

基于新型分光技术的光学测量

王维波¹ 姜平晖² 赵庆明¹

(¹哈尔滨师范大学物理与电子工程学院 黑龙江省先进功能材料与激发态重点实验室, 哈尔滨 黑龙江 150025)
²黑龙江工程学院, 哈尔滨 黑龙江 150001)

摘要 在众多的测距方法中,激光测距因其良好的精确度特性而广泛应用在军事和民用领域,为解决由于激光光源漂移和光路中光学组件畸变的激光测量问题,提出一种新型的分光技术用于激光测量领域。实验中采用此分光技术产生的四束激光不但能量强度均等而且相位几乎均等,因而为相位法激光测距提供一种光学技术上的支持。实验中发现虽然信号光斑有飘移,但是信号光斑形状基本稳定,即抑制了激光光源输出光束飘移带来的负面影响。此种分光技术的有效性在激光测量实验中得到验证。

关键词 精密测量; 等相位测量; 补偿分光技术

中图分类号 TN248.1+3 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200929s1.0207

Laser Measurement Based on the Novel Beam Split Technique

Wang Weibo¹ Jiang Pinghui² Zhao Qingming¹

¹Heilongjiang Key Laboratory for Advanced Functional Materials and Excited State Processes, School of Physics and Electronic Engineering, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang, 150080, China
²Heilongjiang Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China

Abstract There are many different methods for distance measuring, and the laser measuring techniques, as a technology for precision measurement, are widely used in the military field and the civil field in which high accuracy is needed. In order to solve the laser measurement problems caused by laser source excursion, the environment and optical components aberration in the light path, a novel compensated beam-split technique for laser measurement is proposed. Because compensation beam-split technique(CBST) is used to compensate the beam excursion caused by the laser itself and disturb of the environment, steady four light beams are obtained in which have equal intensity and phase in the experiment; the effect of CBST has been proved in the laser measurement experiment.

Key words precision measurement; equal phase measurement; compensation beam-split technique

1 引言

近年来,激光测量技术因其良好的精确度特性而被广泛应用在军事和民用领域,其中光学相位共轭作为一种在光学系统中补偿波前畸变的应用技术就是个例子。目前已有多种光学相位共轭技术被采纳,但是其中主要有简并四波混频(DFWM)和布里渊增强四波混频(BEFWM)技术日益得到重视。它们主要被用来产生抽运光的相位共轭波,并被用来修正激光传输介质(光学组件)不均匀性引起的波前畸变。并且在激光大气传输、光束合成以及相位锁定等领域有广泛的应用^[1~4]。尤其是 DFWM 光谱

技术^[5~7]与其它光谱技术(如 LIF、CARS)相比,具有高灵敏度,高分辨率,抗背景干扰能力强等优点,被广泛用于痕量原子、分子以及自由基的测量。然而,一般情况下,由工作环境的变化(特别是温度的变化)会造成激光光束在空间传播方向上存在微小漂移,造成光路的稳定性问题,从而影响精密光谱测量技术要真正走向实用化。因此现代精密激光测量对分光技术提出新的要求:1) 相位均等或畸变补偿。例如:对于外差式光学测量来说,无论是外差式干涉测量^[7]还是外差式绝对相位测量^[8]均要求相位均等;2) 等能量或者均衡抽运能量的重要性^[9~11]。

基金项目: 哈尔滨市创新人才(2007RFQXG058)资助课题。

作者简介: 王维波(1964—),男,博士,教授,主要从事非线性光学方面的研究。E-mail:wwbwx@163.com

均衡抽运能量时,即三束抽运能量之比相同,能极大地提高 SBS 相位共轭镜的相位控制能力;又能获得较高的 DFWM 信号强度。为解决由于激光光源漂移和光路中光学组件畸变的激光测量问题,本文提出一种基于畸变补偿的新型分光技术用于激光测量领域。实验中采用此新型分光技术产生的四束激光不但能量强度均等而且相位几乎均等,因而为相位法激光测距提供一种光学技术上的支持。

