

文章编号:1004-4213(2010)03-0431-5

# 基于 F-P 干涉仪溶液浓度微变量实时监测系统的研究

金清理, 颜利芬, 王振国

(温州大学 物理与电子信息工程学院, 浙江 温州 325035)

**摘 要:**设计了一款基于 Fabry-Perot(F-P)干涉仪监测溶液浓度微小变化量的传感装置,利用光纤传输激光并用分体 CCD 采集图像,实现对溶液浓度的高精度微变化量的实时监控和测量.从理论上分析了 F-P 干涉仪干涉条纹的改变数目  $\Delta k$  与溶液浓度微变化量  $\Delta c(\Delta k)$  之间的关系,采用平面 F-P 干涉仪实现高精度测量溶液浓度微变化量的原理和可行性.在实验上构建了由 He-Ne 激光器、石英光纤、平面 F-P 干涉容器腔、面阵分体 CCD、计算机等组成的实验监控与测量装置,对三组不同浓度的甘油溶液进行测量,通过观察干涉条纹的改变数目测定溶液浓度的改变量,用实验结果标定溶液浓度微变化量  $\Delta c(\Delta k)$  与干涉条纹改变数目  $\Delta k$  之间的数学解析式.实验结果表明:采用该系统可以监测到  $10^{-4}$  量级的溶液浓度的变化值.

**关键词:**Fabry-Perot 干涉仪;溶液浓度;浓度监测系统;CCD 采集图像;浓度变化

**中图分类号:**O436.1, TP212.1

**文献标识码:**A

**doi:**10.3788/gzxb20103903.0431

## 0 引言

在化工、医药、冶金、造纸、食品、环境科学及科学研究等众多领域都经常需要对溶液浓度进行监控和测量.因溶液的百分比浓度  $c(n)$  与其折射率  $n$  有关,通过测量溶液的折射率  $n$  来计算溶液浓度是常用的方法之一.测量溶液的折射率方法很多<sup>[1-5]</sup>,用折射率计算其浓度一般较为复杂,往往需要其它有关的参数,给工程应用带来不便.

基于多光束干涉原理的 F-P 干涉仪作为一种高精度的传感装置,已被广泛应用于位移、应变、密度和折射率等物理量的微小变化的测量<sup>[6-11]</sup>.本文设计了一款基于 F-P 干涉仪实时监测溶液浓度微小变化量的传感装置.利用光纤传输激光,用分体 CCD 采集图像,实现对溶液浓度的高精度微变化量的监控和测量.分析了平面 F-P 干涉仪干涉条纹的改变数目  $\Delta k$  与溶液浓度微变化量  $\Delta c(\Delta k)$  之间的关系,以及实现高精度测量溶液浓度微变化量的原理和可行性.在实验上构建了由 He-Ne 激光器、石英光纤、平面 F-P 干涉仪及容器腔、面阵分体 CCD、计算机等组成的实验监测装置,通过观察 F-P 干涉仪的同心干涉圆环条纹的变化数目,用实验结果标定溶液浓度微变化量  $\Delta c(\Delta k)$  与干涉条纹改变数目  $\Delta k$  之间的数学解析式.实验结果表明:采用该系统可以监测到  $10^{-4}$  量级的浓度变化量.

## 1 测量原理

F-P 干涉仪的基本原理是以单色准直光,以小角度  $\theta$  入射到间距为  $d$  的两平行板  $G_1$ 、 $G_2$  内,在两板内层来回多次反射和透射,分别形成一系列反射光束和透射光束,这一系列相互平行而有一定光程差的透射光束,以透镜  $L_2$  会聚,在  $P$  屏上发生多光束干涉<sup>[12]</sup>,形成一系列细窄明亮的圆形干涉条纹,如图 1. 设  $G_1$ 、 $G_2$  板所组成的腔内折射率为  $n$ ,与  $P$  点对应的多光束在平板内的入射角为  $\theta$ ,则相邻两束透射光之间的光程差为

$$\Delta = 2nd \cos \theta \quad (1)$$

当  $\Delta$  等于入射光波长  $\lambda$  的整数倍

$$2nd \cos \theta = k\lambda, k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

