

文章编号: 1007-2985(2011) 02-0049-03

# 基于亚毫米尺度金属包覆波导的 茅台酒折射率测量<sup>\*</sup>

冉茂武

(铜仁学院物理与电子科学系, 贵州 铜仁 554300)

**摘 要:** 利用亚毫米尺度双面金属对称包覆波导测量茅台酒的折射率, 测量方法只需待测茅台酒对激光透明, 则折射率大小不受限制, 此方法简单有效, 精度可达  $1.0 \times 10^{-4}$ , 从而可以用来鉴定茅台酒的真伪。

**关键词:** 对称金属包覆波导; 茅台酒; 折射率

中图分类号: O435.1

文献标志码: A

1915 年, 茅台酒在巴拿马万国博览会获金奖, 成为世界名酒. 无法复制的自然环境和独特的酿造工艺, 成就了茅台酒独一无二的味道, 市场上每年有 20 万 t“茅台”出售, 但实际上酒厂年产量不到 2 万 t, 也就是说每年市场有 18 万 t 茅台酒假的. 由于茅台酒与其他酒所含的微量元素有所区别, 因此对同一激光波长的折射率不同, 测量液体折射率的常用方法是阿贝折射仪法<sup>[1]</sup>, 虽然阿贝折射仪具有操作方便迅速、环境条件要求低等优点, 但因测量精度低, 辨别不出茅台酒的真伪. 笔者提出了利用亚毫米尺度双金属对称包覆波导<sup>[2-3]</sup> 测量茅台酒的折射率, 测量精确度可达  $10^{-4}$ .

## 1 测量原理

### 1.1 波导结构

测量液体样品折射率采用棱镜—波导耦合结构, 如图 1 所示, 该结构由 2 部分组成, 上部为一镀有金膜的大角度玻璃棱镜, 金膜的厚度约为 30 nm; 下部为一镀有金膜的玻璃平板, 金膜的厚度约为 200 nm; 上下两部由 500  $\mu\text{m}$  的玻璃衬垫胶合, 形成一密封的样品室, 上下 2 层金属膜和样品构成对称金属包覆波导, 激光束通过棱镜耦合成为导模. 其中:  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  和  $\varepsilon_4$  分别表示导波层(样品室)、金属包覆层、三棱镜和衬底(玻璃)的介电系数;  $h$  为导波层的厚度. 由于金膜介电常数的实部小于零, 因此在这种波导中, 导模有效折射率的取值范围为

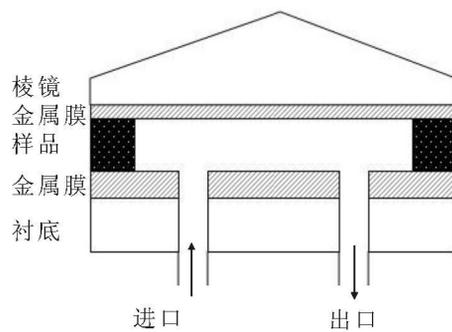


图 1 棱镜—波导耦合结构

\* 收稿日期: 2011-02-10

基金项目: 贵州省教育厅自然科学青年基金资助项目(黔教科 2008098); 铜仁学院教改项目资金资助(院教改 2008)

作者简介: 冉茂武(1971-), 贵州沿河人, 铜仁学院物理与电子科学系副教授, 主要从事生物传感器研究。

$$0 < N < \sqrt{\epsilon_1}. \quad (1)$$

## 1.2 测量方法

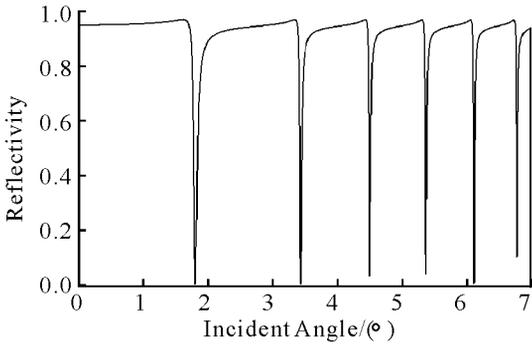


图 2 衰减全反射谱

图 2 为采用角度扫描结构方法<sup>[4]</sup>得到的衰减全反射(ATR)谱,衰减全反射峰的极小值对应的角度称为同步角 $\theta$ ,且 $\sqrt{\epsilon_1} \sin \theta = N$ .

对图 1 结构,当入射光满足同步条件情况下,即 $\beta = k_0 \sqrt{\epsilon_1} \sin \theta$ ( $\theta$ 为入射角),对称金属包覆波导 TE 模式满足的色散方程为<sup>[4]</sup>

$$k_1 h = m\pi + 2\arctan\left(\frac{p_2^2}{k_1}\right), \quad (2)$$

其中

$$\begin{cases} k_1 = (k_0^2 \epsilon_1 - \beta^2)^{1/2} \\ p_2 = (\beta^2 - k_0^2 \epsilon_2)^{1/2} \end{cases} \quad (3)$$

$\beta = k_0 N$  为传播常数; $k_0 = 2\pi/\lambda$ 为真空波矢; $\lambda$ 为光波长.

