



(21) 申請案號：105135496 (22) 申請日：中華民國 105 (2016) 年 11 月 02 日  
 (51) Int. Cl. : G01J3/28 (2006.01) G01N21/64 (2006.01)  
 (30) 優先權：2015/11/09 美國 62/253,092  
 2016/06/09 美國 15/178,484  
 (71) 申請人：耐諾股份有限公司 (美國) NANOMETRICS INCORPORATED (US)  
 美國  
 (72) 發明人：巴克考斯基 安德茲 BUCZKOWSKI, ANDRZEJ (US)；史辣克 米哈伊爾 SLUCH,  
 MIKHAIL (US)  
 (74) 代理人：陳長文  
 申請實體審查：有 申請專利範圍項數：27 項 圖式數：20 共 55 頁

## (54) 名稱

用於樣本之光譜成像之光學計量系統

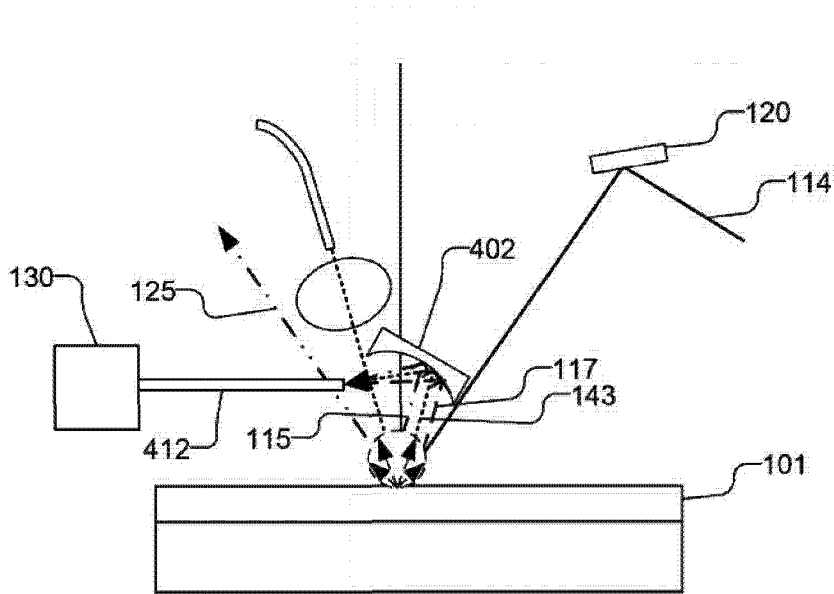
OPTICAL METROLOGY SYSTEM FOR SPECTRAL IMAGING OF A SAMPLE

## (57) 摘要

一種光學計量器件能夠偵測來自跨越一樣本之寬度之一線之光致發光光、寬頻帶光之鏡面反射與散射光之任何組合。該計量器件包含在該樣本上產生一第一照射線之一第一光源。一掃描系統可用於使一照射點掃描跨越該樣本以形成該照射線。一偵測器收集沿著該照射線發射之該光致發光光。另外，可使用一寬頻帶照射源在該樣本上產生一第二照射線，其中該偵測器收集沿著該第二照射線反射之該寬頻帶照射。一信號收集光學器件可收集該光致發光光及該寬頻帶光且將其聚焦成由一光導管接收之一線。該光導管之輸出端具有與該偵測器之入口匹配之一形狀。

An optical metrology device is capable of detection of any combination of photoluminescence light, specular reflection of broadband light, and scattered light from a line across the width of a sample. The metrology device includes a first light source that produces a first illumination line on the sample. A scanning system may be used to scan an illumination spot across the sample to form the illumination line. A detector collects the photoluminescence light emitted along the illumination line. Additionally, a broadband illumination source may be used to produce a second illumination line on the sample, where the detector collects the broadband illumination reflected along the second illumination line. A signal collecting optic may collect the photoluminescence light and broadband light and focus it into a line, which is received by an optical conduit. The output end of the optical conduit has a shape that matches the entrance of the detector.

指定代表圖：



【圖20】

符號簡單說明：

101 . . . 樣本

114 . . . 照射光束/  
經準直照射光束/窄頻  
帶照射光束/掃描照射  
光束/入射照射光束

115 . . . 散射光

117 . . . 光致發光光

120 . . . 固定鏡/重  
定向鏡

125 . . . 線

130 . . . 偵測器/信  
號偵測器

143 . . . 寬頻帶光/  
所反射寬頻帶光

402 . . . 長橢圓柱面  
鏡/橢圓鏡/橢圓柱面  
鏡/光學器件

412 . . . 光導管

# 【發明說明書】

## 【中文發明名稱】

用於樣本之光譜成像之光學計量系統

## 【英文發明名稱】

OPTICAL METROLOGY SYSTEM FOR SPECTRAL IMAGING  
OF A SAMPLE

## 【技術領域】

## 【先前技術】

光致發光成像及光譜學係探測材料(諸如矽半導體晶圓、太陽能電池以及其他工件及材料)之電子結構之一無接觸非破壞性方法。在一典型光致發光程序中，光經引導至一晶圓或其他工件(在下文中統稱為一「樣本」)上，其中至少某些光被吸收。所吸收之光經由一「光激發」程序將多餘能量施予材料中。樣本透過一系列路徑消散多餘能量；一個此路徑係光之發射或光致發光。光致發光之強度及光譜內容係與樣本之各種材料性質直接相關，且因此可用於判定樣本之特定特性(包含缺陷)，如在美國專利第7,113,276B1號中所論述，該美國專利以引用之方式併入本文中。

反射或反射性成像係用一寬頻帶照射源探測表面且分析自表面回彈之信號之強度及光譜內容之一無接觸非破壞性方法。表面通常可分類成鏡面表面或漫射表面且實物通常展現兩種性質之一混合。

有時可期望(例如)半導體晶圓檢驗應用量測光致發光之強度及光譜內容及半導體晶圓大小之工件之反射以用於以單晶圓負載在同一裝置中同時或以一短序列進行品質檢驗同時達成組合有高量測空間及光譜解析度之一高量測輸送量之目的。

習知使用一單一逐點檢驗方案來量測光譜光致發光或經組合之光譜光致發光與反射。在一逐點方案中，樣本放置於一X-Y運動(或R- $\Theta$ )系統上且在一單一激發點處被照射且量測。樣本經移動至另一量測點且再次被照射及量測。藉由沿X-Y方向重複樣本之平移，可自逐點量測建構一光致發光與反射映射。然而，由於低輸送量，此方案本質上係緩慢的，且因此在全晶圓檢驗系統中係不切實際的，尤其在大樣品大小(直徑接近及大於100 mm)的情況中更係如此。

### 【發明內容】

一光學計量器件能夠偵測來自跨越一樣本之寬度之一線之光致發光光、寬頻帶光之鏡面反射與散射光之任何組合。該計量器件包含在該樣本上產生一第一照射線之一第一光源。一掃描系統可用於使一照射點掃描跨越樣本以形成該照射線。一偵測器收集沿著該照射線發射之該光致發光光。另外，可使用一寬頻帶照射源在該樣本上產生一第二照射線，其中該偵測器收集沿著該第二照射線反射之該寬頻帶照射。該偵測器亦可將來自該第一照射線之散射光成像。該等照射線可掃描跨越該樣本，使得可量測該樣本上之所有位置。一信號收集光學器件可收集該光致發光光及該寬頻帶光且將其聚焦成由一光導管接收之一線。該光導管之輸出端具有與該偵測器之入口匹配之一形狀。

在一項實施例中，一裝置包含：一照射源，其產生一第一光束；一第一透鏡系統，其致使該第一光束入射於一樣本之一表面上作為沿著一第一方向定向之一第一照射線，該第一照射線以一第一入射角入射於該樣本上，其中該樣本沿著該第一照射線回應於由該第一光束所致之激發而發射光致發光光；一第二照射源；一第二透鏡系統，其將由該第二照射源發射

之光聚焦至該樣本上作為沿著第一方向定向且疊加於該樣本之該表面上之該第一照射線上之一第二照射線，且該第二照射線以不同於該第一入射角之一第二入射角入射於該樣本上；一載台，其用於提供該樣本與第一及第二照射線之間沿不同於該第一方向之一第二方向之相對移動；一偵測器，其收集來自該第二照射線之反射光，且接收由該樣本沿著第一照射線發射之光致發光光；一信號收集光學器件，其延伸達該第一照射線及該第二照射線之一長度，該信號收集光學器件接收來自該第一照射線之該光致發光光及來自該第二照射線之反射光，且將該光致發光光及該反射光聚焦成一線；一光導管，其具有接收由該信號收集光學器件聚焦之該光致發光光及該反射光之一線性接收端，該光導管進一步具有經組態以將該光致發光光及該反射光提供至該偵測器之一輸出端，該輸出端具有不同於該線性接收端之一形狀；及一處理器，其耦合至該偵測器且經組態以使用該光致發光光及該反射光針對該樣本之該表面上之複數個位置判定該樣本之一特性。

在一項實施例中，一裝置包含：一光源，其產生一照射光束；一光學系統，其接收該照射光束且在一樣本之一表面上產生一照射點；一掃描系統，其使該照射點掃描跨越該樣本以形成一照射線，其中該樣本沿著該照射線回應於由該照射點所致之激發而發射光致發光光；一載台，其用於提供該照射線與該樣本之間的相對移動；一信號收集光學器件，其延伸達該照射線之一長度，該信號收集光學器件接收來自該照射線之該光致發光光且將該光致發光光聚焦成一線；一光導管，其具有接收由該信號收集光學器件聚焦之該光致發光光之一線性接收端，該光導管進一步具有一輸出端，該輸出端具有不同於該線性接收端之一形狀；一偵測器，其收集來自該光導管之該光致發光光，該偵測器具有與該光導管之該輸出端之一形狀

