



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201439501 A

(43)公開日：中華民國 103 (2014) 年 10 月 16 日

(21)申請案號：102144629

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 12 月 05 日

(51)Int. Cl. : **G01B15/04 (2006.01)**

H01J37/22 (2006.01)

H01L21/66 (2006.01)

(30)優先權：2012/12/28 日本

2012-287906

(71)申請人：日立全球先端科技股份有限公司 (日本) HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：福田宏 FUKUDA, HIROSHI (JP)

(74)代理人：林志剛

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：22 共 70 頁

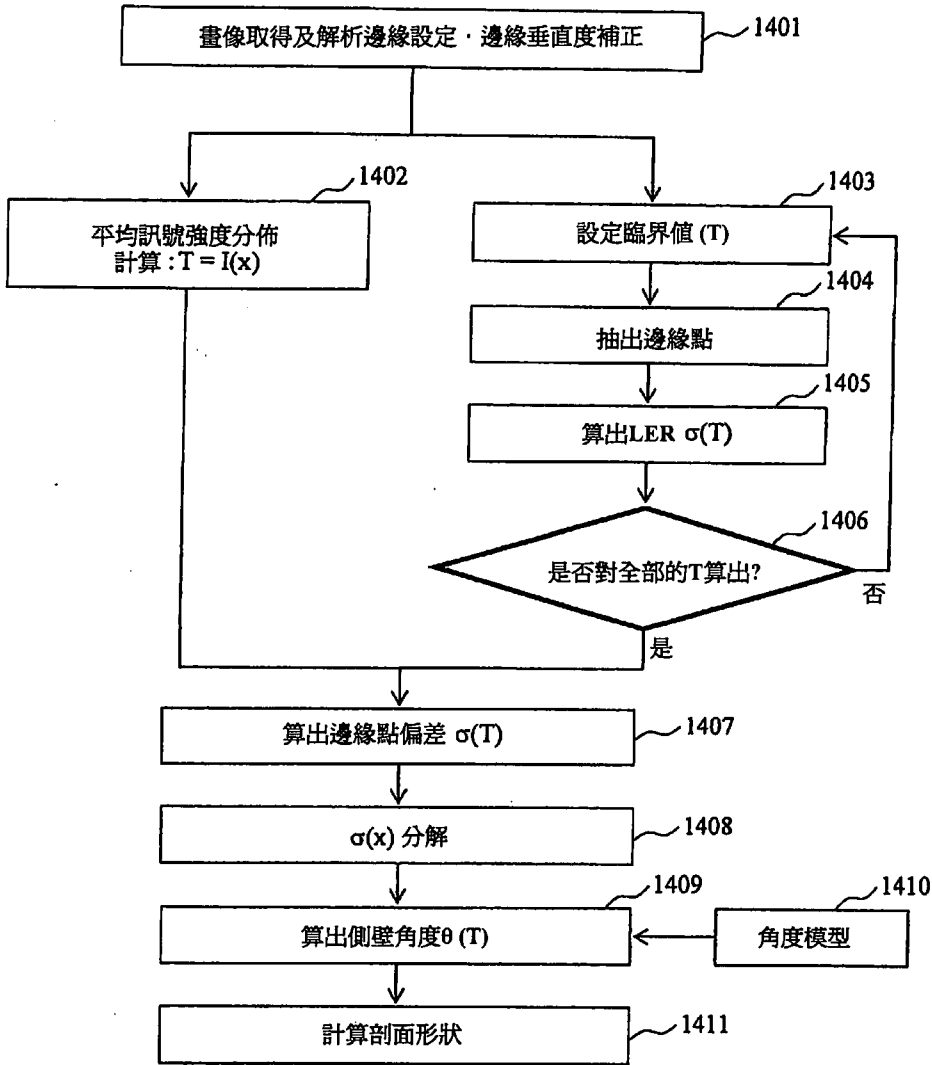
(54)名稱

圖案形狀評價方法、半導體裝置的製造方法及圖案形狀評價裝置

(57)摘要

本發明的課題是只由自晶圓的上方所觀察的電路圖案的平面像來推定評價電路圖案的剖面形狀或3次元形狀。其解決手段，本發明是具有：由與立體的構造體形成於上面的基板的主面大致垂直的方向來照射收斂能量線，且使掃描於上述基板的上面，檢測及/或測定從上述基板及上述構造體發生的2次能量線或藉由上述基板及上述構造體所被反射或散亂的能量線的強度，取得上述構造體的上面觀察像之處理；由上述上面觀察像的收斂能量線的照射位置及所被測定的上述強度來求取上述構造體的表面的凹凸形狀所造成散亂強度的不準確資訊之處理；根據求得的上述不準確資訊來求取上述構造體的表面的傾斜角度 θ 之處理；及根據求得的傾斜角度 θ 來推定上述構造體的立體形狀之處理。

圖 14





(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201439501 A

(43)公開日：中華民國 103 (2014) 年 10 月 16 日

(21)申請案號：102144629

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 12 月 05 日

(51)Int. Cl. : **G01B15/04 (2006.01)**

H01J37/22 (2006.01)

H01L21/66 (2006.01)

(30)優先權：2012/12/28 日本

2012-287906

(71)申請人：日立全球先端科技股份有限公司 (日本) HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：福田宏 FUKUDA, HIROSHI (JP)

(74)代理人：林志剛

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：22 共 70 頁

(54)名稱

圖案形狀評價方法、半導體裝置的製造方法及圖案形狀評價裝置

(57)摘要

本發明的課題是只由自晶圓的上方所觀察的電路圖案的平面像來推定評價電路圖案的剖面形狀或3次元形狀。其解決手段，本發明是具有：由與立體的構造體形成於上面的基板的主面大致垂直的方向來照射收斂能量線，且使掃描於上述基板的上面，檢測及/或測定從上述基板及上述構造體發生的2次能量線或藉由上述基板及上述構造體所被反射或散亂的能量線的強度，取得上述構造體的上面觀察像之處理；由上述上面觀察像的收斂能量線的照射位置及所被測定的上述強度來求取上述構造體的表面的凹凸形狀所造成散亂強度的不準確資訊之處理；根據求得的上述不準確資訊來求取上述構造體的表面的傾斜角度 θ 之處理；及根據求得的傾斜角度 θ 來推定上述構造體的立體形狀之處理。

發明摘要

※申請案號：102144629

G01B 15/04 (2006.01)

※申請日：102年12月05日

※IPC分類：

H01J 37/22 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

圖案形狀評價方法、半導體裝置的製造方法及圖案形狀評價裝置

【中文】

本發明的課題是只由自晶圓的上方所觀察的電路圖案的平面像來推定評價電路圖案的剖面形狀或3次元形狀。

其解決手段，本發明是具有：

由與立體的構造體形成於上面的基板的主面大致垂直的方向來照射收斂能量線，且使掃描於上述基板的上面，檢測及/或測定從上述基板及上述構造體發生的2次能量線或藉由上述基板及上述構造體所被反射或散亂的能量線的強度，取得上述構造體的上面觀察像之處理；

由上述上面觀察像的收斂能量線的照射位置及所被測定的上述強度來求取上述構造體的表面的凹凸形狀所造成散亂強度的不準確資訊之處理；

根據求得的上述不準確資訊來求取上述構造體的表面的傾斜角度 θ 之處理；及

根據求得的傾斜角度 θ 來推定上述構造體的立體形狀之處理。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(14)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

圖案形狀評價方法、半導體裝置的製造方法及圖案形狀評價裝置

【技術領域】

[0001] 本發明是有關例如使用掃描型顯微鏡的非破壞觀察及根據畫像處理之詳細的形狀評價方法，為此的裝置，及採用該技術的半導體裝置的製造方法。

【先前技術】

[0002] 半導體積體電路(LSI)是電路圖案的微細化所產生的高性能化·高集成化日益進步。現在，最前端 LSI 的最小電路圖案的線寬是 30nm(奈米)以下，為了確保 LSI 的性能，需要嚴格管理該等的電路尺寸(例如尺寸的偏差變動的容許值為設計值的一成以下的精度)。在上述電路尺寸的測定目前廣泛使用掃描型電子顯微鏡(SEM)。在非專利文獻 1 中記載有關由上面來觀察晶圓的電路尺寸計測專用的電場放出型電子顯微鏡(CD-SEM：Critical Dimension SEM)。

[0003] 上述 CD-SEM 是除了半導體電路的線寬測定以外，還使用在用以計測各種的特徵量。例如，在上述電路圖案的邊緣存在被稱為線邊緣粗糙度(LER)的凹凸，對

於電路性能造成不良影響爲人所知。CD-SEM 是廣泛使用在上述 LER 的計測，例如在專利文獻 1 是記載有其測定方法。

[0004] 另一方面，要求得知在晶圓上藉由層疊·圖案化所形成的元件構造的立體形狀。特別是在 LSI 的量產工序中，最好不藉由剖面觀察，以非破壞進行，爲此的手法一般使用 AFM 或光學的方法(Scatterometry)。

[0005] AFM 是藉由持微細的前端之探針，以探針前端與試料表面之間的原子間力能夠形成一定的方式掃描，藉此計測試料表面的凹凸形狀之方法。其詳細是例如記載於專利文獻 2。

[0006] Scatterometry 是對持週期性立體構造的圖案射入光，而來測定其反射繞射光的波長或繞射角依存性，與予以預先對於各種的剖面形狀藉由計算所求取的繞射角依存性作比較，藉此推定立體構造的剖面形狀。有關 Scatterometry 是例如記載於非專利文獻 2。

[0007] 與 Scatterometry 類似的手法，利用 SEM 來推定剖面形狀的方法，有 MBL(model-based library)法。MBL 法是藉由比較：對試料掃描收斂電子射束而取得的 2 次電子檢測訊號強度分佈，及預先對於各種的剖面形狀藉由計算所求取的 2 次電子訊號強度分佈，而推定立體構造的剖面形狀。有關 MBL 是例如記載於專利文獻 3 或非專利文獻 3。

[0008] 並且，使用 SEM 來測定立體構造的方法，有

tilt-SEM。此方法是藉由立體畫像的原理，從由不同的角度對晶圓射入電子線而取得的複數的像來推測 3 次元形狀。有關 tilt-SEM 是例如記載於專利文獻 4。

[先行技術文獻]

[專利文獻]

[0009]

[專利文獻 1]日本特開 2006-215020 號公報

[專利文獻 2]日本特開 2009-257937 號公報

[專利文獻 3]日本特開 2007-227618 號公報

[專利文獻 4]日本特開 2005-183369 號公報

[非專利文獻]

[0010]

[非專利文獻 1]Hitachi Review vol.60 (2011), No.5
pp.203-209

[非專利文獻 2]Solid State Technology, Vol.54, Issue
8, (2011)

[非專利文獻 3]Proceedings of SPIE Vol. 5375 (SPIE,
Bellingham, WA, 2004) Dimensional Metrology of Resist
Lines using a SEM Model-Based Library Approach

【發明內容】

(發明所欲解決的課題)

[0011] 就半導體積體電路(LSI)的製造工序而言，在

預定的設計範圍內管理電路圖案或用以形成電路圖案的阻劑層圖案等的剖面形狀或 3 次元形狀為重要。以該等的形狀能夠成爲設計值般的方式設定製造條件，或形狀劣化時，需要儘速地予以檢測，反饋給製造製程，藉此抑制品質劣化。

[0012] 但，至目前爲止，有可非破壞，高精度且簡便地計測任意形狀的微細的電路圖案的剖面形狀或 3 次元形狀的手法不存在的技術課題。例如 CD-SEM 雖可非破壞，高精度且簡便地計測任意形狀的微細的電路圖案的尺寸，但因爲由晶圓的上方來觀察電路的平面形狀，所以有剖面形狀的推定困難的技術課題。

[0013] 於是，一般是使用破壞晶圓來露出電路圖案的剖面而以電子顯微鏡來觀察其剖面形狀的手法。可是，對於製品晶圓，難適用此手法。如此，可想像以往使用 CD-SEM 的剖面形狀的推定困難，而嘗試前述那樣的各種的方法。

[0014] 但，其任一個方法皆會有以下那樣的技術上的課題。

例如就 AFM 的方法而言，隨電路圖案的尺寸縮小，探針無法進入圖案間，而有形狀測定困難的課題。

[0015] 並且，scatterometry 或 MBL 的方法，需要準備預先藉由計算來求取對於各種的剖面形狀所預想的測定結果作爲資料庫(library)。但，此需要膨大的計算，有可適用的形狀限於梯形等比較單純形狀的課題。特別是

scatterometry 的方法，被計測圖案被限定在數十微米正方的廣領域內一樣存在的週期圖案，因此難以推定論理 LSI 的電路之類不規則性的圖案的剖面形狀。並且，同方法有爲了計測圖案而必須確保專用的廣領域之課題。

[0016] 並且，就使用 tilt-SEM 的方法而言，需要用以使收斂電子線的入射角變化的特殊電子光學系，一般會有分解能等的性能劣化等的課題。並且，爲了將平台傾斜，也存在裝置大型化的課題，計測需要時間的課題等。

[0017] 於是，本發明提供一種可一面只利用來自使用荷電粒子線裝置所取得的基板的上面的觀察像，一面以非破壞且高精度來推定基板的上面所被形成的任意的構造體的剖面形狀之技術。

(用以解決課題的手段)

[0018] 爲了解決上述課題，例如採用申請專利範圍記載的構成。

作爲一例的發明是具有：

(a)由與立體的構造體形成於上面的基板的主面大致垂直的方向來照射收斂能量線，且使掃描於上述基板的上面，檢測及/或測定從上述基板及上述構造體發生的 2 次能量線或藉由上述基板及上述構造體所被反射或散亂的能量線的強度，取得上述構造體的上面觀察像之處理；

(b)由上述上面觀察像的收斂能量線的照射位置及所被測定的上述強度來求取上述構造體的表面的凹凸形狀所

造成散亂強度的不準確資訊之處理；

(c)根據求得的上述不準確資訊來求取上述構造體的表面的傾斜角度 θ 之處理；及

(d)根據求得的傾斜角度 θ 來推定上述構造體的立體形狀之處理。

[發明的效果]

[0019] 若根據本發明，則可只由基板的上部觀察像來推定評價形成於基板的上部的構造體的剖面形狀或 3 次元形狀。前述以外的課題，構成及效果是可藉由以下的實施形態的說明來明確得知。

【圖式簡單說明】

[0020]

圖 1 是說明電子顯微鏡的觀察像形成過程的概念圖。

圖 2 是表示被觀察構造體的特徵的概念圖。

圖 3 是用以說明本發明的原理的概念圖。

圖 4 是表示用以說明第 1 實施形態的試料的剖面形狀的特徵的模式圖。

圖 5 是模式性地表示對於圖 4 所示的各試料之計測結果的特性圖。

圖 6 是模式性地表示對於圖 4 所示的各試料之計測結果的別的特性圖。

圖 7 是表示畫像雜訊的影響的特性圖。

圖 8 是表示對於圖 6 所示的計測結果之解析結果的特性圖。

圖 9 是表示構造體表面的傾斜角度與邊緣檢測點變動幅度的關係的原理圖。

圖 10 是用以說明求取構造體表面的傾斜角度與邊緣檢測點變動幅度的關係的別的原理圖。

圖 11 是表示構造體側面的變動對於射入離側面比較遠的點的電子線的檢測訊號強度影響的模式圖。

圖 12 是表示對於圖 6 所示的計測結果之解析結果的別的特性圖。

圖 13 是用以表示對於圖 4 所示的各試料之剖面形狀的推定結果的特性圖。

圖 14 是說明第 1 實施形態的處理程序的流程圖。

圖 15 是表示使用在第 1 實施例的裝置的構成例的模式圖。

圖 16 是第 2 實施例之 3 次元形狀推定方法的模式圖。

圖 17 是第 3 實施例之製程監視器的模式圖。

圖 18 是表示被觀察構造體的特徵例的別的概念圖。

圖 19 是用以說明第 2 實施形態的處理程序的流程圖。

圖 20 是用以說明第 2 實施形態之解析結果的特性圖。

圖 21 是用以說明第 5 實施例的概念圖。

圖 22 是用以說明第 5 實施例的概念圖。

【實施方式】

[0021] 以下，根據圖面來說明本發明的實施形態。另外，本發明的實施形態並非限於後述的形態例，亦可在其技術思想的範圍內實施各種的變形。例如在以下的說明是說明有關利用電子顯微鏡來觀察試料時，但有關利用集束離子束裝置等其他的荷電粒子線裝置來觀察試料時或加工時也可同樣適用。

[0022]

(3 次元形狀觀察像的邊緣變動要因及其成分分解)

首先，利用圖 1 來說明在本發明所使用的電子顯微鏡之觀察像的形成過程。爲了單純化，可想像在基板面上所被形成的大致立方體狀的構造體(例如半導體或阻劑層圖案等)。將基板面設爲 x - y 平面，且將構造體的邊緣的延伸的方向(邊緣方向)設爲 y 方向。從與上述基板面大致垂直的方向(z 方向)來將比上述構造體的特徵尺寸更充分細之被收斂的電子線照射於基板上，且在基板上掃描於與上述邊緣方向大致垂直的方向(x 方向)。射入上述基板或構造體的電子是在基板或構造體內部接受散亂而放出 2 次電子，或直接反射(或後方散亂)，將其一部分朝基板或構造體的外部放出。上述 2 次電子或反射電子(以下稱爲「2 次電子等」)的放出量是在電子線射入至凸形狀的凸部(或角的上部)時增大。

