

消色散四棱镜扩束器

汤星里 赵梅村 钱玉兰 于开义

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了消色散四棱镜扩束器的特征、原理、设计考虑、存在问题和解决方法。给出了测量结果和激光实验结果。

An undispersive four prism beam expander

Tang Xingli, Zhao Meicun, Qian Yulan, Yu Kaiyi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The properties, principle, design considerations, problems and method of the undispersive four prism beam expander are described. The results on measurement and laser experiments are given.

光束扩展器是脉冲染料激光器中的关键元件。其中多棱镜扩束器与扩束望远镜相比,它具有调整方便、结构紧凑和价格低廉等优点;与光栅扩束器相比又具有损耗较低的优点。因此在氮分子、准分子及铜蒸气激光泵浦的染料激光器中使用很多。而消色散棱镜扩束器除具有上述优点外,还具有对不同波长辐射出射方向均保持恒定的特点。这就给程序控制调谐激光波长带来方便。本文介绍一种垂直出射、输出与输入光束同轴的消色散四棱镜扩束器有关的理论、设计考虑、存在问题及解决途径。

理论和设计考虑

通常四棱镜扩束器是由两组双棱镜扩束单元组合而成。双棱镜单元有色散补偿、色散相加及消色散等组合方式。消色散组合方

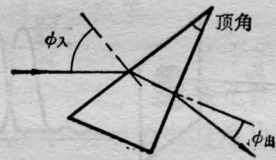


图 1

式与另两者的区别在于两个棱镜顶角不相等,但满足某种制约关系。单棱镜扩束率为

$$m = \left[\frac{\cos^2 \varphi_{\beta} (n^2 - \sin^2 \varphi_{\lambda})}{\cos^2 \varphi_{\lambda} (n^2 - \sin^2 \varphi_{\beta})} \right]^{1/2}$$

N 棱镜系统扩束率为

$$M_N = \prod_{i=1}^{1-N} m_i$$

n 为棱镜材料折射率。显而易见当 $\varphi_{\beta} = 0$ 时, m 有最大值。

光束垂直出射时,双棱镜系统角色散通过解光学矩阵方程得知为^[1]

收稿日期:1985年1月29日。

$$\frac{d\phi}{d\lambda} = [-\tan A(1 - n^2 \sin^2 B)^{1/2}(\cos B)^{-1}$$

$$\pm \tan B] dn/d\lambda \quad (2)$$

式中 A, B 分别为第一和第二个棱镜顶角; $dn/d\lambda$ 是棱镜材料的色散率。消色散时 $d\phi/d\lambda = 0$, 故两棱镜顶角间关系需满足

$$B = \sin^{-1}[\tan A / (1 + n^2 \tan^2 A)^{1/2}] \quad (3)$$

当把两棱镜的顶角取得符合(3)式时, 光束出射方向将与光波长无关。由这样的两组双棱镜系统组合的四棱镜系统也必然是消色散的。

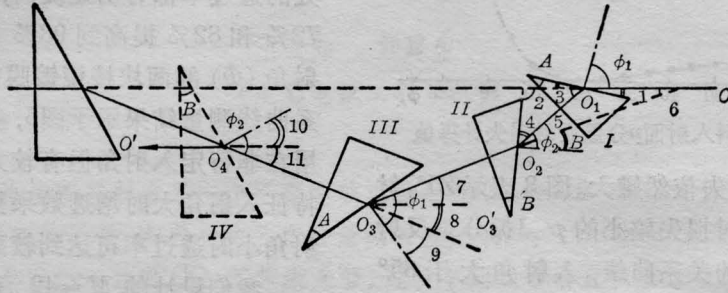


图 2

图 2 为消色散四棱镜示意图。I、III 棱镜顶角为 A , II、IV 棱镜顶角为 B , $A > B$ 。它们的入射角分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 , 出射角皆为 0° ; 虚线表示系统中的光束中心。利用简单的几何关系和垂直出射的已知条件不难证明

$$\angle 8 = \angle 11$$

所以 $O'O_4 \parallel O_3O'_3 \parallel O_1O$

即输出光束与输入光束平行。然后将棱镜 IV 向左上方平移, 使 IV 入射中心 O_4 与棱镜 III 出射光中心线和棱镜 I 入射光中心线 OO_1 的延长线之交点重合, 就可做到输出光束与输入光束同轴了。

设计消色散棱镜扩束器的步骤是: 首先选择棱镜材料和入射角 ϕ_1 。垂直出射时

$$\sin \phi_1 = n \sin A$$

对定值 ϕ_1 , n 越大 A 越小, 将使系统更紧凑。另外还需考虑材料的光学性质。选择 ϕ_1 的原则是, 尽量取大, 可获大的扩束率, 从而获得较窄的线宽。但又不能过分大, 以免入射面反射损失过大。 n, ϕ_1 选定后 A 即确定了, 然后从(3)式确定 B , 第 II、IV 棱镜入射角也随之确定了。最后计算整个系统的扩束率, 若不符合要求可重新修正。

