

牛顿环常见应用概述

王明吉^{1,2} 张利巍^{1,2} 聂明^{1,2}

(1、东北石油大学,黑龙江 大庆 163318 2、黑龙江省高校校企共建测试计量技术及仪器仪表工程研发中心,黑龙江 大庆 163318)

摘要 牛顿环是产生等厚干涉的典型装置,其干涉现象在科学研究和工业技术中有着广泛的应用,如测量光波波长、测量透镜曲率半径、检验试件表面的光洁度、测量液体折射率、研究机械零件内应力的分布以及在半导体技术中测量硅片上氧化层的厚度等。

关键词 牛顿环;应用;测量;检验

光的干涉是一种重要的光学现象,它为光的波动性提供了有力的实验证据。利用透明薄膜(空气层)上下表面对入射光的依次反射,入射光将被分成振幅不同且有一定光程差的两部分,这是一种获得相干光的重要途径。由于两束反射光在相遇时的光程差取决于产生反射光的薄膜厚度,同一条干涉条纹所对应的薄膜厚度相同,这就是等厚干涉。而牛顿环是产生等厚干涉的典型装置,其干涉现象应用非常广泛。

1 牛顿环干涉原理

将一块曲率半径 R 较大的平凸透镜的凸面置于光学平板玻璃上,在透镜的凸面和平板玻璃的上表面间就形成一层空气薄膜。当平行的单色光垂直入射时,入射光将在此薄膜的上下表面依次反射,产生具有一定光程差的两束相干光。空气薄膜厚度相同的地方形成相同的干涉条纹,干涉图样是以接触点为中心的一系列明暗相间的同心圆环,这就是牛顿环。^[1]

设入射光波长为 λ ,某牛顿环半径为 r ,对应的空气薄膜厚度为 h ,则空气薄膜上下表面依次反射的两反射光的光程差为:

$$\delta_r = 2nh + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

式中 n 是空气折射率, $\frac{\lambda}{2}$ 是光在平板玻璃上表面反射时产生的半波损失。

R 是平凸透镜的曲率半径,由几何关系得:

$$R^2 = (R-h)^2 + r^2 \quad (2)$$

因为 $h < R$, h^2 可忽略,得出 $h = \frac{r^2}{2R}$,代入式(1)中,得:

$$\delta_k = \frac{n}{R} r^2 + \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

当 $\delta_k = k\lambda$ ($k=1, 2, 3, \dots$) 时,形成明纹,明纹半径为

$$r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2n}} \quad (4)$$

当 $\delta_k = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ ($k=0, 1, 2, \dots$) 时,形成暗纹,暗纹半径为

$$r'_k = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}} \quad (5)$$

透镜与平板玻璃之间为透明液体时,公式(4)、(5)仍适用,采用暗纹的公式进行计算更方便些。

2 牛顿环应用概述

2.1 测量透镜表面曲率半径

牛顿环的中心是一个不甚清晰的暗圆斑,这是由于接触压力引起玻璃形变而使接触处为一圆面,或者是由接触处可能存在的尘埃所产生的附加光程差造成的。这导致很难测准干涉环的半径 r_k ,因此改测直径 D_k 。考虑到测量相邻暗环的直径时,误差较大,采用逐差法测两不相邻暗环直径:

$$D_i^2 - D_j^2 = \frac{4(i-j)R\lambda}{n} \quad (6)$$

在测量透镜表面曲率半径时,都是在空气的条件下测量,空气的折射率 $n=1$,则透镜的曲率半径为:

$$R = \frac{D_i^2 - D_j^2}{4(i-j)\lambda} \quad (7)$$

牛顿环的级数需要较大些,这样牛顿环中心的形变不会影响到所测量的直径,级数越大,环纹的间距就越小,条纹比较模糊,容易产生视觉疲劳,不利于准确测量;当 m 很小时,条纹很粗,也不利于准确测量。所以级数的选取要适当,不能太大也不能太小,一般来说取第 11 到 20 环比较合适。

