

ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОПУСКАНИЯ СИСТЕМЫ ПОЛЯРИЗАТОР–КРИСТАЛЛ–КРИСТАЛЛ–АНАЛИЗАТОР

© 2007 г. А. В. Сюй, канд. физ.-мат. наук; Н. А. Кравцова; В. И. Строганов, доктор физ.-мат. наук; В. В. Криштоп, канд. физ.-мат. наук

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск

E-mail: alsyuy271@mail.ru

Приведены спектры пропускания двух плоскопараллельных пластинок, изготовленных из кристалла ниобата лития, расположенных между поляризатором и анализатором. Показана возможность управления спектром пропускания при различных комбинациях ориентации пластинок относительно плоскости пропускания поляризатора, а также при вращении анализатора.

Коды OCIS: 260.0260.

Поступила в редакцию 12.09.2006.

В оптическом приборостроении при разработке и изготовлении интерферометров, светофильтров, модуляторов и затворов широкополосного излучения используются анизотропные кристаллы. Из таких кристаллов изготавливают различные оптические элементы, в том числе и плоскопараллельные пластинки. При помещении кристаллических пластинок между поляризатором и анализатором спектром пропускания системы можно управлять. Способы управления спектром различны, например, с помощью электрического поля можно модулировать интенсивность прошедшего излучения [1]. При вращении одного или двух кристаллов (путем изменения положения плоскости главного сечения кристалла по отношению к плоскости пропускания поляризатора) трансформируется спектр пропускания [2].

Система, содержащая поляризатор, анализатор и две плоскопараллельные кристаллические пластинки, расположенные между ними, рассматривалась и ранее [3, 4]. В спектре пропускания чередуются светлые и темные линии. При этом детальные исследования спектров пропускания широкополосного излучения не проводились, несмотря на то что

такая система открывает дополнительные возможности при создании, например, модуляторов широкополосного излучения.

Авторами данной работы более подробно рассмотрены особенности такой системы.

Излучение от широкополосного источника коллимируется, пропускается через рассматриваемую систему и регистрируется спектрографом ДФС-452. На выходе из спектрографа установлена электронная система регистрации спектров.

В рассматриваемой системе луч, прошедший через поляризатор разбивается в первой кристаллической пластинке на обыкновенный (o) и необыкновенный (e), затем повторно каждый из лучей (o , e) разбивается во второй пластинке также на два луча (o и e). Таким образом, из второй пластинки выйдут четыре луча. Через анализатор пройдут световые лучи с компонентами векторов напряженности электрических полей $\mathbf{E}$, параллельными плоскости пропускания анализатора. Проецируя векторы $\mathbf{E}$ всех лучей, образовавшихся после прохождения двух кристаллов, на плоскость пропускания анализатора и учитывая их фазы, найдем интенсивность J излучения на выходе из анализатора:

$$J = J_0 \left[\begin{aligned} &\sin^2(\alpha + \gamma - \beta) (\cos^2 \alpha \cos^2 \gamma + \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma) + \\ &+ \cos^2(\alpha + \gamma - \beta) (\cos^2 \alpha \sin^2 \gamma + \sin^2 \alpha \cos^2 \gamma) - \\ &- 0,5 \cos 2\alpha \sin 2\gamma \sin(2\alpha + 2\gamma - 2\beta) \cos(2\pi d_2 \Delta_2 / \lambda) + \\ &+ 0,5 \sin 2\alpha \sin 2\gamma \cos(2\alpha + 2\gamma - 2\beta) \cos(2\pi d_1 \Delta_1 / \lambda) - \\ &- 0,5 \sin 2\alpha \cos^2 \gamma \sin(2\alpha + 2\gamma - 2\beta) \cos(2\pi(d_1 \Delta_1 + d_2 \Delta_2) / \lambda) + \\ &+ 0,5 \sin 2\alpha \sin^2 \gamma \sin(2\alpha + 2\gamma - 2\beta) \cos(2\pi(d_1 \Delta_1 - d_2 \Delta_2) / \lambda) \end{aligned} \right], \quad (1)$$

