



(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 I728179 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 05 月 21 日

(21)申請案號：106129591

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 08 月 30 日

(51)Int. Cl. : G01N21/25 (2006.01)

G01B11/00 (2006.01)

G01J3/02 (2006.01)

G02B26/00 (2006.01)

(30)優先權：2016/08/31 美國

62/381,987

2017/07/14 美國

15/649,843

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

美國

(72)發明人：舟艾柏 浩山姆 CHOUAIB, HOUSSAM (LB)；趙 寬 ZHAO, QIANG (US)；舒傑

葛洛夫 安德烈 V SHCHEGROV, ANDREI V. (US)；譚 正泉 TAN,

ZHENGQUAN (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201511155A

US 8798966B1

US 2006/0290923A1

US 2013/0083320A1

審查人員：陳勇志

申請專利範圍項數：27 項 圖式數：18 共 59 頁

(54)名稱

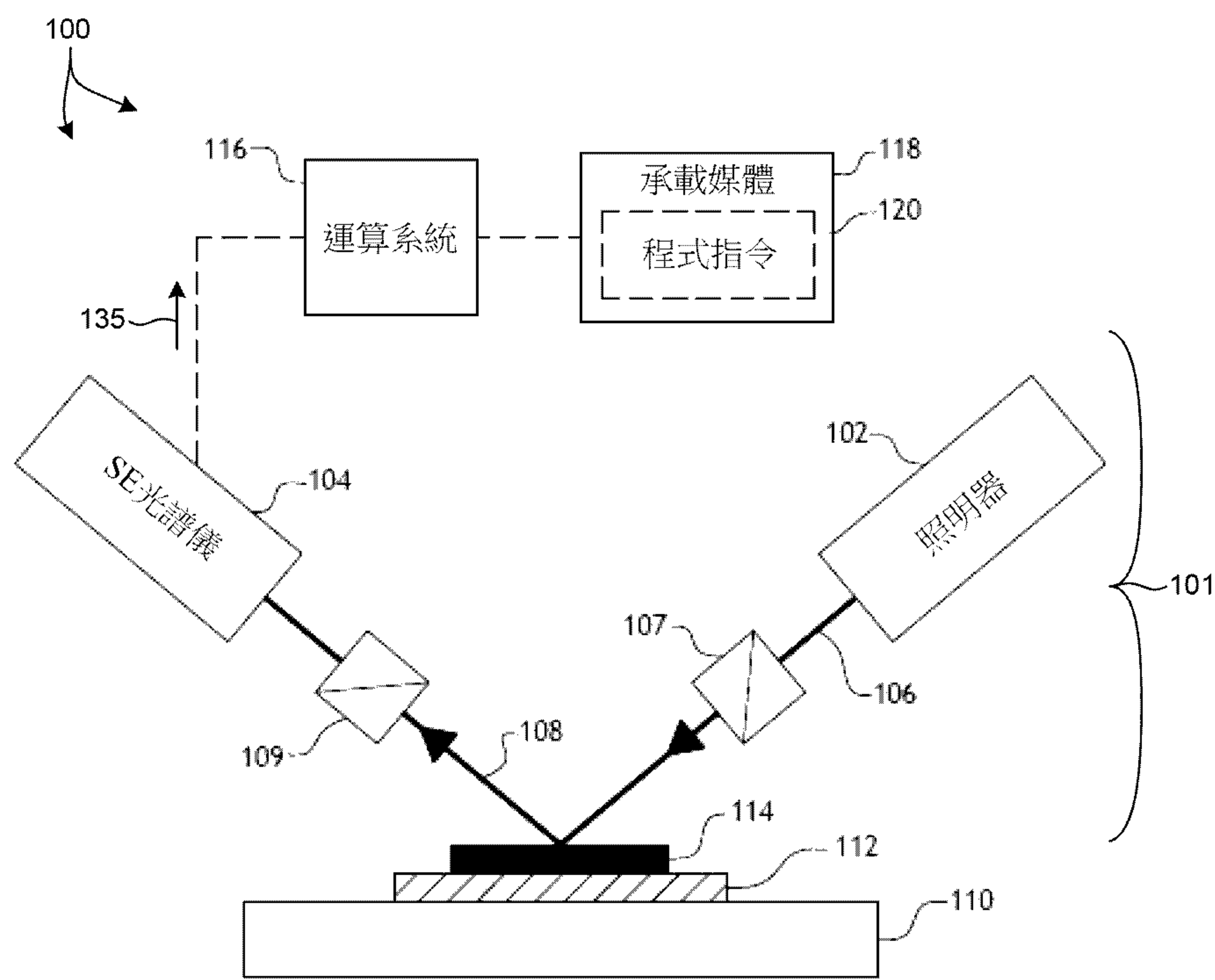
具有非等向性介電常數之半導體結構之基於模型之光學量測

(57)摘要

本文中呈現用於採用包括所量測結構之一或多個材料之光學色散性質之一非等向性特性化來執行一小尺寸半導體結構之光學、基於模型的量測的方法及系統。此減小幾何參數當中之相關性，且導致多個所量測材料當中之經改良量測靈敏度、經改良量測精度，及增強之量測對比度。在一進一步態樣中，描述包括該結構之該等材料之介電常數之一多維張量之一元素係與另一元素不同地模型化。在一進一步態樣中，基於自兩個或兩個以上量測子系統收集的量測資料，結合該等所量測材料之光學色散之一非等向性特性化來執行基於模型的量測。在另一態樣中，包括該所量測結構之一或多個材料之該光學色散之該特性化取決於該結構之幾何形狀。

Methods and systems for performing optical, model based measurements of a small sized semiconductor structure employing an anisotropic characterization of the optical dispersion properties of one or more materials comprising the structure under measurement are presented herein. This reduces correlations among geometric parameters and results in improved measurement sensitivity, improved measurement accuracy, and enhanced measurement contrast among multiple materials under measurement. In a further aspect, an element of a multidimensional tensor describing the dielectric permittivity of the materials comprising the structure is modelled differently from another element. In a further aspect, model based measurements are performed based on measurement data collected from two or more measurement subsystems combined with an anisotropic characterization of the optical dispersion of the materials under measurement. In another aspect, the characterization of the optical dispersion of one or more materials comprising the structure under measurement depends on the geometry of the structure.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

- 100 . . . 系統/量測系統
- 101 . . . 光譜橢圓偏振儀
- 102 . . . 照明器/照明器子系統/照明源
- 104 . . . 光譜儀
- 106 . . . 偏振照明光束
- 107 . . . 偏振器
- 108 . . . 收集光束
- 109 . . . 分析器
- 110 . . . 平移載物台
- 112 . . . 半導體晶圓
- 114 . . . 結構
- 116 . . . 運算系統/電腦系統
- 118 . . . 承載媒體
- 120 . . . 程式指令
- 135 . . . 資料/光學信號/光學量測資料



I728179

【發明摘要】

【中文發明名稱】

具有非等向性介電常數之半導體結構之基於模型之光學量測

【英文發明名稱】

MODEL BASED OPTICAL MEASUREMENTS OF
SEMICONDUCTOR STRUCTURES WITH ANISOTROPIC
DIELECTRIC PERMITTIVITY

【中文】

本文中呈現用於採用包括所量測結構之一或多個材料之光學色散性質之一非等向性特性化來執行一小尺寸半導體結構之光學、基於模型的量測的方法及系統。此減小幾何參數當中之相關性，且導致多個所量測材料當中之經改良量測靈敏度、經改良量測精度，及增強之量測對比度。在一進一步態樣中，描述包括該結構之該等材料之介電常數之一多維張量之一元素係與另一元素不同地模型化。在一進一步態樣中，基於自兩個或兩個以上量測子系統收集的量測資料，結合該等所量測材料之光學色散之一非等向性特性化來執行基於模型的量測。在另一態樣中，包括該所量測結構之一或多個材料之該光學色散之該特性化取決於該結構之幾何形狀。

【英文】

Methods and systems for performing optical, model based measurements of a small sized semiconductor structure employing an anisotropic characterization of the optical dispersion properties of one or more materials comprising the structure under measurement are presented herein. This reduces correlations among geometric parameters

and results in improved measurement sensitivity, improved measurement accuracy, and enhanced measurement contrast among multiple materials under measurement. In a further aspect, an element of a multidimensional tensor describing the dielectric permittivity of the materials comprising the structure is modelled differently from another element. In a further aspect, model based measurements are performed based on measurement data collected from two or more measurement subsystems combined with an anisotropic characterization of the optical dispersion of the materials under measurement. In another aspect, the characterization of the optical dispersion of one or more materials comprising the structure under measurement depends on the geometry of the structure.

【指定代表圖】

圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

- 100 系統/量測系統
- 101 光譜橢圓偏振儀
- 102 照明器/照明器子系統/照明源
- 104 光譜儀
- 106 偏振照明光束
- 107 偏振器
- 108 收集光束
- 109 分析器

110	平移載物台
112	半導體晶圓
114	結構
116	運算系統/電腦系統
118	承載媒體
120	程式指令
135	資料/光學信號/光學量測資料

【發明說明書】

【中文發明名稱】

具有非等向性介電常數之半導體結構之基於模型之光學量測

【英文發明名稱】

MODEL BASED OPTICAL MEASUREMENTS OF
SEMICONDUCTOR STRUCTURES WITH ANISOTROPIC
DIELECTRIC PERMITTIVITY

【技術領域】

所描述實施例係關於用於半導體製造中採用之結構及材料之光學特性化之系統。

【先前技術】

通常藉由應用於一基板或晶圓之一系列處理步驟製造半導體裝置(諸如邏輯及記憶體裝置)。藉由此等處理步驟形成半導體裝置之各種特徵及多個結構位準。舉例而言，微影尤其係一種涉及在一半導體晶圓上產生一圖案之半導體製程。半導體製程之額外實例包含(但不限於)化學-機械拋光、蝕刻、沈積及離子植入。可在一單一半導體晶圓上製造多個半導體裝置，且接著將其等分離成個別半導體裝置。

在一半導體晶圓上製造之結構之幾何形狀取決於微影曝光期間之程序條件。諸如焦點、劑量及掃描器像差之程序參數不同地影響所得結構之形狀，此取決於所製造結構之類型。舉例而言，相對隔離結構對於焦點變化更敏感，而相對緻密結構對於劑量之變化更敏感。裝置功能性及製造良率受藉由圖案化步驟(例如，微影、沈積、蝕刻等)形成之結構之品質限制。

積體電路特徵之橫向尺寸(例如，**CD**)主要受限於製程流程中涉及之微影工具之解析度。微影及蝕刻程序正朝向較小尺寸不斷前進。通常採用多重圖案化技術來減小積體電路之橫向尺寸。現今，依**193i**奈米之波長操作之先進微影工具採用多重圖案化技術(例如，雙重及三重圖案化)來實現具有小於**20**奈米之橫向尺寸之特徵。期望橫向尺寸在即將到來的製造技術節點中進一步縮小。

在一半導體製程期間之各個步驟使用度量程序來偵測晶圓上之缺陷以促進較高良率。光學度量技術提供高處理量之可能性而無樣本損毀之風險。通常使用若干基於光學度量之技術(包含散射量測術、橢圓偏振術及反射量測術實施方案及關聯分析演算法)來特性化臨界尺寸、膜厚度、帶隙、組合物、疊對及奈米級結構之其他參數。

現有基於模型之度量方法通常包含用以模型化且接著量測結構參數之一系列步驟。通常，自一特定度量目標收集量測資料(例如，**DOE**光譜)。公式化光學系統、色散參數及幾何特徵之一精確模型。收集膜光譜量測以判定材料色散。建立目標結構之一參數幾何模型連同一光學模型。另外，必須仔細執行模擬近似(例如，剝落、嚴格耦合波分析(**RCWA**)等)以避免引入過大誤差。定義離散化及**RCWA**參數。執行一系列模擬、分析及迴歸以細化幾何模型且判定哪些模型參數浮動。產生一合成光譜庫。最後，使用庫及幾何模型來執行量測。

在一半導體製程期間之各個步驟使用光學度量程序來偵測晶圓上之缺陷以促進較高良率且最佳化裝置效能。隨著設計規則及程序窗在大小上不斷縮小，特性化變得更困難。另外，特性化複雜結構所要求之增加數目之參數導致增大的參數相關性。因此，特性化目標之參數往往無法與可用

量測可靠地去耦合。

現有方法假定包括一所量測半導體結構之材料係光學等向性的(即，材料參數係相同的，而無關於方位角、入射角、電場偏振等)。對於小特徵大小，此導致甚至針對簡單光學臨界尺寸(OCD)結構之明顯子系統失配、尤其在റ不同量測設定之組合當中之差的光譜擬合品質、不精確幾何輪廓、與參考量測之大的不一致(例如，透射電子顯微術(TEM)、CD掃描電子顯微術(CDSEM)等)，及較低介質對比度，及因此，幾何參數當中之較高相關性。此等問題在H. Chouaib及Q. Zhou於J. Vac. Sci. Technol. B 31, 011803 (2013)中出版之標題為「Nanoscale optical critical dimension measurement of a contact hole using deep ultraviolet spectroscopic ellipsometry」之文章中更詳細地描述，該文章之標的之全部內容以引用的方式併入本文中。

回應於此等挑戰，已開發更複雜光學度量工具。舉例而言，已開發具有多個照明角、較短照明波長、較寬範圍之照明波長及自反射信號之更完整資訊擷取之工具(例如，除更習知反射率或橢圓偏振信號以外，亦量測多個穆勒矩陣元素)。

然而，此等方法尚未可靠地克服與許多先進目標(例如，複雜3D結構、小於10 nm之結構、採用不透明材料之結構)之量測及量測應用(例如，線邊緣粗糙度及線寬度粗糙度量測)相關聯之基本挑戰。

因此，開發用於特性化半導體製程中之結構及材料之高處理量系統及方法將係有利的。特定言之，開發用於具有小特徵大小(例如，小於20奈米)之半導體結構之線內度量之一穩健、可靠且穩定方法將係有利的。

【發明內容】

本文中呈現用於採用包括所量測結構之一或多個材料之光學色散性質之一非等向性特性化來執行一小尺寸半導體結構(例如，**CD**結構、疊對結構、薄膜等)之光學基於模型之量測之方法及系統。此減小幾何參數當中之相關性且導致多個所量測材料當中之經改良量測靈敏度、經改良量測精度及增強之量測對比度。

在一些實施例中，所量測結構包含各自由一不同材料製造之兩個或兩個以上幾何特徵。在此等實施例之一些中，一結構模型包含此等不同材料之一或多者之光學色散性質之一非等向性特性化。

在一進一步態樣中，基於自兩個或兩個以上量測子系統收集之量測資料，結合所量測材料之光學色散之一非等向性特性化而執行基於模型之量測。

在另一態樣中，依經選擇以與所量測幾何形狀之主軸對準之方位角執行基於模型之量測。在執行對具有在一個方向上依週期性圖案化之特徵之堆疊結構之量測時，此假定可係有利的。在此等實施例中，一所量測結構之材料特性化取決於與各量測相關聯之方位角而變動。

在另一進一步態樣中，基於依入射照明光束相對於量測目標之一單一定向執行之光學量測而判定一或多個所關注參數之值之一初始估計。初始估計值經實施為用於結合自依多個定向之光學量測收集之量測資料之量測模型之一迴歸之所關注參數之起始值。以此方式，以相對少量之運算工作量來判定一所關注參數之一近似估計，且藉由實施此近似估計作為一大得多的資料集內之一迴歸之起點，以較少整體運算工作量獲取所關注參數之一細化估計。

在一個實例中，以自相同所量測材料之一膜目標判定之主體參數值

或色散參數值作為各量測通道(即，子系統)之光學色散參數之初始值之種子值。

在另一態樣中，在假定介電常數矩陣之非對角元素假定為零值的情況下執行基於模型之量測。此明顯簡化電磁模型建立及擬合分析。

在另一態樣中，半導體結構之光學基於模型之量測併入包括所量測結構之一或多個材料之光學色散之一特性化，其取決於結構之幾何形狀。

在一進一步態樣中，光學色散參數在迴歸期間隨著基礎幾何參數之估計值反覆更新而變動。在一個實例中，浮動材料參數用於使用特性化一量子效應之一光學回應模型來監測所關注結構參數。在此意義上，部分藉由幾何參數特性化之材料參數值之估計增強對幾何參數之量測靈敏度。

在一進一步態樣中，描述介電常數之多維張量之元素之一或多者不同地模型化。舉例而言，不同多振子模型可用於多維張量之不同元素 $\epsilon_{ij}(\lambda, g)$ 。與模型之各不同模型相關聯之振子常數取決於結構幾何形狀。

在一些實施例中，基於在基於一等向性模型估計之色散參數值與基於光學色散之一非等向性模型估計之相同色散參數值之間之差而估計一所關注幾何參數。

在一進一步態樣中，針對光學色散之非等向性模型之浮動參數當中之最高靈敏度及最低相關性最佳化與一特定量測應用相關聯之一量測配方。

在另一進一步態樣中，藉由至少部分基於所關注估計參數控制半導體晶圓之一製程而改良裝置效能。

在另一進一步態樣中，基於相同光譜回應資料而進行與一所量測結構之不同特徵相關聯之所關注參數之單獨估計。舉例而言，一所量測晶圓

可包含多個層及結構特徵。經量測光譜回應資料包含來自全部此等層及特徵之貢獻。捕獲此等層及特徵之各者之貢獻之一量測模型可用於單獨判定與各不同所分析實體層或特徵相關聯之所關注參數。

前述內容係概要且因此必然含有細節之簡化、一般化及省略；因此，熟習此項技術者將瞭解，概要僅係闡釋性且不以任何方式限制。本文中描述之裝置及/或程序之其他態樣、發明特徵及優勢將在本文中陳述之非限制詳細描述中變得顯而易見。

【圖式簡單說明】

圖1係繪示根據本發明之至少一項實施例之用於量測一半導體晶圓上製造之一結構之一光譜回應之一系統100之一簡化圖式。

圖2係繪示藉由圖1中描繪之系統100之運算系統116實施之一例示性模型建立及分析引擎140之一圖式。

圖3係繪示(舉例而言)藉由系統100量測之一例示性結構150之一圖式。

圖4係繪示(舉例而言)藉由系統100量測之另一例示性結構155之一圖式。

圖5繪示藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之實分量 n 之值之一標繪圖160。

圖6繪示藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之虛分量 k 之值之一標繪圖165。

圖7A至圖7C係繪示(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構170之不同視圖之圖式。

圖8A至圖8D各自描繪基於結合介電常數之兩個不同特性化之與依兩

個不同方位角之結構170量測相關聯之量測資料之一分析所估計之不同所關注參數之值。

圖9係繪示(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構190之一圖式。

圖10繪示藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之實分量 n 之值之一標繪圖。

圖11繪示藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之虛分量 k 之值之一標繪圖。

圖12A繪示針對所量測材料之介電常數之非等向性及等向性特性化基於依一第一方位角及一第二方位角之量測資料之一分析所估計之一CD參數之值之間之差之一標繪圖。

圖12B繪示針對所量測材料之介電常數之非等向性及等向性特性化基於依一第一方位角及一第二方位角之量測資料之一分析所估計之一高度參數之值之間之差之一標繪圖。

圖13係繪示(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構220之一圖式。

圖14係繪示(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構230之圖式。

圖15係(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構240之一圖式。在此實例中，量測具有小於20奈米之一臨界尺寸之一矽鰭片結構241。

圖16繪示針對一鰭片結構之不同CD值之與勞侖茲模型之第一振子相關聯之諧振能量 E_1 之值之一標繪圖245。

圖17繪示針對鰭片結構241之不同CD值之與勞侖茲模型之第二振子相關聯之諧振能量E2之值之一標繪圖250。

圖18繪示適於在至少一個新穎態樣中藉由本發明之系統100實施之一程序流程300。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

本專利申請案依據35 U.S.C. §119主張2016年8月31日申請之標題為「Method of Optical Measurements of Critical Dimensions, Film Thickness and Bandgap of Semiconductor Structures」之美國臨時專利申請案第62/381,987號之優先權，該案之標的係以引用的方式併入本文中。

現將詳細參考本發明之背景實例及一些實施例，其等之實例在隨附圖式中繪示。

本文中呈現用於採用包括所量測結構之一或多個材料之光學色散性質之一非等向性特性化來執行一小尺寸半導體結構(例如，CD結構、疊對結構、薄膜等)之光學、基於模型之量測之方法及系統。此減小幾何參數當中之相關性且導致多個所量測材料當中之經改良量測靈敏度、經改良量測精度及增強之量測對比度。

