ОПТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 535.50

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА В ЛИНЗЕ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЛЕЙКОСАПФИРА

© 2007 г. **В. Н. Ветров**, канд. техн. наук; **Б. А. Игнатенков**; **Е. В. Урбанович**

Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения ВНЦ "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", Санкт-Петербург

E-mail: antitov@peterlink.ru

Показаны особенности изменения поляризации естественного света в изотропной линзе из пластически деформированного лейкосапфира. Предложена формула расчета степени поляризации преломленных лучей. Преломленный свет частично поляризован перпендикулярно плоскости падения.

Коды OCIS: 160.1190, 160.4760.

Поступила в редакцию 14.02.2007.

В предыдущей работах [1–2] определены зависимости коэффициентов отражения естественного света от поверхностей линзы из монокристаллического и пластически деформированного лейкосапфира. Вместе с тем представляет интерес и рассмотренное в данной работе изменение поляризации света при прохождении параллельного пучка лучей через изотропную линзу из пластически деформированного лейкосапфира. Кроме того, такое исследование позволит оценить вклад рассогласования направлений между оптической осью и лучом в лейкосапфире в поляризацию света при изменении угла падения.

Известно, что при падении неполяризованного света на произвольно ориентированную пластинку из одноосного кристалла обыкновенный и необыкновенный лучи, прошедшие после преломления на первой и второй поверхностях пластинки, параллельны падающему лучу и поляризованы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В работах [3–5] полностью решена задача определения амплитуд волн, отраженных и преломленных на поверхности одноосного кристалла и пластинки из него для произвольной ориентации бинормали, плоскости раздела и плоскости падения. Это справедливо при изменении угла апертуры α до значений, при которых наступает полное внутреннее отражение обыкновенного или необыкновенного лучей от второй поверхности пластинки.

Рассмотрим падение параллельного пучка лучей на полусферическую оболочку из монокристалла, когда оптическая ось последнего параллельна оси симметрии детали. В вершине полусферы поляризация луча не изменяется: она подобна ортогональному падению луча на пластинку. Для неосевых лучей при увеличении угла падения, т. е. смещения от оси симметрии, изменяется путь прохождения луча в кристалле и увеличивается угол падения луча на внутреннюю поверхность полусферы, что приводит к большему расхождению обыкновенного и необыкновенного лучей в материале и расхождению лучей после преломления на внутренней поверхности оболочки.

Для естественного света, падающего на оболочку, наблюдается поляризация прошедших лучей, аналогичная преломлению света в пластинке из одноосного кристалла при изменении угла падения. Часть оболочки, в которой происходит двулучепреломление, ограничивается значениями угла полного внутреннего отражения одного из лучей от внутренней поверхности оболочки. В случае лейкосапфира этим лучом является обыкновенный.

Итак, в обоих случаях после прохождения лучей естественного света через кристалл образуются обыкновенный и необыкновенный лучи, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Рассмотрим случай падения параллельного пучка лучей на линзу из пластически деформированного лейкосапфира. Такая линза характеризуется круглым прямым конусом (в главном сечении – веером) оптических осей, асферической входящей поверхностью, обеспечивающей после преломления прохождение лучей вдоль оптических осей,

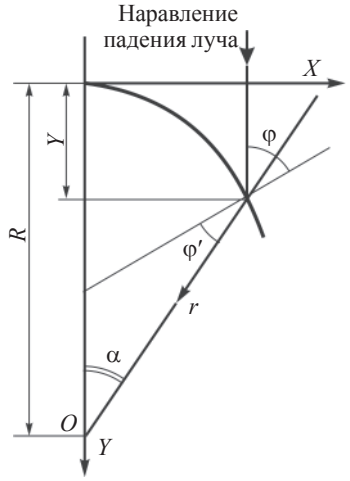


Рис. 1. Схема преломления луча на вогнутой поверхности линзы из пластически деформированного лейкосапфира (*O* – центр пересечения оптических осей).

