

文章编号: 1001-3806(2012)02-0198-02

## 基于激光 NO<sub>2</sub> 气体检测研究

杨勇 高致慧\* 曹志 杨锦辉 林怀钦 陈子聪  
(深圳大学 电子科学与技术学院 深圳 518060)

**摘要:** 为了设计一种 NO<sub>2</sub> 气体检测系统, 以实现大气中 NO<sub>2</sub> 等污染气体进行有效监测、提高空气质量, 采用激光光谱分析技术, 根据 NO<sub>2</sub> 气体在可见光范围内的吸收光谱与强吸收峰位置, 选取中心波长为 443.2nm 蓝光激光光源, 搭建了 NO<sub>2</sub> 气体检测实验平台。实验测定不同体积分数 NO<sub>2</sub> 气体的透射谱线, 通过对不同体积分数 NO<sub>2</sub> 气体透射光谱分析, 运用最小二乘法线性拟合计算得出系统吸光度与气体体积分数的线性关系。结果表明, 实验系统能够实现 NO<sub>2</sub> 气体的检测, 检测灵敏度为 10<sup>-4</sup> 量级, 具有较好应用价值。

**关键词:** 激光技术; 吸收光谱; 激光; NO<sub>2</sub>

中图分类号: O433.4; TN247

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.02.013

### Detection of the NO<sub>2</sub> based on laser spectrum

YANG Yong, GAO Zhi-hui, CAO Zhi, YANG Jin-hui, LIN Huai-qin, CHEN Zi-cong  
(College of Electronic Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

**Abstract:** In order to design a NO<sub>2</sub> detection system to monitor air pollutants effectively, and improve the air quality, the laser spectrum analysis technique was applied, in which the blue laser light source at centre wavelength of 443.2nm was selected according to the absorption spectrum and the strong absorption peaks of NO<sub>2</sub> in the visible range, and an experimental platform for NO<sub>2</sub> was built. The transmission spectrum of NO<sub>2</sub> with different volume fractions were tested and analyzed, and the linear relationship between absorbance and the volume fractions of NO<sub>2</sub> was obtained by means of the least-square linear fit. The results show that the experimental system can detect the NO<sub>2</sub> with sensitivity on the order of approximately 10<sup>-4</sup>, and it has the good application value.

**Key words:** laser technique; absorption spectrum; laser; NO<sub>2</sub>

### 引言

随着现代经济快速发展, 工业生产、制造加工、交通能源、城市建设等出现多种有毒有害气体, 环境污染与温室效应日趋严重。NO<sub>2</sub> 是一种有毒的红棕色有刺激性气味和腐蚀性的气体, 是光化学烟雾以及酸雨形成的主要因素, 具有腐蚀性和生理刺激作用, 主要来自于车辆废气, 工业染料燃烧以及硝酸、含氮肥料生产过程, 其在空气中含量呈增长趋势, 对人体健康危害较大。NO<sub>2</sub> 气体检测越来越多的受到人们关注, 气体检测技术包括传统分析法和光谱检测技术。传统气体分

析方法多采用人工采样法, 对气体进行人工取样送到化验室进行分析。传统气体分析方法由于检测响应速率慢, 无法实时反映浓度变化, 不能对气体进行在线监测, 使其应用范围受到限制。与之相比, 光谱检测技术是一种很有前景的污染气体监测技术, 具有探测灵敏度高、选择性强、响应速率快等特点, 适合现场实时监测, 可以实现非接触在线监测。随着科学技术不断发展, 国内外对氮氧化物检测已由传统的化学分析法、气相色谱法和质谱法发展到目前的差分吸收光谱法、腔衰荡与量子级联激光器技术、红外吸收法等<sup>[1-5]</sup>。基于光谱吸收理论气体检测技术是氮氧化物及其它各种污染气体检测的主要研究手段。本文中采用光谱分析法, 结合 NO<sub>2</sub> 气体强吸收波段范围, 选取蓝光激光光源, 通过检测系统设计与实验研究, 对不同体积分数 NO<sub>2</sub> 气体透射光谱分析, 运用最小二乘法线性拟合得出吸光度与气体体积分数的线性关系, 检测得出 NO<sub>2</sub> 气体含量。该方法将 LD 应用于 NO<sub>2</sub> 光谱分析检测, 简单、方便, 对于利用 LD 进行污染气体检测具有较好的研究与应用价值。

