

文章编号: 1672-8785(2022)02-0015-07

钢柱高度快速测量方法研究

张 鹏 冯晓宇 张 轶

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 在红外探测器钢柱蒸发的工艺试验中, 有需要测量大量钢柱高度的情况, 因此对钢柱高度测量方法进行了研究。手动逐点测量钢柱高度方式的结果较为准确, 但是测量速度比较慢, 消耗时间比较多。快速自动测量的方法使用了显微镜的扫描功能, 并利用图像识别技术来自动识别钢柱, 能够一次获取所有钢柱的高度, 所以测量速度很快。详细介绍了这两种方法的操作步骤和重要选项的设置。经过测算, 用快速测量方法测量 1000 个钢柱的高度只需要 30 分钟, 测量时间能够减少 76%, 极大地提高了测量效率。最后分析了两种不同测量方法的优点和缺点。

关键词: 红外探测器; 钢柱; 互连; 高度测量

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2022.02.003

Research on Rapid Measurement Method of Indium Columns Height

ZHANG Peng, FENG Xiao-yu, ZHANG Yi

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: In the process test of indium column evaporation of infrared detector, sometimes it is necessary to measure a large amount of indium column heights, so the measurement method of indium column height is studied in this paper. The manual method which measures point by point can get accurate results. But the measurement speed is slow and it takes a lot of time. The rapid automatic measurement method uses the scanning function of the microscope and the image recognition technology to automatically identify the indium columns. It can obtain the heights of all indium columns at one time, so the measurement speed is very fast. The steps, procedures and key option settings of the two methods are introduced in detail in this paper. It is estimated that the second rapid measurement method only takes 30 minutes to measure the heights of 1000 indium columns, reducing the measurement time by 76% and greatly improving the measurement efficiency. Finally, the advantages and disadvantages of the two different measurement methods are analyzed.

Key words: infrared detector; indium columns; bonding; height measurement

收稿日期: 2021-11-02

作者简介: 张鹏(1976-), 男, 河南郑州人, 高级工程师, 主要从事红外探测器器件工艺研究。

E-mail: zp3007@126.com

0 引言

在红外焦平面探测器的后道工艺中,制造混成芯片时需要用到倒装互连工艺。钢柱蒸发、钢柱互连是其中的关键技术,直接影响焦平面器件的光电性能和成像质量。高质量的钢柱制备和钢柱生长技术尤为重要^[1]。钢是一种低熔点软金属,其熔点为 156℃,沸点为 2080℃,蒸气压为 1.33 Pa 时的蒸发温度是 952℃。由于真空蒸发时产生的钢层热应力较小,倒装互连后热膨胀产生的应力很小,所以钢是互连的优选材料^[2]。

完成蒸钢工艺并剥离之后,钢柱呈圆柱状,其表面有时候是凹凸不平的(见图 1)^[3]。剥离后,如果钢柱的高度比较一致且钢柱顶部比较平坦,则钢柱的形貌较好。这种情况下,互连之后的成品率就会比较高。钢柱高度的一致性和均匀性是影响红外探测器光电性能的一个重要因素。

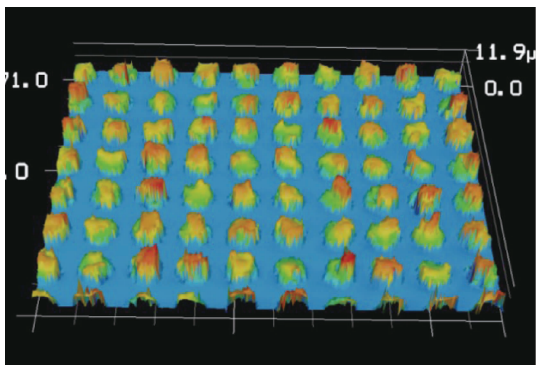


图 1 钢柱剥离之后的形貌图

在红外焦平面阵列上,经常会有几十万个像元。像元的数量很多,因此需要多选取几个采样点来测量。其中每个采样点包含几十到几百个钢柱。使用显微镜测量出每个采样点所有钢柱的高度值,然后计算这些钢柱高度的平均值和非均匀性,接着测量其余采样点的钢柱高度并对其进行统计和分析,从而对蒸钢的整体工艺质量进行评价。

本文将介绍常用的手动逐个测量钢柱高度的方法以及快速的批量自动测量钢柱高度的方法,并比较两者的优点和缺点。

1 常用的钢柱高度手动测量方法

这种方法是经常用到的,采用手动方式逐个测量每一个钢柱的高度,具体步骤如下:

