



(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 I694316 B

(45) 公告日：中華民國 109 (2020) 年 05 月 21 日

(21) 申請案號：107146307

(22) 申請日：中華民國 107 (2018) 年 12 月 21 日

(51) Int. Cl. : G03F7/20 (2006.01)

(30) 優先權：2017/12/22 美國 62/609,755

2018/11/30 美國 62/773,259

(71) 申請人：荷蘭商 A S M L 荷蘭公司 (荷蘭) ASML NETHERLANDS B.V. (NL)
荷蘭

(72) 發明人：史拉奇特 亞伯拉罕 SLACHTER, ABRAHAM (NL)；亨奇 史蒂芬 HUNSCHE, STEFAN (DE)；泰爾 溫 提波 TEL, WIM TJIBBO (NL)；凡 巫斯登 安東 伯恩哈得 VAN OOSTEN, ANTON BERNHARD (NL)；范 因根 史齊橈 柯恩拉 德 VAN INGEN SCHENAU, KOENRAAD (NL)；瑞斯朋 吉斯博特 RISPENS, GIJSBERT (NL)；彼得森 布洛南 PETERSON, BRENNAN (US)

(74) 代理人：林嘉興

(56) 參考文獻：

US 2013/0254724A1

WO 2017/080729A1

審查人員：李科

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：32 共 164 頁

(54) 名稱

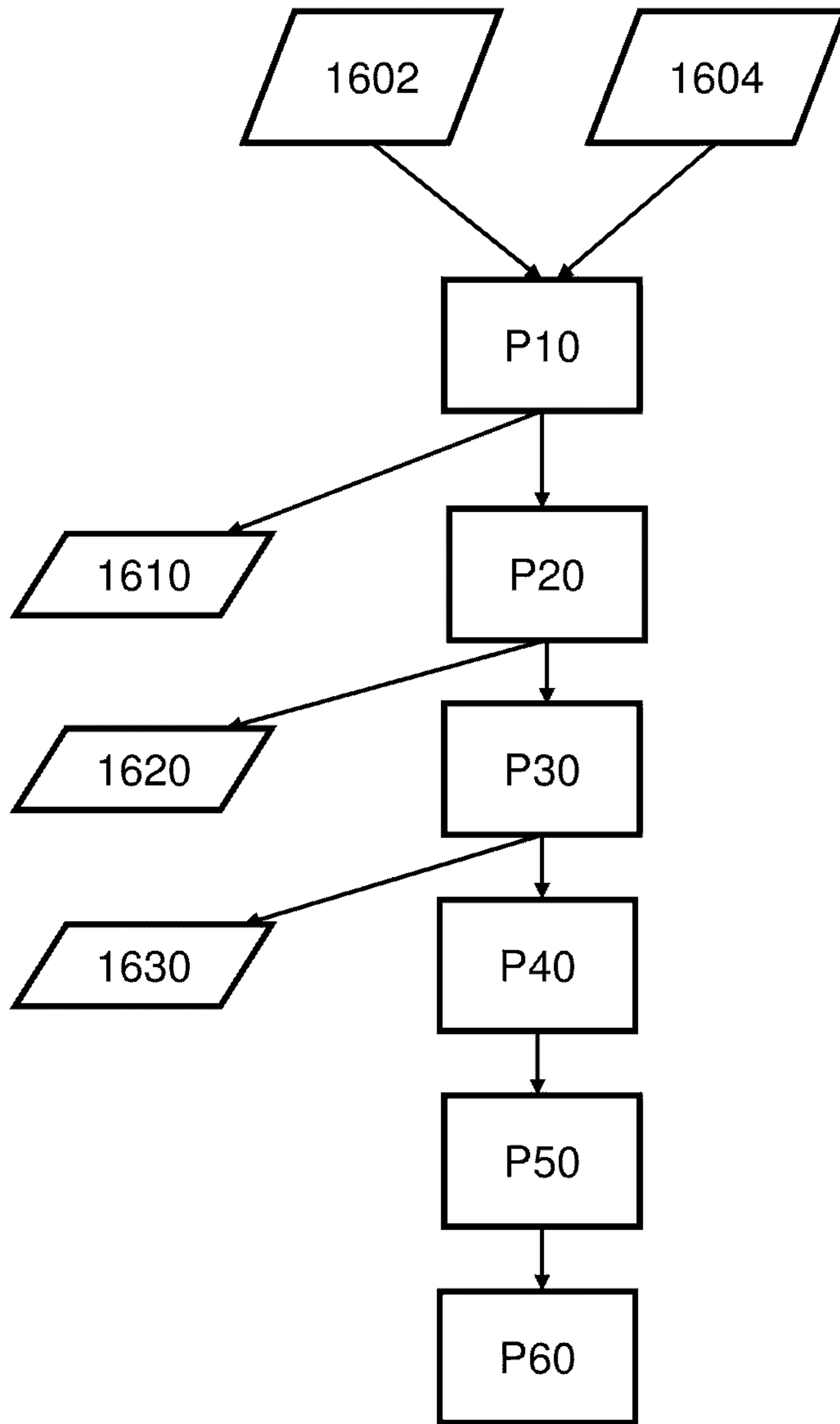
基於缺陷機率的製程窗

(57) 摘要

本文中描述一種方法。該方法包括以下步驟：獲得(i)該特徵之一參數之量測結果、(ii)與一圖案化製程之一製程變數相關的資料、(iii)基於該參數之該等量測結果及與該製程變數相關之該資料而定義為該製程變數之一函數的該參數之一函數行為、(iv)該特徵之一失效率之量測結果，及(v)針對該製程變數之一設定的該製程變數之一機率密度函數；基於一轉換函數將該製程變數之該機率密度函數轉換成該參數之一機率密度函數，其中該轉換函數係基於該製程變數之該函數而判定；及基於該參數之該機率密度函數及該失效率之該等量測結果而判定該參數之一參數極限。

Described herein is a method. The method includes steps for obtaining (i) measurements of a parameter of the feature, (ii) data related to a process variable of a patterning process, (iii) a functional behavior of the parameter defined as a function of the process variable based on the measurements of the parameter and the data related to the process variable, (iv) measurements of a failure rate of the feature, and (v) a probability density function of the process variable for a setting of the process variable, converting the probability density function of the process variable to a probability density function of the parameter based on a conversion function, where the conversion function is determined based on the function of the process variable, and determining a parameter limit of the parameter based on the probability density function of the parameter and the measurements of the failure rate.

指定代表圖：



符號簡單說明：

1602 . . . 參數/量測
結果

1604 . . . 製程變數/
量測結果

1610 . . . 第一函數
關係

1620 . . . 製程變數
PDF/劑量 PDF

1630 . . . 參數 PDF/
CD PDF

P10 . . . 程序

P20 . . . 程序

P30 . . . 程序

P40 . . . 程序

P50 . . . 程序

P60 . . . 步驟/程序

【圖10】



公告本

I694316

【發明摘要】

【中文發明名稱】

基於缺陷機率的製程窗

【英文發明名稱】

PROCESS WINDOW BASED ON DEFECT PROBABILITY

【中文】

本文中描述一種方法。該方法包括以下步驟：獲得(i)該特徵之一參數之量測結果、(ii)與一圖案化製程之一製程變數相關的資料、(iii)基於該參數之該等量測結果及與該製程變數相關之該資料而定義為該製程變數之一函數的該參數之一函數行為、(iv)該特徵之一失效率之量測結果，及(v)針對該製程變數之一設定的該製程變數之一機率密度函數；基於一轉換函數將該製程變數之該機率密度函數轉換成該參數之一機率密度函數，其中該轉換函數係基於該製程變數之該函數而判定；及基於該參數之該機率密度函數及該失效率之該等量測結果而判定該參數之一參數極限。

【英文】

Described herein is a method. The method includes steps for obtaining (i) measurements of a parameter of the feature, (ii) data related to a process variable of a patterning process, (iii) a functional behavior of the parameter defined as a function of the process variable based on the measurements of the parameter and the data related to the process variable, (iv) measurements of a failure rate of the feature, and (v) a probability density function of the process variable for a setting of the process variable, converting the probability density function of the

process variable to a probability density function of the parameter based on a conversion function, where the conversion function is determined based on the function of the process variable, and determining a parameter limit of the parameter based on the probability density function of the parameter and the measurements of the failure rate.

【指定代表圖】

圖10

【代表圖之符號簡單說明】

1602	參數/量測結果
1604	製程變數/量測結果
1610	第一函數關係
1620	製程變數PDF/劑量PDF
1630	參數PDF/CD PDF
P10	程序
P20	程序
P30	程序
P40	程序
P50	程序
P60	步驟/程序

【發明說明書】

【中文發明名稱】

基於缺陷機率的製程窗

【英文發明名稱】

PROCESS WINDOW BASED ON DEFECT PROBABILITY

【技術領域】

【0001】 本發明係關於改良裝置製造製程之效能的技術。該等技術可結合微影設備或度量衡設備而使用。

【先前技術】

【0002】 微影設備係將所要圖案施加至基板之目標部分上的機器。微影設備可用於例如積體電路(IC)製造中。在彼情形下，替代地被稱作光罩或倍縮光罩之圖案化裝置可用以產生對應於IC之個別層的電路圖案，且此圖案可成像至具有輻射敏感材料(抗蝕劑)層之基板(例如，矽晶圓)上的目標部分(例如，包含晶粒之部分、一個晶粒或若干晶粒)上。一般而言，單一基板將含有經連續曝光之鄰近目標部分之網路。已知微影設備包括：所謂的步進器，其中藉由一次性將整個圖案曝光至每一目標部分上來輻照該目標部分；及所謂的掃描器，其中藉由在給定方向(「掃描」方向)上經由光束掃描圖案同時平行或反平行於此方向同步地掃描基板來輻照每一目標部分。

【0003】 在將電路圖案自圖案化裝置轉印至基板之前，基板可經歷各種程序，諸如底塗、抗蝕劑塗佈及軟烘烤。在曝光之後，基板可經受其他程序，諸如曝光後烘烤(PEB)、顯影、硬烘烤，及經轉印電路圖案之量測/檢測。此程序陣列用作製造例如IC之裝置之個別層的基礎。基板接著

可經歷各種製程，諸如蝕刻、離子植入(摻雜)、金屬化、氧化、化學機械拋光等，該等製程皆意欲精整裝置之個別層。若在裝置中需要若干層，則針對每一層重複整個程序或其變體。最終，在基板上之每一目標部分中將存在裝置。接著藉由諸如切塊或鋸切之技術使此等裝置彼此分離，由此可將個別裝置安裝於載體上、連接至接腳，等等。

【0004】 因此，製造諸如半導體裝置之裝置通常涉及使用數個製作製程來處理基板(例如，半導體晶圓)以形成裝置之各種特徵及多個層。通常使用例如沈積、微影、蝕刻、化學機械拋光及離子植入來製造及處理此等層及特徵。可在基板上之複數個晶粒上製作多個裝置，且接著將該等裝置分離成個別裝置。此裝置製造製程可被視為圖案化製程。圖案化製程涉及使用微影設備中之圖案化裝置進行圖案化步驟，諸如光學及/或奈米壓印微影，以將圖案化裝置上之圖案轉印至基板，且圖案化製程通常但視情況涉及一或多個相關圖案處理步驟，諸如藉由顯影設備進行抗蝕劑顯影、使用烘烤工具來烘烤基板、使用蝕刻設備而使用圖案進行蝕刻，等等。

【發明內容】

【0005】 根據本發明之一實施例，提供一種用於判定一基板上之一特徵之參數極限的方法。該方法包括以下步驟：獲得(i)該特徵之一參數之量測結果、(ii)與一圖案化製程之一製程變數相關的資料、(iii)基於該參數之該等量測結果及與該製程變數相關之該資料而定義為該製程變數之一函數的該參數之一函數行為、(iv)該特徵之一失效率之量測結果，及(v)針對該製程變數之每個設定的該製程變數之一機率密度函數。另外，該方法包括以下步驟：基於一轉換函數針對該製程變數之每個設定將該製程變數之該機率密度函數轉換成該參數之一機率密度函數，其中該轉換函數係基

於該製程變數之該函數而判定；及基於該參數之該機率密度函數及該特徵之該失效率之該等量測結果而判定該參數之一參數極限。

【0006】 該製程變數之該機率密度函數的該判定係基於該製程變數之一方差及針對該製程變數之每個設定而判定的該製程變數之該函數關於該製程變數的一局部導數，該方差係自針對該製程變數之每個設定的該參數之一所量測方差運算。

【0007】 該轉換函數係一轉換因數，其中該轉換因數係針對該製程變數之每個設定而判定的該製程變數之該函數之一逆的一局部導數之一絕對值。

【0008】 基於該參數極限及該參數之該機率密度函數而判定該特徵之一所估計失效率；及識別與該製程變數相關之一製程窗，使得該特徵之該所估計失效率小於一預定臨限值。該預定臨限值係基於該圖案化製程之一選定良率。

【0009】 該失效率與該特徵之一或多個失效相關，一或多個失效模式包含該特徵之一實體失效、一轉印失效及/或推遲失效。在一實施例中，該特徵之該推遲失效係基於已量測在該圖案化製程中之一後續步驟期間發生之一失效的對該製程參數之一規定限制。該特徵之該一或多個失效係基於一特定失效之一頻率而加權以產生該特徵之一經加權失效率。

【0010】 該方法進一步包括以下步驟：基於該一或多個失效與該製程變數之間的一相關性而獲得該製程變數之一加權函數；基於該製程變數之該加權函數而判定該參數之一加權參數極限；及基於該加權參數極限而判定該製程窗。

【0011】 該方法進一步包括用於基於與一抗蝕劑製程相關聯之該等

推遲失效藉由模擬而使用該抗蝕劑製程之一抗蝕劑模型來最佳化一抗蝕劑厚度及/或抗蝕劑類型的步驟。與該抗蝕劑製程相關聯之該失效包括一基腳失效及/或一頸縮失效。

【0012】 該方法進一步包括以下步驟：獲得用於複數個特徵類型中之每一特徵類型的該參數極限及基於對應參數極限的該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率；及基於該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率之一乘積而判定一重疊製程窗。

【0013】 該方法進一步包括用於藉由模型化及/或模擬基於該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率之一最大值而反覆地判定一光學近接校正的步驟。該所估計失效率之該最大值對應於具有最低良率之一特徵類型。

【0014】 該方法進一步包括用於自該參數之該所量測方差判定該參數之一精化方差的步驟，其中該精化方差考量由於與該製程變數無關之因素的方差。該精化方差係藉由自該所量測方差移除由於與該製程變數無關之該等因素的該方差來運算。與該製程變數無關之該等因素包括來自度量衡雜訊、光罩及背景之貢獻。該背景之該貢獻係在該製程變數之一特定設定下判定的該圖案化製程之一隨機分量，其中該所量測方差對該製程變數具有最小敏感度。

【0015】 該製程窗之該判定係基於該精化方差。

【0016】 該方法進一步包括以下步驟：獲得該圖案化製程之一圖案轉印後步驟的一轉移函數，及基於該轉移函數之另一製程變數PDF；及基於該另一製程變數PDF而判定該製程窗。

【0017】 該圖案化製程之該參數係一臨界尺寸且該製程變數係一劑

量。

【0018】 該製程變數之該設定係在一劑量值範圍內的一劑量值。

【0019】 該圖案化製程經組態以基於該製程窗而調整該圖案化製程之一或多個設備。該一或多個設備包括經組態以基於該製程窗而在一基板上執行圖案化的一微影設備。

【0020】 另外，根據本發明之一實施例，提供一種用於判定一圖案化製程之一製程窗的方法。該方法包括以下步驟：獲得(i)基於該圖案化製程之失效率量測結果的該圖案化製程之一參數的一參數極限，及(ii)定義為該圖案化製程之一製程變數及該製程變數之一方差的一函數的該參數之一機率密度函數。該方法進一步包括以下步驟：基於該參數極限及該參數之該機率密度函數而判定該圖案化製程之一所估計失效率；及藉由一硬體電腦系統，依據該製程變數而識別該製程窗，使得該參數之該所估計失效率小於一選定臨限值。

【0021】 該製程窗之該識別涉及判定該所估計失效率與該選定臨限值之一相交區之間的該製程變數之一範圍。該相交區係藉由在一曲線圖上標繪該所估計失效率、該製程變數及該選定臨限值來以圖形方式判定。該選定臨限值係基於該圖案化製程之一選定良率。

【0022】 該圖案化製程經組態以基於該製程窗而調整該圖案化製程之一或多個設備。該一或多個設備包括經組態以基於該製程窗而在一基板上執行圖案化的一微影設備。

【0023】 該圖案化製程之該參數係一臨界尺寸且該製程變數係一劑量。

【0024】 該製程變數之設定係在一劑量值範圍內的一劑量值。

【0025】此外，提供一種用於判定一圖案化製程之一製程窗的方法，該方法包括：獲得(i)該圖案化製程之一第一參數的一變化、(ii)基於該第一參數與一第二參數之間的一關係的該第二參數之一變化，及(iii)該圖案化製程之一製程模型；藉由一硬體電腦系統在該第一參數與該第二參數之間的該關係中插入一高斯分佈以用於修改該第一參數之該變化，從而產生該第二參數之一失效率分佈；及經由該製程模型之模擬來識別該製程窗使得最佳化該製程模型之一評價函數，其中該評價函數包含基於該第二參數之失效率分佈的一缺陷量度。

【0026】在一實施例中，該識別該製程窗係一反覆程序，一反覆包括偏置該第二參數；及基於由於該偏置之該失效率分佈而判定一失效率。

【0027】在一實施例中，該偏置係藉由調整該第一參數之值或一圖案化裝置之一特性來達成。

【0028】在一實施例中，該第一參數係一劑量且該第二參數係一臨界尺寸。

【0029】在一實施例中，該臨界尺寸之該偏置包含調整該劑量及/或該圖案化裝置之一特徵的一尺寸。

【0030】在一實施例中，該偏置包括增加或減小待印刷於基板上之該臨界尺寸。

【0031】在一實施例中，該臨界尺寸之該調整係藉由增加或減小該圖案化製程之該劑量來達成。

【0032】在一實施例中，該製程窗之該識別進一步包括基於相關於一第一圖案之一第一製程窗與相關於一第二圖案之一第二製程窗的一重疊

而判定一重疊製程窗。

【0033】 在一實施例中，該第一圖案及該第二圖案係製程窗限制圖案。

【0034】 在一實施例中，該評價函數之最佳化包含最小化與一或多個缺陷相關聯之一失效率。

【0035】 在一實施例中，該一或多個缺陷包含一孔封閉。

【0036】 在一實施例中，該評價函數之最佳化涉及建立由於該第一參數之值低於一第一臨限值的一第一缺陷出現及/或由於該第一參數之該等值高於一第二臨限值的一第二缺陷出現之間的一平衡。

【0037】 在一實施例中，該第一臨限值低於該第二臨限值。

【0038】 在一實施例中，該評價函數進一步包含與一焦點、疊對、msdz及劑量中之一或多者相關的約束。

【0039】 在一實施例中，第一參數變化係基於該圖案化製程之一局部參數均一性模型的模擬而估計。

【0040】 在一實施例中，該局部參數均一性模型係一局部臨界尺寸均一性模型。

【0041】 在一實施例中，該製程模型係一源最佳化、光罩最佳化及/或一源-光罩最佳化模型。

【0042】 在一實施例中，該高斯分佈具有大於或等於 3σ 之一變化。

【0043】 在一實施例中，該一或多個缺陷包括一孔封閉、頸縮及橋接中之至少一者。

【0044】 在一實施例中，該失效率分佈係用以針對該第二參數之一改變來運算缺陷出現之一機率的一機率密度函數。

【0045】 在一實施例中，該缺陷量度係缺陷之一總數、與該一或多個缺陷相關聯之一失效率。

【0046】 此外，提供一種用於基於一基於缺陷之製程窗來執行源-光罩最佳化的方法。該方法包括：自一源-光罩最佳化模型獲得一第一結果及該第一結果內之製程窗限制圖案；及經由一硬體電腦系統基於一缺陷量度而調整一源及/或一光罩之特性，使得縮減該缺陷量度。

【0047】 在一實施例中，該調整包括偏置該光罩以在使用該光罩印刷之一基板上產生一正偏置。

【0048】 在一實施例中，該偏置應用於一圖案限制製程窗內之圖案化。

【0049】 在一實施例中，該方法進一步包括對該光罩執行一光學近接校正以縮減該缺陷量度。

【0050】 在一實施例中，該方法進一步包括增加一特徵之臨界尺寸，使得該特徵相對接近或觸碰一相鄰特徵。

【圖式簡單說明】

【0051】 圖1示意性地描繪根據一實施例之微影設備。

【0052】 圖2示意性地描繪微影製造單元或叢集之一實施例。

【0053】 圖3示意性地描繪實例檢測設備及度量衡技術。

【0054】 圖4示意性地描繪實例檢測設備。

【0055】 圖5說明檢測設備之照明光點與度量衡目標之間的關係。

【0056】 圖6示意性地描繪基於量測資料導出複數個所關注變數之程序。

【0057】 圖7展示處理變數之實例類別。

【0058】 圖8示意性地展示根據一實施例的用於圖案化模擬方法的流程。

【0059】 圖9示意性地展示根據一實施例的用於量測模擬方法的流程。

【0060】 圖10示意性地展示根據一實施例的用於判定基於缺陷之製程窗的方法之流程。

【0061】 圖11A說明根據一實施例的所量測CD與劑量之間的實例關係。

【0062】 圖11B說明根據一實施例的在不同劑量設定下之實例劑量PDF。

【0063】 圖11C說明根據一實施例的在不同劑量設定下之實例CD PDF。

【0064】 圖11D說明根據一實施例之實例失效模式。

【0065】 圖11E說明根據一實施例之另一實例失效模式。

【0066】 圖11F說明根據一實施例的在劑量設定下之實例參數極限。

【0067】 圖11G說明根據一實施例的在不同劑量設定下之實例參數極限及相關失效機率。

【0068】 圖11H說明根據一實施例之實例製程窗。

【0069】 圖12A說明根據一實施例的用於第一特徵之實例製程窗。

【0070】 圖12B說明根據一實施例的用於第二特徵之實例製程窗。

【0071】 圖12C說明根據一實施例的圖12A及圖12B之重疊製程窗。

【0072】 圖13說明根據一實施例之多維製程窗。

【0073】 圖14示意性地展示根據一實施例的用於精化製程窗之方法的流程。

【0074】 圖15A說明根據一實施例的用於第一特徵之不同製程窗的實例。

【0075】 圖15B說明根據一實施例的用於第二特徵之不同製程窗的實例。

【0076】 圖16示意性地展示根據一實施例的用於精化製程窗之方法的流程。

【0077】 圖17說明根據一實施例之方法的實例應用。

【0078】 圖18係根據一實施例的對應於圖1中之子系統的模擬模型之方塊圖。

【0079】 圖19展示根據一實施例的最佳化微影投影設備之一般方法的流程圖。

【0080】 圖20展示根據一實施例的最佳化微影投影設備之方法的流程圖，在該微影投影設備中替代地執行所有設計變數之最佳化。

【0081】 圖21展示根據一實施例之最佳化的一個例示性方法。

【0082】 圖22展示根據一實施例的用於基於缺陷判定製程窗之方法的流程圖。

【0083】 圖23A係根據一實施例之實例高斯(Gaussian)分佈。

【0084】 圖23B說明根據一實施例的第一參數與第二參數之間的實例關係。

【0085】 圖23C說明根據一實施例的在不同晶圓偏置下之實例機率分佈。

【0086】 圖24說明根據一實施例的在OPC製程期間之光罩的偏置之實例。

【0087】 圖25A及圖25B說明根據一實施例的實例劑量分佈、劑量-CD關係以及自劑量分佈及劑量-CD關係判定的CD之機率分佈。

【0088】 圖26說明根據一實施例的自不同方法獲得之CD的實例機率分佈。

【0089】 圖27根據一實施例的基於藉由對所量測失效率應用該方法而判定的關於例如EUV掃描器上之24 nm HP接觸孔之所量測資料的實例製程窗。

【0090】 圖28A至圖28D說明在用以運算圖27之製程窗的不同劑量/焦點值下的實例失效分佈。

【0091】 圖29係根據一實施例之實例電腦系統的方塊圖。

【0092】 圖30係根據一實施例之另一微影投影設備的示意圖。

【0093】 圖31係根據一實施例之圖26中的設備之更詳細視圖。及

【0094】 圖32係根據一實施例之圖30及圖31的設備之源收集器模組的更詳細視圖。

【實施方式】

【0095】 在詳細地描述實施例之前，呈現可供實施實施例之實例環境具指導性。

【0096】 圖1示意性地描繪微影設備LA之實施例。該設備包含：

- 照明系統(照明器) IL，其經組態以調節輻射光束B (例如，UV輻射或DUV輻射)；
- 支撐結構(例如，光罩台) MT，其經建構以支撐圖案化裝置(例

如，光罩) MA，且連接至經組態以根據某些參數準確地定位圖案化裝置之第一定位器PM；

- 基板台(例如，晶圓台) WT (例如，WTa、WTb或其兩者)，其經建構以固持基板(例如，抗蝕劑塗佈晶圓) W且連接至經組態以根據某些參數準確地定位基板之第二定位器PW；及

- 投影系統(例如，折射投影透鏡系統) PS，其經組態以將藉由圖案化裝置MA賦予至輻射光束B之圖案投影至基板W之目標部分C (例如，包含一或多個晶粒且常常被稱作場)上，該投影系統支撐於參考框架(RF)上。

【0097】 如此處所描繪，該設備屬於透射類型(例如，使用透射光罩)。替代地，該設備可屬於反射類型(例如，使用如上文所提及之類型之可程式化鏡面陣列，或使用反射光罩)。

【0098】 照明器IL自輻射源SO接收輻射光束。舉例而言，當源為準分子雷射時，源及微影設備可係單獨實體。在此類狀況下，不將源視為形成微影設備之部分，且藉助於包含例如合適導向鏡面及/或擴束器之光束傳遞系統BD將輻射光束自源SO傳遞至照明器IL。在其他狀況下，例如當源為水銀燈時，該源可係設備之整體部分。源SO及照明器IL連同光束傳遞系統BD (在需要時)可被稱作輻射系統。

【0099】 照明器IL可變更光束之強度分佈。照明器可經配置以限制輻射光束之徑向範圍，使得在照明器IL之光瞳平面中之環形區內的強度分佈為非零。另外或替代地，照明器IL可操作以限制光束在光瞳平面中之分佈，使得在光瞳平面中之複數個等距間隔開之區段中的強度分佈為非零。輻射光束在照明器IL之光瞳平面中之強度分佈可被稱作照明模式。

【0100】 因此，照明器IL可包含經組態以調整光束之(角度/空間)強度分佈之調整器AD。通常，可調整照明器之光瞳平面中的強度分佈之至少外部徑向範圍及/或內部徑向範圍(通常分別被稱作 σ 外部及 σ 內部)。照明器IL可操作以使光束之角分佈變化。舉例而言，照明器可操作以變更強度分佈為非零的光瞳平面中之區段之數目及角度範圍。藉由調整光束在照明器之光瞳平面中之強度分佈，可達成不同照明模式。舉例而言，藉由限制照明器IL之光瞳平面中之強度分佈的徑向範圍及角度範圍，強度分佈可具有多極分佈，諸如偶極、四極或六極分佈。可例如藉由將提供所要照明模式之光學件插入至照明器IL中或使用空間光調變器來獲得彼照明模式。

【0101】 照明器IL可操作以變更光束之偏振且可操作以使用調整器AD來調整偏振。跨越照明器IL之光瞳平面之輻射光束的偏振狀態可被稱作偏振模式。使用不同偏振模式可允許在形成於基板W上之影像中達成較大對比度。輻射光束可係非偏振的。替代地，照明器可經配置以使輻射光束線性地偏振。輻射光束之偏振方向可跨越照明器IL之光瞳平面而變化。輻射之偏振方向在照明器IL之光瞳平面中之不同區中可不同。可取決於照明模式來選擇輻射之偏振狀態。對於多極照明模式，輻射光束之每一極之偏振通常可垂直於照明器IL之光瞳平面中之彼極的位置向量。舉例而言，對於偶極照明模式，輻射可在大體上垂直於平分偶極之兩個相對區段之線的方向上線性地偏振。輻射光束可在兩個不同正交方向中之一者上偏振，其可被稱作X偏振狀態及Y偏振狀態。對於四極照明模式，每一極之區段中之輻射可在大體上垂直於平分彼區段之線之方向上線性地偏振。此偏振模式可被稱作XY偏振。類似地，對於六極照明模式，每一極之區段中之輻射可在大體上垂直於平分彼區段之線之方向上線性地偏振。此偏振模式

可被稱作TE偏振。

【0102】此外，照明器IL通常包含各種其他組件，諸如積光器IN及聚光器CO。照明系統可包括用於導向、塑形或控制輻射的各種類型之光學組件，諸如折射、反射、磁性、電磁、靜電或其他類型之光學組件，或其任何組合。

【0103】因此，照明器提供在橫截面中具有所要均一性及強度分佈的經調節輻射光束B。

【0104】支撐結構MT以取決於圖案化裝置之定向、微影設備之設計及諸如圖案化裝置是否固持於真空環境中之其他條件的方式支撐圖案化裝置。支撐結構可使用機械、真空、靜電或其他夾持技術以固持圖案化裝置。支撐結構可係例如框架或台，其可視需要為固定或可移動的。支撐結構可確保圖案化裝置例如相對於投影系統處於所要位置。本文中對術語「倍縮光罩」或「光罩」之任何使用皆可被視為與更一般術語「圖案化裝置」同義。

【0105】本文中所使用之術語「圖案化裝置」應被廣泛地解譯為係指可用以在基板之目標部分中賦予圖案的任何裝置。在一實施例中，圖案化裝置係可用以在輻射光束之橫截面中向輻射光束賦予圖案以便在基板之目標部分中產生圖案的任何裝置。應注意，例如，若被賦予至輻射光束之圖案包括相移特徵或所謂的輔助特徵，則該圖案可能不會準確地對應於基板之目標部分中之所要圖案。通常，被賦予至輻射光束之圖案將對應於在目標部分中所產生之裝置(諸如，積體電路)中的特定功能層。

【0106】圖案化裝置可係透射或反射的。圖案化裝置之實例包括光罩、可程式化鏡面陣列及可程式化LCD面板。光罩在微影中係熟知的，且

包括諸如二元、交變相移及衰減相移之光罩類型，以及各種混合光罩類型。可程式化鏡面陣列之實例使用小鏡面之矩陣配置，該等小鏡面中之每一者可個別地傾斜，以便使入射輻射光束在不同方向上反射。傾斜鏡面在由鏡面矩陣反射之輻射光束中賦予圖案。

【0107】 本文中所使用之術語「投影系統」應被廣泛地解譯為涵蓋如適於所使用之曝光輻射或適於諸如浸潤液體之使用或真空之使用之其他因素的任何類型之投影系統，包括折射、反射、反射折射、磁性、電磁及靜電光學系統，或其任何組合。本文中對術語「投影透鏡」之任何使用皆可被視為與更一般術語「投影系統」同義。

【0108】 投影系統PS具有可為非均一且可影響成像於基板W上之圖案之光學轉移函數。對於非偏振輻射，此類效應可由兩個純量映像相當良好地描述，該兩個純量映像描述依據射出投影系統PS之輻射的光瞳平面中之位置而變化的該輻射之透射(變跡)及相對相位(像差)。可將可被稱作透射映像及相對相位映像之此等純量映像表達為基底函數之全集之線性組合。特別適宜的集合為任尼克(Zernike)多項式，其形成單位圓上所定義之正交多項式集合。每一純量映射之判定可涉及判定此展開式中之係數。由於任尼克多項式在單位圓上正交，因此可藉由依次計算所量測純量映射與每一任尼克多項式之內積且將此內積除以彼任尼克多項式之范數之平方來判定任尼克係數。

【0109】 透射映像及相對相位映像係場及系統相依的。亦即，一般而言，每一投影系統PS將針對每一場點(亦即，針對投影系統之影像平面中之每一空間部位)具有不同任尼克展開式。可藉由經由投影系統PS投影例如來自投影系統PS之物件平面(亦即，圖案化裝置MA之平面)中的類點

源之輻射且使用剪切干涉計量測波前(亦即，具有相同相位之點之軌跡)來判定投影系統PS在其光瞳平面中之相對相位。剪切干涉計係共同路徑干涉計，且因此有利地，無需次級參考光束來量測波前。剪切干涉計可包含投影系統之影像平面(亦即，基板台WT)中的繞射光柵，例如二維柵格，及經配置以偵測與投影系統PS之光瞳平面共軛的平面中之干涉圖案的偵測器。干涉圖案與輻射之相位關於在剪切方向上之光瞳平面中之座標的導數相關。偵測器可包含諸如電荷耦合裝置(CCD)之感測元件的陣列。

【0110】 微影設備之投影系統PS可能不產生可見條紋，且因此可使用相位步進技術(諸如，移動繞射光柵)來增強波前判定之準確度。可在繞射光柵之平面中且在垂直於量測之掃描方向的方向上執行步進。步進範圍可係一個光柵週期，且可使用至少三個(均一地分佈)相位步進。因此，例如，可在y方向上執行三個掃描量測，在x方向上針對不同位置執行每一掃描量測。繞射光柵之此步進有效地將相位變化變換成強度變化，從而允許判定相位資訊。光柵可在垂直於繞射光柵之方向(z方向)上步進以校準偵測器。

【0111】 可在兩個垂直方向上依序地掃描繞射光柵，該兩個垂直方向可與投影系統PS之座標系統之軸線(x及y)重合或可與此等軸線成諸如45度之角度。可在整數個光柵週期(例如，一個光柵週期)內執行掃描。掃描使在一個方向上之相位變化達到平均，從而允許重建構在另一方向上之相位變化。此情形允許依據兩個方向判定波前。

【0112】 可藉由經由投影系統PS投影例如來自投影系統PS之物件平面(亦即，圖案化裝置MA之平面)中的類點源之輻射且使用偵測器量測與投影系統PS之光瞳平面共軛的平面中之輻射強度來判定投影系統PS在其

光瞳平面中之透射(變跡)。可使用與用以量測波前以判定像差的偵測器同一個偵測器。

【0113】 投影系統PS可包含複數個光學(例如，透鏡)元件，且可進一步包含經組態以調整該等光學元件中之一或多者以便校正像差(跨越貫穿場之光瞳平面的相位變化)的調整機構AM。為達成此調整，該調整機構可操作以用一或多種不同方式操控投影系統PS內之一或多個光學(例如，透鏡)元件。該投影系統可具有座標系統，其中該投影系統之光軸在z方向上延伸。調整機構可操作以進行以下各項之任何組合：使一或多個光學元件移位；使一或多個光學元件傾斜；及/或使一或多個光學元件變形。光學元件之移位可在任何方向(x、y、z或其組合)上進行。光學元件之傾斜通常在垂直於光軸之平面外，藉由繞在x及/或y方向上之軸線旋轉而進行，但對於非旋轉對稱之非球面光學元件，可使用繞z軸之旋轉。光學元件之變形可包括低頻形狀(例如，像散)及/或高頻形狀(例如，自由形式非球面)。可例如藉由使用一或多個致動器以對光學元件之一或多側施加力及/或藉由使用一或多個加熱元件以對光學元件之一或多個選定區進行加熱來執行光學元件之變形。一般而言，不可能調整投影系統PS以校正變跡(跨越光瞳平面之透射變化)。可在設計用於微影設備LA之圖案化裝置(例如，光罩) MA時使用投影系統PS之透射映像。使用運算微影技術，圖案化裝置MA可經設計以至少部分地校正變跡。

【0114】 微影設備可屬於具有兩個(雙載物台)或多於兩個台(例如，兩個或多於兩個基板台WTa、WTb、兩個或多於兩個圖案化裝置台、在無專用於例如促進量測及/或清潔等之基板的情況下在投影系統下方之基板台WTa及台WTb)之類型。在此等「多載物台」機器中，可並行地使用額

外台，或可在一或多個台上進行預備步驟，同時將一或多個其他台用於曝光。舉例而言，可進行使用對準感測器AS之對準量測及/或使用位階感測器LS之位階(高度、傾角等)量測。

【0115】微影設備亦可屬於如下類型：其中基板之至少一部分可由具有相對較高折射率之例如水的液體覆蓋，以便填充投影系統與基板之間的空間。亦可將浸潤液體施加至微影設備中之其他空間，例如圖案化裝置與投影系統之間的空間。浸潤技術在此項技術中被熟知用於增加投影系統之數值孔徑。本文中所使用之術語「浸潤」並不意謂諸如基板之結構必須浸沒於液體中，而是僅意謂液體在曝光期間位於投影系統與基板之間。

【0116】因此，在微影設備之操作中，輻射光束由照明系統IL調節及提供。輻射光束B入射於固持於支撐結構(例如，光罩台) MT上之圖案化裝置(例如，光罩) MA上，且藉由圖案化裝置圖案化。在已橫穿圖案化裝置MA之情況下，輻射光束B穿過投影系統PS，該投影系統將該光束聚焦至基板W之目標部分C上。藉助於第二定位器PW及位置感測器IF (例如，干涉裝置、線性編碼器、2-D編碼器或電容式感測器)，基板台WT可準確地移動例如以便在輻射光束B之路徑中定位不同的目標部分C。類似地，第一定位器PM及另一位置感測器(其未明確地描繪於圖1中)可用以相對於輻射光束B之路徑準確地定位圖案化裝置MA，例如在自光罩庫機械擷取之後或在掃描期間。一般而言，可藉助於形成第一定位器PM之部分的長衝程模組(粗略定位)及短衝程模組(精細定位)來實現支撐結構MT之移動。類似地，可使用形成第二定位器PW之部分的長衝程模組及短衝程模組來實現基板台WT之移動。在步進器(相對於掃描器)之狀況下，支撐結構MT可僅連接至短衝程致動器，或可固定。可使用圖案化裝置對準標記

M1、M2及基板對準標記P1、P2來對準圖案化裝置MA及基板W。儘管如所說明之基板對準標記佔據專用目標部分，但該等標記可位於目標部分之間的空間中(此等標記被稱為切割道對準標記)。類似地，在多於一個晶粒提供於圖案化裝置MA上之情形中，圖案化裝置對準標記可位於該等晶粒之間。

【0117】 所描繪設備可用於以下模式中之至少一者下：

1.在步進模式下，使支撐結構MT及基板台WT保持基本上靜止，同時將賦予至輻射光束之整個圖案一次性投影至目標部分C上(亦即，單次靜態曝光)。接著，使基板台WT在X及/或Y方向上移位，使得可曝光不同目標部分C。在步進模式下，曝光場之最大大小限制單次靜態曝光中成像的目標部分C之大小。

2.在掃描模式下，同步地掃描支撐結構MT及基板台WT，同時將賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上(亦即，單次動態曝光)。可藉由投影系統PS之縮小率及影像反轉特性來判定基板台WT相對於支撐結構MT之速度及方向。在掃描模式下，曝光場之最大大小限制單次動態曝光中之目標部分之寬度(在非掃描方向上)，而掃描運動之長度判定目標部分之高度(在掃描方向上)。

3.在另一模式下，使支撐結構MT保持基本上靜止，從而固持可程式化圖案化裝置，且移動或掃描基板台WT，同時將賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上。在此模式下，通常使用脈衝式輻射源，且在基板台WT之每一移動之後或在一掃描期間之連續輻射脈衝之間根據需要而更新可程式化圖案化裝置。此操作模式可容易應用於利用可程式化圖案化裝置(諸如，上文所提及之類型的可程式化鏡面陣列)之無光罩微影。

【0118】 亦可使用上文所描述之使用模式之組合及/或變化或完全不同之使用模式。

【0119】 儘管在本文中可特定地參考微影設備在IC製造中之使用，但應理解，本文中所描述之微影設備可具有其他應用，諸如製造整合式光學系統、用於磁疇記憶體之導引及偵測圖案、液晶顯示器(LCD)、薄膜磁頭等。熟習此項技術者將瞭解，在此等替代應用之內容背景中，本文中對術語「晶圓」或「晶粒」之任何使用皆可被視為分別與更一般術語「基板」或「目標部分」同義。可在曝光之前或之後在例如塗佈顯影系統(通常將抗蝕劑層施加至基板且顯影經曝光抗蝕劑之工具)或度量衡或檢測工具中處理本文中所提及之基板。在適用情況下，可將本文中之揭示內容應用於此等及其他基板處理工具。另外，可將基板處理多於一次，例如以便產生多層IC，使得本文中所使用之術語基板亦可指已含有多個經處理層之基板。

【0120】 本文中所使用之術語「輻射」及「光束」涵蓋所有類型之電磁輻射，包括紫外線(UV)輻射(例如，具有365、248、193、157或126 nm之波長)及極紫外線(EUV)輻射(例如，具有在5至20 nm之範圍內的波長)以及粒子束，諸如離子束或電子束。

【0121】 圖案化裝置上或由圖案化裝置提供之各種圖案可具有不同製程窗，亦即，將產生規格內之圖案所處的處理變數之空間。與潛在系統性缺陷相關之圖案規格之實例包括檢查頸縮、線拉回、線薄化、CD、邊緣置放、重疊、抗蝕劑頂部損耗、抗蝕劑底切及/或橋接。可藉由合併每一個別圖案之製程窗(例如，使該等製程窗重疊)來獲得圖案化裝置或其區域上之所有圖案之製程窗。所有圖案之製程窗之邊界含有個別圖案中之一

些的製程窗之邊界。換言之，此等個別圖案限制所有圖案之製程窗。此等圖案可被稱作「熱點」或「製程窗限制圖案(PWLP)」，其在本文中可互換地被使用。當控制圖案化製程之一部分時，集中於熱點係可能且經濟的。當熱點無缺陷時，最有可能的係所有圖案皆無缺陷。

【0122】如圖2中所展示，微影設備LA可形成微影製造單元LC (有時亦被稱作微影製造單元(lithocell)或叢集)之部分，微影製造單元亦包括用以對基板執行曝光前及曝光後製程之設備。習知地，此等設備包括用以沈積一或多個抗蝕劑層之一或多個旋塗器SC、用以顯影經曝光抗蝕劑之一或多個顯影器DE、一或多個冷卻板CH及/或一或多個烘烤板BK。基板處置器或機器人RO自輸入/輸出通口I/O1、I/O2拾取一或多個基板，將其在不同製程設備之間移動且將其遞送至微影設備之裝載匣LB。常常統稱為塗佈顯影系統(track)之此等設備由塗佈顯影系統控制單元TCU控制，塗佈顯影系統控制單元自身受監督控制系統SCS控制，監督控制系統亦經由微影控制單元LACU而控制微影設備。因此，不同設備可經操作以最大化產出率及處理效率。

【0123】為了正確且一致地曝光由微影設備曝光之基板及/或為了監測包括至少一個圖案轉印步驟(例如，光學微影步驟)之圖案化製程(例如，裝置製造製程)的一部分，需要檢測基板或其他物件以量測或判定一或多個特性，諸如對準、疊對(其可例如係疊對層中的結構之間或同一層中已藉由例如雙重圖案化製程與該層分離地提供的結構之間的疊對)、線厚度、臨界尺寸(CD)、焦點偏移、材料性質等。因此，經定位有微影製造單元LC之製造設施通常亦包括度量衡系統MET，該度量衡系統量測已在該微影製造單元中處理的基板W中之一些或全部或該微影製造單元中之

其他物件。度量衡系統MET可係微影製造單元LC之部分，例如其可係微影設備LA之部分(諸如，對準感測器AS)。

【0124】 舉例而言，一或多個所量測參數可包括：形成於經圖案化基板中或上之連續層之間的疊對、例如形成於經圖案化基板中或上之特徵之臨界尺寸(CD) (例如，臨界線寬)、光學微影步驟之焦點或聚焦誤差、光學微影步驟之劑量或劑量誤差、光學微影步驟之光學像差等。可對產品基板自身之目標及/或對提供於基板上之專用度量衡目標執行此量測。可在抗蝕劑顯影之後但在蝕刻之前執行量測，或可在蝕刻之後執行量測。

【0125】 存在用於對在圖案化製程中形成之結構進行量測的各種技術，包括使用掃描電子顯微鏡、基於影像之量測工具及/或各種特殊化工具。如上文所論述，特殊化度量衡工具之快速及非侵入性形式為輻射光束經導向至基板之表面上之目標上且量測經散射(經繞射/經反射)光束之性質的度量衡工具。藉由評估由基板散射之輻射之一或多個性質，可判定基板之一或多個性質。此可被稱為基於繞射之度量衡。此基於繞射之度量衡的一個此類應用係在目標內之特徵不對稱性之量測中。此量測可用作例如疊對之度量，但其他應用亦係已知的。舉例而言，可藉由比較繞射光譜之相對部分(例如，比較週期性光柵之繞射光譜中之-1階與+1階)來量測不對稱性。此量測可如上文所描述且如例如以全文引用之方式併入本文中的美國專利申請公開案US2006-066855中所描述來進行。基於繞射之度量衡之另一應用係在目標內之特徵寬度(CD)之量測中。此類技術可使用下文所描述之設備及方法。

【0126】 因此，在裝置製作製程(例如，圖案化製程或微影製程)中，基板或其他物件可在製程期間或在製程之後經受各種類型之量測。量

測可判定特定基板是否有缺陷，可對製程及用於製程中之設備進行調整(例如，對準基板上之兩個層或對準圖案化裝置與基板)，可量測製程及設備之效能或可用於其他目的。量測之實例包括光學成像(例如，光學顯微鏡)、非成像光學量測(例如，基於繞射之量測，諸如ASML YieldStar度量衡工具、ASML SMASH度量衡系統)、機械量測(例如，使用觸控筆之剖面探測、原子力顯微法(AFM))，及/或非光學成像(例如，掃描電子顯微法(SEM))。如以全文引用之方式併入本文中的美國專利第6,961,116號中所描述之智慧型對準感測器混合式(SMASH)系統使用自參考干涉計，該自參考干涉計產生對準標記物之兩個重疊且相對旋轉之影像，偵測在使影像之傅立葉變換進行干涉的光瞳平面中之強度，且自兩個影像之繞射階之間的相位差提取位置資訊，該相位差表明為經干涉階中之強度變化。

【0127】 可將度量衡結果直接或間接地提供至監督控制系統SCS。若偵測到誤差，則可對後續基板之曝光(尤其在可足夠迅速且快速完成檢測使得該批次之一或多個其他基板仍待曝光之情況下)及/或經曝光基板之後續曝光進行調整。又，已曝光之基板可被剝離及重工以改良良率，或被捨棄，藉此避免對已知有疵點之基板執行進一步處理。在基板之僅一些目標部分有疵點之狀況下，可僅對良好的彼等目標部分執行進一步曝光。

【0128】 在度量衡系統MET內，度量衡設備用以判定基板之一或多個性質，且特定而言，判定不同基板之一或多個性質如何變化或同一基板之不同層在層間如何變化。如上文所提到，度量衡設備可整合至微影設備LA或微影製造單元LC中，或可係獨立裝置。

【0129】 為了實現度量衡，可在基板上提供一或多個目標。在一實施例中，目標經專門設計且可包含週期性結構。在一實施例中，目標係裝

置圖案之一部分，例如係裝置圖案之週期性結構。在一實施例中，裝置圖案係記憶體裝置之週期性結構(例如，雙極電晶體(Bipolar Transistor；BPT)、位元線接點(Bit Line Contact；BLC)等結構)。

【0130】 在一實施例中，基板上之目標可包含一或多個1維週期性結構(例如，光柵)，其經印刷成使得在顯影之後，週期性結構特徵由固體抗蝕劑線形成。在一實施例中，該目標可包含一或多個2維週期性結構(例如，光柵)，其經印刷成使得在顯影之後，一或多個週期性結構由抗蝕劑中之固體抗蝕劑導柱或通孔形成。長條、導柱或通孔可替代地經蝕刻至基板中(例如，經蝕刻至基板上之一或多個層中)。

【0131】 在一實施例中，圖案化製程之所關注參數中之一者係疊對。可使用暗場散射量測來量測疊對，其中阻擋零階繞射(對應於鏡面反射)，且僅處理高階。可在PCT專利申請公開案第WO 2009/078708號及第WO 2009/106279號中找到暗場度量衡之實例，該等專利申請公開案特此以全文引用之方式。美國專利申請公開案US2011-0027704、US2011-0043791及US2012-0242970中已描述該技術之進一步開發，該等專利申請公開案特此以全文引用之方式併入。使用繞射階之暗場偵測的基於繞射之疊對實現對較小目標之疊對量測。此等目標可小於照明光點且可由基板上之裝置產品結構環繞。在一實施例中，可在一次輻射捕捉中量測多個目標。

【0132】 圖3描繪實例檢測設備(例如，散射計)。該散射計包含將輻射投影至基板W上之寬頻(白光)輻射投影儀2。重新導向之輻射被傳遞至光譜儀偵測器4，該光譜儀偵測器量測鏡面反射輻射之光譜10(依據波長而變化之強度)，如展示於例如在左下方的曲線圖中。根據此資料，可藉

由處理器PU例如藉由嚴密耦合波分析及非線性回歸或藉由與如圖3之右下方所展示之模擬光譜庫的比較來重建構導致偵測到之光譜的結構或剖面。一般而言，對於重建構，結構之一般形式係已知的，且根據製造結構之製程之知識來假定一些變數，從而僅留下結構之幾個變數以自所量測資料判定。此檢測設備可經組態為正入射檢測設備或斜入射檢測設備。

