

# 激光直线聚焦镜

尹元昭 叶桂木 陈远新

(中国科学院电子所)

## 提 要

提出了一种能把激光束聚焦成任意长度的新型直线聚焦透镜及其可能的应用。

## Laser line focusing lens

Yin Yuanzhao Ye Guimu Chen Yuanxin

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

## Abstract

A new type of focusing lens which can focus a laser beam into a line of any length and its possible applications are proposed.

迄今激光束的聚焦都是用透镜或凹面镜聚成一点即所谓点聚焦。近来也有人用柱面镜组成谐振腔,产生的激光束有一定的线度,可用柱面反射镜聚焦成一条线<sup>[1]</sup>,然而这条线的长度受光腔横向尺寸的限制只能是有限的。本文提出一种新颖的聚焦方式,我们称之为直线聚焦。下面我们分透射式与反射式两大类加以说明并提出可能的应用。

### 一、透射式直线聚焦镜

设强度均匀分布,传播方向平行的环状激光束  $A$  入射到透射式直线聚焦镜  $B$  上。镜子入射面是一与光束垂直的平面,所以光束不偏折地进入镜子,镜子的出射面是轴对称旋转曲面,它使射出的光束折射而聚焦在轴线段  $F_1F_2$  上。根据在聚焦线段上强度均匀

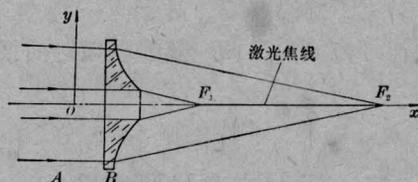


图1 透射式直线聚焦镜

分布的要求和折射定律,满足直线聚焦条件的曲面可由下列二个方程求解  $y=f(x)$  决定:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{N - \cos \beta}{\sin \beta} \quad (1)$$

$$\tan \beta = \frac{y}{x_{B0} + \frac{y^2 - y_0^2}{y_n^2 - y_0^2} (x_{Bn} - x_{B0}) - x} \quad (2)^*$$

其中  $N$  是透镜材料的折射率(对于锗  $N=$

收稿日期: 1979年5月11日。

\* 此处假定光线与光轴交点与对应光线半口径的平方成正比。

4.0, 对于氯化钠  $N=1.49$ ),  $x_{BO}$ 、 $x_{Bn}$  是焦线端点  $F_1$  和  $F_2$  的  $x$  轴上坐标,  $y_0$ 、 $y_n$  分别为光束的内、外半径。  $x$ 、 $y$  是曲面任意一点的坐标,  $\beta$  是光线与光轴的夹角。

从(1)、(2)二式无法得到  $y=f(x)$  的解析解, 我们用电子计算机数值求解。一些典型的结果如图 2 所示。

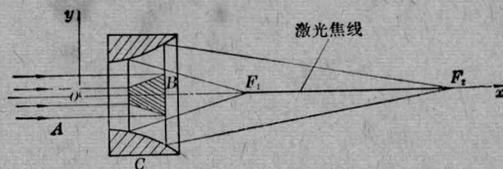


图 3 反射式直线聚焦镜

$$\frac{dy}{dx} = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{y}{x_B - x}\right) \quad (3)$$

$$x_B = \frac{x^2 - x_0^2}{x_n^2 - x_0^2} (x_{Bn} - x_{BO}) + x_{BO} \quad (4)$$

其中  $x_{BO}$  和  $x_{Bn}$  是焦线端点  $F_1$  和  $F_2$  的  $x$  轴上坐标,  $x_0$ 、 $x_n$  是光束入射到  $45^\circ$  锥面上的  $x$  轴坐标, 也就是光束的内、外半径。

从(3)、(4)二式不能得到曲面  $y=f(x)$  的解析解, 我们用电子计算机数值求解。一些典型的结果如图 4 所示。因为曲面弯曲很小, 为了将曲面在图上精确地表示出来, 我们进行了坐标旋转与放大的变换, 所以图 4 曲线的位置并不与图 3 一致。

