

ПЕРЕХОД СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА В СОСТОЯНИЕ С МАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Э.В.Бурсиан, Я.Г.Гиршберг, В.А.Егоров, Р.Х.Калимуллин

В сегнетоэлектрике-полупроводнике GeTe обнаружено возникновение магнитного момента при освещении. Момент исчезает при фазовом переходе в параэлектрическое состояние. Явление интерпретируется либо как следствие аномального фотовольтаического эффекта, образующего круговые токи, либо как переход в ферромагнитное состояние во внешнем электромагнитном поле.

Обнаружено резкое изменение ориентации кристаллической пластинки GeTe, подвешенной в магнитном поле, при освещении. Механический крутящий момент не мал: при 20°С для кристалла размерами $6 \times 6 \times 3 \text{ мм}^3$ при освещении грани с большей поверхностью слегка сфокусированным светом от проекционной лампы накаливания ($\sim 1 \text{ Вт/см}^2$) и при упругости нити подвеса $\sim 10^{-8} \text{ Н·м/рад}$ происходит поворот кристалла на 10 и более градусов в поле $\sim 1 \text{ кГс}$. Этот механический момент заметно больше того, который в таком поле действует на образец благодаря его диамагнетизму. Кроме того, в отличие от последнего, эффект нечетен по магнитному полю (рис. 1). Это означает, что в кристалле при освещении возникает спонтанный магнитный момент M_s . (Спонтанный в том смысле, что его причиной не является сопряженное магнитное поле. Внешнее поле используется только как измерительное). В указанных условиях величина M_s порядка $10^{-5} - 10^{-4} \text{ А·см}^2$. При повороте образца вокруг волнового вектора света $Q = Qk$ на 180° (рис. 1) знак отклонения $\Delta\varphi$ меняется на противоположный, то есть ориентация M_s задается некоторым полярным направлением в образце (точнее – в поверхностном освещаемом слое, так как использованный свет проникает в кристалле на незначительную глубину).

Отклонение $\Delta\varphi$ (магнитный момент M_s) при освещении содержит динамическую (первый отброс) и статическую части. При выключении света наблюдается кратковременный отброс в сторону, противоположную первому отбросу. Эффект линейно зависит от интенсивности света.

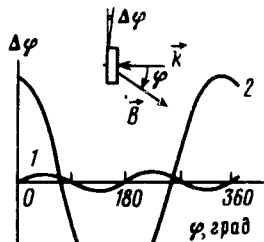


Рис. 1

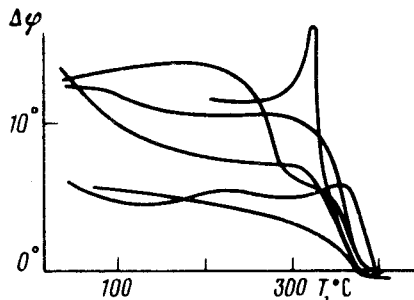


Рис. 2

Рис. 1. Угол поворота образца в зависимости от ориентации внешнего поля B : 1 – в темноте (следствие диамагнетизма), 2 – световая добавка, $T = 20^\circ C$

Рис. 2. Примеры зависимости световой добавки поворота кристалла в магнитном поле от температуры; $\varphi = 45^\circ$

Температурная зависимость $M_s(T)$ имеет сложный и индивидуальный для каждого кристалла характер (рис. 2), но наиболее существенно то обстоятельство, что при температуре около $400^\circ C$ наблюдается резкое уменьшение и динамической, и статической частей M_s до нуля или, по крайней мере, до трудно измеряемых значений (рис. 2). Вблизи этой температуры, как известно, в GeTe происходит фазовый переход из сегнетоэлектрической в параэлектрическую фазу.