基金项目: 深圳市公共科技计划资助项目 (SY200806270158A); 广东省大学生创新实验资助项目 (1059010036); 深圳市微纳光子信息技术重点实验室开放基金资助项目 (MN201105)

作者简介: 杨勇 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事光电气体检测方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: gaozh@szu.edu.cn

收稿日期: 2011-06-23; 收到修改稿日期: 2011-09-13

### 1 原 理

光谱分析方法基于光与气体分子相互作用原理。在正常情况下,气体分子处于基态,当受到光辐射时,光与组成物质粒子相互作用,使气体分子吸收光能,从基态跃迁到激发态产生气体的吸收光谱。不同气体物质对不同波长辐射的吸收程度不同,每种气体都有特征吸收波长。从某种意义上讲,一个特征吸收波长对应一种检测气体。气体对光能量吸收程度与光在气体中经过的路程和气体的体积分数有关,它们之间的关系符合光的吸收定理,即朗伯-比尔定律(Lambert-Beer定律)<sup>[6-8]</sup>。光谱定量分析是通过特征吸收谱带光强被吸收程度来测量组分含量的,通过吸收物质的出射入射光强满足如下关系:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) e^{-k(\lambda) CL} \quad (1)$$

式中  $I(\lambda)$  为出射光强度  $I_0(\lambda)$  为入射光强度  $k(\lambda)$  为频率  $\lambda$  处气体吸收截面系数,  $C$  为气体体积分数,  $L$  为光程长度。

朗伯-比尔定律表示光吸收度与吸收辐射物质的浓度和吸收层的厚度成正比,简称吸收定律:

$$A(\lambda) = \ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} \quad (2)$$

式中  $A(\lambda)$  为吸光度。

在一个大气压下,朗伯-比尔定律可表示为:

$$A(\lambda) = k(\lambda) CL \quad (3)$$

由(3)式可知,在一定条件下,吸光度与气体体积分数  $C$  成正比关系。待测气体体积分数变化时,吸收峰波长位置与吸收峰相对高度比例关系不变,只是吸收峰绝对高度随体积分数而变化,因此,对于同种气体分子而言,其吸收光谱曲线分布是相同的。朗伯-比尔定律是光谱检测理论基础与定量测定依据,广泛用于紫外光、可见光、红外光区的吸收测量,适用于气体及其它均匀非散射的吸光物质。

### 2 实验分析

检测实验系统框图如图 1 所示,根据 NO<sub>2</sub> 在 400nm 附近有较强吸收峰(见图 2),实验中选用光源是蓝光激光器,中心波长 443.2nm,半峰全宽约 1.5nm,波长范围约为 441.8nm ~ 444.0nm(见图 3),发光功率 50mW,气体吸收池长度为 20cm,光谱仪为天津市港东科技公司 WGD-8 型组合式多功能光栅光谱仪。

