

小型激光多普勒干涉系统的研究

杨安 中岛健*

(中国科学院西安光学精密机械研究所光学材料部, 西安, 710068)

摘要: 本文就半导体激光小型多普勒干涉系统的研制及作为速度测量系统的测量精度和实用性进行了探讨。

关键词: 半导体激光 多普勒 干涉

The study of a compact laser diode doppler interference system

*Yan An, K Nakajima**

(Xian Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: This paper presents a compact laser diode doppler interference system used in velocity measurement. The velocity measurement accuracy and application of the system are discussed.

Key words: laser-diode doppler interference

* 日本神户大学工学部教授。

器,并用于同步泵浦染料激光器的腔倒空中。获得了满意的效果,并指出了进一步提高倒空效率的途径。

魏政新,荆宝全,李玉斌,温忠义等同志给予了大力帮助,在此谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 徐介平. 声光器件的原理、设计和应用. 北京: 科学出版社, 1982: 45
- 2 Maydan D. J A P, 1970; 41: 1552
- 3 Johnson R H. IEEE J Q E, 1973; QE-9: 255
- 4 徐介平. 北京工业大学学报, 1986; 12(3): 43

* * *
作者简介: 杜惊雷, 男, 1964年9月出生。讲师。现从事声、光方面的的科研和教学工作。

收稿日期: 1993-09-03

版权所有 © 《激光技术》编辑部

过聚焦透镜在 P_{11} 点会聚, 其交叉部为测量点, 把该测量点的大小称为测量体积, 粒子以速度 v 通过测量点时所散射的光的频率 f 被接收测量后, 由下式即可求得粒子的速度。

$$f = f_i + 2nv\sin\theta/\lambda \quad (1)$$

式中, f_i 为二个 AOM 的频率差, v 为粒子速度, λ 为光波长, n 为测量空间的折射率, θ 为两入射光束交角/2。

在本实验中, 为使系统小型化, 使用小型、安装简便的自聚焦透镜作为光源的准直镜。

由下式计算得

$$S = 1/n_0 g \tan(gz_0) = 1.36 \text{mm} \quad (2)$$

式中, S 为透镜的焦点到其端面的距离, $g = 0.3347 \text{mm}^{-1}$, $z_0 = 2.81 \text{mm}$, $n_0 = 1.603$ 。

实验时, 调整激光器和透镜的间隔, 用红外 CCD 摄像机, 观察出射光束的光斑, 使得直到远处的光斑直径为最小。实验中所准直后的光束发散角为 $\Phi_{\perp} = 1.1 \text{mrad}$, $\Phi_{//} = 1 \text{mrad}$, 为椭圆形光斑。

半导体激光的波长随温度变化而变化, 为获得稳定的波长, 把激光器安装在散热板上, 保持恒定的管壳温度以稳定波长, 并且使用了具有 APC (Automatic Power Control) 功能的激光器驱动电路, 可以得到稳定的光输出。

测量时, 准直透镜的焦距 f_c , 数值孔径 NA, 二束光的交角 θ 及聚焦透镜的焦距 f_o , 对测量精度都有一定的影响^[2], 此外, 准直透镜的位置变化也对测量精度有影响, 在测量中, 选 NA 为 0.3~0.4, $f_c < 4 \text{mm}$, $\theta > 7^\circ$, $f_o < 150 \text{mm}$ 为最好。

本激光多普勒干涉测速系统的各参数为: $D_m = 1.80 \text{mm}$, $D_f = 4F\lambda/\pi D_m = 89.5 \mu\text{m}$, $\delta_f = \lambda/2\sin(\theta/2) = 3.19 \mu\text{m}$, $\theta = 7.47^\circ$, $D = 40 \text{mm}$ 。

在此, D_m 为在聚焦透镜入射面上的光束直径, D_f 为在光强度为 e^{-2} 点处(光的相对强度在 $1/e^2 = 0.135$ 以上的尺寸)的衍射极限光束的直径, δ_f 为干涉条纹的间隔, D 为两光束的间隔。

测量体积: $\Delta x = 90.3 \mu\text{m}$, $\Delta y = 89.5 \mu\text{m}$, $\Delta z = 688 \mu\text{m}$ 。

