



(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 I735747 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 08 月 11 日

(21)申請案號：107106629

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 02 月 27 日

(51)Int. Cl. : G01B9/04 (2006.01)

G01B11/16 (2006.01)

G06F17/10 (2006.01)

(30)優先權：2017/02/28 美國

62/464,382

2017/11/27 美國

62/591,104

2018/02/27 世界智慧財產權組織

PCT/US18/19793

(71)申請人：美商克萊譚克公司 (美國) KLA-TENCOR CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：古理維克 伊夫吉尼 GUREVICH, EVGENI (IL)；艾黛兒 麥克 ADEL, MICHAEL

(IL)；葛隆海德 洛爾 GRONHEID, ROEL (BE)；飛勒 亞爾 FELER, YOEL

(IL)；朗維司基 維拉得摩 LEVINSKI, VLADIMIR (IL)；克林 丹那 KLEIN,

DANA (IL)；雅哈崙 夏倫 AHARON, SHARON (IL)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201411277A

TW 201543172A

US 6921916B2

US 2017/0010538A1

審查人員：林秀峰

申請專利範圍項數：28 項 圖式數：4 共 38 頁

(54)名稱

度量方法及模組，分段疊對目標，及電腦程式產品

(57)摘要

本發明提供用於設計度量目標及相對於諸如線性質(例如，線邊緣粗糙度 LER)之隨機雜訊來估計度量值之不確定性誤差的方法。可藉由具有對應目標之 CDSEM(臨界尺寸掃描電子顯微鏡)或光學系統，自該等線性質之分析及度量測之不確定性誤差導出目標元件之最小所需尺寸。鑑於發現在使用諸如 CPE(每曝光之可校正項)之更局域化模型時，隨機雜訊可能具有增大的重要性而強調此分析之重要性。該不確定性誤差估計可用於多種背景內容中之目標設計、疊對估計增強及量測可靠性評估。

Methods are provided for designing metrology targets and estimating the uncertainty error of metrology metric values with respect to stochastic noise such as line properties (e.g., line edge roughness, LER). Minimal required dimensions of target elements may be derived from analysis of the line properties and uncertainty error of metrology measurements, by either CDSEM (critical dimension scanning electron microscopy) or optical systems, with corresponding targets. The importance of this analysis is emphasized in view of the finding that stochastic noise may have increased importance with when using more localized models such as CPE (correctables per exposure). The uncertainty error estimation may be used for target design, enhancement of overlay estimation and evaluation of measurement reliability in multiple contexts.

指定代表圖：

100

105

110

112

120

130

150

155



【圖1】

符號簡單說明：

- 100:方法
- 105:階段
- 110:階段/產生
- 112:階段
- 120:階段/新增
- 130:階段/比較
- 150:階段
- 155:階段
- 160:階段
- 170:階段
- 180:階段
- 182:階段
- 184:階段
- 186:階段
- 190:階段
- 191:階段
- 192:階段
- 194:階段
- 210:階段
- 220:階段
- 230:階段
- 240:階段
- 250:階段
- 260:階段
- 270:階段



I735747

【發明摘要】

【中文發明名稱】

度量方法及模組，分段疊對目標，及電腦程式產品

【英文發明名稱】

METROLOGY METHOD AND MODULE，SEGMENTED OVERLAY
TARGET，AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT

【中文】

本發明提供用於設計度量目標及相對於諸如線性質(例如，線邊緣粗糙度LER)之隨機雜訊來估計度量量度值之不確定性誤差的方法。可藉由具有對應目標之CDSEM (臨界尺寸掃描電子顯微鏡)或光學系統，自該等線性質之分析及度量測之不確定性誤差導出目標元件之最小所需尺寸。鑑於發現在使用諸如CPE (每曝光之可校正項)之更局域化模型時，隨機雜訊可能具有增大的重要性而強調此分析之重要性。該不確定性誤差估計可用於多種背景內容中之目標設計、疊對估計增強及量測可靠性評估。

【英文】

Methods are provided for designing metrology targets and estimating the uncertainty error of metrology metric values with respect to stochastic noise such as line properties (e.g., line edge roughness, LER). Minimal required dimensions of target elements may be derived from analysis of the line properties and uncertainty error of metrology measurements, by either CDSEM (critical dimension scanning electron microscopy) or optical systems, with corresponding targets. The importance of this analysis is emphasized in view of the finding that

stochastic noise may have increased importance with when using more localized models such as CPE (correctables per exposure). The uncertainty error estimation may be used for target design, enhancement of overlay estimation and evaluation of measurement reliability in multiple contexts.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100	方法
105	階段
110	階段/產生
112	階段
120	階段/新增
130	階段/比較
150	階段
155	階段
160	階段
170	階段
180	階段
182	階段
184	階段
186	階段
190	階段

191	階段
192	階段
194	階段
210	階段
220	階段
230	階段
240	階段
250	階段
260	階段
270	階段

【發明說明書】

【中文發明名稱】

度量方法及模組，分段疊對目標，及電腦程式產品

【英文發明名稱】

METROLOGY METHOD AND MODULE，SEGMENTED OVERLAY
TARGET，AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT

【技術領域】

本發明係關於度量領域，且更特定言之係關於量測演算法。

【先前技術】

在半導體度量之領域中，度量工具包括：一照明系統，其照明度量目標；一收集系統，其擷取藉由該照明系統與一目標、裝置或特徵之相互作用(或無相互作用)而提供之相關資訊；及一處理系統，其使用一或多種演算法分析所收集之資訊。度量工具可用於量測與各種半導體製程相關聯之結構及材料特性(例如，結構及膜之材料組成物、尺寸特性(諸如結構之膜厚度及/或臨界尺寸、疊對等))。此等量測係用於在半導體晶粒之製造中促進程序控制及/或良率效率。

度量工具經設計以進行與半導體製造有關之許多不同類型之量測，諸如一或多個目標之特性(例如，臨界尺寸、疊對、側壁角、膜厚度、線邊緣粗糙度、線寬粗糙度圖案置放誤差或程序相關參數(例如，焦點及/或劑量))。目標可包含本質上週期性之特定所關注區域(舉例而言，諸如一記憶體晶粒中之光柵)。度量目標可擁有各種空間特性且通常由一或多個單元構成，該一或多個單元可包含已在一或多個微影相異曝光中印刷之一或多個層中之特徵。該等目標或該等單元可擁有各種對稱，諸如雙重旋轉

對稱或四重旋轉對稱及/或反射對稱。此等度量結構之實例係在美國專利第6,985,618號中描述，其全文以引用的方式包含於本文中。不同單元或單元之組合可屬於相異層或曝光步驟。個別單元可包括經隔離非週期性特徵或替代地其等可由一維、二維或三維週期性結構或非週期性結構及週期性結構之組合構成，如美國專利申請公開案第2013/042,089號中所描述，其全文以引用的方式包含於本文中。週期性結構可未分段或其等可由細分段特徵構成，該等細分段特徵可依據或接近用於印刷其等之微影程序之最小設計規則。度量目標亦可與相同層或上方一層、下方一層或在該等度量結構之層間之虛設結構(dummification structure)並置或緊鄰該等虛設結構。目標可包含多個層(或膜)，其等之厚度可藉由度量工具量測。目標可包含置放(或已存在)於半導體晶圓上供使用(例如，對準及/或重疊對位操作)之目標設計。特定目標可定位於半導體晶圓上之各種位置處。例如，目標可定位於(例如，晶粒之間之)刻劃線內及/或定位於該晶粒自身中。在某些實施例中，可藉由同一或多個度量工具(在相同時間或不同時間)量測多個目標，如美國專利第7,478,019號中所描述，其全文以引用的方式包含於本文中。可組合來自此等量測之資料。來自度量工具之資料在半導體製程中用以(例如)向前饋送、反向饋送及/或側向饋送校正至程序(例如，微影、蝕刻)且因此可產生一完整程序控制解決方案。

【發明內容】

下文係提供本發明之初步瞭解之一簡化概述。此概述不一定識別關鍵要素或限制本發明之範疇，而僅作為以下描述之一介紹。

本發明之一項態樣提供一種方法，該方法包括：自程序相關線邊緣粗糙度(LER)之參數導出遵守給定量測不確定性規範所需之目標元件之最

小尺寸之一估計；及設計一度量目標以具有符合該等經估計之最小尺寸之目標設計參數；其中該導出及該設計之至少一者係藉由至少一電腦處理器執行。

本發明之一項態樣提供一種方法，該方法包括：藉由以下各項估計藉由SEM (掃描電子顯微鏡)自一CDSEM (臨界尺寸掃描電子顯微鏡)目標導出之CDSEM度量量度值之一LER相關不確定性誤差：估計特性化該LER之至少一隨機參數之一變動範圍；根據用於該等度量量度值之一給定量測模型以分析方式及/或使用模擬導出由該經估計範圍所引起之一誤差；及使用該經導出誤差估計該LER相關不確定性誤差；其中該估計、該導出及該使用之至少一者係藉由至少一電腦處理器執行。

本發明之一項態樣提供一種方法，該方法包括：藉由以下各項估計歸因於LER之光學度量量度值之一不確定性誤差：估計特性化該LER之至少一隨機參數之一變動範圍；根據用於該等度量量度值之一給定量測模型以分析方式及/或使用模擬導出由該經估計範圍所引起之一誤差；及使用該經導出誤差估計該不確定性誤差；其中該估計、該導出及該使用之至少一者係藉由至少一電腦處理器執行。

