



(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 I459110 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 11 月 01 日

(21)申請案號：100106936

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 03 月 02 日

(51)Int. Cl. : G02F1/365 (2006.01)

G02B6/12 (2006.01)

(71)申請人：國立臺灣大學(中華民國) NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY (TW)

臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號

(72)發明人：王維新 WANG, WAYSEEN (TW) ; 彭隆瀚 PENG, LUNGHAN (TW) ; 林垠呈 LIN, YINCHENG (TW)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

(56)參考文獻：

TW M377598

TW 200841512A

TW 200933224A

TW 201107804A

JP 3-249629

審查人員：何宣儀

申請專利範圍項數：32 項 圖式數：28 共 71 頁

(54)名稱

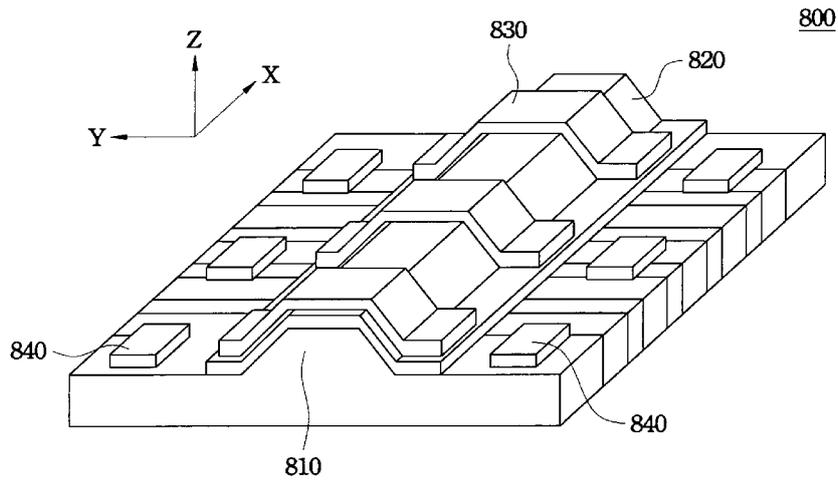
光學非線性晶體光波導及其製作方法

NONLINEAR OPTICAL CRYSTAL OPTICAL WAVEGUIDE AND METHOD FOR
MANUFACTURING THE SAME

(57)摘要

一種光學非線性晶體光波導包含複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構以及埋入式帶狀光波導結構。每一該些疇反轉結構係為一 Z-切或 Y-切光學非線性晶體。埋入式帶狀光波導結構位於該些疇反轉結構中，用以進行非線性光學參量產生。再者，一種光學非線性晶體光波導之製作方法亦在此揭露。

A nonlinear optical crystal optical waveguide includes a plurality of periodically poled domain inversion structures or aperiodically poled domain inversion structures with 1D or 2D. Each of domain inversion structures is a z-cut nonlinear optical crystal or a y-cut nonlinear optical crystal. An embedded strip optical waveguide structure is disposed in the domain inversion structures for performing an optical parametric generation. Furthermore, a method for manufacturing the nonlinear optical crystal optical waveguide is disclosed herein.



- 800 . . . 非線性光學參量產生結構
- 810 . . . 脊狀光波導結構
- 820 . . . 介電緩衝層
- 830 . . . 第一金屬電極
- 840 . . . 第二金屬電極

第 8A 圖

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：

100106936

※申請日：

100.3.02

※IPC 分類：

G02F 1/365 (2006.01)

G02B 6/12 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

光學非線性晶體光波導及其製作方法

NONLINEAR OPTICAL CRYSTAL OPTICAL
WAVEGUIDE AND METHOD FOR MANUFACTURING
THE SAME

二、中文發明摘要：

一種光學非線性晶體光波導包含複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構以及埋入式帶狀光波導結構。每一該些疇反轉結構係為一 Z-切或 Y-切光學非線性晶體。埋入式帶狀光波導結構位於該些疇反轉結構中，用以進行非線性光學參量產生。再者，一種光學非線性晶體光波導之製作方法亦在此揭露。

三、英文發明摘要：

A nonlinear optical crystal optical waveguide includes a plurality of periodically poled domain inversion structures or aperiodically poled domain inversion structures with 1D or 2D. Each of domain inversion structures is a z-cut nonlinear

optical crystal or a y-cut nonlinear optical crystal. An embedded strip optical waveguide structure is disposed in the domain inversion structures for performing an optical parametric generation. Furthermore, a method for manufacturing the nonlinear optical crystal optical waveguide is disclosed herein.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (8A) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

800：非線性光學參量產生結構

810：脊狀光波導結構

820：介電緩衝層

830：第一金屬電極

840：第二金屬電極

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化

學式：無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於一種光波導，且特別是有關於一種光學非線性晶體光波導及其製作方法。

【先前技術】

近年來由於工商發達、社會進步，相對提供之產品亦主要針對便利、確實、經濟實惠為主旨，因此，當前開發之產品亦比以往更加進步，而得以貢獻社會。

第 1 圖係依照先前技術繪示一種鋰酸鋰光波導結構示意圖及其製造方法的流程圖。

如第 1 圖所示，其揭露一種具非線性光學頻率轉換效應之鋰酸鋰光波導結構與其製造方法：包括在 Z-切鋰酸鋰基板上製造具週期性極化反轉結構 (periodically poled inverted domain structures)，與利用質子交換法 (proton exchange) 形成埋入式光波導。

當使用質子交換週期性極化鋰酸鋰 (Periodically Poled Lithium Niobate, PPLN) 波導作為非線性頻率轉換元件時，為避免因強光作用下之光折變效應 (photo-refractive effect) 導致非線性作用波間之相位失配，需將此元件置於高溫操作，一般而言是不低於 100°C。由於質子之質量輕與擴散速率快，對高溫下之質子交換波導，則有長時操作下光波導元件之穩定度疑慮。

第 2 圖係依照另一先前技術繪示一種鋰酸鋰光波導結

構示意圖及其製造方法的流程圖。

請參照第 2 圖，其揭露另一具非線性光學頻率轉換效應之鈮酸鋰光波導結構與其製造方法：包括在具抗光折變之 Z-切攙鋅鈮酸鋰基板一上製造週期性極化反轉結構，隨後利用晶圓結合技術將基板一黏著於具有較低光學折射係數之鈮酸鋰基板二，並對此複合基板進行研磨拋光，使基板一之厚度限縮至 4 微米。隨後利用活性離子蝕刻技術，在前述複合基板上形成具脊狀結構之 PPLN 光波導。

此法以抗光折變之攙鋅 ZnO:PPLN 基板技術，克服以質子交換法造成週期性極化鈮酸鋰 (proton-exchanged Periodically Poled Lithium Niobate, PE:PPLN) 光波導元件於高溫作時性能之不穩定性；然此製造技術過程繁複，需利用兩種不同基板來製造具抗光折變之非線性光波導元件。

第 3 圖依照再一先前技術繪示一種鈮酸鋰光波導結構示意圖及其製造方法的流程圖。

如第 3 圖所示，其揭露另一具非線性光學頻率轉換效應之鈮酸鋰光波導結構與其製造方法：包括在具抗光折變之 X-切攙鎂鈮酸鋰基板一上製造週期性極化反轉結構，隨後利用晶圓結合技術將基板一黏著於具有較低光學折射係數之鈮酸鋰基板二，並對此複合基板進行研磨拋光，使基板一之厚度限縮至 4 微米。

隨後利用鑽石切割機切割出脊狀波導。此法以抗光折變之攙鎂 MgO:PPLN 基板技術，克服以質子交換法造成

PE:PPLN 光波導元件於高溫作時性能之不穩定性；然此製造技術過程繁複，需利用兩種不同基板來製造具抗光折變之非線性光波導元件。

由此可見，上述現有的方式，顯然仍存在不便與缺陷，而有待加以進一步改進。為解決上述問題，相關領域莫不費盡心思來謀求解決之道，但長久以來一直未見適用的方式被發展完成。因此，如何能避免採用質子交換法來形成埋入式光波導時，會導致在高溫長時間操作下影響光波導元件之穩定度的問題，以及光波導元件之非線性係數會受影響的問題，並降低製程的複雜度，實屬當前重要研發課題之一，亦成為當前相關領域亟需改進的目標。

【發明內容】

本發明內容之一目的是在提供一種光學非線性晶體光波導及其製造方法，藉以改善採用質子交換法來形成埋入式光波導時，會導致在高溫長時間操作下影響光波導元件之穩定度的問題，以及光波導元件之非線性係數會受影響的問題，並降低製程的複雜度。

為達上述目的，本發明內容之一技術樣態係關於一種光學非線性晶體光波導。光學非線性晶體光波導包含複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構以及埋入式帶狀光波導結構。每一該些疇反轉結構係為一 Z-切或 Y-切光學非線性晶體。而非線性光學參量之頻率轉換過程，係藉由埋入式帶狀光波導結構形成於該些疇反轉結構

中，或藉由該些反轉疇結構形成於埋入式帶狀光波導結構中而產生。

根據本發明一實施例，光學非線性晶體係為鈮酸鋰或鉍酸鋰。

根據本發明另一實施例，光學非線性晶體光波導係為一光學單偏振態光波導，其中該光學單偏振態係平行於該鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸方向。

根據本發明再一實施例，鈮酸鋰或鉍酸鋰之疇反轉方向係平行於該鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸或 -Z 軸方向。

根據本發明又一實施例，該些疇反轉結構包含複數個區段。每一該些區段包含複數個準相位匹配結構。其中每一該些區段中疇之間距與佔空比不為定值。

根據本發明另再一實施例，埋入式帶狀光波導結構進行非線性光學參量產生時，入射光與該入射光之倍頻、差頻或合頻光之行進方向係平行於該鈮酸鋰或鉍酸鋰之 X 軸方向。

根據本發明另又一實施例，Z-切或 Y-切鈮酸鋰或鉍酸鋰係為摻雜鋅之該鈮酸鋰或鉍酸鋰、摻雜鎂之該鈮酸鋰或鉍酸鋰或未摻雜之該鈮酸鋰或鉍酸鋰。

根據本發明再另一實施例，埋入式帶狀光波導結構係為該光學非線性晶體光波導之核心部分，而在該光學非線性晶體光波導中該埋入式帶狀光波導結構以外的部分係為披覆層，其中該核心部分係由高濃度摻雜鎵、鎂或鋅之鈮酸鋰或鉍酸鋰所組成，或者由摻雜其金屬氧化物如氧化

鎳、氧化鎂、氧化鋅之鈮酸鋰或鈮酸鋰所組成，而該披覆層係由低濃度摻雜鎳、鎂、鋅或未摻雜之鈮酸鋰或鈮酸鋰所組成，或者由摻雜其金屬氧化物如氧化鎳、氧化鎂、氧化鋅之鈮酸鋰或鈮酸鋰所組成。

根據本發明再又一實施例，核心部分之鈮酸鋰或鈮酸鋰摻雜鎳、鎂或鋅之濃度為 10^{16} 原子/cm³。

根據本發明又另一實施例，核心部分係將鎳、鎂、鋅或其氧化物如氧化鎳、氧化鎂或氧化鋅在約 500-1050°C 之間的溫度中擴散至鈮酸鋰或鈮酸鋰所形成。

為達上述目的，本發明內容之另一技術樣態係關於一種非線性光學參量產生結構。非線性光學參量產生結構包含複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構以及脊狀光波導結構。每一該疇反轉結構係為一 Z-切光學非線性晶體。而此光學參量產生結構，係包含一脊狀光波導結構位於該些疇反轉結構上。

根據本發明一實施例，光學非線性晶體係為鈮酸鋰或鈮酸鋰。

根據本發明另一實施例，光學非線性晶體光波導係為一光學單偏振態光波導，其中該光學單偏振態係平行於該鈮酸鋰或鈮酸鋰之 Z 軸方向。

根據本發明再一實施例，鈮酸鋰或鈮酸鋰之疇反轉方向係平行於該鈮酸鋰或鈮酸鋰之 Z 軸或 -Z 軸方向。

根據本發明又一實施例，該些疇反轉結構包含複數個區段。每一該些區段包含複數個準相位匹配結構。每一該

些區段中疇之間距與佔空比不為定值。

根據本發明另再實施例，非線性光學參量產生結構進行非線性光學參量產生時，入射光與該入射光之倍頻、差頻或合頻光之行進方向係平行於該鋰酸鋇或鋇酸鋇之 X 軸方向。

根據本發明另又實施例，脊狀光波導結構之橫截面係為一梯形。

根據本發明再另實施例，非線性光學參量產生結構更包含至少一第一金屬電極以及至少二第二金屬電極。至少一第一金屬電極配置於該脊狀光波導結構之上。至少二第二金屬電極分別配置於該疇反轉鋰酸鋇或鋇酸鋇相對於該脊狀光波導結構之兩側上。

根據本發明再又實施例，非線性光學參量產生結構更包含至少一第一金屬電極以及至少一第二金屬電極。至少一第一金屬電極以及至少一第二金屬電極分別配置於該疇反轉鋰酸鋇或鋇酸鋇相對於該脊狀光波導結構之兩側上。

根據本發明又另一實施例，脊狀光波導結構係為該非線性光學參量產生結構之核心部分，而在該非線性光學參量產生結構中該脊狀光波導結構以外的部分係為披覆層，其中該核心部分係由高濃度摻雜鎵、鎂、鋅或其金屬氧化物如氧化鎵、氧化鎂、氧化鋅之鋰酸鋇或鋇酸鋇所組成，而該披覆層係由低濃度摻雜鎵、鎂、鋅或其金屬氧化物如氧化鎵、氧化鎂、氧化鋅或未摻雜之鋰酸鋇或鋇酸鋇所組成。

根據本發明又再一實施例，核心部分之鋰酸鋁或鉍酸鋁摻雜鎵、鎂或鋅之濃度為 10^{16} 原子/cm³。

根據本發明又另一實施例，核心部分係將氧化鎵、氧化鎂或氧化鋅在約 500-1050°C 之間的溫度中擴散至鋰酸鋁或鉍酸鋁所形成。

為達上述目的，本發明內容之再一技術樣態係關於一種光學非線性晶體光波導之製作方法。光學非線性晶體光波導之製作方法包含以下步驟：對一光學非線性晶體進行疇反轉；以及對經疇反轉之該光學非線性晶體進行埋入式波導製程；或對一光學非線性晶體進行埋入式波導製程，以及對經埋入式波導之光學非線性晶體進行疇反轉製程。

此外，埋入式波導製程包含以下步驟：對該疇反轉光學非線性晶體進行光阻旋轉塗佈，以形成一第一光阻層；對該第一光阻層進行曝光及顯影；以鎵或氧化鎵對該疇反轉光學非線性晶體進行濺鍍或以鎳與鋅或其氧化物如氧化鎳、氧化鋅對該疇反轉光學非線性晶體進行鎳鋅鎳多層金屬或其氧化物之濺鍍，以於該疇反轉光學非線性晶體上形成一第一金屬氧化物層或金屬層；對該疇反轉光學非線性晶體上之該第一光阻進行掀離法，以於該疇反轉光學非線性晶體上形成一圖案化第一金屬層；以及在約 500-1050°C 之間的溫度中，對該疇反轉光學非線性晶體進行擴散，以於該疇反轉光學非線性晶體中形成一埋入式帶狀波導結構。

根據本發明一實施例，光學非線性晶體係為一週期性

疇反轉鈮酸鋰、一準週期性疇反轉鈮酸鋰、一週期性疇反轉鉬酸鋰或一準週期性疇反轉鉬酸鋰。

根據本發明另一實施例，在執行該埋入式波導製程步驟之後，更包含以下步驟：於該疇反轉光學非線性晶體上形成一脊狀結構。

此外，於該疇反轉光學非線性晶體上形成一脊狀結構，包含以下步驟：對該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰進行光阻旋轉塗佈，以形成一第二光阻層；對該第二光阻層進行曝光及顯影；以鎳或氧化鎳對該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰進行濺鍍，以於該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰上形成一第二金屬層；對該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰上之該第二光阻進行掀離法，以於該埋入式帶狀波導結構上形成一圖案化第二金屬層；以及對該圖案化第二金屬層進行處理，以形成一脊狀結構。

根據本發明再一實施例，對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：對該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域，進行鋰離子及/或質子之相互擴散與取代，以形成複數個鈮酸鋰反轉區；以及利用氫氟酸腐蝕該圖案化第二金屬層以及該些鈮酸鋰反轉區，以形成該脊狀結構。

根據本發明又一實施例，對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：利用反應式離子蝕刻技術，對該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域進行處理，以形成該脊狀結構。

根據本發明另再一實施例，對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：利用高能量輻射粒子對該疇反轉鋯酸鋰或鈮酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域進行照射；以及利用反應氣體與離子撞擊經高能量輻射粒子照射之區域，以形成該脊狀結構。