在激光多普勒测速系统中, 信噪比 SNR (Signal Noise Ratio), 由下式表示:

$$\text{SNR} = A_s \times P_o / \Delta F \times \eta_q (D_s \times D_m / R_s / F)^2 \quad (3)$$

式中, A_s 为由散射粒子决定的常数, D_s 为受光开口的直径, ΔF 为带宽, P_o 为两激光束的强度, R_s 为测量体积和受光部之间的距离, η_q 为光检测器的量子效率。

因此, 在散射粒子、光源及检测器确定后, 该测速系统的 SNR 由光学系统的参数 $(D_s \times D_m / R_s / F)^2$ 决定。

$$\text{SNR} \propto (D_s \times D_m / R_s / F)^2 = 12.1 \times 10^{-6}$$

式中, $D_s = 45 \text{mm}$, 由于本系统采用带孔集光透镜, 从而加大了集光透镜的有效孔径, 因而在探头直径一定时, 大大提高了系统的 SNR。

在本系统中, 主要光损耗来自光隔离器、光束分离器和 AOM, 通过光学元件表面镀增透膜, 可以减小这些光损耗, 使测量部的光强度达 80%。

实验时, 由通过焦点的微粒子所成的后向散射光通过聚焦透镜及受光透镜, 传导到光纤中去, 通过光纤导入 APD, 将 APD 的出射电流通过放大电路增幅, 导入 BSA (Burst Spectrum Analyzer) 中, 将 BSA 和计算机联接, 分析散射信号, 进行频率成分的测量, 计算出粒子的速度。

三、实验结果

在本实验中,用了两个 AOM 进行频率偏移,从而使得信号增幅,处理变得容易进行,而且可以判定速度的方向,实现了用一种波长的光在用一个 APD 进行检测的情况下,既可测量速度的大小,又可以判定速度的方向,图 3 为测量部的干涉条纹,图 4 为测量点的放大图。

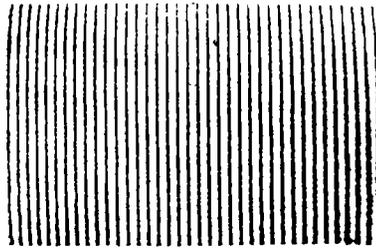


Fig. 3 Interference fringe pattern

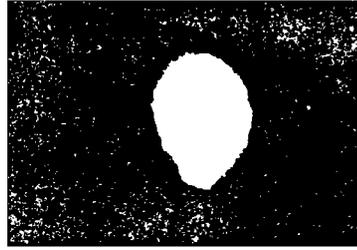


Fig. 4 Laser spot

实验时,对转动圆盘的切线速度进行了测量,把转动圆盘设置在交点,使圆盘转动,可以在示波器上看到清晰的多普勒信号,此时,DATA VALID(有效信号占所探测到信号的比率)达 100%,当使圆盘快速旋转时,因为圆盘前后晃动使得所接收到的散射光减弱,DATA VALID 渐渐降低。由于固体所散射的光远大于液体及气体中的散射粒子所散射的光,因而,在对液体及气体流速测量

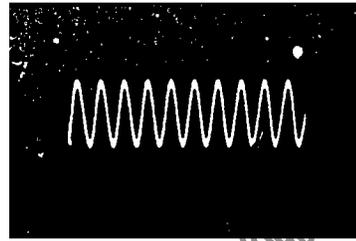


Fig. 5 Output signal

时,DATA VALID 会大大降低,给测量带来许多困难。

图 5 为由转动圆盘得到的输出信号。

在实验中,改变圆盘的转速,通过 BSA 和计算机检测出 APD 输出的频率,计算出圆盘的切线速度,测量点距圆盘的中心 $r = 43\text{mm}$,该半径定位误差约 0.2mm ,相当于 0.5% 的速度误差,按切线方向和测量方向的一致精度约为 1° ,相当于 0.02% 的测量误差,由旋转数设定精度引起的速度误差约为 0.5% ,使用马达的转数误差在 1% 以内,综合考虑,由该系统所测得的结果和计算值相当一致,图 6 表示理论和实测值之间的关系。