【0133】圖4中展示可使用之另一檢測設備。在此裝置中，由輻射源2發射之輻射係使用透鏡系統12被準直且透射穿過干涉濾光器13及偏振器17、由部分反射表面16反射且經由物鏡15而聚焦至基板W上之光點S中，該物鏡具有高數值孔徑(NA)，理想地為至少0.9或至少0.95。浸潤檢測設備(使用相對較高折射率之流體，諸如水)甚至可具有超過1之數值孔徑。

【0134】如在微影設備LA中一樣，可在量測操作期間提供一或多個基板台以固持基板W。該等基板台可在形式上與圖1之基板台WT類似或相同。在檢測設備與微影設備整合之實例中，該等基板台可甚至為同一基板台。可將粗略定位器及精細定位器提供至第二定位器PW，該第二定位器經組態以相對於量測光學系統準確地定位基板。提供各種感測器及致動器例如以獲取所關注目標之位置，且將所關注目標帶入至物鏡15下方之位置中。通常將對在跨越基板W之不同部位處之目標進行許多量測。基板支撐件可在X及Y方向上移動以獲取不同目標，且在Z方向上移動以獲得目標相對於光學系統之焦點的所要部位。舉例而言，當實務上光學系統可保持實質上靜止(通常在X及Y方向上，但可能亦在Z方向上)且僅基板移動時，將操作考慮並描述為如同物鏡被帶入至相對於基板之不同部位係便利的。若基板與光學系統之相對位置正確，則原則上無關緊要的係：基板及光學系

統中之哪一者在真實世界中移動，或兩者皆移動，抑或光學系統之一部分移動(例如，在Z方向及/或傾斜方向上)與光學系統之剩餘部分靜止且基板移動(例如，在X及Y方向上，且視情況亦在Z方向及/或傾斜方向上)的組合。

【0135】 由基板W重新導向之輻射接著穿過部分反射表面16傳遞至偵測器18中以便偵測光譜。偵測器18可位於背向投影式焦平面11處(亦即，位於透鏡系統15之焦距處)，或平面11可藉由輔助光學件(未圖示)再成像至偵測器18上。該偵測器可係二維偵測器，使得可量測基板目標30之二維角度散射光譜。偵測器18可係例如CCD或CMOS感測器陣列，且可使用例如每圖框40毫秒之積分時間。

【0136】 參考光束可用以例如量測入射輻射之強度。為進行此量測，當輻射光束入射於部分反射表面16上時，輻射光束之部分透射穿過部分反射表面16而作為參考光束朝向參考鏡面14。接著將參考光束投影至同一偵測器18之不同部分上或替代地投影至不同偵測器(未圖示)上。

【0137】 一或多個干涉濾光器13可用以選擇在比如405至790 nm或甚至更低(諸如，200至300 nm)之範圍內的所關注波長。干涉濾光器可係可調的，而非包含不同濾光器之集合。可替代干涉濾光器而使用光柵。孔徑光闌或空間光調變器(未圖示)可提供於照明路徑中以控制目標上之輻射的入射角之範圍。

【0138】 偵測器18可量測在單一波長(或窄波長範圍)下之經重新導向輻射之強度、分離地在多個波長下之經重新導向輻射之強度，或在波長範圍上積分之經重新導向輻射之強度。此外，偵測器可分離地量測橫向磁偏振輻射及橫向電偏振輻射之強度，及/或橫向磁偏振輻射與橫向電偏振

輻射之間的相位差。

【0139】 基板W上之目標30可係1維光柵，其經印刷成使得在顯影之後，長條由固體抗蝕劑線形成。基板目標30可係2維光柵，其經印刷成使得在顯影之後，光柵由抗蝕劑中之固體抗蝕劑導柱或通孔形成。長條、導柱或通孔可經蝕刻至基板中或上(例如，經蝕刻至基板上之一或多個層中)。圖案(例如，長條、導柱或通孔之圖案)對圖案化製程中之改變(例如，微影投影設備(特定而言，投影系統PS)中之光學像差、焦點改變、劑量改變等)敏感，且將表明經印刷光柵之變化。因此，經印刷光柵之所量測資料用以重建構光柵。可根據印刷步驟及/或其他檢測製程之知識，將1維光柵之一或多個參數(諸如，線寬及/或形狀)或2維光柵之一或多個參數(諸如，導柱或通孔寬度或長度或形狀)輸入至由處理器PU執行之重建構程序。

【0140】 除了藉由重建構進行參數之量測以外，角度解析散射量測亦用於產品及/或抗蝕劑圖案中之特徵的不對稱性之量測。不對稱性量測之特定應用係用於疊對之量測，其中目標30包含一組週期性特徵，其疊置於另一組週期性特徵上。使用圖3或圖4之儀器的不對稱性量測之概念描述於例如美國專利申請公開案US2006-066855中，該公開案之全文併入本文中。簡單而言，雖然目標之繞射光譜中之繞射階的位置僅藉由目標之週期性判定，但繞射光譜中之不對稱性指示構成目標之個別特徵中的不對稱性。在圖4之儀器中(其中偵測器18可係影像感測器)，繞射階中之此不對稱性直接呈現為由偵測器18記錄之光瞳影像中之不對稱性。此不對稱性可藉由單元PU中之數位影像處理來量測，且可對照已知疊對值來校準。

【0141】 圖5說明典型目標30之平面圖，及圖4之設備中之照明光點

S的範圍。為獲得免於來自周圍結構之干涉之繞射光譜，在一實施例中，目標30為大於照明光點S之寬度(例如，直徑)之週期性結構(例如，光柵)。光點S之寬度可小於目標之寬度及長度。換言之，該目標由照明「填充不足」，且繞射信號基本上不含來自目標自身之外的產品特徵及其類似者之任何信號。照明配置2、12、13、17可經組態以提供跨越物鏡15之背焦平面的均一強度之照明。替代地，藉由例如在照明路徑中包括孔隙，照明可限於軸上方向或離軸方向。

【0142】圖6示意性地描繪基於使用度量衡獲得之量測資料來判定目標圖案30'之一或多個所關注變數之值的實例程序。由偵測器18偵測到之輻射提供用於目標30'之經量測輻射分佈108。

【0143】對於給定目標30'，可使用例如數值馬克士威求解程序(numerical Maxwell solver) 210自參數化模型206運算/模擬輻射分佈208。參數化模型206展示構成目標且與該目標相關聯的各種材料之實例層。參數化模型206可包括用於考慮中的目標之部分之特徵及層的變數中之一或多者，其可變化且被導出。如圖6中所展示，該等變數中之一或多者可包括一或多個層之厚度 t 、一或多個特徵之寬度 w (例如，CD)、一或多個特徵之高度 h 及/或一或多個特徵之側壁角 α 。儘管未展示，但變數中之一或多者可進一步包括但不限於：層中之一或多者之折射率(例如，實折射率或複折射率、折射率張量等)、一或多個層之消光係數、一或多個層之吸收率、在顯影期間之抗蝕劑損耗、一或多個特徵之基腳，及/或一或多個特徵之線邊緣粗糙度。該等變數之初始值可係針對經量測之目標所預期的值。接著在212處比較所量測輻射分佈108與所運算輻射分佈208以判定兩者之間的差。若存在差，則可使參數化模型206之變數中之一或多

者的值變化，計算新的所運算輻射分佈208且將其與所量測輻射分佈108進行比較，直至在所量測輻射分佈108與所運算輻射分佈208之間存在足夠匹配。彼時，參數化模型206之變數之值提供實際目標30'之幾何形狀的良好或最佳匹配。在一實施例中，當所量測輻射分佈108與所運算輻射分佈208之間的差在容許臨限值內時存在足夠匹配。

【0144】 圖案化製程之變數被稱為「處理變數」。圖案化製程可包括在微影設備中之圖案之實際轉印上游及下游的製程。圖7展示處理變數370之實例類別。第一類別可係微影設備或用於微影製程中之任何其他設備之變數310。此類別之實例包括微影設備之照明件、投影系統、基板載物台等之變數。第二類別可係在圖案化製程中執行之一或多個程序之變數320。此類別之實例包括焦點控制或焦點量測、劑量控制或劑量量測、頻寬、曝光持續時間、顯影溫度、用於顯影中之化學成份等。第三類別可係設計佈局及其在圖案化裝置中或使用圖案化裝置進行之實施之變數330。此類別之實例可包括輔助特徵之形狀及/或部位、由解析度增強技術(RET)所應用之調整、光罩特徵之CD等。第四類別可係基板之變數340。實例包括抗蝕劑層下方之結構之特性、抗蝕劑層之化學成份及/或實體尺寸等。第五類別可係圖案化製程之一或多個變數之時間變化的特性350。此類別之實例包括高頻載物台移動(例如，頻率、振幅等)、高頻雷射頻寬改變(例如，頻率、振幅等)及/或高頻雷射波長改變之特性。此等高頻改變或移動為高於用以調整基礎變數(例如，載物台位置、雷射強度)之機構之回應時間的高頻改變或移動。第六類別可係在微影設備中之圖案轉印上游或下游的製程之特性360，該等製程諸如旋塗、曝光後烘烤(PEB)、顯影、蝕刻、沈積、摻雜及/或封裝。

【0145】 如將瞭解，此等變數中之許多者(若非全部)將對圖案化製程之參數有影響且常常對所關注參數有影響。圖案化製程之參數之非限制性實例可包括臨界尺寸(CD)、臨界尺寸均一性(CDU)、焦點、疊對、邊緣位置或置放、側壁角、圖案移位等。常常，此等參數表達與標稱值(例如，設計值、平均值等)之誤差。該等參數值可係個別圖案之特性之值或圖案群組之特性之統計量(例如，平均值、方差等)。

【0146】 可藉由合適方法判定處理變數中之一些或全部或與其相關之參數的值。舉例而言，可自藉由各種度量衡工具(例如，基板度量衡工具)獲得之資料判定該等值。可自圖案化製程中之設備之各種感測器或系統(例如，微影設備之諸如位階感測器或對準感測器的感測器、微影設備之控制系統(例如，基板或圖案化裝置台控制系統)、塗佈顯影系統工具中之感測器等)獲得該等值。該等值可來自圖案化製程之操作者。

【0147】 圖8中說明用於模型化及/或模擬圖案化製程之部分的例示性流程圖。如將瞭解，該等模型可表示不同圖案化製程且無需包含下文所描述之所有模型。源模型1200表示圖案化裝置之照明之光學特性(包括輻射強度分佈、頻寬及/或相位分佈)。源模型1200可表示照明之光學特性，包括但不限於數值孔徑設定、照明西格瑪(σ)設定以及任何特定照明形狀(例如，離軸輻射形狀，諸如環形、四極、偶極等)，其中 σ (或西格瑪)係照明器之外部徑向範圍。

【0148】 投影光學件模型1210表示投影光學件之光學特性(包括由投影光學件引起的輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)。投影光學件模型1210可表示投影光學件之光學特性，包括像差、失真、一或多個折射率、一或多個實體大小、一或多個實體尺寸等。

【0149】 圖案化裝置/設計佈局模型模組1220捕捉設計特徵如何佈置於圖案化裝置之圖案中且可包括圖案化裝置之詳細實體性質的表示，如描述於例如以全文引用之方式併入的美國專利第7,587,704號中。在一實施例中，圖案化裝置/設計佈局模型模組1220表示設計佈局(例如，對應於積體電路、記憶體、電子裝置等之特徵的裝置設計佈局)之光學特性(包括由給定設計佈局引起的輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)，該設計佈局係在圖案化裝置上或由圖案化裝置形成之特徵之配置的表示。由於可改變用於微影投影設備中之圖案化裝置，因此需要分離圖案化裝置之光學性質與至少包括照明件及投影光學件的微影投影設備之其餘部分的光學性質。模擬之目標常常係準確地預測例如邊緣置放及CD，可接著比較該等邊緣置放及CD與裝置設計。裝置設計通常定義為預OPC圖案化裝置佈局，且將以諸如GDSII或OASIS之標準化數位檔案格式予以提供。

【0150】 可自源模型1200、投影光學件模型1210及圖案化裝置/設計佈局模型1220模擬空中影像1230。空中影像(AI)係在基板層級處之輻射強度分佈。微影投影設備之光學性質(例如，照明件、圖案化裝置及投影光學件之性質)規定空中影像。

【0151】 藉由空中影像曝光基板上之抗蝕劑層，且將該空中影像轉印至抗蝕劑層以作為其中之潛伏「抗蝕劑影像」(RI)。可將抗蝕劑影像(RI)定義為抗蝕劑層中之抗蝕劑之溶解度的空間分佈。可使用抗蝕劑模型1240自空中影像1230模擬抗蝕劑影像1250。可使用抗蝕劑模型以自空中影像計算抗蝕劑影像，此情形之實例可在揭示內容特此以全文引用之方式之併入的美國專利申請公開案第US 2009-0157360號中找到。抗蝕劑模型通常描述在抗蝕劑曝光、曝光後烘烤(PEB)及顯影期間出現的化學製程之

效應，以便預測例如形成於基板上之抗蝕劑特徵之輪廓，且因此其通常僅與抗蝕劑層之此等性質(例如，在曝光、曝光後烘烤及顯影期間出現的化學製程之效應)相關。在一實施例中，可捕捉抗蝕劑層之光學性質，例如折射率、膜厚度、傳播及偏振效應，作為投影光學件模型1210之部分。

【0152】 因此，一般而言，光學模型與抗蝕劑模型之間的連接係抗蝕劑層內之模擬空中影像強度，其起因於輻射至基板上之投影、抗蝕劑界面處之折射及抗蝕劑膜堆疊中之多個反射。輻射強度分佈(空中影像強度)係藉由吸收入射能量而變為潛伏「抗蝕劑影像」，該潛伏抗蝕劑影像藉由擴散製程及各種負載效應進一步修改。足夠快以用於全晶片應用之高效模擬方法藉由2維空中(及抗蝕劑)影像來近似抗蝕劑堆疊中之實際3維強度分佈。

【0153】 在一實施例中，可將抗蝕劑影像用作圖案轉印後製程模型模組1260之輸入。圖案轉印後製程模型1260界定一或多個抗蝕劑顯影後製程(例如，蝕刻、顯影等)之效能。

【0154】 圖案化製程之模擬可例如預測抗蝕劑及/或經蝕刻影像中之輪廓、CD、邊緣置放(例如，邊緣置放誤差)等。因此，該模擬之目標係準確地預測例如經印刷圖案之邊緣置放，及/或空中影像強度斜率，及/或CD等。可將此等值與預期設計比較以例如校正圖案化製程，識別預測出現缺陷之地點等。預期設計通常定義為可以諸如GDSII或OASIS或其他檔案格式之標準化數位檔案格式而提供的預OPC設計佈局。

【0155】 因此，模型公式化描述整個製程之大多數(若非全部)已知物理及化學效應，且模型參數中之每一者理想地對應於一相異的物理或化學效應。因此，模型公式化設定關於模型可用以模擬整個製造製程之良好

程度之上限。

【0156】 圖9中說明用於模型化及/或模擬度量衡製程的例示性流程圖。如將瞭解，以下模型可表示不同度量衡製程且無需包含下文所描述之所有模型(例如，可將一些模型組合)。源模型1300表示度量衡目標之照明之光學特性(包括輻射強度分佈、輻射波長、偏振等)。源模型1300可表示照明之光學特性，包括但不限於波長、偏振、照明西格瑪(σ)設定(其中 σ (或西格瑪)係照明器中之照明的徑向範圍)、任何特定照明形狀(例如，離軸輻射形狀，諸如環形、四極、偶極等)等。

【0157】 度量衡光學件模型1310表示度量衡光學件之光學特性(包括由度量衡光學件引起的輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)。度量衡光學件1310可表示由度量衡光學件對度量衡目標之照明的光學特性，及自度量衡目標重新導向之輻射朝向度量衡設備偵測器之轉移的光學特性。度量衡光學件模型可表示涉及目標之照明及自度量衡目標重新導向之輻射朝向偵測器之轉移的各種特性，包括像差、失真、一或多個折射率、一或多個實體大小、一或多個實體尺寸等。

【0158】 度量衡目標模型1320可表示由度量衡目標重新導向之照明的光學特性(包括由度量衡目標引起的照明輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)。因此，度量衡目標模型1320可模型化藉由度量衡目標進行之照明輻射至重新導向輻射之轉換。因此，度量衡目標模型可模擬自度量衡目標重新導向之輻射之所得照明分佈。度量衡目標模型可表示涉及目標之照明及自度量衡重新導向之輻射之產生的各種特性，包括一或多個折射率、度量衡之一或多個實體大小、度量衡目標之實體佈局等。由於可改變所使用之度量衡目標，因此需要分離度量衡目標之光學性質與至少包括照明件及

投影光學件以及偵測器的度量衡設備之其餘部分之光學性質。模擬之目標常常係準確地預測例如強度、相位等，其可接著用以導出圖案化製程之所關注參數，諸如疊對、CD、焦點等。

【0159】 可自源模型1300、度量衡光學件模型1310及度量衡目標模型1320模擬光瞳或空中影像1330。光瞳或空中影像係偵測器層級處之輻射強度分佈。度量衡光學件及度量衡目標之光學性質(例如，照明件、度量衡目標及度量衡光學件之性質)規定光瞳或空中影像。

【0160】 度量衡設備之偵測器曝光於光瞳或空中影像且偵測該光瞳或空中影像之一或多個光學性質(例如，強度、相位等)。偵測模型模組1320表示如何藉由度量衡設備之偵測器來偵測來自度量衡光學件之輻射。偵測模型可描述偵測器如何偵測光瞳或空中影像，且可包括信號對雜訊、對偵測器上之入射輻射之敏感度等。因此，一般而言，度量衡光學件模型與偵測器模型之間的連接係模擬光瞳或空中影像，其起因於由光學件對度量衡目標之照明、由目標對輻射之重新導向及經重新導向輻射至偵測器之轉移。輻射分佈(光瞳或空中影像)藉由吸收偵測器上之入射能量而變為偵測信號。

【0161】 度量衡製程之模擬可例如基於由偵測器對光瞳或空中影像之偵測而預測偵測器處之空間強度信號、空間相位信號等，或預測來自偵測系統之其他計算值，諸如疊對、CD等值。因此，模擬之目標係準確地預測例如對應於度量衡目標的偵測器信號或諸如疊對、CD之導出值。可將此等值與預期設計值比較以例如校正圖案化製程，識別預測出現缺陷之地點等。

【0162】 因此，模型公式化描述整個度量衡製程之大多數(若並非全

部)已知物理及化學效應，且模型參數中之每一者理想地對應於度量衡製程中之一相異的物理及/或化學效應。

【0163】圖案化裝置上或由圖案化裝置提供之各種圖案可具有不同製程窗，亦即，將產生規格內之圖案所處的處理變數之空間。與潛在系統性缺陷相關之圖案規格之實例包括檢查頸縮、線拉回、線薄化、CD、邊緣置放、重疊、抗蝕劑頂部損耗、抗蝕劑底切及/或橋接。通常，在兩個處理變數(亦即，劑量及焦點)上界定製程窗，使得在圖案化之後獲得的CD可在圖案之特徵的所要CD之 $\pm 10\%$ 內。可藉由合併每一個別圖案之製程窗(例如，使該等製程窗重疊)來獲得圖案化裝置或其區域上之所有圖案之製程窗。

【0164】通常，圖案可包括以某種方式配置以形成圖案之一或多個特徵的若干例項(例如，特徵A之 10^6 個例項、特徵B之 10^4 個例項等)。在圖案化製程期間，一或多個特徵在某些(例如，劑量/焦點)設定下可能失效，導致基板中之缺陷，藉此影響圖案化製程之良率。因此，需要選擇(或選擇)劑量/焦點值或處理窗之適當範圍以達成所要良率或選定良率。舉例而言，例如設計者或製造商可選擇高良率(例如，99.9%)或可選擇良率範圍(例如，98%至99.99%)。

【0165】本發明描述一種用以基於用於一或多個特徵之所要良率及/或缺陷準則而獲得製程窗的方法。舉例而言，製程窗可為對個別特徵之失效及/或圖案化製程之所要良率敏感的劑量及/或焦點值(亦被稱作劑量/焦點設定)之集合。

【0166】圖10係基於圖案化製程之所要晶粒良率及/或失效率而判定製程窗的程序1600之流程圖。程序1600開始於獲得圖案化製程之參數

1602 (例如，CD、疊對等)及製程變數1604 (例如，劑量、焦點等)之量測結果時。舉例而言，製程變數之量測結果可包括大約20個劑量設定(亦即，一系列劑量值)，且特徵(其在圖案中出現例如 10^6 次)之參數之量測結果可包括每劑量設定的特徵之大約1000個例項的CD值。因此，可量測到大約 1000×20 個CD值。本發明不限於量測結果之總數。可選擇例項之數目以達到方差之所要準確度。舉例而言，對於大量例項及常態分佈，標準偏差之標準偏差大約為 $1/\sqrt{2 \times \text{例項之數目}}$ ，使得1000個例項之標準偏差在99.7%信賴區間之情況下導致大約2%之所估計標準偏差的誤差(亦即， 3σ)。

【0167】 基於參數(例如，CD)及製程變數(劑量)之量測結果，在程序P10中，可判定及/或獲得參數(例如，CD)與製程變數(例如，劑量)之間的函數關係1610。舉例而言，函數關係1610可係基於諸如線性回歸分析之統計分析的數學模型。在一實施例中，函數關係可係線性或非線性的，諸如多項式、三角等。下文為CD與劑量之間的實例函數關係。

$$f_{CD}(d) = \sum_{n=0} a_n d^n \quad \dots (1)$$

【0168】 在實例函數關係(1)中，(i) $f_{CD}(d)$ 係指定義為劑量(d)之函數的參數CD，(ii) n 係指劑量多項式(d)，且(iii) a_n 係指CD對第n劑量多項式 d^n 之敏感度。在一實施例中，函數關係(1)可基於例如最小化所量測值與擬合值之間的均方誤差之曲線擬合演算法。在一實施例中，函數關係可係製程變數之線性、多項式或其他非線性函數。在一實施例中，量測結果1602亦可用以例如藉由不同函數關係來判定參數值之方差，意圖抑制參數值之方差中之雜訊。

【0169】 在另一實例中，圖11A說明定義所量測CD與劑量值之間的

關係的柏桑(Bossung)曲線1702 (其係函數關係1610之實例)。可針對例如 40 mJ/cm²至60 mJ/cm²之間的20個劑量設定的各種劑量設定而獲得柏桑曲線1702。對於每一劑量設定，可獲得1000個CD值，其可大致在12 nm至24 nm之間。在一實施例中，可使用圖案化製程之模型化及/或模擬來獲得柏桑曲線。

【0170】 返回參看圖10，在程序P20中，可運算針對製程變數之每個設定的機率密度函數(PDF) 1620。在下文中，出於理解概念及論述簡單性的目的，針對製程變數之每個設定的機率密度函數(PDF) 1620被稱作製程變數PDF 1620。將製程變數PDF 1620定義為製程變數及製程變數之變化的函數。製程變數PDF 1620使得能夠捕捉劑量設定之任何變化的影響，其可最終影響參數。每設定之製程變數之變化可例如在圖案化製程期間之特定時刻出現或可為製程變數(例如，劑量)所固有的。此等變化可影響圖案化製程之參數，從而在一些狀況下導致例如特徵之失效。在一實施例中，製程變數PDF 1620可為常態分佈、泊松(Poisson)分佈或其他標準分佈。

【0171】 在一實施例中，製程變數PDF 1620可係基於參數與製程變數之間的函數關係(例如， $f_{CD}(d)$)而運算的分佈。可藉由用所運算方差來修改/替代例如標準分佈(例如，常態分佈)之方差來進行該運算。可自參數之方差(例如， $\sigma_{CD}^2(d)$)及函數關係(例如， $f_{CD}(d)$)運算所運算方差。舉例而言，在參數CD及劑量d之狀況下，可使用以下方差等式(2)來定義劑量方差：

$$\sigma_d = \sigma_{CD} * 1 / \left(\frac{\partial f_{CD}(d)}{\partial d} \right) \quad \dots (2)$$

【0172】 在以上方差等式(2)中，(i) σ_d 係劑量之標準偏差(亦可互換地用以指方差)；(ii) σ_{CD} 為CD之標準偏差(亦可互換地用以指方差)；及(iii)

偏導數項 $\frac{\partial f_{CD}(d)}{\partial d}$ 提供在特定劑量設定下CD之方差至在此劑量設定下劑量之方差的轉換。

【0173】 舉例而言，參看圖11B，可獲得在第一劑量設定45 mJ/cm²下之第一劑量PDF 1721、在第二劑量設定50 mJ/cm²下之第二劑量PDF 1722及在劑量設定55 mJ/cm²下之第三劑量PDF 1723等。基於每劑量設定之CD之變化，可觀測到劑量變化。舉例而言，在較低劑量下(例如，在45 mJ/cm²下)，變化(例如，3 σ_d)為大約3.2 mJ/cm²，而在較高劑量(例如，55)下，變化(例如，3 σ_d)為大約2.5 mJ/cm²。因此，可基於特定劑量設定下之CD值而獲得劑量變化之反向判定。

【0174】 用以運算製程變數(例如，劑量)之PDF的此所運算方差(例如，在等式(2)中)可使得能夠考量引起參數之偏差的圖案化製程中之隨機變化(亦即，無法由例如設備之物理效應解釋的變化)。製程變數PDF可使得能夠判定圖案化製程之改良劑量設定且可最終縮減缺陷並改良圖案化製程之良率。

【0175】 返回參看圖10，在程序P30中，可基於針對製程變數之每個設定的製程變數PDF 1620 (例如，來自程序P20)及函數關係(例如，來自程序P10)而判定及/或獲得針對製程變數之每個設定的圖案化製程之參數的機率密度函數(PDF) 1630。在下文中，出於理解概念及論述簡單性的目的，針對製程變數之每個設定的機率密度函數(PDF) 1630被稱作參數PDF 1630。

【0176】 根據一實施例，參數PDF 1630在自製程變數PDF 1620計算時可係非標準分佈。使用此非標準分佈亦可考量引起參數之偏差的圖案化製程中之任何隨機變化，因此提供參數(例如，CD)值將在圖案化製程

之每個製程變數設定(例如，劑量)之所要範圍內的機率之改良估計，其可進一步用以識別缺陷機率及處理窗以縮減缺陷且有效地改良良率。

【0177】 在一實施例中，可基於以下等式(3)使用劑量PDF及轉換函數(或轉換因數)運算參數PDF 1630，例如CD PDF，該轉換函數將劑量PDF轉換成CD PDF：

$$PDF_{CD}(CD, d) = PDF_d(g_d(CD), \sigma_d(g_d(CD))) * \left| \frac{\partial}{\partial d} g_d(CD) \right| \quad \dots (3)$$

【0178】 在以上等式(3)中，(i) $PDF_{CD}(CD, d)$ 係指CD PDF (其係參數PDF 1630之實例)且係劑量(d)之函數，(ii) $g_d(CD)$ 係劑量與CD之間的函數關係1610 (例如，在等式(1)中)之反函數，(iii) $PDF_d(g_d(CD), \sigma_d(g_d(CD)))$ 係製程變數PDF 1620，其中 $\sigma_d(g_d(CD))$ 係基於 $g_d(CD)$ 之所運算方差，例如使用類似於等式(2)之等式運算，其中轉換函數(或轉換因數)可係 $g_d(CD)$ 之偏導數，及(iv)偏導數項之絕對值(亦即， $\left| \frac{\partial}{\partial d} g_d(CD) \right|$)係在特定劑量設定下將製程變數PDF轉換成參數PDF的轉換函數(或轉換因數)。

【0179】 因此，將劑量PDF轉換成CD PDF，該CD PDF可進一步用以運算針對每個劑量設定而CD將在所要範圍內的機率、圖案化製程之失效機率或其他在統計上所關注之值。根據本發明，進一步關於程序P60來論述失效機率(或失效率)之運算。

【0180】 在一實施例中，當原始函數關係1610可為非單調的(亦即，多個製程值可產生相同參數)時，等式3之右方部分將由在多個製程值(例如，劑量)上之總和替換。

【0181】 圖11C說明使用例如以上等式(3)在不同劑量設定下獲得的CD PDF 1630之實例。舉例而言，可獲得在第一劑量設定45 mJ/cm²下之第一CD PDF 1731、在第二劑量設定50 mJ/cm²下之第二CD PDF 1732及

在劑量設定 55 mJ/cm^2 下之第三CD PDF 1733等。圖11C亦說明在每一劑量設定下之標準正常CD PDF，以說明所運算CD PDF與通常假定正常操作條件之標準或常態分佈的偏差，而實際操作條件可不同於正常條件；因此，此CD PDF (例如，1731、1732、1733)相較於假定的正常操作提供更真實的估計(例如，失效機率之估計)。

【0182】 返回參看圖10，在程序P40中，可針對製程變數(例如，劑量)之每個設定獲得/量測參考參數(例如，CD)之特徵之失效率。在本發明中，可互換地使用術語特徵之失效率與失效機率。在一實施例中，個別特徵之失效率可表達為例如圖案之特徵的百萬分之一(ppm)或十億分之一(ppb)。換言之，1 ppm可意謂特徵之1百萬次出現中的1個特徵預期失效。在一實施例中，失效率可對應於與個別特徵相關聯之不同失效模式，諸如實體失效、轉印失效及推遲失效。可基於例如對基板之SEM影像之失效分析或藉由電量測而判定特徵之失效。

【0183】 在一實施例中，實體失效可指可基於特徵之實體態樣而量化之失效，例如，抗蝕劑在某一CD下機械上失效及/或具有某一CD之特徵不轉印至基板。舉例而言，導柱之縱橫比(亦即，豎直厚度對水平寬度比)、抗蝕劑之厚度、接觸孔之大小等或其他可量測參數。基於量測，實體失效可指示特徵之CD具有大於臨限值(例如， >3)之縱橫比，此引起特徵失效。舉例而言，在圖11D中，導柱1771在圖案轉印製程或抗蝕劑顯影之後相對於基板以一定角度彎曲，此係因為縱橫比大於3。因此，儘管導柱經轉印至基板，但存在實體變形。

【0184】 在某些狀況下，所要圖案可僅部分地轉印或根本不轉印至基板。此失效可被稱作轉印失效。舉例而言，在20個接觸孔當中，僅15

個接觸孔可轉印且5個接觸孔可遺漏，該兩種接觸孔最初存在於抗蝕劑中。此類遺漏孔可被稱為轉印失效。在一實施例中，轉印失效可能係由於參數超出圖案化製程之臨限值極限。舉例而言，在圖11E中，接觸孔可能過小(例如，小於5 nm)且抗蝕劑層可相對較厚，此不允許轉印此類小接觸孔。因此，可觀測到圖案之不完全轉印，諸如可觀測到基腳1772，基腳可在基板處阻擋接觸孔。在另一實施例中，可觀測到頸縮1173，其中可能不移除抗蝕劑之頂部層，而在基板處可形成不完全孔。在任一狀況下，無法形成貫穿抗蝕劑直至基板之孔。此轉印失效可能係由於例如接觸孔過小而無法轉印至下一層或可能存在由於抗蝕劑厚度或抗蝕劑類型之過量蝕刻負載。

【0185】 特徵之推遲失效可係由於在當前處理步驟中參數(例如，CD)超出其規定界限而出現在圖案化製程之下一步驟中的失效。舉例而言，在圖案化製程之後，特徵之失效出現在顯影階段中。

【0186】 可瞭解，本發明不限於一種類型之失效。又，在一些狀況下，可互換地使用失效之類型以意謂一般的失效。在一實施例中，轉印失效亦可被稱作實體失效，或推遲失效亦可被稱作實體失效。本發明不限於一種類型之失效，且通常可將與設計意圖之任何偏差超過某一臨限值視為失效。

【0187】 在一實施例中，可針對在參數與製程變數之間擬合的曲線之末端處出現的失效來量測失效率。舉例而言，如圖11F及圖11G中所展示，可在製程參數R1、R2、R3、R4及R5下量測失效率。失效量測部位可界定為曲線1702上超出基於體驗或先前觀測到之失效的例如劑量之某一值的部位。在本實例中，失效率量測界定於曲線之兩端處，亦即，具有高

於大約 55 mJ/cm^2 之劑量值及低於或大約 43 mJ/cm^2 之劑量值。在一實施例中，可基於特定失效之頻率對特徵之一或多個失效進行加權以產生特徵之經加權失效率。舉例而言，若在大約 43 mJ/cm^2 之劑量設定下更常出現接觸孔失效，則可將較高權重指派給彼劑量設定下的此類失效。在另一實施例中，可基於一或多個失效與製程變數之間的相關性而獲得/產生製程變數之加權函數。舉例而言，可向低劑量(例如，在本文中之實例中，低於 40 mJ/cm^2)指派較高權重，此係因為相較於其他劑量，可在此類劑量下觀測到較高失效。因此，可基於製程變數之加權函數而運算參數之加權參數極限且隨後運算製程窗。

【0188】 在一實施例中，可基於製程變數及參數值以選擇性方式執行失效率之量測。另外，一或多個特徵之失效可與參數及/或製程變數相關(例如，藉由線性回歸或其他統計技術)。舉例而言，一或多個特徵可對較高劑量敏感，且一或多個特徵可對較低劑量敏感。換言之，例如，特徵A在 50 mJ/cm^2 劑量下相較於在 45 mJ/cm^2 劑量下可具有較高失效機率。在圖案化製程期間，劑量在不同晶粒之間可發生變化，因而同一特徵(例如，特徵A)可在不同劑量下曝光，其最終影響特徵之失效機率且因此影響不同晶粒之失效機率。因而，取決於晶粒中之特徵的劑量及例項數目，失效機率在不同晶粒間可發生變化。換言之，例如，若特定特徵在高劑量下更有可能失效且基板之晶粒包括 10^6 個此類特徵，則該晶粒之失效率相對於在相對較低劑量下曝光之晶粒可能係高的(例如， $1/10^4$)。

【0189】 此外或替代地，該失效可與諸如CD之參數相關。舉例而言，接觸孔之CD可能過小(例如，小於臨限值，諸如小於 10 nm)，其引起基腳(亦即，孔未轉印至基板)；導柱之CD可能過大，其引起導柱彎曲；

抗蝕劑層之CD (亦即，厚度)過大，其引起頸縮；或CD過大使得觀測到隨機通孔接點；等等。此相關亦使得能夠依據參數及/或製程變數而判定每一個別特徵之失效率。因此，基於特徵之失效率，可定義用於最佳化量測之取樣方案。

【0190】 在一實施例中，基於特徵(例如，特徵A)之失效率及跨越晶粒及/或基板之掃描器資料(例如，劑量值)，可藉由模型化及/或模擬失效率與製程變數(例如，劑量)之間的關係來產生/獲得失效率映像。類似地，可基於圖案及/或晶粒之失效率而判定整個基板之失效率的映像。基於此失效率映像，可定義用於基板上之量測的取樣方案。舉例而言，可修改取樣方案以在基板上之具有相對較高失效機率的某些部位處以某些劑量值進行更多量測，因此縮減度量衡負擔且改良圖案化製程之效率。又，基於一或多個特徵之失效率，可修改例如劑量值之製程變數以最大化良率。

【0191】 根據一實施例，失效率、製程變數及參數可能係相關的。舉例而言，失效率、劑量值及CD係相關的，因此亦可針對每一劑量值判定CD極限以限制失效且增加圖案化製程之良率。接下來論述一般判定此CD極限或參數極限之程序。

【0192】 在程序P50中，可基於針對製程變數之每個設定的所量測失效率及諸如1630之參數PDF而運算參數極限。參數極限可係共同理論極限，在該極限下，針對製程變數之每個設定的特徵失效小於預定數目或百分比(例如，50%)，關於圖11F及圖11G進一步論述此情形。可基於參數PDF之累積分佈以迭代方式判定參數極限。在以下等式(4)中提供用以判定CD極限之實例等式：

$$R_{fail} = \int_{CD_{lim}}^{\infty} PDF_{CD}(CD, d) dCD = 1 - CDF_{CD}(CD_{lim}, d) \quad \dots (4)$$

【0193】 在以上等式(4)中，(i) R_{fail} 係針對製程變數(亦即，劑量)之每個設定的特徵之失效率；(ii) $PDF_{CD}(CD, d)$ 係指在程序P30中獲得之諸如PDF 1630的參數PDF；且(iii) $CDF_{CD}(CD_{lim}, d)$ 係提供在 CD_{lim} 下及超出 CD_{lim} 之失效之總機率的 $PDF_{CD}(CD, d)$ 之累積分佈函數。在一實施例中， $PDF_{CD}(CD, d)$ 可係如早先所論述之常態分佈。可在製程變數(例如，劑量)之一或多個設定下藉由對應失效率判定參數極限，其中失效特徵並不影響彼此之失效率(亦即，吾人可將每一失效視為「隔離失效」)，仍存在足夠量之失效特徵以限制所量測或判定之失效率的方差。典型失效率可係大約1%。在一實施例中，參數極限可係共同參數極限，該共同參數極限係基於參數之複數個機率密度函數而判定，參數之每一機率密度函數係在製程變數之特定設定下判定，例如，如圖11G中所說明。

【0194】 進一步關於圖11F及圖11G針對參數CD來以圖形方式解釋使用等式(4)判定參數極限。在一實例中，可使用將針對每個設定的高於預定臨限值(例如，大於或等於50%)之所量測失效率與的 $CDF_{CD}(CD_{lim}, d)$ 所運算總失效率進行比較以判定針對每個劑量之特徵的 CD_{lim} 。特徵之此 CD_{lim} 表明在特定劑量下，特徵之CD值可能不會超出 CD_{lim} ，否則可觀測到高失效率。舉例而言， CD_{lim} 可係23.5 nm。在50%失效率下設定之參數極限表示在不存在隨機統計之情況下的理論製程限制。藉由在多個製程變數下判定 CD_{lim} ，吾人可證實製程變數以預期方式與相關缺陷模式相關。

【0195】 圖11F展示在曲線1702之末端處，特定而言圍繞針對23.5之 CD_{lim} 的58 mJ/cm²之相對較高劑量值，失效率(陰影區)在使用參數PDF 1630運算時可係6.3% (或在假定CD之標稱分佈的情況下為8.1%)。類似地，圖11G展示：對於23.5 nm之 CD_{lim} ，每劑量設定下之失效率可在所要極

限內。舉例而言，失效率在劑量57下係0.2%；在劑量57.5下係1.4%；在劑量58下係6.3%；在58.5下係19%；及在劑量59下係43%。因此，對於若干劑量，23.5 nm之 CD_{lim} 符合失效率規格。

【0196】在另一實例中，亦可針對在可導致第二 CD_{lim2} 之相對較低劑量值(例如，大約44 mJ/cm²，參見圖11H)下曝光的特徵而運算失效率。因此，基於兩個不同 CD_{lim1} 及 CD_{lim2} 的失效率等式可係在曲線1702之下端處的特徵之抗蝕劑厚度與在曲線1702之高端處的失效率之總和，如下：

$$R_{fail}(d) = \int_{-\infty}^{CD_{lim1}} PDF_{CD}(CD, d) dCD + \int_{CD_{lim2}}^{\infty} PDF_{CD}(CD, d) dCD \quad \dots (5)$$

【0197】返回參看圖10，在程序P60中，在判定參數極限之後，諸如(4)及(5)之失效率等式亦可用以針對任何劑量值而估計失效率。換言之，可在失效率等式(例如，等式4或5)中代入參數極限，且將失效率視為未知的。失效率未知的此等式被稱作所估計失效率。可針對製程變數(例如，劑量)之不同值而估計/判定(或求解)失效率。

【0198】所估計失效率可進一步用以判定製程變數(例如，劑量)上之製程窗。舉例而言，製程窗可係劑量值之範圍，在該範圍內，所估計失效率可小於 10^{-9} 。在一實施例中，可例如使用以下等式(6)自所要良率(例如，對於 10^6 個特徵，99.9%)判定所要失效率：

$$R_{fail}(d) = (1 - Y(d)) \quad \dots (6)$$

【0199】在一實施例中，可藉由標繪所估計失效率等式以圖形方式判定製程窗，如圖11H中所展示。舉例而言，可相對於製程變數(例如，劑量)來標繪所估計失效率曲線。接著，可在所要失效率(例如， 10^{-9})處繪製水平線，其可與所估計失效率相交；相交點提供劑量值之範圍，亦即，製程窗PW。

【0200】 在一實施例中，可如下使用所估計失效率(例如，在等式4或5中)運算良率：

$$Y(d) = (1 - R_{fail}(d))^N \quad \dots (7)$$

【0201】 在以上等式(7)中， $Y(d)$ 係針對N個個別特徵在特定劑量(d)下之良率，且 $R_{fail}(d)$ 係所估計失效率(例如，在等式4或5中)。基於此所運算良率，可選擇製程窗，在該製程窗中，所運算良率大於或等於所要良率(例如，99.9%)。

【0202】 在一實施例中，亦可以圖形方式判定基於良率之製程窗，參見圖11H。舉例而言，可相對於製程變數(例如，劑量)來標繪所運算良率曲線(或所估計失效率)。接著，可在所要良率(例如，99.9%)處繪製線，其可與良率曲線(或所估計失效率)相交，接著，相交點提供劑量值之範圍，亦即，製程窗PW。因此，製程窗不僅界定可自圖案化製程獲得之特徵的參數之極限，而且確保在此等極限內，特徵具有所要良率或失效率。

【0203】 此外，可擴展以上方法以針對每一個別特徵運算製程窗，且可判定不同特徵之重疊製程窗以識別用於圖案化製程之有效製程窗。此外，可在多個製程變數上界定製程窗，例如，可在諸如焦點(或疊對、像差、塗佈顯影系統溫度等)之不同的替代製程設定下執行以上方法。此處，函數形式1610、1620、1630 (例如， $f_{CD}(d)$)、 $PDF_d(d)$ 、 $PDF_{CD}(d)$)以及參數極限 CD_{lim} 可具有此等額外參數作為額外尺寸(例如， CD_{lim} 亦包括焦點 CD_{lim} (focus))。接著，可判定二維劑量-焦點製程窗。圖12A及圖12B中說明用於不同特徵之此2維劑量-焦點窗，且圖12C中進一步說明重疊處理窗。

【0204】 圖12A說明用於第一特徵(例如，具有大約8 nm之直徑的等接觸孔特徵)之製程窗。製程窗1901可用於第一特徵，且製程窗1903可用於N個特徵。另外，可藉由判定在製程窗1903之界限內的橢圓製程窗1905使得相較於在製程窗1903之邊界處的準確度，橢圓製程窗1905尤其在橢圓邊界處具有例如CD之相對較高準確度(或較低變化)來進一步精化製程窗1903。可瞭解，本發明不限於橢圓擬合，且可取決於其他製程變數或限制而應用諸如矩形擬合之其他適當擬合(例如，對於製程參數之間的強相關性，吾人可使用矩形擬合，而對於非相關製程參數，可使用橢圓擬合)。

【0205】 類似地，在圖12B中，可判定用於第二特徵(例如，具有大約13 nm之直徑的密集接觸孔)之製程窗。製程窗1911可用於單個此類特徵，製程窗1913可用於N個(10^4 個)此類特徵，且橢圓窗1915擬合於製程窗1913內以用於改良圖案化製程之可接受製程窗的準確度。

【0206】 接著，如圖12C中所展示，可自第一特徵之製程窗1903及第二特徵之製程窗1913判定重疊製程窗1920。重疊製程窗1920係製程窗1903及1913內之共同區。舉例而言，可藉由運算供判定第一製程窗1903及第二製程窗1913之個別良率的乘積來判定重疊製程窗1920，其中每一製程窗可隨焦點及劑量而變。在另一實例中，可執行相交操作，其中依據例如劑量及/或焦點之值的集合來表達製程窗1903及1913。

【0207】 熟習此項技術者可瞭解，該操作不限於計算良率乘積或交點，且可執行任何其他適當的數學運算/圖形方法/模擬以判定重疊製程窗1920。多個特徵之間的此重疊製程窗1920可用作用於圖案化製程中之整個基板的製程窗以獲得具有最少缺陷的所要良率。

【0208】此外，本發明不限於二維製程窗(例如，劑量-焦點製程窗)。可擴展該方法以提供多維製程窗。舉例而言，可考慮第三變數：疊對。接著，良率及/或失效率可隨劑量、焦點、疊對或其組合而變。因此，可判定製程窗使得符合基於所有三個製程變數之限制或規格。圖13中說明基於良率之實例多維製程窗。在圖13中，第一良率曲線Y1可界定於疊對與劑量之間，且第二良率曲線Y2可界定於焦點與劑量之間。接著，可依據三個變數(亦即，劑量、焦點及疊對)而執行橢圓擬合，使得橢圓由第一良率曲線Y1及第二良率曲線Y2定界。接著，橢圓製程窗可被視為多維製程窗。可瞭解，術語曲線僅用於視覺清楚及理解目的且不具限制性。曲線一般可係任何函數。又，橢圓擬合亦係例示性的，且可取決於影響製程窗之製程條件而執行其他適當的(例如，矩形)擬合。

【0209】在另一實施例中，可進一步擴展圖10之方法以提供用於具有若干特徵之晶粒的整個層之製程窗，每一特徵在基板之每個晶粒上出現多次。舉例而言，

$$Y_{layer}(CD_{lim}) = \prod_{i=1}^N Y_i(CD_{lim}^i) \quad \dots (8)$$

【0210】在以上等式(8)中，良率 $Y_i(CD_{lim}^i)$ 係指具有CD極限 CD_{lim}^i 之個別特徵 i 的所要良率，且 N 係特定層上之特徵的總數。接著，該層之良率係個體特徵良率之乘積。可進一步使用該層之良率以與關於步驟P60所論述類似的方式運算製程窗，例如使用等式(6)及(7)。當出於應用中之實務原因，該等特徵之參數極限及 PDF_{CD} 類似以簡化評估(例如，接觸孔及線)時，可將該等特徵分組成「類型」或「類別」。

【0211】在一實施例中，可進一步精化判定基於缺陷(或基於良率)之製程窗的以上方法，從而提供更準確結果。舉例而言，藉由精化用以運

算製程變數PDF之參數的變化。精化之製程變數PDF可進一步用以運算精化之參數PDF，其可產生更準確的處理窗。換言之，可獲得藉由調整由圖案化製程內之不同因素引起之已知及/或隨機方差而進行的對參數之方差的較佳估計，以相較於以上方法進一步產生更準確的結果(亦即，製程窗)。

【0212】 圖14係用以修改參數之變化且最終修改製程窗的例示性方法之流程圖。如關於圖10所論述，可獲得參數1602 (例如，CD、疊對等)及其方差以及製程變數1604 (例如，劑量、焦點等)之量測結果，且可建立參數與製程變數之間的函數關係，例如，如程序P10中所論述。可瞭解，函數關係可為參數(例如，CD)係一或多個製程變數(例如，劑量、焦點等)之函數(例如，等式(1))。此外，函數亦可包括一或多個相關參數(例如，疊對)。參數(例如，CD)之量測結果1602亦提供參數之所量測方差(例如， σ_{cd})。

【0213】 參數(例如，CD)之此所量測方差(例如， σ_{cd})不僅包括與製程變數(例如，劑量)相關聯之方差，而且包括由可能與製程變數(例如，劑量)無關之源引起的其他方差。舉例而言，除可促成參數之所量測方差之製程變數以外的源可係度量衡相關的、光罩相關的、光學近接校正、成像誤差(例如，基於SEM之影像分析中所涉及的)等。因此，當使用所量測方差而不考量其他方差來運算製程變數PDF且此製程變數PDF進一步用以估計基於缺陷之製程窗時，所得製程窗可能不準確。

【0214】 為了進一步改良基於缺陷之製程窗之準確度，在程序P211中，可藉由移除及/或考量來自其他源之方差貢獻而自參數之所量測方差運算精化方差2111，使得參數之精化方差2111主要與來自所關注製程變

數(例如，劑量)之貢獻相關聯。精化方差可進一步用以判定製程變數 PDF，如以上程序P20中所論述。

【0215】 在一實施例中，可使用以下等式(9)運算精化方差2111：

$$\sigma_{CD}^2(d) = \sigma_{CD,measured}^2(d) - \sigma_{metro-noise}^2(d) - MEEF(d) \cdot \sigma_{mask}^2 \quad \dots (9)$$

【0216】 在以上等式(9)中，(i) $\sigma_{CD,measured}^2(d)$ 係CD之所量測方差；(ii) $\sigma_{metro-noise}^2(d)$ 係由於度量衡雜訊之方差；且 σ_{mask}^2 係與光罩相關聯之方差，將其進一步乘以MEEF (其係光罩誤差增強因數)以考量遮罩圖案至基板之按比例調整(例如，按比例縮小)效應。

