

半导体检测

转自 MKS 光学与运动控制

导叙

随着基板和掩模/分划板的尺寸越来越小，对初始材料和成品器件缺陷的容忍度也越来越低。对于已知的缺陷类型，如颗粒等晶体缺陷，几乎是零容忍。此外，制造商还在不断地研究器件对新型纳米级缺陷的敏感性，这些问题需要利用缺陷检测计量学方法，在非常接近其工作环境噪声水平的情况下检测和量化缺陷，因此，不断出现了新的缺陷检测方法。

下面将介绍晶圆片和分划板检测技术，以及当前检测工具的一些特性。

缺陷扫描检查

本节重点介绍裸露晶片存在的各种缺陷以及用于识别这些缺陷的技术。在开始生产之前，即在晶片制造商处出厂以及半导体生产厂接收时，裸晶片都需要被检测并确认合格，检测可帮助定位、描绘并区分在集成电路制造过程中已产生的缺陷。在生产中只有缺陷极少的晶片才会被使用，而生产前的缺陷描绘可以方便制造商跟踪可能导致芯片功能不良的区域。裸晶片或无图案晶片在被动或主动工艺环境下使用前后都要进行测量，以确定加工工艺对颗粒度的基准。

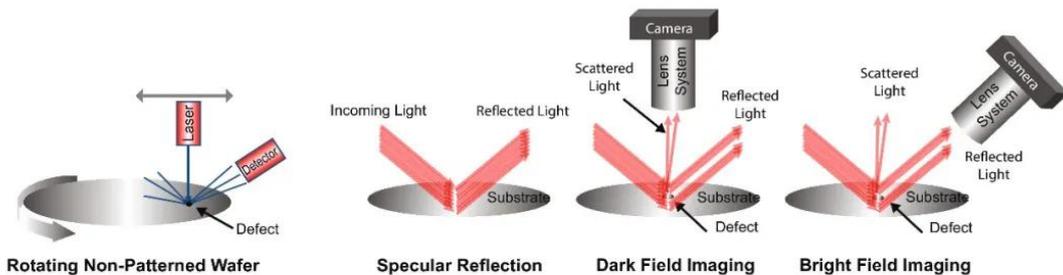


图 1 旋转无图案晶片的缺陷检测及镜面反射在暗场和亮场图像照明中的应用

设备制造商使用光学检测系统来检测晶片和掩模板上颗粒及类型的缺陷，并确定这些缺陷在晶片上的 X-Y 网格中的位置。用于无图案晶片缺陷检测的基本原理相对简单，激光束径向扫描旋转晶片的表面，以确保光束投射到所有的晶片表面。如图 1 所示，激光被晶片表面反射，就像被镜面反射一样。当激光束在表面遇到晶片上的粒子或其他缺陷时，缺陷会散射一部分激光。根据光强分布，可直接检测散射光(暗场)或损失一些光强的反射光(明场)，

而晶片的旋转位置和光束的径向位置定义了晶片表面缺陷的位置。在晶片检测工具中，光强由 PMT 或 CCD 记录，进而产生晶片表面散射或反射强度，如图 2 所示。从图中还可以看出有关缺陷大小和位置，以及由于颗粒污染等问题造成的晶片表面缺陷。这种方法要求对晶片/ 位移台以及光学元件进行高精度、高重复性的旋转和直线运动控制。

