

一种芯片缺陷检测装置及检测方法

技术领域

本发明涉及集成电路制造技术领域，特别涉及一种芯片缺陷检测装置及检测方法。

背景技术

“超摩尔定律”等概念引领 IC 行业从追求工艺技术节点的时代，转向更多地依赖于芯片封装技术发展的全新时代。相比于传统封装，晶圆级封装 (Wafer Level Packaging, WLP) 在缩小封装尺寸、节约工艺成本方面有着显著的优势。因此，WLP 将是未来支持 IC 不断发展的主要技术之一。

WLP 主要包括 Pillar/Gold/Solder Bump、RDL (Redistribution Layer, 重布线层)、TSV (Through Silicon Vias, 通过硅片通道) 等工艺技术。为了增加芯片制造的良率，在整个封装工艺过程都需要对芯片进行缺陷检测，早期的设备主要集中在表面 2D 的缺陷检测，例如污染、划痕、颗粒等。随着工艺控制要求的增加，越来越需要对表面 3D 特征进行检测，例如 Bump 高度、RDL 厚度、TSV 的孔深等。

目前对芯片 3D 测量的精度相对较低，且检测效率较低，难以满足晶圆全方位扫描检测的需求。

发明内容

本发明的目的在于提供一种芯片缺陷检测装置及检测方法，以解决现有的芯片缺陷检测装置在检测芯片时，检测精度低，效率低的问题。

为解决上述技术问题，本发明一方面提供一种芯片缺陷检测装置，包括：光源部件，用于发射至少两种波长的光束；分束器，用于将所述光源部

件发射的光束分为第一部分和第二部分；所述光束的第一部分经所述芯片的待检测面反射形成探测光束；参考部件，用于通过该参考部件的一表面来接收所述光束的第二部分并形成参考光束；以及探测部件，用于接收所述探测光束和所述参考光束，所述参考光束和探测光束具有一定的夹角，以在所述探测部件的探测面上形成干涉信号，基于所述干涉信号确定所述芯片的待检测面的缺陷参数。

可选的，所述探测部件包括至少一个探测器，用于探测所述干涉信号。

可选的，所述探测器的数量为多个，每个所述探测器用于一种波长的光束的探测。

可选的，所述探测器为互补金属氧化物半导体或电荷耦合器件图像传感器。

可选的，所述参考部件包括反射元件，通过所述反射元件的表面来接收所述光束的第二部分并形成参考光束，所述反射元件的表面与垂直于所述芯片的待检测面的竖直方向之间呈一定的夹角。

可选的，所述光源部件发射两种波长的光束，由所述探测部件测得的具有较短波长的光束的光照强度和具有两种波长的合成波长的光束的光照强度如下式：

$$I_1 \approx \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right) ;$$

$$I_2 \approx \cos\left[\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} - \frac{2\pi}{\lambda_2}\right) \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] = \cos\left[2\pi \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right];$$

其中， I_1 表示具有较短波长 λ_1 的光束的光照强度， I_2 表示具有两种波长 λ_1 和 λ_2 的合成波长的光束的光照强度， θ 表示所述参考部件的表面与垂直于所述芯片的待检测面的竖直方向之间的夹角， z 表示所述芯片的待测面上的测量点的高度， x 表示所述探测部件中的探测像素的水平位置。

可选的, 具有较短波长 λ_1 的光束决定所述芯片缺陷检测装置的分辨率, 具有两种波长的合成波长的光束决定所述芯片缺陷检测装置的竖直方向探测范围; 所述芯片缺陷检测装置的分辨率和所述芯片缺陷检测装置的竖直方向探测范围分别按如下公式计算:

$$R_0 = \lambda_1 / 2 / \text{SNR};$$

$$Z_0 = \lambda_s / 2;$$

其中, R_0 表示所述芯片缺陷检测装置的分辨率, SNR 表示所述芯片缺陷检测装置的信噪比, Z_0 表示所述芯片缺陷检测装置的竖直方向探测范围, λ_s 表示波长 λ_1 和波长 λ_2 的合成波长。

可选的, 所述光源部件发射三种波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束, 所述探测部件包括若干超像素, 每个所述超像素包括多个像素, 每个像素测得的光照强度如下式:

$$I(x, y) = A_1^2 + B_1^2 + 2A_1B_1\cos(\theta_{x,y,1} + \varphi_1) + A_2^2 + B_2^2 + 2A_2B_2\cos(\theta_{x,y,2} + \varphi_2) + A_3^2 + B_3^2 + 2A_3B_3\cos(\theta_{x,y,3} + \varphi_3);$$

