

用干涉显微镜测量薄膜厚度的改进与分析

许剑, 欧蔼庆, 黄佐华

(华南师范大学物理与电信工程学院, 广东广州 510006)

摘要:将干涉显微镜的应用推广到透明薄膜厚度的测量, 扩展了干涉显微镜的测量范围和应用领域. 基于菲涅耳公式, 分析了透明薄膜界面的反射. 根据白光干涉原理, 利用圆形样品台的定量移动, 实现了薄膜厚度的测量.

关键词:干涉显微镜; 白光干涉; 透明薄膜; 厚度

中图分类号: O436.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-4642(2008)02-0005-03

1 引言

干涉显微镜是迈克耳孙干涉仪和显微镜相结合的产物^[1-2], 是基于光的干涉原理测量样品表面的不平深度的仪器. 主要用于测量工件或零件表面的粗糙度和刻槽深度等, 以便评价样品的加工精度. 样品表面的深浅变化将导致进入显微镜的光程发生变化, 令干涉条纹产生错位. 通过测量错位量, 进而算出样品表面的不平深度. 受光的相干性和视场限制的影响, 干涉显微镜的测量范围通常在 $0.03 \sim 1 \mu\text{m}$ 之间.

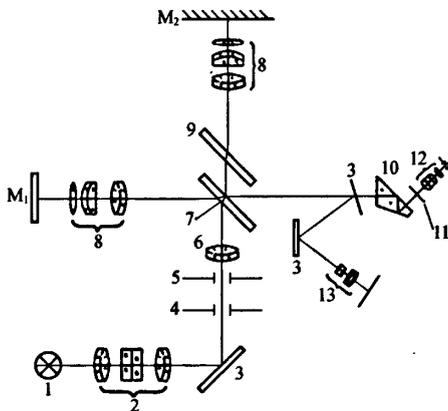
本文在 6JA 型干涉显微镜(上海光学仪器厂)原有的测量方法基础上进行了局部的改进, 利用圆形样品台的定量移动和白光干涉法, 扩展了显微镜测量范围, 并能测量有台阶薄膜(包括透明和非透明薄膜)的厚度.

2 干涉显微镜的结构与原理

2.1 干涉显微镜的结构

实验使用的干涉显微镜为 6JA 型, 其光学系统如图 1 所示, 属于双光束干涉系统. 光源发出的光经聚光镜投射到孔径光阑和视场光阑上, 通过照明物镜的光经分光板被分成 2 部分: 一部分反射, 另一部分透射. 被反射的光经物镜射向标准反射镜 M_1 , 再由 M_1 反射, 射向目镜. 从分光板上透射的光线通过补偿板、物镜射向样品表面 M_2 , 再由 M_2 反射, 通过分光板射向目镜. 在目镜分划板上 2 束光产生干涉. 从目镜中可以观察到

干涉条纹. 若样品表面平滑, 则干涉条纹是平直的. 当样品表面有深浅变化时, M_2 反射回来的光的光程将发生变化, 从而导致在目镜里观测到的干涉条纹发生弯曲. 通过测量干涉条纹的弯曲量, 就能算出样品表面的深度.



1—光源; 2—聚光镜; 3—反射镜; 4—孔径光阑; 5—视场光阑; 6—照明物镜; 7—分光板; 8—物镜; 9—补偿板; 10—转向棱镜; 11—分划板; 12—目镜; 13—摄像物镜

图 1 6JA 型干涉显微镜光学系统

2.2 计算公式

在单色光情况下, 样品表面不平深度 h 与条纹错位量的关系为^[1]

$$h = \frac{a}{2b} \lambda, \quad (1)$$

收稿日期: 2007-09-26; 修改日期: 2007-12-16

作者简介: 许剑(1985—), 男, 广东湛江人, 华南师范大学物理与电信工程学院 2004 级本科生.

指导教师: 黄佐华(1961—), 男, 广东茂名, 华南师范大学物理与电信工程学院教授, 硕士, 从事光电技术、光学信息研究及近代物理实验教学工作.

