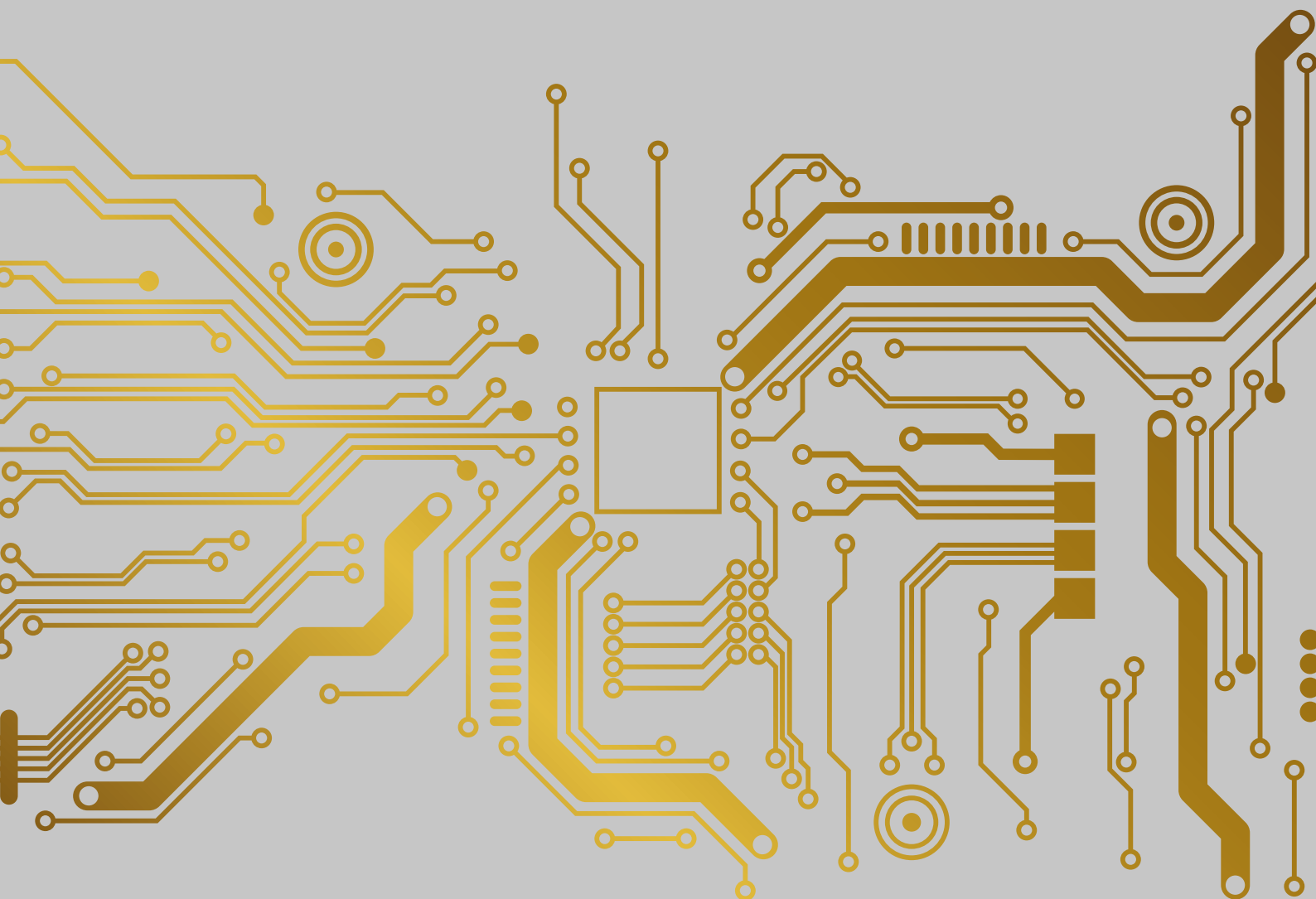


XRF科普：电子行业电镀指南



电子行业

本指南用途

XRF分析是一项成熟的技术，用于在整个行业范围内验证镀层的厚度和成分。其基本的无损性质，加上快速测量和结构紧凑的台式仪器等优点，能实现现场分析并立即得到结果。

虽然XRF技术以简单易用而闻名，但与任何其他分析技术一样，也有可能出错。错误使用仪器可能会导致结果准确性变差和 workflows 效率变低。电镀厚度验证也比其他XRF应用略显复杂，由于所测零件为电镀零件，因此仪器的几何结构和零件形状本身会对分析产生一定的影响

考虑到这一点，本指南旨在作为利用XRF进行电镀分析的多合一参考手册。如需了解XRF的工作原理，请参阅相关解释部分。如需了解最佳实践的具体实施方法以缩短工艺时间而不损失精密度，请参阅测试效率部分。如未获得预期结果，请首先快速检查可能导致错误的因素。

日立在为电子行业生产厂家设计XRF光谱仪方面拥有超过45年的经验。在此期间，电镀技术和XRF仪器均有进步。我们希望本指南能够帮助用户确保其产品符合当今应用领域的严格规范要求。

为何需要对零部件做镀层？

我们为何给部件施用镀层？我们可能不常考虑该问题，但当我们检查镀层的完整性时，了解电镀的作用非常有用。而检查镀层的完整性也正是我们使用XRF的原因。

从广义角度而言，镀层分为功能性镀层和美观性镀层。单个部件可以拥有多层镀层，每层镀层发挥不同的功能。例如，PCB拥有导电镀层以及保护导电镀层免受大气影响的其他镀层。电镀的一些主要功能如下：



耐腐蚀性：镀层可用于延长部件的寿命，而此等部件中的底层材料或基材会在预期寿命内发生腐蚀或氧化。保护不受大气影响对于许多部件而言非常必要。而对于某些应用，例如可穿戴设备，可能会应用专门的镀层来保护暴露的连接器和组件。



耐高温性：一些部件暴露在极端温度下，例如发动机或熔炉内。专业镀层可用于保护部件免受高温下的腐蚀。



耐磨性：镀层可用于保护部件免受各种类型的磨损，如摩擦滑移、磨损或冲击。此类专业镀层特别适用于基材重量较轻的部件，可弥补此类材料的硬度不足。



导电性：在电子产品中，镀层的主要功能是产生高导电性的触点。电阻会产生热量，因此在处理电气部件的连接器和安装件时，使用高导电性镀层降低电阻变得尤为重要。



生物相容性：对于植入体内以修复骨骼或置换髋关节的专业医疗器械，专业镀层可用于帮助身体接受此类器件。设计使用镀层能增加身体接受此类器件的可能性，并降低术后感染的风险。



装饰性：从珠宝到家用电器，装饰性表面处理可增加物件的吸引力，也可降低服饰珠宝的成本。

为何需要检测镀层厚度？

为何检查镀层厚度？在众多原因中，通常的原因是平衡功能与成本。因此我们通常规定有最小和最大电镀厚度——这不仅仅是关于确保电镀有足够厚度的问题。需要检测镀层厚度的五个基本原因如下：

满足基本功能：如果镀层属于功能性镀层，则将有最小厚度规定，小于该厚度将使功能失效。例如，零件得不到腐蚀或高温保护，或者导电性能过低。因此，大多数镀层应用领域有最小限值规定以保证良好功能。

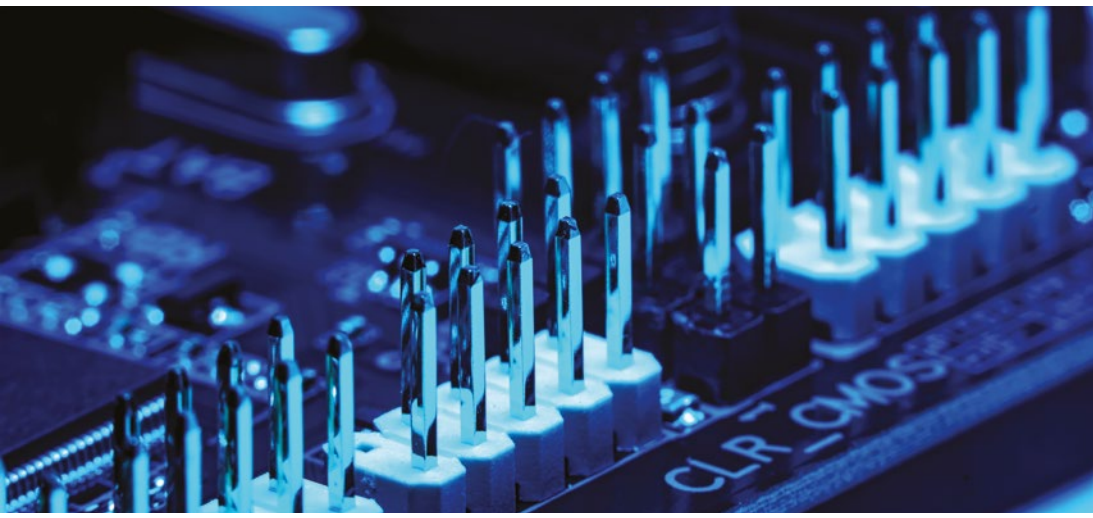
避免早期缺陷：在零件寿命内，镀层有时可能会发生一些磨损。与其他零件接触的活动件尤其如此；在此种情况下，需要满足最小厚度以在零件的预期寿命内避免早期缺陷并满足质量标准。

良好的机械配合：构成复杂部件系统一部分的许多电镀零件必须被装配在一起。例如，发动机中的可接受公差非常严格，电镀厚度必须低于特定限值。因此过度电镀（导致零件太厚）和电镀不足均不可接受。

通过减少浪费降低成本：保证电镀有足够厚度但不要太厚有助于避免化学品的过度消耗。也有助于最大限度降低能源成本，并通过提高产量提升镀层工艺的效率。

适当的视觉外观：对于装饰性表面处理，镀层太薄会导致镀层很快磨损，破坏物件的外观。对于餐具和珠宝等物件，镀层太厚会导致设计失去原旨。

因此当利用XRF验证镀层厚度时，希望电镀厚度在限值范围内以确保最佳产品质量和性能并获得最大成本效益。



镀层和电镀涉及的主要行业

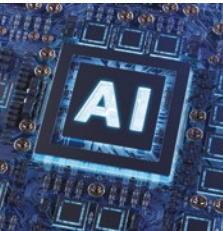
如上所述，关于对部件进行电镀的原因多种多样，而具体的原因往往取决于所服务的行业。本节我们将讨论镀层的主要市场及其所面临的挑战。