在一些實施例中，半導體結構之光學基於模型之量測併入包括所量測結構之一或多個材料之介電常數或複折射率之一非等向性特性化。

一般而言，電位移場D藉由介電常數 ϵ 而與入射電場E相關，如方程式(1)中描述，其中 ϵ_0 係真空介電常數。

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon \mathbf{E} \quad (1)$$

傳統上，包括所量測半導體結構之材料被視作等向性的(即，材料對

於入射光之回應係相同的，而無關於方向)。因此，介電常數被視作一純量函數 $\epsilon(\lambda)$ 。然而，為考慮介電函數對方向之依賴性，介電函數被視作一多維張量。在一些實施例中，介電函數被視作一矩陣 $\epsilon_{ij}(\lambda)$ 。舉例而言，在藉由三個主正交方向x、y及z特性化之一三維空間中，D場之x、y及z分量透過介電常數矩陣 $\epsilon_{ij}(\lambda)$ 而與E場之x、y及z分量相關，如方程式(2)中描述。

$$\epsilon_{ij}(\lambda) = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix} \quad (2)$$

在此實施例中，光學色散之非等向性特性化包含與三個主方向之各者相關聯之一光學色散參數 ϵ_{ij} ，且與三個主方向之至少一者相關聯之光學色散參數之值與其他不同。在一個實例中， ϵ_{zz} 之值不同於 ϵ_{xx} 及 ϵ_{yy} 之值。複折射率n及k藉由方程式(3)而與介電常數相關。

$$n(\lambda) + ik(\lambda) = \sqrt{\epsilon(\lambda)} \quad (3)$$

以此方式，介電常數矩陣之各元素可依據色散參數n及k表達且反之亦然。

一般而言，可藉由任何有用光學色散量度特性化如本文中描述之一非等向性光學色散模型。舉例而言，可藉由複折射率之實分量(n)及虛分量(k)特性化一非等向性光學色散模型。在另一實例中，可藉由複介電常數之實分量(ϵ_1)及虛分量(ϵ_2)特性化一非等向性光學色散模型。在其他實例中，可藉由 ϵ_2 之平方根、吸收常數 $\alpha = 4\pi k/\lambda$ 、傳導率(σ)、集膚深度(δ)及衰減常數 $(\sigma/2) * \sqrt{\mu/\epsilon}$ (其中 μ 係自由空間磁導率)等之任一者特性化非等向性光學色散模型。在其他實例中，可藉由前述光學色散量度之任何組合描述光學色散模型。藉由非限制實例提供前述光學色散量度。可預期其他光學色散量度或量度之組合。

圖1繪示根據本發明之至少一項實施例之用於量測一半導體晶圓上製造之一結構之一光譜回應之一系統100。如圖1中展示，可使用系統100來對安置於一平移載物台110上之一半導體晶圓112之一或多個結構114執行光譜橢圓偏振術。在此態樣中，系統100可包含配備有一照明器102及一光譜儀104之一光譜橢圓偏振儀。系統100之照明器102經組態以產生一選定波長範圍(例如，150 nm至2500 nm)之照明並將其引導至安置於半導體晶圓112之表面上之結構114。繼而，光譜儀104經組態以回應於遞送至結構114之照明而自半導體晶圓112之表面接收光。應進一步注意，自照明器102出射之光使用偏振器107偏振以產生一經偏振照明光束106。藉由安置於晶圓112上之結構114反射之輻射經傳遞通過一分析器109且至光譜儀104。在此點上，比較收集光束108中藉由光譜儀104接收之輻射與照明光束106之入射輻射，從而允許結構114之光譜分析。

在一進一步實施例中，系統100可包含一或多個運算系統116。該一或多個運算系統116可經通信耦合至光譜儀104。在一個態樣中，一或多個運算系統116可經組態以接收由光譜儀104對一或多個晶圓執行之一組光譜量測。在自光譜儀接收一或多個取樣程序的結果後，一或多個運算系統116可接著計算與表示結構114之光譜量測之一量測模型相關聯之結構參數的值。在一個實例中，運算系統116可基於結合來自光譜儀104之所擷取光譜之量測模型之一迴歸來提取結構114之一特徵之一臨界尺寸(CD)之一值。

在另一進一步實施例中，運算系統116可至少部分基於一或多個結構參數之判定值來控制一半導體晶圓之一製程。舉例而言，運算系統116可經組態以將程序控制參數值傳達至負責所量測半導體晶圓之製造之一或多

個製造工具(例如，微影工具、蝕刻工具等)。

應認識到，可藉由一單一電腦系統116或替代地一多電腦系統116來執行貫穿本發明描述之各個步驟。此外，系統100之不同子系統(諸如光譜橢圓偏振儀101)可包含適於執行上文中描述之步驟之至少一部分之一電腦系統。因此，上述描述不應解釋為對本發明之一限制，而是僅為一圖解說明。此外，一或多個運算系統116可經組態以執行本文中描述之任何方法實施例之(若干)任何其他步驟。

在另一實施例中，電腦系統116可係以此項技術中已知之任何方式通信耦合至橢圓偏振儀101之光譜儀104或照明器子系統102。舉例而言，一或多個運算系統116可經耦合至橢圓偏振儀101之光譜儀104之一運算系統及照明器子系統102之一運算系統。在另一實施例中，可藉由一單一電腦系統來控制光譜儀104及照明器102。以此方式，系統100之電腦系統116可被耦合至一單一橢圓偏振儀電腦系統。

系統100之電腦系統116可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體來接收及/或擷取來自系統之子系統(例如，光譜儀104、照明器102及類似者)的資料或資訊。以此方式，傳輸媒體可用作電腦系統116與系統100之其他子系統之間之一資料鏈路。此外，運算系統116可經組態以經由一儲存媒體(即，記憶體)來接收光譜結果。例如，可將使用一橢圓偏振儀之一光譜儀獲取之光譜結果儲存於一永久或半永久記憶體裝置中。在此點上，可自一外部系統匯入光譜結果。

此外，電腦系統116可經由一傳輸媒體將資料發送至外部系統。此外，系統100之電腦系統116可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體而接收及/或擷取來自其他系統之資料或資訊(例如，來自一檢

測系統之檢測結果或來自一度量系統之度量結果)。以此方式，傳輸媒體可用作電腦系統116與系統100之其他子系統之間之一資料鏈路。此外，電腦系統116可經由一傳輸媒體將資料發送至外部系統。

運算系統116可包含(但不限於)一個人電腦系統、主機電腦系統、工作站、影像電腦、平行處理器或此項技術中已知之任何其他裝置。一般而言，術語「運算系統」可經廣泛定義以涵蓋具有執行來自一記憶體媒體之指令之一或多個處理器之任何裝置。

實施諸如本文中描述之方法之程式指令120可經由承載媒體118傳輸或儲存於承載媒體118上。承載媒體可係一傳輸媒體，諸如一電線、電纜或無線傳輸鏈路。承載媒體亦可包含一電腦可讀媒體，諸如一唯讀記憶體、一隨機存取記憶體、一磁碟或光碟，或一磁帶。

圖1中繪示之系統100之實施例可如本文中描述般進一步組態。另外，系統100可經組態以執行本文中描述之(若干)方法實施例之任一者之(若干)任何其他步驟。

圖2係繪示藉由運算系統116實施之一例示性模型建立及分析引擎140之一圖式。如圖2中描繪，模型建立及分析引擎140包含一結構模型建立模組141，該結構模型建立模組141產生一所量測樣品之一經量測結構之一結構模型142。在一些實施例中，結構模型建立模組141亦併入一程序模型以產生結構模型142。

在一個態樣中，結構模型142包含樣品之非等向性材料性質。在一些實施例中，所量測結構包含各自由一不同材料製造之兩個或兩個以上幾何特徵。在此等實施例之一些中，結構模型包含此等不同材料之一或多者之光學色散性質之一非等向性特性化。在一些實施例中，在由(美國)加利福

尼亞州米爾皮塔斯市KLA-Tencor公司製造之AcuShape軟體產品中實施結構模型建立模組141。在一個實例中，AcuShape軟體包含結合在一起且經參數化以模擬所量測結構之一組幾何特徵(例如，1D層、2D梯形、3D柱等)。另外，AcuShape軟體包含可供使用者用於將非等向性材料行為指派至經模型化結構特徵之任一者之一組非等向性建立區塊。在一個實例中，AcuShape軟體向使用者提供針對經模型化所量測結構之各幾何特徵在各主方向上指派不同 $n(\lambda)$ 及 $k(\lambda)$ 值之選項。以此方式，使用者能夠選擇哪一材料(即，經模型化結構之哪一部分)將用非等向性色散性質特性化。

接收結構模型142作為光學回應函數建立模組143之輸入。光學回應函數建立模組143至少部分基於結構模型142而產生一量測模型145。在一個態樣中，光學回應函數建立模組143採用所量測結構之光學色散性質之一非等向性特性化來產生量測模型145，如本文中描述。

在一些實施例中，光學回應函數建立模組143使用採用演算法(諸如嚴格耦合波分析(RCWA)、有限元法(FEM)、矩量法、表面積分法、體積積分法、有限差、時域(FDTD)法及其他演算法)之一電磁解算器來特性化入射光束與所量測結構之光學互動。在一些實施例中，在可購自(美國)加利福尼亞州米爾皮塔斯市KLA-Tencor公司之離線光譜分析(OLSA)獨立軟體之膜厚度量測庫(FTML)中實施本文中描述之光學色散模型。

接收量測模型145作為擬合分析模組147之輸入。擬合分析模組147比較經模型化光學回應與對應經量測資料135以針對給定組的量測系統參數值138 (例如，入射角、方位角、照明偏振、電場定向等)判定樣品之幾何以及材料性質136。在圖2所示之實施例中，藉由運算系統116判定之該等性質136係儲存於一永久或半永久記憶體裝置(如記憶體137)中。

擬合分析模組147藉由任何數目之不同資料擬合及最佳化技術而分析經量測光譜資料。藉由非限制實例，擬合分析模組147可實施庫匹配技術、快速降階模型化技術、迴歸、機器學習演算法(諸如神經網路)、支援向量機(SVM)、降維演算法(諸如主分量分析(PCA)、獨立分量分析(ICA)、局部線性嵌入(LLE))、稀疏表示技術(諸如傅立葉或小波轉換技術、卡爾曼濾波)，及用以促進跨相同或不同工具類型之匹配之演算法等。光譜量測資料之擬合對於提供對所關注幾何及/或材料參數之靈敏度之任何類型之光學技術係有利的。只要使用描述光束與樣品之互動之適當模型，樣品參數便可係確定性的(例如，CD、SWA等)或統計性的(例如，側壁粗糙度之均方根高度、粗糙度相關性長度等)。

在一些實例中，藉由最小化一卡方值而達成經模型化資料至實驗資料之擬合。舉例而言，對於光學量測而言，一卡方值可經定義為

$$\chi_{opt}^2 = \frac{1}{N_{opt}} \sum_j^{N_{opt}} \frac{\left(S_j^{光學-模型}(v_1, \dots, v_L) - S_j^{光學-實驗} \right)^2}{\sigma_{opt,j}^2} \tag{4}$$

其中， $S_j^{光學-實驗}$ 係「通道」j中之經量測光學信號135，其中指數j描述一組系統參數(諸如入射角、方位角、照明偏振等)。 $S_j^{光學-模型}(v_1 \dots v_L)$ 係針對一組結構(目標)參數 v_1 、...、 v_L 評估之「通道」j之經模型化光學信號 S_j ，其中此等參數描述幾何特性(CD、側壁角、疊對等)及材料特性(折射率等)。 $\sigma_{opt,j}$ 係與第j個通道相關聯之不確定性。 N_{opt} 係光學度量中之通道之總數目。 L 係特性化度量目標之參數之數目。

方程式(4)假定與不同通道相關聯之不確定性係不相關的。在其中與不同通道相關聯之不確定性相關之實例中，可計算不確定性之間之一協方差。在此等實例中，光學量測之一卡方值可表達為

$$\chi_{\text{opt}}^2 = \frac{1}{N_{\text{opt}}} \left(\vec{S}_j^{\text{光學-模型}}(v_1, \dots, v_M) - \vec{S}_j^{\text{光學-實驗}} \right)^T V_{\text{opt}}^{-1} \left(\vec{S}_j^{\text{光學-模型}}(v_1, \dots, v_M) - \vec{S}_j^{\text{光學-實驗}} \right) \tag{5}$$

其中， V_{opt} 係光學通道不確定性之協方差矩陣，且 T 表示轉置。

在一些實例中，擬合分析模組147藉由使用量測模型145對光學量測資料135執行一擬合分析而分解至少一個樣品參數值。在一些實例中，最佳化 χ_{opt}^2 。在一個實例中，利用一迴歸程序來判定跨選定光譜範圍之介電常數之實分量(ϵ_1)及虛分量(ϵ_2)之一光學色散模型之參數值。在此點上，可使用一選定非等向性色散模型將一迴歸分析應用於經量測光譜資料。

如上文中描述，藉由卡方值之最小化而達成光學資料之擬合。然而，一般而言，可藉由其他函數達成光學資料之擬合。

在一些實例中，模型建立及分析引擎140藉由側饋分析、前饋分析及平行分析之任何組合而改良經量測參數之精確性。側饋分析係指獲取相同樣品之不同區域上之多個資料集且將自第一資料集判定之共同參數傳遞至第二資料集上以供分析。前饋分析係指獲取不同樣品上之資料集且使用一逐步複製精確參數前饋方法將共同參數向前傳遞至後續分析。平行分析係指一非線性擬合方法平行或同時應用至多個資料集，其中至少一個共同參數在擬合期間耦合。

多工具及結構分析係指基於迴歸、一查找表(即，「庫」匹配)或多個資料集之另一擬合程序之一前饋、側饋或平行分析。於2009年1月13日頒予KLA-Tencor公司之美國專利第7,478,019號中描述用於多工具及結構分析之例示性方法及系統，該案之全部內容以引用的方式併入本文中。在L. Mihardja等人於Proc. SPIE 8324，Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXVI，83241H (2012年3月29日)中刊出之

標題為「Data feed-forward for improved optical CD and film metrology」之文章中描述前饋分析之額外論述，該文章之標的之全部內容以引用的方式併入本文中。在Wei-Jhe Tzai等人於Proc. SPIE 8324，Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXVI，832420 (2012年3月29日)中刊出之標題為「Apply multiple target for advanced gate ADI critical dimension measurement by scatterometry technology」之文章中描述平行分析之額外論述，該案之標的之全部內容以引用的方式併入本文中。

在一些實施例中，一或多個光學色散參數(例如， $n(\lambda)$ 、 $k(\lambda)$ 等)在擬合分析期間被視作變量。以此方式，允許色散參數取決於光學電場方向、光偏振、照明入射角及照明方位角而針對一特定量測改變值。因此，在具有小尺寸特徵之結構(例如，具有小於20奈米之特徵大小之半導體結構)之光譜量測期間有效地捕獲非等向性材料回應。

許多新一代半導體結構之材料尺寸太小，使得量子效應明顯影響量測精確性、子系統匹配等。隨著特徵大小縮小至低於德布格利波長，展現意外的光學回應行為。在此等實例中，包括所量測奈米結構之一或多個材料展現對於依元素位準之傳入光學照明之一非等向性光學回應。在一些實例中，光學色散參數(例如，折射率 $n(\lambda)$ 及消光係數 $k(\lambda)$)取決於材料尺寸(例如，厚度、CD、SWA)。在一些實例中，材料尺寸取決於用於執行量測之量測子系統。

傳統上，針對CD結構之量測假定主體色散參數值。然而，本發明者已發現，自所量測材料之主體量測獲取之色散參數值不再有效地用於由相同材料製造之一小尺寸特徵之一光學基於模型之量測中。在此等實例中，

塑形為小尺寸特徵之半導體材料以不同於相同材料之一厚主體層之一方式與量測光互動。此將其自身顯示在金屬及一些薄半導體特徵(例如，多晶矽、矽、矽鍺、碳化矽等)之光學量測中。

圖3描繪(舉例而言)藉由依65度之一入射角操作之SE量測系統100量測之一例示性結構150。結構150係具有相對於基板112水平(即，在x-y平面中)定向之一鎢薄層之一非常簡單的膜堆疊度量目標。在此實例中，在不同材料之一層151上製造具有一厚度T之一鎢薄層152。藉由光譜儀104回應於由照明源102提供之照明光153而收集光154。

圖4描繪(舉例而言)藉由依65度之一入射角操作之量測系統100量測之另一例示性結構155。結構155係具有相對於基板112垂直(即，垂直於x-y平面)定向之一CD結構157之一CD目標。在此實例中，在一不同材料結構156之數個層內製造具有一厚度T之一鎢CD結構157。藉由光譜儀104回應於由照明源102提供之照明光158而收集光159。

圖5描繪藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之實分量 n 之值之一標繪圖160。在此實例中，複折射率之實分量及虛分量之值在結合與結構150之量測相關聯之一對應量測模型之經量測光譜之一迴歸中浮動。類似地，複折射率之實分量及虛分量之值在結合與結構155之量測相關聯之一對應量測模型之經量測光譜之一迴歸中浮動。標繪線162描繪與圖3中描繪之結構150之量測相關聯之 n 之估計值。標繪線161描繪與圖4中描繪之結構155之量測相關聯之 n 之估計值。

類似地，圖6描繪藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之虛分量 k 之值之一標繪圖165。標繪線167描繪與圖3中描繪之結構150之量測相關聯之 k 之經量測值。標繪線166描繪與圖4中描繪之結構155之量測相關聯之 k 之經量測值。

繪之結構155之量測相關聯之 k 之經量測值。

傳統上，吾等將期望經量測 n 及 k 值對於結構150及155兩者而言係相同的。然而，在此實例中，與膜及CD結構相關聯之厚度 T 係10奈米，且經量測 n 及 k 值係明顯不同的。此實例繪示色散參數(即， n 及 k)之值對於所量測結構之尺寸及錫結構相對於周圍結構之定向非常敏感。對於CD結構155而言，錫奈米結構中之自由電子受鄰近介面處之周圍材料影響。因此，CD結構155展現非等向性材料回應行為。

依一出色光譜擬合(即， $\chi^2 \sim 10$)量測膜結構150之色散。然而，當採用相同膜色散模型(即，相同色散參數值)用於CD結構155之量測時，光譜擬合相對較差(即， $\chi^2 \sim 15000$)。此指示與膜堆疊結構150相關聯之錫膜色散對於小線寬結構(諸如CD結構155)無效。其亦指示錫之光學性質在10奈米之一錫線寬 T 下明顯變化。

在此實例中，藉由使 n 及 k 值浮動而針對CD結構155開發一不同材料色散模型。標繪線161及166繪示至新模型之量測擬合之結果。在此實例中，光譜擬合相當好(即， $\chi^2 < 100$)；相對於傳統模型化方法之一極大改良。如圖5及圖6中繪示，當錫受侷限時，消光係數 k 增強且折射率 n 亦增大。

在一進一步態樣中，基於自兩個或兩個以上量測子系統收集之量測資料，結合所量測材料之光學色散之一非等向性特性化而執行基於模型之量測。當藉由一非等向性介電函數特性化基礎材料時，基於藉由多個量測子系統收集之量測資料所執行之奈米級特徵之量測更精確。在此等實例中，一所量測結構之非等向性材料特性化取決於依任何數目之不同量測系統參數收集資料之任何數目之不同量測系統或其等之組合而變動。出於此

專利文件之目的，一量測子系統描述經組態以依特定組之量測系統參數執行量測之一特定量測系統。因此，量測系統之一變化或量測系統參數值之一變化導致一不同量測子系統。在一些實例中，藉由改變入射角、照明偏振、光學電場定向等之任一者而在不同量測子系統當中變動一所量測結構之非等向性材料特性化。

一般而言，基於自多個量測通道(即，子系統)收集之量測資料而執行許多基於模型之量測以最佳化參數靈敏度、增大量測精度且最小化與其他參數之相關性。使用SE量測系統之一個優勢係寬範圍之可用量測子系統。舉例而言，一SE系統可包含寬範圍之入射角(AOI)、分析器角(AA)、方位角(AZ)及波長。在一個實例中，方位角可對量測靈敏度及精度具有大的影響。光譜量測系統(諸如由(美國)加利福尼亞州米爾皮塔斯市KLA-Tencor公司製造之SpectraShape™、Shelby™及Viking™系統)提供不同系列的光學技術以實現寬範圍之結構之全面及快速特性化。

傳統上，對於挑戰性的度量目標，自不同子系統收集之量測資料當中之高參數相關性係一持久問題。不同子系統當中之高參數相關性實際上意謂多個量測通道未對與一特定量測模型相關聯之一所關注參數之一值達成一致。然而，藉由基於自兩個或兩個以上量測子系統收集之量測資料，結合所量測材料之光學色散之一非等向性特性化而執行基於模型之量測，減小參數相關性。

在一些實施例中，基於自兩個或兩個以上方位角收集之量測資料，結合所量測材料之光學色散之一非等向性特性化而執行基於模型之量測。

圖7A描繪(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構170之一圖解說明。在此實例中，結構170包含一矽淺溝槽隔離(STI)結構260及製

