文章编号　2095-1531(2014)02-0326-06

透明软质薄膜的表面形貌测量

刘淑杰*,张元良,张洪潮
(大连理工大学 机械工程学院,辽宁 大连 116024)

摘要:为了实现光刻胶表面形貌的广域、高精度测量,对新一代测量理论及测量方法进行了研究。首先分析了被测物件的特性,根据其柔软、透明的特征提出应用光干涉法和机械探针相结合的方法进行测量,同时阐明了使用此方法进行表面形貌测量的优点,并据此原理搭建了光学多探针表面形貌测量装置,光学测量部分采用白光干涉计,探针部分采用拥有 8 只球型探头的多点悬臂测量探针。然后应用此装置对标准刻槽试件和半透明光造型薄膜试件进行了测量。测量 52 nm的标准刻槽试件时得到了测量误差小于 2%,标准偏差小于 1 nm 的结果,表明本装置可以达到高精度测量表面形貌的目的。通过测量高约 400 nm 的树脂材料证实了此装置可以克服多重反射的影响测量透明薄膜的表面形貌。

关　键　词:表面形貌测量;光刻胶;白光干涉;多点球形探针
中图分类号:O436.1; TB92; TP394.1　　**文献标识码**:A　　doi:10.3788/CO.20140702.0326

Profile measurement of thin transparentsoft film surface

LIU Shu-jie*, ZHANG Yuan-liang, ZHANG Hong-chao
(*School of Mechanical Engineering*, *Dalian University of Technology*, *Dalian* 116024, *China*)
* *Corresponding author*, *E-mail*: *liushujie@dlut.edu.cn*

Abstract: In order to realize a high-precision and wild area measurement for the surface profile of photoresist, we studied on a new measurement method. First, based on the physical properties of soft thin film, we proposed a method combining white light interferometer with mechanical ball cantilever to measure the surface profile. Then using this system, we did the measurement experiments on the notch and transparent material. The results show that for the notch, the precision of the system's measuring error is less than 2% and the measuring standard deviation is less than 1 nm, indicating that it is possible to measure the surface with high accuracy. For the transparent material, it shows that with this system the effect of multiple reflection on profile measurement can be overcome.

Key words: surface profile measurement; photoresist; white light interferometer; multi-probe

收稿日期:2013-10-16;**修订日期**:2014-02-18
基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 51205043);高等学校博士学科点专项科研基金新教师基金资助项目(No. 20120041120033)

1　引　言

目前半导体行业正朝着微细化、高集成化发展,高性能、低成本的半导体产业是信息技术高度发展的原动力。光刻技术在半导体集成化进程中有着极其重要的作用,通常会通过使用短波长照射光的方法来提高解像度,但是随着波长的缩短焦点深度会变浅,光刻胶表面的凹凸形状对曝光的影响就越来越大。在以往的光刻工艺中无需测量光刻胶薄膜的表面形貌,通过校正测量系统和焦点测量系统可将曝光位置控制在所需精度范围内。但是随着半导体技术不断向着更为细小的技术节点迈进,即使曝光面内的光刻胶表面凹凸差只有几十 nm 也可能对曝光精度产生很大影响。因此,光刻胶薄膜的表面形貌测量及其相应测量方法是半导体产业亟待研究的关键课题[1-3]。