表 1 给出我们实验室设计的消色散四棱

表 1

	消色散型棱镜扩束器			色散补偿相加型棱镜扩束器		
	I、III	II、IV	Σ	I、III	II、IV	Σ
n	1.6725	1.6725	1.6725	1.6725	1.6725	1.6725
$\phi_{\text{peak}}(^{\circ})$	36.07	27.53		34.66	34.66	
$\phi_{\text{in}}(^{\circ})$	80	50.62		72	72	
$\phi_{\text{out}}(^{\circ})$	0	0		0	0	
M	4.66	1.38	42.3	2.66	2.66	50.2
$T_{P_{\text{HIV}}}$ (涂膜前)			54.1%			61%
$T_{P_{\text{HIV}}}$ (涂膜后)			64.9%			69.2%
$T_{P_{\text{IV}}}$ (涂膜后)			80%			84.5%

镜扩束器的光学参数。同时列入了我们设计的色散补偿型和色散相加型四棱镜扩束器的光学参数以便比较。

入射面的反射损失

棱镜扩束器美中不足的是入射面反射损失较大, 大角度入射时尤甚。因此为实现同一扩束率往往不用大角入射的单棱镜而用较小入射角的多棱镜^[2], 不过对高效染料激光

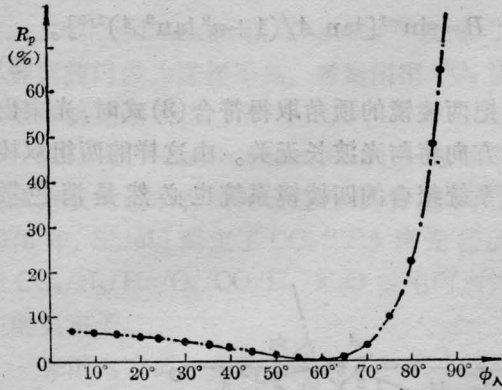
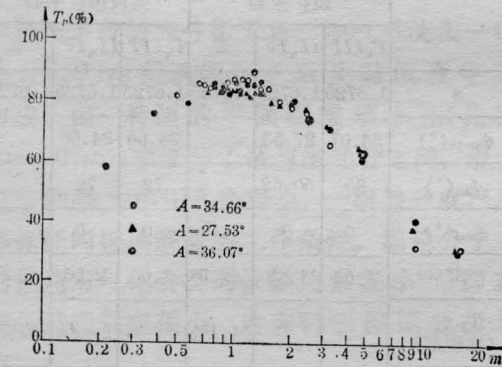


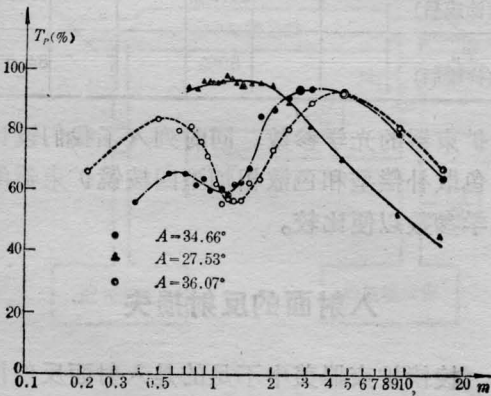
图3 ZF₂材料入射面p分量反射损失计算值

器来说,反射损失依然较大。图3表示ZF₂材料一个反射面对损失较小的p偏振分量反射损失与入射角的关系曲线,入射角大于85°反射损失大于50%。

由于0°出射的棱镜扩束器的入射角是固定的,故在此特定入射角,对反射损失较小



(a)



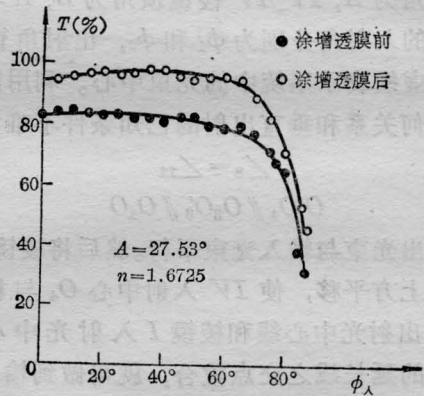
(b)

图4 单棱镜 T_p-m 测量曲线
(a) 镀增透膜前; (b) 镀增透膜后

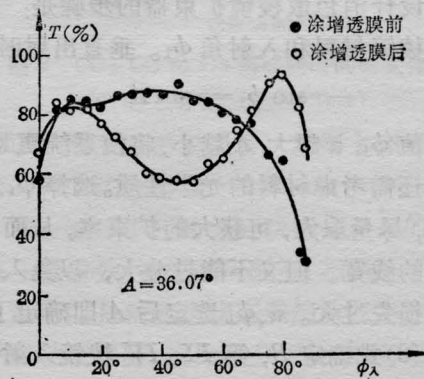
的p偏振分量(s偏振分量也一样)在适当的波长范围内镀增透膜是减小入射面反射损失的办法。