造在該STI結構260頂部上之氮化矽鰭片結構261。

圖7B描繪跨圖7A至圖7C中描繪之y-z平面之結構170之一剖面圖之一圖解說明。如圖7B中描繪，結構170藉由一溝槽深度D、溝槽之一頂部臨界尺寸(TCD)及氮化矽鰭片結構之一高度(H)而參數化。在此實例中，量測系統100依兩個不同方位角(即，兩個不同量測子系統)量測結構170。圖7B繪示藉由光譜儀104回應於由照明源102依與圖7A至圖7C中描繪之y-z平面對準之一定向提供之照明光172而收集之光171。依此角度，照明光172定向成平行於結構170之鰭片結構之週期性之方向(即，平行於y方向)。

圖7C描繪跨圖7A至圖7C中描繪之x-z平面之結構170之一剖面圖之一圖解說明。圖7C繪示藉由光譜儀104回應於由照明源102依與圖7A至圖7C中描繪之x-z平面對準之一定向提供之照明光174而收集之光173。依此角度，照明光172定向成垂直於結構170之鰭片結構之週期性之方向(即，垂直於y方向)。

基於結合介電常數之兩個不同特性化之與依兩個不同方位角之結構170之量測相關聯之量測資料之一分析而估計所關注參數(即，H、D、TCD及MCD偏移)之值。圖8A至圖8D繪示此等分析之結果。

圖8A描繪基於依第一方位角(即，平行於週期性之方向)之量測資料之一分析及依第二方位角(即，垂直於週期性之方向)之量測資料之一分析所估計之高度參數H之值之間之差之一標繪圖175。標繪線176繪示當採用所量測材料之介電常數之一等向性模型時的差值。標繪線177繪示當採用所量測材料之介電常數之一非等向性特性化時的差值。

圖8B描繪基於依第一方位角及依第二方位角之量測資料之一分析所

估計之溝槽深度參數D之值之間之差之一標繪圖178。標繪線179繪示當採用所量測材料之介電常數之一等向性模型時的差值。標繪線180繪示當採用所量測材料之介電常數之一非等向性特性化時的差值。

圖8C描繪基於依第一方位角及依第二方位角之量測資料之一分析所估計之頂部CD參數TCD之值之間之差之一標繪圖181。標繪線182繪示當採用所量測材料之介電常數之一等向性模型時的差值。標繪線183繪示當採用所量測材料之介電常數之一非等向性特性化時的差值。

圖8D描繪一標繪圖184，其描繪基於依第一方位角及依第二方位角之量測資料之一分析所估計之MCD偏移參數(即，間距移動(pitch walk))的值之間的差。標繪線185繪示當採用所量測材料之介電常數之一等向性模型時的差值。標繪線186繪示當採用所量測材料之介電常數之一非等向性特性化時的差值。

如圖8A至圖8D中繪示，當採用一等向性模型時，兩個不同量測子系統(即，兩個不同方位角)之間存在較差的一致。此係可理解的，因為沿著x方向之矽MCD極長，但沿著y方向之矽MCD在此特定實例中小於14奈米。由於量子及介面效應兩者皆明顯低於20奈米，因此一非等向性材料模型可係有利的。在標繪線177、180、183及186中描繪之量測實例中，色散參數n及k在與兩個量測子系統相關聯之量測資料的分析中浮動。如圖8A至圖8D中繪示，當採用非等向性模型時，兩個不同量測子系統之間存在極佳的一致。

圖9描繪(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構190之一圖解說明。在此實例中，結構190包含藉由經安置於一矽基板191上之二氧化矽192包圍之一鎢光柵結構193。鎢光柵CD係近似10奈米，且鎢光柵之

高度係近似30奈米。

在此實例中，色散參數 n 及 k 針對兩個不同量測子系統浮動。兩個量測子系統係兩個正交方位角(例如， $Az=0$ 度及 $Az=90$ 度)。與針對兩個量測子系統之色散參數值之迴歸相關聯之種子值經設定為一鎢膜目標(例如，圖3中描繪之結構150)之經量測值。藉由圖2中描繪之擬合分析模組147執行迴歸以達到針對兩個量測子系統之 n 及 k 之最佳化值。在無色散參數之最佳化之情況下(即，等向性材料模型)，光譜擬合極差(即， $\chi^2 \sim 15000$)。然而，在與各量測子系統相關聯之色散參數之各者之最佳化之後(即，非等向性材料模型)，光譜擬合極好(即， $\chi^2 \sim 10$)。

圖10描繪藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之實分量 n 之值之一標繪圖194。標繪線197描繪與一鎢膜目標(例如，圖3中描繪之結構150)之量測相關聯之 n 之經量測值。標繪線196描繪與依零度之一方位角之鎢光柵結構193 (圖9中描繪)之量測相關聯之 n 之經量測值。標繪線195描繪與依九十度之一方位角之鎢光柵結構193之量測相關聯之 n 之經量測值。

類似地，圖11描繪藉由圖1中描繪之量測系統100在一系列照明波長內量測之複折射率之虛分量 k 之值之一標繪圖198。標繪線201描繪與一鎢膜目標(例如，圖3中描繪之結構150)之量測相關聯之 n 之經量測值。標繪線199描繪與依零度之一方位角之鎢光柵結構193 (在圖9中描繪)之量測相關聯之 n 之經量測值。標繪線200描繪與依九十度之一方位角之鎢光柵結構193之量測相關聯之 n 之經量測值。

如圖10及圖11中描繪，若採用鎢光柵結構193之一等向性特性化，則預期明顯量測誤差。

基於結合介電常數之兩個不同特性化之與依兩個不同方位角之結構190之量測相關聯之量測資料之一分析而估計所關注參數(即，H及CD)之值。圖12A至圖12B繪示此等分析之結果。

圖12A描繪基於依第一方位角之量測資料之一分析及依第二方位角之量測資料之一分析所估計之CD參數之值之間之差之一標繪圖205。標繪線206繪示在採用所量測材料之介電常數之一等向性模型時之差值。標繪線207繪示在採用所量測材料之介電常數之一非等向性特性化時之差值。

圖12B描繪基於依第一方位角及依第二方位角之量測資料之一分析所估計之高度參數H之值之間之差之一標繪圖208。標繪線210繪示在採用所量測材料之介電常數之一等向性模型時之差值。標繪線209繪示在採用所量測材料之介電常數之一非等向性特性化時之差值。

如圖12A至圖12B中繪示，當採用一等向性模型時，存在兩個不同量測子系統(即，兩個不同方位角)之間較差的一致。此係可理解的，因為錫CD在一個方向上極長，但在另一方向上係近似10奈米。在標繪線207及209中描繪之量測實例中，色散參數n及k在與兩個量測子系統相關聯之量測資料之分析中浮動。如圖8A至圖8B中繪示，當採用非等向性模型時，存在兩個不同量測子系統之間極佳的一致。

在前述實例中，一所量測結構之非等向性材料特性化取決於與各量測相關聯之方位角之變化而變動。然而，一般而言，一所量測結構之非等向性材料特性化可取決於量測系統參數值之任何組合之變化而變動。

在另一態樣中，在假定介電常數矩陣之非對角元素假定為零值的情況下執行基於模型之量測。此明顯簡化電磁模型建立及擬合分析。

在其另一態樣中，依經選擇以與所量測幾何形狀之主軸對準之方位

角執行基於模型之量測。在執行具有在一個方向上依週期性圖案化之特徵之堆疊結構(例如，鰭片結構、閘結構等)之量測時，此假定可係有利的。在此等實例中，在與週期性之方向對準之一第一方向上(例如， $Az=0$ 度)執行一量測且在垂直於第一方向之一第二方向上(例如， $Az=90$ 度)執行另一量測。此等簡單照明幾何形狀($Az=0$ 及 $Az=90$)允許p及s偏振之完全去耦合。然而，即使在偏振去耦合情況下，仍需要一個以上折射率來正確模型化橢圓偏振信號，此係因為橢圓偏振術信號涉及s及p偏振兩者。在此等實施例中，一所量測結構之材料特性化取決於與各量測相關聯之方位角而變動。

在另一進一步態樣中，基於依入射照明光束相對於量測目標之一單一定向執行之光學量測而判定一或多個所關注參數之值之一初始估計。初始估計值經實施為用於結合自依多個定向之光學量測收集之量測資料之量測模型之一迴歸之所關注參數之起始值。以此方式，以相對少量之運算工作量來判定一所關注參數之一近似估計，且藉由實施此近似估計作為一大得多的資料集上之一迴歸之起點，以較少整體運算工作量獲取所關注參數之一細化估計。

在一個實例中，以自相同所量測材料之一膜目標判定之主體參數值或色散參數值作為各量測通道(即，子系統)之光學色散參數之初始值之種子值。

在另一態樣中，半導體結構之光學基於模型之量測併入包括所量測結構之一或多個材料之光學色散之一特性化，其取決於結構之幾何形狀。在一些實施例中，包括一所量測半導體結構之一材料之介電常數被視作等向性的。在此等實施例中，介電常數被視作幾何形狀之函數 $\epsilon(\lambda, g)$ 。在一

些其他實施例中，介電函數被視作一多維張量，其中該多維張量之元素之一或多者被視作幾何形狀之函數 $\varepsilon_{ij}(\lambda, g)$ 。在一些實施例中，除量測子系統參數(例如，光學電場方向、光偏振、AOI、方位角等)以外，光學色散量度 n 及 k 取決於所量測結構之幾何輪廓。

在一進一步態樣中，光學色散參數在迴歸期間隨著基礎幾何參數之估計值反覆更新而變動。在一個實例中，浮動材料參數用於使用特性化一量子效應之一光學回應模型來監測所關注結構參數。在此意義上，藉由幾何參數部分特性化之材料參數值之估計增強對於幾何參數之量測靈敏度。

半導體結構中之量子侷限導致折射率及吸收係數之變化。在存在一強、內建電場之情況下，此有時被稱為量子侷限斯塔克效應。在半導體量子侷限之此情況中，電子-電洞波函數重疊增加。此導致光學吸收之增加。另外，折射率之變化根據克拉莫-克若尼(Kramers-Kronig)關係發生。對於一內建電場下之一半導體量子阱而言，電子-電洞波函數重疊減少，從而導致光學吸收之減少及折射率之伴隨變化。在此等情況中，一等向性光學材料回應之假定導致量測誤差。

一量子效應發生在一些材料(例如，金屬及半導體)之量子阱結構、量子線結構、量子點結構等中。一量子阱可經定義為能夠將粒子(諸如電子及電洞)侷限在垂直於層表面或介面之維度中之一層。兩個正交方向上之移動保持不受限制。因此，一量子阱係一維侷限系統。

可藉由將不同材料結合在一起而製作一量子阱。實體上，一量子阱係由具有較寬帶隙之兩個其他層包圍之一薄層。薄層通常被稱為一「阱」且「阱」之各側上之周圍層各自被稱為一「障壁」。通常，當阱結構(例如，層)之厚度小於20奈米時，在半導體材料中發生一量子侷限效應。對

於金屬而言，較大厚度可能發生一量子侷限效應。

圖13描繪(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構220。在此實例中，具有一厚度 T 之一鎢薄層222夾置於不同於鎢之材料之層221與223之間。在一些實例中，鎢層之厚度小於20奈米。藉由光譜儀104回應於由照明源102提供之照明光224而收集光225。半導體膜堆疊結構220經製造為一量子阱。層222係夾置於層221與223 (即，障壁)之間之一材料薄層(即，阱)。採用製造技術(諸如金屬束外延(MBE)及金屬有機化學氣相沈積(MOCVD))來製造薄層(諸如層221至223)。層221至223在 z 方向上相對較薄，具有 x 及 y 方向上之相對較大之尺寸。

在此實例中，量子侷限在 z 方向上發生。如上文中描述，材料光學回應性質關聯層222係非等向性的。阱層沿著 z 方向之介電常數不同於 x 及 y 方向上之介電常數。然而，光學回應自身獨立於照明方位角。

圖14描繪(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構230。在此實例中，藉由一不同材料231包圍具有一厚度 T 之一鎢薄層232。在一些實例中，鎢層232之厚度小於20奈米。在一個量測中，藉由光譜儀104回應於由照明源102提供之照明光233而收集光235。在另一量測中，藉由光譜儀104回應於由照明源102提供之照明光234而收集光236。

包含多重圖案化技術之先進微影技術實現具有小於20奈米之一厚度之橫向(CD)結構之製造。在半導體製程流程期間，藉由MBE及MOCVD蓄意製造 x - y 平面中之量子阱(諸如圖13中描繪之結構220)。然而，因縮小的裝置尺寸而無意地製造「垂直」量子阱(諸如結構230)。此等無意「垂直」量子阱結構未明顯影響裝置效能或良率，但其等對光譜量測結果具有一明顯影響。在此實例中，阱層沿著 y 方向之介電常數不同於 x 方向上之介

電常數。因此，光學回應取決於照明方位角。

最常用色散模型係勞侖茲模型(又名諧振子模型)。勞侖茲模型將結合至光學照明下之一材料中之原子之電子之振盪視作諧振子之一集合。在一個實例中，在方程式(6)中描述介電函數之表示，

$$\epsilon(E) = n_b + \frac{\sum_{s=1}^m H_s(E)}{1 - \sum_{s=1}^m v_s H_s(E)} \tag{6}$$

其中n_b係統一背景指數(預設值=1)，E係藉由E=1,240/λ表達為波長λ之一函數之電場能量，H_s係第s個振子之貢獻，且v_s係第s個振子之局部場校正因數。v_s對於金屬而言等於零，對於大多數半導體而言接近零，且對於理想介電質而言等於0.333。H_s進一步詳細描述為方程式(7)，

$$H_s = \frac{16\pi N_s R_y^2 r_0^3}{(E_{ns}^2 - E^2 + iE_{gs}E)} e^{-i\Phi_s} \tag{7}$$

其中，R_y係雷得堡(Rydberg)常數(等於13.6058 eV)，r₀係波爾(Bohr)半徑(等於0.0529177奈米)，N_s係第s個振子之數量密度，其表示此振子之相對重要性，E_{ns}係第s個振子之諧振能量，E_{gs}係第s個振子之阻尼恆定能量，且Φ_s係第s個振子之相對相位。最低值諧振能量往往稱為帶隙能量。勞侖茲模型常用於描述大多數材料，特別地具有數個峰值之材料，包含半導體材料(諸如Si、Ge、SiGe)及金屬(諸如W、Cu、Co等)。

方程式(7)中之振子參數對於侷限方向(例如，圖13中之z方向及圖14中之y方向)上之量子侷限效應敏感。

諧振能量E_{ns}及振子強度N_s係最敏感的。另外，歸因於能級之離散化，展現量子侷限之一結構之一模型應包含較大數目之振子。

一個維度(即，侷限方向)上之薛丁格方程式說明一量子阱之基本性質，如方程式(8)中繪示，

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi_n}{dz^2} + V(z) \psi_n = E_n \psi_n \quad (8)$$

其中 $V(z)$ 係由粒子沿著侷限方向(在此實例中 z 方向)看見之量子阱電位且 Ψ_n 係波函數。在阱被認為在各側處無限高之情況下，藉由方程式(9)及(10)給出方程式(8)之解，

$$E_n = \frac{-\hbar^2}{2m} \left[\frac{n\pi}{L_z} \right]^2 \quad n = 1, 2, \dots \quad (9)$$

$$\psi_n = A \sin\left(\frac{n\pi z}{L_z}\right) \quad n = 1, 2, \dots \quad (10)$$

其中 L_z 係阱在 z 方向上之尺寸且 z 係 z 方向上之阱內之位置。

方程式(9)結合方程式(7)表明，當在量測模型中考慮量子侷限效應時，各振子之能級(E_{ns})取決於侷限方向上之阱尺寸。

對於矽、鍺及硒化鎢奈米晶體而言，藉由方程式(11)近似計算室溫下之帶隙與結構之大小 d 之間之關係，

$$E_{\text{帶隙}}(d) = E_{\text{帶隙}0} + \beta/d^\alpha \quad (11)$$

其中 $E_{\text{帶隙}0}$ 係主體帶隙，且 β 及 α 取決於材料以及奈米結構之大小(即，量子阱厚度)。對於矽奈米結構而言，藉由方程式(12)近似計算方程式(11)。

$$E_{\text{帶隙}}(d) = E_{\text{帶隙}0} + 3.73/d^{1.73} \quad (12)$$

對於一矽奈米結構而言，將方程式(12)代入至方程式(6)及(7)中以將介電常數表示為所量測結構之尺寸之函數。

一般而言，在此專利文件之範疇內，可使用數個方法論來併入介電函數對於特徵之幾何形狀及大小之依賴性。在一個實例中，採用馬克士威

-加內特(Maxwell-Garnett)有效介質理論來模型化介電函數對於所量測特徵之幾何形狀及大小之依賴性。

在一些實例中，光學色散參數n及k經參數化使得其等取決於結構之幾何參數，例如， $n_j(\lambda;CD,HT,SWA)$ 及 $k_j(\lambda;CD,HT,SWA)$ 。

在一個實例中，方程式(13)基於方程式(12)中繪示之帶隙與量子阱厚度之間之關係而將一矽奈米結構之光學吸收係數表達為帶隙之函數。

$$\alpha(\omega, d) = 2.77e6 [(E/E_{帶隙}) (E_{帶隙} + 0.044) / (3E_{帶隙} + 0.088)] (\hbar\omega - E_{帶隙})^{0.5} \tag{13}$$

類似地，方程式(14)基於方程式(12)中繪示之帶隙與量子阱厚度之間之關係，將介電函數之虛部表達為帶隙之函數。

$$\varepsilon_2(\omega, d) = 92 (E_{帶隙} / \hbar\omega) (E_{帶隙} + 0.044) / (3E_{帶隙} + 0.088)] (\hbar\omega - E_g)^{0.5} / \hbar\omega \tag{14}$$

可基於有效介質理論近似之一者或以另一方式實施光學參數之參數化。可使用有效介質理論或其他理論來考慮量子制度中之介電函數之行為。在一個實例中，在列出之主體行為與依已知表達量子效應之幾何形狀之行為之間假定一線性過渡。亦可使用具有主體與量子行為之間之內插之查找表。

圖15描繪(舉例而言)藉由量測系統100量測之一例示性結構240。在此實例中，量測具有小於20奈米之一臨界尺寸之一矽鰭片結構241。

在此實例中，量測若干不同鰭片結構，其等各自具有一不同已知CD值。根據方程式(5)及(6)實施包含五個諧振子之一勞侖茲模型。另外，根據方程式(12)，帶隙能量與結構241之幾何形狀相關。使用主體矽色散參數值作為色散參數之種子值。基於量測資料執行量測模型之一迴歸分析以最佳化色散參數之值。

圖16顯示一標繪圖245，其描繪針對鰭片結構241之不同CD值之與勞侖茲模型之第一振子相關聯之諧振能量E1之值。圖17顯示一標繪圖250，其描繪針對鰭片結構241之不同CD值之與勞侖茲模型之第二振子相關聯之諧振能量E2之值。如圖16及圖17中繪示，E1及E2兩者根據量子效應變動，其預測能級隨著阱變窄而增大。

在一進一步態樣中，描述介電常數之多維張量之元素之一或多者不同地模型化。舉例而言，不同多振子模型可用於多維張量之不同元素 $\epsilon_{ij}(\lambda, g)$ 。與模型之各不同模型相關聯之振子常數取決於結構幾何形狀。在此等實例中，描述包括結構之材料之介電常數之一多維張量之一元素與該多維張量之另一元素不同地模型化。

在一些實施例中，基於在基於一等向性模型估計之色散參數值與基於光學色散之一非等向性模型估計之相同色散參數值之間之差而估計一所關注幾何參數(例如，H、CD、深度等)。在一個實例中，圖1中描繪之量測系統100之運算系統116基於圖5及圖6中分別描繪之估計n及k值之間之差而估計特徵157之厚度T之一值。

如圖1中描繪，量測系統100係一光譜橢圓偏振儀。然而，一般而言，量測系統100可經組態為一光譜橢圓偏振儀、一光譜反射計、一旋轉偏振器、旋轉補償器光譜橢圓偏振儀(RPRC SE)、一偏振光譜反射計、一光反射計等。一般而言，本文中描述之技術可應用於自任何基於模型之光譜量測系統或基於模型之光譜量測系統之組合收集之量測資料。

在一進一步態樣中，針對光學色散之非等向性模型之浮動參數當中之最高靈敏度及最低相關性最佳化與一特定量測應用相關聯之一量測配方(即，不同量測系統參數、不同量測系統或該兩者之組合)。

圖18繪示適於藉由本發明之系統100實施之一程序流程300。在一個

態樣中，應認識到，可經由藉由運算系統116之一或多個處理器執行之一預程式化演算法執行程序流程300之資料處理步驟。雖然在系統100之背景內容中呈現以下描述，但本文中應認識到，系統100之特定結構態樣不表示限制且應解釋為僅闡釋性的。