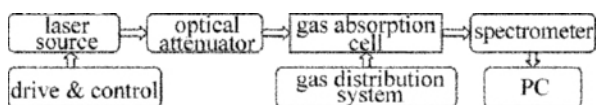


Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

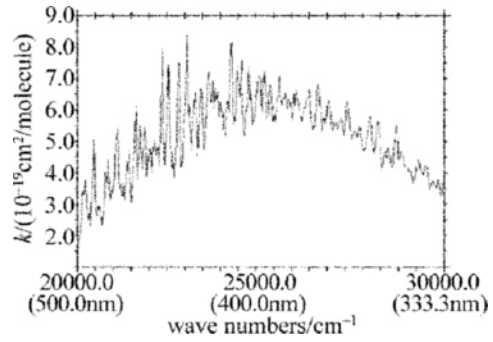


Fig. 2 Absorption cross section of NO<sub>2</sub>

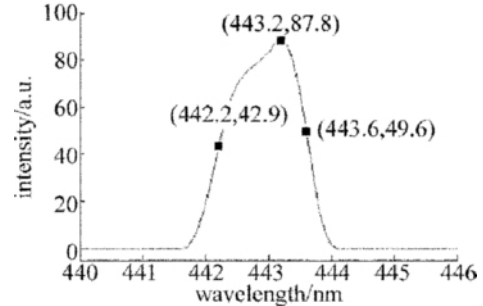


Fig. 3 Spectrogram of blue laser

检测实验工作原理:带有驱动控制的激光光源经光学衰减片后通过充有一定体积分数 NO<sub>2</sub> 气体的气体吸收池。激光通过气体吸收池,由于光与气体发生相互作用,使光谱吸收与变化。输出光进入带有光电倍增管的光栅光谱仪中,扫描后光电倍增管把获得的光信号转换成电信号并形成吸收光谱图,最后经过计算机软件进行平滑,采样等分析处理,得到相应光谱与实验数据。

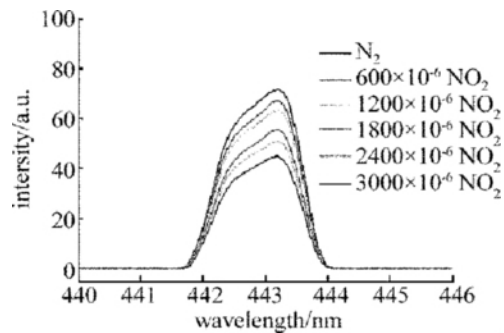


Fig. 4 Transmission spectra under different volume fractions of NO<sub>2</sub>

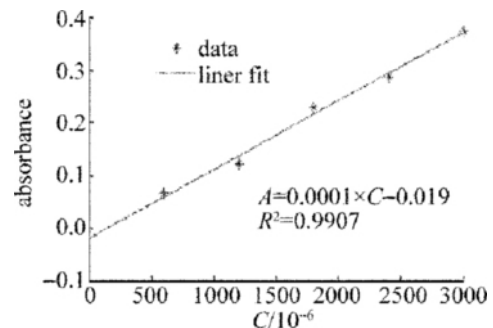


Fig. 5 The relationship between absorbance and volume fractions of NO<sub>2</sub>

(下转第 207 页)

其更适合于温度传感方面的应用。本研究结果为今后深入开展研究奠定了理论基础。

### 参 考 文 献

- [1] WANG J Y, JIANG Ch, HU W Sh, *et al.* Properties of index-guided PCF with air-core [J]. *Optics & Laser Technology*, 2007, 39(2): 317-321.
- [2] PALKA N. Sensing properties of photonic crystal fibers [J]. *Journal de Physique IV France*, 2005, 129: 143-145.
- [3] SU H X, WANG K, CUI J H, *et al.* Research progress of photonic crystal fiber sensor [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2008, 2(2): 6-8 (in Chinese).
- [4] YAN P G, XING F F, RUAN Sh Ch, *et al.* Microstructured-optical-fiber surface-plasm on-resonance sensor [J]. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*, 2009, 26(1): 16-19 (in Chinese).
- [5] LI X J, YU Y Q, HONG X M, *et al.* Analysis on temperature sensing properties of photonic crystal fiber based on liquid filling [J]. *Chinese Journal of Lasers* 2009 36(5): 1140-1144 (in Chinese).
- [6] NASFLOWSKI T, MARTYNKIEN T, STATKIEWICZ G, *et al.* Temperature and pressure sensitivities of the highly birefringent photonic crystal fiber with core asymmetry [J]. *Applied Physics*, 2005, 81(2/3): 325-331.
- [7] DU J B, LIU Y G, WANG Zh, *et al.* Thermally tunable dual-core photonic bandgap fiber based on the infusion of a temperature-responsive liquid [J]. *Optics Express*, 2008, 16(6): 4263-4269.
- [8] YU C P, LIOU J H, HUANG Sh Sh, *et al.* Tunable dual-core liquid filled photonic crystal fibers for dispersion compensation [J]. *Optics Express*, 2008, 16(7): 4443-4451.
- [9] ZHANG R, TEIPEL J, GIESSEN H. Theoretical design of a liquid-core photonic crystal fiber for supercontinuum generation [J]. *Optics Express*, 2006, 14(15): 6800-6812.
- [10] ROBERTS P J, WILLIAMS D P, SABERT H, *et al.* Design of low-loss and highly birefringent hollow-core photonic crystal fiber [J]. *Optics Express*, 2006, 14(16): 7329-7341.
- [11] ZHANG H, WANG Q G, YANG B J. Research progress of photonic bandgap photonic crystal fibers [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2007, 28(3): 301-311 (in Chinese).
- [12] ROBERTS P J, COUNY F, SABERT H, *et al.* Ultimate low loss of hollow-core photonic crystal fibers [J]. *Optics Express*, 2005, 13(1): 236-244.
- [13] ZHANG H, WAN B H. Measuring the change of the index of refraction of liquid varying with temperatures [J]. *Physical Experiment of College*, 1998, 11(1): 1-3 (in Chinese).
- [14] WANG R X. Number study on the coupling loss of the photonic crystal fiber [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(5): 493-495 (in Chinese).
- [15] LI H, MAFI A, SCHULZGEN A, *et al.* Analysis and design of photonic crystal fibers based on an improved effective-index method [J]. *IEEE Lightwave Technology*, 2007, 25(5): 1224-1230.
- [16] ZHANG Y, LI X Z, ZHENG Y. Analysis of dispersion characteristics of photonic crystal fiber [J]. *Laser Technology*, 2009, 33(1): 24-26 (in Chinese).