本發明之一項態樣提供一種方法，該方法包括：藉由以下各項判定隨機雜訊對自施加一經指定度量模型而導出之一給定疊對度量資料集之影響：產生隨機(random)合成雜訊之複數個雜訊實現(noise realization)；將該等經產生之雜訊實現新增至該給定疊對度量資料集以產生一經修改資料集；及使用至少一度量量度，比較用於該給定疊對度量資料集之量度值與用於該經修改資料集之量度值，其中該比較提供一經估計雜訊對該給定疊對度量資料集之影響；且其中該產生、該新增及該比較之至少一者係藉由

至少一電腦處理器執行。

本發明之此等、額外及/或其他態樣及/或優點係在以下詳細描述中進行闡述；可能可自詳細描述推論；及/或可藉由本發明之實踐學習。

【圖式簡單說明】

為本發明之實施例之一較佳理解及為展示可如何實行該等實施例，現將純粹藉由實例參考隨附圖式，其中通篇相同數字指定對應元件或區段。

在隨附圖式中：

圖1係繪示根據本發明之一些實施例之一方法的一高階流程圖。

圖2提供根據本發明之一些實施例之OVL量測之隨機雜訊對OVL可校正項之效應之一實例。

圖3A至圖3C繪示根據本發明之一些實施例之具有擁有平行邊緣之週期性結構之OVL度量目標之影像，其中示意性圖解說明自該影像計算一度量量度。

圖4A繪示根據本發明之一些實施例之CDSEM影像上之線邊緣粗糙度及微影線距圖案之不同分段。

圖4B係根據本發明之一些實施例之用於定義一線邊緣(邊緣輪廓曲線)之一邊緣函數 $\epsilon(y)$ 之一非限制性實例。

圖4C係具有粗節距及細節距分段之週期性結構之一示意非限制性實例。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

本申請案主張於2017年2月28日申請之美國臨時專利申請案第

62/464,382號之權利，其全文以引用的方式併入本文中。

在以下描述中，描述本發明之各項態樣。出於解釋目的，闡述特定組態及細節以提供對本發明之一透徹理解。然而，熟習此項技術者亦將明白，可在沒有本文中提出之該等特定細節之情況下實踐本發明。此外，為不模糊本發明，可省略或簡化熟知特徵。特別參考圖式，應強調所展示之細節係藉由實例且僅出於本發明之闡釋性論述之目的，且係為了提供據信係本發明之原理及概念態樣之最有用且易於理解之描述之內容而提出。就此點而言，未試圖展示比本發明之一基本理解所需更詳細之本發明之結構細節，結合該等圖式進行之描述使熟習此項技術者明白可如何在實踐中體現本發明之若干形式。

在詳細闡釋本發明之至少一項實施例之前，應理解，本發明在其應用上不限於以下描述中所闡述或圖式中所繪示之組件之構造及配置之細節。本發明可應用於可依各種方式實踐或實施之其他實施例以及所揭示實施例之組合。又，應理解，本文中所採用之措辭及術語係出於描述之目的且不應被視為限制性。

除非另有特別說明，否則如自以下論述明白應理解，貫穿本說明書，利用諸如「處理」、「運算」、「計算」、「判定」、「增強」、「導出」或類似者之術語之論述係指操縱及/或將表示為運算系統之暫存器及/或記憶體內之物理(諸如電子)量之資料變換成類似表示為運算系統之記憶體、暫存器或其他此等資訊儲存、傳輸或顯示裝置內之物理量之其他資料之一電腦或運算系統或類似電子運算裝置之動作及/或程序。

提供用於設計度量目標及相對於諸如線性質(例如，線邊緣粗糙度LER、線寬粗糙度LWR及/或圖案置放粗糙度PPR)之隨機雜訊來估計度量

量度值之不確定性誤差的方法。可藉由具有對應目標之CDSEM (臨界尺寸掃描電子顯微鏡)或光學系統自該等線性質之分析及度量測之不確定性誤差導出目標元件之最小所需尺寸。鑑於發現在使用諸如CPE (每曝光之可校正項)之更局域化模型時，隨機雜訊可能具有增大的重要性而強調此分析之重要性。該不確定性誤差估計可用於多種背景內容中之目標設計、疊對估計增強及量測可靠性評估。

本發明之實施例對以下問題提供高效且經濟方法及機制且藉此提供對度量技術領域之改良：實現隨機雜訊對不同疊對模型及取樣圖之影響之預測及比較；實現LER、LWR及/或PPR對來自一單個目標之疊對度量結果之影響之一估計；實現LER、LWR或圖案置放粗糙度對給定一特定疊對模型及取樣圖情況下之疊對度量可校正項之影響之一估計；及/或實現來自一測試結構、目標或裝置結構之一光學影像之LER、LWR、PPR或功率譜密度(PSD)之一估計。

所揭示方法(例如，**圖1**中所繪示之方法**100**及下文實例)特性化藉由一度量感測器及監測器提供之不同經量測量之間的影響及交叉關係，減弱及/或防止隨機雜訊之先前技術不可控制效應(參見下文圖2)。此外，所揭示方法減輕取樣數目及空間分佈及/或量測位點/目標之面積/大小證實對於隨機雜訊之效應而言不充分的先前技術風險，且實現準確度驗證、微影後疊對控制及蝕刻後疊對控制或批量部署(lot dispositioning)。

此外，所揭示方法可經組態以判定如藉由來自(若干)相同或其他度量目標及/或裝置結構之經量測量判定之在特定製造條件下自其獲得度量資料之(若干)度量目標及/或裝置結構之所需最小大小。

在某些實施例中，方法**100**可包括以下任一者：判定隨機雜訊對疊對

度量資料集之影響；判定LER及/或PSD對一基於光學或SEM之疊對量測之最小所需目標大小或量測面積之影響；及/或自一光學度量測估計LER/PSD，如下文所揭示。

圖1係繪示根據本發明之一些實施例之一方法**100**之一高階流程圖。該等方法階段可關於可視需要經組態以實施方法**100**之度量工具及/或模組而執行。方法**100**可包括以下階段(不考慮其等順序)。

在某些實施例中，方法**100**包括藉由以下各項判定隨機雜訊對自施加一經指定度量模型而導出之一給定疊對度量資料集之影響(階段**105**)：例如，使用經量測及/或經模擬度量結果(階段**112**)產生隨機合成雜訊之複數個雜訊實現(階段**110**)；將該等經產生之雜訊實現新增至該給定疊對度量資料集以產生一經修改資料集(階段**120**)；及使用至少一度量量度，比較用於該給定疊對度量資料集之量度值與用於該經修改資料集之量度值(階段**130**)。比較**130**可用於提供一經估計雜訊對該給定疊對度量資料集之影響。在某些實施例中，可改變隨機雜訊之量值以觀察對度量量度(諸如結果之3sigma)之影響，且可針對不同模型比較(若干)對應量度以估計用於各疊對可校正控制模型之一最小取樣圖及一最大可容忍隨機雜訊及/或用於經指定度量模型之一所得不確定性規範之任一者。在某些實施例中，可至少針對一些特定(例如，線性)晶圓/場項模型導出針對3sigma或(若干)其他量度之一分析表達式。對於線性模型，很可能會預期一種雜訊均分。

方法**100**可進一步包括藉由以下項估計雜訊對該經指定度量模型之影響(階段**150**)：估計雜訊對藉由施加經指定度量模型而導出之多個給定疊對度量資料集之影響(階段**155**)。

方法**100**可進一步包括藉由比較雜訊對依不同參數值實施之經指定度

量模型之影響而最佳化該經指定度量模型之參數(階段**160**)。方法**100**可進一步包括導出該經估計雜訊對模型參數之影響之相依性之一分析表達式(階段**170**)。例如，模型參數可包括至少一樣本大小、一最大可容忍隨機雜訊及/或用於經指定度量模型之一所得不確定性規範。

方法**100**之任一階段(例如，產生**110**、新增**120**及比較**130**)可藉由至少一電腦處理器執行。方法**100**可至少部分藉由(例如，在一度量模組中之)至少一電腦處理器實施。某些實施例包括電腦程式產品，該等電腦程式產品包括具有與其一起體現且經組態以執行方法**100**之相關階段之電腦可讀程式之一電腦可讀儲存媒體。某些實施例包括(若干)度量模組，該(等)度量模組包括所揭示電腦程式產品之元件。

方法**100**之所揭示實施例克服及/或控制歸因於(例如)在當前基於光學或SEM (掃描電子顯微鏡)之疊對度量中之每目標之固有隨機雜訊及其對經計算度量量度之效應的先前技術風險。替代性地或補充地，某些實施例包括有關目標元件尺寸及/或隨機雜訊位準之下限，其實現使用雜訊敏感程序同時限制隨機雜訊對結果之影響，如下文所闡釋。

圖2提供根據本發明之一些實施例之OVL量測中之隨機雜訊之效應之一實例。一般而言，**圖2**繪示隨機變動對來自HO (較高階)晶圓模型之OVL (疊對)校正之影響與隨機變動對來自CPE (每曝光之可校正項)晶圓模型之OVL校正之影響相比的一非限制性實例。

