

Можно ли оптически одноосный кристалл сделать оптически изотропным

© Ю.Г. Носов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, Россия

E-mail: yu.nosov@mail.ioffe.ru

(Поступила в Редакцию 22 марта 2011 г.
В окончательной редакции 20 апреля 2011 г.)

Рассмотрена задача изменения показателей преломления оптически одноосного кристалла при его упругом деформировании. Напряжение прикладывается вдоль оптической оси кристалла. Показано, что при одноосном сжатии корунда и кварца показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей сближаются, но равными быть не могут.

Напомним часто рассматриваемую задачу: выколотый по плоскостям спайности {100} кубический оптически изотропный кристалл NaCl сжимается вдоль оси четвертого порядка. Что будет происходить с его показателем преломления? Решение этой задачи дает, что при сжатии кристалл NaCl из оптически изотропного становится одноосным оптически отрицательным и таким образом понижает свою оптическую симметрию. Направление сжатия становится в кристалле оптической осью. Такой кристалл характеризуется двумя главными показателями преломления, значения которых линейно меняются с изменением приложенного напряжения.

Зададимся вопросом: можно ли осуществить обратное действие, т.е., нагружая оптически одноосный кристалл, сделать его оптически изотропным и таким образом повысить его оптическую симметрию?

Рассмотрим два оптически одноосных кристалла: корунд Al₂O₃ и кварц SiO₂. Эти кристаллы (особенно корунд) имеют малую область пластической деформации, и в первом приближении можно считать, что при их сжатии (при комнатной температуре) после упругой деформации следует хрупкое разрушение. Такой выбор кристаллов позволяет избежать трудностей, связанных с тем, что при пластической деформации в полосах скольжения изменяется показатель преломления и, как следствие, кристалл перестает быть оптически однородным.

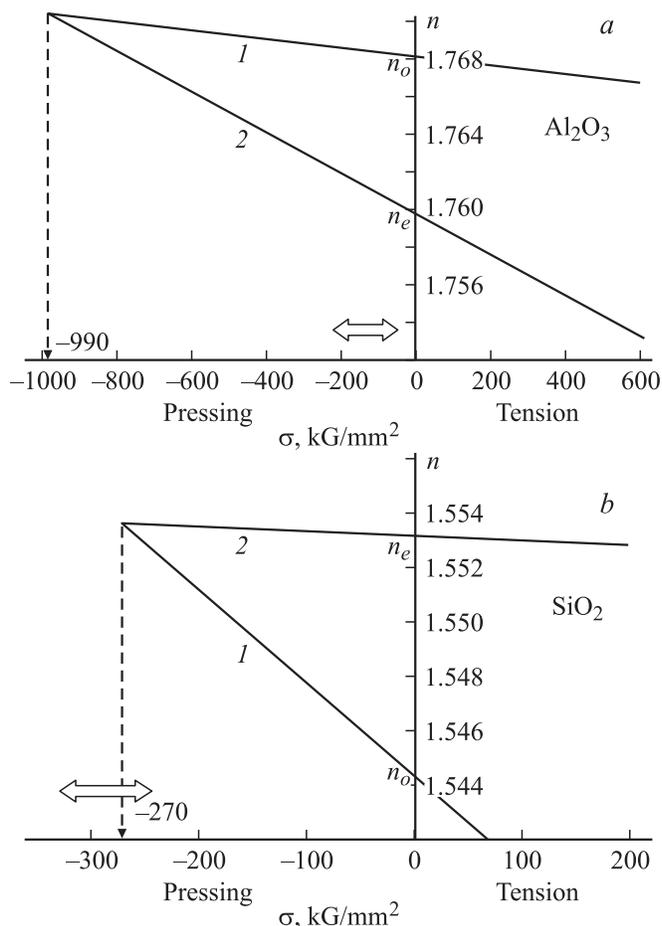
Будем сжимать эти кристаллы вдоль оптической оси и проследим за изменением показателей преломления. До нагружения кристаллы имели два главных показателя преломления: n_o и n_e . После нагружения новые показатели преломления n'_o и n'_e могут быть найдены по формулам [1,2]

$$n'_o = n_o - 0.5n_o^3\pi_{13}\sigma,$$

$$n'_e = n_e - 0.5n_e^3\pi_{33}\sigma,$$

где π_{13} и π_{33} — компоненты матрицы пьезооптических коэффициентов, σ — компонента тензора механического напряжения.

