

文章编号: 0258-7025(2009)09-2384-04

基于环腔光纤激光器的气体检测方法

贾大功^{1,2} 刘 琨^{1,2} 井文才^{1,2} 汪 谦^{1,2} 张红霞^{1,2} 张以谟^{1,2}

(¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)
(² 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要 基于内腔光纤激光器原理设计了气体检测系统,可以检测气室中待测气体的种类和浓度。在分析气体检测系统的基本构成原理基础上,以乙炔气体为例,进行了气体测试实验,并就检测灵敏度、浓度检测精度两方面分析和计算了该检测系统的性能。结果表明,基于内腔光纤激光器原理的气体检测系统重复性小于 0.07,气体检测的灵敏度小于 0.03%,气体检测的精度不小于 0.17%。

关键词 光纤激光器;气体检测;环腔法;乙炔;灵敏度;测试精度

中图分类号 TN253;TN247 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL20093609.2384

Method of Gas Detection Based on Intra-Cavity Erbium-Doped Fiber Laser

Jia Dagong^{1,2} Liu Kun^{1,2} Jing Wencai^{1,2} Wang Yan^{1,2} Zhang Hongxia^{1,2} Zhang Yimo^{1,2}

(¹ College of Precision Instrument & Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)
(² Key Laboratory of Opto-Electronics Information and Technical Science, Ministry of Education, Tianjing 300072, China)

Abstract In this paper, a gas detection system using intra-cavity laser spectroscopy technique is designed. It can be used to measure the concentration of multi-gas. Through analysis of the basic architecture and principle of gas detection system, the different standard concentration of acetylene gas is measured and the performances of gas detection system have been evaluated by calculating the absorbance of standard gas, such as detection sensitivity of the system, repeat accuracy and measurement precision. The experimental results indicated that the repeat accuracy of the gas detection system is less than 0.07. The detection sensitivity and measurement precision is less than 0.03% and 0.17%, respectively.

Key words fiber laser; gas detection; intra-cavity; acetylene; sensitivity; measurement precision

1 引 言

近年来,由于我国经济飞速发展,能源消耗急剧增大,造成普遍性能源短缺。能源短缺带来的后果是特大矿难不断发生。矿难产生的原因是多方面的,但主要一个原因是矿山等企业在安全生产方面投入严重不足^[1]。在一个侧面反映了我国矿业开采方面配套技术还有待于改进,特别是对危险气体和作业环境的监测。同时,由于经济发展,大量的有毒有害气体和易燃易爆气体被排到大气中,对周围的

环境和身体健康产生严重危害。为了确保我国经济正常发展,这些有害、危险的气体必须进行严密的监控和治理^[2,3]。

目前,检测气体的方法有很多种,如基于消逝波原理或宽光谱吸收原理的各种微结构光纤传感器^[4~6]、基于表面等离子体共振型原理光纤传感器^[7]、基于光栅传感型光纤传感器^[8]和利用光纤环腔吸收激光器原理的传感器^[9]等。这些方法在结构方面、气体检测种类、检测浓度方面还存在一些不足。

收稿日期: 2008-10-15; 收到修改稿日期: 2008-11-27

基金项目: 国家自然科学基金(60577013)、新世纪优秀人才支持计划和天津市自然科学基金(2009F2-0019)资助课题。

作者简介: 贾大功(1972-),男,博士,副教授,主要从事无源光互连器件、光纤传感和光电检测技术方面的研究。

E-mail: dagongjia@tju.edu.cn

值去确定光栅吸收峰中心波长位置。从图 2 中可以看到, Bragg grating 的透射谱呈高斯分布, 因此可采用高斯拟合的方式确定光栅吸收峰中心波长位置。在将拟合后得到的驱动电压值与对应的中心波长做拟合, 通过拟合后的曲线便可得到乙炔吸收峰的位置。确定气体吸收峰位置后, 通过朗伯-比尔定律^[11]可以得到乙炔气体的浓度。

