

07; 12

© 1993

ПСЕВДОФОРМ – ОПТИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ,
ФОРМИРУЮЩИЙ ПСЕВДОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Ш.Д. К а к и ч а ш в и л и

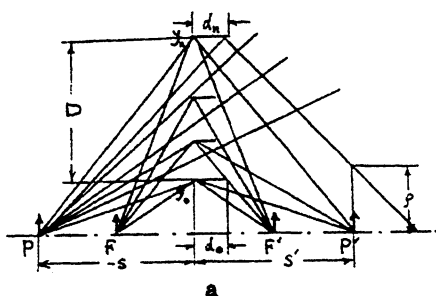
Направляющее действие набора плоскопараллельных металлических пластин в антенной технике СВЧ известно давно [1, 2]. Недостаточное внимание, однако, было уделено тому обстоятельству, что фокусирующее действие подобного рода устройств четко проявляется также в оптической области и легко описывается на геометро-оптическом языке. В отличие от обычных линз и зеркал устройство формирует псевдоскопическое изображение, что в качестве единственной альтернативы ортоскопического изображения создает определенную перспективу в прикладных применениях.

Рассмотрим систему плоских зеркальных слоев, расположенных над оптической осью, где на расстоянии $-S$ находится объект (рис. 1, а). Ниже используется общепринятое в геометрической оптике правило знаков для отрезков и фокусных расстояний [3]. Задавшись высотой y_0 и протяженностью d_0 исходного, самого близкого к оси слоя, построим изображение посредством системы лучей, исходящих из точки объекта и претерпевших лишь одно отражение на каждом слое. В общем случае часть лучей может пройти без отражения, другая же – претерпеть кратные отражения. Очевидно, что для каждого положения объекта и заданных характеристиках устройства всегда можно выбрать y_0 и d_0 так, чтобы кратных отражений не было. В этих условиях на расстоянии S' формируется изображение точки в виде пятна рассеяния определенных размеров. Простой расчет показывает, что размер пятна рассеяния на перпендикулярной оси плоскости равен

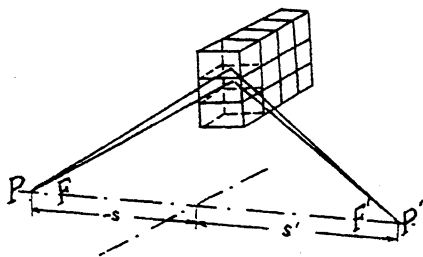
$$\rho = \frac{2d_0 y_n}{|s| + d_0}, \quad (1)$$

где y_n – высота зоны n -го слоя.

Набор зеркальных слоев рис. 1, а, очевидно, работает аналогично цилиндрической линзе в меридиональном сечении. Если его



а



б

Рис. 1. а - геометрическая схема работы псевдоформа, б - схема функционирования прямоугольного псевдоформа.

скрестить с таким же устройством, то изображение сформируется также для сагиттального сечения. В конечном итоге, можно образовать систему прямоугольных элементов с зеркальными слоями, которая одновременно будет работать в обоих сечениях (рис. 1, б). Из чертежа легко усмотреть, что описанная система формирует псевдоскопическое изображение с единичным увеличением. Так, ближний к системе объект фокусируется ближе к ней, чем более дальний. Кроме того, очевидно, что если на нее поступает сходящийся пучок лучей, то из нее выходит пучок расходящийся. В последнем случае сформированное мнимое изображение также псевдоскопично. Это дает основание ввести для описанного устройства название „псевдоформ“ (греч. *pseudos* - ложный + лат. *formare* - формировать).

Хотя прошедшие без отражения лучи пространственно сепарированы от полезного изображения, в ряде случаев может потребоваться полная их ликвидация. При этом для каждого положения и угловых размеров объекта необходим свой расчет, что несколько суживает универсальность работы псевдоформа. Геометро-оптический расчет протяженности и высоты зоны n -го слоя дает:

$$d_n = \frac{d_0}{1 + \frac{nd_0}{s}}, \quad y_n = \frac{y_0}{1 + \frac{nd_0}{s}}, \quad D = y_n - y_0, \quad (2)$$

где D - линейная апертура псевдоформа.

В качестве примера габаритного расчета приведем следующие числа: $n = 100$, $d_0 = 0.2$ мм, $y_0 = 200$ мм, $s = -100$ мм, $d_n = 0.25$ мм, $y_n = 250$ мм, $D = 50$ мм. В этом примере протяженность зеркальных слоев от нулевой зоны до последней меняется незначительно $d_n - d_0 = 0.05$ мм. Так же незначительно варьируется расстояние между слоями $y_n - y_{n-1} = 0.4008$ мм; $y_1 - y_0 = 0.6234$ мм. Размер пятна рассеяния $\rho = 0.998$ мм. Используя (1) и (2), возможно рассчитать характеристики псевдоформа практически при любой заданной разрешающей способности и светосиле.

