

基于腔增强吸收光谱技术的气体探测研究

裴世鑫¹ 崔芬萍¹ 宋标¹ 王明¹ 李传起¹

摘要

以近红外可调谐半导体激光器为光源,以反射率为99.7%左右的平凹镜组成的稳定光学谐振腔作吸收池,构建起一套腔增强吸收光谱(CEAS)系统;以二氧化碳气体(CO₂)、一氧化碳气体(CO)、甲烷气体(CH₄)以及一氧化碳和二氧化碳的混合气体为样品,利用分子在近红外波段的特征吸收,研究了在近红外波段用CEAS技术探测CO、CO₂、CH₄等气体的可行性;同时也对基于可调谐半导体激光器的CEAS系统中激光器的波长定标、谐振腔(吸收池)的透射特征等做了研究,获得了CO、CO₂、CH₄以及CO和CO₂混合气体的特征吸收谱,最后对CEAS技术在定量测量方面的能力做了研究.研究表明,CEAS技术的探测灵敏度可达 $5.687 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$,是一种装置简单、操作方便、灵敏度高、稳定性好的定量吸收光谱技术.

关键词

光谱学;腔增强吸收光谱;灵敏度;可调谐半导体激光器

中图分类号 O433.5+1

文献标志码 A

收稿日期 2009-09-02

资助项目 国家自然科学基金(10804053);江苏省自然科学基金(BK2008437);江苏省高校自然科学基金(09KJB170003);南京信息工程大学科研基金(20080281)

作者简介

裴世鑫,男,博士,副教授,主要从事环境光谱学与光谱技术和原子与分子物理学的研究. peishixin@nuist.edu.cn

0 引言

Introduction

随着社会经济的发展和人们环保意识的提高,公众对大气环境问题日趋关注,对大气环境资料的获取要求日益强烈,为此,从1999年开始,我国陆续推出了空气质量周报、空气质量日报和空气质量预报等大气环境质量评价体系.根据我国城市的污染情况和现有技术水平,现有空气质量评价体系是以二氧化硫、氮氧化物和可吸入颗粒物为依据的,随着监测要求和监测水平的提高,必将有更多的污染物逐渐被纳入空气质量监测的范畴.

不管是空气质量评价、大气污染防治还是大气环境科学及工程的研究,都必须是在科学、准确地测定大气环境参数的基础上进行的,而环境参数的测定在很大程度上依赖于环境监测技术的水平,因此,环境监测是所有大气环境工作的基础.

利用气体的光谱特性来进行污染气体检测,在环境监测中具有传统监测技术不可比拟的优势.这是因为与常规气体检测中需要对气体进行采样,然后拿回实验室用化学方法检测含量相比,光谱技术具有以下显著优点:光谱对物质的内部能级有选择性,具有较高的探测灵敏度;操作人员不需要必须进入污染区取样,就可以采用远距离遥测的方法;光谱技术的响应时间短,可以实时反映气体浓度的动态变化.因此用光谱技术监测大气污染物成为近年来发展的一个新领域.

然而,要在复杂的气体环境中,在较宽的浓度范围内对指定气体进行检测,需要进一步提高光谱的探测灵敏度和分辨率.根据 Lambert-beer 定律,要提高光谱技术的探测灵敏度,最直接的方法就是增加有效吸光路径,为此,出现了 White 池^[1], Herriott 池^[2]和长程多通池^[3-4]等技术,但受空间和成本限制,长程多通池很难推广,也很难用于外场实验,而 White 池和 Herriott 池的灵敏度仍然难以满足对一些弱吸收的探测要求.

腔增强吸收光谱(CEAS)技术是近十几年来发展起来的一种新型直接吸收光谱技术^[5],它具有装置简单、灵敏度高的特点,但目前主要用于实验室对分子或原子弱吸收谱线的研究.

本文基于 CEAS 技术开展气体探测进行了实验研究,获得了 CO、CO₂、CH₄ 以及 CO 和 CO₂ 混合气体在近红外波段特征吸收谱,最后对

CEAS 技术的定量测量能力做了研究.

