

**中华人民共和国国家计量技术规范**

JJF××××─××××

晶圆级薄膜厚度标准片校准规范

Calibration Specification of Film-Thickness Standards on Wafer

（征求意见稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**国 家 市 场 监 督 管 理 总 局** 发 布

**JJF ××××**─**××××**

晶圆级薄膜厚度

标准片校准规范

**Calibration Specification of Film-Thickness Standards on Wafer**

Of Measuring Inside Dimension

归 口 单 位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

[引 言 II](#_Toc150453238)

[1 范围 1](#_Toc150453239)

[2 引用文件 1](#_Toc150453240)

[3 概述 1](#_Toc150453241)

[4 计量特性 2](#_Toc150453242)

[4.1 外观通用技术要求 2](#_Toc150453243)

[4.2 薄膜厚度校准值 2](#_Toc150453244)

[4.3 薄膜厚度示值误差 2](#_Toc150453245)

[4.4 薄膜厚度均匀性 2](#_Toc150453246)

[5 校准条件 2](#_Toc150453247)

[5.1环境条件 2](#_Toc150453248)

[5.2主要校准设备 3](#_Toc150453249)

[6 校准项目和校准方法 3](#_Toc150453250)

[6.1 校准前准备 3](#_Toc150453251)

[6.2 薄膜厚度校准值 3](#_Toc150453252)

[6.2.1校准方法 3](#_Toc150453253)

[6.2.2测量结果 3](#_Toc150453254)

[6.3 薄膜厚度均匀性 4](#_Toc150453255)

[6.4.1校准方法 4](#_Toc150453256)

[6.4.2 测量结果 4](#_Toc150453257)

[7 校准结果表达 4](#_Toc150453258)

[8 复校时间间隔 4](#_Toc150453259)

[附录A 5](#_Toc150453260)

[附录B 6](#_Toc150453261)

# 引 言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列文件。

本规范为首次制定。

晶圆级薄膜厚度标准片校准规范

1 范围

本规范适用于晶圆级薄膜厚度标准片的校准，薄膜材料为硅上二氧化硅，校准方法为激光椭偏仪，同时其他材料的晶圆级薄膜厚度标准片的校准也可以参照本规范。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001—1998 2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1—1999 2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1071—2010 国家计量校准规范编写规则

GJB 8687-2015 光学薄膜折射率和厚度测试仪检定规程

GB /T 12334-2001《关于厚度测量的定义和一般规则》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用本规范。

3 概述

晶圆级薄膜厚度标准片（以下简称膜厚标准片）指以硅晶圆片为基底，采用化学气相沉积（CVD）、物理气相沉积（PVD）以及原子层沉积（ALD）等方法生长出微纳米量级的单层二氧化硅薄膜，主要被测参数为薄膜厚度，晶圆级薄膜厚度标准片是集成电路产线质控的必要器件。

测量区域

晶圆片

图1 晶圆级薄膜厚度标准片

激光椭偏方法是目前集成电路通用的晶圆级薄膜厚度的校准方法，能够准确的测量厚度范围（1~1000）nm的薄膜，激光椭偏测量院里如图2所示，其可测量的参数包括薄膜厚度、折射率等。

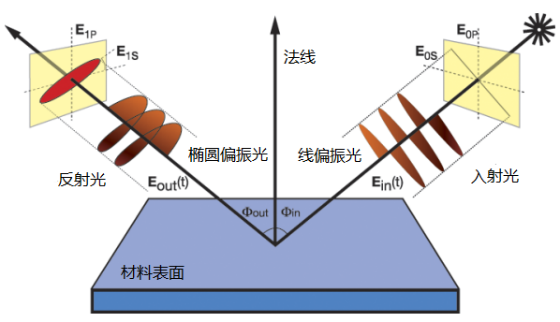


图2 激光椭偏仪测量原理图

4 计量特性

4.1 外观通用技术要求

（1）膜厚标准片不应有影响测量的外观缺陷；（2）膜厚标准片表面不应有影响测量的水渍、灰尘、油迹等污染；（3）膜厚标准片的工作表面不应有腐蚀、碰伤、划痕、裂纹、磨损等表面缺陷；（4）膜厚标准片应对图形区域、有效测量区域、测量位置等工作区域给予明确标识，以便于使用校准。

