

楔形平板干涉法精确测量激光束微小发散角

赵明山 李国华

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜)

摘要: 本文介绍一种基于楔形平板剪切干涉原理测量激光束微小发散角的方法, 实验结果和理论分析表明, 该方法的测量精度可达1%, 发散角分辨率达0.01 mrad, 并具有测量方便、应用范围广等优点。

Precision measurement of small laser beam divergence using wedged plate shearing interference

Zhao Mingshan, Li Guohua

(Laser Institute, Qufu Normal University)

Abstract: A method of measuring small laser beam divergence in accordance to the principle of the wedged plate shearing interference is presented. The results of both experiment and theoretical analysis show that the method has the accuracy of 1%, the angle resolution up to 0.01 mrad, and the advantages of simplicity and wide applications.

一、引言

激光器输出光束总是发散的, 即使经扩束准直后, 仍有微小发散角。精确测量这种微小发散角在许多应用领域中是人们非常关心的问题(如激光雷达、激光测距等应用中, 需将发散角控制在0.1 mrad以内)。由于发散角非常小, 且光束直径较大, 采用通常的测量方法, 如几何方法^[1]、偏光干涉法^[2]、平行平板剪切干涉法^[3]等进行测量存在困难。为此, 本文介绍一种新的测量方法——楔形平板干涉法。该方法利用激光束在小楔角平板表面反射形成干

中国测试技术研究院光学室杨华元等同志, 在功率计研制过程中参与有益的讨论及性能测试检定工作; 国营四二〇厂麻毓璜同志为我们制备了重要材料, 向他们表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 袁希光主编. 传感器技术手册. 北京: 国防工业出版社, 1986
- [2] 井上, 武海, 远腾 *et al.* *O plus E*, 1984; 12: 70
- [3] Budde W. *Physical detectors of optical radiation*. Canada; Academic Press, 1983
- [4] Greenfield E. *LF/E-O*, 1986 Mar.: 134
- [5] GB 6360-86 激光功率测试仪器规范

收稿日期: 1991年8月7日。

收到修改稿日期: 1991年10月22日。

涉, 从干涉条纹的取向确定发散角的大小; 同时结合自参考技术, 角分辨率可达 0.07mrad , 并且有装置简单、测量方便和适用范围广等优点。

二、测量原理

该测量方法基于楔形平板表面反射光束的剪切干涉现象, 测量原理简图如图1所示。WP为一具有微小楔角 α 的透明光学平板, 平板放置使其楔角沿垂直于入射面方向。待测激光束以一定入射角 i 入射到平板WP上, 在平板前、后表面反射, 此两反射光束的波阵面在垂直于传播方向的横向(x 方向)有一剪切距 a , 在重叠区形成非定域剪切干涉条纹。干涉条纹分布由两部分决定: 一是由于波阵面间的横向剪切引起的相位差分布, 另一部分是由于平板沿 y 方向厚度变化导致的光程变化。

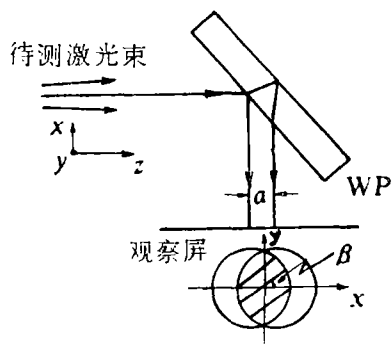


图1 测量原理简图

对于基模高斯光束, 波阵面相位分布函数为^[4]:

$$\Phi_{00} = k \left(z + \frac{x^2 + y^2}{2R} \right) - \arctg \frac{z}{f} \quad (1)$$

式中, $R = z + \frac{f^2}{z}$ 为沿传播方向距光腰 z 处的等相位面的曲率半径, f 为激光器的瑞利长度: $f = \pi w_0^2 / \lambda$ 。由于存在横向剪切差 a , 两反射光束间相位差分布为:

$$\Delta\Phi_{00} = \frac{k}{2R} \left[x^2 - (x-a)^2 \right] = \frac{k}{2R} (2ax - a^2) \quad (2)$$