根據本發明另又一實施例，對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：利用高能量輻射粒子對該疇反轉鋯酸鋰或鈮酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域進行照射；以及利用氫氟酸腐蝕經高能量輻射粒子照射之區域，以形成該脊狀結構。

根據本發明再另一實施例，對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：利用精密切割技術對該圖案化第二金屬層之兩側進行銑削，以形成該脊狀結構。

根據本發明再又一實施例，在形成該脊狀結構的步驟之後，更包含以下步驟：於該疇反轉光學非線性晶體與該脊狀結構上形成複數個金屬電極。

此外，於該疇反轉光學非線性晶體與該脊狀結構上形成複數個金屬電極，包含以下步驟：形成一介電緩衝層於該脊狀結構上；形成至少一第一金屬電極於該介電緩衝層上；以及於該疇反轉鋯酸鋰或鈮酸鋰相對於該脊狀結構之兩側上分別形成至少一第二金屬電極。

根據本發明又另一實施例，在形成該脊狀結構的步驟之後，更包含以下步驟：於該疇反轉光學非線性晶體與該脊狀結構上形成複數個金屬電極。

此外，於該疇反轉光學非線性晶體與該脊狀結構上形成複數個金屬電極，包含以下步驟：於該疇反轉鉍酸鋰或鉍酸鋰相對於該脊狀結構之兩側上分別形成至少一第一金屬電極與至少一第二金屬電極。

因此，根據本發明之技術內容，本發明實施例藉由提供一種光學非線性晶體光波導及其製造方法，藉以改善採用質子交換法來形成埋入式光波導時，會導致在高溫長時間操作下影響光波導元件之穩定度的問題，以及光波導元件之非線性係數會受影響的問題，並降低製程的複雜度。

【實施方式】

為了使本揭示內容之敘述更加詳盡與完備，可參照所附之圖式及以下所述各種實施例，圖式中相同之號碼代表相同或相似之元件。但所提供之實施例並非用以限制本發明所涵蓋的範圍，而結構運作之描述非用以限制其執行之順序，任何由元件重新組合之結構，所產生具有均等功效的裝置，皆為本發明所涵蓋的範圍。其中圖式僅以說明為目的，並未依照原尺寸作圖。另一方面，眾所週知的元件與步驟並未描述於實施例中，以避免對本發明造成不必要的限制。

第 4 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導 400 結構示意圖。第 5 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導 400 的側視示意圖。

請一併參照第 4 圖與第 5 圖，光學非線性晶體光波導

400 包含複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 以及埋入式帶狀光波導結構 410。

在此需先說明的是，光學非線性晶體光波導 400 之整體結構係如第 4 圖所示，然為完整呈現本發明實施例之技術特徵點而於第 5 圖中例示性地繪示前述些疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 之間的配置方式。

如第 4 圖所示，埋入式帶狀光波導結構 410 位於前述些疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 中。埋入式帶狀光波導結構 410 是用以進行非線性光學參量產生。此外，每一前述些疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 係為 Z-切或 Y-切光學非線性晶體。

於製作上，光學非線性晶體 400 可為鈮酸鋰或鉍酸鋰。

在一實施例中，光學非線性晶體光波導 400 係為光學單偏振態光波導，其中光學單偏振態係平行於鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸方向。

第 6 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導 400 之疇反轉結構 C_1 的側視示意圖。

如第 6 圖所示，疇反轉結構 C_1 包含複數個區段 $S_1 \sim S_n$ ，前述些區段 $S_1 \sim S_n$ 依序連接，且每一前述些區段 $S_1 \sim S_n$ 中疇之間距與佔空比不為定值。

第 7 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導 400 中疇反轉結構 C_1 之區段 S_1 的側視示意圖。

如第 7 圖所示，在每一前述些區段 $S_1 \sim S_n$ 中(例如區段 S_1 中)包含複數個準相位匹配結構 $QPM_1 \sim QPM_n$ ，且在同一區段 S_1 中的前述些準相位匹配結構 $QPM_1 \sim QPM_n$ 依序連

接。

在一實施例中，鈮酸鋰或鉍酸鋰之疇反轉方向(例如第 7 圖中 QPM_1 之正鐵電疇與負鐵電疇之疇反轉方向)係平行於鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸或 -Z 軸方向。

在另一實施例中，埋入式帶狀光波導結構 410 進行非線性光學參量產生時，入射光與該入射光之倍頻、差頻或合頻光之行進方向係平行於鈮酸鋰或鉍酸鋰之 X 軸方向。

於再一實施例中，Z-切或 Y-切鈮酸鋰或鉍酸鋰可為摻雜鋅之鈮酸鋰或鉍酸鋰、摻雜鎂之鈮酸鋰或鉍酸鋰，此外，Z-切或 Y-切鈮酸鋰或鉍酸鋰亦可為未摻雜之鈮酸鋰或鉍酸鋰。

在又一實施例中，埋入式帶狀光波導結構 410 是為光學非線性晶體光波導 400 之核心部分，而在光學非線性晶體光波導中埋入式帶狀光波導結構以外的部分是為披覆層。

於製作時，核心部分可由高濃度摻雜鎳、鎂、鋅之鈮酸鋰或鉍酸鋰所組成，或者由摻雜其金屬氧化物如氧化鎳、氧化鎂、氧化鋅之鈮酸鋰或鉍酸鋰所組成，而披覆層可由低濃度摻雜鎳、鎂、鋅或未摻雜之鈮酸鋰或鉍酸鋰所組成，或者由摻雜其金屬氧化物如氧化鎳、氧化鎂、氧化鋅之鈮酸鋰或鉍酸鋰所組成，此外，披覆層亦可由未摻雜之鈮酸鋰或鉍酸鋰所組成。

詳細而言，核心部分之鈮酸鋰或鉍酸鋰摻雜鎳、鎂或鋅之濃度可為約 10^{16} 原子/cm³ 以上，而披覆層之鈮酸鋰或

鉬酸鋰摻雜鎵、鎂或鋅之濃度可為約 10^{16} 原子/cm³ 以下。

於再一實施例中，核心部分係將氧化鎵、氧化鎂或氧化鋅在約 500-1050°C 之間的溫度中擴散至鉬酸鋰或鉬酸鋰所形成。

第 8A 圖係依照本發明一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構 800 的示意圖。第 8B 圖係依照本發明一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構 800 的剖面圖。

請一併參照第 5 圖、第 8A 圖與第 8B 圖，非線性光學參量產生結構 800 包含複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 以及脊狀光波導結構 810。

在此需先說明的是，非線性光學參量產生結構 800 之整體結構係如第 8A 圖所示，然為完整呈現本發明實施例之技術特徵點而於第 5 圖中例示性地繪示前述些疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 之間的配置方式。

如第 8A 圖所示，脊狀光波導結構 810 是形成於前述些疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 上。此外，每一前述些疇反轉結構 $C_1 \sim C_n$ 係為 Z-切或 Y-切光學非線性晶體。

於製作上，光學非線性晶體係為鉬酸鋰或鉬酸鋰。

在一實施例中，非線性光學參量產生結構 800 係為光學單偏振態光波導，其中光學單偏振態係平行於鉬酸鋰或鉬酸鋰之 Z 軸方向。

在此需先說明的是，第 8A 圖中的非線性光學參量產生結構 800 與第 4 圖中的光學非線性晶體光波導 400 相比，除了多出脊狀光波導結構 810 之外，非線性光學參量

產生結構 800 與光學非線性晶體光波導 400 的其餘結構均相同。

因此，第 8A 圖的結構亦可由第 6 圖與第 7 圖中所示之結構來說明。非線性光學參量產生結構 800 可如第 6 圖所示，其疇反轉結構 C_1 包含複數個區段 $S_1 \sim S_n$ ，前述些區段 $S_1 \sim S_n$ 依序連接，且每一前述些區段 $S_1 \sim S_n$ 中疇之間距與佔空比不為定值。

此外，如第 7 圖所示，在每一前述些區段 $S_1 \sim S_n$ 中(例如區段 S_1 中)包含複數個準相位匹配結構 $QPM_1 \sim QPM_n$ ，且在同一區段 S_1 中的前述些準相位匹配結構 $QPM_1 \sim QPM_n$ 依序連接。

在一實施例中，鈮酸鋰或鉬酸鋰之疇反轉方向(例如第 7 圖中 QPM_1 之正鐵電疇與負鐵電疇之疇反轉方向)係平行於鈮酸鋰或鉬酸鋰之 Z 軸或 -Z 軸方向。

在另一實施例中，非線性光學參量產生結構 800 進行非線性光學參量產生時，入射光與該入射光之倍頻、差頻或合頻光之行進方向係平行於鈮酸鋰或鉬酸鋰之 X 軸方向。

請參照第 8B 圖，其係繪示非線性光學參量產生結構 800 的剖面圖。由第 8B 圖可知，脊狀光波導結構 810 之橫截面是為梯形。

在一實施例中，非線性光學參量產生結構 800 更包含至少一第一金屬電極 830 以及至少二第二金屬電極 840。至少一第一金屬電極 830 配置於脊狀光波導結構 810 之

上。至少二第二金屬電極 840 分別配置於疇反轉鋰酸鋰或鈦酸鋰相對於脊狀光波導結構 840 之兩側上。

在另一實施例中，非線性光學參量產生結構 800 更包含介電緩衝層 820。介電緩衝層 820 配置於脊狀光波導結構 810 上。請參照第 8A 圖與第 8B 圖，至少一第一金屬電極 830 可配置於介電緩衝層 820 上。

請參照第 8B 圖，脊狀光波導結構 810 之剖面可為梯形，假設其上底為 R1、下底為 R2、上底與兩側邊之夾角各為 $\theta 1$ 與 $\theta 3$ 以及下底與兩側邊之夾角各為 $\theta 2$ 與 $\theta 4$ ，則此梯形可滿足以下式子：

$$\theta 1 + \theta 2 = 180^\circ, 0 \leq \theta 2 \leq 90^\circ;$$

$$\theta 3 + \theta 4 = 180^\circ, 0 \leq \theta 4 \leq 90^\circ; \text{ 以及}$$

$$R1/R2 \leq 1。$$

第 9A 圖係依照本發明另一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構 900 的示意圖。第 9B 圖係依照本發明一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構 900 的剖面圖。

在此需先說明的是，第 9A 圖中的非線性光學參量產生結構 900 相較於第 8A 圖中的非線性光學參量產生結構 800，除了沒有位於脊狀光波導結構 810 上的介電緩衝層 820 與至少一第一金屬電極 830 外，非線性光學參量產生結構 900 與非線性光學參量產生結構 800 的其餘結構均相同。為使本說明書簡潔，以下僅闡述非線性光學參量產生結構 900 與非線性光學參量產生結構 800 不同之處。

請參照第 9B 圖，其係繪示非線性光學參量產生結構

900 的剖面圖。由第 9B 圖可知，脊狀光波導結構 910 之橫截面是為梯形。

在一實施例中，非線性光學參量產生結構 900 更包含至少一第一金屬電極 920 以及至少一第二金屬電極 930。至少一第一金屬電極 920 以及至少一第二金屬電極 930 分別配置於疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰相對於脊狀光波導結構 910 之兩側上。

請參照第 9B 圖，脊狀光波導結構 910 之剖面可為梯形，假設其上底為 $R1$ 、下底為 $R2$ 、上底與兩側邊之夾角各為 $\theta 1$ 與 $\theta 3$ 以及下底與兩側邊之夾角各為 $\theta 2$ 與 $\theta 4$ ，則此梯形可滿足以下式子：

$$\theta 1 + \theta 2 = 180^\circ, 0 \leq \theta 2 \leq 90^\circ;$$

$$\theta 3 + \theta 4 = 180^\circ, 0 \leq \theta 4 \leq 90^\circ; \text{ 以及}$$

$$R1/R2 \leq 1。$$

在一實施例中，脊狀光波導結構 910 係為非線性光學參量產生結構 800 或 900 之核心部分，而在非線性光學參量產生結構 800 或 900 中脊狀光波導結構以外的部分係為披覆層。

於製作時，非線性光學參量產生結構 800 或 900 之核心部分係由高濃度摻雜鎵、鎂或鋅，或者由摻雜其金屬氧化物如氧化鎵、氧化鎂、氧化鋅之鈮酸鋰或鈹酸鋰所組成，而非線性光學參量產生結構 800 或 900 之披覆層可由低濃度摻雜鎵、鎂、鋅或未摻雜之鈮酸鋰或鈹酸鋰所組成，或者由摻雜其金屬氧化物如氧化鎵、氧化鎂、氧化鋅之鈮酸

鋰或鉍酸鋰所組成，此外，披覆層亦可由未摻雜之鉍酸鋰或鉍酸鋰所組成。

詳細而言，非線性光學參量產生結構 800 或 900 之核心部分之鉍酸鋰或鉍酸鋰摻雜鎵、鎂或鋅之濃度可為約 10^{16} 原子/cm³ 以上，而非線性光學參量產生結構 800 或 900 之披覆層之鉍酸鋰或鉍酸鋰摻雜鎵、鎂或鋅之濃度可為約 10^{16} 原子/cm³ 以下。

於再一實施例中，非線性光學參量產生結構 800 或 900 之核心部分係將氧化鎵、氧化鎂或氧化鋅在約 500-1050°C 之間的溫度中擴散至鉍酸鋰或鉍酸鋰所形成。

第 10 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導之製作方法的流程圖。

如第 10 圖所示，光學非線性晶體光波導之製作方法包含以下步驟：對光學非線性晶體進行疇反轉以及埋入式波導製程(步驟 1010)；於疇反轉光學非線性晶體上形成脊狀結構(步驟 1020)；以及於疇反轉光學非線性晶體與脊狀結構上形成複數個金屬電極(步驟 1030)。

在此需先說明的是，在步驟 1010 中對光學非線性晶體進行疇反轉以及埋入式波導製程的步驟，可依照需求而先行對光學非線性晶體進行疇反轉，之後再對光學非線性晶體進行埋入式波導製程，亦可先行對光學非線性晶體進行埋入式波導製程再對其進行疇反轉。以下僅說明其中一實施態樣，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可依照實際需求而調

整製程順序。

在步驟 1010 中，請一併參照第 11 圖，其係依照本發明一實施例繪示一種對光學非線性晶體進行疇反轉之製作流程圖。對於 Z-切鋇酸鋰基板(其法線方向指向晶體之 Z 軸)，極化反轉所施加之週期或準週期結構之金屬電極與接地電極，各自鋪設於基板之 +Z 或 -Z 面而不在同一平面；如此，在高於矯頑場(coercive field)之電力線作用下，使得反轉疇(inverted domain)指向晶體之 +Z 或 -Z 方向，亦即垂直於基板面。

此外，對於 Y-切鋇酸鋰基板(其法線方向指向晶體之 Y 軸)，週期或準週期結構之金屬電極與接地電極，皆鋪設於基板之同一平面上；如此，在高於矯頑場之電力線作用下，使得反轉疇(inverted domain)指向晶體之 +Z 或 -Z 方向，亦即形成位置低於基板表面而與基板面平行。

再者，請一併參照第 12 圖與第 13 圖，其係依照本發明一實施例繪示一種對經疇反轉之光學非線性晶體進行埋入式波導製程之製作流程圖。首先利用光阻定義條狀波導之開窗區域，並利用濺鍍技術，對樣品施加鎵或氧化鎵(Ga_2O_3)或鎳鋅鎳(Ni/Zn/Ni)多層金屬之濺鍍。

隨後，將樣品置於高溫爐中，於 500-1050°C 之溫度間，進行多段溫度之退火與擴散程序，形成埋入式波導於 PPLN 基板之表層底下 1~4 微米處。對於 Z-切鋇酸鋰基板(其法線方向指向晶體之 Z 軸)之 PPLN 結構，此埋入式波導之光學偏振模態是朝向晶體之 Z 軸。

此外，對於 Y-切鋯酸鋰基板(其法線方向指向晶體之 Y 軸)之 PPLN 結構，此埋入式波導之光學偏振模態是朝向晶體之 Z 軸。在擴散過程結束後，以酸或鹼性腐蝕液，清除於樣品表面之殘餘金屬樣化物。

如第 14 圖所示，其係依照本發明一實施例繪示一種埋入式波導製程的流程圖。

根據本發明之原理與精神，埋入式波導製程包含以下步驟：對疇反轉光學非線性晶體進行光阻旋轉塗佈，以形成第一光阻層(步驟 1410)；對第一光阻層進行曝光及顯影(步驟 1420)；以鎳或氧化鎳對疇反轉光學非線性晶體進行濺鍍或以鎳與鋅對疇反轉光學非線性晶體進行鎳鋅鎳多層金屬之濺鍍，以於疇反轉光學非線性晶體上形成第一金屬層(步驟 1430)；對疇反轉光學非線性晶體上之第一光阻進行掀離法，以於疇反轉光學非線性晶體上形成圖案化第一金屬層(步驟 1440)；以及在約 500-1050°C 之間的溫度中，對疇反轉光學非線性晶體進行擴散，以於疇反轉光學非線性晶體中形成埋入式帶狀波導結構(步驟 1450)。