【0217】 可例如藉由擴展經典矩陣CD (E,F))來量測以上方差之個別貢獻因素，該擴展係藉由包括光罩偏置之變化及藉由重複量測來進行。在彼狀況下，該矩陣擴展為CD (E,F,mask,iterations)。後一資料對於至少一對CD (E, F)設定係需要的。此處，光罩表示在不同的光罩偏置下對同一特徵之2次或多於2次量測，且重複量測同一特徵之次數。MEEF接著由(CD+mask - CD-mask)或 $\Delta(CD)mask$ 定義。可藉由校正MEEF來查看/檢測光罩分佈且藉由校正用於微影轉印之資料來觀測/檢測微影轉印：
 $CD(mask) = CD(E,F,mask) - \text{mean}(CD(E,F,mask)) / MEEF(E,F)$ 。

【0218】 可藉由包括微影系統對光罩尺寸之非線性回應的校正來精化光罩製造中之隨機變化的影響。藉由量測非線性光罩變化(藉由包括多個光罩CD)，吾人可例如經由多項式關係來模型化非線性回應：

$CD(E,F,mask - \text{delta}(CD)) = \text{sum } a_j(E,F) * \text{mask}^j$ 。因為上文已估計光罩之實際分佈且此回應已知，所以吾人可藉由應用與此實施例中所描述相同的方法來計算每製程參數設定(例如，E、F)的非線性光罩分佈(描繪於例如圖25A中)。

【0219】應注意，為了清楚地理解本發明，作為實例呈現以上方差。然而，本發明不限於方差之上文所識別源(例如，光罩及度量衡雜訊)，其他源可類似地包括於判定精化方差 $\sigma_{CD}^2(d)$ 中。

【0220】在一實施例中，方差可能係由於貫穿圖案化製程出現之系統性分量，及/或在圖案化製程中之一段時間上引起的漂移。舉例而言，系統性或漂移相關分量可能係OPC收斂殘差(convergence residual)、SEM敏感度誤差、SEM漂移、掃描器場相依效應(例如，像差)。

【0221】在一實施例中，所量測方差亦可考量可能與劑量無關之背景變化。舉例而言，可能由於圖案化製程之抗蝕劑相關參數或其他未知變數引起背景變化。在抗蝕劑相關背景校正之狀況下，可基於圖案化製程中之抗蝕劑層之物理/化學效應而模型化及/或模擬背景。在一實施例中，可藉由假定抗蝕劑製程遵循泊松分佈來以統計方式模型化/模擬抗蝕劑製程。接著，與特徵側壁上之抗蝕劑的數個聚合物嵌段相關的柏松統計資料(例如，平均值、方差等)可引起特徵之CD的背景方差。基於背景方差，可如下調整所量測方差：

$$\sigma_{CD}^2(d) = \sigma_{CD,measured}^2(d) - \sigma_{BG}^2 \quad \dots(10)$$

【0222】在以上等式(9)中，(i) $\sigma_{CD}^2(d)$ 係參數CD之精化方差；且(ii) σ_{BG}^2 係背景方差。

【0223】可以若干方式判定背景變化。舉例而言，量測劑量曲線(例如，曲線1702)上之單個點處的大量特徵，其中參數之所量測方差(例如， $\sigma_{CD,measured}$)之及/或劑量敏感度(DS)最小。可藉由獲取在特定設定下的CD與劑量之間的函數關係(例如，1610)之偏導數(例如， $DS = \frac{\partial f_{CD}(d)}{\partial d}$)來運算特定劑量下之劑量敏感度。因此，若劑量敏感度最小，則其暗示在彼特定劑量

下的CD之方差的貢獻與劑量無關聯，且可自CD之所量測方差移除此貢獻(例如，由於背景)。

【0224】在另一實例中，可基於諸如與劑量敏感度(或一般而言，對處理變數之敏感度，在該變數上將判定製程窗)相關聯之第一PDF及與具有方差且假定具有常態分佈之背景相關之第二PDF的兩個PDF之迴旋而運算背景向CD之所量測方差的貢獻。可將第一PDF及第二PDF進行迴旋以判定參數PDF(例如，CD之PDF)，可接著將經迴旋PDF與所量測CD值之PDF進行比較。在另一實施例中，可根據第一PDF及第二PDF之不同變化執行蒙特卡洛(Monte Carlo)模擬，該等PDF在迴旋後即可與自其量測或模擬獲得之CD的PDF擬合。基於擬合(或缺乏擬合)，可作出第一PDF之變化是否導致相比背景PDF相對較佳的擬合或反之亦然之判定。舉例而言，若背景PDF之變化導致相對較佳的擬合，則其指示背景方差可為主導的，且可在特定劑量設定下之參數(亦即，CD)的方差中予以考量。在一實例中，可例如使用以下等式判定基於兩個或多於兩個PDF之迴旋的背景貢獻：

$$PDF_{CD} = PDF_{NL}(a, DS) \otimes PDF_{CD}(\sigma_{BG}) \quad \dots (11)$$

【0225】在以上等式(11)中，(i) PDF_{CD} 可係例如自參數之量測或模型化/模擬判定的參數PDF；(ii) $PDF_{NL}(a, DS)$ 係基於劑量敏感度(DS)由模型化/模擬判定的製程變數PDF，如上文所論述；(iii) $PDF_{CD}(\sigma_{BG})$ 係具有背景方差 σ_{BG} 之參數PDF，該背景方差可藉由例如標準曲線擬合(例如，最大似然擬合或基於均方誤差之擬合)及/或基於蒙特卡洛模擬之擬合判定；及(iv) \otimes 係迴旋運算子。使用等式(11)判定之背景方差 σ_{BG} 可進一步用以例如使用等式(9)運算精化方差。本發明不限於以上項，此外，等式(11)可包括參數PDF

或諸如 PDF_{CD} 之光罩相關PDF ($MEEF \times \sigma_{mask}$)的額外迴旋項。

【0226】一旦判定參數之精化方差(亦即， σ_{CD})，便可進一步使用精化方差以判定精化製程變數PDF，例如，如在圖10之程序P20及其中之等式中所論述。另外，可運算精化參數PDF，例如，如在圖10之程序P30及其中之等式中所論述。此外，精化參數PDF可用於以類似方式判定缺陷製程窗，例如藉由圖10之以下程序P40、P50及P60及其中之等式。因此，實際上，相較於在使用參數之所量測方差而不對與處理變數(例如，劑量)無關之分量進行任何校正/調整時獲得的製程窗，可獲得精化處理窗。

【0227】圖15A及圖15B分別說明分別針對第一特徵及第二特徵獲得之精化製程窗2206及2216。圖15A說明圖10及圖14中之方法在製程窗上的結果，如藉由第一製程窗2202、第二製程窗2204及第三製程窗2206之間的差異可見。可在考慮標準分佈之情況下獲得第一製程窗2202，亦即，假定製程變數PDF係標準的(例如，常態分佈)且並非如圖10中所論述自參數之方差運算。可使用圖10中之方法獲得第二製程窗2204。第二製程窗2204自第一窗2202朝向相對較低劑量值偏移，因此指示基於圖案化製程之參數(例如，CD)的量測，相較於第一窗2202，較低劑量值(在大致類似焦點處)可能更適當。類似地，如圖14之方法中所論述，基於背景變化及/或與製程變數(例如，劑量)無關之變化的第二製程窗之進一步精化產生第三製程窗2206。第三製程窗2206呈現為第二製程窗2204之子集，其指示相較於第一或第二製程窗，例如劑量值之子集更適當。

【0228】類似地，圖15B說明圖16及圖14之方法用於不同於圖15A中所使用之特徵之第二特徵以獲得可能不同於圖15A中之製程窗的第一製程窗2212、第二製程窗2214及第三製程窗2216的結果。同樣對於第二特

徵，第三製程窗2216呈現為第二製程窗2214之子集，其指示相較於第一或第二製程窗，例如劑量值之子集更適當。

【0229】 上文所論述之結果及觀測僅用於說明之目的以提供視覺清晰度，且並不限制本發明中所論述之方法。

【0230】 可進一步擴展圖10及圖14之以上方法以基於可在一或多個圖案轉印後步驟中觀測到之缺陷判定製程窗，諸如在圖案轉印步驟後之蝕刻製程之後(例如，在顯影之後)。換言之，可在顯影後檢測(ADI)步驟中，在(中間)光罩檢測(AMI)之後以及在蝕刻檢測(AEI)步驟之後執行量測。此等AEI量測可用以判定例如CD極限，且一般而言，判定製程窗。在某些情形下，可觀測到特徵中之缺陷，例如在顯影檢測之後，且仍可在蝕刻製程期間及/或之後修復該缺陷(例如，藉由修整)。雖然在某些情形下，可在蝕刻製程之後觀測到失效或有缺陷圖案，但圖案或特徵在顯影之後可能不具有任何缺陷。因此，可在圖案化製程之不同步驟處進行參數(例如，CD)之量測以基於不同製程之間的相互相依性(例如，ADI對AEI相依性及/或ADI對AMI相依性)而判定及/或識別參數極限及製程窗。

【0231】 可藉由考慮圖案化製程之不同製程之間的轉移函數，例如在顯影之後與在蝕刻製程之後之間的轉移函數，來判定此製程窗。此轉移函數係建立在顯影之後量測的參數值與在蝕刻製程之後量測的參數值之間的關係的函數。因此，使用此轉移函數，可量化製程變數(例如，劑量)對在蝕刻製程之後量測的參數的影響。換言之，在蝕刻製程之後觀測到(或未觀測到)的缺陷可用以判定參數極限且因此判定製程窗。

【0232】 圖16係根據一實施例的用以判定製程窗之擴展方法的流程圖。在一實施例中，可例如自用於圖案化製程中之度量衡工具獲得在顯影

之後的參數之量測結果1602、製程變數1604及在蝕刻之後的參數之量測結果2306。量測結果1602、1604及2306可進一步用以判定函數關係，其類似於以上程序P10中所論述之函數關係。在一實施例中，在程序P10中，可使用早先所論述之等式(1)在量測結果1602與1604之間建立第一函數關係1610。

【0233】此外，在程序P231中，可例如使用以下等式(12)在參數與製程變數2306之間建立第二函數關係2320。

$$f_{CD-AEI}(d) = h(f_{CD-ADI}(d)) \quad \dots (12)$$

【0234】在第二函數關係(12)中，(i) $f_{CD-AEI}(d)$ 係指在圖案轉印(例如，蝕刻)至光罩中之後量測的參數CD且定義為劑量(d)之函數，(ii) h 係基於蝕刻製程之物理/化學效應及/或模擬而判定的轉移函數，且(iii) $f_{CD-ADI}(d)$ 係指在顯影之後量測的參數CD。此外，根據等式(1)代入 $f_{CD-AEI}(d)$ ，可藉由以下等式(13)給出第二函數關係：

$$f_{CD-AEI}(d) = h\left(\sum_{n=0} a_n d_n\right) \quad \dots (13)$$

【0235】因此，例如在等式(13)中之第二關係2320經由轉移函數 h 捕捉由於蝕刻製程之參數變化。

【0236】此外，可以與程序P20中所論述類似的方式運算製程變數PDF 1620。舉例而言，可使用劑量方差來獲得劑量PDF 1620，該劑量方差係使用等式(2)來運算，其中使用第一函數關係及自在顯影檢測之後的量測獲得的參數之方差。因此，劑量PDF考量在顯影製程之後的CD方差。換言之，劑量PDF可預測在特定劑量設定下的CD變化之機率。

【0237】此外，在程序P30中，可使用劑量PDF運算參數PDF 2330，例如CD PDF，其中可使用第二函數關係且基於以下等式(14)判定

(或自劑量PDF 1620修改)劑量PDF：

$$PDF_{CD}(CD, d) = PDF_d(g_d(CD_{AEI}), \sigma_d(g_d(CD_{AEI}))) * \left| \frac{\partial}{\partial d} g_d(CD_{AEI}) \right| \quad \dots (14)$$

【0238】 在以上等式(14)中，(i) $PDF_{CD}(CD, d)$ 係指CD PDF 2330，其係製程變數(亦即，劑量(d))之函數；(ii) $g_d(CD_{AEI})$ 係劑量與CD之間的第二函數關係(例如，在等式(13)中)之反函數，(iii) $PDF_d(g_d(CD_{AEI}), \sigma_d(g_d(CD_{AEI})))$ 係製程變數PDF 2330，其中 $\sigma_d(g_d(CD_{AEI}))$ 係基於 $g_d(CD_{AEI})$ 之所運算方差，例如使用類似於等式(2)之等式運算，其中轉換函數(或轉換因數)可係 $g_d(CD_{AEI})$ 之偏導數，及(iv) 偏導數項之絕對值(亦即， $\left| \frac{\partial}{\partial d} g_d(CD_{AEI}) \right|$) 係在特定劑量設定下將製程變數PDF轉換成參數PDF的轉換函數(或轉換因數)。

【0239】 因此，可獲得可判定由於蝕刻製程之特徵失效之機率的CD PDF 2330。CD PDF 2330可進一步用以運算針對每個劑量設定而CD將在所要範圍內的機率、圖案化製程之失效機率或其他在統計上關注的值。根據本發明，可以與程序P60中所論述類似的方式判定失效機率(或失效效率)之運算。

【0240】 此外，參數PDF 2330可用於以類似方式判定缺陷製程窗，例如藉由圖10之以下程序P40、P50及P60及其中之等式。因此，實際上，可獲得考量可能出現在後續製程(例如，AEI)中之缺陷的處理窗。

【0241】 在實施例中，可應用以上方法以判定抗蝕劑除渣，或其他圖案化後製程及/或抗蝕劑型最佳化。舉例而言，如圖17中所展示，對於諸如劑量/焦點之製程變數的某些設定，可觀測到基腳2402及頸縮2412類型之失效。在基腳之狀況下，可執行除渣以移除基板處之基腳2404。在頸縮2412之狀況下，可藉由移除頂部層2414來縮減抗蝕劑厚度。因此，可以抗蝕劑為代價來改良基於缺陷之製程窗。在實施例中，可執行模型化

/模擬以判定最佳厚度而不改變/損害製程窗(亦即，具有所要良率)，因此可觀測到較少缺陷(例如，頸縮/基腳)。

【0242】 在另一應用中，可在OPC校準期間藉由模型化/模擬來應用以上方法。舉例而言，對於所要良率、特徵之總數目及其各別失效機率，可執行模擬(例如，使用迅子)以針對最低良率特徵而最佳化OPC。

【0243】 光學近接校正(OPC)解決以下事實：除藉由微影投影設備實現之任何縮小以外，投影於基板上之圖案化裝置圖案的影像之最終大小及置放將不同於或簡單地僅取決於圖案化裝置上之對應圖案化裝置圖案特徵之大小及置放。應注意，本文中可互換地利用術語「光罩」、「倍縮光罩」、「圖案化裝置」。又，熟習此項技術者將尤其在微影模擬/最佳化之背景內容中認識到，可互換地使用術語「光罩圖案」、「倍縮光罩圖案」及「圖案化裝置圖案」，如在微影模擬/最佳化中，不必使用實體圖案化裝置，而圖案化裝置圖案可用以表示實體圖案化裝置。對於存在於一些圖案化裝置圖案上之小特徵大小及高特徵密度，給定特徵之特定邊緣之位置將在某種程度上受到其他鄰近特徵之存在或不存在影響。此等近接效應起因於自一個特徵耦合至另一特徵的微小量之輻射及/或諸如繞射及干涉之非幾何光學效應。類似地，近接效應可起因於在通常繼微影之後的曝光後烘烤(PEB)、抗蝕劑顯影及蝕刻期間之擴散及其他化學效應。

【0244】 為了確保圖案化裝置圖案之所投影影像係根據給定目標設計之要求，應使用圖案化裝置圖案之複雜數值模型、校正或預失真來預測及補償近接效應。論文「Full-Chip Lithography Simulation and Design Analysis - How OPC Is Changing IC Design」(C. Spence, Proc. SPIE, 第5751卷, 第1至14頁(2005年))提供當前「基於模型」之光學近接校正製

程的綜述。在典型的高端設計中，圖案化裝置圖案之幾乎每個特徵皆具有某種修改，以便達成所投影影像至目標設計之高保真度。此等OPC修改可包括邊緣位置或線寬之移位或偏置及/或意欲輔助其他特徵之投影的「輔助」特徵的應用。

【0245】 在裝置設計中通常存在數百萬個特徵的情況下，將基於模型之OPC應用於目標設計涉及良好的製程模型及相當大的運算資源。然而，應用OPC通常不為嚴正科學(exact science)，而為並不總是補償所有可能近接效應之經驗反覆程序。因此，應藉由例如使用校準之數值製程模型的密集型全晶片模擬的設計檢測來驗證OPC之效應，例如在應用OPC及任何其他RET之後的圖案化裝置圖案，以便縮減或最小化將設計瑕疵建置至圖案化裝置圖案中之可能性。此情形係藉由如下各者驅使：製造高端圖案化裝置之巨大成本，其在數百萬美元的範圍內；以及對產品製作時程之影響，其係因重工或修復實際圖案化裝置(一旦其已被製造)而引起。OPC及全晶片RET驗證兩者可基於數值模型化系統及方法，如描述於例如以全文引用之方式併入本文中的美國專利第7,003,758號及Y. Cao等人之題為「Optimized Hardware and Software For Fast, Full Chip Simulation」的論文(Proc. SPIE，第5754卷，405 (2005年))中。

【0246】 OPC之最簡單形式中之一者為選擇性偏置。給定CD對間距資料，藉由在圖案化裝置層級處改變CD，可迫使所有不同間距產生相同CD，至少在最佳焦點及曝光處。因此，若特徵在基板層級處過小地印刷，則圖案化裝置層級特徵將偏置成稍微大於標稱，且反之亦然。由於自圖案化裝置層級至基板層級之圖案轉印製程係非線性的，因此偏置量並非簡單地係在最佳焦點及曝光處之所量測CD誤差乘以縮減比率，而可藉由

模型化及實驗判定適當偏置。選擇性偏置係對近接效應之問題的不完全解決方案，特別係在其僅在標稱製程條件下應用的情況下。儘管原則上可應用此偏置以給出最佳焦點及曝光處之均一CD對間距曲線，但一旦曝光製程自標稱條件變化，每一偏置間距曲線就將作出不同的回應，從而導致用於不同特徵之不同製程窗。製程窗係兩個或多於兩個製程參數(例如，微影設備中之焦點及輻射劑量)之值的範圍，在該範圍內，足夠適當地產生特徵(例如，特徵之CD在某一範圍內，諸如 $\pm 10\%$ 或 $\pm 5\%$)。因此，用以給出相同CD對間距之「最佳」偏置甚至可對整個製程窗有負面影響，從而縮減而非放大所有目標特徵在所製程容許度內印刷於基板上之焦點及曝光範圍。

【0247】 已開發用於超出以上之一維偏置實例之應用的其他更複雜OPC技術。二維近接效應係線端縮短的。線端具有依據曝光及焦點而自其所要端點部位「拉回」之傾向。在許多狀況下，長線端之末端縮短程度可比對應線窄化大若干倍。此類型之線端拉回可在線端不能完全橫越其意欲覆蓋之底層(諸如，源極-汲極區上方之多晶矽閘極層)的情況下導致所製造的裝置發生嚴重失效。由於此類型之圖案對焦點及曝光高度敏感，因此簡單地使線端偏置成長於設計長度不適當，此係因為最佳焦點及曝光處或在曝光不足條件下之線將過長，從而在延伸之線端觸碰相鄰結構時導致短路，或在電路中之個別特徵之間添加更多空間的情況下導致不必要大的電路大小。由於裝置設計及製造之目標中之一者常常係最大化功能元件之數目，同時最小化每晶片所需之面積，因此添加過量間隔係非所要的解決方案。

【0248】 二維OPC方法可幫助解決線端拉回問題。諸如「錘頭」或

「襯線」之額外結構(亦被稱為「輔助特徵」)可添加至線端以將該等線端有效地錨定於適當位置且提供遍及整個製程窗之縮減拉回。即使在最佳焦點及曝光處，此等額外結構仍未被解析，但其更改主特徵之外觀，而未被獨自完全解析。如本文中所使用之「主特徵」意謂意欲在製程窗中之一些或所有條件下印刷於基板上之特徵。輔助特徵可採取比添加至線端之簡單錘頭更具攻擊性之形式，而達圖案化裝置上之圖案不再簡單地為大小根據縮減比增加的所要基板圖案之程度。相比簡單地縮減線端拉回，諸如襯線之輔助特徵可應用於更多情形。內襯線或外襯線可應用於任何邊緣，尤其係二維邊緣，以縮減隅角圓化或邊緣擠壓。在運用足夠選擇性偏置以及所有大小及極性之輔助特徵的情況下，圖案化裝置上之特徵承受與基板層級處所要之最終圖案愈來愈小的類似性。一般而言，圖案化裝置圖案變為基板層級圖案之預失真版本，其中失真意欲抵消或反轉在製造製程期間將出現的圖案變形以在基板上產生儘可能接近於設計者所預期之圖案的圖案。

【0249】 替代使用連接至主特徵之彼等輔助特徵(例如，襯線)或除了使用連接至主特徵之彼等輔助特徵(例如，襯線)以外，另一OPC技術亦涉及使用完全獨立且不可解析的輔助特徵。此處之術語「獨立」意謂此等輔助特徵之邊緣不連接至主特徵之邊緣。此等獨立輔助特徵不意欲或需要作為特徵印刷於基板上，而是意欲修改附近主特徵之空中影像，以增強彼主特徵之可印刷性及製程容許度。此等輔助特徵(常常被稱作「散射長條」或「SBAR」)可包括：子解析度輔助特徵(SRAF)，其為主特徵之邊緣之外的特徵；及子解析度反向特徵(SRIF)，其為自主特徵之邊緣內部取出之特徵。SBAR之存在向圖案化裝置圖案添加又一層之複雜度。散射長條之簡單使用實例為：其中在經隔離線特徵之兩側上拖拉不可解析散射長

條之規則陣列，此具有自空中影像之觀點使經隔離線呈現為更多地表示密集線陣列內之單一線的效應，從而導致製程窗在焦點及曝光容許度方面更接近於密集圖案之焦點及曝光容許度。此經裝飾隔離特徵與密集圖案之間之共同製程窗相比於如在圖案化裝置層級處隔離而拖拉之特徵之情形將具有對焦點及曝光變化之更大的共同容許度。

【0250】 輔助特徵可被視為圖案化裝置上之特徵與圖案化裝置圖案中之特徵之間的差異。術語「主特徵」及「輔助特徵」並不暗示圖案化裝置上之特定特徵必須標記為主特徵或輔助特徵。

【0251】 除了對圖案化裝置圖案之最佳化(例如，OPC)以外或替代對圖案化裝置圖案之最佳化，亦可與圖案化裝置最佳化聯合地抑或分離地最佳化照明模式，以致力於改良總微影保真度。可使用諸如環形、四極及偶極之許多離軸照明模式且許多離軸照明模式提供針對OPC設計之更多自由度，藉此改良成像結果。如所已知，離軸照明係用以解析圖案化裝置中含有之精細結構(亦即，目標特徵)之已證明方式。然而，相較於傳統照明模式，離軸照明模式通常提供針對空中影像之較小輻射強度。因此，變得需要嘗試最佳化照明模式以在較精細解析度與縮減輻射強度之間達成最佳平衡。舉例而言，可在Rosenbluth等人之題為「Optimum Mask and Source Patterns to Print a Given Shape」的論文(Journal of Microlithography, Microfabrication, Microsystems 1(1), 第13至20頁, (2002年))中找到若干照明最佳化方法，該論文以全文引用之方式併入本文中。

【0252】 不斷減弱之設計規則的壓力驅使半導體晶片製造者更深入地進行低 k_1 微影。朝向較低 k_1 之微影對RET、曝光工具及針對微影親和設

計之需要提出很高的要求。因此，為了有助於確保可運用可工作製程窗將裝置設計產生至基板上，照明模式-圖案化裝置圖案最佳化(在一些狀況下被稱作源-光罩最佳化或SMO)正變成重要RET以達成例如較小特徵。

【0253】 因此，對於低 k_1 微影，照明模式及圖案化裝置圖案兩者之最佳化可用於確保用於投影臨界裝置圖案之可行製程窗。一些演算法(例如，如描述於Socha等人之「Simultaneous Source Mask Optimization (SMO)」(Proc. SPIE，第5853卷，180至193 (2005年)，其以全文引用之方式併入本文中)將照明離散化成獨立照明分佈點且在空間頻域中將圖案化裝置圖案離散化成繞射階，且基於可藉由光學成像模型自照明分佈點強度及圖案化裝置圖案繞射階而預測之諸如曝光寬容度的製程窗量度來分離地公式化目標函數(其定義為選定設計變數之函數)。

【0254】 不受約束地且在切實可行的時間量內使用目標函數來允許照明模式及圖案化裝置圖案之同時最佳化的另一照明模式及圖案化裝置圖案最佳化方法及系統描述於題為「Fast Freeform Source and Mask Co-Optimization Method」之PCT專利申請公開案第WO 2010/059954號中，該專利申請公開案特此以全文引用之方式併入。涉及藉由調整照明分佈之像素來最佳化照明的另一照明及圖案化裝置最佳化方法及系統描述於題為「Source-Mask Optimization in Lithographic Apparatus」之美國專利申請公開案第2010/0315614號中，該專利申請公開案特此以全文引用之方式併入。

【0255】 現在，上文所提及之圖案化裝置可包含一或多個圖案化裝置圖案。可利用電腦輔助設計(computer-aided design；CAD)程式來產生圖案化裝置圖案，此程序常常被稱作電子設計自動化(electronic design

automation ; EDA)。大多數CAD程式遵循一組預定設計規則以便為圖案化裝置產生功能性圖案化裝置圖案。藉由處理及設計限制來設定此等規則。舉例而言，設計規則定義裝置特徵(諸如，閘、電容器等)或互連線之間的空間容許度，以便確保裝置或線不會以不合需要的方式彼此相互作用。設計規則限制可被稱作「臨界尺寸」(CD)。可將裝置之臨界尺寸界定為線或孔之最小寬度或兩條線或兩個孔之間的最小空間。因此，CD判定所設計裝置之總大小及密度。裝置製作中之目標中之一者係在基板上如實地再現原始裝置設計(經由圖案化裝置)。

【0256】 另外，在系統之最佳化程序中，系統之優值可表示為目標函數(例如，成本函數或評價函數)。最佳化程序通常歸結為找到最小化或最大化目標函數的系統之參數(設計變數)集的程序。取決於最佳化之目標，目標函數可具有任何合適的形式。舉例而言，目標函數可係系統之某些特性(評估點)相對於此等特性之預期值(例如，理想值)的偏差之加權均方根(RMS)；目標函數亦可係此等偏差之最大值。如本文中所使用之術語「設計變數」包含圖案化製程(例如，微影製程、微影投影設備等)之一組參數，例如，微影投影設備之使用者可調整的參數。應瞭解，包括照明模式、圖案化裝置圖案(或圖案化裝置構造)、投影光學件之特性及/或抗蝕劑特性之特性的圖案化製程之任何特性可處於最佳化中之設計變數當中。目標函數常常係設計變數之非線性函數。接著，標準最佳化技術用以例如最小化或最大化目標函數。本文中之術語「評估點」應被廣泛地解譯為包括系統或製程之任何特性。由於系統或製程之實施的實務性，系統之設計變數可限於有限範圍及/或相互相依。在微影投影設備之狀況下，約束常常與硬體之實體性質及特性(諸如，可調諧範圍，及/或圖案化裝置可製造性

設計規則(MRC))相關聯，且評估點可包括基板上之抗蝕劑影像上的實體點，以及諸如劑量及焦點之非實體特性。

【0257】 因此，在微影投影設備中，照明系統將照明(亦即，輻射)提供至圖案化裝置，且投影光學件將照明自圖案化裝置導向至基板上。在一實施例中，投影光學件使得能夠形成空中影像(AI)，空中影像係基板上之輻射強度分佈。曝光基板上之抗蝕劑層，且將空中影像轉印至抗蝕劑層以作為其中之潛伏「抗蝕劑影像」(RI)。可將抗蝕劑影像(RI)定義為抗蝕劑層中之抗蝕劑之溶解度的空間分佈。在一實施例中，對微影製程之模擬可模擬空中影像及/或抗蝕劑影像之產生。

【0258】 圖18中說明用於模型化及/或模擬圖案化製程之部分的例示性流程圖。如將瞭解，該等模型可表示不同圖案化製程且無需包含下文所描述之所有模型。

【0259】 照明模型31表示用以產生經圖案化輻射光束之照明模式的光學特性(包括輻射強度分佈及/或相位分佈)。照明模型31可表示照明之光學特性，包括但不限於數值孔徑設定、照明西格瑪(σ)設定以及任何特定照明模式形狀(例如，離軸輻射形狀，諸如環形、四極、偶極等)，其中 σ (或西格瑪)係照明器之外部徑向範圍。

【0260】 投影光學件模型32表示投影光學件之光學特性(包括由投影光學件引起的輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)。投影光學件模型32可包括由各種因素引起的光學像差，各種因素例如投影光學件之組件之加熱、由投影光學件之組件之機械連接產生的應力等。投影光學件模型32可表示投影光學件之光學特性，包括選自以下各者之一或多者：像差、失真、折射率、實體大小、實體維度、吸收率等。微影投影設備之光學性質

(例如，照明件、圖案化裝置圖案及投影光學件之性質)規定空中影像。由於可改變用於微影投影設備中之圖案化裝置圖案，因此需要分離圖案化裝置圖案之光學性質與至少包括照明件及投影光學件的微影投影設備之其餘部分的光學性質。照明模型31及投影光學件模型32可組合成透射交叉係數(transmission cross coefficient；TCC)模型。

【0261】 圖案化裝置圖案模型33表示圖案化裝置圖案(例如，對應於積體電路、記憶體、電子裝置等之特徵的裝置設計佈局)之光學特性(包括由給定圖案化裝置圖案引起的輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)，該圖案化裝置圖案係圖案化裝置上或由圖案化裝置形成之特徵之配置的表示。圖案化裝置模型33捕捉設計特徵如何佈置於圖案化裝置之圖案中且可包括圖案化裝置及圖案化裝置圖案之詳細實體性質的表示，如描述於例如以全文引用之方式併入的美國專利第7,587,704號中。

【0262】 抗蝕劑模型37可用以自空中影像計算抗蝕劑影像。可在特此以全文引用之方式併入的美國專利第8,200,468號中找到此抗蝕劑模型之實例。抗蝕劑模型通常描述在抗蝕劑曝光、曝光後烘烤(PEB)及顯影期間出現的化學製程之效應，以便預測例如形成於基板上之抗蝕劑特徵之輪廓，且因此其通常僅與抗蝕劑層之此等性質(例如，在曝光、曝光後烘烤及顯影期間出現的化學製程之效應)相關。在一實施例中，可捕捉抗蝕劑層之光學性質作為投影光學件模型32之部分，例如折射率、膜厚度、傳播及偏振效應。

【0263】 在具有此等模型的情況下，可自照明模型31、投影光學件模型32及圖案化裝置圖案模型33模擬空中影像36。空中影像(AI)係在基板層級處之輻射強度分佈。微影投影設備之光學性質(例如，照明件、圖案

化裝置及投影光學件之性質)規定空中影像。

【0264】藉由空中影像曝光基板上之抗蝕劑層，且將該空中影像轉印至抗蝕劑層以作為其中之潛伏「抗蝕劑影像」(RI)。可將抗蝕劑影像(RI)定義為抗蝕劑層中之抗蝕劑之溶解度的空間分佈。可使用抗蝕劑模型37自空中影像36模擬抗蝕劑影像38。因此，一般而言，光學模型與抗蝕劑模型之間的連接係抗蝕劑層內之模擬空中影像強度，其起因於輻射至基板上之投影、抗蝕劑界面處之折射及抗蝕劑膜堆疊中之多個反射。輻射強度分佈(空中影像強度)係藉由吸收入射能量而變為潛伏「抗蝕劑影像」，該潛伏抗蝕劑影像藉由擴散製程及各種負載效應進一步修改。足夠快以用於全晶片應用之高效模擬方法藉由2維空中(及抗蝕劑)影像來近似抗蝕劑堆疊中之實際3維強度分佈。

【0265】在一實施例中，可將抗蝕劑影像用作圖案轉印後製程模型39之輸入。圖案轉印後製程模型39界定一或多個抗蝕劑顯影後製程(例如，蝕刻、CMP等)之效能且可產生蝕刻後影像。

【0266】因此，模型公式化描述整個製程之大多數(若非全部)已知物理及化學效應，且模型參數中之每一者理想地對應於一相異的物理或化學效應。因此，模型公式化設定關於模型可用以模擬整個製造製程之良好程度之上限。

【0267】圖案化製程之模擬可例如預測空中、抗蝕劑及/或經蝕刻影像中之輪廓、CD、邊緣置放(例如，邊緣置放誤差)、圖案移位等。因此，該模擬之目標係準確地預測例如經印刷圖案之邊緣置放，及/或輪廓，及/或圖案移位，及/或空中影像強度斜率，及/或CD等。可將此等值與預期設計比較以例如校正圖案化製程，識別預測出現缺陷之地點等。預

期設計通常定義為可以諸如GDSII或OASIS或其他檔案格式之標準化數位檔案格式而提供的預OPC設計佈局。

【0268】 用以將圖案化裝置圖案變換成各種微影影像(例如，空中影像、抗蝕劑影像等)之技術及模型、使用彼等技術及模型來應用OPC且評估效能(例如，依據製程窗)的細節描述於美國專利申請公開案第US 2008-0301620、2007-0050749、2007-0031745、2008-0309897、2010-0162197、2010-0180251及2011-0099526號中，該等專利申請公開案中之一者的揭示內容特此以全文引用之方式併入。

【0269】 為了促進評估模型之速度，可自圖案化裝置圖案識別一或多個部分，其被稱作「片段(clip)」。在一特定實施例中，提取片段之集合，其表示圖案化裝置圖案中之複雜圖案(通常約50個至1000個片段，但可使用任何數目個片段)。如熟習此項技術者將瞭解，此等圖案或片段表示設計之小部分(亦即，電路、胞元或圖案)，且該等片段尤其表示需要特別關注及/或驗證之小部分。換言之，片段可係圖案化裝置圖案之部分，或可類似或具有臨界特徵係憑經驗(包括由客戶提供之片段)、藉由試誤法或藉由執行全晶片模擬而識別的圖案化裝置圖案之部分的類似行為。片段通常含有一或多個測試圖案或量規圖案。可由客戶基於圖案化裝置圖案中要求特定影像最佳化之已知臨界特徵區域而先驗地提供初始較大片段集合。替代地，在另一實施例中，可藉由使用識別臨界特徵區域之某種自動化(諸如，機器視覺)或手動演算法自整個圖案化裝置圖案提取初始較大片段集合。

【0270】 此外，圖案化裝置上或由圖案化裝置提供之各種圖案可具有不同製程窗，亦即，將產生規格內之圖案所處的處理變數之空間。與潛

在系統性缺陷相關之圖案規格之實例包括檢查頸縮、線拉回、線薄化、CD、邊緣置放、重疊、抗蝕劑頂部損耗、抗蝕劑底切及/或橋接。可藉由合併每一個別圖案之製程窗(例如，使該等製程窗重疊)來獲得圖案化裝置或其區域上之所有圖案之製程窗。所有圖案之製程窗之邊界含有個別圖案中之一些的製程窗之邊界。換言之，此等個別圖案限制所有圖案之製程窗。此等圖案可被稱作「熱點」或「製程窗限制圖案(PWLP)」，其在本文中可互換地被使用。當使用例如本文中所描述之模型化來設計、修改等圖案化製程之一部分時，集中於熱點係可能且經濟的。當熱點無缺陷時，最有可能的係所有圖案皆無缺陷。

【0271】 返回圖案化製程之模型化，可使用例如目標函數來執行最佳化，目標函數諸如

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (15)$$

其中 (z_1, z_2, \dots, z_N) 係 N 個設計變數或其值； $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可係針對設計變數之值集合 (z_1, z_2, \dots, z_N) 的在第 p 個評估點處的缺陷量度之函數。 w_p 係指派給第 p 個評估點之權重常數。可向比其他評估點或圖案更臨界的評估點或圖案指派較高 w_p 值。亦可向具有較大出現次數之圖案及/或評估點指派較高 w_p 值。評估點之實例可係基板上之任何實體點或圖案，或圖案化裝置圖案或抗蝕劑影像或空中影像上之任何點。

【0272】 目標函數可表示圖案化製程之任何合適特性，諸如微影投影設備或基板之特性，例如焦點、CD、影像移位、影像失真、影像旋轉等。舉例而言，目標函數可係以下微影量度中之一或多者的函數：邊緣置放誤差、臨界尺寸、抗蝕劑輪廓距離、最差缺陷大小、圖案移位、隨機效應、圖案化裝置之三維效應、抗蝕劑之三維效應、最佳焦點移位、光瞳填

充因數、曝光時間及/或產出率。由於抗蝕劑影像常常規定基板上之圖案，因此目標函數常常包括表示抗蝕劑影像之一些特性的函數。舉例而言，此評估點之 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可簡單地係抗蝕劑影像中之缺陷的總數。設計變數可係任何可調整參數，諸如照明模式、圖案化裝置圖案、投影光學件、劑量、焦點等之可調整參數。

【0273】 微影設備可包括可用以調整波前之形狀及輻射光束之強度分佈及/或相移之統稱為「波前操控器」的一或多個組件。可沿著微影投影設備之光學路徑在任何部位處調整波前及強度分佈，諸如在圖案化裝置之前、接近光瞳平面、接近影像平面或接近焦平面。投影光學件可用以校正或補償由例如照明件、圖案化裝置引起的波前及強度分佈之某些失真、微影投影設備中之溫度變化，及/或微影投影設備之組件之熱膨脹。調整波前及強度分佈可改變評估點及目標函數之值。可自模型模擬此等改變或實際上量測此等改變。

【0274】 應注意， $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之正常加權均方根(RMS)定義為 $\sqrt{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N)}$ ，因此例如，最小化 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之加權RMS等效於最小化等式15中所定義之目標函數 $CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 。因此，出於本文中之記法簡單起見，可互換地利用 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之加權RMS與等式15。

【0275】 另外，若最大化製程窗(PW)，則有可能將來自不同PW條件之同一實體部位視為等式15中之目標函數中之不同評估點。舉例而言，若考慮 N 個PW條件，則可根據評估點之PW條件來將該等評估點分類，且可將目標函數書寫為：

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{u=1}^U \sum_{p_u=1}^{P_u} w_{p_u} f_{p_u}^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (16)$$

其中 $f_{p_i}(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 係在第 u 個PW條件 $u = 1, \dots, U$ 下針對設計變數之值集合 (z_1, z_2, \dots, z_N) 的第 p_i 個評估點的缺陷量度之函數。當此缺陷量度係失效率時，則最小化以上目標函數等效於最少化各種PW條件下之缺陷，此可導致最大化PW。特定而言，若PW亦包括不同圖案化裝置偏置，則最小化以上目標函數亦包括最小化光罩誤差增強因數(MEEF)，其定義為基板EPE與已誘發圖案化裝置圖案特徵邊緣偏置之間的比率。

【0276】 設計變數可具有約束，該等約束可表達為 $(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z$ ，其中 Z 係設計變數之可能值的集合。該等約束可表示例如微影投影設備之硬體實施中之實體限制。該等約束可包括選自以下各者之一或多者：調諧範圍、規則控管圖案化裝置可製造性(MRC)及/或兩個或多於兩個設計變數之間的相互相依性。

【0277】 因此，最佳化製程應為在約束 $(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z$ 下找到例如最小化目標函數之設計變數之值集合，亦即，找到：

$$(\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_N) = \arg \min_{(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z} CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \arg \min_{(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z} \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (17)$$

【0278】 圖19中說明根據一實施例的最佳化微影投影設備之一般方法。此方法包含定義複數個設計變數之多變數目標函數的步驟302。設計變數可包含選自以下各者之任何合適組合：照明模式之一或多個特性(300A) (例如，光瞳填充比，即穿過光瞳或孔隙之照明之輻射的百分比)、投影光學件之一或多個特性(300B)及/或圖案化裝置圖案之一或多個特性(300C)。舉例而言，設計變數可包括照明模式之特性(300A)及圖案化裝置圖案之特性(300C) (例如，全域偏置)，但不包括投影光學件之特性(300B)，此情形導致SMO。替代地，設計變數可包括照明模式之特性(300A)、投影光學件之特性(300B)及圖案化裝置圖案之特性(300C)，此

導致照明件、圖案化裝置圖案及投影光學件之最佳化(有時被稱作源-光罩-透鏡最佳化(SMLO))。在步驟304中，同時調整設計變數使得目標函數朝向收斂移動。在步驟306中，判定是否滿足預定義終止條件。預定終止條件可包括各種可能性，例如，目標函數可視需要藉由所使用之數值技術進行最小化或最大化；目標函數之值等於臨限值或已超過臨限值，目標函數之值已達到預設定誤差極限內，及/或達到目標函數評估之預設反覆數目。若在步驟306中滿足終止條件，則方法結束。若在步驟中306未滿足終止條件，則反覆地重複步驟304及306直至獲得所要結果。最佳化未必導致設計變數之單一值集合，此係因為可存在由諸如光瞳填充因數、抗蝕劑化學效應、產出率等之因素引起的實體抑制。最佳化可提供設計變數之多個值集合及相關聯效能特性(例如，產出率)，且允許微影設備之使用者拾取一或多個集合。

【0279】 在一實施例中，替代計算及/或判定對照明系統及/或投影光學件之光學特性之效應或除了計算及/或判定對照明系統及/或投影光學件之光學特性之效應以外，應設想，亦可在設計變數中包括照明系統及/或投影光學件之可調整光學特性。例示性可調整光學特性可包括一或多個透鏡操控器、溫度資料或與用以控制照明系統及/或投影系統之光學元件之溫度的一或多個裝置(例如，加熱器)之溫度資料相關聯之信號、一或多個任尼克係數等。可接著進行SMO或SMLO程序，且可同時調整包括可調整光學特性之設計變數使得目標函數朝向收斂移動。

【0280】 在圖19中，同時執行所有設計變數之最佳化。此流程可被稱為同時最佳化、聯合最佳化，或共同最佳化。如本文中所使用之術語「同時」、「同時地」、「聯合」及「聯合地」意謂允許照明模式、圖案化裝

置、投影光學件之特性的設計變數及/或任何其他設計變數同時改變。

【0281】 替代地，交替地執行所有設計變數之最佳化，如圖20中所說明。在此流程中，在每一步驟中，一些設計變數係固定的，而作為目標函數之評估的部分來最佳化其他設計變數；接著在下一步驟中，不同變數集係固定的，而作為目標函數之評估的部分來最佳化其他變數。交替地執行此等步驟直至符合收斂或某些終止條件。如圖20之非限制性實例流程圖中所展示，首先，獲得圖案化裝置圖案(步驟402)，接著在步驟404中執行照明模式最佳化之步驟，其中作為合適目標函數之評估的部分來最佳化(SO)照明模式之所有設計變數，而所有其他設計變數係固定的。接著在下一步驟406中，執行光罩最佳化(MO)，其中作為合適目標函數之評估的部分來最佳化圖案化裝置之所有設計變數，而所有其他設計變數係固定的。交替地執行此等兩個步驟，直至在步驟408中符合某些終止條件。可使用各種終止條件，諸如目標函數之值變得等於臨限值、目標函數之值超過臨限值、目標函數之值達到預設極限內，或達到目標函數之評估的預設反覆數目等。應注意，SO-MO交替最佳化用作替代流程之實例。該替代流程可採取許多不同形式，諸如SO-LO-MO交替最佳化，其中交替地且反覆地執行SO、透鏡最佳化(LO)及MO；或可執行第一SMO一次，接著交替地且反覆地執行LO及MO；等等。最後，在步驟410中獲得最佳化結果之輸出，且程序停止。

【0282】 如之前所論述之圖案選擇演算法可與同時或交替最佳化整合。舉例而言，當採用交替最佳化時，首先可執行全晶片SO，識別「熱點」及/或「溫點」，接著執行MO。鑒於本發明，次最佳化之眾多排列及組合係可能的，以便達成所要最佳化結果。

【0283】 圖21展示一個例示性最佳化方法，其中定義且評估目標函數。在步驟502中，獲得設計變數之初始值，包括設計變數之調諧範圍(若存在)。在步驟504中，設置多變數目標函數。在步驟506中，在圍繞用於第一反覆步驟($i=0$)之設計變數之起點值的足夠小之鄰域內展開目標函數。在步驟508中，應用標準多變數最佳化技術以最小化或最大化目標函數。應注意，最佳化可在508中之最佳化程序期間或在最佳化程序中之稍後階段具有約束，諸如調諧範圍。對於已選定以最佳化微影製程之經識別評估點，使用給定測試圖案(亦被稱為「量規」)來評估每一反覆。在步驟510中，預測微影回應(例如，空中影像之一或多個某些特性、抗蝕劑影像之一或多個某些特性，或微影製程之一或多個某些特性，諸如製程窗)。在步驟512中，將步驟510之結果與所要或理想微影回應值進行比較。若在步驟514中滿足終止條件，亦即，最佳化產生足夠接近於所要值之微影回應值，則在步驟518中輸出設計變數之最終值。輸出步驟亦可包括使用設計變數之最終值來輸出其他函數，諸如輸出光瞳平面(或其他平面)處之波前像差調整映像、經最佳化照明模式映像、經最佳化圖案化裝置圖案(例如，包括光學近接校正)等。若未滿足終止條件，則在步驟516中，運用第 i 反覆之結果更新設計變數之值，且程序返回至步驟506。可應用演算法，諸如高斯-牛頓 (Gauss-Newton) 演算法、雷文柏格-馬括特 (Levenberg-Marquardt) 演算法、梯度下降演算法、模擬退火、基因演算法等，以評估且求解目標函數。

【0284】 最佳化圖案化製程可擴展製程窗。較大製程窗在製程設計及裝置設計方面提供更多靈活性。製程窗可界定為使抗蝕劑影像在抗蝕劑影像之設計目標之某一極限內的焦點及劑量值之集合。應注意，此處所論

述之所有方法亦可擴展至可藉由除了曝光劑量及散焦以外之不同或額外基參數而建立的廣義製程窗定義。此等基參數可包括但不限於諸如NA、光學西格瑪、光學像差、偏振或抗蝕劑層之光學常數的光學設定。舉例而言，如早先所描述，若PW亦涉及不同光罩偏置，則最佳化可包括最小化MEEF。在焦點及劑量值上界定之製程窗在本發明中僅充當一實例。

【0285】下文描述根據一實施例的最大化製程窗之方法。在第一步驟中，自製程窗中之已知條件 (f_0, ε_0) 開始，其中 f_0 係標稱焦點且 ε_0 係標稱劑量，以下執行在鄰近區 $(f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)$ 中的實例目標函數中之一者的最小化：

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N, f_0, \varepsilon_0) = \min_{(f, \varepsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)} (\max_p |f_p(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon)|) \quad (18)$$

或

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N, f_0, \varepsilon_0) = \min(\max_{(f, \varepsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)} (\sum_p w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon))) \quad (19)$$

【0286】若允許標稱焦點 f_0 及標稱劑量 ε_0 移位，則可與設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 聯合地最佳化標稱焦點及標稱劑量。在下一步驟中，若可找到值集合 $(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon)$ 使得目標函數在預設極限內，則接受 $(f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)$ 作為製程窗之部分。

【0287】替代地，若不允許焦點及劑量移位，則在焦點及劑量固定於標稱焦點 f_0 及標稱劑量 ε_0 的情況下最佳化設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 。在一替代實施例中，若可找到值集合 (z_1, z_2, \dots, z_N) 使得目標函數在預設極限內，則接受 $(f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)$ 作為製程窗之部分。

【0288】早先在本發明中描述之方法可用以最小化等式(18)或(19)之各別目標函數。若設計變數係投影光學件之特性，諸如任尼克係數，則最小化等式(18)或(19)之目標函數導致基於投影光學件最佳化(亦即，LO)之製程窗最大化。若設計變數係除投影光學件之特性以外的照明模式及圖

案化裝置圖案之特性，則最小化等式(18)或(19)之目標函數導致基於SMLO之製程窗最大化。若設計變數係照明模式及圖案化裝置圖案之特性，則最小化等式(18)或(19)之目標函數導致基於SMO之製程窗最大化。

【0289】 上文所描述之最佳化可用以找到用以縮減可能不利於微影製程之許多物理效應的值集合 (z_1, z_2, \dots, z_N) 。可針對不同物理效應、對微影設備之不同組件且在不同條件下連續地進行多個最佳化。

【0290】 與上文所論述之源/光罩/源-光罩最佳化相關的方法包括使用經選擇以最佳化貫穿製程窗之經印刷晶圓輪廓的線性化函數。評價函數通常基於純光學模型，此係因為光微影系統中之光學件傾向於判定大多數製程約束。在一個實例中，可選擇評價函數以縮減貫穿製程窗之設計佈局的最差邊緣置放誤差。

【0291】 本發明描述一種用以基於表達為缺陷量度之缺陷準則而獲得製程窗的方法，該缺陷準則與待印刷於基板上之一或多個特徵相關。舉例而言，製程窗可係對例如目標設計及/或圖案化裝置佈局(例如，具有曲線圖案或曼哈頓(Manhattan)圖案之光罩佈局)內之某些特徵之失效敏感的劑量及/或焦點值(亦被稱作劑量/焦點設定)之集合。在一實施例中，缺陷可能由於特徵大小、基板上之特定部位中的特徵之相對較高密度或其組合而出現。在一實施例中，圖案化製程之模型可經組態以最佳化此類缺陷出現。在一實施例中，缺陷之最佳化可涉及修改如早先在本發明中所論述之圖案化特性，諸如源特性、圖案化裝置佈局特性或其組合，使得圖案化製程產生之一或多個缺陷之數目或缺陷之總數最小。因此，根據一實施例，此基於缺陷之最佳化之結果將係源及/或光罩特性，及/或導致圖案化製程之較少缺陷及/或較高良率之製程窗。熟習此項技術者可理解，本發明方

