

УДК 004:535.5

Г.Н. Доля, Е.С. Литвинова

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ОТРАЖЕНИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ТЕТРАЭДРИЧЕСКИХ РЕТРОРЕФЛЕКТОРОВ

Исследованы закономерности преобразования амплитудно-фазового распределения (АФР) при отражении лазерного излучения от тетраэдрических ретрорефлекторов (ТРР), отличающихся физическими свойствами границы отражения. Разработана имитационная модель такого преобразования. Результаты моделирования показывают, что при начальном постоянном АФР на входе ТРР имеют место неравномерные распределения амплитуд и фаз на его выходе. Существенные отличия наблюдаются также для различных составляющих поляризации выходного излучения.

Ключевые слова: тетраэдрический ретрорефлектор, отражение, амплитудно-фазовое распределение, поляризация.

Постановка задачи

Решетки тетраэдрических ретрорефлекторов (РТРР) широко используются для решения целого ряда прикладных задач.

К ним относятся, например, создание световозвращающих покрытий для обеспечения безопасности дорожного движения [1, 2], для прецизионных измерений в локационных системах [3], при разработке атмосферных оптических каналов связи [4], для частичной компенсации влияния случайно-неоднородной среды распространения лазерного излучения [5 – 7], виброметрии [8], при создании датчиков тепловых возмущений в системах пожарной безопасности [9, 10].

Для обоснования рациональной структуры построения таких систем весьма важным является адекватное описание закономерностей преобразования падающего на РТРР лазерного излучения. Эти закономерности также важны для построения имитационных компьютерных моделей таких систем, результаты исследования которых позволяют значительно расширить знания о возможностях таких систем в широком диапазоне изменения условий их применения.

Существующие представления о закономерностях преобразования амплитудно-фазового распределения в подобных ситуациях являются весьма приближенными, не учитывают различия при отражении света на гранях тетраэдрических ретрорефлекторов (ТРР) для различных поляризационных компонент излучения, а также не позволяют описать различные виды ТРР, отличающиеся физическими свойствами границы отражения [6].

Поэтому целью данной работы было описание закономерностей преобразования амплитудно-фазового распределения на различных видах ТРР и создание на этой основе имитационной компьютерной модели такого преобразования.

1. Описание закономерностей прохождения луча в одиночном тетраэдрическом ретрорефлекторе

При нашем рассмотрении мы будем ограничиваться здесь случаем нормального падения света на фронтальную плоскость ТРР, но будем учитывать произвольную ориентацию его граней по отношению к плоскости поляризации падающего лазерного излучения. Ретрорефлектор тетраэдрического типа представляет собой отражательную систему с тремя взаимно перпендикулярными гранями и передней гранью, пропускающей излучение вовнутрь и обратно (рис. 1).

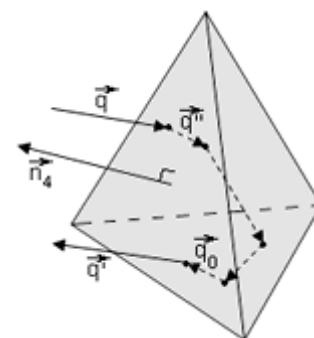


Рис. 1. Ход луча в ТРР

Отразившись поочередно от трех отражающих граней, луч выходит за пределы ТРР в точке, симметричной точке входа относительно вершины тетраэдра и в направлении, строго встречном направлению входа луча (в случае, если все углы при вершине тетраэдра в точности 90°) [11]. Такая схема характерна как для нормального падения луча на фронтальную грань, так и для произвольного.

Попадая в углы фронтальной грани ТРР (рис. 2), в так называемые мёртвые зоны, свет рассеивается в стороны и обратно не возвращается [12]. Поэтому часто ТРР изготавливают с уже обрезанными углами (с основанием в виде правильного

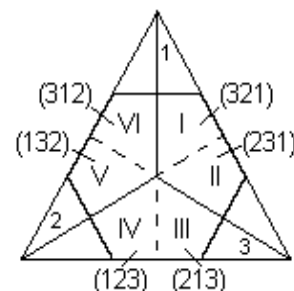


Рис. 2. Сектора отражающих граней

шестиугольника) для экономии материала и места.