现在用于表面形貌测量的方法主要分两大类,一类是利用光照射进行的非接触式测量,另一类是通过接触子与试件表面接触的接触式测量。

非接触测量法是利用光照射试件表面进行测量,而无需对试件表面加力,属于非侵袭性测量法[4],因此测量过程中试件不发生变形。白光干涉计,共焦点显微镜等是应用光波进行广域测量的代表仪器。在测量中,因为是非接触扫描,所以可实现高速测量,且通过光的位相和强度解析,在纵向测量精度很高。但横向分辨率依存于光源的半波长,所以相对于纵向分辨率比较低,同时对可透射光波的实验对象或因光轴角度而无法接收到反射光信号的实验材料不能实施测量。而对于半透明薄膜,由于光的多重反射的影响,很难得到正确的形貌特征,当薄膜厚度足够厚时没有问题,如果膜厚只有几百 nm(低于照射光波长几倍时),照射在薄膜表面形成的反射光和透过薄膜表面照射到薄膜底面产生的反射光就会发生干涉,如果把两者都视为正常的反射光来解析光的位相和高度的关系则不能反映正确的形貌信息。接触式测量法因为测量过程中接触子与试件表面相接触所以是信赖度比较高的测量方法。在纵向面的测量精度较高,可以测得 1 nm 以下的精度。选择适当的接触子还可以实现面内横向的高测量精度。但是,它的不足是接触时对试件表面产生力的作用,可能引起试件表面的变形,在广域范围测量时相对需要较长的时间,导致速度低。典型的接触式测量仪器有原子间力显微镜(AFM)、表面粗糙度计等[5-6]。

本研究将在分析薄膜特性的基础上提出一种新的测量方法来实现光刻胶表面形貌的测量,并根据提出的方法搭建了试验装置,通过基础实验证明所提方法的可行性。

2　薄膜表面形貌测量方法

2.1　薄膜特性

本研究中测量对象—光刻胶薄膜具有以下特征:(1)薄膜厚度为几百 nm;(2)表面形貌变化缓和,起伏周期为 0.2 ~ 20 mm,振幅为几十 nm;(3)材质"柔软",经实验测量弹性模数为 30 GPa,约为硅的 1/7;(4)透明或者半透明。

采用非接触法测量法存在的问题与薄膜的半透明性及厚度相关,光刻胶的厚度在几百 nm 时,易发生多重干涉现象,如图 1 所示,所以白光干涉计本身难以实现本次测量。共焦点显微镜也是要提取上下表面的合焦点信号来测量,所以也会有多重干涉现象。用接触式测量方法测量大面积涂覆在硅片上的光刻胶表面形貌花费时间较长。探针与薄膜表面接触还可能会使表面形

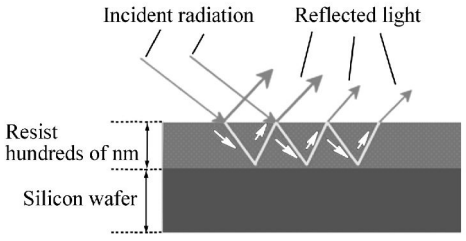

图 1　薄膜多重干涉现象

Fig. 1　Multiple interference phenomenon in the film

貌发生变化。由于需要测量的光刻胶薄膜起伏周期为几百 μm,高度差为 10 nm 左右,所以为了把握光刻胶的大概形状,需要对纵向分辨率进行高精度测量,而横向分辨率则不需要高精度测量,也不需要检测特殊的高频成分,所以在面内横向拥有高分辨率的接触式测量在这里也不能发挥长处[7]。

值得注意的是,光计测法在原理上很难单独实现薄膜测量,而接触法虽然比较费时间,但如果施加在光刻胶表面的力的影响可以微小到可忽略程度,那么形状测量本身是可以实现的。也就是说如果解决了测量时间以及由接触产生的对试件的影响问题就可以实现光刻胶表面的测量[8]。

针对以上问题我们提出了应用光学测量和机械探针相结合的方法来实现表面形貌测量[9]。

2.2 表面测量方法的工作原理

光学测量和机械探针相结合的测量方法如图2所示。

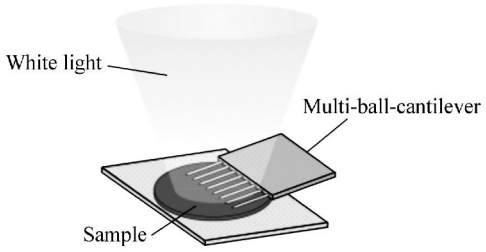

图2 光和接触探针结合的测量方法原理

Fig. 2 Proposal of optical-mechanical probe measurement method

该测量方法主要有以下3方面特点:

(1)光干涉测量和机械探针接触测量相结合解决了光的多重干涉问题

图3表示光-探针组合测量方法的基本原理,在透明薄膜上加载可以反射光波的介质,用光学扫描方式(非接触方式)测量介质的上表面,得到介质上表面的纵向数据信息,减掉介质自身的厚度,计算得到薄膜表面的纵向信息。也就是说,通过在光学测量仪器和薄膜试件之间加入无多重反射的介质,间接得到薄膜的表面形貌。

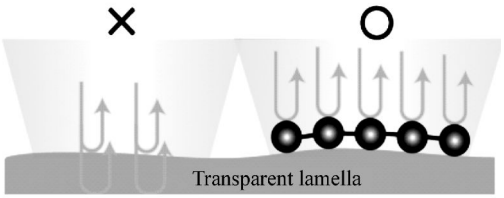

图3 光和探针测量组合

Fig. 3 Optical measurement combined with probe

(2)探针部分应用多个球状探针

探针前端与被测物接触部分拥有一定的直径,可以减少接触时对薄膜表面的影响;使用多个探针可实现广域测量。

应用线性排列的多点球状探针进行测量,如图4所示。用光学方法扫描探针上表面可以避免直接测量薄膜时产生的多重干涉现象,同时接触用探针部分采用大直径球状设计,减小接触所带来的形状影响。

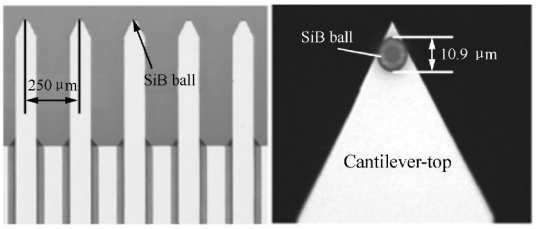

图4 多点球状探针

Fig. 4 Spherical multi-cantilever

(3)应用白光干涉计实现高速、大面积扫描测量

在研究中应用白光干涉计 NewView 系列作为扫描型光学测量仪器,采用白光干涉的原理对高精度的工件表面进行三维形状检测。采用气浮式工作台,可定性、定量地测量表面的粗糙度、波纹度、平整度、刻槽高度等,具有拼接及微观几何形状误差分析功能。具体可实现:(1)纵向测量范围为 1 nm ~ 15 000 μm;(2)标准刻槽测量再现性在 0.5% 以下;(3)标准刻槽测量正确性在 0.75% 以下;(4)RMS 再现性为 0.1 nm。本研究可实现大面积扫描及纵向高精度测量。

基于以上测量原理,我们开发并试做了光学

多点球状探针测量装置[1],如图 5 所示。接触部采用了 8 只触手探针。探针前端的球直径为 10.9 μm,材料为 SiB,各球间的距离为 250 μm。上方的光学显微镜采用 ZYGO 公司 NewView 5000 白色光干涉仪,在高速扫描状态下,测量轮廓范围在 1 nm ~ 15 000 μm,垂直分辨率可达 0.1 nm。下面将通过基础实验来考察此装置的测量性能[10]。

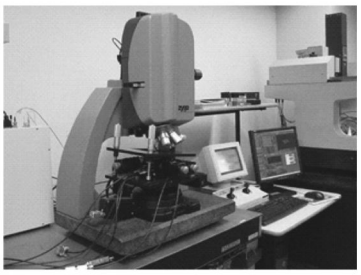

图 5　光学多点球状探针测量装置

Fig. 5　Measurement system with white light interferometer and multi-ball cantilever

3　测量实验

3.1　标准刻槽实验

本实验应用所开发装置测量如图 6 所示的高 52 nm、宽 100 μm 的标准刻槽试件,用球状探针与标准刻槽表面接触,在标准刻槽部分和平坦部分分别测量数点,然后用白光干涉计测量其上表面信息,求取相对位置,对取得数据进行校正计算,得到了如表 1 所示的测量结果,测量误差小于 2%,标准偏差为 0.9 nm,达到了高精度测量的目的。