2.2 测量液体折射率

折射率是液体的基本特性参量,有很多测量液体折射率的实验,牛顿环等厚干涉现象为测量液体折射率提供了一种新的思路。^[2]取第

i, j 级暗纹,则有 $D_i^2 = \frac{4iR\lambda}{n_0}$, $D_j^2 = \frac{4jR\lambda}{n_0}$,

n_0 是空气折射率。

由式(7)可知,透镜的曲率半径为

$$R = \frac{n_0(D_i^2 - D_j^2)}{4(i-j)\lambda} \quad (8)$$

当凸透镜与平板玻璃之间的间隙为液体时,牛顿环的公式仍适用。

在间隙中注满液体,仍取第 i, j 级暗纹,此时暗纹的直径变为 D'_i, D'_j , n 是液体折射率,透镜的曲率半径为

$$R = \frac{n(D_i'^2 - D_j'^2)}{4(i-j)\lambda} \quad (9)$$

很容易得出 $\frac{n_0(D_i^2 - D_j^2)}{4(i-j)\lambda} = \frac{n(D_i'^2 - D_j'^2)}{4(i-j)\lambda}$, 空气的折射率 $n_0=1$, 则求出液体折射率为:

$$n = \frac{D_i^2 - D_j^2}{D_i'^2 - D_j'^2} \quad (10)$$

2.3 判断透镜表面凹凸

将待测表面放在一平面标准件上,然后轻轻压位于上面的待测透镜,观察牛顿环图样的变化。若中心有环涌出,各环半径往边缘扩散,则可以判断出待测的透镜表面为凸面,这是由于在施压时,空气薄膜厚度减小,相应的,牛顿环的半径增加;若中心有环淹没,各环半径往中心收缩,这时可以判断出透镜的待测表面为凹面。^[3]

2.4 检验光学元件表面质量

以往都是将标准件覆盖在待测件的上面,根据光圈的形状来判断透镜的表面规不平整,又根据光圈的多少来判断透镜的曲率与样板的曲率偏差的大小,还可以根据条纹的移动情况来判断透镜的曲率偏大了还是偏小了。如果看不到牛顿环,则表明两者完全密合,说明达到标准要求;如果看到牛顿环,则说明被测的曲率半径小于或者大于标准值。牛顿环越多,则说明误差越大。用手轻压上面的标准件,若条纹往外扩大,则说明透镜表面的曲率半径偏大,应该进一步地研磨透镜的中心部分;若条纹往中心收缩,则说明透镜表面的曲率半径偏小,应该进一步地研磨透镜的边缘。如果想大致检验光学元件表面质量,当透镜出现缺陷时,可以看到同一级牛顿环的两端是不一样的,一端是正常的,而另一端却有更大的弯曲,使牛顿环不再是一个正常的圆。找到牛顿环不正常的地方,那里是透镜有缺陷的地方,并会发现不正常的牛顿环的两端的 r 是不一样的,根据 $h = \frac{r^2}{2R}$,会发现两端的高度是不一样的,算出两端的高度,求出高度差来反映缺陷的情况,即可对透镜的缺陷情况进行估计。

3 结论

根据上面的叙述可以看出,牛顿环装置的等厚干涉现象原理简单、应用广泛、易于操作。对上面的应用进行扩展,牛顿环的应用可以延伸到更广泛的科学及工程领域。

参考文献

- [1] 游璜,于国萍.光学[M].北京:高等教育出版社,2003:85-86.
- [2] 刘敏.牛顿环干涉实验在液体折射率测量中的应用[J].空军雷达学院学报,2011,25(5):32-33,57.
- [3] 刘海增,靳晋中.牛顿环现象及其应用[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2003,18(3):56-57,80.

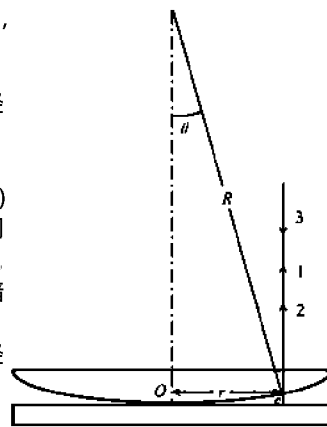


图1 牛顿环装置图