移动通信

手机和平板电脑，以及智能手表等相关配件处于PCB小型化的前沿。对电镀供应商而言，逐年升级此类设备的动力很大，因其能推动智能手机主板行业的发展。然而，在狭小空间中安装更多部件的压力给PCB完整性验证带来许多挑战。

不仅仅是掌上设备需求电镀行业。移动基础设施也需要专业的电镀部件。目前这方面的发展是5G的兴起。抛开阴谋论不谈，5G基础设施镀层的真正挑战是对厚印刷电路板的需求。



数字化

工业 4.0、分析领域、人工智能和机器学习正在引领社会发生巨大的变化。从普通设备到高度专业化的设备中，似乎无穷无尽的数据正在被收集起来，以便更快地预测和响应不断的变化，而无需人工交互。

电子设备正被整合到更多不同应用的设备中，通过服务器群将收集到的数据传回，通过 AI 系统反馈给设备或用户。该链中的所有设备都需要变得更小、更高效、更快，并且对环境条件的抵抗力越来越强。



交通运输

汽车、航空和海运业共同构成镀层的巨大市场。耐腐蚀、耐磨和耐热电镀以及装饰性电镀都很常见。然而行业发展迅速。

随着先进的自动化、安全性和娱乐功能被纳入新车以及电气化的推动，电子元件在制造车辆使用的材料中所占的比例不断增加。

常见电镀材料

金

金具有高导电性和优异的耐腐蚀性、可焊性和焊接能力，这使其在连接器、IC和PCB等电气行业中非常有用。但金的高成本、柔软度和相对较低的熔点往往将其限制在一些仅仅是最需要领域。镀金珠宝因其非过敏性而闻名，黄铜制品通常镀金。

银

银具有许多正面特质，包括良好的耐腐蚀性、化学稳定性、导电性和吸引人的外观。此类特性加上不断上涨的黄金成本增加了电子行业对浸银镀层的需求。银的其他应用领域包括化学储存容器和装饰品的镀层，如餐具和珠宝。

锡

锡的用途极其广泛，很容易与其他金属形成合金。锡无毒且具有良好的可焊性和耐腐蚀性。锡镀层主要用于食品保存容器和作为电子部件的镀层。锡铅合金可用于保护钢免受腐蚀、耐蚀刻和二次焊接。

镍

镍镀层有助于提高部件强度和延展性。电解镍镀层分为两类：一类是多孔、延展性好的电子部件镀层，二类是光亮、装饰性好的耐磨镀层。二类部件包括需要装饰性表面处理的汽车格栅。

化学镀镍

对于形状不规则的零件或需要良好耐腐蚀性的零件，化学镀镍是首选镀层。这种沉积镍的方法用于在铝上提供可焊接表面，也可与模具一并使用以改善润滑效果。镍镀层广泛用于交通运输和移动通信行业中从轴承到散热器等领域。

铜

铜具有优异的传热和导电性能。但因其表面容易腐蚀而很少单独使用。因此，在PCB等应用领域中，铜用作底层镀层，上面沉积有更多的惰性金属层。铜也广泛用于管道设备和布线。

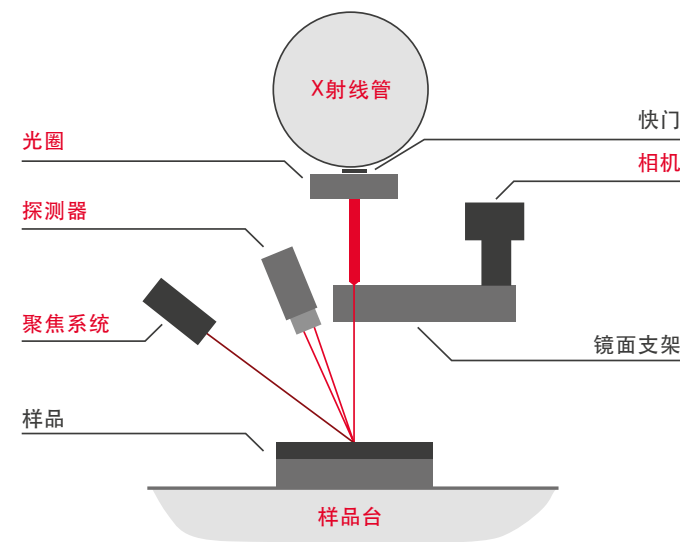
钛

碳化钛和氮化钛镀层可提供良好的耐磨性，应用于硬化钢工具，可将带锯的使用寿命延长五倍。多孔、粗糙的钛镀层因其耐用性而用于医疗植入物，并为骨细胞生长提供良好的表面。钛镀层通常采用化学气相沉积（CVD）或离子电镀沉积。

XRF光谱仪内部的结构是什么？

在我们讨论如何使用用户的分析仪发挥最佳功能之前，最好先了解一下典型XRF仪器的主要部件。

该图显示XRF光谱仪的主要部件：



用红色突出显示的部件将在本指南中进一步讨论。对每个部件的简单解释如下

X射线管：仪器的一部分，产生照射样品的X射线。

光圈：光圈是引导X射线指向样品的装置的第一部分。XRF仪器中的光圈将决定光斑尺寸——正确的光圈选择对精密度和测量效率至关重要。

探测器：与相关电子设备一并处理从样品中激发出的X射线：探测X射线的能量和强度。本指南中将进一步讨论不同类型的探测器。

对焦系统：确保每次测量中X射线管、零部件和探测器间的X射线可测量且几何光路连续一致；否则会导致结果不准确。

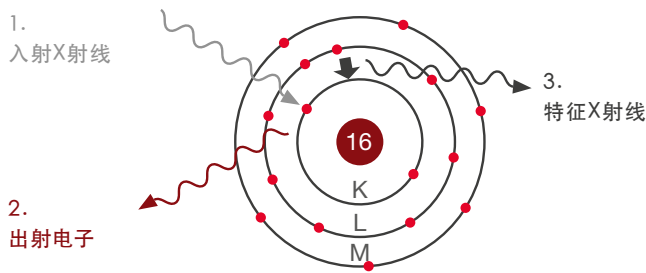
相机：帮助用户精确定位测量区域。某些情形下相机用于向自动操作模块提供图像信息，或包括放大图像以精确定位需要测量的区域。

样品台：样品可放置于固定或可移动的样品台上。快速或慢速移动对于找到测试位置至关重要，随后聚焦于准确的区域进行测量。工作台移动的精准度是带来测试定位准确的一个因素，并进而贡献于仪器的整体准确度。

XRF基础知识

XRF指X射线荧光，是一种识别样品中元素类型和数量的技术。对于镀层分析，仪器将此信息转换为厚度测量值。

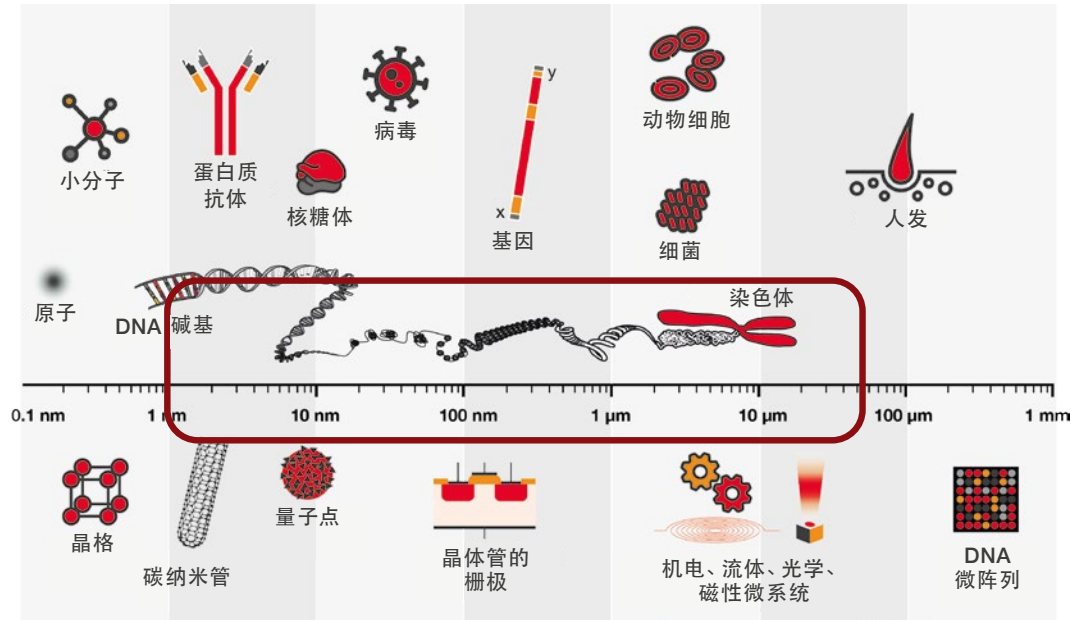
在进行测量时，X射线管产生的高能x射线通过光圈聚集，并照射在样品非常小的区域（该区域的大小为光斑尺寸）。这些X射线与光斑内元素的原子相互作用。下图对此做出图示：



该图展示一个单原子，其中心原子核为黄色，红色电子位于轨道上。当进行X射线分析时，入射的X射线会将其中一个内层电子逐出轨道。上一级轨道上的电子将立刻迁入，填补空穴。在此过程中，这个电子以发射X射线的形式释放能级间的多余能量，而探测器探测出的正是此种特征X射线。因为特征X射线的能量对于每种元素而言都具有唯一性，所以仪器可根据探测出的X射线能量告知我们其源于何种元素。在不同能量段探测出的X射线强度与样品中的元素含量相关。这个信息用于计算厚度和成分。