1 基本原理

Fundamental principle

在 CEAS 技术中,吸收池是由两块镀有高反射膜的大曲率半径的平凹镜所组成,测量时要将两块腔镜尽可能调到平行状态,因此,从原理上来说,可以将 CEAS 技术中的吸收池看成是一个长间距的 Fabry-Perot 腔. 假设腔长为 L ,腔内介质的吸收系数为 $\alpha(\nu)$,在光源的光谱覆盖范围内,腔镜反射率为 R ,透射率为 T ,且 R 和 T 满足关系式 $R + T = 1$,则激光在腔内每往返一次,介质对光将会形成 $\exp(-\alpha L)$ 的吸收,由此可以计算出反射光强 (I_r) 和透射光强 (I_t) 分别为^[6]

$$I_r = \frac{R(1 + e^{-\alpha L} - 2e^{-\frac{\alpha L}{2}} \cos \varphi)}{1 + e^{-2\alpha L} R^2 - 2e^{-\alpha L} R \cos \varphi} I_i; \quad (1)$$

$$I_t = \frac{e^{-\alpha L} T^2}{1 + e^{-2\alpha L} R^2 - 2e^{-\alpha L} R \cos \varphi} I_i. \quad (2)$$

式中 φ 为光在腔内往返一次的相位移,可表示为

$$\varphi = \frac{2\pi(2nL)}{\lambda}.$$

CEAS 技术只关注谐振腔的透射光强,因此,在每一个透射峰值处 ($\varphi = 0$),腔的透射系数可以表示为

$$T(\alpha) = \frac{I_{t(\varphi=0)}}{I_i} = \frac{T^2 \exp(\alpha L)}{(1 - R \exp(\alpha L))^2}, \quad (3)$$

空腔的透射系数与腔内有吸收介质时腔的透射系数的比率可以表示为

$$T_n = \frac{T(\alpha)}{T(0)} = \frac{(1 - R)^2 \exp(\alpha L)}{(1 - R \exp(\alpha L))^2}, \quad (4)$$

从式(4)可以看出,通过测量 T_n 即可确定吸收系数 $\alpha(\nu)$:

$$\alpha(\nu) = \frac{1}{L} \left\{ 1 - \left[\frac{-(1-R) + \sqrt{(1-R)^2 + 4RT_n}}{\sqrt{4R^2 T_n}} \right]^2 \right\}. \quad (5)$$

因 CEAS 中的腔镜反射率 R 接近于 1,且一般都用于弱吸收的测量,因此,可以认为腔内介质的单程吸收损耗远小于空腔的损耗,即 $\alpha(\nu)L \ll 1 - R$,将式(4)右端进行泰勒展开,即:

$$T_n \approx 1 - \frac{(1+R)\alpha L}{1-R} \approx 1 - \frac{2\alpha L}{1-R} \approx 1 - \frac{2F\alpha L}{\pi}. \quad (6)$$

式中 F 是 Fabry-Perot 腔的精细度. 将式(6)与传统的单程吸收光谱中的 Lambert-Beer 定律相比,其有效吸收路径被增强了 $2F/\pi$ 倍,因 CEAS 中谐振腔的 F 一般都是一个很大的值,使 CEAS 的有效吸光路

径变得很长,从而使 CEAS 具有很高的探测灵敏度.

2 实验装置

Experimental setup

本文所讨论的实验装置与文献[7-9]中所介绍的类似,这里只做简要介绍.

用可调谐 DFB 半导体激光器做光源,激光器由 ILX Lightwave 公司生产的 LDC-3724B 型激光电源控制. 为防止光学反馈影响半导体激光器的工作状态,从半导体激光器输出的激光,先通过一个光纤隔离器,然后经光纤准直器聚焦后耦合到由两块镀有高反射膜的凹面镜所组成的光学谐振腔(吸收池),吸收池的基本参数为凹面镜的曲率半径 $r = 1.5$ m,在工作波长附近,凹面反射率 R 约为 99.7%,腔镜之间的距离 L 与凹面镜的曲率半径 r 之间满足稳定腔的条件 $0 < L < r$,后腔镜固定在一个外径、内径和长分别为 30 mm、26 mm 和 35 mm 的压电陶瓷管的一端.

实验中,用一台信号发生器给压电陶瓷管提供一个 40 Hz 左右的锯齿波形扫描电压,通过压电陶瓷管的伸缩振动控制后腔镜的位置,使其在一个平衡位置附近振动. 将另一台信号发生器与 LDC-3724B 相连,并为其设置一个远低于 40 Hz 的扫描频率,以改变半导体激光器的注入电流,从而达到扫描激光波长的目的.

