



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I856771 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 09 月 21 日

(21)申請案號：112129929

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 04 月 17 日

(51)Int. Cl. : G01N23/20 (2018.01)

G01N23/201 (2018.01)

G01N23/223 (2006.01)

(30)優先權：2018/04/23 美國

62/661,133

(71)申請人：以色列商布魯克科技有限公司 (以色列) BRUKER TECHNOLOGIES LTD (IL)
以色列(72)發明人：沃明頓 馬修 WORMINGTON, MATTHEW (GB)；沛雷 艾薛 PELED, ASHER
(IL)；卡莫 亞歷山大 KROKHMAL, ALEXANDER (IL)

(74)代理人：陳長文；林嘉興；吳弈錡

(56)參考文獻：

TW 201543003A

TW 201730514A

TW 201732279A

US 2011/0164730A1

US 2018/0106735A1

審查人員：林永昌

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：6 共 69 頁

(54)名稱

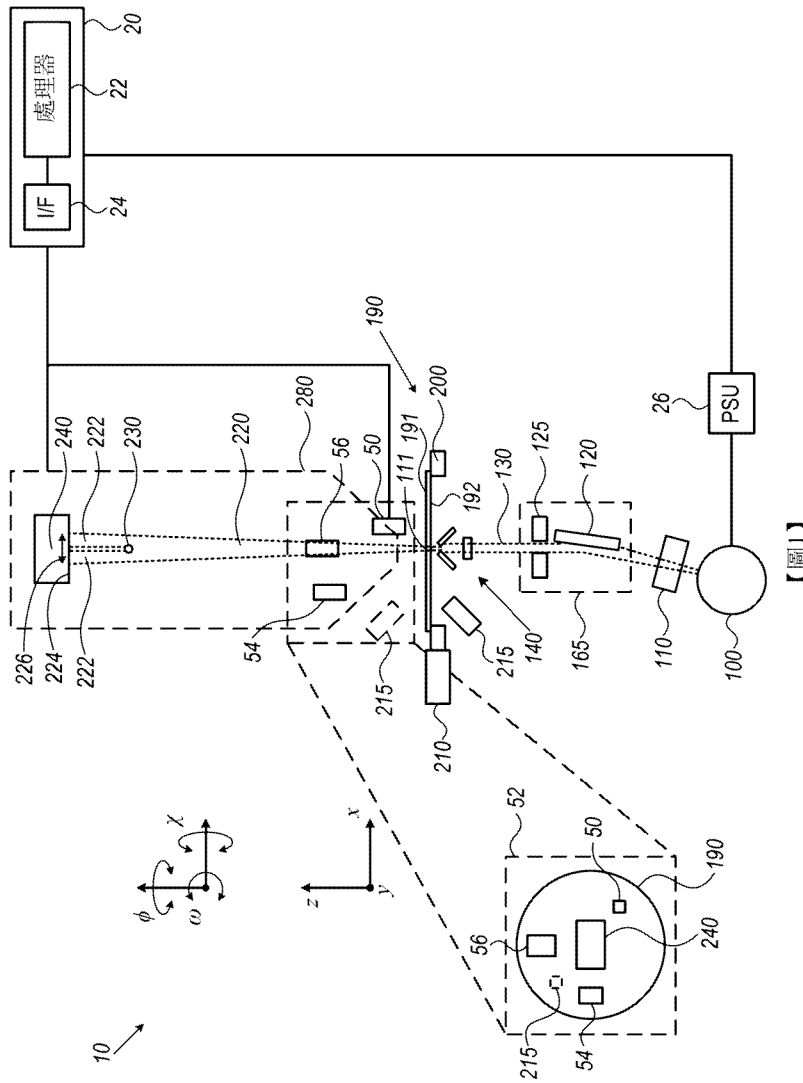
X 射線設備及 X 射線散射方法

(57)摘要

一種 X 射線設備包含一安裝座、一 X 射線源、一偵測器、一致動器及一控制器。該安裝座經組態以固持一樣本。該 X 射線源經組態以將 X 射線之一射束引導朝向該樣本之一第一側。該偵測器定位於該樣本之與該第一側相對之一第二側上，以便接收已透射穿過該樣本之該等 X 射線之至少一部分及輸出指示該等經接收 X 射線之一強度之信號。該致動器經組態以在該樣本之該第二側上之一位置範圍內掃描該偵測器以便量測隨一散射角而變化之該等經透射 X 射線。該控制器經耦合以接收藉由該偵測器輸出之該等信號及回應於該等信號控制該致動器，以便相對於在其中該等經接收 X 射線之強度為強之第二位置處之一獲取時間增加該偵測器在其中該等經接收 X 射線之強度為弱之第一位置處之該獲取時間。

An X-ray apparatus includes a mount, an X-ray source, a detector, an actuator, and a controller. The mount is configured to hold a sample. The X-ray source is configured to direct a beam of X-rays toward a first side of the sample. The detector is positioned on a second side of the sample, opposite the first side, so as to receive at least a portion of the X-rays that have been transmitted through the sample and to output signals indicative of an intensity of the received X-rays. The actuator is configured to scan the detector over a range of positions on the second side of the sample so as to measure the transmitted X-rays as a function of a scattering angle. The controller is coupled to receive the signals output by the detector and to control the actuator, responsively to the signals, so as to increase an acquisition time of the detector at first positions where the intensity of the received X-rays is weak relative to the acquisition time at second positions where the intensity of the received X-rays is strong.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

10: 小角度 X 射線散射 (SAXS) 系統/系統

20: 電腦

22: 處理器

24: 介面

26: 高壓電力供應單元 (PSU)

50: 光學顯微鏡

52: 插圖

54: X 射線繞射 (XRD) 偵測器/偵測器

56: X 射線繞射 (XRD) 偵測器/偵測器

100: 源/X 射線源

110: 總成/狹縫總成

111: 點

120: 鏡

125: 狹縫

130: X 射線射束/入射射束/射束/第一射束/第二射束

140: 狹縫總成/總成

165: 總成/射束調節總成

190: 晶圓

191: 表面

192: 表面

200: 卡盤

210: 載台

215: 校準量規/第一校準量規/第二校準量規

220: 經透射射束/射束

222: 射束

224: 表面

226: 區

230: 射束阻擋器

240: 偵測器

280: 真空室



I856771

【發明摘要】

【中文發明名稱】

X射線設備及X射線散射方法

【英文發明名稱】

X-RAY APPARATUSES AND X-RAY SCATTEROMETRY METHODS

【中文】

一種X射線設備包含一安裝座、一X射線源、一偵測器、一致動器及一控制器。該安裝座經組態以固持一樣本。該X射線源經組態以將X射線之一射束引導朝向該樣本之一第一側。該偵測器定位於該樣本之與該第一側相對之一第二側上，以便接收已透射穿過該樣本之該等X射線之至少一部分及輸出指示該等經接收X射線之一強度之信號。該致動器經組態以在該樣本之該第二側上之一位置範圍內掃描該偵測器以便量測隨一散射角而變化之該等經透射X射線。該控制器經耦合以接收藉由該偵測器輸出之該等信號及回應於該等信號控制該致動器，以便相對於在其中該等經接收X射線之強度為強之第二位置處之一獲取時間增加該偵測器在其中該等經接收X射線之強度為弱之第一位置處之該獲取時間。

【英文】

An X-ray apparatus includes a mount, an X-ray source, a detector, an actuator, and a controller. The mount is configured to hold a sample. The X-ray source is configured to direct a beam of X-rays toward a first side of the sample. The detector is positioned on a second side of the sample, opposite the first side, so as to receive at least a portion of the X-rays that have been transmitted through the sample and to output

signals indicative of an intensity of the received X-rays. The actuator is configured to scan the detector over a range of positions on the second side of the sample so as to measure the transmitted X-rays as a function of a scattering angle. The controller is coupled to receive the signals output by the detector and to control the actuator, responsively to the signals, so as to increase an acquisition time of the detector at first positions where the intensity of the received X-rays is weak relative to the acquisition time at second positions where the intensity of the received X-rays is strong.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

- 10: 小角度X射線散射(SAXS)系統/系統
- 20: 電腦
- 22: 處理器
- 24: 介面
- 26: 高壓電力供應單元(PSU)
- 50: 光學顯微鏡
- 52: 插圖
- 54: X射線繞射(XRD)偵測器/偵測器
- 56: X射線繞射(XRD)偵測器/偵測器
- 100: 源/X射線源
- 110: 總成/狹縫總成

- 111: 點
- 120: 鏡
- 125: 狹縫
- 130: X射線射束/入射射束/射束/第一射束/第二射束
- 140: 狹縫總成/總成
- 165: 總成/射束調節總成
- 190: 晶圓
- 191: 表面
- 192: 表面
- 200: 卡盤
- 210: 載台
- 215: 校準量規/第一校準量規/第二校準量規
- 220: 經透射射束/射束
- 222: 射束
- 224: 表面
- 226: 區
- 230: 射束阻擋器
- 240: 偵測器
- 280: 真空室

【發明說明書】

【中文發明名稱】

X射線設備及X射線散射方法

【英文發明名稱】

X-RAY APPARATUSES AND X-RAY SCATTEROMETRY METHODS

【技術領域】

【0001】 本發明大體上係關於X射線分析，且特定言之係關於使用X射線散射量測來量測半導體裝置之幾何結構之方法及系統。

【先前技術】

【0002】 X射線散射量測技術係用於量測半導體裝置之幾何結構。

【0003】 例如，美國專利7,481,579描述一種檢測方法，其包含引導X射線之一射束以照射於一樣本之一區域上，該區域含有分別在覆疊於該樣本之一表面上之第一薄膜層及第二薄膜層中形成之第一特徵及第二特徵。偵測及分析自該第一特徵及該第二特徵繞射之該等X射線之一圖案以評估該第一特徵與該第二特徵之一對準。

【0004】 美國專利9,606,073描述包含在具有一軸之一平面中保持一樣本之一樣本支撐件之設備，該平面界定藉由該平面分離之第一區及第二區。該第一區中之一源安裝座圍繞該軸旋轉，且該源安裝座上之一X射線源引導X射線之第一人射射束及第二入射射束以沿著正交於該軸之射束軸以第一角度及第二角度照射於該樣本上。該第二區中之一偵測器安裝座在正交於該軸之一平面中移動且該偵測器安裝座上之一X射線偵測器接收回應於該第一人射射束及該第二入射射束透射穿過該樣本之X射線之第一繞射射束及第二繞射射束，且回應於經接收之第一繞射射束及第二繞射射束

分別輸出第一信號及第二信號。一處理器分析該第一信號及該第二信號以便判定該樣本之一表面之一輪廓。

【0005】 美國專利6,895,075描述用於檢測一樣本之設備，該設備包含一輻射源及一偵測器元件陣列，該偵測器元件陣列經配置以歸因於藉由該輻射源輻照該樣本之一表面之一區域而自該表面接收輻射。

【0006】 美國專利7,551,719描述用於分析一樣本之設備，該設備包含一輻射源，該輻射源經調適以將X射線之一第一、會聚射束引導朝向該樣本之一表面及將該等X射線之一第二、準直射束引導朝向該樣本之該表面。一運動總成使該輻射源在一第一源位置與一第二源位置之間移動，在該第一源位置中，以一掠射角將該等X射線引導朝向該樣本之該表面，在該第二源位置中，將該等X射線引導朝向該樣本之在一布拉格(Bragg)角之附近之該表面。

【0007】 美國專利8,243,878描述一種分析方法，其包含：將X射線之一會聚射束引導朝向其上形成有一磊晶層之一樣本之一表面；及感測自該樣本繞射之該等X射線同時將該等經感測X射線解析為一角度函數以便產生包含一繞射峰值及歸因於該磊晶層之條紋之一繞射光譜。

【發明內容】

【0008】 本文中所描述之本發明之一實施例提供一種X射線設備，其包含一安裝座、一X射線源、一偵測器及一限束器。該安裝座經組態以固持一平面樣本。該X射線源經組態以將X射線之一射束引導朝向該樣本之一第一側。該偵測器定位於該樣本之與該第一側相對之一第二側上，以便接收已透射穿過該樣本之該等X射線之至少一部分。該限束器定位於該樣本之該第一側上以便攔截該等X射線之該射束。該限束器包含第一葉片

及第二葉片以及第一致動器及第二致動器。該第一葉片及該第二葉片具有相互接近定位以便在距該樣本之該第一側小於25 mm之一距離處界定該等X射線之該射束將穿過之一狹縫之各自第一邊緣及第二邊緣。該第一致動器及該第二致動器經組態以使該第一葉片及該第二葉片沿著各自第一平移軸及第二平移軸偏移以便調整該狹縫之一寬度。

【0009】 在一些實施例中，安裝座經組態以使樣本圍繞樣本之一平面中之一傾斜軸傾斜，且狹縫平行於該傾斜軸定向。在其他實施例中，第一葉片及第二葉片包含由一單晶材料或一多晶材料製成之一材料。在又其他實施例中，第一葉片及第二葉片並不彼此平行。

【0010】 在一項實施例中，第一平移軸及第二平移軸並不彼此平行。在另一實施例中，限束器經組態以控制選自由以下項組成之一清單之至少一射束參數：**(i)**射束之一位置；**(ii)**射束之一光點大小；**(iii)**射束在樣本之第一側上之一光點形狀；及**(iv)**射束之一會聚角或發散角。在又另一實施例中，限束器安裝於一載台上，該載台經組態以使限束器相對於射束及樣本之至少一者移動。

【0011】 在一些實施例中，載台包含至少一旋轉載台。在其他實施例中，第一致動器及第二致動器之至少一者包含一或多個壓電線性馬達。在又其他實施例中，設備包含具有相互接近定位以便界定X射線之射束在穿過狹縫之前或之後將穿過之一額外狹縫之各自第一板邊緣及第二板邊緣之第一可移動板及第二可移動板。

【0012】 在一項實施例中，設備包含一第三致動器，該第三致動器經組態以使第一可移動板及第二可移動板之至少一者沿著一第三平移軸偏移以便調整額外狹縫之一大小。在另一實施例中，設備包含一處理器，該

處理器經組態以藉由使狹縫之一位置與額外狹縫之一位置相對於彼此對準而塑形X射線之射束。

【0013】 另外提供一種根據本發明之一實施例之包含將一平面樣本固持於一安裝座上之方法。將X射線之一射束自一X射線源引導朝向該樣本之一第一側。自定位於該樣本之與該第一側相對之一第二側上之一偵測器接收已透射穿過該樣本之該等X射線之至少一部分。一限束器定位於該樣本之該第一側上以便攔截該等X射線之該射束。該限束器包含：第一葉片及第二葉片，其等具有相互接近定位以便在距該樣本之該第一側小於25 mm之一距離處界定該等X射線之該射束將穿過之一狹縫之各自第一邊緣及第二邊緣；及第一致動器及第二致動器。藉由使用該第一致動器及該第二致動器使該第一葉片及該第二葉片沿著各自第一平移軸及第二平移軸偏移而調整該狹縫之一寬度。

【0014】 進一步提供一種根據本發明之一實施例之X射線光學裝置，其包含一晶體、一X射線鏡及一或多個狹縫。該晶體含有一通道，該通道具有一入口孔徑、一出口孔徑及經配置使得該通道自該入口孔徑至該出口孔徑漸縮之相對內面。該X射線鏡包含具有一多層塗層之一彎曲基板，該多層塗層經組態以收集及以一第一射束直徑將自一源發射之X射線之一射束引導至該通道之該入口孔徑中，使得以小於該第一射束直徑之一第二射束直徑自該出口孔徑發射該射束。一或多個狹縫插置於該X射線鏡與該晶體之間，使得該射束在進入該通道之該入口孔徑之前穿過該等狹縫。

【0015】 在一些實施例中，X射線鏡經組態以調整射束之一發散度及強度。在其他實施例中，裝置包含一葉片及一致動器。該葉片具有穿過

其之不同、各自大小之一孔徑陣列。該致動器經組態以將葉片定位於自晶體之出口孔徑發射之射束之一路徑中及使葉片平移以便將孔徑之不同者定位於該路徑中。

【0016】 在一項實施例中，晶體包含由鍺製成之一單晶體。在另一實施例中，相對內面並不彼此平行。

【0017】 另外提供一種根據本發明之一實施例之X射線設備，其包含一安裝座、一X射線源、一偵測器、一光學量規及一馬達。該安裝座經組態以固持具有光滑之一第一側及與該第一側相對且其上已形成一圖案之一第二側之一平面樣本。該X射線源經組態以將X射線之一第一射束引導朝向該樣本之該第一側。該偵測器定位於該樣本之該第二側上以便接收已透射穿過該樣本且自該圖案散射之該等X射線之至少一部分。該光學量規經組態以：將光學輻射之一第二射束引導朝向該樣本之該第一側；感測自該樣本之該第一側反射之該光學輻射；及回應於該經感測光學輻射輸出指示該樣本之一位置之一信號。該馬達經組態以回應於該信號調整該偵測器與該樣本之間的一對準。

