

# 锆的红外折射率精密测量

米宝永

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 利用所研制的 KGZ- II 型高精度光电折射仪, 在  $5 \sim 10.6 \mu\text{m}$  的光谱范围内, 测量了由北京有色金属研究总院研制的锆的折射率, 并与红外色散公式计算的结果进行了比较, 分析了影响测量准确度的各项主要因素, 给出了具有  $\pm 3 \times 10^{-4}$  准确度的测量结果。

**关键词** 红外 折射率 精密测量

## 1 引言

近十几年, 红外光学在我国发展十分迅速, 尤其在国防光学领域里, 随着红外热成像技术的日臻完善, 锆材料在红外光学系统里的应用愈来愈受到重视。很早, 国外就有人对锆材料的光学特性进行了大量深入的研究<sup>[1-5]</sup>。在1962年, Max Herzberger 就对包括锆在内的14种红外光学材料进行了研究, 并将可见光波段的色散公式延伸至红外波段, 给出了它们的色散系数<sup>[1]</sup>。1973年, 英国国家物理实验室的 R. P. Edw in<sup>[2]</sup> 研制了  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  波段的记录式折射仪。稍后, 于1975年 Ben. C. Platt 等人也采用自准直法<sup>[3]</sup> 测量了锆和硅在  $95 \text{ K} \sim 298 \text{ K}$ , 波长在  $2.5 \mu\text{m} \sim 12.3 \mu\text{m}$  的折射率以及它们的温度系数<sup>[4]</sup>, 但上述测量只能给出  $\pm 6 \times 10^{-4}$  (对锆而言) 的准确度。直至1982年, R. P. Edw in 和 M. T. Dudeme l<sup>[5]</sup> 等人利用了自准直法测量了包括单晶锆和多晶锆在内的10种样品, 在  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  的光谱范围内才获得了  $\pm 3 \times 10^{-4}$  的不确定度。

我国起步较晚, 直到1990年才研制了波长范围为  $365.0 \text{ nm} \sim 12 \mu\text{m}$  的高精度光电折射仪<sup>[6]</sup>, 并于1993年在国内首先测量了由北京有色金属研究总院锆研究室研制的锆晶体的折射率。将这些测量结果和由 Max Herberger 的色散公式计算的结果相比较可以看出, 其折射率随波长变化的规律是一致的。

## 2 测量方法

首先将锆块按折射率测量要求磨制成具有小于  $22^\circ$  的楔形顶角棱镜, 然后按图1所示的位

置置于 KGZ- II 型高精度光电折射仪的样品台上,并使入射的单体准直光与入射面法线的夹角(即入射角  $I_1$ ) 尽量接近  $45^\circ$  转动瞄准系统分别瞄准反射光束 I、非偏折光束 II 及折射光束 III, 则它们的角位置便自动存入计算机, 于是便可得出偏折射角  $\theta$  和入射角  $I_1$ , 后者与  $\varphi$  角的关系可由下式看出

$$I_1 = (180^\circ - \varphi)/2 \tag{1}$$

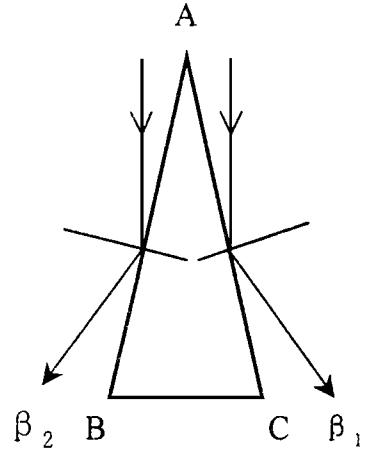
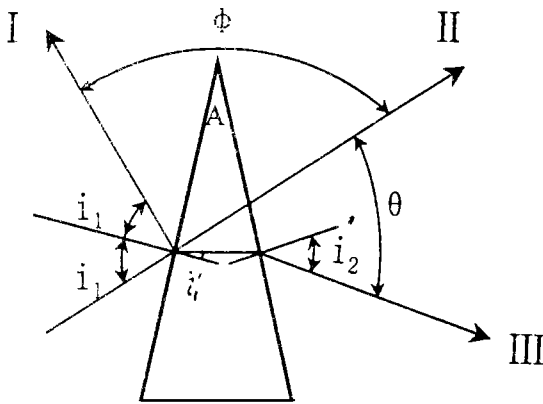