где $\Delta_1 = n_1^e - n_1^o$, $\Delta_2 = n_2^e - n_2^o$ – разности показателей преломления для первой и второй кристаллических пластинок соответственно; d_1 , d_2 – толщины пер-

вой и второй кристаллических пластинок соответственно; α – угол между плоскостью пропускания поляризатора и плоскостью главного сечения пер-

вого кристалла (пластинки), γ – угол между плоскостями главных сечений кристаллических пластинок, β – угол поворота плоскости пропускания анализатора относительно плоскости пропускания анализатора, когда он находится в скрещенном положении с поляризатором. Углы α , β , γ – положительные при повороте кристаллических пластинок и анализатора по ходу часовой стрелки. J_0 – интенсивность прошедшего излучения при $\alpha = \gamma = 0^\circ$; $\beta = \pm 90^\circ$.

Наиболее простые (традиционные [2, 4, 5]) выражения для интенсивности прошедшего через систему излучения получаются при скрещенных поляризаторе и анализаторе ($\beta = 0^\circ$) и угле $\alpha = 45^\circ$:

$$\gamma = 0^\circ, J = 0,5J_0[1 - \cos(2\pi(d_1\Delta_1 + d_2\Delta_2)/\lambda)], \quad (2)$$

$$\gamma = 45^\circ, J = 0,5J_0[1 - \cos(2\pi d_1\Delta_1/\lambda)], \quad (3)$$

$$\gamma = 90^\circ, J = 0,5J_0[1 - \cos(2\pi(d_1\Delta_1 - d_2\Delta_2)/\lambda)]. \quad (4)$$

Выражения (2) и (4) известны и соответствуют случаю, когда оптические оси двух кристаллических пластинок параллельны или перпендикулярны (рис. 1а, 1б). Спектр пропускания зависит от эффективной толщины двух пластинок $d_{\text{эф}}$.

Любопытным является случай, когда $\alpha = \gamma = 45^\circ$. Пропускание определяется только первой пластинкой (выражение (3)), второй пластинки как будто бы нет – эффект компенсации [5]. Во всех трех случаях наблюдается только линейчатый спектр.

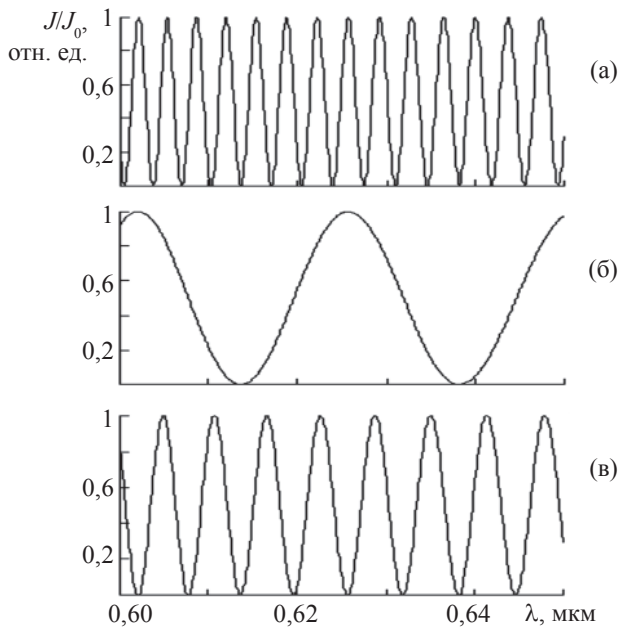


Рис. 1. Спектр пропускания двух кристаллических пластинок ниобата лития при скрещенных ($\beta = 0^\circ$) поляризаторе и анализаторе. $d_1 = 2$, $d_2 = 1,5$ мм. Оптические оси находятся в плоскости пластинок. а – $d_{\text{эф}} = d_1 + d_2$, $\gamma = 0^\circ$; б – $d_{\text{эф}} = d_1 - d_2$, $\gamma = 90^\circ$; в – $d_{\text{эф}} = d_1$, $\gamma = 45^\circ$.