时,透射光形成一套同心圆环的干涉亮条纹,这套同心圆环亮条纹的干涉级次  $k$  由中心向边缘逐次降低,中心处的干涉亮条纹级次最高,如图 1(b). 由式(2)知: $G_1$ 、 $G_2$  两板内的折射率  $n$  与光束倾角  $\theta$  的余弦成反比,由于  $\cos \theta$  在  $0 \in [0, \pi/2]$  范围内单调减函数,所以  $n$  与  $\theta$  具有相同的变化趋势.当  $n$  增大时,  $\theta$  也随之增大,干涉同心圆环向外扩张,条纹变

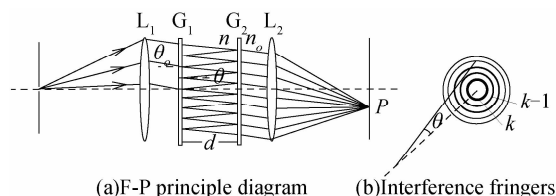


图 1 多光束干涉光路图

Fig. 1 Multi-beam interference on an optical

<sup>†</sup> Tel: 0577-86689066

Email: jinqli@wzu.edu.cn

收稿日期: 2009-08-17

修回日期: 2009-11-06

密;如果  $n$  值的增幅足够大,干涉图样的中心位置将会有新一级的干涉圆环产生.当  $n$  减小时, $\theta$  也随之减小,干涉图样同心圆环向内收缩,条纹变疏;如果  $n$  值的减幅足够大,干涉图样的中心位置最高级次的干涉圆环将湮灭.由此提供了一条测量溶液折射率(浓度)改变量的思路:将待测溶液置于 F-P 干涉仪的腔内,如果在溶液折射率的变化期间,F-P 干涉仪的同心圆环干涉图样中心处有几个新环冒出,或有几个旧环湮灭,就可以通过计算相应溶液的折射率变化值,从而达到监测溶液浓度的微变化量.

根据式(2),当 F-P 干涉仪的同心圆环干涉图样中心处( $\theta=0$ )有干涉极大时(即亮纹),干涉腔内介质的折射率  $n$  与干涉图样中心位置的干涉条纹级次  $k$  的关系为

$$n = \frac{\lambda}{2d} \cdot k \quad (3)$$

由此得出折射率  $n$  的变化量  $\Delta n$  与干涉级次  $k$  的变化数目  $\Delta k$  的关系有

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2d} \cdot \Delta k \quad (4)$$

从式(4)可以看出,当  $\Delta k=1$  时, $\Delta n=\lambda/2d$ ,若取  $\lambda=632.8\text{ nm}$ , $d=26.0\text{ mm}$ ,干涉图样中心处每变化一个条纹,相应的折射率变化量为  $\Delta n=1.2169 \times 10^{-5}$ ,可见基于该原理其折射率测量方案的灵敏度是相当高的.由于折射率的改变是溶液浓度的改变所引起的,通过实时跟踪干涉条纹的改变,可以对溶液浓度微变化量的监测.

溶液折射率与体积浓度之间的关系满足对数混合法则<sup>[5]</sup>

$$\lg n = \frac{V_1}{V_1+V_2} \lg n_1 + \frac{V_2}{V_1+V_2} \lg n_2 \quad (5)$$

式(5)中  $V_1$ 、 $V_2$  分别为混合前溶质和溶剂的体积, $n_1$ 、 $n_2$  分别为溶质和溶剂的折射率, $n$  为混合溶液的折射率.设溶质和溶剂的密度分别为  $\rho_1$ 、 $\rho_2$ ,溶液质量为  $m$ ,质量百分比浓度为  $c(n)$ ,代入式(5)得

$$c(n) = \frac{\rho_1 \ln n_2 - \rho_2 \ln n}{(\rho_2 - \rho_1) \ln n - (\rho_2 \ln n_1 - \rho_1 \ln n_2)} \quad (6)$$

由式(6)求质量百分比浓度的微变化量  $\Delta c(n)$ ,有

$$\Delta c(n) = \frac{\rho_2^2 \ln n_1 - 2\rho_1 \rho_2 \ln n_2 + \rho_1^2 \ln n_2}{n[(\rho_2 - \rho_1) \ln n - \rho_2 \ln n_1 + \rho_1 \ln n_2]^2} \cdot \Delta n \quad (7)$$