其中, (x, y) 表示像素坐标; B_1 、 B_2 和 B_3 是各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束的透射和反射相关的系数; A_1 、 A_2 和 A_3 是各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束与芯片的待检测面反射率相关的系数, φ_1 、 φ_2 、 φ_3 表示各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束的初始相位, $I(x, y)$ 表示坐标为 (x, y) 的像素测得的光照强度, $\theta_{x,y,i}$ 表示由坐标为 (x, y) 的像素测得的从所述参考部件反射回来的波长 λ_i 的光束和从所述芯片待检测面反射回来的波长 λ_i 的光束之间的夹角, 其中 $i=1, 2, 3$ 。

可选的, 芯片的待检测面的缺陷参数通过FFT算法获得。

可选的, 还包括物镜, 用于放大所述芯片的待检测面, 所述物镜位于所述分束器和芯片的待检测面之间。

为解决上述技术问题, 本发明另一方面提供一种芯片缺陷检测方法, 采用上述芯片缺陷检测装置, 所述方法包括:

利用光源部件发射至少两种波长的光束；

利用分束器将所述光源部件发射的光束分为第一部分和第二部分；所述光束的第一部分经所述芯片的待检测面反射形成检测光束；所述光束的第二部分经参考部件形成参考光束；

利用探测部件探测检测光束和参考光束所形成的干涉信号，并基于所述干涉信号确定所述芯片的待检测面的缺陷参数。

在本发明提供的芯片缺陷检测装置及其检测方法中，通过解析多束不同波长的光束产生的干涉条纹对芯片进行缺陷检测，实现了对芯片的 3D 测量，并提高提高了检测精度和检测效率，并且能适应较大芯片样片的检测。

附图说明

图 1 是本申请实施例一的芯片缺陷检测装置原理示意图；

图 2 是本申请实施例一的芯片缺陷检测装置光源发射两种波长的光所提取的干涉信号图；

图 3 是本申请实施例一的芯片缺陷检测装置光源发射一种波长的光束的光路示意图；

图 4 是本申请实施例一的芯片缺陷检测装置光源发射三种波长的光的光路示意图；

图 5 是本申请实施例二的芯片缺陷检测装置原理示意图。

图中：10-光源部件；12-光缆；20、71、72、73-反光镜；11、31、32、33-透镜；40、721、731、921、931-分束器；41-参考光束；42-探测光束；50-物镜；60-芯片；70-参考部件；90-探测部件；91、92、93-探测器。

具体实施方式

本申请的核心思想在于利用不同波长的光束对物体待测平面进行扫描，

并利用一参考光路在探测器上形成干涉条纹，通过求解干涉条纹中干涉信号的相位对待测面进行 3D 检测。

以下结合附图和具体实施例对本发明提出的一种芯片缺陷检测装置及检测方法作进一步详细说明。根据下面说明和权利要求书，本发明的优点和特征将更清楚。需说明的是，附图均采用非常简化的形式且均使用非精准的比例，仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。

实施例一

参阅图 1，其示出的是实施例一的芯片缺陷检测装置原理示意图。

本实施例提供的芯片缺陷检测装置主要包括光源部件 10、参考部件 70、物镜 50、探测部件 90、分束器 40、反光镜 20 以及若干透镜。

光源部件 10 用于产生具有一定波长的光束，这些光束经反射镜 20 反射后进入透镜 31，经透镜 31 到达分束器 40，分束器 40 将光束分为两部分，一部分经物镜 50 照射到芯片 60 的待测面上，并又从芯片 60 的待测面反射回来形成探测光束 42 依次经过物镜 50、分束器 40 和透镜 33 后到达探测部件 90；另一部分进入参考部件 70，然后又从参考部件 70 反射回来形成参考光束 41 依次经过透镜 32、分束器 40 和透镜 33 后到达探测部件 90；探测光束 42 和参考光束 41 之间具有一定的夹角 θ ，因此探测光束 42 和参考光束 41 在探测部件 90 上形成干涉条纹，通过解析干涉条纹相位便可以提取待测面高度。

