

# T/ZOIA

## 中关村光电产业协会团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

### 芯片封装凸点高度测量方法 光学三角法

Height measurement method of bumps in chip packaging optical triangulation  
method

(征求意见稿)

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

中关村光电产业协会 发布

## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 测量原理 .....	2
5 测量设备 .....	<b>错误! 未定义书签。</b>
6 测量要求 .....	4
7 测量方法 .....	4
8 测量结果的不确定度评定 .....	7
参 考 文 献 .....	10
凸点高度测量误差不确定度评定示例 .....	11

## 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。

本文件由中国科学院微电子研究所提出。

本文件由中关村光电产业协会归口。

### **本文件起草单位：**

中国科学院微电子研究所

中机生产力促进中心有限公司

深圳中科飞测科技股份有限公司

华天科技（昆山）电子有限公司

华进半导体封装先导技术研发中心有限公司

机械工业仪器仪表综合技术经济研究所

天津大学

中国计量大学

### **本文件主要起草人：**

张滋黎，周维虎，王启东，于中尧，孟繁昌，陈晓梅，董登峰，李根梓，潘康华，陈杰，张鹏斌，刘健鹏，洪良超，顾玥，马书英，王娇，刘轶，孙鹏，刘欢，王瑞娟，王浩，余航，宋彦彦，林嘉睿，杨凌辉，沈小燕

# 芯片封装球形凸点高度测量方法 白光三角法

## 1 范围

本文件规定了利用光学三角法进行芯片封装凸点高度测量的测量原理、测量设备、测量环境、测量要求、测量步骤和测量结果的不确定度评定等内容。

本文件适用于多种半导体材料上芯片封装凸点高度的测量。凸点顶部形状包括但不限于球形和平顶等。凸点高度范围为10-450  $\mu\text{m}$ 。凸点表面材质为多种不同金属，如Au, Cu, Sn, In等纯金属，或者Pb-Sn、Au-Sn、Ag-Sn、Sn-Cu、Ag-Sn-Cu等共晶或高熔点合金等，凸点表面材料反射率 $>90\%$ 。凸点基底材料为陶瓷、金属或聚酰亚胺。

## 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 14113-1993 半导体集成电路封装术语

GB/T 35005-2018 集成电路倒装焊试验方法

GB/T 2900.66-2004 电工术语 半导体器件和集成电路

GB/T 39516-2020 微纳米标准样板（几何量）

GB/T 17163-2022 测量不确定度评定和表示

## 3 术语和定义

### 3.1 封装

半导体集成电路的全包封或者部分包封体，它提供：

- 机械保护；
- 环境保护；
- 外形尺寸。

封装可以包含或提供引出端，它对集成电路的热性能产生影响。

### 3.2 晶圆（片）

一个或多个电路或器件在其中制成的半导体材料或是在某种衬底上沉积的一种材料，一般是扁而圆的片子。

### 3.3 芯片

晶片的一部分（或者整体），可完成一种或者若干功能。

### 3.4 凸点

通过印刷焊料、化学涂镀、蒸馏焊料、电镀焊料、钉头焊料或放置焊球等方法制备出具有一定尺寸的球形或方形的焊点。

### 3.5 基底

凸点附近的芯片/晶圆表面。

### 3.6 凸点高度

凸点顶部最高点到凸点周围的芯片/晶圆表面之间的高度差

### 3.7 共面性

芯片上各凸点和所建立的基准平面之间的距离。

### 3.8 基准平面

由最高的三个凸点顶点形成的平面，或者由所有凸点顶点通过最小二乘法拟合形成的基准平面。

### 3.9 台阶高度

具有微纳米准确度和均匀性的台阶或者沟槽。

### 3.10 测量误差

测得的量值减去其参考量值。

### 3.11 测量不确定度

根据所用到的信息，表征赋予被测量量值分散性的非负参数。

### 3.12 测量重复性

在一组重复性测量条件下的测量精密度。

## 4 测量原理

光源经光学投影模块整形后投射结构光到芯片/晶圆表面，入射光线分别在凸点的顶部和凸点附近的芯片/晶圆表面发生反射，并经过成像系统在相机上成像。通过凸点顶部反射光斑图像与芯片/晶圆表面基底平面反射的光条之间的距离及系统标定参数可计算得到凸点顶部到芯片/晶圆基底平面的距离，即得到凸点高度值。