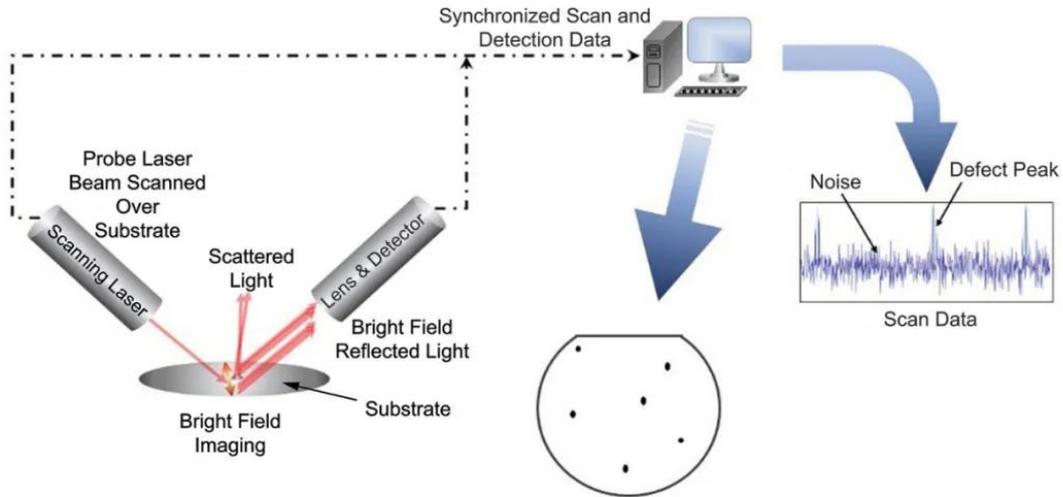


图 2 利用检测工具实现光采集、处理和晶片描绘

一般来说，暗场检测是无图案晶圆检查的首选，这是因为可以进行高速扫描，进而可提高晶片产量。有图案的晶圆检验是一个很慢的过程，需根据具体应用来决定采用明场成像还是暗场成像。图案表面散射减少了探测器的总光通量，故晶片检查时需要更长的积分时间。

为了保证晶片质量，并能对大规模生产进行缺陷检测，通常需要使用亚 100 纳米检测工具。这些工具使用与大规模的缺陷检测相同的基本工作原理，但会用到深紫外（DUV）光学增强系统，一些厂家宣称复杂的图像分析算法能达到亚 20 纳米的灵敏度。可以想象，对于这些应用使用的系统，晶片和光器件的运动控制需要非常高的精度和准确度。

检测工具需要对越来越小的颗粒进行检测和量化，但由于散射光信号信噪比的降低，表面粗糙度等因素就会开始影响小颗粒的检测能力。无图案晶圆的亚 100 纳米检测由于尺度问题而变得复杂，而信噪比是决定检测系统对晶片表面颗粒和其他缺陷检测极限的一个关键参数，环境湿度等因素引起的表面化学污染也会降低信噪比。为了克服这种影响，亚 100 纳

米缺陷检测的检测工具采用了高度复杂的光学空间滤波、散射信号的偏振分析以及专门的信号处理算法来检测存在于表面的缺陷

形貌检测

多种原因导致需要测量裸晶圆形貌，例如，晶圆片可能会弯曲，支撑晶圆的卡盘（静电或气动）可使晶圆片在接触点产生压痕，这种变形会影响纳米尺度下的模式成像。为了在加工前测量晶圆形状的这种变化，已开发出非常精准的干涉测量工具。

用于测量裸晶圆表面形貌的基本装置类似于 Fizeau 干涉仪，如图 3 所示。这种干涉测量技术将晶圆片与高质量、高度平坦的参考楔角（或参考平板）进行比较。楔角能够确保来自平板第一个表面的反射不会产生干涉信号，从第二表面反射的光作为参考信号，部分光通过平板到达晶圆片(测试平板)。从晶圆片和测试平台反射的光通过分束器直接到达成像系统，对干涉图样进行分析，通过软件拼接测量数据以绘制出具有纳米尺度分辨率的完整晶圆图。在实践中，测量裸晶圆片形貌的干涉测量工具非常复杂，可利用运动解决方案、大型光学和照明光源等方式扩大测量范围。

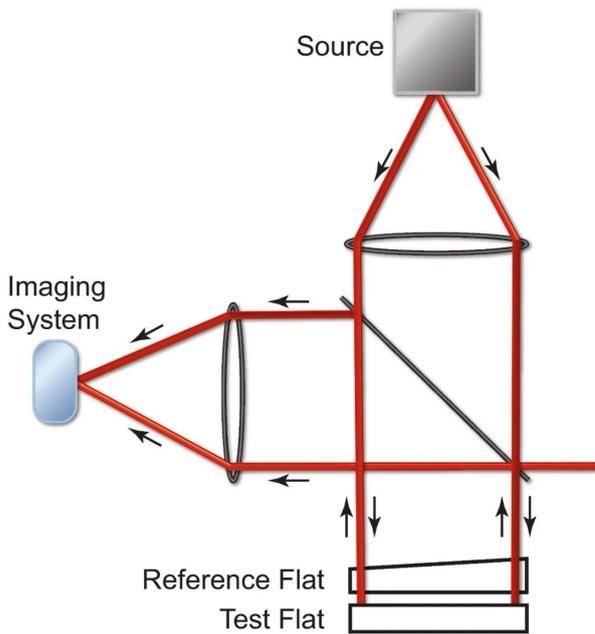


图 3 Fizeau 干涉仪

图案晶片检测

如前所述，图形晶圆的光学检测中可以使用明场照明、暗场照明或两者结合的方式来检测缺陷。有图案的晶圆检测系统将晶圆上的晶粒与相邻晶粒(或已知的无缺陷的“黄金”晶粒)的