(1)使用一台能够测量高度的显微镜,接着在载物台上放好待测样片,选取采样点并调节显微镜的倍率和焦点(使视场内包含 50~100 个钢柱),然后开始测量。

(2)显微镜对样品表面的钢柱进行扫描并成像,形成一幅形貌图。在形貌图上,拉一条水平线,就能形成这一行钢柱的纵截面图。

(3)根据纵截面图选取钢柱的最高点和最低点,用测量工具测出它们的高度差,即为钢柱的高度。依次测出每一个钢柱的高度,然后统计并汇总(见图 2)。换下一行钢柱,重复前面的步骤,直到测量出该采样点中所有钢柱的高度为止。

(4)换一个采样点,并重复步骤(3)。如果待测的样品面积比较大,那么为了保证测量的准确性,一般还需要在样品的中心和边缘位置上多选取几个采样点以尽可能多地测量一些数据,从而对整个样品表面的钢柱高度和非均匀性有一个整体评估。

这种钢柱高度手动测量方法的精确度是足够的,但最大的问题是每个钢柱需要逐一测量,速度太慢。经过统计,手动测量一个钢柱的高度需要半分钟的时间,测量一个采样点中 50 个钢柱的高度大约需要 25 min。在测量一片八寸的读出电路时,假定选取五个采样点,每个采样点有 50 个钢柱,那么测量完这片电路上 250 个钢柱的高度,则需要 125 min。

640×512 阵列的像元总数量是 30 万,1k×1k 阵列的像元总数量是 100 万。如果想要获取更准确、更全面的钢柱形貌情况,那就需要测量更多的高度数据。即使抽样测量,花费的时间也相当长。

2 快速测量钢柱高度的自动方法

这种测量方法需要用到奥林巴斯公司生产的 OLS 5000 型显微镜(见图 3)。它是一种 3D

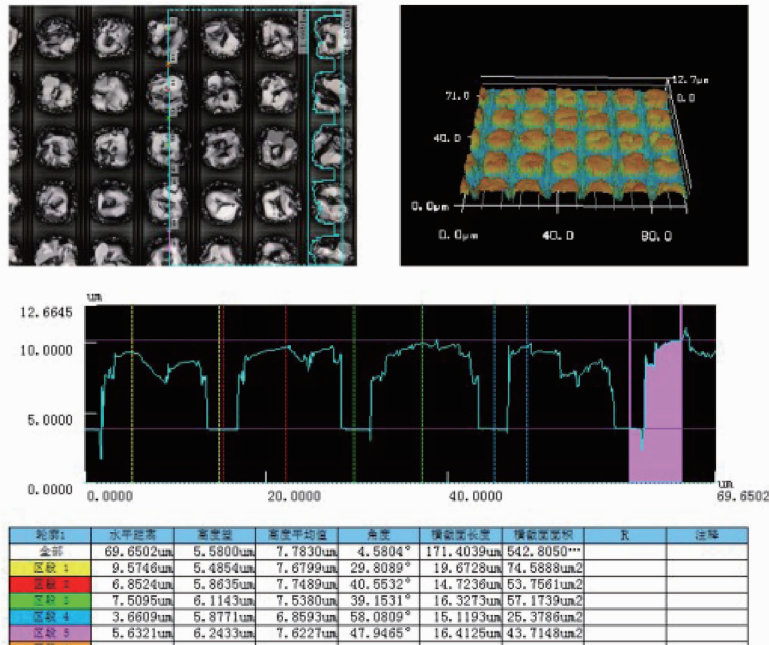


图 2 钢柱高度手动测量方法的示意图



图 3 奥林巴斯 OLS 5000 型显微镜

激光扫描共聚焦显微镜, 采用非接触式测量方法, 具有很高的测量精度和光学性能。该显微镜能够对样品表面进行扫描。由于功能菜单里没有自动测量高度的选项, 只能采用手动测量方式来测量高度。

为了实现自动测量高度的功能, 我们联系了厂商并在其专家的支持下, 经过共同探索以及多次尝试之后, 实现了一种快速的钢柱高度自动测量方法。该方法的具体步骤如下:

(1) 打开显微镜并进入测量软件, 接着放置好样品, 调整镜头倍率和焦距后再开始测量。先测量出样品表面的形貌图(见图 4)。

(2) 测完表面形貌之后, 进入到分析软件界面。在菜单选项中, 选择“面积/体积”的功能(见图 5)。选定待测量的区域形状(如矩形、圆形、三角形等)。在本例中, 选择矩形(见图 6)。

