

一种用于一次谐波背景消除与基线校正的新型方法*

张锐^{1)2)†} 赵学珏¹⁾ 胡雅君¹⁾ 郭媛¹⁾ 王喆¹⁾ 赵迎¹⁾ 李子晓¹⁾ 汪曦¹⁾

1)(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

2)(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

(2013年9月18日收到; 2013年12月11日收到修改稿)

针对可调谐半导体激光吸收光谱一次谐波信号中具有背景信号及较大的基线信号, 提出一种新型的背景消除与基线校正的处理方法. 分析了一次谐波背景中的激光器相关强度调制信号, 电子学噪声和光学干涉条纹, 采用无吸收谱线区域检测谐波方法消除背景信号. 给出了激光器不同工作温度时的电流和强度之间的关系曲线, 由此设计出消除背景后剩余基线的校正方法. 文中给出了背景搜索方法的原理以及LabView软件流程图. 设计了检测氟化氢气体的实验系统, 根据谱线选取原则确定吸收谱线为1312.59 nm, 设置激光器的工作温度为27.0 °C, 对应的背景温度为30.2 °C. 一次谐波信号经过背景消除和基线校正后, 信号的畸变得明显改善, 基线得到校正, 验证了该方法在激光器其他工作温度(26.7—27.2)是有效的, 并对HF气体浓度精度的改善进行了定量分析, 为一次谐波信号的后续处理提供了方便.

关键词: 可调谐半导体激光吸收光谱, 一次谐波, 背景消除, 基线校正

PACS: 07.07.Df, 07.57.Ty

DOI: 10.7498/aps.63.070702

1 引言

可调谐半导体激光吸收光谱(tunable diode laser absorption spectroscopy, TDLAS)技术广泛应用于痕量气体检测^[1-4]. 在TDLAS中多采用波长调制光谱(wavelength modulation spectroscopy, WMS)技术, 对激光器波长实现高频调制并采用谐波检测技术, 可消除激光器和1/f噪声^[5-8]. 在谐波检测技术中通常选用幅值较大的一次谐波(the first harmonic, 1f)和二次谐波(the second harmonic, 2f)作为检测信号, 其中1f信号的作用有: 根据1f信号的峰峰值进行气体浓度检测^[9,10]. 在免校准技术中用于标准化2f实现消除激光光强的变化^[11-15]. 利用1f重构吸收线型, 实现免校准的气体浓度检测^[16]. 利用1f峰谷值与平

均值的比值, 可抑制光源波长漂移和扫描步长等因素对系统检测精度的影响^[17].

在1f信号中具有背景及较大的基线信号, 在后续的信号数据处理中, 需要进行背景消除及基线校正. 目前在背景消除的研究中, Ruxton等^[10,18,19]使用延时光纤消除相关强度调制信号. Reid等^[20-23]利用增加额外调制手段、改变光程、采用高调制频率或者复杂的数据处理方法消除光学干涉条纹. Werle等^[24]采集通零气时的背景信号进行谱线相减的背景消除方法. 在基线校正的研究中, 常采用多项式拟合^[25,26]、导数法^[27]、正交投影法^[28]、小波变换法^[29,30]、奇异值分解法^[31]等方法. 但是还没有针对TDLAS中的1f信号的背景及较大基线的特殊性提出解决方法.

本文提出了一种用于一次谐波背景消除与基线校正的新型方法. 以氟化氢(hydrogen fluo-

* 国家重点基础研究发展计划(973计划)(批准号: 2010CB327800)和高等学校博士学科点专项科研基金(批准号: 20090032110053)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: zhangrui@tust.edu.cn

ride, HF) 气体作为检测对象, 设置系统检测 1f 信号, 分析了 1f 的主要背景信号, 选取了 HF 的吸收谱线. 该方法分为两步, 第一步进行背景消除: 采用我们前期的研究工作^[32], 通过改变激光器工作温度改变发射波长至无吸收谱线区域进行检测谐波 (harmonic detection in none absorption spectral region, HDINASR), 利用背景搜索方法确定背景信号, 进行背景消除. 第二步进行基线校正: 第一步背景消除后会有一个剩余基线, 通过选取水平基线的一部分采样数据进行直线拟合, 进行基线校正. 该方法简单, 无需增加装置或提高设备的指标, 不用更换样气, 为 1f 信号的后续处理提供了方便.

2 理论分析

在对波长调制光谱背景信号组成的研究中, 谐波背景信号主要受以下因素影响: 激光器的相关强度调制, 电子设备的非线性, 光学系统中的标准具等^[6].

根据朗伯-比尔定律, 当 $\alpha(\nu)Cl \ll 1$ 时,

$$I = I_0 e^{-\alpha(\nu)Cl} \approx I_0 [1 - \alpha(\nu)Cl], \quad (1)$$

I_0 , I 分别为激光器的输入、透射光强. $\alpha(\nu)$ 是在频率 ν 处的吸收系数. C 是气体浓度, 单位是每单位体积的分子数. l 是光程长.