在一實施例中，光學非線性晶體係為週期性疇反轉鋯酸鋰、準週期性疇反轉鋯酸鋰、週期性疇反轉鉍酸鋰或準週期性疇反轉鉍酸鋰。

第 15 圖係依照本發明另一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

請參照第 15 圖，形成脊狀結構的製程包含以下步驟：對疇反轉鋯酸鋰或鉍酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 1510)，

以形成第二光阻層；對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 1520)；以鎳或氧化鎳對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰進行濺鍍，以於疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰上形成第二金屬層(步驟 1530)；對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰上之第二光阻進行掀離法，以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步驟 1540)；以及對圖案化第二金屬層進行處理，以形成脊狀結構(步驟 1550)。

第 16 圖係依照本發明再一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

如第 16 圖所示，形成脊狀結構的製程包含以下步驟：對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 1610)，以形成第二光阻層；對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 1620)；以鎳或氧化鎳對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰進行濺鍍，以於疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰上形成第二金屬層(步驟 1630)；對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰上之第二光阻進行掀離法，以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步驟 1640)。

此外，對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰上圖案化第二金屬層以外之區域，進行鋰離子及/或質子之相互擴散與取代，以形成複數個鈮酸鋰反轉區(步驟 1650)；以及利用氫氟酸腐蝕圖案化第二金屬層以及前述些鈮酸鋰反轉區，以形成脊狀結構(步驟 1660)。

第 17 圖係依照本發明又一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

請參照第 17 圖，形成脊狀結構的製程包含以下步驟：對疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 1710)，以形成第二光阻層；對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 1720)；以鎳或氧化鎳對疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰進行濺鍍，以於疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰上形成第二金屬層(步驟 1730)；對疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰上之第二光阻進行掀離法，以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步驟 1740)。

再者，利用反應式離子蝕刻技術，對疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰上圖案化第二金屬層以外之區域進行處理，以形成脊狀結構(步驟 1750)。

第 18 圖係依照本發明另再一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

如第 18 圖所示，形成脊狀結構的製程包含以下步驟：對疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 1810)，以形成第二光阻層；對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 1820)；以鎳或氧化鎳對疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰進行濺鍍，以於疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰上形成第二金屬層(步驟 1830)；對疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰上之第二光阻進行掀離法，以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步驟 1840)。

此外，利用高能量輻射粒子對該疇反轉鋯酸鋰或鈿酸鋰上圖案化第二金屬層以外之區域進行照射(步驟 1850)；以及利用反應氣體與離子撞擊經高能量輻射粒子照射之區

域，以形成脊狀結構(步驟 1860)。

第 19 圖係依照本發明另又一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

請參照第 19 圖，形成脊狀結構的製程包含以下步驟：對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 1910)，以形成第二光阻層；對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 1920)；以鎳或氧化鎳對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰進行濺鍍，以於疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上形成第二金屬層(步驟 1930)；對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上之第二光阻進行掀離法，以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步驟 1940)。

再者，利用高能量輻射粒子對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上圖案化第二金屬層以外之區域進行照射(步驟 1950)；以及利用氫氟酸腐蝕經高能量輻射粒子照射之區域，以形成脊狀結構(步驟 1960)。

第 20 圖係依照本發明再另一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

如第 20 圖所示，形成脊狀結構的製程包含以下步驟：對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 2010)，以形成第二光阻層；對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 2020)；以鎳或氧化鎳對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰進行濺鍍，以於疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上形成第二金屬層(步驟 2030)；對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上之第二光阻進行掀離法，以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步

驟 2040); 以及利用精密切割技術對圖案化第二金屬層之兩側進行銑削, 以形成脊狀結構(步驟 2050)。

第 21 圖係依照本發明一實施例繪示一種具有脊狀光波導結構 2102 或 2152 之非線性光學參量產生結構 2100 或 2150 的流程圖。如第 20 圖所示, 在經過第 15 圖至第 20 圖的步驟之後, 可於非線性光學參量產生結構 2100 或 2150 上製作脊狀光波導結構 2102 或 2152。

第 22A 圖係依照本發明一實施例繪示一種形成脊狀光波導結構與複數個金屬電極的流程圖。第 22B 圖係依照本發明一實施例繪示一種於脊狀光波導結構上形成複數個金屬電極的流程圖。

如第 22 圖所示, 形成脊狀結構與複數個金屬電極的製程包含以下步驟: 對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 2210), 以形成第二光阻層; 對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 2220); 以鎳或氧化鎳對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰進行濺鍍, 以於疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上形成第二金屬層(步驟 2230); 對疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上之第二光阻進行掀離法, 以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步驟 2240); 對圖案化第二金屬層進行處理, 以形成脊狀結構(步驟 2250)。

此外, 形成介電緩衝層於脊狀結構上(步驟 2260); 形成至少一第一金屬電極於介電緩衝層上(步驟 2270); 以及於疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰相對於脊狀結構之兩側上分別形成至少一第二金屬電極(步驟 2280)。

其中複數個金屬電極的製程(步驟 2260 至步驟 2280)請參照第 22B 圖，而由第 22B 圖所製造出的結構如第 8A 圖所示，因此，請一併參照第 8A 圖與第 22B 圖。形成複數個金屬電極的製程包含：首先，形成介電緩衝層 820 於脊狀結構 810 上；形成至少一第一金屬電極 830 於介電緩衝層 820 上；然後，於疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰相對於脊狀結構 810 之兩側上分別形成至少一第二金屬電極 840。

第 23A 圖係依照本發明另一實施例繪示一種形成脊狀結構與複數個金屬電極的流程圖。第 23B 圖係依照本發明另一實施例繪示一種於脊狀結構上形成複數個金屬電極的流程圖。

請參照第 23 圖，形成脊狀結構與複數個金屬電極的製程包含以下步驟：對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰進行光阻旋轉塗佈(步驟 2310)，以形成第二光阻層；對第二光阻層進行曝光及顯影(步驟 2320)；以鎳或氧化鎳對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰進行濺鍍，以於疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰上形成第二金屬層(步驟 2330)；對疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰上之第二光阻進行掀離法，以於埋入式帶狀波導結構上形成圖案化第二金屬層(步驟 2340)；對圖案化第二金屬層進行處理，以形成脊狀結構(步驟 2350)；以及於疇反轉鈮酸鋰或鈮酸鋰相對於脊狀結構之兩側上分別形成至少一第一金屬電極與至少一第二金屬電極(步驟 2360)。

其中複數個金屬電極的製程(步驟 2360)請參照第 23B 圖，而由第 23B 圖所製造出的結構如第 9A 圖所示，因此，

請一併參照第 9A 圖與第 23B 圖。形成複數個金屬電極的製程包含：於疇反轉鋯酸鋰或鈮酸鋰相對於脊狀結構之兩側上分別形成至少一第一金屬電極 920 與至少一第二金屬電極 930。

第 24 圖係依照本發明再一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導 400 與非線性光學參量產生結構 800、900 或 2100 的單導垂直光場示意圖。

如第 24 圖所示，藉由本發明實施例之方法所製造出來的光學非線性晶體光波導 400 與非線性光學參量產生結構 800、900 或 2100，其若以固定氧化鎳鍍膜厚度 100nm，於 950°C 下進行擴散製程並持續 120 分鐘，則其為單導非普極化光波導。於操作上，使用 160 μ m 線寬之帶狀波導以 1500nm 光入射，則其單導垂直光場如第 24 圖所示。

所屬技術領域中具有通常知識者當可明白，光學非線性晶體光波導之製作方法中之各步驟依其執行之功能予以命名，僅係為了讓本案之技術更加明顯易懂，並非用以限定該等步驟。將各步驟予以整合成同一步驟或分拆成多個步驟，或者將任一步驟更換到另一步驟中執行，皆仍屬於本揭示內容之實施方式。

由上述本發明實施方式可知，應用本發明具有下列優點。本發明實施例藉由提供一種光學非線性晶體光波導及其製造方法，藉以改善採用質子交換法來形成埋入式光波導時，會導致在高溫長時間操作下影響光波導元件之穩定度的問題，以及光波導元件之非線性係數會受影響的問

題，並降低製程的複雜度。

再者，相較於先前技術需使用兩個不同基板以製備光學非線性晶體光波導或非線性光學參量產生結構，本發明實施例可降低基板的需求(例如：僅需使用單一基板)，亦即可降低製程的複雜度，並提昇製造良率。在以 10mW 平均功率之紅外線雷射作為入射光下，綠光雷射的轉換效率可達 30%，深具產業應用競爭力。

雖然本發明已以實施方式揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作各種之更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

為讓本發明之上述和其他目的、特徵、優點與實施例能更明顯易懂，所附圖式之說明如下：

第 1 圖係依照先前技術繪示一種鋰酸鋇光波導結構示意圖及其製造方法的流程圖。

第 2 圖係依照另一先前技術繪示一種鋰酸鋇光波導結構示意圖及其製造方法的流程圖。

第 3 圖依照再一先前技術繪示一種鋰酸鋇光波導結構示意圖及其製造方法的流程圖。

第 4 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導結構示意圖。

第 5 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶

體光波導的側視示意圖。

第 6 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導之疇反轉結構的側視示意圖。

第 7 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導中疇反轉結構之區段的側視示意圖。

第 8A 圖係依照本發明一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構的示意圖；第 8B 圖係依照本發明一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構的剖面圖。

第 9A 圖係依照本發明另一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構的示意圖；第 9B 圖係依照本發明一實施例繪示一種非線性光學參量產生結構的剖面圖。

第 10 圖係依照本發明一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導之製作方法的流程圖。

第 11 圖係依照本發明一實施例繪示一種對光學非線性晶體進行疇反轉之製作流程圖。

第 12 圖係依照本發明一實施例繪示一種對經疇反轉之光學非線性晶體進行埋入式波導製程之製作流程圖。

第 13 圖係依照本發明另一實施例繪示一種對經疇反轉之光學非線性晶體進行埋入式波導製程之製作流程圖。

第 14 圖係依照本發明一實施例繪示一種埋入式波導製程的流程圖。

第 15 圖係依照本發明另一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

第 16 圖係依照本發明再一實施例繪示一種形成脊狀

結構的流程圖。

第 17 圖係依照本發明又一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

第 18 圖係依照本發明另再一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

第 19 圖係依照本發明另又一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

第 20 圖係依照本發明再另一實施例繪示一種形成脊狀結構的流程圖。

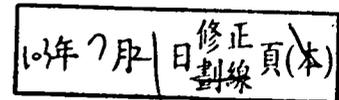
第 21 圖係依照本發明一實施例繪示一種具有脊狀光波導結構之非線性光學參量產生結構的流程圖。

第 22A 圖係依照本發明一實施例繪示一種形成脊狀光波導結構與複數個金屬電極的流程圖；第 22B 圖係依照本發明一實施例繪示一種於脊狀光波導結構上形成複數個金屬電極的流程圖。

第 23A 圖係依照本發明另一實施例繪示一種形成脊狀結構與複數個金屬電極的流程圖；第 23B 圖係依照本發明另一實施例繪示一種於脊狀結構上形成複數個金屬電極的流程圖。

第 24 圖係依照本發明再一實施例繪示一種光學非線性晶體光波導與非線性光學參量產生結構的單導垂直光場示意圖。

【主要元件符號說明】



- 105 : 3 inch
- 110 : 鋯酸鋰晶圓
- 115 : 微影
- 120 : 微影定義電極圖案
- 125 : 極化反轉
- 130 : 對 0.5mm 之基板施以 110kV 高電壓
- 135 : 清洗
- 140 : 全晶圓體積之週期性極化反轉鋯酸鋰裝置
- 145 : 以 SiO_2 濺鍍
- 150 : 微影定義波導圖案
- 155 : 將晶圓切割為晶片
- 160 : 質子交換
- 165 : 退火
- 170 : 退火式質子交換波導圖案
- 175 : 反置交換
- 180 : 反置換式質子交換波導圖案
- 210 : 3 inch 晶圓
- 215 : ZnO:LN 基板
- 220 : 準相位匹配結構
- 225 : 鉭酸鋰基板
- 230 : $\text{Ar}+\text{C}_4\text{F}_8$
- 235 : 光阻
- 250 : ZnO:LiNbO₃
- 255 : SH 泵浦 ($0.78 \mu\text{m}$)

103年7月21日修正 劃線頁(本)

- 260 : LiTaO_3
- 265 : 脊狀光波導(域反轉)
- 310 : 梳形電極
- 320 : $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$
- 330 : 反置
- 340 : $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$
- 350 : 週期性區域
- 360 : 黏著劑
- 370 : 鑽石鉅片
- 380 : 研磨與拋光
- 400 : 光學非線性晶體光波導
- 410 : 埋入式帶狀光波導結構
- 800 : 非線性光學參量產生結構
- 810 : 脊狀光波導結構
- 820 : 介電緩衝層
- 830 : 第一金屬電極
- 840 : 第二金屬電極
- 900 : 非線性光學參量產生結構
- 910 : 脊狀光波導結構
- 920 : 第一金屬電極
- 930 : 第二金屬電極
- 1010~1040 : 步驟
- 1110 : 光阻旋轉塗佈
- 1120 : 曝光顯影

103年7月21日	修正 劃線	頁(本)
-----------	----------	------

- 1130：濺鍍鈦以形成金屬電極
- 1140：高壓致極化反轉
- 1150：移除鈦電極
- 1210：晶圓清洗
- 1220：光阻旋轉塗佈
- 1230：曝光顯影
- 1240：濺鍍氧化鎳
- 1250：掀離法
- 1260：擴散
- 1310：晶圓清洗
- 1320：光阻旋轉塗佈
- 1330：曝光顯影
- 1340：濺鍍鎳鋅鎳
- 1350：掀離法
- 1360：擴散
- 1410～1450：步驟
- 1510～1550：步驟
- 1610～1660：步驟
- 1710～1750：步驟
- 1810～1860：步驟
- 1910～1960：步驟
- 2010～2050：步驟
- 2100：非線性光學參量產生結構
- 2102：脊狀光波導結構

2150 : 脊狀光波導結構

2152 : 脊狀光波導結構

Pp : 泵浦

Ps : 信號

St : 經轉換之信號

103年7月21日修正
劃線頁(本)

七、申請專利範圍：

103年7月21日修正頁(本)
劃線

1. 一種光學非線性晶體光波導，包含：

複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構，其中每一該些疇反轉結構係為一 Z-切或 Y-切光學非線性晶體；以及

一埋入式帶狀光波導結構，位於該些疇反轉結構中，用以進行非線性光學參量產生。

2. 如請求項 1 所述之光學非線性晶體光波導，其中該光學非線性晶體係為鈮酸鋰或鉍酸鋰。

3. 如請求項 2 所述之光學非線性晶體光波導，其中該光學非線性晶體光波導係為一光學單偏振態光波導，其中該光學單偏振態係平行於該鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸方向。

4. 如請求項 2 所述之光學非線性晶體光波導，其中該鈮酸鋰或鉍酸鋰之疇反轉方向係平行於該鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸或 -Z 軸方向。

5. 如請求項 2 所述之光學非線性晶體光波導，其中該些疇反轉結構包含：

複數個區段，其中每一該些區段包含：

複數個準相位匹配結構；

其中每一該些區段中疇之間距與佔空比不為定值。

6. 如請求項 2 所述之光學非線性晶體光波導，其中該埋入式帶狀光波導結構進行非線性光學參量產生時，入射光與該入射光之倍頻、差頻或合頻光之行進方向係平行於該鋰酸鋇或鉍酸鋇之 X 軸方向。

7. 如請求項 2 所述之光學非線性晶體光波導，其中該 Z-切或 Y-切鋰酸鋇或鉍酸鋇係為摻雜鋅之該鋰酸鋇或鉍酸鋇、摻雜鎂之該鋰酸鋇或鉍酸鋇或未摻雜之該鋰酸鋇或鉍酸鋇。

8. 如請求項 2 所述之光學非線性晶體光波導，其中該埋入式帶狀光波導結構係為該光學非線性晶體光波導之核心部分，而在該光學非線性晶體光波導中該埋入式帶狀光波導結構以外的部分係為披覆層，其中該核心部分係由高濃度摻雜鎵、鎂、鋅、氧化鎵、氧化鎂或氧化鋅之鋰酸鋇或鉍酸鋇所組成，而該披覆層係由低濃度摻雜鎵、鎂、鋅、氧化鎵、氧化鎂、氧化鋅或未摻雜之鋰酸鋇或鉍酸鋇所組成。