[0023] 於是，以檢測器來檢測出在電子線的掃描中所被放出的上述 2 次電子等，若對於掃描方向的電子線的照射位置 x 繪製其檢測強度，則可取得圖 1 的下段所示那樣的 2 次電子等的檢測訊號強度分佈。一般，根據以檢測訊號的最大值來規格化檢測訊號強度分佈時的預定的臨界值水準突破時的位置、或檢測訊號強度分佈的傾斜成爲最大的位置等來決定圖案及非圖案的境界。由 2 個圖案境界位置間的距離來計測圖案尺寸。並且，在邊緣方向 (y 方向) 的不同的位置進行掃描，藉由連結求取的圖案/非圖案境界來取得圖案的邊緣形狀。通常，如此取得的邊緣形狀是沿著邊緣方向來呈凹凸狀。將此凹凸的大小稱爲線邊緣粗糙度。本發明者藉由考察上述粗糙度的原因，思考由包含與圖案邊緣平行的方向及垂直的方向的平面 (以下稱爲「基板面」) 內的檢測訊號強度分佈來推定與上述基板面垂直的方向的圖案的立體形狀之方法。

[0024] 上述的線邊緣粗糙度，一般可想像是起因於圖 2 的上段圖 (a) 所示那樣的構造體的邊緣位置的偏差者。實際的構造體並不是立方體，其側壁是如圖 2 的上段圖 (a) 所示般傾斜，或如圖 2 的中段圖 (b) 所示般在表面具有凹凸 (表面粗糙度)。可想像檢測訊號強度分佈是受傾斜角的變化或表面的凹凸的影響。

[0025] 有關 y 方向若由以一定的取樣間隔所規定的開始點來掃描電子線於 x 方向而計測 2 次電子檢測訊號強度，則可取得圖 2 的下段圖 (c) 所示那樣的 2 次電子檢測訊

號強度的 2 次元分佈。在此，2 次電子檢測訊號強度的 2 次元分佈是可想像成受到(1)構造體的立體形狀及材料特性所引起的強度變化，(2)沿著邊緣方向的構造體的 x 方向位置變動所產生的強度分佈的變動，(3)構造體表面的凹凸所引起的強度分佈的變動的 3 個要因的影響。

[0026] 於是，將該等的 3 個要因分解思考。首先，將 y 座標固定，針對在 xz 平面切斷圖案時的剖面形狀，及對應於該形狀的 1 次元訊號強度分佈來思考。此情況，圖 2 的中段圖(b)的構造體是可想像成具有在圖 3 的上段圖(a)的左側模式性地顯示那樣的巨視(macro)的圖案構造的表面重疊有在圖 3 的中斷圖(b)的左側模式性地顯示那樣的微視(micro)的表面的凹凸構造之形狀。顯示在圖 3 的下段圖(c)的左側重疊有巨視圖案及微視圖案的圖像。

[0027] 如前述般，2 次電子放出量是一旦電子線射入凸部則會增大，相反的一旦電子線射入凹部則會減少。因此，若觀察圖案全體的巨視的構造，則圖案的上部角部是凸形狀，因此訊號強度會朝上部角部而增大(圖 3 的上段圖(a)的右側)。另一方面，若觀察微視的構造，則當射入存在於圖案表面的凹凸的凸部時，訊號強度增大(圖 3 的中段圖(b)的右側)。因此，對應於此，2 次電子訊號強度分佈是成為在對應於巨視的圖案構造的大的峰值狀分佈(圖 3 的上段圖(a)的右側)重疊有對應於表面凹凸構造的細小的訊號變動(圖 3 的中段圖(b)的右側)的分佈(圖 3 的下段圖(c)的右側)。但，在構造體的側面，因為相對於凹凸

的電子線的入射角度會變化，所以要留意凹凸所產生的訊號變動也會變化。

[0028] 在此，由 y 方向的某位置來思考有關 x 方向的 2 次電子訊號強度的分佈。可想像上述表面凹凸是隨機產生，因此對應的訊號強度分佈也由圖 3 的下段圖(c)的右側的實線像一點虛線那樣持不確實性而不一致。就測長 SEM 而言，通常是以在某臨界值切斷所取得的 2 次電子訊號強度分佈時的 x 座標作為邊緣座標檢測出。

[0029] 可是，一旦改變臨界值，則對應於構造體的不同的高度位置 z 之複數的邊緣會被檢測出。上述邊緣座標是持不確實性而變動，其變動量 σ 的特徵是成為臨界值的函數。亦即，成為構造體的不同的高度位置 z (或與邊緣垂直方向的位置 x)的函數。

[0030] 在後述的第 1 實施形態是說明有關由上述函數的特徵來推定構造體的立體(剖面)形狀 $z(x)$ 的手法。並且，在第 2 實施形態是說明有關利用 2 次元訊號強度分佈來推定 2 次元立體形狀的手法。另外，第 2 實施形態的詳細是在後述的實施例 4 說明。

[0031]

(第 1 實施形態)

以下，說明有關本發明的第 1 實施形態的構造體的立體(剖面)形狀推定方法的詳細。以下是以具有圖 4 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)所示的剖面輪廓的 3 種類的試料 A、B 及 C 作為解析對象。

[0032] 首先，藉由 CD-SEM 來取得具有前述 3 種類的剖面輪廓的構造體的上部觀察畫像，在解析領域指定上述構造體的邊緣部。在對象邊緣，選擇設計上的直線部分，將沿著上述直線的方向設為 y 方向。

[0033] 其次，將邊緣檢測時的臨界值 T 改變成各種而檢測出邊緣，求取邊緣點列 $\{x_i(T)\}$ ($i=1, 2, \dots, n$) 作為 T 的函數，計算來自上述點列的平均邊緣位置 $\langle x(T) \rangle$ 的偏差 $\sigma^2(T) = \sum [x_i(T) - \langle x(T) \rangle]^2$ 。其次，若對於臨界值 T 繪製 $\sigma(T)$ ，則可取得圖 5 的上段圖 (a)，中段圖 (b) 及下段圖 (c)。如前述般，各段所示的點列是對應於圖 4 之具有同段的剖面輪廓的構造體。

[0034] 一般，檢測訊號強度的 x 方向分佈 $I(x)$ 是在構造體的邊緣附近具有峰值。例如若觀察阻劑層線圖案等在某寬度 W 具有凸構造的所謂的線圖案，則分別對應於圖 4 所示的各圖案的左右邊緣，出現 2 個的強度峰值。亦即，若觀察一方的邊緣，則對於同臨界值 T ，在檢測訊號強度的分佈峰值的兩側可取得 2 個的邊緣檢測點。因此， $\sigma(T)$ 是分別對於上述峰值的構造體的內側及外側來個別求取。

[0035] 一般，在構造體的外側(空間側)是以從外側強度慢慢地增大而到達預定的臨界值的點的 x 座標作為邊緣位置。另一方面，在構造體的內側(線側)是以從內側強度慢慢地增大而到達預定的臨界值的點的 x 座標作為邊緣位置，由該等的值來求取 $\sigma(T)$ 。另外，一旦圖案寬度 W 極

端地變小，則相對於左右的邊緣的上述峰值會重疊，對於 1 條的線圖案，1 個的峰值會被觀察到。此情況，臨界值與 x 座標是對應於 1 對 1。

[0036] 其次，在解析領域內，求取檢測訊號強度的分佈 $I(x)$ 的 y 方向的分佈 $\langle I \rangle(x)$ ，使各臨界值 T 對應於檢測訊號強度成爲 $\langle I \rangle(x) = T$ 的特定的 x 座標。藉此，將作爲臨界值 T 的函數之偏差 $\sigma(T)$ 變換成作爲 x 的函數之偏差 $\sigma(x)$ 。此時，對於上述峰值的構造體的外側/內側的 x 之偏差 $\sigma(T)$ 是使對應於各構造體的外側/內側的 x 。若將偏差 $\sigma(x)$ 與檢測訊號強度分佈 $\langle I \rangle(x)$ 一起繪製，則成爲圖 6 所示的特性圖。圖 6 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)所示的特性圖是皆對應於圖 4 之具有同段的剖面輪廓的構造體。圖 6 的各圖是表示對於射入位置 x 的電子線取得的平均的邊緣位置的檢測邊緣變動。

[0037] 膜減少大，且具有順錐形形狀的試料 A 的情況(圖 4 的上段圖(a))，偏差 $\sigma(x)$ 是在構造體的外側下部的平坦面大，一旦射入電子線接近邊緣，則急劇地減少，而成爲最小值，然後，朝構造體的中心慢慢地增大，在構造體的上部的平坦面附近取極大。

[0038] 另一方面，具有大致垂直或稍微逆錐形形狀的側壁，且膜減少小的試料 B(圖 4 的中段圖(b))，試料 C(圖 4 的下段圖(c))，偏差 $\sigma(x)$ 是取最小值後，急劇地增大而取台地狀的峰值，一旦減少後，朝構造體的中心慢慢地增大，在構造體的上部的平坦面附近成爲極大。上述峰

值的高度是持逆錐形狀側壁的試料 C 較稍微大。

如此的分佈形狀的差異可想像是反映剖面輪廓的不同者。

[0039] 其次，說明有關偏差 $\sigma(x)$ 的形狀所持的意義。

首先，在解析領域內部，對應於平均檢測訊號強度分佈 $\langle I \rangle(x)$ ，考量平均剖面輪廓 $\langle Z \rangle(x)$ ，以次式來表示實際的構造體的 3 次元形狀 $Z(x, y)$ 。

[0040]

[數 1]

$$Z(x, y) = \langle Z \rangle (x + \Delta x(y)) + \Delta Z(x, y) \quad (\text{式 1})$$

[0041] 亦即，實際的 3 次元形狀 $Z(x, y)$ 可想像是使平均剖面輪廓 $\langle Z \rangle(x)$ 按照邊緣點位置 y 來 $\Delta x(y)$ 移動於 x 方向，且對剖面輪廓賦予變動 $\Delta Z(x, y)$ 者。在此， $\Delta x(y)$ 是按各 y ，例如以 $|\Delta Z(x, y)|$ 的 x 方向積分值能夠形成最小的方式決定。

[0042] 其次，對應於上述表現，實際被觀察的檢測訊號強度的 3 次元分佈也可如其次般表示。

[數 2]

$$I(x, y) = \langle I \rangle (x + \Delta x(y)) + \Delta I(x, y) + \Delta \text{noise}(x, y) \quad (\text{式 2})$$

[0043] 在此， $\Delta I(x, y)$ 是對應於 $\Delta Z(x, y)$ 而因偏離剖面輪廓的平均之偏差所產生的項。 $\Delta \text{noise}(x, y)$ 是重疊於實際的檢測畫像之隨機的檢測雜訊，其振幅是不依位置·畫像。 $\Delta x(y)$ 是按各 y ，例如以 $|\Delta I(x, y)|^2$ 的 x 方向的邊

緣附近的積分值能夠形成最小的方式決定。

[0044] 而且，對應於上述表現，偏離所被檢測出的邊緣點列的平均之偏差 $\sigma(x)$ 也可分割成上述各項所引起的成分。

[數 3]

$$\sigma_{\text{measured}}(x)^2 = \sigma_y(x)^2 + \sigma_{xz}(x)^2 + \sigma_{\text{noise}}(x)^2 \quad (\text{式 3})$$

[0045] 在此， σ_{measured} 是計測結果。 σ_y 是按各 y ，將其剖面最合於平均剖面輪廓時的構造體的邊緣位置的偏差所引起的成分。 σ_{xz} 是構造體的剖面形狀的變化所引起的成分。 σ_{noise} 是起因於檢測(畫像)雜訊的邊緣檢測誤差所引起的成分。

[0046]

(邊緣變動成分的分解方法的詳細)

其次，針對上述分解成 4 個成分的方法來說明所被計測的邊緣變動值 σ_{measured} 。以下，說明有關各成分。

[0047] 構造體的邊緣位置的 y 方向的變動，一般其空間頻率特性是按照 $1/f$ 特性，相對的，表面凹凸所引起的計測偏差及檢測雜訊可想像其空間頻率特性為隨機。於是， σ_y 是想像成對於 y 方向的空間頻率 f 具有 $1/f$ 特性的成分(為了方便起見稱為「真的 LER」)。

[0048] 另外，有關將沿著邊緣來測定的 x 方向的邊緣點檢測位置的偏差分解成具有 $1/f$ 特性的成分及除此以外的成分的方法是在專利文獻 1 中說明。在此，LER 成分的分解是可按各臨界值進行或對於某代表性的臨界值 T 進

行。

[0049] 真的 LER 是構造體的邊緣位置本身的 y 方向的變動。因此，對於改變臨界值 T 而求取的計測結果是可想像成大致共通。因此，後者的想法亦為合理。

[0050] σ_{noise} 是依存於訊號強度分佈的傾斜。在圖 7 顯示在對於平滑平坦面取得的畫像中，於 1 次元(x)方向加上強度梯度，求取對於平均水準的臨界值取得的邊緣點的變動之結果。如圖 7 所示般，一旦檢測訊號的強度梯度增加，則 σ_{noise} 會變小。 $\sigma_{\text{noise}}(x)$ 是可由圖 7 來求取對於平均檢測強度分佈的位置 x 的梯度之 σ_{noise} ，藉此計算。

[0051] 若自計測結果 σ_{measured} 除去 σ_y 及 σ_{noise} 的貢獻，則可求取 σ_{xz} 。

在此，對於具有圖 4 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)所示那樣的剖面輪廓之試料 A、B 及 C 計算 σ_y 及 σ_{noise} ，且將設想結果 σ_{measured} 分解成 σ_y ， σ_{noise} ， σ_{xz} 的結果顯示於圖 8 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)。由圖 8 可知，當剖面輪廓為逆錐形形狀時，在 σ_{xz} 出現顯著的峰值。

[0052] 以下，為了考察顯著的峰值所發生的原因，而將表面的凹凸對檢測訊號強度分佈的影響分類成其次的 2 種。

[0053]

[分類 1]

就此分類而言，電子線是想像最初射入順錐形面。此時，在構造體內部散亂後，再度出構造體外而被檢測出的電子數是可想像受到順錐形面上的射入位置的極附近的凹凸圖案的影響。

[0054]

[分類 2]

就此分類而言，電子線是想像射入離開邊緣點的構造體上部的比較平坦的面。此時，在構造體內部散亂的電子的一部分會從構造體的側面或逆錐形面往構造體的外部脫出，被測出。此時，脫出至外部的電子是受側面的凹凸圖案的影響。如此從與射入面不同的面脫出至外部的電子是其絕對數少。但，由於藉由表面散亂而被檢測出的電子數也比較少，因此可想像受側面的凹凸圖案的影響之電子對順錐形面的檢測結果之影響可無視。

[0055] 此影響是在構造體內部的電子線進入長的範圍，依存於垂直或逆錐形面的面積，垂直或逆錐形面高度越大則越大。並且，其影響是及於射入離構造體的邊緣靠內部的比較廣的領域之電子線。

[0056] 可見於圖 8 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)的 σ_{xz} 的峰值是在具有垂直或逆錐形的側面的構造體中，可見電子線射入構造體的上部平坦面的情況。由此情形可想像出現於構造體的上部平坦面的 σ_{xz} 的峰值是起因於分類 2。

[0057] 於是，以將 σ_{xz} 分解成以下的 2 個成分的

(式 4)來表示：

(1)電子線射入點附近的順錐形面上的凹凸圖案的影響

： σ_{xz_near}

(2)離電子線射入點比較遠的大略垂直或逆錐形面上的凹凸圖案的影響

： σ_{xz_far}

[數 4]

$$\sigma_{xz}^2 = \sigma_{xz_near}^2 + \sigma_{xz_far}^2 \quad (\text{式 4})$$

[0059] 以下，更說明有關上述(1)及(2)的成分的詳細。

首先，思考有關對射入具有凹凸圖案的順錐形面的電子線的散亂之凹凸的影響(上述(1)的成分)。在某一定角度的傾斜面存在正弦波狀的凹凸，射束射入凹部或凸部的中心(圖 9 的上段圖(a)的點 P)。若使凹凸的相位對於射束的射入位置 180 度變化，則檢測位置會在相位的±方向變動 1 週期量。例如，當射束射入凹部的中心時，檢測位置是在相位的+方向產生最大的偏差，當射束射入凸部的中心時，檢測位置是在相位的-方向產生最大的偏差。

[0060] 以下，為了使說明形成簡單，而如圖 9 的上段圖(a)所示般，想像平均的傾斜角 θ 為一定，且沿著其表面而具有持凹凸圖案的側壁形狀之構造體的平均側壁面上的點 P。在點 P 上存在代表週期 L 的表面凹凸的凸部中心時，當電子朝點 P 射入時，所被檢測出的訊號強度的增加

部分成爲最大，邊緣檢測位置的移動量在 - 方向成爲最大。相反的，在點 P 上存在表面凹凸的凹部中心時，所被檢測出的訊號強度的減少部分成爲最大，邊緣檢測位置的移動量在 + 方向成爲最大。

