



中华人民共和国国家标准

GB/T 40279—2021

硅片表面薄膜厚度的测试 光学反射法

Test method for thickness of films on silicon wafer surface—
Optical reflection method

2021-08-20 发布

2022-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国半导体设备和材料标准化技术委员会(SAC/TC 203)与全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会(SAC/TC 203/SC 2)共同提出并归口。

本文件起草单位：有研半导体材料有限公司、山东有研半导体材料有限公司、浙江金瑞泓科技股份有限公司、优尼康科技有限公司、中环领先半导体材料有限公司、浙江海纳半导体有限公司、麦斯克电子材料股份有限公司、翌颖科技(上海)有限公司、开化县检验检测研究院。

本文件主要起草人：徐继平、宁永铎、卢立延、孙燕、张海英、由佰玲、潘金平、李扬、胡晓亮、张雪囡、楼春兰、盘健冰。



硅片表面薄膜厚度的测试 光学反射法

1 范围

本文件规定了采用光学反射法测试硅片表面二氧化硅薄膜、多晶硅薄膜厚度的方法。

本文件适用于测试硅片表面生长的二氧化硅薄膜和多晶硅薄膜的厚度,也适用于所有光滑的、透明或半透明的、低吸收系数的薄膜厚度的测试,如非晶硅、氮化硅、类金刚石镀膜、光刻胶等表面薄膜。测试范围为 15 nm~10⁵ nm。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14264 半导体材料术语

3 术语和定义

GB/T 14264 界定的术语和定义适用于本文件。

4 方法原理

入射光接触薄膜表面后,穿透薄膜到达基底,在薄膜的上下界面分别发生反射和折射,总反射光是这两部分反射光的叠加。因为光的波动性,这两部分反射光的相位可能干涉相长(强度相加)或干涉相消(强度相减),而相位关系取决于这两部分反射的光程差。光程是由薄膜厚度、光学常数、光的波长、反射率和折射率决定的。

当薄膜内光程等于光波长的整数倍时,两组反射光相位相同,则干涉相长,即呈现测试图形波峰位置;相反,薄膜内光程是波长整数倍的二分之一时,两组反射光相位相反,则干涉相消,即呈现测试图形波谷位置。

通过光谱仪收集不同波长下的反射信号,得到薄膜上下表面的反射干涉光谱曲线。用人工图解或借助仪器自带软件完成曲线拟合并取极值点进行计算,最终获得薄膜的厚度。

5 干扰因素

5.1 环境中强光、磁场、温度、湿度等波动会影响测试结果。

5.2 样品的表面粗糙度也会影响测试结果,在非镜面样品表面的直接测试会因为界面不平坦带来测试结果的误差增大,甚至产生错误的结果,对样品表面进行镜面抛光处理可解决上述问题,达到良好的测试效果,例如,测试硅腐蚀片表面的二氧化硅薄膜,通常是用硅单晶抛光片作为陪片,测试在抛光面上生长的二氧化硅薄膜厚度来完成的。同时应保证样品表面洁净,以免影响光程差。

5.3 样品表面的薄膜与作为样品衬底的材料有时候不能拟合出理想的曲线,需要在两者之间加一层其

他材料。例如,测试硅片表面的多晶硅薄膜厚度时,需要在硅单晶抛光片表面先生长一层二氧化硅薄膜,在该二氧化硅薄膜表面再生长多晶硅薄膜。

5.4 本方法测试的薄膜如果太薄,达不到一个周期的反射率振荡,则不能产生足够的信息来确定薄膜厚度计算时的系数 A 和 B (见第 11 章),因而影响薄膜厚度计算的准确性,这时需要通过调节入射波长等条件达到理想的拟合曲线。

5.5 对于不同材料的薄膜,其折射率、反射率、消光系数都是不同的,同时,对于较宽泛的厚度范围,使用单一的厚度校准样品也会引起测试的不准确,甚至错误的测试结果,因此对不同材料、不同的厚度范围的样品建议使用不同的校准样品。

6 试验条件

6.1 测试宜在 GB/T 25915.1—2010 规定的 6 级或优于 6 级的洁净实验室中进行,温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $30\% \sim 50\%$ 。

