

以物像等大成像法同时测量自聚焦透镜 的轴心折射率 n_0 和聚焦常数 g

程 希 望

(中国科学院西安光学精密机械研究所)

提 要

本文通过对目前自聚焦透镜光学参数测量方法的分析,提出了能同时测量自聚焦透镜轴心折射率 n_0 和聚焦常数(二次梯度常数) g 的物像等大法,所得结果表明该方法有实用价值,同时可简化测量设备。

关键词:物像等大成像法,自聚焦透镜。

一、引 言

物像等大成像法是为了能同时测量 n_0 和 g 以及焦、截距,并避免使用匹配液而提出的。现有测量自聚焦透镜 n_0 和 g 的方法^[1,2,4,5,6] 共有三类,第一类仅能测量其中之一;第二类可同时测量,但须使用匹配液;第三类是能同时测量,而且不同匹配液。在第三类方法中有端面反射法^[3]和我国学者提出的两种方法^[4,5]。

端面反射法由于要建立数量过大的比对标准,且端面加工、保洁要求过严,加之轴心寻址不易,因而罕有用例。

文献[4]提出以入、出射高度和角度变化量来同时测量 n_0 和 g ,但因定位困难和需要复杂测角机构,目前尚未应用,在上述两个问题解决之后,该方法不失为一好方法。

文献[5]提出以夹持玻璃的等厚干涉条纹测出楔形薄样的楔角,继而用纵向干涉法同时测量 n_0 和 g ,但该方法忽略了样品厚度的可观影响,加之斜面几何中心判定困难,所测数据较多,目前使用较少。

由于第三类方法有上述情况存在,而且不能测量样品的焦、截距。本文提出可以使成像法(或称不等大成像法),误差锐减的物像等大成像法。本文末列出上述几种方法的误差比较表。

二、原理和测量步骤

在牛顿公式 $ff' = xx'$ 的推导过程中,有一中间公式

$$f' = -\alpha'(y/y'), \quad (1)$$

式中 f' 是从像方主平面起算的像方焦距, α' 是从像方焦点起算的焦像距, y 是物高, y' 是像高。上式对厚、薄透镜和透镜组是普适的。但当像高远小于物高时,用上式测 f' , 则必须实

际测量所用显微镜的实际放大率,而且由误差理论可知,此时(1)式精度较低。如何克服这一缺点,就只有在物像比(垂轴放大率)上想办法了。当 $(-y/y') = -1$ 时,(1)式化为

$$f' = \alpha', \quad (2)$$

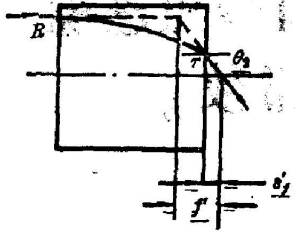


Fig. 1 Divergence diagram for equation (4)

α' 是一差值,即

$$\alpha' = S'_o - S'_i, \quad (3)$$

S'_o 是顶像距, S'_i 是截距, 故而误差锐减。

根据截距 S'_i 、焦距 f' 和主平面(特殊情况下可为曲面)的定义,由图1的简单三角、几何关系可知

$$S'_i = r \operatorname{ctg} \theta_2, \quad f' = R \operatorname{ctg} \theta_2. \quad (4)$$

$$\therefore (S'_i/f') = (r/R). \quad (5)$$

在自聚焦透镜中,此时有^[3]

$$r = R \cos(gz), \quad \theta_2 = -Rn_0g \sin(gz). \quad (6)$$

$$\therefore (S'_i/f') = \cos(gz) \quad \text{即} \quad g = (1/z) \cos^{-1}(S'_i/f'). \quad (7)$$

在实验测得 α' 、 S'_i 及样品长 z 以后,即可由(7)式求得 g ,再代入外实截距傍轴近似式^[3],移项得 n_0 表式

$$n_0 = [\operatorname{ctg}(gz)]/S'_i g. \quad (8)$$

傍轴近似式是取 $\sin \theta \approx \operatorname{tg} \theta \approx \theta$ 的近似式。在 $\theta = 3^\circ$ 时,傍轴公式精确到万分位,在 $\theta = 8^\circ 48'$ 时,傍轴公式精确千分位。本实验是以精确到万分位的近似安排实验的。在测截距时,去掉样板(物)、关闭钠灯。

本实验的测量均系长度量测量。步骤如下:

(1) 打开单色仪光源,选取所需波长。本实验是 $0.5893 \mu\text{m}$ 。测量镜长 z ,用显微镜作非接触测量。

(2) 测截距。先以显微镜对微透镜端面聚焦,然后对微镜所成狭缝像聚焦,两者距离即是截距。

(3) 测焦距。物可以是单色仪狭缝、分辨率板、细线条、丝状物或光纤出射端。单色仪狭缝、光纤出射端不用照明,靠透射光测量。非透明物需以单色光照明。本实验以细线条作为物,用钠灯照明。

先以显微镜测量物高(宽),然后测量像高(宽)。如像小于物,可前后移动微镜,到物像等大为止,此时再测像到镜端距离,即顶像距。顶像距减去截距,得出焦距值(仅在物像等大时如此)。