法不限於源/光罩/源-光罩最佳化，且圖案化製程之其他模型(例如，投影光學件模型、抗蝕劑模型等)亦可經組態以包括基於缺陷之最佳化。

【0292】 在一實施例中，缺陷可能由於圖案化製程中之超出所要範圍(例如，超出 3σ 位階)的變化而出現。舉例而言，可能由於光子及酸散粒雜訊在較高西格瑪位階(例如，大於 3σ 位階)下引起極不對稱的尾部(例如，在CD值之分佈中)而觀測到局部CD變化，其指示由圖案化製程印刷之特徵將可能引起經印刷基板上之缺陷。然而，在製程模型(例如，SMO)之模擬期間，通常假定具有變化為 3σ 之對稱尾部(或對稱分佈)的參數變化。因而，製程模型可能不易用於預測缺陷或判定將最少化由於製程變化之此等缺陷之圖案化製程特性(例如，源特性、光罩特性及/或圖案化窗)。以下方法描述併有此基於缺陷之圖案化製程特性判定的程序。參考本文中所使用之參數的術語「分佈」係指參數之機率密度函數或變化。在一實施例中，機率密度函數提供特定事件(例如，缺陷)之出現機率。

【0293】 圖22係用於基於可能由於圖案化製程中之變化而出現的缺陷來判定製程窗的方法之流程圖。在一實施例中，可例如經由圖案化製程之製程模型(例如，SMO)的模擬來判定製程窗，該製程模型包括基於例如缺陷數目之評價函數。

【0294】 該方法在程序P1801中涉及獲得圖案化製程之第一參數(例如，劑量、焦點等)的變化1801、基於第一參數與第二參數之間的關係(例如，早先所論述之劑量-CD關係)的第二參數之變化1802，及圖案化製程之製程模型1803 (例如，SMO模型)。

【0295】 可基於圖案化製程之局部參數均一性模型的模擬而獲得圖案化製程之第一參數(例如，劑量、焦點等)的變化1801。在一實施例中，

局部參數均一性模型係經組態以判定劑量值從而在基板上之不同部位處印刷具有不同CD值之特徵的局部CD均一性模型，該等特徵具有大小及形狀之某均一性。

【0296】 在一實施例中，LCDU模型可係劑量及焦點之函數，其例如基於諸如線性回歸、非線性回歸、機率分佈擬合等之統計資料擬合方法而擬合。實例模型由以下等式給出： $LCDU = a * Dose \times d(CD) / d(dose) + b$ ，其中 a 及 b 係擬合參數且 $d(CD)/d(dose)$ 係劑量敏感度，其可根據例如已知柏桑擬合方法來運算。

【0297】 在一實施例中，可執行不同「柏桑」擬合以判定局部CD，例如： $LCDU = \sum_{ij} b_{ij} dose^i focus^j$

【0298】 本發明不限於特定LCDU模型、柏桑擬合模型等。選擇用於模型擬合之模型參數之數目以平衡貫穿製程窗之局部CD相依性之準確描述與其對度量衡可重複性及準確度之敏感度。若干模型可用於擬合LCDU資料。舉例而言，基於NILS/ILS之模型包括或不包括背景分佈，例如， $LCDU = a + b / NILS$ 或 $LCDU = \sqrt{a^2 + (b/NILS)^2}$ 等。

【0299】 在一實施例中，可基於實驗資料，例如與微影設備相關之量測或與經印刷基板相關之量測，而獲得第一參數之變化。然而，本發明不限於圖案化製程之特定參數或獲得特定參數之變化的方法。在一實施例中，圖案化製程之第一參數可係劑量、焦點或其他相關參數。

【0300】 在一實施例中，可基於第一參數與第二參數之間的關係(例如，早先所論述之劑量-CD關係)而獲得圖案化製程之第一參數(例如，劑量、焦點等)之變化1801。第一參數(例如，劑量)與第二參數(例如，CD)之間的關係可係基於物理學之模型、經驗模型或經組態以基於作為輸入之

第一參數的值而預測第二參數值的機器學習模型。在一實施例中，可使用經受圖案化製程之經印刷基板之實驗資料來建立經驗模型或機器學習模型。

【0301】 在一實施例中，製程模型1803可係經組態以預測圖案化製程之特性的任何模型。舉例而言，製程模型1803可係源模型、光罩模型及/或源-光罩最佳化模型，其中各別模型經組態以判定最佳源特性、光罩特性及/或酸光罩(sour-mask)特性，如早先所論述。

【0302】 該方法在程序P1802中涉及在第一參數與第二參數之間的關係中插入高斯分佈以用於修改第一參數之變化。在一實施例中，高斯分佈可係高斯劑量分佈。在一實施例中，高斯分佈具有大於或等於 3σ 之變化，例如以允許將第一參數之變化1801修改為 7σ 位準。在一實施例中，高斯分佈之插入可涉及高斯分佈與第一參數與第二參數之間的關係的相加或迴旋。

【0303】 圖25A及圖25B說明將高斯劑量分佈2501應用於圖案化製程之諸如劑量及CD的兩個參數之間的關係2503以判定CD之 PDF_{CD} 的實例。 PDF_{CD} 可進一步用以判定失效機率或缺陷機率。基於缺陷機率，判定處理窗(例如，劑量及焦點之值)。藉此，產生基於缺陷之製程窗使得達成高或所要良率。本發明不限於劑量及CD，類似方法可應用於諸如劑量、焦點、CD、EPE等之製程參數的其他組合。

【0304】 在圖25A中，關係2503可係多於一個參數之間的基於模擬或量測資料的任何函數關係。在一實施例中，關係2503係劑量與CD之間的非線性關係。可基於經組態以表示圖案化製程之製程模型的模擬或基於自例如度量衡工具獲得之與劑量及CD相關的量測資料而獲得非線性關

係。

【0305】根據本發明之方法，高斯劑量分佈2501 (亦被稱作 PDF_{dose})可與關係2503進行迴旋以判定CD之機率分佈(PDF_{CD})。圖25A清楚地展示此 PDF_{CD} 不同於參考PDF (例如，圍繞平均CD值之CD的正常PDF)。

【0306】在一實施例中，基於一組等式而判定 PDF_{CD} 。首先， PDF_{dose} 及劑量之差分量(亦即， $\Delta dose$)與 PDF_{CD} (待判定)及CD之差分量(亦即， ΔCD)相等，此可由 $PDF_{dose} \cdot \Delta dose = PDF_{CD} \cdot \Delta CD$ 表示。接著，可藉由獲取用於特定CD值之 PDF_{dose} 與劑量敏感度(亦即， $\Delta dose/\Delta CD$)的乘積來判定特定CD值下之 PDF_{CD} ，此由 $PDF_{CD} = PDF_{dose@CD} \cdot \Delta dose/\Delta CD$ 表示。劑量敏感度量化針對CD改變之劑量改變的效應。

【0307】在一實施例中，如早先所論述，LCDU模型允許使用以下等式 $\sigma_{dose}(E,F) = \sigma_{LCDU} \times (dCD / ddose)^{-1}(E,F)$ 來估計焦點(F)-曝光(E)矩陣上之劑量變化(σ_{dose})或劑量分佈，其中可自LCDU資料或模型判定CD之部位變化，且可藉由相對於劑量對LCDU模型求微分來判定項($dCD/ddose$)。在一實施例中，為了進一步改良失效率預測之準確度，可自經由額外量測校正所量測LCDU及減去與度量衡雜訊相關聯之變化(亦即，度量衡資料中之雜訊)及與光罩相關聯之變化而獲得由於局部劑量之LCDU，如下：

$$\sigma_{CD}^2(d) = \sigma_{CD,meas}^2(d) - \sigma_{metro-noise}^2(d) - MEEF(d) \times \sigma_{mask}^2$$

【0308】接著，可藉由將諸如劑量、度量衡雜訊、光罩及背景BG (其可係常態分佈)之相關貢獻的PDF進行迴旋來獲得相關 PDF_{CD} ，如下：

$$PDF_{CD}(CD, d) = PDF_{dose} \otimes PDF_{metro-noise} \otimes PDF_{mask} \otimes PDF_{BG}$$

【0309】圖26說明基於應用以判定PDF之不同方法(如上文所論述)的CD之PDF，其彼此不同。舉例而言：i)PDF1係不考慮劑量分佈(例如，高斯劑量分佈)或簡單地基於平均CD值之CD的未校正PDF；(ii)PDF2係可應用於PDF1之不同校正(例如，與度量衡雜訊、光罩、背景等相關聯)的PDF；(iii)PDF3係基於劑量-CD關係(例如，如關於圖25A及圖25B所論述)之經迴旋PDF，及(iv)PDF4係考量來自不同源(例如，度量衡雜訊、光罩、BG等)之變化的經校正PDF。CD之不同PDF清楚地展示CD分佈取決於改變缺陷機率從而有效地影響圖案化製程之製程窗判定的劑量分佈或所應用校正而改變。圖27中說明基於缺陷之實例製程窗，且圖28A至圖28D中說明用以判定基於缺陷之製程窗的實例失效率。

【0310】在另一實例中，圖23A至圖23C說明在第一參數(例如，劑量)與第二參數(例如，CD或工作循環，亦即，CD/間距)之間的關係中插入高斯分佈之效應。圖23A係表示空中影像之局部變化(例如，在諸如熱點之特定部位處)的實例高斯分佈。

【0311】圖23B說明第一參數Pa1 (例如，劑量)與第二參數Pa2 (例如，CD或工作循環，亦即，CD/間距)之間的實例關係1902。出於查看目的，關係1902表示為曲線1902。曲線1902包括大致線性部分及非線性部分。線性部分或線性關係存在於第一臨限值(例如，3)與第二臨限值(例如，9)之間，且非線性關係存在於第一及第二臨限值之外。對於大多數狀況，第一參數(例如，劑量)之值係大約正常操作範圍(例如，大約5)，其中觀測到第一參數與第二參數之間的線性關係。然而，當第一參數(例如，劑量)之值降至臨限值之外時，例如低於第一臨限值(例如，3)時，第一參

數(例如，劑量)與第二參數(例如，CD)之間的非線性關係指示針對第一參數(例如，劑量)之值之小改變的第二參數(例如，CD)之值的迅速改變。第一參數(例如，劑量)之值之此小改變可將特徵之失效率增加為比線性關係內之失效率高若干數量級。

【0312】對於EUV曝光，前述問題被放大，此係因為典型的劑量變化可比ArFi之情況大多於3倍。舉例而言，對於線/空間及接觸孔特徵類型，ArFi具有分別為大約12%及大約8%之 6σ 劑量變化。此典型變化證明基於自模擬劑量敏感度及目標劑量所估計之 $CD\pm 10\%$ 而最佳化經典的微影製程窗。另一方面，在EUV之狀況下，對於相同特徵類型，亦即，線/空間及接觸孔， 6σ 變化高得多，例如分別為大約44%及大約22%。此劑量變化導致CD與劑量之間的高度非線性行為，其有效地影響失效機率判定及製程窗判定。在EUV之狀況下，不同EUV特定參數之間的關係(例如，類似於劑量-CD)可用以估計例如自倍縮光罩對倍縮光罩上之特徵之局部CD分佈的貢獻。舉例而言，光罩誤差增強因數(MEEF)可用以產生倍縮光罩與CD之間的關係。因此，來自圖案化製程之不同參數之變化性貢獻可用於失效/缺陷機率判定中，藉此準確地判定基於缺陷之製程窗。

【0313】圖23C說明由在第一參數與第二參數之間的關係1902中插入高斯分佈1905引起的實例失效率分佈1910 (亦被稱作曲線1910)。在圖23C中，曲線1910之左側具有厚尾部，其指示在第一參數之值低(例如，低於第一臨限值)的情況下可觀測到相對較高之失效率。根據本發明之方法，失效率分佈1910使得能夠針對第一參數(例如，劑量)之值的小改變而判定特定特徵之失效機率。失效機率可進一步用以判定第一參數(例如，劑量)之最佳值且一般基於失效機率或缺陷而界定製程窗。

【0314】 返回參看圖22，該方法在程序P1803中涉及經由製程模型(例如，SMO)之模擬基於評價函數而識別製程窗，使得最佳化評價函數。在一實施例中，評價函數定義為缺陷量度，例如依據缺陷數目、一或多種類型之缺陷的失效率或其他適當的缺陷相關量度。在一實施例中，經受圖案化製程之基板上之缺陷出現係在第一參數與第二參數之間的關係中插入高斯分佈的結果，其產生第二參數之失效率分佈(例如，圖23C之1910)，如早先所論述。在一實施例中，識別製程窗可涉及偏置第二參數或與第二參數相關之因數。在一實施例中，可以不同方式達成偏置，例如藉由調整第一參數之值或圖案化裝置之特性。

【0315】 在一實施例中，識別製程窗可涉及第二參數之偏置(例如，正CD偏置)、影響第二參數之圖案化裝置(例如，光罩)之偏置、影響第二參數之源之偏置等。在一實施例中，將正偏置及/或負偏置應用於相對於基板上之其他部位具有相對較高失效率之區中之特徵。然而，基板或圖案化裝置之此偏置涉及圖案化製程之例如疊對的其他參數之間的取捨。舉例而言，光罩之負偏置可導致疊對增加，此係不合需要的。因此，儘管可能需要圖案之CD增加以縮減缺陷之數目，但可能存在可受對第二參數之此類調整影響同時縮減缺陷的額外製程條件或製程參數。因而，最佳化製程窗可係與其他限制製程條件相關聯之不同製程窗的相交區。

【0316】 圖27說明基於根據本發明之方法運算之缺陷或失效機率而判定的實例製程窗2701。在一實施例中，可基於可自例如所量測晶圓資料獲得之失效率而計算上限。此量測資料涉及特徵未能如所預期印刷的不同劑量/焦點值。舉例而言，找到出現吻合孔(kissing holes)或封閉孔之劑量/焦點值。

【0317】可藉由在可自CD、劑量及焦點之間的關係導出的累積PDF_{CD}上設定失效率之臨限值 10^{-8} 來判定製程窗2701，如上文所論述。相較於經典地界定之製程窗，製程窗2701之中心移位+20%劑量及-20 nm焦點，且製程窗大小經調整。

【0318】圖28A至圖28D說明在用以運算圖27之製程窗的不同劑量/焦點值下的實例失效分佈。在圖28A至圖28D中，平均CD係大約30 nm且CD之上限選擇為大約32 nm。另外，標繪不同失效率PDF，例如，在圖28A中，自資料獲得PDF 2801，自非線性擬合獲得PDF 2802 (例如，使用LCDU模型及劑量分佈，如上文所論述)，且PDF 2803係標準常態CD分佈。

【0319】圖28A至圖28D說明針對不同劑量/焦點(D/F)之不同機率分佈。因此，對於不同劑量/焦點值，可運算失效機率。接著，選擇失效機率低於失效率臨限值(例如， 10^{-8})之劑量/聚焦值。在一實施例中，可藉由設定CD濾光器(例如，不包括小於8 nm及大於40 nm之CD)及使用失效機率之非線性累積分佈函數CDF (E,F)判定CD值來估計失效率，其中CDF (E,F)係指CD之累積PDF，其考量例如劑量、焦點、光罩等之變化，如早先所論述。

【0320】在一實施例中，該方法在程序P1803中涉及最佳化程序，其係基於評價函數最佳化製程窗之反覆程序。最佳化程序涉及反覆地修改圖案化製程之參數使得最佳化(在一實施例中，最小化)評價函數。評價函數之此最佳化係指平衡由於第一參數之值低於第一臨限值及/或第一參數之值高於第二臨限值的缺陷出現。在一實施例中，該第一臨限值低於該第二臨限值。在一實施例中，評價函數之最佳化包括最小化一或多個缺陷或

與一或多個缺陷相關聯之失效率。在本發明中早先已論述由針對 $CF(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之等式表示的實例評價函數。

【0321】 在一實施例中，缺陷可表達為錯誤率或失效率，其可進一步用以定義評價函數。在最佳化程序期間，最佳化(在一實施例中，最小化)評價函數。最佳化程序可涉及調整圖案化製程之臨界尺寸以便以使得最小化缺陷(或失效率)之方式偏置臨界尺寸。舉例而言，該調整可涉及增加或減小待印刷於基板上之特徵之大小。舉例而言，可藉由增加或減小劑量或偏置光罩來達成此調整。如本文中所使用之術語「偏置(bias/biasing)」係指增加或減小圖案化製程之參數的值。

【0322】 在一實施例中，晶圓之正偏置係指增加基板之特徵的臨界尺寸之大小。光罩之負偏置係指減小光罩之特徵的臨界尺寸之大小。在一實施例中，可藉由增加劑量值來達成臨界尺寸之正偏置。可基於劑量與CD之間的關係而判定劑量值之增加量。類似地，亦可藉由調整在光罩圖案上之特徵之大小來達成正偏置。在一實施例中，對光罩圖案之調整的量可取決於光罩之特定部位內的特徵之密度或待印刷於基板上之特徵之密度。另一方面，對於相較於基板上之其他部位，CD值相對較大或較不密集之基板上之部位，該方法可能不應用任何偏置以避免彼等特定部位中之不必要取捨(例如，在疊對或EPE方面)。

【0323】 在一實施例中，圖22之方法可經組態以基於一或多個特定缺陷之最佳化(在一實施例中，最小化)而判定製程窗。舉例而言，最小化孔封閉類型之缺陷或關於圖11D及圖11E所論述之其他缺陷。在一實施例中，某些缺陷在諸如抗蝕劑或蝕刻製程之圖案化後製程中可固定。在評價函數之最佳化期間，可向此類缺陷指派較低權重，例如，如關於圖17所論

述。

【0324】 在一實施例中，評價函數可進一步包含與其他製程條件中之一或多者相關(諸如，與焦點、疊對及/或msdz相關)的約束(以量度形式來表達)。因此，最佳化程序可涉及同時最佳化基於缺陷之量度、基於焦點之量度、基於疊對之量度及/或基於msdz之量度中的一或多者。在一實施例中，msdz係指移動標準偏差，亦即，在曝光期間由基板位置控制迴路產生之高度誤差。

【0325】 在一實施例中，可針對各種設定(例如，msd、像差或抗蝕劑製程自身，例如抗蝕劑高度)來設計基於缺陷之製程窗的目標實驗可用以最佳化窗，例如，由(基於缺陷之)最佳能量(BE)、最佳焦點(BF)、曝光寬容度(EL)及聚焦深度(DoF)所描述之評價函數。像差及焦點通常影響抗蝕劑剖面且因此預期對失效及基於相關缺陷之製程窗具有影響。若存在多個特徵，例如在線及尖端-尖端建構之同時最佳化中，此以實驗方式獲得之基於缺陷之製程窗亦可用以找到非顯而易見的最佳化(例如，Z9像差或額外MSD可導致實現用於尖端之更多製程窗之較佳剖面)。

【0326】 在一實施例中，識別製程窗涉及關於第一圖案之第一製程窗與關於第二圖案之第二製程窗的重疊。第一圖案及第二圖案分別可指相較於基板上之其他部位具有相對較大特徵密度的基板上之第一部位及第二部位中的圖案。在一實施例中，第一部位及第二部位可係不同的熱點部位，亦即，製程窗限制圖案之部位。

【0327】 取決於此等熱點圖案出現於典型晶粒中之頻繁程度，可平衡或共同評估對個別圖案之不同失效率要求。舉例而言，吾人考慮包括具有個別基於缺陷之製程窗之兩個特徵的晶粒。接著，依據兩個函數之個別

特徵的成功率(亦即，1-失效率)可由諸如 CDF_1 (Dose, Focus)及 CDF_2 (Dose, Focus)之累積分佈函數表示。吾人假定第一特徵在晶粒中出現 10^3 次，而第2特徵在晶粒中出現 10^8 次。為計算在特定製程設定下之晶粒的預期失效率，可藉由 CDF_{die} (Dose, Focus) = CDF_1 (Dose,Focus)¹⁰⁰⁰ × CDF_2 (Dose,Focus)¹⁰⁰⁰⁰⁰⁰⁰⁰來判定組合成功率。可對與所需一樣多的特徵及缺陷模式進行組合成功率之此判定。

【0328】 在一實施例中，用於以上方法中之製程模型可係SMO製程之模型，且上文所論述之方法可與SMO製程整合以判定基於缺陷之製程窗、最佳化(例如，最小化)缺陷之源特性、最佳化(例如，最小化)缺陷之光罩特性。換言之，可修改或精化SMO製程以進一步考慮缺陷，從而有效地改良圖案化製程之良率。

【0329】 在一實施例中，使用SMO模型(或製程)判定基於缺陷之製程窗涉及基於缺陷量度來調整源及/或光罩之一或多個特性，使得縮減缺陷量度。該調整包括偏置光罩以在使用光罩印刷之基板上產生正偏置。將偏置應用於圖案限制製程窗內之圖案化。

【0330】 在一實施例中，當在CD劑量關係中插入高斯劑量變化時，SMO製程將導致CD分佈之低CD側上的「厚尾部」。可藉由允許晶圓上之正偏置來抑制此厚尾部，使得以例如較高橋接缺陷發生率為代價來避免小CD值。替代地，可應用光罩上之負偏置使得進一步遠離孔塌陷對CD劑量關係之較高劑量部分進行取樣。若運用考量由於高斯局部劑量變化之效應之缺陷出現的評價函數來進行SMO程序，則可找到平衡缺陷發生率(一方面由於低劑量，另一方面由於高劑量)的最佳值。

【0331】 因而，在一實施例中，SMO程序直接最佳化圖案化製程之

良率。該程序涉及在劑量、焦點、msdz及/或表示圖案效能之製程條件(掃描器、製程、蝕刻)下的隨機CD分佈。此允許最佳化不對稱缺陷PW，其中關於低CD偏移及高CD偏移之要求極為不同。實例係縮減孔封閉發生率。

【0332】 在一實施例中，在基於SMO製程執行製程窗之最佳化之後，該方法可進一步包含對光罩執行光學近接校正(OPC)以縮減缺陷量度。舉例而言，OPC可涉及增加特徵之臨界尺寸，使得該特徵相對接近或觸碰相鄰特徵，如下文進一步關於圖24所論述。

【0333】 圖24說明在OPC製程期間之光罩偏置的實例。目標圖案可包括諸如第一長條2001之特徵，該第一長條與第二長條2002間隔開距離G1。此外，第一長條2001可包括沿第一長條2001之長度的第一孔2003及第二孔2005。在一實施例中，可相對於距離G1調整第二孔2005之臨界尺寸。該調整可使得第一長條與第二長條2002相交。通常，該等特徵之此相交可能不合需要。因而，在典型OPC製程期間，可縮減第二孔2005之臨界尺寸以防止第二孔2005與第二長條2002相交。然而，根據本發明之實施例，若第二孔2005之臨界尺寸的隨機變化係高的，則其可導致失效機率增加。因此，根據本發明，可能需要增大第二孔2005以變得極接近(或幾乎相交於)第二長條2002，從而防止待印刷於基板上之圖案中的潛在失效或缺陷。

【0334】 在一實施例中，亦在OPC期間，可分析不同缺陷。舉例而言，缺陷可係孔封閉、頸縮及/或橋接，如早先在圖11D及圖11E中所說明。在一實施例中，基於缺陷之製程窗判定可基於最少化一或多個缺陷。舉例而言，在最佳化程序期間，可修改特徵之CD值以增加或減小大小，

使得最少化孔封閉類型之缺陷。

【0335】如早先所提及，最佳化程序可涉及其他製程限制參數(例如，劑量、焦點、疊對等)。因此，在一實施例中，在最佳化期間，可不僅使用高斯劑量分佈而且使用基板上之部位處的典型條件來計算CD分佈。此類製程條件包括但不限於焦點、疊對、msdz以及製程(實際上，劑量)。在一實施例中，可強加劑量對大小約束以權衡圖案化製程之生產力。原則上，可計算一組熱場/晶圓點處之一組熱設計點的重疊缺陷PW。在一實施例中，在第二反覆中，自度量衡工具獲得之晶圓資料(例如，CD、劑量、焦點、疊對等)可用以驗證及改良評價函數及/或最佳化程序。

【0336】可使用以下條項進一步描述實施例：

1. 一種用於判定一基板上之一特徵之參數極限的方法，該方法包含：

獲得(i)該特徵之一參數之量測結果、(ii)與用以產生該特徵之一圖案化製程之一製程變數相關的資料、(iii)基於該參數之該等量測結果及與該製程變數相關之該資料而定義為該製程變數之一函數的該參數之一函數行為、(iv)該特徵之一失效率之量測結果，及(v)針對該製程變數之一設定的該製程變數之一機率密度函數；

藉由一硬體電腦系統基於一轉換函數將針對該設定的該製程變數之該機率密度函數轉換成針對該設定的該參數之一機率密度函數，其中該轉換函數係基於該製程變數之該函數而判定；及

藉由該硬體電腦系統基於針對該設定的該參數之該機率密度函數及該特徵之該失效率的該等量測結果而判定該參數之一參數極限。

2. 如條項1之方法，其中針對該設定的該製程變數之該機率密度函數係基於該製程變數之一方差及針對該製程變數之該設定而判定的該製程變數之該函數關於該製程變數的一局部導數而判定，該方差係自針對該製程變數之該設定的該參數之一所量測方差運算。

3. 如條項1至2中任一項之方法，其中該轉換函數係一轉換因數，其中該轉換因數係針對該製程變數之該設定而判定的該製程變數之該函數之一逆的一局部導數之一絕對值。

4. 如條項1至3中任一項之方法，其進一步包含：

藉由該硬體電腦系統基於該參數極限及該參數之該機率密度函數而判定該特徵之一所估計失效率；及

藉由該硬體電腦系統識別與該製程變數相關之一製程窗，使得該特徵之該所估計失效率小於一預定臨限值。

5. 如條項4之方法，其中該預定臨限值係基於該圖案化製程之一選定良率。

6. 如條項1至5中任一項之方法，其中該失效率與該特徵之一或多個失效相關，一或多個失效模式包含該特徵之一實體失效、一轉印失效及/或推遲失效。

7. 如條項6之方法，其中該特徵之該推遲失效係由於一當前處理步驟中之缺陷而在該圖案化製程之下一步驟中出現的一失效。

8. 如條項7之方法，其中該特徵之該一或多個失效係基於一特定失效之一頻率而加權以產生該特徵之一經加權失效率。

9. 如條項1至8中任一項之方法，其進一步包含：

基於該一或多個失效與該製程變數之間的一相關性而獲得該製程變

數之一加權函數；

藉由該硬體電腦系統基於該製程變數之該加權函數而判定該參數之一加權參數極限；及

藉由該硬體電腦系統基於該加權參數極限而判定該製程窗。

10. 如條項8至9中任一項之方法，其進一步包含：

藉由該硬體電腦系統基於與一抗蝕劑製程相關聯之該等推遲失效藉由模擬而使用該抗蝕劑製程之一抗蝕劑模型來最佳化一抗蝕劑厚度及/或抗蝕劑類型。

11. 如條項10之方法，其中與該抗蝕劑製程相關聯之該失效包括一基腳失效及/或一頸縮失效。

12. 如條項1至11中任一項之方法，其進一步包含：

獲得用於複數個特徵類型中之每一特徵類型的該參數極限，及基於對應參數極限的該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率；及

藉由該硬體電腦系統基於該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率之一乘積而判定一重疊製程窗。

13. 如條項12之方法，其進一步包含：

藉由模型化及/或模擬基於該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率之一最大值而反覆地判定一光學近接校正。

14. 如條項13之方法，其中該所估計失效率之該最大值對應於具有最低良率之一特徵類型。

15. 如條項1至14中任一項之方法，其進一步包含：

藉由該硬體電腦系統自該參數之該所量測方差判定該參數之一精化

方差，其中該精化方差考量由於與該製程變數無關之因素的方差。

16. 如條項15之方法，其中該精化方差係藉由自該所量測方差移除由於與該製程變數無關之該等因素的該方差來運算。

17. 如條項16之方法，其中與該製程變數無關之該等因素包括來自度量衡雜訊、光罩及背景之貢獻。

18. 如條項16之方法，其中該背景之貢獻係在該製程變數之一特定設定下判定的該圖案化製程之一隨機分量，其中該所量測方差對該製程變數具有最小敏感度。

19. 如條項15之方法，其中該製程窗之判定係基於該精化方差。

20. 如條項1至19中任一項之方法，其進一步包含：

獲得該圖案化製程之一圖案轉印後步驟的一轉移函數，及基於該轉移函數之另一製程變數PDF；及

藉由該硬體電腦系統基於該另一製程變數PDF而判定該製程窗。

21. 如條項1至20中任一項之方法，其中該圖案化製程之該參數係一臨界尺寸且該製程變數係一劑量。

22. 如條項1至21中任一項之方法，其中該製程變數之該設定係在一劑量值範圍內的一劑量值。

23. 如條項4至22中任一項之方法，其中該圖案化製程經組態以基於該製程窗而調整該圖案化製程之一或多個設備。

24. 如條項25之方法，其中該一或多個設備包括經組態以基於該製程窗而在一基板執行圖案化的一微影設備。

25. 如條項1至24中任一項之方法，其中該參數極限係一共同參數極限，該共同參數極限係基於該參數之複數個機率密度函數而判定，該參

數之每一機率密度函數係在該製程變數之一特定設定下判定。

26. 一種用於判定一圖案化製程之一製程窗的方法，該方法包含：

獲得(i)基於該圖案化製程之失效率量測結果的該圖案化製程之一參數的一參數極限，及(ii)定義為該圖案化製程之一製程變數及該製程變數之一方差的一函數的該參數之一機率密度函數；

藉由一硬體電腦系統基於該參數極限及該參數之該機率密度函數而判定該圖案化製程之一所估計失效率；及

藉由該硬體電腦系統依據該製程變數而識別該製程窗，使得該參數之該所估計失效率小於一選定臨限值。

27. 如條項26之方法，其中該製程窗之該識別涉及判定該所估計失效率與該選定臨限值之一相交區之間的該製程變數之一範圍。

28. 如條項27中任一項之方法，其中該相交區係藉由在一曲線圖上標繪該所估計失效率、該製程變數及該選定臨限值來以圖形方式判定。

29. 如條項28之方法，其中該選定臨限值係基於該圖案化製程之一選定良率。

30. 如條項29之方法，其中該圖案化製程經組態以基於該製程窗而調整該圖案化製程之一或多個設備。

31. 如條項30之方法，其中該一或多個設備包括經組態以基於該製程窗而在一基板上執行圖案化的一微影設備。

32. 如條項26至31中任一項之方法，其中該圖案化製程之該參數係一臨界尺寸且該製程變數係一劑量。

33. 如條項26至32中任一項之方法，其中該製程變數之設定係在一劑量值範圍內的一劑量值。

34. 一種用於判定一圖案化製程之一製程窗的方法，該方法包含：

獲得(i)該圖案化製程之一第一參數的一變化、(ii)基於該第一參數與一第二參數之間的一關係的該第二參數之一變化，及(iii)該圖案化製程之一製程模型；

藉由一硬體電腦系統在該第一參數與該第二參數之間的該關係中插入一高斯分佈以用於修改該第一參數之該變化，從而產生該第二參數之一失效率分佈；及

經由該製程模型之模擬來識別該製程窗使得最佳化該製程模型之一評價函數，其中該評價函數包含基於該第二參數之失效率分佈的一缺陷量度。

35. 如條項34之方法，其中該識別該製程窗係一反覆程序，一反覆包含：

偏置該第二參數；及

基於由於該偏置之該失效率分佈而判定一失效機率。

36. 如條項34至35中任一項之方法，其中該偏置係藉由調整該第一參數之值或一圖案化裝置之一特性來達成。

37. 如條項34至36中任一項之方法，其中該第一參數係一劑量且該第二參數係一臨界尺寸。

38. 如條項37之方法，其中該臨界尺寸之該偏置包含調整該劑量及/或該圖案化裝置之一特徵的一尺寸。

39. 如條項36至38中任一項之方法，該偏置包括增加或減小待印刷於基板上之該臨界尺寸。

40. 如條項39之方法，其中該臨界尺寸之該調整係藉由增加或減小

該圖案化製程之該劑量來達成。

41. 如條項34至40中任一項之方法，其中該識別該製程窗進一步包含：

基於相關於一第一圖案之一第一製程窗與相關於一第二圖案之一第二製程窗的一重疊而判定一重疊製程窗。

42. 如條項41之方法，其中該第一圖案及該第二圖案係製程窗限制圖案。

43. 如條項34至42中任一項之方法，其中該評價函數之最佳化包含最小化與一或多個缺陷相關聯之一失效率。

44. 如條項43之方法，其中該一或多個缺陷包含一孔封閉。

45. 如條項34至44之方法，其中該評價函數之最佳化涉及建立由於該第一參數之值低於一第一臨限值的一第一缺陷出現及/或由於該第一參數之該等值高於一第二臨限值的一第二缺陷出現之間的一平衡。

46. 如條項45之方法，其中該第一臨限值低於該第二臨限值。

47. 如條項34至46中任一項之方法，其中該評價函數進一步包含與一焦點、疊對、msdz及劑量中之一或多者相關的約束。

48. 如條項34至47中任一項之方法，其中第一參數變化係基於該圖案化製程之一局部參數均一性模型的模擬而估計。

49. 如條項48之方法，其中該局部參數均一性模型係一局部臨界尺寸均一性模型。

50. 如條項34至49中任一項之方法，其中該製程模型係一源最佳化、光罩最佳化及/或一源-光罩最佳化模型。

51. 如條項34至50中任一項之方法，其中該高斯分佈具有大於或等

於 3σ 之一變化。

52. 如條項43至51中任一項之方法，其中該一或多個缺陷包括一孔封閉、頸縮及橋接中之至少一者。

53. 如條項34至52中任一項之方法，其中該失效率分佈係用以針對該第二參數之一改變來運算缺陷出現之一機率之一機率密度函數。

54. 如條項34至53中任一項之方法，其中該缺陷量度係缺陷之一總數、與該一或多個缺陷相關聯之一失效率。

55. 一種用於基於一基於缺陷之製程窗來執行源-光罩最佳化的方法，該方法包含：

自一源-光罩最佳化模型獲得一第一結果及獲得該第一結果內之製程窗限制圖案；及

經由一硬體電腦系統基於一缺陷量度而調整一源及/或一光罩之特性，使得縮減該缺陷量度。

56. 如條項55之方法，其中該調整包括偏置該光罩以在使用該光罩印刷之一基板上產生一正偏置。

57. 如條項56之方法，其中該偏置應用於一圖案限制製程窗內之圖案化。

58. 如條項55至57中任一項之方法，其進一步包含對該光罩執行一光學近接校正以縮減該缺陷量度。

59. 如條項58之方法，其進一步包含增加一特徵之臨界尺寸，使得該特徵相對接近或觸碰一相鄰特徵。

【0337】 圖29係說明可輔助實施本文中所揭示之方法及流程的電腦系統100之方塊圖。電腦系統100包括用於傳達資訊之匯流排102或其他通

信機構，及與匯流排102耦接以用於處理資訊之處理器104（或多個處理器104及105）。電腦系統100亦包括耦接至匯流排102以用於儲存待由處理器104執行之資訊及指令的主記憶體106，諸如隨機存取記憶體(RAM)或其他動態儲存裝置。主記憶體106亦可用於在待由處理器104執行之指令之執行期間儲存暫時性變數或其他中間資訊。電腦系統100進一步包括耦接至匯流排102以用於儲存用於處理器104之靜態資訊及指令的唯讀記憶體(ROM) 108或其他靜態儲存裝置。提供諸如磁碟或光碟之儲存裝置110，且將其耦接至匯流排102以用於儲存資訊及指令。

【0338】 電腦系統100可經由匯流排102耦接至用於向電腦使用者顯示資訊之顯示器112，諸如陰極射線管(CRT)或平板顯示器或觸控面板顯示器。包括文數字按鍵及其他按鍵之輸入裝置114耦接至匯流排102以用於將資訊及命令選擇傳達至處理器104。另一類型之使用者輸入裝置係用於將方向資訊及命令選擇傳達至處理器104且用於控制顯示器112上之游標移動的游標控制件116，諸如滑鼠、軌跡球或游標方向按鍵。此輸入裝置通常具有在兩個軸線(第一軸線(例如，x)及第二軸線(例如，y))上之兩個自由度，其允許裝置指定平面中之位置。觸控面板(螢幕)顯示器亦可用作輸入裝置。

【0339】 根據一個實施例，可由電腦系統100回應於處理器104執行主記憶體106中含有之一或多個指令之一或多個序列而執行程序之部分。可將此等指令自諸如儲存裝置110之另一電腦可讀媒體讀取至主記憶體106中。主記憶體106中含有之指令序列的執行使處理器104執行本文中所描述之程序步驟。呈多處理配置之一或多個處理器亦可用以執行主記憶體106中含有之指令序列。在一替代實施例中，可代替或結合軟體指令而使

用硬連線電路系統。因此，本文中之描述不限於硬體電路系統與軟體之任何特定組合。

【0340】 如本文中所使用之術語「電腦可讀媒體」係指參與將指令提供至處理器104以供執行之任何媒體。此媒體可採取許多形式，包括但不限於非揮發性媒體、揮發性媒體及傳輸媒體。非揮發性媒體包括例如光碟或磁碟，諸如儲存裝置110。揮發性媒體包括動態記憶體，諸如主記憶體106。傳輸媒體包括同軸纜線、銅線及光纖，包括包含匯流排102之電線。傳輸媒體亦可採取聲波或光波之形式，諸如在射頻(RF)及紅外線(IR)資料通信期間產生之聲波或光波。電腦可讀媒體之常見形式包括例如軟碟、軟性磁碟、硬碟、磁帶、任何其他磁性媒體、CD-ROM、DVD、任何其他光學媒體、打孔卡、紙帶、具有孔圖案之任何其他實體媒體、RAM、PROM及EPROM、FLASH-EPROM、任何其他記憶體晶片或卡匣、如下文所描述之載波，或可供電腦讀取之任何其他媒體。

【0341】 可在將一或多個指令之一或多個序列攜載至處理器104以供執行時涉及各種形式之電腦可讀媒體。舉例而言，最初可將該等指令承載於遠端電腦之磁碟上。遠端電腦可將指令載入至其動態記憶體中，且使用數據機經由電話線發送指令。在電腦系統100本端之數據機可接收電話線上之資料，且使用紅外線傳輸器將資料轉換成紅外線信號。耦接至匯流排102之紅外線偵測器可接收紅外線信號中所攜載之資料且將資料置放於匯流排102上。匯流排102將資料攜載至主記憶體106，處理器104自該主記憶體擷取及執行指令。由主記憶體106接收之指令可視情況在由處理器104執行之前或之後儲存於儲存裝置110上。

【0342】 電腦系統100亦理想地包括耦接至匯流排102之通信介面

118。通信介面118提供與連接至區域網路122之網路鏈路120的雙向資料通信耦接。舉例而言，通信介面118可係整合式服務數位網路(ISDN)卡或數據機，以提供至對應類型之電話線的資料通信連接。作為另一實例，通信介面118可係區域網路(LAN)卡以提供至相容LAN之資料通信連接。亦可實施無線鏈路。在任何此實施中，通信介面118發送及接收電信號、電磁信號或光學信號，該等信號攜載表示各種類型之資訊之數位資料串流。

【0343】 網路鏈路120通常經由一或多個網路而將資料通信提供至其他資料裝置。舉例而言，網路鏈路120可經由區域網路122向主機電腦124或向由網際網路服務提供者(ISP) 126操作之資料裝備提供連接。ISP 126又經由全球封包資料通信網路(現通常被稱作「網際網路」 128)而提供資料通信服務。區域網路122及網際網路128兩者皆使用攜載數位資料串流之電信號、電磁信號或光學信號。經由各種網路之信號及在網路鏈路120上且經由通信介面118之信號(該等信號將數位資料攜載至電腦系統100及自電腦系統攜載數位資料)係輸送資訊的載波之實例形式。

【0344】 電腦系統100可經由網路、網路鏈路120及通信介面118發送訊息及接收包括程式碼之資料。在網際網路實例中，伺服器130可經由網際網路128、ISP 126、區域網路122及通信介面118而傳輸用於應用程式之所請求程式碼。舉例而言，一個此類下載應用程式可提供實施例之照明最佳化。接收之程式碼可在接收時由處理器104執行，及/或儲存於儲存裝置110或其他非揮發性儲存器中以供稍後執行。以此方式，電腦系統100可獲得呈載波形式之應用程式碼。

【0345】 圖30示意性地描繪包括以下各者之另一例示性微影投影設備LA：

- 源收集器模組SO，其用以提供輻射。
- 照明系統(照明器) IL，其經組態以調節來自源收集器模組SO之輻射光束B (例如，EUV輻射)。
- 支撐結構(例如，光罩台) MT，其經建構以支撐圖案化裝置(例如，光罩或倍縮光罩) MA且連接至經組態以準確地定位圖案化裝置之第一定位器PM；
- 基板台(例如，晶圓台) WT，其經建構以固持基板(例如，抗蝕劑塗佈晶圓) W且連接至經組態以準確地定位該基板之第二定位器PW；及
- 投影系統(例如，反射投影系統) PS，其經組態以將由圖案化裝置MA賦予至輻射光束B之圖案投影至基板W之目標部分C (例如，包含一或多個晶粒)上。

【0346】如此處所描繪，設備LA屬於反射類型(例如，使用反射光罩)。應注意，因為大多數材料在EUV波長範圍內具吸收性，所以圖案化裝置可具有包含例如鉬與矽之多層堆疊的多層反射體。在一個實例中，多層堆疊反射體具有鉬與矽之40個層對，其中每一層之厚度為四分之一波長。可運用X射線微影來產生更小波長。由於大多數材料在EUV及x射線波長下具吸收性，因此圖案化裝置構形上之經圖案化吸收材料的薄片(例如，多層反射體之頂部上的TaN吸收體)界定何處將印刷特徵(正性抗蝕劑)或何處將不印刷特徵(負性抗蝕劑)。

【0347】參看圖26，照明器IL自源收集器模組SO接收極紫外線輻射光束。用以產生EUV輻射之方法包括但未必限於運用EUV範圍中之一或多個發射譜線將材料轉換成具有例如氬、鋰或錫之至少一種元素的電漿狀態。在常常被稱為雷射產生電漿(「LPP」)之一種此方法中，可藉由運用

雷射光束來輻照燃料(諸如，具有譜線發射元素之材料小滴、串流或叢集)而產生電漿。源收集器模組SO可係包括雷射(圖26中未展示)之EUV輻射系統之部分，該雷射用於提供激發燃料之雷射光束。所得電漿發射輸出輻射，例如EUV輻射，該輻射係使用安置於源收集器模組中之輻射收集器來收集。舉例而言，當使用CO₂雷射以提供用於燃料激發之雷射光束時，雷射及源收集器模組可係單獨實體。

【0348】 在此等狀況下，不將雷射視為形成微影設備之部分，且藉助於包含例如合適導向鏡面及/或擴束器之光束遞送系統將輻射光束自雷射傳遞至源收集器模組。在其他狀況下，例如當輻射源係常常被稱為DPP輻射源之放電產生電漿EUV產生器時，輻射源可係源收集器模組之整體部分。

【0349】 照明器IL可包含用於調整輻射光束之角強度分佈的調整器。通常，可調整照明器之光瞳平面中的強度分佈之至少外部徑向範圍及/或內部徑向範圍(通常分別被稱作 σ 外部及 σ 內部)。此外，照明器IL可包含各種其他組件，諸如琢面化場鏡面裝置及琢面化光瞳鏡面裝置。照明器可用以調節輻射光束，以在其橫截面中具有所要的均一性及強度分佈。

【0350】 輻射光束B入射於固持於支撐結構(例如，光罩台) MT上之圖案化裝置(例如，光罩) MA上，且藉由圖案化裝置圖案化。在自圖案化裝置(例如，光罩) MA反射之後，輻射光束B傳遞通過投影系統PS，該投影系統將該光束聚焦至基板W之目標部分C上。藉助於第二定位器PW及位置感測器PS2 (例如，干涉量測裝置、線性編碼器或電容式感測器)，可準確地移動基板台WT，例如以便在輻射光束B之路徑中定位不同目標部分C。類似地，第一定位器PM及另一位置感測器PS1可用以相對於輻射光

束B之路徑準確地定位圖案化裝置(例如，光罩) MA。可使用圖案化裝置對準標記M1、M2及基板對準標記P1、P2來對準圖案化裝置(例如，光罩) MA與基板W。

【0351】 所描繪設備LA可用於以下模式下之至少一者中：

1. 在步進模式下，使支撐結構(例如，光罩台) MT及基板台WT保持基本上靜止，同時將賦予至輻射光束之整個圖案一次性投影至目標部分C上(亦即，單次靜態曝光)。接著，使基板台WT在X及/或Y方向上移位，使得可曝光不同目標部分C。

2. 在掃描模式下，同步地掃描支撐結構(例如，光罩台) MT及基板台WT，同時將賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上(亦即，單次動態曝光)。可藉由投影系統PS之縮小率及影像反轉特性來判定基板台WT相對於支撐結構(例如，光罩台) MT之速度及方向。

3. 在另一模式下，使支撐結構(例如，光罩台) MT保持基本上靜止，從而固持可程式化圖案化裝置，且移動或掃描基板台WT同時將賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上。在此模式下，通常使用脈衝式輻射源，且在基板台WT之每一移動之後或在一掃描期間之連續輻射脈衝之間根據需要而更新可程式化圖案化裝置。此操作模式可容易應用於利用可程式化圖案化裝置(諸如，上文所提及之類型的可程式化鏡面陣列)之無光罩微影。

【0352】 圖31更詳細地展示設備LA，其包括源收集器模組SO、照明系統IL及投影系統PS。源收集器模組SO經建構及配置成使得可在源收集器模組SO之圍封結構220中維持真空環境。可藉由放電產生電漿輻射源形成EUV輻射發射電漿210。可藉由氣體或蒸汽(例如，Xe氣體、Li蒸汽

或Sn蒸汽)而產生EUV輻射，其中產生極熱電漿210以發射在電磁光譜之EUV範圍內之輻射。藉由例如引起至少部分離子化電漿之放電而產生極熱電漿210。為了輻射之高效產生，可能需要例如10 Pa之分壓的Xe、Li、Sn蒸汽或任何其他合適的氣體或蒸汽。在一實施例中，提供受激發錫(Sn)電漿以產生EUV輻射。

【0353】 由熱電漿210發射之輻射係經由定位於源腔室211中之開口中或後方的可選氣體障壁或污染物截留器230 (在一些狀況下，亦被稱作污染物障壁或箔片截留器)而自源腔室211傳遞至收集器腔室212中。污染物截留器230可包括通道結構。污染物截留器230亦可包括氣體障壁，或氣體障壁與通道結構之組合。如此項技術中所已知的，本文中進一步指示之污染物截留器或污染物障壁230至少包括通道結構。

【0354】 收集器腔室211可包括可係所謂的掠入射收集器之輻射收集器CO。輻射收集器CO具有上游輻射收集器側251及下游輻射收集器側252。橫穿收集器CO之輻射可自光柵光譜濾光器240反射，以沿著由點虛線「O」指示之光軸而聚焦在虛擬源點IF中。虛擬源點IF通常被稱作中間焦點，且源收集器模組經配置成使得中間焦點IF位於圍封結構220中之開口221處或附近。虛擬源點IF係輻射發射電漿210之影像。

【0355】 隨後，輻射橫穿照明系統IL，該照明系統可包括琢面化場鏡面裝置22及琢面化光瞳鏡面裝置24，琢面化場鏡面裝置及琢面化光瞳鏡面裝置經配置以提供在圖案化裝置MA處的輻射光束21之所要角分佈，以及在圖案化裝置MA處的輻射強度之所要均一性。在由支撐結構MT固持之圖案化裝置MA處的輻射光束21之反射後，形成經圖案化光束26，且藉由投影系統PS經由反射元件28、30將經圖案化光束26成像至由基板台

WT固持之基板W上。

【0356】 比所展示元件多的元件通常可存在於照明光學件單元IL及投影系統PS中。取決於微影設備之類型，可視情況存在光柵光譜濾光器240。另外，可存在比諸圖所展示之鏡面多的鏡面，例如，在投影系統PS中可存在比圖31所展示之反射元件多1至6個的額外反射元件。

【0357】 如圖31中所說明之收集器光學件CO被描繪為具有掠入射反射體253、254及255之巢套式收集器，僅作為收集器(或收集器鏡面)之實例。掠入射反射體253、254及255圍繞光軸O軸向對稱地安置，且此類型之收集器光學件CO理想地與放電產生電漿輻射源組合使用。

【0358】 替代地，源收集器模組SO可係如圖32中所展示之LPP輻射系統之部分。雷射LAS經配置以將雷射能量沈積至諸如氙(Xe)、錫(Sn)或鋰(Li)之燃料中，從而產生具有數十eV的電子溫度之高度離子化電漿210。在此等離子之去激發及再結合期間產生之高能輻射係自電漿發射、由近正入射收集器光學件CO收集，且聚焦至圍封結構220中之開口221上。

