

**Г. В. КУЛАК, А.А. ДАНИЛЮК, Г.А. БОЛЬШАКОВ, А.С. ВАСИЛЕЦ**  
МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

**ОТРАЖЕНИЕ БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ОТ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОГО  
СЛОЯ ПРИ ВНЕШНЕМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Важной областью исследования бесселевых световых пучков (БСП) является разработка методов контроля структуры их волнового фронта и генерации сингулярных пучков [1]. Как и плоские волны, бесселевы световые пучки могут быть представлены в большой степени как строгие решения уравнений

Максвелла [2]. В работе [3] исследованы особенности френелевского отражения БСП от границы раздела двух сред, включая гиротропные.

Рассмотрим отражение и пропускание БСП плоскопараллельным слоем, имеющим показатель преломления  $n_2$ . При этом покрытие и подложка имеют соответственно показатели преломления  $n_1$  и  $n_3$ . Схема отражения света представлена на рисунке 1.

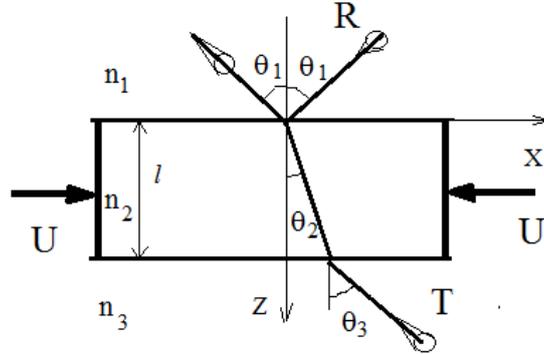


Рисунок 1. – Схема отражения и пропускания БСП плоскопараллельным слоем ( $R$  – отраженный БСП,  $T$  – прошедший БСП)

Амплитудные коэффициенты отражения и пропускания  $TE$ -поляризованных БСП даются соотношениями:

$$R^{TE} = \frac{r_{12}^{TE} + r_{23}^{TE} e^{i2\delta}}{1 + r_{12}^{TE} r_{23}^{TE} e^{i2\delta}}, T^{TE} = \frac{t_{12}^{TE} t_{23}^{TE} e^{i\delta}}{1 + r_{12}^{TE} r_{23}^{TE} e^{i2\delta}}, \quad (1)$$

где  $\delta = 2\pi n_2 l / \lambda_0$ , причем  $l$  – толщина слоя; здесь полагалось [2, 3]

$$r_{12}^{TE} = \frac{n_1 \cos \theta_1 \cos \gamma_i - n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma_r}{n_1 \cos \theta_1 \cos \gamma_i + n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma_r}, t_{12}^{TE} = \frac{n_1 \cos \theta_1 \cos \gamma_i + n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma_t}{n_1 \cos \theta_1 \cos \gamma_i + n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma_t},$$

$$r_{23}^{TE} = \frac{n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i - n_3 \cos \theta_3 \cos \gamma'_r}{n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i + n_3 \cos \theta_3 \cos \gamma'_r}, t_{23}^{TE} = \frac{n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i + n_3 \cos \theta_3 \cos \gamma'_t}{n_2 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i + n_3 \cos \theta_3 \cos \gamma'_t}.$$

В формулах (1) амплитудные коэффициенты отражения на границе слой-подложка имеют параметры конусности вида:  $\gamma'_i, \gamma'_r, \gamma'_t$ .

Амплитудные коэффициенты отражения  $TH$ -поляризованных БСП находим из соотношений

$$R^{TH} = \frac{r_{12}^{TH} + r_{23}^{TH} e^{i2\delta}}{1 + r_{12}^{TH} r_{23}^{TH} e^{i2\delta}}, T^{TH} = \frac{t_{12}^{TH} t_{23}^{TH} e^{i\delta}}{1 + r_{12}^{TH} r_{23}^{TH} e^{i2\delta}}, \quad (2)$$

где полагалось [2, 3]:

$$r_{12}^{TH} = \frac{n_2 \cos \theta_1 \cos \gamma_i - n_1 \cos \theta_2 \cos \gamma_r}{n_2 \cos \theta_1 \cos \gamma_i + n_1 \cos \theta_2 \cos \gamma_r}, t_{12}^{TH} = \frac{n_2 \cos \theta_1 \cos \gamma_i + n_1 \cos \theta_2 \cos \gamma_t}{n_2 \cos \theta_1 \cos \gamma_i + n_1 \cos \theta_2 \cos \gamma_t},$$