从图 4 可见, 不同的焦线长度、位置和光

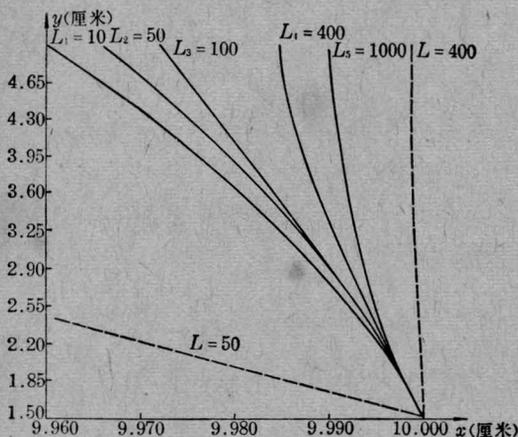


图 2 透射式直线聚焦镜曲面

参量  $L$ 、 $L_1$  等是焦线长度, 焦线的起点相同, 光束内半径 1.5 厘米, 外半径 5 厘米 (实线为锗; 虚线为氯化钠)

从图 2 可见, 不同的焦线长度、位置和光束尺寸对应不同的曲面。对于同一种材料, 焦线较长时曲面为凹面, 焦线较短时曲面为凸面。

## 二、反射式直线聚焦镜

透射式直线聚焦镜要用大直径的红外晶体材料, 价格昂贵, 不易获得, 但可用金属全反射镜的组合达到同样目的。金属镜价格便宜, 还可很好地冷却, 对高功率激光束是合适的。

反射式直线聚焦镜的一种结构如图 3 所示。

光束经  $45^\circ$  锥面  $B$  反射再经曲面  $C$  反射聚焦到轴线段  $F_1F_2$  上。从聚焦线上强度均匀分布和反射定律, 满足直线聚焦的曲面可由下列二个方程求解  $y=f(x)$  决定:

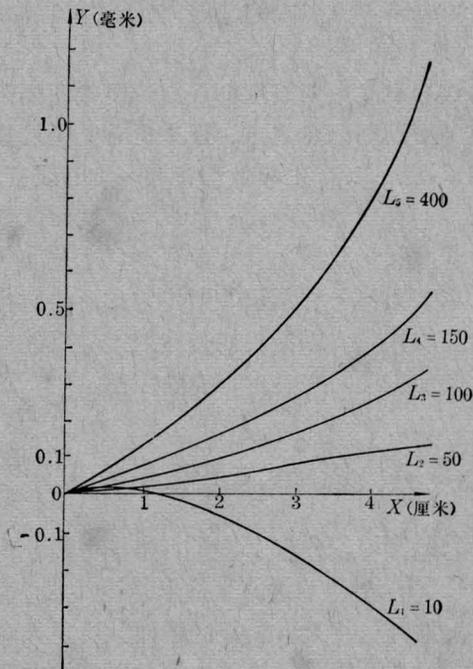


图 4 反射式直线聚焦镜曲面

参量  $L_1$ 、 $L_2$  等为焦线长度, 焦线起点相同, 光束内半径 1.5 厘米, 外半径 5 厘米

束尺寸对应不同的曲面。但与透射式相反,焦线较长时,曲面为凸面;焦线较短时,曲面为凹面。

平面环状激光束可用正支共焦不稳定腔产生,这样的不稳定腔结合电子束控制的大孔径  $\text{CO}_2$  激光器用来做直线聚焦镜实验是合宜的。

我们估计激光直线聚焦可有下列一些应用:

### 1. 光泵

光泵是激励激光媒质的主要方式之一,如果将激光媒质与焦线同轴放置,则可使激光媒质在较长的线度内得到均匀和强的激励,看来比现有的光泵方式优越,有希望用在光泵染料激光器中。

2. 一根可任意改变方向和长度的良导线

如果激光器有适当功率能使直线聚焦段空气击穿,则这一空气击穿段就可当作一根方向和长度可任意改变的良导线,使电路的

任意二端点短接,这对于难以接近的高压电路来说用处更大,或作为一根拉杆天线,用于特殊目的的电磁波发射和接收。

从前面的计算来看使空气击穿的焦线长度不受限制,但从能量守恒出发允许的最大焦线长度  $L_m$  由下式决定:

$$L_m = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2r} \frac{P}{P_s}$$

其中  $R_1$ 、 $R_2$  为入射光束的内、外半径,  $r$  为焦线横截面半径,  $P$  为入射光功率密度,  $P_s$  为大气击穿阈值功率密度。因为  $P/P_s < 1$ ,  $R_2$  不能很大,  $r$  因衍射效应,聚焦镜加工不完全理想和入射光束并非严格平行光等总为有限值,所以  $L_m$  就不能任意长。

3. 作为研究激光空气击穿的一种手段。

### 参 考 文 献

- [1] P. E. Dyer *et al.*; *Opt. Commun.*, 1975, 15, No. 1, 20~25.