9. 如請求項 8 所述之光學非線性晶體光波導，其中該核心部分之鋰酸鋇或鉍酸鋇摻雜鎵、鎂或鋅之濃度為約 10^{16} 原子/cm³。

10. 如請求項 8 所述之光學非線性晶體光波導，其中該核心部分係將鎵、鎂、鋅、氧化鎵、氧化鎂或氧化鋅在約 500-1050°C 之間的溫度中擴散至鈮酸鋰或鉍酸鋰所形成。

11. 一種光學非線性參量產生結構，包含：
複數個一維或二維分佈之週期性或準週期性疇反轉結構，其中每一該疇反轉結構係為一 Z-切光學非線性晶體；
以及

一脊狀光波導結構，位於該些疇反轉結構上。

12. 如請求項 11 所述之光學非線性參量產生結構，其中該光學非線性晶體係為鈮酸鋰或鉍酸鋰。

13. 如請求項 12 所述之光學非線性參量產生結構，其中該光學非線性晶體光波導係為一光學單偏振態光波導，其中該光學單偏振態係平行於該鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸方向。

14. 如請求項 12 所述之光學非線性參量產生結構，其中該鈮酸鋰或鉍酸鋰之疇反轉方向係平行於該鈮酸鋰或鉍酸鋰之 Z 軸或 -Z 軸方向。

15. 如請求項 12 所述之光學非線性參量產生結構，其中該些疇反轉結構包含：

複數個區段，其中每一該些區段包含：

複數個準相位匹配結構；

其中每一該些區段中疇之間距與佔空比不為定值。

16. 如請求項 12 所述之光學非線性參量產生結構，其中該非線性光學參量產生結構進行非線性光學參量產生時，入射光與該入射光之倍頻、差頻或合頻光之行進方向係平行於該鋯酸鋰或鉍酸鋰之 X 軸方向。

17. 如請求項 11 所述之光學非線性參量產生結構，其中該脊狀光波導結構之橫截面係為一梯形。

18. 如請求項 12 所述之光學非線性參量產生結構，更包含：

至少一第一金屬電極，配置於該脊狀光波導結構之上；以及

至少二第二金屬電極，分別配置於該疇反轉鋯酸鋰或鉍酸鋰相對於該脊狀光波導結構之兩側上。

19. 如請求項 12 所述之光學非線性參量產生結構，更包含：

至少一第一金屬電極以及至少一第二金屬電極，分別

配置於該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰相對於該脊狀光波導結構之兩側上。

20. 如請求項 11 所述之光學非線性參量產生結構，其中該脊狀光波導結構係為該光學非線性晶體光波導之核心部分，而在該光學非線性晶體光波導中該埋入式帶狀光波導結構以外的部分係為披覆層，其中該核心部分係由高濃度摻雜鎵、鎂、鋅、氧化鎵、氧化鎂或氧化鋅之鈮酸鋰或鉬酸鋰所組成，而該披覆層係由低濃度摻雜鎵、鎂、鋅、氧化鎵、氧化鎂、氧化鋅或未摻雜之鈮酸鋰或鉬酸鋰所組成。

21. 如請求項 20 所述之光學非線性參量產生結構，其中該核心部分之鈮酸鋰或鉬酸鋰摻雜鎵、鎂或鋅之濃度為 10^{16} 原子/cm³。

22. 如請求項 20 所述之光學非線性參量產生結構，其中該核心部分係將氧化鎵、氧化鎂或氧化鋅在約 500-1050 °C 之間的溫度中擴散至鈮酸鋰或鉬酸鋰所形成。

23. 一種光學非線性晶體光波導之製作方法，包含以下步驟：

對一光學非線性晶體進行疇反轉以及埋入式波導製程；

其中該埋入式波導製程包含以下步驟：

對該疇反轉光學非線性晶體進行光阻旋轉塗佈，以形成一第一光阻層；

對該第一光阻層進行曝光及顯影；

以鎳或氧化鎳對該疇反轉光學非線性晶體進行濺鍍或以鎳與鋅對該疇反轉光學非線性晶體進行鎳鋅鎳多層金屬之濺鍍，以於該疇反轉光學非線性晶體上形成一第一金屬層；

對該疇反轉光學非線性晶體上之該第一光阻進行掀離法，以於該疇反轉光學非線性晶體上形成一圖案化第一金屬層；以及

在約 500-1050°C 之間的溫度中，對該疇反轉光學非線性晶體進行擴散，以於該疇反轉光學非線性晶體中形成一埋入式帶狀波導結構。

24. 如請求項 23 所述之方法，其中該光學非線性晶體係為一週期性疇反轉鈮酸鋰、一準週期性疇反轉鈮酸鋰、一週期性疇反轉鉬酸鋰或一準週期性疇反轉鉬酸鋰。

25. 如請求項 24 所述之方法，在執行該埋入式波導製程步驟之後，更包含以下步驟：

於該疇反轉光學非線性晶體上形成一脊狀結構，包含以下步驟：

對該疇反轉鈮酸鋰或鉬酸鋰進行光阻旋轉塗佈，

以形成一第二光阻層；

對該第二光阻層進行曝光及顯影；

以鎳或氧化鎳對該疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰進行濺鍍，以於該疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上形成一第二金屬層；

對該疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上之該第二光阻進行掀離法，以於該埋入式帶狀波導結構上形成一圖案化第二金屬層；以及

對該圖案化第二金屬層進行處理，以形成一脊狀結構。

26. 如請求項 25 所述之方法，其中該對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：

對該疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域，進行鋰離子及/或質子之相互擴散與取代，以形成複數個鈮酸鋰反轉區；以及

利用氫氟酸腐蝕該圖案化第二金屬層以及該些鈮酸鋰反轉區，以形成該脊狀結構。

27. 如請求項 25 所述之方法，其中該對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：

利用反應式離子蝕刻技術，對該疇反轉鈮酸鋰或鈹酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域進行處理，以形成該脊狀結構。

28. 如請求項 25 所述之方法，其中該對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：

利用高能量輻射粒子對該疇反轉鋯酸鋰或鉍酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域進行照射；以及

利用反應氣體與離子撞擊經高能量輻射粒子照射之區域，以形成該脊狀結構。

29. 如請求項 25 所述之方法，其中該對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：

利用高能量輻射粒子對該疇反轉鋯酸鋰或鉍酸鋰上該圖案化第二金屬層以外之區域進行照射；以及

利用氫氟酸腐蝕經高能量輻射粒子照射之區域，以形成該脊狀結構。

30. 如請求項 25 所述之方法，其中該對該圖案化第二金屬層進行處理之步驟，包含以下步驟：

利用精密切割技術對該圖案化第二金屬層之兩側進行銑削，以形成該脊狀結構。

31. 如請求項 25 述之方法，在形成該脊狀結構的步驟之後，更包含以下步驟：

於該疇反轉光學非線性晶體與該脊狀結構上形成複數個金屬電極，包含以下步驟：

形成一介電緩衝層於該脊狀結構上；

形成至少一第一金屬電極於該介電緩衝層上；以

及

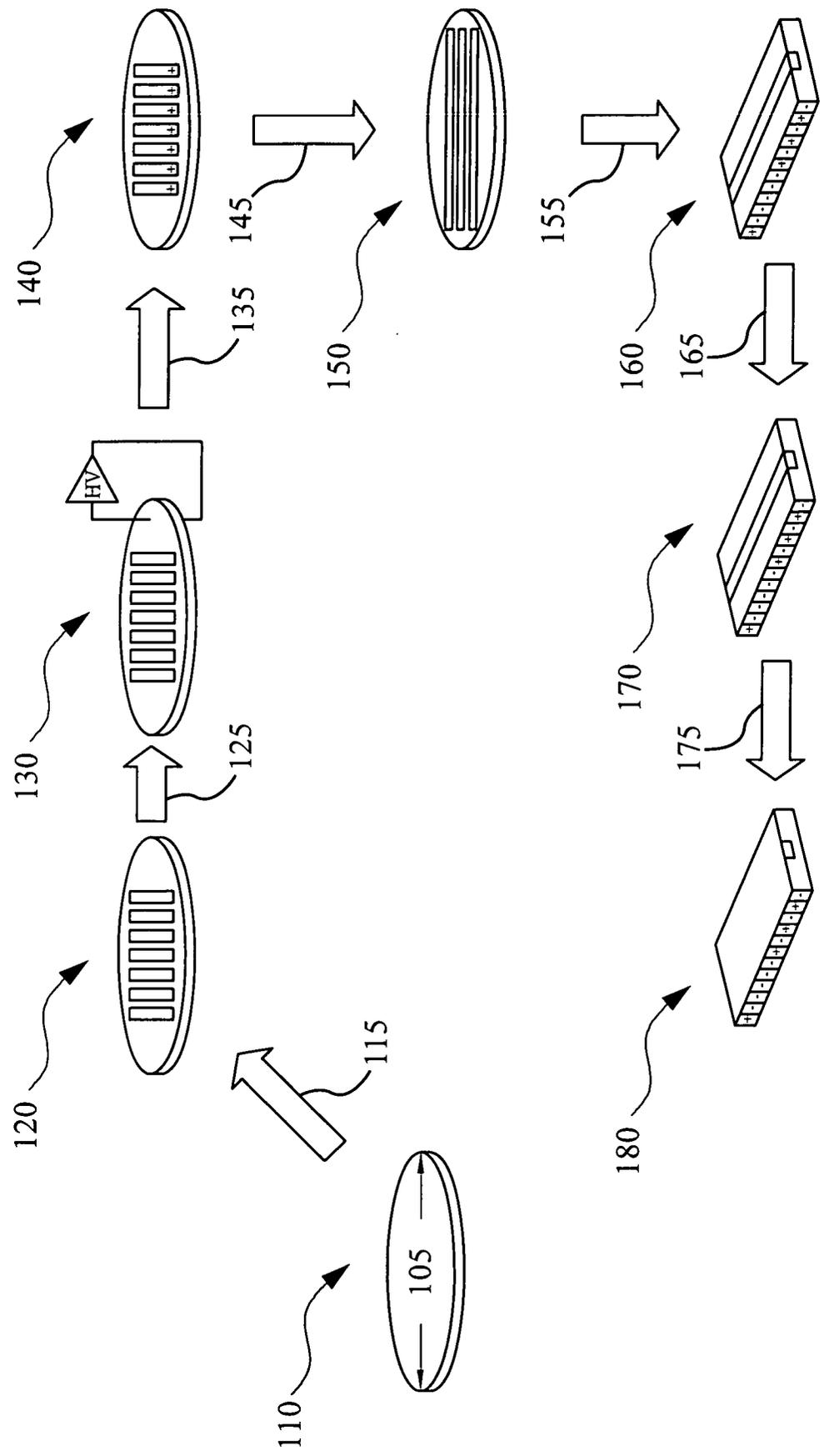
於該疇反轉鋯酸鋰或鈮酸鋰相對於該脊狀結構之兩側上分別形成至少一第二金屬電極。

32. 如請求項 25 所述之方法，在形成該脊狀結構的步驟之後，更包含以下步驟：

於該疇反轉光學非線性晶體與該脊狀結構上形成複數個金屬電極，包含以下步驟：

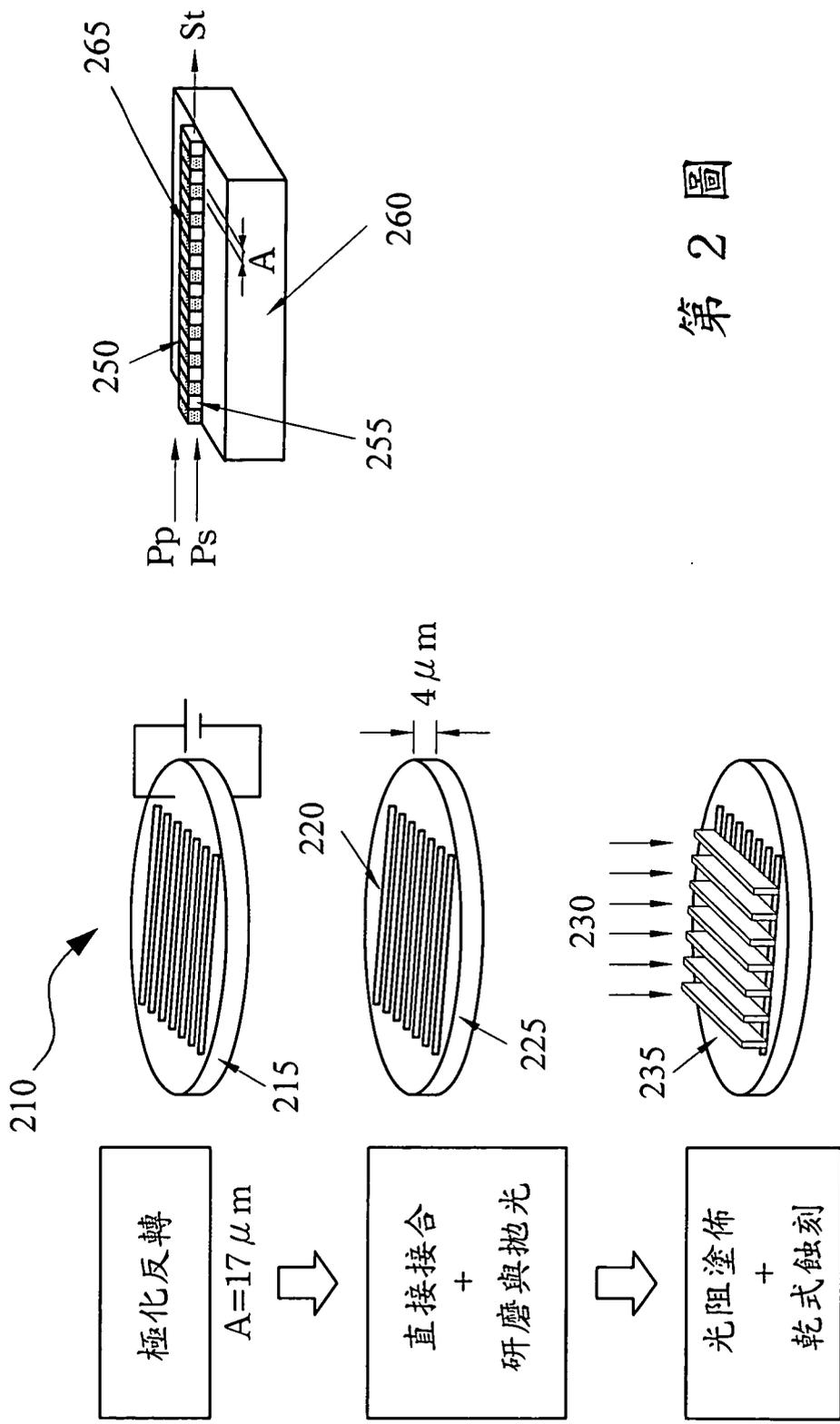
於該疇反轉鋯酸鋰或鈮酸鋰相對於該脊狀結構之兩側上分別形成至少一第一金屬電極與至少一第二金屬電極。

103年7月21日修正替換頁(本)



