

ЭЛЕКТРОГИРАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛАХ КВАРЦА

О. Ф. Влох

Среди нелинейных параметрических эффектов, возникающих в кристаллах под действием внешнего электрического поля, хорошо известны линейный и квадратичный электрооптические эффекты, проявляющиеся в изменении преломляющих свойств кристаллов. В наших исследованиях обнаружен эффект, состоящий в изменении под действием внешнего электрического поля гириационных свойств кристаллов¹⁾. Исследования проводились на кристаллах кварца, вырезанных перпендикулярно или параллельно к оптической оси. В первом случае определялось изменение удельного вращения плоскости поляризации излучения гелий-неонового лазера ($\lambda = 632,8 \text{ мкм}$) под воздействием составляющих поля E_x или E_y . При этом в соответствии с условиями симметрии [1, 2] удельное вращения плоскости поляризации (гирацию) ρ_3 можно представить разложением в ряд по четным степеням электрического поля $E_{x,y}$. В первом приближении получаем

$$\rho_3 = \rho_3^0 + \beta_{31} E_{x,y}^2 = \frac{\pi}{\lambda n_0} (g_{33} + \beta_{31}^* E_{x,y}^2), \quad \Delta\rho_3 = \frac{\pi}{\lambda n_0} \beta_{31}^* E_{x,y}^2, \quad (1)$$

где ρ_3^0 — гирация при отсутствии поля, связанная с компонентой g_{33} аксиального тензора гирации второго ранга, β_{31} и β_{31}^* — коэффициенты квадратичной электрогирации или компоненты аксиального тензора электрогирации четвертого ранга соответственно без учета и с учетом обыкновенного показателя преломления n_0 [8], λ — длина волны в вакууме, $\Delta\rho_3$ — приращение гирации.

Зависимость величины $\Delta\rho_3$ при толщине $d_x = 10 \text{ см}$ от квадрата напряженности электрического поля $E_{x,y}$ представлена на рис. 1. Она хорошо описывается соотношениями (1), откуда находим $\beta_{31}^* = (40,6 \pm 3,1) \cdot 10^{-12}$ ед. CGSE при $\lambda = 632,8 \text{ мкм}$. Влияние линейного электрооптического эффекта на полученные результаты исключается [4], так как вдоль оптической оси имеет место циркулярное двулучепреломление.

Линейная электрогирация исследовалась на поляризационной системе с монохроматором ЗМР-3 по ориентации эллипса поляризации, возникающей [5, 6] при пропускании линейно поляризованного света перпендикулярно к оптической оси через два идентичных образца x -среза кристаллов кварца толщиной $d_x = 1 \pm 0,01 \text{ мм}$ даже тогда, когда падающий луч поляризован параллельно или перпендикулярно к главной плоскости и в образцах компенсировалось обычное двулучепреломление. Учитывая влияние поля E_x , угол ρ_1 , определяющий

¹⁾Предположение о возможности возникновения линейного электрогирационного эффекта в кристаллах впервые высказывалось в работе И.С. Желудева [1].

ориентацию большой оси эллипса поляризации относительно плоскости поляризации падающего луча, в первом приближении можно представить в виде

$$\rho_1 = \rho_1^0 + \gamma_{11} E_x = \frac{1}{n_o^2 - n_e^2} (g_{11} + \gamma_{11}^* E_x), \quad \Delta \rho_1 = \frac{1}{n_o^2 - n_e^2} \gamma_{11}^* E_x, \quad (2)$$

где n_o — необыкновенный показатель преломления, g_{11} — компонента аксиального тензора второго ранга естественной активности, γ_{11} и γ_{11}^* — компоненты аксиального тензора третьего ранга линейной электрогирации соответственно без учета и с учетом показателей преломления, $\Delta \rho_1$ — приращение гирации (угла ρ_1).

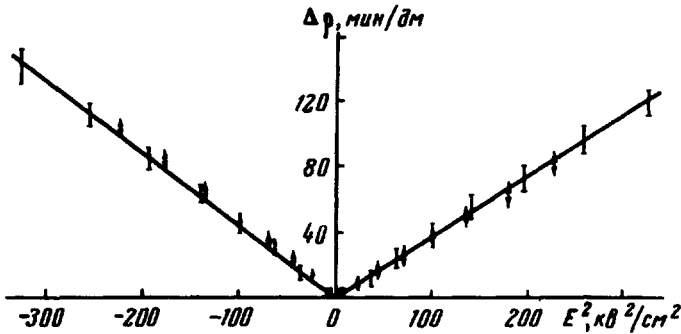


Рис.1. Изменение поворотной способности $\Delta \rho_3$ кристаллов кварца в зависимости от квадрата напряженности электрического поля. \uparrow — для поля E_x , \downarrow — для поля E_y . На графике указан разброс точек при многократных измерениях в скрещенных поляроидах, установленных в положение совпадения плоскостей поляризации с осями x и y , под углом $\pm 45^\circ$ к x и y , а также при произвольной ориентации поляроидов, обеспечивающей 50%-ное пропускание без поля

Исследования показывают, что синусоидальные зависимости величины ρ_1 от длины волны при противоположных направлениях постоянного поля E_x (рис. 2), симметрично смещаются относительно положения без поля. Изменение периода синусоиды вследствие пьезодеформации не наблюдается. Амплитуда колебаний эллипса поляризации по существу не меняется, однако эти колебания происходят относительно нового равновесного положения плоскости поляризации анализатора, что в случае отсутствия эллиптичности в двулучепреломлении соответствовало бы простому изменению поворота плоскости поляризации, зависящему от знака поля.