匹配之一入口孔隙；及一處理器，其耦合至該偵測器以接收該光致發光光以判定該樣本之一特性。

在一個實施例中，一方法包含：沿著具有沿一第一方向之一定向之一照射線使用一光源照射一樣本之一表面，其中該樣本回應於由來自該光源之光所致之激發而自該照射線發射光致發光光；沿著該照射線之一長度使用一信號收集光學器件自該照射線收集該光致發光光且使用該信號收集光學器件將該光致發光光聚焦成一線；使用具有一線性接收端之一光導管沿著該線接收該光致發光光且在具有不同於該線性接收端之一形狀之一輸出端處自該光導管輸出該光致發光光；使用具有與該光導管之該輸出端之一形狀匹配之一入口孔隙之一偵測器偵測自該光導管之該輸出端接收之該光致發光光；沿不同於該第一方向之一第二方向使該照射線移動跨越該樣本之該表面；且使用由該偵測器偵測到之該光致發光光針對該樣本之該表面上之複數個位置判定該樣本之一特性。

#### 【圖式簡單說明】

圖1繪示能夠同時偵測來自跨越一樣本之寬度之一線之光致發光光、寬頻帶光之鏡面反射及散射光之任何組合之一光學計量器件。

圖2A繪示樣本之表面之一俯視圖，其中具有掃描跨越樣本寬度以產生一照射線的來自一第一光源之一照射點，且照射線跨越樣本而移動。

圖2B繪示樣本之一俯視圖，其中具有來自一第二光源之照射線且照射線跨越樣本而移動。

圖3A及圖3B分別繪示藉由圖1之光學計量器件對散射光進行之一暗通道觀察之一透視圖及側視圖。

圖4A及圖4B分別繪示藉由圖1之光學計量器件進行之亮場反射觀察

之一透視圖及側視圖，其中為清晰起見省略一窄頻帶光源及相關聯之光學器件。

圖5A及圖5B分別繪示樣本因掃描照射光束而發生之激發及藉由圖1之光學計量器件進行之所發射光致發光光之收集之一透視圖及側視圖。

圖6繪示一入射照射光束及所發射光致發光光之朗伯(Lambertian)特性。

圖7及圖8分別繪示一側視圖(沿著Y-Z平面)及一正視圖(沿著X-Z平面)，該等側視圖及正視圖繪示藉由圖1之光學計量器件進行之暗場散射輻射、亮場反射輻射及光致發光光之同時收集。

圖9繪示由一2D感測器陣列成像之三個光譜通道(暗場散射輻射、亮場反射輻射及光致發光光)之信號分離。

圖10係繪示來自數個光源之光學計量資料之一方法之一流程圖。

圖11及圖12繪示圖1之光學計量器件之替代組態之側視圖(沿著Y-Z平面)。

圖13繪示可用於接收自樣本發射之光致發光光之一長橢圓柱面鏡之一透視圖。

圖14繪示收集來自樣本之光致發光或散射輻射之橢圓鏡之一側視圖(沿著Y-Z平面)。

圖15繪示可用於接收自樣本發射之光致發光之一長柱面透鏡之一透視圖。

圖16繪示收集來自樣本之光致發光或散射輻射之柱面透鏡之一側視圖(沿著Y-Z平面)。

圖17A及圖17B分別繪示數個光纖之一光導管之接收端及輸出端。

圖18繪示將經收集光提供至包含一光譜儀之一偵測器之一光導管。

圖19繪示將經收集光提供至包含一光電倍增管(PMT)或突崩光二極體(APD)之一偵測器之一光導管。

圖20繪示由一光學計量器件採用一橢圓鏡進行之暗場散射輻射、光致發光光及視情況亮場反射輻射之同時收集之一側視圖(沿著Y-Z平面)。

### 【實施方式】

相關申請案之交叉參考

此申請案主張2016年6月9日申請之美國申請案第15/178,484號之優先權，美國申請案第15/178,484號係2015年11月9日申請之美國申請案第14/936,635號之一部分接續案，美國申請案第14/936,635號係2013年11月26日申請之美國申請案第14/091,199號(現為美國專利第9,182,351號)之一接續案，此申請案根據35 USC 119進一步主張2015年11月9日申請之美國臨時申請案第62/253,092號之優先權，所有該等申請案之全部內容以引用之方式併入本文中。

圖1繪示能夠同時偵測來自跨越一樣本之寬度之一線之光致發光光、寬頻帶光之鏡面反射及散射光之任何組合之一光學計量器件100。樣本沿一單一方向移動以使線掃掠跨越樣本，使得可自樣本之表面上每一位置快速收集資料。

計量器件100包含一第一光源110，第一光源110可係(例如)一窄頻帶照射源，諸如一雷射。藉由實例，取決於所量測樣本之光致發光效率及待由偵測器記錄之所要信號強度，光源110可係一高強度雷射，諸如具有405 nm之峰值波長及1 mW至500 mW範圍中之功率之一連續波(CW)雷射。若需要，則可使用一個以上雷射來產生經組合用於光源110之多個窄

頻帶波長。藉由實例，另外或替代地可單獨或選擇性組合地使用其他雷射波長(諸如266 nm、355 nm、375 nm、532 nm、640 nm或830 nm，及此處未列出之其他波長)。用作光源110之(若干)雷射可以連續波或Q切換操作模式操作。若Q切換(QS)雷射用於樣本激發，則瞬時功率(即，脈衝期間之功率)可係大得多(例如，在幾千瓦(2.5 kW)範圍中)。

包含光學器件112之一透鏡系統用於用照射光束114在樣本101之表面上產生一照射點。由照射光束114產生之照射點應具有用以激發樣本101中之光致發光之一大小及/或功率密度。藉由實例，照射點大小可介於在50  $\mu\text{m}$ 至1 mm範圍之間及/或具有介於約0.1  $\text{W}/\text{cm}^2$ 至 $10^8 \text{ W}/\text{cm}^2$ 範圍之間的一功率密度。舉例而言，若一CW 1mW之雷射經聚焦至一約1 mm之點，則功率密度係約0.127  $\text{W}/\text{cm}^2$ 。經聚焦至50 微米之點之相同CW 1mW之雷射將給定50  $\text{W}/\text{cm}^2$ 之功率。若使用一更高功率500 mW CW之雷射，且其經聚焦至一1 mm之點，則達到63  $\text{W}/\text{cm}^2$ 之一功率密度且聚焦至50  $\mu\text{m}$ 之相同雷射將導致 $2.5 \times 10^4 \text{ W}/\text{cm}^2$ 之功率密度。因此，CW雷射之典型功率密度係在0.1  $\text{W}/\text{cm}^2$ 至 $2.5 \times 10^4 \text{ W}/\text{cm}^2$ 之範圍中。在使用樣本激發之Q切換雷射之情況下，功率密度係非常不同的。舉例而言，在1 mW之一平均功率及10奈秒( $10 \times 10^{-9} \text{ s}$ )之脈衝持續時間及100 kHz之重複率下，瞬間功率可高達1 W，且在一1 mm點處之對應功率密度係127  $\text{W}/\text{cm}^2$ 。當相同雷射與500 mW之一平均功率一起使用且經聚焦至50  $\mu\text{m}$ 點大小時，瞬間功率可達到(例如)  $2.5 \times 10^7 \text{ W}/\text{cm}^2$ 。

透鏡系統可進一步包含繪示為包含一掃描鏡118及一固定鏡120之一掃描系統116，掃描系統116用於使照射點掃描跨越樣本101之表面之寬度成為一照射線122 (其繪示為沿X方向定向)。可取決於掃描解析度及感測

器讀出速度而調整掃描系統116之掃描速度/頻率。舉例而言，頻率可係(例如)介於50 Hz至100 Hz之間的範圍中，但可在1 Hz至10 kHz或更高之一範圍中變化。掃描鏡118移動以使照射點掃描跨越樣本101之表面，且可係(例如)一(擺動)電流計式鏡或一旋轉多邊形鏡。藉由實例，圖2A繪示樣本101之表面之一俯視圖，其中具有掃描跨越樣本之寬度(如由箭頭127指示)的由照射光束114 (圖1)產生之一照射點124。如由圖1中之線121繪示，掃描系統116使照射光束114在一平面內掃描跨越樣本101，此相對於表面法線N形成一非零入射角 $\alpha_1$ 。因此，照射線122以一非法線入射角入射於樣本101之表面上。應理解，照射線122另外藉由載台104 (圖1)沿Y方向(如由箭頭123繪示)移動樣本101而掃描跨越樣本101之表面，使得照射線122可入射於樣本101之表面上之所有位置上。