4.2 薄膜厚度校准值

膜厚标准片基底以上沉积膜层厚度经过校准溯源后量值。

4.3 薄膜厚度示值误差

膜厚标准片测量值的算术平均值与标称值的差值。

4.4 薄膜厚度均匀性

膜厚标准片不同位置处膜厚测量值的标准偏差。

5 校准条件

5.1环境条件

|  |  |
| --- | --- |
| **项目名称** | **参数要求** |
| 环境温度 | （23±0.5）℃ |
| 温度变化 | ≤0.2℃/h |
| 相对湿度 | ≤60%RH |
| 空气洁净度 | 优于ISO CLASS 5  （洁净度标准ISO14644-1） |
| 外界杂散光 | 无 |
| 外界震动和气流 | 对校准无影响 |
| 说明：具体环境条件应满足客户校准需求，上述环境条件为一般通用要求。 | |

5.2主要校准设备

膜厚标准片的校准主要是通过激光椭偏仪完成，激光椭偏仪主要由光源（波长633 nm激光器、起偏臂（起偏器、补偿器）、样品台、检偏臂（补偿器、分析器）等构成，原理如图2所示。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

（1）被测标准片在实验室内恒温时间不少于12h；

（2）校准设备开机预热，稳定时间不少于2h；

（3）对校准设备、辅助工具进行清洁，更换专用载物台并调整水平，避免产生颗粒或金属离子污染；

（4）调整校准设备入射光及出射光角度夹角为70°；

（5）分别设定基底折射率及膜层折射率，基底折射率*ns*=3.875-0.016*i*，膜层折射率*n*=1.460；

（6）使用专用的辅助工具将膜厚标准片从晶圆盒中取出，确保膜厚标准片表面无颗粒、污损，并平稳放置于载物台上；

（7）调节升降机构，使激光光斑入射在测量区域中心，调节俯仰机构使膜厚片标准片水平，然后可以开始测量。

备注：整个操作过程应全程按照洁净室要求规范着装，同时建议2名或以上检定员分工协作，负责操作膜厚标准片的人员应避免佩戴专用洁净手套后接触具有污染风险的部件。

6.2 薄膜厚度校准值

6.2.1校准方法

选取被测膜厚片中心位置，以等间隔均匀选取中间、左、右（0mm、-2mm、+2mm ）三个测量位置*d*i（*i*= 1, 2, 3），每个位置至少进行5次重复测量。

6.2.2测量结果

薄膜厚度校准值为多次测量的平均值：

（1）

式中：—为薄膜厚度校准值；

*d*i—为单点膜厚测量值；

*n*—测量位置数×测量次数。

6.3 薄膜厚度均匀性

6.3.1校准方法

在待测区域范围内，前后左右以等位置间隔（间隔为被测膜厚片边长或直径的10%）均匀选取5×5个测量位置，并尽可能覆盖待测区域范围，测量位置分别为*p*ij（*i*= 1,2…5; *j*= 1,2…5）。

6.3.2 测量结果

薄膜厚度均匀性计算公式和薄膜厚度相对均匀性计算公式如下：

（3）

（4）

式中：*p*ij—阵列中第(*i*, *j*)个测量点的膜厚示值；

— 25次测量的算术平均值；

*n*—测量位置数；

*s*—薄膜厚度均匀性；

—薄膜厚度相对均匀性。

7 校准结果表达

校准结果应包含下列内容：

* 校准条件；
* 校准项目名称和校准结果；
* 测量结果的不确定度。

8 复校时间间隔

晶圆级膜厚标准片复校时间间隔由用户根据实际情况自主决定，建议复校时间间隔为1年。

附录A

校 准 证 书 内 容

A.1校准证书应包括以下内容

1.标题：校准证书；

2.实验室名称和地址；

3.进行校准的地点；

4.证书编号、页码及总页数；

5.送检单位的名称和地址；

6.被校对象的描述和明确标识；

7.进行校准的日期；

8.对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

9.校准所使用的计量标准名称及有效期；

10.校准环境的描述；

11.校准项目的校准结果；

12.校准结果的测量不确定度；

13.校准员、核验员、批准人签名；

14.校准证书签发日期；

15.复校时间间隔的建议；

未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书

A.2 校准证书内页格式

校准证书内页格式见表A.1

表A.1 晶圆级薄膜厚度标准片校准证书（内页）格式

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1.校准条件   |  |  | | --- | --- | | 激光波长λ |  | | 入射角 |  | | 基底折射率*ns* |  | | 折射率*n* |  |   2、校准结果   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 样品编号 | 校准值 | 不确定度(*k*=2) | 均匀性 | |  |  |  |  | |

