

## ОДНОРОДНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И ДВУПРЕЛОМЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ В НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

И.А.Рокос, Л.А.Рокосова, В.А.Кириков,  
В.В.Гладкий

Показано, что неоднородное электрическое поле индуцирует в кристаллах однородные составляющие деформации и двупреломления, линейные по градиенту поля. Интерферометрическим методом измерены величины этих эффектов в NaCl.

При однородной деформации кристалла любой группы симметрии должно появиться неоднородное электрическое поле, отвечающее его макроскопическому квадрупольному моменту. Такой пьезоэлектрический эффект экспериментально нетрудно наблюдать в центросимметричных кристаллах, где более сильные электрические эффекты, связанные с изменением дипольного момента, запрещены [1].

В данной работе на примере исследования кристаллов NaCl впервые обнаружены и измерены два обратных эффекта: в неоднородном поле появляются однородные составляющие деформации  $u_{ij}$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon_{ij}$ , линейные по градиенту поля.

Уравнения, связывающие  $u_{ij}$  и  $\epsilon_{ij}$  центросимметричной среды с полем  $E_l$ , имеют вид

$$u_{ij} = Q_{ijkl} E_k E_l + D_{ijkl} \nabla_k E_l, \quad \epsilon_{ij} = R_{ijkl} E_k E_l + C_{ijkl} \nabla_k E_l. \quad (1)$$

Все коэффициенты в (1) являются компонентами тензоров четвертого ранга, отличных от нуля в среде любой симметрии.  $Q_{ijkl}$  описывает электрострикцию,  $R_{ijkl}$  — электрооптический эффект Керра, а  $D_{ijkl}$  и  $C_{ijkl}$  — эффекты, исследуемые в данной работе.

Оценим порядок величин этих коэффициентов. Если  $E \sim \frac{e}{a^2}$ ,  $\nabla E \sim \frac{e}{a^3}$ , а  $u \sim \epsilon \sim 1$ , то  $D \sim C \sim \frac{a^3}{e} \sim 10^{-11} \div 10^{-13}$ , а  $Q \sim R \sim \frac{a^4}{e^2} \sim 10^{-10} \div 10^{-11}$  ед. CGSE ( $a$  — величина параметра элементарной ячейки,  $e$  — величина заряда электрона).

Рассмотрим образец центросимметричного кубического кристалла, имеющего форму прямоугольного бруска размерами  $c \times c \times l$ , к ребрам  $l$  которого приложено напряжение  $V$  так, как показано на рис. 1. Поле в образце при  $l \gg c$  с точностью до членов второго порядка по

координатам описывается потенциалом  $\phi \approx \frac{4V}{c^2} x_1 x_2$ . Согласно (1)

для матричных компонент имеем

$$u_1 = u_2 = Q_{11} E_1^2 + Q_{12} E_2^2, \quad u_6 = 2Q_{66} E_1 E_2 + D_{66} (\nabla_1 E_2 + \nabla_2 E_1).$$

Уравнения для  $\epsilon_i$  имеют аналогичный вид. Тогда изменение длины диагонали  $[110]$  грани образца, перпендикулярной ребру  $l$ , равно

$$\Delta L = \int_0^{c/2} (2u_1 + u_6) dx_1 = -\frac{4}{c} D_{66} V + \frac{4}{3c} (Q_{11} + Q_{12} + Q_{66}) V^2, \quad (2)$$

а наведенное полем двупреломление при прохождении луча света вблизи середины образца в направлении ребра  $l$

$$\Delta n = \Delta n_1 - \Delta n_2 \approx \frac{\Delta \epsilon_6}{2n} \approx \frac{2}{c^2 n} C_{66} V, \quad (3)$$

где  $\Delta n_1$  и  $\Delta n_2$  — изменения коэффициента преломления  $n$  вдоль диагоналей  $[110]$  и  $[\bar{1}10]$  соответственно.

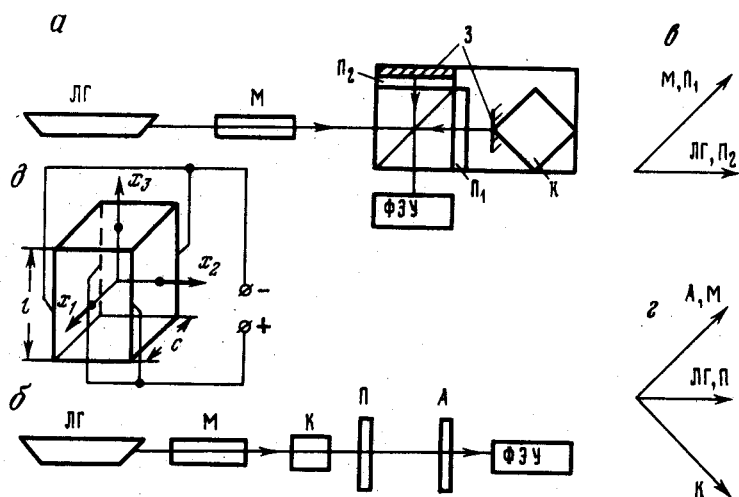


Рис. 1. Схема измерения: а — деформации и б — двупреломления кристаллов; в, з — направления оптических осей элементов схем а и б; в — форма образца и геометрия расположения электродов; ЛГ — лазер; М — электрооптический модулятор; П, П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub> — четвертьволновые пластинки; А — анализатор; З — зеркала; К — кристалл