圖2表示新增至大約550個晶圓位點上之經量測/經模擬OVL值之隨機雜訊在度量量度pooled3sigma方面之效應之蒙特卡羅(Monte Carlo)模擬的結果。該經模擬雜訊係具有STD (標準差)之三個不同值0.5 nm、0.4 nm及0.3 nm之獨立相同分佈之高斯(Gaussian)雜訊(分別指示為雜訊1至雜訊

3)。對於各雜訊位準，經由針對HO (W3F1高階-晶圓三階校正及場一階校正)晶圓模型及CPE模型兩者之100個實現計算每位點之模型化疊對之合併變異數(pooled variance)。在圖2中比較所得3-sigma (pooled3sigma)。此表明，HO模型化之疊對與CPE模型化之疊對相比保持穩定得多。不欲受理論侷限，發明者表明CPE模型對隨機雜訊之較高敏感度係固有的，此係因為HO模型對跨整個晶圓(例如，大約550個位點)的雜訊之效應求平均值，而CPE模型獨立處理每個場(例如，大約9個位點)，此導致經模型化OVL變異數之較高變動。可如等式1中般依據原始雜訊之變異數 σ_{Noise} 、每擬合之位點數目 N_{site} 及模型項數目 N_{terms} 估計所得3Sigma變動 $3\sigma_{mod}$ 。

$$3\sigma_{mod} \approx 3\sigma_{Noise} \sqrt{\frac{N_{terms}}{N_{sites}}} \quad \text{等式1}$$

例如，在以上實例中對於HO模型 $N_{terms} = 10$ ， $N_{sites} = 550$ ，且對於CPE HO模型 $N_{terms} = 3$ ， $N_{sites} = 9$ 。對於具有 $\sigma_{Noise} = 0.5nm$ 之雜訊1，以上等式預測 $(3\sigma_{mod})_{HO} = 0.2nm$ 及 $(3\sigma_{mod})_{CPE} = 0.87nm$ ，此與圖2中之數值蒙特卡羅模擬之結果一致。

如以上實例中所繪示，當在疊對度量中使用每曝光校正模型及控制技術時，隨機(random/stochastic)雜訊之存在可對自疊對資料產生之可校正項之保真度具有不利效應。額外分析係提供於Adel等人之2017年，Impact of stochastic process variations on overlay mark fidelity "towards the 5 nm node"，Proc. SPIE 10145，Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXXI, 1014509，其全文以引用的方式併入本文中。

圖2中之實例示範自HO晶圓級模型至CPE場級模型，或至大幅增大可校正項數目對位點(自其判定模型項)數目之比率之任何其他模型的產業

轉變導致個別(疊對)標記保真度或不確定性對可校正項之更高及關鍵影響。

在某些實施例中，方法**100**進一步包括藉由以下各項估計藉由SEM自一目標導出之CDSEM度量量度值之一LER相關不確定性誤差(階段**180**)：估計特性化該LER (或LWR或其他參數)之(若干)隨機參數之一變動範圍(階段**182**)；根據用於該等度量量度值之一給定量測模型(例如)使用模擬及/或以分析方式導出由該經估計範圍所引起之一誤差(階段**184**)；及使用該經導出誤差估計該LER相關不確定性誤差(階段**186**)。某些實施例包括相對於度量目標之對應CDSEM度量量度值之經估計不確定性誤差估計該等度量目標之光學度量測之一品質(階段**190**)。例如，若CDSEM量測具有(例如)幾個0.1 nm之一不準確度，則在比較光學量測與CDSEM量測時可將其考慮在內。

某些實施例包括基於一單個目標不確定性估計針對多個量測模型之LER相關不確定性誤差(階段**191**)。在某些實施例中，方法**100**進一步包括比較針對多個量測模型之該經估計不確定性誤差且選擇該等量測模型之具有遵守一給定所需規範之LER相關不確定性誤差之一者(階段**192**)，例如，該多個量測模型包括至少HO模型及CPE模型。在某些實施例中，方法**100**進一步包括相對於經導出誤差判定一對應量測模型之一最佳模型複雜性(例如，CPE中之參數數目) (階段**194**)。

在某些實施例中，方法**100**可應用於關於對應量測模型之光學疊對量測，及如上文所揭示沿著類似線之光學疊對量測(例如，在階段**182**至**194**中)。

有利的是，所揭示方法**100**克服執行疊對度量測而歸因於用於疊對度

量之影像或散射量測資料中之欠採樣或固有隨機雜訊而未達成資料源中之最小所要不確定性或保真度之先前技術缺點。

作為實施方法**100**之一非限制性實例，下文提出經製造特徵之邊緣之LER、LWR、PSD及其他隨機特性之估計之情況，著重於將LER作為主要非限制性實例。特定言之，方法**100**包括有關一基於光學或SEM之疊對量測之最小所需目標大小或量測面積之此等及/或對應參數的判定。方法**100**之實施例併入此等估計量及量度以使用所揭示方法預測經估計參數(例如，LER)對疊對度量測及控制參數之影響。

在某些實施例中，方法**100**可包括藉由以下項判定線邊緣粗糙度(LER，作為隨機雜訊)對使用一度量模型而導出之一疊對度量資料集之影響(階段**210**)：產生模擬LER對邊緣偵測結果之影響之多個雜訊實現(階段**220**)以偵測目標元件之線邊緣位置(階段**230**)及可能針對給定製造條件估計一最小目標及/或裝置大小(階段**240**)。

某些實施例包括具有週期性及分段結構之分段疊對目標(作為度量目標)，其中分段參數(作為目標設計參數)符合藉由方法**100**導出之經估計最小尺寸。

有利的是，(若干)所揭示方法**100**之實施例使用(例如)自SEM影像導出之LER及其統計性質(諸如變異數、相關函數、相關長度或PSD (功率譜密度))之結果來預測如藉由來自(若干)相同度量目標或裝置結構或來自(若干)其他度量目標或裝置結構之經量測量判定之在特定製造條件下自其獲得度量資料之(若干)度量目標及/或裝置結構之(若干)最小所需大小。額外實例係提供於Adel等人之2017年，Impact of stochastic process variations on overlay mark fidelity "towards the 5 nm node"，Proc.

SPIE 10145 , Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXXI, 1014509 , 其全文以引用的方式併入本文中。

在下文中，提供基於LER之統計性質判定最小所需目標大小之一詳細非限制性實例。最初，藉由一邊緣偵測演算法自SEM影像提取目標條邊緣輪廓且使用該等經提取輪廓分析LER性質(參見作為一非限制性實例之**圖4B**)。應注意，該邊緣偵測演算法可與出於OVL/對位度量目的用於邊緣提取之演算法相同或可為與其效能方面相當之演算法。度量目標(下文亦稱為度量標記，且一非限制性實例參見**圖3A**)在一非限制性實例中可包括具有平行邊緣之結構元件。度量目標或其之部分係用以判定邊緣之沿著垂直於該等邊緣之方向之平均位置 X_c 。方法100包括用於除了平行線結構以外之幾何形之演算法，該等演算法可(例如)自下文直觀地提出之演算法導出。

圖3A至圖3C繪示根據本發明之一些實施例之具有擁有平行邊緣**97**之週期性結構之度量目標**95**之影像，其中示意性圖解說明自該影像計算一度量量度。**圖3A**繪示度量目標**95**。目標**95**之週期性結構係藉由一粗節距特性化且可藉由一細分段節距進一步分段成由目標元件組成之更細週期性結構(例如，參見**圖4A**及**圖4C**)。細分段增大線邊緣特性之效應，如下文闡釋及分析。**圖3B**繪示界定於目標**95**上之所關注區域(ROI) **98**。**圖3C**提供作為一度量量度之一非限制性實例之kernel3sigma (K3S)的計算之一實例，該K3S量度指示標記(目標)保真度。

基於成像之疊對(IFO)依靠構成疊對標記之結構(例如，週期性光柵)之影像之對稱中心 X_c 之判定，**圖3B** (有關細節參見美國專利第6921916號及美國專利申請公開案第20070008533號，其等之全文以引用的方式併入

本文中)。可藉由尋找該影像之自迴旋函數之最大值而找到此對稱中心。
圖3B中所展示之所關注區域(ROI) 98選擇經指定用於x方向上之疊對量測之給定處理層(例如，一光阻劑層)中之結構之部分。該選定影像區域係藉由在橫向y方向上求平均值而投影於x軸上以產生一維(1D)「內核(kernel)」。作為一非限制性方法，此內核之對稱中心可被發現為其自迴旋之一最大值。接著針對第二處理層(例如，先前層)重複對應程序以最終找到兩者之間的疊對。

引入K3S量度以特性化疊對標記之不均勻性(如WIPO申請案第PCT/US2017/057767號中所描述，其全文以引用的方式併入本文中)。如**圖3C**中所展示，標稱ROI (**圖3B**) 98被細分成N個(通常大約5至10個)子ROI 99，該等子ROI 99經對稱配對(藉由**圖3C**中之對應字母A、B、C、D指示)。各子區域99係用於找到其自身對稱中心，該對稱中心產生表示為 $\{X_c^i\}_{i=1}^N$ 之N個值，該等值之變異數定義K3S，即， $K3S = 3 \cdot STD(X_c^i)$ 。