考虑正弦调制对光强的影响, 在频率 ν_1 上的输入光强可写成

$$I = I(\nu_1) + \Delta I(\nu_1) \cdot \cos(\omega t), \quad (2)$$

$\Delta I(\nu_1)$ 是中心频率 ν_1 处的最大强度变化量, 输出光强可写成

$$I = [I(\nu_1) + \Delta I(\nu_1) \cdot \cos(\omega t)] \cdot [1 - \alpha(\nu)Cl]. \quad (3)$$

激光器的出射激光和吸收气体相互作用后, 在接收端频率调制转变为幅度调制^[33]. 幅度调制信号在基频 ($f = \omega/2\pi$) 上产生, 同时在更高的谐波上也会产生幅度调制, 这是因为在中心频率 ν_1 上吸收系数 $\alpha(\nu)$ 具有非线性特性. 为分析系统的输出信号及其相关特性, 将吸收系数 $\alpha(\nu)$ 在 ν_1 附近进行泰勒级数展开

$$\alpha(\nu) = \alpha(\nu_1) + \alpha'(\nu_1) \cdot [\nu - \nu_1] + 1/2 \cdot \alpha''(\nu_1) \cdot [\nu - \nu_1]^2 + \dots \quad (4)$$

令 $\nu - \nu_1 = \Delta\nu \cdot \cos(\omega t - \varphi)$, $\Delta\nu$ 是激光器频率的最大偏移量, φ 是频率调制和强度调制信号的相位

角, 代入上式得

$$I = [I(\nu_1) + \Delta I(\nu_1) \cdot \cos(\omega t)] \cdot \{1 - \alpha(\nu)Cl - \alpha'(\nu_1) \cdot Cl \cdot \Delta\nu \cdot \cos(\omega t - \varphi) - 1/2 \cdot \alpha''(\nu_1) \cdot Cl \cdot \Delta\nu^2 \cdot \cos^2(\omega t - \varphi) - \dots\}. \quad (5)$$

当 $\Delta I(\nu_1)$ 不能忽略时, 输出信号中 1f 项 (\cos^2 项可产生小的直流成分, 高次项能产生小的低次项, 但是如果 $\Delta\nu$ 很小这些可以忽略) 为

$$I_\omega = \Delta I(\nu_1) \cdot \cos(\omega t) - \Delta I(\nu_1) \cdot \alpha(\nu_1) \times Cl \cdot \cos(\omega t) - I(\nu_1) \cdot \alpha'(\nu_1) \cdot Cl \times \Delta\nu \cdot \cos(\omega t - \varphi). \quad (6)$$

(6) 式中第一项是与浓度无关的背景成分. 第二项是与吸收线型和浓度有关的背景成分. 第三项为 1f 项, 与背景信号的相位相差 φ . 在用 TDLAS 检测气体浓度时, 通常气体浓度较低 (一般在 ppm 数量级或以下), 上式中第一项的幅值最大, 1f 信号幅值是由高背景信号决定, 它成为对 WMS 技术中检测 1f 信号的主要限制因子.

综上所述, 在 1f 的背景信号中以激光器的相关强度调制为主, 在我们的前期工作中详细分析了电子学噪声和光学干涉条纹^[32]. 由于电子学噪声和光学干涉条纹跟 TDLAS 系统中检测的谐波次数无关, 在 2f 中得到应用的 HDINASR 背景消除方法可以应用在 1f 中并能将这两类背景信号消除.

激光器输出的激光频率与注入电流、工作温度有关. 在电流调谐过程中, 激光器工作温度 (T_{LD}) 是固定的, 电流 i 和频率 ν_1 之间的电流频率系数为 k , $\Delta I(\nu_1)$ 可表示成 $\Delta I(ki)$. 图 1 是系统中所用的分布式反馈 (distributed feedback, DFB) 激光器在不同温度时电流 (i) 和激光强度 (I) 之间的关系曲线, 表 1 是 i 与 I 之间的一次拟合曲线的斜率和线性度, 可以看出电流在 15—100 mA 之间呈良好的线性关系, 其中 15 mA 是激光器阈值电流, 100 mA 是激光器的限值电流. T_{LD} 不同时, 曲线斜率不同. 温度相同时, I 与 i 的关系可表示成

$$I = bi, \quad (7)$$

则

$$\Delta I(\nu_1) = \Delta I(ki) = kb\Delta i, \quad (8)$$

k 为电流频率系数, b 为 I 与 i 之间的直线斜率, 二者均为常数, i 确定后, Δi 与正弦调制信号的振幅成

正比, 也为常数, 可得出 $\Delta I(\nu_1)$ 也为常数. 这样可知: 在不同温度时的 $\Delta I(\nu_1)$ 是不同的, 因此在应用 HDINASR 消除背景后会存在一个剩余基线. 由于在温度一定时的 $\Delta I(\nu_1)$ 是不变的, 说明两个温度之间的 $\Delta I(\nu_1)$ 的差值是恒定的, 说明用 HDASR 消除背景后的剩余基线是水平的, 而不需求具体 $\Delta I(\nu_1)$ 的大小. 剩余基线的校正方法可以通过选取水平基线的一部分进行直线拟合, 通过谱线相减进行基线校正.