Соотношения (2) и (3) проверены нами экспериментально. Размеры образцов NaCl —  $5 \times 5 \times 7$  мм<sup>3</sup>. Величина  $\Delta L$  измерялась с помощью поляризационного интерферометра типа интерферометра Майкельсона, а  $\Delta n$  — с помощью эллипсометрической схемы (рис. 1). Благодаря тому, что выходной сигнал был пропорционален произведению измеряемой и модулирующей величин и влияние нестабильности рабочей точки электрооптического модулятора на измерения исключалось, пороговая чувствительность (при жесткой стабилизации лучевого тракта) достигала в интерферометре  $3 \cdot 10^{-6} \lambda$  и в эллисметре —  $5 \cdot 10^{-7} \lambda$  ( $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ ) [2].

Определение чувствительности и направления фазового смещения в обеих схемах проводилось путем сравнения с линейным электрооптическим эффектом на кварце.

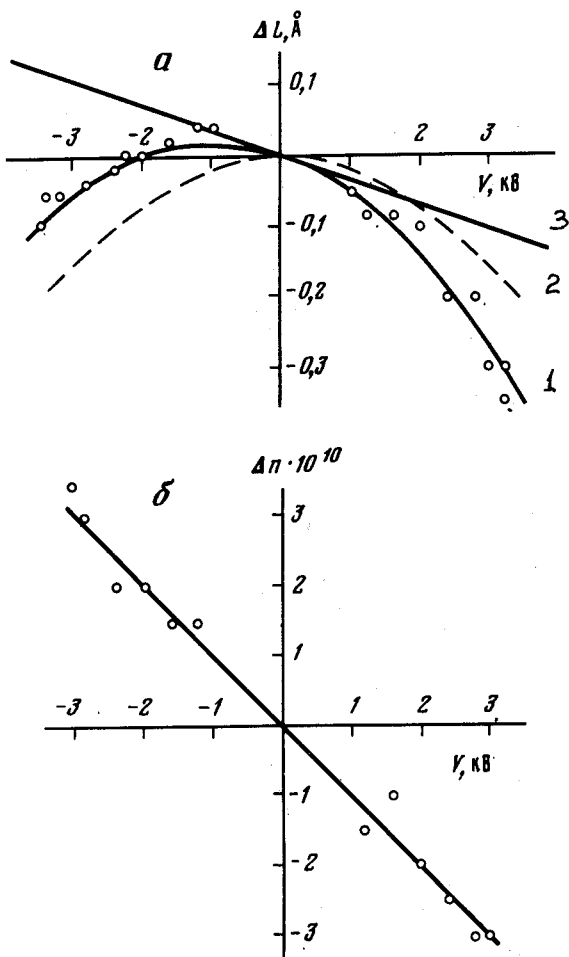


Рис. 2. Зависимости:  $a$  — изменения длины диагонали  $\Delta L$  и  $b$  — дупреломления  $\Delta n$  кристалла NaCl от электрического напряжения  $V$ ; 1 — данные измерений; 2 — составляющая  $\Delta L$ , отвечающая электрострикции; 3 —  $\Delta L$ , отвечающая однородной деформации; линейной по градиенту электрического поля

Результаты измерений приведены на рис. 2. Зависимости  $\Delta L$  и  $\Delta n$  от  $V$  хорошо описываются равенствами (2) и (3) с коэффициентами  $D_{66} \approx 1,3 \cdot 10^{-11}$ ,  $C_{66} \approx -6 \cdot 10^{-12}$ ,  $Q_{11} + Q_{12} + Q_{66} \approx -5,7 \cdot 10^{-12}$  ед. CGSE. Порядок величин коэффициентов совпадает с оценкой, приведенной выше. Точность измерений составляла  $\pm 30\%$ .

Представляет интерес измерение таких эффектов в области структурных фазовых переходов с параметром, являющимся компонентой тензора второго ранга. Естественно ожидать, что в этом случае эффекты будут аномально велики и по их температурной зависимости можно будет судить о поведении параметра перехода.

Заметим, что обнаруженные эффекты можно рассматривать как аналоги обратного пьезоэлектрического и линейного электрооптического эффектов в нецентросимметричных кристаллах. Различие между ними в том, что первые связаны с изменением макроскопического квадрупольного момента, а вторые — с изменением дипольного момента при внешних воздействиях.

Авторы признательны А.П.Леванюку и Д.Г.Санникову за обсуждение результатов.

Институт кристаллографии  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
16 мая 1979 г.

Институт физико-технических  
и радиотехнических измерений

### Литература

- [1] W.Voigt. Lehrbuch der Kristallphysik, Leipzig – Berlin, V.G.Teubner, 1928.
- [2] И.А.Рокос, Л.А.Рокосова. Автор. свид. №497942. Бюл. изобр. №21, 1978.
-