在方塊301中，舉例而言藉由照明器102跨一光譜範圍將第一數量之照明提供至經製造於一未完成、多層半導體晶圓上之一結構。

在方塊302中，舉例而言藉由光譜儀104回應於第一數量之照明而自所量測結構收集第一數量之光。

在方塊303中，舉例而言藉由光譜儀104產生指示所量測結構之一光譜回應之第一數量之光譜資料。

在方塊304中，舉例而言藉由運算系統116基於包含所量測結構之一光學色散之一非等向性特性化之一量測模型來估計與所量測結構相關聯之一或多個所關注幾何參數之一值。

在另一進一步態樣中，藉由至少部分基於所關注估計參數控制半導體晶圓之一製程而改良裝置效能。在一個實例中，可基於CD值控制CD，該等CD值基於如本文中描述之光學色散之一非等向性特性化估計。

在另一進一步態樣中，基於相同光譜回應資料而進行與一所量測結構之不同特徵相關聯之所關注參數之單獨估計。舉例而言，一所量測晶圓可包含多個層及結構特徵。自光譜儀104接收之光譜回應資料包含來自全部此等層及特徵之貢獻。捕獲此等層及特徵之各者之貢獻之一量測模型可用於單獨判定與各不同所分析實體層或特徵相關聯之所關注參數。

在一或多個例示性實施例中，可在硬體、軟體、韌體或其等之任何組合中實施所描述功能。若在軟體中實施，則可將功能作為一或多個指令

或程式碼儲存於一電腦可讀媒體上或經由一電腦可讀媒體傳輸。電腦可讀媒體包含電腦儲存媒體及包含促成一電腦程式自一個位置轉移至另一位置之任何媒體之通信媒體兩者。一儲存媒體可為可由一通用或專用電腦存取之任何可用媒體。藉由實例而非限制，此等電腦可讀媒體可包括**RAM**、**ROM**、**EEPROM**、**CD-ROM**或其他光碟儲存器、磁碟儲存器或其他磁性儲存裝置，或可用來以指令或資料結構之形式攜載或儲存所要程式碼構件且可由一通用或專用電腦或一通用或專用處理器存取之任何其他媒體。再者，任何連接被適當地稱為一電腦可讀媒體。舉例而言，若使用一同軸電纜、光纖電纜、雙絞線、數位用戶線(DSL)或諸如紅外線、無線電及微波之無線科技自一網站、伺服器或其他遠端源傳輸軟體，則同軸電纜、光纖電纜、雙絞線、DSL或諸如紅外線、無線電及微波之無線科技包含在媒體之定義中。如本文中所使用，磁碟及光碟包含光碟(CD)、雷射光碟、光碟、數位多功能光碟(DVD)、軟碟及藍光光碟，其中磁碟通常磁性地重現資料，而光碟運用雷射光學地重現資料。上文之組合亦應包含在電腦可讀媒體之範疇內。

如本文中所使用，術語「晶圓」通常係指由一半導體或非半導體材料形成之基板。此一半導體或非半導體材料之實例包含(但不限於)單晶矽、絕緣體上矽、應變絕緣體上矽、砷化鎵及磷化銦。通常可在半導體製造設施中發現及/或處理此等基板。

一或多個層可形成在一晶圓上。舉例而言，此等層可包含(但不限於)一光阻、一介電材料、一導電材料及一半導體材料。此項技術中已知許多不同類型之此等層，且如本文中使用之術語晶圓意欲涵蓋其上可形成所有類型之此等層之一晶圓。

形成於一晶圓上之一或多個層可被圖案化或未被圖案化。舉例而言，一晶圓可包含複數個晶粒，各晶粒具有可重複圖案化特徵。此等材料層之形成及處理可最終導致完成裝置。許多不同類型之裝置可形成於一晶圓上，且如本文中使用的術語晶圓意欲涵蓋在其上製造此項技術中已知之任何類型之裝置之一晶圓。

一典型半導體程序包含分批次之晶圓處理。如本文中使用的，一「批次」係一起處理之晶圓之一群組(例如，25個晶圓之群組)。批次中之各晶圓由來自微影處理工具(例如，步進機、掃描器等)之許多曝光場構成。在各場內可存在多個晶粒。一晶粒係最終變成一單晶片之功能單元。形成於一晶圓上之一或多個層可被圖案化或未被圖案化。舉例而言，一晶圓可包含複數個晶粒，各晶粒具有可重複圖案化特徵。此等材料層之形成及處理可最終導致完成裝置。許多不同類型之裝置可形成於一晶圓上，且如本文中使用的術語晶圓意欲涵蓋在其上製造此項技術中已知之任何類型之裝置之一晶圓。

儘管本文中關於晶圓描述實施例，然應瞭解，實施例可用於特性化諸如一倍縮光罩(其通常亦可被稱為一遮罩或一光罩)之另一樣品之結構。此項技術中已知許多不同類型之倍縮光罩，且如本文中使用的術語「倍縮光罩」、「遮罩」及「光罩」意欲涵蓋此項技術中已知之所有類型之倍縮光罩。

儘管本文中關於應用於晶圓之結構之量測描述實施例，然應瞭解，本文中揭示之方法及系統可用於特性化半導體結構之臨界尺寸、半導體結構之層當中之疊對及半導體結構之材料組合物。

本文中描述之實施例大致係關於用於基於高處理量下之光學模型參

數值而判定多層結構之所關注參數之方法。舉例而言，一項實施例係關於一種用於基於白光譜橢圓偏振儀資料導出之光學模型參數值而判定多層結構之臨界尺寸之電腦實施方法。然而，在其他實施例中，使用本文中描述之技術之臨界尺寸、疊對及材料組合物之量測亦係預期的。類似地，本文中描述之方法不限於可自其導出光學模型參數值之度量系統之類型。舉例而言，在一項實施例中，度量系統包含一反射計。一般而言，本文中描述之光學色散模型可應用於自多種寬頻及窄頻度量工具接收之量測資料之分析。舉例而言，可在此專利文件之範疇內預期光譜橢圓偏振儀及反射計、多角度橢圓偏振儀及反射計(包含任何數目或類型之照明源(例如，發射可見、紅外線、紫外線、真空紫外線、深紫外線光譜中之光之基於燈或雷射之源))。

另外，度量系統可經組態用於圖案化晶圓及/或未圖案化晶圓之檢測。檢測系統可經組態為一LED檢測工具、邊緣檢測工具、背側檢測工具、宏觀檢測工具，或多模式檢測工具(同時涉及來自一或多個平台之資料)，及受益於基於高處理量下之光學模型參數值之多層結構之結構特性化之判定之任何其他度量或檢測工具。因此，可能可交換地使用術語「度量」系統及「檢測」系統。

儘管上文中出於指導目的描述某些特定實施例，然此專利文件之教示具有一般適用性且不限於上文中描述之特定實施例。因此，可在不背離如發明申請專利範圍中陳述之本發明之範疇之情況下實踐所描述實施例之各種特徵之各種修改、調適及組合。

【符號說明】

100 系統/量測系統

101	光譜橢圓偏振儀
102	照明器/照明器子系統/照明源
104	光譜儀
106	偏振照明光束
107	偏振器
108	收集光束
109	分析器
110	平移載物台
112	半導體晶圓
114	結構
116	運算系統/電腦系統
118	承載媒體
120	程式指令
135	資料/光學信號/光學量測資料
136	性質
137	記憶體
138	量測系統參數值
140	模型建立及分析引擎
141	結構模型建立模組
142	結構模型
143	光學回應函數建立模組
145	量測模型
147	擬合分析模組

150	結構
151	層
152	鎢薄層
153	照明光
154	光
155	結構
156	不同材料結構
157	臨界尺寸(CD)結構
158	照明光
159	光
160	標繪圖
161	標繪線
162	標繪線
165	標繪圖
166	標繪線
167	標繪線
170	結構
171	光
172	照明光
173	光
174	照明光
175	標繪圖
176	標繪線

177	標繪線
178	標繪圖
179	標繪線
180	標繪線
181	標繪圖
182	標繪線
183	標繪線
184	標繪圖
185	標繪線
186	標繪線
190	結構
191	矽基板
192	二氧化矽
193	鎢光柵結構
194	標繪圖
195	標繪線
196	標繪線
197	標繪線
198	標繪圖
199	標繪線
200	標繪線
201	標繪線
205	標繪圖

206	標繪線
207	標繪線
208	標繪圖
209	標繪線
210	標繪線
220	半導體膜堆疊結構
221	層
222	鎢薄層
223	層
224	照明光
225	光
230	結構
231	不同材料
232	鎢薄層/鎢層
233	照明光
234	照明光
235	光
236	光
240	結構
241	矽鰭片結構
245	圖
250	圖
260	矽淺溝槽隔離(STI)結構

261	氮化矽鰭片結構
300	程序流程
301	方塊
302	方塊
303	方塊
304	方塊
H	高度
D	溝槽深度
TCD	頂部臨界尺寸

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種量測系統，其包括：

一第一照明器，其跨一光譜範圍將一第一數量之照明提供至一所量測結構，其中該所量測結構經製造於一未完成、多層半導體晶圓上；

一第一光譜儀，其回應於該第一數量之照明而自該所量測結構收集第一數量之光且產生指示該所量測結構之一光譜回應之第一數量之光譜資料，其中該第一照明器及該第一光譜儀係根據一第一組量測系統參數而組態；及

一擬合(fitting)分析模組，其經組態以基於包含該所量測結構之一光學色散之一非等向性(anisotropic)模型之一量測模型來估計與該所量測結構相關聯之一或多個所關注幾何參數之一值，該非等向性模型包括特性化該所量測結構之一介電常數之一多維張量(tensor)，該多維張量具有複數個純量(scalar)分量，其中該複數個純量分量之至少一者之一值係不同於該多維張量之該複數個純量分量之另一者之一值。

【第2項】

如請求項1之量測系統，其中該所量測結構包含各自由一不同材料製造之兩個或兩個以上幾何特徵，且其中該量測模型包含與各不同材料相關聯之該光學色散之一不同非等向性模型。

【第3項】

如請求項1之量測系統，其中該一或多個所關注幾何參數之該值之該估計涉及結合該量測模型之該第一數量之光譜資料之一迴歸(regression)。

【第4項】

如請求項1之量測系統，其中該第一照明器及該第一光譜儀經組態為一光譜橢圓偏振儀或一光譜反射計。

【第5項】

如請求項1之量測系統，其中該所量測結構之該光學色散之該非等向性模型包含該光學色散之一矩陣函數。

【第6項】

如請求項5之量測系統，其中該矩陣函數之非對角元素之各者係零值，且該矩陣函數之對角元素之兩者或兩者以上係不同值。

【第7項】

如請求項1之量測系統，其中該光學色散之該非等向性模型包含與三個主方向之各者相關聯之一或多個光學色散參數，且其中與該三個主方向之至少一者相關聯之該一或多個光學色散參數值係不同於與該三個主方向之另一者相關聯之該一或多個光學色散參數值。

【第8項】

如請求項1之量測系統，進一步包括：

一第二照明器，其提供第二數量之照明至該所量測結構；及

一第二光譜儀，其回應於該第二數量之照明而自該所量測結構收集第二數量之光，且產生指示該所量測結構之一光譜回應之一第二數量之光譜資料，其中該第二照明器及該第二光譜儀係根據一第二組量測系統參數來組態。

【第9項】

如請求項8之量測系統，其中該第一照明器及該第二照明器係相同照

明器，且該第一光譜儀及該第二光譜儀係相同光譜儀。

【第10項】

如請求項8之量測系統，其中該第一組量測系統參數包含一方位角、一入射角、一照明光偏振、一光學電場定向或其等之任何組合，且其中該第二組量測系統參數包含該方位角、該入射角、該照明光偏振及該光學電場定向之任一者之一不同值。

【第11項】

如請求項8之量測系統，其中該一或多個所關注幾何參數之該值之該估計涉及結合該量測模型之該第一數量及該第二數量之光譜資料之一迴歸，其中與該所量測結構之一材料相關聯之一或多個光學色散參數係在該第一數量及該第二數量之光譜資料之該等迴歸期間浮動，且該一或多個所關注幾何參數之該等值在該第一數量及該第二數量之光譜資料之該等迴歸期間被約束為相同值。

【第12項】

如請求項11之量測系統，其中在該第一數量及該第二數量之光譜資料之該迴歸期間採用之該一或多個光學色散參數之一初始值係該一或多個光學色散參數之一主體、等向性值。

【第13項】

如請求項12之量測系統，其中自該材料之一膜之一光譜量測判定該一或多個光學色散參數之該主體、等向性值。

【第14項】

如請求項1之量測系統，其中該多維張量之該複數個純量分量之一或多者係該所量測結構之一幾何參數的一函數。

【第15項】

如請求項14之量測系統，其中該幾何參數係該等所關注幾何參數之一者。

【第16項】

如請求項14之量測系統，其中該多維張量之該複數個純量分量之一或多者包含複數個諧振子函數。

【第17項】

一種量測方法，其包括：

跨一光譜範圍將一第一數量之照明提供至一所量測結構，其中該所量測結構經製造於一未完成、多層半導體晶圓上；

回應於該第一數量之照明而自該所量測結構收集第一數量之光；

產生指示該所量測結構之一光譜回應之第一數量之光譜資料；及

基於包含該所量測結構之一光學色散之一非等向性模型之一量測模型來估計與該所量測結構相關聯之一或多個所關注幾何參數之一值，該非等向性模型包括特性化該所量測結構之一介電常數之一多維張量，該多維張量具有複數個純量分量，其中該複數個純量分量之至少一者之一值係不同於該多維張量之該複數個純量分量之另一者之一值。

【第18項】

如請求項17之量測方法，其中該所量測結構包含各自由一不同材料製造之兩個或兩個以上幾何特徵，且其中該量測模型包含與各不同材料相關聯之該光學色散之一不同非等向性模型。

【第19項】

如請求項17之量測方法，其中該所量測結構之該光學色散之該非等

向性模型包含該光學色散之一矩陣函數。

【第20項】

如請求項17之量測方法，其中該光學色散之該非等向性模型包含與三個主方向之各者相關聯之一或多個光學色散參數，且其中與該三個主方向之至少一者相關聯之該一或多個光學色散參數值係不同於與該三個主方向之另一者相關聯之該一或多個光學色散參數值。

【第21項】

如請求項17之量測方法，其中該所量測結構之該光學色散之該非等向性模型係該所量測結構之一幾何參數的一函數。

【第22項】

如請求項21之量測方法，其中該幾何參數係該等所關注幾何參數之一者。

【第23項】

一種量測系統，其包括：

一第一照明器，其跨一光譜範圍將一第一數量之照明提供至一所量測結構，其中該所量測結構經製造於一未完成、多層半導體晶圓上；

一第一光譜儀，其回應於該第一數量之照明而自該所量測結構收集第一數量之光，且產生指示該所量測結構之一光譜回應之第一數量之光譜資料，其中該第一照明器及該第一光譜儀係根據一第一組量測系統參數來組態；及

一非暫時性、電腦可讀媒體，其儲存指令，該等指令在藉由一或多個處理器執行時，導致該一或多個處理器：

基於包含該所量測結構之一光學色散之一非等向性模型之一量測模

型來估計與該所量測結構相關聯之一或多個所關注幾何參數之一值，該非等向性模型包括特性化該所量測結構之一介電常數之一多維張量，該多維張量具有複數個純量分量，其中該複數個純量分量之至少一者之一值係不同於該多維張量之該複數個純量分量之另一者之一值。

【第24項】

如請求項23之量測系統，其中該所量測結構包含各自由一不同材料製造之兩個或兩個以上幾何特徵，且其中該量測模型包含與各不同材料相關聯之該光學色散之一不同非等向性模型。

【第25項】

如請求項23之量測系統，其中該所量測結構之該光學色散之該非等向性模型包含該光學色散之一矩陣函數。

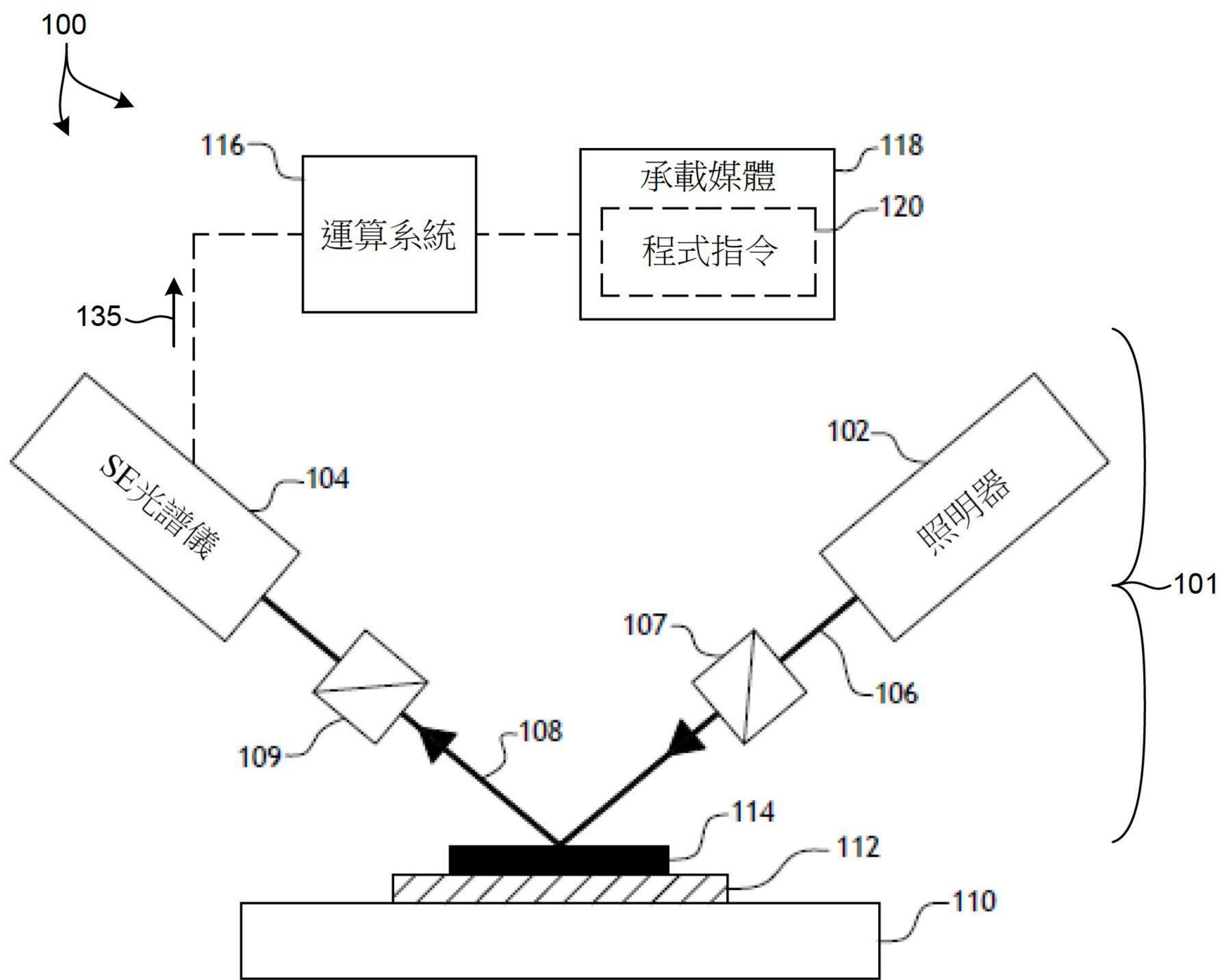
【第26項】

如請求項23之量測系統，其中該光學色散之該非等向性模型包含與三個主方向之各者相關聯之一或多個光學色散參數，且其中與該三個主方向之至少一者相關聯之該一或多個光學色散參數值係不同於與該三個主方向之另一者相關聯之該一或多個光學色散參數值。