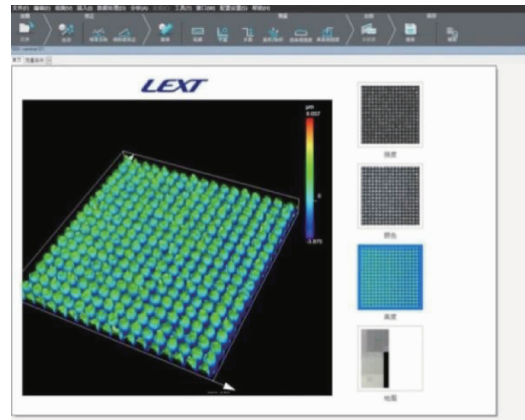


图 4 样品表面的形貌图

(3) 在选定区域内拉一条水平直线, 并将其作为基准线, 然后把它放置在钢柱中心位置。此时, 软件界面的下半部分就能够显示出处于基准线位置的这行钢柱的纵截面图(见图 7)。

(4) 在纵截面图上, 设定钢柱的上限和下限位置(见图 8)。如果设定合适, 分析软件就能识别出选定区域内的钢柱。下限的位置是可以上下移动的, 位置的不同会影响软件对钢柱的识别。因此, 设置的下限位置要合适, 不能过高也不能过低。