图像进行比较，图像处理软件对图像进行扣除处理，在扣除过程中晶粒的任何随机缺陷都不会变为零，反而会在扣除后的图像中清晰地显示出来(参见图 4)。晶圆片在缺陷的位置处生成缺陷图，类似于无图案晶圆生成的映射图。与无图案晶圆的检测相比，由于晶圆和检测系统组件同时移动，有图案晶圆的检测对移动控制的精度和可重复性要求非常高。

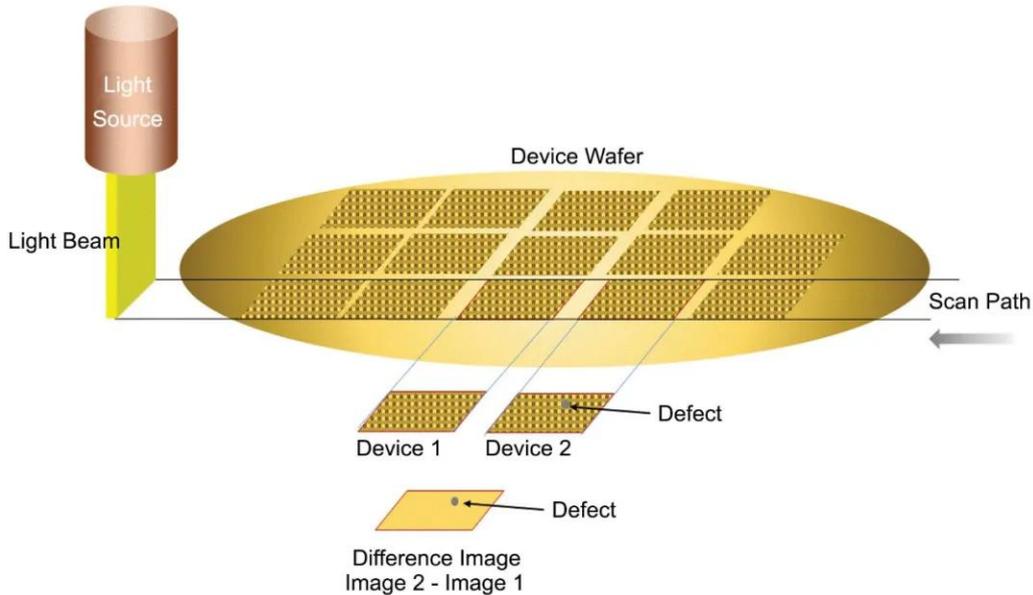


图 4 图案晶圆检测程序

亚 100 纳米 DUV 检测

与非晶圆片缺陷检测相比，亚 100 纳米晶圆片缺陷检测面临着更大的挑战。用于图案晶圆的 DUV 光学检测使用与传统可见光 (VIS) 和紫外光 (UV) 光学检测系统相同的图像对比原理。然而，DUV 方法对光学、运动控制和图像分析算法等方面的需求更为复杂。

DUV 检测工具已成为 65 nm 特征尺寸图形化晶圆检测的行业标准；检测速度可达每小时几个晶片，故可将这些系统应用于实际生产中。DUV 检测工具对检测缺陷，如亚 100 纳米尺度下的浅沟槽隔离空穴、接触腐蚀缺陷和光刻微桥接等，具有很高的灵敏度。利用宽频带 DUV/UV/VIS 照明，明场图案晶圆检测系统目前可将存储设备和闪光灯设备上所有层的缺陷检测灵敏度降低到 55 nm。

