

# 采用 CCD 器件的半导体材料 应力测试仪的研制

周 端 杨银堂

(西安电子科技大学微电子所, 西安 710071)

**摘要** 研究和实现了采用面阵 CCD 器件的半导体材料应力测试仪。介绍了测量原理, 设计完成了相应的光学测量系统、硬件控制系统和控制测量所需的软件。最后介绍了对硅上  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜应力实际测量的结果。

**关键词:** 面阵 CCD; 应力测量; 薄膜; 微型计算机

## 1 引 言

在集成电路的制造过程中, 需要在半导体衬底芯片上淀积各种材料的薄膜, 如  $\text{SiO}_2$  膜、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜等。由于薄膜的衬底材料之间特性的差别和器件制造工艺过程的影响, 在器件材料中产生应力。应力的作用会使半导体芯片发生形变, 可能造成芯片中互连线的断裂, 参数的漂移等问题, 引起可靠性下降。随半导体集成度的提高, 器件芯片尺寸的缩小, 材料应力对器件的影响越来越大。近几年来, 应力的作用已成为国际上器件可靠性物理研究的重要领域和常规半导体工艺监控的一种方法。本文介绍的是基于基片弯曲法的薄膜应力测试仪, 采用面阵 CCD 作为检测手段, 从而提高了测量精度。该仪器的研制为解决半导体器件制造过程中的工程实际问题提供了一个有力的分析测试手段。

## 2 测量原理

测量装置如图 1 所示。由激光源、棱镜、样品台、面阵 CCD 组成的光学测量系统和一个可移动的样品台构成。样品台的温度可以控制, 以便测量应力随温度的变化情况。测量时, 被测样品置于一个可以移动的样品台上, 由激光源发出的光束受到样品表面的反射, 经过一段光程

$L$  后,在面阵 CCD 的一定位置产生一个光点。当样品台由步进电机带动沿  $X$  方向移动一段距离  $\Delta x$  时,由于样品的弯曲,使激光由基片反射到棱镜斜面的光点位置发生变化,从而使 CCD 面阵上的光点位置移动  $\Delta d$ 。

基片弯曲的曲率半径为

$$R = \frac{\Delta S}{\Delta\alpha} \quad (1)$$

Fig. 1 Conceptual diagram of curvature method

其中  $\Delta S$  为弧长增量,  $\Delta\alpha$  为对应的弧切线倾角增量。由于样品的曲率半径  $R$  远大于样品尺寸,所以样品移动距离  $\Delta x$  可以看作弧长的增量,即  $\Delta S = \Delta x$ 。当光线垂直入射于样品表面时,可以得到测试装置的简化光路图,如图 2 所示。其中

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \frac{\Delta\alpha}{2}$$

$$ACB = 2\Delta\alpha$$

当样品移动  $\Delta x$  时,CCD 面阵上光点移动  $\Delta d$ 。由于反射光程  $L$  大于光点移动距离 ( $L \gg \Delta d$ ),可以将  $\Delta d$  视为  $L$  的一段弧,从而有

$$EBF = \frac{\Delta d}{L}$$

由图 2 可看出,

$$EBF = ACB$$

则

$$ACB = \frac{\Delta d}{L}$$

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta d}{2L}$$

$$R = \frac{\Delta S}{\Delta\alpha} = 2L \times \frac{\Delta x}{\Delta d} \quad (2)$$

在测量出  $\Delta x$ 、 $\Delta d$  后,就可求得基片的曲率半径  $R$ 。由此得到该基片的应力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{E}{6(1-\nu)} \times \frac{t_s^2}{t_f} \times \frac{1}{R} \quad (3)$$

其中  $E$  和  $\nu$  分别为衬底材料的杨氏模量和泊松比,  $t_s$  和  $t_f$  分别为衬底和薄膜的厚度,皆为已知。 $R$  为通过计算得到的基片曲率半径,基片的应力由公式(3) 计算得出。基片的应力分为张应力和压应力两种基本类型。张应力使原来无应力的基片下凹,而压应力使基片上隆。若屏上光点移动方向与样品移动方向一致,则被测表面为凸面,  $\Delta d$  取负值,计算出的应力带负号,表示该应力是压应力。反之,被测表面为凹面,  $\Delta d$  取正值,应力为张应力。

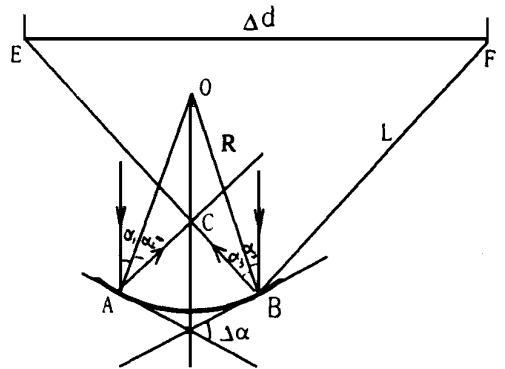
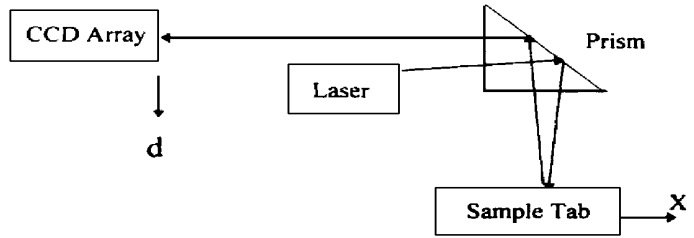


