

07; 09; 12

© 1991

ОПТИМАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ ПРИЗМЕННЫХ
УГОЛКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ

А.Д. Т и т о в

Призмённые уголко́вые отражатели (УО) широко используются в оптических приборах [1-3]. Наряду с прямоугольным УО свойством возвратного отражения обладают конструкции отражателей в форме трёхгранных углов ($\pi/2$, $\pi/2$, π/s), где s - целые чётные числа. В [4] показано, что в случае равнобедренных УО (ребра двугранных углов $\pi/2$, $\pi/2$ и π/s равны по длине) оптическая сила света (интенсивность в центре дифракционной картины) для заданного показателя преломления тем выше, чем больше число s .

В настоящем сообщении показано, что увеличения осевой силы света в УО ($\pi/2$, $\pi/2$, π/s) полного внутреннего отражения (ПВО) при фиксированных n и s (в том числе $s = 2$) можно достичь за счёт симметричной трансформации формы рабочей апертуры, т.е. выбора ориентации фронтальной грани относительно ребер УО.

Геометрия идеального УО (плоские грани, точно выполненные двугранные углы) представлена на рис. 1. Идеальная плоская волна падает на отражатель перпендикулярно его фронтальной грани ABC, которая может быть по-разному ориентирована относительно ребер отражателя OA, OB и OC, т.е. длины ребер OA, OB и OC существенно различны. Рабочая апертура, ограниченная вытянутыми симметричным шестиугольником $DEFGHJ$, состоит из $2s + 2$ секторов, границы которых совпадают с проекциями в направлении падающей волны на фронтальную грань ребер отражателя и их зеркальными изображениями в боковых гранях.

При ПВО происходит изменение амплитудно-фазовых характеристик отраженной волны. Эти изменения зависят от последовательности $s + 1$ -го отражения волн от граней. Каждый сектор формирует волну со своим состоянием поляризации. Для определения комплексных амплитуд поля в плоскости выходного зрачка УО использовался матричный метод Джонса. Действие отражателя в создании поля в дальней зоне обусловлено интерференцией $2s + 2$ отраженных пучков. В соответствии с интегралом, описывающим дифракцию Фраунгофера, интенсивность в центре дифракционной картины определяется выражением

$$I = \left| \sum_{i=1}^{2s+2} \frac{S_i}{S_0} E_{ix} \right|^2 + \left| \sum_{i=1}^{2s+2} \frac{S_i}{S_0} E_{iy} \right|^2, \quad (1)$$

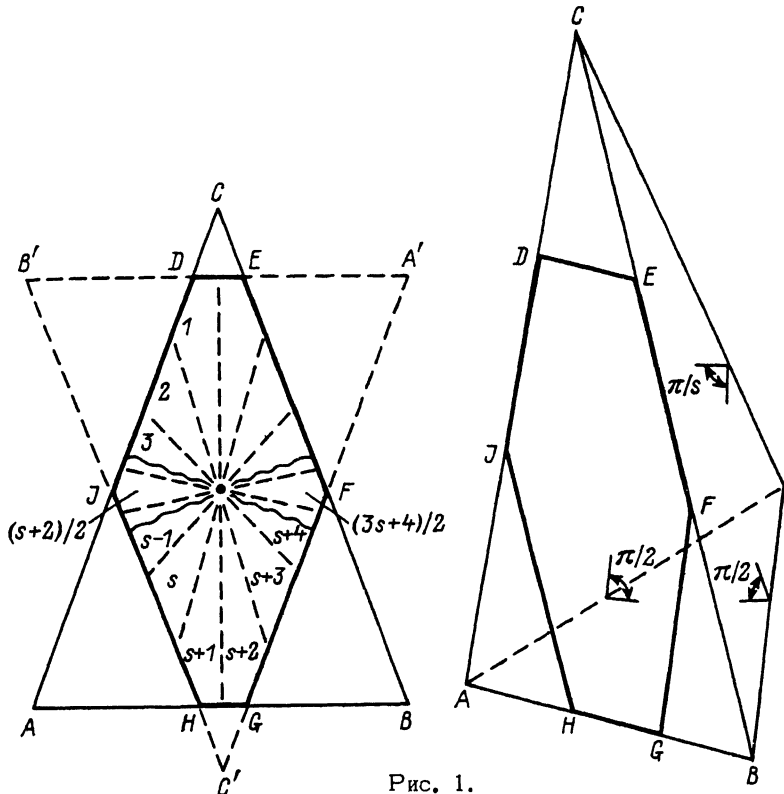


Рис. 1.

где E_{ix} , E_{iy} – ортогональные компоненты вектора Джонса волны, выходящей из i -го сектора апертуры, S_i – площадь i -го сектора апертуры, S_0 – площадь всей апертуры $DEFGHJ$ отражателя. При записи (1) использована нормировка, согласно которой $I = 1$, если дифракция происходит на отверстии равнобедренной площади S_0 .