【0018】 在一些實施例中，信號指示選自由樣本與偵測器之間的一距離及樣本相對於偵測器之一定向組成之一位置參數群組之至少一位置參數。在其他實施例中，樣本之該定向包含樣本相對於偵測器之一表面之一傾斜角。在又其他實施例中，樣本包含一單晶體材料，且X射線設備包含一額外偵測器，該額外偵測器經組態以量測已自該單晶體材料之一晶格平面繞射之X射線之至少一部分之一強度，且X射線設備進一步包含一控制器，該控制器經組態以回應於該經量測強度而校準X射線之第一射束相對於該晶格平面之一定向。

【0019】 在一項實施例中，X射線設備包含一處理器，該處理器經組態以指示光學量規將第二射束引導朝向樣本之第一側上之多個位置以便輸出指示自該多個位置反射之多個各自光學輻射之多個各自信號。該處理器進一步經組態以基於該多個信號顯示指示樣本至少在該多個位置處之位置之一三維(3D)地圖。在另一實施例中，處理器經組態以基於該多個位置估計樣本在第一側上之額外一或多個各自位置處之一或多個額外位置，及在該3D地圖上顯示該等額外位置。

【0020】 在一些實施例中，X射線設備包含一能量散佈X射線(EDX)偵測器總成，該能量散佈X射線(EDX)偵測器總成經組態以在樣本之位置處量測自圖案發射之X射線螢光，及輸出指示在位置處量測之該X射線螢光之一強度之一電信號。在其他實施例中，EDX偵測器總成包含一矽基或一鍺基固態EDX偵測器。

【0021】 另外提供一種根據本發明之一實施例之方法，其包含將具有光滑之一第一側及與該第一側相對且其上已形成一圖案之一第二側之一平面樣本固持於一安裝座上。將X射線之一第一射束引導朝向該樣本之該第一側。自定位於該樣本之該第二側上之一偵測器接收已透射穿過該樣本且自該圖案散射之該等X射線之至少一部分。將光學輻射之一第二射束引導朝向該樣本之該第一側以用於感測自該樣本之該第一側反射之該光學輻射，且回應於該經感測光學輻射輸出指示該樣本之一位置之一信號。回應於該信號調整該偵測器與該樣本之間的一對準。

【0022】 進一步提供一種根據本發明之一實施例之X射線設備，其包含一安裝座、一X射線源、一偵測器、一馬達及一控制器。該安裝座經組態以固持包含一單晶體材料且具有一第一側及與該第一側相對之一第二

側之一樣本。該X射線源經組態以將X射線之一射束引導朝向該樣本之該第一側。該偵測器定位於該樣本之該第二側上且經組態以接收已自該單晶體材料之一晶格平面繞射之該等X射線之至少一部分。該馬達經組態以調整該偵測器與該樣本之間的一對準。該控制器經組態以基於該等經繞射X射線量測該樣本相對於該偵測器之一定向及驅動該馬達以回應於該經量測定向調整該對準。

【0023】 另外提供一種根據本發明之一實施例之X射線設備，其包含一安裝座、一X射線源、一偵測器、一致動器及一控制器。該安裝座經組態以固持一樣本。該X射線源經組態以將X射線之一射束引導朝向該樣本之一第一側。該偵測器定位於該樣本之與該第一側相對之一第二側上，以便接收已透射穿過該樣本之該等X射線之至少一部分及輸出指示該等經接收X射線之一強度之信號。該致動器經組態以在該樣本之該第二側上之一位置範圍內掃描該偵測器以便量測隨一散射角而變化之該等經透射X射線。該控制器經耦合以接收藉由該偵測器輸出之該等信號及回應於該等信號控制該致動器，以便相對於在其中該等經接收X射線之強度為強之第二位置處之一獲取時間增加該偵測器在其中該等經接收X射線之強度為弱之第一位置處之該獲取時間。

【0024】 在一些實施例中，偵測器包含具有一預定義節距之一感測器元件陣列，且致動器經組態以使偵測器以比該預定義節距更精細之一解析度跨位置範圍步進。在其他實施例中，該陣列包含該等感測器元件之一二維矩陣，且致動器經組態以使偵測器以比該節距更精細之該解析度沿著該矩陣之高度軸及寬度軸兩者步進。

【0025】 在一項實施例中，樣本包含具有大於10之一縱橫比之一或

多個高縱橫比(HAR)特徵，且致動器經組態以在位置範圍內掃描偵測器以便量測自該等HAR特徵散射之經透射X射線。在另一實施例中，控制器經組態以控制獲取時間，使得偵測器接收第一位置及第二位置處之一預定義強度範圍。

【0026】 亦提供一種根據本發明之一實施例之包含將一樣本固持於一安裝座上之方法。將X射線之一射束引導朝向該樣本之一第一側。自定位於該樣本之與該第一側相對之一第二側上之一偵測器接收已透射穿過該樣本之該等X射線之至少一部分，且輸出指示該等經接收X射線之一強度之信號。藉由一致動器在該樣本之該第二側上之一位置範圍內掃描該偵測器以便量測隨一散射角而變化之該等經透射X射線。藉由該偵測器接收輸出之該等信號且回應於該等信號控制該致動器以便相對於在其中該等經接收X射線之強度為強之第二位置處之一獲取時間增加該偵測器在其中該等經接收X射線之強度為弱之第一位置處之該獲取時間。

【0027】 另外提供一種根據本發明之一實施例之X射線設備，其包含一第一安裝座、一X射線源、一偵測器及一射束阻擋器。該第一安裝座經組態以固持一樣本。該X射線源經組態以將X射線之一射束引導朝向該樣本。該偵測器經定位以接收已透射穿過該樣本之該等X射線，該等經透射射束之至少部分在一角度範圍內自該樣本散射。該射束阻擋器包含由對該等X射線透明之一材料製成之一第二安裝座及固持於該第二安裝座內之一X射線不透明材料之一或多片，且可定位使得該X射線不透明材料在該角度範圍之一部分中阻擋該等X射線，而圍繞該範圍之該經阻擋部分之角度下之該等X射線穿過該安裝座至該偵測器。

【0028】 在一些實施例中，X射線不透明材料片之至少一者係橢圓

形的。在其他實施例中，安裝座包含聚合物。在又其他實施例中，安裝座包含金剛石。

【0029】 在一項實施例中，經阻擋X射線之至少部分包含透射穿過樣本而未散射之X射線。在另一實施例中，X射線設備包含一處理器，該處理器經組態以量測藉由偵測器接收之X射線之一強度，及回應於該經量測強度相對於經透射射束定位射束阻擋器。在又另一實施例中，X射線不透明材料片之至少一者係固持於安裝座之一凹部內。

【0030】 在一些實施例中，安裝座包含由(i)雙軸定向聚對苯二甲酸乙二酯(BOPET)聚酯或(ii)聚(4,4'-氧二仲苯基-苯均四酸亞胺)聚醯亞胺製成之一薄片。在其他實施例中，X射線不透明材料片之至少一者包含金、鈹或鎢。在又其他實施例中，X射線不透明材料片包含具有一不同大小且彼此相距一預定義距離佈置於一陣列中之至少一第一片及一第二片。

【0031】 將自結合圖式獲得之本發明之實施例之以下詳細描述更充分理解本發明，其中：

【圖式簡單說明】

【0032】

圖1至圖3係根據本發明之實施例之小角度X射線散射(SAXS)系統之示意性圖解說明；

圖4係根據本發明之一實施例之一射束調節總成之一示意性圖解說明；

圖5及圖6係根據本發明之實施例之狹縫總成之示意性圖解說明；

7A及圖7B係根據本發明之實施例之射束阻擋總成之示意性圖解說明；

圖8A係根據本發明之另一實施例之指示在無一射束阻擋器之情況下藉由一偵測器感測之一X射線射束之強度之一影像之一示意性圖解說明；

圖8B係根據本發明之一實施例之指示在存在一射束阻擋器之情況下藉由一偵測器感測之一X射線射束之強度之一影像之一示意性圖解說明；

圖9A係根據本發明之另一實施例之指示在無一射束阻擋器之情況下藉由一偵測器感測之一經散射X射線射束之強度之一影像之一示意性圖解說明；

圖9B係根據本發明之一實施例之指示在存在一射束阻擋器之情況下藉由一偵測器感測之一經散射X射線射束之強度之一影像之一示意性圖解說明；及

圖10係根據本發明之一實施例之其中使包括一感測器陣列之一X射線偵測器以小於該等感測器之間距之步長移動以用於改良之角解析度之一掃描方案之一示意性圖解說明。

【實施方式】

【0033】

相關申請案之交叉參考

本申請案主張於2018年4月23日申請之美國臨時專利申請案第62/661,133號之權利，該案之揭示內容以引用的方式併入本文中。

概述

【0034】 下文描述之本發明之實施例提供用於分析形成於各種類型之半導體裝置及測試結構中之幾何結構特徵之改良方法及系統。用於分析特徵之X射線散射量測技術(諸如小角度X射線散射(SAXS)方法)通常應用波長為大約1埃之X射線。此等波長適於量測高縱橫比(HAR)特徵，諸如

在半導體晶圓中製造之HAR孔或溝渠。量測該等特徵之幾何結構性質及其他性質係基於分析以各種角度自晶圓散射之X射線之強度而執行。

【0035】 在一些實施例中，一SAXS系統包括一機動化載台，該機動化載台經組態以使一平面樣本(諸如具有面向彼此之前表面及後表面之一晶圓)移動，其中該前表面包括各種類型之特徵(諸如HAR特徵)。此外或替代性地，該晶圓之該後表面可用類似及/或其他類型之特徵圖案化。

【0036】 在一些實施例中，SAXS系統包括一X射線源，該X射線源經組態以將X射線之一射束引導朝向晶圓之後表面。SAXS系統進一步包括面向晶圓之前表面之至少一偵測器，該偵測器經組態以感測已自晶圓散射及/或透射穿過晶圓之該等X射線之至少部分。偵測器經組態以產生指示自晶圓之前表面中之HAR特徵散射及藉由偵測器接收之X射線之強度之電信號。

【0037】 在一些實施例中，SAXS系統包括一處理器，該處理器經組態以基於自偵測器接收之電信號量測討論中之HAR特徵之性質。

【0038】 在一些實施例中，SAXS系統包括定位於X射線源與晶圓之後表面之間且經組態以調整X射線射束之性質之一射束調節總成。該射束調節總成包括含有一v形通道之一晶體，該v形通道具有一入口孔徑、一出口孔徑及經配置使得該通道自該入口孔徑至該出口孔徑漸縮之相對內面。該射束調節總成進一步包括一X射線鏡，該X射線鏡具有擁有一多層塗層之一彎曲基板。該鏡經組態以收集射束且以一第一射束直徑將該經收集射束引導至該通道之該入口孔徑中，使得自該出口孔徑發射之該射束具有小於該第一射束直徑之一第二射束直徑。

【0039】 在一些實施例中，SAXS系統包括一第一狹縫，該第一狹

縫定位於X射線源與晶圓之後表面之間以便攔截射束及調整該經攔截射束之空間性質。該第一狹縫包括通常並不彼此平行之第一可移動葉片及第二可移動葉片。該第一葉片之邊緣及該第二葉片之邊緣彼此緊鄰定位以便界定狹縫。在一些實施例中，處理器經組態以使第一葉片之邊緣及第二葉片之邊緣移動以便藉由調整狹縫之寬度而控制射束之空間性質。

【0040】 在替代實施例中，SAXS系統包括定位於X射線源與晶圓之後表面之間的一第二狹縫。該第二狹縫包括具有各具有一不同寬度之多個無散射針孔之一可移動葉片。處理器經組態以定位一選定無散射針孔以藉由移動該可移動葉片而攔截射束，以便控制射束之空間性質。

【0041】 在一些實施例中，SAXS系統包括一光學量規，該光學量規經組態以：將一光射束引導朝向晶圓之背側；使用一偵測器感測自該背側反射之光學輻射；及回應於該經感測光學輻射，藉由該偵測器輸出指示晶圓之位置之一信號。基於該信號，處理器經組態以估計位置參數，諸如晶圓與偵測器之間的距離及晶圓相對於偵測器之定向。SAXS系統進一步包括一馬達，該馬達藉由處理器控制以便回應於信號對準X射線射束與晶圓之間的定向。

【0042】 在一些實施例中，晶圓包括單晶材料，且偵測器經組態以量測自該單晶體之一晶格平面繞射之一或多個射束。SAXS系統進一步包括一控制器，該控制器經組態以回應於該經量測繞射校準光學量規相對於該晶格平面之位置。基於該等經繞射X射束，控制器進一步經組態以量測晶圓相對於偵測器之定向，及驅動至少一馬達以基於該經量測定向對準晶圓與入射X射線射束之間的定向。在其他實施例中，處理器可代替控制器執行上文所描述之至少一些操作。

【0043】 在一些實施例中，SAXS系統包括安裝於一或多個致動器上之一偵測器，該一或多個致動器經組態以使該偵測器在晶圓之前表面上之一位置範圍內相對於經散射X射線移動，以便量測隨散射角而變化之經透射X射線之強度。此組態容許以比偵測器元件之原始解析度所可行之增加之角解析度量測經透射X射線之強度。在一些實施例中，處理器經組態以回應於藉由偵測器產生之電信號控制致動器，使得偵測器之獲取時間反向取決於經感測X射線之強度。

【0044】 在一些實施例中，偵測器包括感測器元件之一二維陣列(亦被稱為一矩陣)，該陣列具有沿著該矩陣之高度軸及寬度軸之一預定義節距。致動器經組態以使偵測器以比沿著高度軸及寬度軸兩者之該預定義節距更精細之一解析度跨位置範圍步進。

【0045】 在一些實施例中，SAXS系統包括具有一或多個射束止擋器之一射束阻擋器。該射束阻擋器包括由對X射線透明之一材料製成之一安裝座。該一或多個射束止擋器係固持於該安裝座內，且由對X射線射束至少部分不透明之一材料製成。射束阻擋器可經定位使得一或多個射束止擋器阻擋在角度範圍之一部分中之X射線，而圍繞射束之該經阻擋部分之角度下之X射線穿過安裝座至偵測器。在一項實施例中，射束止擋器之至少一者具有擁有光滑邊緣之一橢圓形形狀以便防止射束自射束止擋器之散射。

【0046】 所揭示技術藉由改良偵測器感測自HAR特徵散射之X射線射束所依之角解析度而改良SAXS系統偵測HAR特徵中之小幾何結構變化之靈敏度。此外，所揭示技術可用於減少SAXS系統之佔用面積同時維持高靈敏度及高解析度之量測。

系統描述

【0047】圖1係根據本發明之一實施例之一小角度X射線散射(SAXS)系統10之一示意性圖解說明。在一些實施例中，SAXS系統10(為簡潔起見在本文中亦被稱為「系統10」)經組態以使用如下文將描述之散射量測技術量測一樣本(在本實例中，一晶圓190)上之特徵。

【0048】在一些實施例中，晶圓190可包括任何合適微結構或材料，諸如一單晶體、一多晶體、一非晶微結構或其等之任何合適組合(諸如晶圓190之不同位置處之不同微結構或材料)。

【0049】在一些實施例中，系統10包括藉由一高壓電力供應單元(PSU) 26驅動之一X射線激發源(在本文中被稱為一源100)。在一些實施例中，源100經組態以發射具有一合適能量以穿過晶圓190之一X射線射束130(為簡潔起見在本文中亦被稱為「入射射束130」或「射束130」)。

【0050】在一些實施例中，源100經組態以產生具有等於或小於0.1 nm之一波長與約150 μm 或更小之一有效光點大小之一強烈X射線發射。

【0051】在一些實施例中，源100可包括任何合適類型之高亮度X射線源，諸如(但不限於)：(a)一固定固體陽極；(b)一旋轉固體陽極；(c)一液體金屬；或(d)一同步加速器。

【0052】在一些實施例中，基於固定固體陽極之源包括一微焦X射線管，其中藉由一鉬(Mo)或銀(Ag)陽極或任何其他合適金屬元素或合金入射一真空中之高能量電子($\geq 50 \text{ keV}$)。此等微焦X射線管係由多個供應商提供，諸如(但不限於)：Incoatec GmbH(德國漢堡)或rtw RÖNTGEN-TECHNIK DR. WARRIKHOFF GmbH & Co.(德國柏林)。