同时考虑到平板沿 y 方向厚度变化产生的相位差, 则在屏A处两光束总相位差分布为

$$\begin{aligned} \Delta\Phi(x, y) &= \frac{k}{2R} (2ax - a^2) - 2nB (d_0 + \alpha y) \frac{2\pi}{\lambda} + \pi \\ &= \frac{ka}{R} x - \frac{4\pi n\alpha B}{\lambda} y - \frac{ka^2}{2R} - \frac{4\pi n d_0 B}{\lambda} + \pi \end{aligned} \quad (3)$$

式中, d_0 是平板薄边厚度, α 为平板楔角, $B = \sqrt{1 - (\sin i / n^2)}$, i 为光束入射角, n 是平板折射率。

干涉场亮条纹分布可写成:

$$\frac{ka}{R} x - \frac{4\pi n\alpha B}{\lambda} y - \frac{ka^2}{2R} - \frac{4\pi n d_0 B}{\lambda} + \pi = 2m\pi \quad (4)$$

由(4)式可知, 条纹与 x 轴夹角 β 为:

$$\text{tg}\beta = \frac{a}{2Rn\alpha B} \quad (5)$$

上式表明, 干涉条纹的取向与平板折射率 n 、楔角 α 、横向剪切距 a 和在观察屏处光束等相位面曲率半径 R 有关。当平板和入射角一定时, n 、 α 、 a 及 B 一定, 则条纹倾角 β 与 R 具有确定的一一对应关系, 因此, 测量条纹倾角 β , 即可求得 R 。由高斯光束特性知,

$$R = z + (f^2 / z) \quad (6)$$

$$\text{远场发散角: } \theta_{\infty-2} = 2 \sqrt{\frac{\lambda}{f\pi}} \quad (7)$$

由 β 及 z 可求得远场发散角:

$$\theta_{\infty-2} = \sqrt{\frac{4\lambda}{\pi}} \left[(R-z) z \right]^{-1/4} \quad (8)$$

$$R = \frac{a}{2n\alpha B \operatorname{tg}\beta} \quad (9)$$

式中, z 是测量点距光腰的距离。

$$a = \frac{d_0 \sin(2i)}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$$

三、测量结果与分析

根据上述原理, 为求得发散角的大小, 首先必须测得条纹相对于参考方向(x 方向)的倾角。然而, 这种参考方向的精确确定是很不容易的。为此我们提出一种自参考测量方法, 实际测量装置如图2所示。

待测光束经平板反射形成剪切干涉条纹, 称为条纹I, 透射光束经 M_2 反射并返回后, 在平板上反射亦产生同样的剪切干涉条纹, 称为条纹II。由于入射方向相反, 两组条纹相对于参考轴的偏角恰好相反而分居参考轴两侧。利用 M_1 的反射, 使条纹I和条纹II呈现在同一观察屏上(两者沿 x 方向错开), 两组条纹可互为参考, 其夹角 φ 是 β 的两倍, 即 $\beta = \varphi/2$ 。很显然, 若 φ 的测量精度为 1° , 则 β 的精度为 0.5° , 采用上述方法后, 不需另外设置参考基线, 并且使测量精度提高1倍。

利用上述装置, 我们测量了几种扩束准直的He-Ne激光束的发散角, 结果如附表。这里, 实验所采用平板参数为: 平板厚度 $d_0 = 9.1\text{mm}$, 楔角 $\alpha = 10''$, 折射率 $n = 1.5163$, 入射角 $i = 45^\circ$, 则横向剪切量 $a = 6.83\text{mm}$, 观察屏距光腰的有效距离 $z = 3\text{m}$ 。这里有效距离 z 是指激光由光腰处到观察屏的有效光程。根据高斯激光束经望远镜扩束准直后的特点^[4]知, 出射准直激光束光腰处于主镜的前焦面上, 由扩束准直系统的主镜距观察屏的有效光程减去主镜焦距, 即可定出有效距离 z 的大小。