Динамическая часть эффекта может быть связана с изменением спонтанной поляризации P_s при облучении (пироэффект, эффекты экранировки P_s неравновесными носителями, оптическое детектирование и т. п.¹). В результате в освещенной части кристалла образуются круговые токи, направление которых задается направлением P_s в этой части. Не освещенные части кристалла играют роль замыкающей нагрузки. В таком случае оказывается, что P_s в GeTe не мала, по грубым оценкам, ее величина находится в пределах от 10 до 100 мкКл/см². Заметим, что это было бы первым свидетельством самого существования P_s в узкощелевом сегнетоэлектрике и первым способом исследования ее температурной зависимости. До сих пор в сильно проводящих сегнетоэлектриках диэлектрические измерения давали возможность оценить только ϵ_0 .

Статическая часть эффекта (установившееся стационарное отклонение $\Delta\varphi$) также может быть объяснена макроскопическими токами¹. Ниже перехода при освещении могут устанавливаться замкнутые токи, обязанные аномальному фотогальваническому эффекту (АФГЭ)^{2, 3}. Если это так, то обращает на себя внимание большая величина так называемой „константы“ Гласса K . Для обеспечения названных значений M_s круговой ток должен быть порядка 100 мкА, что соответствует $K \sim 10^{-6}$ А·см/Вт. Это на три порядка больше, чем в широкощелевых сегнетоэлектриках, что согласуется с предсказанием сильной зависимости K от электронного спектра².

1) В дефектных кристаллах замкнутые токи могут быть и не связаны с P_s и появляться в результате фотоэдс на $p-n$ переходах, термоэдс на неоднородностях по составу, и т. д. В образцах с не очищенной поверхностью явно наблюдаются сильные термотоки. В этих случаях смещение светового пятна от одного конца кристалла к другому меняет знак M_s , что может соответствовать нагреву того или иного „спая“ термопары. Но такой тепловой эффект развивается и исчезает по мере нагрева образца в течение секунд (десятков секунд). В однородных образцах с очищенной поверхностью он фактически исчезает. Названные причины в отдельных случаях, по-видимому, имеют место, однако они без произвольных дополнительных предположений не объясняют исчезновения M_s при сегнетоэлектрическом фазовом переходе и ниже не обсуждаются.

Иной, бестоковой микроскопической причиной возникновения M_s может быть наведенный внешним электромагнитным полем слабый ферромагнетизм — эффект, в поисках которого и была предпринята эта работа. Как и возникновение АФГ-тока, появление M_s во внешнем поле $E = E_0 e^{i[Qr - \omega_L t]}$ обусловлено специфическим рассеянием неравновесных носителей, связанным с появлением ниже порога электронного параметра порядка $\vec{\Phi} = \Phi c$. Вычисления качественно сходны с соответствующими в ² и сводятся к нахождению полевых поправок к недиагональным элементам матрицы плотности $\rho_{\alpha\beta}(p)$ (недиагональным функциям Грина $\tilde{G}_{\alpha\beta}(p, \omega)$). Теперь, однако, наряду с обычным дипольным взаимодействием, необходимо учесть переходы с изменением спина. Конкретный расчет дает

$$M_s \simeq (\Phi/\omega_L)(\lambda_0/\omega_L)^2 (m\omega_L)^{3/2} [(\omega_L - E_g)/\omega_L][Q^2/(m\omega_L)]^{1/2} \mu_B,$$

где E_g — ширина запрещенной зоны исходного спектра, а остальные обозначения совпадают с ^{2,3}. Как и АФГ-ток, эффект возможен только при наличии реальных переходов (т.е. при $\omega_L > E_g$) и не содержит характерных времен релаксации.

Относительный вклад в M_s предполагаемых механизмов требует дальнейшего изучения. Однако достоверность существования самого эффекта не вызывает сомнений.

Литература

1. Фридкин В.М. Фотосегнетоэлектрики. М., Наука, 1979.
2. Бурсиан Э.В., Гиршберг Я.Г., Трунов Н.Н. ЖЭТФ, 1982, 82, 1170.
3. Gärshberg Ya. G., Trunov N.N., Bursian E. V. Ferroelectrics, 1982, 43, 143.