【0359】 本文中所揭示之概念可模擬或在數學上模型化用於對次波長特徵進行成像之任何通用成像系統，且可尤其有用於能夠產生具有愈來愈小之大小之波長的新興成像技術。已經在使用中之新興技術包括能夠藉由使用ArF雷射產生193 nm波長且甚至能夠藉由使用氟雷射產生157 nm波長之極紫外線(EUV)微影。此外，EUV微影能夠藉由使用同步加速器或藉由運用高能電子來撞擊材料(固體抑或電漿)而產生在20至5 nm之範圍內之波長，以便產生在此範圍內之光子。

【0360】 雖然本文中所揭示之概念可用於在諸如矽晶圓之基板上的

成像，但應理解，所揭示之概念可與任何類型之微影成像系統一起使用，例如，用於在除矽晶圓以外的基板上之成像的微影成像系統。

【0361】 儘管可在本文中特定地參考在IC製造中實施例之使用，但應理解，本文中之實施例可具有許多其他可能應用。舉例而言，其可用於製造整合式光學系統、用於磁域記憶體之導引及偵測圖案、液晶顯示器(LCD)、薄膜磁頭、微機械系統(MEM)等中。熟悉此項技術者將瞭解，在此類替代應用之內容背景中，本文中對術語「倍縮光罩」、「晶圓」或「晶粒」之任何使用可被視為分別與更一般術語「圖案化裝置」、「基板」或「目標部分」同義或可與其互換。可在曝光之前或之後在例如塗佈顯影系統(通常將抗蝕劑層施加至基板且顯影經曝光抗蝕劑之工具)或度量衡或檢測工具中處理本文中所提及之基板。在適用情況下，可將本文中之揭示內容應用於此等及其他基板處理工具。另外，可將基板處理多於一次，例如以便產生例如多層IC，使得本文中所使用之術語基板亦可指已含有多個經處理層之基板。

【0362】 在本發明文件中，如本文中所使用之術語「輻射」及「光束」涵蓋所有類型之電磁輻射，包括紫外線輻射(例如，具有約365、約248、約193、約157或約126 nm之波長)及極紫外線(EUV)輻射(例如，具有在5至20 nm之範圍內的波長)以及粒子束，諸如離子束或電子束。

【0363】 如本文中所使用之術語「最佳化(optimizing/optimization)」係指或意謂調整圖案化設備(例如，微影設備)、圖案化製程等，使得結果及/或製程具有更合乎需要的特性，諸如設計圖案在基板上之投影之較高準確度、較大製程窗等。因此，如本文中所使用之術語「最佳化」係指或意謂識別一或多個參數之一或多個值的程

序，該一或多個值相比於彼等一或多個參數之一或多個值之初始集合提供至少一個相關量度之改良，例如局部最佳。應相應地解釋「最佳(optimum)」及其他相關術語。在一實施例中，可反覆地應用最佳化步驟，以提供一或多個量度之進一步改良。

【0364】 可以任何便利形式實施本發明之態樣。舉例而言，一實施例可由一或多個適當電腦程式實施，該一或多個適當電腦程式可攜載於可為有形載體媒體(例如，磁碟)或無形載體媒體(例如，通信信號)之適當載體媒體上。可使用可特定地採取可程式化電腦之形式的合適設備來實施本發明之實施例，該可程式化電腦運行經配置以實施如本文中所描述之方法的電腦程式。因此，可以硬體、韌體、軟體或其任何組合實施本發明之實施例。本發明之實施例亦可實施為儲存於機器可讀媒體上之指令，該等指令可由一或多個處理器讀取及執行。機器可讀媒體可包括用於以可由機器(例如，運算裝置)讀取的形式儲存或傳輸資訊的任何機構。舉例而言，機器可讀媒體可包括：唯讀記憶體(ROM)；隨機存取記憶體(RAM)；磁碟儲存媒體；光學儲存媒體；快閃記憶體裝置；電、光學、聲學或其他形式之傳播信號(例如，載波、紅外線信號、數位信號等)；及其他者。另外，韌體、軟體、常式、指令可在本文中描述為執行某些動作。然而，應瞭解，此等描述僅出於便利起見，且此等動作實際上由運算裝置、處理器、控制器或執行韌體、軟體、常式、指令等的其他裝置引起。

【0365】 在方塊圖中，所說明之組件被描繪為離散功能區塊，但實施例不限於本文中所描述之功能性如所說明來組織之系統。由組件中之每一者提供之功能性可由軟體或硬體模組提供，該等模組以與當前所描繪之方式不同的方式組織，例如可摻和、結合、複寫、解散、分配(例如，在

資料中心內或按地區)，或以其他不同方式組織此軟體或硬體。本文中所描述之功能性可由執行儲存於有形的、非暫時性機器可讀媒體上之程式碼的一或多個電腦之一或多個處理器提供。在一些狀況下，第三方內容遞送網路可主控經由網路傳達之資訊中的一些或全部，在此狀況下，在據稱供應或以其他方式提供資訊(例如，內容)之情況下，可藉由發送指令以自內容遞送網路擷取該資訊來提供彼資訊。

【0366】 除非另外特定陳述，否則如自論述顯而易見，應瞭解，貫穿本說明書，利用諸如「處理」、「運算」、「計算」、「判定」或其類似者之術語的論述係指諸如專用電腦或類似專用電子處理/運算裝置之特定設備的動作或程序。

【0367】 讀者應瞭解，本申請案描述若干發明。此等發明已組合成單一文件，而非將彼等發明分離成多個單獨的專利申請案，此係因為該等發明之相關主題使其在應用程序中有助於經濟發展。但不應合併此等發明之相異優點及態樣。在一些狀況下，實施例解決本文中所提及之所有不足，但應理解，該等發明係獨立地有用，且一些實施例僅解決此等問題之子集或提供其他未提及之益處，該等益處對於審閱本發明之熟習此項技術者將顯而易見。由於成本約束，目前可能不主張本文中所揭示之一些發明，且可在稍後申請案(諸如，接續申請案或藉由修正本發明技術方案)中主張該等發明。類似地，由於空間限制，本發明文件之發明摘要及發明內容章節皆不應被視為含有所有此等發明之全面清單或此等發明之所有態樣。

【0368】 應理解，描述及圖式不意欲將本發明限於所揭示之特定形式，而正相反，本發明意欲涵蓋屬於如由所附申請專利範圍所界定的本發

明之精神及範圍內之所有修改、等效物及替代例。

【0369】 鑒於本說明書，本發明之各種態樣之修改及替代實施例對於熟習此項技術者而言將顯而易見。因此，本說明書及圖式應被理解為僅係說明性的且係出於教示熟習此項技術者進行本發明之一般方式之目的。應理解，本文中所展示及描述之本發明之形式應被視為實施例之實例。元件及材料可替代本文中所說明及描述之元件及材料，可反轉或省略部分及程序，可獨立利用某些特徵，且可組合實施例或實施例之特徵，此皆如熟習此項技術者在獲得本說明書之益處之後將顯而易見。在不背離如在以下申請專利範圍中所描述之本發明之精神及範圍的情況下，可對本文中所描述之元件作出改變。本文中所使用之標題僅出於組織性目的且不意謂用以限制本說明書之範圍。

【0370】 如貫穿本申請案所使用，詞「可」係在許可之意義上(亦即，意謂有可能)而非強制性之意義上(亦即，意謂必須)予以使用。詞「包括(include/including/includes)」及其類似者意謂包括但不限於。如貫穿本申請案所使用，單數形式「a/an/the」包括複數個參照物，除非內容另有明確地指示。因此，例如，對「一(an或a)」元件之參考包括兩個或多於兩個元件之組合，但會針對一或多個元件使用其他術語及片語，諸如「一或多個」。除非另有指示，否則術語「或」係非獨占式的，亦即，涵蓋「及」與「或」兩者。描述條件關係之術語，例如「回應於X，而Y」、「在X後，Y」、「若X，則Y」、「當X時，Y」及其類似者，涵蓋因果關係，其中前提為必要的因果條件，前提為充分的因果條件，或前提為結果的貢獻因果條件，例如「在條件Y獲得後，出現狀態X」對於「僅在Y後，方出現X」及「在Y及Z後，出現X」係通用的。此等條件關係不限於

即刻遵循前提而獲得之結果，此係因為可延遲一些結果，且在條件陳述中，前提連接至其結果，例如前提與出現結果之可能性相關。除非另有指示，否則複數個屬性或功能經映射至複數個物件(例如，執行步驟A、B、C及D之一或多個處理器)之陳述涵蓋所有此等屬性或功能經映射至所有此等物件及該等屬性或功能之子集經映射至屬性或功能之子集兩種情況(例如，所有處理器各自執行步驟A至D，及處理器1執行步驟A，處理器2執行步驟B及步驟C之一部分，且處理器3執行步驟C之一部分及步驟D之狀況)。另外，除非另有指示，否則一個值或動作係「基於」另一條件或值之陳述涵蓋條件或值係唯一因數之情況及條件或值係複數個因數當中之一個因數之情況兩者。除非另有指示，否則某集合之「每一」執行個體具有某性質的陳述不應理解為排除較大集合之一些另外相同或類似的成員不具有該性質(亦即，每一者未必意謂每一個)之狀況。對自範圍選擇之提及包括範圍之端點。

【0371】 在以上描述中，流程圖中之任何程序、描述或區塊應理解為表示程式碼之模組、片段或部分，其包括用於實施該程序中之特定邏輯功能或步驟之一或多個可執行指令，且替代實施包括於本發明之例示性實施例之範圍內，其中功能可取決於所涉及之功能性而不按照所展示或論述之次序執行，包括實質上同時或以相反次序執行，如熟習此項技術者將理解。

【0372】 在某些美國專利、美國專利申請案或其他材料(例如，論文)已以引用之方式併入的情況下，此等美國專利、美國專利申請案及其他材料之文字僅在此材料與本文中所闡述之陳述及圖式之間不存在衝突之情況下以引用之方式併入。在存在此類衝突之情況下，在此類以引用之方

式併入的美國專利、美國專利申請案及其他材料中之任何此類衝突文字並不特定地以引用之方式併入本文中。

【0373】 雖然已描述某些實施例，但此等實施例僅作為實例來呈現，且並不意欲限制本發明之範圍。實際上，本文中所描述之新穎方法、設備及系統可以多種其他形式體現；此外，在不背離本發明精神之情況下，可對本文中所描述之方法、設備及系統的形式進行各種省略、替代及改變。隨附申請專利範圍及其等效物意欲涵蓋如將屬於本發明之範圍及精神內的此類形式或修改。

【符號說明】

【0374】

2	輻射投影儀/輻射源
4	光譜儀偵測器
10	光譜
11	背向投影式焦平面
12	透鏡系統
13	干涉濾光器
14	參考鏡面
15	物鏡
16	部分反射表面
17	偏振器
18	偵測器
21	輻射光束
22	琢面化場鏡面裝置

24	琢面化光瞳鏡面裝置
26	經圖案化光束
28	反射元件
30	基板目標/反射元件
30'	目標圖案/目標
31	照明模型
32	投影光學件模型
33	圖案化裝置圖案模型/圖案化裝置模型
36	空中影像
37	抗蝕劑模型
38	抗蝕劑影像
39	圖案轉印後製程模型
100	電腦系統
102	匯流排
104	處理器
105	處理器
106	主記憶體
108	經量測輻射分佈/唯讀記憶體(ROM)
110	儲存裝置
112	顯示器
114	輸入裝置
116	游標控制件
118	通信介面

- 120 網路鏈路
- 122 區域網路
- 124 主機電腦
- 126 網際網路服務提供者(ISP)
- 128 網際網路
- 130 伺服器
- 206 參數化模型
- 208 輻射分佈
- 210 數值馬克士威求解程序/EUV輻射發射電漿/極熱電漿/高度離子化電漿
- 211 源腔室
- 212 收集器腔室
- 220 圍封結構
- 221 開口
- 230 氣體障壁/污染物截留器/污染物障壁
- 240 光柵光譜濾光器
- 251 上游輻射收集器側
- 252 下游輻射收集器側
- 253 掠入射反射體
- 254 掠入射反射體
- 255 掠入射反射體
- 300A 照明模式之一或多個特性
- 300B 投影光學件之一或多個特性

300C	圖案化裝置圖案之一或多個特性
302	步驟
304	步驟
306	步驟
310	變數
320	變數
330	變數
340	變數
350	特性
360	特性
370	處理變數
402	步驟
404	步驟
406	步驟
408	步驟
410	步驟
502	步驟
504	步驟
506	步驟
508	步驟
510	步驟
512	步驟
514	步驟

516	步驟
518	步驟
1200	源模型
1210	投影光學件模型
1220	圖案化裝置/設計佈局模型模組
1230	空中影像
1240	抗蝕劑模型
1250	抗蝕劑影像
1260	圖案轉印後製程模型模組
1300	源模型
1310	度量衡光學件模型
1320	度量衡目標模型
1330	光瞳或空中影像
1602	參數/量測結果
1604	製程變數/量測結果
1610	第一函數關係
1620	製程變數PDF/劑量PDF
1630	參數PDF/CD PDF
1702	柏桑(Bossung)曲線
1721	第一劑量PDF
1722	第二劑量PDF
1723	第三劑量PDF
1731	第一CD PDF

1732	第二CD PDF
1733	第三CD PDF
1771	導柱
1772	基腳
1773	頸縮
1801	第一參數之變化
1802	第二參數之變化
1803	製程模型
1901	製程窗
1902	關係/曲線
1903	製程窗
1905	橢圓製程窗/高斯分佈
1910	失效率分佈/曲線
1911	製程窗
1913	製程窗
1915	橢圓窗
1920	重疊製程窗
2001	第一長條
2002	第二長條
2003	第一孔
2005	第二孔
2111	精化方差
2202	第一製程窗

2204	第二製程窗
2206	精化製程窗/第三製程窗
2212	第一製程窗
2214	第二製程窗
2216	精化製程窗/第三製程窗
2306	量測結果/製程變數
2320	第二函數關係
2330	參數PDF/製程變數PDF/CD PDF
2402	基腳
2404	基腳
2412	頸縮
2414	頂部層
2501	高斯劑量分佈
2503	關係
2701	製程窗
2801	PDF
2802	PDF
2803	PDF
AD	調整器
AS	對準感測器
B	輻射光束
BD	光束遞送系統
BK	烘烤板

C	目標部分
CH	冷卻板
CO	聚光器/輻射收集器/近正入射收集器光學件
DE	顯影器
F	焦點
G1	距離
h	高度
I/O1	輸入/輸出埠
I/O2	輸入/輸出埠
IF	位置感測器/虛擬源點/中間焦點
IL	照明系統/照明器/照明光學件單元
IN	積光器
LA	微影設備
LACU	微影控制單元
LAS	雷射
LB	裝載匣
LC	微影製造單元
LS	位階感測器
M1	圖案化裝置對準標記
M2	圖案化裝置對準標記
MA	圖案化裝置
MT	支撐結構
O	光軸

P1	基板對準標記/基板標記
P10	程序
P1801	程序
P1802	程序
P1803	程序
P2	基板對準標記
P20	程序
P211	程序
P231	程序
P30	程序
P40	程序
P50	程序
P60	步驟/程序
Pa1	第一參數
Pa2	第二參數
PDF1	CD之未校正PDF
PDF2	不同校正之PDF
PDF3	經迴旋PDF
PDF4	經校正PDF
PDF _{CD}	機率分佈
PDF _{dose}	高斯劑量分佈
PM	第一定位器
PS	投影系統

PS1	位置感測器
PS2	位置感測器
PU	處理器/單元
PW	第二定位器/製程窗
R1	製程參數
R2	製程參數
R3	製程參數
R4	製程參數
R5	製程參數
RF	參考框架
RO	基板處置器或機器人
S	光點
SC	旋塗器
SCS	監督控制系統
SO	輻射源/源收集器模組
t	厚度
TCU	塗佈顯影系統控制單元
W	基板
w	寬度
WT	基板台
WTa	基板台
WTb	基板台
Y1	第一良率曲線

Y2	第二良率曲線
α	側壁角
ΔCD	CD之差分分量
$\Delta dose$	劑量之差分分量

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種用於判定一基板上之一特徵之參數極限(limit)的方法，該方法包含：

獲得(i)該特徵之一參數之量測結果(measurements)、(ii)與用以產生該特徵之一圖案化製程之一製程變數(process variable)相關的資料、(iii)基於該參數之該等量測結果及與該製程變數相關之該資料而定義為該製程變數之一函數的該參數之一函數行為(functional behavior)、(iv)該特徵之一失效率(failure rate)之量測結果，及(v)針對該製程變數之一設定的該製程變數之一機率密度函數；

藉由一硬體電腦系統基於一轉換函數(conversion function)將針對該設定的該製程變數之該機率密度函數轉換成針對該設定的該參數之一機率密度函數，其中該轉換函數係基於該製程變數之該函數而判定；及

藉由該硬體電腦系統基於針對該設定的該參數之該機率密度函數及該特徵之該失效率的該等量測結果而判定該參數之一參數極限。

【第2項】

如請求項1之方法，其中針對該設定的該製程變數之該機率密度函數係基於該製程變數之一方差(variance)及針對該製程變數之該設定而判定的該製程變數之該函數關於該製程變數的一局部導數(local derivative)而判定，該方差係自針對該製程變數之該設定的該參數之一所量測方差運算。

【第3項】

如請求項1之方法，其中該轉換函數係一轉換因數，其中該轉換因數

係針對該製程變數之該設定而判定的該製程變數之該函數之一逆(inverse)的一局部導數之一絕對值。

【第4項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

藉由該硬體電腦系統基於該參數極限及該參數之該機率密度函數而判定該特徵之一所估計失效率；及

藉由該硬體電腦系統識別與該製程變數相關之一製程窗，使得該特徵之該所估計失效率小於一預定臨限值。

【第5項】

如請求項4之方法，其中該預定臨限值係基於該圖案化製程之一選定良率。

【第6項】

如請求項1之方法，其中該失效率與該特徵之一或多個失效相關，一或多個失效模式包含該特徵之一實體失效、一轉印失效及/或推遲失效。

【第7項】

如請求項6之方法，其中該特徵之該推遲失效係由於一當前處理步驟中之缺陷而在該圖案化製程之下一步驟中出現的一失效，及/或

其中該特徵之該一或多個失效係基於一特定失效之一頻率而加權以產生該特徵之一經加權失效率。

【第8項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

基於一或多個失效與該製程變數之間的一相關性而獲得該製程變數之一加權函數；

藉由該硬體電腦系統基於該製程變數之該加權函數而判定該參數之一加權參數極限；及

藉由該硬體電腦系統基於該加權參數極限而判定製程窗。

【第9項】

如請求項8之方法，其進一步包含：

藉由該硬體電腦系統基於與一抗蝕劑製程相關聯之推遲失效藉由模擬而使用該抗蝕劑製程之一抗蝕劑模型來最佳化一抗蝕劑厚度及/或抗蝕劑類型，及/或

其中與該抗蝕劑製程相關聯之該失效包括一基腳失效及/或一頸縮失效。

【第10項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

獲得用於複數個特徵類型中之每一特徵類型的該參數極限，及基於對應參數極限的該複數個特徵類型中之每一特徵類型的所估計失效率；及

藉由該硬體電腦系統基於該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率之一乘積而判定一重疊製程窗。

【第11項】

如請求項10之方法，其進一步包含：

藉由模型化及/或模擬基於該複數個特徵類型中之每一特徵類型的該所估計失效率之一最大值而反覆地判定一光學近接校正，及/或其中該所估計失效率之該最大值對應於具有最低良率之一特徵類型。

【第12項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

藉由該硬體電腦系統自該參數之所量測方差判定該參數之一精化方差，其中該精化方差考量由於與該製程變數無關之因素的方差。

【第13項】

如請求項12之方法，其中該精化方差係藉由自該所量測方差移除由於與該製程變數無關之該等因素的該方差來運算，及/或其中與該製程變數無關之該等因素包括來自度量衡雜訊、光罩及背景之貢獻，及/或其中該背景之貢獻係在該製程變數之一特定設定下判定的該圖案化製程之一隨機分量，其中該所量測方差對該製程變數具有最小敏感度。

【第14項】

如請求項12之方法，其中該製程窗之判定係基於該精化方差。

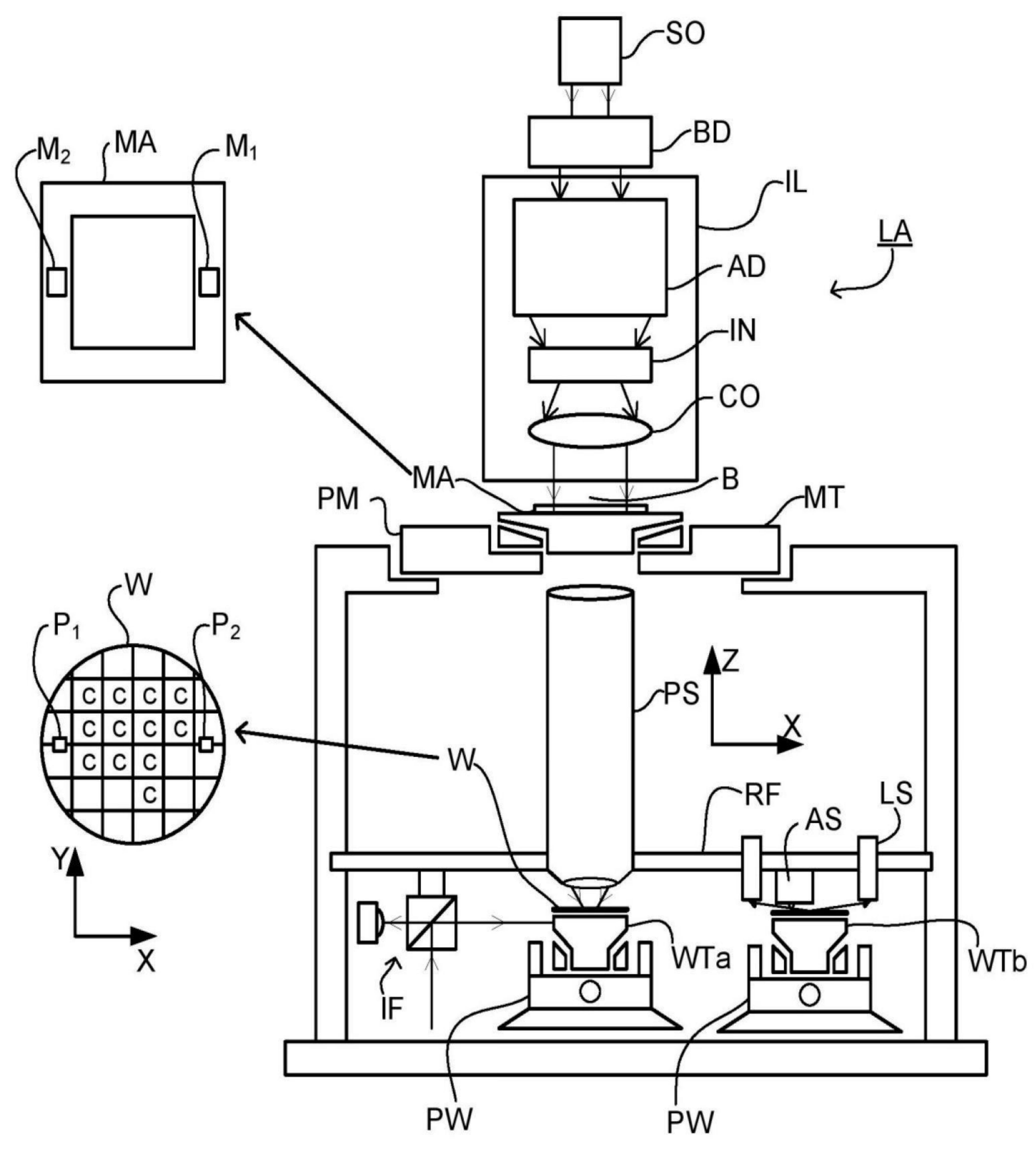
【第15項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

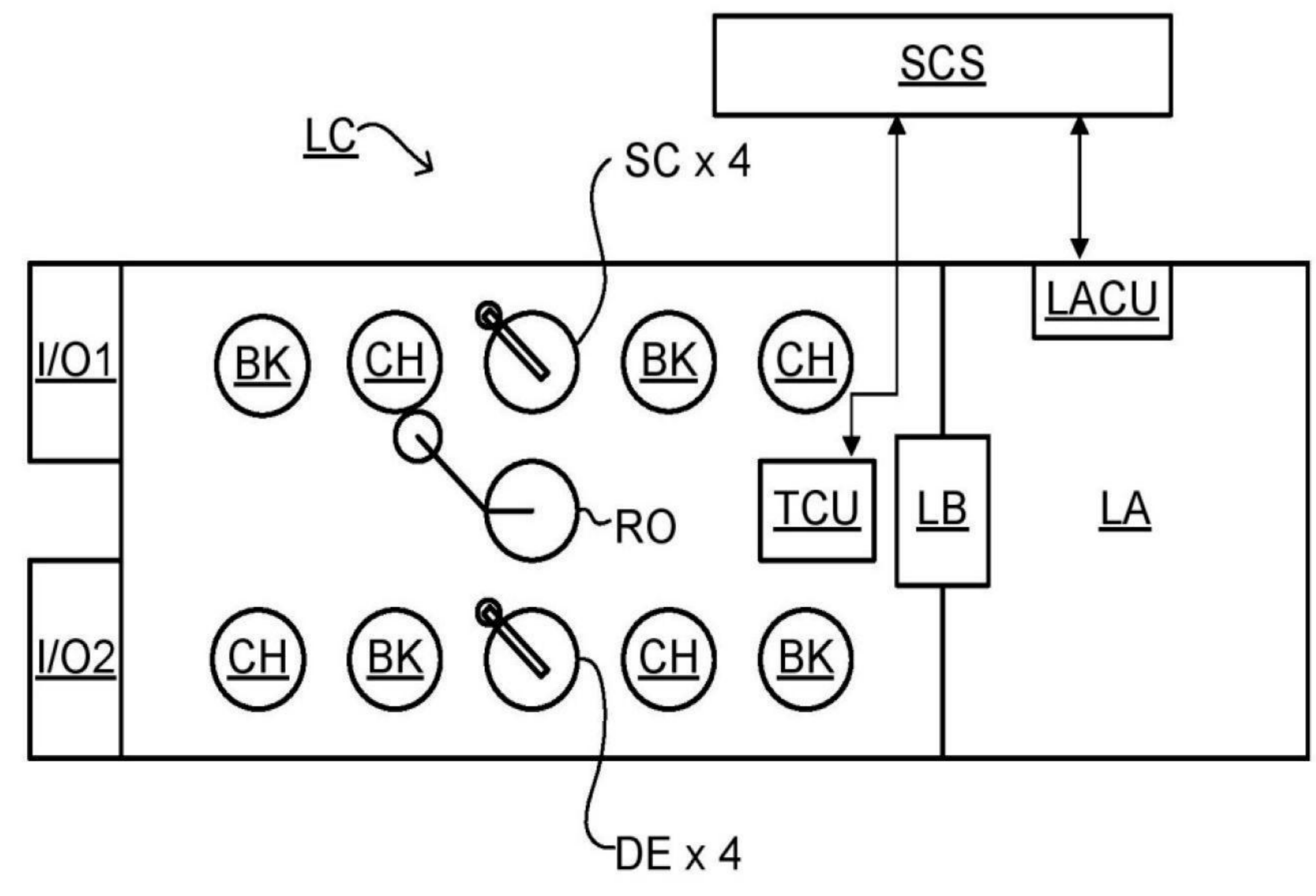
獲得該圖案化製程之一圖案轉印後步驟的一轉移函數，及基於該轉移函數之另一製程變數PDF；及

藉由該硬體電腦系統基於該另一製程變數PDF而判定該製程窗。

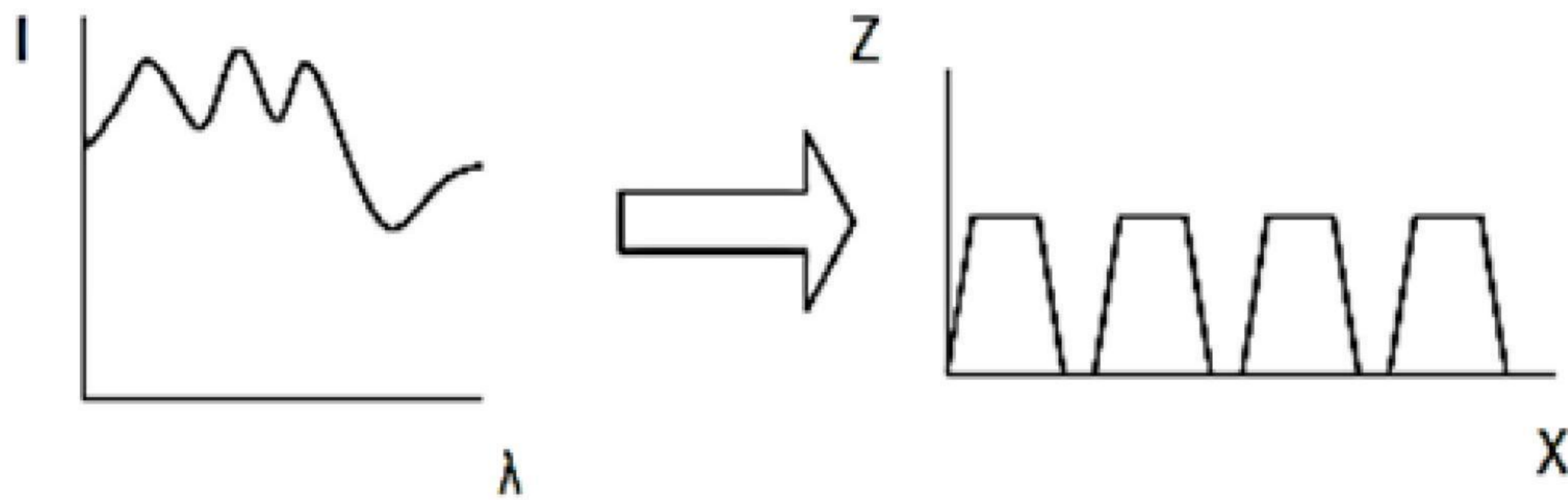
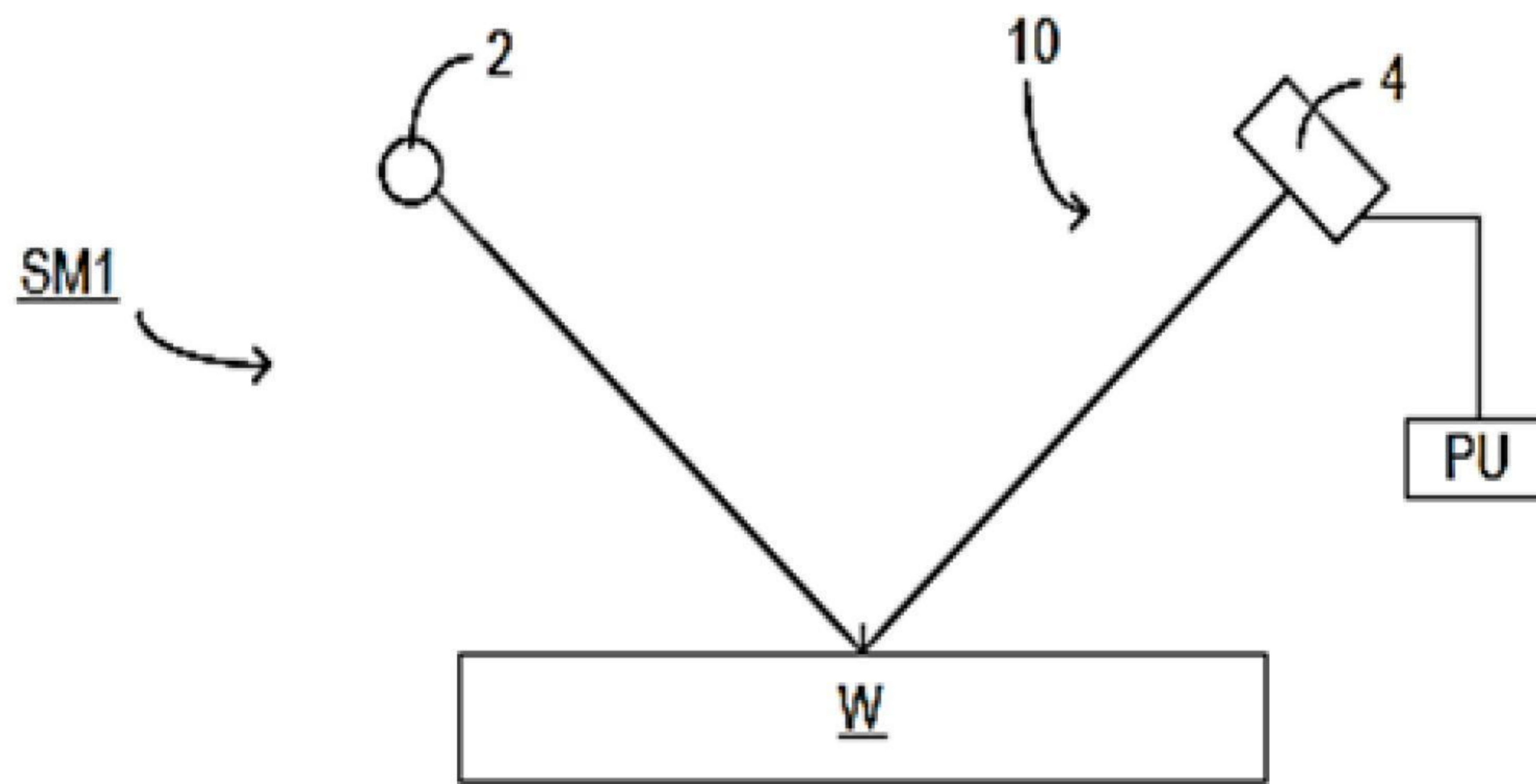
【發明圖式】