При освещении ТРР коллимированным пучком, полностью заполняющим входную апертуру, возможны шесть различных последовательностей отражения оптического излучения от трех отражающих граней, соответствующие шести комбинациям номеров этих граней: 123, 132, 312, 321, 231, 213 [13]. Шесть секторов отражающих граней, формирующие шесть отраженных пучков, обозначены римскими цифрами на рис. 2. Как видно, первый сектор соответствует траектории 321, второй – 231 и т.д.

Как уже упоминалось, отразившись, луч выходит за пределы ТРР в точке, симметричной точке входа относительно вершины тетраэдра. Таким образом, весь свет, попавший на конкретный сектор апертуры, выйдет в центрально симметричном ему секторе (т.е. излучение, попавшее в сектор VI, выйдет в секторе I и т.д.).

Перейдем к расчету траектории луча при его отражениях внутри ТРР.

При таком рассмотрении удобно совместить основную систему координат с плоскостью передней грани (рис. 3), тогда z-координата равна 0, а отдельный ТРР описывать в координатах (x_3, y_3, z_3) .

Для корректности теперь необходимо выразить координаты в базисе (x, y, z)

через координаты в базисе (x_3, y_3, z_3) .

Рассмотрим ТРР, изображенный на рис. 4. Пусть точка $P(x, y, z)$ – точка падения на фронтальную грань ТРР в базисе (x, y, z) . В базисе (x_3, y_3, z_3) точка P имеет координаты $P(x_3, y_3, z_3)$.

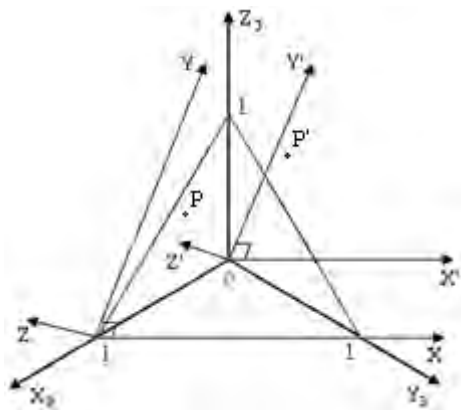


Рис. 4. К расчету точки выхода

Для удобства перенесём параллельным переносом начало координат системы (x, y, z) в начало координат системы (x_3, y_3, z_3) , т.е. в вершину призмы, при этом получим новый базис (x', y', z') .

Координаты точки P' в базисе (x', y', z') равны координатам точки P в базисе (x, y, z) .

В базисе (x_3, y_3, z_3) точка P' имеет координаты $P'(x'_3, y'_3, z'_3)$. Теперь зная $P'(x', y', z')$ через матрицу перехода T от старого базиса к новому (от базиса (x_3, y_3, z_3) к базису (x', y', z')) находим $P'(x'_3, y'_3, z'_3)$. Выразим координаты (x', y', z') через координаты (x_3, y_3, z_3) :

$$\begin{cases} \bar{x}' = -\bar{x}_3 + \bar{y}_3 + 0 \cdot \bar{z}_3; \\ \bar{y}' = -\frac{1}{2}\bar{x}_3 - \frac{1}{2}\bar{y}_3 + \bar{z}_3; \\ \bar{z}' = \bar{x}_3 + \bar{y}_3 + \bar{z}_3. \end{cases}$$

Отсюда после нормировки матрица перехода T от старого базиса к новому имеет вид:

$$T = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 & \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix}$$

Точку $P'(x'_3, y'_3, z'_3)$ найдем из соотношения

$$\begin{pmatrix} x'_3 \\ y'_3 \\ z'_3 \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

По $P'(x'_3, y'_3, z'_3)$ найдем $P(x_3, y_3, z_3)$ с учётом сдвига координатных осей: $x_3 = x'_3 + 1$, $y_3 = y'_3$, $z_3 = z'_3$. Итак, точка $P(x_3, y_3, z_3)$ – точка входа в призму.

Рассчитаем точку внутри призмы в зависимости от сектора, из которого выходит свет I, II, ..., VI (рис. 2). Рассмотрим подробнее расчеты траекторий лучей для каждого сектора.

Вектора \hat{P} и \hat{Q} определяют соответственно падающий и отраженный луч, точки P и Q – точки входа и выхода луча на фронтальной грани. Поскольку при нормальном падении преломление мы не учитываем, будем считать, что вектор $\hat{P}(x_0, y_0, z_0)$ совпадает с вектором $\overline{PA}(x_0, y_0, z_0)$.