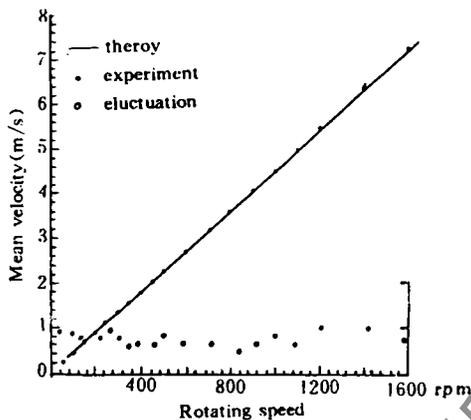


Fig. 6 Comparison curve of theoretical calculation and measurement results

四、结束语

本文就用半导体激光作为光源的差动型小型激光多普勒干涉系统进行了阐述,为提高系统的 SNR,采用了带孔受光透镜,并采用了 AOM,可进行速度的一维测量和方向判定,就激光器波长稳定等进行了研究。用该系统对转动圆盘进行了测量,测量结果和理论值相当一致,从

而确认了用半导体激光作光源的小型后向散射型干涉测速系统进行非接触测量的可能性。

参 考 文 献

- 1 池田裕二、中岛 健、细川茂雄 *et al.* 计测自动制御学会论文集(日本), 1990, 26(6), 605~611
- 2 Durst F, Müller R, Nequi A. *Experiments in Fluids*, 1990, (10), 125~137
- 3 植木弘信, 石田正弦, 光武忠晴. 日本机械学会论文集(B版), 1991, 57(534), 516~519
- 4 Nishi H, Ikeda M, Tognma M. *SPIE, Fiber Optics Sensars IV.* 1990, 1267, 257~263
- 5 齐藤进, 酒井俊道, 中根央 *et al.* 日本机械学会论文集(B版), 1987, 53(496), 3667~3671
- 6 Bauckhage K, Schöne F, Wriedt Th *et al.* THIRD international conference on laser anemometry advances and applications, University College of Swansea, Wales, 26th to 29th September, 1989, Part 2, 1~4
- 7 Schöne F, Dannehl M, Wriedt Th *et al.* THIRD international conference on laser anemometry advances and applications, University College of Swansea, Wales, 26th to 29th September, 1989, Part 43, 1~10
- 8 Damp S. Fifth international symposium on application of laser techniques to fluid mechanics and workshop on the use of computers in flow measurements, July, 9th~12th 1990, Part 3, 1
- 9 Bopp S, Durst F, Müller R *et al.* Fifth international symposium on application of laser techniques to fluid mechanics and workshop on the use of computers in flow measurements, July, 9th~12th 1990, Part 6, 4
- 10 Dopheide D, Faber M, Reim G *et al.* Fifth international symposium on application of laser techniques to fluid mechanics and workshop on the use of computers in flow measurements, July, 9th~12th, 1990, Part 4, 4

* * *

作者简介: 杨 安, 男, 1959年4月出生。助研。1990~1992年在日本神户大学进修, 现从事变折射率光学理论、应用及测量方面的研究。

中岛 健, 男, 日本神户大学工学部教授。主要从事 LDV 的研究与应用和发动机及火炉燃烧特性的研究。

收稿日期: 1993-05-21 收到修改稿日期: 1994-03-24

· 简 讯 ·

用于低噪声脉冲的微型泵浦自锁模掺 Ti 蓝宝石激光器

1994年5月2~6日在美国加州召开的美国光学学会超快现象专题会议上, 苏格兰的圣安德鲁(St. Andrews)大学的研究人员报导了一种全固化自锁模掺 Ti 蓝宝石激光器。这种 Ti 蓝宝石激光器的重复率约 86MHz, 在 806nm 波长发射 110fs 的脉冲, 平均输出功率 20mW。有 10mm 长的布儒斯特角的 Ti 蓝宝石棒, 用二极管泵浦的腔内倍频连续 Nd:YLF 微型板状激光器(532nm 输出瓦级 TEM₀₀ 单纵模光束)作为泵浦源, 采用反馈式激励声光调制, 自锁模方式。

与氩离子激光器比较, 通常在自锁模 Ti 蓝宝石系统中采用二极管泵浦源的相位噪声更小, 因为电源的特性较好。上述超快系统用于需使用低噪声的超快脉冲场合, 诸如在光学检验和同步条纹相机测量等是很有效的。

译自 L F World, 1994, 30(6):9 中 尧 译 马 理 校