由于金膜的介电系数可通过双波长法<sup>[5-6]</sup>测量,而激光束波长已知,因此,(2)式中有 3 个未知数: $m$ 、 $h$  和 $\sqrt{\epsilon_1}$ ,可通过测量 3 个同步角得到 3 个不同模式的有效折射率 $N$ ,分别代入相应的色散方程,便可求出 $m$ 、 $h$  和 $\sqrt{\epsilon_1}$ .实验中,为提高测量精度,笔者在 ATR 谱中的小角度区域,即 $N$ 较小的超高阶导模区域,选取 $(m-1)$ 、 $m$  和 $(m+1)$  这 3 个衰减全反射峰,分别测出 $N^{m-1}$ 、 $N^m$  和 $N^{m+1}$ ,代入(2)式可得

$$k_1^{m-1} h = (m-1)\pi + 2\arctan\left(\frac{p_2^{m-1}}{k_1}\right), k_1 h = m\pi + 2\arctan\left(\frac{p_2}{k_1}\right), k_1^{m+1} h = (m+1)\pi + 2\arctan\left(\frac{p_2^{m+1}}{k_1}\right). \quad (4)$$

由(4)式消去 $m$ 和 $h$ ,便可得到样品的折射率为 $\sqrt{\epsilon_1}$ .

## 2 实验结果分析

测量样品折射率的实验装置如图 3 所示.一束波长为 650 nm 的入射激光通过平面镜、偏振器和滤波器后,以一定的角度入射到棱镜表面,由计算机控制的同步转台( $\theta/2\theta$  角度扫描仪)实现角度扫描,反射光强由探测器接收后更有 A/D 转换器并将光信号转变为电信输入计算机.

把茅台酒用一次性注射器注入图 1 的样品室中,通过角度扫描得到茅台酒的衰减全反射(ATR)谱如图 4 所示.

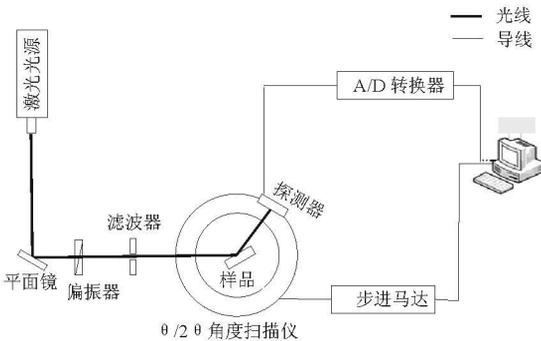


图 3 测量样品折射率实验装置

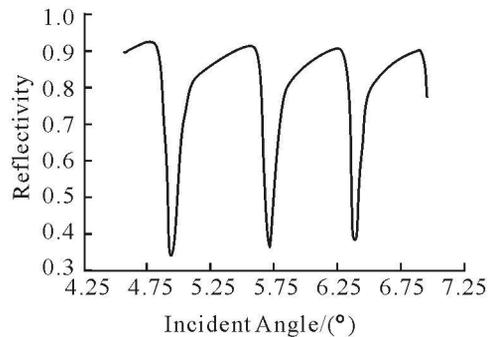


图 4 茅台酒衰减全反射(ATR)谱(TE 模式)

选择 $\theta_{m-1}$ 、 $\theta_m$ 、 $\theta_{m+1}$  这 3 个不同共振角代入(3)式计算得出茅台酒的折射率,同样方法可以测量 TM 模式对应的折射率,测量结果见表 1.

表 1 待测样品测量结果

样品	共振角 / ( $^{\circ}$ )			折射率	
	$\theta_{m-1}$	$\theta_m$	$\theta_{m+1}$	$n_e$	$n_o$
茅台酒(53°10年)	6.715 3	5.420 3	4.807 9	1.334 5	1.342 4

### 3 结果

采用亚毫米尺度双面金属对称覆波导测量了茅台酒的折射率. 根据角度测量精度(小数点后 4 位小数)可知测量精度可达万分之几. 从测量结果可以看出茅台酒的折射率比纯水的折射率大, 这种测量方法克服了阿贝折射仪法方法测量精确度的缺点. 由于茅台酒具有特殊特点, 其折射率与其他酒不同, 所以可以用这种方法检测茅台酒的真伪.

#### 参考文献:

- [1] LIN S, GONG Z X. General Physics Experiments [M]. Beijing: Peoples Education Press, 1981: 369-372.
- [2] 曹庄琪. 导波光学 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 157-224.
- [3] 周 峰, 曹庄琪, 蒋 毅, 等. 双面金属双覆波导模序数的判别方法 [J]. 光学学报, 2002, 22: 665-669.
- [4] ULRICH R, TORGE R. Measurement of Thin Film Parameters with a Prism Copeler [J]. Applied Optics, 1973, 12: 2 901-2 908.
- [5] CHEN W P, CHEN J M. Use of Surface Plasma Waves for Determination of the Thickness and Optical Constants of Thin Metallic Films [J]. Journal of the Optical Society of America, 1981, 71: 189-191.
- [6] LOPEZ-RIOS T, VUYE G. In Situ Investigation of Metallic Surface by Surface Plasmon ATR Spectroscopy, Electrical Resistance Measurements and Auger spectroscopy [J]. Journal of Physics E: Scientific Instruments, 1982, 15: 456-461.

## Refractive Index Measurement of Maotai Spirit Based on Symmetrical Metal-Cladding Optical Waveguide with Sub-Millimeter Scale

RAN Mao-wu

(Department of Physics and Electronic Science, Tongren University, Tongren 554300, Guizhou China)

**Abstract:** The author measured the refractive index of Maotai spirit by symmetrical metal-cladding optical waveguide with sub-millimeter scale. There is no limit of refractive index if the sample is transparent to laser. This simple efficient method, with refractive index precision of  $1.0 \times 10^{-4}$ , can identify the authenticity of Maotai spirit.

**Key word:** symmetrical metal-cladding optical waveguide; Maotai spirit; refractive index

(责任编辑 陈炳权)