

双光路光纤浓度传感器的研究^{*}

郑咏梅 张铁强 殷景志 李荣福

(吉林工业大学应用物理系, 长春, 130025)

摘要:本文介绍了根据光纤弯曲损耗测量溶液浓度的原理和方法。利用双光路光纤结构和数据拟合技术, 对盐水的浓度进行实际测量。结果表明此技术可以应用于微区浓度测量, 并具有较高的精度。

关键词: 双光路; 光纤传感; 浓度检测

Study of Optical Fiber Density Sensor in Double Optical Routes

Zheng Yongmei Zhang Tieqiang Li Rongfu

(Department of applied physics, Jilin University
of Technology, Changchun 130025)

Abstract: The principle and method of measuring liquid density is presented in this paper according to double-optical routes structure and data combination technique to detect the density of salt water. The result shows that it is applicable to detect liquid density of microregion and has high accuracy within the limits.

Key words: double optical routes; optical fiber sensor; density detection

1. 引言

光纤浓度传感器具有抗电磁干扰、实现微区测量, 可用于易燃易爆的溶液等优点。利用光纤弯曲损耗制成的光纤浓度探头是依据光通过去掉包层的光纤浸入到溶液时产生传输的泄漏, 而泄漏的情况同溶液浓度有关这一现象。但是由于输入到光纤中光强的自身不稳定及耦合处的振动等干扰导致测量结果的不稳定。因此, 本文提出一种双光路光纤结构, 并应用于盐水浓度检测, 有效地避免外界干扰, 提高了测量结果的可靠性。

2. 原理

(1) 光纤传感原理

光在光纤中传输而不泄漏到包层外面的临界条件是入射角 θ 大于临界角 $\theta = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$ 。当光纤弯曲时, 部分光线因入射角 θ 小于临界角 θ 而从界面透射出去(见图1)。若将光纤弯曲成 w 形, 传输光线将连续发生透射导致传输光强的衰减, 对给定的光纤材料, 出、入光纤的光强 I 、 I_0 之间的关系式为^[1]

* 1996年10月3日收到, 12月10日录用。

$$I=I_0e^{-\alpha(r\lambda_2)^l}$$

(1)

式中, α 是衰减系数, 它同光纤弯曲半径 r 、入射光波长 λ 包层折射率 n_2 有关, l 是光纤的长度。

如果将光纤包层去掉并浸入检测液体中, 则光强的变化同该液体的折射率、进而同液体浓度 C 变化相联系。



图1 光纤弯曲损耗
Fig.1 Fiber winding loss

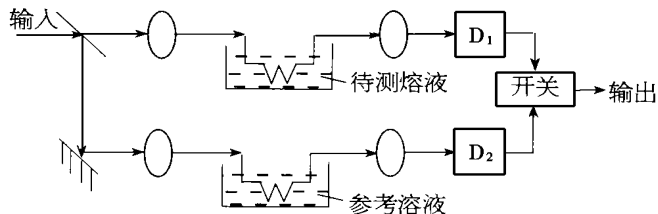


图2 双光路结构
Fig.2 Scheme of double optical routes

(2) 双光路比较原理

为了减小光源波动和环境不稳定因素的影响, 设计如图2所示的双光路光纤结构。由光源发出的光被分成强度均等的两路, 分别经耦合透镜输入到两支材料和结构相同的光纤中, 一根光纤通过待测溶液作为工作光路, 另一根通过参考溶液作为参考光路。两路输出的光信号分别由两只光电二极管 D_1 、 D_2 接收。

设光源的发光强度为 I_0 , 工作光路和参考光路被转换的电信号分别为 V_1 和 V_2 , 则

$$V_1=I_0K_1e^{-\alpha_{n_2}l}$$

(2)

$$V_2=I_0K_2e^{-\alpha l}$$

(3)

式中, K_1 、 K_2 是两个光路和相应光电转换产生的转换系数, α_{n_2} 和 α 分别是工作光纤探头和参考光纤的衰减系数, (2) 式除以 (3) 式, 则

$$S=\frac{V_1}{V_2}=\frac{K_1}{K_2}e^{[\alpha-\alpha_{n_2}]l}$$

(4)

式中, K_1 、 K_2 和 α 不随浓度改变, 故 S 仅同 α_{n_2} 有关, 而且式中不含光源发光强度项, 表明光源的不稳定性对信号输出没有影响。

(3) 数据拟合原理

若将待测样品的浓度值用 C_i 表示, 相应的输出信号用 S_i 表示, $i=1.2\cdots\cdots N$, 则按下式处理数据

$$\bar{C}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^NC_i \quad \bar{S}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^NS_i \quad T_{cc}=\sum_{i=1}^N(C_i-\bar{C})^2, T_{ss}=\sum_{i=1}^N(S_i-\bar{S})^2$$
$$T_{cs}=\sum_{i=1}^N(C_i-\bar{C})(S_i-\bar{S}) \quad \gamma=T_{cs}/\sqrt{T_{cc}\cdot T_{ss}} \quad b=T_{ss}/T_{cc} \quad a=\bar{S}-b\bar{C}$$