圖4A至**圖4C**繪示根據本發明之一些實施例之具有擁有平行邊緣97之週期性結構之一度量目標95之一SEM影像之一非限制性實例。**圖4A**繪示根據本發明之一些實施例之CDSEM影像上之線邊緣粗糙度及微影線距圖案之不同分段。**圖4B**係根據本發明之一些實施例之用於定義一線邊緣(邊緣輪廓曲線)之一邊緣函數 $\epsilon(y)$ 之一非限制性實例。**圖4C**係具有粗節距及細節距分段之週期性結構之一示意非限制性實例。

圖4B係根據本發明之一些實施例之用於定義使用某一邊緣偵測演算法自SEM影像提取之一線邊緣97 (邊緣輪廓曲線)之一邊緣函數 $\epsilon(y)$ 115之一非限制性實例。可自該邊緣函數 $\epsilon(y)$ 導出LER之統計性質。LER之重要及相關特性化係藉由其相關函數 $C(y' - y'') \equiv \langle \epsilon_i(y') \epsilon_j(y'') \rangle$ 給出，其中

$\langle \dots \rangle$ 表示一統計求平均化值、局部變異數 $\sigma_{LER}^2 = C(0)$ 及相關長度 ξ 自以上相關函數提取(有關LER性質之進一步細節參見(例如) Chris A. Mack之「Analytical Expression for Impact of Linewidth Roughness on Critical Dimension Uniformity」, Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS, 13(2), 020501 (2014))。

LER現象強加關於值 X_c 之不確定性 σ_{x_c} (標準差) (邊緣97之沿著垂直於該等邊緣之方向之平均位置, 其係諸如疊對之度量量度之一基本組成部分)。LER性質與 σ_{x_c} 之間的關係係在下文給出且經提出以用於判定滿足**等式2**中所提供之不確定性規範之要求之最小度量目標大小(例如, 參見階段240)：

$$\sigma_{x_c} \leq \sigma_{spec} \quad \text{等式2}$$

對於長度 L 之一單一線段 i , 其橫向位置 x_i 可經判定為如藉由**等式3**提供之在(例如)**圖4B**中所定義之其邊緣函數 $\epsilon(y)$ 之一平均值。

$$x_i = L^{-1} \int_0^L dy \epsilon_i(y) \quad \text{等式3}$$

邊緣輪廓之橫向位置 x_l 之對應統計不確定性 σ_x 可依兩種等效方式表示, 如**等式4**中所指示,

$$\sigma_x^2(L) = \frac{1}{L^2} \iint_0^L dy' dy'' C(y' - y'') = \int_{-\infty}^{\infty} dk S(k) \frac{\sin^2 \pi k L}{(\pi k L)^2}$$

$$\text{等式4}$$

其中 $C(y' - y'') \equiv \langle \epsilon_l(y') \epsilon_j(y'') \rangle$ 係LER函數之相關函數(假定平穩過程)且 $S(k)$ 係其對應功率譜密度(PSD)。兩個函數皆含有相同資訊且藉由傅立葉變換而相關。其等可藉由分析藉由邊緣偵測演算法中之假設提取之邊緣輪廓而獲得。重要參數係相關長度 ξ , 其判定相關函數 $C(y)$ 之衰變之空間尺度或等效地截止頻率PSD $S(k)$ 。

在許多情況中，LER相關函數可藉由**等式5**中提出之指數形式近似表達。

$$C(y' - y'') = \sigma_{LER}^2 e^{-|y' - y''|/\xi} \quad \text{等式5}$$

(有關LER性質之進一步細節參見(例如) Chris A. Mack之「Analytical Expression for Impact of Linewidth Roughness on Critical Dimension Uniformity」，Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS，13(2), 020501 (2014))。

在**等式6**中所指定之特殊限制情況下，對於 $\sigma_x^2(L)$ 之上文表達式可簡化或(例如)使用 $\int_{-\infty}^{\infty} dk \frac{\sin^2 \pi k L}{(\pi k L)^2} = \frac{1}{L}$ 如**等式6**中所表示般近似表達。

$$\sigma_x^2(L) \approx \begin{cases} C(0) = \sigma_{LER}^2, L \ll \xi \\ \frac{S(0)}{L} \approx \frac{2\xi}{L} \sigma_{LER}^2, L \gg \xi \end{cases} \quad \text{等式6}$$

在可藉由如**等式3**中之指數形式描述LER相關函數之情況中，藉由**等式7**明確給出不確定性單邊緣位置。

$$\sigma_x^2(L) = \frac{2\xi}{L} \sigma_{LER}^2 \cdot \left[1 - \frac{\xi}{L} (1 - e^{-L/\xi}) \right] \quad \text{等式7}$$

其與**等式6**中之一般限制表達式一致。

若度量標記**95**或其之一部分由各具有長度 L 之 $2N$ 個統計等效邊緣組成，則其等平均位置 $X_c = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{2N} x_i$ 之不確定性係在**等式8**中表示。

$$\sigma_{X_c}(L, N) = \frac{\sigma_x(L)}{\sqrt{2N}} \quad \text{等式8}$$

使用**等式4**，可獲得如**等式9**中所表示之最小度量標記之最佳參數 N 、 L 。

$$\frac{\sigma_x(L)}{\sqrt{2N}} \leq \sigma_{spec} \quad \text{等式9}$$

在**等式7**之特殊情況 $L \gg \xi$ 中，有關 N 及 L 之(一般而言非平凡)條件

變為有關乘積 $N \times L$ (例如，總積分邊緣長度)之一條件，如**等式10**中所表示。

$$\sqrt{\frac{S(0)}{2NL}} \leq \sigma_{spec} \quad \text{等式10}$$

其中 $S(0) = 2\xi\sigma_{LER}^2$ 。此條件提供線數目 N 及線長度 L 之乘積之一最小所需值： $(L \times N)_{min} = \frac{S(0)}{2\sigma_{spec}^2}$ 。

基於目標內CD均勻性(CDU，參見(例如) Chris A. Mack 之「Analytical Expression for Impact of Linewidth Roughness on Critical Dimension Uniformity」，Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS，13(2), 020501 (2014))判定週期性結構目標之最小大小可藉由使CDU與經量測條之兩個邊緣之LER相關而執行。

可如**等式11**中所表示自線寬不確定性(LWU)推論單邊緣位置不確定性。

$$\sigma_x(L) = \sqrt{2} \times CDU \quad \text{等式11}$$

接著，可如**等式12**中表示有關線之最小數目之條件。

$$N \geq \frac{CDU^2}{\sigma_{spec}^2} \quad \text{等式12}$$

此處CDU已含有關於條之長度 L 之資訊(因此 L 在**等式12**中未明確出現)。

SEM度量目標的最小所需大小之上述估計至任意目標幾何結構之一般化係直觀的。

某些實施例包括自LER性質估計一光學度量測(例如，OVL、K3S等)之一下限。

在某些實施例中，可自LER及/或其PSD估計LER對一光學度量測(例如，OVL、K3S等)之不確定性之貢獻。在某些實施例中，可自藉由一光

學顯微鏡產生之影像提取對稱週期性結構之對稱平面之不確定性(此等結構之一非限制性實例，參見圖3A及圖4C)。在某些實施例中，對於諸如圖4C中所繪示之分段週期性結構，可藉由在LER性質、目標設計參數及光學系統性質方面之近似參數關係表示經成像光柵之對稱平面之位置之不確定性 σ_{x_c} ，如等式13中所提供。

$$\sigma_{x_c}^2 \approx \sigma_{LER}^2 \left(\frac{2\xi}{L_y} \right) \times \left(\frac{P}{L_x} \right) \left(\frac{CD}{P_{Fine}} \right) \left(\frac{P_c}{P} \right)^2 \left(\frac{P_{Fine}}{CD_{Fine}} \right)^2 \quad \text{等式13}$$

在等式13中， L_x 、 L_y 表示週期性光柵之尺寸， P 、 CD 係粗節距及其在x方向上之CD， P_{fine} 、 CD_{fine} 係細分段節距及CD（參見圖4C），且 P_c 係光學MTF之切通(cut-on)節距(此處假定 P_c/P 具有單位數量級)。等式13使不確定性 σ_{x_c} 與以下因數有關：作為光柵長度對粗節距之比率之 (L_x/P) 表示粗條數目；作為粗CD對細分段節距之比率之 (CD/P_{Fine}) 表示每一粗條的細分段線數目；作為光學器件PSF「截止」節距對光柵節距之比率之 (P_c/P) 表示成像之低通效應；且 (P_{Fine}/CD_{Fine}) 描述影響內核對比度之細分段之工作循環。光學度量之不確定性 σ_{x_c} 可用於估計有關目標保真度量度Kernel-3-Sigma之下限(參見WIPO申請案第PCT/US2017/057767號，其全文以引用的方式併入本文中)，且用作與度量量度相關聯之誤差之大小之一指標，如(例如)美國申請公開案第US20140136137號中所提供，其全文以引用的方式併入本文中。

在某些實施例中，方法100進一步包括自程序相關LER之參數導出遵守給定量測不確定性規範所需之目標元件之最小尺寸(階段250)；設計一度量目標(例如，具有週期性及分段結構之分段疊對目標)以具有符合該等經估計之最小尺寸之目標設計參數(例如，分段參數)(階段260)；及可能估計歸因於LER之該經設計目標之疊對量測之一不確定性誤差(階段