【0053】在一些實施例中，旋轉固體陽極微焦X射線源可包括一Mo

或Ag陽極或任何其他合適金屬元素或合金。合適旋轉陽極X射線源係由多個供應商提供，諸如Bruker AXS GmbH (德國Karlsruhe)。

【0054】 在一些實施例中，液體金屬X射線源包括在一熔融狀態中之一陽極。該陽極可包括任何合適一或多個元素或合金，諸如鎵(Ga)及銦(In)之合金。一合適液體金屬X射線源可選自(例如)由eXcillum AB (瑞典Kista)提供之MetalJet產品之一或多者。

【0055】 在一些實施例中，一基於同步加速器之源包括一基於緊湊型電子加速器之X射線源，諸如由Lyncean Technologies (Fremont, CA 94539, USA)提供之基於緊湊型電子加速器之X射線源及由科學界開發之其他。

【0056】 在一些實施例中，晶圓190可包括具有表面191及192之一半導體晶圓。在一些實施例中，表面191包括使用任何合適半導體程序(諸如沈積、微影及蝕刻)在表面191上產生及/或產生至沈積於其上之晶圓190或材料之塊體中之高縱橫比(HAR)特徵。應注意，在此等實施例中，表面192通常保持平坦及光滑且並不包括藉由微影及蝕刻產生之HAR結構或另一圖案。將理解，在表面191上產生特徵期間，一些層可(例如)使用化學氣相沈積(CVD)程序沈積為表面192之一些位置上之一無圖案層(blanket)，且可引起表面192上之某一非預期形貌。

【0057】 在其他實施例中，表面192之至少部分可經圖案化為具有前述HAR特徵及/或具有任何其他合適類型之特徵。在替代實施例中，僅表面192可包括前述HAR特徵。

【0058】 在本發明之背景內容中及在發明申請專利範圍中，術語「縱橫比」係指深度與寬度(例如，在一圓孔之情況中之直徑)之間或晶圓

190中形成之一給定特徵之高度與寬度之間的一算術比率。此外，術語「高縱橫比(HAR)」通常係指高於10之一縱橫比。HAR結構(在本文中亦被稱為HAR特徵)可包括(例如)在一邏輯裝置(例如，一微處理器)、或一NAND快閃記憶體裝置、或一動態隨機存取記憶體(DRAM)裝置上，或任何其他裝置上形成之各種類型之三維(3D)結構。

【0059】 在一些實施例中，HAR特徵可包括一或多個鰭式場效電晶體(FET)、環繞式閘極(GAA) FET、一互補金屬氧化物半導體(CMOS)裝置之奈米線FET、一DRAM裝置之一存取電晶體、一3D NAND快閃裝置之一或多個通道、一DRAM裝置之一或多個3D電容器或任何其他類型之HAR特徵。

【0060】 在一些實施例中，系統10包括一電腦20，該電腦20包括一處理器22、一介面24及一顯示器(未展示)。處理器22經組態以控制下文所描述之系統10之各種組件及總成，及處理自一可移動偵測器總成(在本文中被稱為一偵測器240)接收之電信號。介面24經組態以在處理器22與系統10之各自組件及總成之間交換電信號。

【0061】 通常，處理器22包括具有合適前端及介面電路之一通用處理器，該通用處理器在軟體中程式化以執行本文中所描述之功能。例如，可經由一網路以電子形式將軟體下載至處理器，或替代性地或此外，可將軟體提供及/或儲存於非暫時性有形媒體(諸如磁性、光學或電子記憶體)上。

【0062】 在一些實施例中，射束130係自源100發射且穿過系統10之由對X射線不透明之任何合適材料製成之一快門及狹縫總成(在本文中被稱為「總成110」)。在一些實施例中，處理器22經組態以使用一或多個受控

致動器(諸如馬達或基於壓電之驅動器(未展示))設定總成110之位置。

【0063】 在一些實施例中，總成110經組態以藉由阻擋自射束130之經設計光學路徑偏轉之任何X射線輻射而改良系統10之使用者安全。在一些實施例中，處理器22經組態以調整狹縫之位置及大小，以便控制射束130之發散度及空間形狀。

【0064】 在一些實施例中，系統10包括藉由處理器22控制以用於調整射束130之發散度、強度及光點大小及用於阻擋非所要經散射輻射之額外狹縫。

【0065】 在一些實施例中，系統10包括一射束調節總成(在本文中被称为「總成165」)，其之結構在下文圖4中詳細描述。在一些實施例中，總成165包括光學元件(諸如一鏡120及狹縫125)。鏡120經組態以自源100及總成110收集射束130且塑形射束130之光學性質。例如，鏡120經組態以產生一經準直射束或一經聚焦射束，或其等之一組合(例如，在x方向準直及在y方向上聚焦)。狹縫125經組態以調整射束130之性質，諸如離開鏡120之射束之發散角及光點大小。

【0066】 在一些實施例中，射束調節總成165可包括一真空室以便防止由光學元件之表面上之空氣與電離輻射之間的相互作用所引起之前述光學元件之一或多者之劣化。

【0067】 在一些實施例中，射束調節總成165可具有多個組態，該多個組態中之一些在下文圖4中詳細描述。例如，處理器22可指示射束調節總成165將一第一射束130塑形為具有一小空間範圍(即，光點大小)之一經準直射束。處理器22可使用此射束組態用於量測安置於一小型測試墊上之特徵，如同其中對佈置於晶圓190之相鄰晶粒之間的劃線道中之測試結

構執行度量之邏輯應用之情況。

【0068】 在另一實例中，晶圓190可包括具有(例如，在記憶體區塊中之)重複特徵之大陣列之一記憶體裝置(例如，DRAM、NAND快閃)，或具有記憶體區段之一邏輯裝置。在一些實施例中，處理器22可對晶粒之一選定記憶體區塊應用相較於第一射束130具有一較大光點大小及較高強度之一第二射束130。處理器22可交換鏡122以將射束130聚焦於偵測器240之作用表面上以便增加各自SAXS系統(例如，上文所描述之系統10、30或40)之解析度。

【0069】 在一些實施例中，系統10包括一限束器(在本文中亦被稱為一狹縫總成140)，該限束器包括在下文圖5及圖6中詳細描述之一或多個狹縫及/或可移動葉片。狹縫總成140經組態以控制及/或細化晶圓190之表面192上之入射射束130之位置及/或光點大小及/或形狀及/或會聚角或發散角。

【0070】 在一些實施例中，系統10包括具有圍繞y軸且居中於表面191處之一旋轉軸之一機動化旋轉載台(未展示)。在一些實施例中，源100、射束調節總成165及狹縫總成110及140之一或多者安裝於藉由一運動控制器及/或藉由處理器22控制之該旋轉載台上。

【0071】 在一些實施例中，處理器22可調整或校準入射射束130與晶圓190之表面192之一法線之間的角度，以便改良系統10之量測條件。

【0072】 在一些實施例中，系統10包括其上安裝有晶圓190之一卡盤200。卡盤200經組態以機械地支撐晶圓190及容許將射束130引導至大部分區域(例如，排除晶圓190之斜面之至少某一部分，如圖1中所展示)，或遍及表面192之整個區域。

【0073】 在一些實施例中，卡盤200可包括一環形晶圓支撐件，但此外或替代性地，卡盤200可包括任何其他合適設計(諸如一三點運動安裝座)。

【0074】 在一些實施例中，系統10包括其上安裝有卡盤200之一安裝座，例如，一機動化 $xyz\chi\omega\phi$ 載台(在本文中被稱為「一載台210」)。載台210係藉由處理器22在系統10之一 xyz 座標系統中加以控制，且經設計為一開放式框架(即，在中心無材料)以便容許入射射束130直接照射於晶圓190之表面192上。

【0075】 在一些實施例中，載台210經組態以使晶圓190沿著 x 方向及 y 方向相對於射束130移動，以便設定晶圓190相對於入射射束130之一所要空間位置。載台210進一步經組態以使晶圓190沿著 z 軸移動以便改良射束130在表面192上之所要位置處或晶圓190上之任何其他合適位置處之聚焦。載台210進一步經組態以應用圍繞平行於晶圓190之表面192之各自 x 軸及 y 軸之旋轉 χ 及/或 ω ，及應用圍繞垂直於晶圓190之表面192之 z 軸之方位角旋轉 ϕ 。

【0076】 在一些實施例中，處理器22經組態以選擇一預定義方位角 ϕ 以便使射束130與待量測之結構中之選定特徵對準。例如，處理器22可選擇一第一方位角 ϕ_1 (未展示)以使射束130相對於以一維(1D)配置於晶圓190上之線結構對準。此外，處理器22可選擇一第二方位角 ϕ_2 (未展示)以使射束130相對於以一二維(2D)圖案(諸如矩形或六邊形晶格)配置於晶圓190上之一孔或通孔圖案或陣列對準。

【0077】 在替代實施例中，晶圓190安裝於一合適靜止固定裝置(代替載台210)上，使得處理器22可移動源100及前述總成(例如，狹縫總成

110及總成165及140)，使得X射線射束經引導至晶圓190之任一或多個所要位置。在其他實施例中，系統10可包括任何其他合適組之安裝座，諸如一組載台(例如，用於晶圓190之一 $\chi\omega\phi$ 載台及用於上文所描述之總成之一xyz載台)，且處理器22經組態以藉由控制該組載台而使表面191及192相對於射束130移動。

【0078】 在一些實施例中，入射射束130照射於表面192上，穿過晶圓190且自形成於晶圓190之表面191中之前述HAR特徵散射。在晶圓190之一替代組態中，表面192可包括除了如上文所描述之在表面191中圖案化之HAR特徵之外或代替在表面191中圖案化之HAR特徵之HAR特徵。在此晶圓組態中，入射射束130亦可自在表面192上圖案化之HAR特徵散射。在一些實施例中，系統10之偵測器240經組態以偵測自表面191及表面192兩者之HAR特徵散射之X射線光子，如下文將詳細描述。

【0079】 在一些實施例中，入射射束130可垂直於晶圓190之表面192或依相對於晶圓190之任何其他合適角度照射於一點111處。在一項實施例中，一些入射射束130在其橫穿晶圓190時被吸收且一經透射射束220沿著入射射束130之相同方向離開晶圓190之表面191。自前述一或多個HAR特徵散射之額外射束222相對於晶圓190之表面191依不同於經透射射束130之角度離開。

【0080】 在一些實施例中，偵測器240經組態以偵測照射於偵測器240之一表面224上之一或多個區226處之射束222之X射線光子。偵測器240可包括任何合適類型之一或多個偵測器，諸如(但不限於)電荷耦合裝置(CCD)、由諸多供應商提供之CMOS相機，或由供應1D Mythen偵測器及2D Pilatus及Eiger系列之偵測器之DECTRIS Ltd. (瑞士Baden)所製造

之矽(Si)或碲化鎘(CdTe)偵測層製成之陣列偵測器。

【0081】 在一些實施例中，偵測器240可安裝於經組態以基於預定義運動輪廓使偵測器240移動及/或旋轉以便改良偵測器240之感測效率之一高精度機動化平移及/或旋轉載台(未展示)上。偵測器240之載台及運動控制之實例性實施方案係在下文圖10中詳細描述。

【0082】 在一些實施例中，上文所描述之偵測器經組態以偵測自晶圓190散射之X射線射束(在本文中也被稱為射束222)，且包括具有足夠小型之敏感元件以便提供用於量測來自晶圓190之HAR特徵之小角度散射強度分佈之必要角解析度。

【0083】 在一些實施例中，系統10包括用於校準及設置系統10以便準確地量測在晶圓190中圖案化之前述特徵之性質之一或多個校準量規215。校準量規215之至少一者經組態以產生指示晶圓190處之一給定位置相對於一預定義參考物之高度及傾斜度之電信號，如下文將詳細描述。經由介面24將該等電信號發送至處理器22以進行分析。

【0084】 在一些實施例中，系統10可包括兩個校準量規215。一第一校準量規215面向通常平坦且不具有HAR特徵或其他類型之圖案之表面192，且一第二校準量規215面向通常經圖案化且亦可具有上文所描述之HAR特徵之表面191。在圖1之實例性組態中，該第二校準量規係選用的且因此被展示為一虛線矩形。

【0085】 在其他實施例中，系統10可包括校準量規215之任何其他合適組態，例如，僅面向表面191之第二校準量規，或具有分別面向表面192及191之前述第一及第二校準量規215。

【0086】 在一些情況中，校準量規215可對晶圓190之一圖案化表面

(例如，表面191上)及一平坦表面(例如，未圖案化或無圖案(blanket)表面192)之高度及傾斜度作出不同回應，且因此在之前可需要一校準步驟以便改良高度及傾斜度量測之準確度。

【0087】 在一些實施例中，處理器22可自前述第二校準量規215接收指示經圖案化之表面191之高度及傾斜度之信號。圖案可影響藉由第二校準量規執行之量測(例如，引發該等量測中之偏移)。在此等實施例中，處理器22經組態以調整或校準入射射束130與晶圓190之表面192之一法線之間的角度，以便補償該圖案引發之偏移，且因此改良藉由系統10執行之量測之品質。

【0088】 應注意，在校準量規215量測表面192或任何其他未圖案化表面之高度及傾斜度時，量測中通常不存在偏移。

【0089】 在一些實施例中，校準量規215 (在本文中亦被稱為一光學量規)可包括一光源及一感測器(未展示)，或任何其他合適組態。校準量規215經組態以在x軸及y軸之選定座標處量測表面192之局部高度(例如，沿著z軸之距離)及傾斜度(例如，相對於xyz座標系統之一x-y平面)。在此等實施例中，該光源及該感測器經組態以在任何合適波長中(例如，可見光、紅外(IR)或紫外(UV)但通常不在X射線範圍中)操作。

【0090】 在一些實施例中，基於自校準量規215接收之電信號，處理器22經組態以計算並在系統10之顯示器上顯示指示晶圓10之表面191及192或任何其他選定平面相對於任何合適參考物(諸如xyz座標系統之x-y平面)之高度及傾斜度之一3D地圖。處理器22可基於表面192上量測之位置及在該等經量測位置之間(例如)藉由在該等經量測位置之兩者或兩者以上之間內插高度及傾斜度而計算之額外位置計算該3D地圖。

【0091】 在一些實施例中，處理器22進一步經組態以判定用於任何基於X射線之對準程序之一或多個起始位置。該等對準程序係用於藉由系統10判定射束130相對於討論中之一或多個散射結構之零角度(在本文中被称为 ω_0 及 χ_0)。

【0092】 在一些實施例中，藉由獨立地量測(a)晶圓190之表面191及192及(b) 晶圓190之討論中之散射特徵(例如，HAR結構)相對於入射射束130之定向，處理器22經組態以計算該等散射特徵相對於晶圓190之表面191之定向。此經計算定向對於量測HAR結構(諸如3D NAND快閃記憶體之通道孔)尤其重要。

【0093】 在一些實施例中，晶圓190通常生長於一晶體上，該晶體具有構成該晶體之原子之規則配置。隨後，自晶體切下晶圓190，使得表面在若干相對方向之一者(在本文中被称为晶圓定向)上對準。此亦被称为結晶矽之生長平面。定向對於晶圓190之電性質為重要的。不同平面具有原子及晶格之不同配置，此影響電流在晶圓中所產生之電路中流動之方式。矽晶圓之定向通常使用密勒(Miller)指數(諸如(100)、(111)、(001)及(110))分類。

【0094】 在一些實施例中，系統10可包括一整合式光學顯微鏡50，該整合式光學顯微鏡50可用於導航及圖案辨識，且在各種其他應用(諸如光學檢測及/或度量)中及/或用於檢視晶圓190上之圖案及其他特徵。

【0095】 在一些實施例中，光學顯微鏡50電耦合至電腦20且經組態以產生指示討論中之圖案之信號，使得處理器22可執行前述應用之圖案辨識或任何其他應用。

【0096】 此外或替代性地，系統10可包括經組態以對系統10提供互

補度量或檢測能力之其他合適類型之整合式感測器(未展示)。

【0097】 在一些實施例中，系統10包括經組態以偵測自實質上垂直於晶圓190之表面191及192之平面繞射之X射線光子之一或多個X射線繞射(XRD)偵測器(諸如XRD偵測器54及56)。

【0098】 現參考一插圖52，其係系統10之一俯視圖。在一些實施例中，XRD偵測器54及56經配置以便產生如下文將描述可用於基於自晶體晶格之一些平面繞射之X射線光子之晶圓對準之繞射信號。自XRD偵測器54及56之至少一者接收之信號亦可用於其他應用。