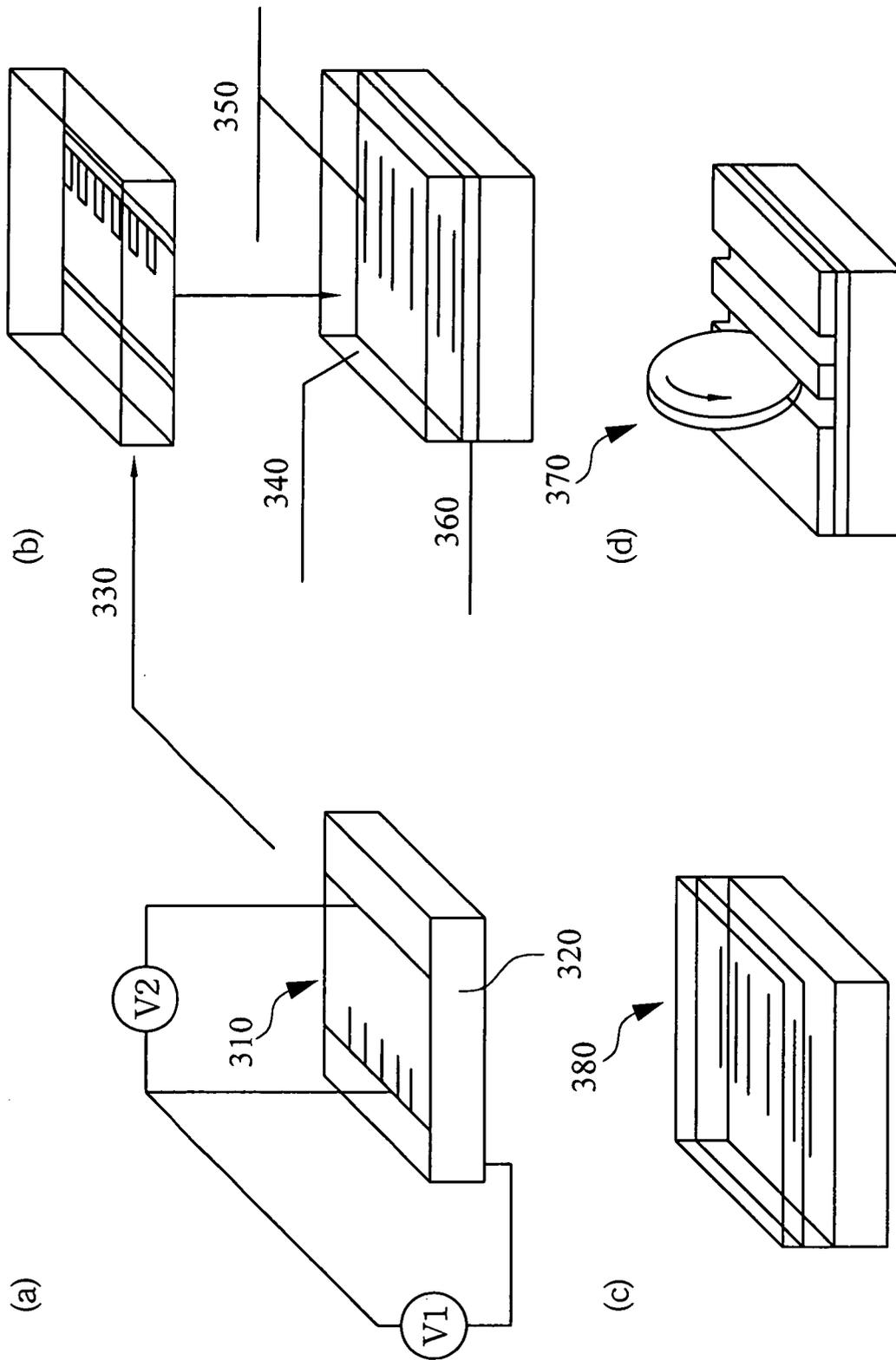
第 1 圖

103年7月21日修正對線頁(本)

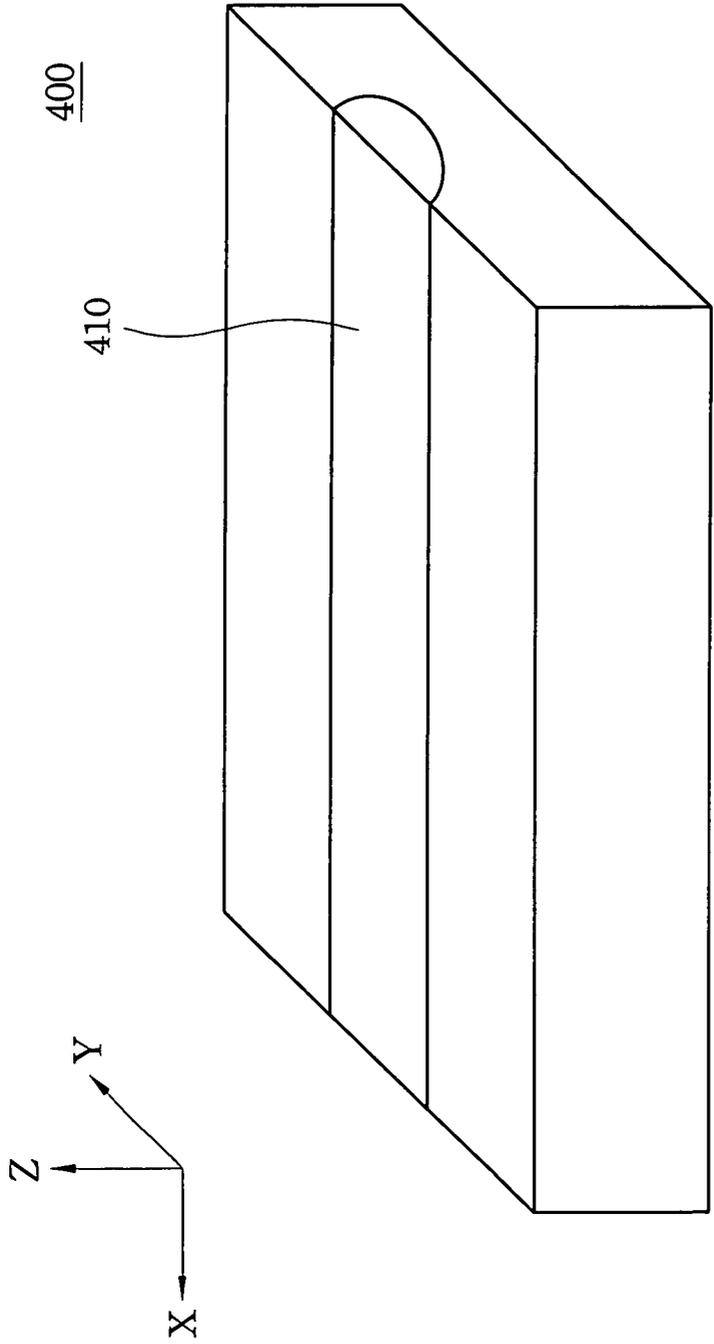


第 2 圖

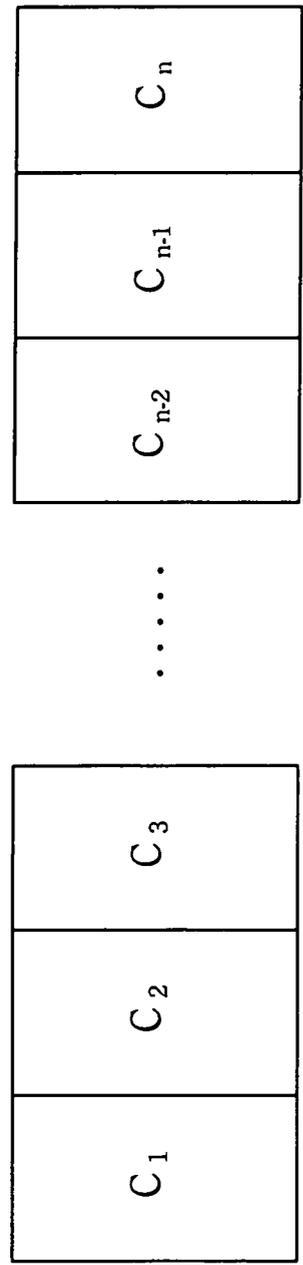
103年7月21日修正
劃線頁(本)