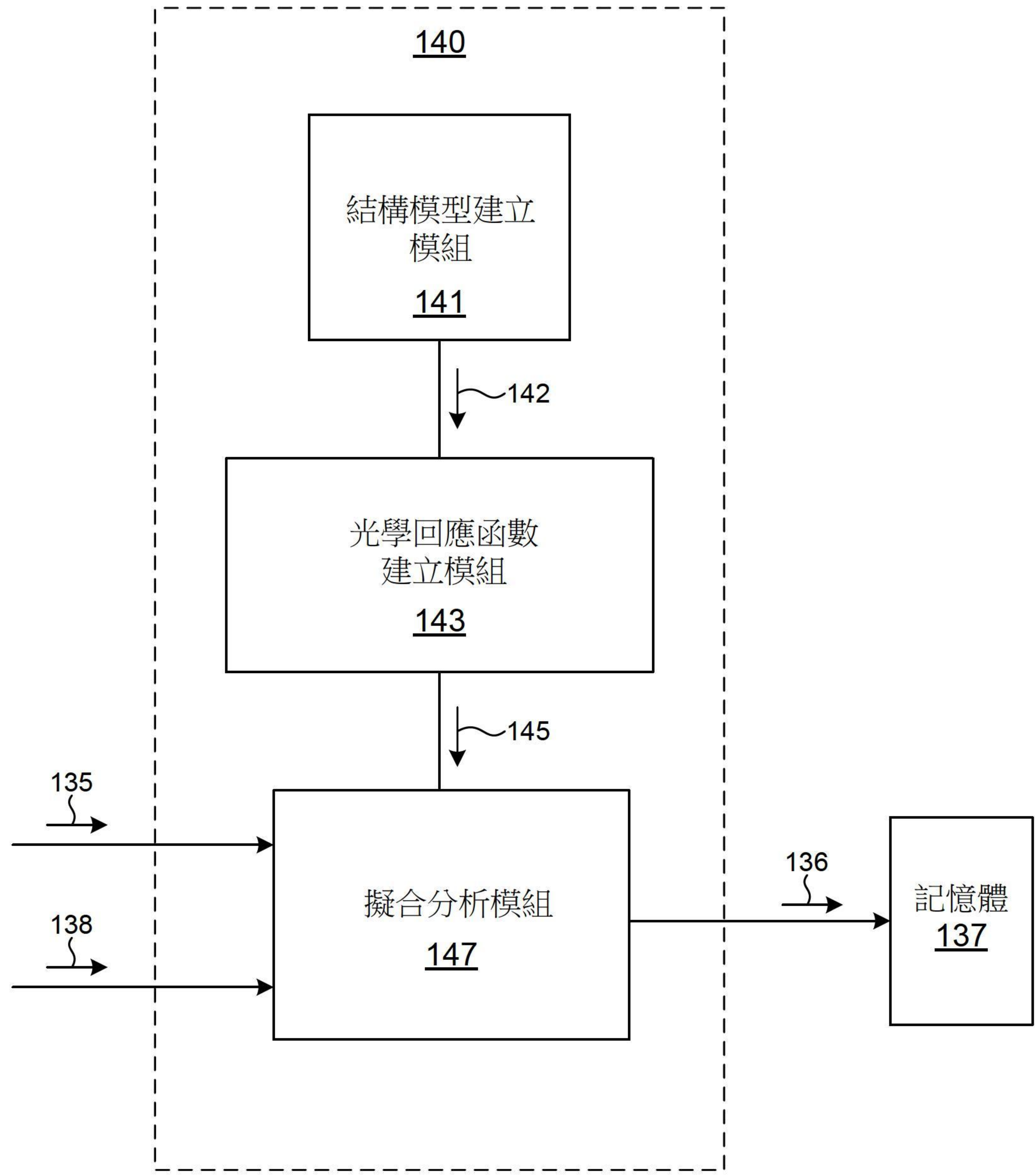
【第27項】

如請求項23之量測系統，其中該所量測結構之該光學色散之該非等向性模型係該所量測結構之一幾何參數的一函數。

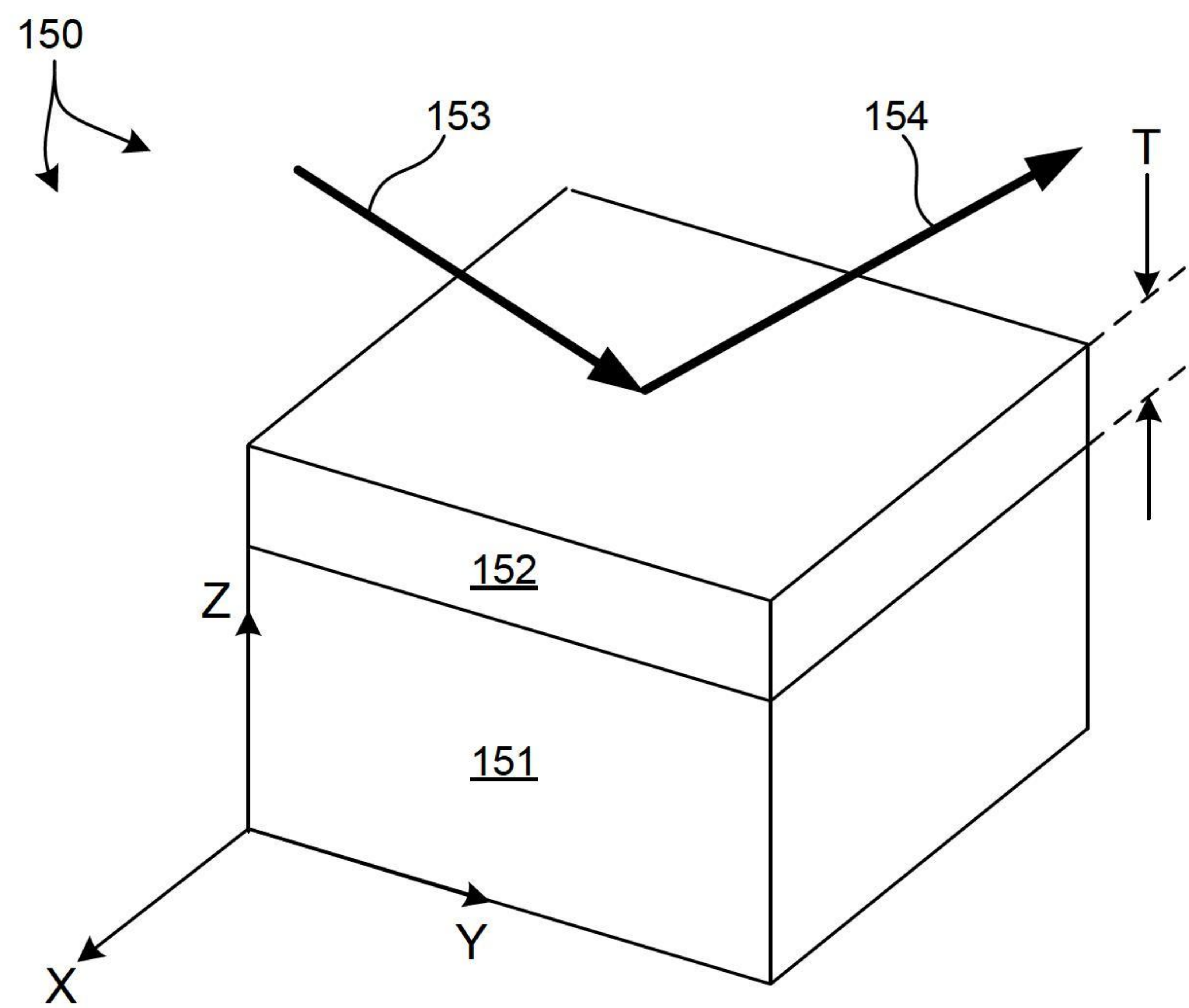
【發明圖式】



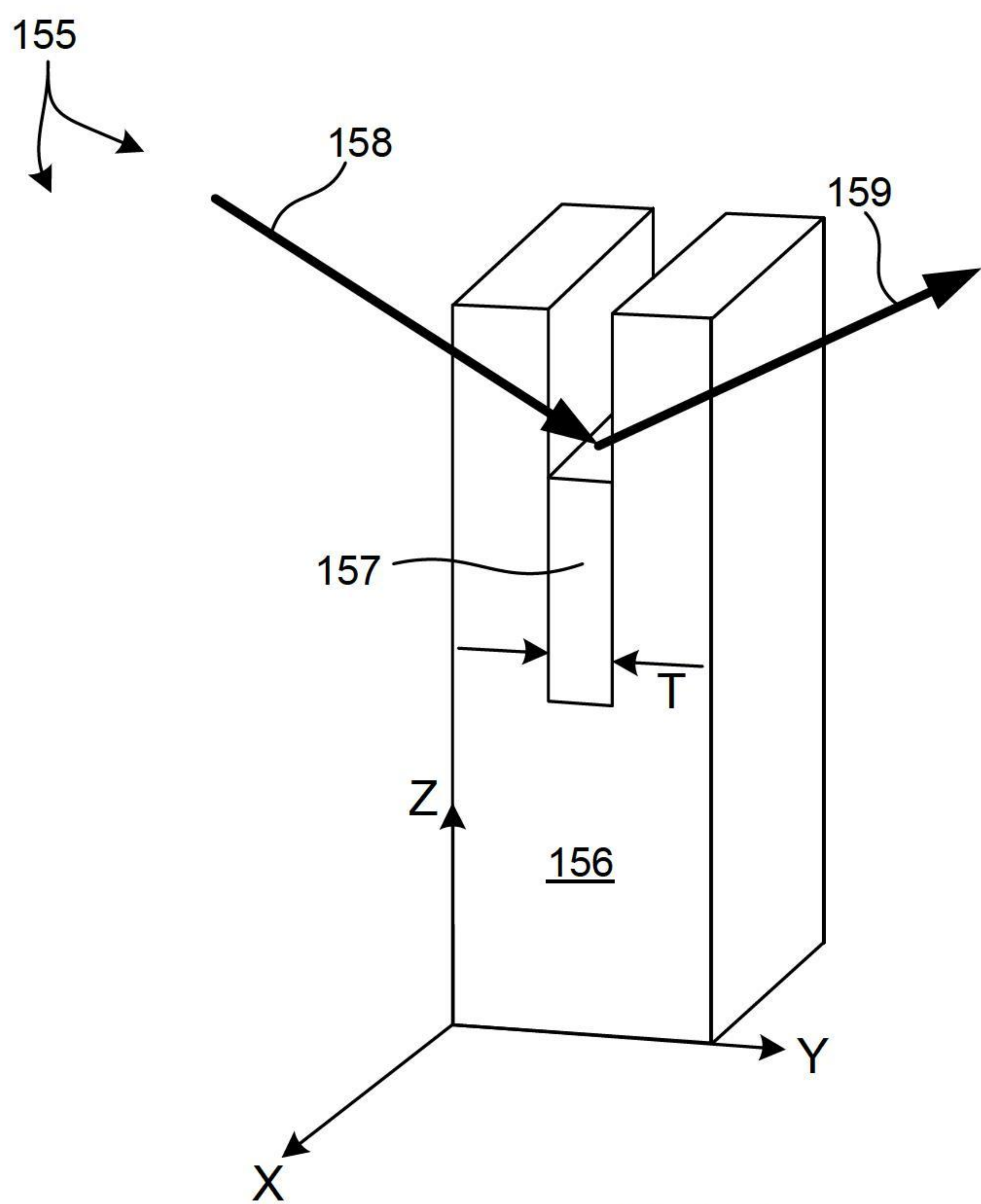
【圖1】



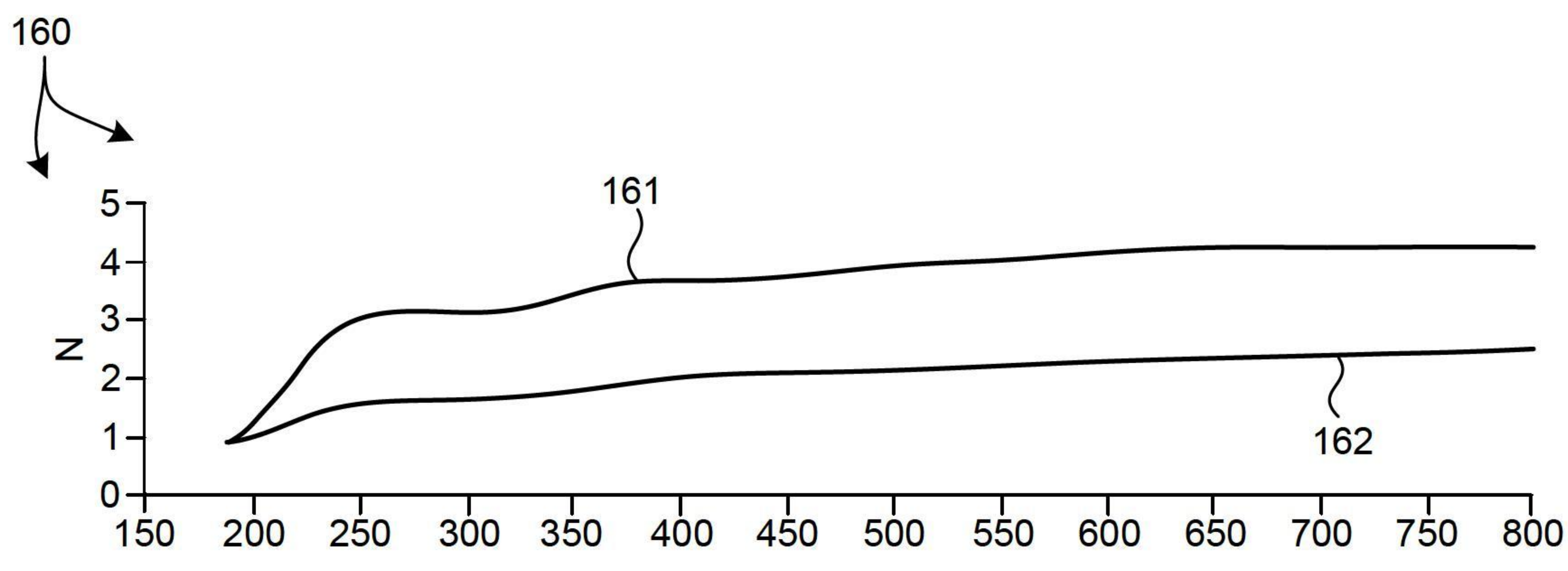
【圖2】



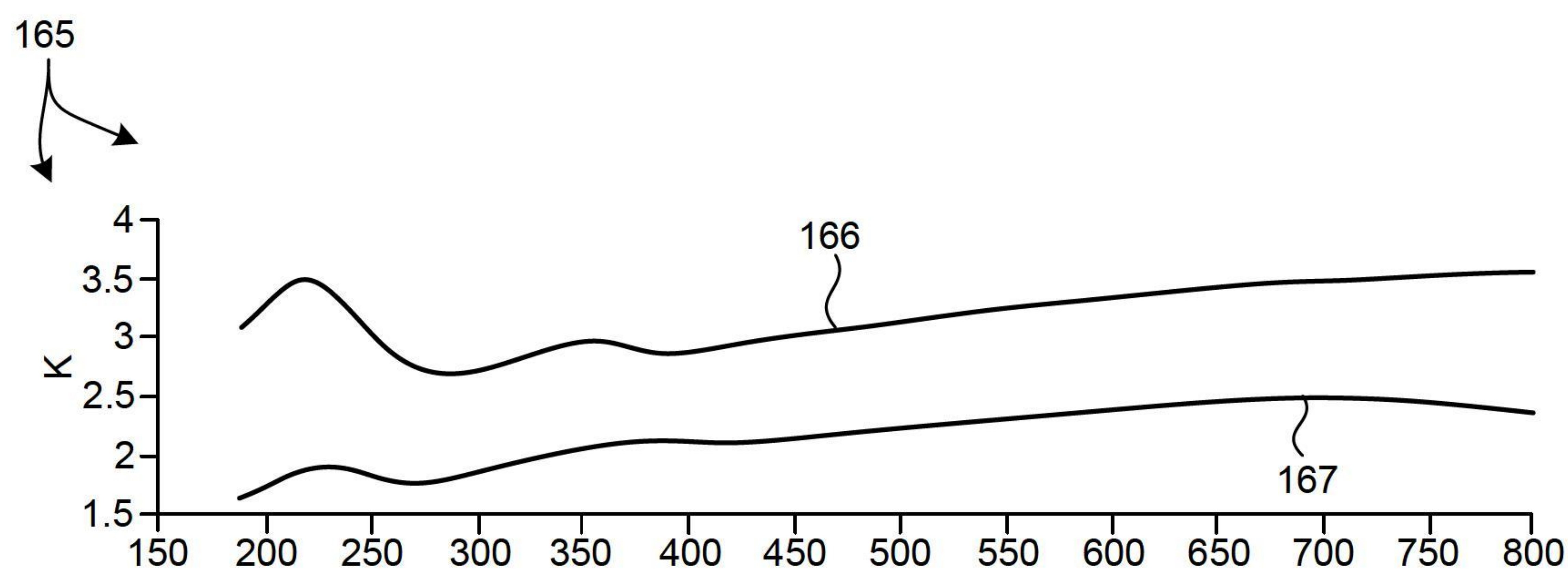
【圖3】