【0099】 如插圖52中所展示之XRD偵測器54及56、光學顯微鏡50及校準量規215(選用)之組態係為概念上清楚起見而簡化且藉由實例提供。在其他實施例中，系統10可包括感測器、偵測器、顯微鏡及其他合適組件及子系統之任何其他合適組態及配置。

【0100】 現返回參考圖1之側視圖。在一些實施例中，處理器22可自XRD偵測器54及56接收指示來自實質上垂直於晶圓190之表面191及192之平面之勞厄(Laue)繞射之強度之信號。例如，結晶平面(555)係垂直於具有一密勒指數(001)之一矽晶圓(在本文中被稱為Si(001))之表面。此外或替代性地，處理器22可自偵測器54、56及240之至少一者接收指示自晶圓240之任何其他晶格平面繞射之射束222之一第一部分之強度之信號。此等信號在本文中亦被稱為繞射信號。

【0101】 在一些實施例中，處理器22經組態以使用自實質上法向於表面191之晶體平面繞射且藉由XRD偵測器54及56感測之X射線，以便判定入射射束及/或直射射束相對於一單晶體晶圓之晶格平面之定向。

【0102】 在其他實施例中，偵測器240進一步經組態以感測自前述

勞厄繞射繞射之X射線光子及產生指示該等經感測之X射線光子之強度之信號。

【0103】 在一些實施例中，處理器22可自偵測器240接收指示透射穿過表面192及自表面191之HAR特徵散射之射束222之一部分之強度的信號(在本文中亦被稱為經散射信號)。

【0104】 在替代實施例中，校準量規215可包括一或多個X射線偵測器，該一或多個X射線偵測器經定位以量測來自實質上垂直於晶圓190之表面191及192之平面之勞厄繞射，及產生指示該經量測勞厄繞射之強度之信號(在本文中被稱為替代繞射信號)。

【0105】 在一些實施例中，基於上文所描述之繞射信號之一或多者，處理器22經組態以指示載台210將 ω 及 χ 旋轉應用於晶圓190。處理器22可使用晶圓190之對應於藉由偵測器240偵測之經繞射X射線之一最大強度之一位置，以用於建立射束130相對於晶圓190中之晶體晶格之傾斜角。

【0106】 在此等實施例中，處理器22經組態以藉由使用依滿足繞射條件之兩個或兩個以上方位角之量測來建立晶體晶格平面與晶圓190之表面之間的傾斜角。此外，處理器22可對射束130應用X射線繞射(XRD)方法以用於判定表面191及192之定向作為用於非基於X射線之量規之一校準技術。例如，可藉由量測一參考晶圓或安裝於一載體晶圓上或工具上之任何合適參考結構(其中在晶體晶格與表面191及192之間具有已知傾斜角)來執行校準。

【0107】 在此等實施例中，偵測器240可包括各種合適類型之偵測元件，諸如(但不限於)：(a)由矽、鍺或CdTe或其他合適材料製成之1D二

極體之陣列；及(b)基於CCD、CMOS感測器、PIN二極體或混合像素偵測器技術之2D X射線直接或間接偵測相機。

【0108】 在替代實施例中，除了校準量規215之外，系統10亦可包括一能量散佈X射線(EDX)偵測器總成(未展示)。該EDX偵測器總成包括一矽基或一鍺基固態EDX偵測器及具有一單通道或多個通道之一電子分析器。EDX偵測器總成經組態以量測(例如)自晶圓190之點111或自用於校準系統10之一參考晶圓之一預定義位置發射之X射線螢光，及產生指示在點111處量測之X射線螢光之強度之一電信號。

【0109】 基於該電信號，處理器22經組態以判定點111之一第一位置及該第一位置與藉由校準量規215同時獲取之一第二位置之間的一位移。

【0110】 在一些實施例中，X射線源100及源100與晶圓190之間的x射線光學件中之至少一些安裝於一第一載台上，晶圓190安裝於一第二載台(例如，載台210)上且光學顯微鏡50及光學量規215之至少一者安裝於一第三載台上。藉由在基於XRF之信號與基於光學之信號之間進行比較，處理器22經組態以識別(例如)光學顯微鏡50之一光學圖案辨識相機與X射線射束130之間的空間位移，及識別系統10之前述載台之間的任何未對準。

【0111】 在一些實施例中，處理器22經組態以基於經接收之電信號估計載台210中之運動誤差(諸如導螺絲誤差及載台210之x軸與y軸之間的非正交性)。此外，基於X射線螢光信號，處理器22經組態以藉由估計系統10之座標系統中之一或多個點之間的位移及載台210上之各自點之實際位置而校準載台210(此校準在本文中亦被稱為載台映射)。

【0112】 在一些實施例中，除了上文所描述之EDX總成之外或代替

上文所描述之EDX總成，系統10可包括基於穿過一合適參考晶圓(未展示)之X射線射束(在本文中亦被稱為一直射射束)之衰減之一校準方案。該合適參考晶圓可包括經調適以使該直射射束強度衰減達百分之幾十之圖案化特徵，使得偵測器240可在不受影響(例如，飽和)之情況下感測直射射束之光子。在一例示性實施例中，參考晶圓可包括各種合適元素或合金(諸如但不限於鎢(W)、鉭(Ta)、金(Au)或銀(Ag))之具有任何合適厚度(例如，約50 μm)之各種圖案。

【0113】 在一些實施例中，處理器22可使用校準量規215用於在量測產品晶圓(諸如晶圓190)上之結構期間在射束130與晶圓190之間進行對準，或用於(例如)在執行維護操作以便使系統10準備用於生產之後校準系統10。

【0114】 在上文所描述之替代實施例中，系統10可包括安裝於晶圓190之相對側處之至少一校準量規215以便基於自表面191感測之信號量測晶圓190之傾斜度。在一項實施例中，處理器22經組態以校準在一晶圓之一無圖案及圖案化區域上量測之傾斜角之間的一位移。

【0115】 在此實施例中，處理器22定位校準量規215以將光射束引導於鄰近通常為無圖案(即，沒有圖案)之表面191之邊緣定位之一第一點上，及量測晶圓在x軸及y軸上之傾斜度。隨後，處理器22定位校準量規215以將光射束引導於最靠近(例如，10 mm至20 mm)該第一點之一圖案上之一第二點處，且量測晶圓在x軸及y軸上之傾斜度。

【0116】 在一些實施例中，基於第一點及第二點處之傾斜度量測，處理器22計算無圖案表面與圖案化表面之間的位移。應注意，晶圓通常為剛性的，使得實際傾斜角在10 mm或20 mm之一距離內不變。位移可用作

晶圓190或任何其他類型之經量測晶圓之無圖案及圖案化表面上之傾斜度量測之間的一校準因子。在一些實施例中，處理器22可將光射束之光點大小設定為足夠小以僅照明靠近晶圓邊緣之無圖案表面，但足夠大以平均化遍及圖案之各種特徵之傾斜度量測。

【0117】 在一些實施例中，晶圓190包括一單晶材料，且XRD偵測器54及56之至少一者經組態以量測來自該單晶體材料之一晶格平面之射束220之繞射。在一些實施例中，回應於該經量測繞射，處理器22經組態以校準校準量規215相對於該晶格平面之合適參數(例如，定向)。

【0118】 在圖1中示意性地展示校準量規215之特定組態，以便演示用於改良藉由系統10執行之對晶圓190之特徵(諸如HAR結構)之量測之校準技術。然而，本發明之實施例決不限於此特定種類之實例性組態，且上文所描述之校準量規215之原理可使用任何合適組態實施。

【0119】 在一項實施例中，系統10包括由一X射線不透明或部分不透明材料製成之一射束阻擋總成(在本文中被称为一射束阻擋器230)。

【0120】 射束阻擋器230在系統10中安裝於晶圓190與偵測器240之間，且經組態以遮擋射束220之至少部分使之不能輻照偵測器240。在一些情況中，入射射束130之至少部分可直接透射穿過晶圓190。

【0121】 在一些實施例中，射束阻擋器230可經定位以便在相當於入射射束130之空間範圍之一角範圍內部分阻擋直接透射之入射射束。

【0122】 射束阻擋器之實例性實施方案係在下文圖7A及圖7B中詳細描繪。

【0123】 在一些實施例中，射束阻擋器230之不透明度及形狀影響藉由偵測器240產生之信號，如下文圖8A、圖8B、圖9A及圖9B中所描

繪。

【0124】 在一些實施例中，偵測器總成可包括一單一偵測器，或圍繞區226配置之一偵測器陣列。射束偵測器可具有一2D組態(即，一區域偵測器)或一1D組態(即，一線性偵測器)，且能夠計數X射線光子。偵測器240可為平坦的，或可具有任何合適形狀(諸如朝向射束222及220成角度之一弧形)。回應於經捕獲之光子，240經組態以產生經由介面24傳遞至處理器22之電信號。偵測器240之一實例性實施方案係在下文圖10中詳細描繪。

【0125】 在一些實施例中，系統10包括安裝於晶圓190與偵測器240之間且經組態以減少射束220由於空氣之非所要散射之一真空室280。在一些實施例中，真空室280包括在各端處具有對X射線透明之窗口之一金屬管，使得射束220及222可在晶圓190與偵測器240之間穿過。

【0126】 在一些實施例中，系統10包括一合適真空泵(諸如藉由處理器22控制之一粗抽泵)，以便控制真空室280中之真空位準，藉此改良照射於偵測器240之作用表面上之X射線光子之信號背景比(SBR)。

【0127】 在一些實施例中，系統10經組態以量測有關晶圓190之前述特徵之結構參數(例如，尺寸及形狀)以及形態參數。例如，基於自偵測器240接收之電信號，處理器22經組態以量測各種各樣參數，諸如(但不限於)圖案化結構之高度、深度、寬度及側壁角，及跨晶圓190之任何位置處之膜之厚度及密度。

【0128】 在一些實施例中，處理器22包括用於分析自偵測器240接收之電信號之一基於模型之軟體。處理器22使用一單一結構模型以便模擬針對具有一共同強度正規化因數之所有入射角之X射線散射。隨後，處理

器22(例如)基於一擬合度(GOF)參數之一數值分析比較經量測之強度分佈與經模擬之強度分佈之間的相關性。

【0129】 在一些實施例中，處理器22經組態以(例如)藉由使用一演算法(諸如差分演化(DE))而反覆地調整模型之參數，以便最小化GOF參數及獲得最擬合模型參數。

【0130】 在一些實施例中，處理器22可藉由將藉由互補技術量測之值(例如，藉由一臨界尺寸掃描電子顯微鏡(CD-SEM)量測之討論中之一特徵之上層處之寬度)引入至模型參數中來減少模型參數之間的相關性。

【0131】 在一些實施例中，系統10可包括具有使用除SAXS之外之任何合適參考技術(例如，原子力顯微鏡(AFM))在外部特性化之週期性特徵陣列之一或多個校準目標。處理器22可使用該等校準目標作為用於校準系統10之前述總成及用於(a)射束130與晶圓190之間及(b)射束222與偵測器240之間的對準之一參考物。

【0132】 在一些實施例中，基於上文所描述之SAXS組態及軟體演算法，系統10經組態以偵測跨晶圓190之討論中之特徵中之無序參數。例如，側壁角之水平及垂直粗糙度及節距變動(諸如可能出現於(例如)多圖案化微影程序中之一節距游動誤差)或歸因於3D NAND記憶體中之蝕刻程序之通道孔的傾斜及扭曲。

【0133】 在本發明之背景內容中及在發明申請專利範圍中，術語SAXS之「小角度(small angle及small-angle)」係指相對於直射射束小於10度之一角度。

【0134】 系統10之組態係藉由實例展示，以繪示藉由本發明之實施例解決之特定問題及演示此等實施例在增強此一系統之效能方面之應用。

然而，本發明之實施例決不限於此特定種類之實例性系統，且本文中所描述之原理可類似地應用於用於量測任何合適類型之電子裝置中之特徵之其他種類之X射線系統。

【0135】 圖2係根據本發明之另一實施例之一SAXS系統30之一示意性圖解說明。在一些實施例中，SAXS系統30（為簡潔起見在本文中亦被稱為「系統30」）係類似於系統10之組態，其中晶圓190以相對於入射射束130之任何合適角度（例如，45度）傾斜（在本文中亦被稱為旋轉）。

【0136】 在一些實施例中，處理器22經組態以指示載台210使晶圓190在晶圓190之一平面中圍繞一傾斜軸傾斜（諸如圍繞y軸之方位角旋轉 ω ），及使前述狹縫總成之至少一者平行於該傾斜軸定向。

【0137】 在一些實施例中，系統30經組態以量測具有一低縱橫比（例如，高度對寬度比小於10）之晶圓190之結構。如上文所描述，處理器22經組態以使晶圓190相對於入射射束130旋轉，或替代性地，使入射射束130相對於晶圓190旋轉。處理器22經組態以執行在圍繞y軸之幾十度之一範圍內之旋轉（在本文中被稱為 ω 旋轉）。

【0138】 在一些實施例中，旋轉角度之範圍可係對稱的，例如，相對於（例如）上文圖1中所展示之晶圓190之表面 ± 50 度。在替代實施例中，處理器22可（例如）藉由指示載台210使晶圓190旋轉至前述範圍內之一所要角度而執行不對稱旋轉（例如， -10 度至 $+60$ 度）。

【0139】 在一些實施例中，處理器22經組態以（例如）藉由使晶圓190之方位角相對於射束130旋轉而量測一個以上平面中之一結構之一輪廓。在本發明之背景內容中及在發明申請專利範圍中，術語「輪廓」係指一經量測特徵之一單一側壁之形狀，或兩個相鄰側壁之間的寬度沿著其等

之深度或高度之一變化或隨深度而變化之孔之中心的偏移。諸如橢圓形而非圓形橫截面之孔之額外不對稱性通常將需要依不同方位角及 χ 軸之量測。

【0140】 例如，處理器22可使用依不同方位角執行之一系列強度量測量測一選定xy平面中之一特徵之輪廓。在一些實施例中，處理器22可實施此技術用於量測一3D NAND記憶體裝置中之一通道孔之直徑，或一邏輯裝置之局部互連結構之一通孔及/或金屬線之寬度。

【0141】 在一項實施例中，射束阻擋器230係緊鄰偵測器240定位。在另一實施例中，射束阻擋器230可緊鄰晶圓190定位。

【0142】 圖3係根據本發明之另一實施例之一SAXS系統40之一示意性圖解說明。在一些實施例中，SAXS系統40（為簡潔起見在本文中亦被稱為「系統40」）之組態係類似於系統10之組態，其中射束阻擋器230緊鄰晶圓190定位。

【0143】 在一些實施例中，處理器22經組態以控制射束阻擋器230在沿著射束220之路徑之任何合適位置處之位置，以便降低藉由偵測器240感測之非所要背景及雜散散射之位準。

【0144】 在一些實施例中，處理器22可將射束阻擋器230之位置設定於沿著射束220之路徑之一或多個預定義安裝位置處。此外或替代性地，處理器22可藉由控制經組態以在晶圓190與偵測器240之間的任何合適位置處移動及固持射束阻擋器230之一機動化載台(未展示)而調整射束阻擋器230之位置。

【0145】 射束阻擋器230之結構及相關總成(諸如上述載台)係(例如)在下文圖7A中詳細描述。此外，與射束阻擋器230在量測晶圓190之討論

中之特徵方面之功能性及應用有關之實施例係在下文圖8B及圖9B中詳細描述。

【0146】 系統10、30及40之組態係藉由實例提供。然而，本發明之實施例決不限於此特定種類之實例性系統，且上文所描述之原理可類似地應用於其他種類之度量系統(諸如但不限於，具有定位於晶圓之相同側處之X射線源及偵測器總成兩者之基於反射之X射線度量系統)。

【0147】 圖4係根據本發明之一實施例之射束調節總成165之一示意性圖解說明。射束調節總成165可用於上文所描述之系統10、30及40之任一者中，或用於應用X射線射束用於量測在晶圓190或任何其他類型之晶圓中產生之特徵之一度量系統之任何其他合適組態中。

【0148】 在一些實施例中，射束調節總成165包括多組狹縫總成(在本文中被稱為總成110、300及320)。應注意，如圖1至圖3中所展示，總成110可在射束調節總成165外部，或如圖4中所展示併入射束調節總成165中。類似地，總成320可為射束調節總成165之部分或在射束調節總成165外部。

【0149】 如上文圖1中所描述，射束調節總成165之狹縫總成經組態以阻擋自射束130之經設計光學路徑偏轉之非所要散射之X射線輻射，及/或調整射束130之發散度、強度及光點大小。