[0061] 此時，根據凹凸之邊緣的檢測位置的移動量是依據凸部中心的 x 座標位置來決定，其變動振幅 Δx 是形成上述 2 個例子的凸部中心間的 x 方向距離。因此，若將側壁面上的凹凸週期設爲 L(亦即，上述 x 方向的距離是 L/2)，檢測位置是以圖 9 的中段圖(b)來決定，則邊緣的檢測位置的變動幅度 ΔX 是可藉由凹凸週期 L，側壁傾斜面的角度(傾斜角) θ 來推定成次式那樣。

[0062]

[數 5]

$$\Delta X = L/2 \cdot \cos \theta \quad (\text{式 5})$$

[0063] 相對於此，檢測位置若以圖 9 的下段圖(c)決定，則邊緣的檢測位置的變動幅度 ΔX 是可藉由高度 H，側壁傾斜面的角度(傾斜角) θ ，如其次式般推定。

[0064]

[數 6]

$$\Delta X = H \cdot \sin \theta \quad (\text{式 6})$$

[0065] 一般，在傾斜角 θ 比較小的領域是式 5 成爲支配性，在傾斜角 θ 比較大的領域是式 6 成爲支配性。實際上，傾斜角 θ 是可想像依存於側面的凹凸週期與高度的雙方。因此，藉由加算兩式，可推定邊緣檢測位置的變動

幅度 ΔX 。

[0066]

[數 7]

$$\Delta X = L/2 \cdot \cos \theta + H \cdot \sin \theta$$

或

$$\Delta X^2 = (L/2 \cdot \cos \theta)^2 + (H \cdot \sin \theta)^2 \quad (\text{式 7})$$

[0067] 而且，邊緣檢測位置的變動幅度 ΔX 與傾斜面的傾斜角 θ 的關係是亦可利用表面凹凸之電子線訊號的強度變動量依存於電子線對於表面的入射角的特性來求取。

[0068] 例如藉由模擬來計算在表面具有適當的週期 L 或高度 H 的凹凸之平面(圖 10 的上段圖(a1))照射·掃描各種的入射角度的電子線時的檢測訊號強度分佈(圖 10 的上段圖(a2))。此時，檢測強度的變動幅度 ΔI 是成爲入射角 θ 的函數(圖 10 的中段圖(b))。

[0069] 另一方面，強度變動幅度 $\Delta I(\theta)$ 及邊緣檢測位置的變動幅度 ΔX 以及平均訊號強度分佈 $I(x)$ 的關係是如圖 10 的下段圖(c)所示般，可以次式來表示。

[0070]

[數 8]

$$\Delta X = \Delta I(\theta) / (dI(x)/dx) \quad (\text{式 8})$$

[0071] 但，式 8 是在檢測訊號的強度分佈的峰值中，一旦梯度形成 0(zero)，則值會散發。因此，式 8 是須注意在檢測訊號的強度分佈的峰值中梯度爲 0(zero)時無法使用。實際上，邊緣移動量的振幅 ΔX 是由側壁表面凹凸之邊緣檢測位置的計測偏差來推定的統計量，

σ_{xz_near} 相當為此。又，由於側壁表面的凹凸圖案是隨機量，因此有關其週期 L 及高度 H 也使用統計性的代表值。例如基於方便起見，亦可以平坦面的傾斜角 θ 成爲 0(zero)的方式選擇。

[0072] 其次，說明有關上述(2)的成分(離開射束的射入位置之表面位置的凹凸圖案的影響)。

對於平均的側壁面，將電子線射入圖 11 的上段圖(a)的 Q 點時的檢測強度設爲 IQ 時，如同圖內的曲線 A 及 B 所示般，思考側壁面的圖案變動的情況。此時，如圖 11 的下段圖(b)所示般，檢測強度是對於檢測強度 IQ，僅 ΔIA 及 ΔIB 變化，檢測邊緣是分別僅 Δx_A ， Δx_B 偏離。

[0073] 此時，若對於側壁面的大小，電子線的擴展爲同程度，則出現於檢測邊緣的偏差量 Δx_A 及 Δx_B 是不依射入位置(Q 點)，可想像幾乎一定。

[0074] 於是，電子線的射入位置是在構造體中的散亂電子從構造體的邊緣位置到側壁的範圍之間，假定前述(2)的影響大致爲一定，對於 σ_{xz_far} ，作爲梯形狀的分佈形狀近似。

[0075] 梯形的高度是依存於側壁的高度及角度，但例如按照式 4，從 σ_{xz} 的最小值，在構造體側，可想像設定成自 σ_{xz} 抽掉 σ_{xz_far} 之後的 σ_{xz_near} 的分佈會從 0(zero)大致線性增大那樣的高度。有關對應於圖 4 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)的各試料，在圖 12 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)中顯示將 σ_{xz} 分解成上述

2 個成分的結果。

[0076]

(剖面形狀的推定方法)

其次，說明有關由分解表示不準確的偏差 σ 的結果來推定構造體的剖面形狀的方法。

[0077] 實際的構造體的剖面形狀是可想像帶圓或裙襬等各種的形狀者。亦即，一般，側壁角 θ 對於構造體的高度方向或 x 方向的位置是不一定。只要利用本實施形態的手法，即使是如此的構造體，還是可適當地推定其剖面形狀。

[0078] 以下，說明有關解析的形狀推定法及根據模型基礎的形狀推定法之 2 個探討的剖面推定法。

(解析的推定法)

解析的推定法是對於臨界值或 x 方向的位置，利用式 5，式 6，式 7，式 8 等來求取構造體之對應的高度的構造體表面的局部的角度，予以積分於 x 方向，藉此求取構造體的剖面形狀。亦即，藉由次式來求取剖面形狀。但，在次式中，積分範圍是從 0(zero)到 x 。

[0079]

[數 9]

$$Z(x) = \int \tan(\theta(x')) dx' \quad (\text{式 9})$$

[0080] 在此是使用式 5 及式 8，將由圖 12 的 σ_{xz_near} 所推定的 $\theta(x)$ 的分佈，及被推定的剖面形狀

Z(x)分別顯示於圖 13 的上段圖(a)，中段圖(b)及下段圖(c)。可知被推定的剖面形狀(以實線所示的形狀)是與另外由剖面觀察所取得的形狀(圖 4 的上段圖(a)，中段圖(b)，下段圖(c)的形狀)很一致。

[0081] 另一方面，在模型基礎(Model base)之形狀推定法中，對於各種的剖面形狀，求取使其表面的凹凸(例如其相位)變化時的檢測訊號強度的分佈，預先求取對於各個所檢測出的邊緣位置間的偏差(不準確)，作為臨界值或 x 方向的位置的函數。其次，使此偏差(不準確)與實際的測定結果匹配，藉由求取最接近的剖面形狀或內插·外插來推定剖面形狀。

[0082] 藉由求取檢測訊號的強度分佈本身的計算結果資料庫與計測結果的匹配(matching)來推定剖面形狀的以往的 MBL 法是有測定結果會受檢測系統或檢測強度變動影響的課題，相對的，本方法是難受該等的影響。不過，亦可併用本方法與以往的 MBL 法。並且，匹配是亦可使用最大概似估計(maximum likelihood estimation，簡記為 MLE)法等。

[0083]

(構造體立體形狀推定處理程序)

在圖 14 顯示用以推定對應於第 1 實施形態之構造體的立體形狀的方法的流程圖。另外，後述的一連串的处理是根據在計算機所被實行的程式來實現。

[0084] 首先，藉由電子顯微鏡來取得 2 次元畫像，

指定解析領域(步驟 1401)。之後，算出所被指定的解析領域之平均的訊號強度分佈 $I(x)$ (步驟 1402)。訊號強度是以指定範圍的最大強度來規格化。此時，最好以上述範圍之平均的邊緣方向能夠成爲 y 方向的方式調整畫像。

[0085] 其次，從指定的最小值到最大值，按每預定的間隔(例如從 5%到 100%，每 5%)設定臨界值，各臨界值檢測出圖案邊緣，求取 LER 作爲臨界值 T 的函數(步驟 S1403~1408)。在此是利用 $T=I(x)$ 的關係來將 LER 變換成 x 的函數之後，予以分解成各成分。而且，按照式 5，式 6，式 7，式 8 等來求取側壁角度 θ (步驟 S1409，1410)，在 x 方向積分側壁角度 θ 而取得剖面形狀(步驟 S1411)。到此的說明中，構造體的表面的凹凸圖案是假定在表面中爲各向同性。有關來自局部性的阻劑層的溶解性偏差等之凹凸是上述的假定大致正確。另一方面，有關此假定不成立的例子是在後述的實施例 5 敘述。

[0086]

[實施例 1]

在本實施例是說明有關將前述的推定手法適用在 CD-SEM 的實施例。

(裝置構成)

在圖 15 顯示使用於本實施例的 CD-SEM 的硬體構成的模式圖。本實施例的 CD-SEM 主要是藉由掃描型電子線顯微鏡的框體 1801，掃描型電子線顯微鏡的控制系

1811，及資訊處理裝置 1812 所構成，該掃描型電子線顯微鏡的框體 1801 是由電子光學列(SEM 列)及試料室所構成。

[0087] 資訊處理裝置 1812 是連接資料記憶裝置 1813，該資料記憶裝置 1813 是儲存所取得的掃描電子畫像或解析所必要的 CAD 資料等。不過，資料記憶裝置 1813 是亦可容納在資訊處理裝置 1812 內。雖未圖示，但實際資訊處理裝置 1812 是具備：用以對裝置輸入 CD-SEM 的操作者爲了資料處理所必要的資訊之資訊輸入終端機，及用以顯示所取得的掃描電子畫像之畫像顯示手段。資訊輸入終端機的具體例是有鍵盤，滑鼠，顯示在畫像顯示手段上的 GUI 畫面等。

[0088] 電子光學列是藉由電子槍 1802，收斂透鏡 1804，偏向器 1805，對物透鏡 1806，檢測器 1810 等所構成。試料室是具備載置被檢查對象的觀察晶圓 1807 之平台 1808。藉由從電子槍 1802 來對觀察晶圓 1807 照射的電子線 1803 所產生的二次電子 1809 是利用檢測器 1810 檢測出，藉由控制系 1811 來變換成數位資料之後，轉送至資訊處理裝置 1812，生成使用在解析的畫像資料。

[0089] 本實施例是利用 CD-SEM 所具備的掃描電子顯微鏡來進行圖案觀察而取得被檢查對象的畫像資料。將所取得的畫像資料保存於資料記憶裝置 1813，觀察終了後，操作資訊輸入終端機來實行畫像資料解析，進行粗糙度指標及剖面構造推定的解析。解析處理是資訊處理裝置

1812 所實行。

[0090]

(畫像取得工序)

首先，控制系 1811(資訊處理裝置 1812)是對於 ArF 阻劑層的線圖案，使進行 32 次從視野的左上到右下的掃描而取得的二次電子訊號強度平均化，取得 2 次電子訊號強度的 2 次元分佈畫像。因應所需，資訊處理裝置 1812 是將取得的畫像顯示於 CD-SEM 的監視器畫面上。在此，觀察畫像的畫素數是在縱·橫方向設為 1500 畫素，將 1 畫素的 1 邊設為 1nm(奈米)，且將視野內的觀察畫像的長度設為縱橫 1.5 μ m(微米)。

[0091] 資訊處理裝置 1812 是在包含 2 次電子訊號強度的 2 次元分佈畫像之中所欲解析的邊緣的領域中，分別設定縱 1024 畫素，橫 50 畫素的矩形形狀的檢查領域。並且，設定邊緣抽出用的臨界值 T 的最小值 T_{min}，最大值 T_{max}，增分值 ΔT ，資料抽出的 y 方向的取樣間隔 Δy ，x 方向的雜訊低減參數，y 方向的平均化參數 S 等，資料系列抽出所必要的資訊。另外，亦可不是資料抽出的 y 方向的取樣間隔，而是設定檢測點數。該等的檢查領域及資料系列抽出的條件是最好例如經由 CD-SEM 的 GUI 畫面等，預先設定。

[0092] 其次，資訊處理裝置 1812 是實行抽出領域內的邊緣粗糙度的資料系列的任務。亦即，資訊處理裝置 1812 是按照所被設定的抽出開始點或取樣間隔，從檢查

領域內的畫素資料算出對應於取樣位置的 y 座標之訊號強度分佈，更按照從最小值 T_{\min} 到最大值 T_{\max} 每增分值 ΔT 設定的臨界值 T ，自上述訊號強度分佈算出邊緣點的 x 座標資料。按照所被設定的取樣間隔，一邊連續不斷地往 y 方向移動，一邊實行該等的處理，最後取得在檢查領域內的邊緣粗糙度的資料系列 $X(T)=\{\Delta x_i(T)\}=\{\Delta x_1(T), \Delta x_2(T), \dots\}$ ，作為臨界值 T 的函數。

[0093] 具體而言，資訊處理裝置 1812 是設定對應於上述檢查領域的下邊之 y 座標，作為資料抽出開始點的 y 座標，設定 1nm (奈米)作為 y 方向的取樣間隔，每隔 1nm (奈米)抽出 1024 個的點的位置 $(x_1(T), y_1(T)), \dots(x_i(T), y_i(T)), \dots(x_{1024}(T), y_{1024}(T))$ ，作為檢查領域內的邊緣點。

[0094] 其次，資訊處理裝置 1812 是使被抽出的點近似於以下的直線，求取符合參數的 α 及 β 的值。

$$\begin{aligned} & \text{[數 10]} \\ & x = \alpha y + \beta \quad (\text{式 10}) \end{aligned}$$

[0095] 其次，針對相對於全部的臨界值 T 之邊緣點的座標，資訊處理裝置 1812 是按照以下的式 11 求取來自邊緣點的上述直線的偏差量 Δx_i ，生成邊緣粗糙度系列 $X(T)=\{\Delta x_i\}T$ 。

$$\begin{aligned} & \text{[數 11]} \\ & \Delta x_i(T) = x_i(T) - (\alpha y_i(T) + \beta) \quad (\text{式 11}) \end{aligned}$$

[0096]

(畫像處理工序)

其次，資訊處理裝置 1812 是從邊緣粗糙度系列 $X(T)=\{\Delta x_i(T)\}$ 按每個臨界值求取 LER，且將求得的 LER 分解成真的 LER 之測定偏差 σ_y ，及表面凹凸之計測偏差 σ_{xz} 。有關由邊緣粗糙度系列來求取真的 LER 之測定偏差 σ_y 及表面凹凸之計測偏差 σ_{xz} 的方法是可使用例如在專利文獻 1 所記載的方法，但若針對其代表性的手段進行敘述，則如以下般。

[0097] 如前述般，在所被測定的 LER 中，功率頻譜密度與空間頻率 f 的平方成反比例的成分(真的 LER)和除此以外的高頻成分(雜訊)會重疊。若對所被測定的 LER 實施平均化處理，則後者的成分會減少。因此，隨著增加顯示平均化處理的程度的參數值，在高頻領域的功率頻譜密度分佈會形成與 f 的平方成反比例。具體而言，若思考將不同的 y 座標的 x 方向的 1 次元訊號強度分佈在 y 方向 S 條平均化，則隨機雜訊的強度會藉由平均化而降低至 $1/S$ 。亦即，隨著平均化參數 S 的增加，功率頻譜密度的頻率依存性會接近 $1/f^2$ 。此時取得的功率頻譜的密度會成爲真的 LER。

[0098] 在此，將從以平均化參數 S 來進行平均化處理的資料所取得的線邊緣粗糙度指標的值設爲 $\sigma_m(S)$ ，使其 S 依存性符合次式。

[數 12]

$$\sigma_m(S) = \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{\{\sigma_e(1)\}^2}{S} - 2A\Delta y(S-1)} \quad (\text{式 12})$$

[0099] 在此， $\sigma_m(1)$ 是從平均化處理前的資料求取的線邊緣粗糙度計測值， Δy 是邊緣點的 y 方向抽出間隔， A 是符合參數。最好 S 及邊緣點的抽出間隔 Δy 是符合 $2S\Delta y < 1/f_0$ [nm(奈米)]。在此， f_0 是通常的阻劑層圖案時，在頻譜(spectre)的彎曲點，大多為 0.008nm^{-1} 以下。

[0100] 在此是將對於仔細說明實驗結果的 S 之中最小的 S 所求取的 $\sigma_0 = \sigma$ 設為真的 LER。此情況，不依空間頻率的計測偏差成分 σ_b 是藉由次式來求取。

[0101]

[數 13]

$$\sigma_b(T) = (\sigma_m(T)^2 - \sigma_0^2)^{0.5} \quad (\text{式 13})$$

[0102] 而且，資訊處理裝置 1812 是由被測定的 LER 來求取計測誤差 σ_{noise} ，予以從 $\sigma_b(T)$ 去除，藉此求取顯示側壁表面的凹凸圖案被投影於 xy 平面所產生的計測偏差(不確定性)之 $\sigma_{xz}(T)$ 。

[0103]

[數 14]

$$\sigma_{xz}(T) = (\sigma_b(T)^2 - \sigma_{\text{noise}}^2)^{0.5} \quad (\text{式 14})$$

[0104] 在此，對應於構造體的臨界值 T 的高度的側壁角度 θ 是藉由次式來求取。

[0105]