Назовём точку падения на первую отражающую грань на пути луча точкой A, на вторую – B и на третью – C.

Рассмотрим сектор I (траектория 321) (рис. 5).

Зная координаты точки $P(x_3, y_3, z_3)$ и век-

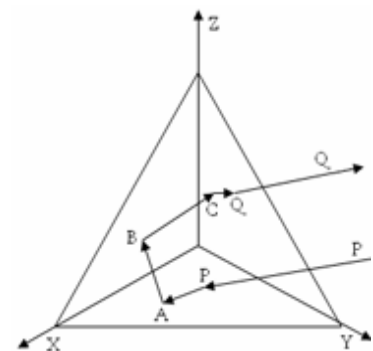


Рис. 5. Траектория 321

тор $\overline{PA}(x_0, y_0, z_0)$, найдем координаты точки А для первого сектора:

$$\overline{PA}: \begin{cases} x(t) = x_3 + x_0 t = x_A; \\ y(t) = y_3 + y_0 t = y_A; \\ z(t) = z_3 + z_0 t = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_A = x_3 - x_0 \frac{z_3}{z_0}; \\ y_A = y_3 - y_0 \frac{z_3}{z_0}; \\ z_A = 0. \end{cases}$$

По вектору $\overline{AB}(x_0, y_0, -z_0)$ и точке А найдем точку В:

$$\overline{AB}: \begin{cases} x(t) = x_A + x_0 t; \\ y(t) = y_A + y_0 t; \\ z(t) = 0 + (-z_0 t); \\ y_B(t) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_B = x_A - x_0 \frac{y_A}{y_0}; \\ y_B = 0; \\ z_B = z_0 \frac{y_A}{y_0}. \end{cases}$$

По вектору $\overline{BC}(x_0, -y_0, -z_0)$ и точке В найдем точку С:

$$\overline{BC}: \begin{cases} x(t) = x_B - x_0 \frac{y_A}{y_0} + x_0 t; \\ y(t) = 0 + (-y_0 t); \\ z(t) = z_0 \frac{y_A}{y_0} + (-z_0 t); \\ x_C(t) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_C = 0; \\ y_C = y_0 \frac{x_A}{x_0} - y_A; \\ z_C = z_0 \frac{x_A}{x_0}. \end{cases}$$

И, наконец, по вектору $\overline{CQ}(-x_0, -y_0, -z_0)$ и точке С найдем точку Q:

$$\overline{CQ}: \begin{cases} x(t) = 0 - x_0 t; \\ y(t) = y_0 \frac{x_A}{x_0} - y_A - y_0 t; \\ z(t) = z_0 \frac{x_A}{x_0} - z_0 t; \\ x + y + z = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_Q = \frac{-x_A(y_0 + z_0) + x_0(1 + y_A)}{x_0 + y_0 + z_0}; \\ y_Q = \frac{-y_A(x_0 + z_0) + y_0(1 + x_A)}{x_0 + y_0 + z_0}; \\ z_Q = \frac{z_0(1 + x_A + y_A)}{x_0 + y_0 + z_0}. \end{cases}$$

Таким образом, зная точку падения луча на фронтальную грань, можно найти точку на выходе. Рассуждая аналогичным образом, можно получить координаты каждой точки при падении света на другие сектора ТРР. Как показывают расчеты, для сектора VI (траектория 312) координаты точки выхода вычисляются по тем же формулам, что и для сектора I. Для сектора II (траектория 231) и III (траектория 213) получаем:

$$\begin{cases} x_Q = \frac{-x_A(y_0 + z_0) + x_0(1 + z_A)}{x_0 + y_0 + z_0}; \\ y_Q = \frac{y_0(1 + x_A + z_A)}{x_0 + y_0 + z_0}; \\ z_Q = \frac{-z_A(x_0 + y_0) + z_0(1 + x_A)}{x_0 + y_0 + z_0}. \end{cases}$$

Для сектора IV (траектория 123) и V (траектория 132) аналогичным образом получаем:

$$\begin{cases} x_Q = \frac{x_0(1 + y_A + z_A)}{x_0 + y_0 + z_0}; \\ y_Q = \frac{-y_A(x_0 + z_0) + y_0(1 + z_A)}{x_0 + y_0 + z_0}; \\ z_Q = \frac{-z_A(x_0 + y_0) + z_0(1 + y_A)}{x_0 + y_0 + z_0}. \end{cases}$$

Вычислив координаты выходной точки Q, «возвращаем» ее из базиса (x_3, y_3, z_3) в базис (x'_3, y'_3, z'_3) . Для этого сдвигаем координаты обратно: $x'_3 = x_3 - 1, y'_3 = y_3, z'_3 = z_3$.