测量时,将待测气体通过吸收池的进气口直接充入腔内,并给激光器确定一个中心输出波长,然后用与 LDC-3724B 相连的函数发生器改变激光器的注入电流,使激光器的输出波长在一定的范围内以很低的频率做周期性变化. 透过谐振腔的光信号直接用透镜聚焦到探测器的光敏面上,用实验室自编的程序采集数据,并输入计算机做进一步的处理.

3 实验结果与分析

Result and analysis

3.1 DFB 半导体激光器的波长定标

实验选用的是 DFB 半导体激光器,这种激光器的工作波长受工作温度和注入电流两个因素的控制. 在实验中,采用的是给激光器设定一个工作温度,然后在一定范围内扫描激光器的注入电流,从而实现扫描波长的目的. 因此,需要建立一套激光器的注入电流与输出波长间的对应关系,也就是对激光器进行波长定标.

用 LDC-3724B 激光电源给激光器设置一个工作温度,然后用自编的定标程序,同时采集波长计所显示的激光波长和 LDC-3724B 激光电源所显示的激光器注入电流,从而建立激光器的工作温度、注入电流同激光波长之间的关系.图 1 是对 NLK1556STG 型 DFB 半导体激光器在 18、20、22、24、26、28 和 30 °C 等 7 个温度处所做的波长定标的结果.

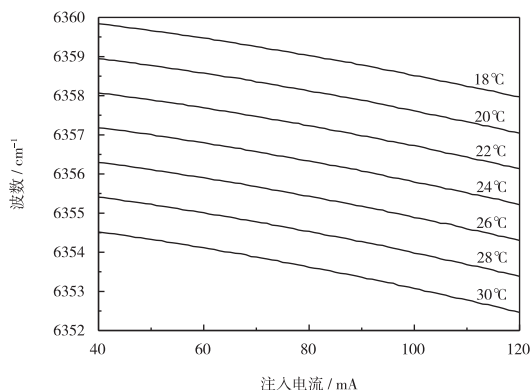


图 1 DFB 激光器的波长定标

Fig. 1 Wavelength calibration of DFB diode laser

从图 1 中可以看出,通过对激光器进行波长定标,就可以在激光器的输出波长、注入电流和工作温度之间建立起对应关系.

3.2 CEAS 中谐振腔的透射特征

对任何形式的 Fabry-Perot 腔来说,当在一定波长范围内扫描入射激光的波长时,如果激光的输出功率不随波长发生变化,或者以一定的函数关系变化,透射激光的强度与波长之间的关系应该和入射激光的强度与波长之间的关系是一致的.因实验中激光波长的扫描是通过改变注入电流的方法实现的,而激光器的输出功率随注入电流的变化也有一定的变化,因此,需要掌握激光器在某一温度下工作时激光器的注入电流与输出功率之间的关系.

图 2a 是将激光器的工作温度分别设定在 19.5、25 和 30.4 °C 时,激光器的输出功率与注入电流间的关系;图 2b 是激光器的工作温度为 25 °C 时,激光器的输出功率与注入电流间关系及其线形拟合.结果表明,激光器的输出功率与注入电流之可以用二次多项式进行拟合.因此,如果不受外界环境的影响,在扫描激光波长时,空腔的透射与激光器的注入电流(工作波长)之间也应该是二次曲线关系,即原始光谱的光谱基线也应该是一条二次曲线,但结果并非如此.

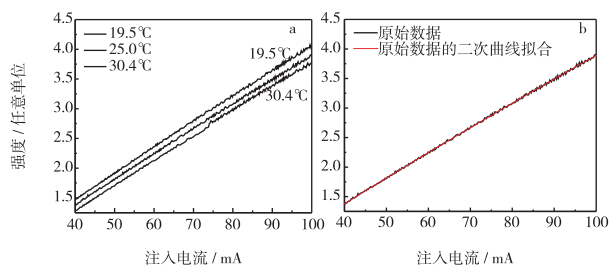


图 2 DFB 激光器的输出功率与注入电流的关系

Fig. 2 The relationship between output power and injection current of DFB diode laser

在进行光谱测量时发现,光谱基线并不是一条二次曲线.为此,对空腔的透射情况做了测定:将激光器的工作温度设定在 22.02 °C,以 0.25 mA 为步长,在 40 ~ 100 mA 的范围内扫描注入电流,同时监测透过谐振腔的光信号强度,结果如图 3 所示.