将式(4)代入式(7)得

$$\Delta c(\Delta k) = \frac{\lambda(\rho_2^2 \ln n_1 - 2\rho_1 \rho_2 \ln n_2 + \rho_1^2 \ln n_2)}{2nd[(\rho_2 - \rho_1) \ln n - \rho_2 \ln n_1 + \rho_1 \ln n_2]^2} \cdot \Delta k \quad (8)$$

式(8)中,其它物理参数可以事先知道,令

$$\frac{\lambda(\rho_2^2 \ln n_1 - 2\rho_1 \rho_2 \ln n_2 + \rho_1^2 \ln n_2)}{2nd[(\rho_2 - \rho_1) \ln n - \rho_2 \ln n_1 + \rho_1 \ln n_2]^2} = A_0, \text{ 则有}$$

$$\Delta c(\Delta k) = A_0 \cdot \Delta k \quad (9)$$

即溶液浓度的微变化量  $\Delta c(\Delta k)$  与干涉条纹的改变数目  $\Delta k$  成线性关系,用实验方法标定  $A_0$  值,监测系统测量出干涉条纹的改变数目  $\Delta k$ ,可以计算溶液的质量百分比浓度的微变化值  $\Delta c(\Delta k)$ .

## 2 监测系统和 F-P 腔的设计

基于本文的理论分析和实验条件,溶液浓度微小变化量的监测系统装置,如图 2(a).该系统采用的光源为浙江光学仪器厂生产的多束光纤 He-Ne 激光器,输出功率  $5.0\text{ mW}$ , $\lambda=632.8\text{ nm}$ ;透镜 1、透镜 2 为准直系统,将光纤头出射的点光源扩束成直径约  $\phi=32\text{ mm}$  的准直平行光束,垂直入射到自行设计的 F-P 容器腔的镜片上,F-P 干涉仪容器腔两反射镜的反射率约为  $R=0.8$ ,镜片直径  $\phi=38\text{ mm}$ ,F-P 腔长  $d=26.0\text{ mm}$ ,腔臂用透明的有机玻璃制成,F-P 腔的其中一个镜片可调节,当两镜片的镀膜平面严格平行时,可在远场位置毛玻璃屏上产生清晰的干涉同心圆环条纹,通过 CCD 摄像机进行图像采集,并将图像数据传到计算机中,实现对干涉条纹变化的实时监测.

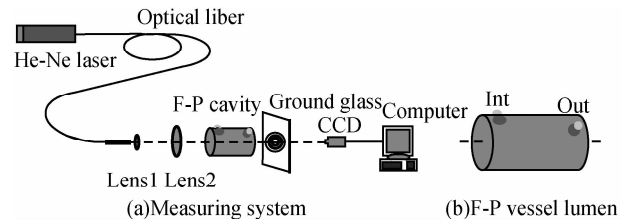


图 2 监测系统装置

Fig. 2 Monitor system setup

F-P 腔的设计如图 2(b). 两端上方各开一个小圆孔接口,一个用导流管连接生产线将溶液导入腔内;另一个用导流管使腔中的溶液排出,导入口与排出口分别在容器的两端有利于导入的新溶液快速在腔内达到均匀,适当控制溶液的排出量和速度,保证腔内溶液的饱和度而无气泡,腔内溶液虽有流动速度,但此速度与光速比较是很小的,对光速而言,溶液仍旧是相对静止,干涉条纹的稳定性和清晰度没有受到影响.当被监测的溶液浓度稳定时,则干涉条纹趋于稳定,没有向外扩张或向内收缩的现象发生.根据前述原理分析,当腔内溶液的浓度发生变化时,干涉条纹就会有向外扩张或向内收缩的移动.当浓度  $c(n)$  有微小增量时,会导致其折射率  $n$  增加,干涉条纹中心向外扩张,当增量达到足够大,中心会涌出一个新条纹,即  $\Delta k=1$ ;当浓度  $c(n)$  有微量减小时,其折射率  $n$  会减小,干涉条纹会向内收缩,当减小量达到足够大时,中心会湮灭一个旧条纹,即  $\Delta k=-1$ .干涉条纹级数的改变,用 Action Script

2.0 脚本语言编写程序自动判读条纹,通过显示屏可观察到干涉条纹的移动过程,同时显示条纹的改变数目,实现数字化监控和处理.根据监测到的条纹改变数目,代入式(10)计算溶液浓度的变化值,根据溶液浓度变化的信息及时调整生产工序,达到控制和稳定产品质量之目的.