附录B

晶圆级薄膜厚度标准片测量不确定度评定

B.1测量模型：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 说 明 |
| 1 | 起偏、检偏臂  偏振误差 | 起偏臂及检偏臂偏振光学元件相位延迟及快轴波动误差 |
| 2 | 起偏、检偏臂  光轴角度误差 | 起偏臂及检偏臂由于设定光轴倾斜角度与实际倾斜角度不同引起的误差 |
| 3 | 拟合计算残差 | 对膜厚参数拟合后的计算残差 |
| 4 | 多次重复测量偏差 | 多次测量，计算量值的标准偏差 |
| 5 | 波长误差 | 波长变化导致的膜厚计算偏差 |
| 6 | 折射率误差 | 折射率变化导致的膜厚计算偏差 |

（4）

其中：

——由起偏臂及检偏臂偏振光学元件相位延迟及快轴波动引入的标准不确定度分量；



——由起偏臂及检偏臂实际光轴角度与设定角度偏离引入的不确定度分量；

——由膜厚拟合计算后残差引入的标准不确定度分量；

——由多次重复测量引入的标准不确定度分量；

——波长不确定度分量；



——光折射率不确定度分量。

B.2方差和灵敏系数

考虑到各输入量彼此独立，其合成标准不确定度为：

(5)

其中

、、、、以及为灵敏系数：

——偏振元件元件相位延迟及快轴波动引入的标准不确定度分量；

——起偏、检偏臂实际与设定光轴角度偏离引入的标准不确定度分量；



——由膜厚拟合计算后残差引入的标准不确定度分量；



——由多次重复测量引入的标准不确定度分量；



——波长不确定度分量；



——光折射率不确定度分量。



B.3 计算*d*=73.7nm硅上二氧化硅膜厚片测量不确定度

B.3.1起偏、检偏臂偏振误差引入的标准不确定度分量

椭偏仪由于振幅分量的误差引入膜厚测量标准不确定度分量为**，**振幅分量对应的灵敏系数为，相位分量 对应的灵敏系数为。振幅和相位是通过偏振光反射系数比值*P*、菲涅尔系数中间变量*X*与膜厚间接相关的，相应的关系可由公式6和公式7表示

（6）

（7）

因为椭偏仪可以测量得到的值，因此由公式6可以求导得出*P*/和*P*/，

求导结果见公式8：

（8）

对于有公式9，其中系数项*A*, *B*, *C*…*F*中的，分别是偏振光在空气—薄膜界面反射和薄膜—基底界面反射的菲涅尔反射系数，可以通过折射率和入射角求解。由公式6得到反射系数比值*P*后，对公式9求导可得到公式10中的微分值。

（9）

定义：，，

，，

求得：

（10）

对于Δ*d*/Δ*X*分量，可以通过椭偏膜厚计算公式11得到，其中*d*为薄膜厚度，*X*是菲涅尔系数中间变量，*n*1为薄膜折射率，*θ*1为折射角。当计算得到膜厚值后，此时所有变量已知，对公式11求导可得到公式12中的值。

（11）

求得：

（12）

­­­­最终得到振幅分量,分别为：

（13）

椭偏参数与偏振光分量和分量的光强比有关，其值满足矩形分布，区间半宽度为0.01，*k* =，对应的不确定度分量为：

（14）

椭偏参数与偏振光分量和分量的相位差有关，其值满足矩形分布，区间半宽度为0.005°，*k* =，对应的不确定度分量为：

（15）

B.3.2起偏、检偏臂光轴角度误差引入的不确定度分量

在公式11中，应用斯涅耳定律*n*0 sin*θ*0= *n*1 sin*θ*1，可以求得椭偏仪入射光角度对膜厚的灵敏系数为：

（16）

椭偏仪入射光角度*θ*0设定为70°，实际光轴角度在该角度附近满足矩形分布，区间半宽度为0.05°，*k* =。对应由角度误差引入的不确定度分量为：

（17）

B.3.3由拟合计算残差引入的不确定度分量

对数据进行拟合计算时，拟合方程参数会有一定的误差，最优化结果会产生一定的残余误差。该误差符合均匀分布，区间半宽度为0.1nm，*k*= 则由模型拟合计算误差引入的标准不确定度分量为：

(18)

B.3.4多次重复性测量量值引入的不确定分量

在不改变测量条件的情况下，对被测膜厚片相同位置膜厚进行连续重复测量（测量5次），采用A类不确定度评定得到的标准偏差：

（19）

B.3.5波长不确定度分量

测量过程中，波长为632.8nm，波长的频率稳定性为1×10-8，最终得到波长的不确定度分量为：

=632.8nm×10-8nm （20）

B.3.6光折射率的不确定度分量

在测量中，光折射率由于偏向角的存在，会产生偏向角误差，该误差符合均匀分布，区间半宽度0.01，k= 则由光折射率引入的标准不确定度分量为：

（21）

最终膜厚值的标准不确定度：

（22）

扩展不确定度：

（23）