Fig 1 The measuring method of refractive index of gemanium

Fig 2 The measuring method of vertex angle

棱镜顶角可以在样品加工后用可见光波段的测角仪测量, 亦可在 KGZ- II 型高精度折射仪上测量. 此时应将样品楔形顶角对准入射光束, 并使其底面  $BC$  垂直于入射光束, 如图2所示, 测出  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  光束的角位置后, 顶角  $A$  便可由

$$A = (\beta_1 - \beta_2)/2 \tag{2}$$

式求出. 将得到的入射角  $I_1$ 、偏折角  $\theta$  和顶角  $A$  代入下式

$$\tan(I_1 - \frac{A}{2}) = \tan \frac{A}{2} \tan(I_1 - \frac{\theta + A}{2}) \cot \frac{\theta + A}{2} \tag{3}$$

后求出入射光束在第一面上的折射角  $I_1$  后, 再由

$$n = \sin I_1 / \sin I_1 \tag{4}$$

最后求出折射率  $n$ . 改变波长, 重复上述动作, 便可求出对应不同波长的锗的折射率.

### 3 测量结果及评价

我们对光束 I、II 和 III(后者应对应各种波长) 分别进行 5 次瞄准采样, 求出 5 个折射率值并进行平均得到  $\bar{n}$ . 由于我们是在温度为  $14^\circ\text{C}$ , 大气压力  $p = 10^5 \text{Pa}$  的环境下测量的, 所以必须进行温度修正. 进行温度修正所用的温度系数是根据 R. P. Edw in 等人<sup>[5]</sup> 1982 年测得的结果经线性内插和外推得到的, 并取其样品 1 和样品 3 的平均值, 如  $\lambda = 8\mu\text{m}$  时, 温度系数取为  $0.000406/^\circ\text{C}$ . 经温度修正后的结果列于表 1. 我们还用红外色散公式<sup>[1]</sup>

$$n = A + BL + CL^2 + D\lambda^2 + E\lambda^4 \quad (5)$$

式中

$$L = 1/(\lambda^2 - 0.028)$$

和表2中所列的锗的色散系数进行了折射率计算,其结果列于表1的第2栏中。从它们与实际测量值之差  $\Delta$  可知,其折射率随波长变化的规律是一致的。

Table 1 measuring result of refractive index for germanium

$\lambda(\mu\text{m})$	$\bar{N}$	$n$	$\Delta(\times 10^{-4})$	$e_{\lambda}(\times 10^{-4})$	$e_{\theta}(\times 10^{-5})$
5	4.01510	4.01514	- 0.4	$\pm 1.9$	$\pm 3.0$
6	4.00987	4.01017	- 3.0	$\pm 1.1$	$\pm 3.0$
7	4.00738	4.00721	+ 1.7	$\pm 0.6$	$\pm 2.0$
8	4.00513	4.00531	- 1.8	$\pm 0.5$	$\pm 2.0$
9	4.00386	4.00403	- 1.7	$\pm 0.3$	$\pm 2.0$
10	4.00324	4.00317	+ 0.7	$\pm 0.2$	$\pm 7.0$
10.6	4.00314	4.00280	+ 3.0		

Table 2 Constants to be used with the dispersion formula

$\lambda(\mu\text{m})$	A	B	C	D	E
from 2.0 to 13.5	3.399931	0.391707	0.163492	$6 \times 10^{-6}$	$5.3 \times 10^{-8}$