(5) 如果到了这一步, 软件还不能自动识别出钢柱, 那么就需要设定界面右下侧的另一个参数——“从计算中排除小于指定大小的



图 5 选择“面积/体积”功能

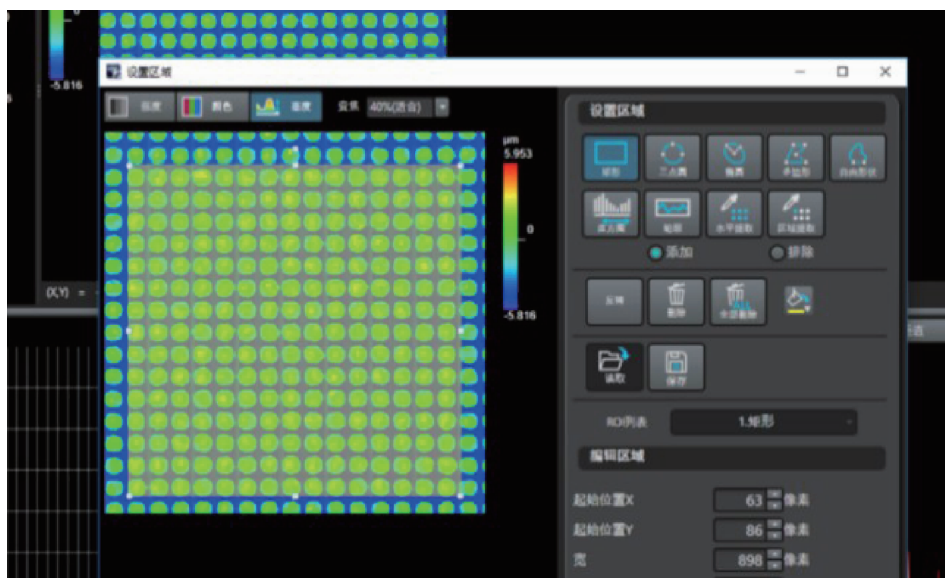


图 6 选定待测量的区域形状

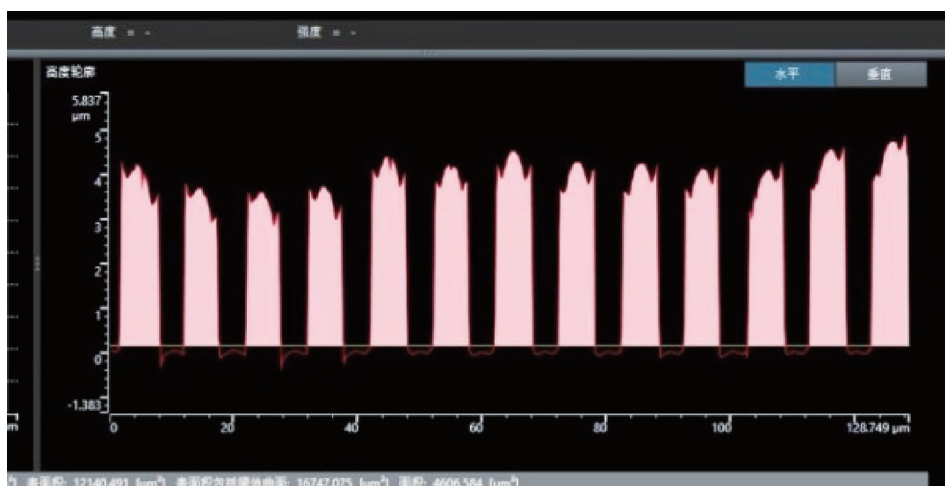


图 7 钢柱的纵截面图

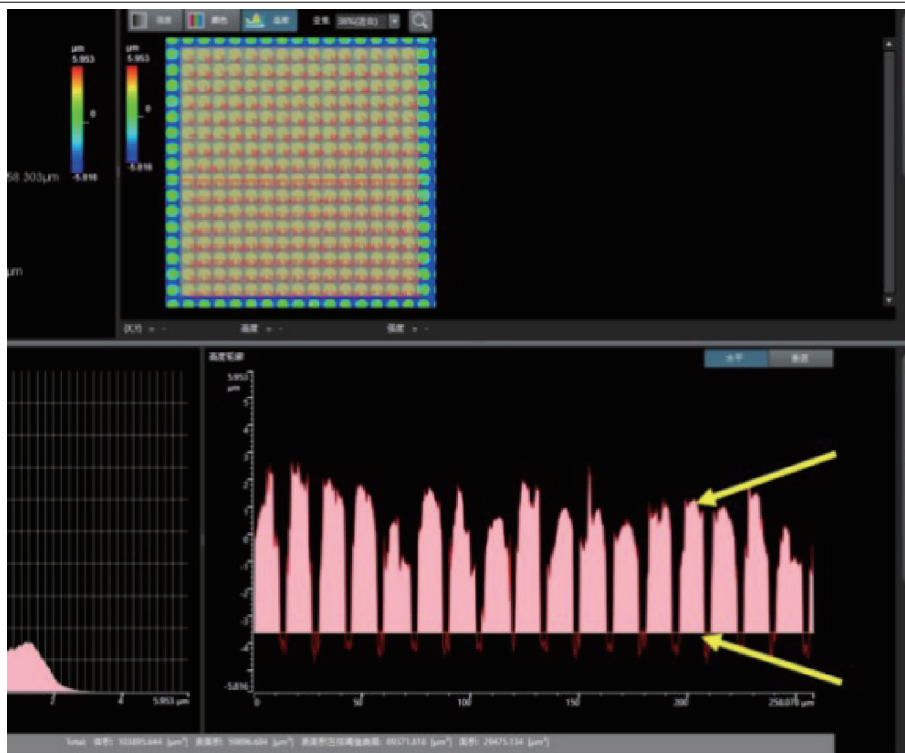


图 8 设定钢柱的上限和下限位置

区域”(见图 9)。这个选项非常重要, 它的具体含义如下: 在软件自动检测过程中, 一些小尺寸的凸起会干扰软件的识别而需要被排除掉。“从计算中排除小于指定大小的区域”的数值, 指的就是这些小尺寸凸起的面积。该选项的系统默认值是 100, 单位是 μm^2 。在测量时, 凡是面积小于这个尺寸的凸起, 都会被视作为干扰项而被软件自动排除掉。

