

П. С. АНДРЕЕВ, Т. Н. ШАБАЛИНА, О. Ю. ПИКУЛЬ, В. И. СТРОГАНОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ

Показано, что для управления эллиптичностью излучения целесообразно использовать плоскопараллельную кристаллическую пластинку произвольной толщины с оптической осью, перпендикулярной плоскости пластинки. Управление эллиптичностью осуществляется за счет поворота пластинки на определенный заданный угол вокруг оси, лежащей в плоскости пластинки. Приведены характеристики (степень поляризации, эллиптичность, пропускание) пластинок, изготовленных из кристаллов MgF_2 и $LiNbO_3$.

Ключевые слова: поляризация света, управление поляризацией, плоскопараллельная кристаллическая пластинка.

Для задания необходимой величины эллиптичности излучения используются фазовые пластинки определенной толщины [1, 2]. Изготовление таких пластинок является довольно трудоемкой задачей; стоимость их велика.

В работе [3] показано, что для непрерывного изменения эллиптичности излучения может использоваться плоскопараллельная пластинка любой произвольной толщины, изготовленная из оптического кристалла. Управление эллиптичностью излучения производится за счет поворота плоскопараллельной пластинки. Оптическая ось кристаллической пластинки находится в плоскости пластинки, а проходящее излучение направлено вертикально или с небольшим отклонением относительно нормали к поверхности пластинки. Недостатком данного способа изменения эллиптичности является наличие значительной первоначальной разности фаз обыкновенного и необыкновенного лучей $2\pi d(n_0 - n_e)/\lambda$, обусловленной большой толщиной пластинки $d = 1 \dots 3$ мм (здесь λ — длина волны; n_0 и n_e — показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно).

В ходе исследований были выполнены расчеты эллиптичности излучения с использованием пластинок одинаковой толщины $d=1\text{ мм}$, изготовленных из кристаллов MgF_2 и LiNbO_3 . Для этих кристаллов на рис. 1, 2 соответственно представлены результаты расчетов, выполненных без учета френелевского отражения (а) и с учетом отражения (б); на рисунках кривая 1 соответствует относительной интенсивности излучения I/I_0 , прошедшего через систему поляризатор — пластинка — анализатор, кривая 2 — степени поляризации P , кривая 3 — эллиптичности γ .