(5)

回归直线方程

$$S=bC+a$$

(6)

式中, a 是回归直线的截距, b 是回归系数, γ 是相关系数, 在 $\gamma \rightarrow 1$ 时, 回归直线是线性相关的。

3. 系统结构

系统结构主要由双光路结构、光电转换与处理系统和单片机处理系统组成, 见图3。

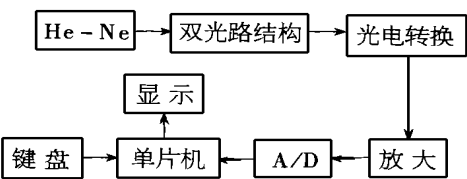


图3 系统结构框图

Fig. 3 Scheme of system of fiber density sensor

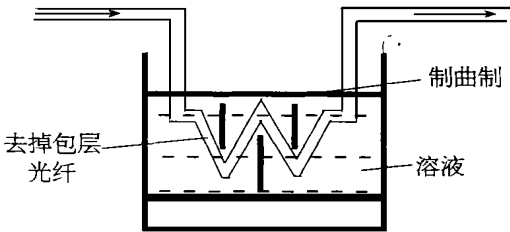


图4 光纤探头结构

Fig. 4 Scheme of structure of detecting head

双光路结构中的主要部分是光纤探头。它是将被测液体浓度的变化转换成光强度的传感器件。把直径小于1mm 的单根光纤去掉几厘米包层,浸入液体中,用制曲器制成 W 形,其结构见图4。当激光从光纤中通过时,随着液体浓度的变化,即相当于包层折射率随之变化,从而导致光纤输出光强的变化。

功率为2mW 的 He-Ne 激光被均等强度地分成两路光分别经耦合透镜输入到光纤中 (一根光纤浸在待测盐水溶液中,另一根光纤浸在纯净水中),然后分别经两只二极管转换成电信号,通过放大系统转换成电压信号,再经 A/D 转换进入单片机系统得到相应的浓度测量值。

4. 实验结果与分析

在常温常压下配制一组待测的盐水溶液进行测试,得到相应的数据。根据拟合原理得到输出的比较信号 S 与溶液浓度 C 的关系式

$$S = 1.002 - 0.003C \tag{7}$$

该拟合数据的线性相关系数 $\gamma = 0.999$,各试验点的最大拟合误差为 $\pm 0.7(\%)$, $S \sim C$ 关系

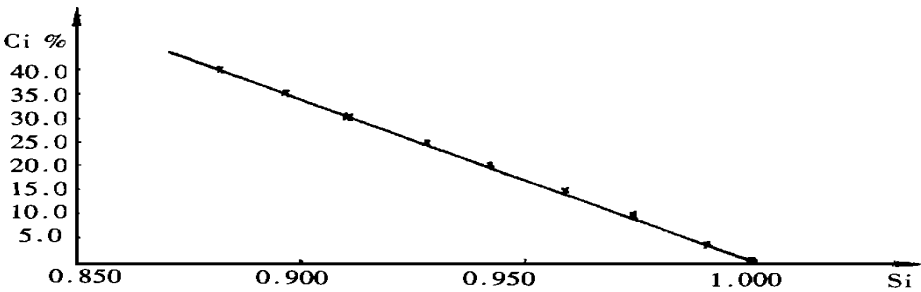


图5 标定曲线

Fig. 5 Relation between detecting signal and liquid density

曲线见图5,显示出较好的线性关系。

将(7)式输入到单片机系统中,完成测试系统的标定,再利用已标定的系统对一组精确配制的盐水溶液进行浓度测试,见表1。测量误差不超过2%,显示出较高的精确度。

表1 溶液浓度测量值与误差

精确浓度	11.0	18.0	22.0	37.0
测量浓度	11.1	18.2	22.2	37.4
误差%	0.9	1.1	0.9	1.0

参考文献

1 戴莲瑾等, 计量学报, 1994, **15**(1) :8-11

作者简介

郑咏梅:女, 32岁。讲师。1987年毕业于吉林大学物理系, 现为在职研究生。

(上接339页)

4. 结论

通过采用两种不同质子源进行质子交换加上退火处理制备 Z 切 $LiNbO_3$ 光波导特性的比较和研究得出, 对于普遍应用的苯甲酸, 焦磷酸是一种更好的质子源, 用焦磷酸做质子源可得到较高的光波导表面有效折射率, 并且其稳定性和温度范围均好于苯甲酸。

参考文献

1 J·L·Jackl, C·E·Rice·*Appl·phys·lett·*, 1982, **41**:607
2 N·Goto and G·L·Yip·*Appl·Optics*, 1981, **28**:1
3 Marta Mcwright Howerton, William K·Burns, *IEEE J·Quantum Electron* 1989, **27**:593
4 M·Digoneet, M·Fejer·*Opt·lett·*, 1989, **10**:235-237

作者简介

陈云琳:女, 1965年生。现在天津大学精密仪器与光电子工程学院激光与光电子专业攻读博士学位。