光源部件 10 所产生的光束至少包含两个不同波长的光束，光源部件 10 优先选择相干性、方向性好的光束。光束波长的选择取决于探测高度范围需求和分辨率的需求。

为了方便说明，下面分别列举光源部件 10 采用两个不同波长的光束和三个不同波长的光束。

当光源部件 10 采用两种波长时，分别为 λ_1 和 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)，则需解析如下两个函数：

$$I_1 \approx \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right) \quad (1a)$$

$$I_2 \approx \cos\left[\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} - \frac{2\pi}{\lambda_2}\right) \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] = \cos\left[2\pi \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] \quad (1b)$$

其中 z 表示待测面上的测量点的垂向位置（或高度）， x 表示探测面上的探测像素点的水平位置；公式（1a）表示波长 λ_1 的干涉信号，即 I_1 表示由所述探测部件测得的具有较短波长 λ_1 的光束的光照强度，而公式（1b）表示合成波长 $\lambda_s = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ 的干涉信号，即 I_2 表示由所述探测部件测得的具有两种波长 λ_1 和 λ_2 的合成波长的光束的光照强度。如图 2 所示， I_1 曲线表示待测面高度 z 方向上较大范围内（例如图示为 $-\lambda_s/4$ 至 $\lambda_s/4$ 的范围）的变化趋势，而 I_2 曲线表示 z 方向上的局部（小范围 Δz 内）振动。因此波长为 λ_1 的光束决定所述系统的分辨率 $R_0 = \lambda_1/2/\text{SNR}$ （其中 SNR 表示所述系统的信噪比），合成波长 λ_s 决定所述系统的垂向探测范围 $Z_0 = \lambda_s/2$ 。

当光源部件 10 采用 3 个照明波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 （ $\lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$ ），则所述 3 个照明波长的光分别在探测面产生的干涉信号对应于 I_1 、 I_2 、 I_3 ：

$$I_1 \approx \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right) \quad (2a)$$

$$I_2 \approx \cos\left[\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} - \frac{2\pi}{\lambda_3}\right) \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] = \cos\left[2\pi \frac{\lambda_3 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_3} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] \quad (2b)$$

$$I_3 \approx \cos\left[2\pi\left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_3} - \frac{2}{\lambda_2}\right) \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] = \cos\left[2\pi \frac{\lambda_2 \lambda_3 + \lambda_1 \lambda_2 - 2\lambda_1 \lambda_3}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] \quad (2c)$$

在三个波长的所述系统中， λ_1 决定所述系统的分辨率 $R_0 = \lambda_1/2/\text{SNR}$ （其中 SNR 表示所述系统的信噪比），合成波长 $\lambda_s = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{\lambda_2 \lambda_3 + \lambda_1 \lambda_2 - 2\lambda_1 \lambda_3}$ 决定所述系统的垂向探测范围 $Z_0 = \lambda_s/2$ 。

根据本领域相关技术知识，所述探测系统可以扩展到更多的探测波长。

参阅图 3，其示出的是一种波长 λ 的干涉光路图，其中，探测部件 90 选用了—个探测器 91，参考部件 70 选用了—个反光镜 71。在本图中，芯片 60 待测面水平放置，反光镜 71 与竖直方向之间具有一定的夹角 θ ，从而使探测器 91 上形成了干涉条纹。探测器 91 可以是光电探测器（例如 CMOS，

Complementary Metal Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体或 CCD, Charge Coupled Device, 电荷耦合器件图像传感器)。探测光束 42 和参考光束 41 在探测器 91 上形成的干涉条纹所解析出的干涉信号如公式 (3)。为求解待测面上单个测量点的垂向高度 z , 在探测器上构造一系列的 Superpixel (超像素), 每个 Superpixel 由 $m \times n$ 的像素构成 (即 m 行 n 列像素, 例如 5×5 像素), 对应物镜 50 的光学分辨率大小。

$$I(x, y) = A_1^2 + B_1^2 + 2A_1B_1\cos(\theta_{x,y,1} + \varphi_1) + A_2^2 + B_2^2 + 2A_2B_2\cos(\theta_{x,y,2} + \varphi_2) + A_3^2 + B_3^2 + 2A_3B_3\cos(\theta_{x,y,3} + \varphi_3) \quad (3)$$