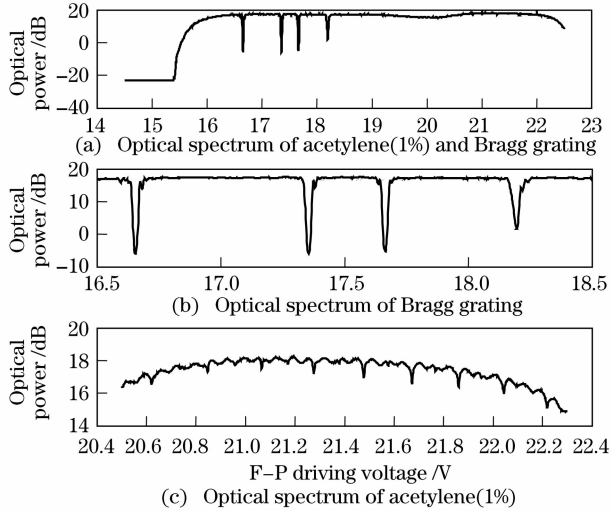


图 2 乙炔气体扫描光谱

Fig. 2 Scanning spectra of acetylene

为了测试系统的灵敏度和精度, 在抽运驱动电流和环腔损耗不变的情况下, 气室内以浓度 0.1% 为间隔依次充入体积分数 0.2%~1% 的乙炔气体, 每个浓度重复采集 10 次, 得到乙炔气体的光谱图, 见图 3, 其中 3 条比较强的吸收峰的中心波长分别为 1532.8303 nm, 1531.5877 nm, 1530.3709 nm。

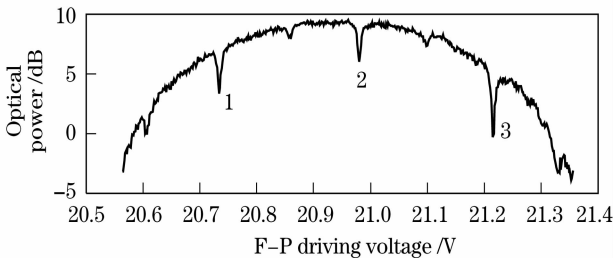


图 3 乙炔气体吸收光谱

Fig. 3 Absorption spectra of acetylene

通过计算三个吸收峰值的变异系数(CV)^[13]来考察气体浓度测试的重复性。3 个吸收峰在不同浓度下的变异系数如图 4 所示。从图 4 可以看到, 整个系统的重复性小于 0.07。

用各个浓度下 10 次测量吸收峰高度的平均值与对应的浓度进行最小二乘直线拟合, 得到一组拟合直线, 其中横坐标是乙炔浓度, 纵坐标是吸收峰强

度, 见图 5。从图 5 中可以看到, 3 个吸收峰的拟合均方差分别是 0.0021, 0.0052, 0.0385。转化为浓度指标后, 对应的浓度误差分别为 0.014%, 0.024%, 0.037%, 也就是说气体测试系统的灵敏度小于 0.04%。

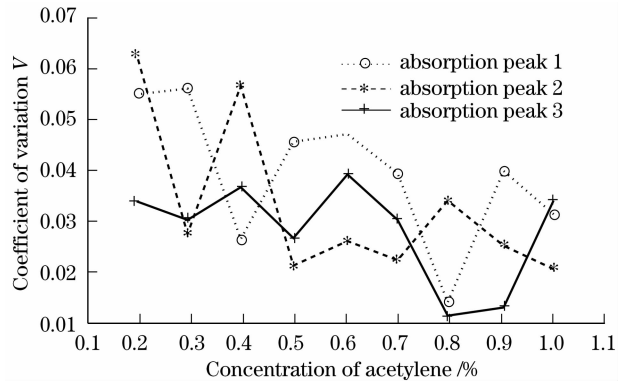


图 4 测试系统重复性

Fig. 4 Repeatability of measurement system

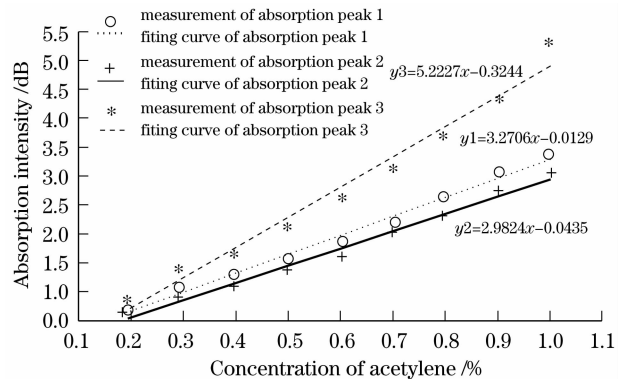


图 5 乙炔气体吸收峰高度平均值与对应浓度最小二乘拟合曲线

Fig. 5 Least square fitting curve between the average value of absorption and concentration