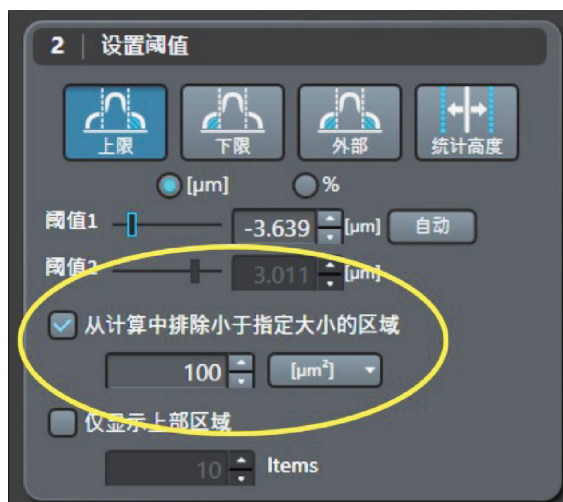


图 9 “从计算中排除小于指定大小的区域”选项
在大多数情况下, 分析软件对钢柱的自动

识别都与这个参数的设定值有关。该参数值与红外探测器的像元间距、钢柱的直径大小存在一定的关联。如果想要提高软件对钢柱的自动识别几率, 就需要设置好这个参数。

根据多次测试获得的经验, 表 1 列出了该选项的最佳设定值区间。当参数设定在这个区间内时, 软件自动识别钢柱的几率比较高。

表 1 最佳设定值区间

像元间距/ μm	设定值区间/ μm^2
10	20~30
15	50~60
25	80~100

(6) 此时被分析软件识别出来的钢柱在 2D 图上会被标注上一个数字。每一个数字对应一个被识别出的钢柱, 未被识别出的钢柱不标记数字(见图 10)。

如果钢柱未被识别或者钢柱的识别率很低, 那么可以通过调整钢柱下限的位置或者重新设定“排除小于指定大小的区域”选项的数值来让分析软件重新识别钢柱, 从而达到最佳的识别效果。