2 新型分光技术

最佳方案是能够完全消除现实激光系统中诸多光学组件引起的波前和偏振畸变,就是要求有这样一束光:它不但像传统的 BEFWM 一样在光波前产生相位共轭,而且有与传统的 BEFWM 不同的偏振共轭。这种产生光波前和偏振的共轭过程被称为向量相位共轭。目前已经有几种方法被用于补偿偏振畸变,如向量相位共轭和偏振旋转补偿^[3,7]。以前提到的传统的 SBS 不能共轭偏振特性,因此被称为标量相位共轭过程。另外,传统的 BEFWM 相位共轭过程在 5~6 倍光子生命周期内有很大的随机起

伏。当然,可以用标量相位共轭过程把一束光分解成正交偏振又彼此共轭的两束光,然后合成为向量相位共轭光,即模拟向量相位共轭光器。但是只有在两束相位共轭光被同时锁相的情况下才能成立。到目前为止,虽然已有一种方法在实验上成功地同时补偿了光的偏振和向量相位共轭畸变^[3,4],但实际上,由于上述激光光路设计复杂(包含许多用于补偿畸变的光学组件),而且光路中许多用于补偿畸变的光学组件本身也会由于制作工艺等原因影响光束质量,因此迫切需要建立一套简单实用的光路补偿系统,以便使 DFWM 真正地走向生产应用。

在前向 DFWM 光路布局中,三束相同频率的激光 E_1, E_2, E_3 沿一端面为正方形的长方体的三个对角线以一很小的角度传播并重迭于非线性介质中,根据相位匹配原理,产生的 DFWM 信号将沿长方体剩下的一条对角线传播。为了保持输出 DFWM 信号稳定,关键是使 E_1, E_2 和 E_3 能够稳定的重迭于一点,这就要求三束激光之间保持稳定的相对关系,这三束光一般由同一光源分束得到。传统的分光技术如图 1(a)所示^[4]。

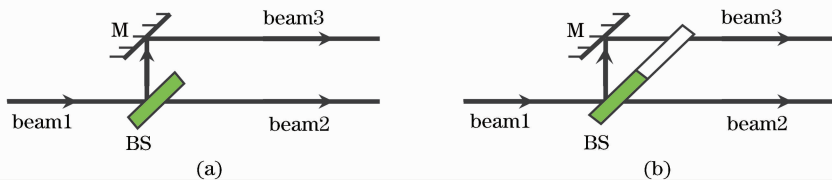


图 1 两种分光设计对比图。(a)传统的分光技术;(b)新型分光技术

Fig. 1 Diagram of two beam-split schemes. (a) Usual beam-split technique; (b) compensated beam-split technique

光束 2 和 3 由光束 1 经分束镜 BS 和全反镜 M 来获得,假设开始光束 2 与光束 3 平行,经透镜会聚可交于一点。采用传统的分光技术如图 1(a),当光束 1 有一个微小漂移 δ ,光束 3 沿同一方向漂移 δ ,但由于分束镜的两个光学面并非严格平行,而是有很小的楔角,所以光束 2 的漂移 $\delta' \neq \delta$,由此可见,由于光束 1 漂移后,光束 2 与光束 3 将不再平行,经透镜会聚后也不会很好的重合,这样很难得到稳定的 DFWM 信号光。虽然近年来激光测量过程中采用的分光技术有了进一步改进,但是由于光路结构复杂,实用性差,不利于在实际激光精密测量中推广应用。本文中采用了补偿的分光方法,如图 1(b)所示,其中 M 全反镜,BS 为特制的分束镜。考虑 BS 两光学平面并非严格平行,而是有一小的楔角,让光束 3 也通过一次 BS,通过 BS 前光束 3 与光束 1 有相同的漂移 δ ,那么,经过相同的 BS 后,光束 3 与光束 2 也将有相同的漂移 δ' 。由于光束 2 与光束 3 有

相同的漂移,漂移前后,两束光相对角度保持不变,经透镜会聚后仍能够交于一点。因此,可抑制由于光源漂移而引起的信号光畸变的弊病。另外,此种分光方法在实验中得到了四束等能量的抽运光,从而达到精密光学测量的要求。

3 实验装置

图 2 为实验装置的光路示意图。倍频 Nd:YAG 激光(波长 532 nm,脉宽 15 ns)经过分束系统(由两套垂直放置的补偿分光装置,以及消杂光散光阑组成)分为 4 束,选其中的三束作为抽运光,三束光的能量比为 $E_1:E_2:E_3=1.56:1.33:1$ 。另一束用来确定信号光的输出方向,测量 DFWM 信号时,将其挡掉。 E_1, E_2 和 E_3 经透镜 f_1 交与介质中,产生的前向 DFWM 信号光经过准直透镜 f_2 、消杂光光阑后被引入到探测器中探测。