應理解，圖1繪示窄頻帶照射源110及相關聯之光學器件(包含掃描系統116)之一個組態，但若需要，則可使用其他組態。舉例而言，雖然使用固定鏡120有利於簡化系統對準，但若需要，則可自掃描系統116移除固定鏡120，且將光源110、透鏡112及掃描鏡118重新定位，使得照射光束114直接照射樣本101，而不需要重定向鏡120。再者，應理解，光學器件112可將照射光束114聚焦為樣本101之一表面上之一照射點124。若照射光束114聚焦於與樣本101之表面重合之一樣本平面處，則隨著照射光束沿著照射線122移動，照射點可稍稍變得散焦，但由散焦所致之信號強度變化可由電腦150內之信號處理補償。另一選擇係，藉由實例，光學器件112可準直照射光束114。若需要，則可使用一選用F- $\theta$ 透鏡111 (在圖1中用虛線展示)將經準直照射光束114聚焦於樣本之表面上。再者，若需要，則經準直照射光束114可在未被聚焦之情況下作為照射點入射於樣本101

之表面上，其中具有解析度及激發條件之一相關聯損失。

藉由使照射點124掃描跨越樣本101以產生照射線122，可維持入射光之一高功率密度。因此，來自光源110之照射光束經由「光激發」將能量施予至樣本之材料中，從而產生沿著照射線122自樣本發射之光致發光光。另外，樣本101上之表面缺陷(諸如刮痕、顆粒、磊晶生長缺陷(例如，堆疊缺層或積丘))在照射光束114沿著照射線122進行掃描時可使照射光束114散射。

如在圖1中由線121繪示，掃描系統116使照射光束114在一平面內掃描跨越樣本101，此相對於表面法線N形成一非零入射角 $\alpha_1$ 。因此，照射線122以一非法線入射角入射於樣本101之表面上。

光學計量器件100包含沿著一偵測器路徑131接收來自樣本101之表面之光之一偵測器130，偵測器路徑131相對於表面法線N具有一非零角 $\alpha_3$ 。因此，如在圖1中繪示，偵測器130具有不同於照射線122之入射角 $\alpha_1$ 之視角 $\alpha_3$ 。因此，來自樣本101之表面的照射光束114之鏡面反射並不進入偵測器路徑131。通常，光致發光信號比經反射輻射信號幾級。藉助使用入射角 $\alpha_1$ 及視角 $\alpha_3$ ，光學計量器件100允許照射光束114自樣本101之鏡面表面反射，而不干擾由偵測器130接收之光致發光信號，從而避免需要過濾照射光束114之反射。再者，由於未過濾照射光束114，因此偵測器130可接收由表面缺陷散射之光，而不接收照射光束114，即，實現暗場觀察。應理解，樣本101回應於藉由照射光束114之激發而產生之光致發光光將具有不同於照射光束114自身之一波長。因此，來自光致發光光及散射光之波長可分散至不同光譜通道中。因此，光學計量器件100可用於同時偵測表面構形缺陷及光致發光。另外，藉助使用掃描系統116，光源110可

充當一線照射源，其中在使用一柱面透鏡或柱面鏡之情況下沿著該線不具有功率密度或照射均勻性之損失。

偵測器130包含光學器件132、一光譜儀134及一感測器136，感測器136包含一個二維CCD或CMOS感測器陣列。沿著偵測器路徑131收集之光(例如，光致發光光或散射光)係由前部光學器件132收集，然後傳遞穿過光譜儀134中之一窄入口狹縫孔隙。光譜儀134之視野係由入口狹縫限制，入口狹縫與照射線122之定向匹配。因此，偵測器130(或更確切而言，光譜儀134)之入口狹縫與照射線122對準且疊加寬頻帶照射線142(在下文中論述)，即，入口狹縫及照射線122及142皆屬於相同平面，同時照射線122及142彼此上下疊加，且至偵測器130之入口狹縫與照射線122及142平行。光譜儀134將接收光之光譜分散，且在光譜儀134之出口處之感測器136用一個二維(2D)感測器陣列記錄且產生一所得影像圖框，其中感測器陣列之一第一維度表示沿著照射線122之空間位置，且感測器陣列之一第二維度表示光譜資訊。光譜儀134將發射之光致發光光之波長分離且將沿2D感測器陣列之一個維度之散射光分離，同時由2D感測器陣列之第二維度記錄沿著照射線122之位置。舉例而言，沿著照射線122之一個點可發射460.3 nm之一最大光致發光，同時照射線122上之另一點可發射460.8 nm之一最大光致發光。因此，光譜儀134將發射之光致發光光之波長分離以執行光譜光致發光成像。

計量器件100進一步包含一第二光源140，第二光源140可係(例如)一寬頻帶照射源，諸如一鹵素光源，第二光源140包含不同於第一光源110所使用之波長或樣本101回應於藉由照射光束114之激發而發射之光致發光光之波長之光波長。寬頻帶輻射源(有時稱為一「白」光源)形成為與樣

本101之表面上之照射線122對準且疊加之照射線142。如繪示，可(例如)使用一系列光纖144 (該等光纖中之僅一者繪示為耦合至光源140)來產生照射線142。藉由實例，具有一系列光纖144之第二光源140可係Schott North America有限公司製造之一光線產品。來自多個光纖144之光藉助一柱面透鏡146形成為一幾乎準直線狀光束。圖2B繪示樣本101之一俯視圖，其中具有來自第二光源140之照射線142。

如在圖1中繪示，來自光源140之寬頻帶光沿著由線141繪示之一平面照射樣本101之表面，線141相對於表面法線N成一非零入射角 $\alpha_2$ 。因此，照射線142以一非法線入射角 $\alpha_2$ 入射於樣本101之表面上。應理解，照射線142另外藉由載台104 (圖1)而掃描跨越樣本101之表面(連同所疊加照射線122一起)(如由圖2B中之箭頭145繪示)，使得照射線142可入射於樣本101之表面上之所有位置上。入射角 $\alpha_2$ 不同於入射角 $\alpha_1$ ，且具有不同於角 $\alpha_1$ 之標記之一標記，即，照射線142自與照射線122相反之一方向入射於樣本之表面上，且具有一不同入射角。然而，照射線142之入射角 $\alpha_2$ 與偵測器路徑131之視角 $\alpha_3$ 相同但值相反，即，視角 $\alpha_2 = -\alpha_3$ 。因此，偵測器130之視角經調諧為照射線142之入射角，且因此，沿著照射線142之寬頻帶光之鏡面反射亦與光譜儀134之視野對準。因此，由光源110產生之照射線122及由光源140產生之照射線142兩者由偵測器接收。光譜儀134將沿著照射線142之寬頻帶照射之鏡面反射之波長分離至2D感測器陣列之一個維度中，同時由2D感測器陣列之第二維度表示沿著照射線142 (及照射線122)之位置。

寬頻帶光源140可使用不同於由第一光源110所使用之(若干)波長及由樣本101發射之光致發光光之(若干)波長之光波長，使得光譜儀134可將

來自反射之寬頻帶光之波長與散射光之波長及光致發光光之波長分離。因此，第一光源110及第二光源140可與偵測器130一起使用以同時偵測關於由照射光束114之激發所致之光致發光光之位置連同照射線122及142、照射光束114之暗場散射以及來自光源140之亮場反射之光譜資訊。藉由實例，基於窄頻帶光源110、寬頻帶光源140及發射之光致發光光之波長，光學計量器件100可使用在400 nm至1,000 nm之間的一波長範圍(即，600 nm範圍)。偵測器130可將所接收之光分成(例如) 1200個波長，即，在感測器陣列之光譜維度中之像素之數目，且因此，偵測器130可具有0.5 nm之一光譜解析度。當然，若需要，則可使用其他光譜解析度、以及光波長或光波長之範圍以及偵測器130偵測之波長數目。

再者，自樣本101之表面鏡面反射之寬頻帶光經引導至偵測器130，而不需要偵測器130之機械重新定位，因此偵測器130可同時或緊接地收集表面反射、散射及光致發光信號而無任何裝置光學器件子組件之機械重新定位之任何延遲。當然，若需要，則第一光源110及第二光源140可緊接地使用，使得偵測器130無法同時接收來自照射線122及142兩者之光。

樣本101固持於一線性載台104上，線性載台104可沿不同於照射線122及142之定向之一方向平移樣本101。舉例而言，照射線122及142之定向可在與線性載台104之行進方向(例如，Y方向)正交之一方向(例如，X方向)上。載台104使樣本101平移以使照射線122及142置於跨越樣本101之多個位置處(如由圖2A及圖2B中之箭頭123及145繪示)，且在各新位置處重複照射線122及142之光譜成像。將樣本101成像及移動之程序經重複以使照射線122及142掃描跨越樣本101，從而產生一系列2D影像圖框。若需要，則載台104可使樣本101逐步移動或使樣本101連續移動，使得資料

獲取得以連續執行(例如，藉助照射點124之一高頻率掃描)，而不需要Y軸運動在各線處停止。舉例而言，當照射點124之一高頻率掃描(例如，500 Hz)與沿著Y軸之一相對低速載台運動及影像圖框之低速收集(例如，100 Hz)一起使用時，照射光束114針對各給定影像圖框掃描數次照射線122(例如，在給定實例中為五次)，此提供改良之信號平均化。沿著Y軸之載台運動速度可以毫米/秒為單位表示且取決於沿著Y方向之所需解析度。舉例而言，當Y速度為20 mm/s且圖框率為100個圖框/秒時，Y解析度為20 mm/s除以100 /s等於0.2 mm。

