

### ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЗЕРКАЛЬНОГО И МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО СВЕТОВОЗВРАЩАТЕЛЕЙ В ФОРМЕ ТРЕХГРАННОГО УГЛА ( $\pi/2, \pi/2, \pi/4$ )

Световозвращатель (СВ) в форме трехгранного угла ( $\pi/2, \pi/2, \pi/4$ ) обладает свойством возвратного отражения независимо от направления падающего излучения [1]. Поляризационные свойства его в режиме полного внутреннего отражения исследованы в [2, 3]. Большинство используемых в настоящее время СВ имеют металлизированные грани, что позволяет устранить мелкоструктурность изображения [4].

Положение равностороннего СВ относительно прямоугольной системы координат XYZ определено векторами внутренних нормалей к отражающим (зеркальным или металлизированным) граням 1, 2, 3 и фронтальной грани 4 (рис. 1, а).

$$\vec{n}_1 = \{\sqrt{2}/2, -\sqrt{2}/2, 0\}, \vec{n}_2 = \{0, 1, 0\}, \vec{n}_3 = \{0, 0, 1\},$$

$$\vec{n}_4 = (5 - 2\sqrt{2})^{-1/2} \{1, \sqrt{2} - 1, 1\}.$$

Состояние поляризации линейно поляризованного излучения, падающего на СВ в направлении  $\vec{q}_1 = \vec{n}_4$  и отраженного  $-\vec{q}_1$ , описывается в правосторонних системах ортогональных векторов  $q_1, s, p$  и  $-q_1, -s, p$  [2, 5]. Внутри СВ излучение распространяется десятью возможными способами, отличающимися порядком переотражения от граней, и выходит из него после пяти отражений в направлении, обратном исходному. При полностью освещенной фронтальной грани реализуются все варианты прохождения и СВ формирует десять выходящих с различными состояниями поляризации пучков, пространственно разнесенных по секторам выходной апертуры (см. рис. 1, б).

Полагаем, что амплитуда светового вектора входного луча равна единице, а азимут поляризации  $\alpha_{вх}$  отсчитывается по часовой стрелке от оси  $s$ . Тогда векторы Джонса входного и выходного лучей можно записать в виде:

$$\vec{E}_{вх} = \begin{pmatrix} E_s^{вх} \\ E_p^{вх} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_{вх} \\ \sin \alpha_{вх} \end{pmatrix}, \vec{E}_{вых} = \begin{pmatrix} E_s^{вых} e^{i\delta_{вых}} \\ E_p^{вых} \end{pmatrix} = C^{(p)} \vec{E}_{вх}. \quad (1)$$

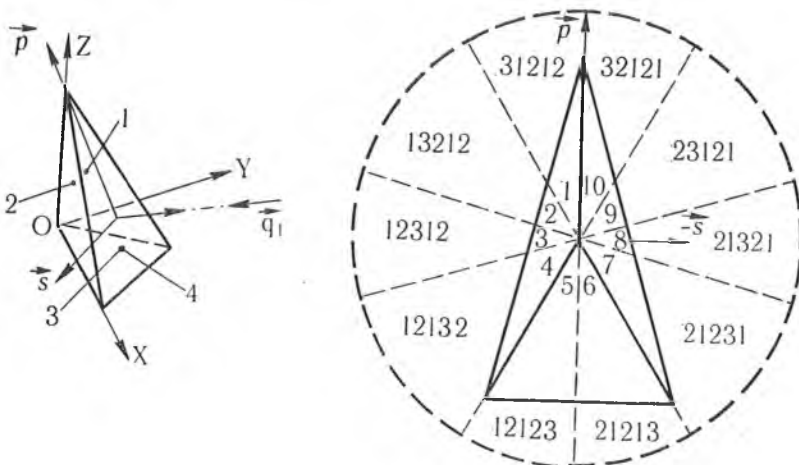


Рис. 1. Система координат (а) и фронтальная грань световозвращателя с разбиением выходной апертуры на сектора, соответствующие различным последовательностям отражения пучка от граней (б)