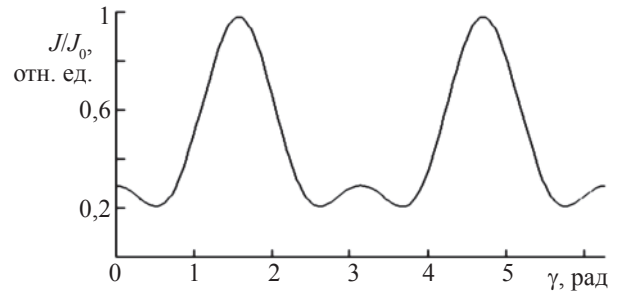


Рис. 2. Зависимость интенсивности излучения, прошедшего через систему поляризатор–кристалл–кристалл–анализатор, от угла поворота γ второй пластинки относительно первой. Поляризатор и анализатор скрещены ($\beta = 0^\circ$), $\alpha = 45^\circ$, длина волны излучения $\lambda = 0,65$ мкм.

Если угол γ не равен 0° , 45° или 90° , то наблюдается линейчатый спектр на фоне сплошного. Форма спектра значительно усложняется.

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности прошедшего излучения от угла γ (при повороте второй пластинки на угол γ относительно первой). Вид кривой на рис. 2 в сильной степени зависит от конкретных значений λ , α и β . При $\lambda = \text{const}$, $\alpha = \text{const}$, $\beta = \text{const}$ данная зависимость может быть использована, например, для определения угла γ между пластинками (γ – угол между оптическими осями пластинок). Изменение длины волны используемого излучения также приводит к характерным преобразованиям зависимости интенсивности от угла γ . Спектры пропускания системы в этом случае также сильно изменяются (рис. 3).

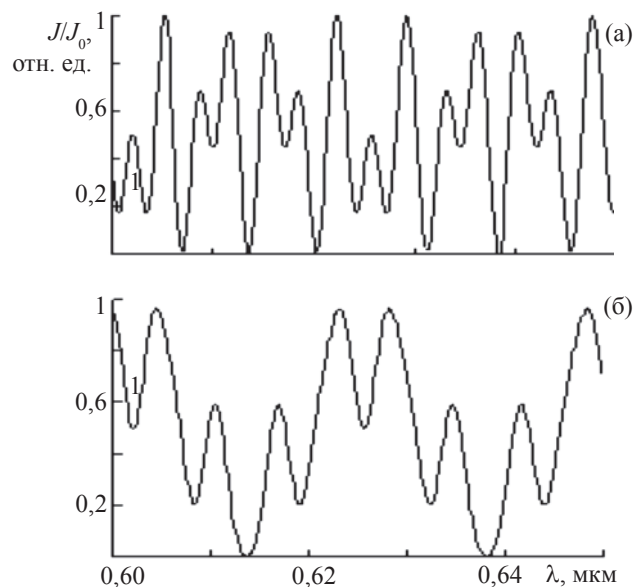


Рис. 3. Спектры пропускания для системы поляризатор–кристалл–кристалл–анализатор в зависимости от угла поворота γ второй пластинки относительно первой. Пластины изготовлены из кристалла ниобата лития. $d_1 = 2$, $d_2 = 1,5$ мм. а – $\gamma = 22,5^\circ$, б – $\gamma = 67,5^\circ$