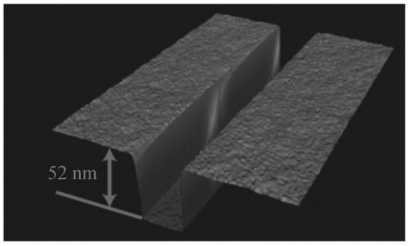

图 6　标准刻槽试件形貌

Fig. 6　Topography of the notch

表 1　标准刻槽测量结果

Tab. 1　Measurement results of notch

测量次数	高度/nm
1	50.8
2	51.6
3	50.7
4	51.5
5	52.5
6	49.8
平均值	51.2
标准差	0.9

3.2　半透明薄膜实验

本实验采用厚约 200 ~ 400 nm、直径 50 ~ 60 μm的半透明光造型薄膜材料作为测试对象,如图 7 所示。此光造型试件在白光干涉计测量下会发生多重反射,得到非连续的测量形状,如图 8 所示。用所开发的光学多点球状探针装置测量可以得到连续形状,如图 9 所示。在此半透明薄膜

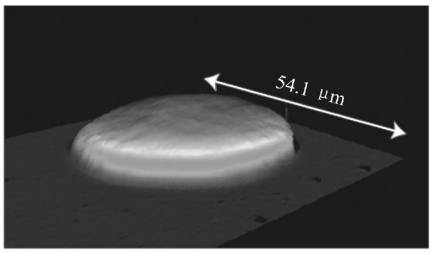

图 7　光造型试件形貌

Fig. 7　Topography of transparent material

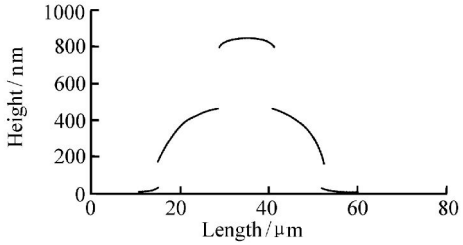

图 8　白光干涉计下的半透明薄膜形貌

Fig. 8　Topography of thin film under the white light interferometer

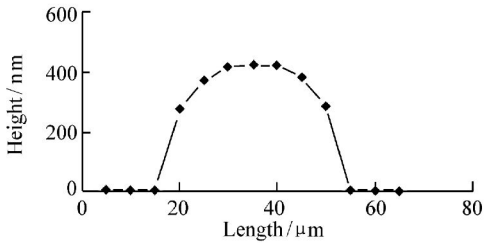

图9 球状探针测量的半透明薄膜形貌

Fig. 9 Topography of semitransparent film under the spherical probe

材料镀上反射薄膜后,再次应用白光干涉计进行测量可得到连续的表面形貌曲线。实验表明所开发装置可以克服多重反射的影响,测量薄膜的表面形貌。

4 结 论

为了测量光刻胶表面形貌特征,本文提出了应用光学测量和球形探针接触测量相结合的方法,并依此原理建立了光机械探针原子力显微镜测量装置。通过对标准刻槽试件和半透明薄膜试件的测量,对实验装置进行了评价。标准刻槽实验中用球状探针与标准刻槽表面接触,然后用白光干涉计测量其上表面信息,求取相对位置,通过多次测量得到了测量误差小于2%,标准偏差为0.9 nm的结果,标准刻槽实验证明了本装置可实现高精度的测量。应用扫描型测量法进行了光造型薄膜试件的测量实验,用白光干涉计针对镀反光膜前后的试件表面形貌进行测量,同时采用光探针组合测量镀膜前后的形状并进行对比,证明本装置可以对白光干涉计所不能测量的透明薄膜形状进行表征。后续将对扫描型测量方法的精度进行进一步探索,同时还将对网格状多点探针测量进行研究。

参考文献:

[1] International Technology Roadmap for Semiconductor(ITRS 2009),2010.

[2] CONLEY W,BENDIK J. Is ArF the final wavelength[J]. *Proc SPIE*,2004,5376:16-20.