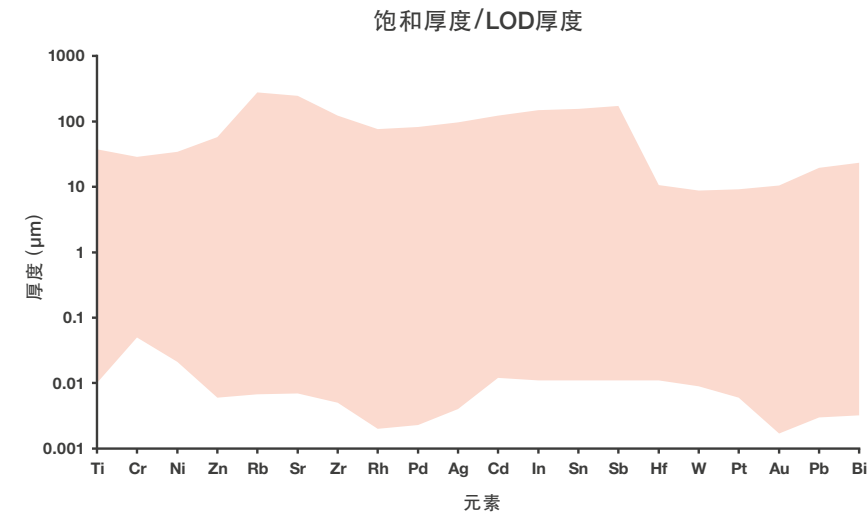
XRF厚度范围

下图给出XRF技术的可测厚度范围。



XRF技术的最小检测厚度为大约1nm。如果低于这个水平，则相应的特征X射线会淹没于噪声信号中，无法对其进行识别。最大范围约为50μm左右。如果在该水平之上，则镀层厚度将导致内层发射的X射线无法穿透镀层而到达探测器。即厚度的任何进一步增加都不会导致更多的X射线到达探测器，因此厚度达到饱和无法测出变化。

下图给出不同元素的上限和下限概念：



光圈

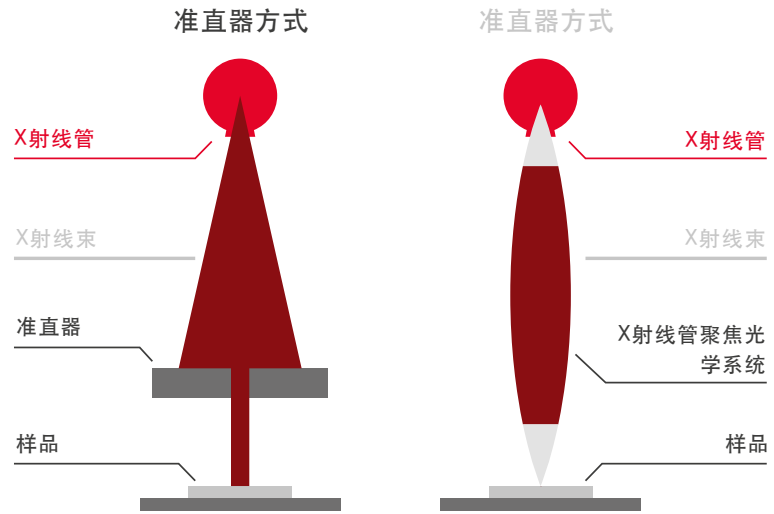
仪器产生的光斑尺寸应在需要测量的部件的尺寸范围内。如果光斑尺寸大于所聚焦的区域，则测量结果将失去准确性，因为分析仪将纳入部件外周围区域的成分。即便其只是空气，相关的测量结果也会受到影响。有两种主要的光圈技术可以将 X 射线导向样品并设置光斑大小：机械准直和毛细管光学。

机械准直

准直器主要是一个金属块，上面有一个精确的钻孔。其可阻挡部分X射线信号，只允许少量X射线穿过准直器到达样品。准直器通常可用于测量 100 μm (4 mil) 和更大的形状。许多 XRF 仪器都配备了一系列不同尺寸的准直器，您可以在设置测量时进行选择。这可确保您可以优化准直器尺寸以获得每次测量的最佳精度（本指南稍后将对此进行更全面的讨论）。

毛细管光学

毛细管聚焦光学器件使用一束特殊的玻璃管来收集几乎所有的 X 射线管输出并将其聚焦到一个非常细小的点。与准直器相比，使用毛细管聚焦光学器件可在测量位置显著提高强度，从而对在较小部件或特征形状上的较薄镀层提供更好的精度。毛细管聚焦光学元件通常用于测量 10 – 50 μm 的形状。



光圈尺寸与光斑尺寸比较

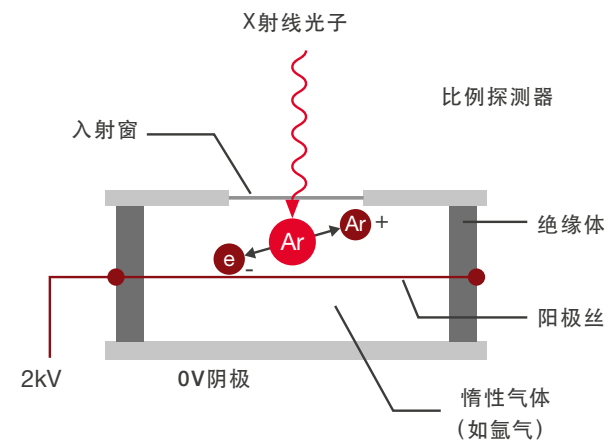
无论采用哪种技术，当 X 射线从孔径出口传递到样品表面时，都会有一些光束发散，您在做出选择时需要考虑这一点。准直器的光束扩展通常比毛细管光学器件更大。

探测器选择

XRF仪器中主要有两种类型的探测器：比例计数器和基于半导体的探测器，如SDD探测器。上述两种探测器都具有自身的优点，可按照具体需求加以选择。

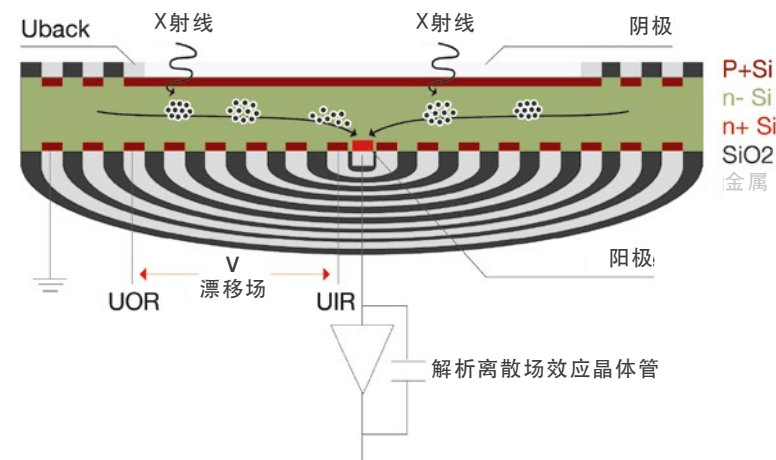
比例计数器

此类探测器是充装惰性气体的金属桶柱，当其受到X射线照射时会发生电离。电离气体会产生与吸收的能量成正比的信号。它们应用于最早期的镀层分析仪，且至今仍得到广泛应用。



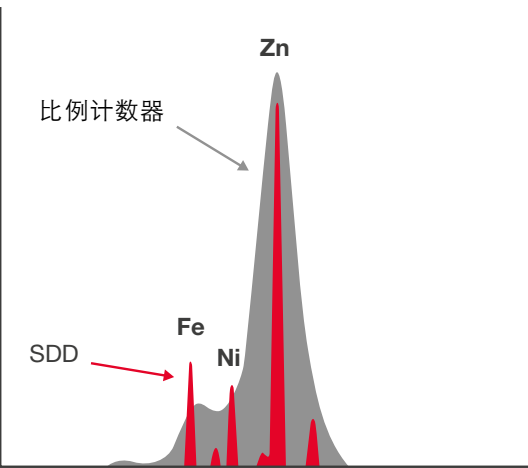
硅漂移探测器

存在多种不同的半导体探测器，但我们会考虑使用硅漂移探测器或SDD，因为它是最常见的一种探测器。当SDD受到X射线照射时，探测器材料发生电离，产生一定数量的电荷。电荷量与样品中的元素含量相关



应选择哪种探测器？

本质上而言，比例计数器（PC）对于元素种类很少的简单分析而言非常有效。它们可以提高锡或银等高能量元素的灵敏度，尤其是使用小型准直器测量时，而SDD则更适合用于磷。比例计数器的成本低于SDD型的成本。但SDD可提供更好的分辨率——即测量谱图会更清晰。如果样品中存在几个元素，则这一特点更显得非常重要。下图展示两者的不同之处：



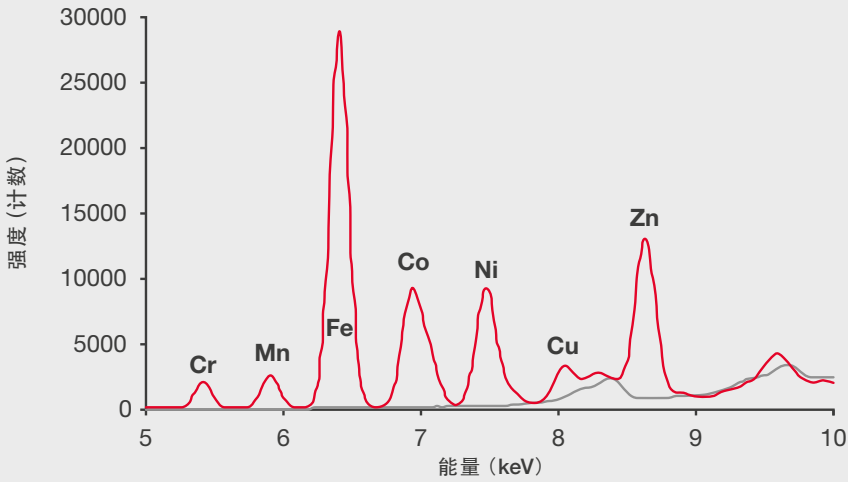
在图中，红色谱峰是使用SDD获得的结果；灰色是用比例计数器测量的同一样品谱图。SDD不会像比例计数器那样易受到大气温度变化的显著影响。在检出限非常低的情况下，这一特点非常重要。因此，对于非常薄或复杂的镀层，SDD是最佳选择。

