

# 布儒斯特棱镜扩束器

许祖彦 邓道群

(中国科学院物理研究所)

## 提 要

我们设计了一种布儒斯特棱镜扩束器,体积小、扩束比大、损耗低、偏振性好,可用于各种脉冲染料激光系统。

脉冲染料激光器为获得窄带与宽阔的调谐输出,常用衍射光栅作为调谐元件。为提高分辨率和防止高功率激光破坏光栅表面必须将激光束孔径扩大<sup>[1]</sup>。近年来有不少作者用掠入射的棱镜扩束<sup>[2,3,4]</sup>,但由于入射角大,棱镜表面反射率很高,较低增益的染料和染料激光系统(例如闪光灯激励的染料激光器等)就很难做到最佳输出耦合匹配。另外,棱镜透射光的P分量和S分量之比与入射角有关,即偏振度较低且与器件参数有关。

我们设计的新型扩束器是多级布儒斯特棱镜的组合,每级均采用布儒斯特角入射,损耗很低,可用于各种增益的染料和调频脉冲激光系统、偏振性良好,可使输出激光的偏振度接近于1、扩束比大,并可调。同时它可以是无色散的,这对某些应用(例如气压调频)是必须的。

考虑图1的单级布儒斯特棱镜扩束器(以下均简称扩束器),设孔径为 $\phi_1$ 的光束以布儒斯特角 $\alpha$ 入射到棱镜表面,若折射光束相对棱镜出射面以零度出射,则扩束比为

$$M_1 = \phi_2 / \phi_1 = \sin \alpha / \sin (\pi/2 - \alpha) = \tan \alpha = n/n_0,$$

其中 $n$ 为棱镜材料的折射率, $n_0$ 为周围介质的折射率。对于 $K$ 个棱镜串接的 $K$ 级扩束器(见图2),扩束比为

$$M_k = \left(\frac{n}{n_0}\right)^k \quad (1)$$

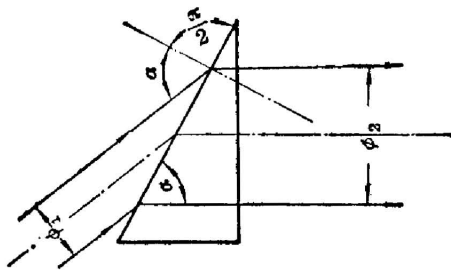


图1 单级布儒斯特棱镜扩束器  
Fig. 1 Single Brewster-prism expander

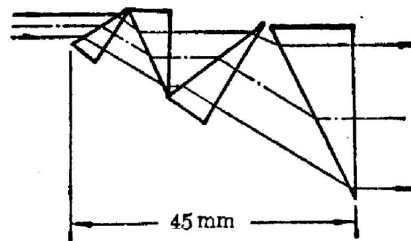


图2 四级布儒斯特棱镜扩束器  
Fig. 2 Quadruple Brewster-prism expander

若 $K$ 为偶数,则入射光束方向和出射光束方向平行,仅在入射面内产生一平移。通过适当推导可知, $K$ 级扩束器出射光的偏振度 $A_k$ 为:

收稿日期: 1981年2月17日

$$\Delta_k = \frac{\left(\frac{2n}{n_0}\right)^{2k} - \left[1 + \left(\frac{n}{n_0}\right)^2\right]^{2k}}{\left(\frac{2n}{n_0}\right)^{2k} + \left[1 + \left(\frac{n}{n_0}\right)^2\right]^{2k}} \quad (2)$$

若棱镜材料单位长度的衰减率为  $A$ , 棱镜周围介质的损耗忽略不计, 棱镜出射面的透过率为  $B$ , 则  $K$  级扩束器的透过率  $T_k$  为

$$T_k = B^k \prod_{j=0}^{k-1} \left[1 - \frac{1}{2} A \phi_1 \left(\frac{n}{n_0}\right)^j\right], \quad (3)$$

$K$  级扩束器光程的最小平均长度  $l_k$  为:

$$l_k = \phi_1 n \sum_{j=1}^k \left(\frac{n}{n_0}\right)^{j-1}. \quad (4)$$

我们用  $ZF_2$  玻璃 ( $n=1.6725$ ,  $A < 0.01/\text{cm}$ ) 制作了一具 4 级扩束器(图 2), 棱镜出射面镀增透膜 ( $B=99.5\%$ ), 扩束器在空气中使用, 取  $n_0=1$ , 则入射角  $\alpha=59.12^\circ$ , 入射孔径  $\phi_1=4\text{mm}$ , 由 (1)~(4) 式可求得:  $M_4=7.8246$ ,  $\Delta_4=46.78$ ,  $T_4 \approx 96\%$ ,  $l_4 \approx 64.5\text{mm}$ . 外形长度小于  $45\text{mm}$ .

用内腔式 He-Ne 激光器测量此扩束器的透过率, 对于入射光的  $P$  分量,  $T_4=95 \pm 1\%$ .

用小孔 ( $\phi=50\mu\text{m}$ ) 逐点扫描, 测得入射光束和出射光束中心部分平行于入射面的光强空间结构如图 3, 所示由图可见入射光束空间光强分布为高斯型, 出射光束空间光强分布亦为高斯型, 畸变很小, 由图 3 两曲线半宽度之比测得扩束器的扩束比  $M_4=7.8 \pm 0.1$ .