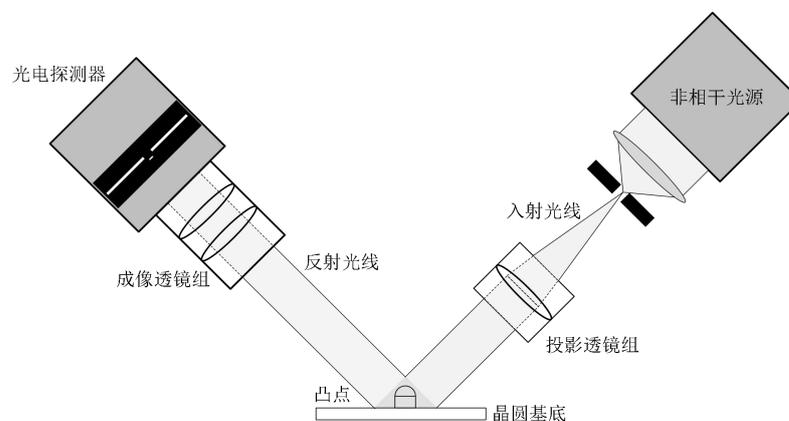


图1 入射光线投射在凸点表面并经过反射在光电探测器成像示意图

凸点高度计算公式：

$$H = p\delta \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

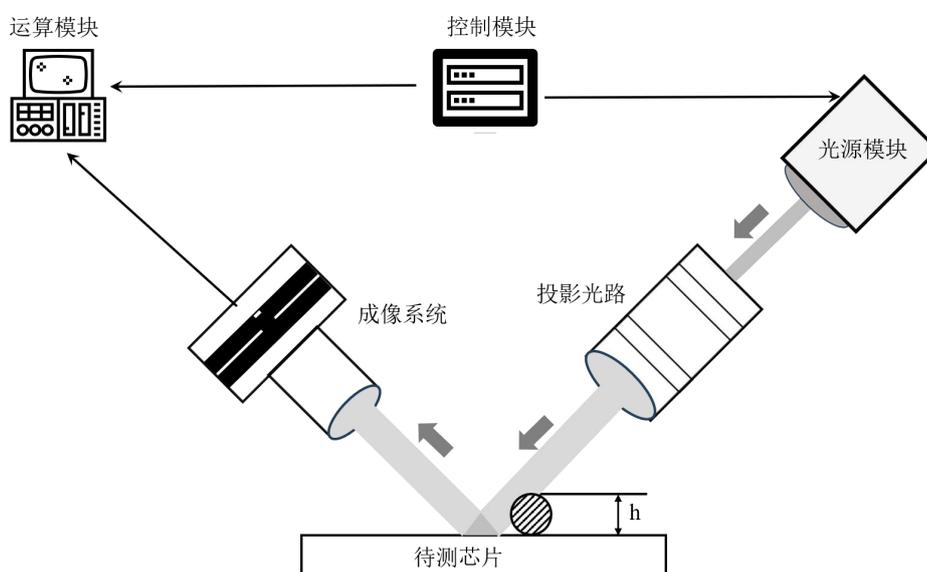
$\delta$ ——图像中凸点顶部反射光斑到芯片（或晶圆）表面反射光条中心之间的像素距离；

$p$ ——系统标定参数。

## 5 测量设备

### 5.1 凸点高度测量系统

测量系统由光源模块、投影光路、成像模块、控制模块以及运算模块组成。



### 5.2 设备校准方法：

利用标准台阶对设备参数进行校准，校准之后，再次对标准台阶的高度进行测量，使得测量误差满足 $\pm 1$ 微米。

### 5.3 校准详细过程：

设备需要定时进行校准测试，测试时，将校准标准台阶放置在设备工作区，调整测量系统，将光条投射在台阶表面，同时在成像端获取台阶的光条图像，经过图像处理算法，得到图像中台阶高度，结合现有的系统参数计算台阶高度，并将台阶高度测量值与标准值进行比较，如果测量误差大于 $\pm 1$ 微米，则需要对设备进行校准。