附表 几种扩束准直He-Ne激光束测量结果

φ	52°	31°	12°
β	26°	15.5°	6°
发散角 $\theta(\text{mrad})$	0.21	0.18	0.14

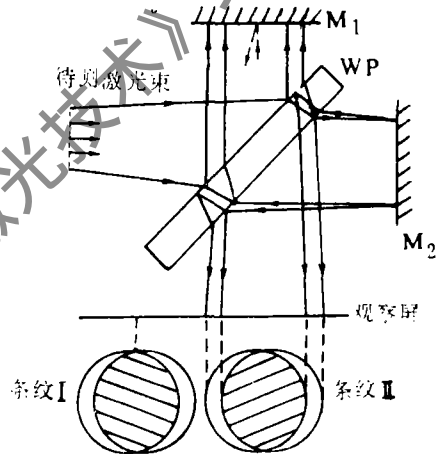


图2 测量装置简图

由附表中数据可明显看出, 条纹取向角对于光束发散角是非常灵敏的, 因此借助条纹倾角来实现发散角的测量确是一种灵敏、方便的方法。设条纹倾角测量精度为 1° , 则由(8)、(9)两式可算得发散角分辨率可达 0.01mrad , 最小可测发散角为 0.07mrad 。

闭环横流CO₂激光器中突变吸收损耗机理的研究

归振兴 沈俊泉 陈钰明 莫全新 沈华勤 张顺怡

(中国科学院上海光学精密机械研究所雷鸥激光设备厂, 上海)

摘要: 研究了闭环横流CO₂激光器中突变吸收损耗的机理, 指出器件运转时释放的杂气是引起突变吸收的原因。

Investigation of sudden change absorption loss in a sealed transverse-flow CO₂ laser

Gui Zhenxing, Sheng Junquan, Chen Yuming
Xi Quanxing, Sheng Huaqin, Zhang Shunyi

(Lei'ou Laser Equipment Factory, Shanghai Institute of
Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The mechanism of sudden change absorption loss in a sealed transverse-flow CO₂ laser has been investigated. It indicates that the sudden change absorption of intracavity is caused by impurity gases released in operating laser.

该测量方法的误差主要决定于距离 z 的测量误差 Δz 和等相位面曲率半径 R 的确定误差。根据误差理论, 发散角 θ 的相对标准偏差由(8)式求得为(通常 $R \gg z$, 取 $R - z \approx R$);

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{1}{4} \sqrt{\left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \quad (10)$$

通常 $\Delta z/z$ 约为2%, 而 $\Delta R/R$ 由(9)式知主要决定于 β 的测量误差(n 、 α 等产生的误差很小, 可忽略), 在 $\beta = 20^\circ$, 测量精度为0.5°时, $\Delta R/R$ 一般不超过3%, 所以发散角测量相对标准偏差 $\Delta\theta/\theta \approx 1\%$ 。

由上述测量结果和分析可看出, 采用楔形板干涉方法测量微小激光发散角, 装置简单, 测量方便, 还有较高的精度。除用于测量连续激光束的发散角外, 如用照相记录, 也可用于脉冲激光束的发散角测量。

参 考 文 献

- [1] 赵欣欣, 付荣堂, 马秀芳 *et al.* 应用激光, 1987; 7 (3): 121
- [2] Folk J. Appl Opt, 1982; 22 (8): 113
- [3] 李国华, 赵明山. 光电子·激光, 1991; 2 (1): 13
- [4] 周炳琨, 高以智, 陈家骅 *et al.* 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1980

收稿日期: 1991年5月20日。

收到修改稿日期1991年7月20日。