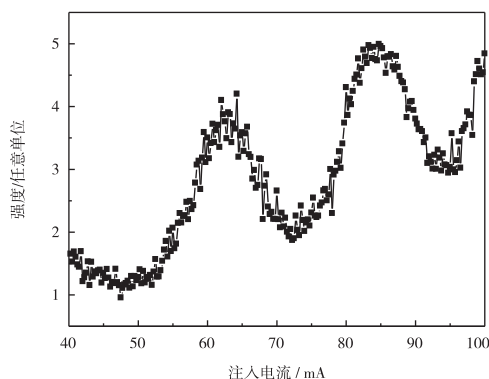


图 3 空腔透射与激光器注入电流(激光波长)间关系

Fig. 3 The relationship of empty cavity transmission and laser injection current(laser wavelength)

通过对不同条件下谐振腔的透射情况测量,排除了谐振腔的这种透射特征是因为腔镜反射率对波长敏感程度造成影响的可能,因此,可以断定,谐振腔的这种透射特征是因为系统所处环境的某种具有周期性特征的不稳定性所造成的.值得高兴的是谐振腔的这种透射特征,可以在后续的数据处理中通过归一化的方法消除.

3.3 用 CEAS 技术进行气体探测

CEAS 技术是一种高灵敏^[10]直接吸收光谱技术,利用这一特点,可以开展气体吸收光谱方面的研究,如谱线的吸收强度、加宽系数等参数的研究^[7,11-12].随着窄带宽可调谐半导体激光器在 CEAS 中的广泛应用,结合气体分子的特征吸收,使 CEAS

技术在气体探测方面表现出了极大的优势.

3.3.1 CO₂、CO、CH₄ 在近红外波段的谱线参数

根据实验室购置的半导体激光器的技术参数,通过波长定标后所确定的光谱范围,以及 Hitran2004 数据库中所列的气体分子在已确定的光谱范围内分子的吸收情况,确定要测量的气体分子,综合考虑激光器的波长覆盖范围、谱线之间的位置、后续的数据处理以及实验中所用腔镜的反射率等因素,为了得到比较明显的吸收信号,选择了 CO₂、CO 和 CH₄ 分子作为研究对象.其中:CH₄ 以 7 597.4 ~ 7 598.5 cm⁻¹ 为测量区间;CO 和 CO₂ 以 6 354.0 ~ 6 357.6 cm⁻¹ 为测量区间.在选定的光谱测量范围内,CO₂、CO 和 CH₄ 分子的吸收情况如表 1 所示.

3.3.2 CO₂、CO、CH₄ 在近红外波段的原始吸收谱

在选定的光谱范围内,用数据采集系统自动采集同一个波长下透过谐振腔的 20 个峰值信号并取其平均值,通过测量不同波长下的透射平均值即可得到“原始”的腔增强吸收光谱图.图 4 是用 CEAS 技术所得到的 CO₂、CO、CH₄ 以及 CO₂ 和 CO 混合物的“原始”谱图.

图 4a 是腔内 CO₂ 气体的压强为 342 Pa 时,CO₂ 在 6 357.3 cm⁻¹ 附近的原始吸收谱.在 Hitran2004 数据库中,谱线的位置和吸收强度分别为 6 357.311 6 cm⁻¹、 $1.655 \times 10^{-23} \text{ cm}^{-1}/(\text{molecule} \cdot \text{cm}^{-2})$.

将原始谱进行归一化处理^[8,13],并将结果用 Gauss 函数进行拟合,得到光谱的谱线宽度为 0.012 5 cm⁻¹,与常温下 CO₂ 的 Dopple 宽度 0.012 3 cm⁻¹ 非常接近,说明用归一化法处理以 CEAS 技术所得到的光谱数据是可行的.

图 4b 是腔内 CO 气体的压强为 276 Pa 时,CO 在 6 354.18 cm⁻¹ 附近的原始吸收谱.在 Hitran2004 数据库中,谱线的位置和吸收强度分别为 6 354.179 1 cm⁻¹、 $4.208 \times 10^{-24} \text{ cm}^{-1}/(\text{molecule} \cdot \text{cm}^{-2})$.