【0150】 在一些實施例中，射束調節總成165包括鏡120，該鏡120經組態以在射束130穿過總成110之後塑形該射束之光學性質，如上文圖1中所描述。

【0151】 在一些實施例中，鏡120包括用多層124(例如，一重元素(諸如W、Mo或鎳(Ni))與一輕元素(諸如碳或矽)之交替薄(例如，約1微米)

層)塗佈之一彎曲基板122。用於X射線光學件之此等鏡係由若干供應商提供，諸如Incoatec GmbH (德國漢堡)、AXO DRESDEN GmbH (德國Dresden)或Xenocs (法國Sassenage)。在一些實施例中，鏡120之組態經調適以在兩個方向(x、y)上提供一經準直射束。在其他實施例中，鏡120經組態以在一個方向(例如，x方向)上準直射束130及在一正交方向(例如，y方向)上聚焦射束130。

【0152】 在一些實施例中，鏡120經組態以將射束130聚焦於表面191上，以便獲得最小光點大小。在其他實施例中，將X射線射束聚焦於偵測器240上可對系統10提供藉由偵測器240感測之X射線射束之經改良角解析度(例如，在HAR結構之成像方面)。

【0153】 在一2D經準直射束之情況中，射束調節總成165可包括面向彼此以便增加自源100收集之立體角(即，二維角)及增加射束130之X射線通量之兩個光學件(例如，兩個鏡120)。

【0154】 在一些實施例中，射束調節總成165可包括安裝於藉由處理器22控制之一或多個機動化致動器上之多個多層鏡(諸如鏡120)之任何合適組態。處理器22可配置射束調節總成165之各鏡120之組態，以便藉由調整射束130之光學性質而獲得最合適量測條件。

【0155】 在一些實施例中，射束調節總成165包括由鍺(Ge)或任何其他合適材料之一單晶體製成之一晶體310。晶體310具有一v形通道312，該v形通道312包括一入口孔徑316、一出口孔徑318及經配置使得通道312自入口孔徑316至小於孔徑316之出口孔徑318漸縮之相對內面314及315。

【0156】 在一些實施例中，射束130穿過狹縫總成110至鏡120中且

隨後穿過狹縫總成300及入口孔徑316。隨後，射束130照射於內面314上且此後照射於內面316上且透過出口孔徑318離開晶體310。

【0157】 在一些實施例中，射束調節總成165用作一散佈元件，且另外用作經組態以在射束130離開總成165之狹縫總成320之後減小射束130之光點大小之射束壓縮光學件。射束調節總成165之組態實現射束壓縮，且又相較於替代技術(諸如具有擁有平行面之一通道或使用具有一或多個窄孔徑之一或多個狹縫之一晶體)減少通量損耗。

【0158】 在圖4之實例性組態中，狹縫總成110、300及320在鏡120及晶體310之前及之後安裝以便改良上文所描述之射束130沿著光學路徑之塑形。在其他實施例中，射束調節總成165可包括插置於源100與鏡120之間，及/或鏡120與晶體310之間，及/或晶體310與狹縫總成140或系統10、30及40之任一者之任何其他組件或總成之間的狹縫總成之任何其他合適組態。例如，狹縫總成320可自總成165之組態移除且可自系統10、30及40之任一者之組態排除。

【0159】 圖5係根據本發明之一實施例之狹縫總成140之一示意性圖解說明。如圖1至圖3中所展示，狹縫總成140 (在本文中亦被稱為一限束器)定位於源100與晶圓190之表面192之間，以便攔截射束130。

【0160】 在一些實施例中，狹縫總成140包括沿著一平移軸522彼此相距一預定義距離定位以便界定一狹縫512之兩個或兩個以上可移動板520。板520之間的該距離可藉由處理器22 (例如)使用用於使一或多個板520沿著平移軸522移動之一或多個致動器(未展示)加以控制。替代性地，板520之間的距離可(例如)藉由不使板520相對於彼此移動或藉由選擇具有彼此相距一所要距離定位之靜止板之一合適類型之狹縫512而為恆定的。

【0161】 在一些實施例中，狹縫總成140包括並不彼此平行且具有彼此緊鄰定位以便界定一微狹縫515之各自邊緣514A及514B之兩個或兩個以上可移動葉片510A及510B。

【0162】 在一些實施例中，微狹縫515經組態以阻擋照射於葉片510A及510B上之射束130之部分而不產生經散射射束，因此葉片510A及510B在本文中亦被稱為「抗散射葉片」。在一些實施例中，葉片510A及510B係由單晶體材料(諸如鉭(Ta)、Ge、磷化銦(InP))或由多晶材料(諸如碳化鎢)製成，且具有約1 mm之一厚度或任何其他合適厚度。

【0163】 在本發明之背景內容中及在發明申請專利範圍中，術語「單晶體(single-crystal及mono-crystal)」可交換使用且係指具有由一個晶體製成之一結構之材料。

【0164】 在一些實施例中，狹縫總成140包括經組態以使各自葉片510A及510B沿著各自平移軸516A及516B移動以便調整微狹縫515之寬度之致動器500A及500B。在一項實施例中，平移軸516A及516B之至少一者係在x-y平面中實質上正交於平移軸522。

【0165】 在一些實施例中，致動器500A及500B包括一或多個壓電線性馬達，例如，由PiezoMotor (瑞典Uppsala)提供之Piezo LEGS Linear 6G系列或來自其他商家(諸如Physik Instrumente (德國Karlsruhe))之類似產品。此等馬達可被供應整合式高解析度位置感測器。

【0166】 在一些實施例中，處理器22經組態以依相對於晶圓190之表面192之任何適當鄰近度定位狹縫總成140。微狹縫515之設計容許處理器22定位狹縫總成140，使得邊緣514A及514B之至少一者定位於距表面192小於十毫米(10 mm)之一距離處。在其他實施例中，處理器22可將微

狹縫515定位於距表面192任何選定距離(例如，在100 mm與幾毫米之間)處。

【0167】 在一些實施例中，微狹縫515之組態容許處理器22即使在晶圓190傾斜時仍將狹縫總成140緊鄰表面192 (例如，低至幾毫米)定位，如上文圖2中所展示。

【0168】 在一些實施例中，處理器22經組態以設定(a)微狹縫515與表面192之間、(b)邊緣514A與邊緣514B之間及(c)板520之間的距離，以便在射束130照射於表面192上且與晶圓190之結構及塊體相互作用之前獲得射束130之所要光學性質。

【0169】 現參考一插圖502，其係狹縫總成140與射束130之間的攔截之一俯視圖。在插圖502之實例中，處理器22經組態以藉由(a)使葉片510A及510B沿著各自平移軸516A及516B移動及(b)使板520沿著平移軸522移動而將射束130之空間形狀自一圓524之一圓形形狀改變為藉由一虛線矩形526展示之一矩形形狀。應注意，在此實例中，僅射束130之在虛線矩形526之區域內之部分照射於表面192上，而射束130之定位於圓524之邊緣與虛線矩形526之邊緣之間的剩餘部分係由狹縫總成140阻擋。如上文所描述及插圖502中所展示，平移軸516A及516B之至少一者正交於平移軸522。

【0170】 狹縫總成140之組態係為概念上清楚起見而簡化且藉由實例提供。在其他實施例中，狹縫總成140可包括兩個以上葉片510A及510B，及/或兩個以上板520。此外，板520之邊緣及/或邊緣514A及514B可具有任何合適形狀，例如，板520及邊緣514A及514B皆可具有侵入至各自板520及葉片510A及510B之區域中之一弧形，以便形成自狹縫總成

140離開之射束130之一圓形形狀而非前述矩形形狀。

【0171】 在其他實施例中，平移軸516A及516B可彼此平行或不平行，且平移軸516A及516B之至少一者可不正交於平移軸522。

【0172】 圖6係根據本發明之另一實施例之一狹縫總成150之一示意性圖解說明。狹縫總成150可代替(例如)圖1至圖3中展示之狹縫總成140。

【0173】 在一些實施例中，狹縫總成150包括沿著一可移動葉片550之一平移軸610配置之一3針孔準直系統(在本文中亦被稱為孔徑604、606及608)。

【0174】 在一些實施例中，狹縫總成150包括經組態以使葉片550沿著平移軸610移動之一致動器600。

【0175】 現參考一插圖602，其係射束130與葉片550之間的一攔截之一俯視圖。

【0176】 在一些實施例中，各孔徑604、606及608包括一固定大小孔徑，諸如由Incoatec GmbH (德國漢堡)生產之一SCATEX無散射針孔。在葉片550之實例中，孔徑604、606及608具有一圓形形狀且各孔徑具有一不同直徑(例如，約20 μm 與500 μm 之間)。

【0177】 在一些實施例中，用作無散射針孔之一框架之葉片550係由針對具有低能量光子之X射線射束之Ge製成或由針對具有較高能量之光子之射束之Ta製成。

【0178】 在一些實施例中，孔徑604、606及608之組態經調適以減少通常在一X射線射束穿過其他類型之孔徑時發生之非所要寄生散射。

【0179】 在一些實施例中，致動器600可包括耦合至經組態以使葉片550沿著平移軸610移動之一驅動桿620之任何合適類型之馬達。

【0180】 在其他實施例中，致動器600之組態可類似於上文圖5中所描述之致動器500A及500B之組態。

【0181】 在一些實施例中，處理器22經組態以藉由指示致動器600定位葉片550之一選定孔徑以攔截射束130而判定射束130之光學性質。在圖6之實例中，致動器600定位孔徑606，使得射束130穿過孔徑606，且射束130之超過孔徑606內之區域之部分將被阻擋。

【0182】 圖7A係根據本發明之一實施例之射束阻擋器230之一示意性圖解說明。在一些情況中，入射射束130之照射於表面192上之至少部分係直接透射穿過晶圓190且作為射束220之部分自表面191離開而不會被散射。射束220之該直接透射部分在本文中被稱為一「直射射束」。

【0183】 在一些實施例中，射束阻擋器230經定位以便使通常在射束220之中心處之直射射束之X射線輻射衰減。此衰減係必要的，(例如)以防止對偵測器240之損壞及/或防止偵測器飽和及在一非線性區中操作。另一方面，太大衰減將免除對可由處理器22用於追蹤射束220之中心之角位置及強度之基本信號之偵測。因此，射束阻擋器230之衰減通常經選擇使得經透射射束之強度在偵測器240處衰減至每秒幾百或幾千個光子。

【0184】 在一些實施例中，射束阻擋器230包括通常具有一橢圓形或任何其他合適形狀之一或多個射束阻擋元件(諸如一射束止擋器232)。在一些實施例中，射束止擋器232係由通常包括金屬元素(諸如鈹或鎢)及/或任何合適金屬合金之一X射線部分不透明材料(亦被稱為高Z材料)製成。

【0185】 如上文所描述，射束止擋器232之衰減經選擇以實現射束220之角位置及強度之可靠量測，且同時防止偵測器240之感測中之損壞

及非線性失真。

【0186】 在一些實施例中，射束止擋器232進一步經組態以最小化來自源之背景強度(諸如藉由空氣或螢光之散射及來自偵測器240之作用區或表面後方之電子器件之散射)。應注意，偵測器240之作用區可歸因於偵測器材料(例如，450 μm 之矽)之有限厚度或低吸收性而被部分照明，其中高能量X射線具有10 keV或更高之一能量。

【0187】 在一些實施例中，射束止擋器232具有一彎曲及/或光滑邊緣以便降低直射射束之散射強度。

【0188】 在一些實施例中，射束阻擋器230包括一基底236 (在本文中亦被稱為一安裝座)。基底236係由不適用於散射X射線之一材料塊體製成，諸如(但不限於)：金剛石或聚合物，諸如雙軸定向聚對苯二甲酸乙二酯(BOPET)聚酯(在本文中亦被稱為Mylar™)或聚(4,4'-氧二仲苯基-苯均四酸亞胺)聚醯亞胺(在本文中亦被稱為Kapton®)之薄片。

【0189】 在一些實施例中，射束止擋器232安裝於一基底236中形成之一凹部(未展示)中，且藉由基底材料機械地支撐而無需使用可能散射X射線之一黏合劑，且因此可增加針對量測之位準背景信號。因為黏合劑可隨時間在X射線輻照下劣化，所以可使用用於電子器件製造之技術來製造吸收特徵，諸如藉由適當金屬化沈積薄黏合及晶種層且接著電鍍一厚X射線吸收材料(諸如金(Au))，或藉由使用利用併入有一高濃度金屬奈米粒子之油墨之加成印刷技術，其後接著為一退火程序。

【0190】 在其他實施例中，射束止擋器232可使用任何其他合適技術(諸如並不散射X射線之一黏合劑)耦合至基底236。應注意，射束止擋器232經調適以衰減直射射束，使得在圖1中展示為射束222之周圍經散射射

束並未衰減，此係因為支撐結構對射束222之經散射X射線為透明的。

【0191】 在一些實施例中，射束止擋器232之材料容許足夠強度之直射射束被部分透射，使得處理器22可在無需使射束止擋器232移動遠離直射射束之情況下判定藉由偵測器240感測之直射射束之強度及位置。

【0192】 在一些實施例中，射束阻擋器230包括藉由處理器22控制且經組態以沿著一或多個軸(例如，分別在上文圖1及圖2中所展示之系統10及系統30之組態中之平移x軸及y軸)移動之一安裝座(在本文中亦被稱為一高精度機動化載台233)。

【0193】 在一些實施例中，基底236安裝於載台233上，使得處理器22相對於透射穿過晶圓190之直射射束設定射束止擋器232之位置。在其他實施例中，載台233可包括旋轉軸(未展示)以便改良射束止擋器232與射束220且尤其與射束220之直射射束之對準。在另一實施例中，載台233亦經組態以沿著z軸移動以便實現上文圖3中所展示之系統40之組態，或進一步改良直射射束之衰減位準。

【0194】 在一些情況中，晶圓190或系統10之任何其他元件對直射射束之衰減可能足夠高。因此，在其他實施例中，處理器22經組態以使射束阻擋器230移動遠離射束220之路徑。在此等實施例中，射束止擋器232並不攔截射束220，使得處理器22可基於藉由偵測器240感測之直射射束之方向及強度而監測直射X射線射束之強度及位置。

【0195】 射束阻擋器230之組態係為概念上清楚起見而簡化且藉由實例提供。在其他實施例中，射束阻擋器230可包括配置於任何其他合適組態中以用於使直射射束之強度衰減及/或用於管理自晶圓190散射之一或多個射束222之感測之任何其他合適組件及/或總成。例如，射束阻擋器可

包括多個射束止擋器232，或兩條窄線(可調整其等之間距以便改變阻擋器之有效寬度)。

【0196】 圖7B係根據本發明之一實施例之射束阻擋器330之一示意性圖解說明。射束阻擋器可代替(例如)上文圖1之射束阻擋器230。在一些實施例中，射束阻擋器330包括由一合成金剛石或上文所描述之基底236之材料或不適於散射射束220之X射線之任何其他合適材料製成之一基底333。

【0197】 在一些實施例中，射束阻擋器330包括各由一合適材料製成之多種類型之射束止擋器。例如，具有約50 μm 之一厚度或任何其他合適厚度之一金基射束止擋器，或具有介於50 μm 與100 μm 之間之一典型厚度或任何其他合適厚度之一鎢基射束止擋器。該鎢基射束止擋器可(例如)藉由雷射切割一合適鎢箔而產生。

【0198】 在一些實施例中，射束止擋器使用任何合適技術耦合至基底333，諸如使基底凹入及將射束止擋器安置於經凹入圖案中，或任何其他合適方法(諸如上文圖7A中所描述之該等方法)。例如，金或鈹可沈積至經凹入圖案中或使用化學及/或物理技術沈積於基底之表面上，且上文所描述之經雷射切割之鎢片可附接至經凹入圖案。

【0199】 在一些實施例中，射束阻擋器330包括多個幾何結構形狀及配置之射束止擋器。在圖7B之實例中，射束阻擋器330包括沿著X軸彼此相距一5 mm距離配置於一系列中且具有約10 mm之一類似長度(沿著Y軸量測)之五個棒形射束止擋器。該等棒形射束止擋器具有不同寬度(例如，介於0.1 mm與0.5 mm之間)。例如，射束止擋器332及334分別具有約0.5 mm及0.3 mm之一寬度(沿著X軸量測)，且射束止擋器332與射束止擋器

334之間的棒具有約0.4 mm之一寬度。

【0200】 在一些實施例中，射束阻擋器330包括具有沿著上文所描述之棒形射束止擋器之X軸之相同配置(例如，寬度及距離)之五個正方形射束止擋器。例如，射束止擋器336及338分別具有0.4 mm及0.2 mm之寬度，且佈置於其等之間的正方形射束止擋器具有0.3 mm之一寬度。