Через обратную матрицу перехода

$$T^{-1} = \begin{pmatrix} -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 \\ -1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} & \sqrt{2}/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \end{pmatrix},$$

зная $Q'(x'_3, y'_3, z'_3)$, находим $Q'(x', y', z')$:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = T^{-1} \begin{pmatrix} x'_3 \\ y'_3 \\ z'_3 \end{pmatrix}.$$

Координаты точки Q в базисе (x', y', z') равны координатам точки Q в базисе (x, y, z) . Точка $Q(x, y, z)$ – точка на фронтальной грани выхода луча из ТРР.

Стоит отметить, что для полного описания траектории отражения произвольного луча в ТРР, необходимо также рассчитать углы, под которыми луч падает на каждую из трех отражающих граней.

Определим падающий на произвольную отражающую грань вектор углами δ_i и γ_i , где δ_i – угол между падающим вектором и нормалью к грани, а γ_i – угол между направлением оси x и проекцией вектора на отдельную грань (рис. 6).

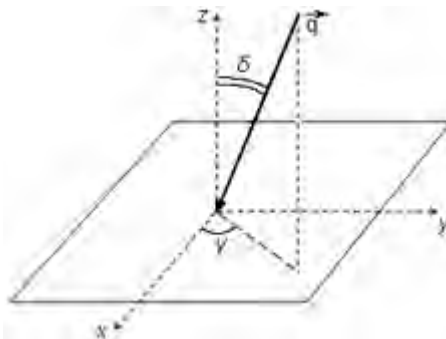


Рис. 6. К расчету углов падения на грани

Индекс $i = 1, 2, 3$ соответствует падению на первую, вторую и третью грани по порядку в зависимости от траектории луча.

Итак, для сектора I выразим вектор $\overline{PA}(x_0, y_0, z_0)$ через углы δ_i и γ_i : $\overline{PA}(\sin\delta_1\cos\gamma_1; \sin\delta_1\sin\gamma_1; \cos\delta_1)$, т.е. $\delta_1 = \arccos z_0$ – угол падения на первую грань.

Вектор $\overline{AB}(x_0, y_0, -z_0)$ представим как $\overline{AB}(\sin\delta_2\sin\gamma_2; \cos\delta_2; \sin\delta_2\cos\gamma_2)$, получим $\delta_2 = \arccos y_0$. Вектор $\overline{BC}(x_0, -y_0, -z_0)$ представим, как $\overline{BC}(\cos\delta_3; \sin\delta_3\cos\gamma_3; \sin\delta_3\sin\gamma_3)$ и получим $\delta_3 = \arccos x_0$.

Для сектора II аналогично:

$$\delta_1 = \arccos y_0, \delta_2 = \arccos z_0, \delta_3 = \arccos x_0.$$

Для сектора III:

$$\delta_1 = \arccos y_0, \delta_2 = \arccos x_0, \delta_3 = \arccos z_0.$$

Для сектора IV:

$$\delta_1 = \arccos x_0, \delta_2 = \arccos y_0, \delta_3 = \arccos z_0.$$

Для сектора V:

$$\delta_1 = \arccos x_0, \delta_2 = \arccos z_0, \delta_3 = \arccos y_0.$$

Для сектора VI:

$$\delta_1 = \arccos z_0, \delta_2 = \arccos x_0, \delta_3 = \arccos y_0.$$

В случае не нормального падения луча на фронтальную грань ТРР, помимо трехкратного зеркального отражения, луч дважды испытывает преломление на границе диэлектрик-воздух [13], однако при нормальном падении света происходит лишь равномерное по всей апертуре уменьшение амплитуды электромагнитной волны без изменения ее фазы. Поэтому влияние этого фактора при нашем рассмотрении мы учитывать не будем.

Теперь остановимся подробнее на исследовании изменения амплитудно-фазового распределения поля при каждом отражении внутри ТРР.