Здесь  $\delta_{\text{ввх}} = \delta_s^{\text{ввх}} - \delta_p^{\text{ввх}}$  — сдвиг фазы между  $E_s^{\text{ввх}}$  и  $E_p^{\text{ввх}}$ ,  $C^{(p)}$  — матрица поляризационного действия системы (матрица Джонса), которая получается в результате перемножения матриц, описывающих поляризационные свойства отдельных граней:

$$C^{(p)} = {}_{ok''}T_{j''} \left[ \prod_k^4 ({}_{mk}R_j {}_{mk}T_j) \right] {}_{k'}R_{j'} {}_{k'o}T_{j'} = \begin{pmatrix} a_{11} e^{i\delta_{11}} & a_{12} e^{i\delta_{12}} \\ a_{21} e^{i\delta_{21}} & a_{22} e^{i\delta_{22}} \end{pmatrix},$$

где  $k=1, 2, 3$  — номера граней в порядке прохождения их оптическим пучком от начальной грани  $k'$  до конечной  $k''$ ;  $m$  — номер грани, следующей непосредственно за гранью  $k$ ;  $j$  — текущий номер волны ( $j'$  и  $j''$  — номера входящей и последней рассматриваемой волны);  $o$  — индекс поляризационного базиса, связанного с фронтальной гранью. Некоторые варианты отражения цепочки (1) приведены в [2]. Переход от системы ортов  $\vec{k}S_j, \vec{k}P_j, \vec{q}_j$ , в которой описывается поляризационное состояние отраженной от  $k$ -й грани  $j$ -й волны, к системе ортов  $\vec{m}S_j, \vec{m}P_j, \vec{q}_j$ , связанной с  $m$ -й гранью, на которую падает  $j$ -я волна, осуществляется с помощью матрицы поворота базисных векторов

$${}_{mk}T_j = \begin{pmatrix} \vec{m}S_j & \vec{k}S_j & \vec{m}S_j & \vec{k}P_j \\ \vec{m}P_j & \vec{k}S_j & \vec{m}P_j & \vec{k}P_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_j & \sin \alpha_j \\ -\sin \alpha_j & \cos \alpha_j \end{pmatrix},$$

где  $\alpha_j$  — угол между ортами нормалей  $\vec{k}S_j$  и  $\vec{m}S_j$  к плоскостям падения на отражающие грани:

$$\vec{i}S_j = \frac{[\vec{n}_i \times \vec{q}_j]}{|\vec{n}_i \times \vec{q}_j|}, \quad \vec{i}P_j = [\vec{q}_j \times \vec{i}S_j], \quad i = m, k.$$

Матрица поляризационного действия отражающей грани имеет вид:

$${}_{i}R_j = \begin{pmatrix} i r_j^{(s)} e^{i\delta_j^{(s)}} & 0 \\ 0 & i r_j^{(p)} e^{i\delta_j^{(p)}} \end{pmatrix},$$

где  $i r_j^{(s)} = \sqrt{\frac{(n \cos \Theta - u)^2 + v^2}{(n \cos \Theta + u)^2 + v^2}}$ ,

$$i r_j^{(p)} = \sqrt{\frac{[(n_2^2 - k_2^2) \cos \Theta - nu]^2 + (2n_2 k_2 \cos \Theta - nv)^2}{[(n_2^2 - k_2^2) \cos \Theta + nu]^2 + (2n_2 k_2 \cos \Theta + nv)^2}},$$

$$\text{tg } i\delta_j^{(s)} = -\frac{2nv \cos \Theta}{u^2 + v^2 - n^2 \cos^2 \Theta},$$

$$\text{tg } i\delta_j^{(p)} = -\frac{2n \cos \Theta [2n_2 k_2 u - (n_2^2 - k_2^2) v]}{(n_2^2 + k_2^2)^2 \cos^2 \Theta - n^2 (u^2 + v^2)}.$$

Здесь  $2u^2 = \sqrt{(n_2^2 - k_2^2 - n^2 \sin^2 \Theta)^2 + 4n_2^2 k_2^2} + (n_2^2 - k_2^2 - n^2 \sin^2 \Theta)$ ,  $2v^2 = \sqrt{(n_2^2 - k_2^2 - n^2 \sin^2 \Theta)^2 + 4n_2^2 k_2^2} - (n_2^2 - k_2^2 - n^2 \sin^2 \Theta)$ ;

$n$  — показатель преломления материала СВ;  $n_2 = n_2 - ik_2$  — комплексный показатель преломления металла, напыленного на боковые грани;  $\Theta$  — угол падения  $j$ -й волны на  $i$ -ю грань.