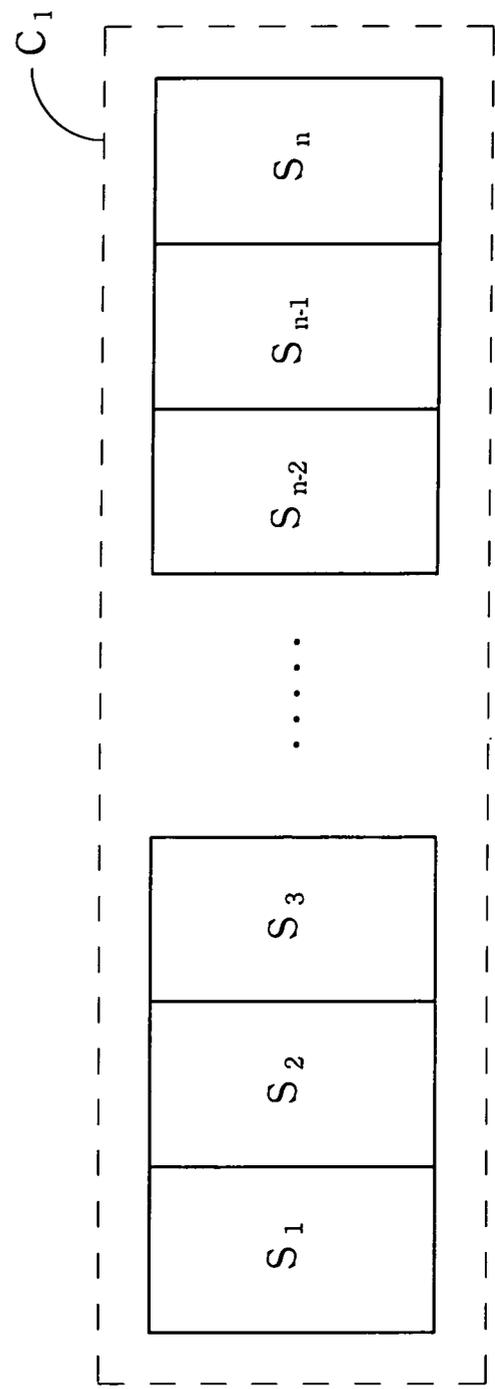
第 3 圖



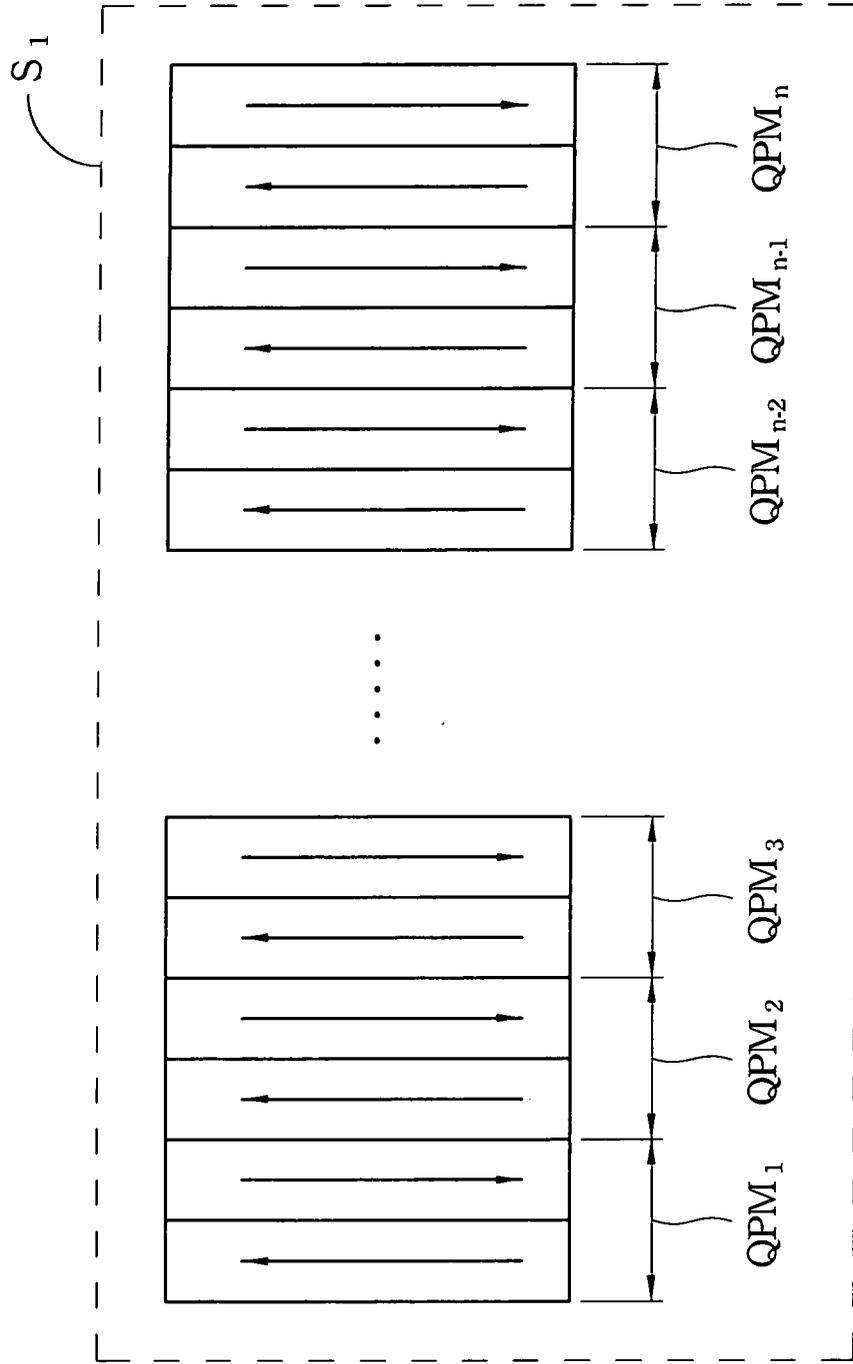
第 4 圖



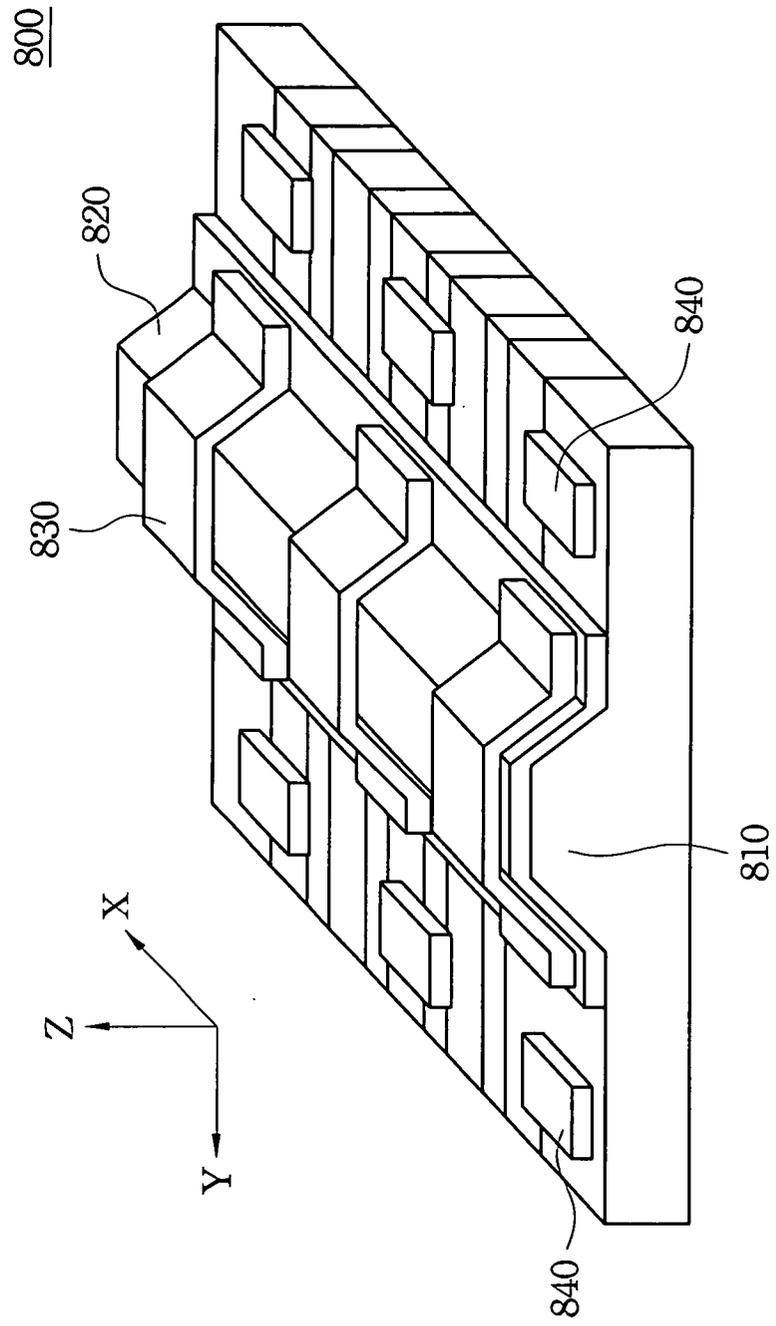
第 5 圖



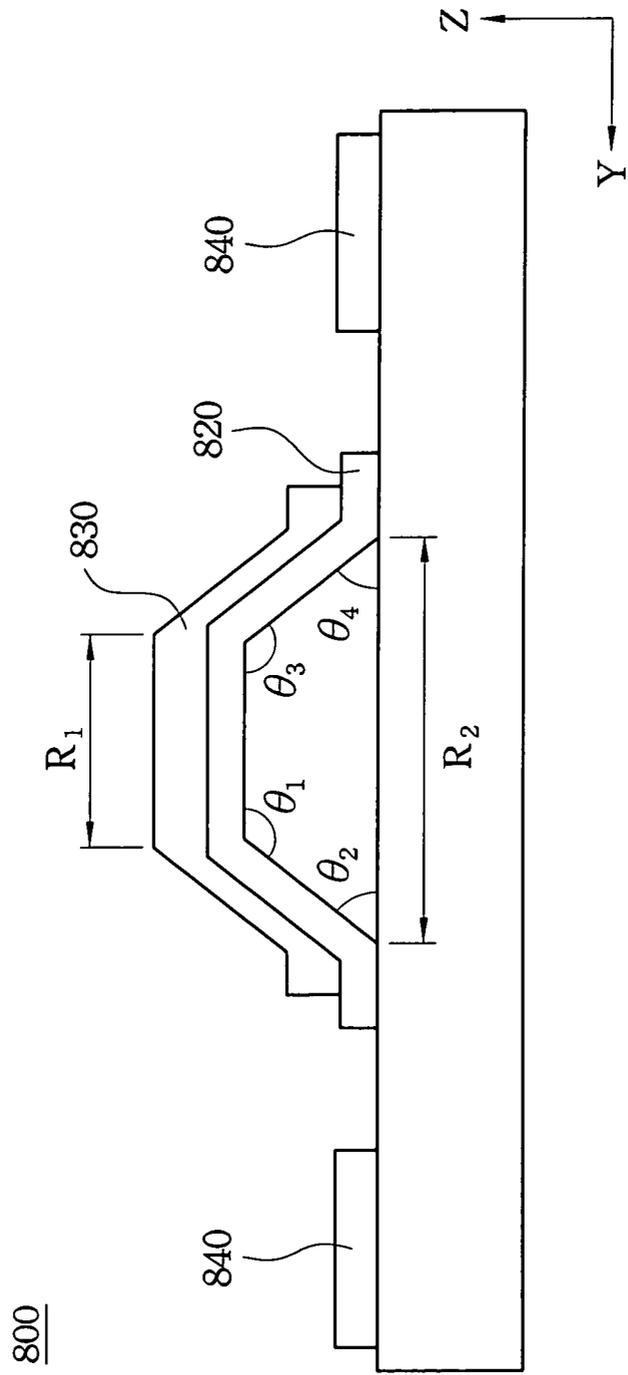
第 6 圖



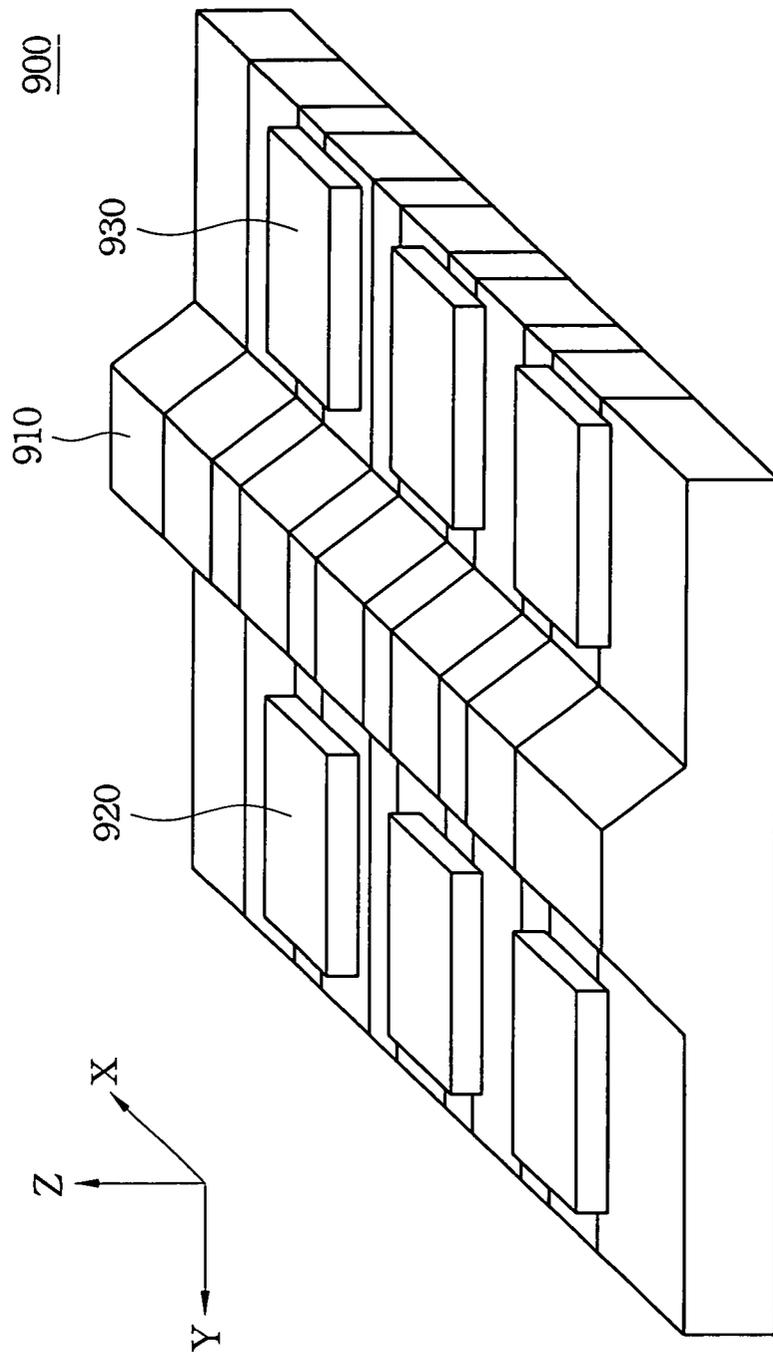
第 7 圖



第 8A 圖

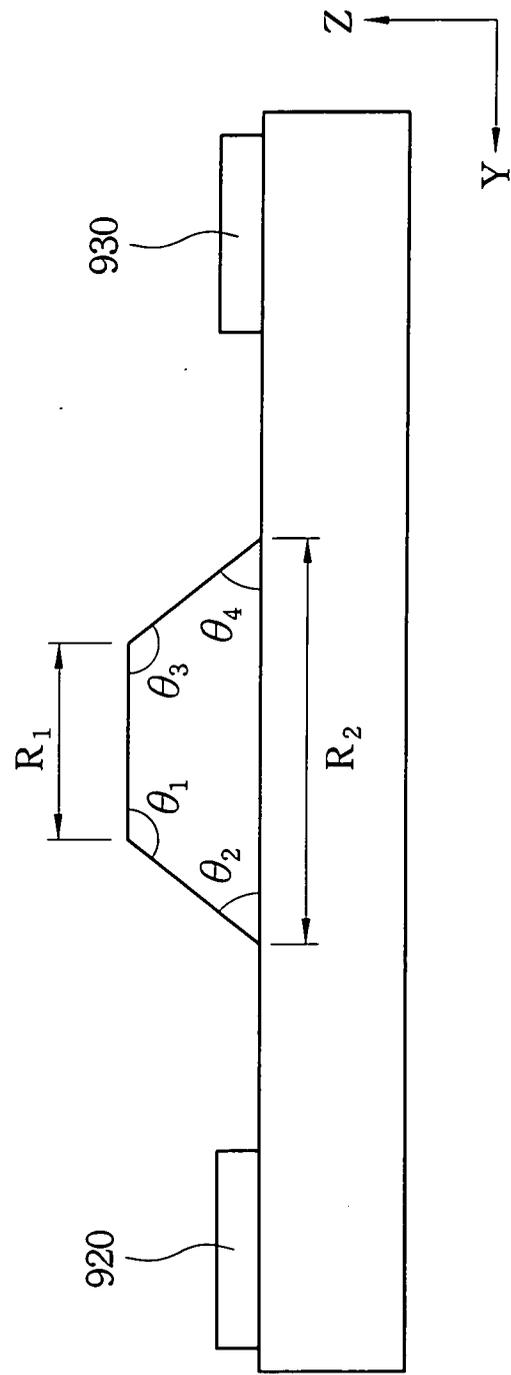


第 8B 圖

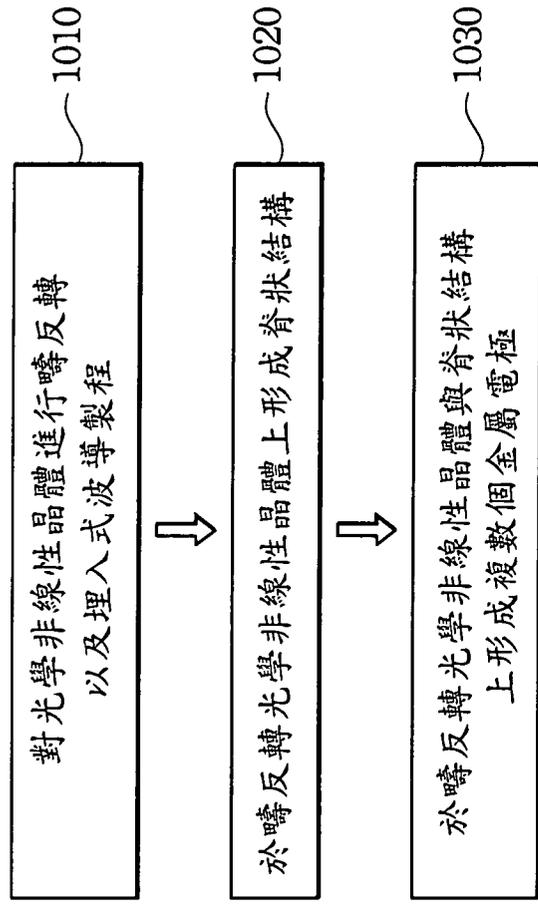


第 9A 圖

900

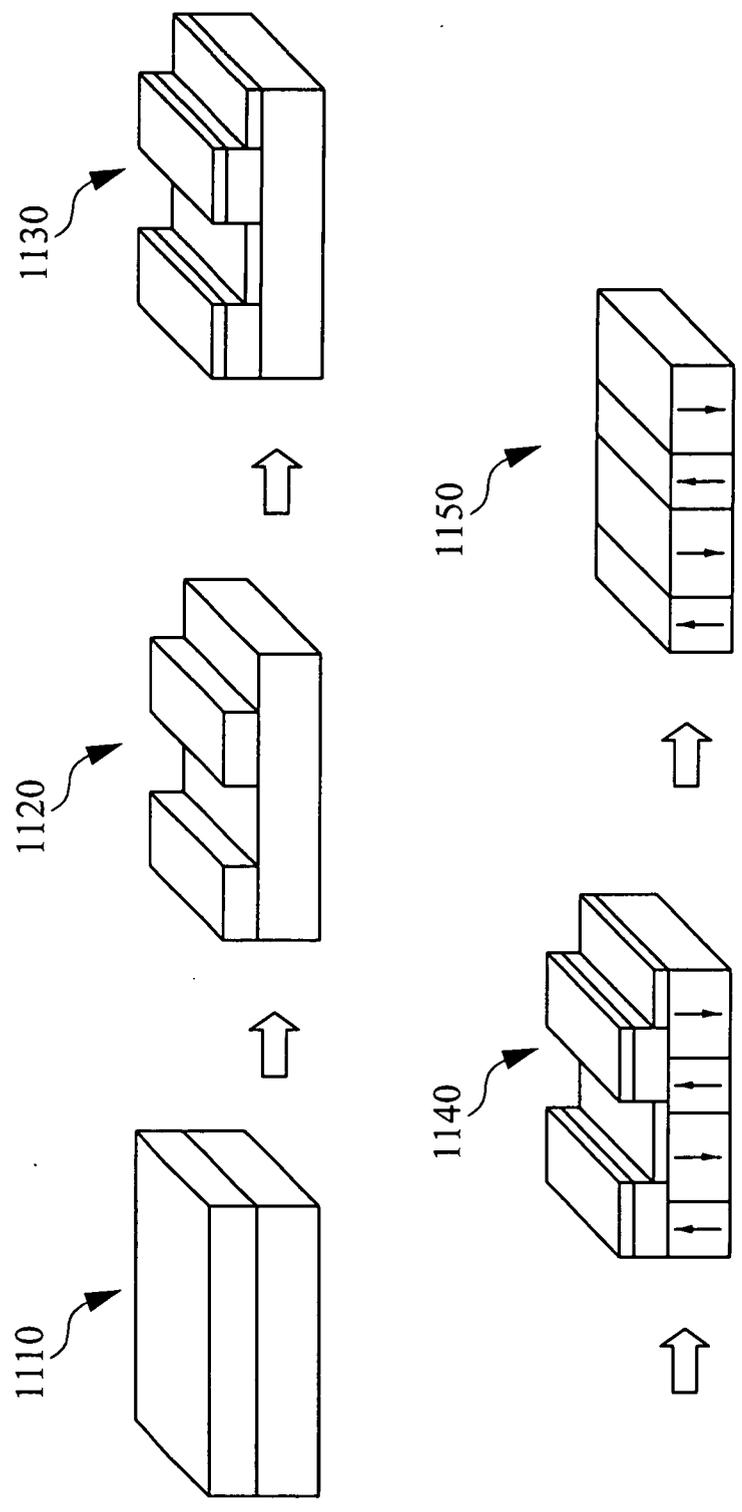


第 9B 圖



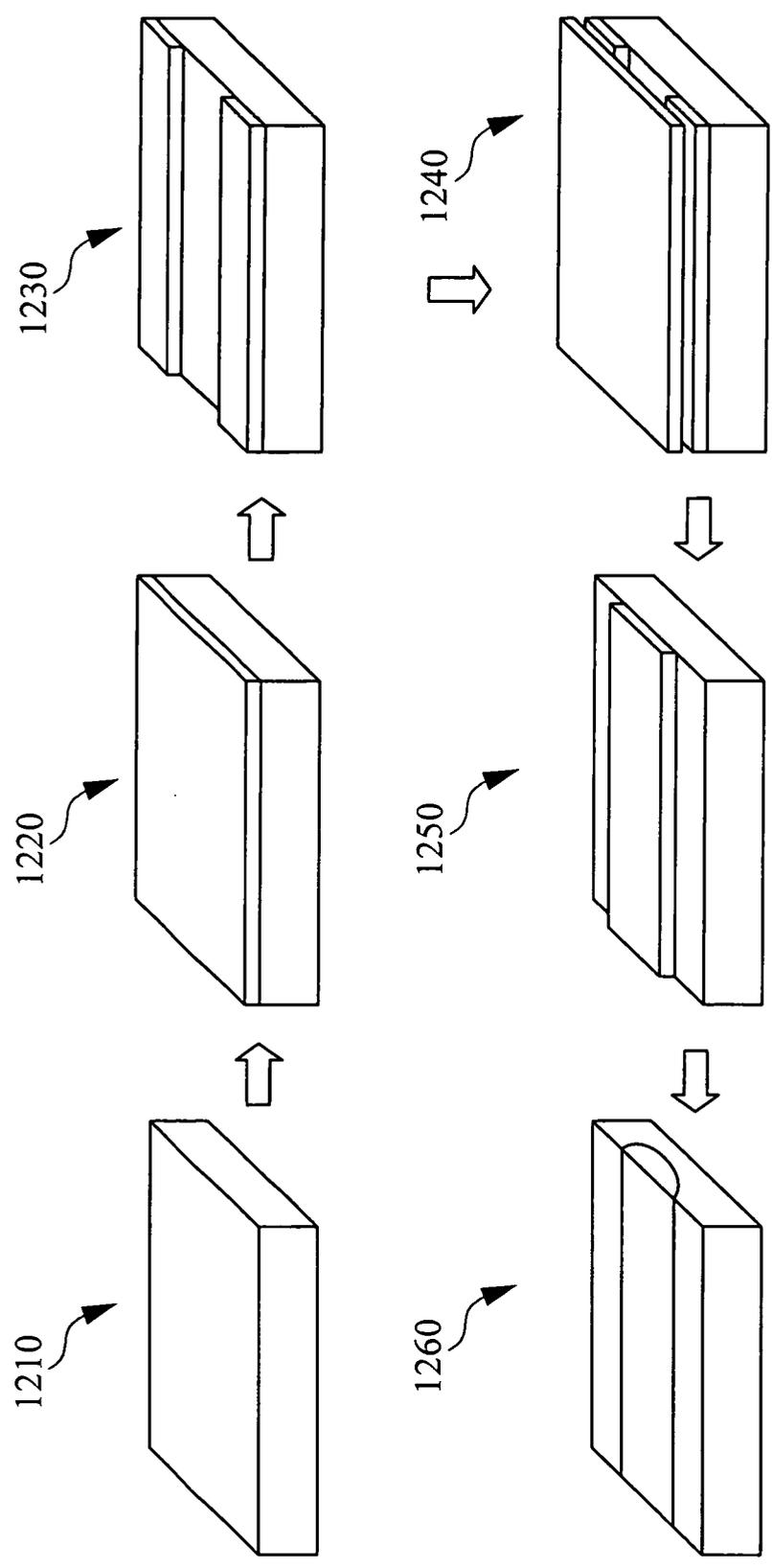
第 10 圖

103年7月21日修正
對線頁(本)