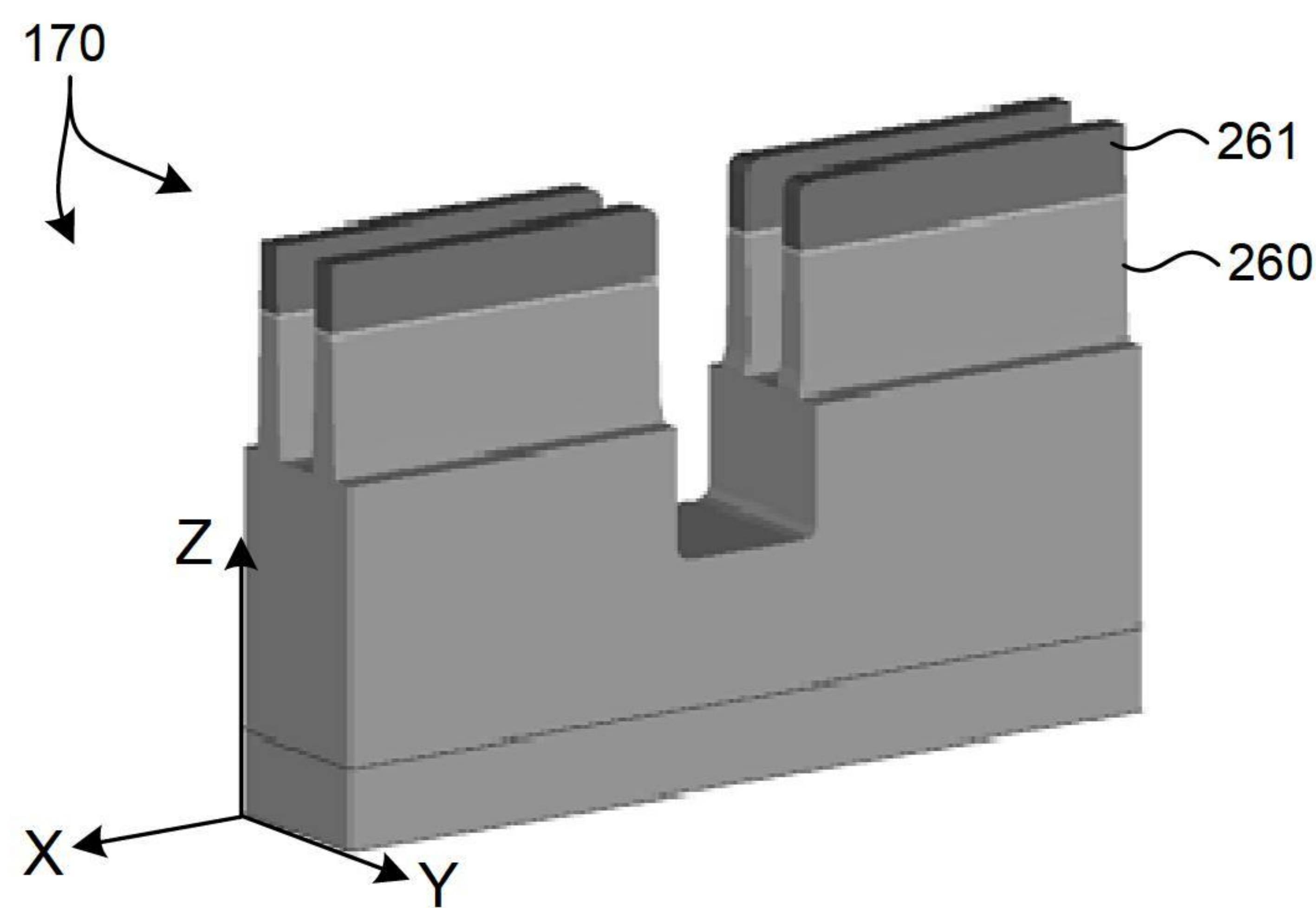
【圖4】



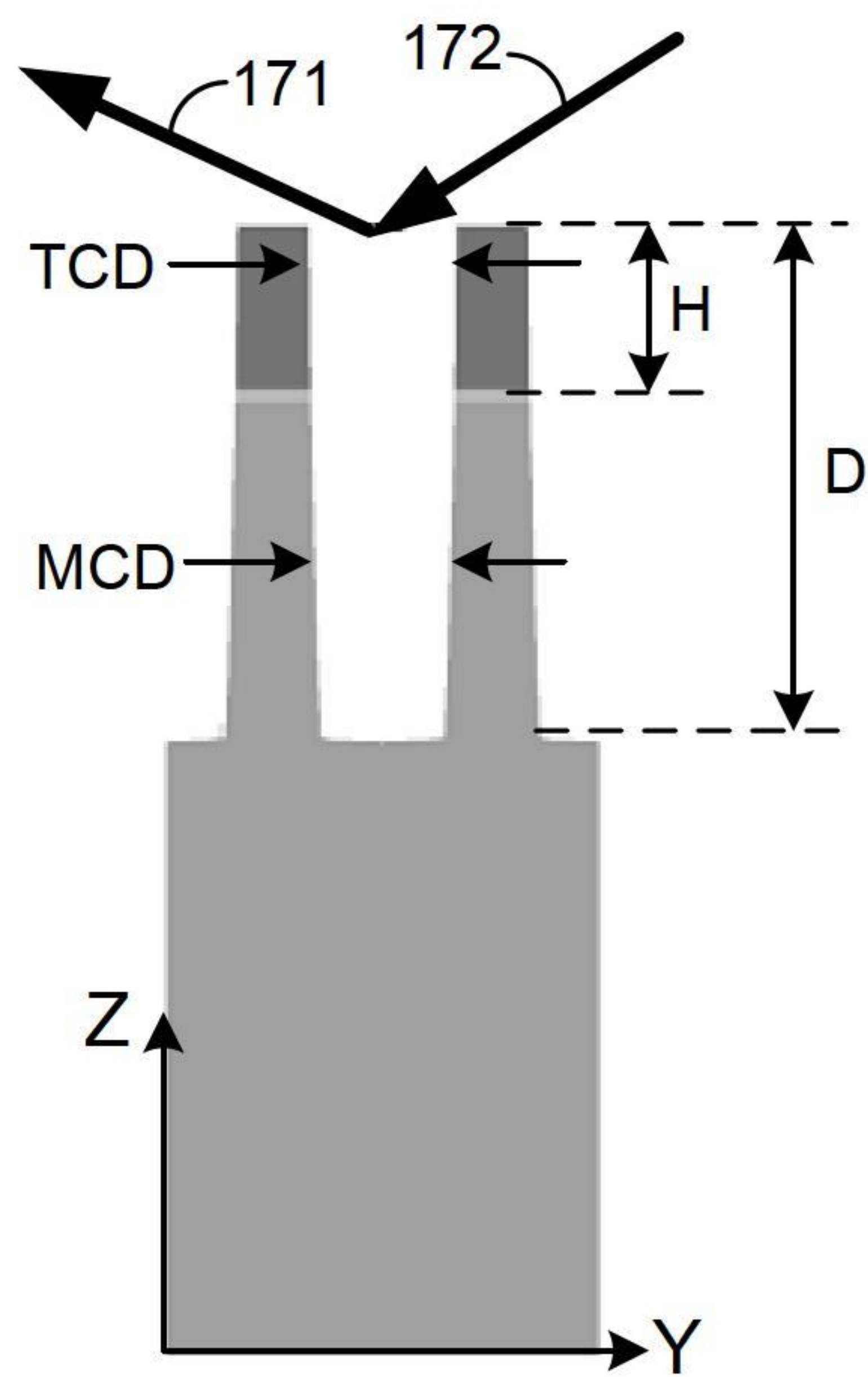
【圖5】



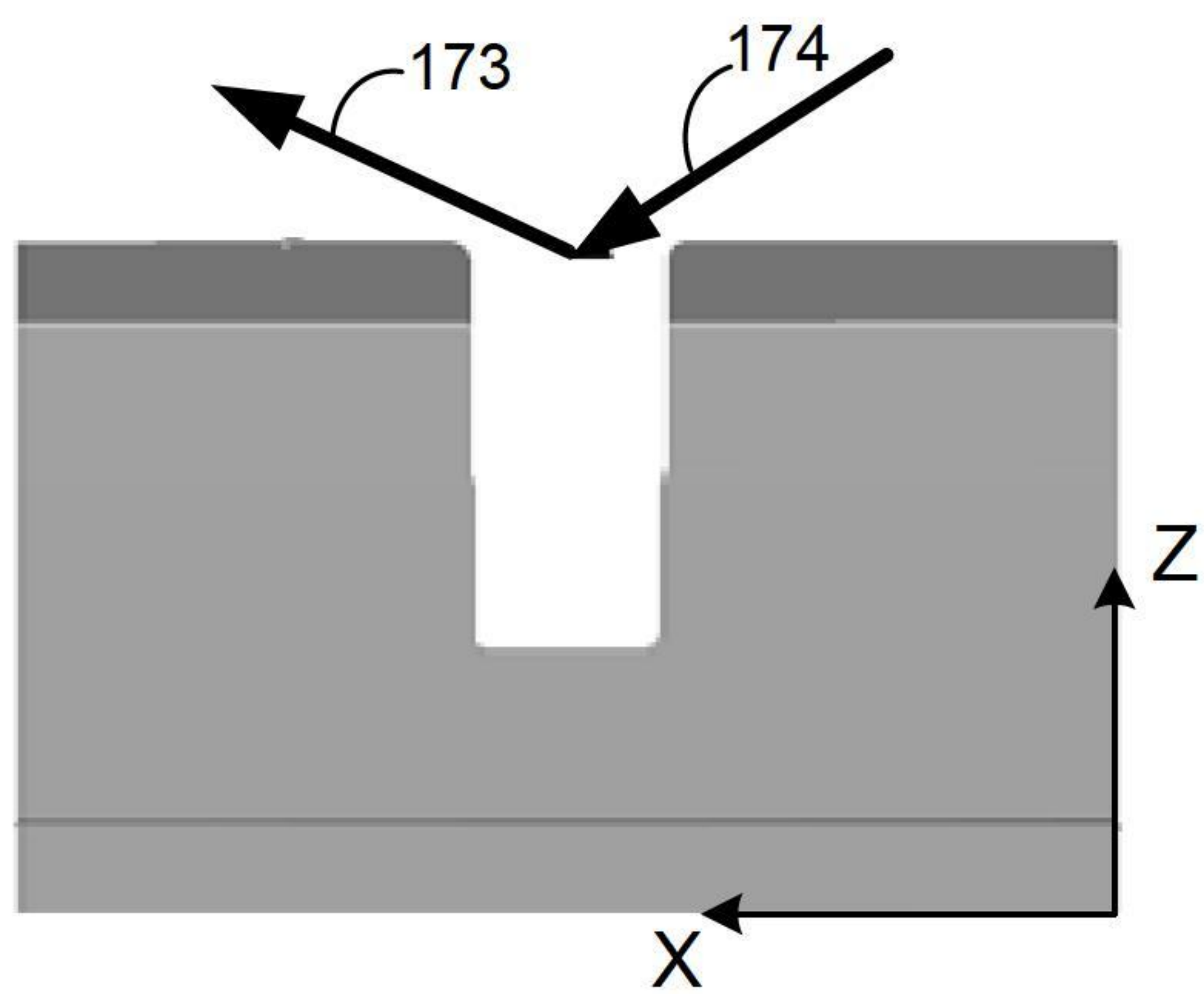
【圖6】



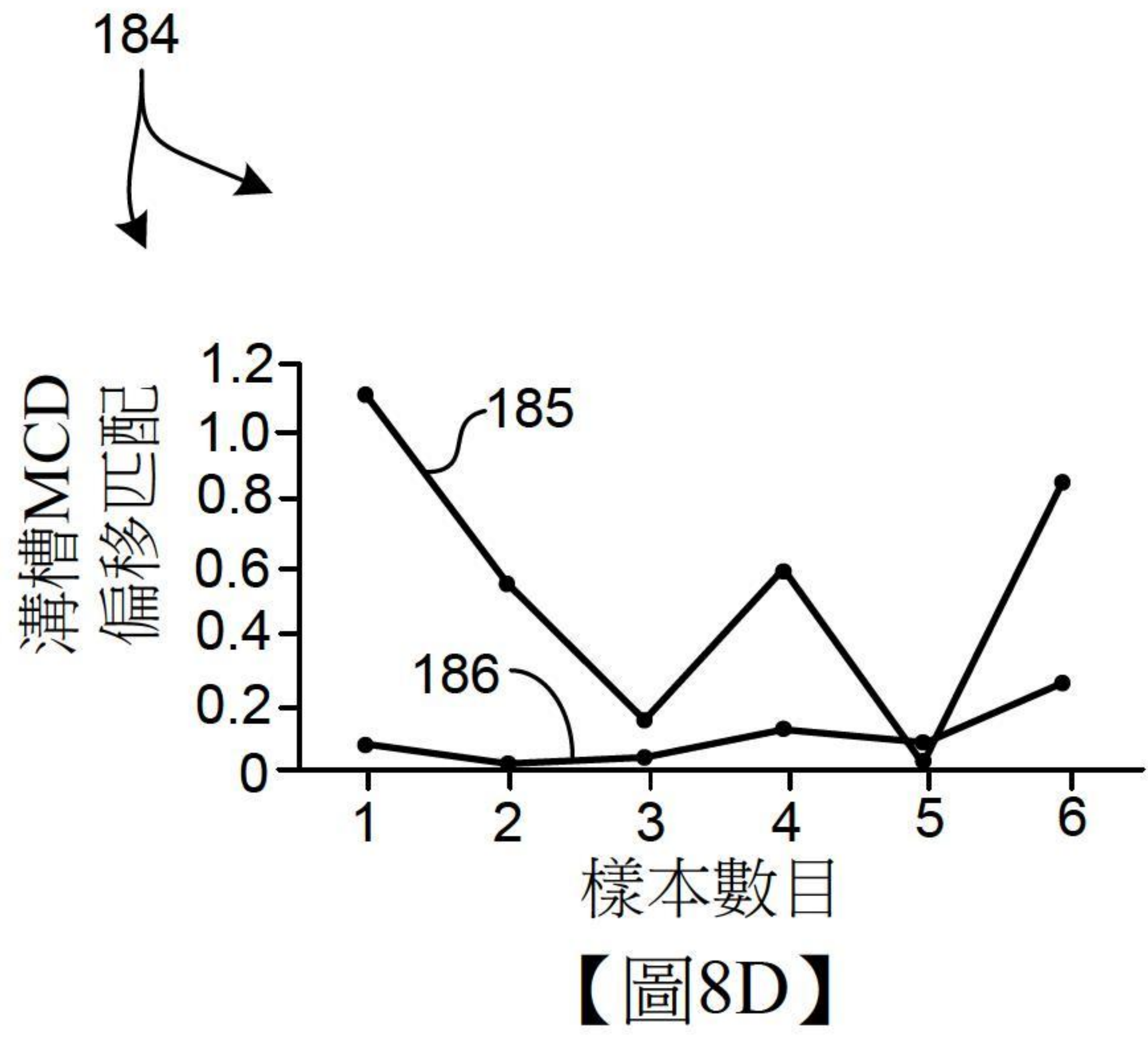
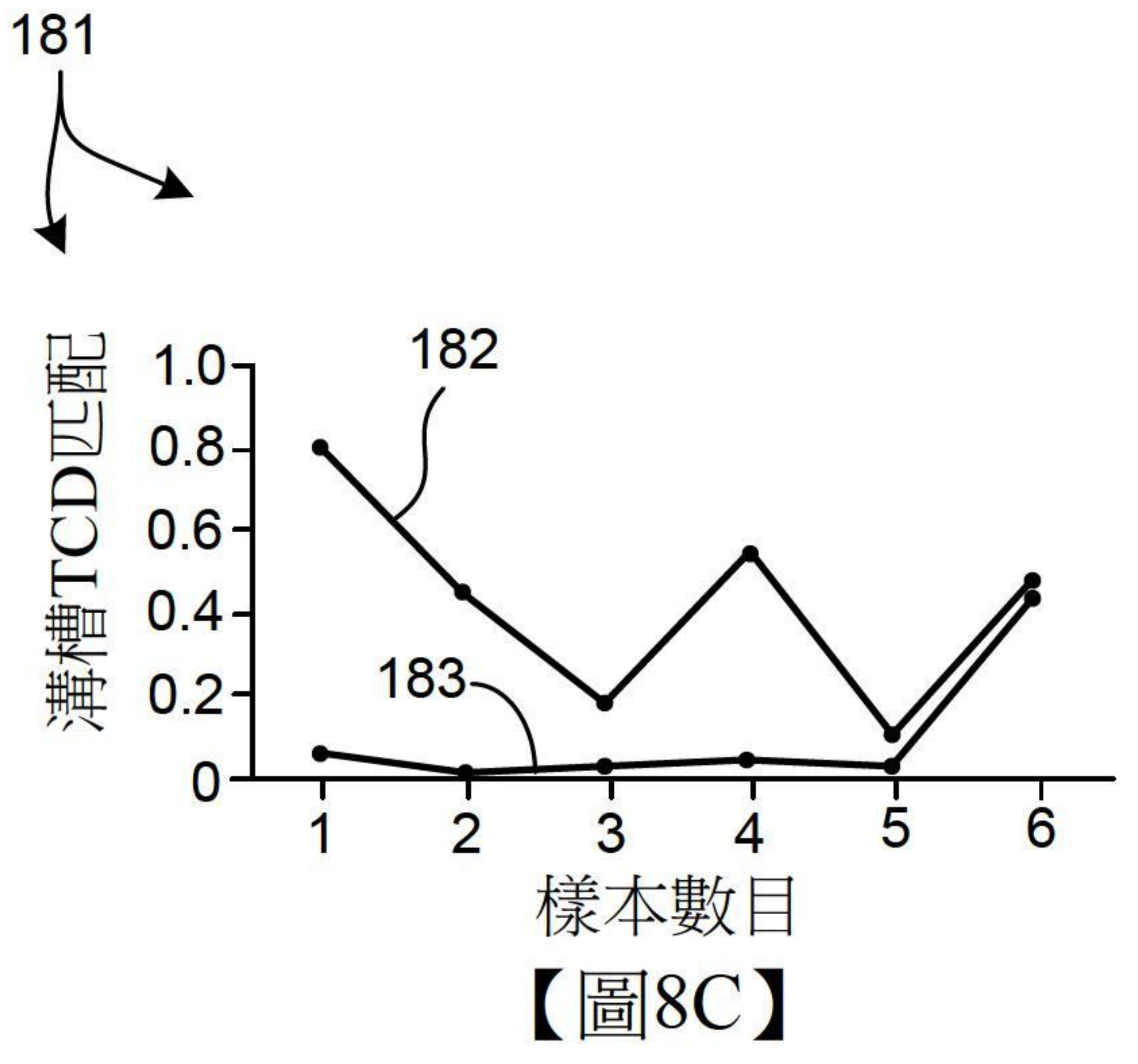
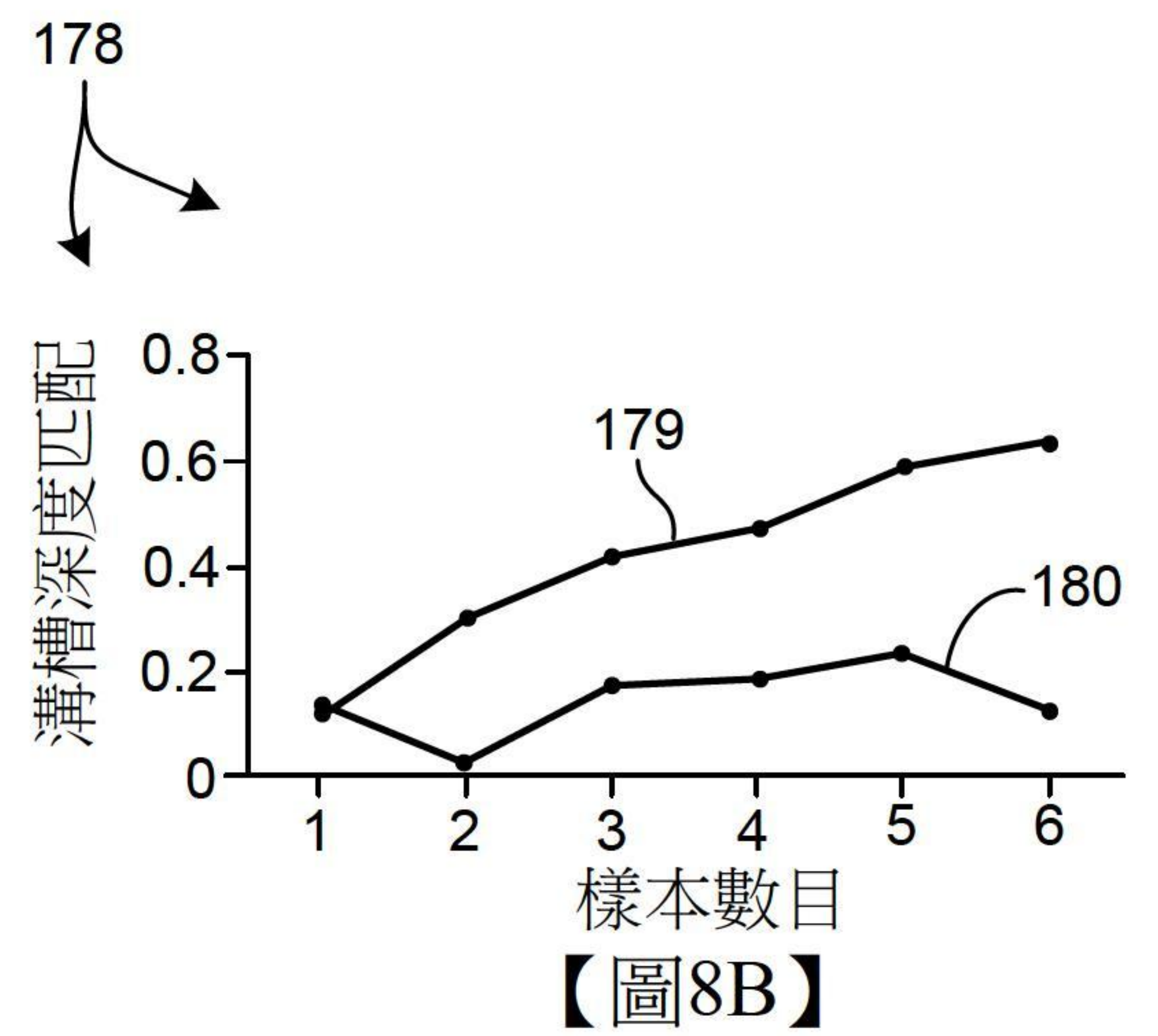
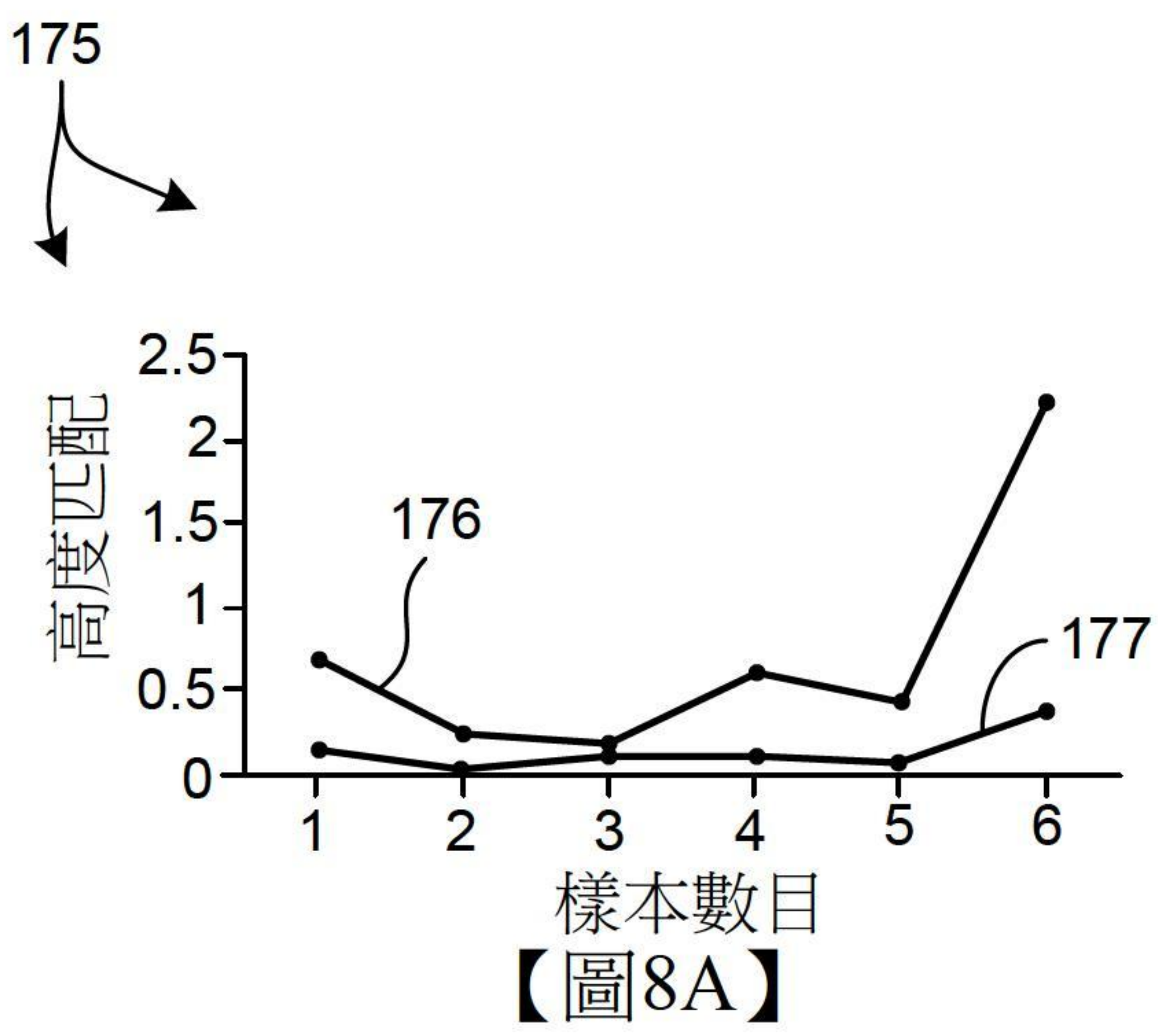
【圖7A】