校准时，将标定用标准台阶放置在设备工作区，按照系统标定流程，完成对系统参数的标定。标定结束后，再次将校准标准台阶放置在工作区，调整测量系统，将光条投射在台阶表面，同时在成像端获取台阶的光条图像，经过图像处理算法，得到图像中台阶高度，并结合重新标定得到的系统参数，计算得到校准标准台阶高度值，该高度值与校准标准台阶高度值进行比较，如果测量误差满足 $\leq \pm 1$ 微米，则校准完成。

## 6 测量要求

### 6.1 测量环境要求

除非另有规定，测量环境条件应满足以下要求：

操作要求：检验时必须配戴无尘手套以及防静电手环。

环境温度：20℃～24℃；

环境湿度：40%～60%；

环境光照：室内照明环境，避免外界强太阳光照干扰。

振动与干扰：无影响测量结果的光噪声，明显气流、电磁辐射和机械振动。

### 6.2 被测样品洁净环境要求

须在10000级（含10000级）以上洁净实验室下方可进行检验

## 7 测量方法

### 7.1 概述

凸点高度测量系统结构组成如图2所示。光源投射的光通过投影光路形成精细光条，投射在被测芯片（或晶圆）凸点测量区域，反射光在成像系统成像，并将图像数据传输至运算模块进行数据处理。