Расчеты показали, что отраженный луч в общем случае поляризован эллиптически. Зависимость эллиптичности пучка, выходящего из сектора  $I$ , для зеркального СВ, выполненного из серебра, алюминия, золота или меди при некоторых длинах волн, от  $\alpha_{\text{вх}}$  приведена на рис. 2. Аналогичная зависимость для металлизированного СВ с  $n=1,513$  изображена на рис. 3. Показатели преломления металлов взяты из [6]. Для сравнения на этих же рисунках штриховыми линиями обозначена зависимость для прямоугольного СВ при  $\lambda=400$  нм (Ag, Al) и  $\lambda=500$  нм

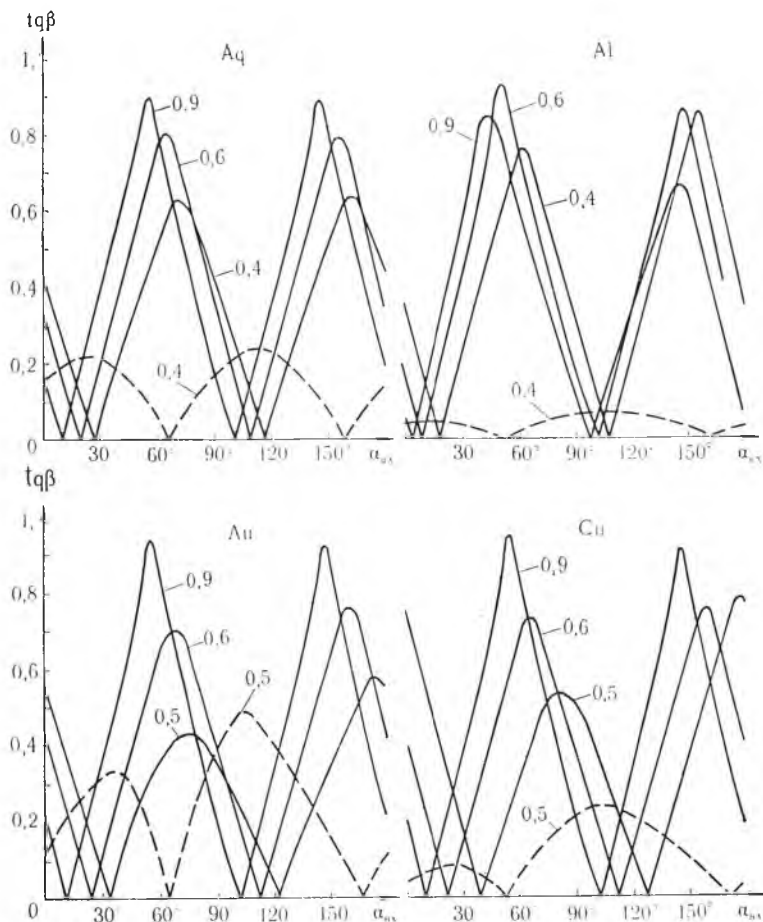


Рис. 2. Зависимость эллиптичности поляризации  $tg\beta$  выходящего излучения от азимута поляризации  $\alpha_{вх}$  входного линейно поляризованного света для зеркального световозвращателя при различных длинах волн и материалах напыления

(Au, Cu). Видно, что эллиптичность света, отраженного от СВ ( $\pi/2, \pi/2, \pi/4$ ), существенно больше, чем от прямоугольного СВ. Кроме того, если в СВ ( $\pi/2, \pi/2, \pi/2$ ) при некоторых длинах волн отраженный луч не бывает поляризован линейно ни при каких значениях  $\alpha_{вх}$  [5], то для исследованного СВ всегда имеются два значения  $\alpha_{вх}$ , для которых отраженный луч линейно поляризован.

Коэффициент отражения СВ определяется по формуле:

$$R = \frac{I_{вых}}{I_{вх}} = \frac{(E_s^{вых})^2 + (E_p^{вых})^2}{(E_s^{вх})^2 + (E_p^{вх})^2},$$

где  $I_{вх}$  и  $I_{вых}$  — интенсивности входного и выходного лучей. В таблице приведены значения коэффициентов отражения СВ (в процентах) с серебряными, алюминированными, золочеными и медными боковыми гранями. Усреднение проводилось по азимуту поляризации падающего излучения в каждом из десяти вариантов отражения, затем определяли средний коэффициент. В скобках даны значения для прямоугольного СВ, которые согласуются с [5].