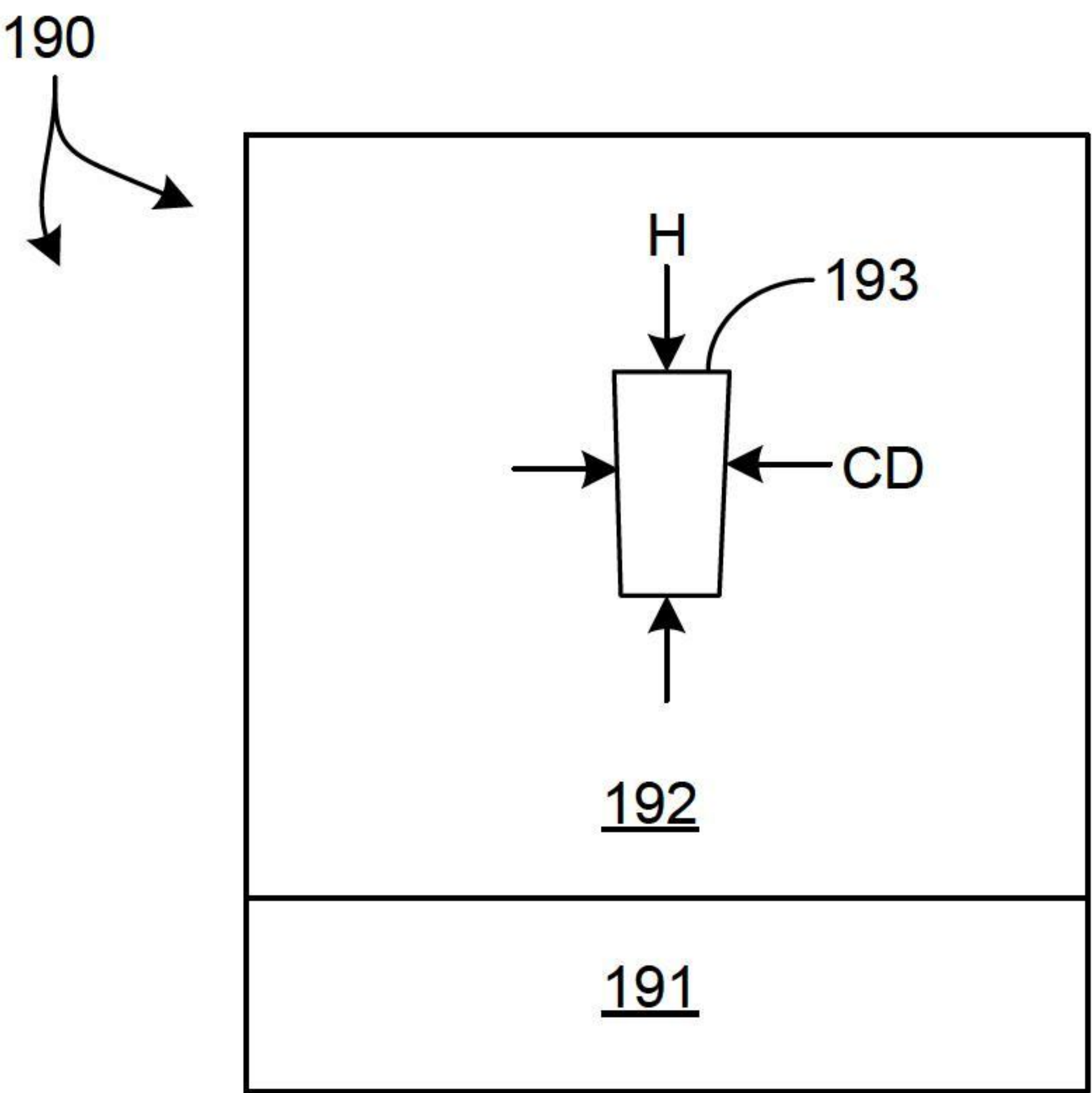


【圖7B】

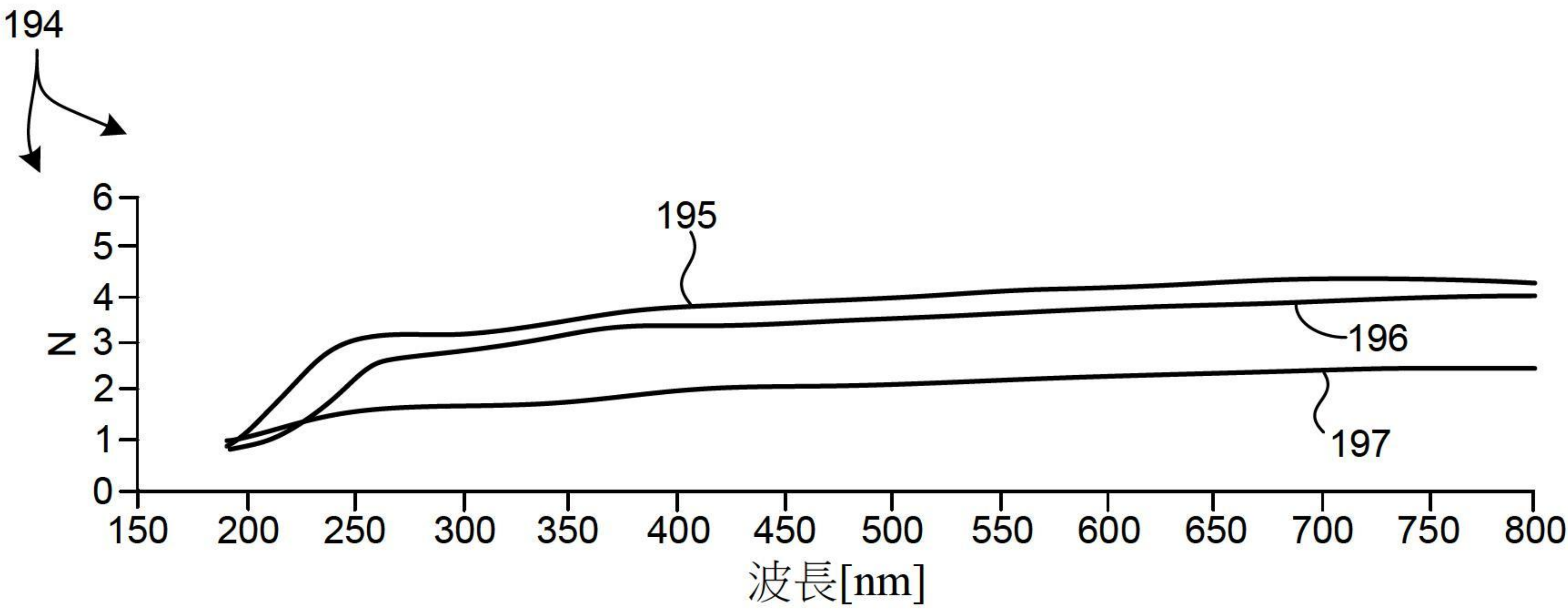


【圖7C】

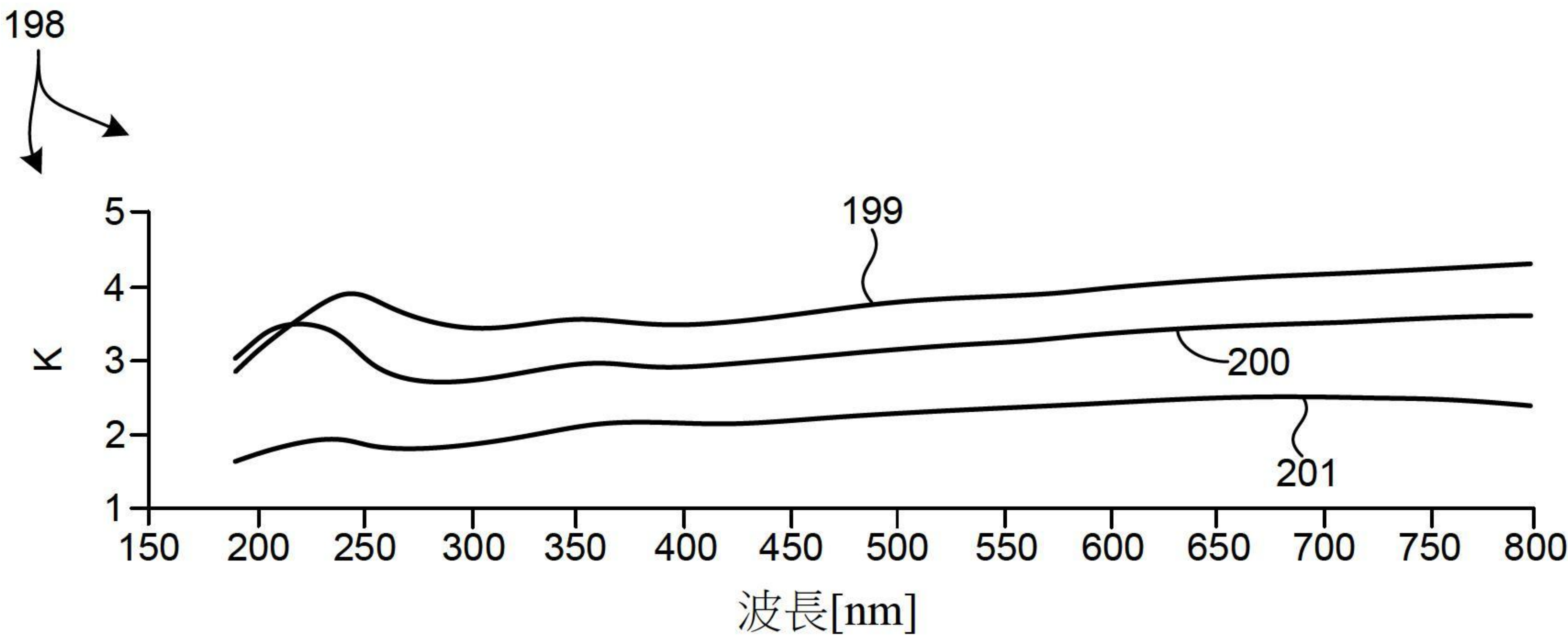




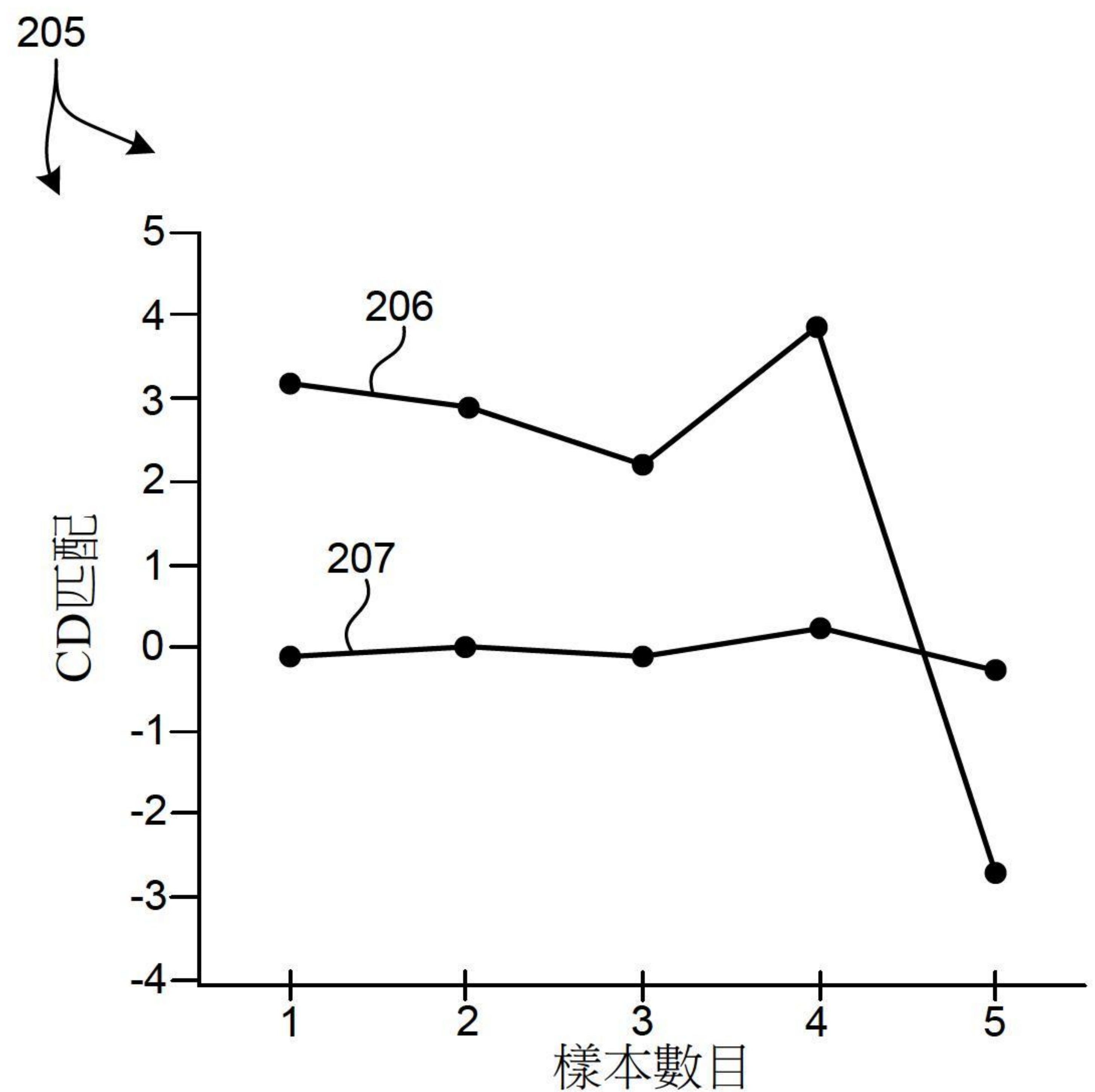
【圖9】



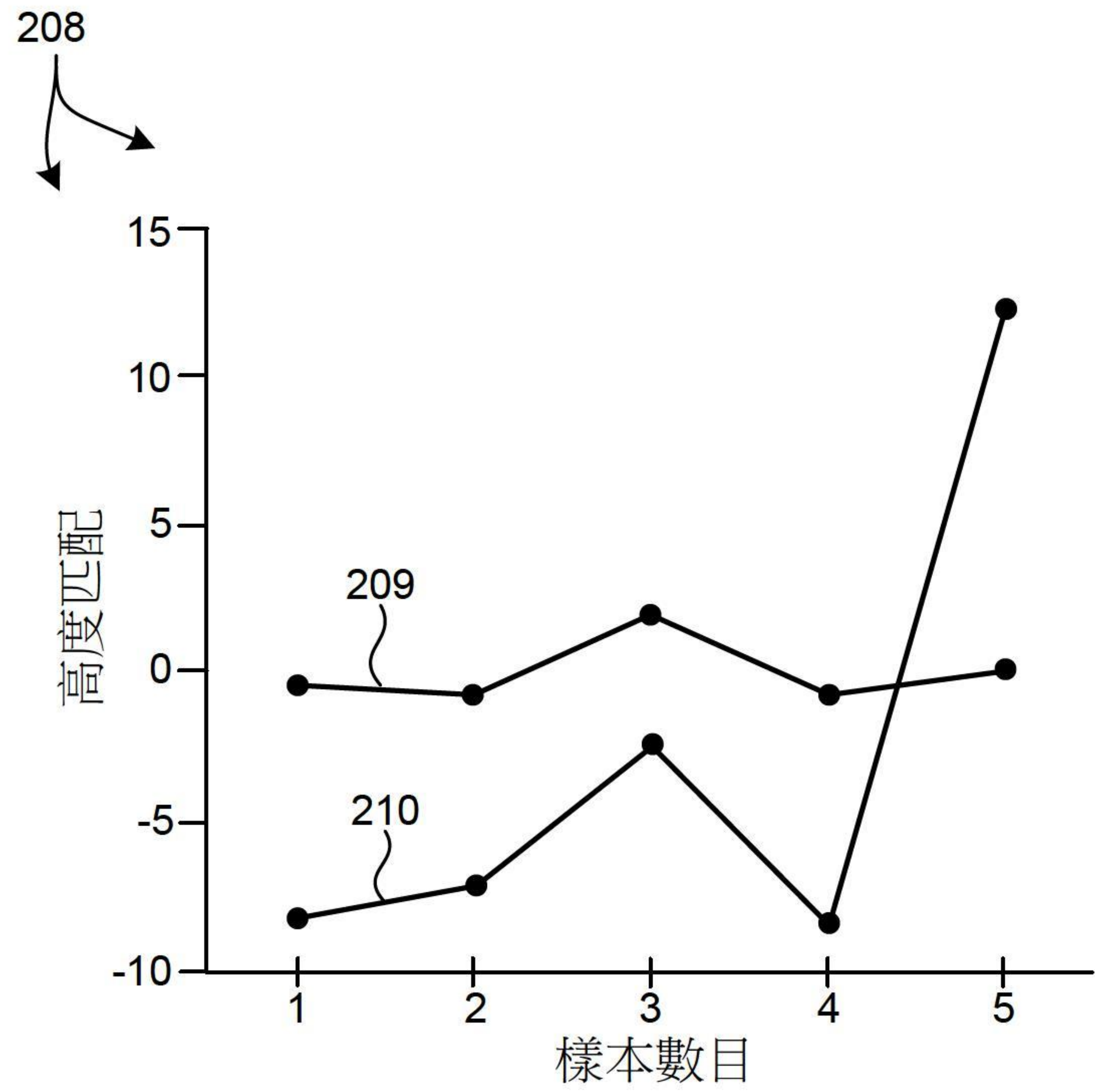
【圖10】



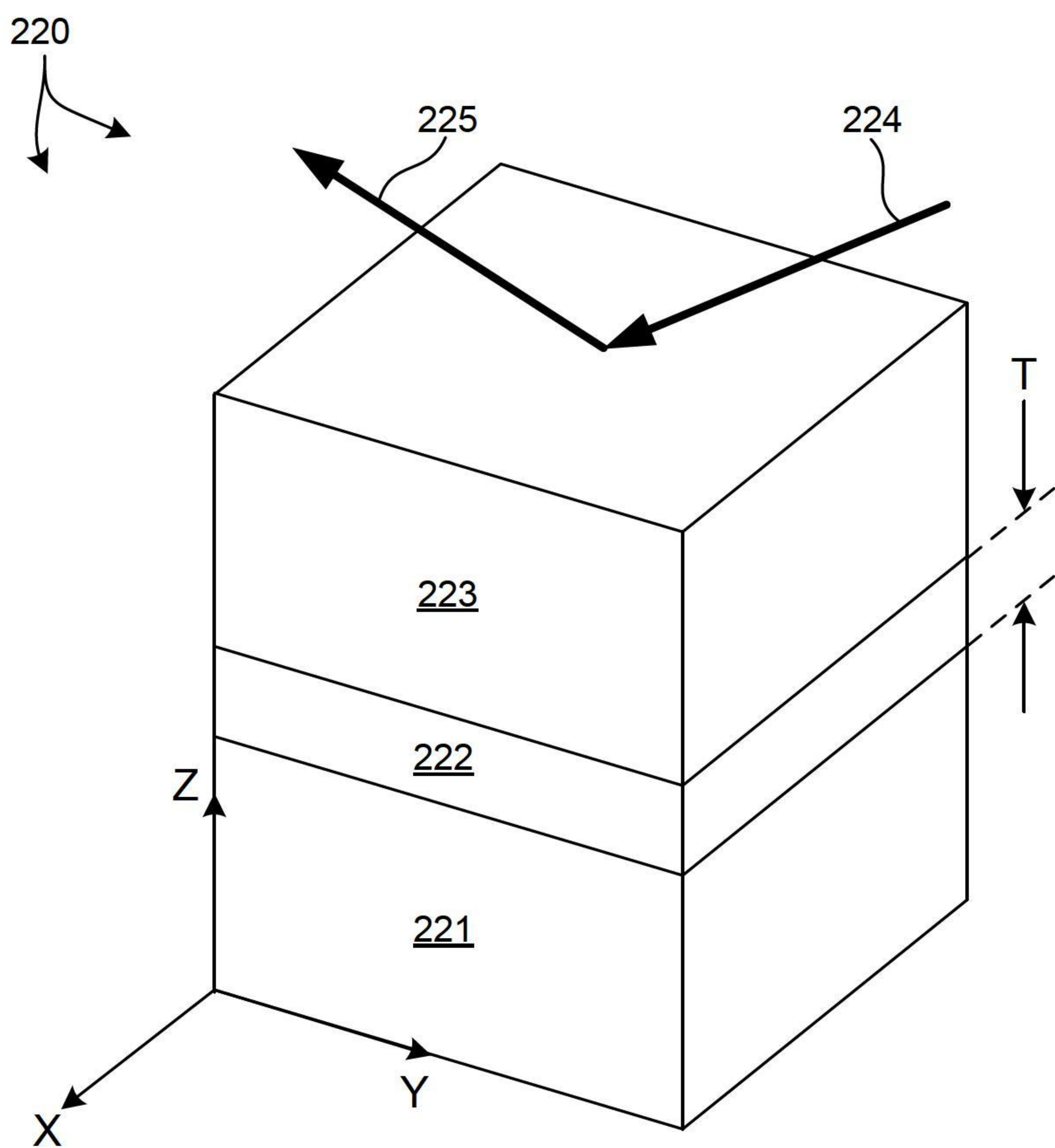