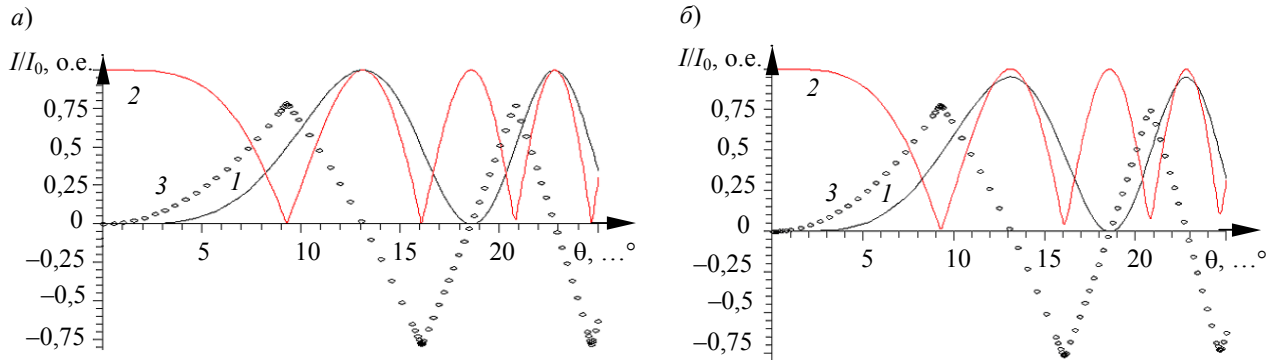


Рис. 1

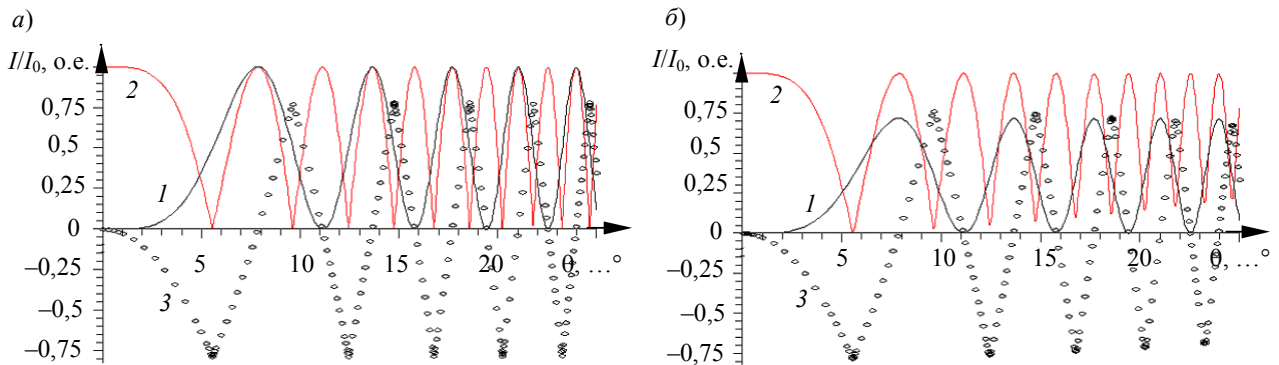


Рис. 2

При проведении эксперимента у лазерного излучения ($\lambda=632,8\text{ нм}$), прошедшего через поляризатор, вектор поляризации расположен под углом $\alpha=45^\circ$ относительно вертикальной оси. Угол θ падения луча на пластинку одновременно является углом ее поворота относительно вертикальной оси, лежащей в плоскости кристаллической пластинки. Выходящие из пластинки обыкновенный и необыкновенный лучи приобретают определенную разность фаз Δ , зависящую от угла поворота θ , что приводит к эллиптичности излучения γ .

При расположении анализатора за плоскопараллельной кристаллической пластинкой (при скрещенных поляризаторе и анализаторе) выходящее из анализатора излучение линейно поляризовано. Интенсивность этого излучения рассчитывается на основе выражения

$$I = 0,5 I_0 (1 - \cos \Delta) \sin^2 2\alpha. \quad (1)$$

Интенсивность излучения с учетом френелевского отражения рассчитывалась по формуле

$$I = I_0 \left((1 - r_s^2)^2 + (1 - r_p^2)^2 - 2(1 - r_s^2)(1 - r_p^2) \cos \Delta \right) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha,$$

где r_s и r_p — амплитудные коэффициенты отражения для „s“ и „p“ компонентов излучения.

Расчет эллиптичности (γ) и степени поляризации (P) излучения, прошедшего через поляризатор и кристаллическую пластинку, осуществляется в соответствии с выражениями [1]

$$\begin{aligned} \gamma &= 0,5 \arcsin 2\alpha \cdot \sin \Delta, \\ P &= \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{1 - \text{tg}^2 \gamma}{1 + \text{tg}^2 \gamma}. \end{aligned} \quad (2)$$

При учете френелевского отражения для вычисления γ использовалось выражение

$$\sin 2\gamma = \sin \left\{ 2 \arctg \left[\frac{(1-r_s)^2}{(1-r_p)^2} \operatorname{ctg} \alpha \right] \sin \Delta \right\}.$$

При изменении угла θ изменяется интенсивность и эллиптичность излучения.