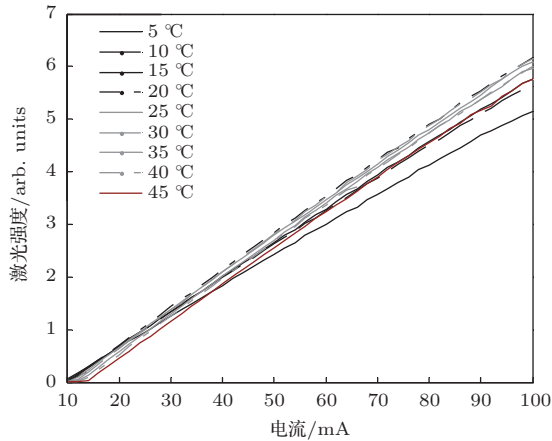


图1 T_{LD} 不同时电流和强度之间的关系曲线

表1 T_{LD} 不同时 i 和 I 之间的斜率和线性度

$T_{LD}/^{\circ}\text{C}$	斜率	线性度
5	0.1143	0.9998
10	0.1260	0.9999
15	0.1285	0.9999
20	0.1385	0.9998
25	0.1371	0.9999
30	0.1398	0.9998
35	0.1371	0.9998
40	0.1384	0.9998
45	0.1349	0.9997

3 实验系统

图2是检测系统原理图, 系统包括激光驱动源、二极管激光器、信号源、锁相放大器 (lock-in amplifier, LIA)、前置放大器、光电探测器、数据采集卡和计算机控制系统. 以检测 HF 气体为例, 选用美国 Wavelength References Inc 生产的 HF-C-50-FCAPC, 它是一种固定 HF 浓度 (体积分数为 50×10^{-6}) 的气室.

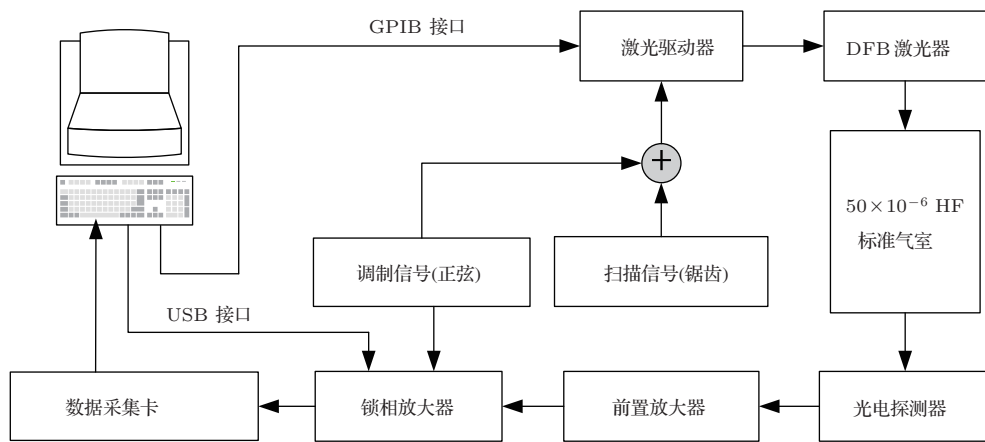


图2 检测系统原理图

4 实验与结果分析

4.1 HF 吸收谱线与激光器温度选择

图3为 HF 气体在近红外区的吸收谱图, 图3(a), (b), (c) 分别为 HF 的 $0.9 \mu\text{m}$, $1.3 \mu\text{m}$, $2.5 \mu\text{m}$ 三个吸收谱线带. 其中在 $2.5 \mu\text{m}$ 处的谱线强度最强, 在 $0.9 \mu\text{m}$ 处的谱线强度最弱, 但是 $2.5 \mu\text{m}$ 与 $0.9 \mu\text{m}$ 附近的激光器价格较贵, 而 $1.3 \mu\text{m}$ 处的

激光器较常见, 价格低廉, 考虑通信用激光器的波长为 1310 nm , 最终选取 1312.59 nm 为 HF 的吸收谱线.

相对其他两处谱带, $1.3 \mu\text{m}$ 处的谱线间隔较大, 依据 HDINASR 谱线选取原则^[32] 公式

$$\Delta\lambda_{\min} = 2\lambda_1 + \lambda_2, \quad (9)$$

$\Delta\lambda_{\min}$ 为选取的谱线与相邻谱线波长的最小间距, $\Delta\lambda_1$ 为锯齿波扫描选取谱线的波长范围, $\Delta\lambda_2$ 为搜

索无吸收峰区域的波长范围.

1312.59 nm 与左侧相邻谱线 1304.53 nm 的波长间距为 $\Delta\lambda_L = 8.66$ nm, 与右侧相邻谱线 $\Delta\lambda_R = 1321.25$ nm 的波长间距为 8.06 nm. 锯齿波的峰峰值 $V_{pp} = 700$ mV, $\Delta\lambda_1 = 0.35$ nm, 若在选取吸收谱线的左、右侧均选择 3 °C 搜索范围, 则 $\Delta\lambda_{min} = 2 \times 0.35$ nm + 0.3 nm = 1.0 nm < λ_L 或 $\Delta\lambda_R$, 满足 (9) 式.