其中 $x=1,2,\dots,m$; $y=1,2,\dots,n$, $I(x, y)$ 表示超像素中的 $m \times n$ 个像素中的第 x 行第 y 列所对应的像素测得的光强; B_1 、 B_2 和 B_3 是各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 在参考光路中的透射和反射相关系数, 可通过标定获得; A_1 、 A_2 和 A_3 是各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 与待测面反射率相关的系数; $\theta_{x,y,1}$ 、 $\theta_{x,y,2}$ 和 $\theta_{x,y,3}$ 分别表示各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 在探测面的相位变化, 其中下标 x, y 对应于探测面上像素的坐标, 下标 1、2、3 对应于相应的波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 , 公式 (3) 中的各个 θ 的值与前述的反光镜 71 与竖直方向之间的夹角 θ 的值没有必然联系; φ_1 、 φ_2 和 φ_3 分别表示待测面垂向位置 z 引起的各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 相位值。对于一个 $m \times n$ 的 Superpixel, 可获得 $m \times n$ 个矩阵方程, 通过相位提取算法, 例如 FFT 算法, 依次求解相位 $\varphi_1 + \varphi_3 - 2\varphi_2$, $\varphi_2 - \varphi_1$ 和 φ_1 , 即可获得对应该探测点的高度值 z 。

$$z = \frac{\varphi_1}{4\pi} \cdot \lambda_1 \quad (4)$$

参阅图 4, 其采用三种波长的光束, 分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 可分别取值为 560nm、630nm、719.5nm, 假设所述系统的信噪比为 $SNR=20$, 则所述系统的垂向探测分辨率为 $R_0=560/SNR=28nm$, 垂向探测范围 $Z_0=518\mu m$ 。三个波长照明光通过透镜 11 耦合进光缆 12, 经光缆 12 传导后进入透镜 31; 这里的光缆 12 代替了反光镜 20。在本实施例中, 参考部件 70 采用一个反射镜 71, 探测器 91 采用一个 CCD 或 CMOS 探测三种波长的光束的干涉信号。当待测面上的测量点处于不同高度 z 时, 每个 Superpixel 会检测到不同的干涉信号, 解析 Superpixel 信号中相位, 即可获得高度 z 值。

实施例二

参阅图 5, 其示出的是实施例二提供的芯片缺陷检测装置原理示意图。与实施例一不同的地方是实施例二的芯片缺陷检测装置中采用的参考部件 70 采用三个反射镜 71、72、73; 探测部件 90 采用三个探测器 91、92、93, 分别对应于 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 的干涉信号探测。在参考部件采用三个反射镜, 每个反射镜与参考光束入射方向的垂直方向之间分别具有夹角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 , 且 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 设置为不同值, 用于调节干涉条纹的周期分布。探测部件 90 采用三个探测器, 其目的是消除三个波长干涉信号间的串扰, 提高探测系统的信噪比。731、721、921 和 931 均为分束器, 分束器 731 反射波长 λ_1 , 透射波长 λ_2 和 λ_3 ; 分束器 721 反射波长 λ_2 , 透射波长 λ_3 ; 分束器 921 反射波长 λ_2 和 λ_3 , 透射波长 λ_1 ; 931 分束器反射波长 λ_3 , 透射波长 λ_1 。

采用本实施例的芯片缺陷检测装置来检测待测面的垂向位置也可采用上述公式 (3) 和 (4) 来计算。其检测原理与实施例一相同, 区别在于可比实施例一获得更高的信噪比。

综上两个实施例, 本申请提供的芯片缺陷检测装置通过解析多束不同波长的光束产生的干涉条纹对芯片进行 3D 测量, 提高了检测精度, 而且提高了检测效率, 并且能适应较大芯片样片的检测。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述, 每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处, 各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言, 由于与实施例公开的方法相对应, 所以描述的比较简单, 相关之处参见方法部分说明即可。

上述描述仅是对本发明较佳实施例的描述, 并非对本发明范围的任何限定, 本发明领域的普通技术人员根据上述揭示内容做的任何变更、修饰, 均属于权利要求书的保护范围。

权利要求

1、一种芯片缺陷检测装置，其特征在于，包括：

光源部件，用于发射至少两种波长的光束；

分束器，用于将所述光源部件发射的光束分为第一部分和第二部分；所述光束的第一部分经所述芯片的待检测面反射形成探测光束；

参考部件，用于通过该参考部件的一表面来接收所述光束的第二部分并形成参考光束；以及

探测部件，用于接收所述探测光束和所述参考光束，所述参考光束和探测光束具有一定的夹角，以在所述探测部件的探测面上形成干涉信号，基于所述干涉信号确定所述芯片的待检测面的缺陷参数。