6.2 测试台不应有较强振动和电磁场干扰。

6.3 样品不应受到强光直射。

7 仪器设备

7.1 光学反射法的测试设备一般由光源、光谱仪、光纤、组合镜头、样品台和计算机控制系统组成,如图 1 所示。

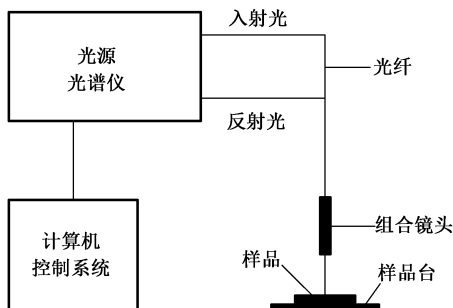


图 1 测试系统结构示意图

7.2 光源:波长范围为 $190\text{ nm} \sim 1\,050\text{ nm}$ 的白光和紫外光光束,通常使用卤钨灯和氙灯。

7.3 光谱仪:用于接收反射光束。

7.4 光纤和组合镜头:用于传输和接收发射光和反射光。

7.5 样品台:用于承载测试样品。

7.6 计算机控制系统:用于控制测试和数据处理。

8 样品

8.1 二氧化硅薄膜样品:在硅单晶抛光片表面生长二氧化硅薄膜获得的样品。

8.2 多晶硅薄膜样品:在硅单晶抛光片表面生长二氧化硅薄膜,然后在二氧化硅薄膜表面生长多晶硅薄膜获得的样品。

9 校准

- 9.1 空白校准:将没有二氧化硅薄膜、多晶硅薄膜的洁净硅单晶抛光片置于样品台上并测试,进行空白校准。
- 9.2 二氧化硅薄膜厚度校准:使用二氧化硅薄膜厚度校准样品(硅单晶抛光片表面生长二氧化硅薄膜)进行校准,二氧化硅薄膜厚度的测试偏差应不超过±0.5%,否则重新从 9.1 开始操作。
- 9.3 多晶硅薄膜厚度校准:使用多晶硅薄膜厚度校准样品(硅单晶抛光片表面生长二氧化硅薄膜,然后在二氧化硅薄膜表面生长多晶硅薄膜)进行校准,多晶硅薄膜厚度的测试偏差应不超过±1.5%,否则重新从 9.1 开始操作。

10 试验步骤

- 10.1 将待测样品放置于样品台上。
- 10.2 根据测试样品类型选定好测试程序。测试二氧化硅薄膜样品时,应预设二氧化硅薄膜厚度和测试波长范围;测试多晶硅薄膜样品时,应预设多晶硅薄膜厚度、隔离层二氧化硅薄膜厚度和测试波长范围。
- 10.3 按照设备说明书进行操作,开始测试。测试时测试曲线和标准曲线应满足波峰对波峰,波谷对波谷的要求。
- 10.4 记录数据,根据第 11 章,计算机软件系统或人工进行数据处理,计算得到薄膜厚度。

11 试验数据处理

11.1 薄膜厚度 d 按公式(1)计算:

$$d = \frac{1}{4} \left[\frac{n_{\lambda_{m+\frac{1}{2}}}}{\lambda_{m+\frac{1}{2}}} - \frac{n_{\lambda_m}}{\lambda_m} \right]^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

d ——薄膜厚度,单位为纳米(nm)。

$n_{\lambda_{m+\frac{1}{2}}}$ ——薄膜在入射光波长 $\lambda_{m+\frac{1}{2}}$ 时的光学折射率。

$\lambda_{m+\frac{1}{2}}$ ——拟合曲线上取极值点 $m + \frac{1}{2}$ 时对应的入射光波长,单位为纳米(nm);

n_{λ_m} ——薄膜在入射光波长 λ_m 时的光学折射率;

λ_m ——拟合曲线上取极值点 m 时对应的入射光波长,单位为纳米(nm)。

详细的薄膜厚度计算按附录 A 进行。

11.2 测试不同材料表面薄膜厚度时, λ 和 n_λ 会有不同的取值。例如,硅片表面二氧化硅薄膜厚度的相应参数取值见表 1。

表 1 硅片表面二氧化硅薄膜厚度测试对应参数

项目	要求		
	波峰(m)	波谷($m + \frac{1}{2}$)	波峰($m + 1$)
波长 λ /nm	427	587	856
折射率 n_λ	1.467 48	1.458 32	1.452 91

12 精密度

各取 3 片薄膜厚度 300 nm~800 nm 的二氧化硅薄膜样品和薄膜厚度 800 nm~1 200 nm 的多晶硅薄膜样品在 4 个实验室进行巡回测试,每个样品分别测试 10 次。

单个实验室二氧化硅薄膜厚度测试的标准偏差为 0.01 nm ~0.16 nm,多晶硅薄膜厚度测试的标准偏差为 0.01 nm~0.48 nm。多个实验室二氧化硅薄膜厚度测试的相对标准偏差为 0.24%~0.65%,多晶硅薄膜厚度测试的相对标准偏差为 0.56%~1.21%。

13 试验报告

试验报告应至少包括以下内容:

- a) 测试日期;
- b) 操作者;
- c) 测试设备及型号;
- d) 样品名称及类型;
- e) 样品编号;
- f) 测试结果;
- g) 本文件编号。

附录 A
(规范性)
薄膜厚度的计算

A.1 根据菲涅耳(Fresnel)公式,垂直入射时两束反射光形成干涉,光谱曲线见公式(A.1):

$$R = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1}\sqrt{R_2}\cos\frac{4\pi n_\lambda d}{\lambda} \dots\dots\dots (A.1)$$

- 式中:
- R ——薄膜上下界面两束反射光形成干涉光的反射率;
 - R_1 ——薄膜上表面反射光的反射率;
 - R_2 ——薄膜下表面反射光的反射率;
 - n_λ ——薄膜在入射光波长 λ 下的光学折射率;
 - d ——薄膜厚度,单位为纳米(nm);
 - λ ——入射光波长,单位为纳米(nm)。