[數 15]

$$\cos(\theta(T)) = \sigma_x(T) / \sigma_s \quad (\text{式 15})$$

在此， σ_s 是表面凹凸的空間週期的代表值。

[0106] 另一方面，對於 y 方向的計測範圍，算出 x 方向的訊號強度分佈的平均 $\langle I \rangle(x)$ 。對應於臨界值 T 的邊緣座標 x 是可由 $x = \langle I \rangle^{-1}(T)$ 求取。但， $\langle I \rangle^{-1}$ 是 $\langle I \rangle$ 的反函數。

[0107] 構造體的剖面形狀 $z(=Z(x))$ 是如前述般，可藉由次式來求取。

[0108]

[數 16]

$$z = \int dz = \int dx \cdot \tan \theta(x) = \int dx/dT \cdot \tan \theta(T) dT \quad (\text{式 16})$$

但，積分範圍是 $T=Ia(0) \sim T=Ia(x)$ 。

[0109] 將如此求得的剖面形狀與切斷晶圓的圖案部而以 SEM 來觀察的剖面形狀進行比較時，被確認兩者是很一致。並且，也進行與 AFM 之計測結果的比較，這也被確認很一致。

[0110] 另外，在以上的說明中， σ_s 及 σ_{noise} 是作為持物理性意思的值，分別獨立計測求取，但該等的量是亦可作為符合參數思考。亦即，只要使用藉由其他的方法所觀察的剖面形狀與藉由本發明所推定的剖面形狀很一致那樣的 σ_s 及 σ_{noise} 即可。

[0111]

[實施例 2]

在本實施例中說明，不僅 1 次元遮罩圖案的剖面構造，對於 2 次元遮罩圖案也可推定立體的構造之方法的一例。在本實施例使用的掃描形電子顯微鏡的構成是與實施

例 1 同樣，因此省略說明。

[0112] 將實施例 1 的手法擴張成 2 次元遮罩圖案的方法是可思考其次的 2 個方法。

[第 1 方法]

此方法是藉由實施例 1 的方法來對 1 次元圖案求取臨界值與圖案高度的關係，且將此關係原封不動地對 2 次元圖案適用。

[0113]

[第 2 方法]

此方法是對於 2 次元邊緣資訊擴充實施例 1 的方法。

首先，說明有關第 1 方法。資訊處理裝置 1812 是對於與實施例 1 的方法同樣取得的 2 次元畫像(圖 16 的上段左圖)，在其 1 次元圖案部分適用實施例 1 的方法來求取剖面形狀 $z=Z(x)$ (推定)。

[0114] 其次，資訊處理裝置 1812 是由上述 $z=Z(x)$ 及使用在上述形狀的導出之訊號強度分佈 $T=I(x)$ 的 2 個關係來消去 x ，藉此取得構造體的高度 z 與臨界值 T 的關係 $z=Z'(T)$ 。若針對對於圖 16 的上段左圖的 2 次元遮罩圖案之 SEM 觀察畫像，改變臨界值 T 來抽出邊緣，則可取得圖 16 的上段中圖那樣的等高線。

[0115] 其次，資訊處理裝置 1812 是按照上述構造體的高度 z 與臨界值 T 的關係，將圖 16 的上段中圖的 T 變換成 z ，取得圖 16 的上段右圖那樣的 2 次元圖案的高度

資訊。另外，在 T 與 z 之間是圖 16 的下段所示的關係會成立。賦予此關係的資料是例如預先儲存於資料記憶裝置 1813。

[0116] 本方法的問題是藉由實施例 1 的方法所求得的構造體的高度 z 與臨界值 T 的關係 $z=Z(T)$ 不一定保證在 2 次元遮罩圖案的構造體中成立。一般，高度與訊號強度的關係不是唯一性。然而，對於線寬等的圖案特性接近的圖案，本方法是可給予較佳的近似。

[0117] 其次，說明有關第 2 方法。本方法是可適用在同一遮罩上的不同的複數的位置存在相同的設計圖案時。首先，資訊處理裝置 1812 是針對遮罩上的複數的同一 2 次元圖案以同一條件來 SEM 觀察所被形成之晶圓上的複數的 2 次元圖案，取得複數的 SEM 畫像(訊號強度分佈)。

[0118] 對於該等複數的 SEM 畫像，資訊處理裝置 1812 是求取在某臨界值 T 中斷時的邊緣座標列，思考連結各座標點的等高線。此時，為了確保計測精度，邊緣的抽出是求取沿著與等高線大致垂直的方向之訊號強度分佈，對於此，最好藉由適用臨界值來求取。

[0119] 其次，資訊處理裝置 1812 是以對於上述複數的畫像求取的等高線間的距離偏差的總和能夠成爲最小的方式，將各畫像移動於平行方向。移動位置的基準是適當設定即可。而且，資訊處理裝置 1812 是對於平行移動後的各畫像的等高線求取平均形狀，對於各畫像的等高線算

出與相對於和等高線的接線垂直的方向的平均形狀的差分(距離)。

[0120] 資訊處理裝置 1812 是對於各邊緣點求取差分的分佈的標準偏差，予以假定相當於實施例 1 的 $\sigma_b(T)$ 的值。藉此，與實施例 1 同樣，將利用式 5，式 6，式 7，式 8 等所求取的傾斜角 θ 設為對應於該位置的臨界值 T 的高度的側壁角度 θ 。沿著改變臨界值 T 來抽出邊緣的方向進行與式 9 同樣的積分，藉此可求取沿著上述方向的縱構造。

[0121] 以第 2 方法求得的 $\sigma_b(T)$ 是擔心含相當於真的 LER 的成分，但藉由進行平行移動，期待比較長週期的 LER 所引起的邊緣移動可相抵。而且，真的 LER 的短週期成分與計測誤算成分是最好從上述 $\sigma_b(T)$ 適當除去。

[0122] 本實施例的情況也與實施例 1 的情況同樣， σ_s 與 σ_e 是作為持物理性意思的值，可分別獨立計測求取，或作為符合參數思考亦可。發明者確認藉由如此的手法所推定的構造體的剖面形狀與切斷同構造體作為 SEM 畫像觀察的剖面形狀很一致。

[0123]

[實施例 3]

在本實施例中是說明有關將本發明使用在半導體積體電路等的製造之光微影技術(Photolithography)的阻劑層圖案形成製程，或使用彼而形成的半導體積體電路的立體的構造的品質評價，以及適用在上述製程監視器的例子。

[0124] 在本實施例中，使用針對評價領域的全面來積分所推定的圖案的高度與設計上的圖案的高度的偏差的絕對值之值，或其值的平方平均值，作為所被形成的圖案的品質指標(對應於在圖 17 的上段圖(a)的右圖以剖面線所示的部分的面積之量)。

[0125] 另外，更單純是亦可使用適用前述的實施例的手法來推定的剖面形狀(例如圖 17 的上段圖(a)的左圖的曲線下部)的剖面積 S_p 與理想的設計形狀(例如圖 17 的上段圖(a)的左圖的長方形部分)的剖面積 S_i 的比 S_p/S_i (1 次元遮罩圖案時)，或藉由前述的實施例的手法來推定的形狀的體積 V_p 與理想的設計形狀的體積 V_i 的比 V_p/V_i (2 次元遮罩圖案時)作為圖案品質指標。但，此情況是以負的值來處理存在於設計上的圖案原本應不存在的領域的圖案的面積或體積為理想。藉此，圖案存在於設計上的圖案原本應不存在的領域時，也可檢測得知品質劣化。

[0126] 對於 2 次元遮罩圖案之理想的設計形狀是對於電路圖案的設計形狀，上述電路設計形狀實施光學的近接效果補正等之遮罩圖案的光學模擬的結果，各種實際的曝光結果，可使用適用前述的實施例所說明的手法所推定的體積之中的最大值等。

[0127] 對於使圖案形成用曝光裝置的聚焦及曝光量條件按晶圓上的每曝光發射來矩陣狀地變化成各種而曝光的晶圓，以 CD-SEM 來觀察上述每曝光發射對於遮罩上的同一圖案之阻劑層圖案，由其觀察像按各發射測定圖案尺

寸，且藉由實施例 1 記載的方法來推定圖案剖面形狀，求取上述圖案品質指標。

[0128] 如圖 17 的中段圖(b)所示般，圖案的尺寸對於曝光量是單調減少，但對於聚焦設定值的圖案尺寸變化小，難由圖案尺寸變化來推定聚焦設定值。相對的，如圖 17 的下段圖(c)所示般，圖案品質指標對於曝光量及聚焦的雙方的設定值是幾乎單調變化，作為聚焦設定值的監視器適用。但，圖案品質指標是對於曝光量也變化。於是，最好首先由圖案尺寸變化來推定曝光量，對於上述曝光量，利用圖案品質指標來推定聚焦設定值。

[0129] 像本實施例那樣，若將被推定的剖面形狀使用在所被形成的圖案的品質指標，則可簡便且高速地判定最適的製造條件，或檢測得知品質降低。並且，若將該判定結果等反饋給製造製程，則可抑制所被形成的圖案的品質劣化，可使以半導體裝置為首的各種元件的性能提升。

[0130]

[實施例 4]

在本實施例中，說明有關頻率分析 xy 方向的 2 次元訊號強度分佈的方法，作為求取 σ_x ， σ_s 的別的方法。亦即，說明有關第 2 實施形態之 2 次元立體形狀的推定方法。

[0131] 在此是假定在圖 18 的上段圖(a)那樣的立體構造體的側壁的全面，沿著表面存在等方性的表面凹凸，假想由立體構造體的上方來觀察其凹凸資訊的情況。此時，

可想像取得圖 18 的下段圖(b)所示的圖案作為凹凸資訊。

[0132] 在此，若將凹凸的 x 方向的週期設為 L_x ，將 y 方向的週期設為 L_y ，則傾斜角 θ 可藉由次式來求取。

[數 17]

$$\cos(\theta) = L_x / L_y \quad (\text{式 17})$$

[0133] 此時，所被觀察的 2 次電子訊號的 2 次元強度分佈是包含：第 1 是 x 方向的巨視的強度分佈，第 2 是 y 方向的真的 LER 之強度變動，第 3 是表面凹凸之局部的強度變動，等 3 個的變動要因。因此，藉由從觀察像去除第 1 及第 2 變動要因，可只抽出第 3 表面凹凸資訊。利用圖 19 來說明具體的程序的 1 例。

[0134] 首先，資訊處理裝置 1812 是取得 SEM 像之後，指定解析領域，在上述領域內取得 2 次元強度分佈(步驟 S1901)。其次，資訊處理裝置 1812 是對於所取得的 2 次元強度分佈適用 2 次元空間頻率過濾，分解成第 1 變動成分的部分及除去第 2 變動成分的高頻成分的部分的和，及第 2 變動成分的高頻成分與第 3 變動要因的部分的和(步驟 S1902)。後者是包含真的 LER 之變動的高頻成分及表面凹凸之變動。

[0135] 一般，構造體的側壁角 θ 是變化於 x 方向，所以強度分佈變動的 x 方向空間週期是變化於 x 方向。因此，最好空間週期是對於 x 方向局部地評價。進行如此的解析之一般性的手法，例如有小波解析(wavelet analysis)。資訊處理裝置 1812 是藉由在 x 方向進行小波

解析來檢測出沿著 x 方向的空間頻率特性的變化(步驟 S1903)。

[0136] 將藉由此方法所取得的空間頻率特性(功率頻譜密度 PSD 的空間頻率依存性)的 x 依存性的一例顯示於圖 20。空間頻率特性是依存於 x 而變化，在特性取得峰值時，以峰值位置的頻率作為代表空間頻率，在峰值不明確時，以空間頻率的分佈擴展(例如半值寬)作為代表空間頻率，藉由其倒數來求取 x 方向的空間週期 σ_x 。同樣，資訊處理裝置 1812 是在 y 方向進行空間頻率解析，藉此由求得的代表空間頻率來求取 σ_y 。而且，資訊處理裝置 1812 是亦可在 xy 兩方向進行 2 次元的小波解析。另外，在此過程中，因應所需，資訊處理裝置 1812 推定第 2 變動成分的高頻成分，由後者除去。如此一來，資訊處理裝置 1812 是求取 σ_x 及 σ_y 的 2 次元分佈。

[0137] 資訊處理裝置 1812 是藉由次式來求取側壁角的 2 次元分佈 $\theta(x, y)$ (步驟 S1904)。

[數 18]

$$\cos(\theta(x, y)) = \sigma_x(x, y) / \sigma_y(x, y) \quad (\text{式 18})$$

[0138] 而且，資訊處理裝置 1812 是在位置 (x, y) 積分上式，藉此推定 2 次元立體形狀(步驟 S1905)。

[0139]

[實施例 5]

本實施例是說明有關形成於構造體的表面的凹凸圖案不一定是各向同性的情況。構造體表面的凹凸圖案為各向

同性的前提不成立的例子，例如有阻劑層(resist)構造體的側壁形狀受到阻劑層膜(resist film)內的曝光光的干涉所造成駐波的影響的情況。此情況，2次電子訊號強度分佈是如圖 21 所示般，對於構造體的 1 個的邊緣平行的複數的邊緣觀察。此情況，複數邊緣間的側壁傾斜角度是將邊緣間隔設為 ΔL_x 來以次式表示。

[0140]

[數 19]

$$\tan \theta = \Delta L / (\lambda / 2 n) \quad (\text{式 19})$$

[0141] 在此， λ 是在該阻劑層圖案的曝光所被使用的光的波長， n 是上述阻劑層材料對上述波長的光之折射率。駐波是若在阻劑層曝光時來自阻劑層底膜的反射大則出現，但此情況，阻劑層尺寸會因阻劑層膜厚的變動而敏感地變動。這在實際的生產工序是不期望的，通常爲了予以抑制，而實施充分的反射防止對策。因此，實際上上述那樣的駐波影響少。

[0142] 表面凹凸爲各向同性的前提不一定成立的別的例子，有蝕刻具有各向同性的表面凹凸的阻劑層圖案來轉印被蝕刻構造的情況。雖阻劑層圖案表面的凹凸是藉由蝕刻來轉印於被蝕刻膜的構造體表面，但若根據蝕刻轉印後的構造體的粗糙度解析，則被蝕刻構造體的粗糙度大多是幾乎反映阻劑層構造體的粗糙度。

[0143] 此情況，如圖 22 所示般，凹凸的邊緣方向(y 方向)的週期是不變，但縱方向的尺寸變化。在此，若將

阻劑層材料的蝕刻速度 V_r 與被蝕刻膜的蝕刻速度 V_e 的比設為 $Retch=V_e/V_r$ ，蝕刻為完全各向異性，則可想像凹凸的縱方向尺寸是大概成爲 $Retch$ 倍。此情況，若假定側壁角度爲比較急峻，則式 5 的 L 也只要形成 $Retch$ 倍即可。

[0144] 實際上，蝕刻是在與邊緣方向垂直的方向(x 方向)也進展(蝕刻)。此情況，凹凸的縱橫尺寸比是不一定與 $Retch$ 相等。因此，例如以藉由其他的方法所觀察的剖面形狀與藉由前述的手法所推定的剖面形狀能夠很一致的方式，將式 5 的 L 設爲符合參數(Fitting Parameter)進行最適化等爲理想。

[0145] 另外，本發明的最一般性的概念是由從上面觀察構造體的 2 次元畫像的訊號強度分佈的局部性的偏差的資訊來推定構造體的立體形狀。因此，推定算法並非限於上述所示的方法。

[0146]

(其他的實施例)

另外，本發明並非限於上述的實施例，亦含各種的變形例。例如上述的實施例爲了容易理解說明本發明，而針對一部分的實施例詳細說明，無須一定要具備所說明的全部構成。並且，亦可將某實施例的一部分置換成其他實施例的構成，亦可在某實施例的構成追加其他實施例的構成。並且，亦可針對各實施例的構成的一部分追加、削除或置換其他的構成。

[0147] 又，上述的各構成，機能，處理部，處理手

段等是亦可將該等的一部分或全部例如作為積體電路其他的硬體來實現。又，上述的各構成，機能等是亦可藉由解釋、實行處理器所實現各機能的程式來實現。亦即，亦可作為軟體來實現。實現各機能的程式、表、檔案等的資訊是可儲存於記憶體或硬碟、SSD(Solid State Drive)等的記憶裝置、IC卡、SD卡、DVD等的記憶媒體。

[0148] 又，控制線或資訊線是顯示說明上必要者，並非將製品上必要的全部控制線或資訊線予以顯示。實際上幾乎全部的構成可想像成互相連接。

【符號說明】

[0149]

1801：掃描型電子線顯微鏡的框體

1802：電子槍

1803：電子線

1804：收斂透鏡

1805：偏向器

1806：對物透鏡

1807：觀察晶圓

1808：平台

1809：二次電子

1810：檢測器

1811：控制系

1812：資訊處理裝置

201439501

1813：資料記憶裝置

申請專利範圍

1. 一種圖案形狀評價方法，其特徵係使下列的處理實行於計算機，

由與立體的構造體形成於上面的基板的主面大致垂直的方向來照射收斂能量線，且使掃描於上述基板的上面，檢測及/或測定從上述基板及上述構造體發生的 2 次能量線或藉由上述基板及上述構造體所被反射或散亂的能量線的強度，取得上述構造體的上面觀察像之處理；