式中: b 为条纹宽度, a 为条纹错位量, λ 为单色光波长。

3 测量方法的改进

3.1 圆形样品台的定标与样品的测量

由于有台阶透明薄膜和不透明样品表面的深浅变化一样均能引起光程的变化,所以干涉显微镜原理上也能够测量有台阶透明薄膜的厚度。

在实际测量中,要在目镜视场中测量 $a > 3b$ 的条纹错位量比较困难,从而测量范围受到限制。利用圆形样品台能精确地上下移动且在侧面有等分小格(便于手工旋转)的特点,在圆形样品台的旁边放置 1 台移测显微镜,如图 2 所示,通过移测显微镜精确测量圆形样品台等分小格的移动量,从而间接测量出圆形样品台的升降量。而圆形样品台的升降量与样品 M_2 的移动量相等,并等于该光路光程改变量的 2 倍。

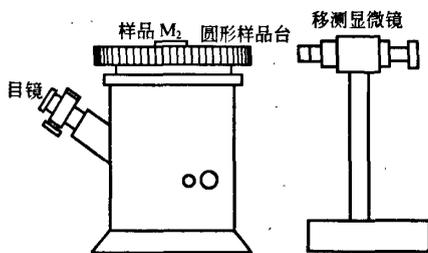


图 2 圆形样品台定标装置

为了定量测量圆形样品台的升降,必须得到圆形样品台升降量与等分小格移动量的关系,实现对样品台的定标。

圆形样品台定标装置如图 2 所示。在定标过程中采用 530 nm 的绿光。用目镜上的叉丝对准绿光干涉条纹,转动样品台,记下移动了 N 个条纹后,样品台转过的等分小格数为 m 。从而得到样品台旋转 1 个等分小格,圆形样品台升降量为

$$\frac{N}{m} 265 \text{ nm} . \quad (2)$$

在测量过程中,通过利用干涉条纹数目较少的白光干涉条纹,可以方便地确定样品台的位置,同时由移测显微镜测量圆形样品台旋转的小格数,就能够测量出薄膜测量过程中样品台上下的移动量。

在本实验中测得 $\frac{N}{m} = 4.52$,即旋转 1 个等分

小格,圆形样品台升降 1 197.8 nm。

3.2 透明薄膜样品反射面的确定和厚度计算

对于由空气、薄膜和基底组成的单层薄膜,样品界面的反射率由两边介质的折射率决定^[3]:

$$r = \left| \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right|^2 .$$

由此得空气和薄膜间的反射率为

$$r_{12} = \left| \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right|^2 , \quad (3)$$

薄膜和基底间的反射率为

$$r_{23} = \left| \frac{n_3 - n_2}{n_3 + n_2} \right|^2 . \quad (4)$$

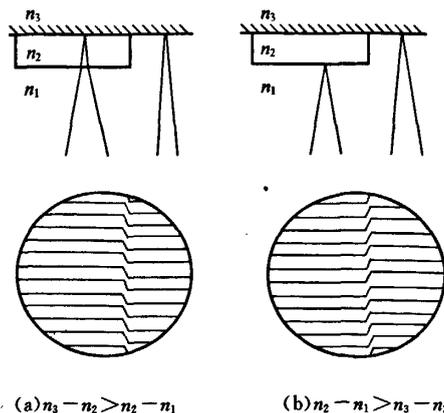
(3)和(4)式中 n_1, n_2 和 n_3 分别为空气、薄膜和基底的折射率。

在白光干涉测量中,关键是要确定薄膜的主要反射面。在不考虑吸收的情况下,对于单层薄膜这种三介质的样品,其主要反射面将取决于两反射面的反射率,通过计算各面的反射率,就能够确定主要反射面的位置。或者在测量过程中通过判断条纹错位的方向,也能够确定主要反射面的位置。