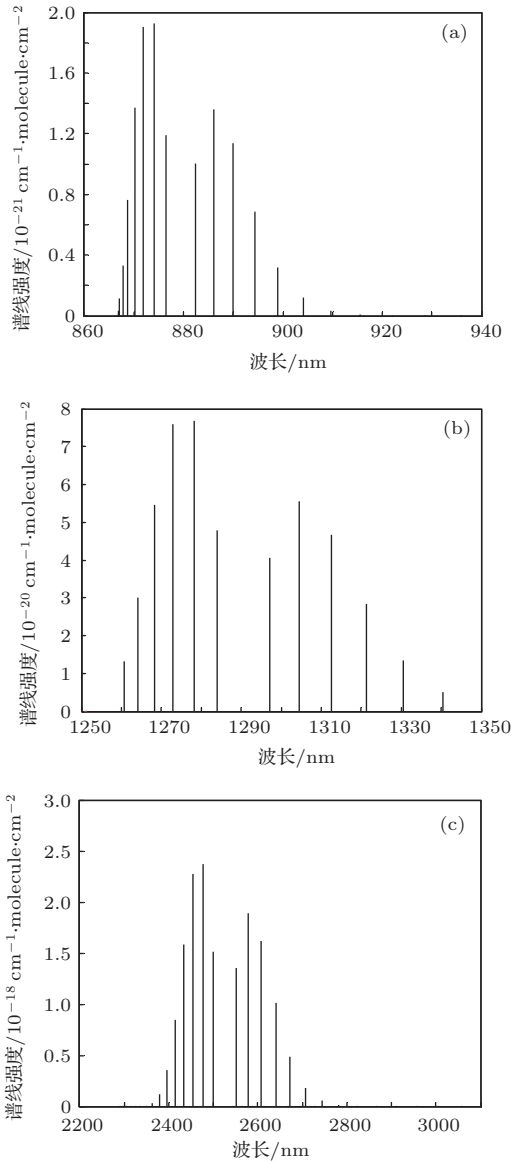


图3 HF吸收谱图 (a) 0.9 μm; (b) 1.3 μm; (c) 2.5 μm

为了得到较为完整的 1f 信号, 激光器工作温度应选择在 26.7—27.2 °C. 同时考虑背景消除后会有一个剩余基线, 需要选取水平基线的一部分进行直线拟合, 文中选取 1f 信号的左、右侧各 10 个数据采样点作为拟合区域. 最终激光器的工作温度选择在

27.0 °C, 在 26.7—27.2 °C 左右两侧无吸收谱线区域内分别选择 22.0—25.0 °C 和 29.0—32.0 °C 搜索背景信号.

4.2 HDINASR 背景信号搜索

激光电流与温度驱动器选用美国 ILX 公司的 LDC3900, 具有通用接口总线 (general purpose interface bus, GPIB) 接口. 锁相放大器选用美国 AMETEK 公司的 7270, 具有通用串行总线 (universal serial bus, USB) 接口. 采用 LabView 开发环境构建计算机控制系统. 计算机控制系统通过 GPIB 接口可实现对激光驱动器的输出控制, 通过 USB 接口可实现对锁相放大器的控制. 基于 LabView 软件开发的背景信号搜索过程如图 4 所示.

