

07

© 1991

ПРИЗМЕННЫЕ УГОЛКОВЫЕ ОТРАЖАТЕЛИ С ДВУСВЯЗНОЙ УГЛОВОЙ АПЕРТУРОЙ

А. Д. Т и т о в

Призмённые уголко́вые отражатели (УО) широко применяются в различных оптических устройствах [1,2]. Решение задачи дифракции плоской волны в угловых областях показывает, что, наряду с отражателями из семейства трёхгранных углов ($\pi/2, \pi/2, \pi/s$, s -целые чётные числа) [3,4], свойством возвратного отражения обладают отражатели в форме трёхгранных углов ($\pi/2, \pi/3, \pi/4$) и ($\pi/2, \pi/3, \pi/5$) [5]. Угловая апертура зеркальных, металлизированных и призмённых УО ($\pi/2, \pi/2, \pi/s$) всегда односвязна и включает в себя, независимо от соотношений длин боковых рёбер, направление падения волн, ортогональное к фронтальной грани. Под угловой апертурой понимается телесный угол, при падении в пределах которого излучение возвращается строго в обратном направлении (испытан $s+1$ полное внутреннее отражение (ПВО) в случае призмённого отражателя).

В настоящем сообщении показано, что призмённые УО ($\pi/2, \pi/3, \pi/p$, $p=4,5$) при определенных показателях преломления имеют двусвязную угловую апертуру. При этом нормаль к фронтальной грани не обязательно является направлением возвратного отражения. Зеркальные и металлизированные УО ($\pi/2, \pi/3, \pi/p$) свойством двусвязности угловой апертуры не обладают.

Геометрия идеального УО ($\pi/2, \pi/3, \pi/p$) (плоские грани, точно выполненные двугранные углы, равные по длине боковые рёбра $a=b=c$) представлена на рис. 1. Пучок волн, падающий на отражатель ($\pi/2, \pi/3, \pi/p$), в зависимости от точки входа на фронтальной грани abc может распространяться в нем 42 ($p=4$) или 286 ($p=5$) возможными способами, отличающимися порядком переотражения от боковых граней. Он выходит из него после 9 или 15 отражений от боковых граней в направлении, обратном исходному. Нормаль к фронтальной грани oo' будет являться направлением возвратного отражения, если показатель преломления материала призмённого УО превышает критические значения $n^{(4)}_{кр} = 2.160664$, $n^{(5)}_{кр} = 3.117009$. В равнорёберных призмённых УО ($\pi/2, \pi/2, \pi/s$) минимально возможный для выполнения условий ПВО показатель преломления $n_{\min}^{(s)} = 1 + \cos^2(\pi/2s)$ определяется нормальным падением волны на фронтальную грань и увеличивается для конструкций УО с неравными по длине боковыми рёбрами [4]. В УО ($\pi/2, \pi/3, \pi/p$), наоборот, равенство длин боковых рёбер не определяет наименьший показатель преломления для реализации ПВО.

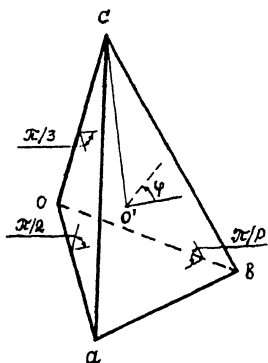


Рис. 1.

Наименьшие показатели преломления здесь имеют значения $n_{\min}^{(4)} = 1.732051$ и $n_{\min}^{(5)} = 1.902113$. В случае нормального падения волны на фронтальную грань они реализуются для конструкций УО с соотношениями длин боковых ребер

$$a : b : c = \sqrt{3} : \sqrt{3/2} : 1; \sqrt{1/3} : \sqrt{1/6} : 1 \quad (p=4)$$

$$a : b : c = 0.7947 : 0.9342 : 1; 1.7769 : 0.9342 : 1;$$

$$1.7769 : 1.5115 : 1; 0.4195 : 0.3568 : 1 \quad (p=5).$$

Несовпадение значений $n_{\text{кр}}^{(p)}$ и $n_{\min}^{(p)}$ говорит о том, что в исследуемых УО нормаль к фронтальной грани (не является направлением возвратного отражения при $n_{\min}^{(p)} < n \leq n_{\text{кр}}^{(p)}$, хотя для некоторых других направлений падения возвратное отражение имеет место.