Стоит отметить, что ТРР изготавливаются в виде двух основных модификаций [14]: на основе микропризм, выдавленных в пластике с металлизированными задними отражающими гранями (ТРР-1) или таких же микропризм с воздушным зазором на основе полного внутреннего отражения (ТРР-2). При этом ТРР-1 имеют лучшие характеристики световозвращения [6].

Рассматривая по-прежнему случай нормально-го падения луча на фронтальную грань ТРР, обратим внимание, что произвольно наклоненный падающий луч будет иметь параллельную E_{\parallel} и перпендикулярную E_{\perp} составляющие исходного (линейно-поляризованного) излучения (рис. 7), причем $E_{\parallel} = E_i \cdot \hat{M} \hat{M}$, а $E_{\perp} = E_i \cdot \hat{N} \hat{N}$, где E_i – падающая волна, \hat{N} – вектор нормали к плоскости падения, а \hat{M} – вектор, перпендикулярный вектору \hat{N} и нормали к отражающей плоскости – вектору \hat{S} :

$$\hat{N} = \hat{K}_i \times \hat{S} / |\hat{K}_i \times \hat{S}|, \hat{M} = \hat{K}_i \times \hat{N}, \quad (1)$$

где \hat{K}_i – вектор, в направлении которого распространяется волна.

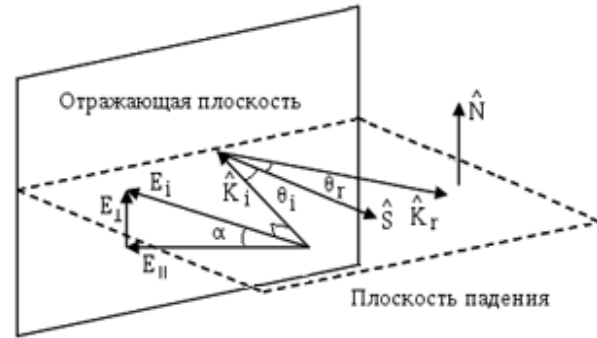


Рис. 7. К расчету поляризации при отражении от грани

Если учесть, что $\hat{K}(K_X, K_Y, K_Z)$ и $S_{XY}(0, 0, 1)$, $S_{XZ}(0, 1, 0)$, $S_{YZ}(1, 0, 0)$, то с помощью (1) можно рассчитать вектора \hat{N} и \hat{M} для каждой отражающей плоскости XY, XZ и YZ:

$$\hat{N}_{XY} = \left(\frac{K_Y}{\sqrt{K_Y^2 + K_X^2}}; \frac{-K_X}{\sqrt{K_Y^2 + K_X^2}}; 0 \right);$$

$$\hat{N}_{XZ} = \left(\frac{-K_Z}{\sqrt{K_Z^2 + K_X^2}}; 0; \frac{K_X}{\sqrt{K_Z^2 + K_X^2}} \right);$$

$$\hat{N}_{YZ} = \left(0; \frac{K_Z}{\sqrt{K_Z^2 + K_Y^2}}; \frac{-K_Y}{\sqrt{K_Z^2 + K_Y^2}} \right); \quad (2)$$

$$\hat{M}_{XY} = (-N_Y K_Z; N_X K_Z; K_X N_Y - N_X K_Y);$$

$$\hat{M}_{XZ} = (K_Y N_Z; K_Z N_X - N_Z K_X; -N_X K_Y);$$

$$\hat{M}_{YZ} = (K_Y N_Z - N_Y K_Z; -K_X N_Z; K_X N_Y);$$

а характеристики поля вычислим по формулам [15]:

$$E_{\parallel} = r_{\parallel} \theta_i \quad E_i \cdot \hat{M} \hat{M}, E_{\perp} = r_{\perp} \theta_i \quad E_i \cdot \hat{N} \hat{N}, \quad (3)$$

где $r_{\parallel} \theta_i$ и $r_{\perp} \theta_i$ – коэффициенты отражения, θ_i – угол падения на отражающую грань.

Коэффициенты отражения для разных типов ТРР (металлизированных либо с воздушным зазором) разные и вычисляются по формулам Френеля.