由上述上面觀察像的收斂能量線的照射位置及所被測定的上述強度來求取上述構造體的表面的凹凸形狀所造成散亂強度的不準確資訊之處理；

根據求得的上述不準確資訊來求取上述構造體的表面的傾斜角度 θ 之處理；及

根據求得的傾斜角度 θ 來推定上述構造體的立體形狀之處理。

2. 如申請專利範圍第 1 項之圖案形狀評價方法，其中，上述收斂能量線為收斂電子線，上述 2 次能量線為 2 次電子。

3. 如申請專利範圍第 1 項之圖案形狀評價方法，其中，求取上述不準確資訊的處理係具有：

對應於上述 2 次能量線的強度的不同的複數的水準來抽出複數的邊緣點列，算出來自上述複數的邊緣點列的各座標的設計座標的偏差，而算出邊緣點的變動值之副處理；及

根據上述變動值，求取對應於上述不同的複數的水準之上述上面觀察像上的各位置的前述構造體的表面的傾斜角度之副處理。

4. 如申請專利範圍第 3 項之圖案形狀評價方法，其中，算出上述邊緣點的變動值之副處理係具有：

求取不依存於上述複數的邊緣點列的空間頻率的成分之工序；

從上述邊緣點列除去其功率頻譜與空間頻率的平方成反比例的成分之工序，或

除去所被檢測出的雜訊成分之工序。

5. 如申請專利範圍第 1 項之圖案形狀評價方法，其中，求取上述傾斜角度 θ 的處理，係於上述上面觀察像的某預定的領域內，求取對上述領域的前述基板的主面之傾斜角度 θ ，作為上述不準確資訊 σ_x 的函數。

6. 如申請專利範圍第 1 項之圖案形狀評價方法，其中，

求取上述傾斜角度 θ 的處理，係對於上述上面觀察像的上述強度的分佈設定不同的複數的臨界值，將藉由對於各臨界值抽出複數的邊緣點列所求得的傾斜角度 θ 設為上述複數的邊緣點列的各邊緣位置的傾斜角度 θ ，

推定上述立體形狀的處理，係求取上述上面觀察像的各點的傾斜角度分佈，將上述傾斜角度分佈積分，藉此推定立體形狀。

7. 如申請專利範圍第 1 項之圖案形狀評價方法，其

中，求取上述不準確資訊的處理係包含：根據對於與前述上面觀察像內的局部領域的 2 次能量線的強度變動的邊緣垂直及平行的方向之空間頻率特性的差來求取上述局部領域的前述構造體的表面的傾斜角度之副處理。

8. 如申請專利範圍第 3 項之圖案形狀評價方法，其中，上述邊緣為曲線。

9. 一種半導體裝置的製造方法，其特徵係使下列的處理實行於計算機，

由與包含半導體裝置之立體的構造體形成於上面的基板的主面大致垂直的方向來照射收斂能量線，且使掃描於上述基板的上面，檢測及/或測定從上述基板及上述構造體發生的 2 次能量線或藉由上述基板及上述構造體所被反射或散亂的能量線的強度，取得上述構造體的上面觀察像之處理；

由上述上面觀察像的收斂能量線的照射位置及所被測定的上述強度來求取上述構造體的表面的凹凸形狀所造成散亂強度的不準確資訊之處理；

根據求得的上述不準確資訊來求取上述構造體的表面的傾斜角度 θ 之處理；

根據求得的傾斜角度 θ 來推定上述構造體的立體形狀之處理；及

根據所被推定的上述立體形狀的特徵來推定上述半導體裝置的製造工序的製造條件之處理。

10. 一種圖案形狀評價裝置，其特徵係具有：

由與立體的構造體形成於上面的基板的主面大致垂直的方向來照射收斂能量線，且使掃描於上述基板的上面，檢測及/或測定從上述基板及上述構造體發生的 2 次能量線或藉由上述基板及上述構造體所被反射或散亂的能量線的強度，取得上述構造體的上面觀察像之資料處理部；

由上述上面觀察像的收斂能量線的照射位置及所被測定的上述強度來求取上述構造體的表面的凹凸形狀所造成散亂強度的不準確資訊之資料處理部；

根據求得的上述不準確資訊來求取上述構造體的表面的傾斜角度 θ 之資料處理部；及

根據求得的傾斜角度 θ 來推定上述構造體的立體形狀之資料處理部。

圖式

圖 1

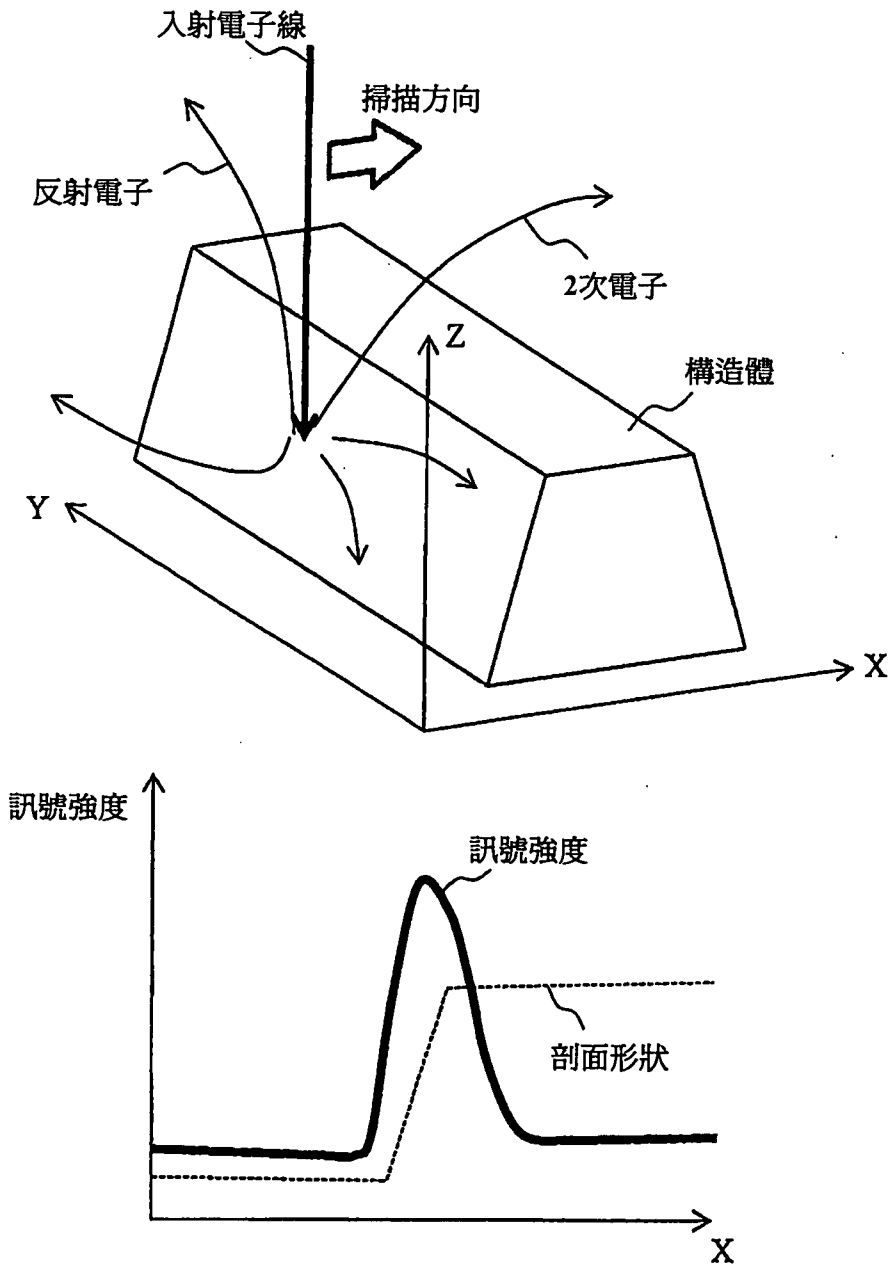


圖 2

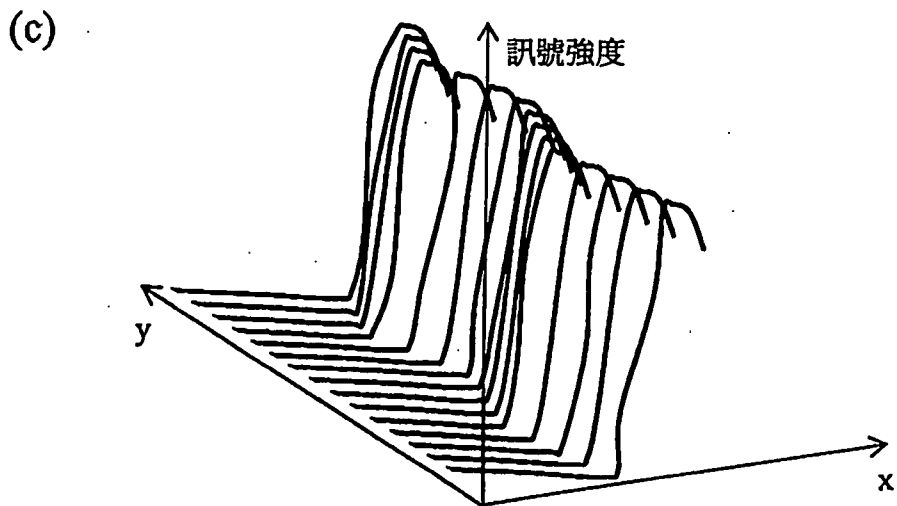
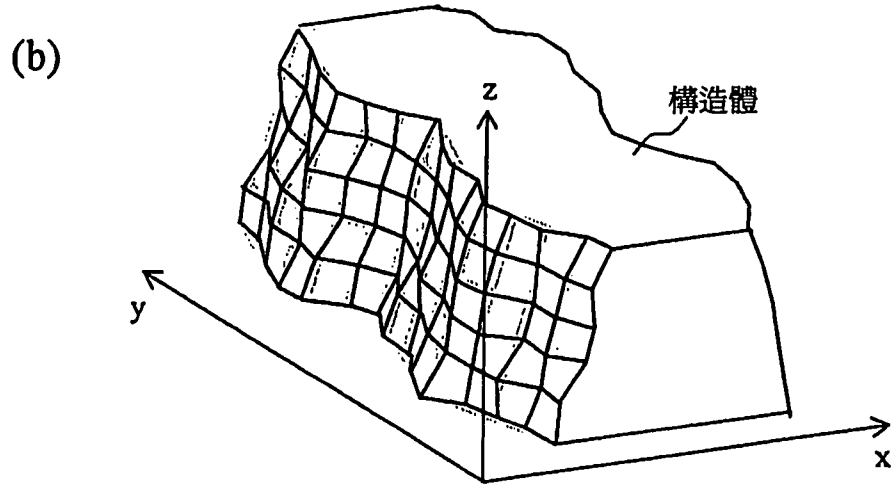
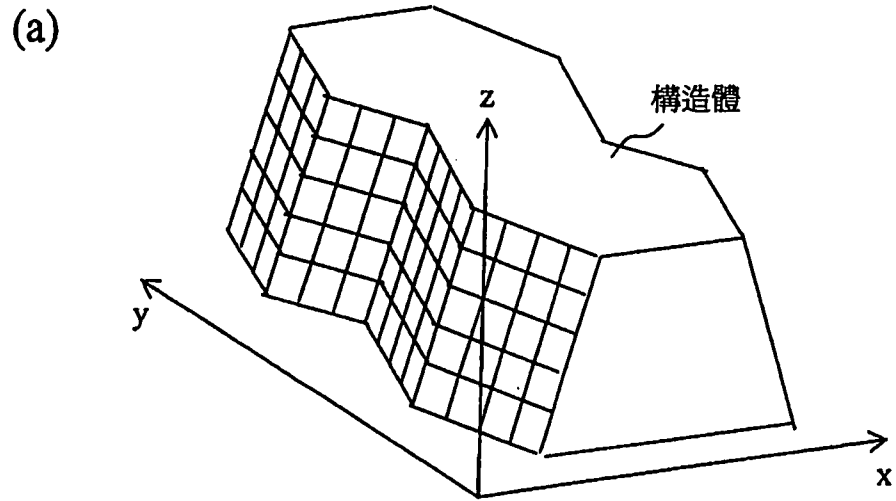
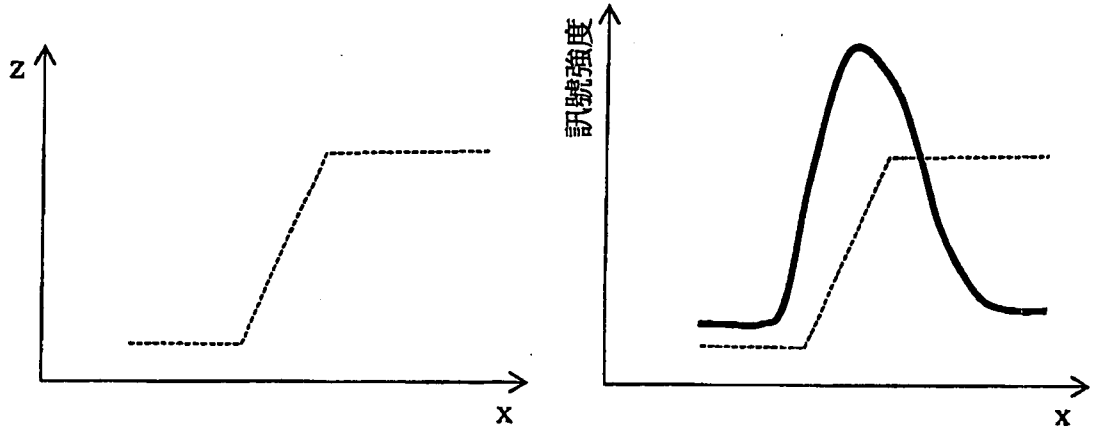
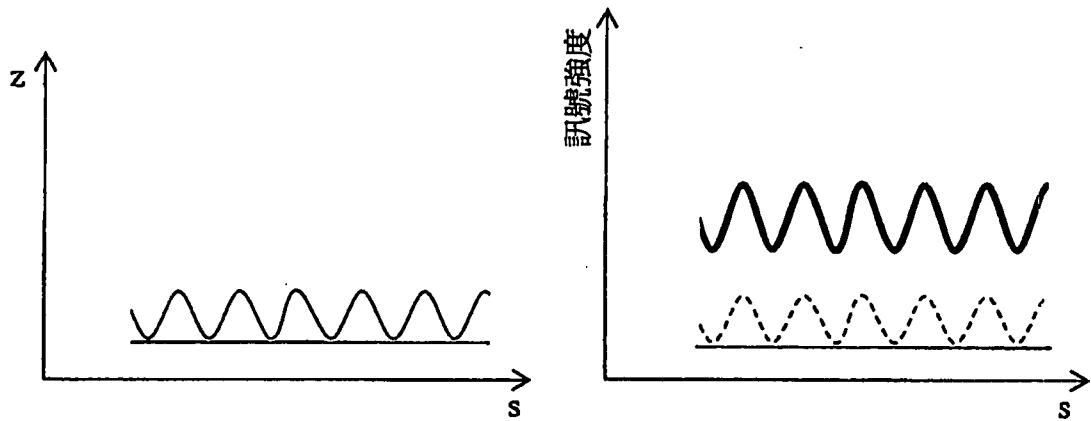


圖 3

(a)



(b)



(c)

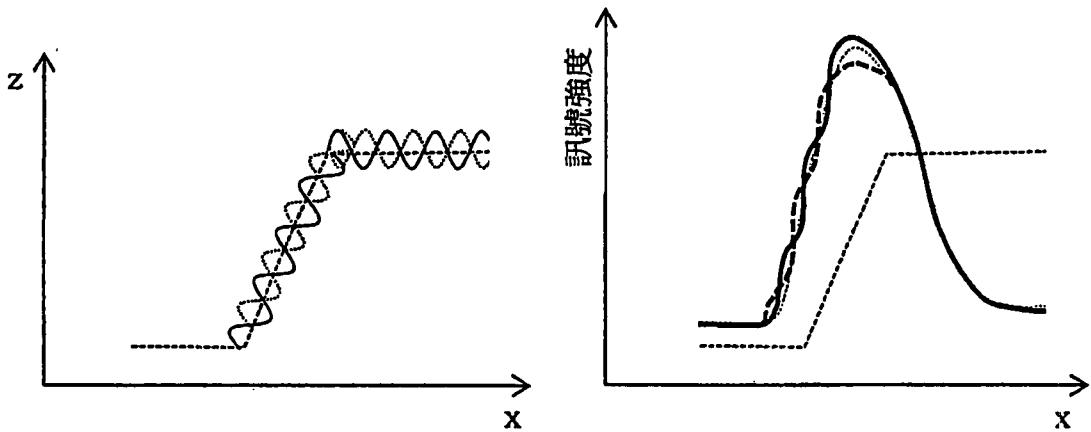
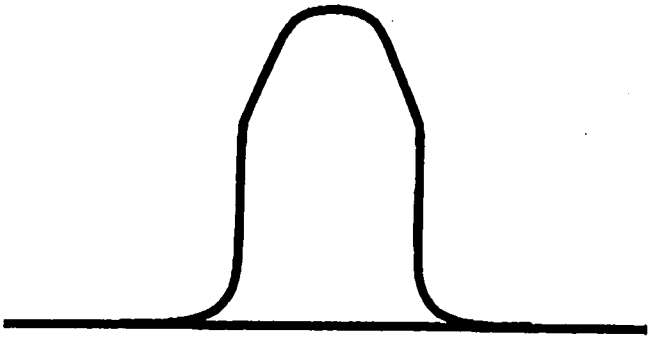
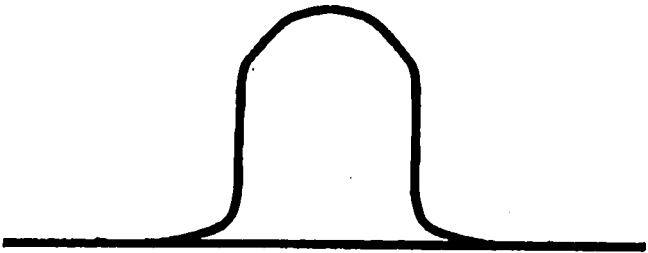