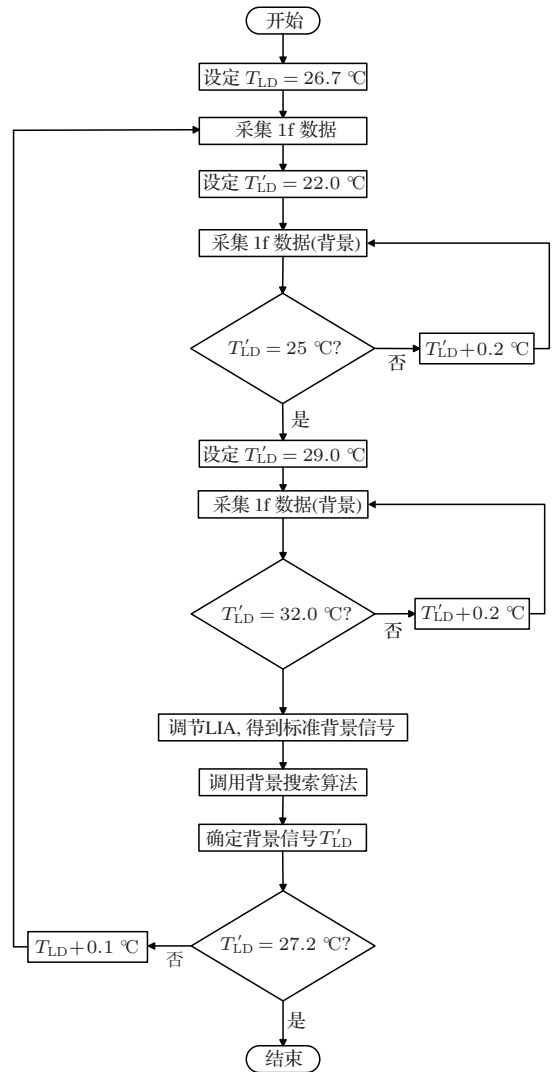


图4 LabView 程序流程图

首先控制驱动器设定激光器工作温度(T_{LD})为26.7—27.2 °C 中的某个温度值, 调节锁相放大器工作在不同的探测相位, 利用向量分解法分离背景信号和1f信号, 得到标准背景信号. 然后分别调节驱动器设定激光器工作温度(T'_{LD})为22.0—25.0 °C和29.0—32.0 °C范围, 变化步长为0.2 °C, 得到背景信号. 最后调用背景搜索算法确定所选背景信号.

在背景搜索算法中, 是将激光器工作温度(T_{LD} : 26.7—27.2 °C)对应的每个标准背景信号与激光器工作温度(T'_{LD} : 22.0—25.0 °C和29.0—32.0 °C)对应的所有背景信号做波形相关运算, 结果如表2所示, 相关系数的大小说明两个信号的相似程度. 如表中第一行, 当 $T_{LD} = 26.7$ °C时, 所对应的标准背景信号与 $T'_{LD} = 22.0$ —25.0 °C和29.0—32.0 °C时对应的62个背景信号做相关运算, 在62个相关系数中搜索最大值为0.9702, 此时对应的 $T'_{LD} = 23.2$ °C.

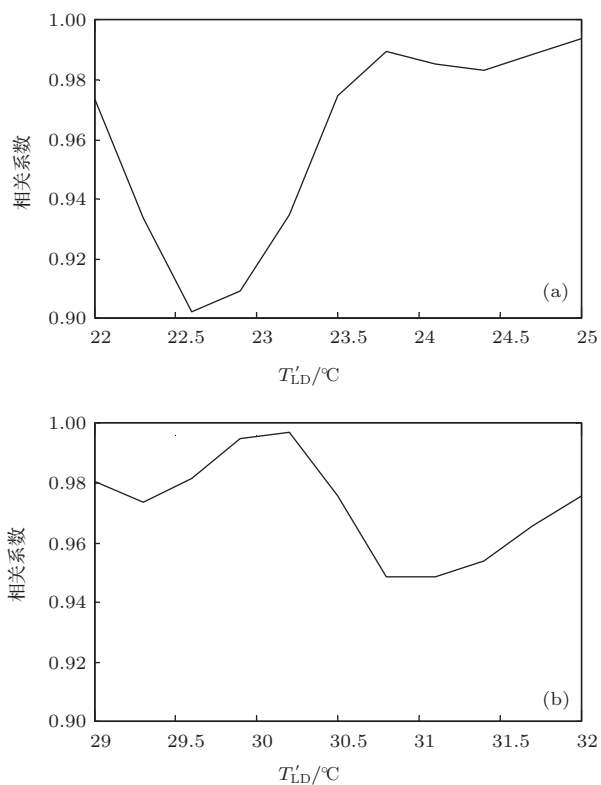


图5 相关系数曲线

经搜索表2中相关系数, 在27.0 °C时相关系数取最大值0.9969. 27.0 °C与22.0—25.0 °C的相关系数如图5(a)所示, 与29.0—32.0 °C的相关系数如图5(b)所示, 从图中可看出27.0 °C与30.2 °C

的背景信号相关系数取最大值0.9969, 由此确定30.2 °C时的谐波数据为所选背景信号.

表2 相关运算结果

$T_{LD}/^{\circ}\text{C}$	最大相关系数	$T'_{LD}/^{\circ}\text{C}$
26.7	0.9702	23.2
26.8	0.9728	24.8
26.9	0.9762	25.0
27.0	0.9969	30.2
27.1	0.9967	30.2
27.2	0.9967	30.2

4.3 背景消除与基线校正

图6为27.0 °C时的1f信号与30.2 °C时的背景信号进行背景消除前后的结果.