公式(A.1)表明,对于确定的光程 nd ,薄膜上下界面反射形成的干涉光与入射光波长倒数 $1/\lambda$ 存在余弦关系,如图 A.1 所示。随入射光波长 λ 的增大,函数曲线周期变宽,在相同的波长下,较厚的薄膜产生更多的振荡,较薄的薄膜产生较少的振荡,并且常常只有一个振荡的一部分。

在测试薄膜厚度时,利用函数曲线两个或两个以上的极值点(如 m 点和 $m + \frac{1}{2}$ 点),计算出每个极值点处的波长值 λ 以及相应的 n_λ 值。

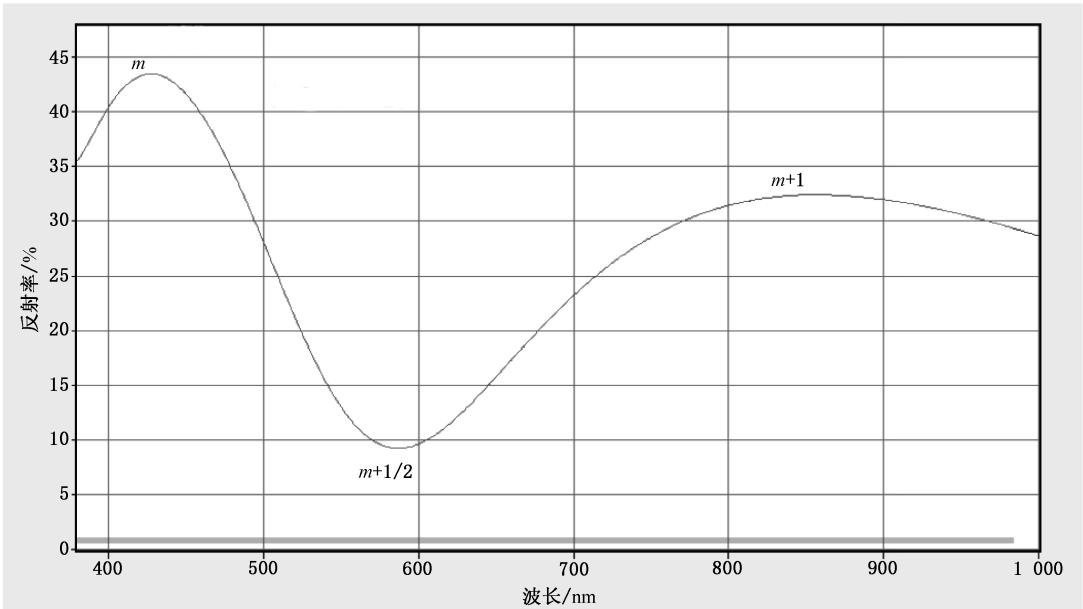


图 A.1 反射率 R 与入射光波长 λ 的关系曲线

A.2 设置系数 A 、 B ,分别见公式(A.2)、公式(A.3):

$$A = R_1 + R_2 \dots\dots\dots (A.2)$$

$$B = 2\sqrt{R_1}\sqrt{R_2} \dots\dots\dots (A.3)$$

则公式(A.1)简化为公式(A.4):

$$R = A + B \cos \frac{4\pi n_{\lambda} d}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

当 $\frac{4\pi n_{\lambda} d}{\lambda} = 2\pi m$ 时, $\cos \frac{4\pi n_{\lambda} d}{\lambda} = 1$, 则公式(A.4)等于公式(A.5):

$$R_m = A + B \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

此时 R 为最大值, 即波峰位置处;

当 $\frac{4\pi n_{\lambda} d}{\lambda} = 2\pi\left(m + \frac{1}{2}\right)$ 时, $\cos \frac{4\pi n_{\lambda} d}{\lambda} = -1$, 则公式(A.4)等于公式(A.6):

$$R_{m+\frac{1}{2}} = A - B \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

此时 R 为最小值, 即波谷位置处。

A.3 在波峰 m 处, λ 、 n_{λ} 与 m 的关系见公式(A.7):

$$\frac{4\pi n_{\lambda_m} d}{\lambda_m} = 2\pi m \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

在波谷 $m + \frac{1}{2}$ 处, λ 、 n_{λ} 与 $m + \frac{1}{2}$ 的关系见公式(A.8):

$$\frac{4\pi n_{\lambda_{m+\frac{1}{2}}} d}{\lambda_{m+\frac{1}{2}}} = 2\pi\left(m + \frac{1}{2}\right) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

公式(A.7)和公式(A.8)组方程组, 可获得薄膜厚度的计算公式, 见公式(A.9):

$$d = \frac{1}{4} \left[\frac{n_{\lambda_{m+\frac{1}{2}}}}{\lambda_{m+\frac{1}{2}}} - \frac{n_{\lambda_m}}{\lambda_m} \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

根据不同极值点对应的 λ 和 n_{λ} 即可计算出薄膜厚度 d , 通过计算机模拟可以得到更精准的 d 值。



参 考 文 献

- [1] GB/T 25915.1—2010 洁净室及相关受控环境 第1部分:空气洁净度等级
-