Угловая апертура полых УО определяется величиной соответствующего этому отражателю пространственного угла ($\pi/12$ и $\pi/30$ стерadian соответственно для $p=4$ и 5). В металлизированных и призмных УО форма и размер угловой апертуры зависят от показателя преломления материала, из которого они изготовлены. Кроме того, для призмного УО действует жесткое требование выполнения условий ПВО при всех отражениях от боковых граней. На рис. 2 представлена численно рассчитанная диаграмма предельных углов возвратного отражения призмного равностороннего УО ($\pi/2$, $\pi/3$, $\pi/4$) (кривой 1 отвечает $n=1.9$, 2 - $n=2$, 3 - $n=2.2$, 4 - $n=2.5$, 5 - $n=3$). Аналогичная характеристика для УО ($\pi/2$, $\pi/3$, $\pi/5$) представлена на рис. 3 (1 - $n=2$, 2 - $n=2.2$, 3 - $n=2.5$, 4 - $n=3$, 5 - $n=3.2$, 6 - $n=3.5$). Концентрические круги соответствуют углу θ между нормалью oo' к фронтальной грани и направлением падения волны, секториальные линии служат мерой азимутального угла φ (рис. 1).

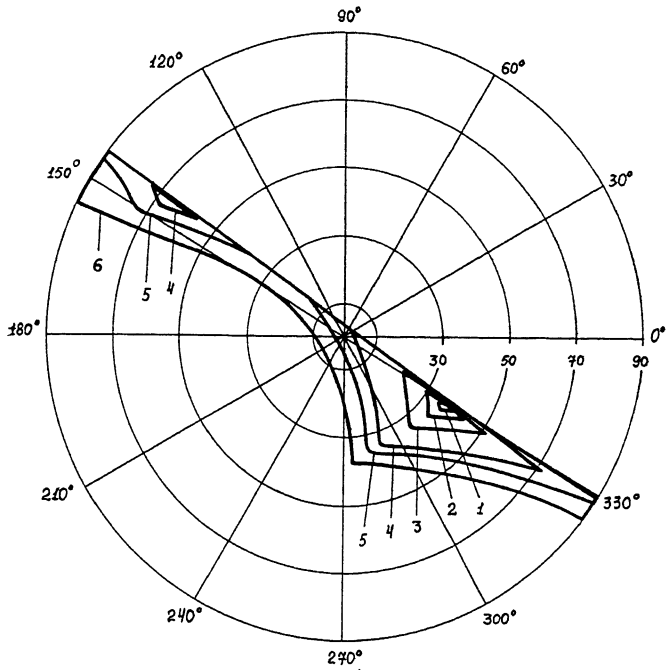


Рис. 2.