【0201】 在一些實施例中，射束阻擋器330可包括其他形狀(諸如矩形、橢圓形形狀)之射束止擋器。射束阻擋器330可包括額外標記(諸如標記337及339)以輔助阻擋器之對準。

【0202】 射束阻擋器330之組態係藉由實例提供。在其他實施例中，射束阻擋器330可包括具有任何合適形狀及尺寸且以任何合適佈局配置之任何其他組射束止擋器。

【0203】 圖8A係根據本發明之另一實施例之指示在不存在射束阻擋器230之情況下藉由偵測器240感測之射束220之強度之一影像402之一示意性圖解說明。在圖8A之實例中，在x軸及y軸兩者上準直之入射射束130照射於包括特徵(諸如一DRAM裝置之HAR電容器)之一六邊形陣列之晶圓190上。

【0204】 在一些實施例中，影像402包括指示藉由偵測器240感測之直射射束之強度之一光點420。影像402進一步包括指示自DRAM裝置之六邊形陣列散射之各自射束222之多個光點410。在一些實施例中，光點410及420之灰階係指示藉由偵測器240感測之射束220之強度(例如，光子之通量及光子之各自能量)。在本實例中，白色指示高強度，且較暗顏色指示藉由偵測器240感測之較低強度。

【0205】 在一些實施例中，影像402包括亦在上文圖1中展示之偵測

器240之區226內之定位於光點410與光點420之間的位置404。影像402進一步包括定位於偵測器240之區226外部之一區400（在本文中被称为一背景）。

【0206】 在一些實施例中，處理器22經組態以設定射束130之性質，使得(a)光點410具有相干散射且因此顯得明亮，(b)光點410之間的位置404具有不相干散射且因此顯得比定位於圍繞緊鄰光點420之一區域之一虛擬圓405內之光點410更暗，且(c)區400不具有散射或具有低於一預定義臨限值之一散射位準，且因此呈現黑色。

【0207】 在一些實施例中，在不存在射束阻擋器230之情況下，直射射束之高強度引起偵測器240在光點420之區域處之飽和，且因此跨區226之非線性感測。因此，光點420呈現白色且圓405內之區域實質上顯得比區226之周邊區域更明亮。

【0208】 如上文所描述，歸因於相干散射，光點410顯得比圓405之區域內之位置404更明亮。然而，歸因於來自偵測器240之不相干背景之增加，光點410顯得比區226之周邊處之位置404更暗。因此，偵測器240之可靠感測區域係限於圓405內之經受由來自偵測器240之經增加背景(不相干X射線強度)引起之有限對比度之區域。

【0209】 圖8B係根據本發明之一實施例之指示在存在射束阻擋器230之情況下藉由偵測器240感測之射束220之強度之一影像406之一示意性圖解說明。類似於圖8A之實例，在x軸及y軸兩者上準直之入射射束130照射於包括前述DRAM裝置之六邊形陣列HAR電容器之晶圓190上。

【0210】 在一些實施例中，影像406包括指示藉由偵測器240感測之直射射束之強度之一光點430。影像406進一步包括指示自DRAM裝置之

六邊形陣列散射之各自射束222之多個光點440。

【0211】 在一些實施例中，射束阻擋器230使藉由偵測器240感測之直射射束之強度衰減，因此光點430呈現深灰色且偵測器240並不引入(例如)上文圖8A中所展示之一大背景強度。

【0212】 在一些實施例中，來自HAR特徵之相干散射之經感測強度在圖405內相較於區226之周邊顯得更強。又，偵測器240之線性感測將自位置404偵測之強度降低至區400之背景位準。因此在區226內，所有光點440與區404之間的對比度足夠高以依高準確度及精度執行量測。術語「準確度」係指量測討論中之特徵之實際大小，且術語「精度」係指在討論中之一給定特徵上執行之多個量測之可重複性。

【0213】 在一些實施例中，射束阻擋器230之存在容許處理器22監測部分衰減之直射射束(例如，在HAR結構之量測期間)以便控制指示射束130及220之性質之參數，諸如在晶圓190及偵測器240上之各自位置處之射束130及射束220兩者之入射通量。

【0214】 圖9A係根據本發明之另一實施例之指示在不存在射束阻擋器230之情況下藉由偵測器240感測之射束220之強度之一影像502之一示意性圖解說明。在圖9A之實例中，在x軸上準直及沿著y軸聚焦於晶圓190上(例如，表面191上)之入射射束130照射於包括1D (線)或長及窄2D特徵(諸如在一裝置中或在晶粒上之劃線道或別處中之專用度量墊中之線或溝渠)之一陣列之晶圓190上。

【0215】 在一些實施例中，影像502包括指示藉由偵測器240感測之直射射束之強度之一光點520。影像502進一步包括指示自陣列散射之各自射束222之多個特徵510。在一些實施例中，特徵510及光點520之灰階

係指示藉由偵測器240感測之射束220之強度。如上文圖8A中所描述，白色指示高強度，且較暗顏色指示藉由偵測器240感測之較低強度。

【0216】 在一些實施例中，影像502包括在偵測器240之區226內之定位於特徵510與光點520之間的位置504。影像502進一步包括定位於偵測器240之區226外部之區400。

【0217】 在一些實施例中，處理器22經組態以設定射束130之性質，使得特徵510具有相干散射，位置504具有不相干散射，且區400不具有散射。

【0218】 在一些實施例中，在不存在射束阻擋器230之情況下，直射射束之高強度引起跨區226之足夠高背景強度及對比度損失。因此，光點520呈現白色且一虛擬矩形505內之區域實質上顯得比區226之周邊區域更明亮。

【0219】 如上文所描述，歸因於相干散射，特徵410顯得比圓405之區域內之位置504更明亮。然而，來自偵測器240之經增加背景導致區226之周邊處之對比度損失。因此，偵測器240之可靠感測區域係限於矩形505內之區域。應注意，在不存在射束阻擋器230之情況下，偵測器240之可靠感測區域之形狀及大小取決於經量測特徵之類型(例如，幾何結構)(例如，在圖8A中為圓形及在圖9A中為線性)、射束130之性質及系統之其他參數，諸如(例如)在上文圖2之系統30中所展示之晶圓190之傾斜角。

【0220】 圖9B係根據本發明之一實施例之指示在存在射束阻擋器230之情況下藉由偵測器240感測之射束220之強度之一影像506之一示意性圖解說明。在一些實施例中，處理器22以相同於上文圖9A中所描述之設定之一方式設定入射射束130。因此，在x軸上準直及在y軸上聚焦之射

束130照射於包括線或溝渠之前述佈局之晶圓190上。

【0221】 在一些實施例中，影像506包括指示藉由偵測器240感測之直射射束之強度之一光點530。影像506進一步包括指示自NAND快閃記憶體裝置之陣列散射之各自射束222之多個特徵540。

【0222】 在一些實施例中，射束阻擋器230使藉由偵測器240感測之直射射束之強度衰減，因此光點530呈現深灰色且偵測器240並未因過量強度而飽和。

【0223】 在一些實施例中，來自線或溝渠之相干散射之經感測強度在矩形505內相較於區226之周邊顯得更強。又，偵測器240之線性感測將自位置504偵測之強度降低至區400之背景位準。因此在區226內，所有特徵540與區504之間的對比度足夠高以依高準確度及精度執行量測。

【0224】 如上文圖8B中所描述，射束阻擋器230之存在容許處理器22監測部分衰減之直射射束以便控制指示射束130及220之性質之參數。

【0225】 圖10係根據本發明之一實施例之其中使包括一感測器243陣列之偵測器240以小於該等感測器之間距之步長移動以用於改良之角解析度之一掃描方案之一示意性圖解說明。在一些實施例中，偵測器240包括1D或2D感測器元件(在本文中被稱為感測器243)之一陣列。在圖10之實施例中，偵測器240包括各在x軸及y軸中具有一預定義節距(在本文中分別被稱為 P_x 及 P_y)之2D感測器243。

【0226】 在本發明之背景內容中及在發明申請專利範圍中，術語「 P_x 」及「寬度軸」可交換使用，且術語「 P_y 」及「高度軸」亦可交換使用。在一些實施例中，各感測器243經組態以產生指示照射於其作用表面上之直射射束及射束222之強度之電信號。在一些實施例中，處理器22

經組態以基於自各感測器243接收之電信號產生一影像(在本文中稱爲一像素)。因此，各像素在x軸及y軸上之大小通常分別大約爲 P_x 及 P_y 。

【0227】 在一些實施例中，偵測器240安裝於包括平移馬達及旋轉馬達(未展示)之一機動化載台246上。在一些實施例中，平移馬達經組態以使偵測器240沿著x軸及y軸移動以用於在x-y平面中掃描，且沿著z軸移動以用於改良射束222在感測器243之作用表面上之聚焦。在一些實施例中，平移馬達經作態以使偵測器240(例如)圍繞z軸旋轉以用於使感測器243與射束222之經散射X射線光子之方向對準。

【0228】 在一些實施例中，載台246包括經組態以依一預定義頻率量測載台246之各自軸之平移及旋轉位置之高精度編碼器及/或干涉儀(未展示)。

【0229】 在一些實施例中，系統10可包括藉由處理器22控制之一運動控制總成(未展示)。該運動控制總成包括經組態以針對各馬達判定一各自運動輪廓(例如，速度、加速度及減速度)之一控制器(未展示)。運動控制總成進一步包括藉由前述控制器控制且經組態以驅動載台246之馬達以根據該各自運動輪廓及基於藉由各軸之各自編碼器或干涉儀量測之當前位置移動之一或多個驅動器。

【0230】 在其他實施例中，處理器22進一步經組態以控制載台246之運動，且可(除了控制器之外或代替控制器)用於此目的。

【0231】 在一些實施例中，載台246經組態以使偵測器240以通常實質上小於各自 P_x 及 P_y 之選定各自步長(在本文中稱爲 D_x 及 D_y)沿著x軸及y軸移動。因此，載台246經組態以使偵測器240以等於上文所描述之像素大小之一分率之步長移動。

【0232】

以下方程式1及方程式2分別提供用於估計Dx及Dy之大小之顯式表達式：

$$(1) \quad D_x = p_x/m$$

$$(2) \quad D_y = p_y/n$$

其中n及m通常分別為指示x軸及y軸上之選定步長之整數。

【0233】 在一些實施例中，處理器22經組態以接收藉由一給定感測器243產生之電信號，及回應於該等經接收信號設定晶圓190之旋轉速度。應注意，感測器243之獲取時間反向取決於經感測X射線之強度。例如，若在晶圓190之一給定區域處接收之電信號指示經感測X射線之一相對較低強度，則處理器22可指示控制器使偵測器240在該給定區域處之運動減速以便增加光子之通量且藉此增加在該給定區域處感測之SBR。

【0234】 類似地，在晶圓190之不同旋轉角度下之經感測X射線之一相對較高強度之情況下，處理器22可指示控制器使偵測器240在不同區域處之運動加速以便增加量測處理量。

【0235】 在一些實施例中，處理器22或偵測器240之一控制器經組態以控制獲取時間，使得偵測器240跨晶圓190上之經量測位置接收一預定義強度範圍。該預定義強度範圍實現足夠強度以獲得高SBR，且又防止偵測器240之各自感測器中之飽和及非線性感測。

【0236】 在一些實施例中，處理器22經組態以在一獲取時間t自一給定感測器243獲取基於射束222之經散射光子之強度之一影像。因此，在n x m個子像素之一陣列中，處理器22對各子像素分配一均勻時間間隔t/(m x n)，以便在獲取時間t內獲取n x m個子影像。

【0237】 在一些實施例中，處理器22經組態以使偵測器240使用各自步長D_x及D_y依一光柵圖案沿著x軸及y軸移動，以便量測橫跨一單一像素之總面積之偵測器240之一不同位置處之各時間間隔之強度分佈。

【0238】 在一些實施例中，處理器22經組態以將自各自感測器243接收之n x m個子影像組合成一單一像素。處理器22可對該等經接收子影像應用任何合適方法(諸如但不限於一簡單算術內插或任何合適影像處理演算法)，以便增加經組合影像之解析度(例如，角解析度)。

【0239】 在一些實施例中，藉由應用子像素步進及組合n x m個子影像以形成具有改良之角解析度之一單一影像，處理器22克服由各自偵測器總成之可用像素大小所引起之SAXS系統之一解析度限制。

【0240】

以下方程式(3)提供用於計算在距討論中之晶圓一距離d處定位之具有一像素大小p之一偵測器之角解析度 $\Delta\theta$ 之一表達式：

$$(3) \quad \Delta\theta = p/d$$

【0241】 基於172 μm 之一典型像素大小，需要約5公尺至6公尺之一距離來獲得大約0.3 mrad至0.5 mrad之一角解析度。

【0242】 在一些實施例中，藉由如上所述使用子像素步進及組合n X m個子影像，可減小偵測器240與晶圓190之間的經設計距離(例如)達三倍(例如，減小至小於兩公尺)，同時維持所需角解析度。

【0243】 在一些實施例中，處理器22經組態以藉由將偵測器240之速度增加至實現以足夠高SBR獲取子影像之最大位準而減少量測晶圓190之在討論中之特徵之總循環時間，如下文將詳細描述。

【0244】

經散射射束222之強度通常取決於散射物件之電子密度分佈 $\rho(\mathbf{r})$ 之傅立葉變換。對於弱散射，散射振幅「A」可使用方程式(4)計算：

$$(4) \quad A(\mathbf{Q}) \propto \int_V \rho_e(\mathbf{r}) \exp(-i\mathbf{Q} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r}$$

其中 \mathbf{Q} 係散射向量且係藉由X射線波長 λ 及入射射束130及經散射射束222相對於晶圓190之各自角度判定。

【0245】

以下方程式(5)提供用於在運動學近似法中計算經散射強度之一熟知表達式：

$$(5) \quad I(\mathbf{Q}) = (|\Lambda(\mathbf{Q})|)^2 + I_b(\mathbf{Q})$$

其中 $I_b(\mathbf{Q})$ 係任何來源之一不相干「背景」強度貢獻系統，諸如來自晶圓中之超出輻射之相干長度之結構或工具之部分(即，狹縫或射束阻擋器)之螢光或散射。

【0246】

電子密度 ρ_e 係與晶圓190之散射物件之一折射率「n」有關。以下方程式(6)提供用於計算該折射率n之一表達式：

$$(6) \quad n = 1 - \delta - i\beta$$

其中 δ 及 β 分別為波-物質相互作用之散佈及吸收分量。

【0247】 應注意，對於硬X射線之範圍中之所有材料，折射率之值接近於一，其中 δ 之值大約為 10^{-6} 。

【0248】

因此，以下方程式(7)可用於計算電子密度 ρ_e ：

$$(7) \quad \rho_e = \frac{2\pi}{\lambda^2 r_e} \delta$$

其中 r_e 係等於 2.818×10^{-15} 公尺之一典型電子半徑之值。

【0249】 在一些實施例中，處理器22經組態以計算包括上文所描述之討論中之特徵之形貌及材料之一物理模型。處理器22經組態以使用任何合適參數(諸如一數值擬合度(GOF))在經計算強度與經量測強度之間進行比較，及調整模型參數以便最小化經計算資料與經量測資料之間的差。

【0250】 藉由處理器22擬合之資料集可包括一或多個1D資料集，諸如沿著或跨針對射束130及/或偵測器240相對於晶圓190之不同定向之繞射峰值整合之強度分佈，或經散射強度圖案之一系列2D影像或其等之一組合。

【0251】 如上文所描述，處理器22經組態以藉由在跨晶圓190之不同位置處使用不同獲取時間獲取資料而減少討論中之特徵之量測時間。在一些實施例中，處理器22可在各種條件下應用偵測器240之不同獲取時間。例如，在量測不同類型之特徵(例如，幾何結構及/或材料)、及/或佈局(例如，一單一特徵或一緻密特徵陣列)、及/或射束130與晶圓190之表面192之間的角度及/或射束222與偵測器240之作用表面之間的角度時。

【0252】 在一些實施例中，處理器22經組態以調整信號獲取時間以便獲得實現自偵測器240接收之電信號之足夠高SBR之足夠強度。具有基於N個計數之一平均強度之經散射X射線之量測不確定性通常由泊松計數統計值決定，使得標準誤差係由 \sqrt{N} 給出且分數誤差係由 $1/(\sqrt{N})$ 給出。因此，處理器22可藉由增加計數之數目而降低量測不確定性。

【0253】 如上文所描述，處理器22可減少在其中藉由偵測器240感測之射束222之強度為高之一些位置處之獲取時間，且增加在其中經感測X射線之強度為低之其他位置處之獲取時間，以便獲得足夠但並不過量之