按归一化处理方法进行数据处理,并用 Gauss 函数拟合,得到谱线的半高宽度为 0.015 33 cm⁻¹^[8],这个结果与室温下 CO 的多普勒加宽(0.014 84 cm⁻¹)非常接近.实验所得到的光谱参数与 Hitran2004 数据库所列参数的高度吻合表明:用 CEAS 技术具有很高的分辨率,能够得到品质很好的吸收光谱.经计算,该测量的探测灵敏度达 $5.687 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$.

图 4c 是将 CEAS 技术与用于模拟大气环境的光化学烟雾箱相结合,在长为 72 cm 的烟雾箱(吸收池)内充入压力为 609 Pa 的甲烷气体,所测得的甲烷分子在 7 597.4 ~ 7 598.5 cm⁻¹ 范围内的原始吸收谱^[14].

将实验结果与 Hitran2004 数据库给出的甲烷分子的谱线位置和吸收强度做了比较,结果表明,实验所测得的谱线位置与 Hitran2004 数据库所给出的谱线位置吻合的很好,二者之间的偏差在 10⁻³ 量级.

CEAS 技术与模拟大气环境的烟雾箱的成功结合,再次证明 CEAS 技术是一种可靠性高,稳定性好的直接吸收光谱技术,可用于气态分子的定量测量,而且 CEAS 还可以作为烟雾箱检测技术的一种很好的补充,具有广阔的应用前景.

图 4d 是将 CO 和 CO₂ 以体积比为 1:1 的比例混合,然后充入吸收池,保持吸收池内 CO 和 CO₂ 的分压各为 1 350 Pa 时,用 CEAS 技术在 6 354.021 ~ 6 354.717 cm⁻¹ 的范围内进行光谱扫描后所得到的

表 1 Hitran2004 数据库中 CO₂、CO 和 CH₄ 的吸收

Table 1 The parameter of CO₂, CO & CH₄ in Hitran2004

| 二氧化碳(CO ₂) | | 一氧化碳(CO) | | 甲烷(CH ₄) | |
|------------------------|---|--------------------|---|----------------------|---|
| 谱线位置 | 吸收强度 | 谱线位置 | 吸收强度 | 谱线位置 | 吸收强度 |
| 6 354.536 0 | 1.336×10^{-23} | 6 354.179 1 | 4.208×10^{-24} | 7 597.601 1 | 7.207×10^{-25} |
| 6 355.938 8 | 1.524×10^{-23} | 6 357.813 9 | 8.364×10^{-24} | 7 597.771 8 | 3.040×10^{-23} |
| 6 357.311 6 | 1.655×10^{-23} | | | 7 597.801 1 | 3.011×10^{-24} |
| | | | | 7 597.838 7 | 1.153×10^{-23} |
| | | | | 7 597.938 2 | 4.626×10^{-25} |
| | | | | 7 598.093 6 | 8.973×10^{-25} |
| | | | | 7 598.150 8 | 7.042×10^{-24} |

注:① 吸收强度小于 10⁻²⁵ 的未列于表中;

② 谱线位置单位为 cm⁻¹,吸收强度单位为 cm⁻¹/(molecule·cm⁻²);

③ 表中加粗的谱线位置是实验中所用到的谱线.

CO 和 CO₂ 的混合气体的原始吸收谱,测量所得到的谱线位置与 Hitran2004 数据库所给出的谱线位置完全吻合。

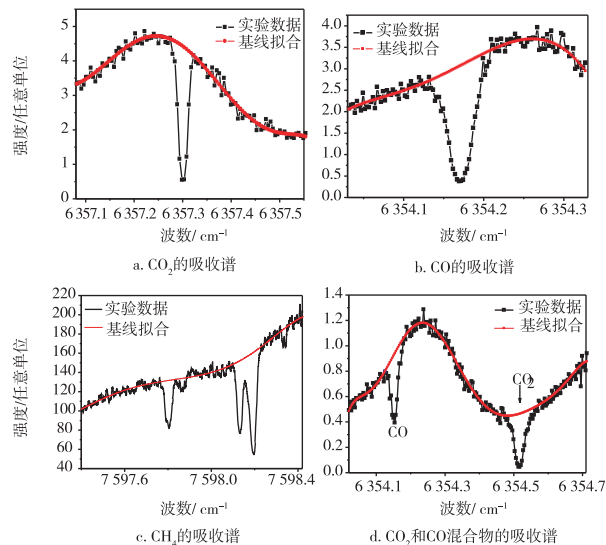


图4 几种气体在近红外波段的吸收谱

Fig. 4 The spectrum of some gas in the near-infrared range

以上结果表明:不管将 CEAS 技术用于光谱测量还是气体检测都是值得信赖的. 如果能够选择合适的光源,在其光谱覆盖范围内同时有几种气体都有一定的吸收,而且各吸收峰之间能够很好地区分,彼此互不干扰,因此,CEAS 技术完全可以用于同时对两种或多种气体的探测。