PCB制造商注意事项：

IPC-4552B (ENIG)、IPC-4553A (浸银)、IPC-4554 (浸锡) 和 IPC-4556 (ENEPIG) 未指定符合法规的检测器类型。然而，在许多情况下，硅漂移探测器 (SDD) 可能更适合实现分析性能目标或帮助您满足电镀规格要求。

识别谱图

我们已经讨论了XRF的工作原理及其向我们提供的信息。接下来值得仔细探讨的是仪器的提供的信息以及对这些信息的解析。



上图是XRF测量的典型结果。可看到样品中不同元素对应不同的能量峰值。峰值的高度是不同能级的X射线强度，即在给定能量下检测出的读数数量。强度用于计算样品中特定元素的含量。对于镀层分析，该强度与样品上镀层的厚度或成分相关。分析仪将获取这样的信息，并计算得出镀层的实际厚度和成分信息。我们将在后面章节中探讨校准的重要性以及如何确保可靠的厚度测量结果

对于较薄镀层，可获得电镀材料以及基材的读数，因为入射的X射线能够穿透外层镀层，而从基板发射的X射线则能够穿过镀层并到达探测器。然而，随着镀层厚度的增加，会发现基材强度逐渐降低，因为镀层会衰减X射线。

基础知识：如何选择正确的测量技术

XRF

厚度约在0.001μm -50μm (0.05-2000μin) 间的金属或合金镀层，几乎无论其镀于任何基底材料上（包括金属、聚合物、陶瓷和玻璃），均可以使用台式或手持式XRF仪器准确测量。台式XRF光谱仪设计用于测量小零件上单层和多层镀层的镀层厚度和成分，或大零件上的单个部件和特定区域。这可以通过光圈的选择予以实现，光圈可以限定用于测量零件的X射线束大小。手持式XRF仪器设计用于测量大型零件上的镀层厚度和成分，因其更适于或必须将仪器带到零件上测量，而不适于将零件置于仪器下。

台式和手持式XRF的区别

- 台式XRF分析仪可配置多种功能，包括用于可重复定位的高精密电动样品台和校准工具、用于清晰样品成像的可调照明装置和可缩放摄像头，以及用于自动化测量任务的硬件和软件。
- 手持式仪器除了本身具有的便携特征之外，其还可测量因尺寸过大或过重而无法放入台式样品舱的零件，包括能够进入更大工件的深处进行测量。此类仪器也是运行工况检查和供应链监控的理想选择。
- 由于X光管和探测器的几何排布，台式XRF光谱仪通常可以测量比手持仪器更厚的镀层，更适合复杂的多层镀层应用领域。
- 对于不平整表面处理样品，台式XRF应配备电动样品台，使仪器能够扫描零件上的区域，从而提供平均的厚度值。而手持设备由于光斑尺寸较大，因此能够在单次测量中提供平均值。

不论及仪器的形状因素或光圈技术。使用XRF技术可以实现依据ASTM B568、ISO 3497和DIN 50987规定的镀层分析，

毛细管光学系统与准直器比较

台式XRF光谱仪可用的光圈技术分为机械准直器或毛细管光学系统。具体选择取决于零件或部件的尺寸以及需要分析的镀层厚度。

准直器

圆形和矩形准直器适用于小至约100μm (4mil) 的部件，并拥有多种尺寸，以优化精密度和实现快速分析。部分手持式XRF分析仪中可提供约1-3mm光斑尺寸的准直器。

毛细管光学系统

对于小于100μm (4mil) 的部件以及纳米尺度（微英寸）范围内的镀层应用领域，毛细管光学系统是最佳选择。在聚焦毛细管光学系统中，特殊的玻璃管以锥形结构聚集在一起。这种先进的技术可实现最小的光斑尺寸，并聚集更多的X射线到测试点，从而对更小测试点提供更好的精密度。

基础知识：如何确保用户的仪器正常运行

常规仪器检查

XRF分析仪有一种或多种方法以确保仪器硬件按预期正常运行。一些监控样品可用于监控X射线强度、探测器分辨率和探测器增益（探测器稳定性的一种衡量参数）等性能，当仪器在测量监控样品时识别出微小变化，则可将仪器检查的结果用于自动调整系统并补偿变化。如果发现重大偏差，则仪器将发出警报，告知用户应联系制造商寻求支持。在建议的时间间隔里执行仪器检查对于获得可靠的结果至关重要。如果执行检查的频率较低，则测量结果可能会随着时间的推移而发生偏离。如果检查过于频繁，则仪器可能会校正过度并产生误差。制造商将就此议题提供指导方法。

验证校准

在进行常规检查后，建议在测量任何零件之前提前验证校准，以确保仪器处于可控状态。可使用稳定的已知生产零件或参考材料（标样）完成该操作。参考材料是一种很好的选择，因为它们是可追溯的。通常建议在使用仪器的当天验证校准。

认证校准标样

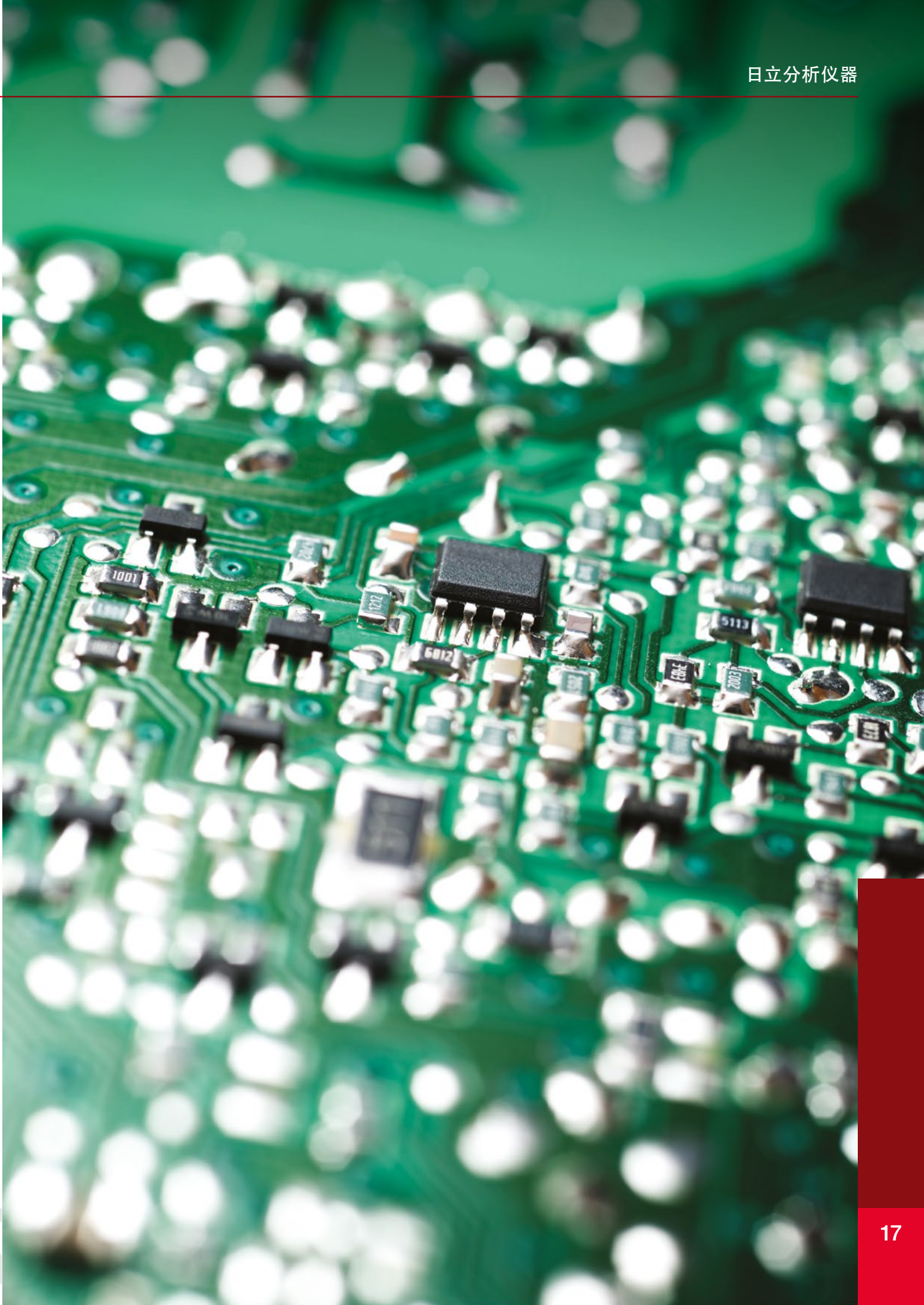
如果从经认证的机构购买标样，则校准标样会附带一份校准证书，告知关于何时何地进行认证、已知数值以及标准厚度和成分的测量不确定性的信息。最好让ISO 17025认可实验室定期对校准标样进行重新认证，以符合内部质量管理要求。这将确保校准标样处于良好状态，并适合继续使用，或者提醒用户可能是时候更换此标样了。

校准标样：薄膜或一体标样？

标样可能是在框架上安装的单片薄膜或者在基底上镀好的镀层。两者均可用，可按照具体用途对两者加以选择。在灵活性方面，薄膜具有优势，因为用户可以针对不同电镀应用选择标样薄膜，并将其放在任何基底上，以适应多种校准。一体化标样的一个优势是，其更接近实际零件，由于各层紧密结合，不需要采用XRF补偿薄膜和基底之间的空气间隙。一体化标样可能更坚固，因为它是实心件，而不是薄膜，薄膜存在刺穿或撕裂的风险。此外，在电镀材料上金属间形成中间金属化层时，薄膜标样也具有优势——因为薄膜标样与基材分离，所以不存在上述边界效应的风险。

仪器认证

与每年保养或检验汽车的原因类似，建议由制造商对XRF仪器进行年度校准，以确保分析部件（如X射线管、探测器）、电子设备和机械部件按预期正常运行。经过培训的工程师将检查仪器，运行诊断程序，进行分析检查，以及给XRF一个合格等级或者对可能需要注意的部件提出建议。