Fig. 2 Simplified light map

### 3 测量系统的构成

#### 3.1 硬件设计

测量系统的硬件结构如图 3 所示。

由样品反射激光经物镜聚焦为一光点,射向 CCD 摄像机。由计算机产生 CCD 工作所需要的各种脉冲信号,并从 CCD 面阵器件取出含有光点位置信息的全电视信号。视频处理部分将全电视信号中的同步信号去掉,分离出图像灰度信号,并将灰度信号送 8 位 A / D 转换器。模拟的视频信号被数字化后,在时序电路的控制

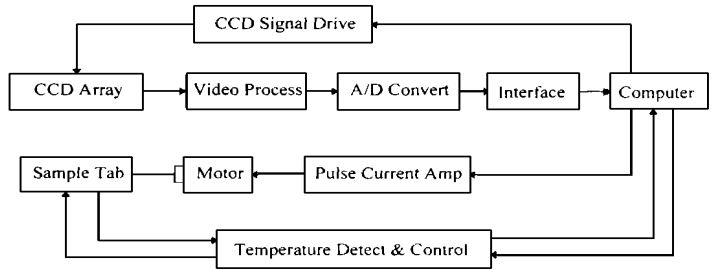


Fig 3 Hardware configuration of measuring system

下,进入在微机内存开设的图像缓存区中。在这里 A / D 转换器采用的是高速视频转换芯片 CA 3318CE,其最高转换速率为 15 MHz,这里使用的 A / D 转换速率为 10 MHz。

样品台的移动由 3F003 步距角 1.5 的步进电机控制,步进电机的驱动脉冲由主机送出。为了测试样品在不同温度下的应力变化情况,在样品台中设有加热控制装置。

#### 3.2 软件设计

软件设计的主要任务是从 CCD 摄像机输出的视频信号中取出图像信号的灰度值,并用质心算法确定出 CCD 光斑的质心坐标。这一部分分别由汇编语言模块和 C 语言模块组成。数据读取和数据传送是用汇编语言编制的。主程序,数据处理部分,包括取背景子程序,质心计算子程序用 C 语言编制。

另外,测试应力随温度变化时,需软件与硬件相配合实现样品台的温度按设定斜率升温并在设定温度下恒温。位移的控制由步进电机的转动带动执行机构实现样品台的移动。

软件流程如图 4 所示。

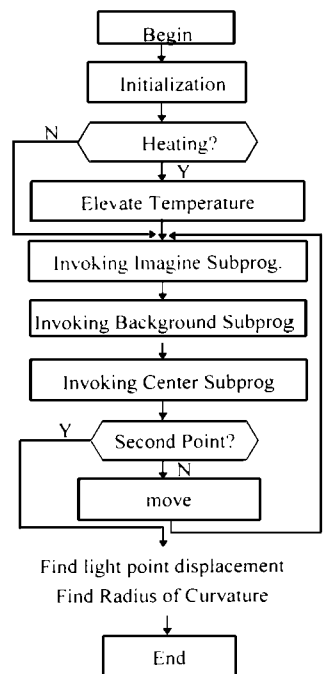


Fig 4 Flow diagram

### 4 实验结果

采用该应力测量装置,测试了硅上的 SiO<sub>2</sub> 膜和硅上的 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 膜的应力随基片温度变化的情况。Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 膜上的应力为张力,其值为正,应力大小随温度升高而增加。SiO<sub>2</sub> 膜上的应

力为压应力, 其值为负, 应力的随温度的增加而降低。测量数据如表 1 所示。

Table 1 Measurement results of stress in  $\text{Si}_3\text{N}_4$  and  $\text{SiO}_2$  films

$T$ ( )	25	100	200	300	400	500
$\sigma_{\text{Si}_3\text{N}_4}$ (Pa)	$-3.3 \times 10^8$	$-3 \times 10^8$	$-2.6 \times 10^8$	$-2.1 \times 10^8$	$-2 \times 10^8$	$-1.3 \times 10^8$
$\sigma_{\text{SiO}_2}$ (Pa)	$1.0 \times 10^9$	$1.1 \times 10^9$	$1.2 \times 10^9$	$1.3 \times 10^9$	$1.4 \times 10^9$	$1.5 \times 10^9$

## 5 结 束 语

实验结果证明采用 CCD 面阵进行薄膜应力测试是可行的。采用微机与 CCD 成像元件的组合, 可以充分发挥 CCD 分辨率高, 微机数据处理精确快速的特点, 消除了人工读取光点数据所带来的误差, 提高了测量的准确性。微机对样品位移、温度的控制, 使原来分别控制的部分一体化, 使仪器的使用方便灵活, 具有重要的实际意义。

### 参 考 文 献

- [1] Peter Singer: Film Stress and How to Measure It Semiconductor International, 1992, 15(10): 54~ 58
- [2] 杨银堂等 器件测量方法的研究 西安电子科技大学学报, 1992, 19(13): 51~ 57
- [3] 王庆有, 孙学珠 CCD 应用技术 天津: 天津大学出版社, 1993: 118~ 135
- [4] 李伯成等 IBM PC 系列微型机开发与应用 西安: 西安电子科技大学出版社, 1992

## Application of Area-array CCD in Semiconductor Material Stresses Measuring

Zhou Duan, Yang Yintang  
(Xiidian Univ, Xi'an 710071)

### Abstract

An instrument based on area-array CCD devices for measuring stresses in semiconductor materials is studied and realized. The basic principle of measurement is presented. The optical system, hardware controlling system and measuring software are designed. The experimental results of stresses in  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Si}_3\text{N}_4$  film on Si substrate are given.

**Keywords:** Stress measuring, Area-array CCD, Thin film, Microcomputer

周 端 女, 1982 年毕业于西北电讯工程学院半导体专业。1996 年获西安电子科技大学计算机应用专业硕士学位。目前在西安电子科技大学计算机学院从事计算机方面的科研和教学工作。主要研究方向为计算机在测量和控制中的应用及新型传感器技术。