

257-240

# 光学莫尔技术测量溶液浓度新方法研究

华文深\* 麦咏贤<sup>√</sup> 周佐平

(华南理工大学应用物理系, 广东, 广州, 510641)

0645

**摘要** 提出一种利用变位产生莫尔偏折来测量溶液浓度的新方法, 设计了一套光电探测系统, 给出了测量蔗糖溶液的初步结果.

**关键词** 浓度, 测量, 莫尔技术, Talbot 效应.

光学放大 溶液浓度

## 引言

溶液浓度的非接触自动化测量一直是人们致力研究的重要课题. 由于光学和光电子学方法<sup>[1]</sup>具有快速、不污染待测物、易于实现信号转换等特点, 因此它比悬浮计法和化学分析法等常规方法更具有发展前景.

(15)

由于莫尔条纹具有光学放大的特点, 已在许多方面得到应用. 本文提出一种利用变位产生莫尔偏折来测量溶液浓度的新方法, 在这里莫尔条纹只是随着待测位相物体的变位而产生平移, 克服了某些莫尔偏折法中改变了莫尔条纹的间距和方向的缺点<sup>[2]</sup>, 使光电探测变得易于实现. 这方法为溶液浓度自动测量和在线测量提供了新的途径.

## 1 基本原理

最常见的溶液浓度光学测量方法是以溶液浓度与折射率的关系为基础的, 只要两者之间具有确定的单值关系, 一般都可以通过折射率来测量浓度.

Talbot 效应表明, 单色平行光垂直照射光栅时, 由于衍射光的相干作用, 在光栅后, 距光栅  $Z = 2P^2/\lambda, 4P^2/\lambda$  和  $6P^2/\lambda \dots$  等处 ( $P$  为栅距,  $\lambda$  为光波长), 将产生光栅的自身像. 此时的像条纹对比度最高, 且与光栅本身有完全相同的分布周期  $P$ . 因此, 若在光栅的 Talbot 像处放入另一块光栅, 亦能形成莫尔条纹 (见图 1), 两块栅距都为  $P$  的光栅  $G_1, G_2$ , 在单色平行光入射的情况下, 将  $G_2$  放在  $G_1$  的 Talbot 像处, 且使两光栅栅线 (垂直方向放置) 互成一很小的夹角, 即能形成清晰的横向莫尔条纹. 待测液置于矩形液盒内, 液盒由厚度均匀的透明均质材料构成, 前后两面平行. 将液盒放在两光栅

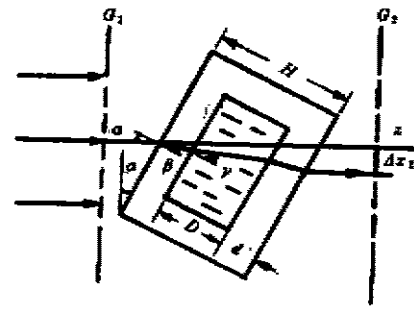


图 1 原理示意图  
Fig. 1 Scheme for the principle

\* 现在工作地址: 石家庄军械工程学院理化教研室, 050003  
本文 1995 年 4 月 3 日收到, 修改稿 1995 年 8 月 26 日收到

之间,令液盒在装入被测液之前和之后,各绕垂直轴旋转一个相同的 $\alpha$ 角.这样, $G_1$ 的 Talbot 像亦相对于  $G_2$  分别横向移动了  $\Delta X_1$  和  $\Delta X_2$ . 所以装入溶液前后,莫尔条纹在垂直方向移动的数目分别为  $m_1 = \frac{\Delta X_1}{P}$ ,  $m_2 = \frac{\Delta X_2}{P}$ . 由图 1 中的几何关系和折射定律可得

$$\Delta X_1 = \cos\alpha(H \cdot \tan\alpha - 2d \cdot \tan\beta - D \cdot \tan\alpha^*),$$

$$\Delta X_2 = \cos\alpha(H \cdot \tan\alpha - 2d \cdot \tan\beta - D \cdot \tan\gamma),$$

$$H = 2d + D,$$

$$n_0 \sin\alpha = n_1 \sin\beta = n \sin\gamma,$$

其中  $n_0$ 、 $n_1$  和  $n$  分别为空气、盒材料和被测液的折射率. 取  $n_0 = 1$ , 并推算后可得装入溶液前后莫尔条纹移动数目之差为

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{D \cdot \sin\alpha}{P} \left( 1 - \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \right) \quad (1)$$

最后得

$$n = \sqrt{\sin^2\alpha + \cos^2\alpha / \left( 1 - \frac{\Delta m \cdot P}{D \cdot \sin\alpha} \right)^2}, \quad (2)$$

由式(2)可见,只要测出盒子装入溶液前后,旋转同样角度 $\alpha$ 时莫尔条纹移动数目之差,就可求得 $n$ ,进而便可得其浓度值.