(4) 将数据代入公式进行计算。

三、误差来源

除了原理的公式误差以外,测算结果的误差来源如以下三式所示。

$$\frac{df'}{f'} = \frac{1}{f'} \left[\alpha' \left(\frac{y'dy - ydy'}{y'^2} \right) + \frac{y}{y'} d\alpha' \right] \approx \frac{d\alpha'}{f'}, \quad (9)$$

$$\frac{dg}{g} = \frac{1}{g} \left[\frac{dz}{z} + \frac{f'dS'_i - S'_i df'}{f'^2 \sqrt{1 - (S'_i/f')^2} \cos^{-1}(S'_i/f')} \right], \quad (10)$$

$$\frac{dn_0}{n_0} = \frac{1}{n_0 S_f'^2 g^2} \{ S_f' g [-\operatorname{csc}^2(gz)] \cdot (z dg + g dz) - [\operatorname{ctg}(gz)] (g dS_f' + S_f' dg) \}. \quad (11)$$

由上面三式可知, f' 、 g 和 n_0 的相对误差主要取决于测长精度, n_0 的相对误差与截距关系较大。

四、结 果

样品系铈玻璃自聚焦透镜, $\phi 1.6125$ mm, 长度 $z=5.2875$ mm, 测试室温 18°C , 测量是在图 2 所示装置上进行的。反射法和楔样法的相对误差系据文献[1、5、6]计算或录出。等大法和不等大法的相对误差系据笔者测算数据列出。为了比较, 还列举了日本样品数据, 如表 1~表 3 所示。

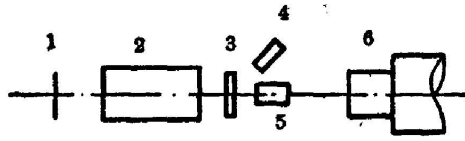


Fig. 2 The diagram of measurement instruments

Table 1 Measurement data and standard errors ("unequal size" image altitude divided must by 114.205)

method \ item	sample	Z (mm)	y (mm)	y' (mm)	S _f ' (mm)
un-EOSIM	T1	5.2875 ± 0.0013	0.5000 ± 0.0056	0.3123 ± 0.0019	0.0980 ± 0.0019
	T1	5.2875 ± 0.0013	0.2262 ± 0.0022	0.2261 ± 0.0022	0.0980 ± 0.0019
EOSIM	Japan (original)	5.6 ($\phi 1.8$ mm)	—	—	—
	Japan (measured)	5.3774 ± 0.0013	0.2143 ± 0.0021	0.2143 ± 0.0021	-0.5559 ± 0.0020

Z—length, y—object altitude, y'—image altitude, S_f'—vertex focal length, un-EOSIM—The unequal object-image size imaging method, EOSIM—The equal object-image size imaging method.

Table 2 Derivate results and reasonable range ($3\gamma_s$)

method \ item	sample	f' (mm)	g (mm ⁻²)	n ₀
un-EOSIM	T1	2.1945 (0.3162)	0.2886- (0.0049)	1.5757- (0.9436)
	T1	2.2052 (0.0067)	0.2886+ (0.0007)	1.5757+ (0.1213)
EOSIM	Japan (original)		0.337	1.609
	Japan (measured)	1.8809 (0.0071)	0.3479+ (0.0008)	1.5996+ (0.1219)

f'—foclength, g—focusing constant (quadratic gradient constant), n₀—optical index on axis.

Table 3 Comparing table of errors

method \ item	$\Delta n_0/n_0$	$\Delta g/g$	$\Delta f/f$	remarks
RM	5%	$\geq 5\%$	—	equation errors not accounted
WSM	4%	0.87%	—	equation errors not accounted
un-EOSIM	53%	1.6%	14%	equation errors accounted
EOSIM	7.7%	0.2%	0.3%	equation errors accounted

RM—The reflection method, WSM—The wedge sample method.

五、讨 论

误差对比计算表明:

- (1) 提高等大法精度的途径是提高测长精度;
- (2) 等大法 n_0 表式中有余切函数, 所以样品长度以选在该函数的线性区为好;
- (3) 等大法比大等大法的精度提高一个数量级;
- (4) 等大法公式本身误差比反射法、楔样法小;
- (5) 等大法无需测显微镜放大率和样品直径;
- (6) 等大法可测样品焦距, 反射法和楔样法不能;
- (7) 若将平行光管和光纤切换使用, 则可测算 $f'(\lambda)$ 、 $g(\lambda)$ 、 $n_0(\lambda)$ (即 n_0 色散)。
- (8) 本文要求样品具有外实截距, 具有内虚截距的样品亦可采用本文公式。证明见另

文。

作者特向程科华、祝颂来、张忠礼、瞿佑山、孔庆芳、张莉青等同志表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 大越孝敬(著);《光ファイバ》, (オーム社, 東京, 1983), 10 章。
- [2] 《4-6 th Topical Meeting on Gradient-Index Optical Image Systems》, (1983, Kobe; 1984, Monterey; 1985, Sicilia, Sponred by ICO, OSA, JSAP)
- [3] 西沢 纒一, 《光学技術コンダクト》, 1978, 16, No. 5 (May), 25。
- [4] 曹庆林; 私人通讯。
- [5] 陈邹生, 高应俊; 《光学学报》, 1984, 4, No. 7 (Jul), 593。
- [6] M. Ikeda, M. Tateda et al.; *Appl. Opt.*, 1975, 14, No. 4 (Apr), 814。

**Simultaneous measurement of the SELFOC lens optical index
on axis n_0 and quadratic gradient constant g by the equal
object-image size imaging method**

CHENG XIWANG

(Xi'an Institute of Optics and Precise Mechanics, Academia Sinica)

(Received 20 January 1986; revised 12 May 1986)

Abstract

A new measuring method of the SELFOC lens optical index on axis n_0 and quadratic gradient constant g by the equal object-image size imaging method (EOSIM) is proposed in this paper. The results obtained have shown that this method is significant in practical application, and it can also simplify the surveying instruments.

Key Words: Equal object-image size imaging method, SELFOC lens.