и внутренней полусферической поверхностью радиусом *R*. После прохождения света через линзу на выходе имеем только один луч, поляризация которого обусловлена отражательной способностью асферической поверхности [6–7]. Лучи, прошедшие через такую линзу, пересекаются в фокусе на оси симметрии линзы, совпадающем с центром пересечения оптических осей и являющемся центром полусферы радиуса *R*.

Для оценки изменения поляризации лучей параллельного пучка по всей апертуре линзы с учетом того, что на внутренней поверхности линзы при ортогональном падении луча изменение поляризации отсутствует, правомочно использование выражения, полученного Ф.И. Федоровым в работе [3] для определения степени поляризации Δ преломленной волны на границе двух изотропных сред.

$$\Delta = \frac{1-\cos^2(\varphi-\varphi')}{1+\cos^2(\varphi-\varphi')}, \qquad (1)$$

где $\varphi - \varphi'$ – разность углов падения и преломления.

На рис. 1 приведена схема преломления луча на асферической поверхности линзы, из которой видно, что угол преломления может быть определен как

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\left[\frac{\sin\varphi}{\sqrt{n_0^2-\sin^2\varphi}}\right], \qquad (2)$$

где n_0 – показатель преломления обыкновенного луча.

Подставляя (2) в (1), получаем формулу для определения степени поляризации волны в изотропной линзе из пластически деформированного лейкосапфира в зависимости от угла падения, позволяющую отследить изменение поляризации преломленных и прошедших лучей.

$$\Delta = \frac{\left[1-\cos^2\left(\varphi-\operatorname{arctg}\left[\frac{\sin\varphi}{\sqrt{n_0^2-\sin^2\varphi}}\right]\right)\right]}{1+\cos^2\left(\varphi-\operatorname{arctg}\frac{\sin\varphi}{\sqrt{n_0^2-\sin^2\varphi}}\right)}. \qquad (3)$$

Из анализа (3) вытекает, что для параллельного пучка лучей в вершине линзы как и при ортогональном падении луча на пластинку, поляризация лучей не изменяется. Для неосевых лучей степень поляризации зависит от угла падения, который пропорционален отклонению луча *X* от оси симметрии линзы, и дисперсии показателя преломления обыкновенного луча. Зависимость от отклонения *X* в неявной форме обусловлена и радиусом заготовки *R* при расчете степени поляризации в конкретном случае.

На рис. 2 представлены зависимости степени поляризации преломленной волны от угла падения, показывающая, что наибольшие изменения наступают при увеличении угла падения более 40°. Там же приведены результаты расчета степени поляризации (через отношение разности и суммы квадратов амплитуд прошедшей волны) в соответствии с решением уравнения распространения света в произвольно ориентированной пластинке из одноосного кристалла [4, 5]. Хорошая сходимость полученных результатов позволяет использовать формулу (3) для расчета степени поляризации лучей, прошедших через изотропную линзу.

Зависимость степени поляризации от длины волны света, приведенная в таблице, показывает, что в ИК области спектра данный параметр меньше, что связано с дисперсией показателя преломления обыкновенного луча. В качестве примера на рис. 3 приведена эта же зависимость для линзы диаметром

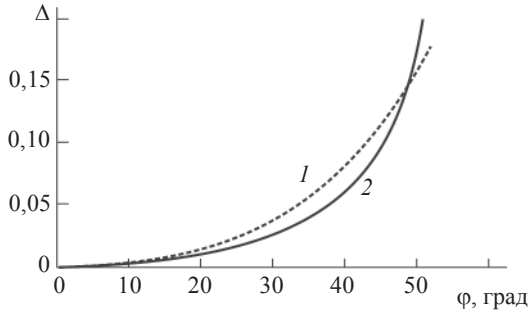


Рис. 2. Зависимости степени поляризации преломленного луча от угла падения в изотропной линзе из пластически деформированного лейкосапфира (λ = 1,1 мкм). *2* – по формуле (3), *1* – модель пластинки из одноосного кристалла.

