

УДК: 548.5

ИЗОХРОМЫ В ОДНООСНЫХ КРИСТАЛЛАХ В ВИДЕ КРИВЫХ ПОРЯДКА ВЫШЕ ВТОРОГО

**М.А. Архипова¹, В.Я. Молчанов², Е.Ю. Воронцова¹, А.А. Лопатин¹,
А.И. Колесников¹, И.В. Талызин¹, А.Б. Залётов³**

¹Тверской государственной университет,
кафедра прикладной физики

²Национальный исследовательский технический университет «МИСиС»
НТЦ Акустооптики

³Тверская государственная медицинская академия,
кафедра физики

Теоретически показано, что в методе коноскопии изохромами одноосных кристаллов в общем случае взаимного расположения нормали к поверхности и оптической оси могут являться кривые четвертого и более высоких порядков. В кристаллах парателлурита экспериментально зафиксированы коноскопические картины с изохромами в виде овалов Кассини и кардиоид.

Ключевые слова: *оптические кристаллы, коноскопия, изохромы*

ISOCHROMES OF UNIAXIAL CRYSTALS AS HIGHER THAN SECOND-ORDER CURVES

**M.A. Arkhipova¹, V.Ya. Molchanov², E.Yu. Vorontsova¹, A.A. Lopatin¹,
A.I. Kolesnikov¹, I.V. Talyzin¹, A.B. Zalyotov³**

¹Tver State University,
Chair of Applied Physics

²National Research Technical University "MISA",
RTC Acousto-optics

³Tver State Medical Academy,
Chair of Physics

It is shown theoretically that in the method of conoscopy in a general case of relative orientation of the normals to the surface and optical axis the isochromes of uniaxial crystals may be represented by curves of the fourth order and higher. In paratellurite crystals conoscopic patterns having isochromes in a shape of Cassini ovals and cardioids have been observed experimentally.

Keywords: *optical crystals, conoscopy, isochromes*

За последние годы возрос интерес к давнему и, казалось бы, детально разработанному методу исследования кристаллов в сходящемся (или расходящемся) поляризованном свете – методу коноскопии. Во многих работах, например в [1, 2], рассматриваются такие тонкие аспекты метода, как влияние оптической активности на

вид изохром одноосных и двуосных кристаллов. Практический интерес к методу обусловлен возможностью его использования при исследованиях оптических эффектов в наноразмерных структурах [1]. Между тем, оказалось, что некоторые классические представления, связанные с методом и канонически изложенные, например, в [3, 4], являются не вполне корректными. Так, вопреки общепринятому мнению, сложившемуся из-за вынужденных упрощений при выводе и решении уравнений, формы изохром даже одноосных кристаллов соответствуют кривым не второго, а, по крайней мере, четвертого порядка. Это убедительно показано в работе [5]. Между тем, неверные представления о теоретически возможных формах изохром могут приводить к метрологическим ошибкам. В частности, наличие изохром – кривых четвертого порядка может быть неверно истолковано как проявление оптической аномалии (ОА) [6] – аномальной двуосности.

В настоящей работе продолжено начатое в [5] теоретическое и экспериментальное изучение формы изохром одноосных кристаллов, экспериментальное – на примере кристаллов парателлуриата – α -TeO₂. При этом рассмотрен самый общий случай произвольной ориентации нормали к поверхности плоскопараллельной пластины относительно кристаллографических осей. Получена более полная, чем в [1–5] система уравнений, позволяющая с помощью численных методов рассчитывать форму изохром одноосного кристалла:

$$\begin{vmatrix} m_1 & m_2 & m_3 \\ k_1 & k_2 & k_3 \\ p_1 & p_2 & p_3 \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

$$\cos \psi = \frac{m_2 \begin{vmatrix} m_2 & m_3 \\ k_2 & k_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} m_1 & m_3 \\ k_1 & k_3 \end{vmatrix}}{\sqrt{(m_1^2 + m_2^2) \left\{ \begin{vmatrix} m_2 & m_3 \\ k_2 & k_3 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} m_1 & m_3 \\ k_1 & k_3 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} m_1 & m_2 \\ k_1 & k_2 \end{vmatrix}^2 \right\}}} \quad (2)$$

$$\frac{1 - (m_1 k_1 + m_2 k_2 + m_3 k_3)^2}{1 - (m_1 p_1 + m_2 p_2 + m_3 p_3)^2} \left[N_o^2 (p_1^2 + p_2^2) + N_e^2 p_3^2 \right] = N_o^2 N_e^2 \quad (3)$$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi h}{\lambda_0} \left[\frac{n_e^2}{\sqrt{n_e^2 - \sin^2 \alpha}} + \sin \alpha (tg \beta_o - tg \beta_e) - \frac{N_o^2}{\sqrt{N_o^2 - \sin^2 \alpha}} \right] \quad (4)$$

$$n_e = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta_e} \quad (5), \quad x = Ftg\alpha \cos \psi \quad (6), \quad y = Ftg\alpha \sin \psi \quad (7)$$

В (1)–(7) h – толщина пластины; λ_0 – длина волны света в вакууме; m_i – направляющие косинусы нормали к кристаллу; k_i – направляющие косинусы падающего луча; p_i – направляющие косинусы необыкновенного луча; $\Delta\varphi$ – разность фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами, идущими в точку с координатами x и y в плоскости наблюдения; F – фокусное расстояние проекционной линзы; N_o и N_e – главные значения показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей; α – угол падения луча на кристалл; β_o и β_e – углы преломления обыкновенного и необыкновенного лучей; ψ – угол между плоскостью падения луча и плоскостью, проходящей через нормаль \mathbf{m} и точку наблюдения.