由相机获取的图像经过数据传输系统传给图像处理系统进行数据处理（如图3所示）。

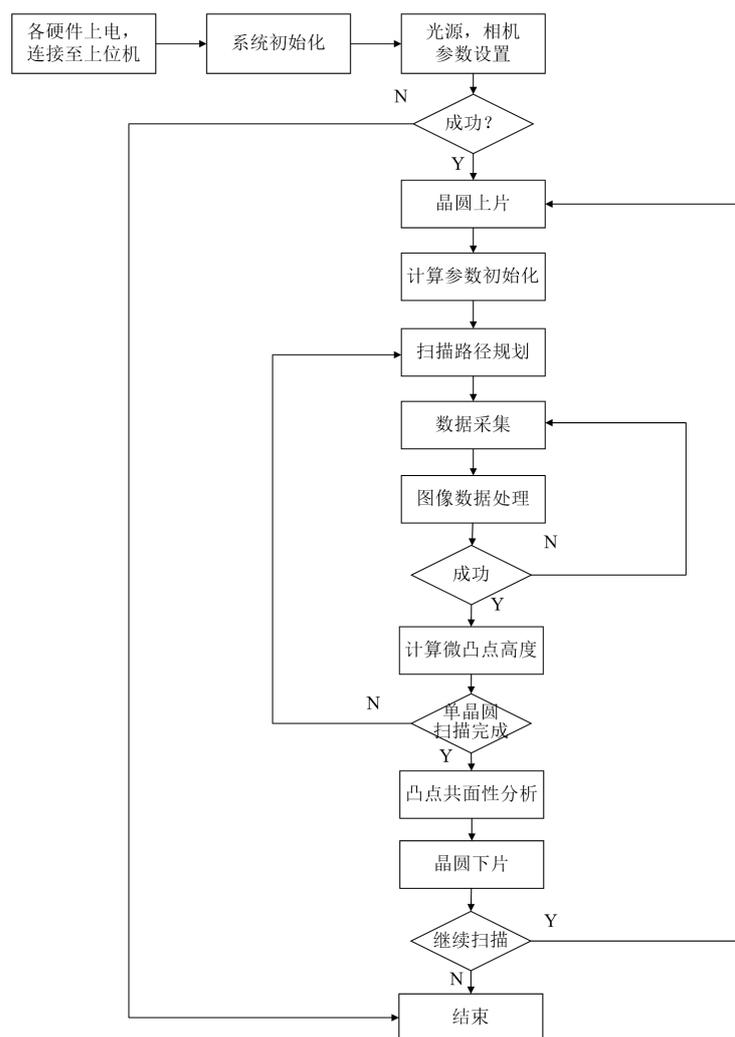


图3 凸点高度测量系统测量软件流程图

## 7.2 测量步骤

### 7.2.1 光学测量系统调试校准：

#### 7.2.1.1 芯片（或晶圆）上片

通过机械手从芯片（或晶圆）盒中将芯片（或晶圆）放置在芯片（或晶圆）吸盘上，并通过真空吸附将芯片（或晶圆）吸附在吸盘上。

#### 7.2.1.2 成像物镜对焦

通过运动平台调整投影系统和成像系统的位置，应使清晰成像区域位于图像中间位置。

#### 7.2.1.3 投影系统对焦

调节高精度位移台，应使光条所在区域位于相机的景深之内，同时光条和被测凸点在相机中成像清晰；

#### 7.2.1.4 成像参数设置

调整光源功率和曝光时间，应避免光条在图像中的亮度过曝；

#### 7.2.1.5 扫描路径规划

通过运动平台对芯片（或晶圆）进行方位调整，设置最佳扫描位置，并生成扫描路径。

### 7.2.2 凸点高度测量：

#### 7.2.2.1 测量参数设置

光学系统调试校准完成之后，设置测量参数。打开凸点高度测量系统软件，根据被测凸点几何特征，设置芯片（或晶圆）扫描参数，如扫描速度，扫描范围等，设置计算参数，如图像处理中所需的各种阈值等。

#### 7.2.2.2 图像数据采集

运动平台按照生成的扫描路径进行扫描，同时成像系统在芯片（或晶圆）扫描过程中按照设置的采集模式进行图像数据采集；

#### 7.2.2.3 凸点高度计算

图像数据通过由高速数据传输线缆、采集卡等组成的数据传输模块实时传输到数据处理模块；根据系统参数设置，对图像进行实时处理计算，从而得到图像视场中的所有凸点的高度值；