Биссекторная плоскость двугранного угла π/s является единственной плоскостью симметрии равнобедренного УО при $s \neq 2$. В прямоугольном УО биссекторные плоскости всех трех его двугранных углов являются плоскостями симметрии. Проведенные исследования показывают, что УО имеют максимальную угловую апертуру и максимальную эффективную поверхность рассеяния в случае $OA = OB = OC$, т.е. когда нормаль к фронтальной грани УО лежит в биссекторной плоскости двугранного угла π/s . Логично предположить, что в силу свойств симметрии максимум осевой силы света УО имеет место, когда биссекторная плоскость двугранного угла π/s является плоскостью симметрии УО ($OA = OB$). На рис. 2 (сплошные линии) показана зависимость осевой силы света I при $n = 1.5$ от отношения длины ребер $OA/OC = OB/OC = x$ для разных s . Вид этих кривых не зависит от азимута поляризации входного линейно-поляризованного света. Обрыв линий на рис. 2 обусловлен нарушением

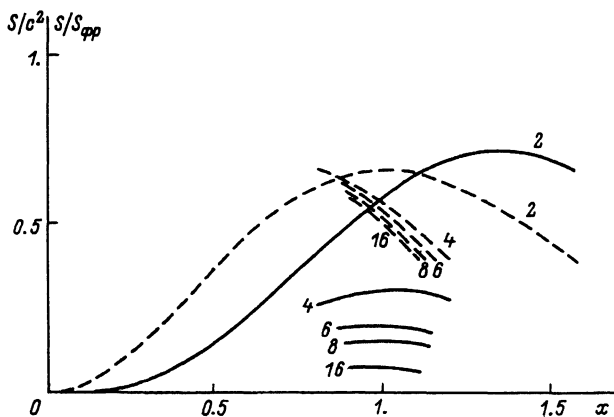
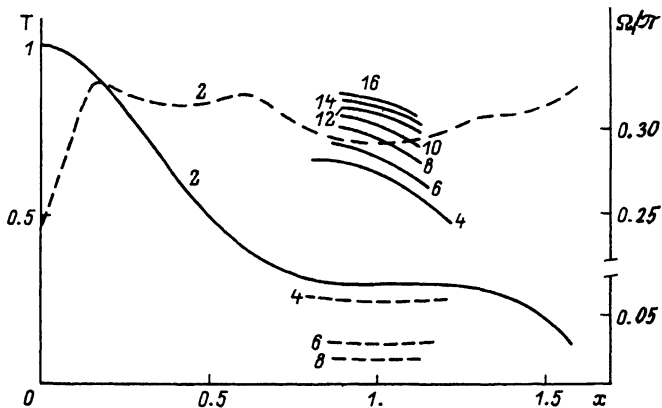


Рис. 2.

эффекта ПВО. Как видно из рисунка, прямоугольный УО обеспечивает осевую силу света, равную или большую, чем равнобедренный УО с $s = 4$ при $x \leq 0.4$. Отражатели с $s \neq 2$ имеют максимум I в точках, отличных от точек срыва ПВО: $I_4^{max} = 0.6597$ при $x = 0.8127$ (при $x = 1$ имеем $I_4 = 0.6254$ [4], рост 5%), $I_6^{max} = 0.7150$ при $x = 0.8541$ ($I_6 = 0.6699$, рост 7%) и т.д. Прямоугольный УО имеет глобальный максимум $I_2^{max} \rightarrow 1$ при $x \rightarrow 0$. Локальный максимум имеет место при $x = 1.1493$ ($I_2^{max} = 0.2934$), а локальный минимум - при $x = 1$ ($I_2^{min} = 0.2915$). На рис. 2 показаны зависимости от x нормированной на квадрат длины ребра двугранного угла π/s площади рабочей апертуры S (сплошные линии) и зависимости доли площади рабочей апертуры в общей площади фронтальной грани $S/S_{фр}$ (штриховые линии) при $n = 1.5$. Из рисунка видно, что прямоугольный УО при $x \leq 0.4$ существенно проигрывает равнобедренному УО с

$S = 4$ по апертурным характеристикам. На рис. 2 (штриховые линии) показаны зависимости от x нормированной на \mathcal{L} угловой апертурной Ω (телесный угол в стерadians, в пределах которого падающий свет отражается на ПВО). Для прямоугольного УО $\Omega \rightarrow 0$ при $x \rightarrow 0$. Из рисунка видно, что существенное уменьшение Ω для прямоугольного УО наступает при $x < 0.1$; в общем случае рабочий угловой диапазон его выше, чем у УО с $S \neq 2$.

Таким образом, при фиксированном показателе преломления увеличения осевой силы света конкретного УО можно достичь за счет выбора соотношений размеров его боковых ребер. Это увеличение велико для прямоугольного отражателя, например, $I_2(0.2) : I_2(1) = 0.8746 : 0.2915$. Однако при этом он значительно теряет по апертурным характеристикам: $S / S_{\text{фр}}(0.2) : S / S'_{\text{фр}}(1) = 0.0761 : 0.6667$. Это ведет в свою очередь, к ухудшению габаритно-весовых характеристик — для сохранения прежней площади рабочей апертурной требуется увеличение габаритов (массы) УО. В частности, для того чтобы прямоугольный УО, имеющий такую же осевую силу света, как и равнобедренный УО с $S = 4$ (т.е. $x = 0.4$, рис. 2), имел такую же площадь рабочей апертурной, необходимо почти в два раза увеличить его линейные размеры ($c^{(4)} : c^{(2)} = 1 : 1.96$), что дает превышение массы в 1.67 раза.

Проведенное исследование позволит оптимальным образом учитывать отражательные, апертурные и габаритно-весовые характеристики призматических угловых отражателей при решении оптических задач с их использованием.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Багдасаров З.Е., Вирник Я.З. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 11. С. 2397–2407.
- [2] Быков В.Н., Сытник В.М. // Оптико-механическая промышленность. 1986. № 2. С. 6–9.
- [3] Коняхин И.А., Панков Э.Д. // Изв. вузов. Приборостроение. 1985. Т. 28. № 10. С. 62–68.
- [4] Процко С.В., Титов А.Д. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 21. С. 8–12.

НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко
Белорусского государственного университета
им. В.И. Ленина

Поступило в Редакцию
16 июля 1990 г.
В окончательной редакции
18 декабря 1990 г.