因此，在一個資料擷取操作中，光學計量器件100能夠自樣本101之線照射部分同時收集光譜光致發光及光譜散射輻射以及光譜反射輻射信號，且可沿一單一軸移動且重複執行資料擷取操作以獲取整個樣本表面之資料。在一項實施例中，藉由用一線性載台沿Y方向移動照射線122及142下方之樣本101而獲取整個樣本表面之資料。然而，在另一實施例中，可藉由用一旋轉載台沿 $\Theta$  (角度)方向(如在圖1中用一虛線箭頭繪示)旋轉照射線122及142下方之樣本101而收集資料。在兩項實施例中，樣本101僅沿一個軸移動(Y或 $\Theta$  (兩者皆非必需的))，從而產生一高速量測。比較而言，習知系統自一單一照射點獲取資料且必須使樣本沿兩個軸移動以獲取整個樣本表面之資料。因此，光學計量器件100使用一單一單向載台而非習知兩個線性載台系統或者線性及旋轉載台系統。再者，資料獲取因沿著X軸之所需載台運動之消除而加速。

應理解，照射線122及142與樣本101之間的運動係相對的，且因此，若需要，則載台104可保持靜止且可使用用以使(例如)光源及相關聯之光學器件相對於樣本101移動之一載台或其他適當構件來使照射線122及142

沿Y方向橫向移動或沿 $\Theta$ 方向旋轉。

隨著移動樣本101及獲取來自樣本101之線照射部分之光譜資訊而由偵測器130產生之複數個影像圖框可由一電腦150接收，電腦150可將複數個影像圖框儲存為三維(3D)資料立方體。3D資料立方體包含為空間之兩個維度(例如，一個維度係沿著照射線122及142之位置(X軸)且另一維度係掃描跨越樣本之線之位置(Y軸))及表示光譜資訊之一第三維度。偵測器130經耦合以將影像資料提供至電腦150，電腦150包含具有記憶體154之一處理器152以及包含(例如)一顯示器158及輸入器件160之一使用者介面。具有所體現之電腦可讀程式碼之一非暫時性電腦可用媒體162可由電腦150用於致使處理器控制計量器件100且執行包含本文描述之分析之功能。用於自動實施在此詳細說明中描述之一或多個動作之資料結構及軟體碼可由熟習此項技術者根據本發明實施且儲存於(例如)一電腦可讀儲存媒體162上，電腦可讀儲存媒體162可係可儲存供由一電腦系統(諸如處理器152)使用之碼及/或資料之任何器件或媒體。電腦可用媒體162可係但不限於磁性及光學儲存器件，諸如磁碟機、磁帶、光碟及DVD(數位多功能光碟或數位視訊光碟)。一通信埠164亦可用於接收指令，該等指令用於程式化電腦150以執行本文描述之功能中之任何一或多者且可表示任何類型之通信連接(諸如，至網際網路或任何其他電腦網路)。另外，可在一特殊應用積體電路(ASIC)或一可程式化邏輯器件(PLD)之電路內全部或部分體現本文中描述之功能，且可以可用來形成如本文描述而操作之一ASIC或PLD之一電腦可理解之描述符語言體現功能。

藉由實例，電腦150可使用如儲存於3D資料立方體中的針對樣本101之表面上之每一位置自偵測器130接收之光致發光信號，且產生樣本101

之一光致發光影像(或映射)。光致發光影像可係(例如)光致發光信號之信號強度之一映射。光致發光強度影像之檢驗可用於程序控制以確保樣本101之所有部分滿足所要規範。舉例而言，在樣本101含有所製造之發光二極體(LED)晶片之情況下，光致發光資料(例如，呈一光致發光強度影像之形式)之檢驗可用於確保每一LED將具有適當亮度。類似地，光致發光強度影像可用於缺陷分割且用於基於局部低光致發光信號之存在而預測良率損失，該等局部低光致發光信號可在后段製程處導致不合規範之器件。若需要，則光致發光信號可經處理以產生其他影像或映射。舉例而言，可產生一峰值 $\lambda$ 影像以展示樣本表面上峰值 $\lambda$ 之分佈，其中峰值 $\lambda$ 係在其下影像或映射中之任何給定點具有最大光致發光之波長。因此，舉例而言，樣本表面上一個點可發射460.3 nm之最大光致發光，而相同樣本之表面上之另一點可發射460.8 nm之一最大光致發光，此用一峰值 $\lambda$ 影像清晰可見。藉助使用光譜光致發光成像，可識別由樣本發射之不同波長之光致發光。因此，光學計量器件100可用於程序控制以確保樣本表面上之所有點發射一預定義波長範圍內之光致發光。另外或替代地，光致發光信號可轉換為一半峰全寬(FWHM)影像，該FWHM影像展示針對樣本上之任何給定點處之每一峰值 $\lambda$ 之FWHM值。藉由實例，FWHM影像可用於確保用樣本製造之發光二極體(LED)發射預定義寬(頻帶)光譜範圍內之光。光致發光信號可經處理以產生樣本101之影像，而非光致發光強度、峰值 $\lambda$ 及FWHM影像。舉例而言，光致發光信號可經處理或分析以產生不同品質，諸如例如在一給定固定波長下光致發光強度之一映射，該映射不同於最大光致發光強度映射。再者，所關注之影像或映射可藉由組合多組影像(諸如所論述之彼等影像)(例如，藉由逐像素倍增)而產生。因此，光致發

光信號可經處理以基於所記錄之光致發光信號產生樣本101之其他所需影像或以其他方式經分析以用於樣本之製造期間之程序控制。

另外，電腦150可處理所接收之反射寬頻帶信號以判定多個位置處之樣本101之一特性且產生該特性之一映射。舉例而言，層厚度可基於與寬頻帶光之反射相關聯之光譜回應而計算，且因此，所接收之反射寬頻帶信號可用於判定樣本表面上點之厚度且可產生一磊晶層厚度影像(或映射)。因此，光學計量器件100可用於監測樣本之表面上之任何給定點處之磊晶層厚度，此可用於確保所量測之厚度在一給定磊晶生長程序之預定義範圍內。另外，使用所接收之散射光，電腦150可產生樣本101之表面之一暗場影像，從而曝露表面缺陷，該等缺陷可係相關之刮痕、顆粒、磊晶生長缺陷(例如堆疊缺層或積丘)等等。

圖3A及圖3B分別繪示藉由光學計量器件100對散射光進行之暗通道觀察之一透視圖及側視圖。如繪示，光源110使用光學器件112以及包含掃描鏡118及固定鏡120之掃描系統116在樣本101之表面上產生照射線122。若樣本無缺陷，則光將如線125繪示由樣本101之表面鏡面反射，且不會被攝影機感測器136偵測到。當一表面缺陷126存在於樣本101上時，在照射光束114於缺陷126上方進行掃描時，照射光束114之一部分被散射。沿著偵測器路徑131之散射光由偵測器130接收，且穿過狹縫孔隙進入光譜儀134。光譜儀134之視野受一狹縫孔隙限制，且因此，感測器136僅使照射線122成像。照射光束114之鏡面反射不被光譜儀134接收。光譜儀134通常將光分離至2D感測器陣列之光譜維度中之波長分級箱中。然而，散射光來源於窄頻帶光源110，且因此由偵測器130接收之散射光由光譜儀134偏轉至對應於由感測器136記錄的光源110之(若干)波長之(若

干)分級箱中。散射光通道之效能可藉由將偏光器及分析儀添加至窄頻帶照射光束114之光學路徑中而得以進一步更改。藉由實例，一光束偏光器119可視情況放置於光源110下游(例如，在透鏡112與鏡118之間)，且分析儀133可與前部光學器件132組合。

圖4A及圖4B分別繪示藉由光學計量器件100進行之亮場反射觀察之一透視圖及側視圖，其中為清晰起見省略光源110及相關聯之光學器件。寬頻帶光源140沿著照射線142照射樣本101，照射線142沿著匹配光譜儀134之入口狹縫之定向之一定向延伸跨越樣本101之寬度。因此，自樣本101之表面鏡面反射的來自光源140之光穿過狹縫孔隙進入光譜儀134。在光譜儀134內，寬頻帶光被分離(分級)為一系列波長，該等波長由感測器136中之2D感測器陣列記錄，其中2D感測器陣列之一個維度表示光譜資訊且另一維度表示沿著照射線142之空間資訊。因此，寬頻帶光源140之配置係其中將可為樣本101之寬度之一照射線142光譜成像之一亮場操作模式。將一非法線入射角用於亮場觀察有利於簡化沿著照射線142對樣本101進行之均勻照射及光譜成像。

圖5A及圖5B分別繪示樣本101因掃描照射光束114而發生之激發及藉由光學計量器件100進行之所發射光致發光光收集之一透視圖及側視圖。類似於上文之圖3A及圖3B，光源110使用光學器件112及掃描系統116在樣本101之表面上產生照射線122，掃描系統116可包含掃描鏡118及固定鏡120。如上文論述，可移除或替換固定鏡120及/或可使用一F-0透鏡。經鏡面反射的來自照射光束114之光由線125繪示。然而，來自照射光束114之光之另一部分進入樣本101且被吸收。所吸收之能量產生電子-電洞對，該等電子-電洞對在重組後旋即沿著激發線(即，照射線122)發射光致發光

光。自激發線發射之所產生光致發光光沿多個方向射出樣本101，其中具有近朗伯特特性。藉由實例，圖6繪示入射照射光束114及所發射光致發光光之朗伯特特性(圖6中未繪示鏡面反射之光)。另外，由於照射光束114沿著照射線122掃描跨越樣本101之寬度，因此如在圖5A中繪示，沿著激發方向發射光致發光光。穿過光譜儀134之狹縫孔隙接收沿著偵測器路徑131之所發射光致發光光，其中該光由光譜儀134偏轉至對應於由感測器136記錄之光致發光光之(若干)波長之(若干)分級箱中。