圖 4

(a)



(b)



(c)

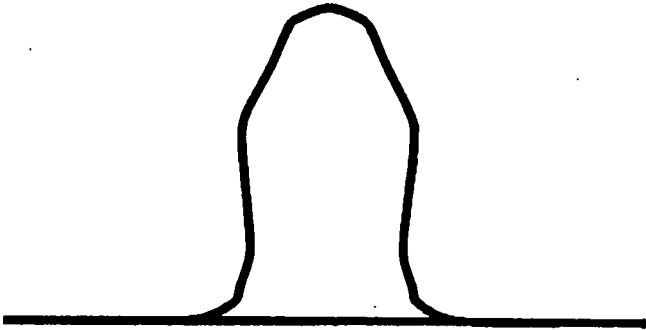
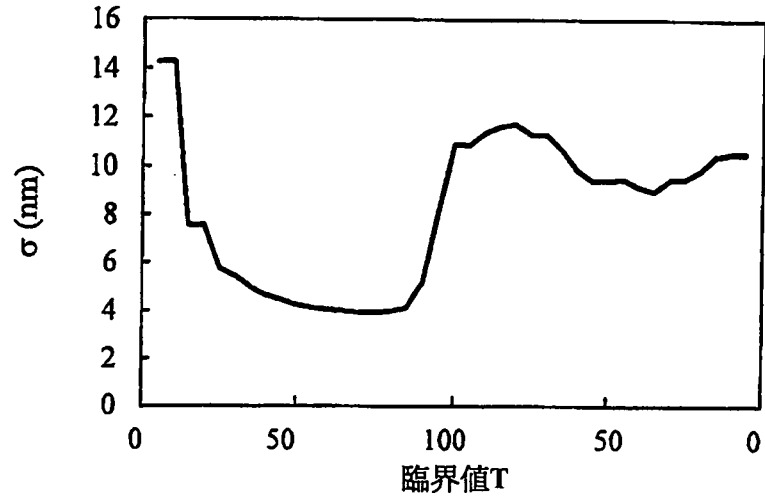
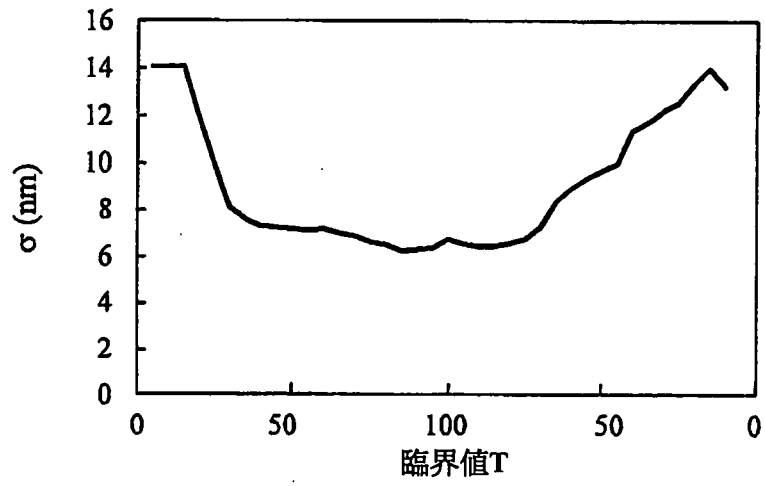


圖 5

(a)



(b)



(c)

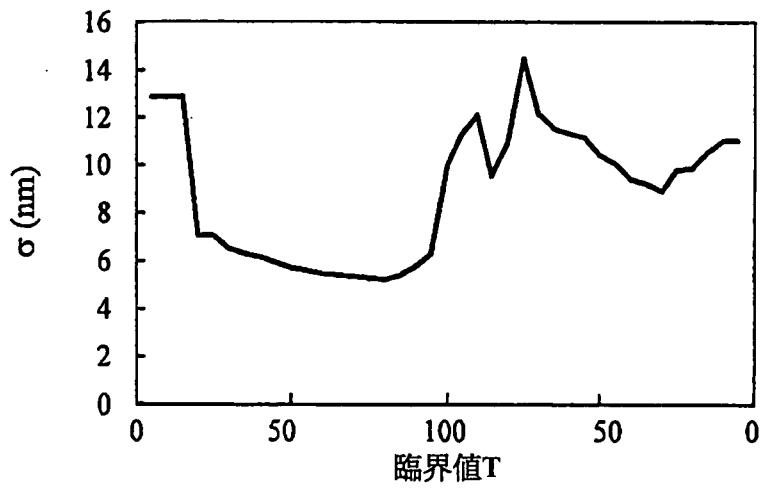
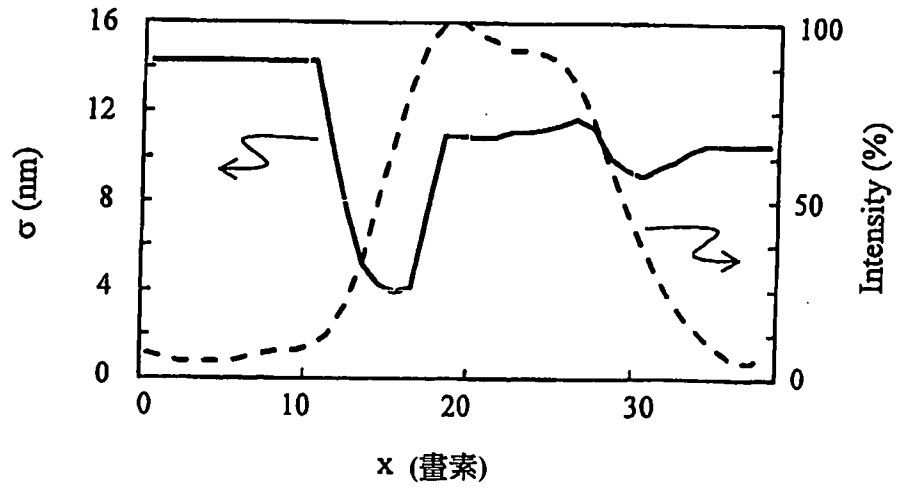
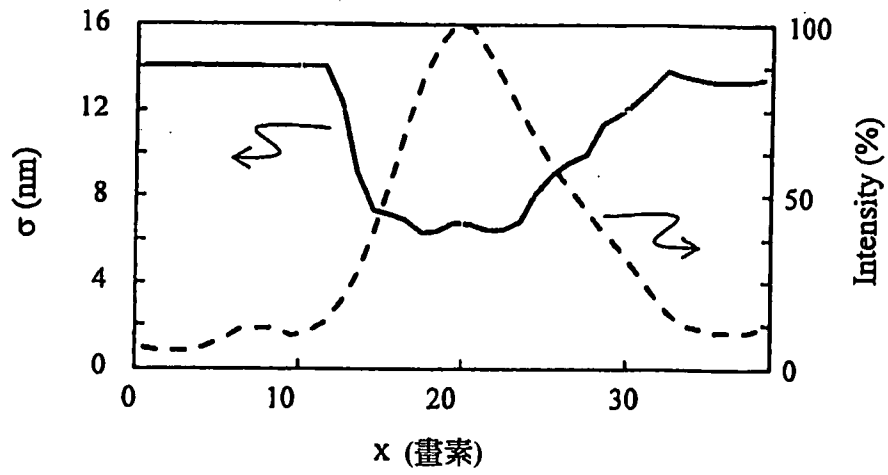


圖 6

(a)



(b)



(c)

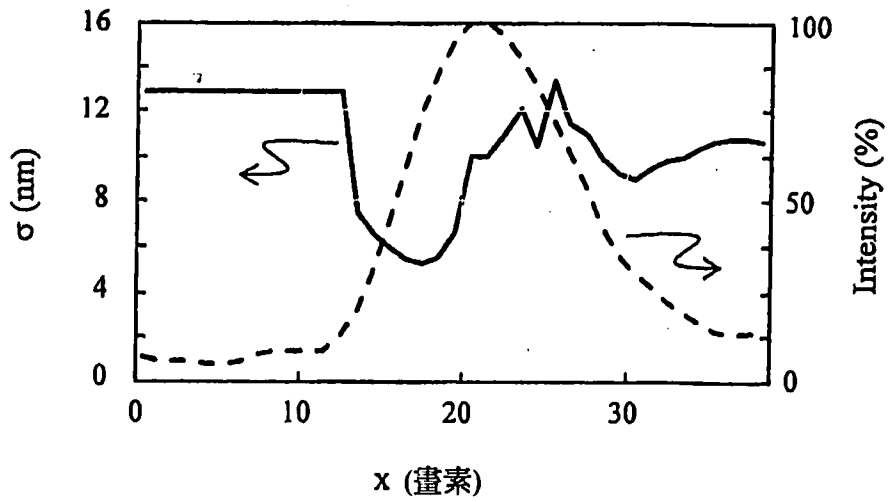


圖 7

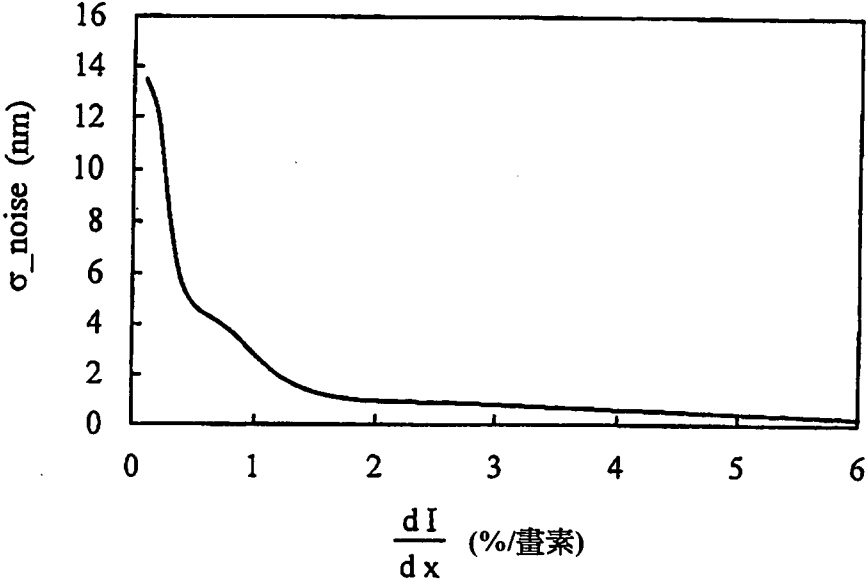


圖 8

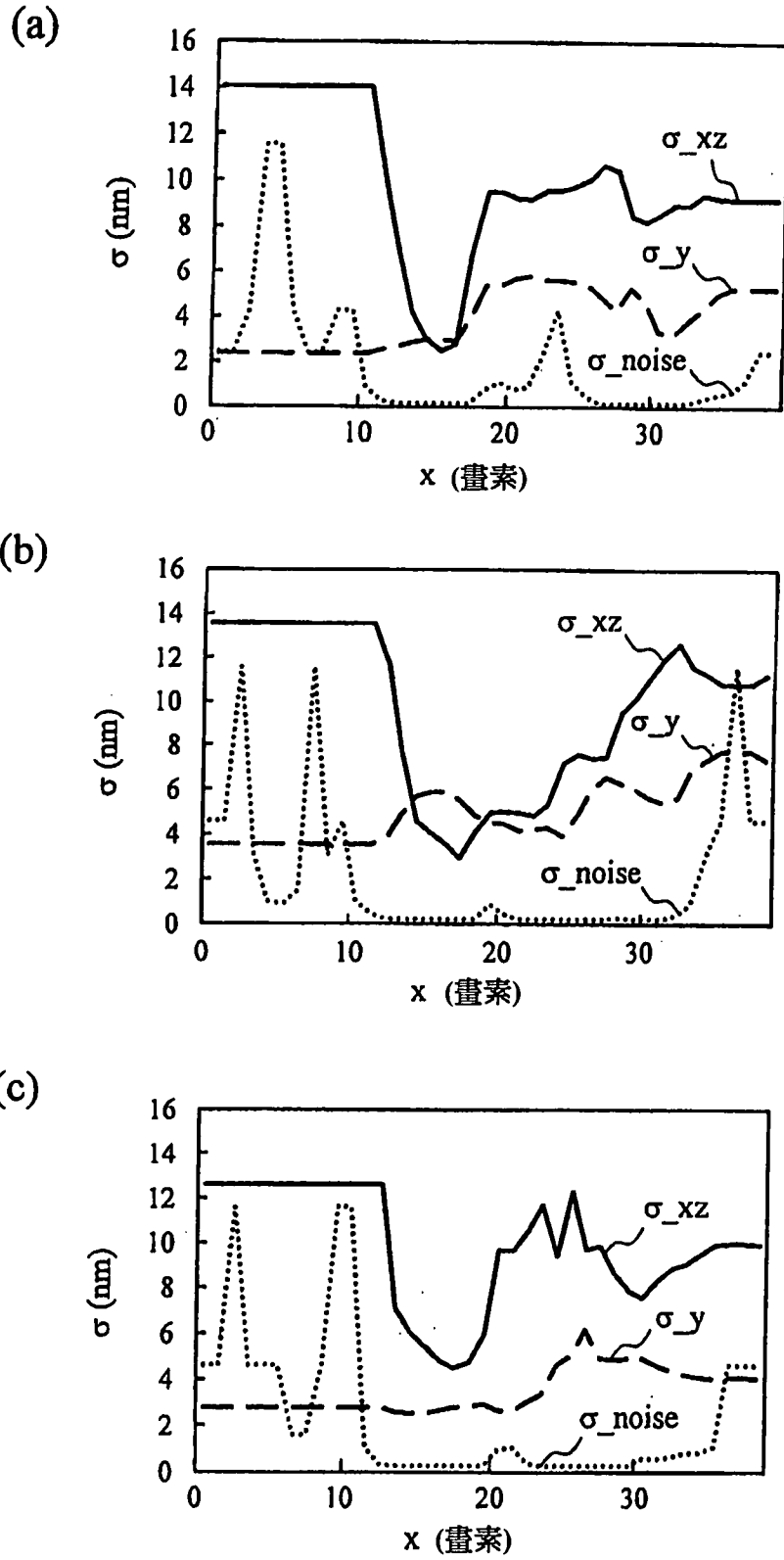
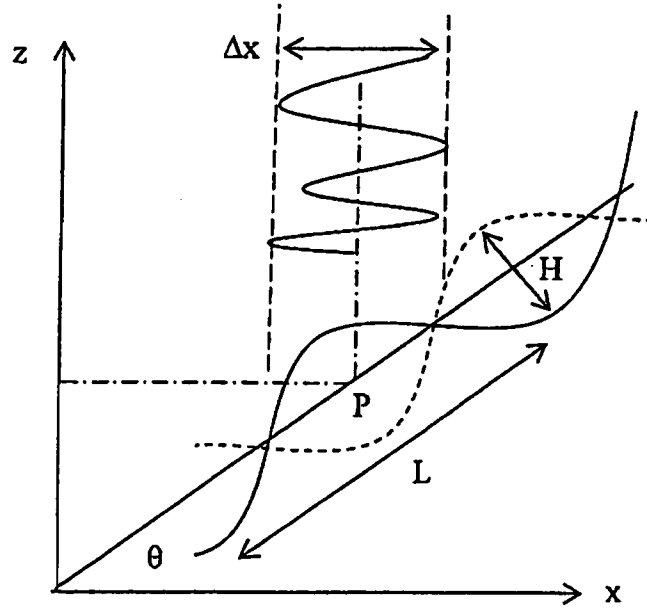
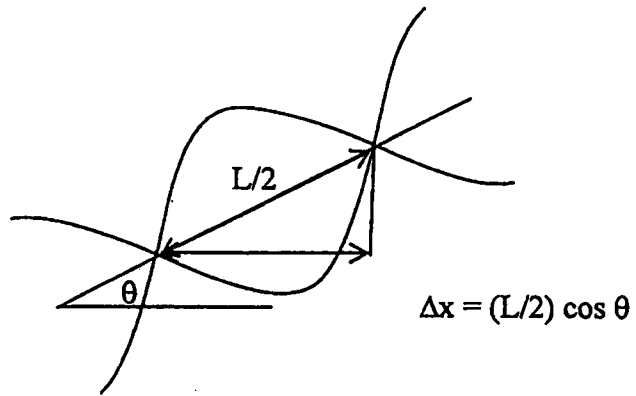


圖 9

(a)



(b)



(c)