Полученные результаты свидетельствуют, что отражательные характеристики металлизированного и зеркального СВ ( $\pi/2, \pi/2, \pi/4$ ) допускают их использование в оптическом приборостроении наряду с прямоугольным СВ.

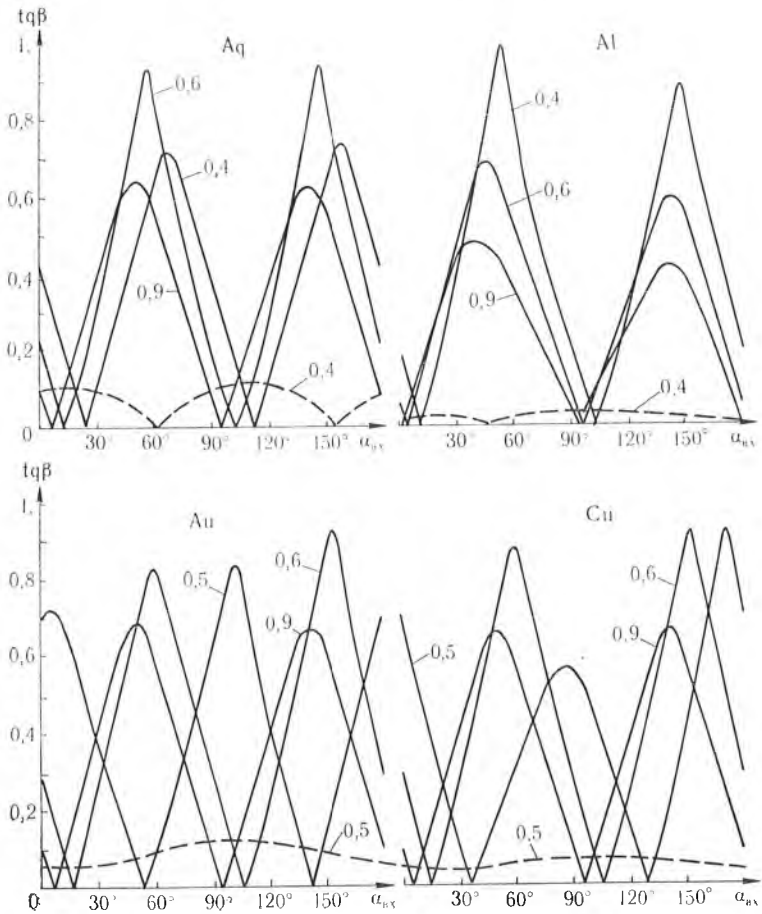


Рис. 3. Зависимость эллиптичности поляризации  $tg\beta$  выходящего излучения от азимута поляризации  $\alpha_{вх}$  входного линейно поляризованного света для металлизированного световозвращателя при различных длинах волн и материалах напыления

Длина волны, нм	Металлизированный СВ ( $n = 1,513$ )				Зеркальный СВ			
	Ag	Al	Au	Cu	Ag	Al	Au	Cu
400	76(83)	51(65)	—	—	76(83)	58(73)	—	—
500	88(92)	46(62)	4(12)	8(18)	90(93)	55(71)	5(13)	10(23)
600	90(93)	43(61)	58(69)	68(77)	92(95)	53(71)	62(74)	71(81)
700	90(94)	36(56)	76(84)	83(89)	92(96)	47(67)	80(88)	86(92)
800	91(95)	28(48)	82(87)	87(92)	93(96)	40(61)	86(92)	90(94)
900	91(95)	34(54)	84(90)	89(93)	94(96)	45(66)	88(93)	91(95)

### Список литературы

1. Процко С. В., Титов А. Д. // Изв. вузов: Приборостроение. 1989. Т. 32. № 2. С. 54.
2. Процко С. В., Титов А. Д. // Оптико-механическая промышленность. 1989. № 11. С. 14.
3. Процко С. В., Титов А. Д., Ханох Б. Ю., Хапалюк А. П. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1: Физ. Мат. Мех. 1990. № 2. С. 9.
4. Денисюк Г. В., Корнеев В. И. // Оптико-механическая промышленность. 1982. № 12. С. 1.
5. Коротаяев В. В., Панков Э. Д. Там же. 1981. № 1. С. 9.
6. Золотарев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. // Оптические постоянные природных и технических сред. Л., 1984.

Поступила в редакцию 28.05.90.