270)，該不確定性誤差可用作量度值(諸如上文示範之K3S)之一下限。

在某些實施例中，可藉由使用度量或裝置結構之給定現有高解析度光學影像提取LER及/或PSD估計而自(若干)光學度量測估計有關LER及/或其PSD之一上限。例如，可藉由反轉**等式13**中之表達式而自度量量度(諸如kernel 3 sigma)及/或目標結構之光學對比度導出LER之(若干)上限估計。

上文參考根據本發明之實施例之方法、設備(系統)及電腦程式產品之流程圖解說明及/或部分圖式來描述本發明之態樣。將理解，可藉由電腦程式指令實施該等流程圖解說明及/或部分圖式之各部分以及該等流程圖解說明及/或部分圖式中之若干部分之組合。可將此等電腦程式指令提供至一通用電腦、專用電腦或其他可程式化資料處理設備之一處理器以產生一機器，使得經由該電腦或其他可程式化資料處理設備之該處理器執行之該等指令創建用於實施流程圖及/或部分圖式或其部分中所指定之功能/動作的方法。

此等電腦程式指令亦可儲存於一電腦可讀媒體中，該電腦可讀媒體可引導一電腦、其他可程式化資料處理設備或其他裝置以一特定方式運作，使得儲存於該電腦可讀媒體中之指令製造包含實施流程圖及/或部分圖式或其部分中所指定之功能/動作之指令之一製品。

亦可將電腦程式指令載入至一電腦、其他可程式化資料處理設備或其他裝置上以使一系列操作步驟在該電腦、其他可程式化設備或其他裝置上執行以產生一電腦實施程序，使得執行於該電腦或其他可程式化設備上之該等指令提供用於實施流程圖及/或部分圖式或其部分中所指定之功能/動作之程序。

上述流程圖及圖式繪示根據本發明之各項實施例之系統、方法及電腦程式產品之可行實施方案之架構、功能性及操作。就此點而言，流程圖或部分圖式中之各部分可表示包括用於實施(若干)所指定之邏輯功能之一或多個可執行指令之程式碼之一模組、片段或部分。亦應注意，在一些替代實施方案中，該部分中所提及之該等功能可不按圖中所提及之順序發生。例如，連續展示之兩個部分可實際上實質同時予以執行，或該等部分有時可按相反順序予以執行，此取決於所涉及之功能性。亦將注意，部分圖式及/或流程圖解說明之各部分以及該等部分圖式及/或流程圖解說明中之若干部分之組合可藉由執行所指定之功能或動作或專用硬體及電腦指令之組合之專用的基於硬體之系統來實施。

在以上描述中，一實施例係本發明之一實例或實施方案。「一項實施例」、「一實施例」、「某些實施例」或「一些實施例」之各種出現並不一定全部指代相同實施例。儘管本發明之各種特徵可在一單一實施例之背景內容中描述，然該等特徵亦可單獨提供或以任何合適組合提供。相反地，儘管為清楚起見本發明在本文中可在單獨實施例之背景內容中描述，然本發明亦可實施於一單一實施例中。本發明之某些實施例可包含來自上文揭示之不同實施例之特徵，且某些實施例可併入來自上文揭示之其他實施例之元件。在一特定實施例之背景內容中之本發明之元件之揭示內容不應被視為將其等使用僅限於特定實施例中。此外，應理解，本發明可以各種方式執行或實踐且本發明可在除上文描述中概述之實施例以外之某些實施例中實施。

本發明並不限於該等圖式或對應描述。例如，流程不需要移動通過各所繪示方框或狀態或依與所繪示及描述完全相同之順序移動通過。除非

另有定義，否則應由本發明所屬之技術之一般技術者常規理解本文中所使用之技術及科學術語之意義。雖然已參考有限數目個實施例描述本發明，但此等實施例不應被解釋為限制本發明之範疇，而是應被解釋為一些較佳實施例之例示。其他可能變動、修改及應用亦在本發明之範疇內。因此，本發明之範疇不藉由目前為止已描述之內容限制，而應由隨附發明申請專利範圍及其等合法等效物限制。

【符號說明】

95	度量目標/目標/度量標記
97	平行邊緣/線邊緣/邊緣
98	所關注區域(ROI)
99	子所關注區域(ROI)/子區域
100	方法
105	階段
110	階段/產生
112	階段
115	邊緣函數
120	階段/新增
130	階段/比較
150	階段
155	階段
160	階段
170	階段
180	階段

182	階段
184	階段
186	階段
190	階段
191	階段
192	階段
194	階段
210	階段
220	階段
230	階段
240	階段
250	階段
260	階段
270	階段

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種度量方法，其包括：

自程序相關線邊緣粗糙度(LER)之參數導出遵守給定量測不確定性規範所需之目標元件之最小尺寸之一估計，

設計一度量目標以具有符合該最小尺寸之該估計之目標設計參數，

估計特性化該程序相關LER之至少一隨機參數之一變動範圍，

根據用於該等度量量度值之一給定量測模型以分析方式或使用模擬導出由估計該變動範圍所引起之一誤差，

使用由估計該變動範圍所引起之該誤差來估計該度量目標之疊對量測之不確定性誤差，其中該不確定性誤差係歸因於該程序相關LER，

基於一單個目標不確定性而估計針對多個量測模型之該不確定性誤差，及

選擇具有遵守一所需規範之該不確定性誤差之該等量測模型之一者，其中該導出或該設計之至少一者係藉由至少一電腦處理器執行。

【第2項】

如請求項1之方法，其中該度量目標具有藉由該等目標設計參數特性化之一週期性結構。

【第3項】

一種電腦程式產品，其包括具有與其一起體現之電腦可讀程式之一

非暫時性電腦可讀儲存媒體，該電腦可讀程式經組態以執行如請求項1之方法。

【第4項】

一種度量模組，其包括如請求項3之電腦程式產品。

【第5項】

一種分段疊對目標，其具有週期性及分段結構，並具有分段參數符合藉由如請求項1之方法導出之最小尺寸之該估計。

【第6項】

一種度量方法，其包括：

藉由以下各項估計藉由掃描電子顯微鏡(SEM)自一臨界尺寸掃描電子顯微鏡(CDSEM)目標導出之CDSEM度量量度值之一LER相關不確定性誤差：

估計特性化該LER之至少一隨機參數之一變動範圍，

根據用於該等度量量度值之一給定量測模型以分析方式及/或使用模擬導出由該變動範圍之估計所引起之一誤差，

使用由該變動範圍之估計所引起之該誤差以估計該LER相關不確定誤差，

基於一單個目標不確定性而估計針對多個量測模型之該LER相關不確定性誤差，及

選擇具有遵守一所需規範之該LER相關不確定性誤差之該等量測模型之一者，

其中該估計、該導出或該使用之至少一者係藉由至少一電腦處理器執行。

【第7項】

如請求項6之方法，其中該多個量測模型包括晶圓模型、晶圓及場級模型及/或場級模型。

【第8項】

如請求項7之方法，其中該多個量測模型包括至少較高階(HO)模型及每曝光之可校正項(CPE)模型。

【第9項】

如請求項6之方法，其進一步包括相對於由該變動範圍之該估計所引起之該誤差判定一對應量測模型之一模型複雜性。

【第10項】

一種電腦程式產品，其包括具有與其一起體現之電腦可讀程式之一非暫時性電腦可讀儲存媒體，該電腦可讀程式經組態以執行如請求項6之方法。

【第11項】

一種度量模組，其包括如請求項10之電腦程式產品。

【第12項】

一種度量方法，其包括：

藉由以下各項估計歸因於LER之光學度量量度值之一不確定性誤差：

估計特性化該LER之至少一隨機參數之一變動範圍，

根據用於該等度量量度值之一給定量測模型以分析方式或使用模擬導出由該變動範圍之估計所引起之一誤差，

使用由該變動範圍之估計所引起之該誤差估計該不確定性誤

差，

基於一單個目標不確定性而估計針對多個量測模型之該不確定性誤差，及

選擇具有遵守一所需規範之該不確定性誤差之該等量測模型之一者，

其中該估計、該導出或該使用之至少一者係藉由至少一電腦處理器執行。

【第13項】

如請求項12之方法，其中該多個量測模型包括晶圓模型、晶圓及場級模型及/或場級模型。

【第14項】

如請求項13之方法，其中該多個量測模型包括至少HO模型及CPE模型。

【第15項】

如請求項12之方法，其進一步包括相對於該不確定性誤差及該所需規範判定一對應量測模型之一最佳模型複雜性。

【第16項】

一種電腦程式產品，其包括具有與其一起體現之電腦可讀程式之一非暫時性電腦可讀儲存媒體，該電腦可讀程式經組態以執行如請求項12之方法。

【第17項】

一種度量模組，其包括如請求項16之電腦程式產品。

【第18項】

一種度量方法，其包括：

藉由以下各項判定隨機雜訊對自施加一經指定度量模型而導出之一給定疊對度量資料集之一影響：

產生隨機合成雜訊之複數個雜訊實現，

將該複數個雜訊實現新增至該給定疊對度量資料集以產生一經修改資料集，及

使用至少一度量量度，比較用於該給定疊對度量資料集之量度值與用於該經修改資料集之量度值，

其中該比較提供一經估計雜訊對該給定疊對度量資料集之影響，且

其中該產生、該新增或該比較之至少一者係藉由至少一電腦處理器執行。

【第19項】

如請求項18之方法，其中該複數個雜訊實現之該產生係使用經量測量結果執行。

【第20項】

如請求項18之方法，其進一步包括藉由以下項估計該雜訊對該經指定度量模型之影響：估計該雜訊對藉由施加該經指定度量模型而導出之多個給定疊對度量資料集之一不確定性之影響。