圖7及圖8分別繪示一側視圖(沿著Y-Z平面)及一正視圖(沿著X-Z平面)，該等側視圖及正視圖繪示藉由光學計量器件100進行之暗場散射輻射、亮場反射輻射及光致發光光之同時收集。如繪示，照射光束114產生散射光115且激發光致發光光117，散射光115及光致發光光117連同所反射寬頻帶光143一起由光譜儀134接收。

藉由實例，圖9繪示由感測器偵測器136之2D感測器陣列成像之三個光譜通道(暗場散射輻射、亮場反射輻射及光致發光光)之信號分離。如繪示，2D感測器陣列包含表示沿著照射線122及142之空間資訊之一第一維度(在圖9中為X軸)，其中另一維度表示關於信號強度之光譜資訊(即，波長 $\lambda$ )。在圖9中，散射雷射光束信號由峰值202繪示，光致發光信號由峰值204繪示，且所反射寬頻帶光束信號由峰值206繪示。

因此，如在圖7、圖8及圖9中繪示，偵測器130可同時記錄樣本101中回應於藉由照射光束114之激發而產生之光致發光光及寬頻帶光143之一亮場反射。若需要，則偵測器130可進一步記錄照射光束114因樣本上之缺陷而發生之一暗場散射，使得若需要，則同時將三個單獨信號成像。三個信號可在一宏觀模式中沿著樣本101之整個寬度同時記錄，而非如習知

執行之在一微觀中逐點記錄或在一窄視野內記錄。再者，一個偵測器130用於收集所有三個信號，使得在三個信號之間不存在空間或時間移位。一光譜儀134將信號分至三個不同之光譜資訊通道中，即，用偵測器130之2D感測器陣列感測器將信號光譜分離(記錄)於不同波長分級箱(感測器像素)中。應理解，在圖9中繪示之影像圖框係針對沿著圖1中之Y軸的照射線122及142之一個位置，且隨著載台104使樣本101沿Y方向移動以使照射線122及142掃描跨越樣本，感測器136將產生針對沿著圖1中之Y軸之照射線122及142之每一位置之複數個影像圖框。

圖10係繪示來自數個光源之光學計量資料之一方法之一流程圖。如繪示，沿著具有沿一第一方向之一定向之一第一照射線用一第一光源以一第一入射角照射一樣本之一表面(302)。樣本回應於由來自第一光源之光所致之激發而自第一照射線發射光致發光光。藉由實例，如上文論述，可用(例如)使用一窄頻帶光源110產生且掃描跨越樣本以產生第一照射線之一照射光束來照射樣本。沿著具有沿第一方向之一定向且疊加第一照射線之一第二照射線用一第二光源以一第二入射角照射樣本之表面(304)。第二入射角不同於第一入射角，且第二光源係一寬頻帶光源。寬頻帶光自樣本之表面反射。用一二維陣列偵測由樣本沿著第一照射線發射之光致發光光及來自第二照射線之寬頻帶光之鏡面反射，該二維陣列具有表示對應於沿著第一照射線及第二照射線之位置之空間資訊之一第一維度及表示光譜資訊之一第二維度(306)。可不偵測來自第一光源之光沿著第一照射線之鏡面反射。使疊加之第一照射線及第二照射線沿不同於第一方向之一第二方向移動跨越樣本之表面(308)。舉例而言，第一方向及第二方向可係正交的。可藉由一線性載台或一旋轉載台使樣本101相對於照射線移動而致

使第一照射線及第二照射線移動。若需要，則可藉由一載台使第一照射線及第二照射線相對於樣本101移動(例如，藉由使光源及相關聯之光學器件相對於可保持靜止之樣本101移動)而致使第一照射線及第二照射線移動。隨著第一照射線及第二照射線移動跨越樣本之表面，使用所偵測光致發光光及所偵測寬頻帶光之鏡面反射來產生一三維資料立方體，該三維資料立方體具有表示樣本之表面之空間資訊之兩個維度及表示光譜資訊之一第三維度(310)。

另外，如上文討論，來自第一光源之光之一部分可作為散射光自樣本上之表面缺陷散射且散射光可用二維陣列偵測，其中三維資料立方體另外包含所偵測之散射光。使用在三維資料立方體中之散射光可產生樣本之表面之一表面缺陷影像。另外，樣本之表面之一光致發光影像可使用在三維資料立方體中之所偵測之光致發光光產生。舉例而言，樣本表面之光致發光影像可係(例如)一光致發光強度影像、光致發光峰值 $\lambda$ 影像或一光致發光半峰全寬(FWHM)影像。另外，針對樣本之表面上之複數個位置，可使用三維資料立方體中之寬頻帶光之所偵測鏡面反射而判定樣本之一特性，且可使用針對複數個位置之樣本特性來產生樣本之表面之一影像。舉例而言，可在樣本101之表面上之複數個位置處判定樣本101之磊晶層厚度，且可產生一磊晶層厚度影像(或映射)。如上文討論，來自三維資料立方體之資料可經分析用於樣本製造期間之程序控制。

藉由實例，圖11繪示一光學計量器件100'之一側視圖，除窄頻帶照射光束114'繪示為自與寬頻帶照射141相同之法線N側入射外，光學計量器件100'與圖7繪示之光學計量器件100類似。因此，雖然窄頻帶照射光束114'及寬頻帶照射141自法線N之相同側入射於樣本101之表面上，但其等

使用不同入射角，使得窄頻帶照射114'之鏡面反射125'並不沿著偵測器路徑131，從而實現暗場模式量測。如在圖11中可見，相對於法線N，照射光束114'之入射角大於寬頻帶照射141之入射角，但此並非嚴格要求的。藉由實例，圖12類似於圖11，且繪示一光學計量器件100''，光學計量器件100''經組態使得窄頻帶照射光束114''與寬頻帶照射141相比相對於法線N具有一較小入射角，同時窄頻帶照射114''之鏡面反射125''仍不沿著偵測器路徑131，從而實現暗場模式量測。

對於晶圓檢驗設備設計者之一顯著挑戰為在高解析度(約每像素數百微米)下以高速(每小時數十個晶圓)且以高信號收集效率達成光致發光或者反射或散射光之全晶圓成像。為達成高量測速度，有時使用低數值孔徑(NA)物鏡及大視野(FOV)配置來實現在一個信號擷取中自整個樣本大小之信號收集。按一般定義，數值孔徑等於 $NA = n * \sin(\theta)$ ，其中n係其中使用透鏡之介質之折射率(空氣為1.00)且 $\theta$ 係可透過透鏡孔隙進入透鏡之光之最大半角。因此，針對典型大FOV成像系統(具有一20 mm直徑之透鏡及約400 mm之典型物體至透鏡距離)，數值孔徑可經計算為 $NA = 0.025$ 。低NA物鏡及大FOV配置導致低信號收集效率及低儀器靈敏度，此乃因在此一配置中，光學器件至樣本距離必須係大的。一大光學器件至樣本距離導致光致發光或散射光輻射之實質損失。較高數值孔徑物鏡容許較短光學器件至樣本距離、較佳信號收集及較高儀器靈敏度，然而，此係以減小光學器件之FOV為代價的。因此，量測速度變低，此乃因若干量測及影像拼接必須以全樣本尺度應用於重構資訊。

上文描述之實施例藉由使用一雷射光束使照射點掃描跨越表面(例如，使用一電流計式鏡或一旋轉多面鏡)來激發樣本同時使用與高光譜光

譜儀及攝影機系統組合之一基於透鏡之物鏡來探測光致發光或者反射或散射輻射回應而提供一高量測解析度及高速。為達成一所需高量測速度，可使用具有足夠用於整個樣本之視野(多達300 mm)之低數值孔徑光學器件。此一配置容許高量測速度(例如，每小時數十個晶圓)及高解析度(例如，約每像素數百微米)。然而，物鏡之低數值孔徑可導致信號收集器件與樣本之間的一大距離。因此，可據此核准光學信號收集效率。

改良光學信號收集效率之一種方式(例如)係藉由使用較高數值孔徑光學器件，藉此實現光學器件至樣本距離之減小，藉此增大信號收集效率，然而，此係以一減小之光學器件視野為代價的。藉助使用較高數值孔徑光學器件，在一個成像循環中掃描或觀看樣本之僅一部分。因此，來重構整個樣本之一影像需要一系列量測及影像拼接。此一解決方案本質上導致低量測速度及最終低量測處理量。

因此，在另一實施例中，具有(例如)等於或超過所需影像大小之一長度之高NA光學器件可用於達成光學信號之一高收集效率。藉助使用延伸達一長度(例如，照射線之三分之一、一半或整個長度)之一信號收集光學器件，信號收集光學器件可經放置靠近樣本表面。應理解，若信號收集光學器件延伸達照射線之長度之三分之一，則擷取整個影像之資料將需要三次掃描，且類似地，若信號收集光學器件延伸達照射線之長度之一半，則擷取整個影像之資料將需要兩次掃描，藉此相對於延伸達照射線之整個長度之一信號收集光學器件減小了處理量。例如，從信號收集光學器件至樣本之距離及信號收集光學器件之寬度可經組態以產生足以產生0.4或更高之一NA之信號收集半角 $\theta$ 。高NA信號收集光學器件可反射性或折射性的。另外，一光導管可與光學器件一起使用以將接收之光提供至偵測器。

