

紫外、红外波段折射率精密测定

刘乃英 姚 彰 张友明 张凤鸣

(中国科学院光电技术研究所)

提 要

鉴于非可见光区折射率在光学材料的研究及应用中的重要意义,不少学者开展了对它的测量方法的研究工作^[1~4],本文也做些探索,并对紫外~红外波段(0.21~2.43 μm)的折射率进行了测量。

1. 原理、装置

原理为熟知的最小偏向角时,采用封闭测量,可以消除由于测量折射角而引起的折射率的偏差^[5],从而可以提高测量精度。这种折射角 A 可视为 60° , 计算折射率的公式变得更为简单: $n = 2 \sin(30^\circ + 1/2\delta)$, 式中 δ 为对应三个折射角的最小偏向角的平均值。

测量是在反射式的平行光管及 GM-1 型精密分光计(测角精度为 $3''$) 组合起来的仪器上进行,采用自准直方式。附加的自准直反射镜被固定在分光计望远镜物镜前边,除它绕分光计转轴转动外,其它元件均固定不动。这种自准直反射镜是一块半反、半透镜(镜子的中间部分为反射,周边环形部分为透射),仍可利用望远镜对试样进行调整,并且借以寻找试样底面反射的反射象,使样品处在最小偏向角位置。测量反射率所用元件,在紫外(包括可见光区)波段用光电倍增管(日本, 1P28 型),在红外波段用 PbS 光敏电阻。由探测器及其它因素(包括光源稳定性,放大器稳定性,狭缝宽度)所引起的误差:当 λ 在 $0.21 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 时, Δn 大约为 1×10^{-5} , 当 $\lambda > 2 \mu\text{m}$ 时,约大一倍。

2. 最小偏向角位置的确定

不难证明,投射到待测试样(棱镜)上的入射光线与折射光线的夹角 φ , 入射光线与经底面反射的反射光线夹角 ψ 分别为:

$$\varphi = 120^\circ + i_1 + i_4 - \Delta A,$$

$$\psi = 120^\circ + 2i_1 + 2 \cdot \Delta B,$$

这里 i_1 、 i_4 为入射光线的入射角及出射光线的出射角, ΔA 、 ΔB 及 ΔC 为三个折射角 A 、 B 、 C 与 60° 的偏差。当试样处在最小偏向角时,折射光线与反射光线的夹角为: $\theta = \Delta B - \Delta C$, 如果 $|\Delta A|$ 、 $|\Delta B|$ 、 $|\Delta C|$ 不都为零且其中最大值为 $\Delta\alpha$, 则 $\theta \leq 2 \cdot \Delta\alpha$ 。改变入射角 i_1 , 使反射光线与折射光线平行, 则 $\Delta i_1 = \theta/2 \leq \Delta\alpha$ 。当 $|\Delta i_1| \leq 5'$ 时引起最小偏向角的偏差 $\Delta\delta$ 及由此而影响的折射率的偏差 Δn_i 都将很小,可以略而不计。因此,转动试样使反射光线与折射光线平行,即反射象落在望远镜目镜叉丝上且折射象自准直,便可以认为试样处在最小偏向角位置。

3. 测量结果

选择单晶 CaF_2 及熔石英试样进行测量,结果示于附表。用所有测量结果及最小二乘法,

表 1 熔石英、氟化钙折射率的测量值与计算值

Table 1 Measuring and calculation results of refractive index of fused silica and GaF₃

波 长 (μm)	折 射 率					
	熔 石 英			氟 化 钙		
	测量值 Measurement	计算值 Calculation	差 值 Difference ($M-C$) $\times 10^{-5}$	测量值 Measurement	计算值 Calculation	差 值 Difference ($M-C$) $\times 10^{-5}$
0.213856	1.534274	1.534269	0.5	1.484956	1.484960	-0.4
0.214438	1.533679	1.533685	-0.6	1.484584	1.484582	0.2
0.226502	1.522916	1.522912	0.4	1.477565	1.477562	0.3
0.228802	1.521113	1.521113	0.0	1.476381	1.476381	0.0
0.241294	1.512461	1.512481	-2.0			
0.244006	1.510832	1.510828	0.4			
0.246744	1.509235	1.509230	0.5			
0.248271	1.508377	1.508367	1.0	1.467941	1.467936	0.5
0.248717	1.508119	1.508119	0.0			
0.249850	1.507496	1.507495	0.1			
0.251558	1.506575	1.506576	-0.1			
0.262803	1.501070	1.501064	0.6			
0.265086	1.500055	1.500043	1.2			
0.265204	1.499986	1.499997	-1.1	1.462314	1.462320	-0.6
0.265945	1.499679	1.499675	0.4			
0.270240	1.497871	1.497869	0.2			
0.271904	1.497201	1.497198	0.3			
0.273396	1.496604	1.496608	-0.4			
0.275278	1.495877	1.495880	-0.3	1.459540	1.459539	0.1
0.277167	1.495165	1.495167	-0.2			
0.280347	1.493990	1.494006	-1.6	1.458258	1.458268	-1.0
0.288077	1.491359	1.491370	-1.1			
0.289360	1.490958	1.490956	0.2	1.456196	1.456195	0.1
0.289387	1.490953	1.490947	0.6			
0.292979	1.489826	1.489823	0.3			
0.296728	1.488700	1.488700	0.0	1.454655	1.454657	-0.2
0.299797	1.487820	1.487816	0.4			
0.302150	1.487157	1.487160	-0.3	1.453607	1.453605	0.2
0.304264	1.486593	1.486585	0.8			
0.306471	1.486000	1.485999	0.1			
0.312566	1.484471	1.484455	1.6			
0.313155	1.484305	1.484311	-0.6	1.451659	1.451655	0.4
0.334148	1.479717	1.479728	-1.1	1.448508	1.448508	0.0
0.365015	1.474503	1.474503	0.0	1.444914	1.444907	0.7
0.404656	1.469581	1.469580	0.1	1.441512	1.441508	0.4
0.435835	1.466654	1.466656	-0.2	1.439489	1.439489	0.0
0.546074	1.460037	1.460041	-0.4	1.434956	1.434960	-0.4
0.576957	1.458813	1.458810	0.3	1.434126	1.434131	-0.5
0.579065	1.458736	1.458732	0.4	1.434074	1.434079	-0.5
1.01398	1.450217	1.450212	0.5	1.428848	1.428841	0.7
1.12866	1.448839	1.448841	0.2	1.428160	1.428154	0.6
1.357021	1.446239	1.446245	-0.6			
1.3622				1.426951	1.426961	-1.0
1.367351	1.446123	1.446128	-0.5			
1.39506				1.426806	1.426804	0.2
1.52952	1.444244	1.444244	0.0	1.426178	1.426171	0.7
1.6606	1.442630	1.442646	-1.6	1.425543	1.425557	-1.4
1.6932	1.442243	1.442235	0.8	1.425412	1.425403	0.9
1.70913	1.442049	1.442032	1.7	1.425332	1.425327	0.5
2.1526	1.435726	1.435728	-0.2	1.423097	1.423109	-1.2
2.4374				1.421526	1.421519	0.7