下一层级：可能引入误差的事物

XRF是一种相对分析技术，这意味着为了获得结果，需要将未知样品中收集的数据与仪器上的标样数据相比较，并将其与已经建立的物理公式相联系。虽然此种技术有较高的接受度，用户也接受过正确使用的培训，但有些情况会影响结果并引入误差

不使用样品聚焦

这是测量零件的关键步骤。聚焦使X射线管、零件和探测器间保持固定的距离。X射线强度会随着距离的增加而衰减，因此，X射线管和探测器与样品间的距离太远会导致测量结果偏薄。而X射线管和探测器与样品间的距离太近会导致测量结果偏厚。对于多层镀层，此种情况更甚，因为距离数据被在计算中错误使用。

零件放置方向不正确

对于平直零件，旋转角度不是问题，因为XRF信号不受影响。但是，对于弯曲零件，非常重要的是，将零件的轴与X射线管和探测器的轴向保持一致。这使零件对齐更容易且数据再现性更好，这可以方便X射线束照射在凸形零件顶部或凹形零件底部，而不是侧壁上。与前述聚焦的情况类似，错位测量也会改变X射线管-样品-探测器间的距离。在极端情况下，零件未对齐可能会使所有XRF信号无法到达探测器。

基材变化

基于镀层和基底中的材料，基底中的元素会影响镀层的XRF特性。以上是众所周知的事实，因此，使用与待测量的零件相似的材料以创建校准程序可获得更好效果。如果零件的基底材料与校准标样所使用的基底不同，结果可能会有误差。例如，在青铜（CuSn）基底上镀镍（Ni）和金（Au）的零件。青铜基底中的锡（Sn）几乎可以起到辅助X射线源的作用，使镀层产生更多X射线荧光信号。如果使用纯铜（Cu）基底进行校准，则锡（Sn）的二次荧光作用未被正确计入计算模型中，从而导致镍和金的结果不正确。

测量结果超出校准范围

镀层厚度或成分与强度（XRF响应）之间的关系在小范围内是线性关系，但在较大范围内可能是曲线关系。因此，校准曲线被优化，在有限的厚度和成分范围内工作，而不是覆盖整个分析范围。该优化范围由回归设置及创建校准曲线时使用的标样决定。用户可与XRF制造商合作，了解校准曲线范围，如果测量结果超出该范围，则在用户的软件中设置警告

不运行常规仪器调整，或运行得过于频繁

XRF包括一种或多种用于监控仪器状态的方法，并针对X射线管、探测器和电子设备特性的微小变化进行自动校正。重要的是，以制造商建议的时间间隔进行这些常规仪器调整。如果建议一日调整一次，但一个月只调整一次，则在整个期间仪器可能会不断变化。而当运行调整时，测试结果则可能会出现阶梯式的变化。比建议的更频繁地运行调整可能会产生不同效果——存在一种风险，即仪器试图做出许多小且不必要的改变，这些改变叠加起来会产生明显的变化。这称作“过度矫正”。

恶劣的环境条件

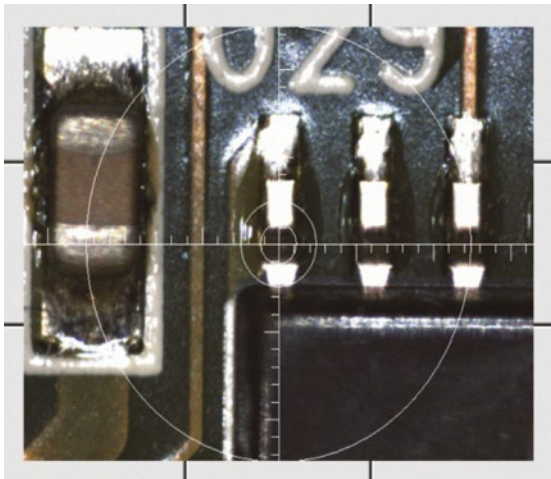
除了改变分析仪所处的的温度和湿度，还有其他环境条件也会影响XRF的性能。大气中的灰尘和腐蚀性化学物质会干扰XRF结果，也会过早降低仪器本身和控制仪器的PC中部件的性能。XRF的主电源会影响电子部件（包括X射线管电源和探测器电子设备）的性能，这可能会引入误差。在输入电源不稳定的区域中，建议安装线路调节器或不间断电源。尽可能将分析仪放在一个环境可控的电源稳定可靠的空间中，并与工厂中的其他设备保持一定距离，以防人员、工件和移动设备撞到仪器。

如何通过改善用户的XRF测试流程提高生产率

在本节中，我们将介绍用户在日常分析中可做的一些实际事情，以提高测试速度，同时确保用户保持所需的精密度和准确度。

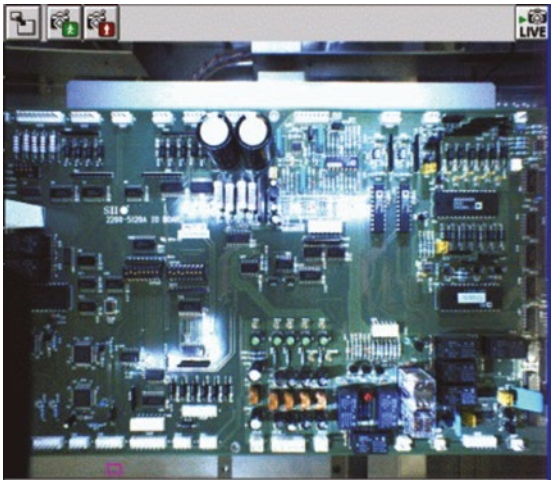
使用广域相机

如果用户正测量大零件或将几个零件装入样品舱内以供自动分析，这是一项非常有用的技术。大零件的问题是，用户在测试视野中无法看到整个部件。此处是一个标准视野相机的典型视域示例，显示7.1 x 5.3mm的区域。

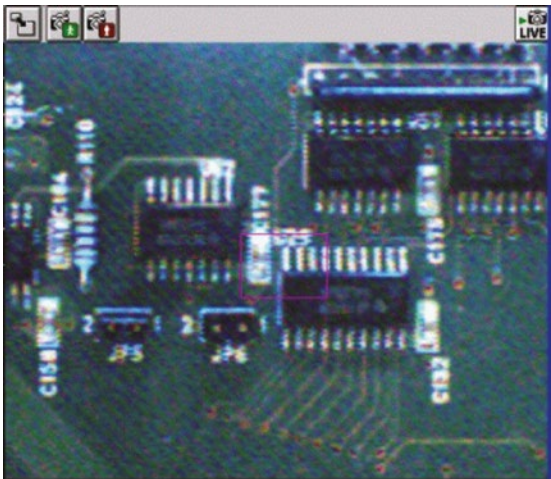


使用标准样品相机进行样品精确定位

这意味着用户必须花时间在零件周围搜寻，直到找到需要测量的部件。解决办法是使用另一台广域相机，从而一次看到整块线路板。找到感兴趣区域，之后放大进行微调，这是一项简单的工作。使用视野为250 mm x 200 mm的广域相机拍摄对页顶部图像。在广域图像下方是标准相机下的同一块线路板，但已被放大至更精细的细节。这可节省时间和减少操作员的挫败感。



广域图像



广域图像，放大目标测量区域

广域相机速度测试

为了了解在实施广域相机技术时可节省多少时间，我们进行一项简单的测试。使用一大块线路板作为测试样品，我们要求操作员完成一组测试以测量5个点（即四个角中的每一个点以及中心的一个点）。操作员先用标准的窄域相机完成任务，再用广域相机完成任务，之后比较所花时间。

窄域相机所花时间：73秒。

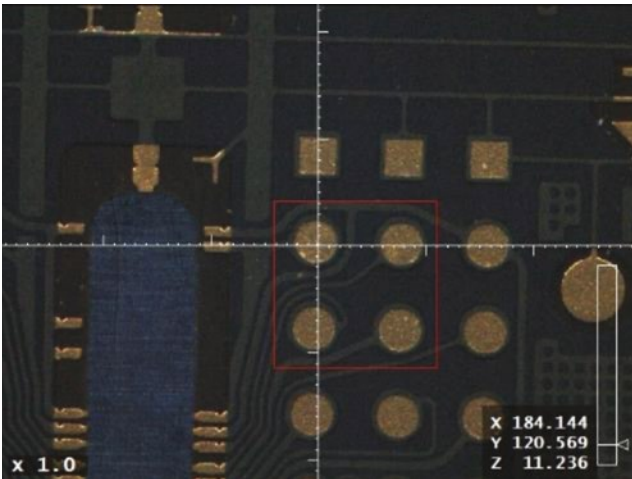
广域相机所花时间：59秒。

这相当于每组测试可节省20%的时间，每日最多可节省12分钟。在一年之内，仅此项操作即可节省40个小时。

图案自动识别

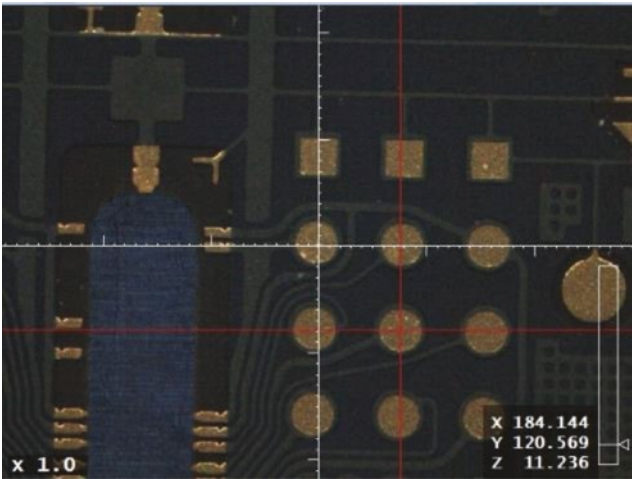
我们已看到，在大样品上找到正确的测量位置需要时间。如果用户正在测量大量相同的样品，用户可让软件为其做大量的工作。图像处理软件识别样品上的图案，并将自动定位样品，以供测量。当用户执行需要在大区域内定位微小部件的大型复杂零件常规测量时，这极其有用。以下是其如何工作的一个实例：