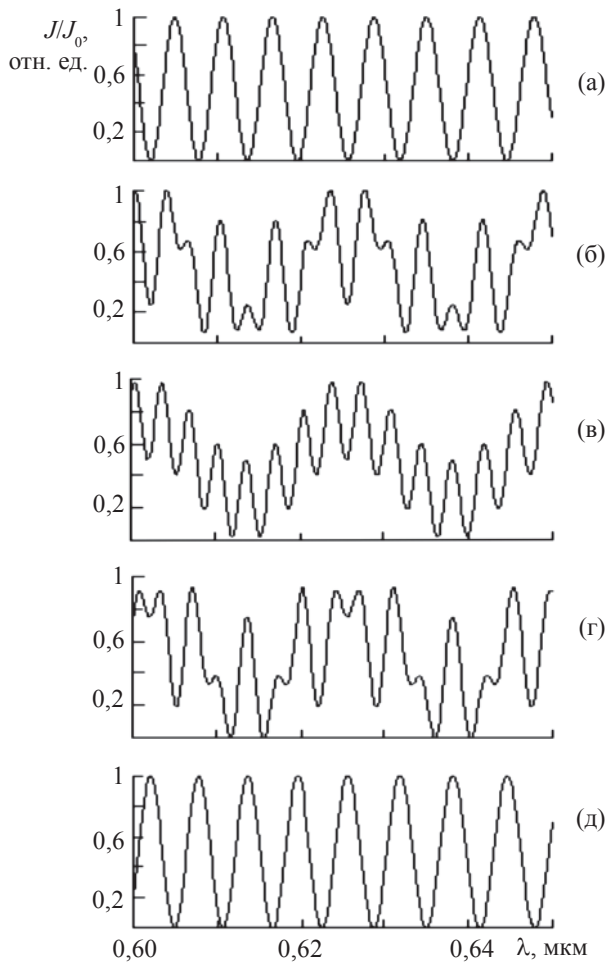


Рис. 4. Спектры пропускания для системы поляризатор–кристалл–кристалл–анализатор при $\gamma = 45^\circ$, $\alpha = 45^\circ$ в зависимости от угла поворота β анализатора. Пластины изготовлены из кристалла ниобата лития. $d_1 = 2$, $d_2 = 1,5$ мм. а – $\beta = 0^\circ$, б – 30° , в – 45° , г – 60° , д – 90° .

При изменении угла поворота β анализатора (рис. 4) или угла поворота α (рис. 5) первой пластинки спектры также значительно трансформируются. При этом если изменяется угол α , а γ остается неизменным, то одновременно поворачиваются обе пластинки.

Спектр на рис. 4а является дополнительным к спектру на рис. 4д, т. е. максимумы в одном спектре меняются на минимумы в другом.

Из формулы (1) видно, что при определенных углах α и γ при $\beta = 0^\circ$ спектр относительно простой. При $\gamma = 45^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ и 60° спектр значительно усложняется. На рис. 5 приведены спектры пропускания системы при скрещенных поляризаторе и анализаторе ($\beta = 0^\circ$), когда $\gamma = 30^\circ$, а угол α изменяется от 0° до 90° , т. е. происходит одновременный поворот двух пластинок. Если углы α , β и γ не равны 45° , спектр пропускания сильно видоизменяется и усложняется.

Спектры пропускания при использовании кристаллов одного оптического знака описываются вышеприведенной формулой (1). Если использовать кристаллы разных оптических знаков, то в формуле (1) знаки в последних двух членах в фазовом множителе изменятся на противоположные.

В случае рис. 4 наиболее простые (периодические) спектры возникают при значениях $\beta = 0^\circ$ и 90° .

На рис. 5 для двух случаев наблюдаются также простые спектры, когда $\alpha = 0^\circ$ и когда $\alpha = \gamma$. Данная особенность при наблюдении спектров пропускания системы позволяет достаточно точно определить значения угла γ , т. е. угла между оптическими осями двух пластинок.