### 7.2.3 凸点共面性分析：

获取芯片/晶圆凸点高度数据后，对芯片/晶圆凸点的共面性进行分析。

#### 7.2.3.1 建立凸点基准平面。包含最高三点法和最小二乘法两种方法：

(1) 最高三点法：由最高的三个凸点顶点形成的平面，其中基准平面应包含器件的重心，如图 4 所示：

(2) 最小二乘法：由所有凸点顶点通过最小二乘法拟合形成的平面；

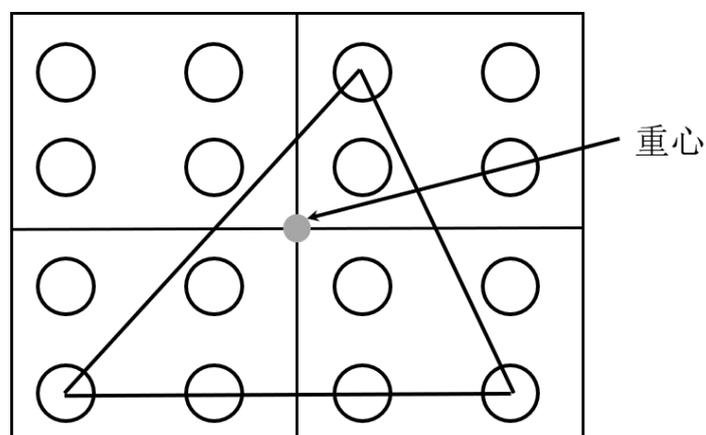


图 4 基准平面

### 7.2.3.2 共面性计算

(1) 最高三点法：测量每个焊球顶点和基准平面之间的距离，其最大测量差值就是共面值，见图 5；

(2) 最小二乘法：测量每个焊球顶点和基准平面之间的距离，其中基准平面上方最大距离与基准平面下方最大距离之和就是共面值，见图 6。

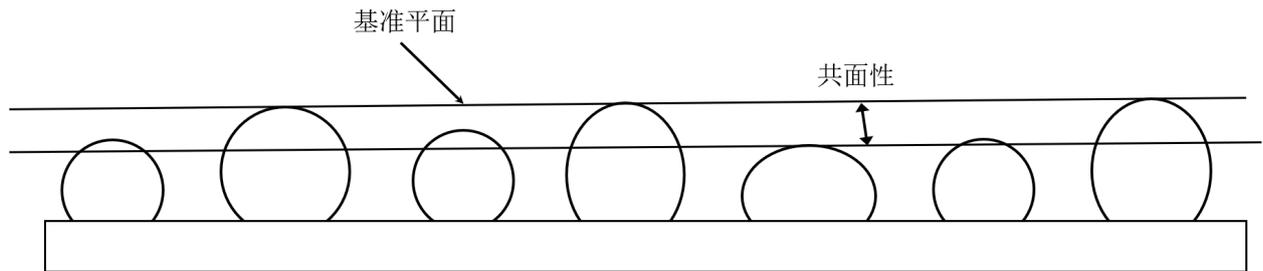


图 5 凸点共面性示意图（最高三点法）

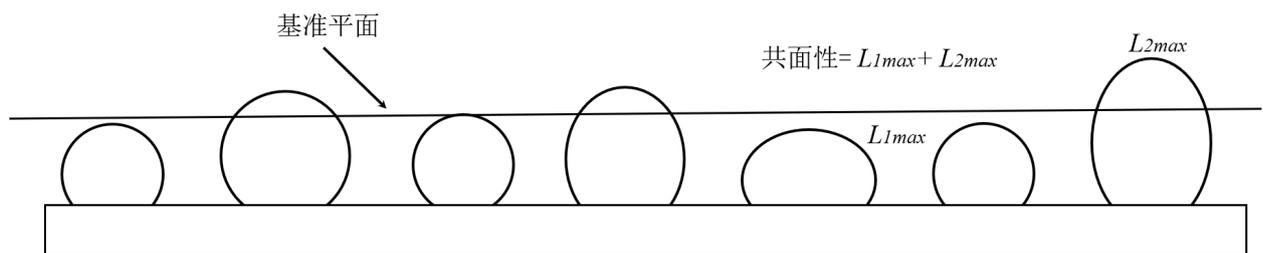


图 6 凸点共面性示意图（最小二乘法）

## 8 测量结果的不确定度评定

### 8.1 A 类不确定度

根据贝塞尔公式计算凸点高度测量值的标准差，对同一个凸点重复10次测量进行比对分析，并记录到附表1中，记为 $u_A$ ，计算公式如下：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-1}}, \quad (n = 10) \dots\dots\dots (3)$$

其中， $\delta_i$ 为单次凸点高度测量值和多次测量平均值的偏差， $n$ 为重复测量的次数。

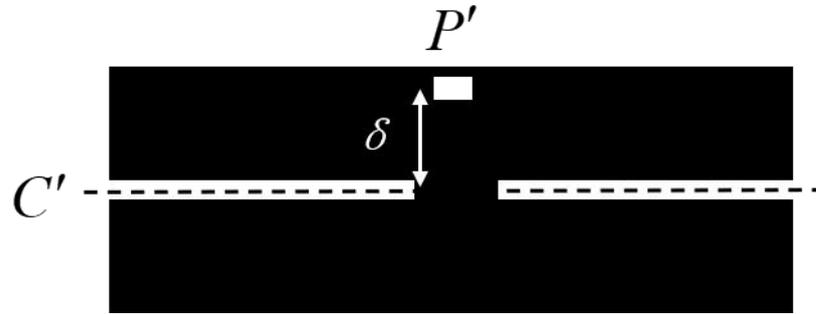
$$\delta_i = H_i - H_{AVG}, \quad (i = 1, 2, \dots, 10) \dots\dots\dots (4)$$

$$H_{AVG} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_{10}}{10} \dots\dots\dots (5)$$