(上接第199页)

实验中用光谱仪扫描不同体积分数下  $\text{NO}_2$  气体的透射光谱并作平滑处理,得到谱线如图4所示。利用光谱仪在光源中心波长处定点扫描,取高纯氮气检测光强作为初始光强  $I_0$  与参考光强,运用最小二乘法将吸光度  $A$  取近似与体积分数  $C$  进行线性拟合,得到结果如图5所示。由图4和图5可知,不同情况下透射光谱分布基本相同,这与前面的(3)式分析相符;且吸光度  $A$  与体积分数  $C$  之间线性关系较好,符合气体吸收规律。

### 3 结 论

研究和设计了利用半导体激光器作为光源的  $\text{NO}_2$  气体检测系统,通过不同体积分数待测  $\text{NO}_2$  气体的透射光谱采集、分析,中心波长定点扫描、数据拟合等对实验系统的可行性进行了验证。分析结果表明,该系统可以实现对  $\text{NO}_2$  气体的在线实时检测,检测灵敏度为  $10^{-4}$  量级。通过采用增加气体吸收池有效长度、对光学系统优化设计、引入参考光路等方式可有效提高实验精度与灵敏度。基于激光  $\text{NO}_2$  气体检测方法操作简单、方便,具有研究与应用价值。

### 参 考 文 献

- [1] CAI X Sh, LI Sh R, FU J Y, *et al.* Study on measuring concentration of  $\text{NO}_2$  with DOAS method [J]. *Journal of Engineering Thermophysics* 2003 24(2): 351-353 (in Chinese).
- [2] WANG D D, ZHU B, WANG J. Observational analysis of  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , and  $\text{NO}_2$ , with DOAS system [J]. *Research of Environmental Sciences* 2009 22(6): 650-655 (in Chinese).
- [3] RAO G N, KARPFA. High sensitivity detection of  $\text{NO}_2$  employing cavity ringdown spectroscopy and an external cavity continuously tunable quantum cascade laser [J]. *Applied Optics* 2010 49(26): 4906-4914.
- [4] KARPFA, RAO G N. Enhanced sensitivity for the detection of trace gases using multiple line integrated absorption spectroscopy [J]. *Applied Optics* 2009 48(27): 5061-5066.
- [5] ZHENG L J, LI P, QIN R F, *et al.* Research situation and developing tendency for optical measurement technology of gas density [J]. *Laser and Optoelectronics Progress* 2008(8): 24-30 (in Chinese).
- [6] CHEN H, ZHOU F X, XU Zh, *et al.* An integrated control system for carbon monoxide detection, emission and recycling [J]. *Laser Technology* 2011 35(3): 360-363 (in Chinese).
- [7] SUN X P, ZHANG X H, WANG D Ch, *et al.* LED illuminant-based detection of trace  $\text{NO}_2$  gases [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009 29(6): 1672-1674 (in Chinese).
- [8] ZHANG G Y, MA J Y, JIN Y D. Investigation on internal energy transfer and relaxation kinetics of  $\text{NO}_2$  by photoacoustic and fluorescence emission spectra [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011 31(3): 742-745 (in Chinese).