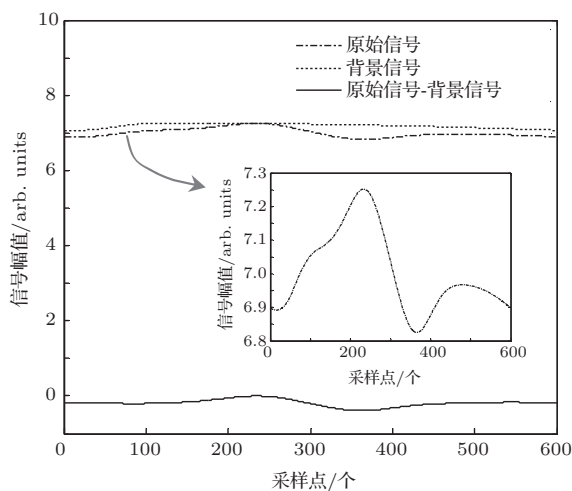


图6 1f信号背景消除前后结果

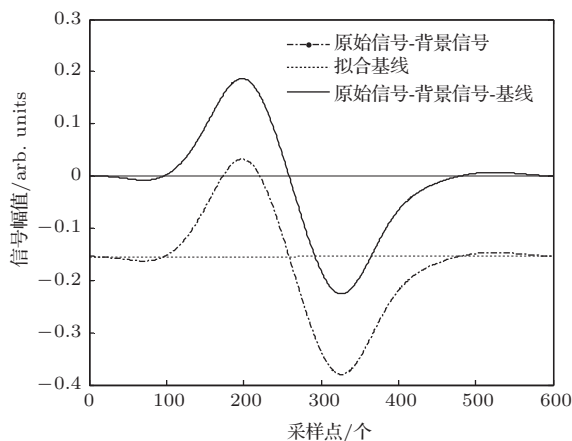


图7 1f信号基线校正前后结果

在1f的一个周期内, 选取无吸收信号的部分作为拟合区域, 如图6选取采样点1—10和590—600

进行直线拟合. 原始信号和拟合直线进行谱线相减, 用以消除剩余的基线信号, 结果如图 7 所示.

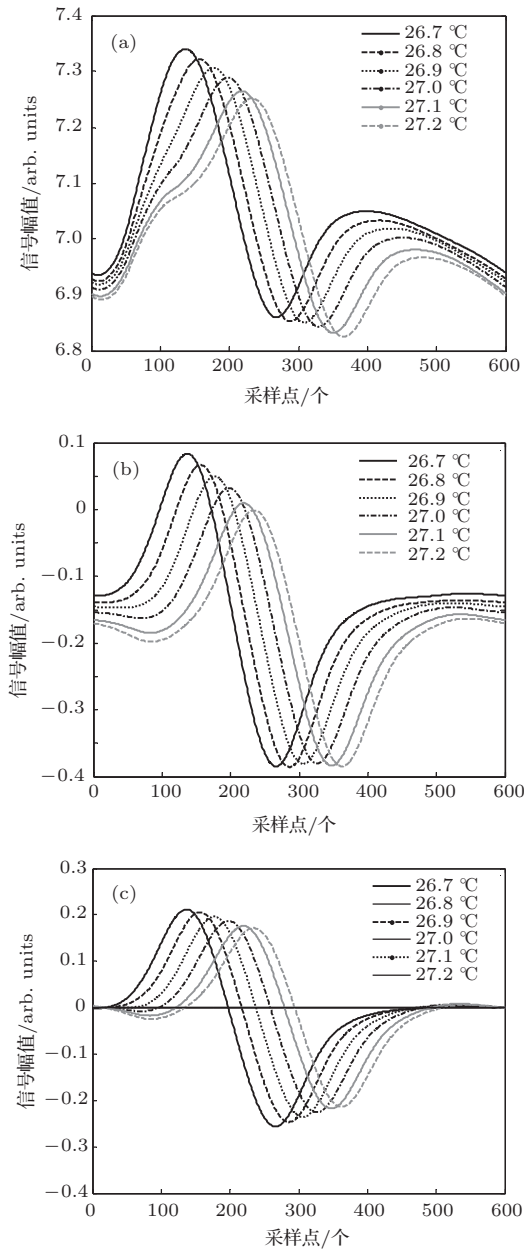


图 8 $T_{LD} = 26.7\text{—}27.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内的处理过程 (a) 激光器在不同工作温度时的 1f 信号; (b) 为背景消除后的 1f 信号; (c) 为基线校正后的 1f 信号

由图 7 并对比图 6 中小图中未处理的信号, 1f 信号的畸变得得到明显改善, 实现了基线校正, 方便信号的后续处理. 为说明该方法在激光器其他工作温度时的有效性, 在激光器 26.7—27.2 之间分别进行背景消除和基线校正, 处理过程中的谱图如图 8 所示. 图 8 (a) 为激光器在不同工作温度时的 1f 信号, 图 8 (b) 为背景消除后的 1f 信号, 图 8 (c) 为基线校正后的 1f 信号, 可以看出, 该方法对于激光器

工作温度 26.7—27.2 °C 范围时都是有效的.

由图 8, 以 1f 信号中峰值和谷值比值的绝对值 (峰高比) 衡量信号的对称性, 在理想情况下, 1f 两侧的峰是对称的, 峰高比为 1. 当 1f 信号中存在不是水平线的背景时, 峰高比偏离 1, 峰高比越接 1 对称性越好. 图 8 (c) 中处理后的信号峰高比如表 3, 所有值在 0.8 以上. 表 3 中第一列是激光器的工作温度, 第二、三列是背景消除与基线校正前后的峰谷值, 处理后的峰谷值变小, 最小变化量为 0.0122 mV, 最大变化量为 0.042 mV.