X射線光子計數統計值。

【0254】 在替代實施例中，處理器22可對自偵測器240接收之原始電信號(諸如針對一或多個旋轉角度之1D強度輪廓及/或2D影像)應用預處理(諸如降階取樣及主分量分析(PCA))。隨後，處理器22可對該經預處理資料及可用於評估資料(諸如(例如，討論中之特徵之)電測試資料)之值之補充資料應用一或多個機器學習演算法。

【0255】 在此等實施例中，處理器22可使用任何合適類型之機器學習演算法，諸如最初由Google (加利福尼亞山景城)開發之TensorFlow開放原始碼機器學習架構，作為使用神經網路之深度學習之訓練平台。

【0256】 處理器22可隨後將基於一先前資料集獲得之經訓練模型應用於在後續晶圓190上量測之資料，以便預測測試下之各自裝置之電效能，或基於在後續晶圓190上量測之該資料對系統10、30及40之一使用者提供其他有用屬性。應注意，使用此等機器學習演算法之實施例可能需要高取樣以便開發可靠的基於迴歸之模型。

【0257】 在一些實施例中，偵測器240包括經組態以鑑別射束220之低能量光子與高能量光子之電子電路(未展示)。在一些實施例中，處理器22經組態以降低(例如)由X射線螢光及高能量宇宙射線所引起之背景強度。

【0258】 在其他實施例中，處理器22經組態以使用基於軟體之濾波器結合上文所描述之子像素解析度增強來移除許多高能量宇宙射線。在此等實施例中，偵測器240可能不包含上文所描述之基於硬體之宇宙射線鑑別。

【0259】 儘管本文中所描述之實施例主要解決單晶體、多晶或非晶

樣本(諸如半導體晶圓)之X射線分析，然本文中所描述之方法及系統亦可用於奈米結構陣列之其他技術應用中。

【0260】 因此將瞭解，上文所描述之實施例係藉由實例引用，且本發明並不限於上文已特別展示及描述之內容。實情係，本發明之範疇包含上文所描述之各種特徵之組合及子組合兩者，以及熟習此項技術者在閱讀前文描述之後將明白且在先前技術中未揭示之各種特徵之組合及子組合之變動及修改。以引用的方式併入本專利申請案中之文件應被視為本申請案之一整合部分，惟以下情況除外：在於此等併入之文件中以與本說明書中明確或隱含地作出之定義衝突之方式定義任何術語之程度內，應僅考量本說明書中之定義。

【符號說明】

【0261】

10: 小角度X射線散射(SAXS)系統/系統

20: 電腦

22: 處理器

24: 介面

26: 高壓電力供應單元(PSU)

30: 系統/小角度X射線散射(SAXS)系統

40: 系統/小角度X射線散射(SAXS)系統

50: 光學顯微鏡

52: 插圖

54: X射線繞射(XRD)偵測器/偵測器

56: X射線繞射(XRD)偵測器/偵測器

- 100: 源/X射線源
- 110: 總成/狹縫總成
- 111: 點
- 120: 鏡
- 122: 彎曲基板
- 124: 層
- 125: 狹縫
- 130: X射線射束/入射射束/射束/第一射束/第二射束
- 140: 狹縫總成/總成
- 150: 狹縫總成
- 165: 總成/射束調節總成
- 190: 晶圓
- 191: 表面
- 192: 表面
- 200: 卡盤
- 210: 載台
- 215: 校準量規/第一校準量規/第二校準量規
- 220: 經透射射束/射束
- 222: 射束
- 224: 表面
- 226: 區
- 230: 射束阻擋器
- 232: 射束止擋器

- 233: 高精度機動化載台/載台
- 236: 基底
- 240: 偵測器
- 243: 感測器
- 246: 機動化載台/載台
- 280: 真空室
- 300: 總成/狹縫總成
- 310: 晶體
- 312: V形通道/通道
- 314: 內面
- 315: 內面
- 316: 入口孔徑/孔徑
- 318: 出口孔徑
- 320: 總成/狹縫總成
- 330: 射束阻擋器
- 332: 射束止擋器
- 333: 基底
- 334: 射束止擋器
- 336: 射束止擋器
- 337: 標記
- 338: 射束止擋器
- 339: 標記
- 400: 區

- 402: 影像
- 404: 位置/區
- 405: 虛擬圓/圓
- 406: 影像
- 410: 光點
- 420: 光點
- 430: 光點
- 440: 光點
- 500A: 致動器
- 500B: 致動器
- 502: 插圖/影像
- 504: 位置/區
- 505: 虛擬矩形/矩形
- 506: 影像
- 510: 特徵
- 510A: 可移動葉片/葉片
- 510B: 可移動葉片/葉片
- 512: 狹縫
- 514A: 邊緣
- 514B: 邊緣
- 515: 微狹縫
- 516A: 平移軸
- 516B: 平移軸

520: 可移動板/板/光點

522: 平移軸

524: 圓

526: 虛線矩形

530: 光點

540: 特徵

550: 可移動葉片/葉片

600: 致動器

602: 插圖

604: 孔徑

606: 孔徑

608: 孔徑

610: 平移軸

620: 驅動桿

Dx: 步長

Dy: 步長

Px: 節距

Py: 節距

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種X射線設備，其包括：

一第一安裝座(mount)，其經組態以固持一樣本(sample)；

一X射線源，其經組態以將X射線之一射束引導朝向該樣本；

一偵測器，其經定位以接收已透射穿過該樣本之該等X射線，其中該等經透射射束之至少部分在一角度範圍內自該樣本散射；以及

一射束阻擋器(beam blocker)，其包括：

一第二安裝座，其由對該等X射線透明(transparent)之一材料所製成；以及

一X射線不透明(opaque)材料之一或多片 (pieces)，其固持於該第二安裝座內，使得該X射線不透明材料由對該等X射線透明之該材料完全地圍繞，

其中該射束阻擋器可定位使得該X射線不透明材料在該角度範圍之一部分中衰減(attenuate)該等X射線，而圍繞該範圍之該經衰減部分之角度下之該等X射線穿過該安裝座至該偵測器。

【請求項2】

如請求項1之設備，其中該等X射線不透明材料片之至少一者係橢圓形的。

【請求項3】

如請求項1之設備，其中該安裝座包括一聚合物(polymer)。

【請求項4】

如請求項1之設備，其中該安裝座包括金剛石(diamond)。

【請求項5】

如請求項1之設備，其中經衰減之該X射線之至少部分包含透射穿過樣本而未散射之X射線。

【請求項6】

如請求項1之設備，其進一步包括一處理器，該處理器經組態以量測藉由該偵測器接收之該等X射線之一強度，及回應於經量測之該強度相對於經透射射束來定位該射束阻擋器。

【請求項7】

如請求項1之設備，其中該等X射線不透明材料片之至少一者係固持於安裝座之一凹部(recess)內。

【請求項8】

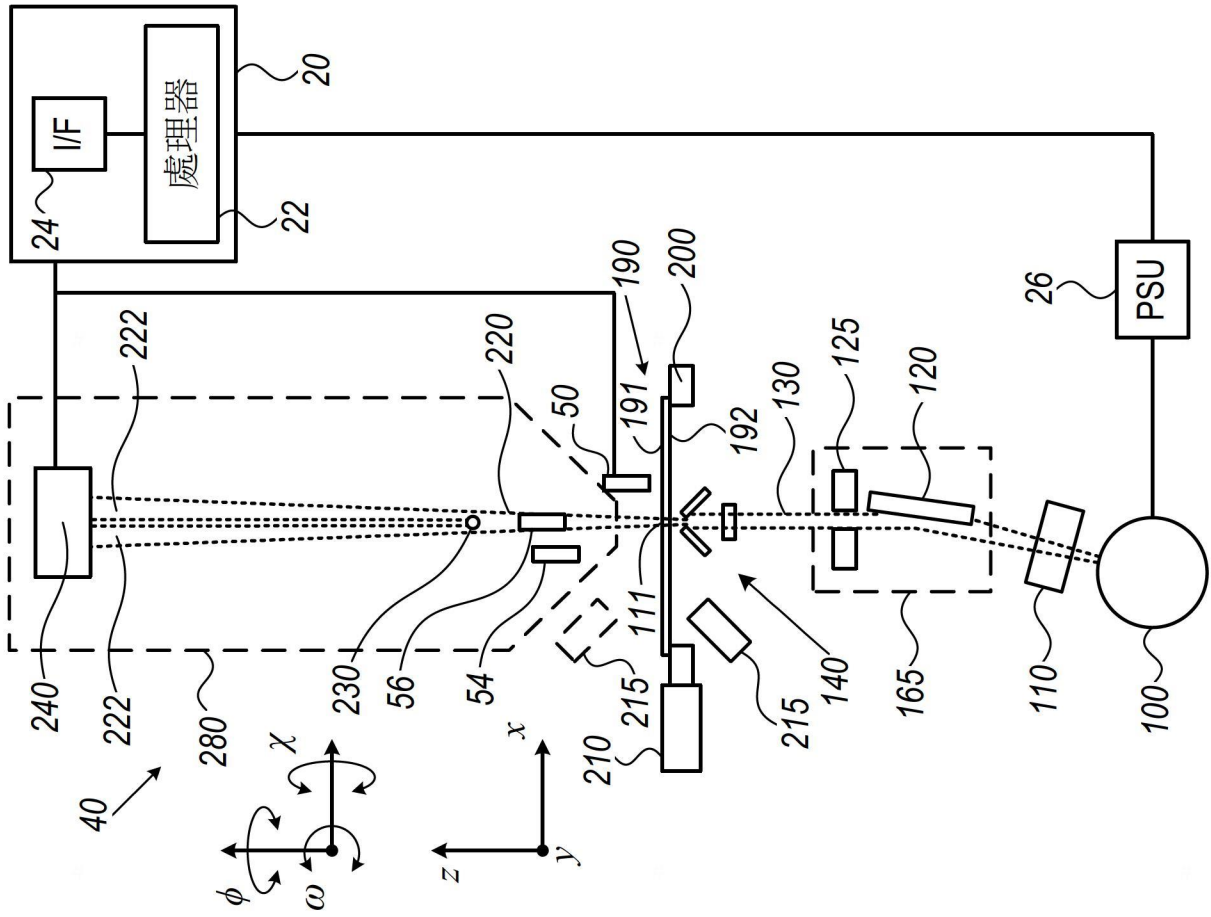
如請求項1之設備，其中該安裝座包括由(i)雙軸定向聚對苯二甲酸乙二酯(BoPET)聚酯或(ii)聚(4,4'-氧二仲苯基-苯均四酸亞胺)聚醯亞胺製成之一薄片。

【請求項9】

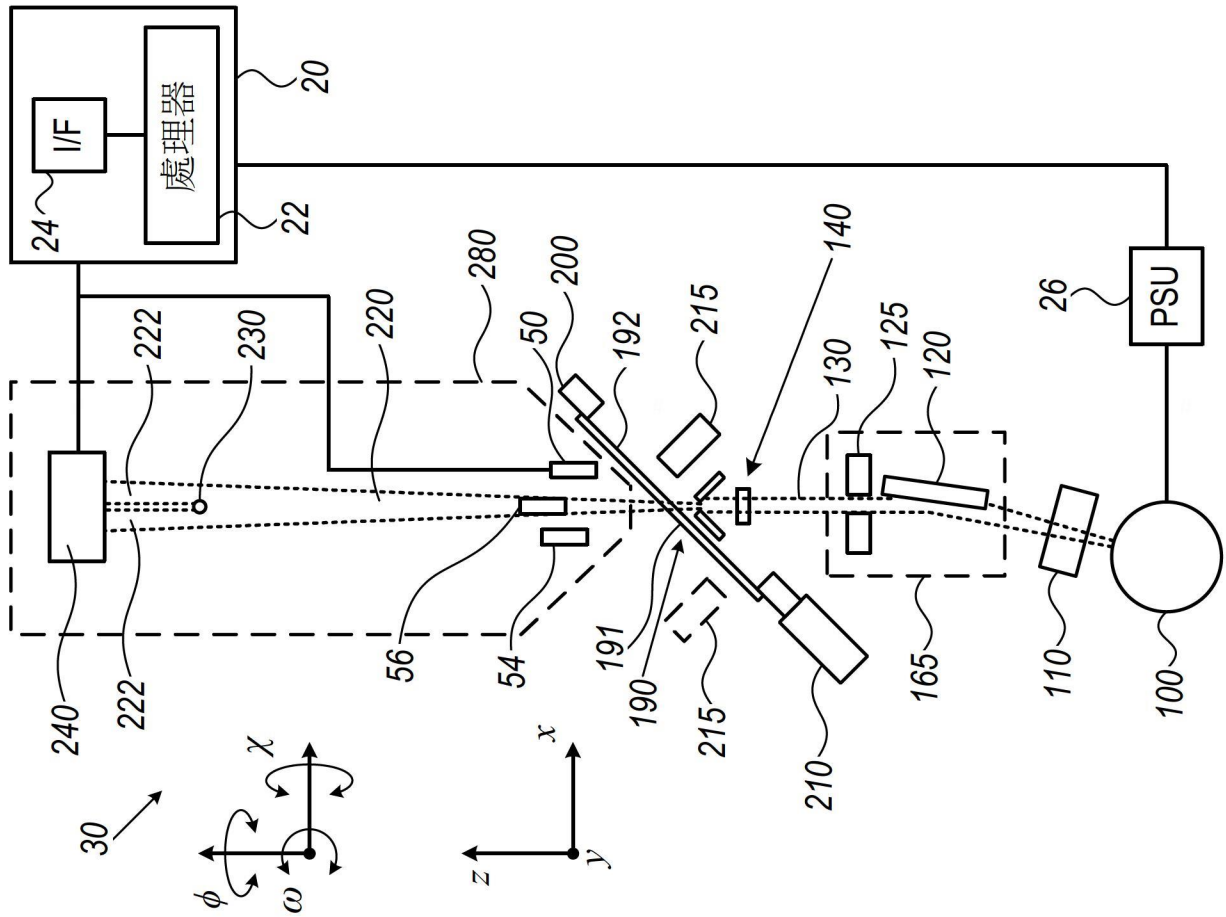
如請求項1之設備，其中該等X射線不透明材料片之至少一者包括金、鈹、或鎢。

【請求項10】

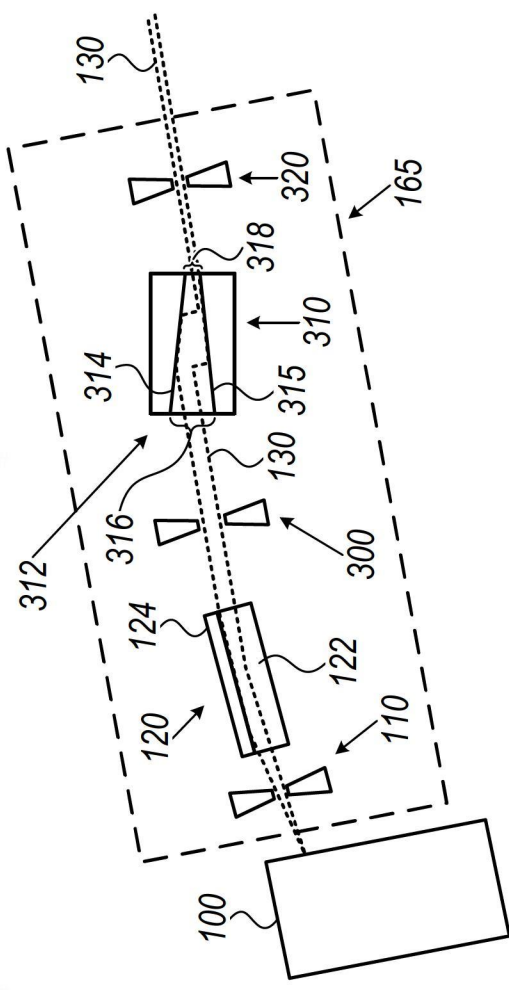
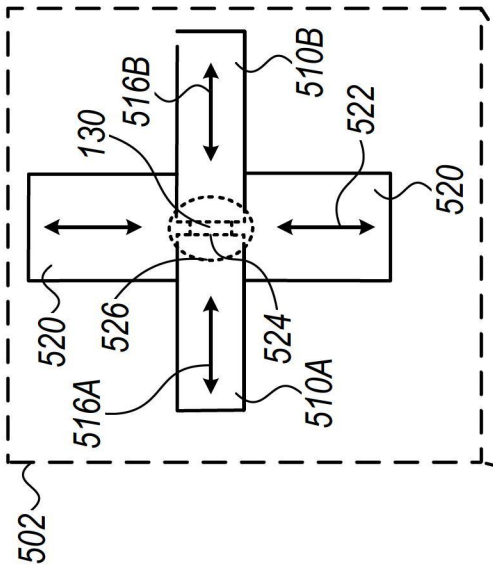
如請求項1之設備，其中該等X射線不透明材料片包括具有一不同大小且彼此相距一預定義距離佈置於一陣列中之至少一第一片及一第二片。