Для ТРР первого типа:

$$r_{\parallel} = \frac{\operatorname{tg}(\phi - \psi)}{\operatorname{tg}(\phi + \psi)}; \quad r_{\perp} = -\frac{\sin(\phi - \psi)}{\sin(\phi + \psi)}. \quad (4)$$

Для ТРР второго типа:

$$r_{\parallel} = \frac{n^2 \cos \phi - i\sqrt{\sin^2 \phi - n^2}}{n^2 \cos \phi + i\sqrt{\sin^2 \phi - n^2}};$$

$$r_{\perp} = \frac{\cos \phi - i\sqrt{\sin^2 \phi - n^2}}{\cos \phi + i\sqrt{\sin^2 \phi - n^2}}. \quad (5)$$

Первая пара формул (2.5) дает вещественные значения и говорит об изменении амплитуды, а вторая (2.6) – дает комплексные значения, т.е. происходит изменение не только амплитуды, но и фазы. Именно потому, что коэффициенты отражения для разных поляризаций отличаются, мы и получаем разные амплитудно-фазовые распределения.

При каждом отражении происходит перераспределение энергии между взаимно-ортогональными составляющими поля (рис. 8).

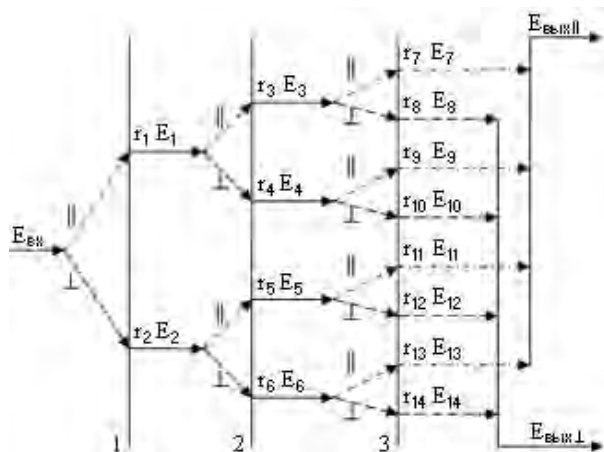


Рис. 8. Схема отражения луча в ТРР с учетом поляризации

В итоге формируется излучение с поляризацией в общем случае отличной от линейной:

$$E_{\text{вых}||} = r_7 E_7 + r_9 E_9 + r_{11} E_{11} + r_{13} E_{13}; \quad (6)$$

$$E_{\text{вых}\perp} = r_8 E_8 + r_{10} E_{10} + r_{12} E_{12} + r_{14} E_{14},$$

где r_7, r_9, r_{11}, r_{13} – соответствующие коэффициенты отражения для согласованной со входной поляризации, а $r_8, r_{10}, r_{12}, r_{14}$ – для ортогональной ей.

2. Имитационное моделирование преобразования поля на ТРР

В соответствии с изложенными выше закономерностями преобразования амплитудно-фазового распределения на различных типах ТРР (1 –6) была разработана имитационная компьютерная модель, с помощью которой можно получить амплитуду и фазу преобразованного на ТРР поля. По заданным точкам программа по формулам для возможных траекторий прохождения луча в ТРР рассчитывает точки выхода из него, а также значения амплитуды и фазы в каждой точке для обеих составляющих поляризации.

Результаты моделирования приведены в табл. 1. Представлены распределения амплитуд и фаз в каждом из шести секторов для ТРР-1 и ТРР-2 на ортогональных поляризациях в зависимости от разворота плоскости поляризации падающего излучения. Будем считать, что нулевое значение угла разворота совпадает с указанной на рис. 2 ориентацией ТРР. При повороте ТРР по часовой стрелке увеличивается и угол разворота плоскости поляризации падающего излучения.

Таблица 1

Распределения амплитуд и фаз в секторах ТРР-1 и ТРР-2 на ортогональных поляризациях в зависимости от угла разворота плоскости поляризации падающего излучения