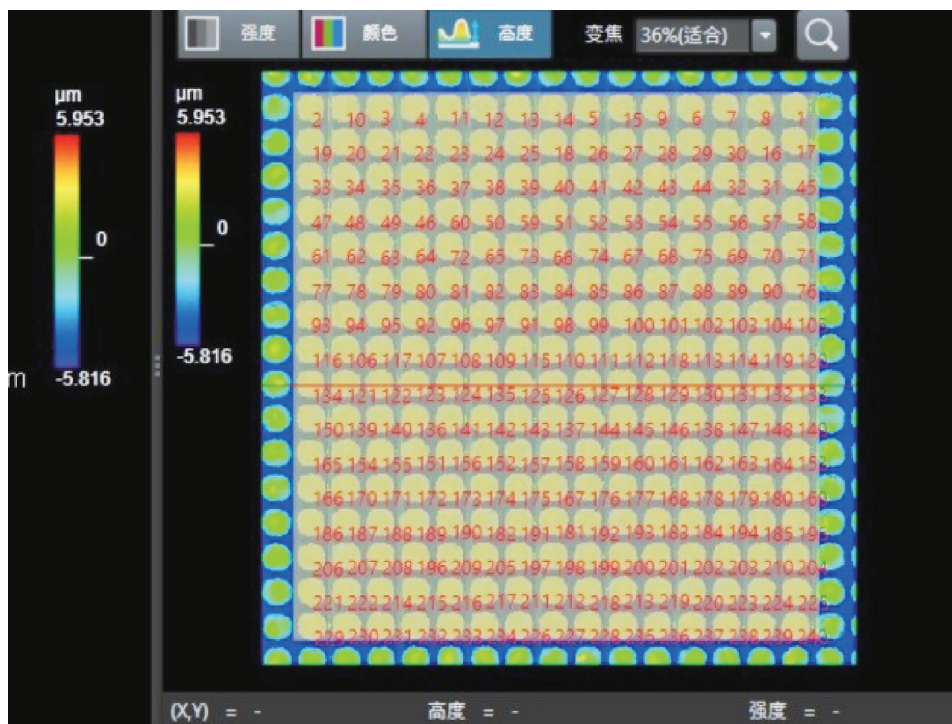


图 10 识别出的钢柱被标注上数字

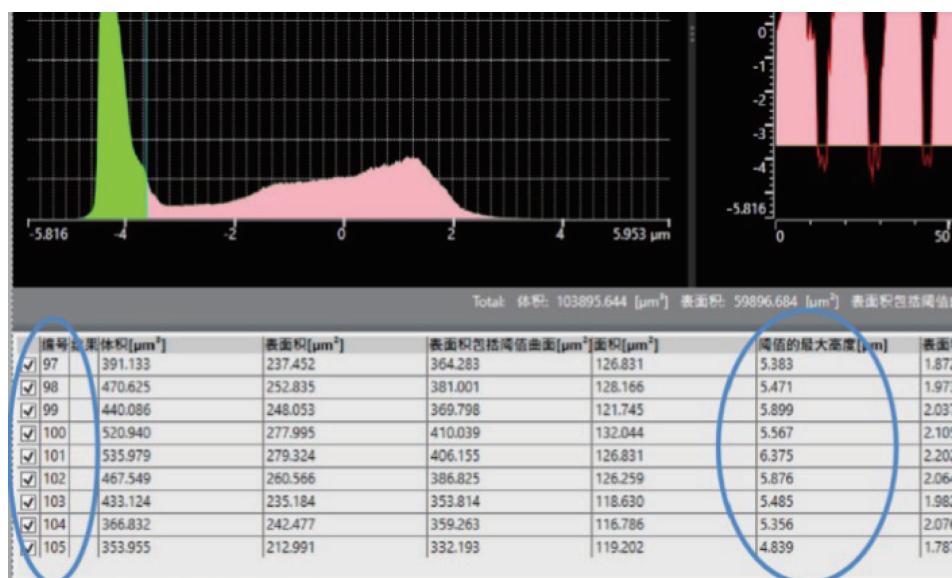


图 11 钢柱的编号和所对应的高度值

(7) 选定区域内的钢柱都被识别出之后，软件主界面下方的表格里会自动列出钢柱相关参数(包含体积、表面积、阈值的最大高度等)的数值。其中，阈值的最大高度指的就是钢柱的高度值。表格中第一列是钢柱的数字编号，对应的钢柱高度会显示在第五列——“阈值的最大高度”中(见图 11)。

(8) 软件具有“导出至 Excel”的选项，能把测量的数据转存为 Excel 文件以进行后续的数据挖掘，并可计算出最大值、最小值、平均值以及非均匀性等指标。

这种自动方法的测量速度很快。采用基于软件的图像识别技术自动识别出钢柱并计算其高度，能够大大缩短测量时间。经过测算，用

该方法测量一个采样点中 200 个钢柱的高度只需要 5~7 min; 选取 5 个采样点并测量 1000 个钢柱的高度只需要 30 min。相比于手动测量方法(测量 250 个钢柱需要 125 min), 该方法要快很多, 测量时间能够缩短 76%。

3 两种测量方法的优缺点对比

自动测量方法的优点如下: (1)能够实现自动识别和测量, 一次就能够测量几十到几百个钢柱的高度, 不再需要逐点测量, 大大缩短了测量时间。样品的面积越大, 待测量的数据量越多, 这种方法的优势就越明显。(2)测量数据能够转存为标准的 Excel 文件, 这一点对于后续的数据挖掘和分析非常有利。手动测量方法的数据虽能保存, 但是不能存为标准的 Excel 文件, 导致后续的数据分析非常不便。

自动测量方法的缺点如下: (1)剥离之后的钢柱顶部不是完全平坦的。有时候, 钢柱的顶部会有较长的毛刺。由于毛刺的影响, 测出的结果是钢柱顶端毛刺的高度, 而不是钢柱顶部较为平坦部分的高度。而手动测量的方法能够人工排除掉毛刺的干扰, 测量出的钢柱高度值较为准确。因此, 两种方法测量出的结果会存在一些差异。(2)在分析软件自动识别钢柱时, 需要设定钢柱下限的位置。下限的位置与测量的结果有关系, 即测量出的钢柱高度值会随着下限位置的高低变化而变化。不同的人设定的下限位置不同, 得到的测量结果也会不同。

4 结束语

由于研究的需要, 经常要测量大量钢柱的

高度。使用手动逐个测量钢柱高度的方法虽然结果准确, 但是测量速度太慢了, 消耗的时间太多。即便如此, 测量的数据量样本还是不够多, 而且后续的数据分析也不方便。因此, 需要一种更快速的钢柱高度测量方法。

通过与厂商专家开展合作, 在 OLS 5000 型显微镜上实现了这种快速方法。该方法的优点非常明显。它的测量速度快, 实用性很好, 能节省大量测量时间且实用价值高。在本单位内, 该方法已经得到了广泛的应用, 实际使用效果也非常好。自动测量方法也有不足。与手动测量方法相比, 它有误差。但这种误差是一种系统性误差, 存在一定的规律性, 可以被修正。

下一步的设想是运用该方法去解决大批量测量干法刻蚀孔的孔深度问题。目前, 刻蚀孔的孔深度测量采取的是手动测量方法。同样考虑用自动测量方法来替代现有方法。此外, 由于这种自动测量方法还能快速测量钢柱的体积和表面积, 需要进一步研究如何应用这些测量参数。

参考文献

- [1] 谢珩. 百万像素级红外焦平面器件倒装互连工艺研究 [J]. *激光与红外*, 2017, 47(3): 319-321.
- [2] 黄江平. 128×128 混合式热释电非制冷焦平面探测器阵列钢膜及钢柱制备工艺研究 [J]. *红外技术*, 2003, 25(6): 54-56.
- [3] 杨超伟. 钢凸点对倒装互连影响的研究 [J]. *红外技术*, 2016, 38(4): 310-313.