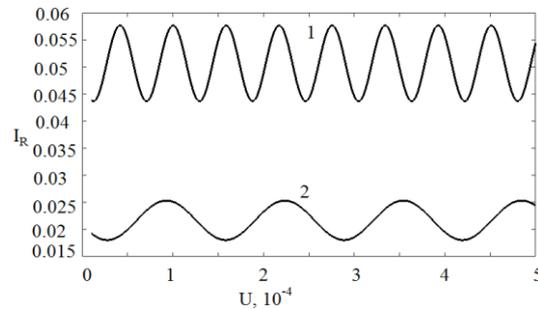
$$r_{23}^{TH} = \frac{n_3 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i - n_2 \cos \theta_3 \cos \gamma'_r}{n_3 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i + n_2 \cos \theta_3 \cos \gamma'_r}, t_{23}^{TH} = \frac{n_3 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i + n_2 \cos \theta_3 \cos \gamma'_t}{n_3 \cos \theta_2 \cos \gamma'_i + n_2 \cos \theta_3 \cos \gamma'_t}.$$

Относительные интенсивности отраженных и прошедших волн  $TE$ - и  $TH$ - поляризации находим из соотношений [4]:

$$I_R^{TE} = |R^{TE}|^2, I_T^{TE} = \frac{n_3 \cos \theta_3}{n_1 \cos \theta_1} |T^{TE}|^2, \quad (3)$$

$$I_R^{TH} = |R^{TH}|^2, I_T^{TH} = \frac{n_3 \cos \theta_3}{n_1 \cos \theta_1} |T^{TH}|^2. \quad (4)$$

При малых углах падения ( $\theta_1$ ), коэффициент отражения нелинейно изменяется с увеличением толщины слоя. Это связано с интерференционными эффектами при отражении света от верхней и нижней границ слоя, то есть многолучевой интерференцией световых волн. При увеличении угла падения от 0 до  $2^\circ$  период осцилляций относительной интенсивности уменьшается. Поведение коэффициента пропускания имеет аналогичный характер, однако максимальному значению относительной интенсивности отраженного света соответствует минимальное значение относительной интенсивности прошедшего света.



**Рисунок 2.** – Зависимость коэффициента отражения  $I_R$  для падающей световой волны ТЕ-поляризации (1) и ТН-поляризации (2) от величины упругой деформации  $U$  (структура воздух-кварц-стекло,  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1,457$ ,  $n_3 = 1,5$ ;  $p_{эф}^{TE} = 0,27$ ,  $p_{эф}^{TH} = 0,121$ ;  $\gamma_i = 0,2^\circ$ ,  $\gamma_r = 0,3^\circ$ ,  $\gamma_t = 0,4^\circ$ ,  $\gamma'_i = 0,25^\circ$ ,  $\gamma'_r = 0,35^\circ$ ,  $\gamma'_t = 0,45^\circ$ )

Рассмотрим плоскопараллельный слой прозрачного материала, который подвержен внешним механическим воздействиям в форме периодической деформации  $U = U_m \sin \Omega_m t$ . Глубина модуляции прошедшего и отраженного светового пучка определяется из соотношения:  $\Delta = QU_m / U_\pi$ , где  $U_\pi$  имеет смысл полуволновой деформации,  $Q$  – добротность резонатора. Так, несложно создать резонаторы с добротностью  $Q = 30$  [5]. На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента отражения  $I_R$  для ТЕ-поляризованной падающей волны (1) и ТН-поляризованной (2). Коэффициенты отражения ( $I_R$ ) и пропускания ( $I_T$ ) слоя зависят от фазового сдвига  $\delta$ , который определяется из соотношения:  $\delta = 2kl(n_2 - n_2^3 p_{эф} U / 2)$ , где  $U$  – амплитуда деформации,  $p_{эф}$  – эффективная фотоупругая постоянная. Фазовый сдвиг  $\delta$ , в свою очередь, является перестраиваемым за счет упругой деформации  $U$ . Тогда относительная интенсивность прошедшего или отраженного излучения сильно модулирована при использовании относительно малого модулирующего напряжения  $U_m$ . В этих условиях большая глубина модуляции обусловлена наличием выраженного пика коэффициента отражения  $I_R(U)$  (рисунок 2).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Казак, Н.С. Формирование бесселевых световых пучков в условиях внутренней конической рефракции / Н.С. Казак, Н.А. Хило, А.А. Рыжович // Квант. электрон. – 1999. – Т. 29, № 2. – С. 184–188.
2. Shimoda, K. Exact solution of field vectors of diffraction-free electromagnetic waves / K. Shimoda // Journal of the Physical Society of Japan. – 1991. – Vol. 60, № 2. – P. 450–454.
3. Petrova, E.S. Bessel light beams in gyrotropic mediums / E.S. Petrova // Optics of Crystals. Proc. SPIE 2000. – Vol. 4358. – P. 265–271.
4. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М.: Наука, 1973. – 719 с.
5. Ярив, А. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив. – М.: Мир, 1987. – 616 с.