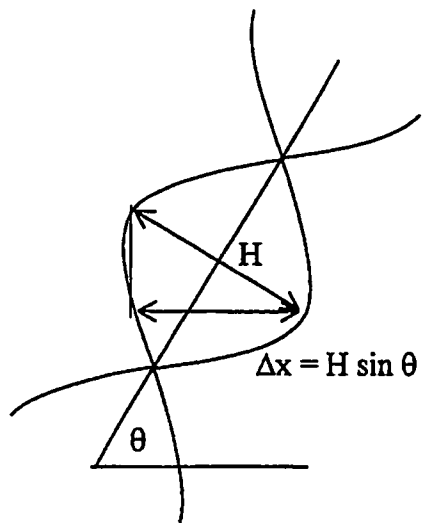
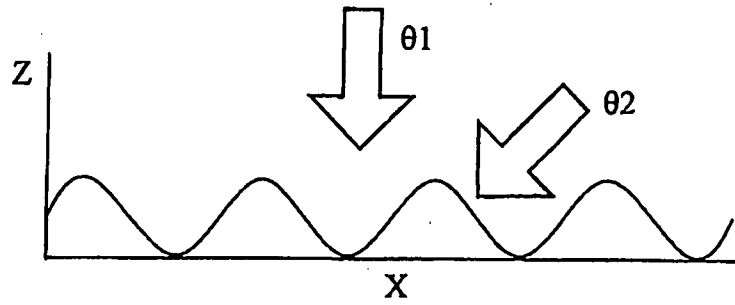
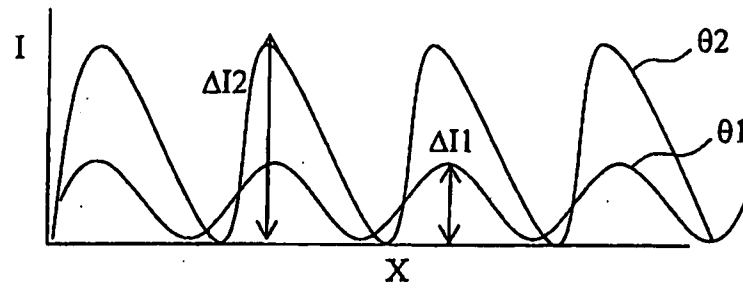


圖 10

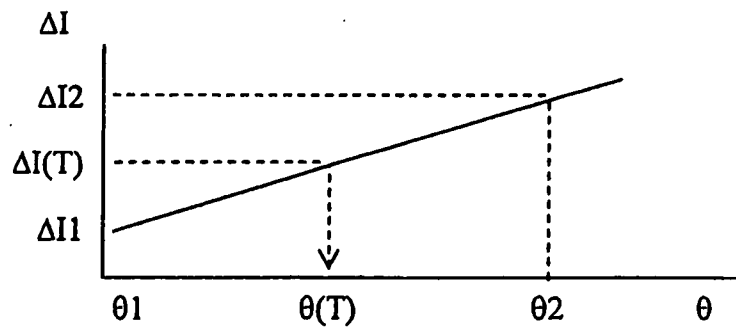
(a1)



(a2)



(b)



(c)

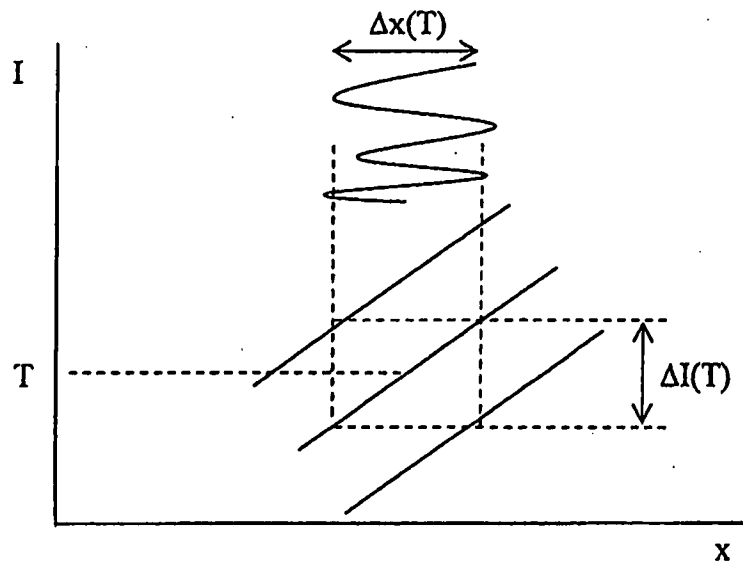


圖 11

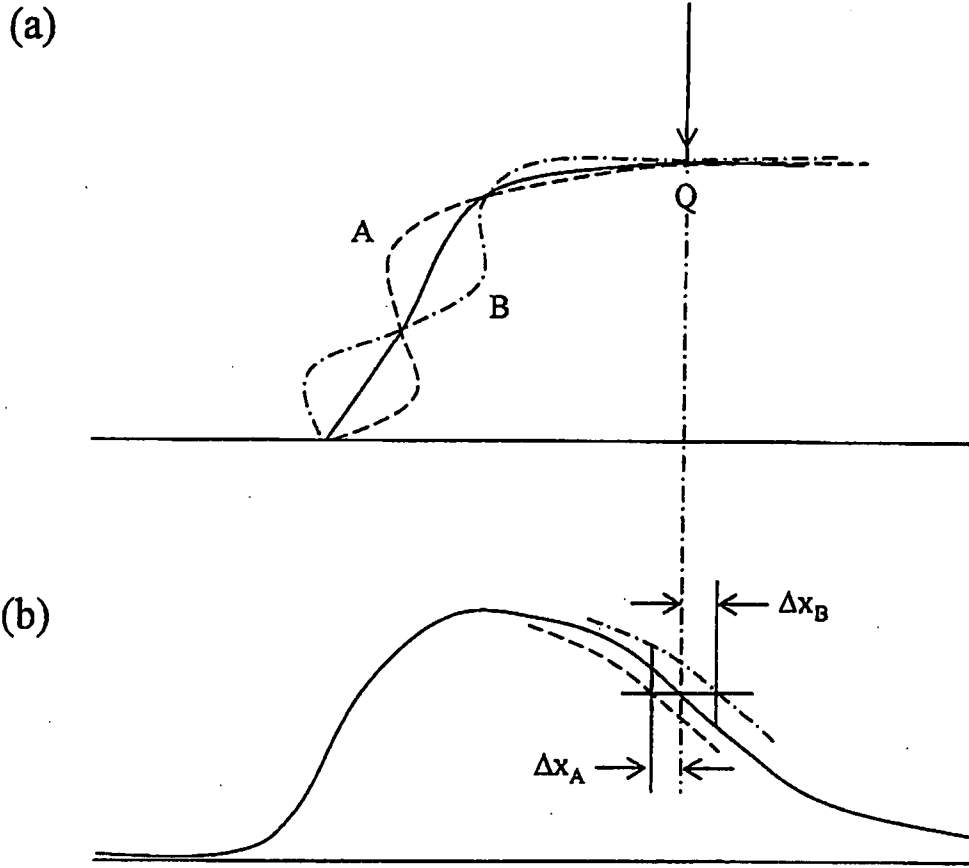


圖 12

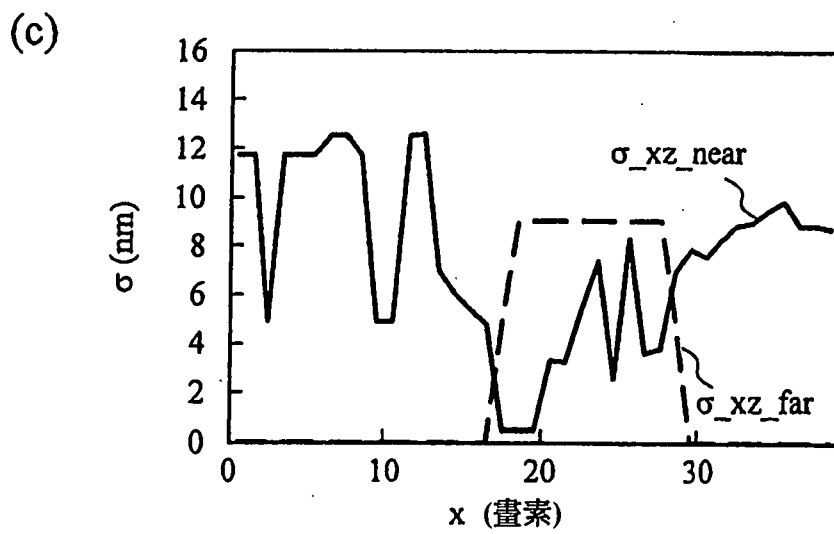
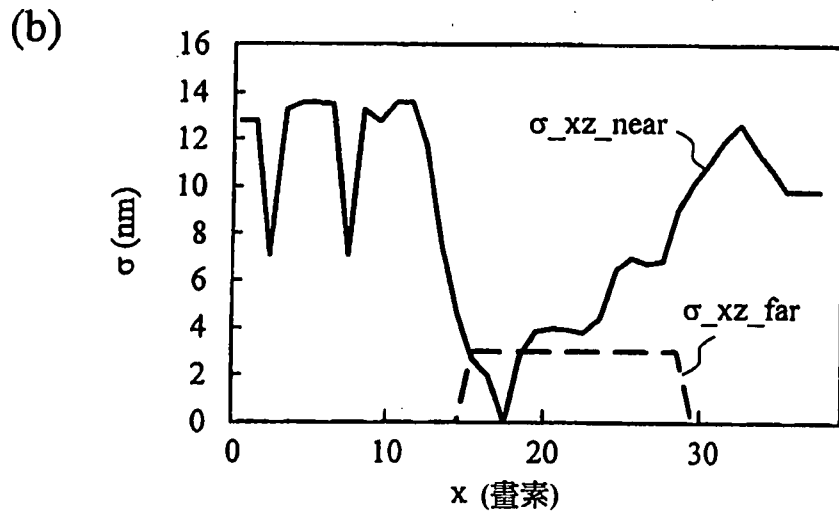
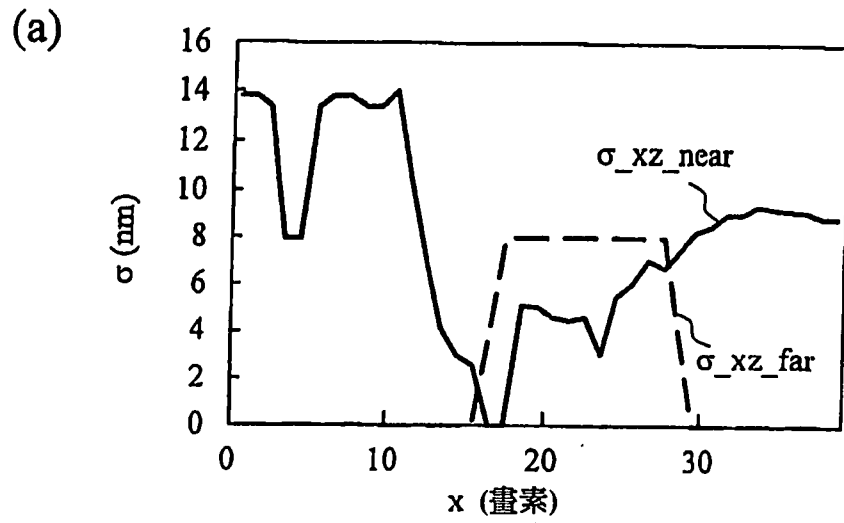
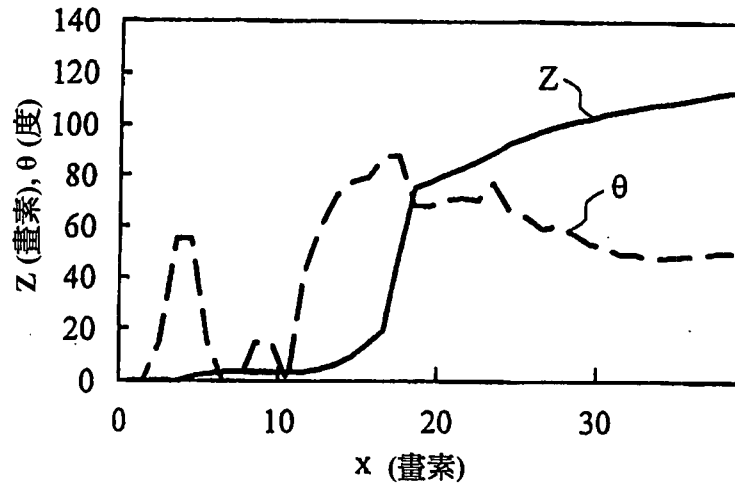
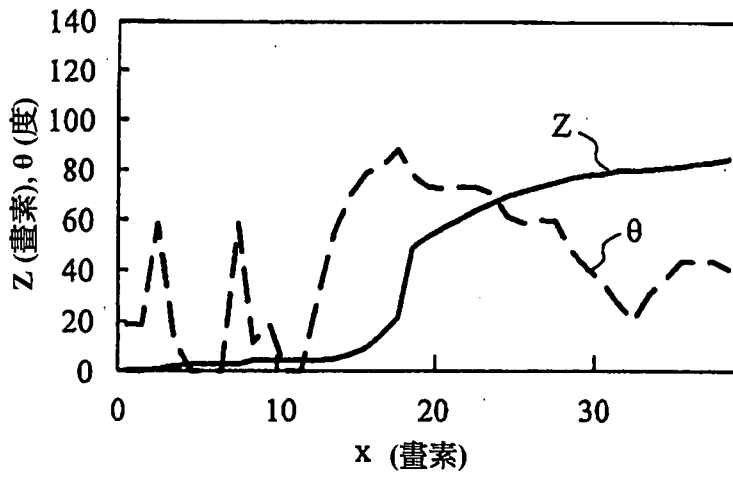


圖 13

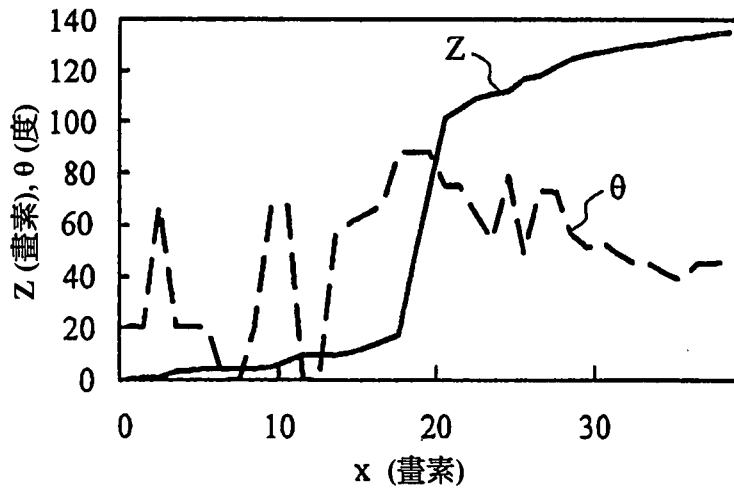
(a)



(b)



(c)



