ICS 77.040

CCS H 21



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

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

|  |
| --- |
| （送审稿） |
| （在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上） |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施



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/TC203）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/TC203/SC2）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、

文件主要起草人：徐继平、宁永铎、卢立延、孙燕、张海英、张雪囡、苗和刚

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、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，测试范围为15 nm～105 nm。本方法也适用于所有光滑的、透明或半透明的、低吸收系数的薄膜层厚度的测试，如非晶硅、氮化硅、类金刚石镀膜、光刻胶等表面薄膜。

1. 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

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

1. 术语和定义

GB/T 14264界定的术语和定义适用于本文件。

1. 方法原理

4.1 入射光接触薄膜表面穿透薄膜到达基底，在薄膜的上下界面分别发生反射，总反射光量是这两部分反射光的叠加。因为光的波动性，这两部分反射光的限位可能干涉相长（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。

4.2 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加半时，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。

4.3 光程差是由薄膜厚度、光学常数、光的波长、反射率和折射率决定的。

4.4 通过光谱仪收集到的不同波长下的反射信号，拟合计算光程差，通过人工图解法或借助于仪器自带软件完成拟合和计算，最终获得薄膜的厚度。

1. 干扰因素

5.1 环境中强光、磁场、温度、湿度等波动对测试结果会造成影响，推荐在第6章规定的条件下进行测试。

5.2 样品的表面粗糙度对测试结果存在影响，对样品表面进行镜面抛光处理可达到良好的测试效果，同时应保证样品表面洁净，以免带来对光程差的影响。

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。如测试硅片表面的多晶硅薄膜，需要在硅抛光片表面先生长一层二氧化硅薄膜，在该二氧化膜薄膜表面再生长多晶硅薄膜。

5.4 本方法测试薄膜的厚度如果太薄，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，对较宽泛的厚度范围，使用单一的厚度校准样品会引起测试的不准确，甚至错误的测试结果，因此对不同材料及不同的厚度范围建议使用不同的校准片

1. 试验条件

6.1 温度(23±3)℃，相对湿度(35±15)%，推荐在GB/T 25915.1-2010规定的6级或优于6级的洁净实验室中进行操作。

6.2 样品应避免受到强光直射。

6.3 测试台应避免有较强振动和电磁场干扰。

1. 仪器设备

7.1 光学反射法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，如图1所

7.2 光源：通常使用卤钨灯和氚灯，用与产生波长范围为190nm ~1050nm的白光和紫外光光束；

7.3 光谱仪：可以接收反射光束

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：承载测试样品的装置。

7.6 计算机控制系统：用于测试和进行数据处理。



图1测试系统结构

1. 样品

8.1 二氧化硅薄膜样品：直接在硅抛光片上生长二氧化硅薄膜。

8.2 多晶硅薄膜样品：应在已有厚度400 nm～600 nm二氧化硅薄膜的硅抛光片上生长多晶硅薄膜。

1. 校准

9.1 空白校准：将没有多晶硅薄膜或二氧化硅薄膜的洁净硅抛光片置于样品台上，进行空白校准。

9.2 二氧化硅薄膜校准：使用二氧化硅薄膜厚度的标准样品（硅抛光片表面生长二氧化硅薄膜）进行校准，二氧化硅薄膜厚度偏差应在±1%，否则重新从9.1开始操作。

9.3 多晶硅薄膜校准：使用多晶硅薄膜厚度的标准样品（硅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，多晶硅薄膜厚度偏差应在±3%，否则重新从9.1开始操作。

1. 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，二氧化硅薄膜样品需要设定预设二氧化硅薄膜厚度和测试波长范围；多晶硅薄膜样品需要设定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 开始测试，测试时会出现测试曲线和标准曲线，两条曲线应满足波峰对波峰，波谷对波谷的条件。

10.4 记录数据，通过计算机控制系统进行数据处理，也可按第11章进行计算。

1. 试验数据处理

11.1 薄膜厚度与入射光对应反射率的关系见按公式（1）：

$R=A+B\cos(\left(\frac{2π}{λ}nd\right))$……………………………………（1）

式中：

*R* ——入射光λ对应的反射率；

*A和B ——*系数；

*λ*——入射光波长，单位为纳米（nm）；

*d ——* 薄膜厚度，单位为纳米（nm）；

*n* ——入射光λ对应的折射率常数。

11.2 *A*和*B*可通过以下方法进行计算。当2*nd*=*iλ*时，两组反射光相位相同，反射光干涉相长（波峰），此时公式（1）等于公式（2）:

$R=A+B\cos((iπ))$……………………………………（2）

式中：

*i——*任一整数。

故公式（2）可以简化为公式（3）：

$R=A\pm B$……………………………………………（3）

当$2nd=（i+\frac{1}{2}）λ$时，两组反射光相位相反，反射光干涉相消（波谷），此时公式（1）等于公式（4）:

$R=A+B\cos(\left[(i+\frac{1}{2}）π\right])$………………………………（4）

式中：

*i——*任一整数。

故公式（4）可以简化为公式（5）：

$R=A$…………………………………………… （5）

由公式（3）、（5列方程组可以得到*A*和*B*，再将*A*和*B*值带入公式（1）即可求解薄膜厚度*d*。

11.3 对于上述计算方法，测试不同材料表面薄膜厚度时，*d*、*λ*、*R*、*n*取相应材料的数值。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 硅片二氧化硅薄膜厚度测试对应参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 薄膜厚度*d*nm | 200 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| 入射光波长λnm | 562 | 484 | 583 | 504 | 513 |
| 反射率*R* | 36.14% | 39.47% | 35.86% | 38.22% | 36.56% |
| 折射率常数*n* | 1.46086 | 1.46481 | 1.46006 | 1.46362 | 1.46313 |
| 常数*A* | 0.1944 | 0.0925 | 0.1036 | 0.1156 | 0.1355 |
| 常数*B* | -0.197 | -0.3022 | -0.255 | -0.2666 | -0.2301 |

1. 精密度

对硅抛光片表面生长厚度了300 nm～800 nm二氧化硅薄膜样品和800 nm～1200 nm的多晶硅薄膜厚度样品各3片分别进行了巡回测试。测试中，每片分别进行了10次测试。

单个实验室的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。

多个实验室测试是在四个实验室间进行的，二氧化硅薄膜厚度测试的实验室间相对标准偏差为0.15%～0.69%。多晶硅薄膜厚度测试的实验室间相对标准偏差为0.25%～1.24%。

1. 试验报告

试验报告应包括以下内容：

1. 测试日期；
2. 操作者；
3. 测试设备及型号；
4. 样品类型及结构；
5. 样品编号；
6. 测试结果；
7. 本文件编号。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_