實施方案以全樣本大小FOV實現高解析度及高靈敏度信號收集，此容許克服高解析度、敏感度及速度之間的現有折衷。

例如，在一項實施例中，為收集跨越圖1中展示之激發線122之光致發光或散射輻射，可使用反射性光學器件，諸如一長橢圓柱面鏡，例如，具有一正橢圓柱形表面之一鏡。藉由實例，圖13繪示可用於接收自樣本101發射之光致發光或自樣本101散射之光之一長橢圓柱面鏡402之一透視圖。在長度方向上，沿著X軸，鏡402係平坦的，而在寬度方向上，沿著Y軸，鏡402橢圓地彎曲有高NA (即，短焦距)。例如，從鏡至樣本之距離可係10 mm，且鏡之輪廓大小亦可係10 mm，且因此，信號收集半角 $\theta$ 為約26度，從而導致一 $NA = 0.45$ 。鏡402之長度(例如)可超過所需影像大小，例如針對當前晶圓技術為300 mm樣本大小。鏡402連同收集光學器件及光譜儀(下文論述)一起可替代偵測器130 (例如，圖1、圖3A、圖4A、圖7、圖11及圖12中繪示)而使用。

圖14繪示從一樣本101收集光致發光或散射輻射之橢圓鏡402之一側視圖(沿著Y-Z平面)。鏡402可經放置靠近(數毫米至數十毫米)樣本404，從而導致藉由激發雷射光束406產生之光學光致發光或散射輻射信號之一高收集效率。鏡402可包含一狹縫403或多個狹縫，激發雷射光束406可通過該或該等狹縫。替代地，激發雷射光束406可在鏡402下方通過，然而，一狹縫403之使用容許使用一較寬鏡，因此提供較高NA及較佳信號靈敏度。(例如)使用圖1中展示之掃描系統116或類似物使雷射光束406沿X方向掃描跨越晶圓。在沿著線142之各所需空間位置(沿著X方向)(在圖13中繪示為位置X1、X2、X3、X4及X5)處，鏡402以一寬角度從樣本404收集光學信號407，此導致一高儀器靈敏度。應理解，雖然在圖13中繪示離

散位置X1、X2、X3、X4及X5，但光束406連續地掃描跨越樣本404，且來自沿著線142之所有位置之一光學信號407由鏡402接收。由於鏡402沿著X方向之線性組態，如在圖13中繪示，其中激發區沿樣本404之X方向呈跨越整個樣本之一線142之一形式，因此所得光學信號407（例如，自樣本404發射之光致發光輻射或由樣本404散射之輻射）由橢圓柱面鏡402聚焦成具有與激發線142相同之長度之一線410。激發線142及線410可具有與鏡402相同之長度，即，超過所需影像大小之一長度（例如，約300 mm）。

樣本404以藉由使用掃描系統116沿著樣本移動激發光束406而產生之一線之一形式被激發。在一個配置中，為激發樣本404，在激發光束406沿著X方向掃描時，激發光束406可在鏡402外側通過。在一個配置中，激發光束406可在鏡402下方或上方通過。在另一配置中，橢圓柱面鏡402沿著鏡長度可包含一狹縫，使得光束406可通過鏡402中之狹縫且可以任何期望角度（包含法線角度）激發樣本404。

沿著線410聚焦之所得光學信號407（如在圖13中展示）經由使用橢圓柱面鏡402聚焦光致發光或散射輻射而獲得。出於記錄光學信號之目的，所得光學信號407（其沿著線410聚焦）需要遞送至一偵測器130。然而，偵測器通常不具有呈一300 mm長線之形狀之輸入孔隙。因此，所得光學信號407（其沿著線410聚焦）應與偵測器130之孔隙匹配，從而產生最小光損失。在一項實施例中，由鏡402聚焦之所得光學信號407可由一光導管412接收，光導管412具有一線性信號接收端414（與圖13中之線410對準）以及具有與偵測器130之孔隙相配之一形狀之一信號輸出端416。如繪示，鏡402或光導管412不接收經鏡面反射之光409。若需要，則鏡402可包含使

經鏡面反射之光409通過之一狹縫(未展示)。

在另一實施例中，為收集跨越圖1中展示之激發線122之光致發光或散射輻射，可使用折射性光學器件，諸如一長圓柱形聚焦透鏡，例如，具有一正圓柱形形狀之一透鏡。藉由實例，圖15繪示可用於接收自樣本101發射之光致發光或自樣本101散射之光之一長圓柱形透鏡502之一透視圖。圓柱形透鏡502可具有一高NA，即，短焦距。例如，若圓柱形透鏡之直徑係約20 mm，且透鏡中心處於距樣本20 mm之距離處(即，樣本與透鏡之間的氣隙為10 mm)，則導致一 $NA = 0.45$ 。透鏡502之長度(例如)可超過所需影像大小，例如針對當前晶圓技術為300 mm樣本大小。透鏡502連同收集光學器件及光譜儀(下文論述)一起可替代偵測器130 (例如，圖1、圖3A、圖4A、圖7、圖11及圖12中繪示)而使用。

圖16繪示從一樣本101收集光致發光或散射輻射之圓柱形透鏡502之一側視圖(沿著Y-Z平面)。圓柱形透鏡502可經放置靠近(數毫米至數十毫米)樣本101，從而導致藉由激發雷射光束406而產生之光學光致發光或散射輻射信號之一高收集效率。(例如)使用圖1中展示之掃描系統116或類似物使雷射光束406沿X方向掃描跨越晶圓。圓柱形透鏡502以一寬角度沿著樣本101上之線142 (圖15中展示)之長度自樣本101收集光學信號407，此導致一高儀器靈敏度。由於沿著X方向之圓柱形透鏡502之線性組態，如在圖15中繪示，其中激發區沿樣本404之X方向呈跨越整個樣本之一線142之一形式，所得光學信號407 (例如，自樣本404發射之光致發光輻射或由樣本404散射之輻射)由圓柱形透鏡502聚焦成具有與激發線142相同之長度之一線510。激發線142及線510可具有與圓柱形透鏡502相同之長度，即，超過所需影像大小之一長度(例如，約300 mm)。

樣本101以藉由使用掃描系統116沿著樣本移動激發光束406而產生之一線之一形式被激發。如繪示，為激發樣本101，在激發光束406沿著X方向掃描時，激發光束406可在圓柱形透鏡502下方通過。沿著線510聚焦之所得光學信號407 (如在圖15中展示)經由使用圓柱形透鏡502聚焦光致發光或散射輻射而獲得。出於記錄光學信號之目的，所得光學信號407 (其沿著線510聚焦)需要遞送至一偵測器130。如上文論述，所得光學信號407 (其沿著線510聚焦)應與偵測器130之孔隙匹配，從而產生最小光損失。在一項實施例中，由圓柱形透鏡502聚焦之所得光學信號407可由一光導管412接收，光導管412具有一線性信號接收端414 (與圖15中之線510對準)及具有可與偵測器130之孔隙相配之一形狀之一信號輸出端416。如繪示，圓柱形透鏡502或光導管412不接收經鏡面反射之光409。

圖17A繪示用以自光學器件402或502接收光學信號407的光導管412之線性信號接收端414，且圖17B繪示用以將光學信號407提供至偵測器130之一矩形信號輸出端416。光導管412在線性信號接收端414與一矩形信號輸出端416之間包含數個光纖418。如繪示，光纖418可以與光學信號407之長度匹配或與光學器件(例如，橢圓柱面鏡402或圓柱形透鏡502)之長度匹配之一單一系列配置於線性信號接收端414處。藉由實例，可使用1298個光纖(其等之各者具有0.245 mm之直徑)來形成約318 mm長之一線(略大於300 mm樣本)以便從樣本邊緣收集大多數信號。若需要，則可使用不同數量之光纖或不同光纖直徑，或在線性信號接收端414處可使用不同數量之光纖列。再者，若樣本大小係不同的(例如，200 mm)，則可使用不同數量之光纖，例如，可使用891個光纖來形成約218 mm長之一線。當然，若光導管412之長度比光學器件402或502之長度短，則光學信號

407之一部分可不被光導管412接納，且因此，可需要偵測器130及多個通路來獲取整個樣本之資料。光纖418從線性信號接收端414重新機械配置至矩形信號輸出端416。例如，如在圖17B中繪示，光纖可配置成若干層。例如，線性信號接收端414上之1298個光纖可在光譜儀側上重新配置成118個層乘以11個層從而給出相同數量之光纖( $118 \times 11 = 1298$ 個纖維)。針對一不同大小之樣本(例如，一200 mm樣本)，其中在線性信號接收端414上存在891個光纖，該891個光纖可在光譜儀側上重新配置成81個層乘以11個層從而給出相同數量之光纖( $81 \times 11 = 891$ 個纖維)。按照該實例，重新配置成81乘以11個層之矩形形狀將光導管412從線性信號接收端414處之218 mm長(乘以0.245mm)調整大小為矩形信號輸出端416處之約20 mm乘以2.5 mm (此為偵測器130所接受的)。因此，光學信號407由光學器件402或502聚焦至線性信號接收端414中且光纖418用來將光學信號提供至耦合至偵測器130之矩形信號輸出端416。此配置促進將光學信號407遞送至信號偵測器130中，偵測器130最終將光學輻射轉換為電信號。可使用光導管412之信號輸出端416上之不同形狀，諸如矩形、正方形或圓形。另外，進一步聚焦光學器件可應用於矩形信號輸出端416與偵測器130之間以視需要達成甚至更佳之匹配。