Угол	Тип ТРР	Пр	По	Номер сектора					
				1	2	3	4	5	6
0°	ТРР-1	А	с	0.76	1	0.76	0.76	1	0.76
			о	1	0.67	0.33	0.33	0.67	1
	Ф	с	0	0	0	0	0	0	
		о	0	0	0	0	0	0	
	ТРР-2	А	с	1	0.2	1	1	0.2	1
			о	1	0.39	0.33	0.33	0.39	1
Фаза		с	5.28	1.34	5.28	5.28	1.34	5.28	
		о	5.31	5.59	1.47	1.47	5.59	5.31	
30°	ТРР-1	А	с	0.52	1	0.39	0.79	0.66	0.66
			о	1	0.1	0.7	0.4	0.7	0.1
	Ф	с	0	0	0	0	0	0	
		о	0	0	0	0	0	0	
	ТРР-2	А	с	0.53	0.24	1	0.24	0.15	0.74
			о	0.79	1	0.37	0.26	0.37	1
Ф		с	5.43	5.05	5.28	5.23	0.28	5.18	
		о	5.28	5.36	4.91	1.04	4.91	5.36	
45°	ТРР-1	А	с	0.47	1	0.25	0.93	0.55	0.7
			о	1	0.29	0.83	0.6	0.75	0.38
	Ф	с	0	0	0	0	0	0	
		о	0	0	0	0	0	0	
	ТРР-2	А	с	0.37	0.27	1	0.03	0.18	0.63
			о	0.46	1	0.29	0.18	0.57	0.71
Ф		с	5.57	5.21	5.28	5.79	6.16	5.11	
		о	5.19	5.32	5.06	0.72	5.1	5.39	
90°	ТРР-1	А	с	0.31	0.67	1	1	0.67	0.33
			о	1	0.74	1	1	0.74	1
	Ф	с	0	0	0	0	0	0	
		о	0	0	0	0	0	0	
	ТРР-2	А	с	0.33	0.4	1	1	0.39	0.33
			о	0.18	1	0.18	0.18	1	0.18
Ф		с	1.47	5.59	5.31	5.31	5.59	1.47	
		о	5.71	5.24	5.71	5.71	5.24	5.71	

Обозначения: параметр (Пр): амплитуда (А) или фаза (Ф); поляризация (По): соглас. (с) или ортогон. (о)

Сравнение данных, представленных в табл. 1, позволяет сделать следующие выводы: для ТРР-1 в связи с действительным характером коэффициента отражения первоначально равномерные значения амплитуды электромагнитной волны становятся различными для различных секторов после прохождения света через ТРР. При этом фазовое распределение не меняется. При развороте плоскости поляризации падающего луча относительно ТРР соотношение амплитуд поля в секторах изменяется весьма существенно. В некоторых случаях контраст между секторами близок к единице. Такое поведение характерно для взаимно-ортогональных поляризаций, и при этом распределение интенсивности между секторами существенно отличается для взаимно-ортогональных поляризаций.

Для ТРР-2 в связи с комплексным характером коэффициентов отражения существенные изменения

происходит как с амплитудой, так и с фазой луча на выходе ТРР. Наблюдается значительное отличие амплитуд света на выходе различных секторов. При этом соотношение интенсивностей для различных секторов изменения при развороте плоскости поляризации относительно ТРР. Также как и в случае ТРР-1 наблюдается существенное отличие в распределении интенсивности для различных составляющих поляризации луча.

В отличие от ТРР-1 для ТРР-2 после прохождения ТРР наблюдается изменение фазы электромагнитной волны, причем эти значения различны для различных секторов и различны для двух состояний поляризации луча. Эти распределения меняются при развороте плоскости поляризации.

Заклучение

Результаты моделирования показывают, что в отличие от известных ранее, имеют место значительные отличия в амплитудно-фазовых распределениях для различных секторов ТРР на выходе при начальном постоянном амплитудно-фазовом распределении на его входе. Существенные отличия имеют место также для различных составляющих поляризации выходного излучения.

Такие отличия могут привести к существенно разным картинам дифракции лазерного излучения на решетках ТРР в зависимости от их структуры и пространственной ориентации. Это обстоятельство в свою очередь необходимо учитывать при рассмотрении путей использования РТРР обоих типов в различных системах прикладного назначения.

Список литературы

1. ГОСТ Р12.4.026-2001 Государственный стандарт Российской Федерации. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Введ. 01.02.01. - М.: Изд-во стандартов, 2001. - 72 с.
2. Van Lear, Jr. G.A. Reflectors used in highway signs and warning signals. Parts I, II & III // *Journal of the Optical Society of America*, 1940. - Vol. 30. - P. 462-487.