第一步：设置感兴趣区域



选择部件上可识别该图案的区域（红色矩形）

第一步是教导软件找到正确位置，可通过图案识别做到。用户需要做的是将正确的图案放在视野中，并告诉软件这是参考图案。之后，在图像内选择精确的测量位置。示例中，图案是红色方块中突出显示的一组四个测试点，测量位置是这组右下测试点为中心。用户也可在此阶段定义公差



选择精确的测量区域（红色十字准线）

第二步：测量

当测量实际样品时，操作员只需将图案（示例中这组测试点）放入图像视角中，软件便会自动移动至居中的测量区域。在几何形状不规则的零件中，零件甚至不需要在完全固定的方向上，因为软件会针对样品旋转进行校正。

这为操作员节省时间，因为他们不必要精确放置测试位置。这更容易且更快，并确保每次测量位置正确。

当批量测量多个零件时，这种技术可节省大量时间。例如，这是一个装载多个触点样品的测试夹具。

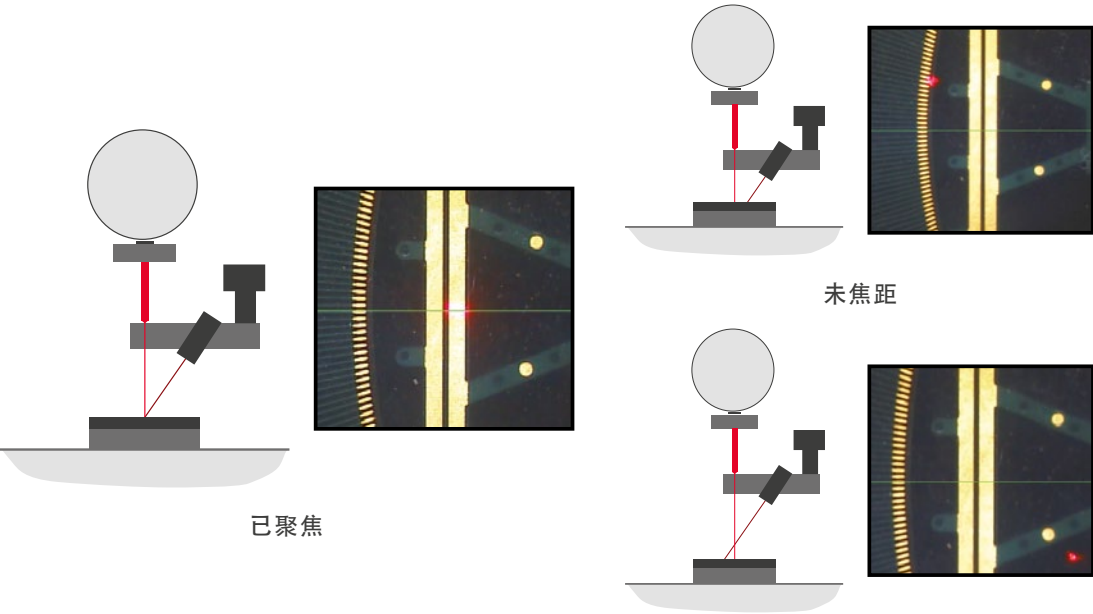


这将为操作员节省大量时间，并确保每次都在正确的位置进行测量。

聚焦技术

聚焦很重要，因为从X射线管到样品再到探测器的距离会影响XRF结果。仪器预设这个距离为某个固定值。如果实际距离小于固定值，镀层结果偏厚；如果距离太大，镀层结果偏薄。保持正确的距离是一项基本技术，所有类型的XRF仪器都有各自的方法。以下为几种不同方式：

简单样品的手动激光聚焦



对于基本平直的简单部件，简单的激光聚焦技术足矣。在此种情况下，微小激光点照射至零件表面上，并且操作员上下移动承载X射线管和探测器的探测头，直至激光点位于聚焦线上。用户可在以上图像中看到这一点，其中左侧图像已对焦，而右侧图像未对焦。这种技术有效，但是，如果零件复杂，可能会耗时，并且需要操作员作出一些判断。

自动接近聚焦

在一些仪器上，可以自动移动X射线管和探测器。在此种情况下，在校准过程中设定所需距离。之后，在测量过程中，仪器使用传感器测量距离，并自动将探测头移动到正确的位置。这比手动聚焦的速度快，并且在测量不同高度的样品时效果很好。

自动接近速度测试

为了证明自动接近可节省时间，我们进行一次速度测试，针对六个不同厚度线路板，进行自动接近与手动激光聚焦的对比分析。我们要求操作员执行一组多点测试，使用这两种技术测量所有六块线路板。

激光聚焦时间：**44秒**。
自动接近时间：**29秒**。

这相当于每组测试节省**33%**的时间，每日最多可节省12分钟。在一年之内，仅此项操作就可节省40个小时。

采用自动聚焦处理复杂几何形状样品

这种聚焦方法根本不需要移动分析头。自动聚焦会测量从X射线管到样品再到探测器的距离，并计入新的距离以更新仪器的校准曲线。

这是处理复杂几何形状的最佳方法，允许用户测量不同形状和大小的零件，甚至可测量凹陷区域。

自动聚焦速度测试

我们再一次测试自动接近功能，并将其与手动激光聚焦相比较。要求操作员为不同厚度的六块线路板设置一组多点测试，并记下设置所需时间。

激光聚焦时间：**44秒**。
自动聚焦时间：**17秒**。

这种方法可节省**62%**的时间，也是迄今三种技术中速度最快的技术。在一年的时间里，此技术可节省的时间至多达76小时。

如果用户正在测量大量复杂形状的样品，这正是您需要的技术。

固定不规则形状的零件

鉴于样品到X射线部件的距离对于获得可靠的结果至关重要，用户需要确保样品在分析仪中时不会移动。对于平直、简单的形状，这不是问题；用户只需将样品放在样品台上。但是，对于大多数零件，其部件并非平直，且如无夹具固定，其肯定会移动。此类支架是在测量过程中需要固定的样品的典型示例。



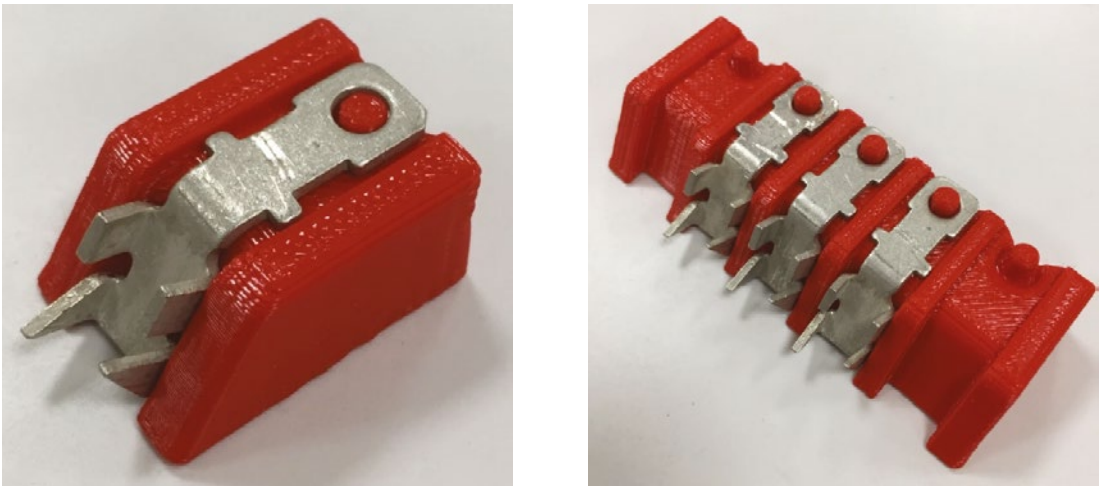
此种类型的样品带来挑战。有许多边需要测试，但没有明显的方法用以放置零件以使测试面可以很好的对准并垂直于X射线束。有两种方法可解决上述问题，一种方法比另一种法更先进。

粘土球法



这可能不是最佳方法，但却是一种在无任何其他制具的情况下完成测量的快速方法。基本上是用户将零件压入粘土球中。用户必须尽最大努力检查零件测试面是否处于完全平直状态，确定后即可放入XRF光谱仪中测量。此种方法既快速又经济，但可能没我们想要的那样精确。

3D打印零件方法



3D打印对制作不规则形状的样品夹具具有多种好处。从以上照片中可看出，通过3D打印，可相对容易地制作样品夹具，确保部件平直地呈现在XRF仪器上。使用这样的夹具防止样品，无论是电动样品台或手动样品台，都可以获得很好的结果重复性。

电镀液分析

XRF是一种多用途的无损检测技术，可测量固体、液体、粉末和糊状物。这使其成为测试电镀液化学成分的理想选择，使XRF成为复杂的原子吸收光谱法（AAS）外的可行选择。

用XRF测量电镀液化学成分

测试电镀溶液极其容易。非破坏性只需将少量溶液倒入样品杯中（如下所示）。将杯子放入分析仪中，在一分钟内即可验证一种或多种元素的成分。



典型校准范围和性能

下表给出三种不同电镀液化学成分的精密度值。

	Sn	Ag	ZnNi / Zn	ZnNi / Ni
浓度	10 - 50 g/l	15 - 35 g/l	0-15 g/l	0 - 3 g/l
错误	<10%	<10%	<10%	<10%
精密度	0.11 g/l	0.10 g/l	0.08 g/l	0.06 g/l

值得注意的是，镀层XRF光谱仪的设置方式使其在检测电镀液化学成分中的痕量元素时不太理想。其非常适合测量主要化学物质，但是，如需测试痕量元素，如Ni电镀液中的Cu，则需要一台专用XRF仪器。与原子吸收光谱法方法相比，用户仍将获得时间和成本节约的优势，并且用户将能更频繁地进行测试，以获得更好的过程控制。

XRF: 原子吸收光谱法的简单替代方案

原子吸收光谱法（AAS）作为一种技术与XRF有相似之处——利用原子内电子的特征行为识别样品中存在的元素。与X射线不同，AAS利用以下原理：不同元素对光的特征选择性吸收。通过分析样品所吸收的具体光波长，AAS可以确定所存在的元素种类。