如图 3 所示,对于情况(a),例如基底为硅($n=3.85$),薄膜为氧化锌($n=1.9 \sim 2.0$)的样品,其主要反射面在基底。结合式(2)并且由图 3 中的几何关系可以得到薄膜厚度 h 为

$$h = 1197.8 \frac{l}{(n-1)} \text{ nm} , \quad (5)$$

式中: l 为样品台转过的格数, n 为薄膜的折射率。对于情况(b),基底为玻璃($n \approx 1.51$),薄膜为明胶($n \approx 1.50$)的样品,主要反射面在薄膜表面。结合式(2)并且由图3中的几何关系可以得到薄膜



(a) $n_3 - n_2 > n_2 - n_1$

(b) $n_2 - n_1 > n_3 - n_2$

图 3 单层薄膜反射面的确定及干涉条纹图像

厚度 h 为

$$h = 1\,197.8\lambda \text{ nm}. \quad (6)$$

3.3 较厚薄膜样品厚度的测量

把样品 M_2 放在圆形样品台上,移动圆形样品台,使物镜对准薄膜台阶的附近,调节干涉显微镜,使在视场内观察到白光干涉条纹并利用交叉丝记下其位置.运用移测显微镜记录圆形样品台等分小格的位置.然后,缓慢移动圆形样品台使物镜对准薄膜台阶的另一边,旋转圆形样品台使其向上或向下移动,直至白光干涉条纹再次出现并回到原位.通过移测显微镜记录圆形样品台转过的等分小格数,根据以上分析计算出薄膜的厚度.

4 实验与数据分析

4.1 较厚薄膜样品的测量

实验样品选择玻璃表面明胶薄膜,用白光干涉法进行测量,通过移测显微镜测定样品台的移动量,5次测量结果为:12.792,12.847,12.928,12.570,12.818 div.由(6)式可以得到明胶薄膜厚度 $(15.32 \pm 0.14) \mu\text{m}$.用美国进口的 xp-1 型台阶仪测量其厚度为 15 664.2 nm.可见,结果基本一样,这说明该方法具有较好的准确度和稳定性.该方法能应用在 μm 量级的薄膜样品厚度的测量,测量薄膜厚度范围取决于样品台的移动量.

4.2 较薄薄膜样品的测量

由于制作有台阶薄膜的工艺及技术限制,有时台阶的范围比较宽,可能会超出显微镜的视场,特别在测量较薄的薄膜时,需要水平移动圆形样品台,这时会出现圆形样品台高度差的变化,所以把样品调转 180° 后再次测量,通过让载物台反向移动来消除系统误差.为了考察干涉显微镜对较薄薄膜样品的测量精度,选择了硅表面氧化锌薄膜进行实验.测量结果见表 1.

由(5)式可以得到氧化锌薄膜厚度为 $(361 \pm 12) \text{ nm}$,其中氧化锌薄膜折射率取 1.90.用 xp-1 型台阶仪测量其厚度的结果为 391.3 nm.可见,

干涉显微镜对较薄样品薄膜厚度的测量也有较好的精确度.

表 1 硅表面氧化锌薄膜的移动量

No.	移动量/div	
	掉转前	掉转后
1	0.374	0.208
2	0.389	0.207
3	0.370	0.244
4	0.390	0.229
5	0.391	0.244

5 结束语

一般来讲,干涉显微镜只能测量在 $0.03 \sim 1 \mu\text{m}$ 范围内的不透明沟槽的深度和台阶薄膜的厚度,本文以圆形样品台的定量移动和白光干涉法为基础提出了一种改进的测量方法.该方法突破干涉显微镜测量范围在 $1 \mu\text{m}$ 以下的限制,拓宽了视场范围,也能用于透明薄膜厚度的测量,并且薄膜越厚测量精度越高,使显微镜的应用更加广泛.如能对仪器作进一步的改进,增加易于读数的刻度和相应的测量显微镜,将大大提高圆形样品台移动的精确度,有效地扩展仪器的测量范围和应用领域.