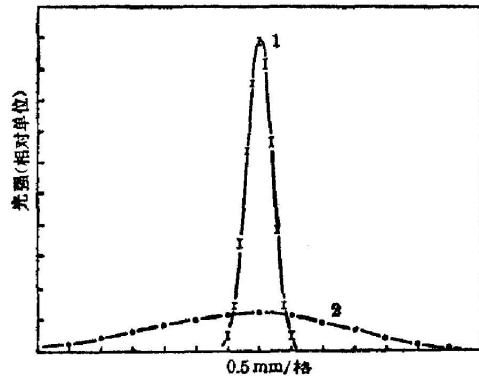


图 3 扩束器入射光强和出射光强的空间分布  
(1)—入射光; (2)—出射光

Fig. 3 Spatial energy distribution of incidence beam and output beam of the expander  
(1) incidence beam; (2) output beam

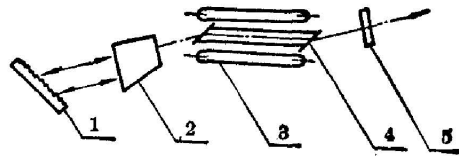


图 4 R6G 脉冲染料激光器

1—光栅; 2—扩束器; 3—闪光灯;  
4—染料池; 5—输出镜

Fig. 4 R6G pulsed dye laser  
(1) grating; (2) expander; (3) flash-lamp;  
(4) dye cell; (5) output mirror

利用 R6G 脉冲染料激光器(图 4)试验扩束器激光性能, 染料池长约  $10\text{cm}$ , 内径  $3\text{mm}$ . 染料为国产 R6G 乙醇溶液, 浓度为  $2.5 \times 10^{-4} M/l$ , 输出镜反射率为  $0.5$ , 光栅为每毫米  $1800$  线对平面复制光栅。当激光器调谐在  $5900\text{\AA}$ , 输入  $20\text{j}$  时, 可获得  $22\text{kW}$  ( $34\text{mj}$ ) 输出。带宽小于  $0.4\text{\AA}$ (图 5), 调谐效率超过  $65\%$ (图 6), 长期运转未见光栅有被破坏的征兆。

激光输出用消光比  $1000:1$  的格兰 (Glan) 棱镜检偏, 微焦耳级能量计测量  $P$  分量和  $S$  分量的能量  $E_p$  和  $E_s$ , 得到激光输出的偏振度为  $\Delta = (E_p - E_s) / (E_p + E_s) > 99.9\%$ . 前述的扩束器, 其棱镜顶角方向是交替反向排列的, 是无色散型, 若顶角方向不交替, 则是色散型, 其色散为  $K \frac{dn}{d\lambda}$ , 其余性能差不多。

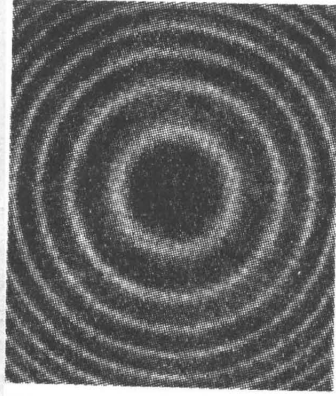


图5 激光带宽测量

测量标准具间距 1 mm;  
照相机焦距 500 mm

Fig. 5 Measurement of laser bandwidth  
the spacing of F-P etalon: 1mm, the  
focal length of camera: 500 mm

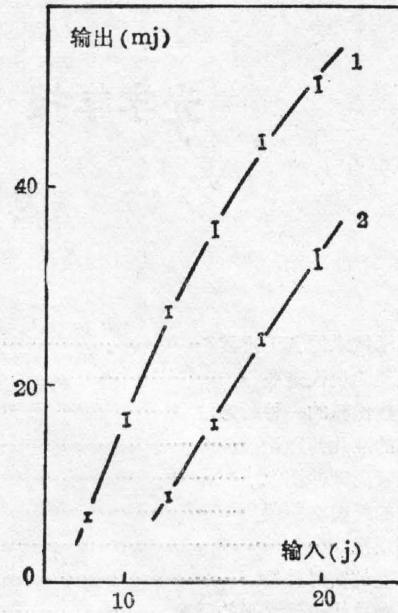


图6 激光效率

2 宽带输出; 1 窄带输出

Fig.6 Laser efficiency

(1) broadband output; (2) narrow band output

## 参 考 文 献

- [1] T. W. Hansch; *Appl. Opt.*, 1972, **11**, No. 4 (Apr), 895.
- [2] D. C. Hanna *et al.*; *Opt. & Quant. Electron.*, 1975, **7**, No. 2 (Mar), 115.
- [3] L. G. Nair; *Opt. Commun.*, 1977, **23**, No. 2 (Nov), 273.
- [4] T. Kasuya *et al.*; *Appl. Phys.*, 1978, **17**, No. 2 (Oct), 131.

## A Brewster-Prism Beam Expander

XU ZUYAN, AND DENG DAOQUN

(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing)

(Received 17 February 1981)

## Abstract

A new type of beam expander suitable for pulsed dye lasers is described. The system is small in volume and has a large expansion ratio, low loss and a high degree of polarization. Calculations for the design and experimental results are given.