положении линии электронного резонанса в зависимости от напряженности внешнего электрического поля. Кристаллы $Ga_xFe_{2-x}O_3$ ($0,7 < X < 1,4$) имеют ромбическую симметрию, пространственная группа C_{2v}^9 [2]. Они являются ферромагнетиками и пьезоэлектриками [3] и обладают наибольшим магнитоэлектрическим эффектом по сравнению с другими исследованными кристаллами [4].

Кристаллы были выращены путем кристаллизации из раствора Ga_2O_3 и Fe_2O_3 в расплаве Bi_2O_3 и B_2O_3 . Образцы, которые мы использовали для измерений, имели вид параллелепипедов, длиной 1–1,5 мм, поперечное сечение $0,06 \pm 0,09$ мм². Электроды наносились путем вжигания

серебряной пасты на торцы кристалла таким образом, что внешнее постоянное электрическое поле было направлено вдоль оси $[001]$. Измерения проводились на супергетеродинном спектрометре электронного резонанса РЭ-1304, работающем в диапазоне 8 мм.

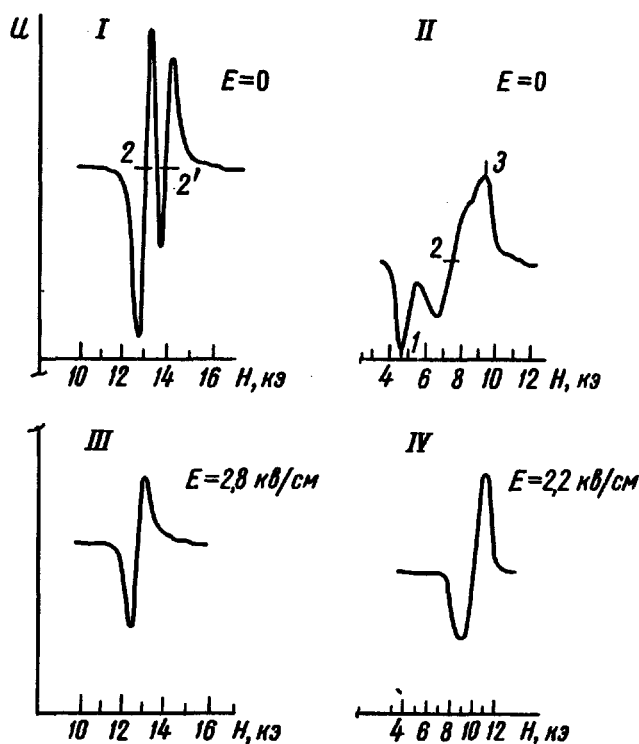


Рис.1. Форма линий электронного резонанса в I и III ориентаций $H \parallel [100]$, $E \parallel [001]$; II и IV ориентация $H \parallel E \parallel [001]$

На рис.1 приведены первые производные линий поглощения электронного резонанса в $\text{Ga}_{0,85}\text{Fe}_{1,15}\text{O}_3$ при $T = 298^\circ\text{K}$. Как видно из рисунков I и II в отсутствие электрического поля для каждой ориентации линии электронного резонанса имеет сложную форму. Не исключено, что, в действительности, это — суперпозиция, по крайней мере, двух линий. На рисунке III и IV показаны линии при наличии внешнего электрического поля. В этом случае наблюдаются только одиночные линии довольно правильной формы.

Условимся описывать ширину линии ΔH как расстояние между крайними экстремумами производной (точки 1 и 3 на рис.1-II), а положение H_0 — точкой перехода производной через ноль (точки 2 и 2'). На рис.2 показаны зависимость H_0 и ΔH от величины электрического поля при $H \parallel E \parallel [001]$.

На рис.3 приведены значения H_0 при ориентации $H \parallel [100]$ и $E \parallel [001]$ в зависимости от E для различных температур.

Диапазоны прикладываемых электрических полей определялись электропроводностью образца. Мы измерили проводимость образца σ в зависимости от E . Приведенные выше результаты соответствуют таким значениям E , при которых электропроводность изменяется не более, чем в 1,5 + 2 раза. Величина σ по нашим данным невелика ($\sim 10^{-5} + 10^{-4} (\text{ом см})^{-1}$) и мы считаем, что изменение электропроводности в наблюдаемых эффектах несущественно.