2、如权利要求1所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，所述探测部件包括至少一个探测器，用于探测所述干涉信号。

3、如权利要求2所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，所述探测器的数量为多个，每个所述探测器用于一种波长的光束的探测。

4、如权利要求2所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，所述探测器为互补金属氧化物半导体或电荷耦合器件图像传感器。

5、如权利要求1所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，所述参考部件包括反射元件，通过所述反射元件的表面来接收所述光束的第二部分并形成参考光束，所述反射元件的表面与垂直于所述芯片的待检测面的竖直方向之间呈一定的夹角。

6、如权利要求1所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，所述光源部件发射两种波长的光束，由所述探测部件测得的具有较短波长的光束的光照强度和具有两种波长的合成波长的光束的光照强度如下式：

$$I_1 \approx \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right);$$

$$I_2 \approx \cos\left[\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} - \frac{2\pi}{\lambda_2}\right) \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right] = \cos\left[2\pi \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} \cdot 2(z + x \cdot \sin\theta)\right];$$

其中， I_1 表示具有较短波长 λ_1 的光束的光照强度， I_2 表示具有两种波长 λ_1

和 λ_2 的合成波长的光束的光照强度， θ 表示所述参考部件的表面与垂直于所述芯片的待检测面的竖直方向之间的夹角， z 表示所述芯片的待测面上的测量点的高度， x 表示所述探测部件中的探测像素的水平位置。

7、如权利要求6所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，具有较短波长 λ_1 的光束决定所述芯片缺陷检测装置的分辨率，具有两种波长的合成波长的光束决定所述芯片缺陷检测装置的竖直方向探测范围；所述芯片缺陷检测装置的分辨率和所述芯片缺陷检测装置的竖直方向探测范围分别按如下公式计算：

$$R_0 = \lambda_1 / 2 / \text{SNR};$$

$$Z_0 = \lambda_s / 2;$$

其中， R_0 表示所述芯片缺陷检测装置的分辨率， SNR 表示所述芯片缺陷检测装置的信噪比， Z_0 表示所述芯片缺陷检测装置的竖直方向探测范围， λ_s 表示波长 λ_1 和波长 λ_2 的合成波长。

8、如权利要求1所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，所述光源部件发射三种波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束，所述探测部件包括若干超像素，每个所述超像素包括多个像素，每个像素测得的光照强度如下式：

$$I(x, y) = A_1^2 + B_1^2 + 2A_1B_1\cos(\theta_{x,y,1} + \varphi_1) + A_2^2 + B_2^2 + 2A_2B_2\cos(\theta_{x,y,2} + \varphi_2) + A_3^2 + B_3^2 + 2A_3B_3\cos(\theta_{x,y,3} + \varphi_3);$$

其中， (x, y) 表示像素坐标； B_1 、 B_2 和 B_3 是各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束的透射和反射相关的系数； A_1 、 A_2 和 A_3 是各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束与芯片的待检测面反射率相关的系数， φ_1 、 φ_2 、 φ_3 表示各波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的光束的初始相位， $I(x, y)$ 表示坐标为 (x, y) 的像素测得的光照强度， $\theta_{x,y,i}$ 表示由坐标为 (x, y) 的像素测得的从所述参考部件反射回来的波长 λ_i 的光束和从所述芯片待检测面反射回来的波长 λ_i 的光束之间的夹角，其中 $i=1, 2, 3$ 。

9、如权利要求8所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，芯片的待检测面的缺陷参数通过FFT算法获得。

10、如权利要求1所述的芯片缺陷检测装置，其特征在于，还包括物镜，用于放大所述芯片的待检测面，所述物镜位于所述分束器和芯片的待检测面之间。

11、一种芯片缺陷检测方法，其特征在于，采用如权利要求 1-10 中任一项所述的芯片缺陷检测装置，所述方法包括：

利用光源部件发射至少两种波长的光束；

利用分束器将所述光源部件发射的光束分为第一部分和第二部分；所述光束的第一部分经所述芯片的待检测面反射形成检测光束；所述光束的第二部分经参考部件形成参考光束；

利用探测部件探测检测光束和参考光束所形成的干涉信号，并基于所述干涉信号确定所述芯片的待检测面的缺陷参数。