表 3 1f 信号处理后的峰谷值、峰高比

$T_{LD}/^{\circ}\text{C}$	峰谷值 (处理前)	峰谷值 (处理后)	峰高比
26.7	0.4803	0.4681	0.8264
26.8	0.4695	0.4522	0.8343
26.9	0.4559	0.4315	0.8319
27.0	0.4452	0.4128	0.8264
27.1	0.4322	0.3935	0.8104
27.2	0.4265	0.3845	0.8031

为衡量本文提出的方法对气体浓度检测的影响, 以检测的 1f 信号处理前后的相关程度来描述 [32]. 选择两种不同浓度 (50×10^{-6} 和 100×10^{-6}) HF 气体为浓度未知的待测信号和浓度已知的参考信号, 采用最小二乘法对两信号进行波形拟合, 由于它们之间为线性关系 [34], 可表示为

$$y = kx + b, \quad (10)$$

其中 x 为参考信号; y 为待测信号; k 为幅值比例因子; b 为两信号水平基线的距离. 处理前后的两信号分别进行最小二乘法拟合, 如下:

$$y = 0.45910x + 0.014164, \quad (11)$$

$$y = 0.48432x + 0.003824. \quad (12)$$

曲线拟合度分别为 0.9687 和 0.9963, 提高了 2.8%, 说明处理后 1f 信号的相关性更强, 同时引起 k 的改变, 改变量为气体浓度精度的提高幅度, 相对值为 5.2%.

5 结 论

提出一种用于一次谐波背景消除与基线校正的新型方法, 利用 HDINASR 对 1f 信号进行背景消除后, 再对剩余基线校正. 处理后的 1f 信号的峰高比在 0.8 以上, 信号畸变得得到明显改善, 处理后的峰

谷值普遍变小, 最小变化量为0.0122 mV, 最大变化量为0.042 mV. 以两种不同浓度的HF气体为例, 用该方法处理前后的曲线拟合度提高了2.8%, 浓度精度提高幅度的相对值为5.2%. 因此, 背景消除和基线校正后的1f信号可以方便的进行后续信号处理.