【第21項】

如請求項18之方法，其進一步包括藉由比較該雜訊對該經指定度量模型之該影響與一所需不確定性規範而最佳化該經指定度量模型之一類型。

【第22項】

如請求項21之方法，其進一步包括導出該經估計雜訊對模型參數之影響之一相依性之一分析表達式。

【第23項】

如請求項22之方法，其中該等模型參數包括至少一樣本大小及用於該經指定度量模型之一所得不確定性規範。

【第24項】

如請求項18之方法，其中該隨機雜訊包括線邊緣粗糙度(LER)性質。

【第25項】

如請求項23之方法，其進一步包括偵測目標元件之線邊緣位置。

【第26項】

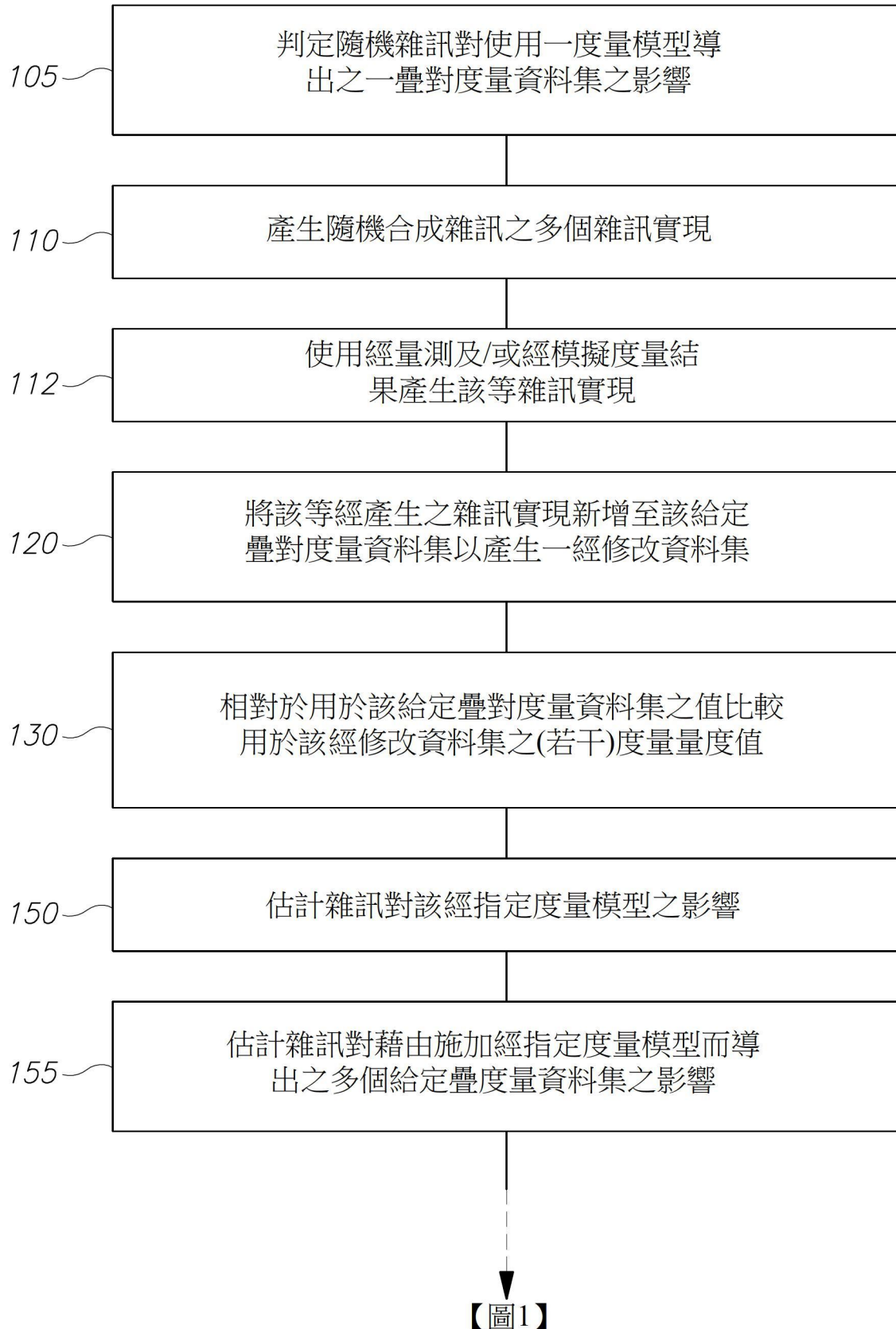
如請求項23之方法，其進一步包括以統計方式分析該LER對邊緣偵測結果之影響。

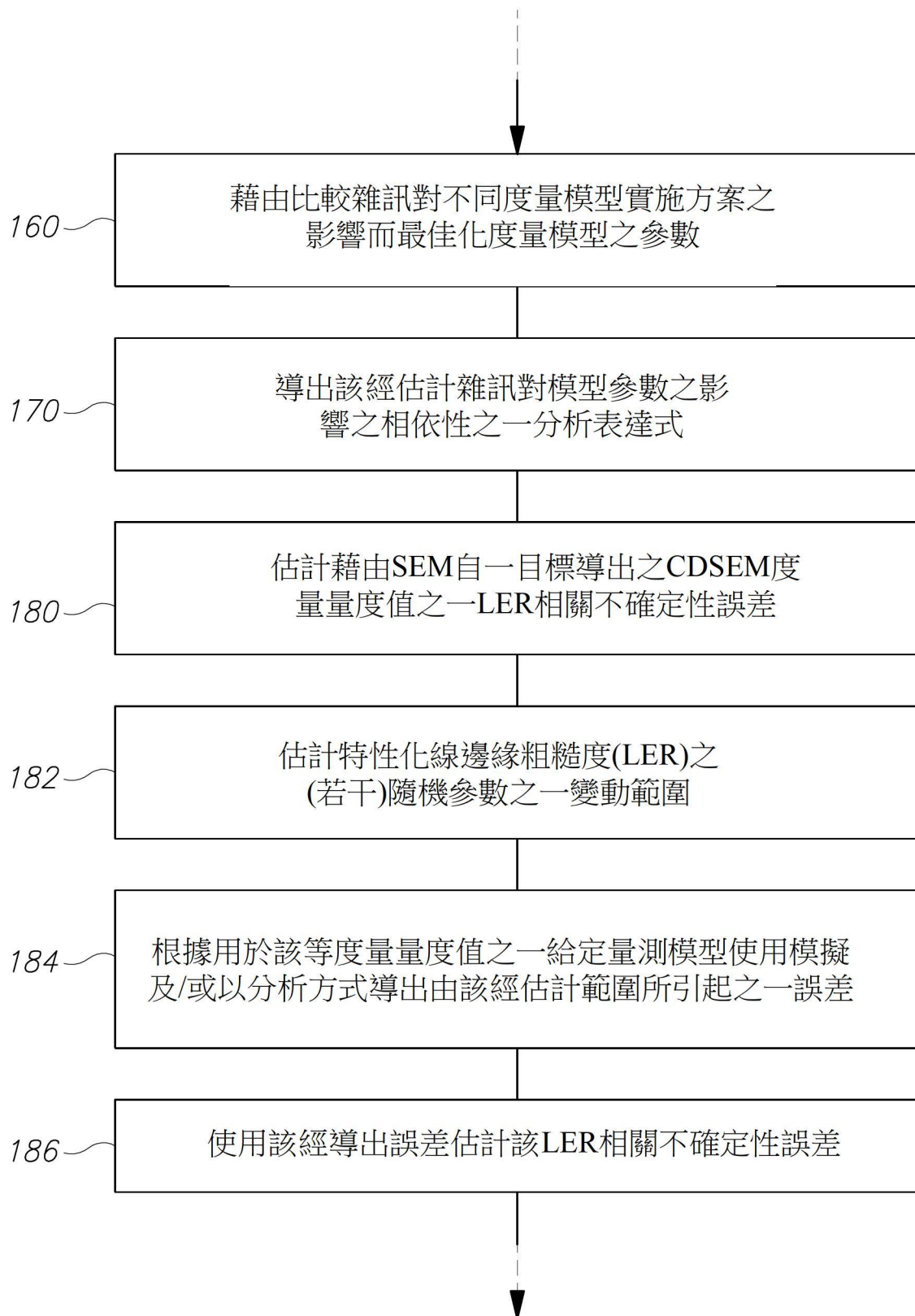
【第27項】

一種電腦程式產品，其包括具有與其一起體現之電腦可讀程式之一非暫時性電腦可讀儲存媒體，該電腦可讀程式經組態以執行如請求項18之方法。

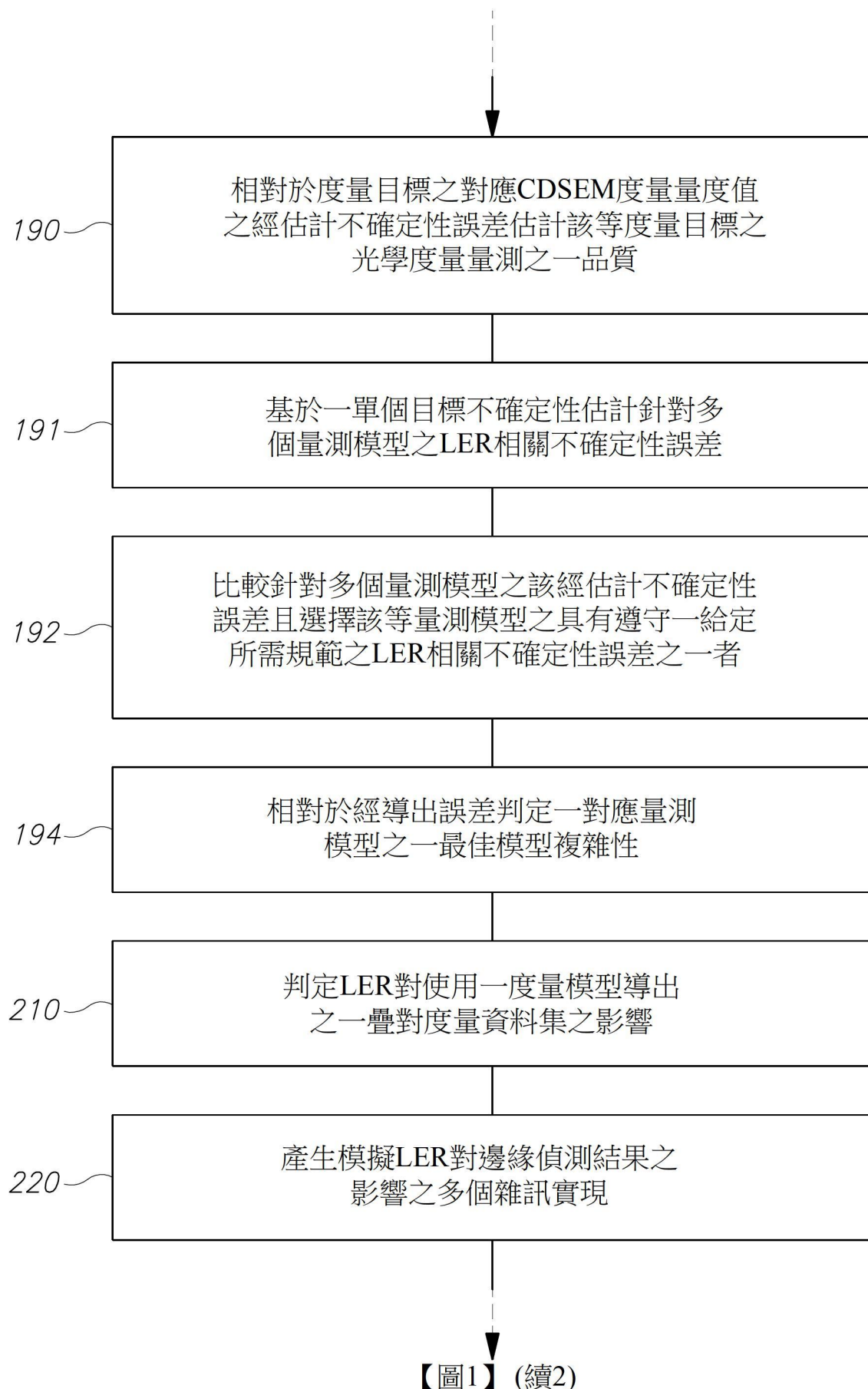
【第28項】