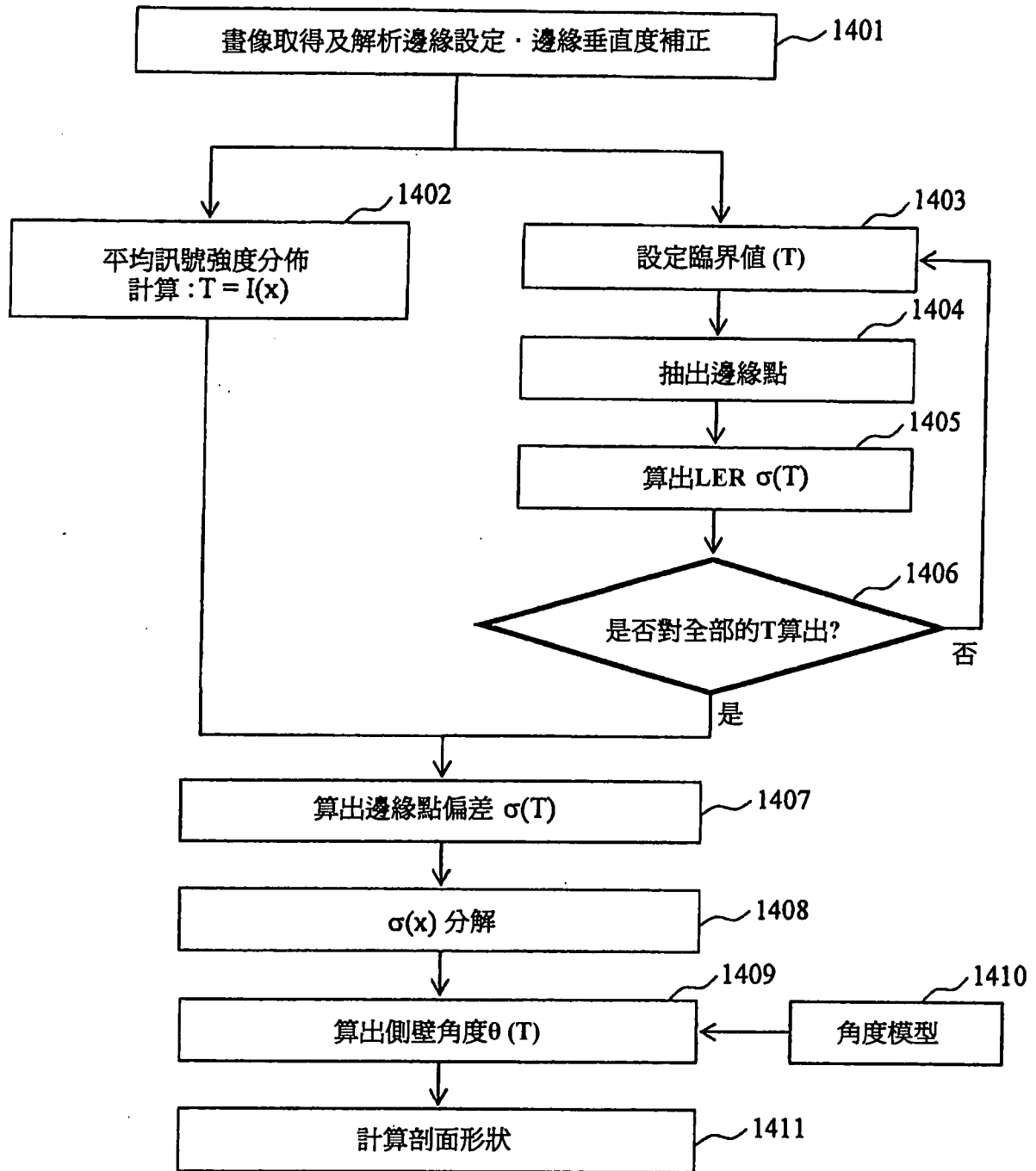


圖 15

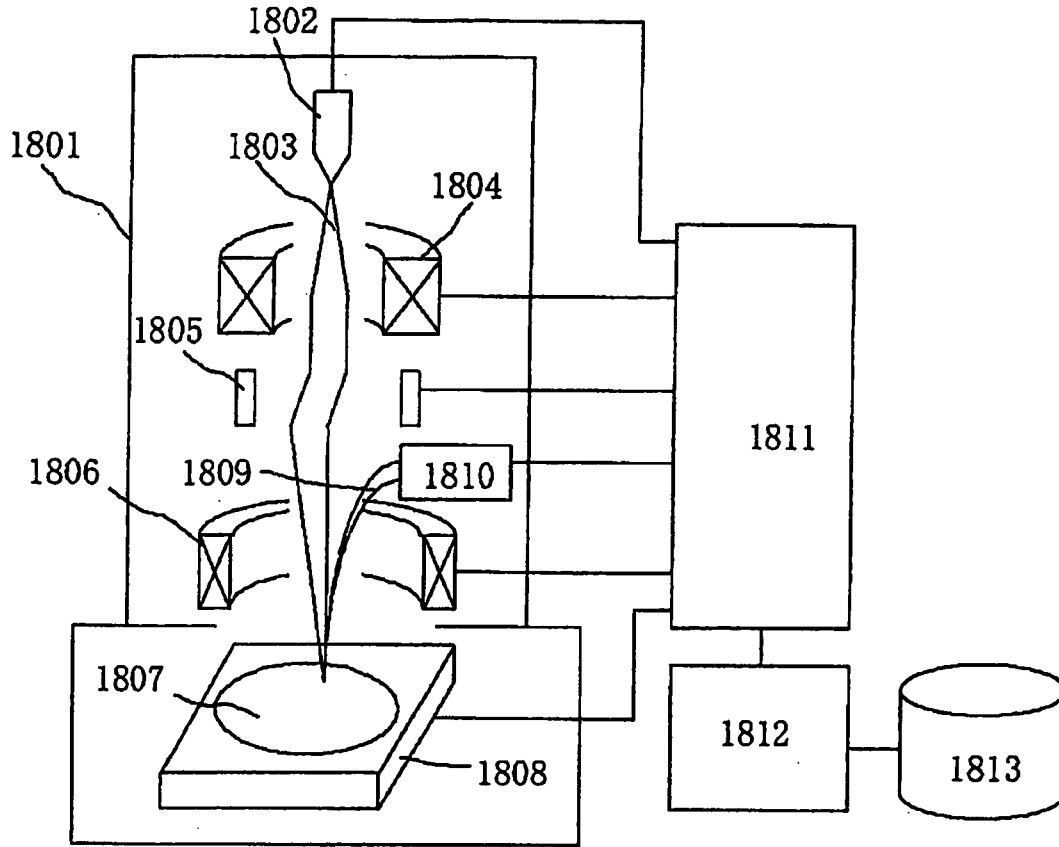


圖 16

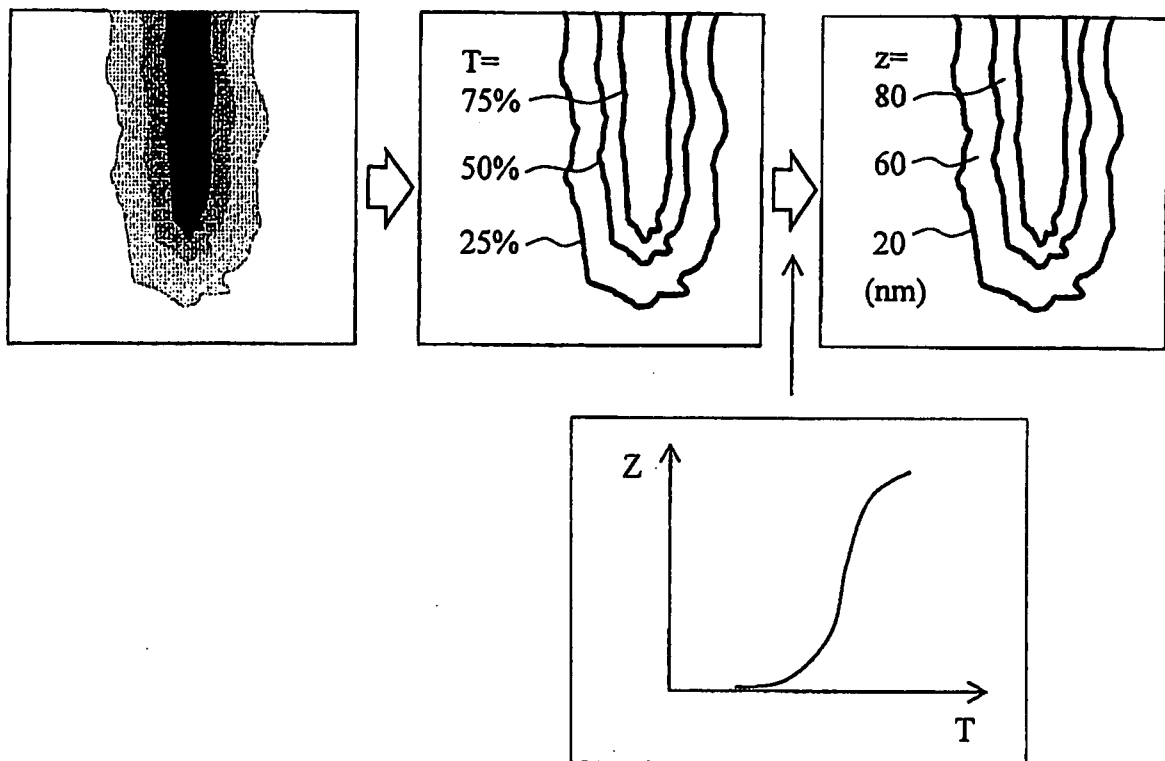
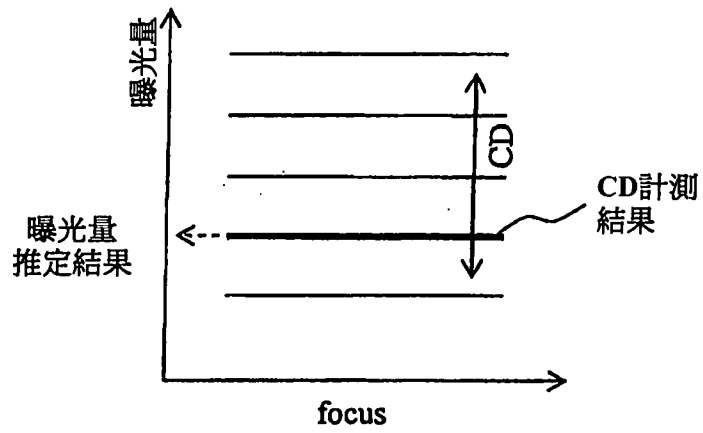


圖 17

(a)



(b)



(c)

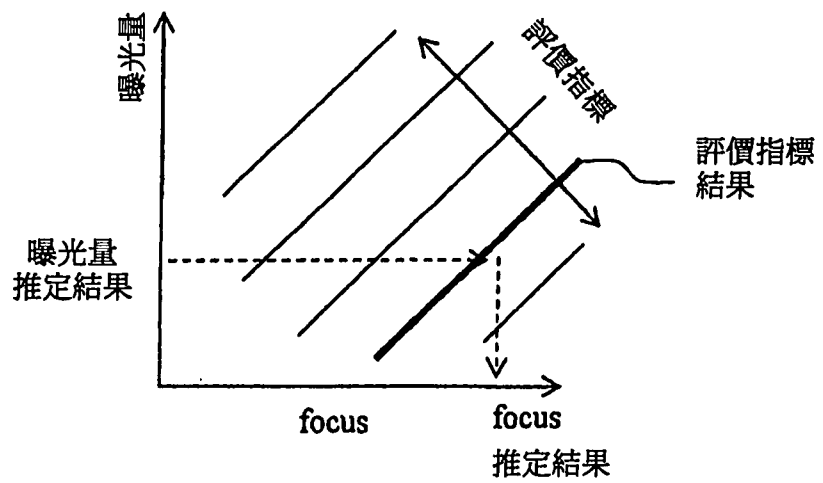


圖 18

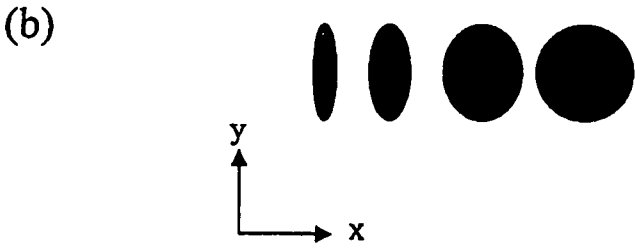
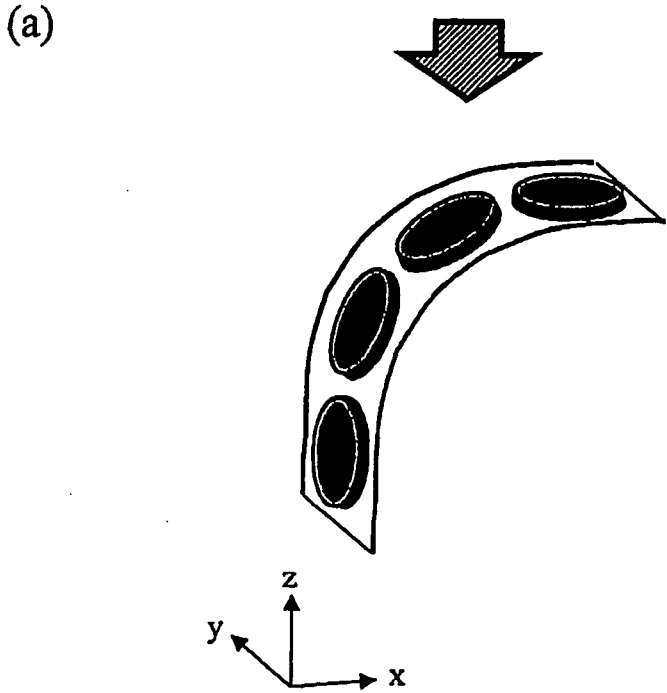


圖 19

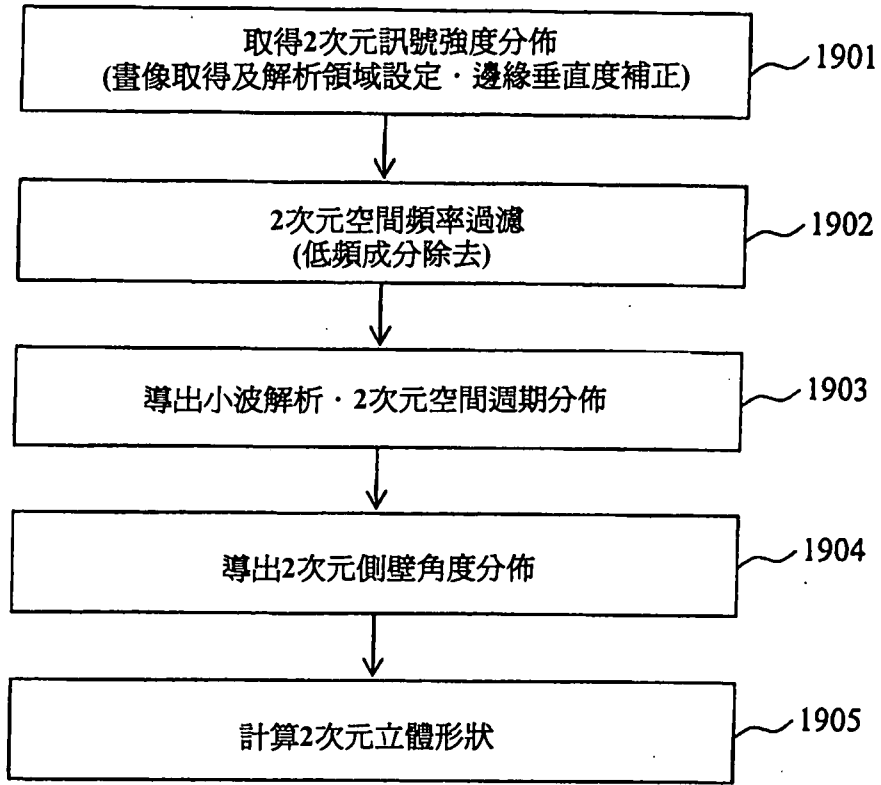


圖 20

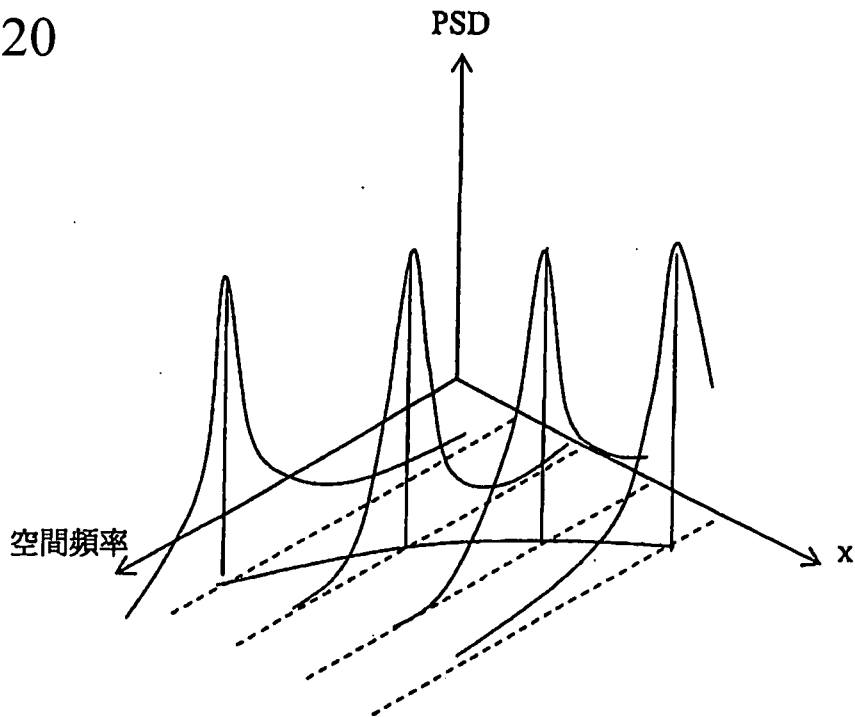


圖 21

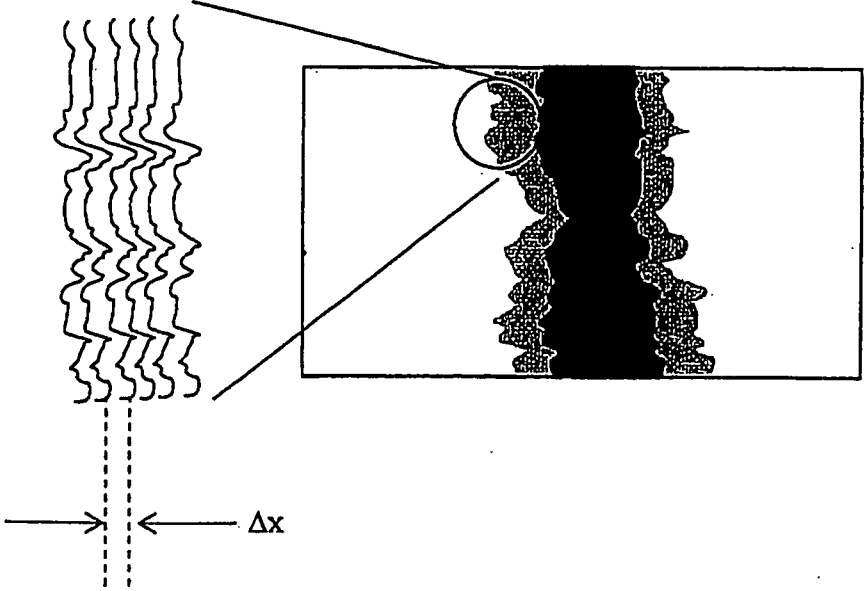


圖 22