[3] 巩岩,张巍. 光刻曝光系统的现状及发展[J]. 中国光学,2008,1(1):25-35.
GONG Y,ZHANG W. Present status and progress in 193 nm exposure[J]. *Chinese Optics*,2008,1(1):25-35. (in Chinese)

[4] 吴兆喜,黄元庆. 基于光学原理的三维形貌测量技术研究[J]. 光学技术,2006,32:654-658.
WU ZH X,HUANG Y Q. Study on optical methods for 3-D shape measurement[J]. *Opt. Technique*,2006,32:654-658. (in Chinese)

[5] 王佳,赵洋,张书练,等. 纳米计量学与纳米计量测试技术(一)[J]. 航空计测技术,1995,15(5):3-5.
WANG J,ZHAO Y,ZHANG SH L,*et al*.. Nano metrology and nano metrology testing technology(1)[J]. *Aviation Metrology & Measurement Technology*,1995,15(5):3-5. (in Chinese)

[6] 张立超,高劲松. 长春光机所深紫外光学薄膜技术研究进展量[J]. 光学 精密工程,2011,11(20):2395-2401.
ZHANG L CH,GAO J S. Developments of DUV coating technology in CIOM[J]. *Opt. Precision Eng.*,2011,11(20):2395-2401. (in Chinese)

[7] FUKUDA K,ITO T,KOBAYASHI M. Nano indentation of the resist for electron beam lithography[J]. *JSME Annual Meeting*,2003(4):105-106.

[8] 王淑珍,谢铁邦,常素萍. 复合型超精密表面形貌测量仪[J]. 光学 精密工程,2011,19(4):828-835.
WANG SH ZH,XIE T B,CHANG S P. Combined profilometer for ultra-precision surface topography[J]. *Opt. Precision Eng.*,2011,19(4):828-835.

[9] LIU S,NAGASAWA S,TAKAHASHI S,*et al*.. Development of a multi-ball-cantilever AFM for measuring resist surface [J]. *J. Robotics and Mechatronics*,2006,18(6):698-704.

[10] ZYGO C. NewView Accessories. Product guide for the NewView 3D Surface Profiler,2001.

作者简介:

刘淑杰(1977—),女,黑龙江双鸭山人,博士后,讲师,1999 年于吉林大学获得学士学位,2007 年于日本东京大学获得博士学位,主要从事表面形貌测量及产品寿命评估理论的研究。E-mail:liushujie@dlut.edu.cn

张洪潮(1953—),男,博士,教授,1989 年于丹麦科技大学获得博士学位,主要从事可持续制造、绿色制造等方面的研究。E-mail:Hongchao18@163.com

张元良(1959—),男,博士,副教授,1998 年于大连理工大学获得博士学位,主要从事精密测量、测控技术与仪器方面的研究。E-mail:zlygzh@yahoo.com.cn

《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊,A4 开本;刊号:ISSN 2095-1531/CN 22-1400/O4;国内外公开发行,邮发代号:国内 12-140,国外 BM6782。

★ 荷兰 Scopus 数据库
★ 美国《乌利希国际期刊指南》
★ 美国《化学文献》
★ 波兰《哥白尼索引》
★ 俄罗斯《文摘杂志》
★ 中国光学学会会刊
★ 中国科技核心期刊数据库
★ 中国期刊全文数据库
★ 万方数字化期刊全文数据库
★ 中国科技期刊数据库
★ 中国光学期刊网数据库

主要栏目:微纳光学、信息光学、集成光电子、光谱学和光谱仪器、激光技术与应用、光学功能材料、光学设计与工艺、大气与空间光学、光学仪器与测试、综述等。

发稿类型:学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿。

主管单位:中国科学院
主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
编辑出版:《中国光学》编辑部
投稿网址:http://chineseoptics.net.cn
邮件地址:chineseoptics@ciomp.ac.cn; zggxcn@126.com
联系电话:0431-86176852; 0431-84627061　　传　　真:0431-84627061
编辑部地址:长春市东南湖大路 3888 号(130033)