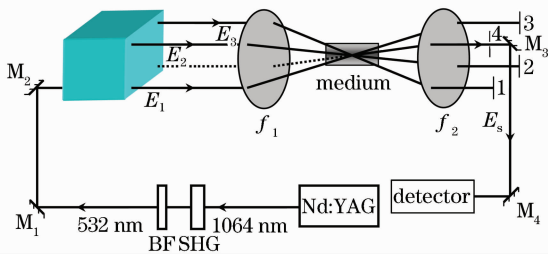


图 2 前向 DFWM 实验装置图

Fig. 2 Experimental setup of Forward-DFWM

(1~3baffle; 4 pinhole; $M_1 \sim M_4$ 100%refelctor)

采用加碘的酒精溶剂作为 DFWM 介质。由于 532 nm 并非碘的严格共振波长,为了得到有效的共振增强,将碘放入酒精溶剂中,可以利用酒精分子的碰撞作用,使得碘分子的谱线展宽,这样,DFWM 信号才能有效增强。采用碘的酒精溶液,并不影响我们考察此分光技术的有效性。

4 实验结果及分析

调整光路,在探测器位置观察到信号输出。依次挡掉 E_1, E_2 及 E_3 , 信号都消失,说明得到的信号是 DFWM 信号。

4.1 光场分布的测量

为了验证新型分光技术的有效性,用 CCD 相机对 DFWM 信号光以及抽运光的光场分布进行了测量,如图 3 和图 4 所示。从图中可以看出,基于新型分光技术的 DFWM 信号测量,无论在低抽运能量还是高抽运能量两种情况下,DFWM 信号光斑质量都比较好。

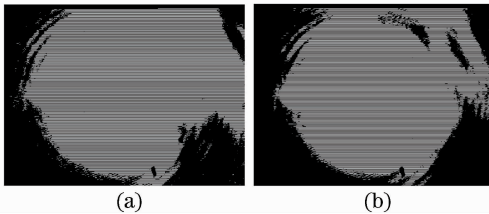
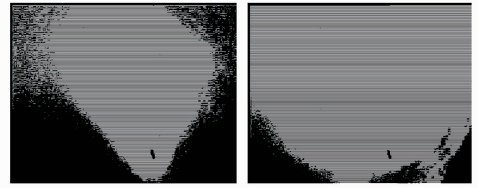


图 3 有补偿分光技术和低抽运能量情况下的抽运光斑(a)和 DFWM 信号光斑(b)

Fig. 3 Lower pump power with CBST (a) the spot of DFWM signal beam; (b) the spot of pump beam

实验中用 CCD 实时连续采集 DFWM 信号光斑,直接从监视器上观察 DFWM 信号光斑,发现信号光斑位置有所漂移,这是由于抽运光的漂移引起的;但信号光斑形状基本稳定(图 5),而之前进行后向 DFWM 实验中,受抽运光漂移的影响,会出现如图 6 所示的 DFWM 信号光斑,对比图 5 和图 6,说明基于新型分光技术的 DFWM 信号测量光路很好

地抑制了抽运光漂移带来的负面影响。



(a) (b)

图 4 有补偿分光技术和高抽运能量情况下的抽运光斑(a)和 DFWM 信号光斑(b)

Fig. 4 Higher pump power with CBST (a) the spot of DFWM signal beam; (b) the spot of pump beam



图 5 有补偿分光技术情况下得到的三个 DFWM 信号光斑

Fig. 5 Three DFWM signal spots with compensated beam-split technique

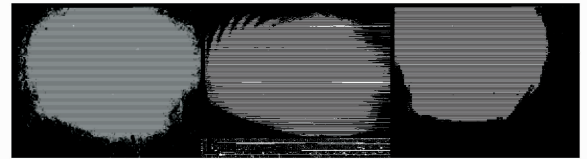


图 6 无补偿分光技术情况下得到的三个 DFWM 信号光斑

Fig. 6 Three DFWM signal spots without compensated beam-split technique

4.2 DFWM 信号能量随抽运能量关系

实验中,测量了 DFWM 信号光能量随抽运光能量的变化关系如图 7 所示,其中横轴为抽运激光能量(未分束前),纵轴为 DFWM 信号光能量。从图 7 中可以看出,测量结果表明随着抽运光能量的增加,DFWM 信号光能量几乎线性增加。这说明在