参考文献

- [1] Che L, Ding Y J, Peng Z M, Li X H 2012 *Chin. Phys. B* **21** 127803
- [2] Li J Y, Du Z H, Ma Y W, Xu K X 2013 *Chin. Phys. B* **22** 034203
- [3] Zhang L, Liu J G, Kan R F, Liu W Q, Zhang Y J, Xu Z Y, Chen J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 034214 (in Chinese)[张亮, 刘建国, 阚瑞峰, 刘文清, 张玉钧, 许振宇, 陈军 2012 物理学报 **61** 034214]
- [4] Zhang Y G, Gu Y, Zhang X J, Li A Z, Tian Z B 2008 *Chin. Phys. Lett.* **25** 3246
- [5] Gustafsson J, Chekalin N, Axner O 2003 *Spectrochimica Acta Part B* **58** 123
- [6] Zhang S, Liu W Q, Zhang Y J, Ruan J, Kan R F, You K, Yu D Q, Huang J T, Han X L 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 050701 (in Chinese) [张帅, 刘文清, 张玉钧, 阮俊, 阚瑞峰, 尤坤, 于殿强, 黄金婷, 韩小磊 2012 物理学报 **61** 050701]
- [7] Wang F, Huang Q X, Li N, Yan J H, Chi Y, Cen K F 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 3867 (in Chinese) [王飞, 黄群星, 李宁, 严建华, 池涌, 岑可法 2007 物理学报 **56** 3867]
- [8] Werle P 1998 *Spectrochimica Acta A* **54** 197
- [9] Chakraborty A L, Ruxton K, Johnstone W, Michael L, Duffin K 2009 *Opt. Express* **17** 9602
- [10] Chakraborty A L, Ruxton K, Johnstone W 2010 *Opt. Express* **18** 267
- [11] Farooq A, Jeffries J B, Hanson R K 2009 *Appl. Opt.* **48** 6740
- [12] Rieker G B, Jeffries J B, Hanson R K 2009 *Appl. Opt.* **48** 5546
- [13] Ren W, Jeffries J B, Hanson R K 2010 *Meas. Sci. & Technol.* **21** 1
- [14] Cai T D, Gao G Z, Liu Y 2012 *Appl. Spectrosc.* **66** 1210
- [15] Chao X, Jeffries J B, Hanson R K 2012 *Appl. Phys. B* **106** 987
- [16] Duffin K, McGettrick A J, Johnstone W, Stewart G, Moodie D M 2007 *J. of Lightwave Technology* **25** 3114
- [17] Cao J N, Zhang K K, Wang Z 2010 *Chinese Journal of Scientific Instrument* **31** 2597(in Chinese) [曹家年, 张可, 王琢 2010 仪器仪表学报 **31** 2597]
- [18] Ruxton K, Chakraborty A L, Johnstone W, Lengden M, Stewart G, Duffin K 2010 *Sensors Actuators B* **150** 367
- [19] Li L, Arsad N, Stewart G, Thursby G, Culshaw B, Wang Y D 2011 *Opt. Communications* **284** 312
- [20] Reid J, El-Sherbiny M, Garside B K, El-Sherbiny M, Garside B K, Ballik E A 1980 *Appl. Opt.* **19** 3349
- [21] Silver J A, Stanton A C 1988 *Appl. Opt.* **27** 1914
- [22] Johnson T J, Wienhold F G, Burrow J P, Harris G W 1991 *Appl. Opt.* **30** 407
- [23] Wu S Q, Kimishima T, Kuze H, Takeuchi N 2000 *Appl. Phys.* **39** 4034
- [24] Werle P W, Mazzinghi P, D'Amato F, De Rosa M, Maurer K, Slemr F 2004 *Spectrochimica Acta A* **60** 1685
- [25] Xu Z Y, Liu W Q, Han R F, Zhang Y J, Zhang S, Shu X W, Geng H, He Y, Tang Y Y 2010 *Spectrosc. & Spectral Anal.* **30** 2201 (in Chinese) [许振宇, 刘文清, 阚瑞峰, 张玉钧, 刘建国, 张帅, 束小文, 耿辉, 何莹, 汤媛媛 2010 光谱学与光谱分析 **30** 2201]
- [26] Li N, Yan J H, Wang F, Chi Y, Cen K F 2008 *Spectrosc. & Spectral Anal.* **28** 1708 (in Chinese) [李宁, 严建华, 王飞, 池涌, 岑可法 2008 光谱学与光谱分析 **28** 1708]
- [27] Sun Y, Du Z H, Yin X, Xu K X 2008 *Spectrosc. & Spectral Anal.* **28** 2282 (in Chinese) [孙毅, 杜振辉, 尹新, 徐可欣 2008 光谱学与光谱分析 **28** 2282]
- [28] Lunga G D, Pogni R, Basosi R 1994 *J. Magn. Reson. Series A* **108** 65
- [29] Hu Y G, Zhao Z Y, Wang G 2011 *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Natural Science Edition)* **39** 36(in Chinese) [胡耀垓, 赵正予, 王刚 2011 华中科技大学学报(自然科学版) **39** 36]
- [30] Liu Y, Liu K, Tao W L, Wang X P 2010 *Spectrosc. & Spectral Anal.* **30** 1688 (in Chinese) [刘艳, 刘凯, 陶维亮, 王先培 2010 光谱学与光谱分析 **30** 1688]
- [31] Bomse D S, Kane D J 2006 *Appl. Phys. B* **85** 461
- [32] Zhang R, Zhao X H, Hu Y J, Guo Y, Liu Y L, Wang Y 2013 *Acta Optica Sinica* **33** 0430006 (in Chinese) [张锐, 赵学珏, 胡雅君, 郭媛, 刘艳丽, 汪曦 2013 光学学报 **33** 0430006]
- [33] McGettrick A J, Duffin K, Johnstone W, Stewart G, Moodie D G 2008 *J. of Lightwave Technology* **26** 432
- [34] Han R F, Liu W Q, Zhang Y J, Liu J G, Dong F Z, Wang M, Gao S H, Chen D 2006 *Acta Optica Sinica* **26** 67(in Chinese) [阚瑞峰, 刘文清, 张玉钧, 刘建国, 董凤忠, 王敏, 高山虎, 陈东 2006 光学学报 **26** 67]

A new method of background elimination and baseline correction for the first harmonic*

Zhang Rui^{1)2)†} Zhao Xue-Hong¹⁾ Hu Ya-Jun¹⁾ Guo Yuan¹⁾ Wang Zhe¹⁾
Zhao Ying¹⁾ Li Zi-Xiao¹⁾ Wang Yan¹⁾

1) (College of Precision Instruments and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

2) (College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

(Received 18 September 2013; revised manuscript received 11 December 2013)

Abstract

A new method of background elimination and baseline correction is proposed, since there are background signal and larger baseline signal in the first harmonic (1f) of the tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS). The laser-associated intensity modulation signal, electronic noise, and optical interference fringes of the 1f background are analyzed. Harmonic detection in none absorption spectral region (HDINASR) is used to eliminate the background signal. Then the relationship curve between current and intensity is given in different operating temperatures to design a remaining baseline correction method after eliminating the background. The principle of background signal searching and the LabView software flow chart are also given. The TDLAS experimental system is designed to detect hydrogen fluoride (HF) gas. According to spectral line selection principle, the absorption line -1312.59 nm is selected, whose operating temperature is set at 27.0 °C and the background temperature is set at 30.2 °C. After eliminating the background and correcting the baseline, signal distortion is significantly improved and baseline is corrected. Then it is verified that the method is valid at other operating temperature of the laser (26.7 – 27.2). And the improvement of HF gas concentration is quantitatively analyzed. It is convenient for the subsequent processing of 1f signal.

Keywords: tunable diode laser absorption spectroscopy(TDLAS), first harmonic, background elimination, baseline correction

PACS: 07.07.Df, 07.57.Ty

DOI: 10.7498/aps.63.070702

* Project supported by the National Basic Research Program of China(Grant No. 2010CB327800), and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20090032110053).

† Corresponding author. E-mail: zhangrui@tust.edu.cn