低成本、高产出的 DUV 光学检测系统仍然很受欢迎，但一些制造商报告显示 DUV 光学检测系统不具备检测 65 nm 以下几何形状所需的精度和灵敏度。一项研究宣称在存储技术（如 SRAM）中 DUV 暗场光学模式检测系统的极限缺陷灵敏度约为 75 nm，而逻辑区域中极限缺陷灵敏度更差。DUV 明场光学系统的灵敏度较佳，SRAM 的极限灵敏度在 50 nm 左右，与暗场系统一样，逻辑区域中灵敏度更差。此外，使用 DUV 激光照射到晶圆上非常小、非常脆弱的结构会导致一些不常见的问题，例如表面材料的激光烧蚀。解决这些问题的方法是在光学检测系统中使用宽带等离子体照明（现有的 DUV 系统使用 266 nm 波长，正在向 193 nm 波长扩展），或者使用生产可用的电子束检测工具。最近出现的基于等离子体产生的宽带照明的检测工具可用于生产环境，其宣称分辨率达亚 10 nm 量级，这是因为更短的波长可在小尺寸提供更准确的检测结果。

电子束检测

电子束成像（EB）也可用于缺陷检测，其常用于光学成像效率较低的较小几何尺寸。电子束检测能够提供比光学检测系统大得多的动态分辨率范围的对比度。然而，电子束检测由于测量速度较慢，目前主要用于研发环境或新技术认定研究中。新的电子束工具可用于 10 nm 及以下节点的缺陷检测应用，多电子束工具正在开发中，最多可支持 100 个阵列或通道的测量。

分划板检测

分划板是一种透过式或反射式投影掩模，具有非常小的特征尺寸图案（通常比晶圆上的大 4—5 倍）。分划板同光学照明系统一起使用，可以将图案化的光成像缩小，选择性地曝光在光刻胶上，这也是晶圆片图案制作过程的一部分。事实证明，分划板检查比无图案晶圆或有图案晶圆的检查重要得多，这是由于纯晶圆片或有图案的晶圆片上的一个缺陷有可能“杀死”一个设备，而分划板上的一个未被检测的缺陷可以摧毁成千上万的设备。具体因为使用带有缺陷的分划板处理每个晶圆片时，每个晶圆片都复制了该缺陷。在 EUV 中，由于图案的分辨率更为精细、薄保护膜的存在以及分划板的反射设计，这个问题变得更加复杂。

分划板检测系统与晶圆检测系统有着相同的工作原理，物理需求也与晶圆检测相似，不同的是分划板检测通常使用透射光而不是反射光，用于定位紫外不透明斑点和其他透射缺陷。依据缺陷容差和/或特征尺寸，分划板检测工具采用高分辨率成像光学元件和可见光或紫外线照明，在空白分划板或有图案的分划板上寻找缺陷。在分划板制造和使用过程中，都需要进

行例行检查。与晶圆检测工具类似，分划板检测也采用先进的图像分析软件和运动控制系统。在分划板检测系统中，传统光学元件加紫外线照明已经将特征尺寸缩小到 90 nm。使用电子束在更小的特征尺寸下对分划板进行检测也是可行的，因为与图案晶圆检测相比，分划板检测可以容忍较低的产出。

与晶圆片检测一样，用于亚 100 纳米应用的分划板检查工具(包括空白和有图案的分划板使用 DUV 照明，通常使用 266 nm 或 193 nm 的单波长光源。图 5 为分划板检测平台框架图，需要注意的是，该平台除了目标光学系统、移动平台和光源外，还采用了各种控制器和数据分析模块。分划板检测系统可在检测过程中使用通过分划板的透射光或来自分划板表面的反射光，与其他检测系统一样，分划板检测系统对光学元件的运动控制和气浮轴承分划板位移台准确性和精度要求都非常高。