Проследим динамику изменения угловой апертуры УО с ростом показателя преломления. При $n = n_{\min}^{(p)}$ отражатели начинают работать в режиме возвратного отражения для направлений падения волны с углами $\phi_{\min}^{(4)} = 132.5^\circ$, $\theta_{\min}^{(4)} = 53.3^\circ$ и $\phi_{\min}^{(5)} = 328.4^\circ$, $\theta_{\min}^{(5)} = 37.6^\circ$. При показателях преломления $n_2^{(4)} = 1.978437$ и $n_2^{(5)} = 2.802517$ в областях углов $\phi_2^{(4)} = 90.0^\circ$, $\theta_2^{(4)} = 9.1^\circ$ и $\phi_2^{(5)} = 142.8^\circ$, $\theta_2^{(5)} = 64.1^\circ$ появляется второй, не связанный с первым, телесный угол возвратного отражения. При показателях преломления $n_0^{(4)} = 2.0$ и $n_0^{(5)} = 3.336635$ два телесных угла сливаются в односвязную угловую апертуру ($\phi_0^{(4)} = 115.6^\circ$, $\theta_0^{(4)} = 17.4^\circ$ и $\phi_0^{(5)} = 142.5^\circ$, $\theta_0^{(5)} = 23.6^\circ$). Нормаль к фронтальной грани включается в угловую апертуру при $n = n_{кр}^{(p)}$ (односвязную для $p=4$ и двусвязную для $p=5$). Таким образом, при показателе преломления, лежащем в интервале $n_2^{(p)} \leq n < n_0^{(p)}$ исследуемые отражатели имеют двусвязную угловую апертуру. В этом случае при движении источника излучения вдоль определенных траекторий (например, проходящих через координаты $(\phi_{\min}^{(p)}, \theta_{\min}^{(p)})$ и $(\phi_2^{(p)}, \theta_2^{(p)})$), будут иметь место два последовательных, разделенных в пространстве и времени возвратных отражения (отклика) от УО.

Отражатели с неравными длинами боковых ребер также обладают свойством двусвязности угловой апертуры и имеют те же харак-

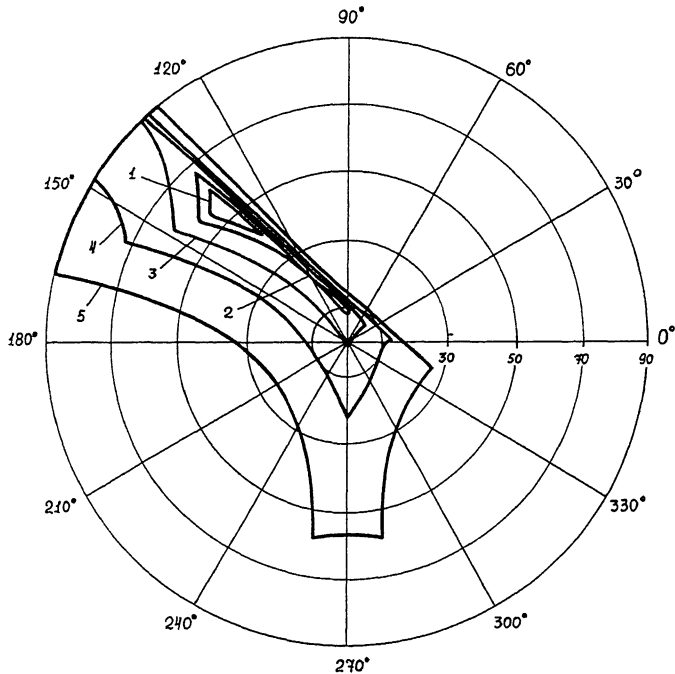


Рис. 3.

терные значения показателей преломления $n(\rho)$ (при иных значениях углов $\phi(\rho)$ и $\theta(\rho)$).

Проведенное исследование неизвестных ранее свойств угловой апертуры призмных УО может быть использовано при решении задач локации и идентификации объектов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А н а н ь е в Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990. 264 с.
- [2] Б о н д а р е н к о И.Д. Принципы построения фотоэлектрических автоколлиматоров. Минск: Университетское, 1984. 190 с.
- [3] Т и т о в А.Д. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. № 5. С. 20-23.
- [4] П р о ц к о С.В., Т и т о в А.Д. // Оптико-механическая промышленность. 1990. № 6. С. 32-36.

[5] Корнейчик В.В., Процко С.В., Хапалюк А.П. // Радиотехника и электроника. 1982. Т. 27. № 8. С. 1493-1499.

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

Поступило в Редакцию
15 августа 1991 г.