气体检测精度取决于噪声的大小, 一般取信号等于噪声标准方差的 3 倍时的信号值为检测精度值。通过计算, 中光谱噪声标准方差的平均值为 0.15 dB。按照信号的标准方差为系统噪声标准方差的 3 倍以上计算, 根据浓度拟合曲线, 可计算出 3 个吸收峰的检测精度分别为 0.14%, 0.17%, 0.15%, 即本文提出的气体检测系统的测试精度大于 0.17%。

4 结 论

基于内腔光纤激光器原理提出一种气体浓度检测方法, 该方法可以实现多个位置不同气体的浓度和种类检测。以乙炔气体为例, 进行了气体检测实验。通过对实验结果分析和计算, 得到了气体检测系统的浓度测试重复性、气体检测灵敏度和精度。

参 考 文 献

- 1 Tang Linxiao, Guo Xibao. Causes and countermeasures against frequent occurrence of coalmining accidents in China today: based on the standpoints of safety inputs [J]. *China Industrial Economy*, 2006, (12): 53~59
汤凌霄, 郭熙保. 我国现阶段矿难频发成因及其对策: 基于安全投入的视角[J]. *中国工业经济*, 2006, (12): 53~59
- 2 G. Stewart, K. Antherton, H. Yu *et al.*. An investigation of an optical fibre amplifier loop for intra-cavity and ring-down cavity loss measurements[J]. *Meas. Sci. Technol.*, 2001, **12**: 843~849
- 3 Kun Liu, Wencai Jing, Gangding Peng *et al.*. Wavelength sweep of intra-cavity fiber laser for low concentration gas detection[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2008, (Accepted)
- 4 L. W. Kornaszewski, N. Gayraud, J. M. Stone *et al.*. Mid-infrared methane detection in a photonic bandgap fiber using a broadband optical parametric oscillator[J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(18): 11219~11224
- 5 M. Cubillas, M. Silva-Lopez, J. M. Lazaro *et al.*. Methane detection at 1670 nm band using a hollow-core photonic bandgap fiber and a multiline algorithm[J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(26): 17570~17576
- 6 Cheng Tonglei, Li Shuguang, Zhou Guiyao *et al.*. Relation between power fraction in the core of hollow-core photonic crystal fibers and their bandgap property[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 249~254
程同蕾, 李曙光, 周桂耀等. 空芯光子晶体光纤纤芯中的功率分数及其带隙特性[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 249~254
- 7 Anuj K. Sharma, Rajan Jha, B. D. Gupta. Fiber-optic sensors based on surface plasmon resonance; a comprehensive review[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2007, (8): 1118~1129
- 8 Alain Trouillet, Emmanuel Marin, Colette Veillas. Fibre gratings for hydrogen sensing [J]. *Measurement Science And Technology*, 2006, **17**(8): 1124~1128
- 9 George Stewart, Hongbo Yu, Gillian Whitenett *et al.*. Investigation of a tunable mode-locked fiber laser for application to multipoint gas spectroscopy [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2004, **22**(3): 813~819
- 10 Yan Zhang, Min Zhang, Wei Jin. Multi-point fiber-optic gas detection with intra-cavity spectroscopy [J]. *Opt. Commun.*, 2003, **220**: 361~364
- 11 Wang Shutao, Che Rensheng. Research on optical fiber methane gas sensor with spectrum absorption and signal processing method [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(1): 113~116
王书涛, 车仁生. 光谱吸收式光纤甲烷气体传感器及其信号处理方法[J]. *光电工程*, 2006, **33**(1): 113~116
- 12 Sun Xuan, Xu Kexin, Ai Changsheng *et al.*. Measurement technology for the density of components in milk based on multi-liquid density sensors [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2006, **19**(4): 966~969
孙选, 徐可欣, 艾长胜等. 基于多元液体浓度传感器的牛奶成分浓度检测技术[J]. *传感技术学报*, 2006, **19**(4): 966~969