В заключение еще раз отметим, что с помощью рассматриваемой системы, содержащей поляризатор,

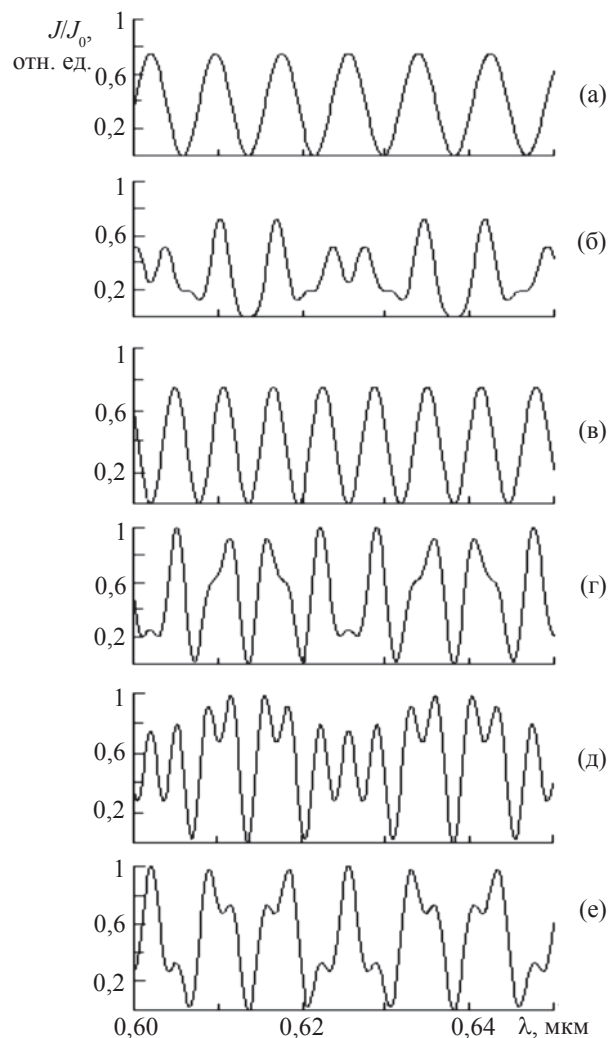


Рис. 5. Спектры пропускания для системы поляризатор–кристалл–кристалл–анализатор при $\beta = 0^\circ$, $\gamma = 30^\circ$ в зависимости от угла поворота α первой пластинки. Пластины изготовлены из кристалла ниобата лития. $d_1 = 2$, $d_2 = 1,5$ мм. а – $\alpha = 0^\circ$, 90° , б – 15° , в – 30° , г – 45° , д – 60° , е – 75° .

две кристаллические пластинки и анализатор, можно в значительной степени управлять спектром пропускания за счет поворота плоскостей главных сечений кристаллических пластинок (изменяя эффективную толщину пластинки от $d_1 - d_2$ до $d_1 + d_2$) или за счет поворота плоскости пропускания анализатора. Такая система может оказаться полезной при создании реперных спектров при проведении спектральных исследований, в лабораторном студенческом практикуме, при определении точных значений угла между оптическими осями двух пластинок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Строганов В.И., Толстов Е.В., Криштон В.В., Сюй А.В., Рапопорт И.В., Литвинова М.Н.* Электрооптический модулятор // Патент России № 2267802. 2006.
2. *Константинова А.Ф., Гречушников Б.Н., Бокуть Б.В., Валяшко Е.Г.* Оптические свойства кристаллов. Минск: Наука и техника, 1995. 302 с.
3. *Гольцер И.В., Дарит М.Я., Зельдович Б.Я., Кундикова Н.Д.* Оптически активный аналог четвертьволновой пластинки // Квант. электрон. 1993. Т. 20. № 9. С. 916–918.
4. *Белинский А.В.* Регулярные и квазирегулярные спектры в разупорядоченных слоистых структурах // УФН. 1995. Т. 165. № 6. С. 691–702.
5. *Кравцова Н.А., Строганов В.И., Алексеева Л.В., Повх И.В.* Неоднозначность и особенности спектра пропускания в системе, состоящей из двух кристаллических пластинок. Эффект компенсации // Бюлл. научн. сообщений / Под ред. Строганова В.И. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. № 10. С. 4–8.