Отметим, что выражение (2) первоначально использовалось для оценки частично поляризованного лазерного излучения, выходящего из поляризатора, по методике, изложенной в монографии [4]. Значение P в сильной степени зависело от конкретного типа поляризатора и составляло $10^{-2} \dots 10^{-3}$. Наименьшее значение P было отмечено при использовании монопризмы для разделения лучей с ортогональными поляризациями [5]. Затем выражение (2) было использовано для оценки степени поляризации (эллиптичности) эллиптически поляризованного света (кривые 2 на рис. 1 и 2), при этом значения I_{\max} и I_{\min} соответствуют значениям интенсивности излучения вдоль большой и малой осей эллипса поляризации. В этом случае расчеты были выполнены в предположении наличия только поляризованного излучения; при $P=1$ излучение поляризовано линейно, при $P=0$ — циркулярно, при $1 > P > 0$ — эллиптически.

Сравнивая показатели преломления для кристаллов MgF_2 , LiNbO_3 , можно сделать вывод, что кристалл MgF_2 наиболее предпочтителен, так как разность $(n_0 - n_e)$ для него гораздо меньше по сравнению с кристаллом ниобата лития. Это при использовании кристалла MgF_2 приводит к большим значениям апертурно-угловой характеристики θ_a пластинки (для кристалла MgF_2 $\theta_a \approx 9^\circ$; для кристалла LiNbO_3 $\theta_a \approx 5^\circ$). Кроме того, существенно меньшие значения коэффициента преломления кристалла MgF_2 обуславливают меньшее френелевское отражение излучения от пластинки, а следовательно, и меньшие значения ошибок измерения.

Итак, согласно расчетам (см. результаты на рис. 1, 2) наиболее целесообразным является изготовление кристаллической пластинки с расположением оптической оси вдоль нормали к поверхности пластинки. В этом случае первоначальная разность фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами отсутствует ($n_0 - n_e = 0$). При повороте пластинки на определенный угол θ разность фаз увеличивается до достаточно больших значений, что приводит к увеличению эллиптичности до максимальных значений (циркулярно-поляризованный свет), повторяющихся периодически при последующем повороте пластинки. В этом случае апертурно-угловая характеристика пластинки в 1,5—2 раза больше по сравнению со случаем, когда оптическая ось расположена в плоскости пластинки. Особенностью таких пластинок является возможность точного (прецизионного) задания эллиптичности лазерного излучения, при этом могут быть использованы плоскопараллельные пластинки любой толщины и из любых оптических кристаллов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинова А. Ф., Бокуть Б. В., Валяшко Е. Г. Оптические свойства кристаллов. Минск.: Наука и техника, 1995. 302 с.
2. Шерклифф У. Поляризованный свет. М.: Мир, 1965. 264 с.
3. Пат. 48080 РФ, МПК7 G 02 B 26/00 А. Устройство для преобразования форм поляризации излучения / О. Ю. Пикуль. № 2005108832; заявл. 28.03.05; опубл. 10.09.05.
4. Шишловский А. А. Прикладная физическая оптика. М.: Физматгиз, 1961. 822 с.
5. Пат. 1561715 РФ, МКИ5 G 02 F 1/03. Способ разделения лучей с ортогональными поляризациями / В. И. Строганов. № 4348428/31; заявл. 23.12.87; опубл. 20.10.99.

Сведения об авторах

- Павел Сергеевич Андреев** — аспирант; Дальневосточный государственный университет путей сообщения, кафедра физики, Хабаровск; E-mail: paha@khsru.ru
- Тамара Николаевна Шабалина** — канд. техн. наук, доцент; Дальневосточный государственный университет путей сообщения, кафедра физики, Хабаровск
- Ольга Юрьевна Пикуль** — канд. физ.-мат. наук, доцент; Дальневосточный государственный университет путей сообщения, кафедра физики, Хабаровск
- Владимир Иванович Строганов** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Дальневосточный государственный университет путей сообщения, кафедра физики, Хабаровск;
E-mail: garmonica@festu.khv.ru

Рекомендована кафедрой
физики

Поступила в редакцию
18.03.09 г.