3. Наноспутник REFLECTOR. Выбор параметров системы ориентации / М.Ю. Овчинников, В.Д. Шаргородский и др. // *Космические исследования*, 2007. - Т. 45, № 1. - С. 67-84.
4. Zhou L. Corner-Cube Retroreflectors Based on Structure-Assisted Assembly for Free-Space Optical Communication / L. Zhou, J.M. Kahn // *IEEE Journal of Micro-electromechanical Systems*. - 2003. - Vol. 12, No. 3. - P. 233-242.
5. Orlov V.K., Virnik Ya.Z., *Sov. j. Quantum Electron.* - 1978. - Vol. 8. - P. 799-800.
6. Wavefront correcting properties of corner-cube arrays / R.A. Chipman, J. Shamir et. al. // *Applied Optics*. - 1988. - Vol. 27, No. 15. - P. 3203-3209.
7. O'Meara T.R. Wavefront compensation with pseudoconjugation / T.R. O'Meara // *Opt. Eng.*, 1982. - Vol. 21. - P. 271-280.
8. Dolya G.N. The appreciation of the influence of exactness of focusing on the work of the laser homodyne method of measuring the parameters of vibration / G.N. Dolya, V. Zhyvchuk // *Proc. SPIE*, 2004. - Vol. 5582. - P. 45-52.
9. Доля Г.Н. Телевизионный датчик для оценки состояния турбулентной атмосферы с использованием световозвращающих покрытий / Г.Н. Доля, Е.С. Чудовская // *Труды 3-го меж. радиоэлектр. Форума*. - 2008. - Т. 2. - С. 480-483.
10. Доля Г.Н. Об угловых флуктуациях рассеянного на световозвращающем покрытии лазерного излучения в условиях турбулентной атмосферы / Г.Н. Доля, Е.С. Чудовская // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2008. - № 4/3(34). - С. 4-7.
11. Пик Л.И. Исследование действия призмного отражателя / Л.И. Пик // *Геодезия и картография*, 1965. - № 10. - С. 29-35.
12. Kilaru M.K. Advanced characterization of electro-wetting retroreflectors / M.K. Kilaru, J. Yang, J. Heikenfeld // *Optics express*, 2009. - Vol. 17, No. 20. - P. 17.563-17.569.
13. Ханох Б.Ю. Оптические отражатели тетраэдрического типа в активных системах / Б.Ю. Ханох. - Минск: Издательство БГУ им. Ленина, 1982. - 160 с.
14. Lloyd J. A brief history of retroreflective sign face sheet materials, 2008 [Электронный ресурс] / J. Lloyd. - Режим доступа: <http://www.rema.org.uk/pdf/historyretroreflective-materials.pdf>.
15. Scholl M.S. Ray trace through a corner-cube retro-reflector with complex reflection coefficients / M.S. Scholl // *J. Opt. Soc. Am. A*. - 1995. - Vol. 12, No. 7. - P. 1589-1592.

Поступила в редколлегию 1.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков.

ПЕРЕТВОРЕННЯ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВОГО РОЗПОДІЛЕННЯ ПРИ ВІДБИТТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД ТЕТРАЕДРИЧНИХ РЕТРОРЕФЛЕКТОРІВ

Г.М. Доля, О.С. Литвинова

Дослідженні закономірності перетворення амплітудно-фазового розподілення (АФР) при відбитті лазерного випромінювання від тетраедричних ретрорефлекторів (ТРР), що відрізняються фізичними властивостями межі відбиття. Розроблена імітаційна модель такого перетворення. Результати моделювання свідчать про те, що при початковому незмінному АФР на вході ТРР мають місце нерівномірні розподілення амплітуд та фаз на його виході. Істотні відмінності спостерігаються також для різних складових поляризації вихідного випромінювання.

Ключові слова: тетраедричний ретрорефлектор, відбиття, амплітудно-фазове розподілення, поляризація.

THE AMPLITUDE-PHASE DISTRIBUTION TRANSFORMATION WHEN THE LASER RADIATION REFLECT FROM TETRAHEDRAL RETROREFLECTORS

G.N. Dolya, E.S. Litvinova

The mechanism of the amplitude-phase distribution (APD) transformation when the laser radiation reflect from tetrahedral retroreflectors (TRR) that differ from each other by physical properties of reflection borders is investigated. The simulation model of such transformation is developed. Simulation results show that having initial uniform APD on the TRR's input we get irregular amplitude and phase distributions on it's output. Considerable distinctions for different components of output radiation polarization are also observed.

Keywords: tetrahedral retroreflector, reflection, amplitude-phase distribution, polarization.