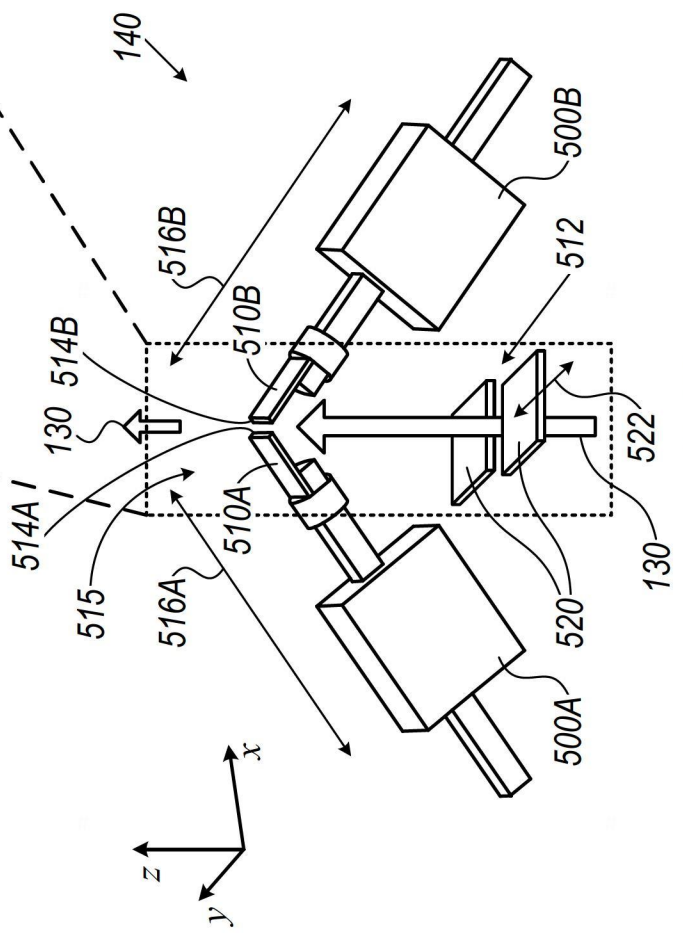
【圖3】



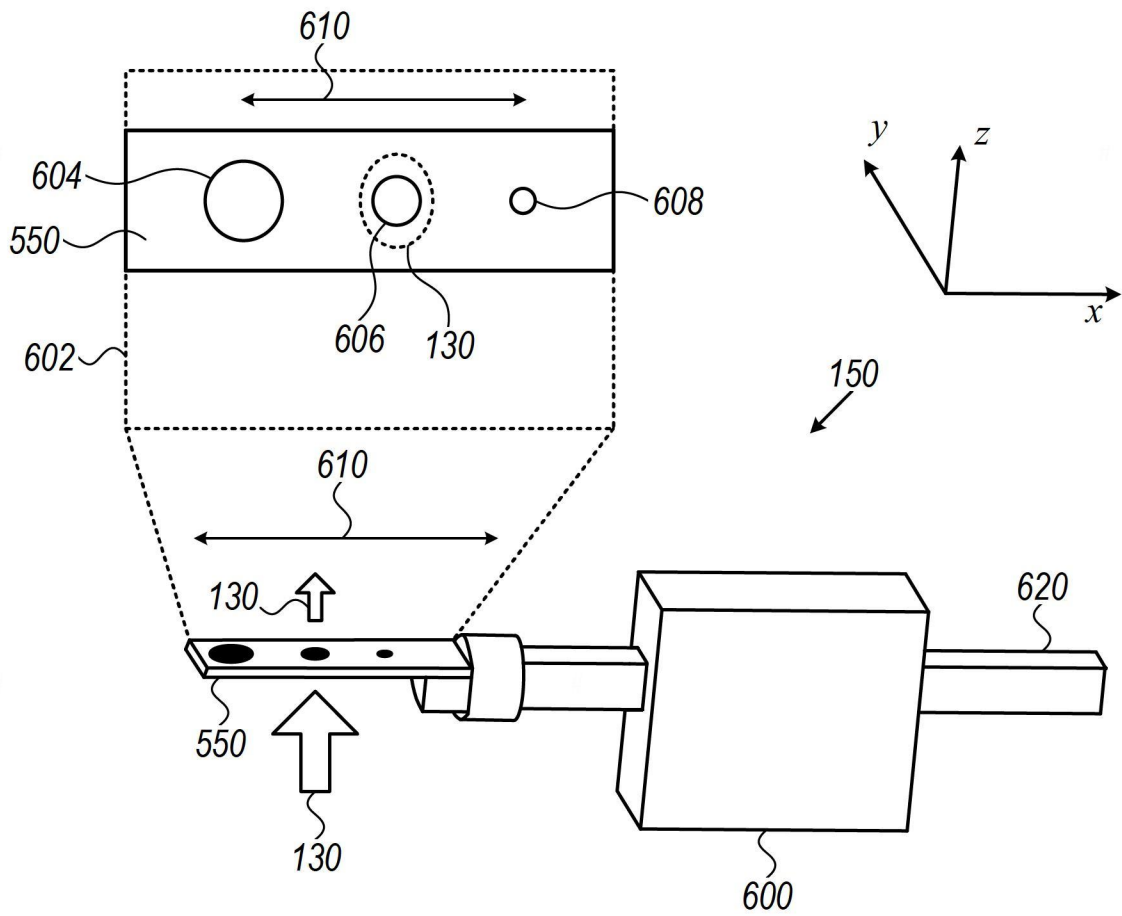
【圖2】



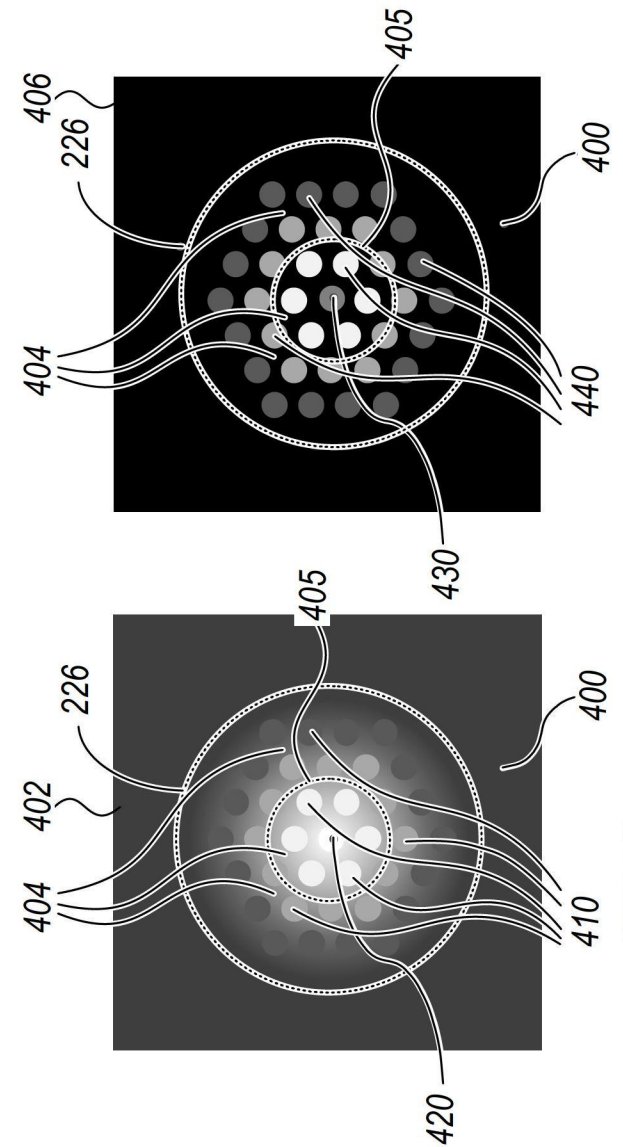
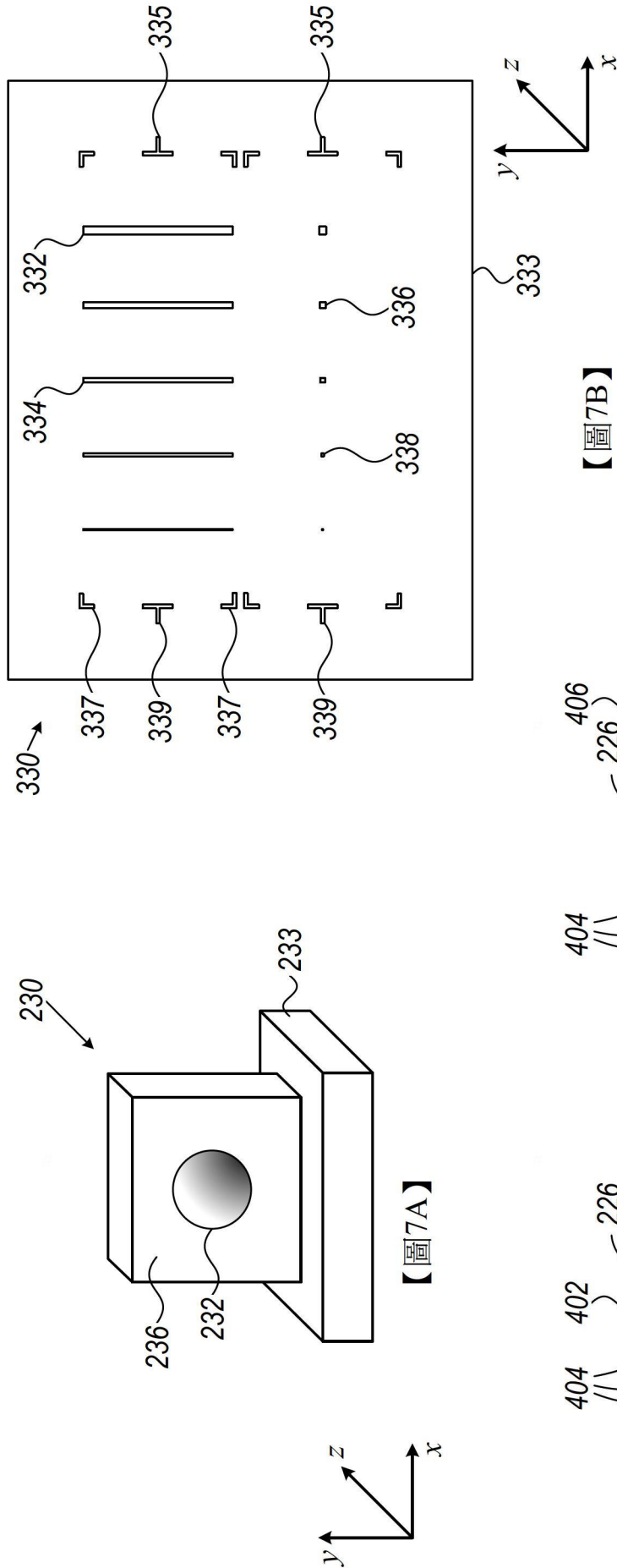
【圖4】



【圖5】



【圖6】

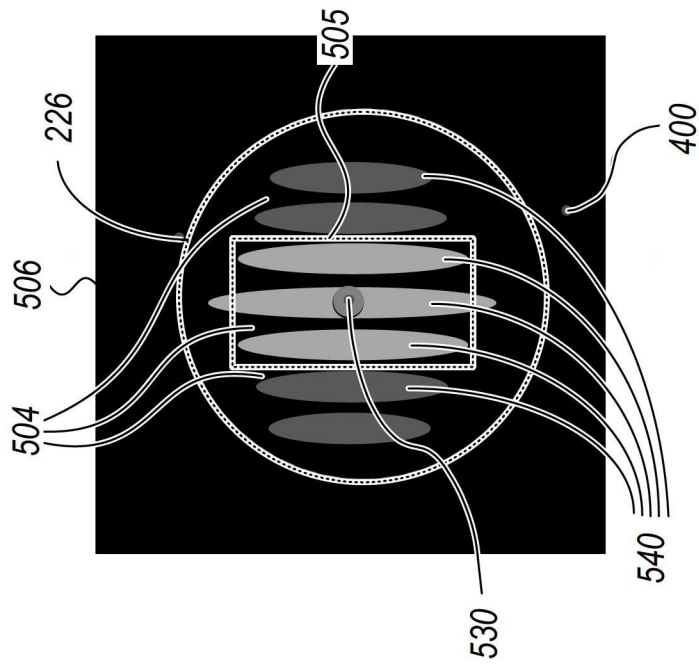


【圖7A】

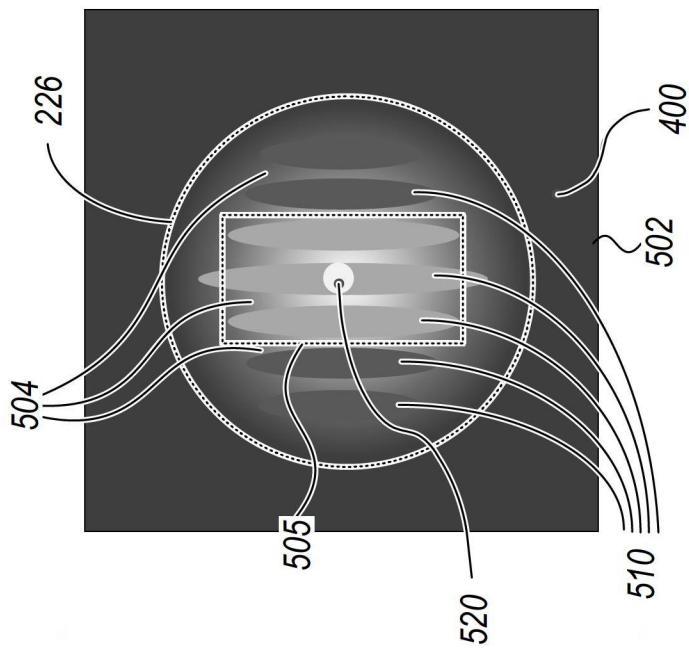
【圖7B】

【圖8B】

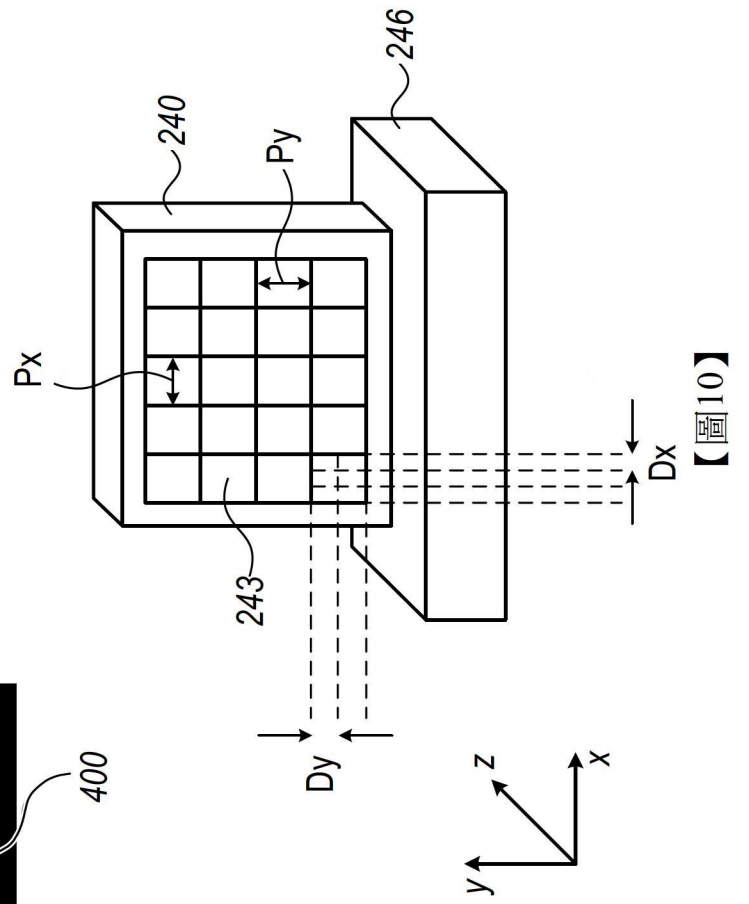
【圖8A】



【圖9B】



【圖9A】



【圖10】