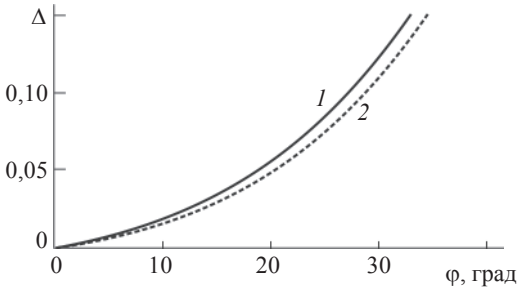


Рис. 3. Зависимости степени поляризации прошедшего луча от смещения луча относительно оси симметрии линзы из пластически деформированного лейкосапфира (R = 60 мм, h = 5 мм). *1* – λ = 1,1 мкм, *2* – λ = 4,269 мкм.

Зависимость степени поляризации прошедшего луча от угла падения для разных длин волн

λ, мкм	Угол падения, град		
	0	30	40
0,535	0	0,037	0,082
1,1	0	0,036	0,081
4,296	0	0,032	0,072

120 мм и толщиной 5 мм, характеризующая изменение степени поляризации преломленного параллельного пучка лучей в зависимости от смещения луча относительно оси симметрии линзы и показывающая поведение луча в ИК области спектра в линзе без двулучепреломления для λ = 1,1 мкм.

Следует добавить, что в случае изотропной линзы из пластически деформированного лейкосапфира рабочая апертура линзы α ограничена углами 30°–40°, что обусловлено необходимым соотношением диаметра и толщины исходного диска для осуществления высокотемпературной пластической деформации [8].

Итак, свет, прошедший через линзу из пластически деформированного лейкосапфира, частично поляризован перпендикулярно плоскости падения, т. е. преобладает компонент электрического поля, параллельный плоскости падения. Луч, прошедший через вершину линзы, не поляризован.

Для параллельного пучка лучей, падающих вдоль оси симметрии линзы, степень поляризации луча определяется углом падения и показателем преломления обыкновенного луча и составляет менее 4% для ИК области спектра в апертуре линзы, соответствующей значению угла падения 30°.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ветров В.Н., Игнатенков Б.А., Урбанович Е.В*. Отражение параллельного пучка лучей света в линзах из пластически деформированного лейкосапфира // Сборник трудов VII Международной конференции “Прикладная оптика-2006”. СПб., 2006. Т. 3. С. 249–252.
2. *Ветров В.Н., Игнатенков Б.А., Урбанович Е.В*. Отражение параллельного пучка лучей света на поверхностях линз из пластически деформированного лейкосапфира // Оптический журнал. 2007. № 7. С. 65–67.
3. *Федоров Ф.И*. Оптика анизотропных сред. М.: УРСС, 2004. 381 с.
4. *Константинова А.Ф., Лонский Э.С*. Прохождение света через пластинку из одноосного кристалла при наклонном падении // Кристаллография. 1977. Т. 22. В. 1. С. 14–20.
5. *Константинова А.Ф., Гречушников Б.Н. , Бокунь Б.В., Валяшко Е.Г*. Оптические свойства кристаллов. Минск, 1995. 302 с.
6. *Afanase'v I.I., Vetrov V.N., Ignatenkov B.A*. Textural sapphire crystals new optical medium // 4 International Conference “Single Growth and Heat & Mass Transfer”. 2001. V. 3. P. 585.
7. *Ветров В.Н., Игнатенков Б.А, Письменный В.А. и др.* Способ получения оптических линз // Заявка на патент РФ 2005100065/03 от 11.01.2005.
8. *Ветров В.Н., Игнатенков Б.А., Письменный В.А., Петровский Г.Т., Рыжиков Э.Н., Дукельский К.В.* Способ получения линз // Патент РФ на изобретение № 2285757. 1993.