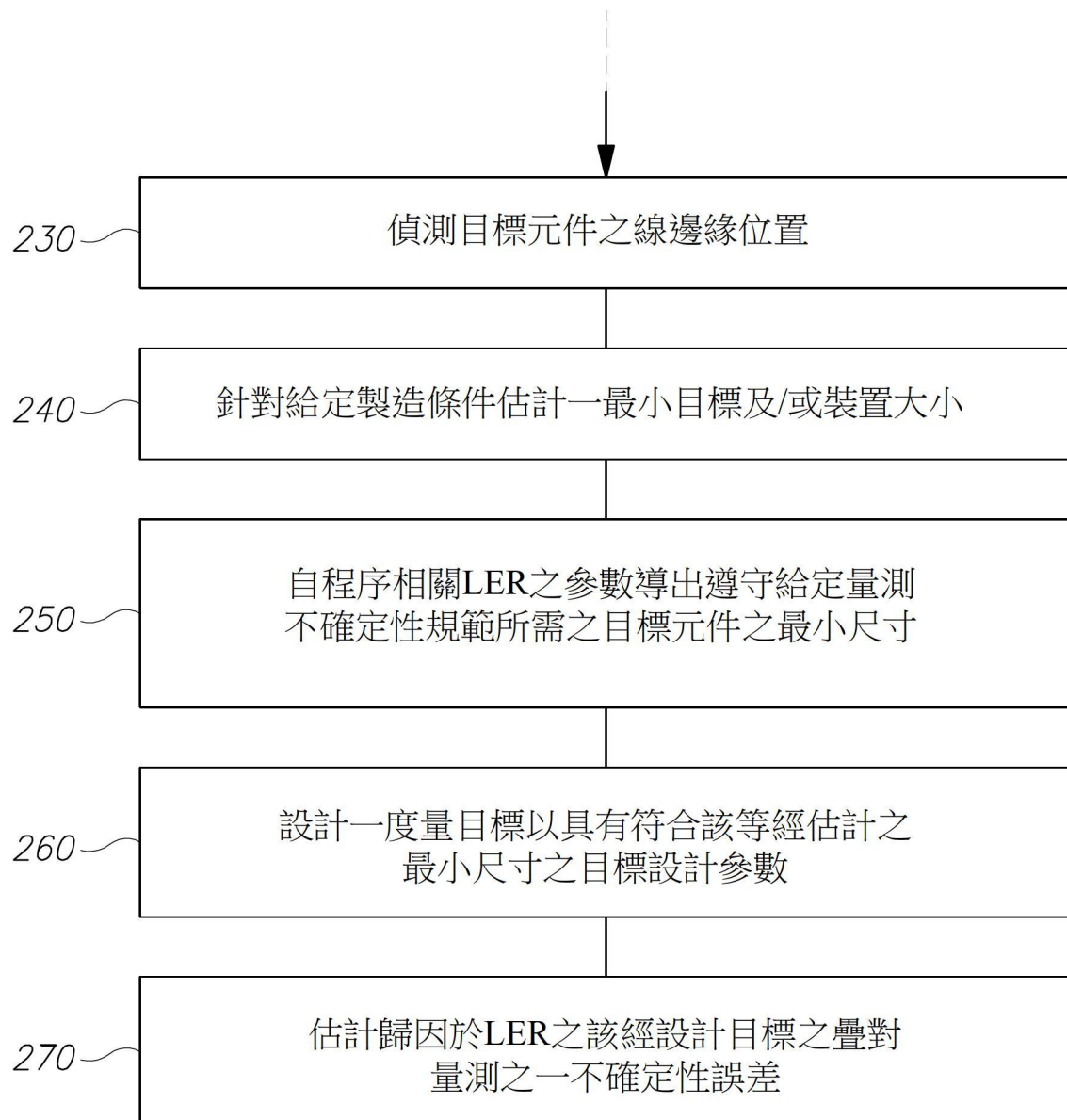
一種度量模組，其包括如請求項27之電腦程式產品。

100

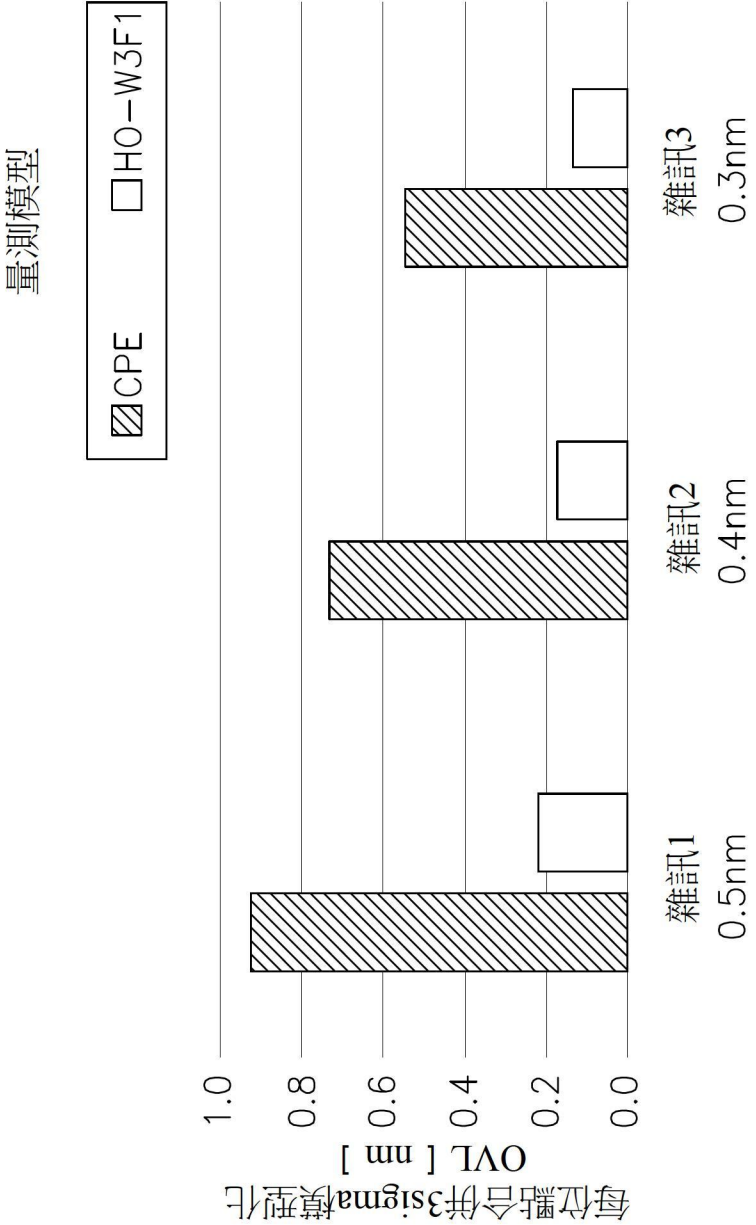


【圖1】 (續1)

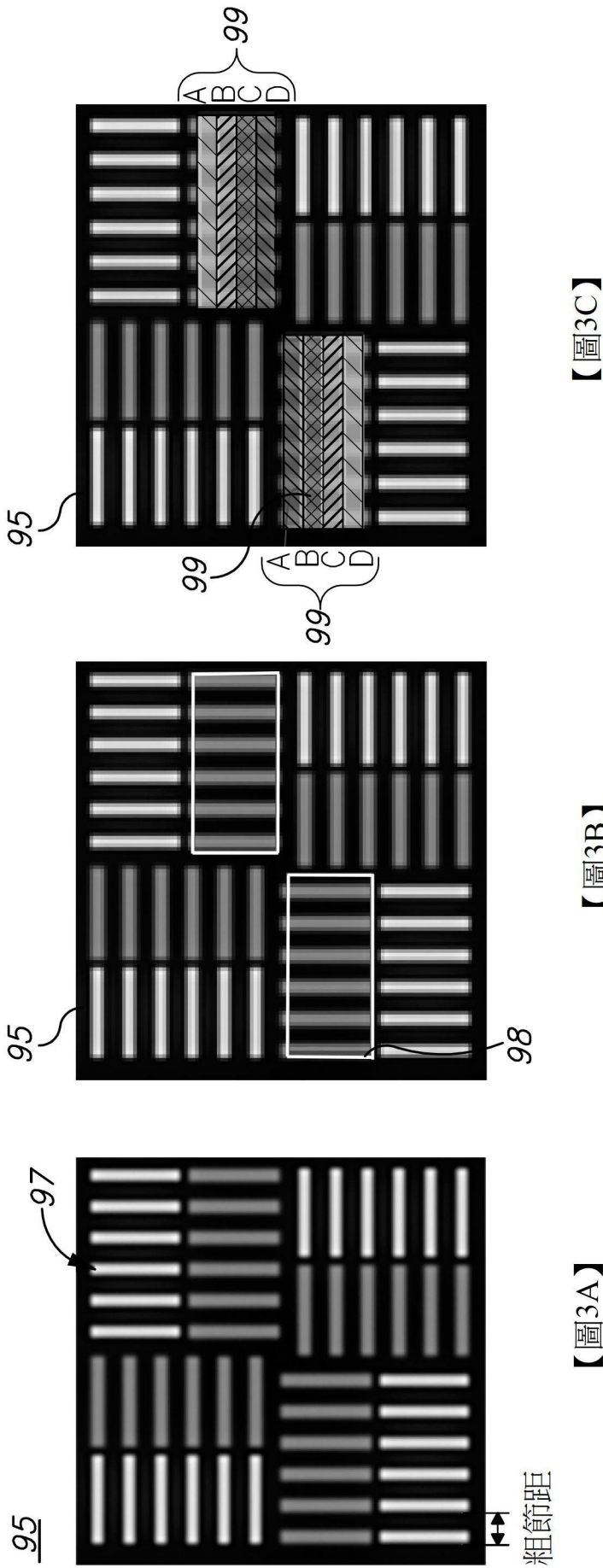


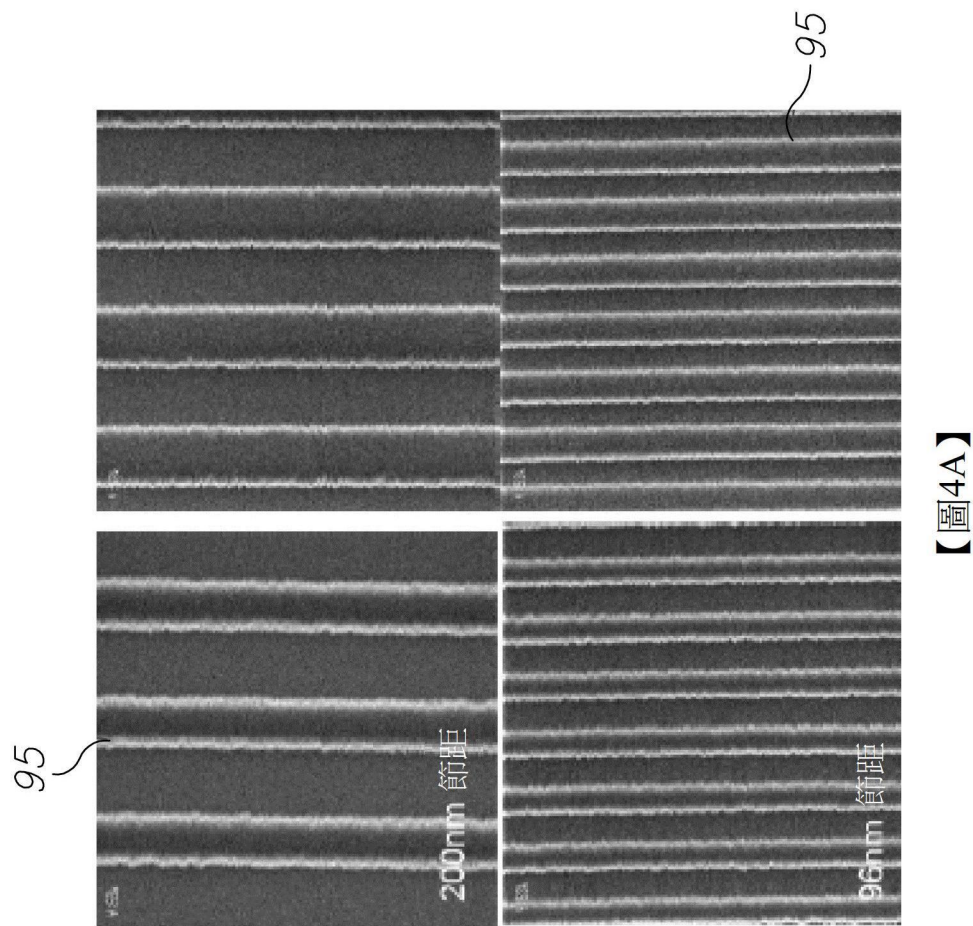


【圖1】(續3)

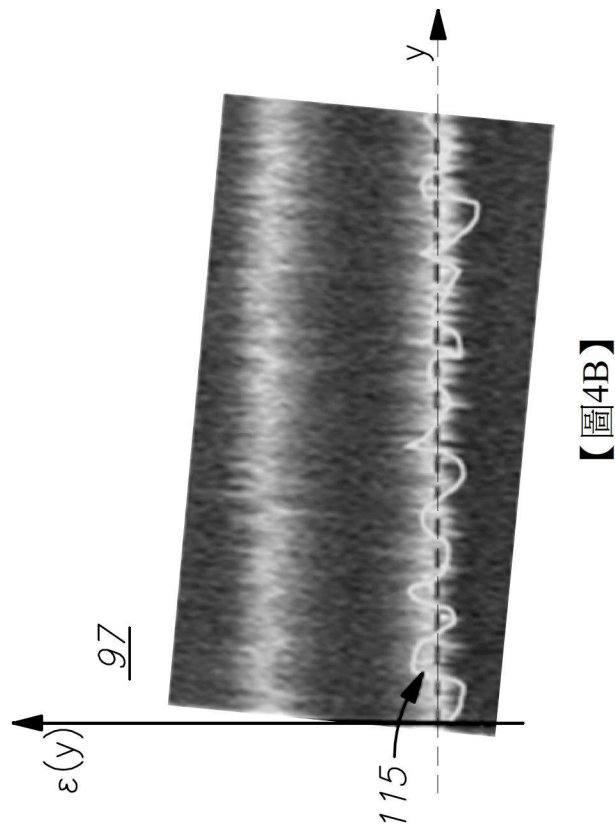


【圖2】





【圖4A】



【圖4B】