### 3 实验结果和 $A_0$ 值标定

#### 3.1 实验与结果

为了验证该系统的可靠性,用图 2 测量装置,分别对 A、B、C 三组溶液进行试验.用优级品的甘油(浓度  $>98\%$ )作溶质,溶剂为纯净水.甘油在  $20\text{ }^\circ\text{C}$  时折射率  $n_1=1.474\ 0$ , $\rho_1=1.255\ 9\ \text{g/mL}$ ;纯净水在  $20\text{ }^\circ\text{C}$  时折射率  $n_2=1.333\ 0$ , $\rho_2=1.00\ \text{g/mL}$ .在试验之前,对  $5\ \text{mL}$  的甘油用注射器进行试滴,约为  $1\ 700$  滴,每滴约  $0.003\ \text{mL}$ .为验证用注射器进行滴注试验结果的可靠性,配制了两种标准溶液  $S_1$  和  $S_2$ , $S_1$  标液的浓度为  $10.003\ 8\%$ , $S_2$  标液的浓度为  $15.003\ 8\%$ ,配制方法:按  $c=\frac{m_1}{m_1+m_2}\times 100\%$  的关

系配制, $m_1$ 、 $m_2$  分别为溶质和溶剂质量,在  $(20\pm 1)\text{ }^\circ\text{C}$  的环境下,用电子天平称量甘油和纯净水,天平的误差为  $10^{-4}\ \text{g}$ .F-P 干涉腔内为空气时,调整 F-P 干涉仪后经计算机处理观察到的干涉同心圆环条纹如图 3(a),注入标液  $S_1$  干涉条纹如图 3(b),注入标液  $S_2$  时,干涉条纹如图 3(c).从图 3 可以看出, $S_1$  和  $S_2$  标液中心级产生的亮纹是刚生成的初纹,将三幅图像存贮以供测试液干涉图进行比较使用.

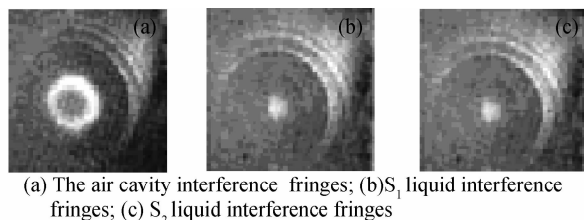


图 3 标准溶液干涉条纹变化图

Fig. 3 The variation of standard solution interference fringes

A 液:先将约  $29\ \text{mL}$  的纯净水用注射器注入 F-P 腔中,调整 F-P 干涉仪移动镜的位置和角度,使毛玻璃屏上能接收到清晰的干涉同心圆环条纹,经计算机处理如图 4(a).注入 1 滴甘油与之混合,等  $20\ \text{min}$  左右待溶质与溶剂扩散均匀后,干涉条纹如图 4(b).图中的干涉圆环条纹不完整,是 F-P 两镜没有调整到严格平行所致,这不影响测量结果.再滴入甘油扩散均匀后如图 4(c)、(d)所示的干涉图样

变化,重复此步骤,依次得到如图 4(b)~(e)所示的一系列干涉图样.