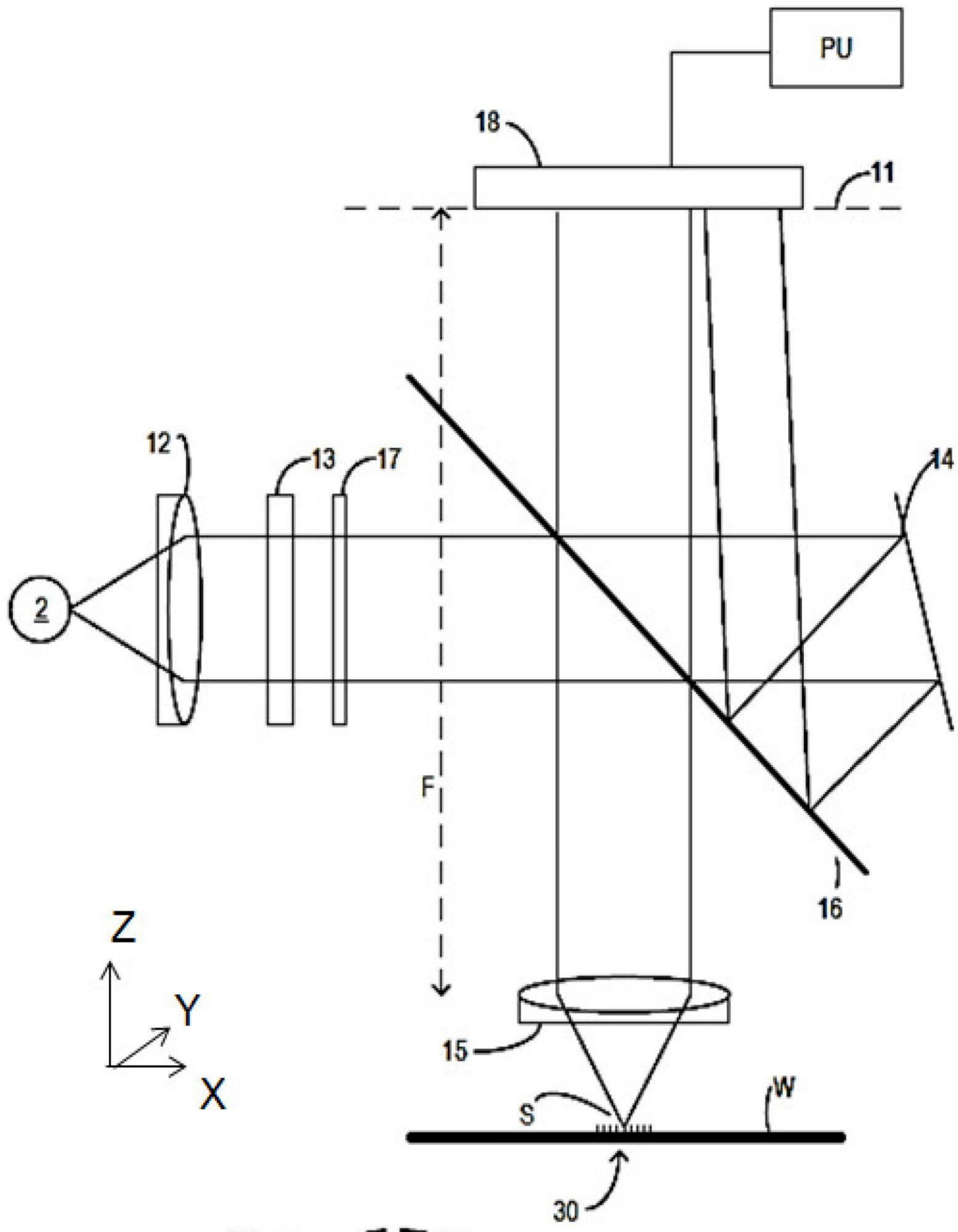
【圖1】



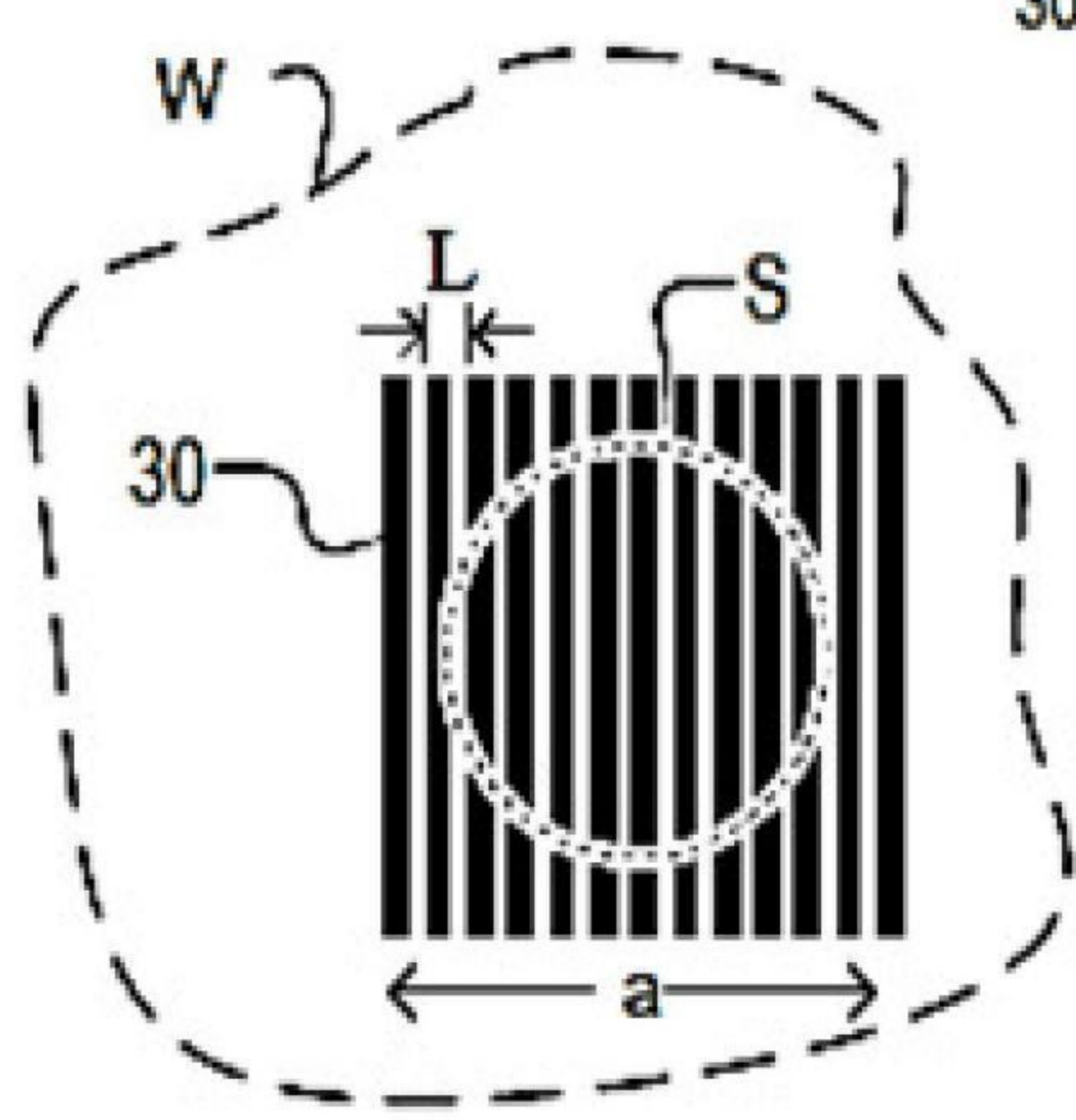
【圖2】



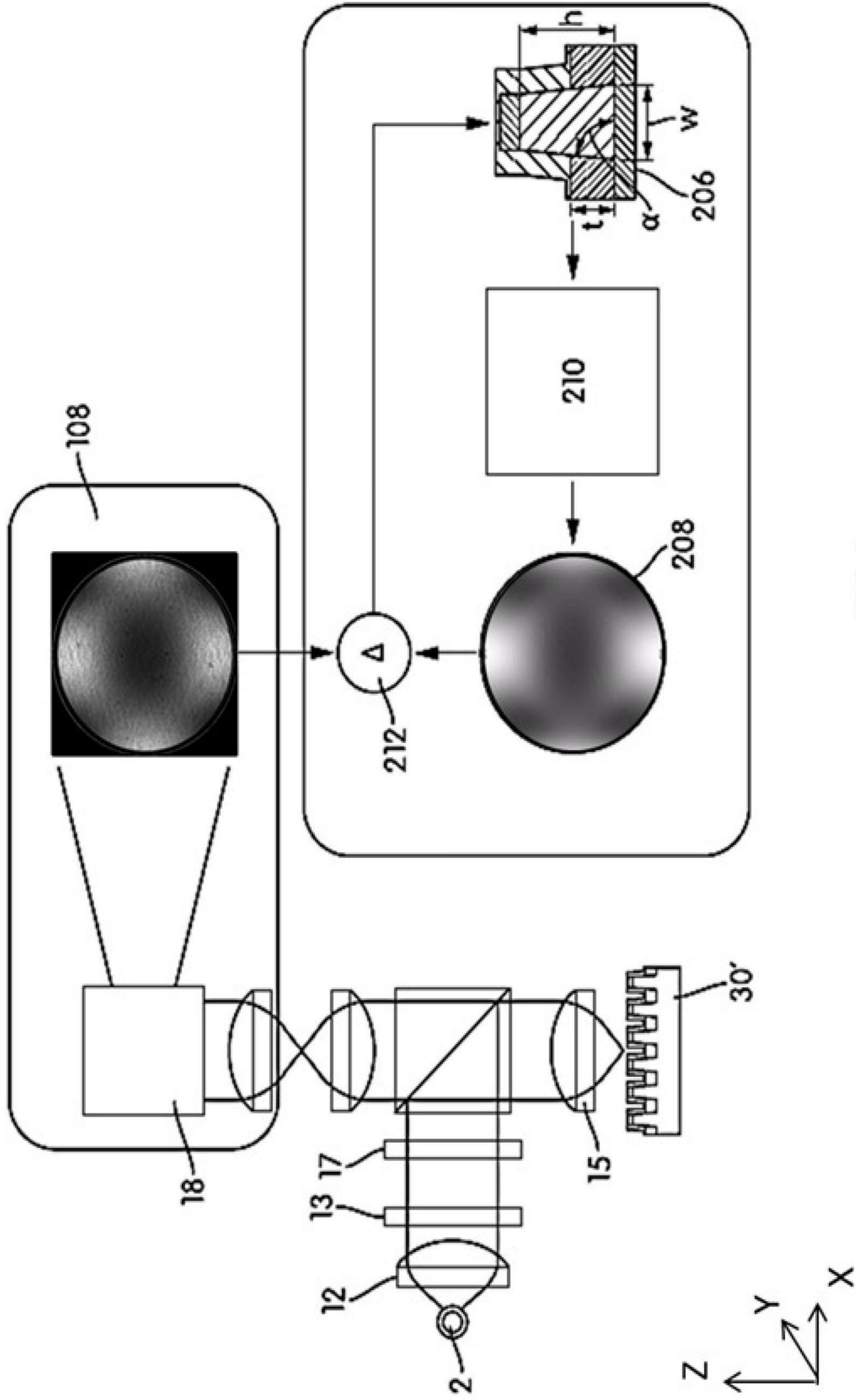
【圖3】



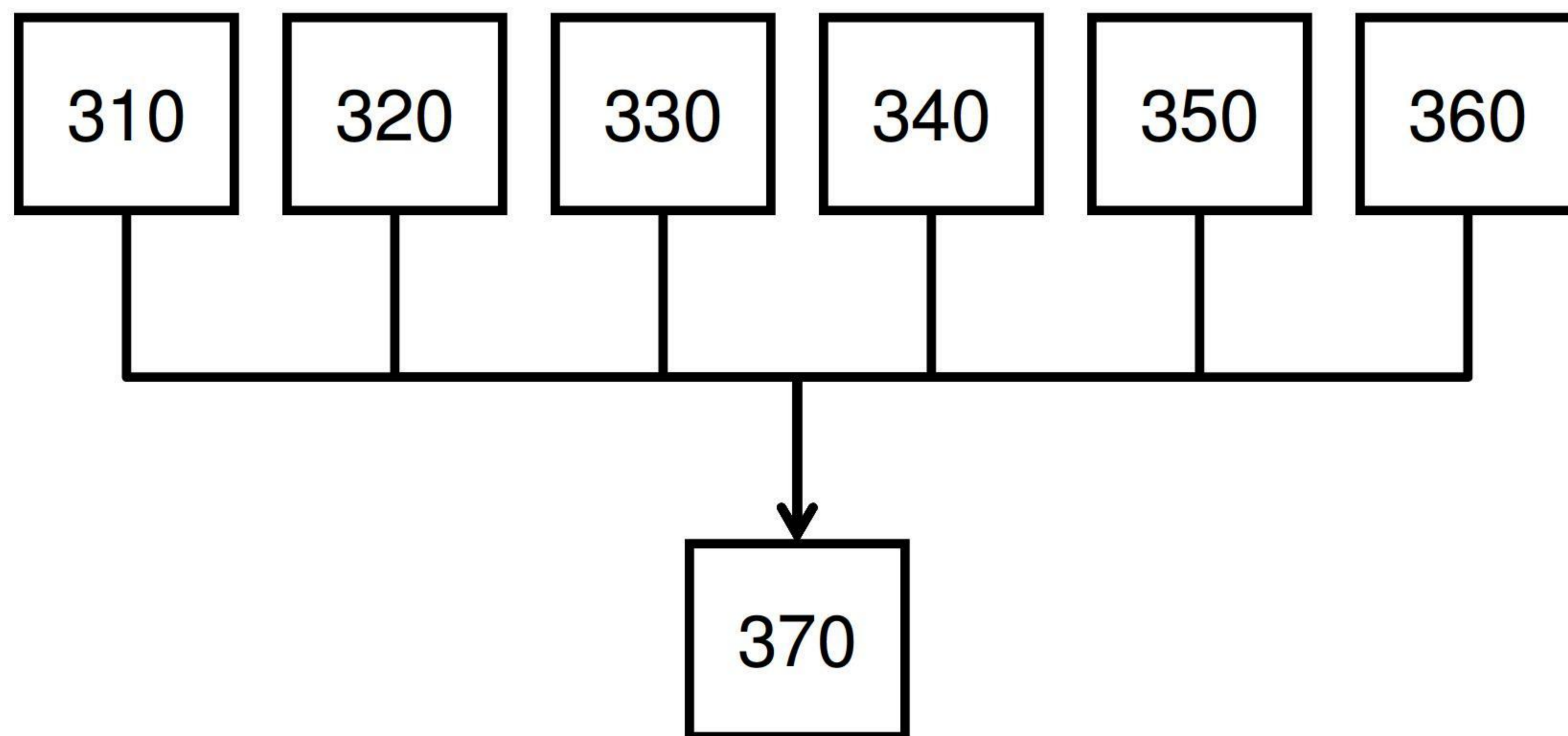
【圖4】



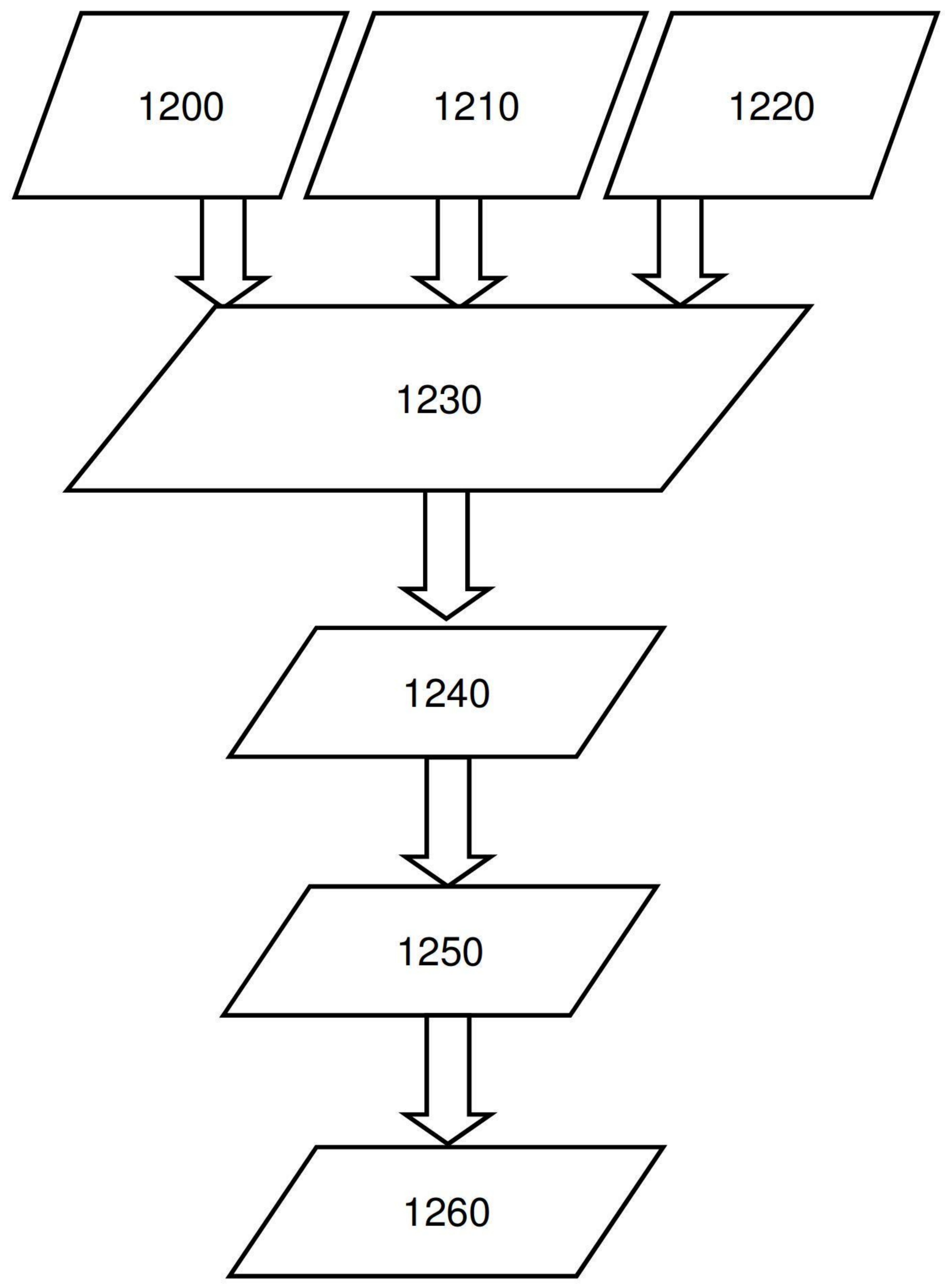
【圖5】



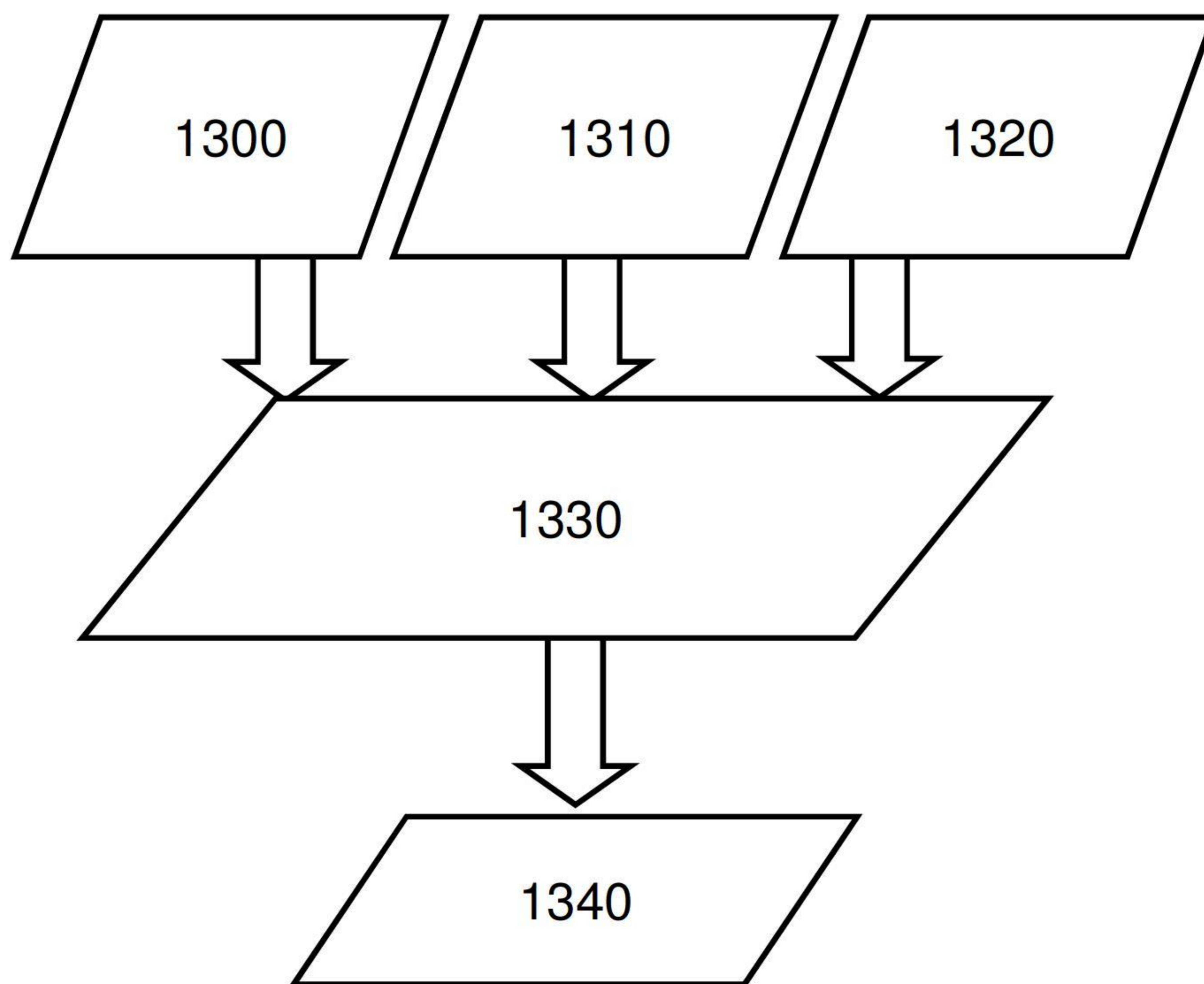
【圖6】



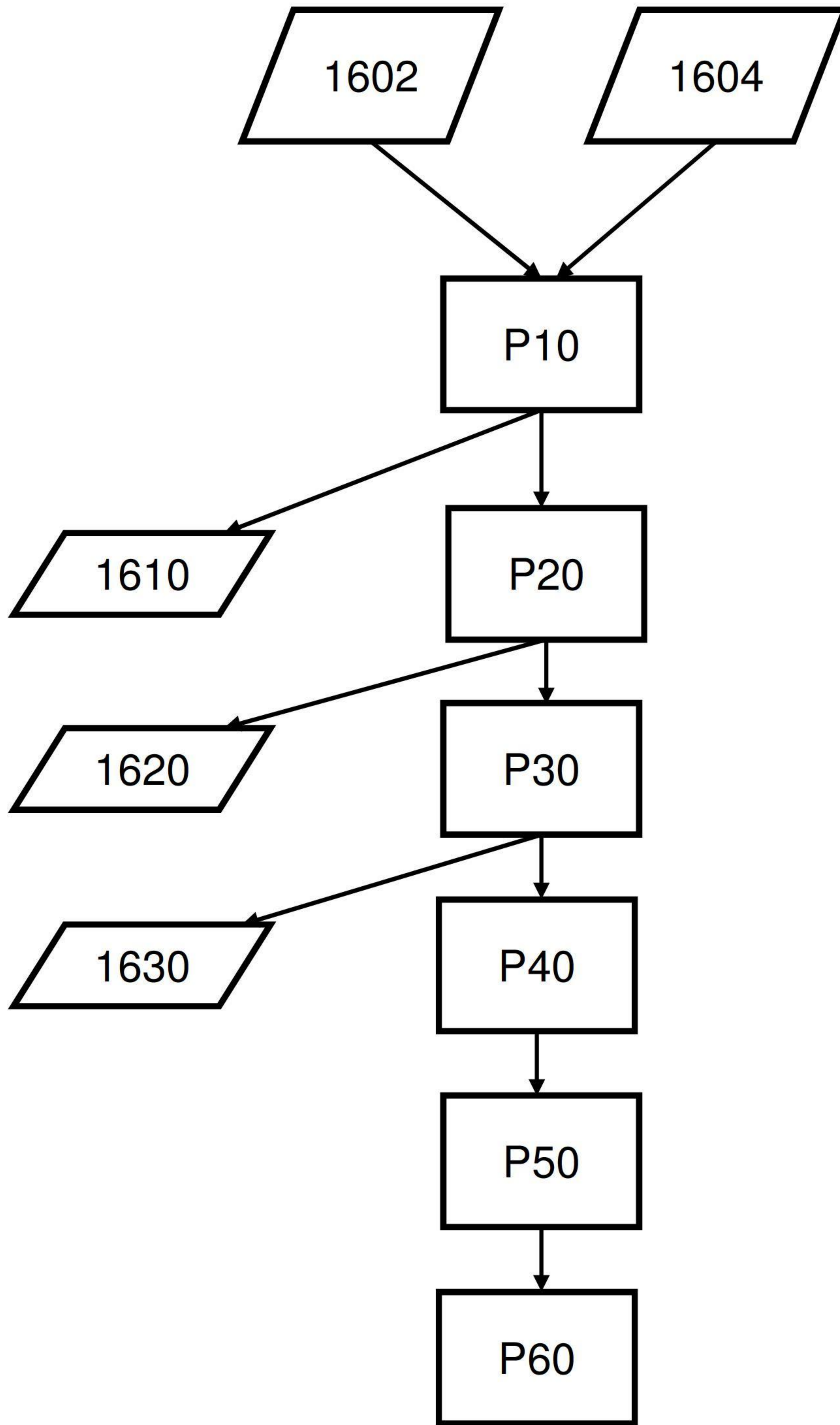
【圖7】



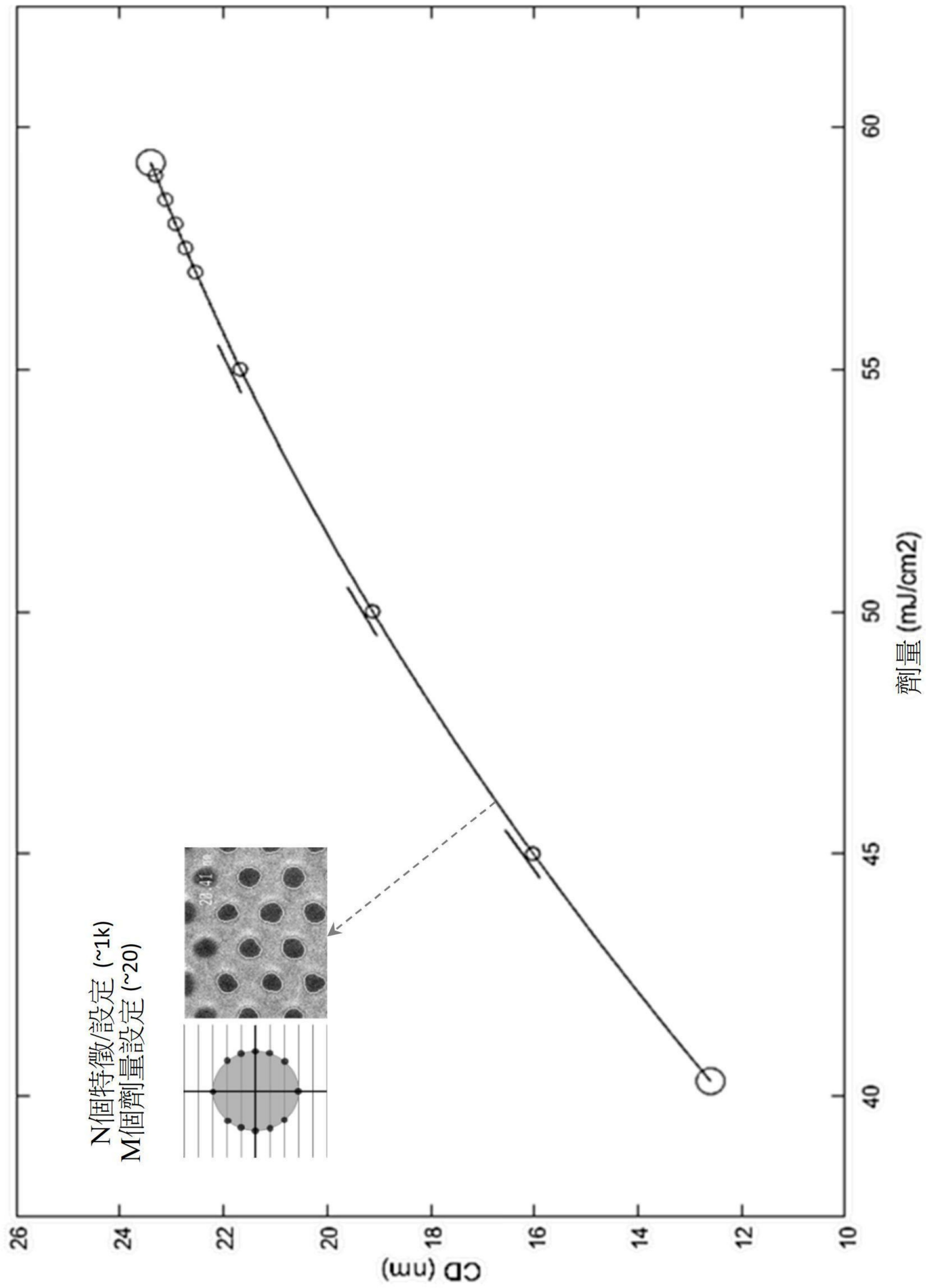
【圖8】



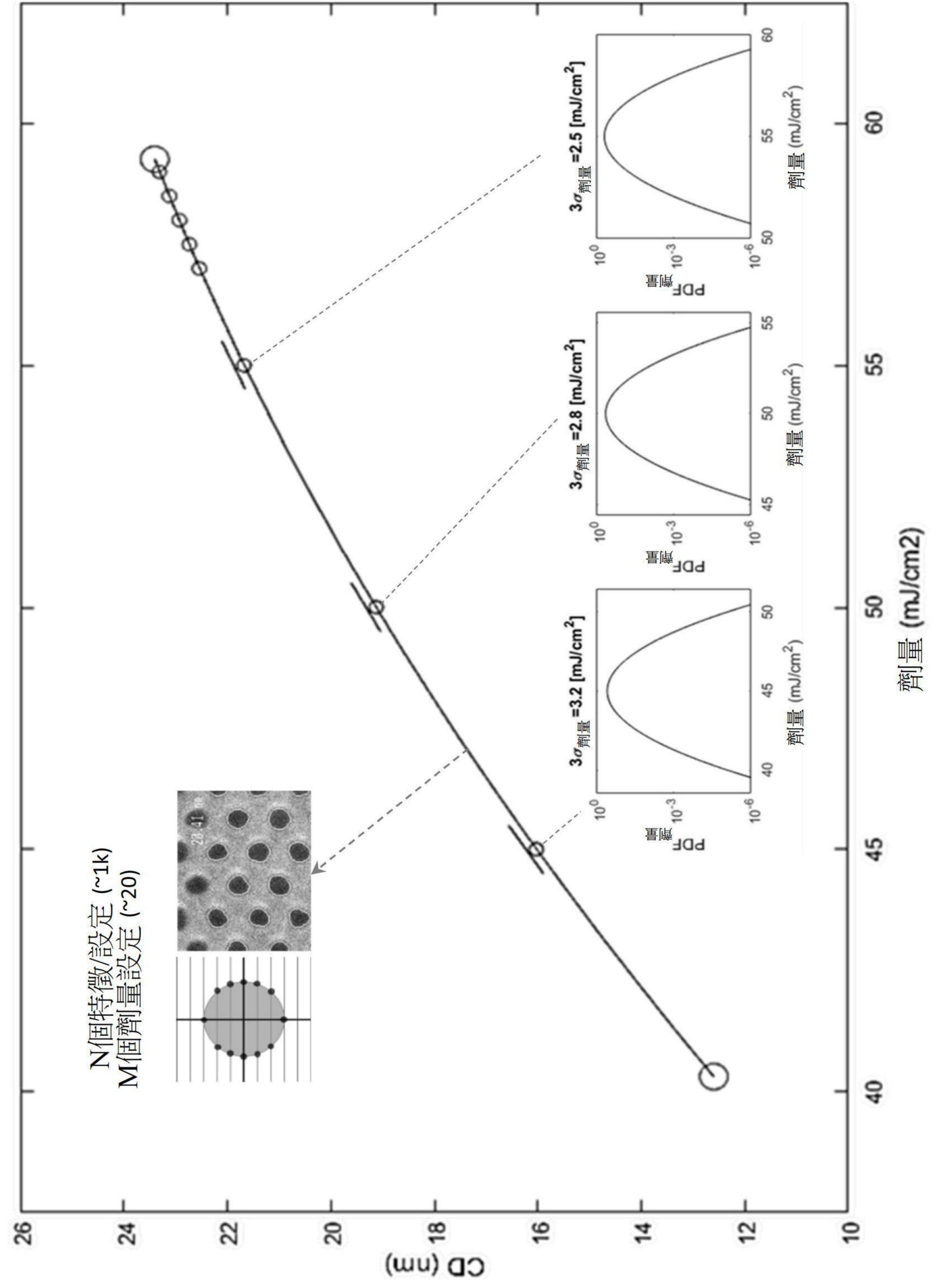
【圖9】



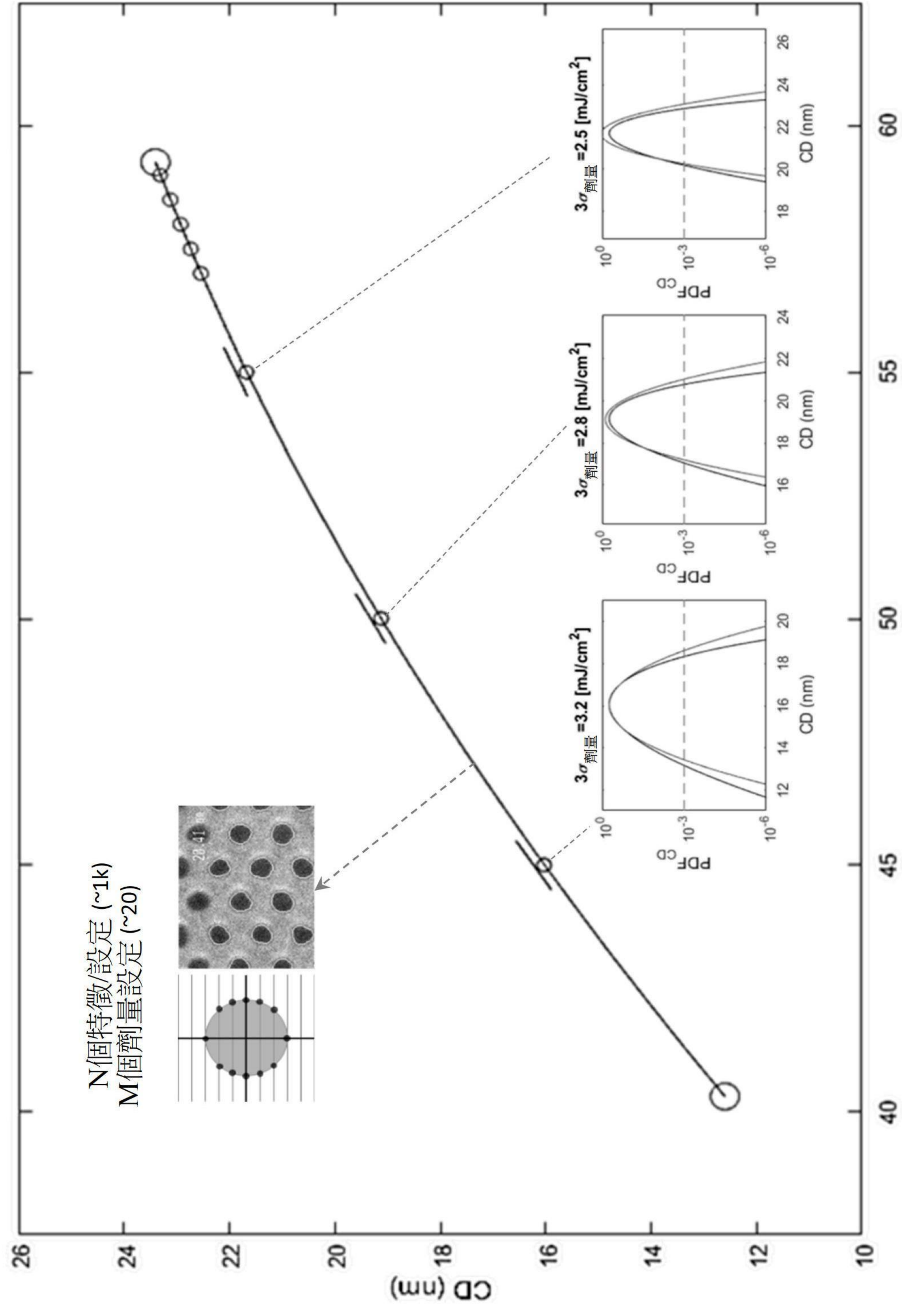
【圖10】



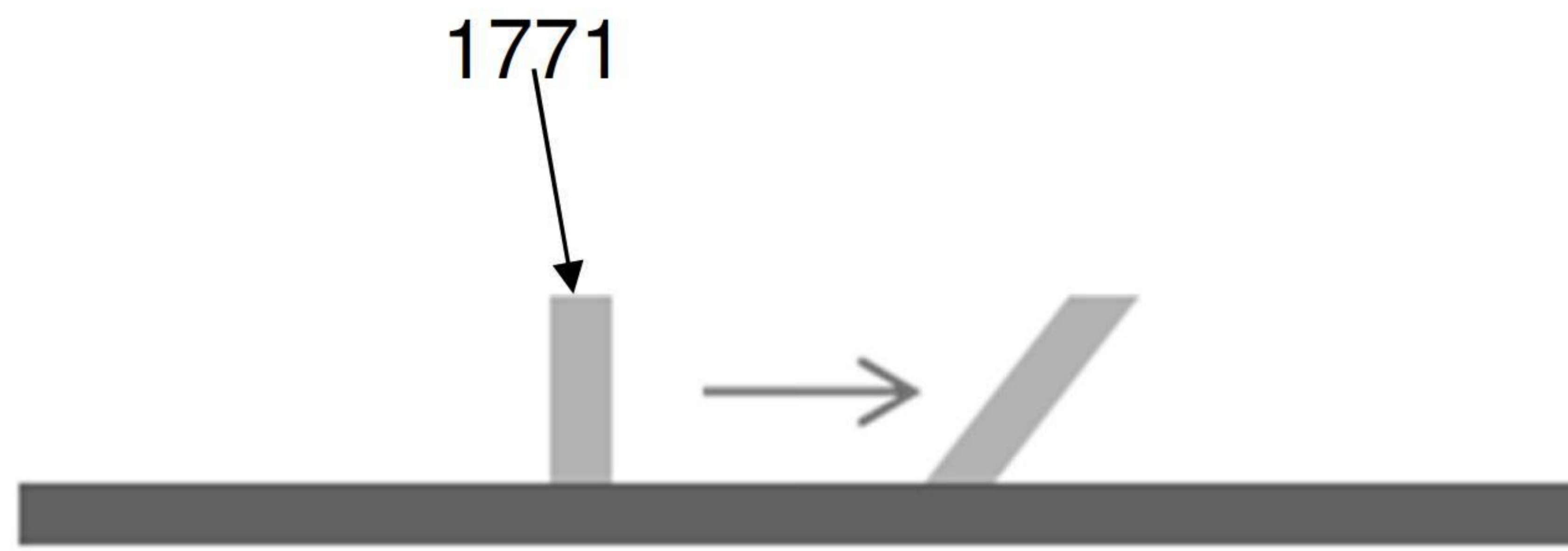
【圖11A】



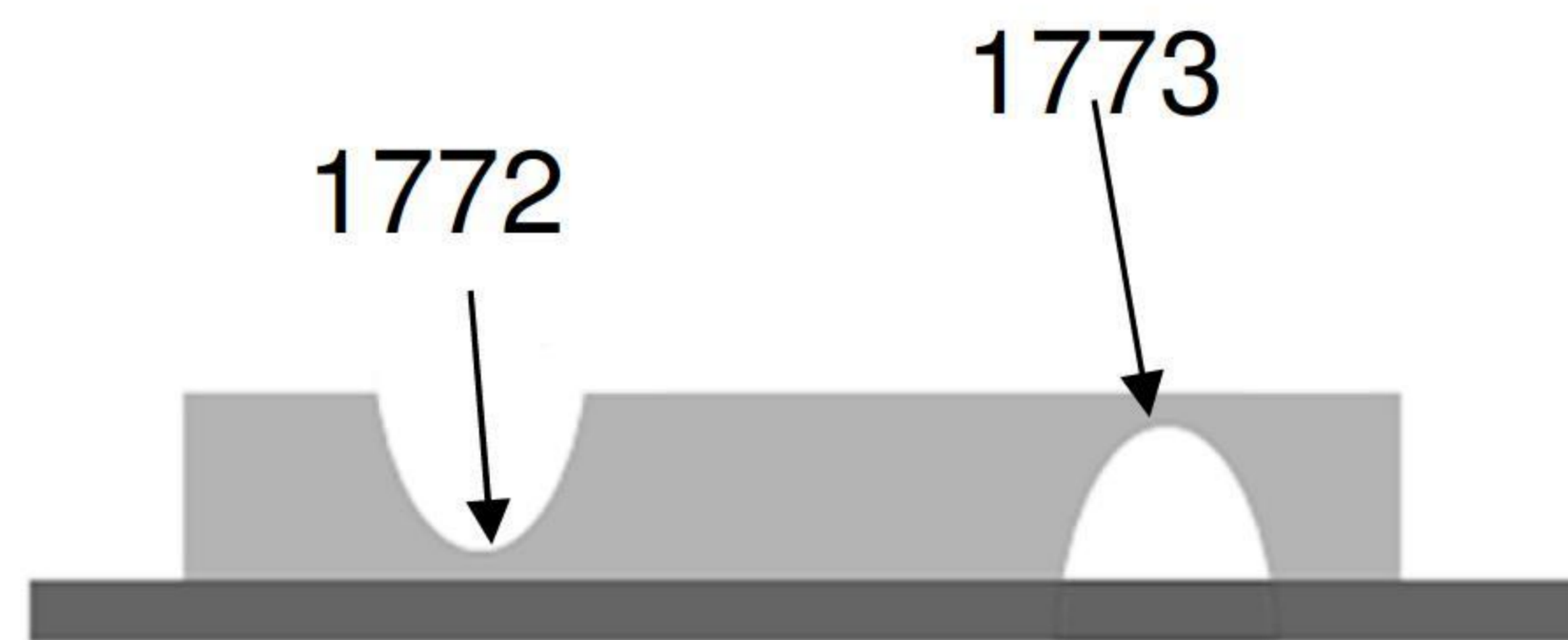
【圖11B】



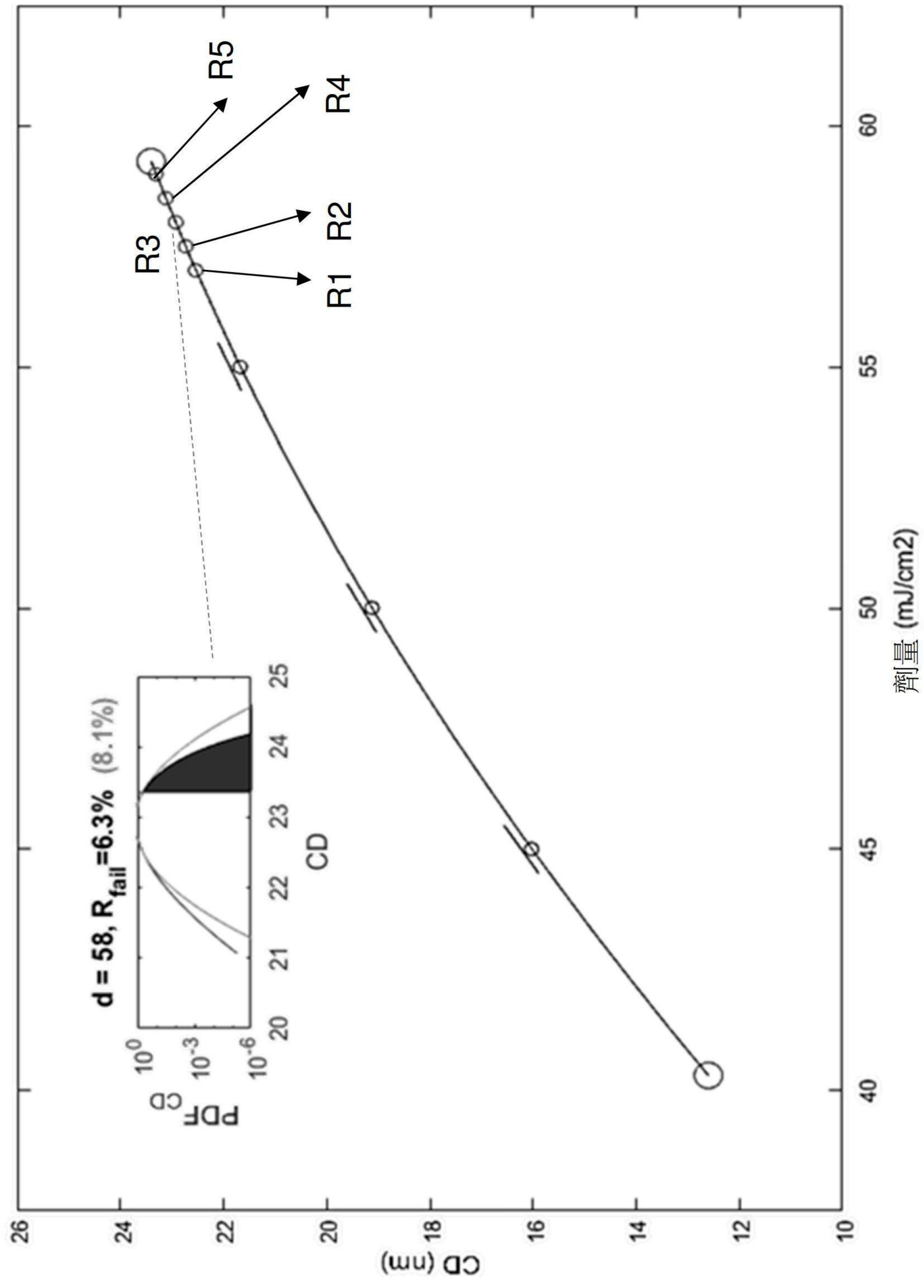
劑量 (mJ/cm2) 【圖11C】



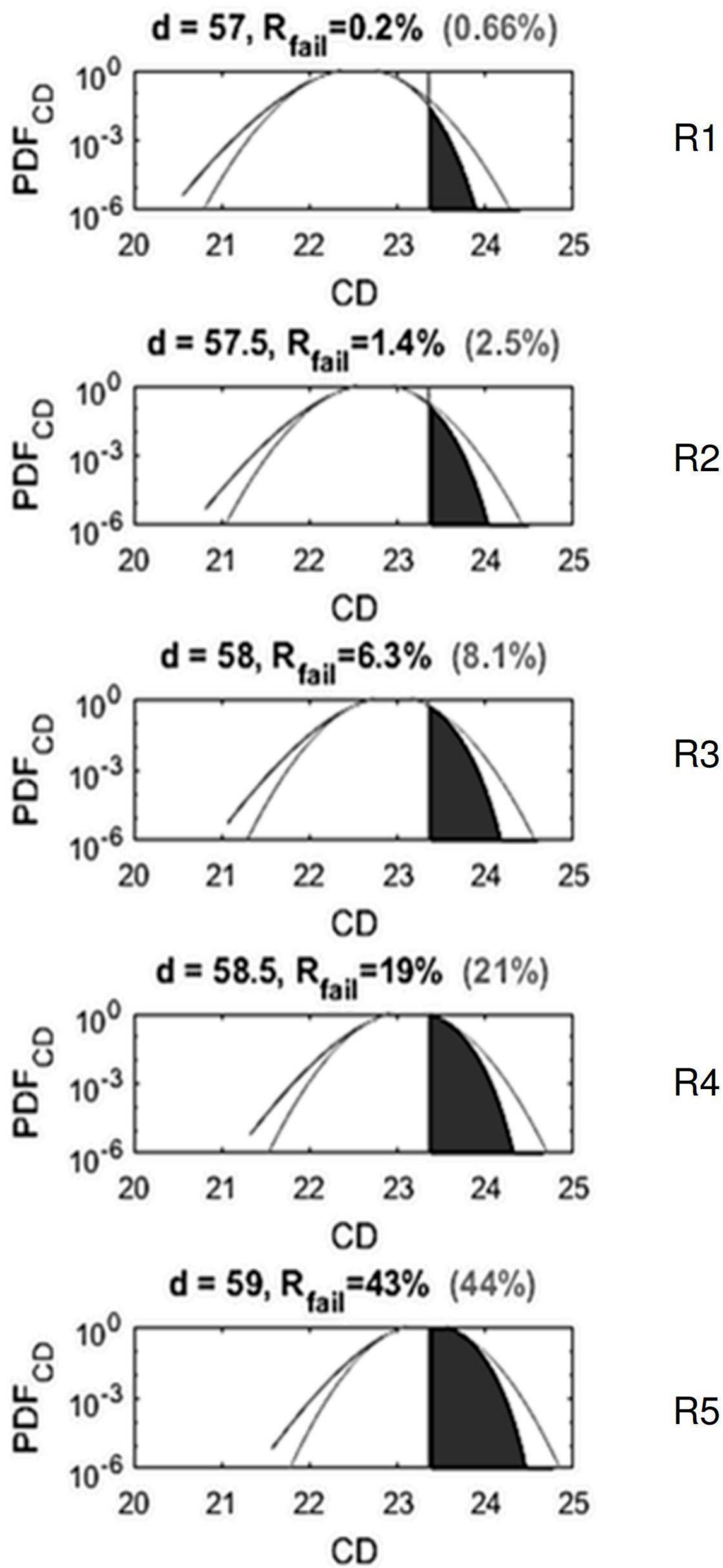
【圖11D】



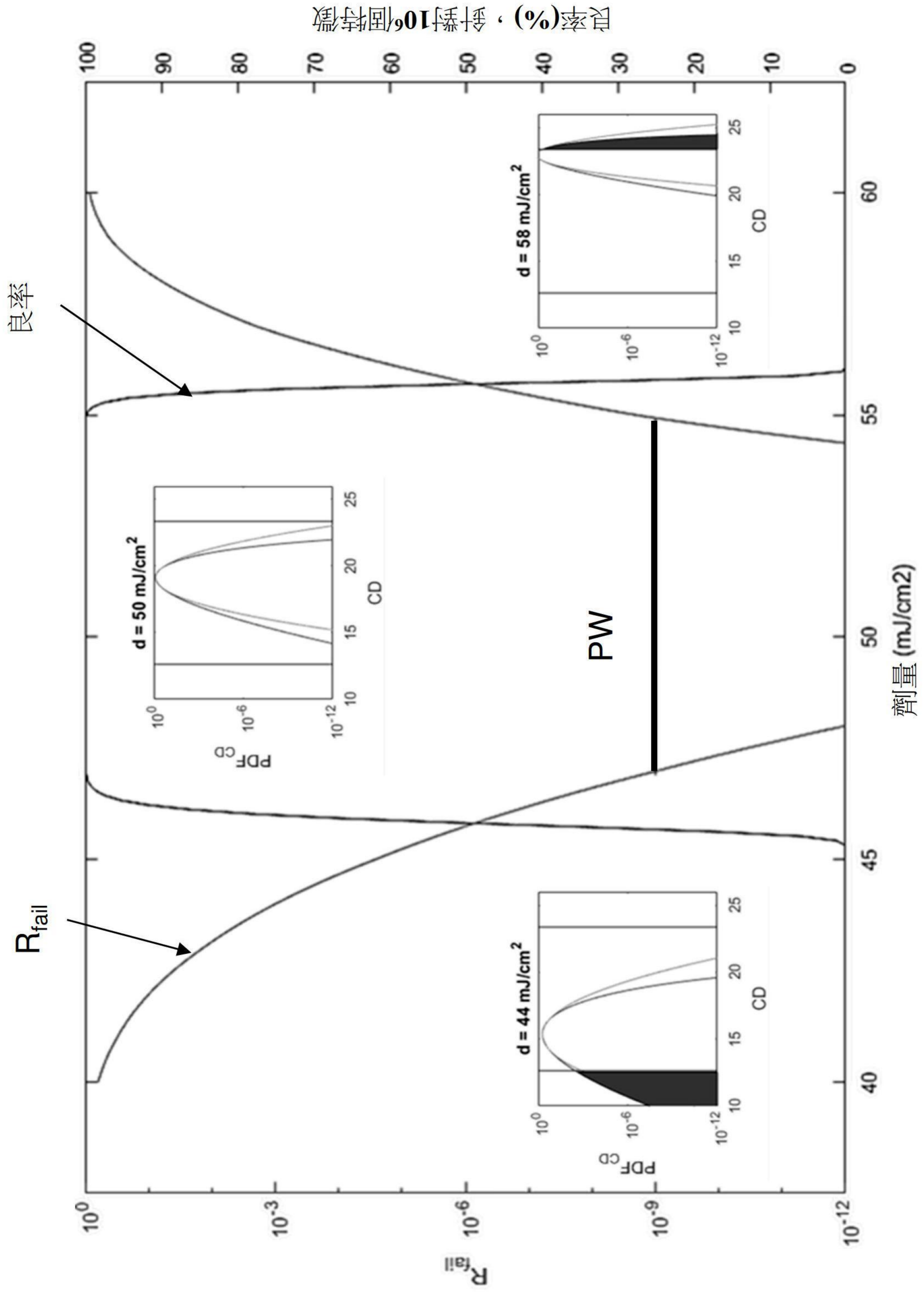
【圖11E】