图4(a)、(b)是三种不同顶角的单棱镜在镀膜前后的透过率 T_p 与扩束率 m 的实测关系曲线,与特定入射角对应的特征扩束率处的透过率都有明显提高,由镀膜前的64%、72%和82%提高到93%以上。不同特征入射角(Φ)的两块棱镜镀膜前后的 $T_p-\phi_\lambda$ 关系曲线测量结果示于图5,参照它也可把棱镜用在非特定入射角但有较大透过率的状况。特征入射角大时增透效果更显著,但特征入射角小时透过率可达到较高。

我们设计的 $M=42$ 消色散四棱镜扩束器在镀膜前后对632.8nm激光透过率分别为54.1%和65%,而对膜通带中心波长



(a)



(b)

图5 不同特征入射角棱镜 $T_p-\phi_\lambda$ 测量曲线
(a) $\phi_\lambda=50^\circ$; (b) $\phi_\lambda=80^\circ$

590nm 激光透过率镀膜后为 80% (这里均指 p 偏振光), 可见镀增透膜对减小入射面反射损失是行之有效的。当然为了有效地利用扩束器, 腔内需引入起偏元件。

四棱镜扩束-光栅调谐腔的激光线宽

棱镜扩束-光栅调谐腔按光栅取自准 (Littrow 型) 和掠入射两种用法而有不同的组合方式, 前者可获较高衍射效率和较好光束质量, 后者易获较窄激光线宽但衍射效率极低。由消色散棱镜扩束器与光栅构成的调谐腔, 其激光被动线宽比较简单。因为棱镜扩束器角色散等于零, 只需考虑光栅角色散。

$$\text{激光被动线宽: } d\lambda = (d\theta/d\lambda)^{-1} \frac{\delta\alpha}{M}$$

式中 $\delta\alpha$ 为在扩束器前的激光发散角。色散补偿(或相加)棱镜扩束器与光栅构成的调谐腔, 还需计入扩束器的角色散^[3]

$d\phi/d\lambda = (1 \pm m^{-1} + m^{-2} \pm m^{-3}) \tan \phi_\lambda dn/d\lambda$
其中 \pm 号分别标明色散相加和色散补偿型。双程激光被动线宽

$$d\lambda = [\pm M(d\theta/d\lambda)_{NL} + 2d\phi/d\lambda]^{-1} \delta\alpha$$

式中 $\delta\alpha$ 可用简单的衍射理论计算出。对波长 λ , 腰宽 w 的高斯光束

$$\delta\alpha = 2\sqrt{2} \lambda / \pi w$$

图 6 示出的是三种扩束器和 Littrow 光栅 ($a=1/600$ mm, 五级衍射) 构成的调谐腔的激光被动线宽的计算结果, 当采用消色散

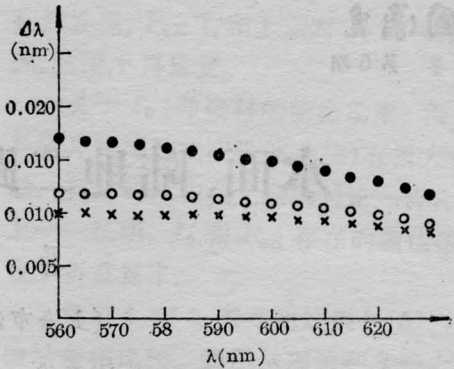


图 6 棱镜扩束器-光栅调谐腔的激光线宽
●—消色散型 $M=42$ ○—色散补偿型 $M=50$
×—色散相加型 $M=50$

扩束器时获得较大的激光线宽。三者线宽明显差别是由于选取的棱镜材料色散率较大, 而且消色散型扩束率又较小所造成的。尽管如此, 消色散四棱镜扩束器由于能消色散, 对使用者仍富有较大的吸引力。

将消色散四棱镜扩束器用于铜泵染料激光器与自准型 600 条/mm 定向五级衍射光栅构成激光调谐腔, 获得 0.007~0.010 nm 激光线宽, 比计算值偏低, 这是因为计算时只考虑双程, 实际上振荡在短腔时达几十次。

杜世高和沈桂荣等同志在镀增透膜和测量中给予了帮助。作者在此致谢。

参 考 文 献

- [1] T. Kasma et al.; *Appl. Phys.*, 1978, **17**, 131.
- [2] A. N. Zherikin et al.; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1981, **11**, No. 6, 806.
- [3] F. J. Duarte et al.; *Opt. Commun.*, 1982, **43**, 303.
- [4] G. K. Klauminzer; U. S. Patent, No. 4127828.

激光医学会议消息

中国光学学会医用光学专业委员会与红外光电器件专业委员会在今年 11 月份于北京召开学术交流会和器件展销。会议论文包括热象和辐射的临床

应用、仪器研制等。论文摘要(字数不限)请于 1986 年 6 月底前寄北京同仁医院邹进同志。

(费文)