为了评价所测数据的准确性,表中还给出了  $\pm 0.03\mu\text{m}$  的单色波长误差在  $5\sim 10.6\mu\text{m}$  的波长范围内所引起的折射率测量误差  $e_{\lambda}$ 。

我们还计算了棱镜顶角(20°37′)、入射角和偏折角的测角误差分别为1°时对折射率测量值的影响分别为  $\pm 4 \times 10^{-5}$ 、 $2 \times 10^{-5}$  和  $7 \times 10^{-6}$ 。表1中最后一栏是考虑了实际情况后,各种测角误差对折射率误差的贡献。

由于缺乏良好的恒温环境,整个测量过程是在加温后保温状态下进行的,所以存在0.4左右的温度波动,它将造成  $\pm 1.6 \times 10^{-4}$  的折射率误差。综合上面的分析,可以算出除  $5\mu\text{m}$  时的精度为  $\pm 2.5 \times 10^{-4}$  外,其余各波长的折射率均优于  $\pm 2 \times 10^{-4}$ 。如进一步提高系统的能量,将狭缝减至0.5mm以下,并采取有效的恒温措施,  $\pm 5 \times 10^{-5}$  的折射率测量准确度是可以达到的。

对北京理工大学苏大图教授在测量方法上给予的帮助表示衷心的感谢。我还要感谢为测量提供锗样品的国防科工委光学一级站的郑克哲研究员。宋克非同志编制了测量与计算软件,也对她表示感谢。

#### 参 考 文 献

- 1 Herberger M ax, Salzberg Calvin D. Refractive indices of infrared optical materials and color correction of infrared lenses J Opt Soc Am, 1962, 52(4): 422~ 427
- 2 Edw in R P. A recording refractometer for the measurement of refractive indices of solids in the wavelength range 8~ 14 $\mu\text{m}$ . J Physics E: Scientific Instrum, 1973, 6(8): 1035~ 1036
- 3 Platt Ben C, L canogle H W, et al Technique for measuring the refractive index and its change with tem-

- perature in the infrared range J Opt Soc Am, 1975, 65(11): 1266~ 1267
- 4 Lcenogle H W. Platt Ben C. Wolfe W illiam L. Refractive indexes and temperature coefficients of germanium and silicon. Appl Opt 1976, 15(10): 2348~ 2352
  - 5 Edw in R P, Dudemmel M T, et al Refractive index measurements of ten germanium samples Appl Opt, 1982, 21(5): 877~ 881
  - 6 Baoyong M i A computerized photoelectric refractometer. Proc SPIE, 1990, 1230: 193~ 195

## Precision Measurement of the Infrared Refractive Index for Germanium Sample

M IBao-Yong

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

Author measured refractive index of germanium developed by Beijing General Research Institute for Non-ferrous Metals in the wavelength range of 5~ 10.6 $\mu\text{m}$  by means of KGZ- II Model Photoelectric refractometer with high accuracy and compared measured results with value calculated by the dispersion formula. Primary factor influenced measurement accuracy is analysed and the paper results with accuracy of  $\pm 3 \times 10^{-4}$  are got.

**Key words:** Infrared, Refractive index, Precision measurement

**米宝永** 男, 硕士生导师, 1964年毕业于北京理工大学。长期从事微弱信号检测、光电技术和光电仪器的研制, 先后研制成功了红外辐射计、光学薄膜厚度控制仪、高精度光电折射仪、等离子及 CVD 终点检测仪、真空紫外光子计数器、非接触式 X 射线低噪声应力测量头、数字式光电 V 棱镜仪, 并先后参加了极紫外光栅摄谱仪、太阳紫外光谱监视器和大气臭氧垂直分布探测仪等多种仪器的研制。曾先后获中科院科技进步二等奖一项, 三等奖两项, 长春分院科技进步二等奖一项, 获机械电子工业部“七五”攻关优秀成果奖和先进个人奖各一次。在国内外核心期刊上发表论文 20 余篇。