样品制备

AAS非常适合分析溶液——这是其在电镀液化学成分分析中应用如此广泛的原因。但是，需要大量复杂的样品制备。其不像XRF，其不能直接将电镀液倒入一个固定容器中并进行测试。确切的过程取决于所使用的AAS的类型，但通常需要花费一段时间使用专业设备在浓酸下消解电镀液。AAS的样品制备步骤对于获得准确的结果至关重要。

正是这个耗时的过程，以及无法现场进行测试的事实，才使AAS成为一种相当费力的技术。其确实能给出极好的结果，但是，若使用XRF仪器，在现场就可以更快地给出验证结果。

光圈尺寸和测量时间对精密度的影响

我们已讨论几种提高测试效率的方法。最后一个方面是测量时间本身。仪器精密度（标准偏差）与测量时间和所选择的准直器尺寸密切相关。需要的精密度取决于准备接受的镀层厚度公差。在讨论如何选择最佳参数之前，我们将解释所有此类因素如何联系在一起。

光圈尺寸和XRF精密度

我们在上文已提及，选择的最佳光圈应适合零件。如果光斑的尺寸太大，则X射线将激发周围的区域，并且所得的结果将包括目标区域以外的元素，因而结果不正确。如果您要购买新的 XRF测厚仪，您需要确定准直器或毛细管聚焦光学是否最适合您的零件。 如果您选择带有准直器的仪器，或者如果您现有的 XRF测厚仪 有多个准直器，一种选项是选择一台尺寸非常微小的准直器，可很好地适应样品上的所有部件。但是，准直器的尺寸越小，需要的测量时间将越长，才能达到用户需要的精密度。例如，使用0.15mm (6mil) 的圆形准直器代替0.3mm(12mil)的准直器需要四倍的时间才能获得相同的精密度。这对测试效率的影响巨大。

测量时间和XRF精密度

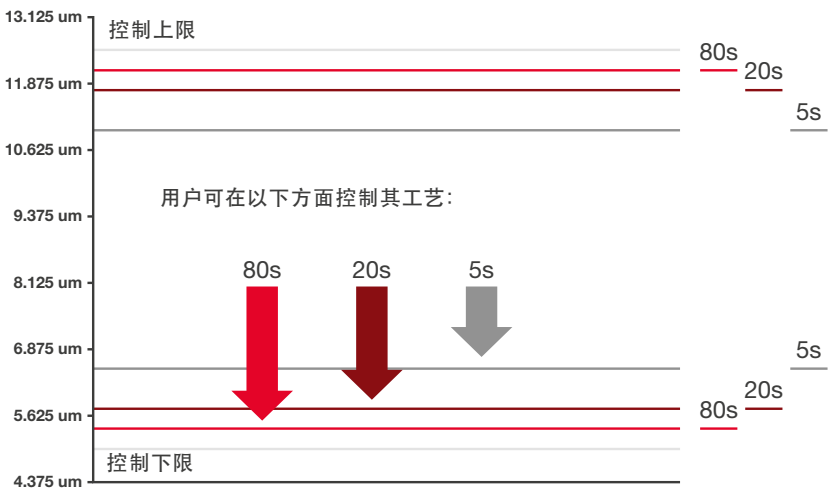
在样品上测量一个点的时间越长，获得的信息就越多，精密度也越高，标准偏差越小，结果越接近平均值。但这不是线性关系。如若想将精密度提高一半，则需要四倍的测量时长。下表对此进行说明：

时间	精密度	3σ (99% 置信度)
5s	0.5 μm (20 μin)	1.5 μm (60 μin)
20s	0.25 μm (10 μin)	0.75 μm (30 μin)
80s	0.125 μm (5 μin)	0.375 μm (15 μin)

因此，有三个相关参数：准直器尺寸、测量时间和精密度。准直器尺寸是最容易着手的方面，因为其必须比最小部件的尺寸小。之后，可根据所需的精密度确定测量时间。精密度常常是一个商业决策，这取决于用户更注重效率还是材料成本的问题。

如何决定正确的测量时间

在固定的准直器尺寸下，正确的测量时间取决于所需的精密度。下图直观地展示测量时间如何影响可操作的控制极限。



使用上述信息，如果XRF测量时间为20秒，将获得0.25μm (10μin) 的精密度，这意味着XRF测量值在 +/-0.75μm (30μin) 以内的置信度为99%。将测量时间增加至80秒，测量值在 +/-0.375μm (15μin) 以内的置信度为99%。如果控制下限为5μm (200μin)，则在20秒时，需要控制的厚度为5.75μm (5+0.75) [230μin (200+30)]，而在80秒测量时，厚度为5.375μm (215μin) 。

这将节省7%的材料成本。如果用户使用昂贵的材料，这可能是很大的一笔费用。

相反，对用户而言，效率可能更重要。在此种情况下，用户可将控制下限提高很多，从而大幅缩短测量时间。

在相对较短的测量时间内，使用多毛细管聚焦光学器件可以提供与使用准直器更长的测量时间类似的精度改进和成本节约。使用多毛细管聚焦光学器件的 XRF测厚仪 的前期采购成本可能更高，但您可以在仪器的整个生命周期内节省材料成本。

应测量多久？

测量时间的长短是有实际限制的。简而言之，除了精密度变得更差之外，XRF还需要足够的时间收集有意义（或有统计学意义）的数据，以便获得可用的结果。还有一些需要时间的机械和电子过程，如设置X射线管功率、移动快门和计算结果。通常，不建议在2~5秒内进行镀层XRF测量。从长远来看，用户需要平衡测量时间、分析精密度和测样效率。在前文的示例中，我们看到如何将测量时间从20秒增加到80秒，以使精密度提高一半，即从0.25μm (10μin) 到0.125μm (5μin) 。为了让精密度获得另一次类似的提高，即从0.125μm (5μin) 到0.0625μm (2.5μin)，需要增加测量时间，即从80秒到320秒。在大多数情况下，为提高那点精密度，而将仪器多占用四分钟并不值得。

日立的电子行业 分析解决方案

日立专注于高科技分析解决方案，旨在帮助电子行业供应商在高效率环境中保持他们的电镀质量。在日立为镀层行业提供服务的45年中，日立已开发出一系列支持质量控制和RoHS控制的仪器。

镀层XRF光谱仪

日立的XRF光谱仪系列帮助确保在高效率环境下为电镀供应商提供连续不间断和精准的镀层测量。



FT160

FT160: 一纳米定成败的微焦斑XRF测厚仪

FT160的光学系统和探测器技术专为微光斑和超薄镀层分析而设计,可应对日益小型化的电子世界的挑战。

FT160 提供:

- | 毛细管聚焦光学系统和高灵敏度SDD探测器能实现高准确度
- | 测量小于50 μm的部件
- | 快速获得结果、易于使用、支持高批量分析
- | 大尺寸样品门和样品台,可快速安装零部件
- | 能进行测试观察的大型样品观察窗



FT110A

FT110A: 强大的XRF可用于任何形状的不同样品

这款先进的XRF光谱仪专为容纳大型样品而设计,可确保各种组件符合镀层规格。

FT110A 提供:

- | 可选双摄像头,可实现广视域观察,更轻松定位样品。
- | 自动化的样品聚焦,以提高效率和易用性。
- | 可同时测试多达四层镀层,外加基底。
- | 零件的大型样品舱尺寸的最大值为500 x 400 x 150mm (19.6 x 15.7 x 5.9英寸)
- | 可选择增加0.05mm (2mil) 和0.025 x 0.4mm (1 x 16mil) 准直器



X-Strata920

X-Strata920: 可自选样品舱的XRF光谱仪

X-Strata920旨在分析各种形状和尺寸的样品,非常适合多种应用领域,包括PCB表面处理、连接器镀层等等。

X-Strata920 提供:

- | 提供复杂镀层分析的高分辨率SDD选项。
- | 适合任何形状样品的四种配置。
- | 适用于大、小、薄样品的开槽样品舱。
- | 一个可选的微型加深样品舱,用于较高的零件测量。
- | 可选的自动化电动样品台,用于测量单一部件上的多个位置。



CMI

CMI 系列接触式测厚仪: 简单的铜箔厚度测量仪

日立的手持式和台式电磁感应测厚仪系列使用磁感应或涡流技术以接触方式测量镀层厚度,是测量 PCB 上铜的理想选择。

CMI 系列提供:

- | 带有用户可更换顶端的表面铜厚探头
- | 带温度补偿的孔铜测厚探头
- | 可测量铜箔或层压板厚度
- | 具有即时读数
- | 工厂校准,开箱即用

RoHS 合规设备

日立专为RoHS (有害物质限用指令) 分析设计的一系列分析仪器快速易用，并可根据法规变更进行灵活调整。



EA1400

EA1400: 适合RoHS的高效率XRF光谱仪

EA1400 台式XRF光谱仪采用先进的检测技术和创新的X射线光学设计, 可快速分析RoHS物质。

EA1400 提供:

- | 高性能探测器可提高计数率, 从而提高均匀材料中的痕量元素的分辨率
- | 超快速镉筛选支持高效率测试
- | 创新的检测系统带来优秀的轻元素测量能力
- | 优化X射线光学系统对准功能, 用于检测粗糙表面及表面下埋的杂质
- | 内置失败分析软件用于监测异常或超标杂质



EA1000A III

EA1000A III: 适合RoHS的专用XRF光谱仪

EA1000系列旨在加快和简化大规模生产环境中的RoHS测试, 符合当前指令, 允许用户在新法规出台时更新标准。

EA1000A III 提供:

- | 分析各种元素, 包括RoHS和卤素
- | 能够适应从大型部件到细线的各种样品尺寸
- | 增强卤素分析, 以获得准确的结果
- | 快速分析时间, 一次最多可测量12份样品
- | 先进的分析软件, 能够鉴别Hg和Zn