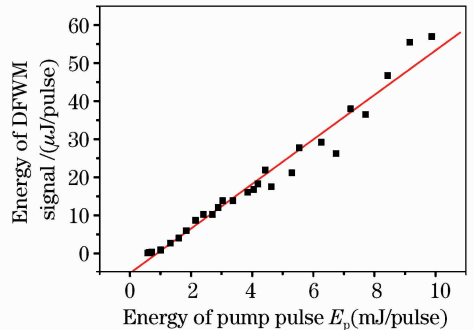


图 7 DFWM 信号光能量随抽运光能量关系

Fig. 7 Relation between pump pulse energy and DFWM signal pulse energy

抽运光能量还没有达到饱和的情况下,可以有效地利用此分光技术获得 DFWM 信号,从而达到高效、精确测量的目的。

5 结 论

为解决由于激光光源漂移和光路中光学组件畸变的激光测量精确度的影响问题,提出一种基于畸变补偿的新型分光技术用于激光测量领域。实验中采用此新型分光技术产生的四束激光不但能量强度均等而且相位几乎均等,因而为相位法激光测距提供一种光学技术上的支持。实验发现在信号光斑位置有飘移的情况下,信号光斑形状仍基本稳定,即抑制了激光光源输出光束飘移带来的负面影响。此种分光技术的有效性在激光测量实验中得到验证,同时也为激光测量技术在相位法激光测距等领域广泛应用提供了一种新方法。

参 考 文 献

- 1 Seong Ku Lee, Hong Jin Kong, Masahiro Nakatsuka. Great improvement of phase controlling of the entirely independent stimulated Brillouin scattering phase conjugate mirrors by balancing the pump energies[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **87**: 161109~161111
- 2 Hong Jin Kong, Seong Ku Lee, Dong Won Lee. Phase control of a stimulated Brillouin scattering phase conjugate mirror by a self-generated density modulation[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**: 51111~51113
- 3 Mark. W. Bowers, Robert W. Boyd. Phase locking via Brillouin-enhanced four-wavemixing phase conjugation[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1998, **34**: 634~644
- 4 Mark W. Bowers, Robert W. Boyd, Allen K. Hankla. Brillouin-enhanced four-wave-mixing vector phase-conjugate mirror with beam-combining capability[J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(6): 360
- 5 Stavros V G, Harel E, Leone S R. The influence of intense control laser pulses on homodyne-detected rotational wave packet dynamics in O-2 by degenerate four-wave mixing[J]. *Chem. Phys.*, 2005, **122**: 64301~64309
- 6 Bultitude K, Stevens R, Ewart P. High-resolution degenerate four-wave-mixing spectroscopy of OH in a flame with a novel single-mode tunable laser[J]. *Appl. Phys. B*, 2004, **79**: 767~773
- 7 Hornung T, Skenderovic H, Motzkus M. Observation of all-trans-beta-carotene wavepacket motion on the electronic ground and excited dark state using degenerate four-wave mixing (DFWM) and pump-DFWM[J]. *Chem. Phys. Lett.*, 2005, **402**: 283~288
- 8 Dai Xiaoli, Seta Katuo. High-accuracy absolute distance measurement by means of wavelength scanning heterodyne interferometry[J]. *Meas. Sci. Technol.*, 1998, **9**: 1031~1035
- 9 Nuh Gedik, Joseph Orenstein. Absolute phase measurement in heterodyne detection of transient gratings[J]. *Opt. Lett.*, 2004, **29**: 2100~2102
- 10 Dai-Hyuk Yu, Jai-Hyung Lee, Joon-Sung Chang *et al.*. Theory of forward degenerate four-wave mixing in two-level saturable absorbers[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1999, **16**(8): 1261~1272
- 11 B. Attal-Tretout, H. Bervas, J. P. Taran *et al.*. Saturated FDFWM lineshapes and intensities: theory and application to quantitative measurements in flames[J]. *Phys. B*, 1997, **30**: 497~522