$H_i$ 为单次测量高度值， $H_{AVG}$ 为10次测量深度算术平均值

### 8.2 B 类不确定度

8.2.1 光斑质心  $P'$  和光条中心  $C'$  提取不准确造成图像中距离  $\delta$  计算不准确, 进而引起的测量不确定度  $u_4$



设光斑质心  $P'$  在像素坐标  $x, y$  方向上的坐标分别为  $p_x, p_y$ , 提取精度分别为  $\Delta p_x, \Delta p_y$ , 光条的中心线直线方程为  $Ax + By + C = 0$ , 光条中心线的精度通过其直线方程的系数表示, 分别为  $\Delta A, \Delta B, \Delta C$  则图像中距离值  $\delta$  的精度为:

$$\Delta\delta = \frac{(A^2 + B^2) \left[ (p_x \Delta A + p_y \Delta B + \Delta C + A \Delta p_x + B \Delta p_y) + |A p_x + B p_y + C| (A \Delta A + B \Delta B) \right]}{(A^2 + B^2)^{\frac{3}{2}}} \dots \quad (8)$$

$\Delta\delta$  按矩形分布估计, 则  $\Delta\delta$  引起的高度测量不确定度  $u_4$  由公式(9)计算, 式中  $m$  为像元大小。

$$u_3 = \frac{(\Delta\delta \times m)}{\sqrt{3}} \dots \quad (9)$$

### 8.2.2 测量系统标定不确定度 $u_6$

设系统标定时, 图像处理算的精度为  $\Delta L$ ,  $\Delta L$  按矩形分布估计, 则图像处理的不确定度  $u(L)$  由公式(11)计算。

$$u(H) = \frac{\Delta H}{\sqrt{3}} \dots \quad (11)$$

标准台阶高度的不确定度为  $u(l)$ 。

由系统标定计算公式:

$$p = \frac{l}{L} \dots \quad (12)$$

其中,  $L$  为台阶高度在图像中的距离;  $l$  为台阶高度。

则系统标定的不确定度由以下公式计算:

$$u(p) = \left( \frac{1}{L^2} u^2(l) - \frac{l^2}{L^4} u^2(L) \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (13)$$

8.2.3 合成标准不确定度：

$$u_c(H) = \left[ \left( \frac{\partial H}{\partial \delta} \right)^2 u^2(\delta) + \left( \frac{\partial H}{\partial p} \right)^2 u^2(p) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (14)$$

8.2.4 扩展不确定度 U

$$U = k u_c \quad (k = 2) \dots\dots\dots (15)$$

## 参 考 文 献

- [1] Technologies A R . Laser Triangulation Provides Essential Metrology and Defect Inspection for Microbumps in 3DIC Manufacturing.
- [2] He Z , Schaefer J . High Speed 3D Inspection of Advanced Package Interconnect Uniformity[C]// International Wafer Level Packaging Conference.

## 附录 A

### 凸点高度测量误差不确定度评定示例

#### A.1 测量方法

首先对本标准中使用的凸点高度测量系统进行系统参数标定，系统标定所用到的标准台阶高度为  $49.917\mu\text{m}$ ，测量不确定度为  $0.02\mu\text{m}$ ，包含因子  $k=2$ ，测量环境温度  $(20\pm 0.2)^\circ\text{C}$ ，测量环境湿度  $50\%\text{HR}$ 。无其他明显的影响因素。

对本标准中使用的凸点高度测量仪完成系统标定之后，对放置在工作台上的芯片/晶圆上指定凸点进行 10 次重复测量。测量环境温度  $(20\pm 0.2)^\circ\text{C}$ ，测量湿度  $50\%\text{RH}$ ，无影响测量结果的光噪声，明显气流、电磁辐射及机械振动等。

#### A.2 测量模型

由测量原理和方法，得到测量模型：

$$H = p\delta \quad (\text{A.1})$$

式中：

$\delta$ ——图像中凸点顶部反射光斑到芯片（或晶圆）表面反射光条中心之间的像素距离；

$p$ ——系统标定参数。

#### A.3 合成标准不确定度

在公式(A.1)中，可得合成不确定度误差计算公式：

$$u_c^2(H) = u_A^2 + u_B^2 \quad (\text{A.2})$$

其中，

$u_A$ 为A类标准不确定度，用重复性测量的标准差表示；

$u_B$ 为B类标准不确定度，用公式（A.1）中各不确定度分量表示：

$$u_B^2(H) = \left(\frac{\partial H}{\partial \delta}\right)^2 u^2(\delta) + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)^2 u^2(p) \quad (\text{A.3})$$