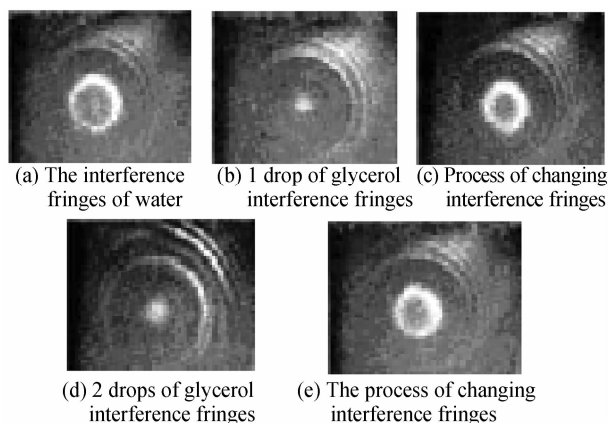


图 4 干涉条纹变化图

Fig. 4 Interference fringes variation trend

从图 4(b)~(d)干涉图样的变化可以看出,干涉环逐渐扩张到一定程度时,中心位置又出现新一级的干涉条纹.取图 4(b)~(d)为一个变化周期进行研究,从(b)~(d)的变化过程中,只产生一级新的干涉条纹,即  $\Delta k=1$ .共滴入 5 滴甘油,连续测量 5 个周期.

B 液:对  $c=10\%$  的甘油溶液进行测试,配制方法同标准溶液,实验对甘油溶液进行滴量观察,当干涉条纹的改变数目  $\Delta k=1$  时,滴入甘油 1 滴,重复测试 5 个周期.

C 液:配制了  $c(n)=15\%$  的甘油溶液进行测试,当干涉条纹改变数  $\Delta k=1$  时,滴入甘油 1 滴,重复测量 5 个周期.三组溶液在测试过程中获得的干涉圆纹中心的亮条纹斑点大小,与标准溶液  $S_1$  和  $S_2$  所产生的干涉圆纹的中心亮条纹的斑点大小基本一致,说明其测量结果是可靠的.三组溶液的测量结果,折射率的变化量  $\Delta n$  和浓度变化量  $\Delta c$  分别如表 1 和表 2.

三组溶液当  $\Delta k=1$  时,折射率的变化量:

$\Delta n_i < \Delta n_m$ ,  $\Delta n_m$  的测量值为 A 组  $>$  B 组  $>$  C 组;浓度的变化量:  $\Delta c_i \approx \Delta c_m$ ,  $\Delta c_m$  的测量值为 A 组  $>$  B 组  $>$  C 组.浓度变化量的最大值为  $\Delta c=1.95\times 10^{-4}$ ,最小值为  $\Delta c=1.258\times 10^{-4}$ ,绝对误差为  $5.3\times 10^{-6}$ ,测量精度较为满意.经过三组溶液的测试后,重复进行试验几次,测量结果较为稳定,结果是可靠的,说明该测量装置的重复性较好.采用该系统检测,当干涉条纹改变数目  $\Delta k=1$  时,所测量的溶液的浓度变化值是基本一致的,用该系统监测浓度的微小涨落变化量是可靠的.

表 1 三组溶液的测量结果和折射率的变化量  $\Delta n$ Table 1 Variation of refractive index measurement data ( $\times 10^{-5}$ ,  $\Delta k=1$ ,  $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

NO	SolutionA		SolutionB		SolutionC	
	$\Delta n$ (theory)	$\Delta n$ (measure)	$\Delta n$ (theory)	$\Delta n$ (measure)	$\Delta n$ (theory)	$\Delta n$ (measure)
1	1.216 9	1.389 1	1.216 9	1.281 4	1.216 9	1.227 1
2	1.216 9	1.389 1	1.216 9	1.283 2	1.216 9	1.230 8
3	1.216 9	1.389 1	1.216 9	1.283 6	1.216 9	1.230 6
4	1.216 9	1.389 1	1.216 9	1.283 9	1.216 9	1.224 4
5	1.216 9	1.389 1	1.216 9	1.283 1	1.216 9	1.218 0

表 2 三组溶液的测量结果和浓度变化量  $\Delta c$ Table 2 Variation of concentration measurement data ( $\times 10^{-4}$ ,  $\Delta k=1$ ,  $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

NO	SolutionA		SolutionB		SolutionC	
	$\Delta n$ (theory)	$\Delta n$ (measure)	$\Delta n$ (theory)	$\Delta n$ (measure)	$\Delta n$ (theory)	$\Delta n$ (measure)
1	1.299	1.295	1.273	1.272	1.259	1.261
2	1.298	1.293	1.273	1.269	1.259	1.260
3	1.298	1.289	1.272	1.273	1.258	1.259
4	1.298	1.292	1.272	1.268	1.258	1.257
5	1.297	1.287	1.271	1.269	1.258	1.258