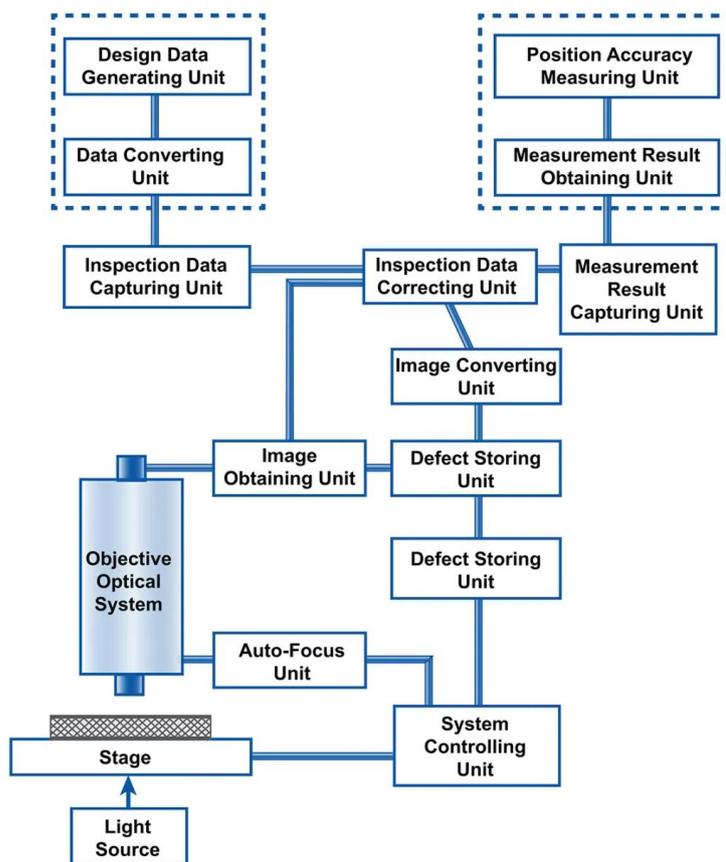


图 5 分划板检测系统各部件框架

半导体检测中的运动控制

我们提供各种高性能气轴承位移台,适用于晶圆检查工具和其他运动控制应用。Hybr XY 混合空气轴承 XY 位移台是一种成本低的单面空气轴承工作台,非常适合半导体晶圆检测系统和许多其他需要超低速波纹和动态跟踪误差的扫描应用。此序列位移台具有真正的单一位置 XY 架构,带有可选的 θ 和 Z-Tip-Tilt 倾斜解决方案。其特点是扫描速度高达 600 毫米/秒,加速度为 0.6 G,XY 行程范围大 (> 1 米)。Hybr YX 系统可靠、寿命长,非常适合高占空比环境,如晶圆检查应用。

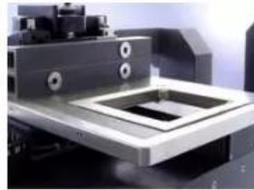
DynamYX 系列十字线定位台是专门为半导体晶圆加工和检查应用而设计的。它们提供最高级别的商用定位性能。在这些阶段,陶瓷材料的广泛使用保证了刚性结构的稳定性。它们设计轻薄,非常适用于于 OEM 应用。

晶圆检验的定制光学解决方案

我们为晶圆检验工具制造商提供光学子系统设计和定制解决方案。我们为光刻、晶圆检查、准分子和 EUV 光源、计量和掩模书写等应用,设计和制造了光学子系统。更多产品信息,请联系我们~



Air Bearing Stages for Inspection and Metrology



Air Bearing Stages for Reticle Inspection



Semiconductor Application Lasers



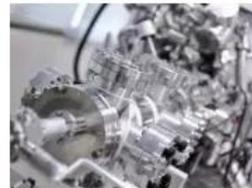
Direct Vacuum and Pressure Measurement



Flow Measurement and Control



Mass Spectrometry



Custom Vacuum Solutions



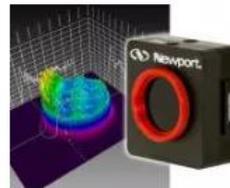
Spectroscopy Instruments



Incoherent Light Sources



Optical Receivers



Laser Beam Characterization



Photonics



Optical Tables & Isolation Systems



Motion Control



Optical Filters

森泉为您的科研事业添砖加瓦：

- 1) 激光控制：激光电流源、激光器温控器、激光器控制、伺服设备与系统等等
- 2) 探测器：光电探测器、单光子计数器、单光子探测器、CCD、光谱分析系统等等
- 3) 定位与加工：纳米定位系统、微纳运动系统、多维位移台、旋转台、微型操作器等等
- 4) 光源：半导体激光器、固体激光器、单频激光器、单纵模激光器、窄线宽激光器、光通讯波段激光器、CO₂ 激光器、中红外激光器、染料激光器、飞秒超快激光器等等
- 5) 光机械件：用于光路系统搭建的高品质无应力光机械件，如光学调整架、镜架、支撑杆、固定底座等等
- 6) 光学平台：主动隔振平台、气浮隔振台、实验桌、刚性工作台、面包板、隔振、隔磁、隔声综合解决方案等等
- 7) 光学元件：各类晶体、光纤、偏转镜、反射镜、透射镜、半透半反镜、滤光片、衰减片、玻片等等
- 8) 染料：激光染料、荧光染料、光致变色染料、光致发光染料、吸收染料等等