参考文献:

- [1] 黄佐华,何振江. 测量薄膜厚度及其折射率的光学方法[J]. 现代科学仪器,2003,(4):42-44.
- [2] 周佩瑶,徐玉兰,吴亚非. 用干涉显微镜测量薄膜厚度的分析[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),1999,20(2):33-36.
- [3] 钟锡华. 现代光学基础[M]. 北京:北京大学出版社,2003.
- [4] 李建民,王增波,南景宇,等. 基于等色干涉的膜分析[J]. 物理实验,2006,26(7):31-33.
- [5] 张森,唐芳,李华. 基于迈克耳孙干涉仪的激光多普勒实验仪及其实验[J]. 物理实验,2007,27(4):9-12.

(下转第 13 页)

金属稳定性不好,且退火中可能会生成 AlN, Ga₂O₃ 等绝缘层,使已经形成的欧姆接触变坏,稳定性恶化,退火后接触电阻会上下波动. 高温退火过程中可以形成 TiN, Al_xTi_{1-x} 等金属合金,界面处产生的 N 空位形成的重掺杂区,使得隧穿电流成为电流运输中主要机制,有利于提高欧姆接触的热稳定性和可靠性.

参考文献:

- [1] Luther B P. Investigation of the mechanism for ohmic contact formation in Al and Ti/Al contacts to N-type GaN [J]. Appl. Phys. Lett., 1997,70(1):57.
- [2] Adesida I, Ping A T, Youtseg C, et al. Characteristics of chemically assisted ion beam etching of GaN [J]. Appl. Phys. Lett., 1994,65:889.
- [3] 张跃宗,冯士维,张弓长,等. n-GaN 基 Ti/Al/Ni/Au 的欧姆接触高温特性 [J]. 半导体学报,2007,28(6):984.
- [4] 刘磊,陈忠景,何乐年. n-GaN 上 Ti/Al 电极的表面处理与退火 [J]. 半导体光电,2004,25(2):158.
- [5] 赵作明,江若璠,陈鹏,等. Si 基 GaN 上的欧姆接触 [J]. 功能材料与器件学报,2000,6(4):425.
- [6] 邵庆辉,叶志镇,黄靖云. GaN 基器件中的欧姆接触 [J]. 材料导报,2003,17(3):38.
- [7] Schmetz A C. Metal contacts to N-type GaN [J]. J. Electron Mater., 1998,27(24):255.
- [8] 尹以安,刘宝林. 低 p-GaN 欧姆接触电阻的研究 [J]. 光电子激光,2007,18(2):216.
- [9] 孙燕杰,何山虎,甄聪棉,等. CTLM 测量金属/半导体欧姆接触电阻率 [J]. 半导体光电,1999,20(4):241.
- [10] 裴凤丽,陈炳若,陈长清. GaN 蓝光 LED 电极接触电阻的优化 [J]. 半导体光电,2006,27(6):742.

Effect of etching and annealing condition on GaN ohmic contact

DING Hong-sheng, JIANG Zhong-sheng, LU Li-jun, DING Guo-jian

(Department of Physics, School of Applied Science,

University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Dry etching is used to expose the n area on GaN-based LED chip, and Ti/Au contact is deposited onto the n-GaN by e-beam evaporation, then the wafer is annealed in N₂ environment. The influence of different etching methods and power and different annealing conditions on the ohmic contact are investigated and discussed.

Key words: n-GaN; ohmic contact; etching; annealing

[责任编辑:任德香]

(上接第7页)

Improvement and analysis of measuring thickness using interference microscope

XU Jian, OU Ai-qing, HUANG Zuo-hua

(School of Physics & Telecommunication Engineering,

South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The interference microscope has been applied to the measurement of the transparent thin film thickness, thus the measurement range and the application field of the interference microscope have been expanded. Basing on Fresnel formula, the reflection on the interfaces of the transparent thin film has been analyzed. According to the principle of white light interference, the measurement of the film thickness is realized by using the quantitative movements of the circular sample holder.

Key words: interference microscope; interference of white light; transparent thin film; thickness

[责任编辑:任德香]