公式(A.3)中，

$$\frac{\partial H}{\partial \delta} = p \quad (\text{A.4})$$

为不确定度分量  $\delta$  的灵敏系数

$$\frac{\partial H}{\partial p} = \delta \quad (\text{A.5})$$

为不确定度分量  $p$  的灵敏系数；

$u(\delta)$  和  $u(p)$  分别为不确定度分量  $\delta$  和  $p$  的标准不确定度。

#### A.4 标准不确定度分量

##### A.4.1 A类不确定度分量

通过对同一个凸点进行 10 次高度测量，得到测量值  $h_i$ ，则 A 类不确定度，即重复性测量的标准差  $u_A$  可由贝塞尔公式计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (h_i - \bar{h})^2}{9}} = 0.24 \quad (\text{A.6})$$

测量次数	测量值	均值
1	50.02	50.11
2	50.25	
3	49.68	
4	50.23	
5	50.22	
6	50.49	
7	50.06	
8	50.33	
9	49.89	
10	49.95	

##### A.4.2 B类不确定度分量

###### A.4.2.1 由图像处理引入的不确定度分量 $u(\delta)$

图像中凸点顶部反射光斑到芯片（或晶圆）表面反射光条中心之间的像素距离计算精度为 0.2 个像素，则图像处理精度  $\Delta\delta$  为：

$$\Delta\delta = 0.2$$

假设服从矩形分布，则由图像处理引入的标准不确定度  $u_\delta$  为：

$$u(\delta) = \frac{\Delta\delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.116$$

不确定度分量  $\delta$  的灵敏系数  $\frac{\partial H}{\partial \delta}$  为：

$$\frac{\partial H}{\partial \delta} = p = 1.414$$

#### A.4.2.2 由系统标定引入的标准不确定度分量 $u(p)$

标定时，光条中心提取精度  $\Delta L$  为0.1像素， $\Delta H$  按矩形分布估计，图像处理不确定度  $u(L)$  为：

$$u(L) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \mu m$$

标准台阶高度的不确定度为0.02 $\mu m$ ，则台阶高度的标准不确定度为：

$$u(l) = \frac{0.02}{2} = 0.01 \mu m$$

由系统标定计算公式：

$$p = \frac{l}{L} \quad (\text{A.7})$$

则系统标定的不确定度由以下公式计算：

$$u(p) = \left( \frac{1}{l^2} u^2(L) - \frac{L^2}{l^4} u^2(l) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.8})$$

$$u(p) = \left( \frac{0.058^2}{49.917^2} - \frac{35.31^2}{49.917^4} * 0.01^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 0.0012$$

为不确定度分量  $p$  的灵敏系数：

$$\frac{\partial H}{\partial p} = \delta = 35.3$$

#### A.4.2.3 B类不确定度计算

由公式A.3计算可得：

$$u_B^2(H) = \left( \frac{\partial H}{\partial \delta} \right)^2 u^2(\delta) + \left( \frac{\partial H}{\partial p} \right)^2 u^2(p) = 1.414^2 \times 0.116^2 + 0.0012^2 \times 35.3^2 = 0.029$$

#### A.5 合成标准不确定度

输入标准量 标准不确定 度 $u(x_i)$	不确定度类 型	不确定度来 源	影响幅度	包含因子k	不确定度系 数	标准不确定度 分量
$u(A)$	A类不确定 度	重复性测量	1	1	1	0.2
$u(\delta)$	B类不确定 度	图像处理误 差	0.2	$\sqrt{3}$	1.414	0.116
$u(p)$		系统标定误 差	0.0012	1	35.3	0.0012

$$u_c(H) = \left(u_A^2 + u_B^2\right)^{\frac{1}{2}} = \left(0.2^2 + 0.029^2\right)^{\frac{1}{2}} = 0.2 \mu\text{m}$$

A.6 扩展不确定度

$$U = k u_c = 0.4 \mu\text{m}, k=2$$