求解它们的色散公式。在这一波段内, CaF_2 的色散曲线与一般光学玻璃一样, 符合多项式: $n^2 = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + A_5\lambda^{-6} + A_6\lambda^{-8}$; 而熔石英则符合 Sellmier 色散公式:

$$n^2 - 1 = B_1\lambda^2/(\lambda^2 - A_1^2) + B_2\lambda^2/(\lambda^2 - A_2^2) + B_3\lambda^2/(\lambda^2 - A_3^2)。$$

计算结果表明, 测量值与计算值吻合得很好(见表 1); 可见光波段的测量结果与标准值(北京玻璃研究所提供)完全符合, 最大差值为 1.1×10^{-5} 。本装置测量精度为 $\Delta n = \pm 2 \times 10^{-5}$, 当 $\lambda > 2 \mu\text{m}$ 时, 精度稍低一些。

4. 讨论

(1) 最小偏向角定位精度对测量结果的影响

一般情况下, 偏向角 δ 与入射角 i_1 的关系为:

$$\delta = i_1 + \sin^{-1} \{n \cdot \sin [A - \sin^{-1} (1/n \cdot \sin i_1)]\} - A,$$

从而有:

$$\Delta\delta = \left(1 - \frac{\cos i_1 \cdot \cos i_3}{\cos i_2 \cdot \cos i_4}\right) \cdot \Delta i_1,$$

式中 i_1 、 i_2 为试样入射面的入射角与折射角, i_3 、 i_4 为出射面的入射角与折射角。在最小偏向角位置附近, $i_4 \doteq i_1$; $i_3 \doteq i_2$, Δi_1 即最小偏向角定位精度, 显然, $\Delta\delta$ 与 Δi_1 相比是很小的。对不同的折射率 $\Delta\delta$ (及 Δn_i) 与 Δi_1 的关系进行计算表明, 如果限定由最小偏向角定位不准而引起的折射率偏差 $\Delta n_i = \pm 2 \times 10^{-6}$ (比测量精度小一个数量级), 那么, Δi_1 至少可为 $\pm 5'$, 可见对定位精度要求不高。

(2) 谱线弯曲对测量结果的影响

光线通过待测试样后, 由于轴外光线与轴上的光线的差异, 致使谱线发生弯曲, 折射率越大, 弯曲越甚, 它将给测量带来一个系统误差。本实验采用缩短狭缝高度, 只取接近光轴的一部分光束以减小这一影响, 还可以利用可见光以目视为标准, 标定出修正值加以修正, 也可改善测量结果。

最小偏向角法较之自准直法测量精度高; 同时也可用一块试样进行紫外、可见、红外全波段的折射率精密测定, 对保证测量精度, 减少试样加工量均为有益。

在此方法基础上不难实现设计一台全波段自动测量折射率的精密分光计。

参加本工作的还有陈飞、张伟同志, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R. J. Spindler, W. S. Rodney; *J. Res. NBS*, 1954, **53**, No. 4 (Apr), 185.
- [2] 早川悖二等; 《大阪工业技术试验所季报》, 1975, **26**, No. 4 (Dec), 266.
- [3] 蒋安民等; 《硅酸盐学报》, 1979, **7**, No. 4 (Nov), 388.
- [4] 私人通讯。
- [5] 私人通讯。

Precise determination of refractive index at ultraviolet and infrared ranges

LIU NAIYING YAO ZHANG ZHANG YOUJING AND ZHANG FENGMING

(Institute of Optics and Electronics, Academia Sinica)

(Received 10 February 1983; revised 10 October 1983)

Abstract

A method for measuring the minimum deviation angle and making the precise determination of refractive index of optical material from ultra-violet to infra-red is given. The region of wavelength are from 0.21 to 2.43 μm . The dispersion formula of fused silica and CaF_2 crystal have been evaluated. The measuring results coincide with the calculation very well.

The measurements have been done by an instrument consisting of a reflective collimator and a GM-1 spectroscope. The accuracy is $\pm 2 \times 10^{-5}$ when $\lambda < 2 \mu\text{m}$ and is a little lower when $\lambda > 2 \mu\text{m}$.