## 2 光电测量系统与测试结果

图 2 为测量系统方框图. 采用激光光源,为提高精度,测量时采用了莫尔条纹细分技术,众所周知,每移动一莫尔条纹,经过相应的光电转换后则输出一个正弦电信号. 所谓将莫尔条纹作  $N$  细分( $N$  是大于 1 的整数),是指电信号每变化  $\frac{2\pi}{N}$  就输出一个计数信号,这样就可以准确读出  $\frac{1}{N}$  条条纹的移动. 细分方法有多种,本文采用的是最简单的光场直接 4 细分( $N=4$ ),具体的细分方法见参考文献[3].

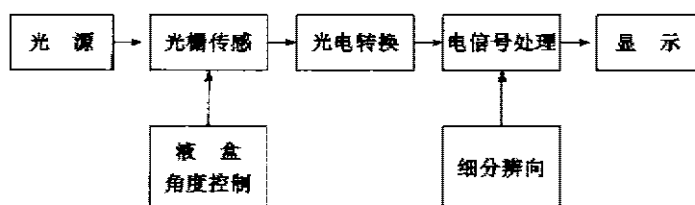


图 2 系统框图

Fig. 2 Block diagram of the system

本文以蔗糖溶液为例进行了机理性实验测量,图 3 是光路及测量系统. 测量时调好平行光,并调整两光栅使在光电接收面上获得清晰的莫尔条纹,分别放入空盒及装上待测液,两

\* 未装入溶液时,  $\gamma = \alpha$

者均分别旋转  $10^\circ, 15^\circ, \dots$ , 并记下莫尔条纹的移动数, 由公式(2)算出  $n$ , 查表得对应的浓度值.

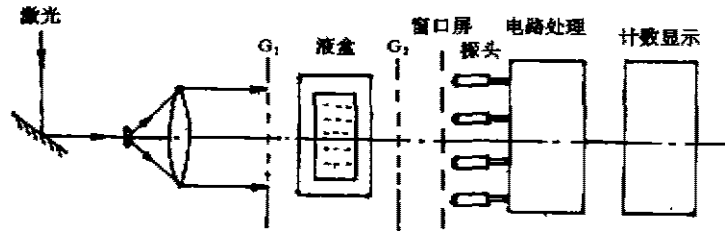


图3 系统布置

Fig. 3 Arrangement of the system

表1列出了一个样品的测试结果, 表1中所有数值都是多次测量的平均值,  $n'$  为用阿贝折射计测得的结果, 括弧内是由查表得到的糖浓度. 由表1数据可算得折射率相对误差(以  $n'$  为标准)为 0.12%, 蔗糖浓度相对误差为 14%, 浓度误差大于折射率误差的原因在于微小的折射率变化即对应于很大的蔗糖浓度变化. 实验又表明: 无细分时误差比有细分时大.

表1 蔗糖样品的测试结果  
Table 1 Measured result of a sugar sample

$D(\text{mm})$	$1/P(\text{mm}^{-1})$	$\alpha(^{\circ})$	$4m_1$	$4m_2$	$n$	$\bar{n}$	$n'$
46.0	4.35	10	6.33	42.67	1.3439	1.343 (6.8%)	1.3446 (7.9%)
		15	9.33	64.67	1.3443		
		20	12.00	87.67	1.3450		
		25	15.67	113.33	1.3417		

### 3 结语

利用本方法测量溶液的折射率与浓度是可行的. 如采用更高密度的精密计量光栅和高精度度盘, 适当增大莫尔细分数  $N$ , 采用尺寸更准确和合理的液盒等等, 均可进一步提高测量精度. 本方法与一些涉及光强的光学测量方法相比, 不仅不受光强变化影响, 还可用于那些样品对光有一定吸收和散射的场合.

### 参考文献

- 1 麦咏贤, 等. 红外与毫米波学报. 1994; 14(2): 151~155
- 2 Karng I, Kafri O. *Appl. Opt.* 1982; 21(18): 3326~3328
- 3 曹向群, 等. 光栅计量技术. 杭州: 浙江大学出版社, 1992, 28~39, 278~283

## A NEW METHOD FOR MEASURING SOLUTION CONCENTRATION BY USING THE MOIRE TECHNOLOGY

Hua Wenshen Mai Yongxian Zhou zuoping

*(Applied Physics Department, South China University of  
Technology, Guangzhou, Guangdong 510641, China)*

**Abstract** A new method was presented for measuring the solution concentration, with the principle that the Moire fringes deflection is due to the position change of the object. A set of opto-electronic system was designed to count the number of motion of Moire fringes and some preliminary results were given for sugar solution.

**Key words** concentration, measurement, Moire technology, Talbot effect.