### 3.2 $A_0$ 值的标定

根据实验测量结果(如表 2),对于甘油溶液( $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),其浓度变化量  $\Delta c(\Delta k)$ 与干涉条纹的改变数  $\Delta k$ 之间的拟合曲线如图 5.式(9)中的  $A_0$  值,由图 5 得: $A_0=1.268 \times 10^{-4}$ ,即浓度的变化量  $\Delta c(\Delta k)$ 与干涉条纹的改变数目  $\Delta k$ 之间的关系有

$$\Delta c(\Delta k)=1.268 \times 10^{-4} \cdot \Delta k \quad (10)$$

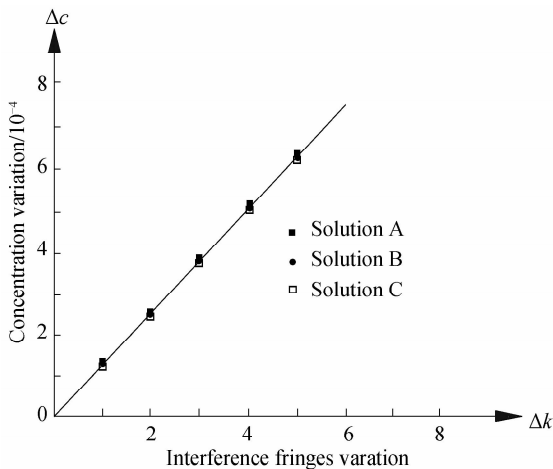


图 5 测量数据拟合曲线

Fig. 5 Regression curve of experiment data

## 4 结果与讨论

1)温度对测量结果的影响.主要是溶液随温度的升高而产生体积膨胀,引起密度的降低和浓度的变化.一般情况,溶液的温度膨胀系数  $\alpha$  很小,为  $10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  量级,引起密度的变化为  $\rho'=\rho/(1+\alpha\Delta T)$ ,若取  $\alpha=10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (绝大多数液体膨胀系数都小于  $10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),温度升高或降低  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  产生的密度变化值  $\Delta\rho<10^{-4}$ ,这在工程应用中是可以忽略的.同时,温度变化引起溶液浓度的变化远小于其密度的变

化,因此,温度的变化引起  $\Delta c(\Delta k)$ 的改变量可以忽略,在工程应用中温度的变化引起的测量误差可以忽略.如果需要非常精确测量特定温度下的溶液浓度变化量,可在该温度下对测量系统进行标定,获得此温度下溶液浓度变化量  $\Delta c(\Delta k)$ 与条纹改变数目  $\Delta k$ 之间的系数  $A_0$  值.

2)实验对三组溶液的测量结果  $\Delta n(\Delta k)$ ,  $\Delta c(\Delta k)$ 都不相同,其值有:A组>B组>C组的误差.虽然形成误差的原因是多方面的,但本文认为其主要误差是甘油滴入量引起的,不同浓度的溶液,条纹改变数目  $\Delta k=1$ 时,需加入的甘油量是不相同的,但用注射器滴入甘油都是 1 滴(即  $0.003\text{ mL}$ ),三组溶液在滴入 1 滴甘油后都产生一级新条纹( $\Delta k=1$ ),但在实验中其新条纹的斑纹大小有区别,斑纹大小依次为 A 组>B 组>C 组,这说明当 A 组涌出的新条纹斑纹大小与 C 组新条纹的斑纹大小一样时, A 组溶液不需要加入 1 滴甘油,但在实验过程中小于 1 滴不好控制,所以造成误差,在工程应用中直接获取生产线的成品将不存在这种误差.

3)基于 F-P 干涉仪监测溶液浓度微小变化量的传感装置,通过观察 F-P 干涉仪的同心干涉圆环的变化数目,得出相应待测溶液浓度的变化值.实验用三组溶液浓度进行测试,结果表明:采用该系统所测得的溶液浓度微小变化量  $\Delta c(\Delta k)$ 是可靠的,可以检测到溶液浓度的变化值达  $10^{-4}$  量级,实现对溶液浓度的高精度的监测是可行的.