HM1000

HM1000: 快速、简单的邻苯二甲酸酯筛查

HM1000A专门用于以较低成本快速筛查邻苯二甲酸酯, 其采用热脱附技术筛查PCB和电子装置中的受限物质

HM1000 提供

- | 用于筛查邻苯二甲酸酯: DEHP, DIBP, BBP, DBP
- | 单个试样分析时间不足10分钟, 样品处理量高
- | 操作简单, 采用直观软件, 快速给出结果
- | 配有自动进样器, 可自动连续测量多达50个样品
- | 使用低成本的坩埚, 运行成本低, 无需使用氦气



X-MET8000

X-MET8000: 移动式的快速可靠的XRF分析

除了台式XRF光谱仪之外, 手持式X-MET8000还提供快速无损的镀层分析和合金识别。

X-MET8000 提供:

- | 采用强大XRF技术的, 易用的手持式分析仪
- | 在大触摸屏上数秒内显示分析结果
- | 电池充一次电最多可使用12小时
- | 坚固设计, 符合并通过MIL-STD军用级标准测试
- | 仅1.5kg的轻型设计可在长时间使用时将疲劳降至最低

高灵敏度的热分析仪

我们的热分析设备系列经过优化，能够检测和观察最小反应，且具有坚固耐用、可靠且易于使用的特点。



DSC 系列

DSC: 系列: 高准确度材料表征

我们的差示扫描量热仪系列专为准确测定熔点、玻璃化转变和结晶温度而设计，具有出色的灵敏度和基线平坦度。

DSC7000系列提供:

- | 高灵敏度和基线性能，具有独特的加热炉设计，从而提高准确度
- | 试样实时观察系统(Real View®)，使用者可在屏幕上观察试样的变化
- | 直观、易于使用的软件，具有针对特定应用的高级功能
- | 可靠的自动取样器测试和自动分析功能，可提高测试速度
- | 高度灵活性，装机后可以继续添加选配件



STA 系列

STA系列: 全面定量热分析

STA专为材料的全面热分析而设计，包括分解温度、熔点和比热测试，这款仪器结合了DSC和TGA技术，可用一台分析仪应对大量TGA应用。

STA提供:

- | 极高的准确度和精密度，即使在测量痕量材料时
- | 卓越的加热技术，能够满足最先进的TGA应用
- | 在较宽温度范围内进行Cp测量
- | 独特的试样实时观察系统(Real View®)，使用者可在屏幕上观察试样的变化
- | 易于使用的自动化功能、直观的软件和简单的报告创建



TMA7000 系列

TMA7000系列: 具备多种功能的热机械分析仪

一台仪器，多种测量。TMA7000系列能够执行精确的TMA分析，包括热膨胀、玻璃化转变和软化，以及DMA测试和蠕变测量。

TMA7000系列的特点:

- | 高灵敏度、低噪声TMA信号使测量范围达到+/- 5毫米
- | 执行TMA、DMA、应力-应变、蠕变和应力松弛测量的能力
- | 测量低膨胀材料和薄膜微小变化的能力
- | 凭借优越的控制技术和种类多样的测量探针，仪器应用范围广泛
- | 通过自动冷却系统提高热效率，降低运营成本，增加吞吐量



DMA7100

DMA7100: 为广泛的材料和分析提供灵活性

用于测量储存和损耗模量，允许测量玻璃化转变 (Tg) 以及二次转变 (Tδ 和 Tβ)。多种测量头可用于在较宽的温度和频率范围内测量软硬样品

DMA7100系列提供:

- | RealView® 摄像头系统让您可以在屏幕上实时查看材料行为并使用热谱图记录，以帮助了解您的结果
- | 灵活直观的软件，包括样品分析向导，每次都能获得最佳结果
- | 配备Lissajour 监视器，可确保实时测量和测量后的结果有效性
- | 具备热机械分析仪 (TMA) 同样的工作能力，可进行 CTE、应力-应变和蠕变恢复等测量

其他用于材料分析的仪器

日立应用于可靠和准确材料分析的全套仪器可帮助电子行业优化其操作。



ZA3000

ZA3000系列*: 原子吸收光谱

旨在测量电镀液中的主要元素和污染物, 以确保在整个电镀操作过程中保持电镀液成分稳定。

ZA3000系列提供:

- | 痕量元素分析敏感度高
- | 对所有元素进行背景校正, 以获得高可靠性
- | 增强基本性能, 以获得高准确度



TM4000

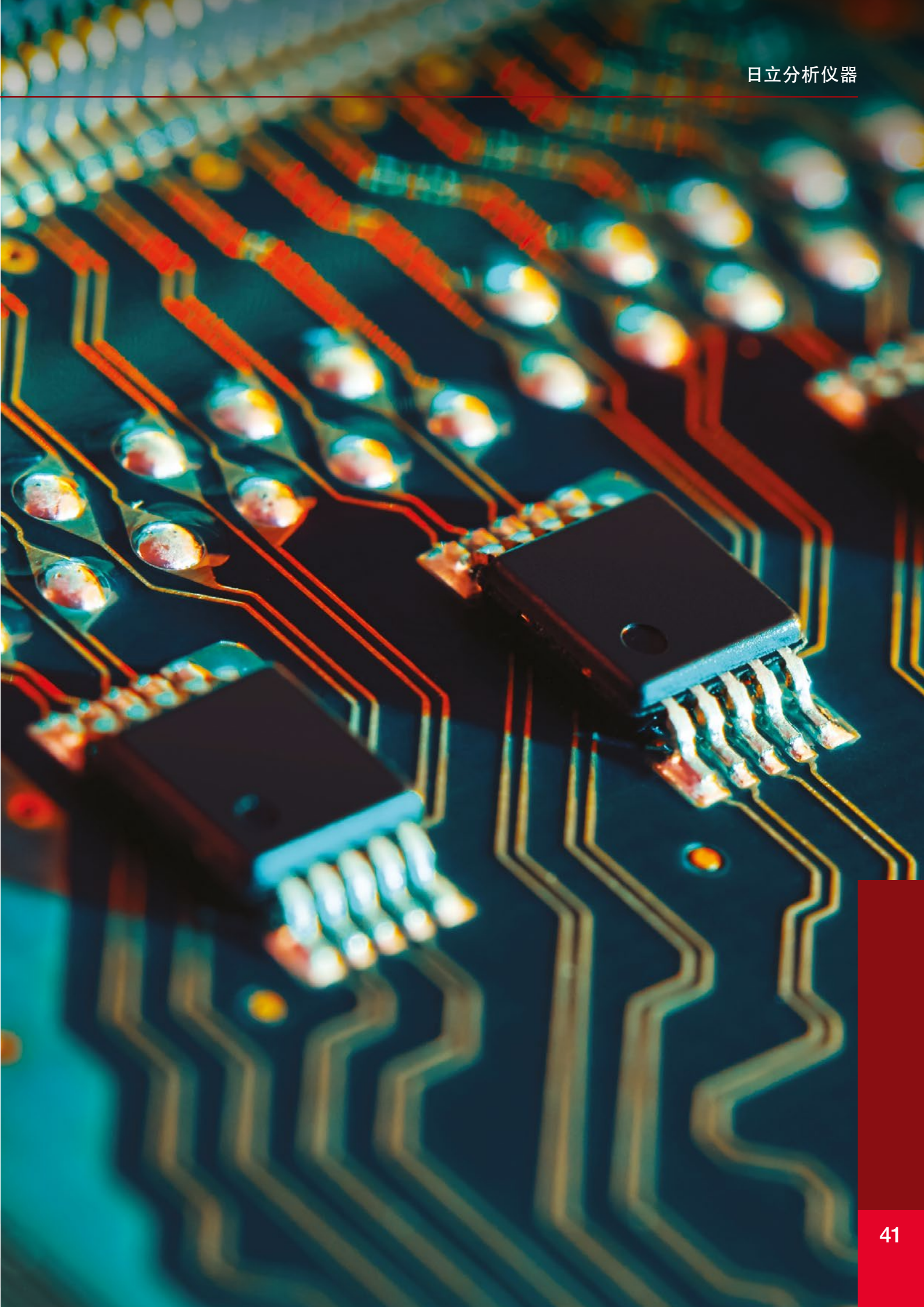
TM4000II系列: 台式电子显微镜

TM4000II系列采用创新和尖端技术——重新定义台式显微镜的功能, 并提供清晰的样品表面和层间边界图像, 以支持质量测试和研发工作。

TM4000II系列提供:

- | 简单的图像采集, 便于工作人员操作
- | 锯齿形功能, 用于拼接多个图像
- | 高加速电压, 用于高速EDS分析
- | 元素映射叠加图, 用于确定电镀连续性和识别污染物

*请查询除亚洲以外的分销渠道。





支持服务： 保持用户的业务连续性

从安装日立分析仪器那一刻开始，日立的服务团队将为用户提供专家级支持，以确保用户从日立设备中获得最佳结果。日立的目标是提供连续、优质的支持，以确保用户的低成本和高正常运行时间。

基于尽可能物有所值的原则，用户可订立不同支持级别的服务合同以获得其所需的服务。换言之，用户无需为其永远不会使用的服务支付费用。

日立的支持服务由全球服务中心和分销商网络提供，包括：

- | 延长保修期
- | 快速响应维修
- | 远程支持即时故障排除
- | 升级（如有）通知
- | 在日立的重新校准中心根据行业标准进行重新认证
- | 租赁设备，以维持生产
- | 提供培训以使用户充分利用其分析仪器

从安装之日起，日立随时准备在用户需要时提供建议、培训和故障排除服务。

若需了解更多关于电子行业镀层分析用XRF光谱仪的信息，请访问
hhtas.net/electronics-plating-cn

请通过

contact@hitachi-hightech.com

联系日立的专家以安排样机演示。

销售热线：400 621 5191

服务热线：400 622 5191



Hitachi High-Tech Analytical Science

本出版物仅提供概要信息，版权归日立分析仪器所有。未经公司的书面许可，任何人不得以任何目的使用、应用或复制本出版物，或将其用于任何订单或合同。本出版物不可用作产品或服务相关说明。日立分析仪器的政策将持续改进。公司保留更改任何产品或服务的规格、设计或供货条件的权利，恕不另行通知。

日立分析仪器承认所有商标和注册。

© 日立分析仪器，2021年。

保留所有权利。



CERT #3397.01