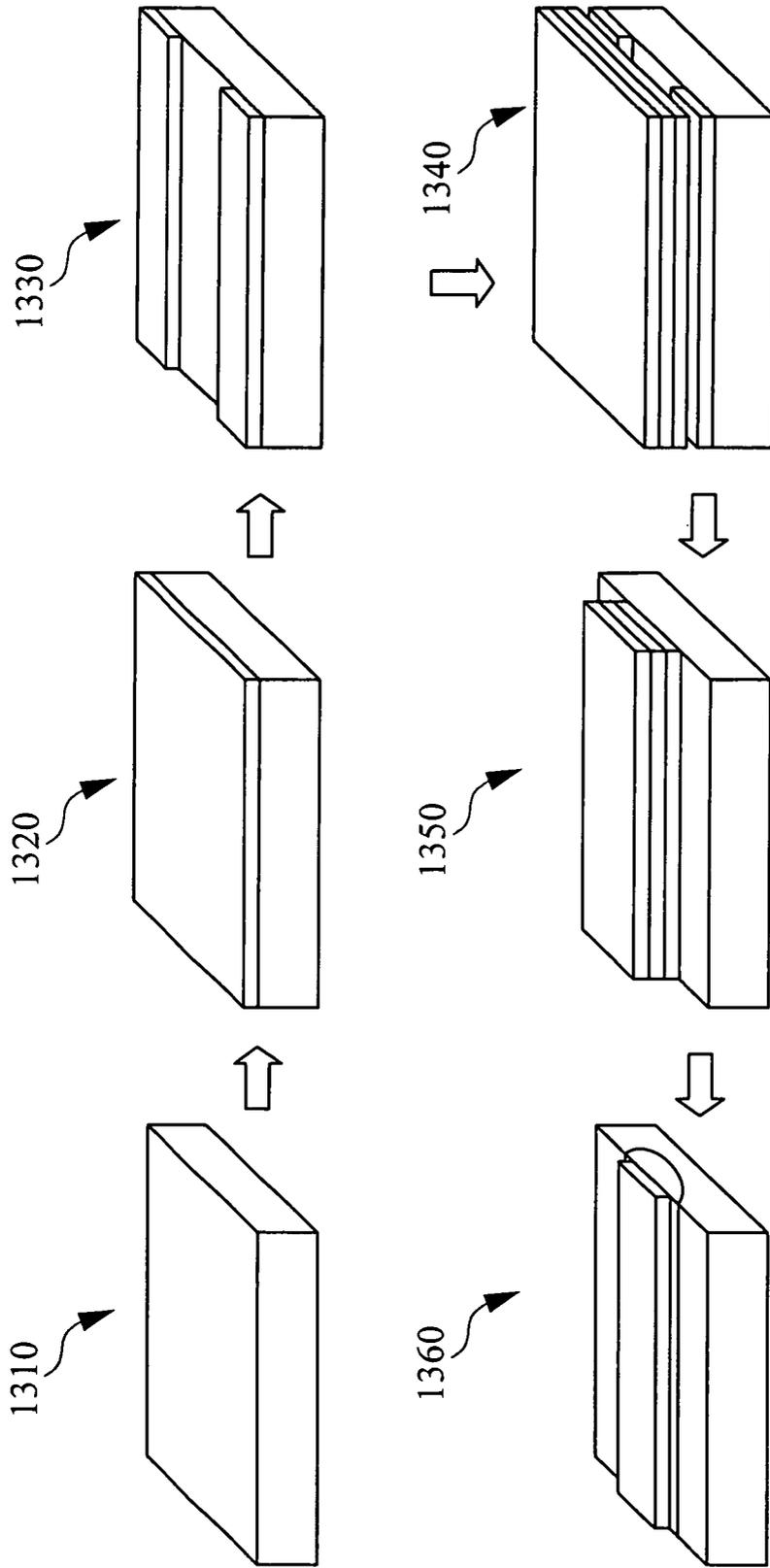
第 11 圖

103年7月21日修正替換頁(本)
劃線

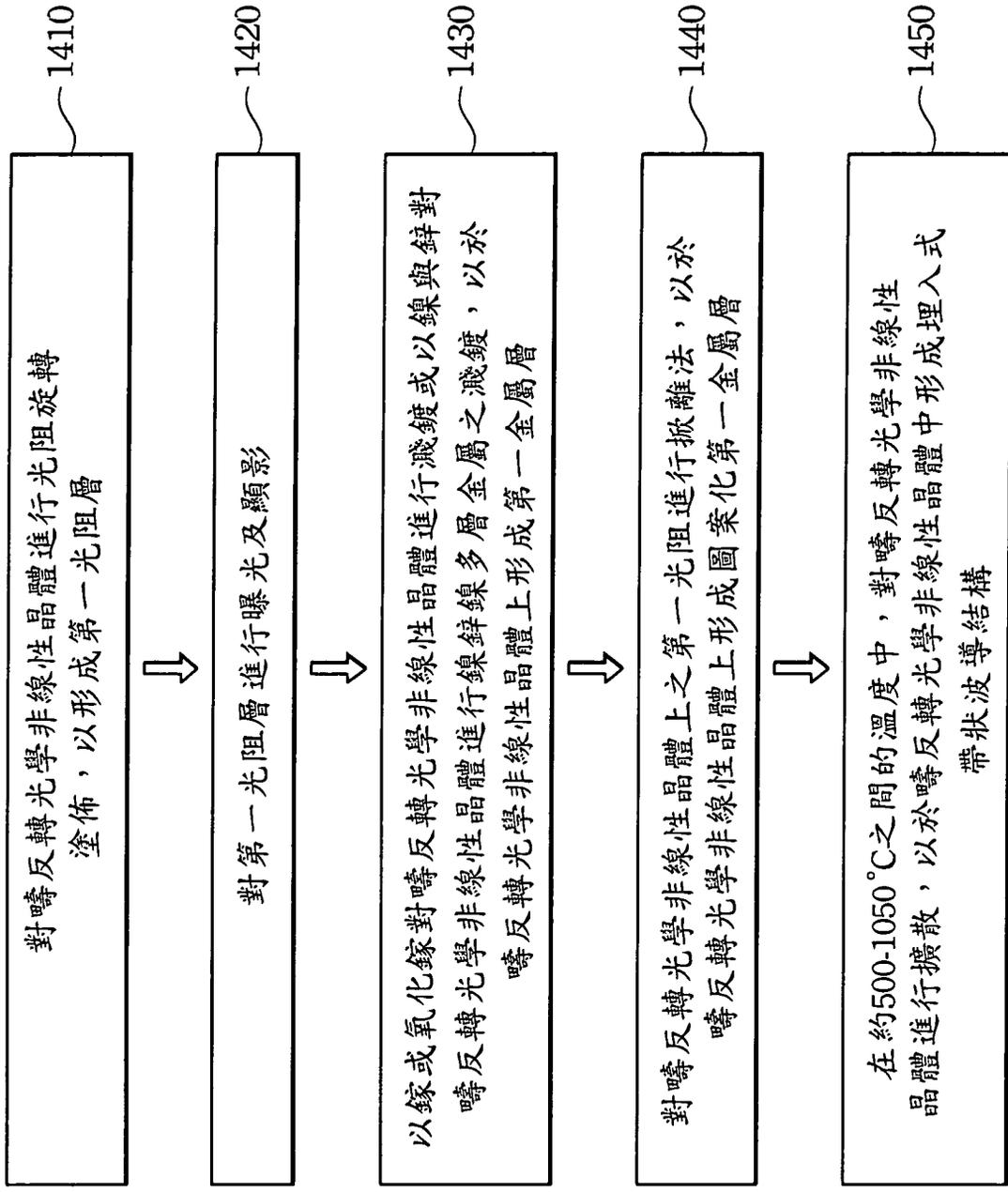


第 12 圖

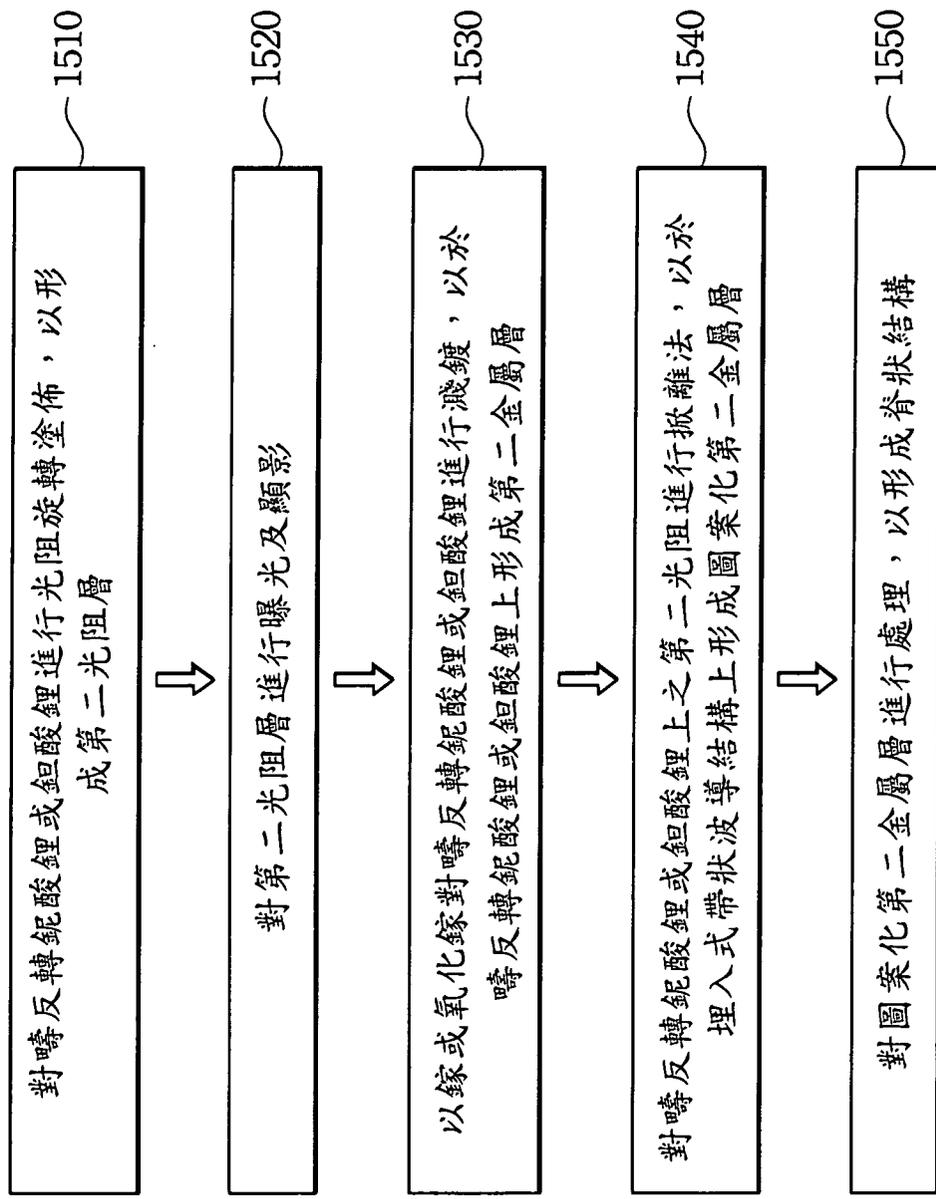
102年7月2日修正頁(卷)
劃線



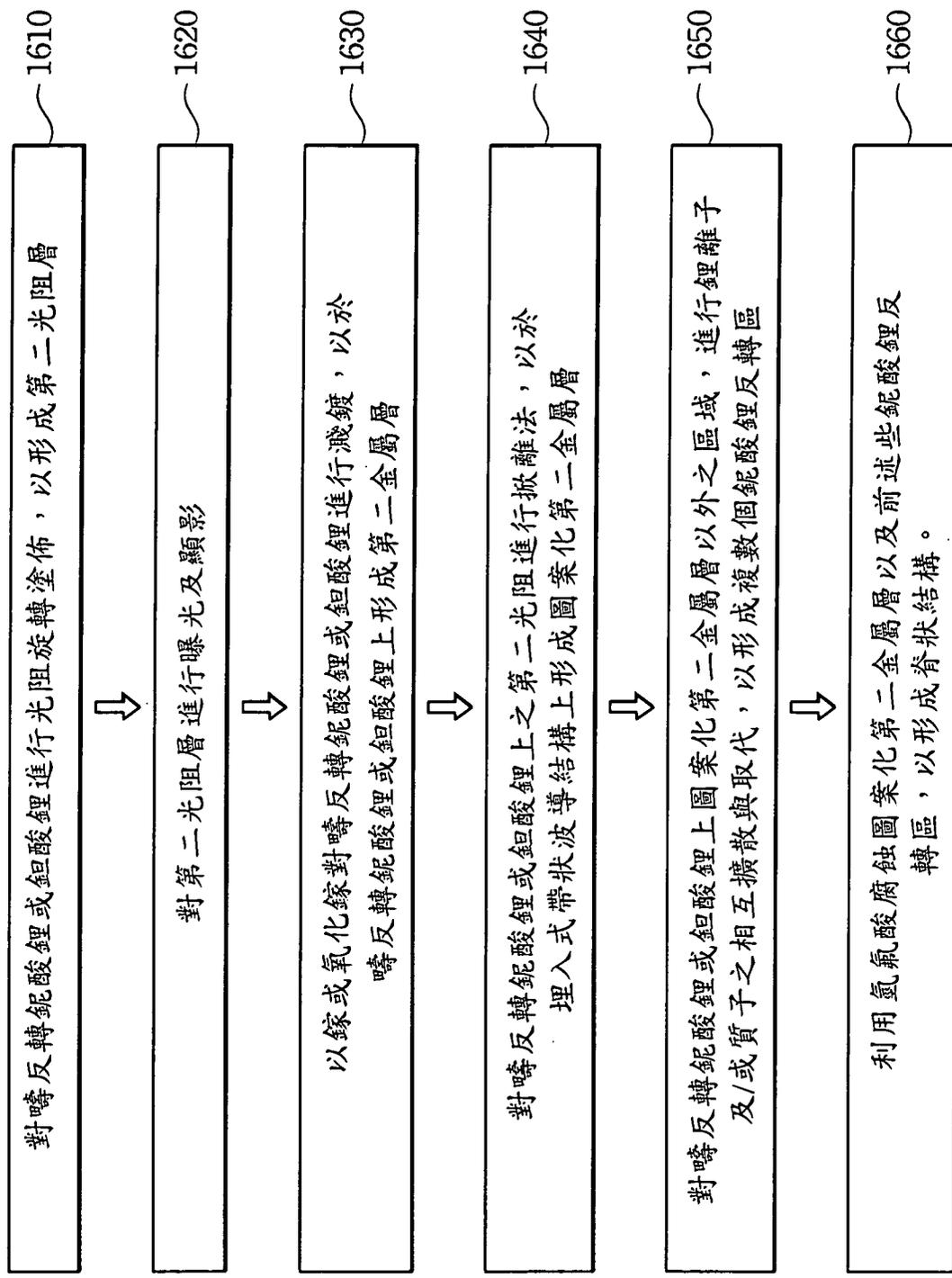
第 13 圖



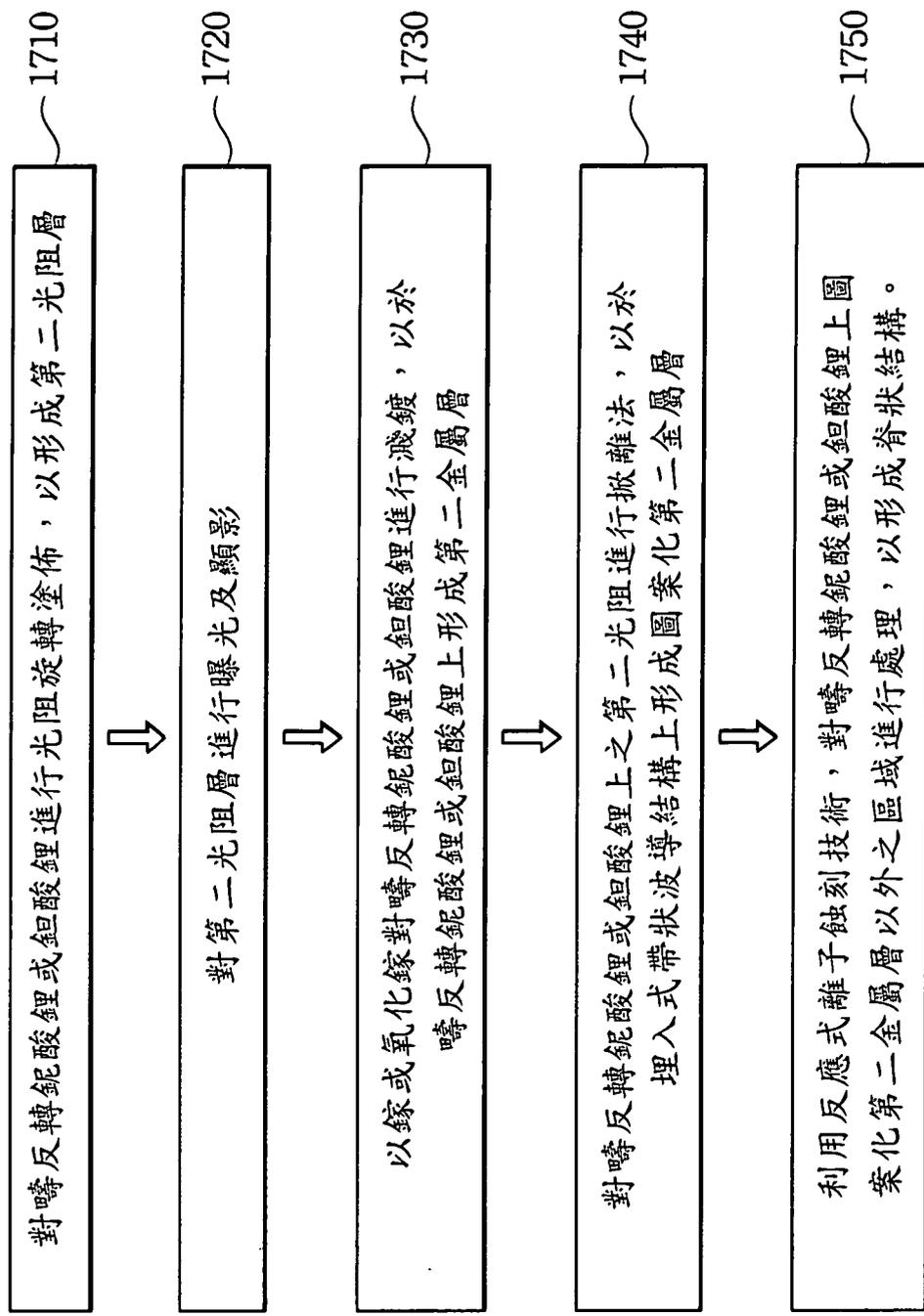