### 参考文献

- [1] WEI Ren-xuan, JIANG De-sheng. Refractive index measurement with Fabry-Perot interference wavelength[J]. Chinese Journal of Lasers, 2003, 23(6): 551-554.  
魏仁选,姜德生.基于 F-P 干涉波长的折射率测量[J].中国激

- 光,2003,**23**(6):551-554.
- [2] VELTEN T, KNOLL T, HABERER W, *et al.* Biocompatible flow sensor with integrated solvent concentration measurement [J]. *Sensors and Actuators A*, 2008, **145**(146):257-262.
- [3] LI X Y, BABA H, KANNYAMA K. Development of electrolyte solution concentration measurement system and application in solar pond[J]. *Renewable Energy*, 2001, **23**(2):195-206.
- [4] PENG Bao-jin, YONG Zhao, YING Chao fu, *et al.* Novel optical sensor for simultaneous measurement of liquid concentration and temperature [J]. *Optics & Laser Technology*, 2007, **39**(1):105-109.
- [5] JIN Qing-li. Study of solution concentration measurement system based on a method of glancing incidence [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(1):138-141.  
金清理. 基于掠入射法溶液浓度测量系统研究[J]. 光子学报, 2006, **35**(1):138-141.
- [6] HU H L, XU T M, HUI S E, *et al.* A novel capacitive system for the concentration measurement of pneumatically conveyed pulverized fuel at power stations [J]. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2006, **17**(2):87-92.
- [7] LI Zhi-quan, WANG Li, HUANG Li-juan, *et al.* Study on refractive index and concentration sensor based on long-period fiber grating[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **25**(4):48-50.
- 李志全, 王莉, 黄丽娟, 等. 基于长周期光纤光栅的折射率与浓度传感方案的研究[J]. 光子学报, 2004, **25**(4):48-50.
- [8] WEI Ren-xuan, JIANG De-sheng. Solution concentration measurement with F-P interference wavelength [J]. *Optoelectronics & Laser*, 2003, **14**(6):655-656.  
魏仁选, 姜德生. 基于 F-P 干涉波长的溶液浓度测量[J]. 光子学报, 2003, **14**(6):655-656.
- [9] ZHANG Cai-ni, WANG Xiang-zhao. A new method for angular displacement measurement[J]. *Chinese Optics Letters*, 2003, **1**(8):459-461.
- [10] DEGAMBER B, TETLOW J, FEMANDO G F. Design and development of low-cost optical-fiber sensors for temperature metrology: process monitoring of an epoxy resin system[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2004, **94**(1):83-95.
- [11] XIAO Gao-zhi, ADNET A, ZHANG Zhi-yi, *et al.* Fiber-optic Fabry-Perot interferometric gas-pressure sensors embedded in pressure fittings [J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2004, **42**(6):486-489.
- [12] JIN Qing-li, HUANG Xiao-hong. Basic physics experiments [M]. 2nd ed. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2008: 369-371.  
金清理, 黄晓虹. 基础物理实验[M]. 2 版. 杭州: 浙江大学出版社, 2008:369-371.

## Real-time High Sensitivity Variation of Solution Concentration Monitor Based on Fabry-Perot Interferometer

JIN Qing-li, YAN Li-fen, WANG Zhen-guo

(College of Physics and Electronic Information Engineering, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang 325027, China)

**Abstract:** A real-time solution concentration monitor based on Fabry-Perot interferometer is designed. The concentration variation measurement is realized by the F-P interferometer and optical fiber to transmit the image to the CCD. The relation between the variation of interference fringes of the F-P interferometer and the fluctuation of solution concentration is analyzed. The monitor system consists of He-Ne laser, optical fiber, planar F-P interferometer, arrayed CCD and PC is set up. Three different glycerin solution are used to verify the system design, and the experiment shows the system can provide a resolution on the order of  $10^{-4}$  concentration variation.

**Key words:** Fabry-perot interferometer; Solution concentration; Concentration monitor; CCD image acquisition; Concentration variation



**JIN Qing-Li** was born in 1956. He graduated from Zhejiang Normal University. Now he is teaching at College of Physics and Electronic Information Engineering, Wenzhou University. His major research interests focus on photoelectric information optics, accurate measuring of optics.