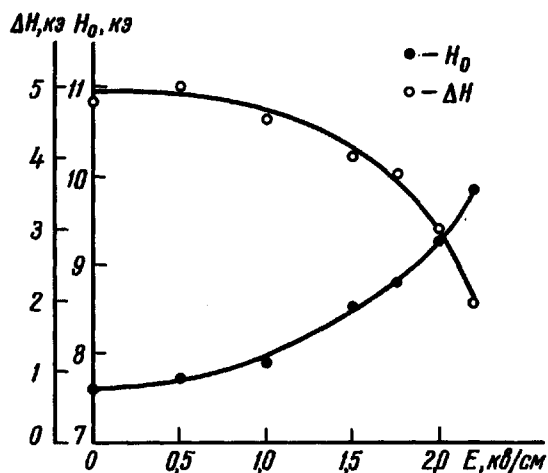


Рис.2. Зависимость положения (H_0) и ширины линии (ΔH) от величины напряженности внешнего электрического поля (E), при ориентации $\text{H} \parallel \text{EM}[001]$

В приведенных выше результатах можно отметить следующие особенности.

1. Сложный вид и большая ширина линии электронного резонанса в монокристалле в отсутствие внешнего электрического поля.
2. Полное исчезновение сложной структуры при наложении достаточно больших электрических полей.
3. Практически полное отсутствие влияния электрического поля на спектр резонанса в парамагнитной области (рис.3).

Для объяснения наблюдаемых явлений можно рассмотреть следующую модель. Благодаря магнитоэлектрическому взаимодействию в магнитоупорядоченном пьезоэлектрике возникает так же и некоторая электрическая поляризация. Тогда прецессия магнитного момента сопровождается соответствующей прецессией электрической поляризации. Совместное движение двух моментов может привести к изменению формы линии ферромагнитного резонанса или даже к расщеплению линии на две (или большее число линий, если имеются электрические домены). Причем этот эффект должен зависеть от ориентации образца так как χ_{ME} (магнитоэлектрическая восприимчивость) – тензор. При наложе-

нии достаточно большого внешнего электрического поля движение электрического момента затормаживается и тогда наблюдается обычная линия ферромагнитного резонанса. В парамагнитной фазе эффект должен

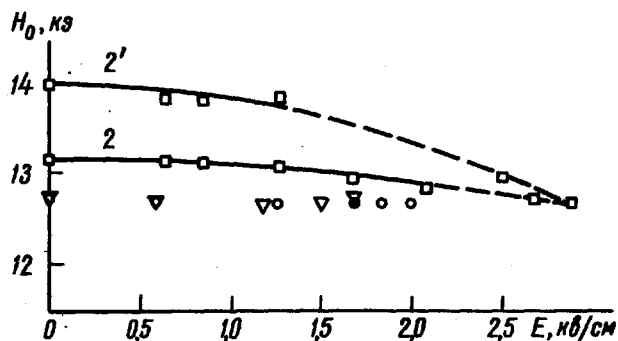


Рис.3. Зависимость максимумов линии (0-производной) от величины напряженности поля E при различных температурах для ориентации $H \parallel [100]$, $E \parallel [001]$ □ - $T = 298^\circ\text{K}$; ○ - $T = 315^\circ\text{K}$, ▽ - $T = 323^\circ\text{K}$. Зависимости 2 и 2' - соответствуют точкам 2 и 2' на рис.1-1

быть существенно слабее из-за малого значения намагниченности во внешнем поле.

Кроме описанных измерений были выполнены также исследования на образцах сферической формы и на частотах в диапазоне 3 см. Получены аналогичные результаты.

Авторы благодарят И.Е.Мыльникову за приготовление монокристаллов.

Институт полупроводников
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
8 сентября 1967 г.

Литература

- [1] И.Е.Дзялошинский. ЖЭТФ, 37, 881, 1959.
- [2] E.A.Wood. Acta Cryst., 13, 682, 1960.
- [3] J.P.Remeika. J.Appl. Phys., 31, 263, 1960.
- [4] G.T.Rado. Phys. Rev. Lett., 13, 335, 1964.