Зависимость $\Delta \rho_1$ в условиях экстремумов и средних значений от величин напряженности поля E_x , действующего на один или оба образца (рис. 3), указывает на линейный характер электрогирации, причем в случае действия поля на один образец $\Delta \rho_1$ вдвое меньше, чем при его действии на оба образца. Следовательно, эффект электрогирации может накапливаться, что существенно от-

личает его от поворота оптической индикатрисы, обусловленного линейным электрооптическим эффектом. Кроме того, можно считать, что в отдельном образце $\Delta\rho_1 = \gamma_{11}d_x E_x = \gamma_{11}V_x$, где V_x — напряжение на кристалле. Следовательно, в кристаллах кварца линейная электрогирация состоит в общем повороте эллипса поляризации относительно плоскости поляризации падающего на пластинку x -среза линейно поляризованного света пропорционально напряженности поля E_x . Учитывая соотношение (2) по данным рис. 3 находим $\gamma_{11}^* = (12,7 \pm 1,4) \times 10^{-7}$ CCSE ед. для $\lambda = 461$ нм.

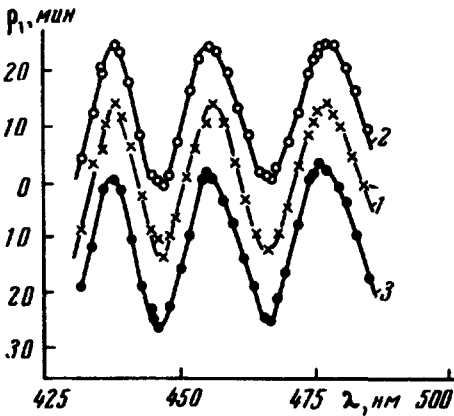


Рис. 2. Зависимость ориентации оси эллипса поляризации ρ_1 от длины волны λ : 1 — без поля, 2 и 3 — при напряжении 12 кВ на двух образцах

На основе представленных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что в кристаллах кварца наблюдаются принципиально новые параметрические нелинейные оптические эффекты (линейная и квадратичная электрогирация), состоящие в изменении гирационных свойств под действием электрического поля. Обнаруженные эффекты описываются аксиальными тензорами третьего и четвертого рангов, они могут наблюдаться и в других кристаллах, в том числе негирационных, в направлениях допускающих по условиям симметрии отличные от нуля компоненты аксиальных тензоров третьего и четвертого рангов, причем квадратичная электрогирация в противоположность к электрооптическому эффекту возможна только в ацентричных кристаллах, а линейная — во всех средах¹⁾. Эти эффекты могут возникать также спонтанно при сегнето- и антисегнетоэлектрических фазовых переходах. Существенно то, что по условиям симметрии в сегнетоэлектрических кристаллах с пентросимметричной параэлектрической фазой может возникать только линейный спонтанный электрогирационный эффект, в то время как спонтанный электрооптический эффект в этих кристаллах имеет квадратичный характер. В сегнетоэлектриках с исходной ацентричной параэлектрической фазой спонтанный электрогирационный эффект как и спонтанный электрооптический эффект может быть либо линейный, либо квадратичный. Условия реализации в последнем случае того или иного эффекта определяются формой аксиальных тензоров исходного класса симметрии и направлением спонтанной поляризации. При возникновении антиполяризации действие внутреннего поля эквивалентно [7]

¹⁾ Кроме кристаллов с симметрией $m\bar{3}m$, $\bar{4}3m$ и 432 [1].

влиянию на свойства кристаллов полярного тензора второго ранга, т. е. может реализоваться только квадратичная спонтанная электрогиратия. Следовательно, кристалл в параэлектрической фазе должен быть ацентричным — при антисегнетоэлектрическом фазовом переходе может возникать только квадратичная электрогиратия при условии, что в параэлектрической фазе кристалл ацентричный.

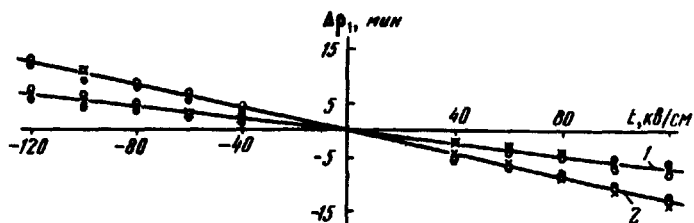


Рис.3. Зависимость приращения угла поворота эллипса поляризации $\Delta\rho_1$ от напряженности поля E_x : 1 — поле на одном образце, 2 — поле на двух образцах

Таких ограничений на возникновение квадратичного электрооптического эффекта при спонтанной антиполяризации нет, т. е. возникновение спонтанной антиполяризации сопровождается спонтанным квадратичным электрооптическим эффектом независимо от того центросимметрична или ацентрична исходная параэлектрическая фаза.

Львовский
государственный университет
им. И.Франко

Поступила в редакцию
15 декабря 1970 г.

Литература

- [1] И.С.Желудев. Кристаллография, 9, 4, 501, 1964.
- [2] О.Г.Влох, Т.Д.Крушельницкая. Кристаллография, 15, 3, 587, 1970.
- [3] Landolt-Börnstein. Physikalisch-chemische Tabellen, II, 736, Berlin, 1931.
- [4] О.Г.Влох. Укр. физ. ж., 15, 5, 759, 1970.
- [5] М.Борн. Оптика, Харьков, 1937.
- [6] А.Ф.Константинова, Н.Р.Иванов, Б.Н.Гречушников. Кристаллография, 14, 2, 283, 1969.
- [7] О.Г.Влох. Укр. физ. ж., 16, 10, 1001, 1965.