3.3.3 CEAS 技术的定量分析能力研究

在同样的条件下,用 CEAS 技术测量不同压力下的 CO₂ 的吸收光谱. 先用归一化法进行数据处理,然后用 Gauss 函数对处理结果进行拟合,得到 CO₂ 的吸收光谱,图 5a 就是用这种方法所测得的吸收池内 CO₂ 的压强分别为 70、139 和 209 Pa 时的光谱图。

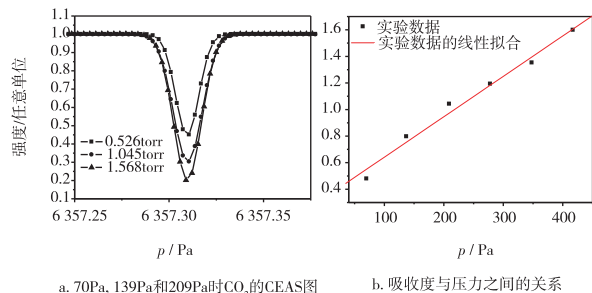


图5 不同压力下 CO₂ 的吸收

Fig. 5 CO₂ absorption spectrum under different pressures

为更全面地研究 CEAS 技术在定量分析方面的能力,在相同的实验条件下,又分别测量了腔内 CO₂ 的压强为 70、139、209、278、348 和 417 Pa 时的吸收光谱,并用同样的数据处理方法,计算不同压力下的吸收深度(A),从而得到吸收深度(A)与腔内压强(p)之间的关系,如图 5b 所示。

从图中可以看出,A 与 p 之间呈线性关系,符合 Lambert-Beer 定律,因此,CEAS 技术完全可以用于定量分析研究。

4 总结

Summary

以近红外可调谐半导体激光器作光源,利用 CEAS 技术的高灵敏性和气体分子的特征吸收,用 CEAS 技术获得了 CO、CO₂、CH₄ 以及 CO 和 CO₂ 混合气体在近红外波段的特征吸收谱,并对实验测得的谱线参数与 Hitran2004 数据库中所给出的谱线参数作了比较,最后研究了腔增强吸收光谱技术在气体定量检测方面的能力. 研究表明:CEAS 技术是一种装置简单、操作方便、灵敏度高、稳定性好的定量吸收光谱技术;如果光源的光谱范围选择合适,还可以用于两种或多种气体的同时检测,在大气环境探测和污染气体探测领域具有广泛的应用潜力和广阔的市场前景。

致谢: 本文的实验工作是在中国科学院安徽光学精密机械研究所(安光所)完成的,感谢安光所为作者提供了实验平台,感谢安光所环境光谱学研究室的全体同仁给作者的热情帮助和友情支援。

参考文献

References

- [1] White J U. Long optical paths of large aperture[J]. Journal of the Optical Society of America B, 1942, 32: 285-288
- [2] Herriott D, Kogelnik H, Kompfner R. Off-axis paths in spherical mirror interferometers[J]. Applied Optics, 1964(3): 523-526
- [3] 郭承就,魏合理,袁恽谦,等. 激光长程吸收光谱法测量高分辨率大气吸收光谱[J]. 光学学报, 2002, 22(2): 238-242
WU Chengjiu, WEI Heli, YUAN Yiqian, et al. The high-resolution absorption spectra of atmosphere measured by laser long-path absorption spectroscopy [J]. Acta Optica Sinica, 2002, 22(2): 238-242
- [4] Somesfalean G, Alnis J, Gustafsson U, et al. Long-path monitoring of NO₂ with a 635nm diode laser using frequency modulation spectroscopy[J]. Applied Optics, 2005, 44: 5148-5151
- [5] Richard E, Giel B, Rudy P, et al. Cavity enhanced absorption and cavity enhanced magnetic rotation spectroscopy[J]. Review of Scientific Instruments, 1998, 69(11): 3763-3769
- [6] 董磊. 基于腔增强吸收光谱的污染气体检测研究[D]. 山西:

- 山西大学物理与电子工程学院,2007:39-41
DONG Lei. Research on polluted gas detection based on cavity enhanced absorption spectroscopy [D]. Shanxi: Shanxi University, 2007:39-41
- [7] PEI Shixin, GAO Xiaoming, CUI Fenping, et al. The detection of carbon monoxide by cavity enhanced absorption spectroscopy with a DFB diode laser [J]. *Optica Applicata*, 2004, 34(4) :589-595
- [8] PEI Shixin, CUI Fenping, GAO Xiaoming, et al. The detection of carbon monoxide by cavity enhanced absorption spectroscopy with a DFB diode laser [J]. *Vibrational Spectroscopy*, 2006, 40: 192-196
- [9] 裴世鑫,高晓明,崔芬萍,等. 基于DFB型半导体激光器的腔增强吸收光谱研究 [J]. *化学物理学报*, 2005, 18(5) :660-664
PEI Shixin, GAO Xiaoming, CUI Fenping, et al. Study of cavity enhanced absorption spectroscopy based on a tunable DFB diode laser [J]. *Chinese Journal of Chemical Physics*, 2005, 18(5) :660-664
- [10] Cheung A S-C, Ma Tongmei, Chen Hongbing. High-resolution cavity enhanced absorption spectroscopy using an optical cavity with ultra-high reflectivity mirrors [J]. *Chemical Physics Letters*, 2002, 353 (3/4) :275-280
- [11] Leary D, Orph J, Ruth A, et al. The cavity-enhanced absorption spectrum of NH_3 in the near-infrared region between 6 850 and 7 000 cm^{-1} [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 2008, 109(6) :1004-1015
- [12] Corner L, Barry H, Hancock G. Comparison of cross-section measurements of the $2\nu_5$ overtone band of formaldehyde determined by cavity ringdown and cavity enhanced spectroscopy [J]. *Chemical Physics Letters*, 2003, 374(1/2) :28-32
- [13] 裴世鑫,崔芬萍,詹煜,等. 基于半导体激光的腔增强吸收光谱技术研究 [J]. *光学学报*, 2009, 29(3) :831-837
PEI Shixin, CUI Fenping, ZHAN Yu, et al. Study of cavity enhanced absorption spectroscopy based on diode laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(3) :831-837
- [14] 裴世鑫,崔芬萍. 烟雾箱内甲烷气体的腔增强吸收光谱 [J]. *西北师范大学学报:自然科学版*, 2008, 44(3) :61-65
PEI Shixin, CUI Fenping. Detection of methane in smog chamber by cavity enhanced absorption spectroscopy [J]. *Journal of Northwest Normal University: Natural Science*, 2008, 44(3) :61-65

The study of gas detection based on the cavity enhanced absorption spectroscopy technology

PEI Shixin¹ CUI Fenping¹ SONG Biao¹ WANG Ming¹ LI Chuanqi¹

¹ College of Math & Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The cavity enhanced absorption spectroscopy system (CEAS) is constructed with the near-infrared tunable DFB diode laser used as the light source and an optical cavity, which is composed by two plane-concave mirrors with the reflection of about 99.7%, used as the absorption cell. In the experiment, carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO), methane (CH_4) and the mixture of CO & CO_2 are employed as the samples. The feasibility is studied of detecting CO , CO_2 , CH_4 , and CO & CO_2 mixture in the near-infrared band by means of CEAS technology, which is based on the molecular characteristics absorption in the near-infrared band. Meanwhile, the diode laser wavelength calibration and the characteristics of optical cavity transmission are also researched, thus obtaining the characteristic absorption spectrum of CO , CO_2 , CH_4 , and CO & CO_2 gas mixture. At the end, the quantitative measurement capacity of CEAS technology is also studied. The results indicate that this technology has the sensitivity as high as $5.687 \times 10^{-7} \text{cm}^{-1}$, and so is a quantitative absorption spectrum technology with simple device, convenient operation, high sensitivity and good stability.

Key words spectroscopy; sensitivity; cavity enhanced absorption spectroscopy; tunable diode laser