Результаты расчета представлены на рисунке (исходные данные приведены в таблице). Пересечение прямых означает наличие одного показателя преломле-



Рассчитанные изменения показателей преломления n корунда (a) и кварца (b) в зависимости от приложенного напряжения σ . 1 — обыкновенный луч, 2 — необыкновенный луч. Стрелки показывают область разрушения кристалла при сжатии. Точка пересечения n'_o и n'_e , согласно принципу симметрии Кюри, не может быть реализована.

Данные по кристаллам корунда и кварца, использованные в расчетах

Кристалл	n_0	n_e	$\pi_{13}, \text{mm}^2/\text{kG}$	$\pi_{33}, \text{mm}^2/\text{kG}$	$\sigma_1, \text{kG}/\text{mm}^2$	Литературная ссылка
Корунд	1.7681	1.7599	$9.5 \cdot 10^{-7}$	$40 \cdot 10^{-7}$	40–200	[3,4]
Кварц	1.5442	1.5533	$1.9 \cdot 10^{-5}$	$6.86 \cdot 10^{-7}$	230–350	[5,6]

ния, т.е. формально кристалл мог бы стать оптически изотропным. Выдержит ли кристалл столь большие требуемые напряжения? Видим, что в случае корунда прямые пересекаются при напряжении $\sim 990 \text{ kG}/\text{mm}^2$, что недостижимо, так как кристалл разрушится раньше. Предел прочности корунда на сжатие σ_1 существенно меньше этого значения. Для кварца точка пересечения прямых соответствует нагрузке $\sim 270 \text{ kG}/\text{mm}^2$, что также недостижимо, поскольку эта величина попадает в область разрушения кварца при сжатии. Таким образом, можно сделать вывод, что ни корунд, ни кварц не могут быть переведены в оптически изотропное состояние путем упругого сжатия вдоль оптической оси. Можно говорить лишь об уменьшении двулучепреломления при таком сжатии и приближении этих кристаллов, особенно кварца, к состоянию оптической изотропии.

Обсудим, как согласуется рассмотренная задача с принципом симметрии Кюри. Принцип Кюри требует, чтобы в системе кристалл–воздействие остались только их общие элементы симметрии. В нашем случае оптические свойства исходного одноосного кристалла описываются оптической индикатрисой в форме эллипсоида вращения. Его группа симметрии ∞/mmm . Такую же группу симметрии имеет одноосное сжимающее (или растягивающее) механическое напряжение, приложенное к кристаллу. После нагружения, согласно принципу Кюри, кристалл остается оптически одноосным и его оптические свойства опять описываются индикатрисой — эллипсоидом вращения той же группы симметрии ∞/mmm . Этот вывод справедлив для любой сколь угодно большой величины приложенного напряжения. Нагружение кристалла приводит лишь к вытягиванию или сжатию исходного эллипсоида вдоль его оси вращения. При этом принцип Кюри допускает любые величины полуосей эллипсоида, кроме $n'_0 = n'_e$, когда оптическая индикатриса становится сферой с другой группой симметрии $\infty\infty t$. Перескок оптической индикатрисы из одной группы симметрии в другую невозможен.

Общий вывод: при сжатии (растяжении) одноосного кристалла вдоль оптической оси кристалл остается оптически одноосным, может иметь сколь угодно близкие значения n'_0 и n'_e , но случай оптической изотропии ($n'_0 = n'_e$), согласно принципу симметрии Кюри, не может быть реализован.

На практике для рассмотренных нами кристаллов (корунда и кварца) напряжения, требуемые для уменьшения двулучепреломления, столь велики, что кристаллы разрушаются задолго до приближения n'_0 к n'_e .

Список литературы

- [1] Дж. Най. Физические свойства кристаллов. ИЛ, М. (1960). С. 297.
- [2] Н.В. Переломова, М.М. Тагиева. Задачник по кристаллофизике. Наука, М. (1982). С. 173.
- [3] М.В. Классен-Неклюдова, Х.С. Багдасаров. Рубин и сапфир. Наука, М. (1974). 236 с.
- [4] Е.Р. Добровинская, Л.А. Литвинов, В.В. Пищик. Энциклопедия сапфира. НТК „Институт монокристаллов“, Харьков (2004). С. 50.
- [5] А.А. Блистанов, В.С. Бондаренко, Н.В. Переломова, Ф.Н. Стрижевская, В.В. Чкалова, М.П. Шаскольская. Акустические кристаллы. Справочник. Наука, М. (1982). 632 с.
- [6] М.В. Классен-Неклюдова. Механическое двойникование кристаллов. Изд-во АН СССР, М. (1960). 261 с.