在自光導管412離開後，光學信號407可藉由出口光學器件進一步成形以將信號與偵測器輸入匹配。取決於所需最終結果，可使用各種偵測場景。例如，偵測器130可使用一光譜儀。如在圖18中繪示，在離開光導管412後，光學信號407可由一光學濾光器452濾光且提供至一光譜儀454之狹縫，其中光藉由光柵或稜鏡分散為不同波長，且最終遞送至CCD或CMOS攝影機感測器陣列456中且由一資料獲取器件458記錄，資料獲取器

件458將資料提供至處理器152以用於分析。因此，偵測器130可擷取多個輸出信號，同時激發光束406沿X方向掃描跨越晶圓以便獲得光譜及空間資訊。

在另一實施例中，偵測器130可使用一光電倍增管(PMT)或突崩光二極體(APD)。如在圖19中繪示，在離開光導管412後，光學信號407可由一光學濾光器452濾光且提供至光電倍增管(PMT)或突崩光二極體(APD)462。光學信號407轉換為電信號，且由資料獲取器件458記錄，資料獲取器件458將資料提供至處理器152以供分析。在此實施例中，未獲得光譜資訊，而是將所有波長整合成一個電信號。因此，可期望同步化第一光源110及第二光源140 (圖1)使得所得信號不被偵測器130同時接收。

圖20繪示一側視圖(沿著Y-Z平面)，藉由實例，該側視圖繪示由光學計量器件使用橢圓鏡402利用光導管412進行之暗場散射輻射、光致發光光及視情況亮場反射輻射之同時收集。如繪示，照射光束114產生散射光115，且激發光致發光光117，該等光連同所反射寬頻帶光143一起由光譜儀134接收。

可包含光學器件132、光譜儀134及感測器136之偵測器130可同時記錄樣本101中回應於藉由照射光束114之激發而產生之光致發光光及來自照射光束114之散射光，及視情況寬頻帶光143之一亮場反射(例如，若光導管412具有呈一線之形式之一信號輸出端以提供空間資訊)。若需要，則偵測器130可進一步記錄照射光束114因樣本上之缺陷而發生之一暗場散射，使得若需要，則同時將三個單獨信號成像。偵測器130用於收集所有三個信號，使得三個信號之間不存在空間或時間移位。一光譜儀134將信號分至三個不同光譜資訊通道中，即，用偵測器130之2D感測器陣列感測

器將信號光譜分離(記錄)於不同波長分級箱(感測器像素)中。

藉助使用橢圓鏡402，自樣本101之表面發射之光學信號由高NA基於鏡之光學器件收集，該等光學器件達成光學信號之高收集效率及高儀器靈敏度。在X方向上，樣本以藉由掃描系統116產生之一線之一形式被激發，此實現高量測速度。量測配置藉由應用一光導管412得以補充，此在不進行機械移動之情況下實現光學信號從一樣本大小長線之收集及光學信號至一所需形狀之轉變(諸如一小圓形區域或在一線中)。具有數千個個別光纖之多光纖電路之應用實現每像素約數十微米之高量測解析度。因此，裝置達成高靈敏度、高解析度及高速度(量測輸送量)。

儘管出於指導性目的，本文中提供特定實施例，但所描述之實施例並非限制性。可在不脫離本發明之範疇的情況下做出各種調適及修改。舉例而言，可使用一旋轉載台來代替一線性載台以用於使照射線122及142掃描跨越樣本101之表面。再者，掃描系統116可經修改以消除(例如，固定鏡)，或一F- $\theta$ 透鏡可用於將照射光束114聚焦於樣本101之表面上。其他修改及變化係可能的，且因此，隨附申請專利範圍之精神及範疇不應限於前文之描述。

#### 【符號說明】

|       |                      |
|-------|----------------------|
| 100   | 光學計量器件/計量器件          |
| 100'  | 光學計量器件               |
| 100'' | 光學計量器件               |
| 101   | 樣本                   |
| 104   | 載台/線性載台              |
| 110   | 第一光源/窄頻帶照射源/光源/窄頻帶光源 |

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| 111   | 選用F- $\theta$ 透鏡                   |
| 112   | 光學器件/透鏡                            |
| 114   | 照射光束/經準直照射光束/窄頻帶照射光束/掃描照射光束/入射照射光束 |
| 114'  | 照射光束/窄頻帶照射光束/窄頻帶照射                 |
| 114'' | 窄頻帶照射光束/窄頻帶照射                      |
| 115   | 散射光                                |
| 116   | 掃描系統                               |
| 117   | 光致發光光                              |
| 118   | 掃描鏡/鏡                              |
| 119   | 光束偏光器                              |
| 120   | 固定鏡/重定向鏡                           |
| 121   | 線                                  |
| 122   | 照射線/激發線                            |
| 123   | 箭頭                                 |
| 124   | 照射點                                |
| 125   | 線                                  |
| 125'' | 鏡面反射                               |
| 126   | 表面缺陷/缺陷                            |
| 127   | 箭頭                                 |
| 130   | 偵測器/信號偵測器                          |
| 131   | 偵測器路徑                              |
| 132   | 光學器件/前部光學器件                        |
| 133   | 分析儀                                |

- 134 光譜儀
- 136 感測器/攝影機感測器/感測器偵測器
- 140 第二光源/寬頻帶光源/光源
- 141 線/寬頻帶照射
- 142 照射線/寬頻帶照射線/線/激發線
- 143 寬頻帶光/所反射寬頻帶光
- 144 光纖
- 145 箭頭
- 146 柱面透鏡
- 150 電腦
- 152 處理器
- 154 記憶體
- 158 顯示器
- 160 輸入器件
- 162 非暫時性電腦可用媒體/電腦可讀儲存媒體/電腦可用媒體
- 164 通信埠
- 202 峰值
- 204 峰值
- 206 峰值
- 402 長橢圓柱面鏡/橢圓鏡/橢圓柱面鏡/光學器件
- 403 狹縫
- 406 激發雷射光束/雷射光束/光束/激發光束

|     |                      |
|-----|----------------------|
| 407 | 光學信號/所得光學信號          |
| 409 | 經鏡面反射之光              |
| 410 | 線                    |
| 412 | 光導管                  |
| 414 | 線性信號接收端              |
| 416 | 信號輸出端/矩形信號輸出端        |
| 418 | 光纖                   |
| 452 | 濾光器/光學濾光器            |
| 454 | 光譜儀                  |
| 456 | CCD或CMOS攝影機感測器陣列     |
| 458 | 資料獲取器件               |
| 462 | 光電倍增管/突崩光二極體         |
| 502 | 長圓柱形透鏡/圓柱形透鏡/透鏡/光學器件 |
| 510 | 線                    |
| N   | 法線/表面法線              |
| X   | 軸                    |
| X1  | 位置/離散位置              |
| X2  | 位置/離散位置              |
| X3  | 位置/離散位置              |
| X4  | 位置/離散位置              |
| X5  | 位置/離散位置              |
| Y   | 軸                    |
| Z   | 軸                    |

|            |                     |
|------------|---------------------|
| $\alpha_1$ | 入射角/非零入射角/角         |
| $\alpha_2$ | 入射角/非零入射角/非法線入射角/視角 |
| $\alpha_3$ | 視角/非零角              |
| $\lambda$  | 波長                  |



201719126

申請日: 105/11/02

IPC分類: **G01J 3/28** (2006.01)  
**G01N 21/64** (2006.01)

## 【發明摘要】

## 【中文發明名稱】

用於樣本之光譜成像之光學計量系統

## 【英文發明名稱】

OPTICAL METROLOGY SYSTEM FOR SPECTRAL IMAGING  
OF A SAMPLE

## 【中文】

一種光學計量器件能夠偵測來自跨越一樣本之寬度之一線之光致發光光、寬頻帶光之鏡面反射與散射光之任何組合。該計量器件包含在該樣本上產生一第一照射線之一第一光源。一掃描系統可用於使一照射點掃描跨越該樣本以形成該照射線。一偵測器收集沿著該照射線發射之該光致發光光。另外，可使用一寬頻帶照射源在該樣本上產生一第二照射線，其中該偵測器收集沿著該第二照射線反射之該寬頻帶照射。一信號收集光學器件可收集該光致發光光及該寬頻帶光且將其聚焦成由一光導管接收之一線。該光導管之輸出端具有與該偵測器之入口匹配之一形狀。

## 【英文】

An optical metrology device is capable of detection of any combination of photoluminescence light, specular reflection of broadband light, and scattered light from a line across the width of a sample. The metrology device includes a first light source that produces a first illumination line on the sample. A scanning system may be used to scan an illumination spot across the sample to form the illumination line. A detector collects the photoluminescence light emitted along the

illumination line. Additionally, a broadband illumination source may be used to produce a second illumination line on the sample, where the detector collects the broadband illumination reflected along the second illumination line. A signal collecting optic may collect the photoluminescence light and broadband light and focus it into a line, which is received by an optical conduit. The output end of the optical conduit has a shape that matches the entrance of the detector.