Компьютерный анализ решений системы (1)–(7) показывает, что изохромы ($\Delta\varphi = 2\pi l = const$, где l – целое число – порядок максимума) одноосного кристалла во всех случаях кроме совпадения оптической оси с нормалью и ортогональности оси и нормали являются кривыми порядка не ниже четвертого. Это было подтверждено экспериментально на пластинках одноосных кристаллов парателлурита, вырезанных в специальных – заранее рассчитанных направлениях. На рис. 1 – изохромы в виде кривых четвертого порядка овалов Кассини, а на рис. 2 – изохромы в виде кривых также четвертого порядка – кардиоид.

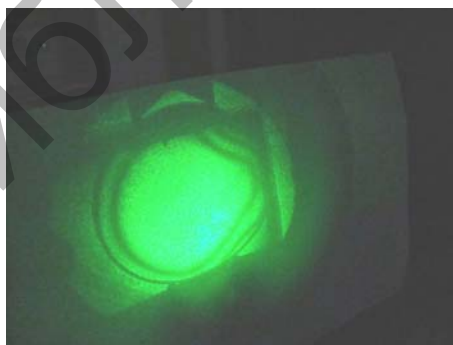
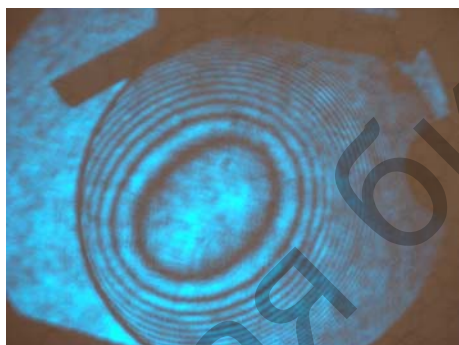


Рис. 1. Изохромы в коноскопической картине кристалла парателлурита в виде овалов Кассини, полученной в расходящихся лучах аргонового лазера ($\lambda=488$ нм)

Рис. 2. Изохромы в коноскопической картине кристалла парателлурита в виде кардиоид, полученной в расходящихся зеленых лучах лазера на ИАГ: Nd^{3+} с удвоением частоты ($\lambda=533$ нм)

Следует подчеркнуть, что ранее подобные картины могли быть ошибочно объяснены оптическими аномалиями, вызванными пьезооптическим эффектом, связанным с остаточными механическими напряжениями в кристалле.

В развитие настоящей работы предполагается проведение аналогичных исследований формы изохром аномально двуосных и естественно двуосных кристаллов.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы и при поддержке гранта РФФИ №09-07-00365.

Список литературы

1. Mamedov N., Yamamoto N., Shim Y., Ninomiya Y., Takizava T. Extended application of light figures to optically active materials with transversally isotropic dielectric function // *Jap.J.Appl.Phys.* 2003. V. 42. P. 5045-5152.
2. Wen T.D., Raptis Y.S., Anastassakis E., Lalov I.I., Miteva A.I. Interference patterns under normal incidence of birefringent, optically active plane parallel plates // *J.Appl.Phys D: Appl. Phys.* 1995. V. 28. P. 2128-2134.
3. Шувалов Л.А., Урусовская А.А., Желудев И.С. и др. Современная кристаллография. Т. 4. М.: Наука, 1981. С. 354.
4. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1975. С. 257-259.
5. Воронцова В.Ю., Колесников А.И., Мамкина Н.О., Молчанов В.Я., Талызин И.В., Третьяков С.А., Чигиринский С.А., Шелопаев А.В. Анализ распределения интенсивности в коноскопических картинах одноосных и двуосных кристаллов // *Вестник ТвГУ. Серия «Физика», Тверь.* 2004. № 6(34). Выпуск 3. С. 80-86.
6. Штукенберг А.Г., Пунин Ю.О. Проблемы оптических аномалий в кристаллах // *Закономерности эволюции Земной коры (тезисы докладов).* Т.2. С-Пб. 1996. С. 318.

Об авторах:

АРХИПОВА Марина Алексеевна- аспирант ТвГУ;
МОЛЧАНОВ Владимир Яковлевич - кандидат физ.-мат наук, главный научный сотрудник, зам. директора НТЦ акустооптики НИТУ МИСИС;
ВОРОНЦОВА Елена Юрьевна - аспирант ТвГУ;
ЛОПАТИН Александр Андреевич – магистрант ТвГУ;
КОЛЕСНИКОВ Александр Игоревич - кандидат физ.-мат наук, доцент кафедры прикладной физики ТвГУ;
ТАЛЫЗИН Игорь Владимирович – ведущий программист Центра дистанционного обучения ТвГУ;
ЗАЛЁТОВ Алексей Борисович - кандидат физ.-мат наук, доцент ТГМА.