【圖11】



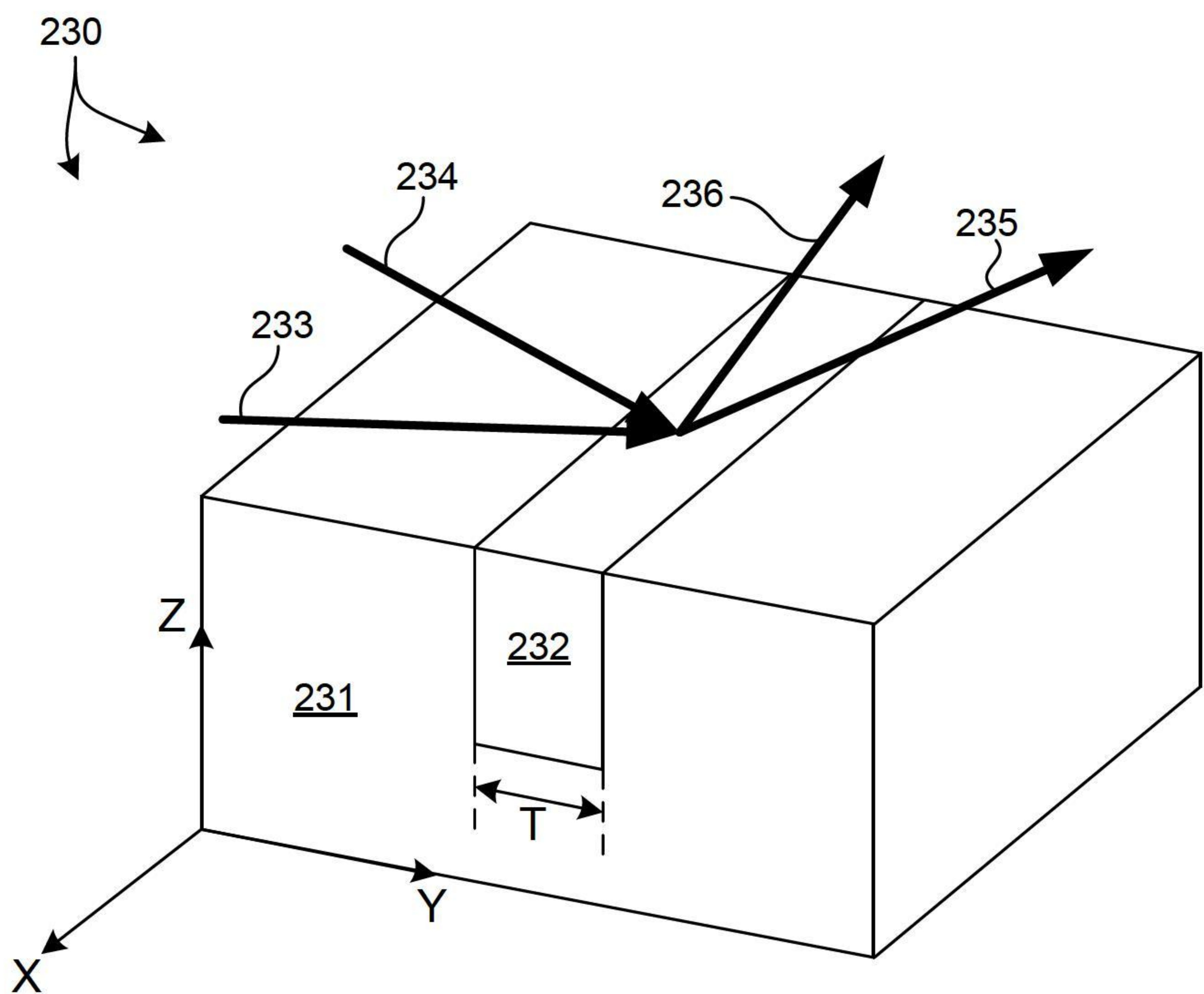
【圖12A】



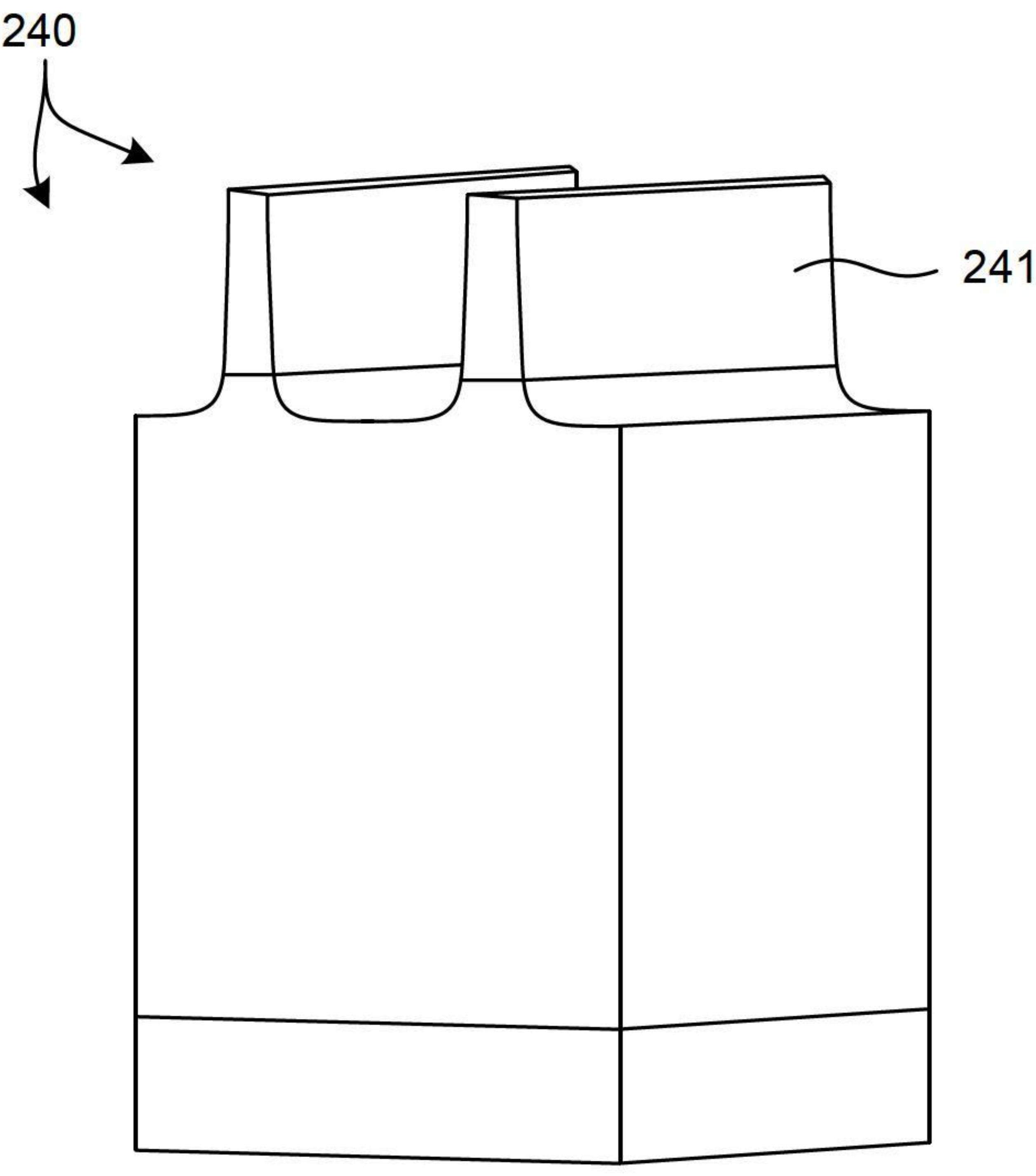
【圖12B】



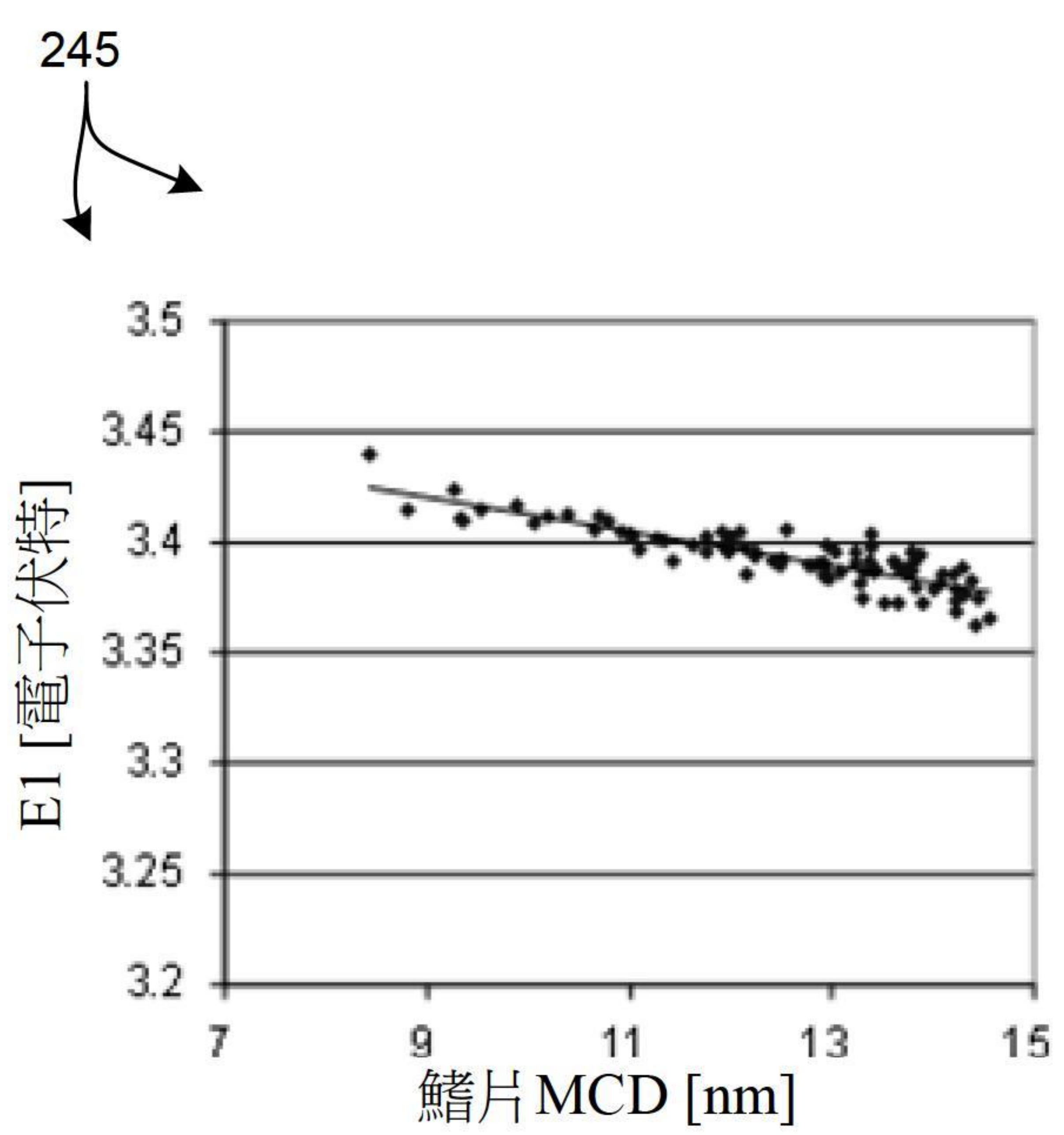
【圖13】



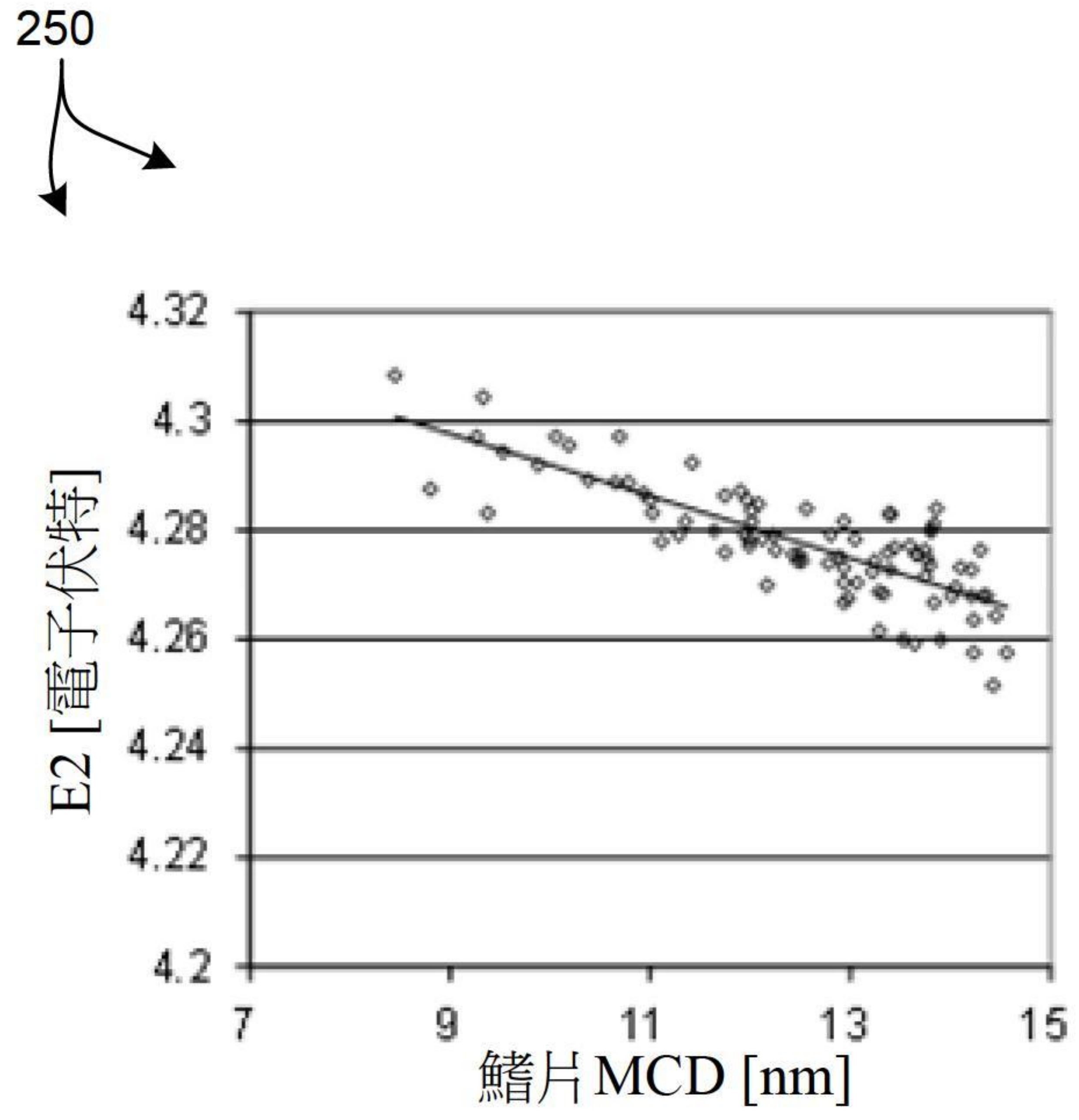
【圖14】



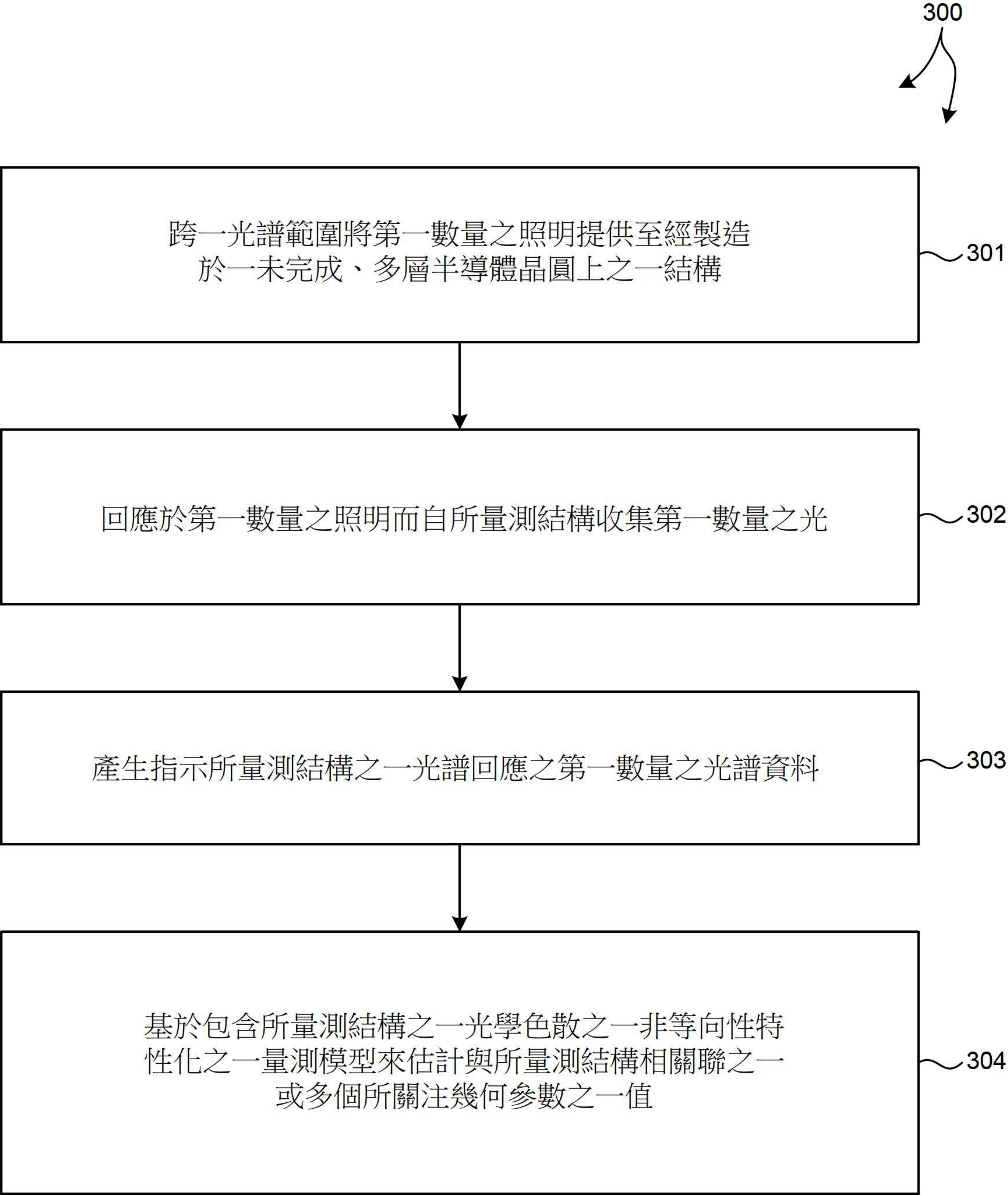
【圖15】



【圖16】



【圖17】



【圖18】