【指定代表圖】

圖20

【代表圖之符號簡單說明】

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| 101 | 樣本                                 |
| 114 | 照射光束/經準直照射光束/窄頻帶照射光束/掃描照射光束/入射照射光束 |
| 115 | 散射光                                |
| 117 | 光致發光光                              |
| 120 | 固定鏡/重定向鏡                           |
| 125 | 線                                  |
| 130 | 偵測器/信號偵測器                          |
| 143 | 寬頻帶光/所反射寬頻帶光                       |
| 402 | 長橢圓柱面鏡/橢圓鏡/橢圓柱面鏡/光學器件              |
| 412 | 光導管                                |

## 【發明申請專利範圍】

### 【第1項】

一種裝置，其包括：

一照射源，其產生一第一光束；

一第一透鏡系統，其致使該第一光束入射於一樣本之一表面上作為沿著一第一方向定向之一第一照射線，該第一照射線以一第一入射角入射於該樣本上，其中該樣本沿著該第一照射線回應於由該第一光束所致之激發而發射光致發光光；

一第二照射源；

一第二透鏡系統，其將由該第二照射源發射之光聚焦至該樣本上作為沿著第一方向定向且疊加於該樣本之該表面上之該第一照射線上之一第二照射線，且該第二照射線以不同於該第一入射角之一第二入射角入射於該樣本上；

一載台，其用於提供該樣本與第一及第二照射線之間沿不同於該第一方向之一第二方向之相對移動；

一偵測器，其收集來自該第二照射線之反射光，且接收由該樣本沿著該第一照射線發射之該光致發光光；

一信號收集光學器件，其延伸達該第一照射線及該第二照射線之一長度，該信號收集光學器件接收來自該第一照射線之該光致發光光及來自該第二照射線之該反射光，且將該光致發光光及該反射光聚焦成一線；

一光導管，其具有接收由該信號收集光學器件聚焦之該光致發光光及該反射光之一線性接收端，該光導管進一步具有經組態以將該

光致發光光及該反射光提供至該偵測器之一輸出端，該輸出端具有不同於該線性接收端之一形狀；及

一處理器，其耦合至該偵測器且經組態以使用該光致發光光及該反射光針對該樣本之該表面上之複數個位置判定該樣本之一特性。

**【第2項】**

如請求項1之裝置，其中該信號收集光學器件係一橢圓柱面鏡或一圓柱形透鏡中之一者。

**【第3項】**

如請求項2之裝置，其中該信號收集光學器件具有0.4或更大之一數值孔徑(NA)。

**【第4項】**

如請求項1之裝置，其中該光導管包括複數個光纖，該等光纖在該線性接收端處具有一第一配置且在該輸出端處具有不同於該第一配置之一第二配置，且其中該輸出端具有與該偵測器之一入口孔隙之一形狀匹配之一形狀。

**【第5項】**

如請求項1之裝置，其中該第一光束之一部分沿著該第一照射線自該樣本上之表面缺陷散射從而產生散射信號，該偵測器接收該等散射信號。

**【第6項】**

如請求項5之裝置，其中該處理器使用自該偵測器接收之該等散射信號產生該樣本之一表面缺陷影像。

**【第7項】**

如請求項1之裝置，其中該第一透鏡系統包括一掃描鏡以使該第一光

沿該第二方向掃描跨越該樣本以形成該第一照射線。

**【第8項】**

如請求項1之裝置，其中同時產生該第一照射線及該第二照射線。

**【第9項】**

如請求項1之裝置，其中循序產生該第一照射線及該第二照射線。

**【第10項】**

如請求項1之裝置，其中該偵測器包括一光電倍增管(PMT)或突崩光二極體(APD)。

**【第11項】**

如請求項1之裝置，其中該第二照射源係產生寬頻帶光之一寬頻帶光源且該反射光係反射寬頻帶光，且其中該偵測器在一二維陣列上將該反射寬頻帶光及該光致發光光成像且作為回應而產生一影像圖框，該二維陣列具有表示沿著該第二方向之空間資訊之一第一維度及表示該反射寬頻帶光及該光致發光光之光譜資訊之一第二維度，其中在該載台沿該第一方向移動該樣本時，該偵測器產生針對疊加於該樣本之該表面上之該第一照射線及該第二照射線之複數個位置之複數個影像圖框。

**【第12項】**

一種裝置，其包括：

一光源，其產生一照射光束；

一光學系統，其接收該照射光束且在一樣本之一表面上產生一照射點；

一掃描系統，其使該照射點掃描跨越該樣本以形成一照射線，其中該樣本沿著該照射線回應於由該照射點所致之激發而發射光致發

光光；

一載台，其用於提供該照射線與該樣本之間的相對移動；

一信號收集光學器件，其延伸達該照射線之一長度，該信號收集光學器件接收來自該照射線之該光致發光光且將該光致發光光聚焦成一線；

一光導管，其具有接收由該信號收集光學器件聚焦之該光致發光光之一線性接收端，該光導管進一步具有一輸出端，該輸出端具有不同於該線性接收端之一形狀；

一偵測器，其自該光導管收集該光致發光光，該偵測器具有與該光導管之該輸出端之一形狀匹配之一入口孔隙；及

一處理器，其耦合至該偵測器以接收該光致發光光以判定該樣本之一特性。

#### 【第13項】

如請求項12之裝置，其中該信號收集光學器件係一橢圓柱面鏡或一圓柱形透鏡中之一者。

#### 【第14項】

如請求項13之裝置，其中該信號收集光學器件具有0.4或更大之一數值孔徑(NA)。

#### 【第15項】

如請求項12之裝置，其中該光導管包括複數個光纖，該等光纖在該線性接收端處具有一第一配置且在該輸出端處具有不同於該第一配置之一第二配置。

#### 【第16項】

如請求項12之裝置，其中該照射光束之一部分沿著該照射線自該樣本上之表面缺陷散射從而產生散射信號，其中該信號收集光學器件接收該等散射信號且使用該光導管將該等散射信號提供至該偵測器。

**【第17項】**

如請求項12之裝置，其中該掃描系統在一平面中掃描該照射光束，其在該樣本上處於一非法線入射角。

**【第18項】**

如請求項12之裝置，其中該偵測器包括一光電倍增管(PMT)或突崩光二極體(APD)。

**【第19項】**

如請求項12之裝置，其中該照射光束中之所有波長同時組合於該照射點中，且其中該偵測器在一二維陣列上將沿著該照射線發射之該光致發光光成像，該二維陣列具有表示沿著該照射線之空間資訊之一第一維度及表示該光致發光光之光譜資訊之一第二維度，其中該偵測器產生表示沿著該照射線發射之該光致發光光之一影像圖框，且其中在該載台產生該照射線與該樣本之間的相對移動時，該偵測器產生針對該樣本之該表面上之該照射線之複數個影像圖框。

**【第20項】**

如請求項12之裝置，其中該照射光束係一第一照射光束，該照射線係一第一照射線，該裝置進一步包括：

一寬頻帶光源，其產生寬頻帶光；及

一透鏡，其將該寬頻帶光在該樣本之該表面上聚焦成一第二照射線，該第二照射線疊加該第一照射線並與該第一照射線對準，且以

不同於該照射光束之一平面之一入射角之一入射角入射於該樣本上，其中該第二照射線由該樣本反射以產生反射光；

其中該信號收集光學器件進一步接收該反射光且將該反射光聚焦成線，且該光導管自該信號收集光學器件接收該反射光；且其中該偵測器自該光導管收集該反射光，且其中該處理器進一步使用該反射光判定該樣本之一特性。

#### 【第21項】

如請求項20之裝置，其中該信號收集光學器件接收鏡面反射寬頻帶光。

#### 【第22項】

如請求項12之裝置，其中使該照射點在該樣本之該表面上進行掃描以形成該照射線之該掃描系統包括一電流計式鏡或一多面鏡。

#### 【第23項】

一種方法，其包括：

沿著具有沿一第一方向之一定向之一照射線使用一光源照射一樣本之一表面，其中該樣本回應於由來自該光源之光所致之激發而自該照射線發射光致發光光；

沿著該照射線之一長度使用一信號收集光學器件收集來自該照射線之該光致發光光且使用該信號收集光學器件將該光致發光光聚焦成一線；

使用具有一線性接收端之一光導管沿著該線接收該光致發光光且在具有不同於該線性接收端之一形狀之一輸出端處自該光導管輸出該光致發光光；

使用具有與該光導管之該輸出端之一形狀匹配之一入口孔隙之一偵測器偵測自該光導管之該輸出端接收之該光致發光光；

使該照射線沿不同於該第一方向之一第二方向移動跨越該樣本之該表面；及

使用由該偵測器偵測到之該光致發光光針對該樣本之該表面上之複數個位置判定該樣本之一特性。

**【第24項】**

如請求項23之方法，其中該信號收集光學器件係一橢圓柱面鏡或一圓柱形透鏡中之一者且具有0.4或更大之一數值孔徑(NA)。

**【第25項】**

如請求項23之方法，其進一步包括在該光導管中使用複數個光纖來傳輸該光致發光光，其中該等光纖在該線性接收端處具有一第一配置且在該輸出端處具有不同於該第一配置之一第二配置。

**【第26項】**

如請求項23之方法，其中該照射光束之一部分沿著該照射線自該樣本上之表面缺陷散射從而產生散射信號，該方法進一步包括使用該信號收集光學器件收集該等散射信號且使用該光導管將該等散射信號提供至該偵測器。

**【第27項】**

如請求項23之方法，其中該偵測該光致發光光係藉由一光電倍增管(PMT)、突崩光二極體(APD)或一光譜儀中之一者而執行。

