Рассмотрим работу псевдоформа в совокупности с обычными линзами. При этом из-за асимметричного его расположения относительно оптической оси следует рассматривать внеосевые фрагменты этих линз. Из соотношения между сопряженными отрезками псевдоформа $s' = -s$ следует существенная неравноценность двух его положений относительно линзы, что в гауссовой оптике обычных оптических систем не имеет аналога. Если псевдоформ расположен перед линзой, то положение сопряженного отрезка, где формируется изображение объекта, представляется в виде

$$\frac{1}{s''} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{s+d}, \quad (3)$$

где d — расстояние между псевдоформом и линзой, а f' — фокусное расстояние линзы. При расположении псевдоформа за линзой сопряженный отрезок представляется в отличном от (3) виде:

$$\frac{1}{s''} = \frac{(s+f')}{(s+f')d - f's}. \quad (4)$$

Различие (3) и (4) создает предпосылки для получения ряда необычных конструктивных решений известных оптических систем.

С целью проверки изложенных выше соображений был построен псевдоформ из набора алюминированных стеклянных пластин в технически наиболее простом варианте. Весь набор пластинок оптически склеивался, разрезался в поперечном направлении и оптически обрабатывался по входной и выходной поверхностям. В конечном итоге две такие плоскопараллельные пластины оптически склеивались в скрещенном относительно слоев положении. Толщина каждой из алюминированных пластин составляла 1.2 мм. Общий размер псевдоформа 10x10 мм. Наличие среды стекла практически не влияло на оптические свойства устройства, хотя, безусловно, при его реализации в будущем должно быть принято во внимание. На рис. 2, а приводится изображение мира Ашеулова, полученное описанным псевдоформом. Правое и нижнее от изображения пятна образованы в результате отражения лучей только от горизонтально и вертикально ориентированных элементов составного псевдо-

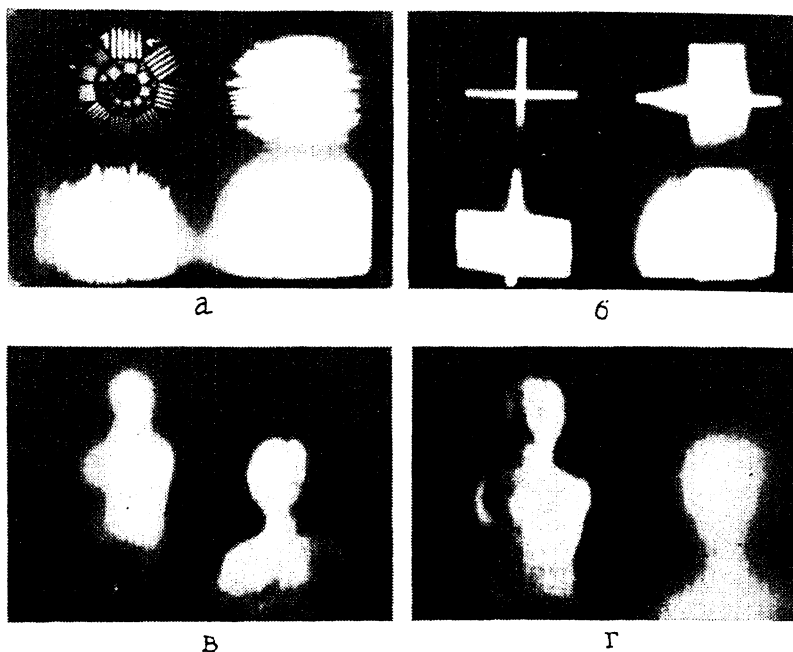


Рис. 2. Сформированные экспериментальным псевдоформом изображения: а - мира Ашеулова (уменьшено в 2 раза), б - изображение светящегося креста (уменьшено в 2 раза), в - сфокусированная на ближний объект объемная сцена (натуральный масштаб), г - сфокусированная на дальний объект объемная сцена (натуральный масштаб).

форма. Правое нижнее пятно образовано прошедшим без отражений светом. Из снимка видно, что они пространственно сепарированы от полезного изображения, и как было указано, являются результатом несогласованности характеристик устройства с положением объекта. В качестве иллюстрации сказанного по поводу побочных пучков приводится изображение креста, полученного тем же псевдоформом (рис. 2, б). На рис. 2, в, г изображена фотография объемной сцены в виде двух идентичных скульптур при фокусировании на ближний ($s = -100$ мм) объект и дальний ($s = -200$ мм) объект. Эксперимент однозначно подтвердил псевдоскопический характер объемной сцены, сфокусированной псевдоформом. Разрешающая способность устройства, вычисленная по (1), 1.7 лин/мм, согласуется с измеренной непосредственно по миру - 1.6 лин/мм.

Возможности использования псевдоформа и его реализация голографическим методом предполагается обсудить в дальнейшем.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ф р а д и н А.З. Антенно-фидерные устройства. М.: Связь, 1977. 440 с.
- [2] К о р н б л и т С. СВЧ оптика. М.: Связь, 1980. 360 с.
- [3] С л ю с а р е в Г.Г. Геометрическая оптика. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1946. 332 с.

Поступило в Редакцию
29 марта 1993 г.