【圖11F】

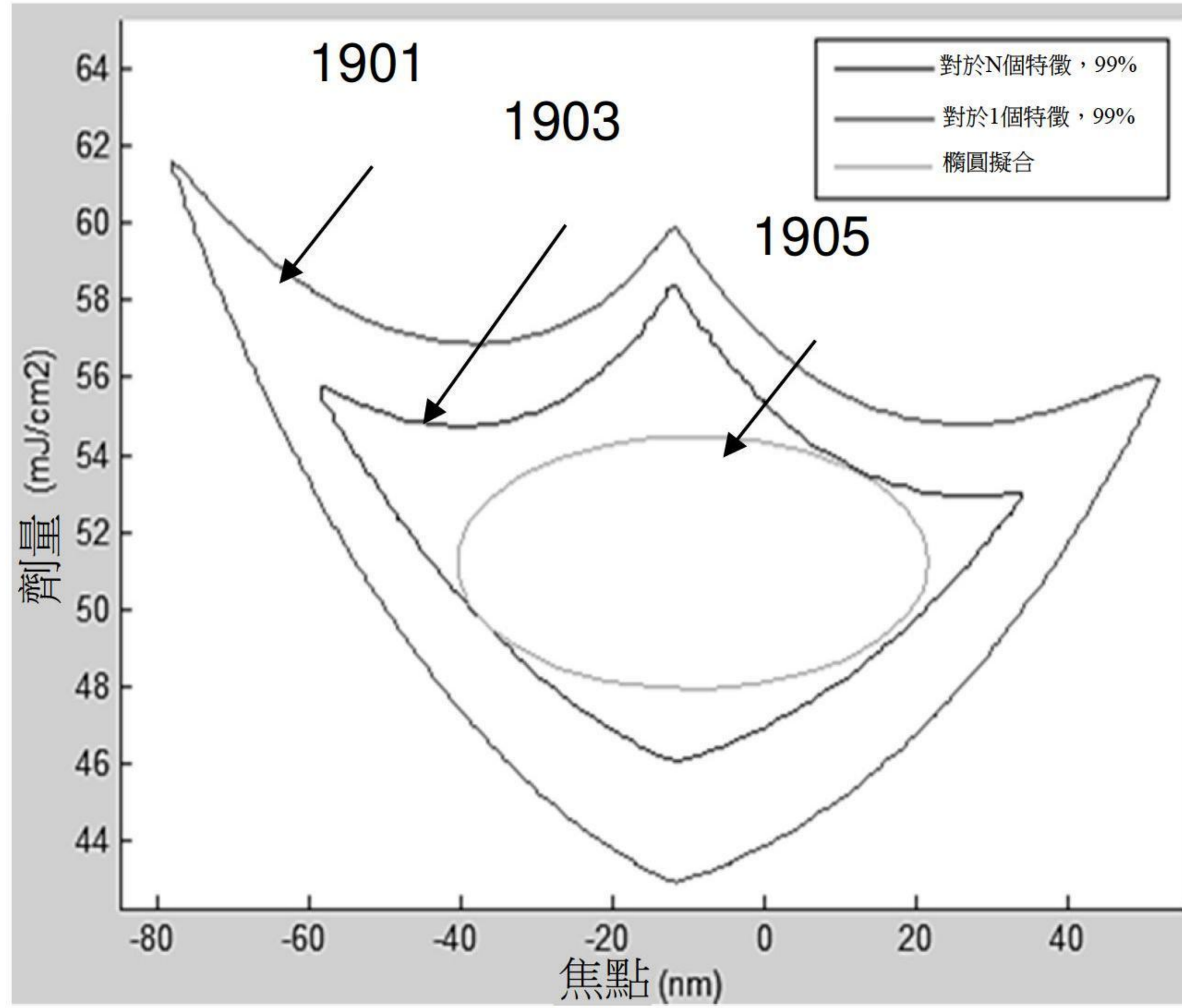


【圖11G】

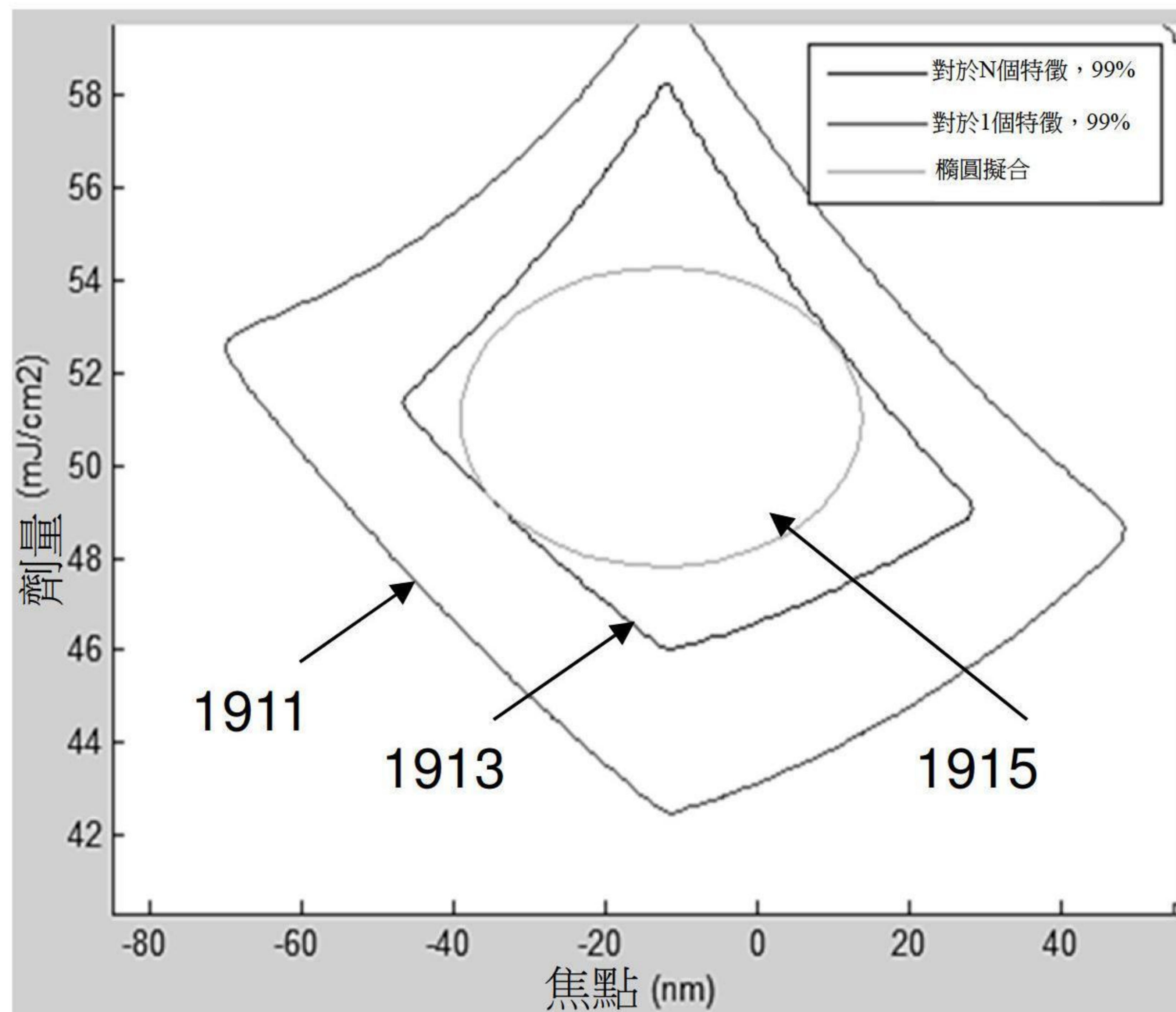


【圖11H】

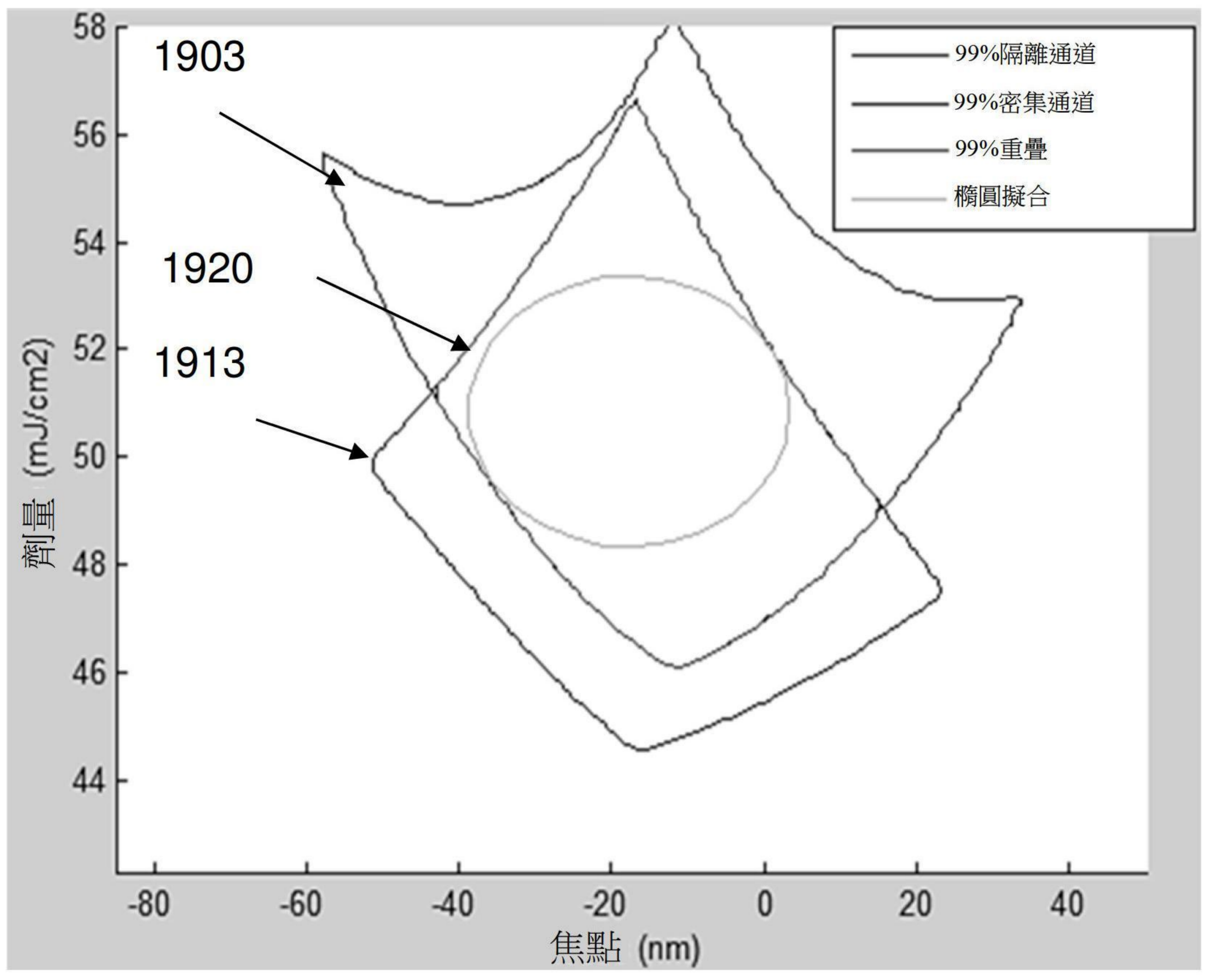
良率(%), 針對10⁶個特徵



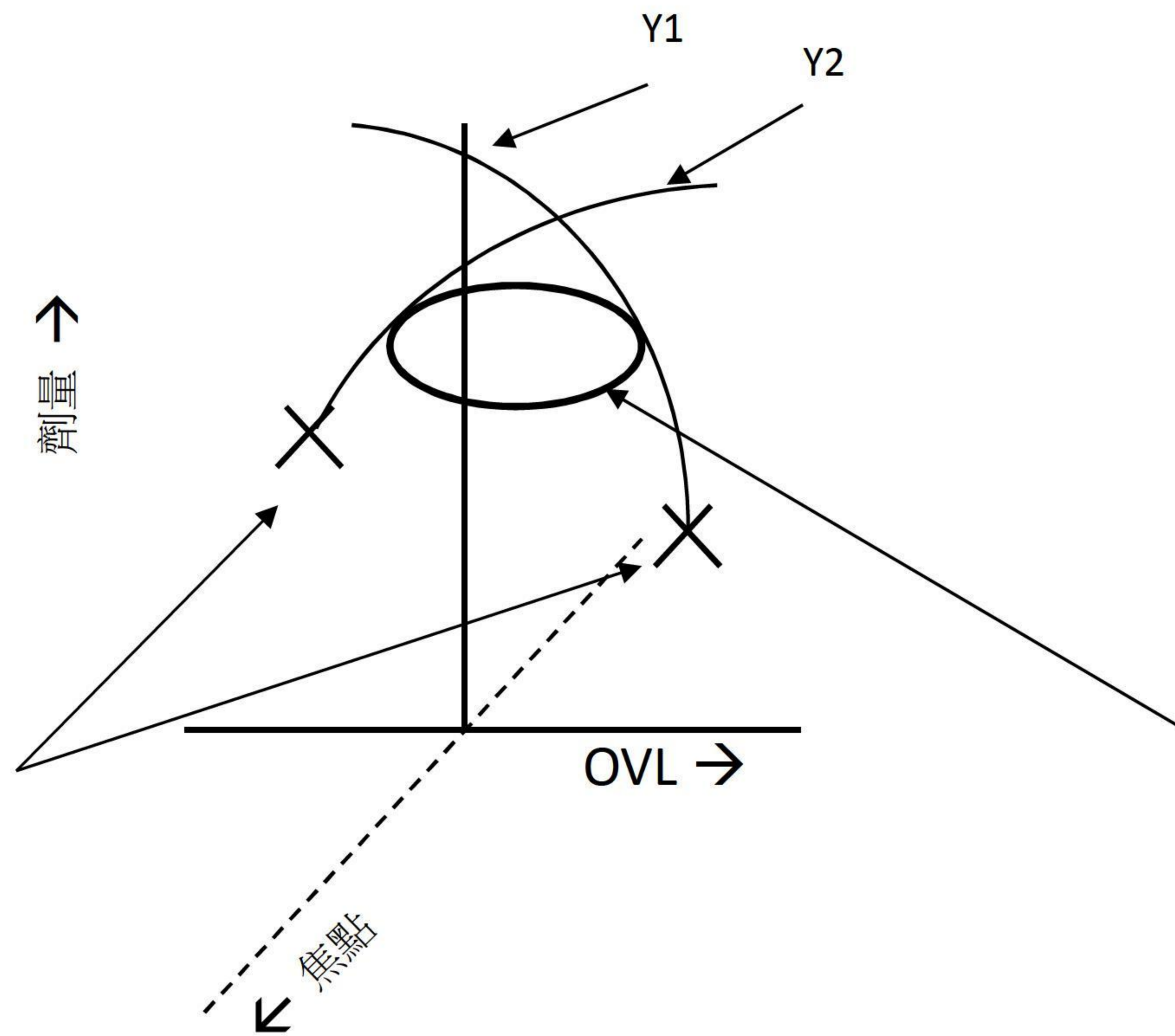
【圖12A】



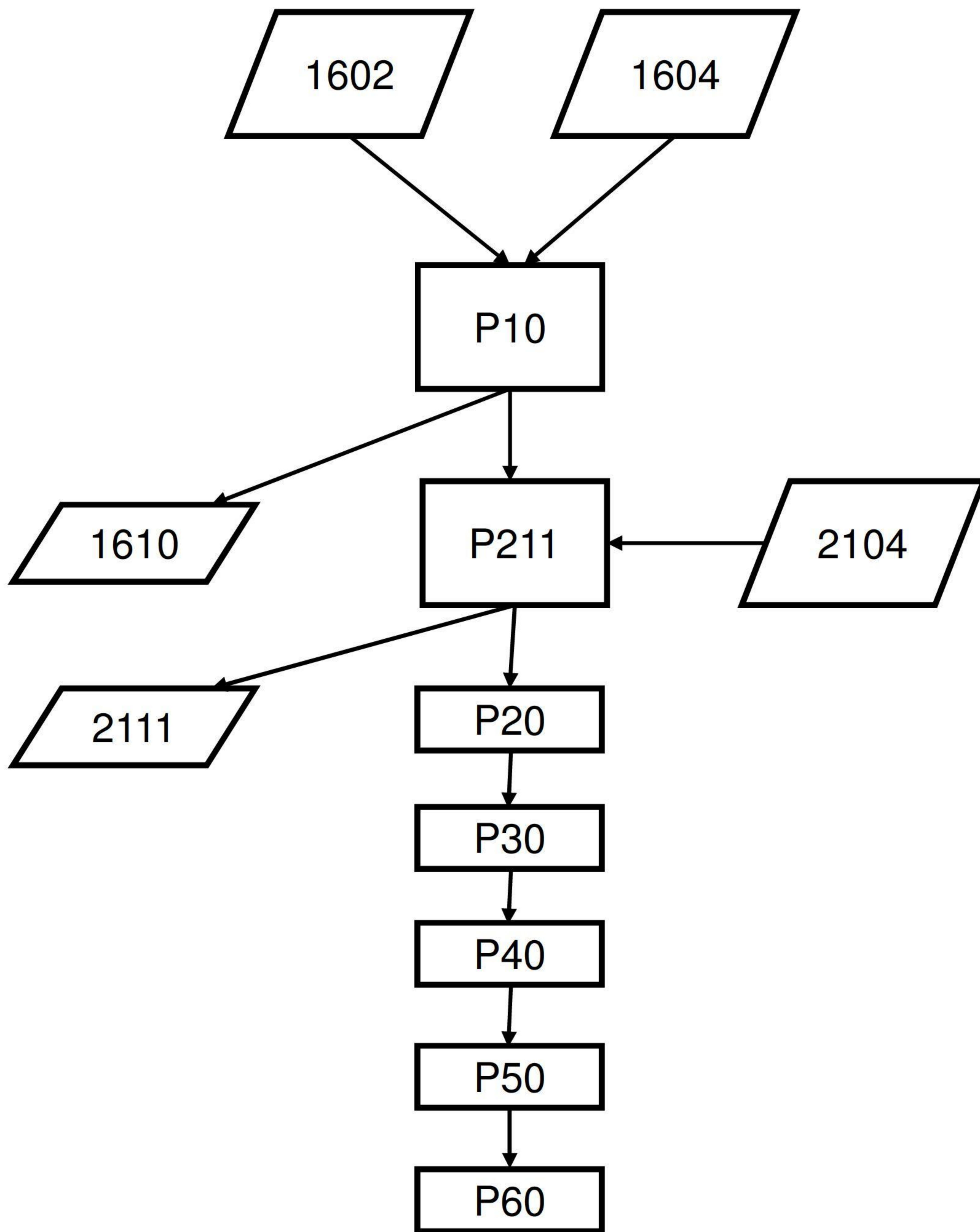
【圖12B】



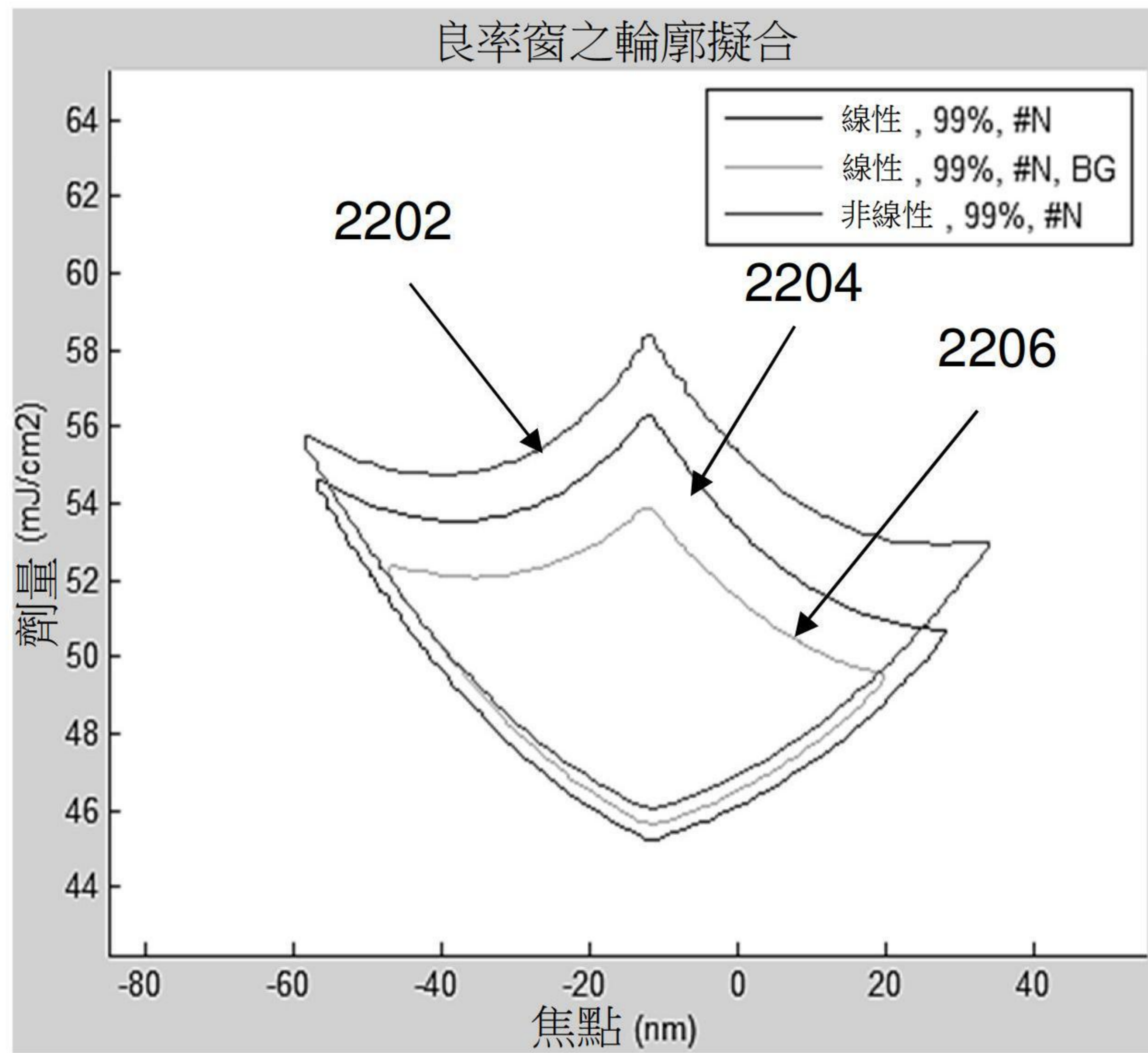
【圖12C】



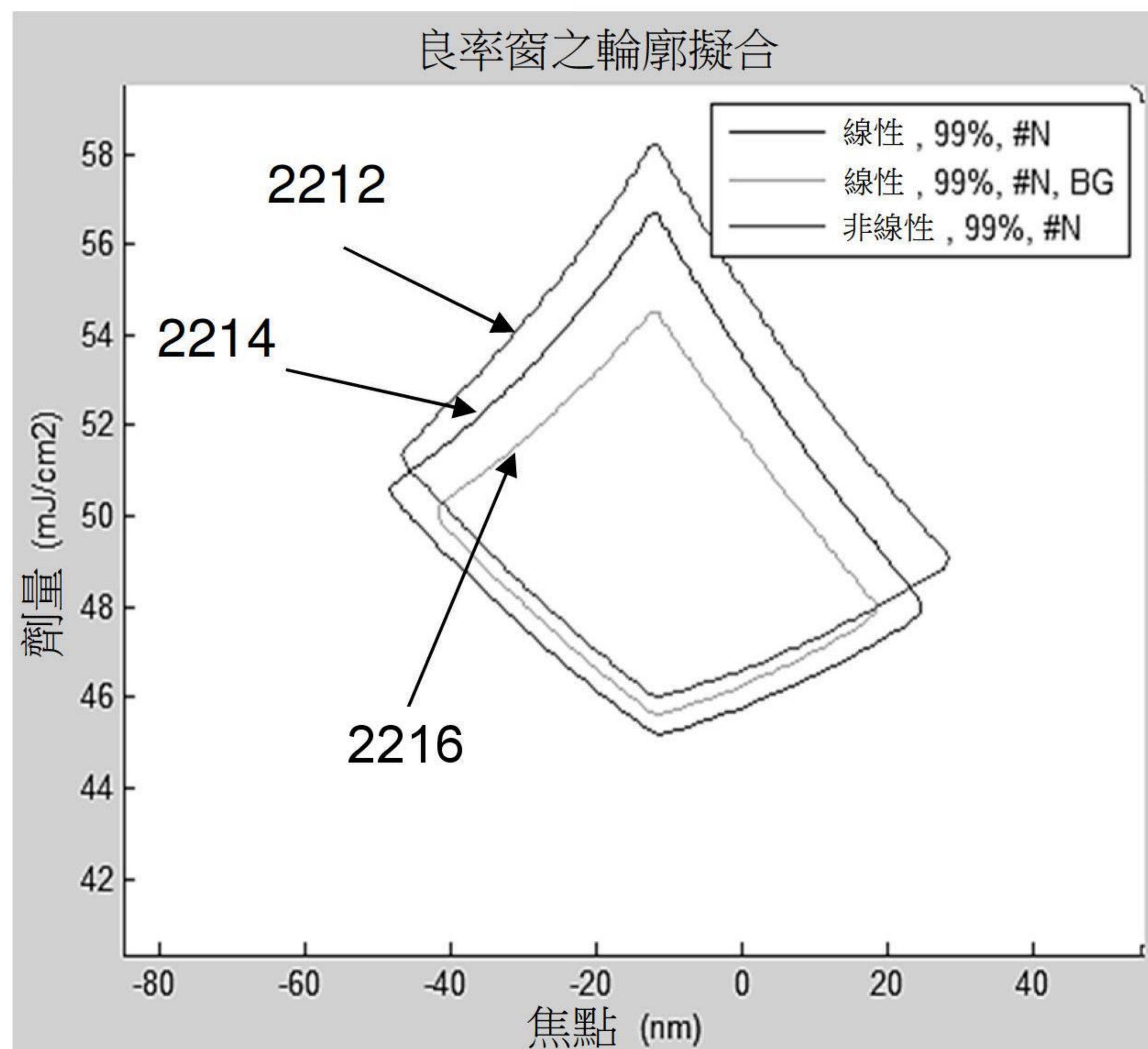
【圖13】



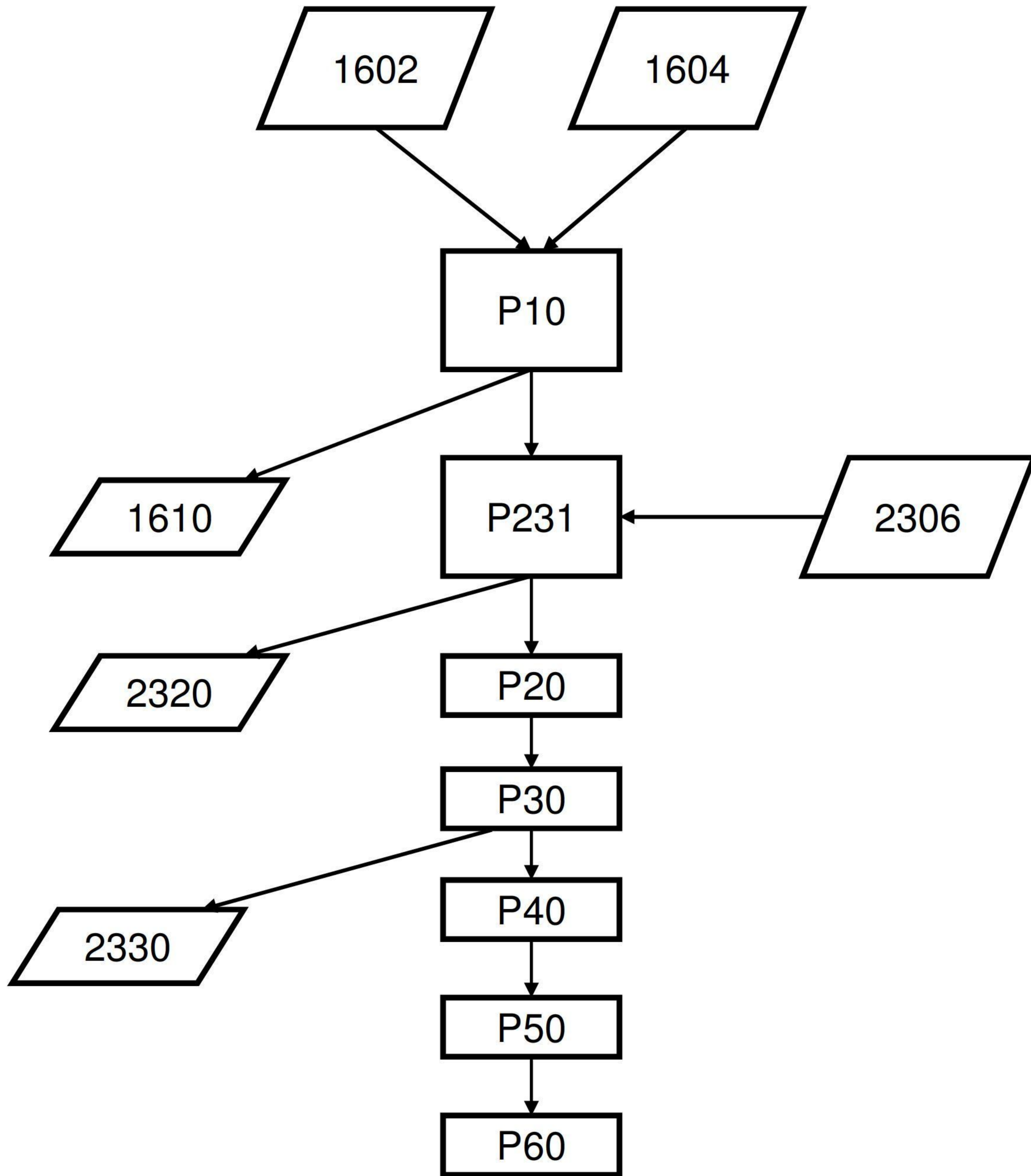
【圖14】



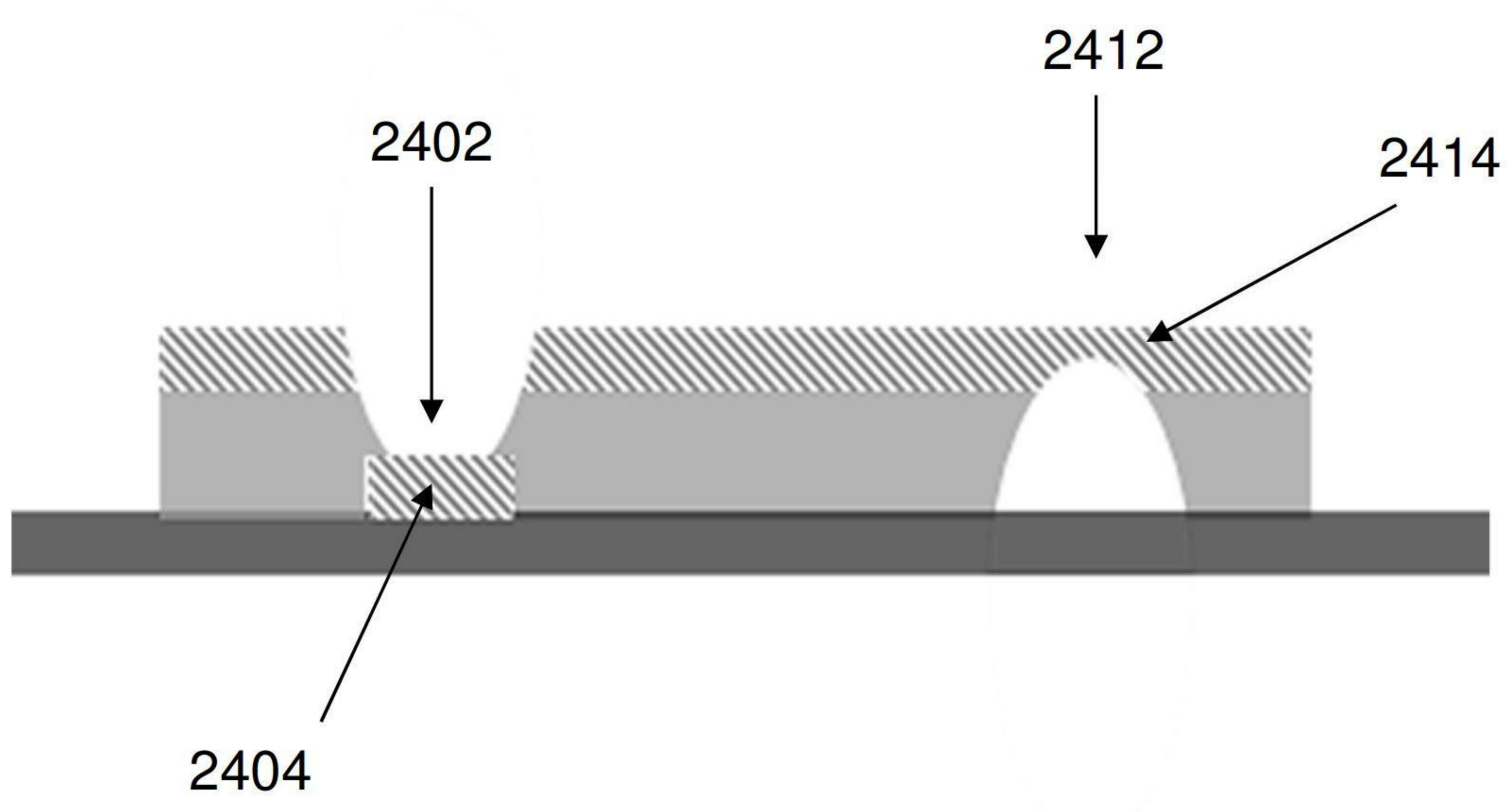
【圖15A】



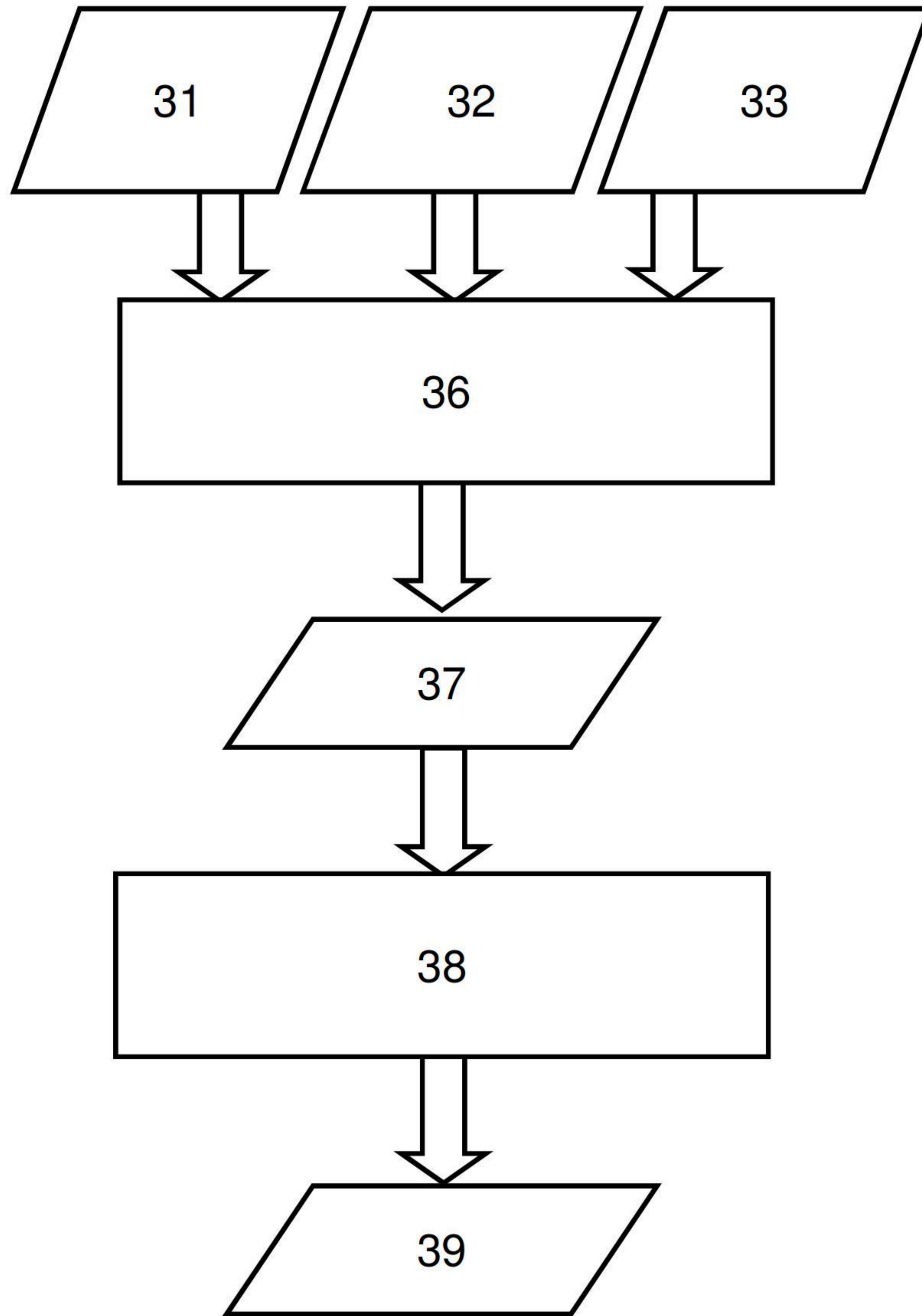
【圖15B】



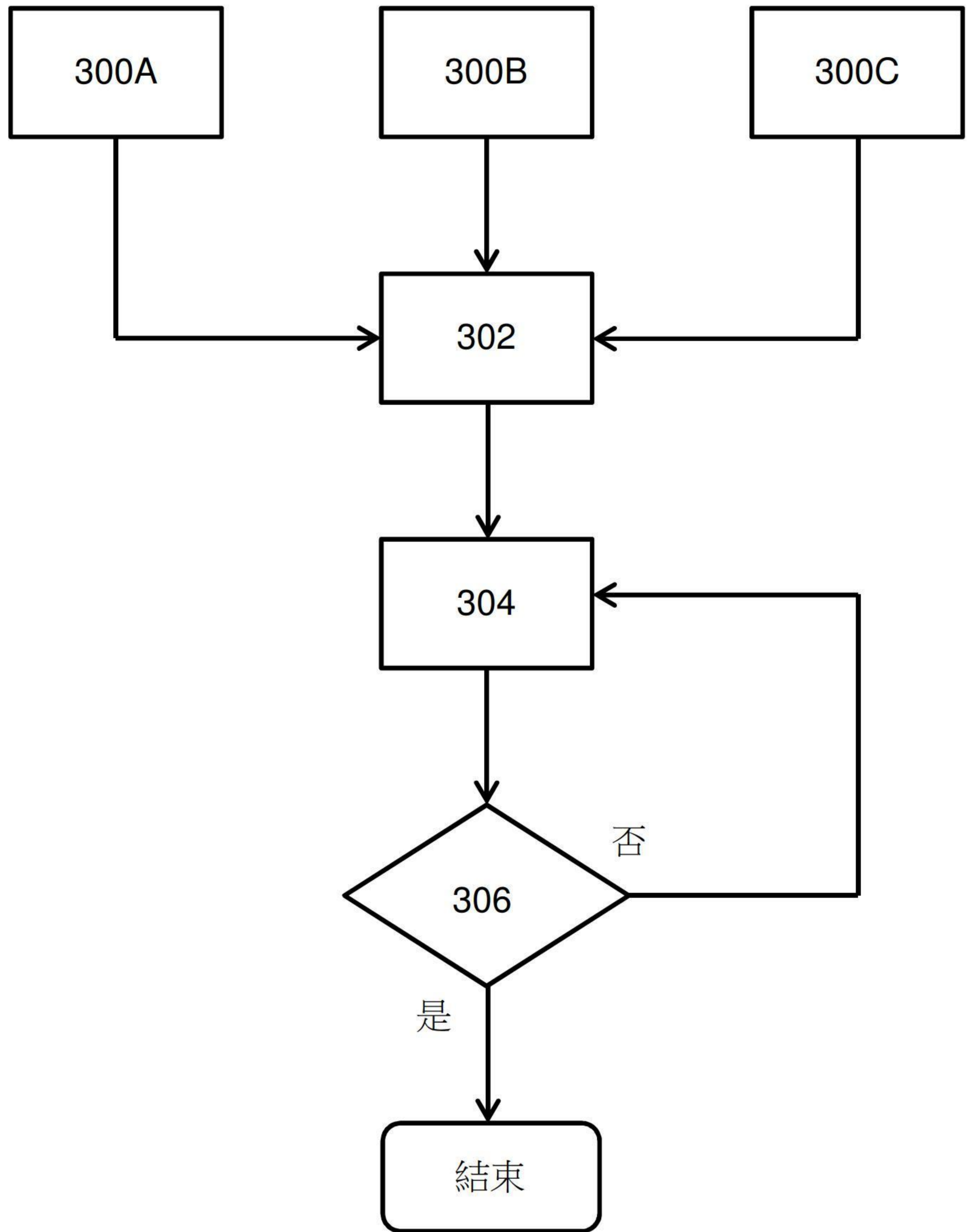
【圖16】



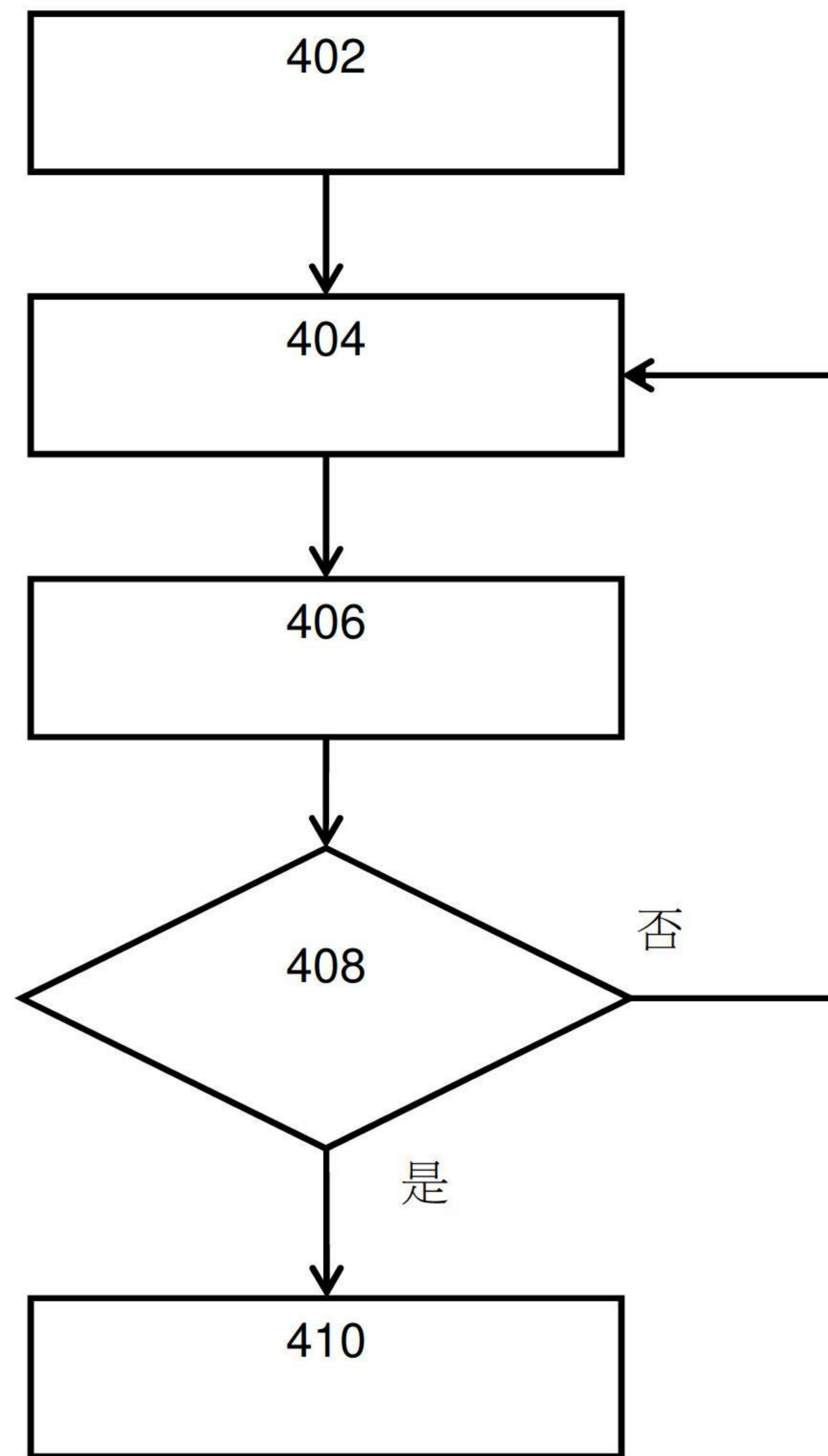
【圖17】



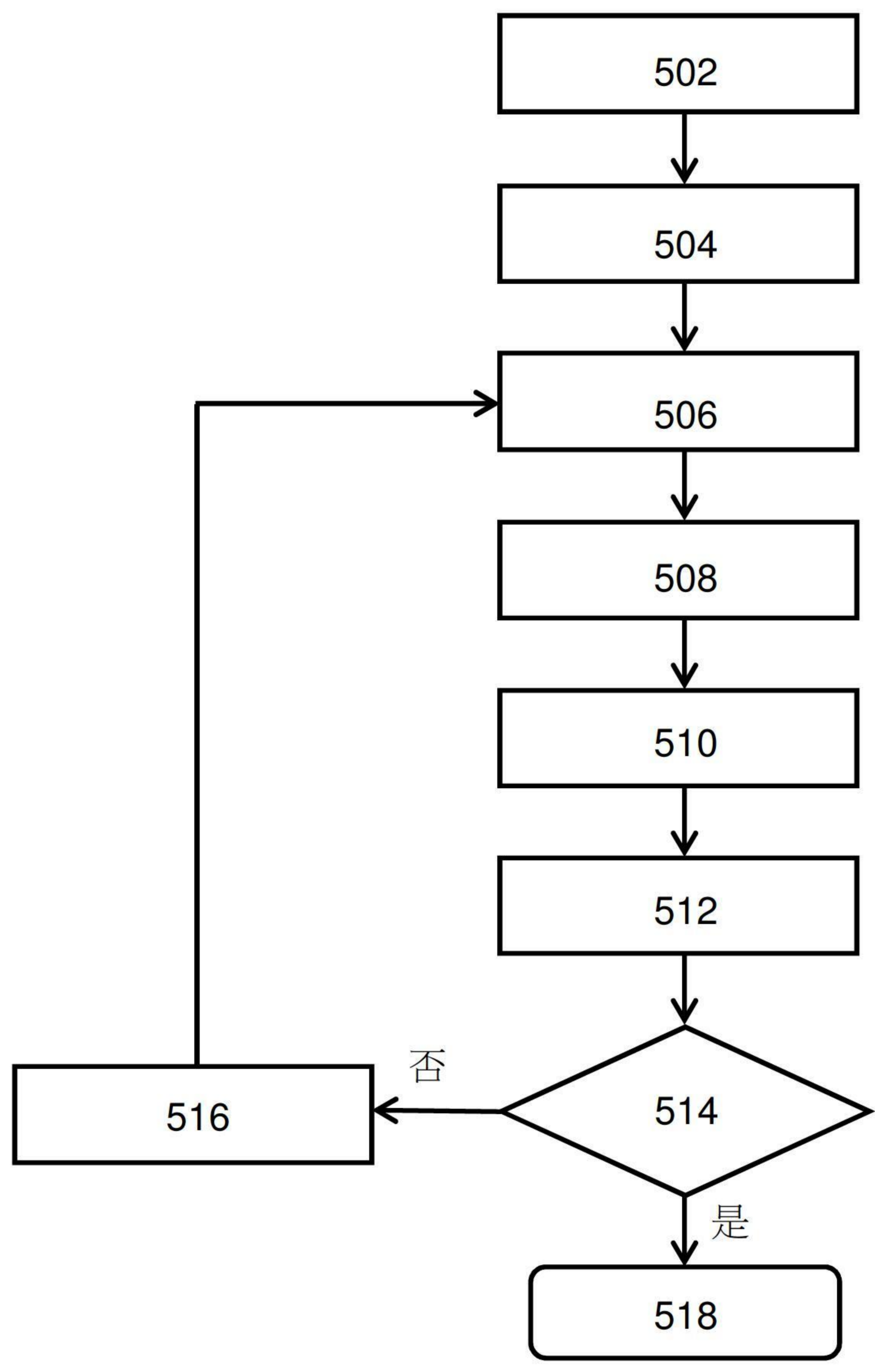
【圖18】



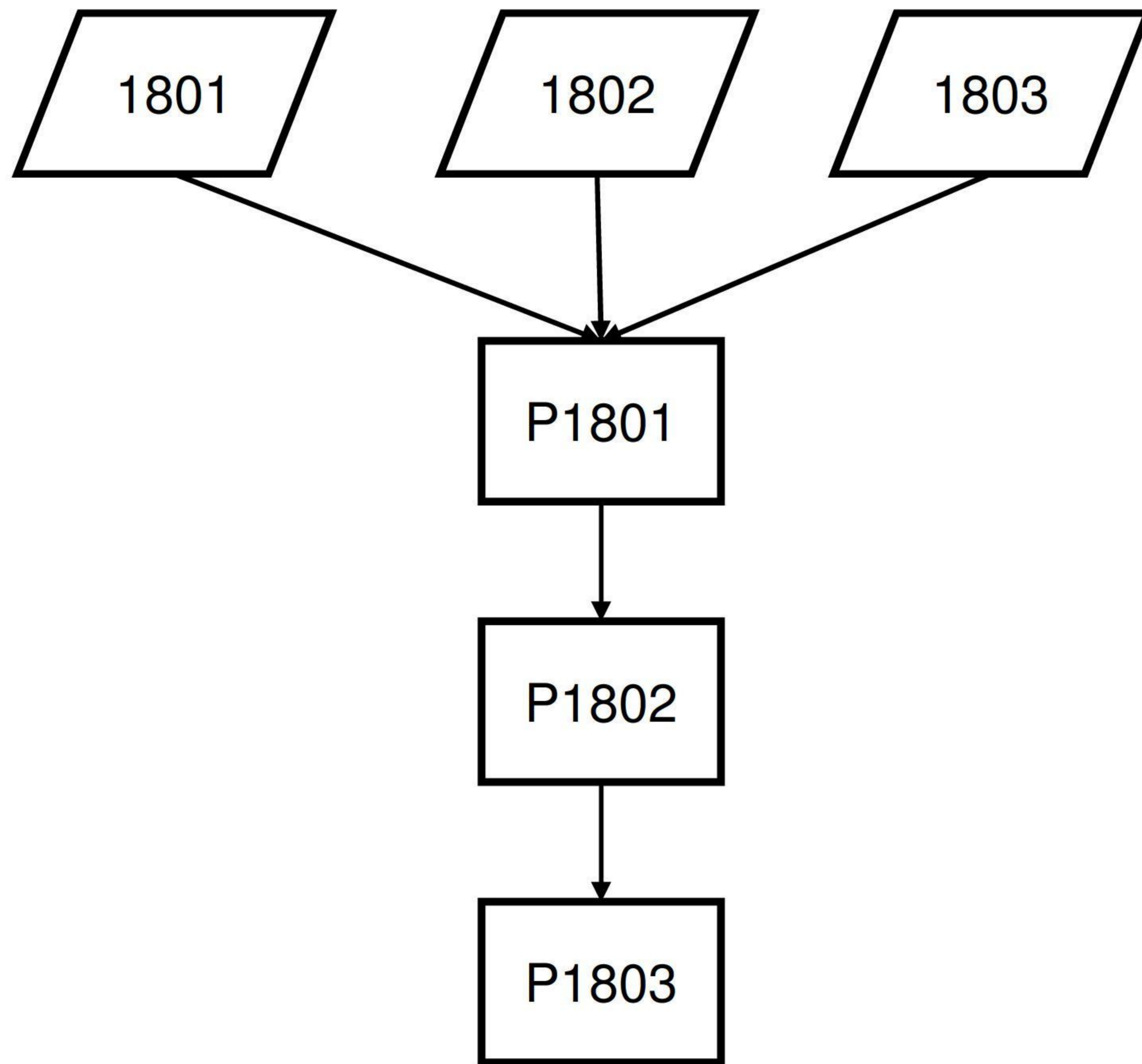
【圖19】



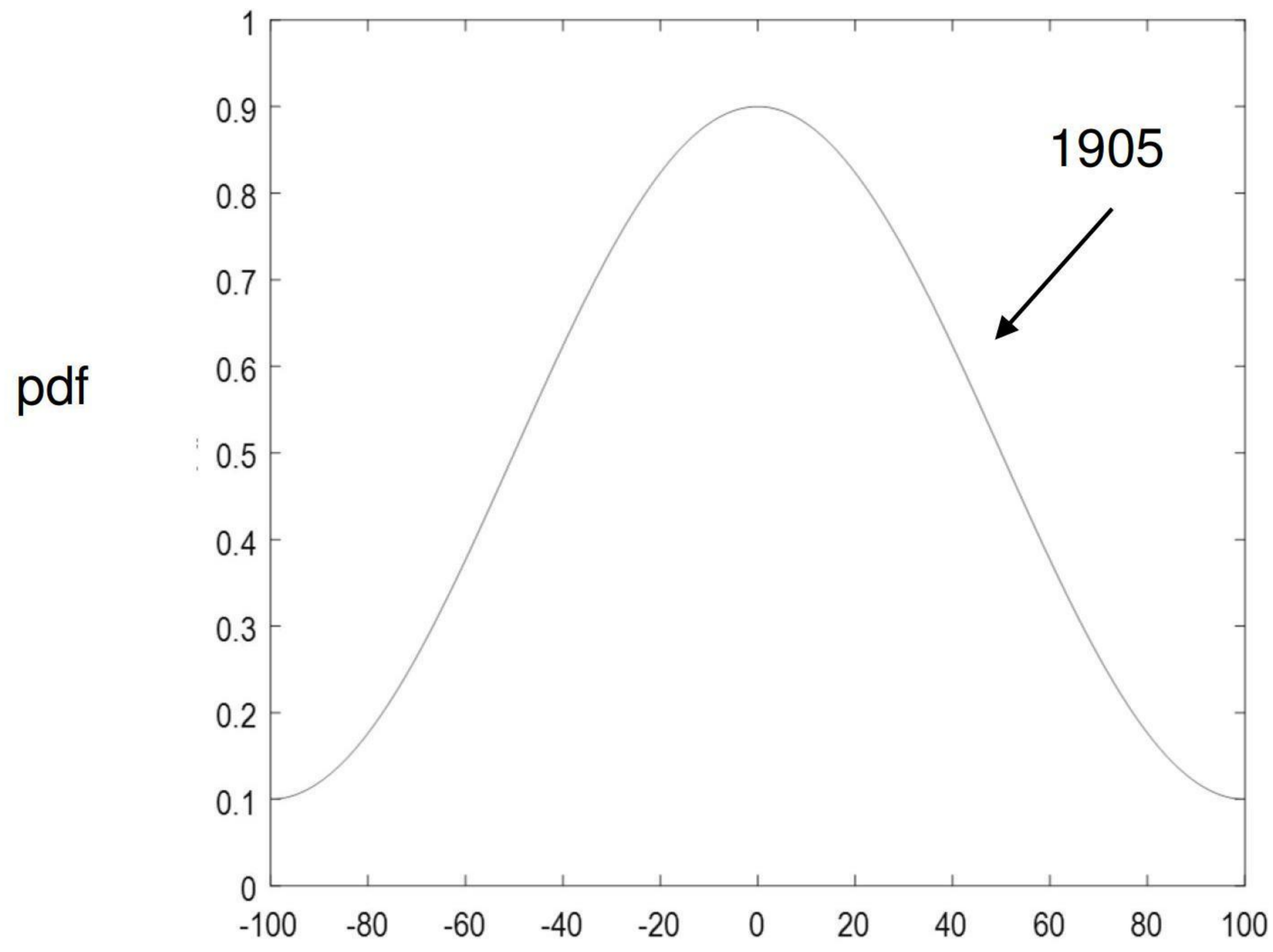
【圖20】



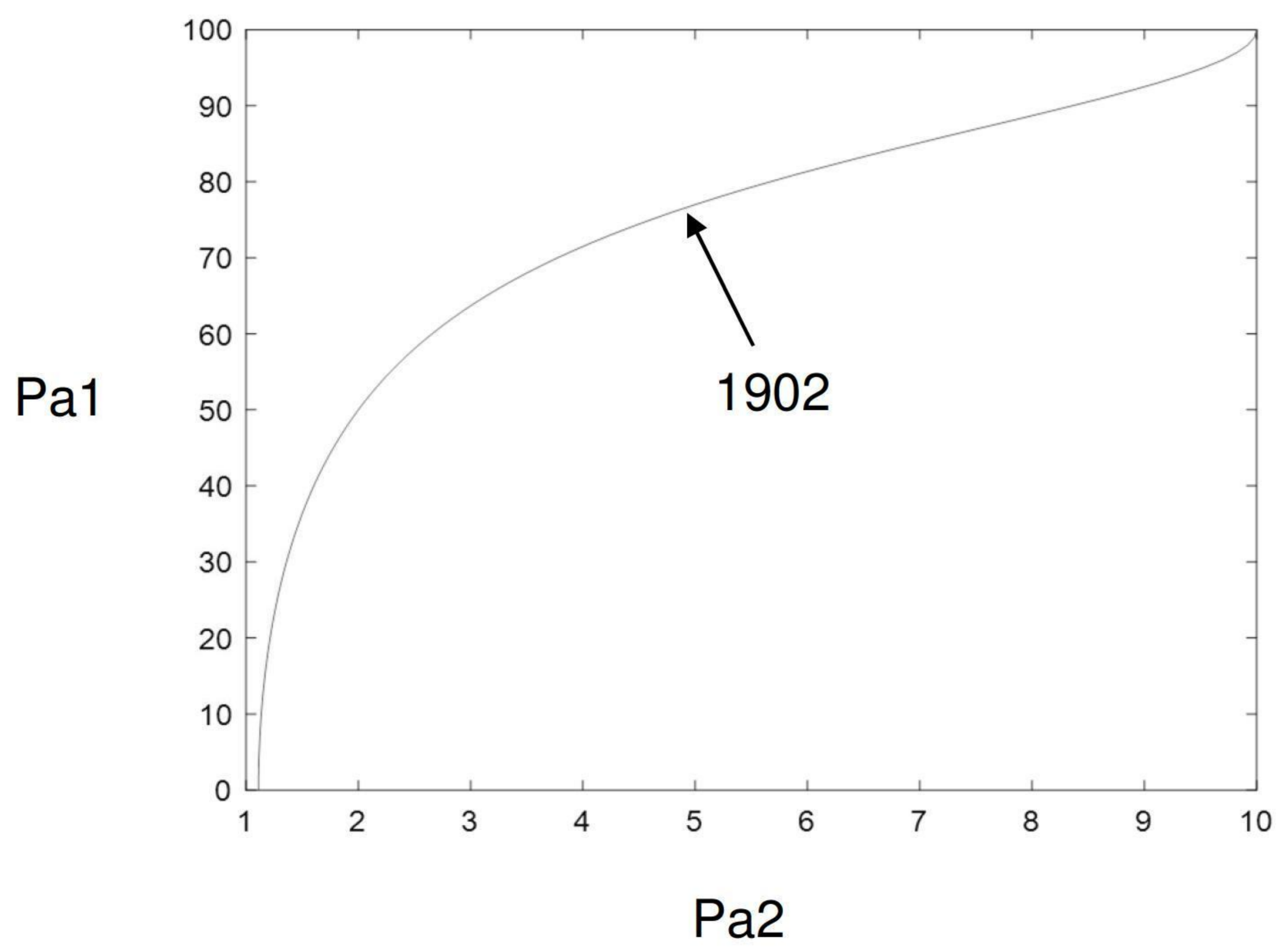
【圖21】



【圖22】

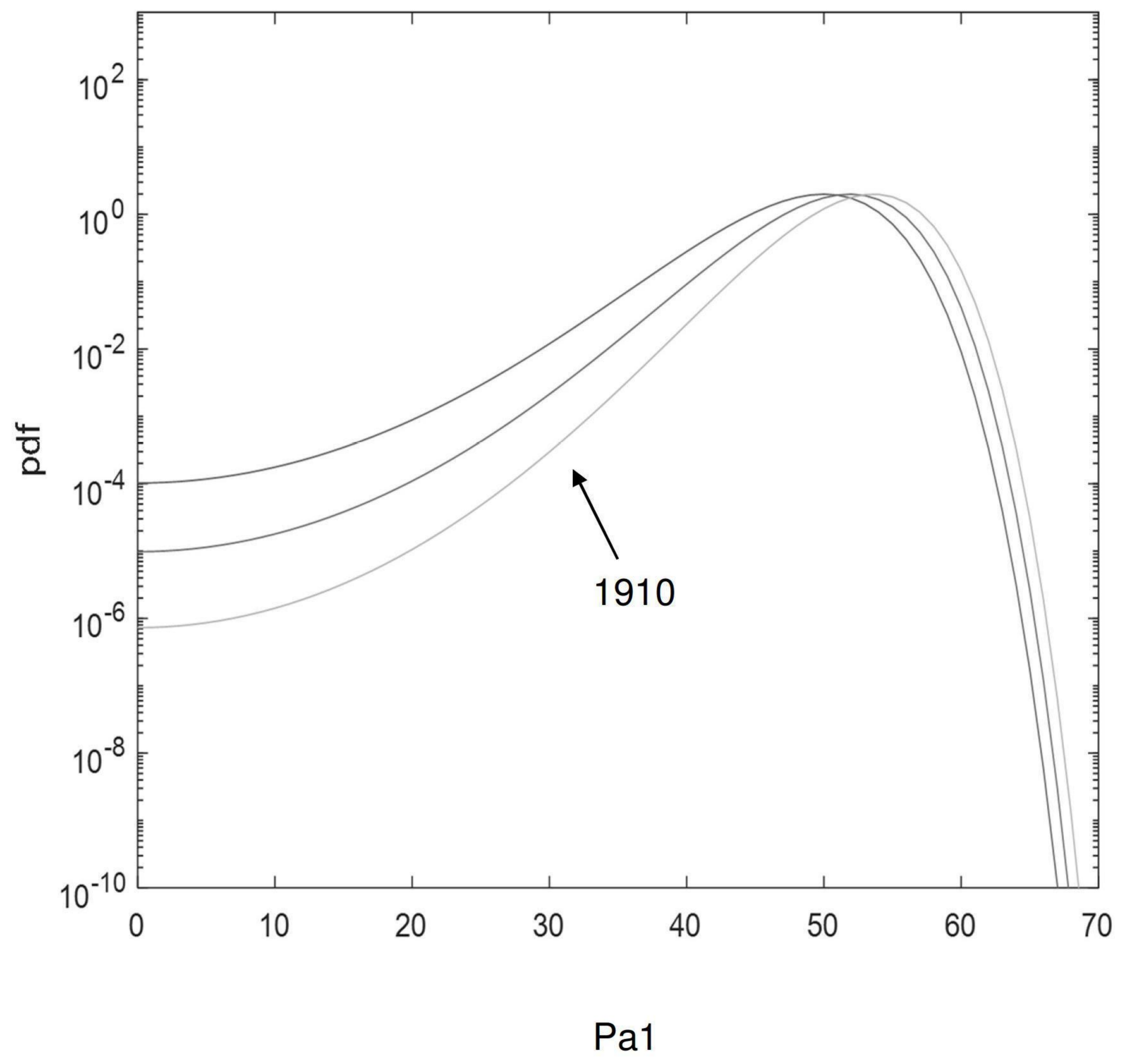


【圖23A】

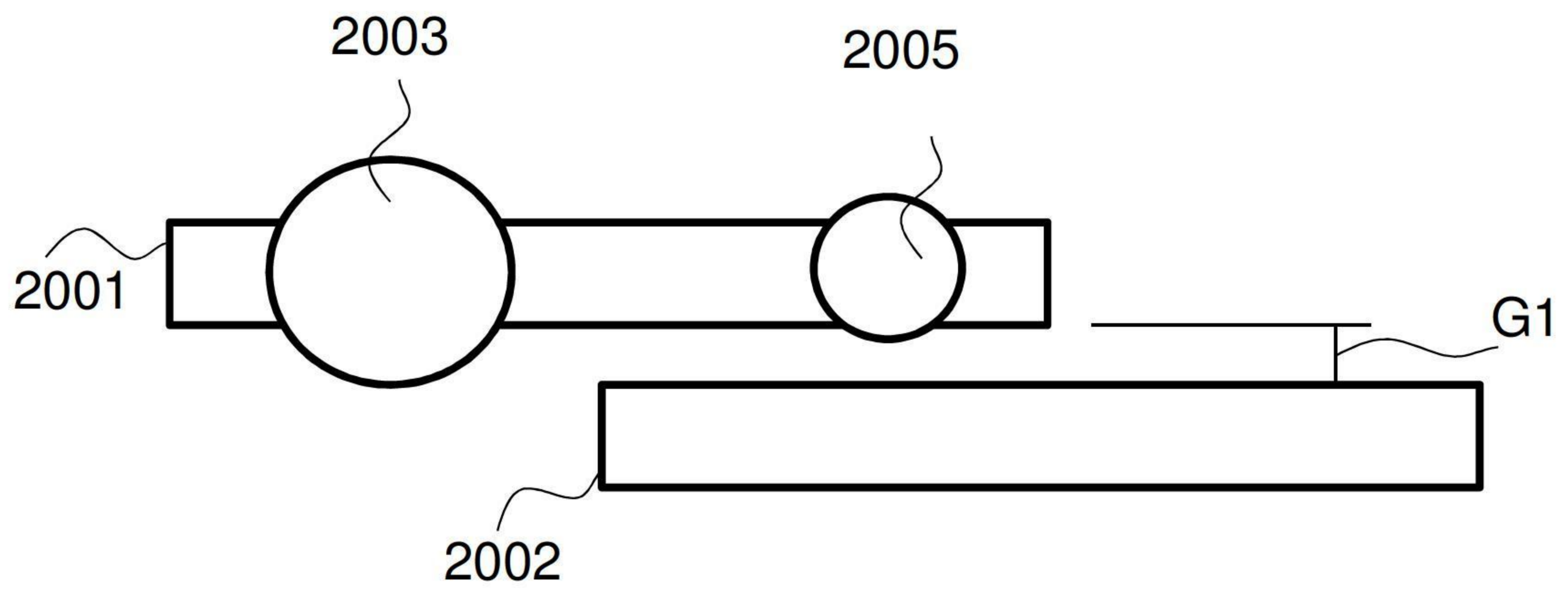


【圖23B】

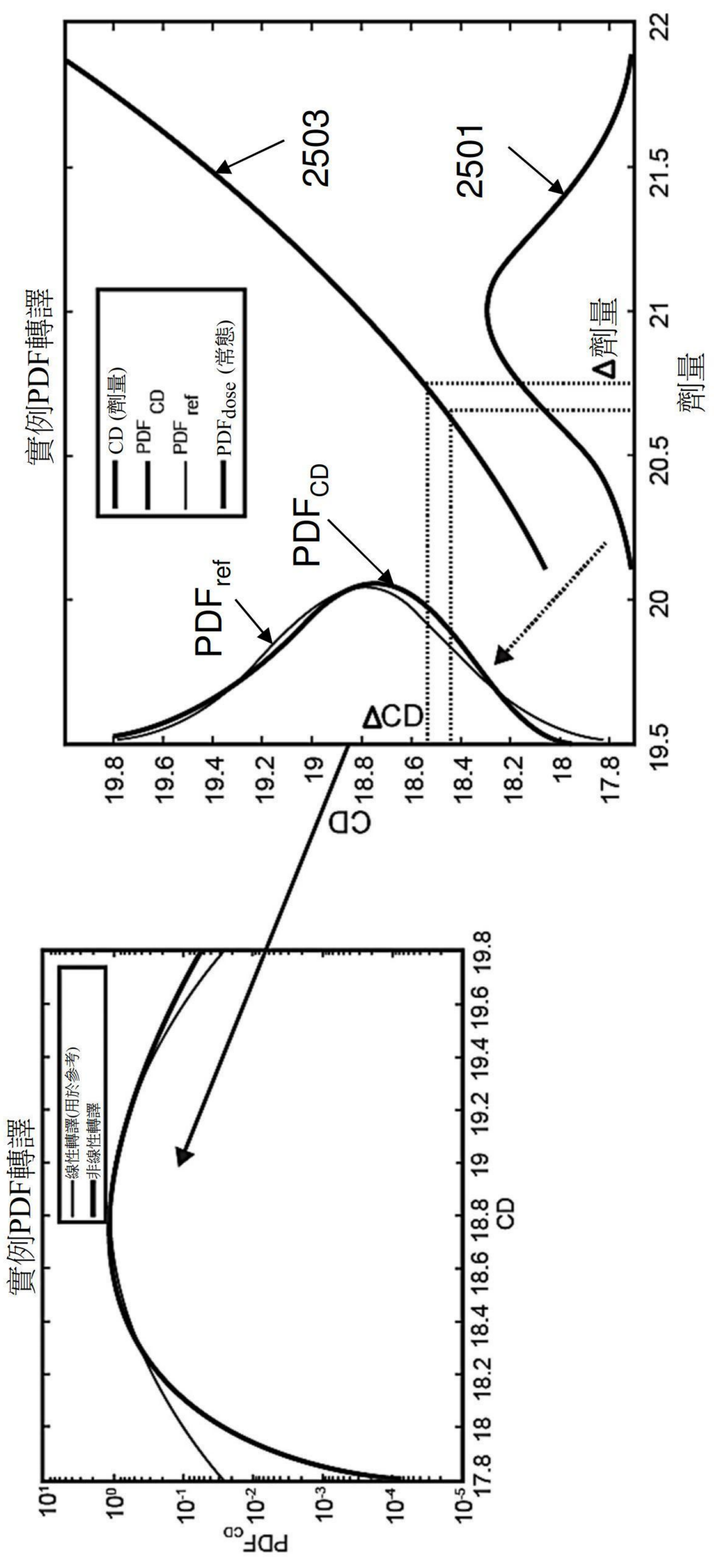
晶圓偏置之效應



【圖23C】

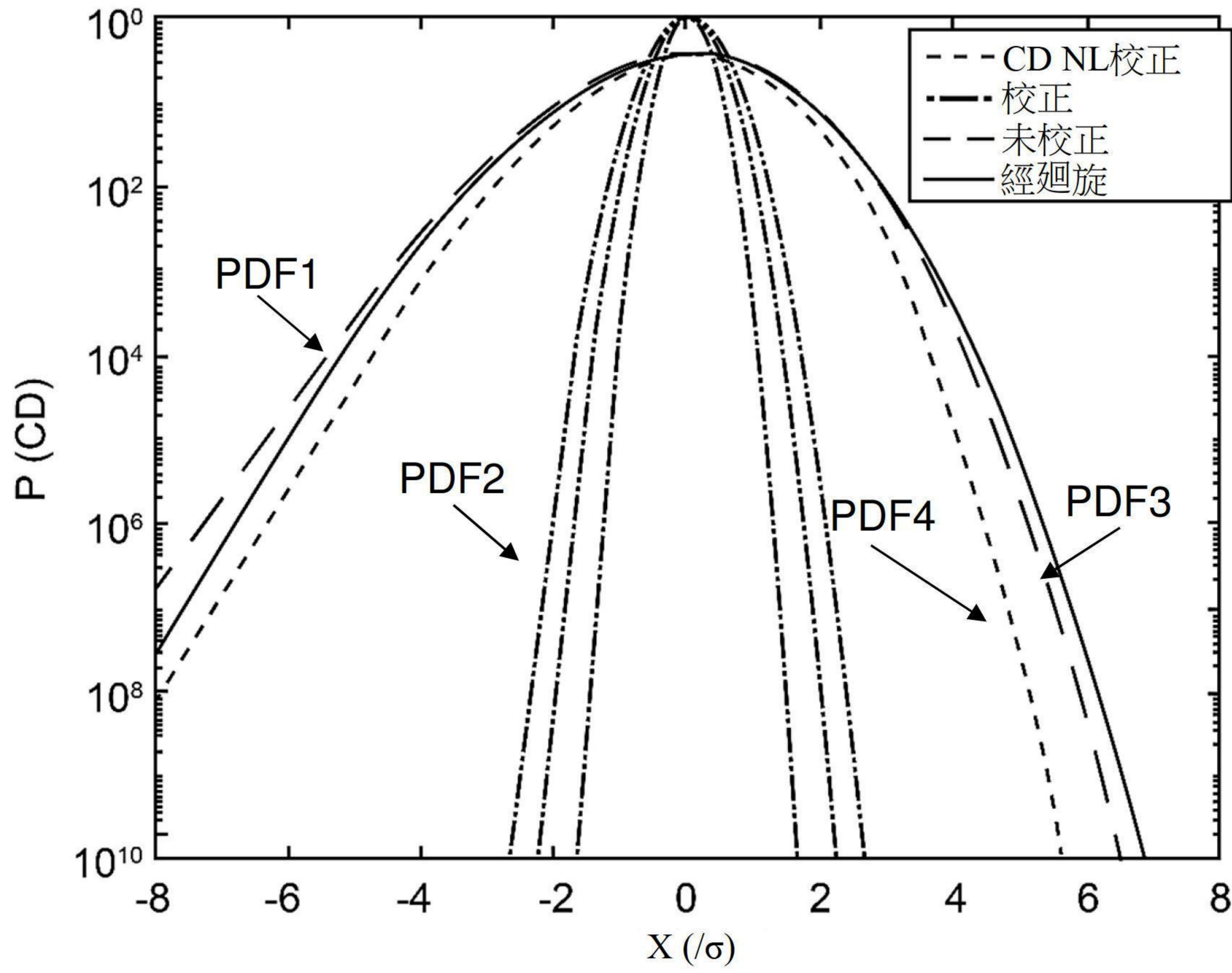


【圖24】

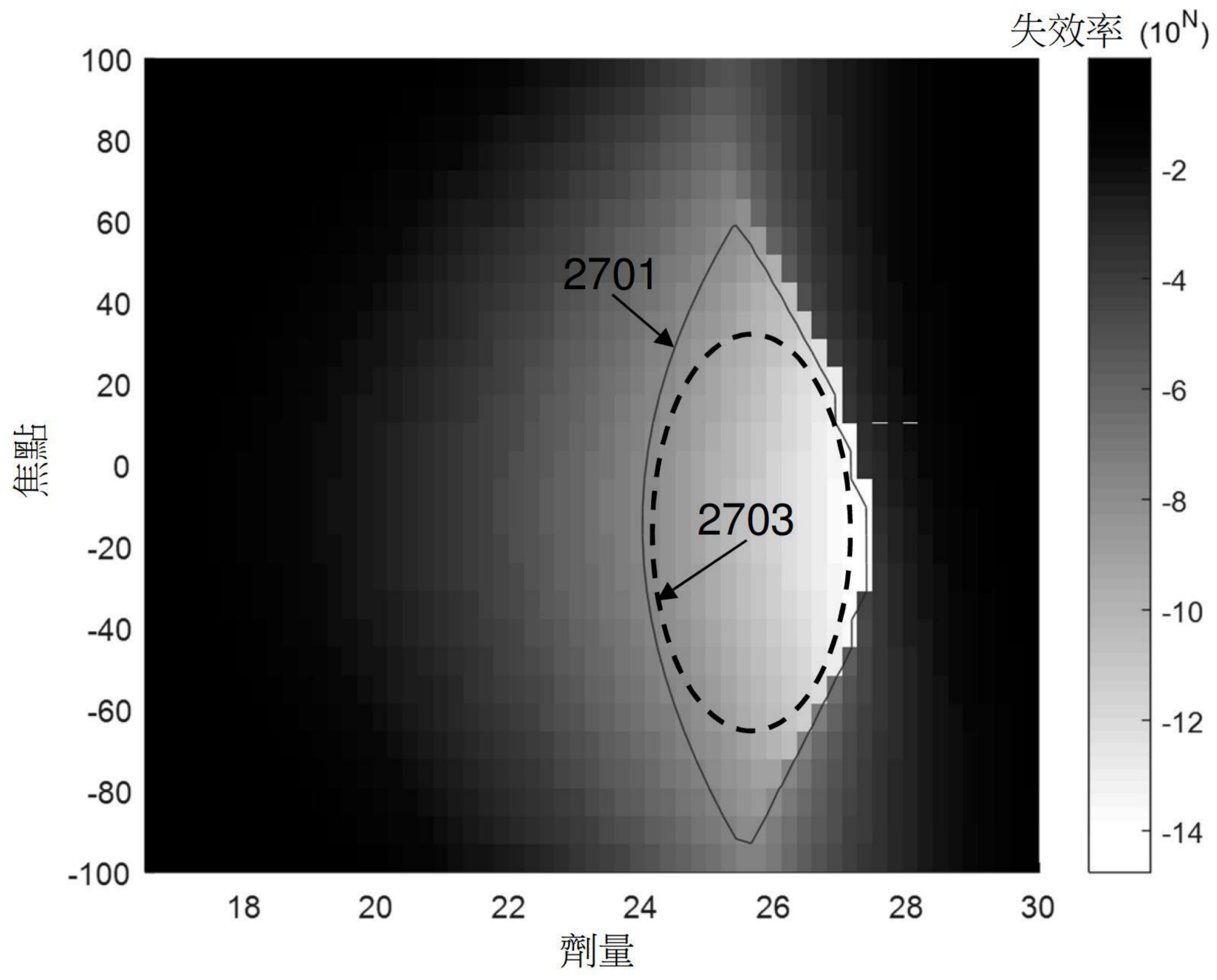


【圖25A】

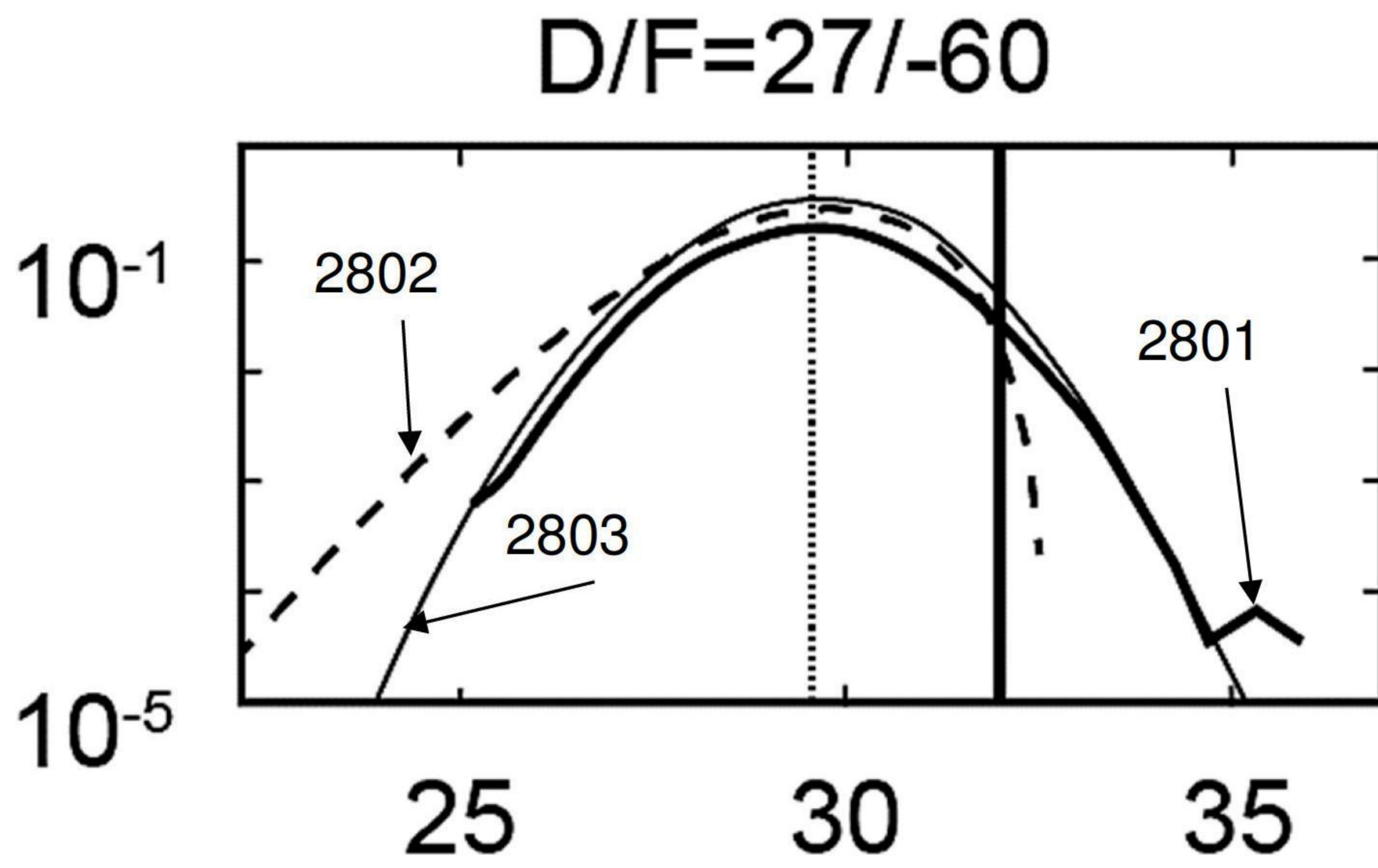
【圖25B】



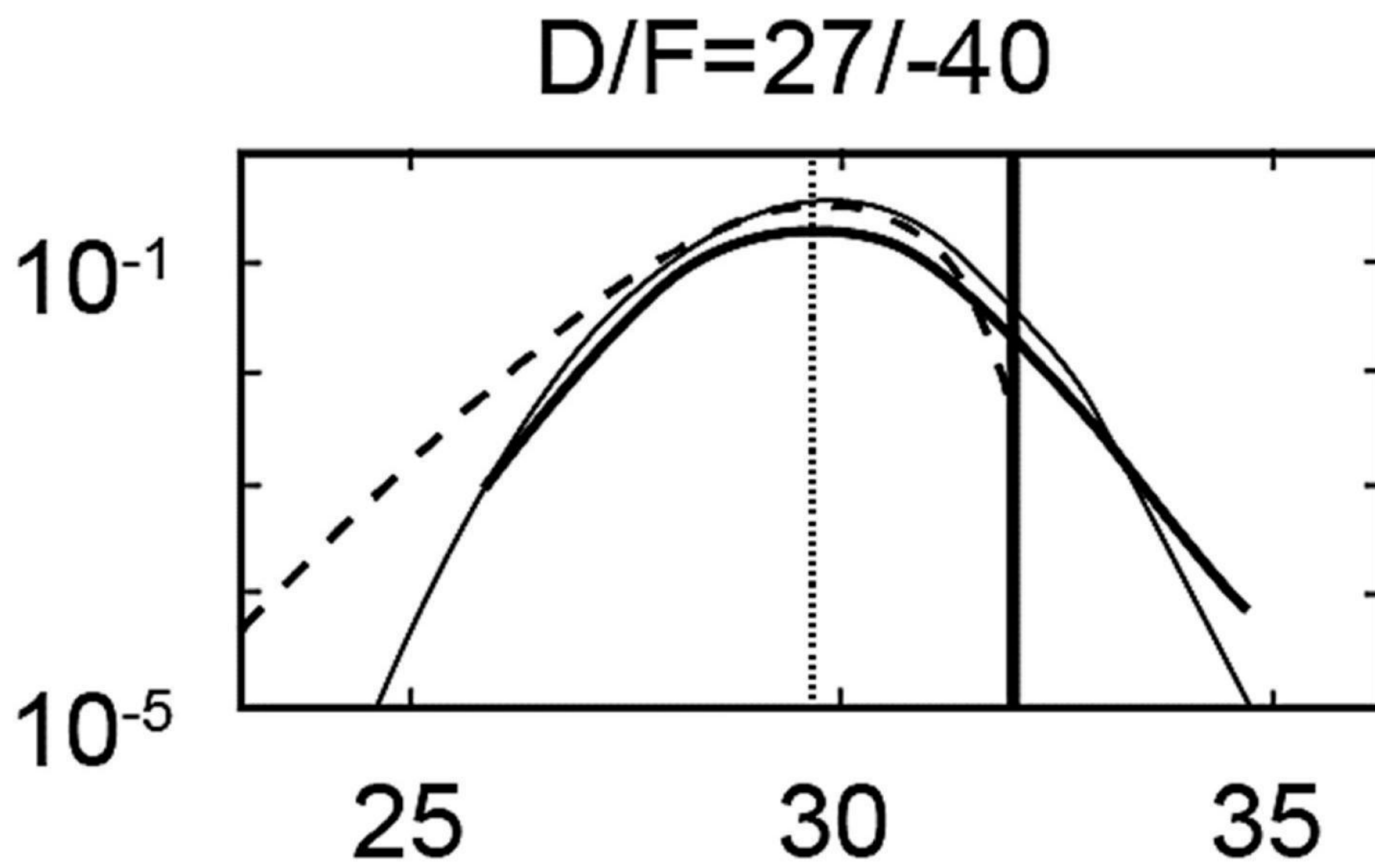
【圖26】



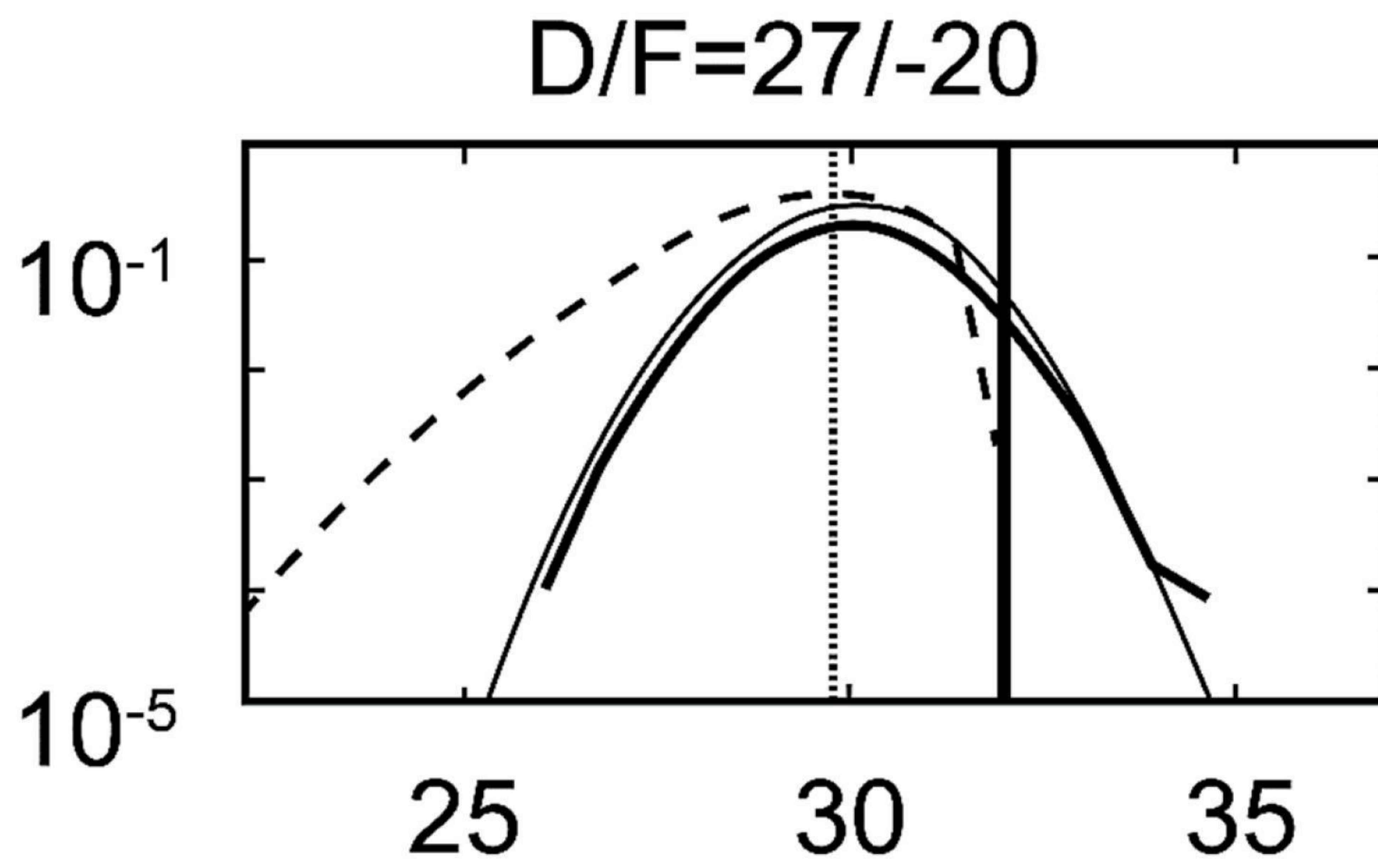
【圖27】



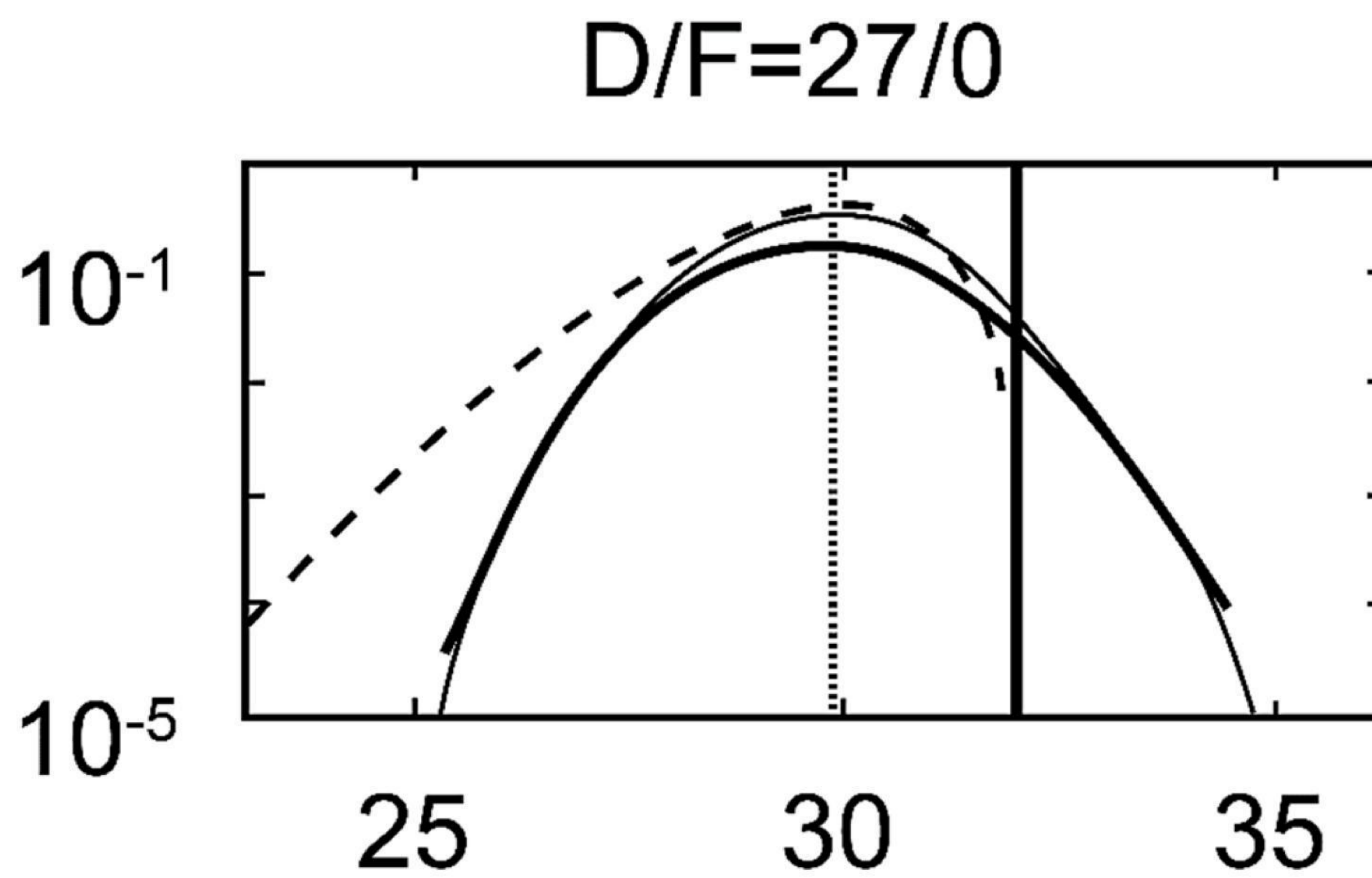
【圖28A】



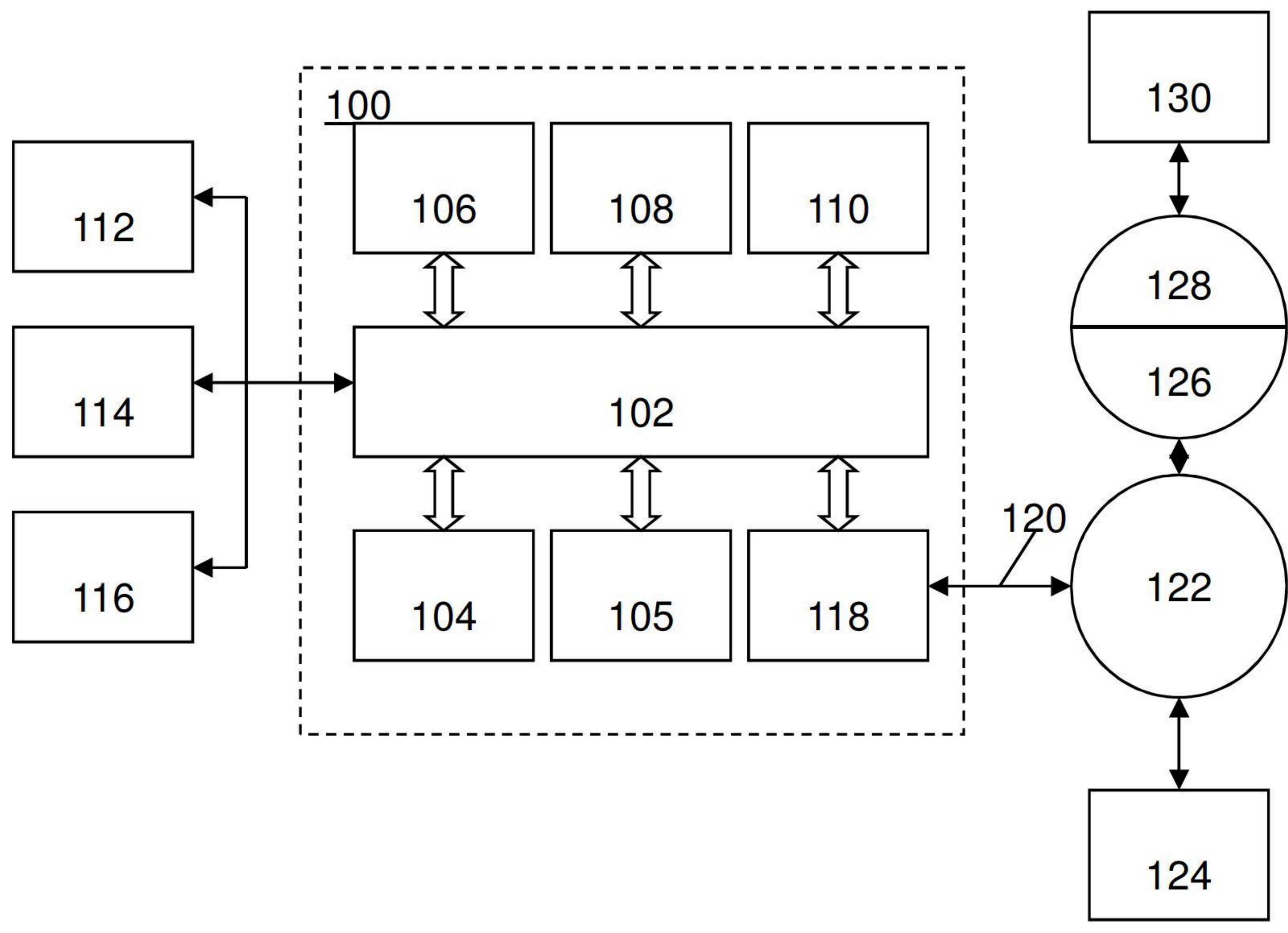
【圖28B】



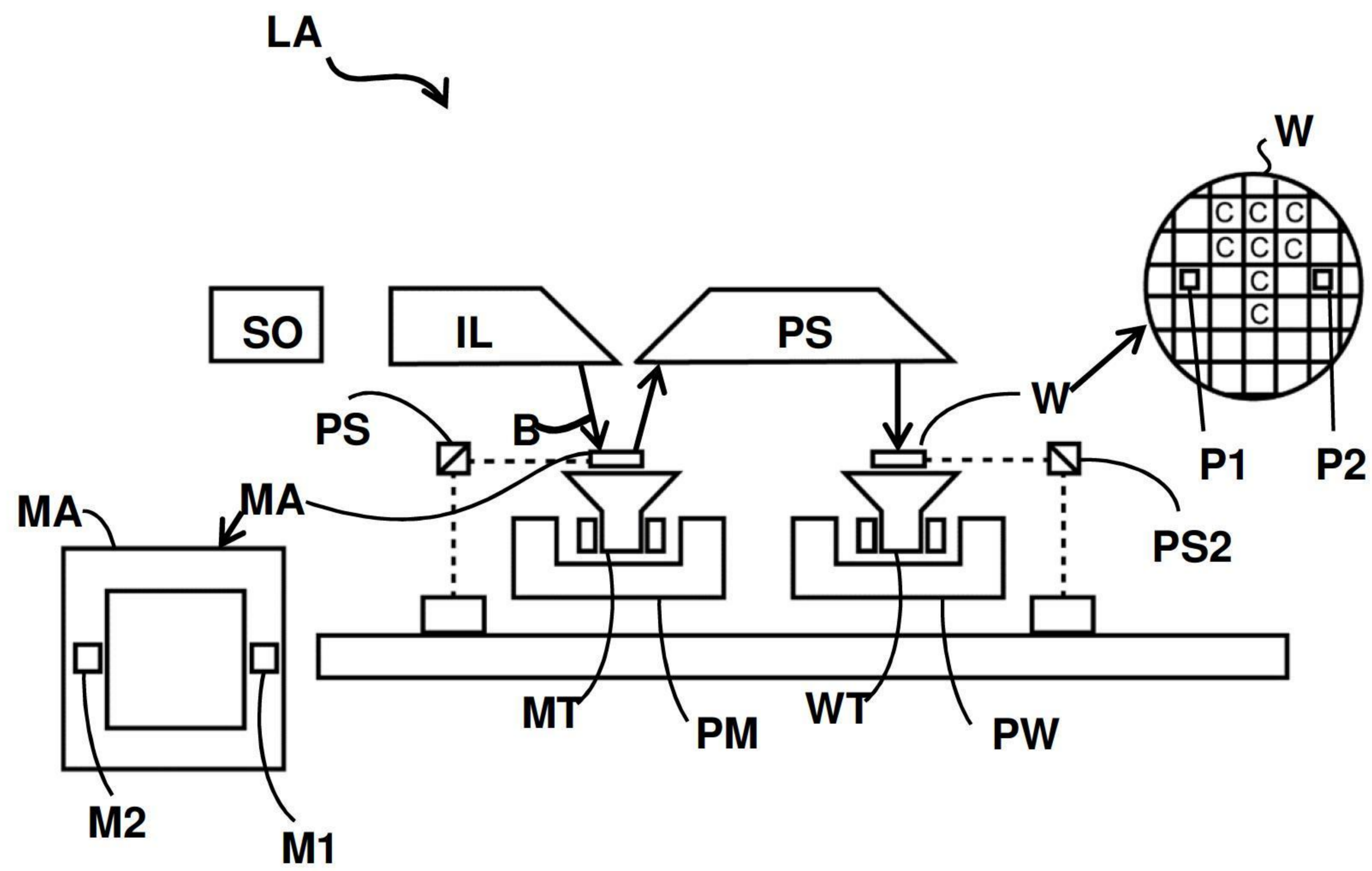
【圖28C】



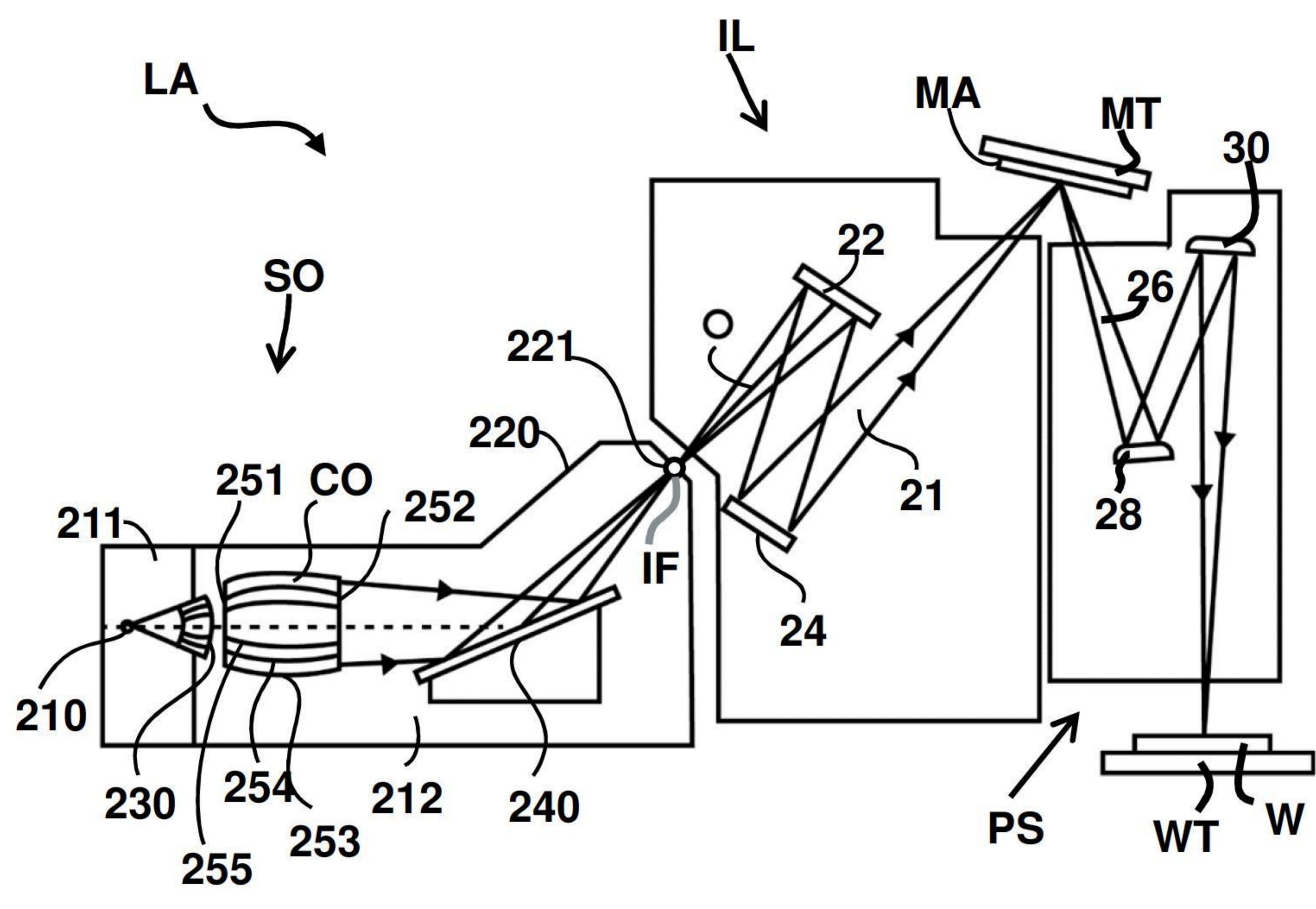
【圖28D】



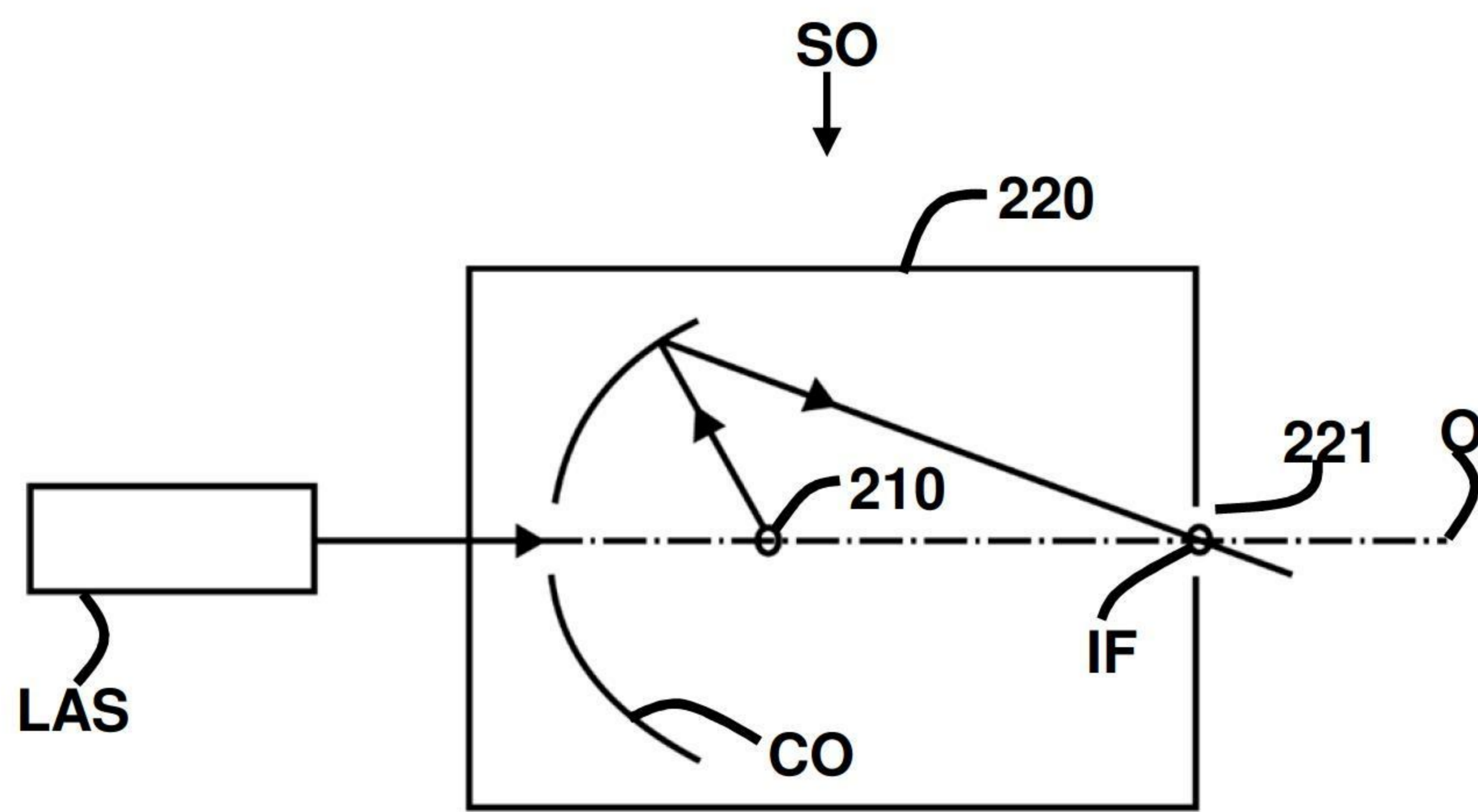
【圖29】



【圖30】



【圖31】



【圖32】