第 14 圖



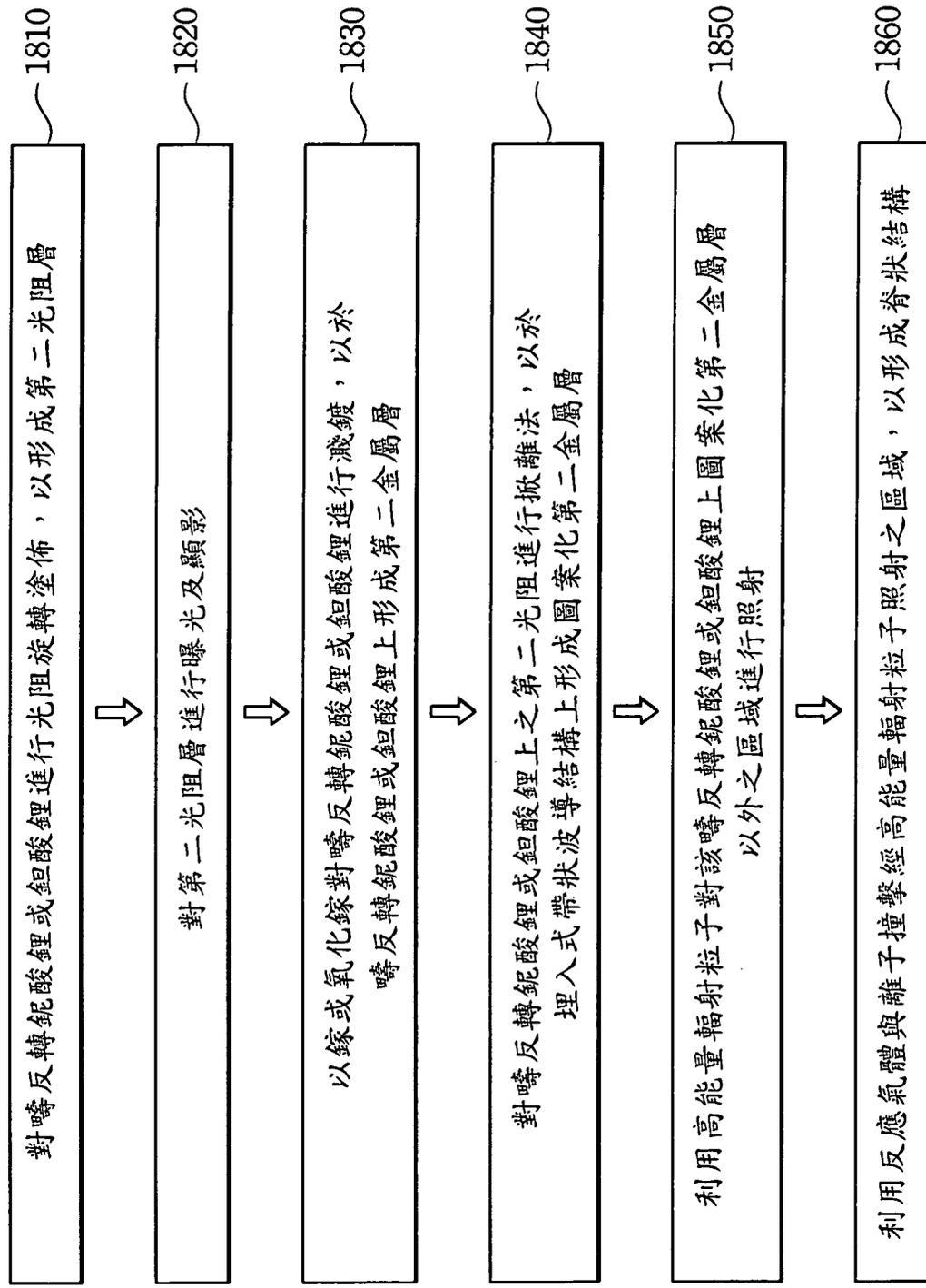
第 15 圖



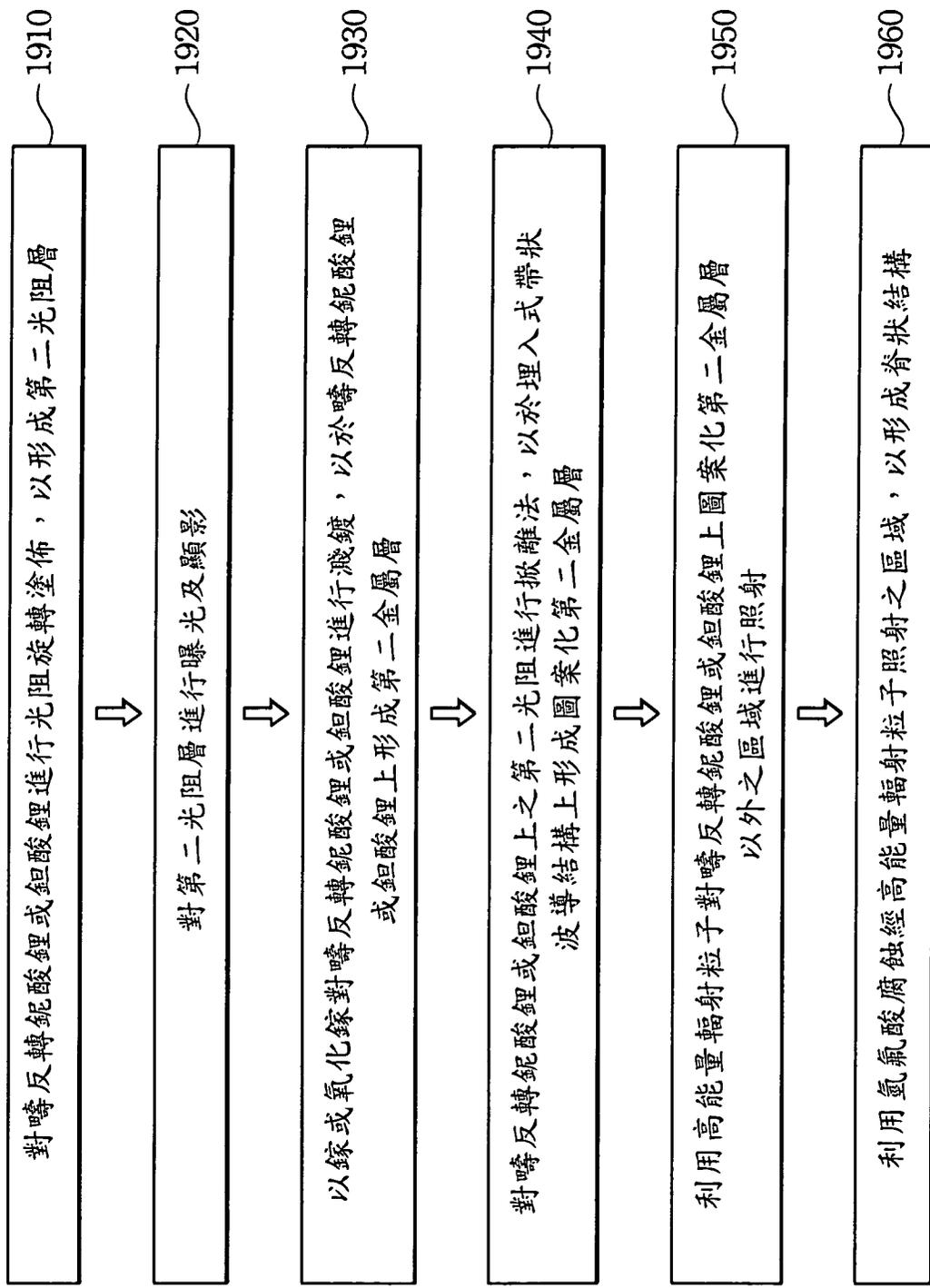
第 16 圖



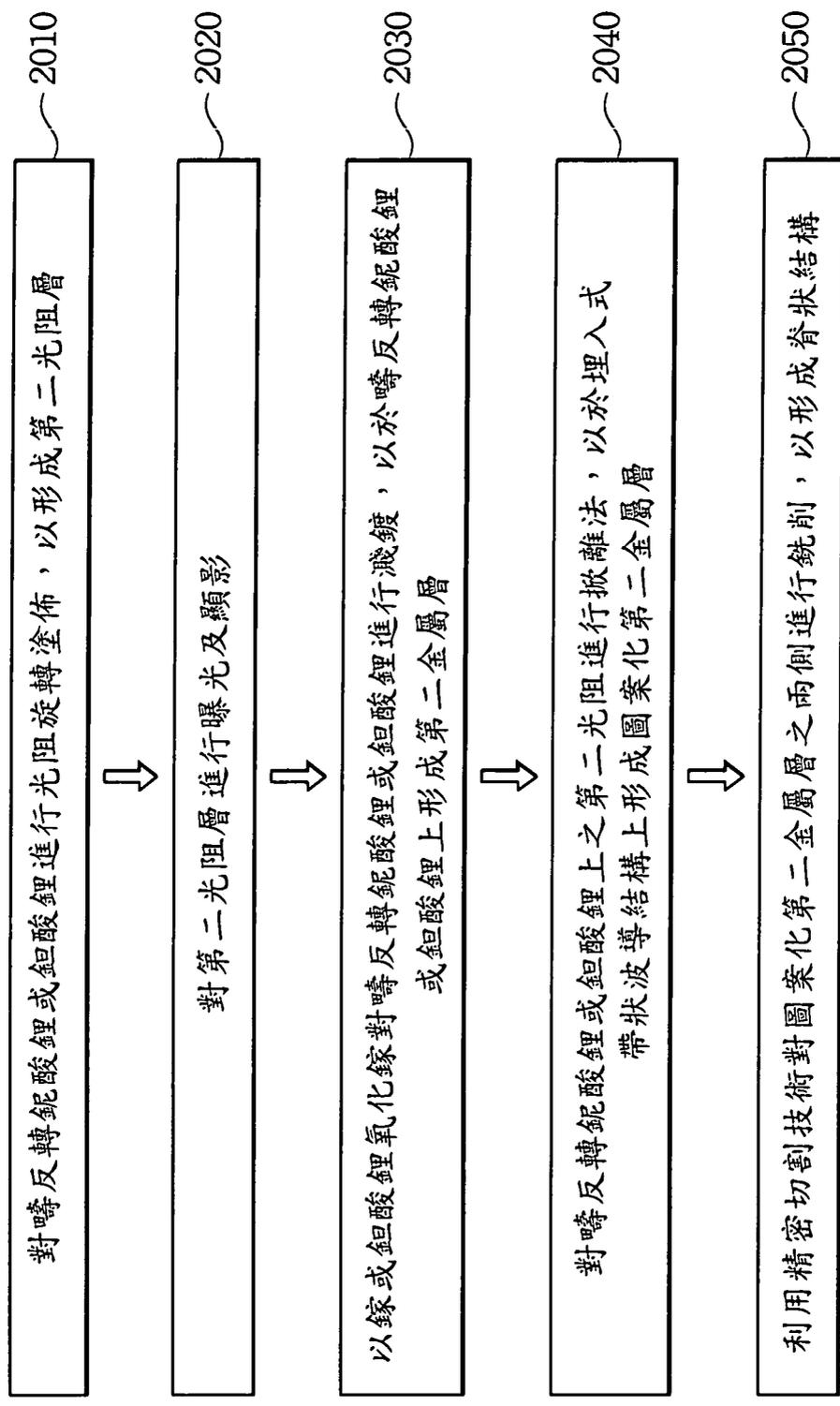
第 17 圖



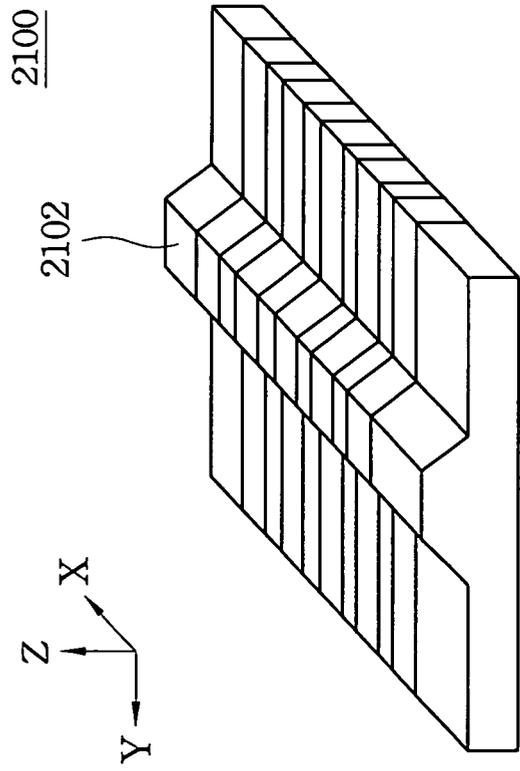
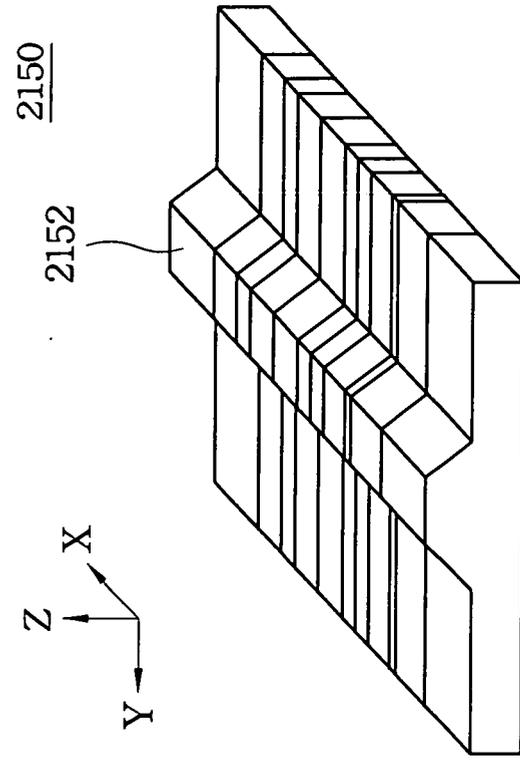
第 18 圖



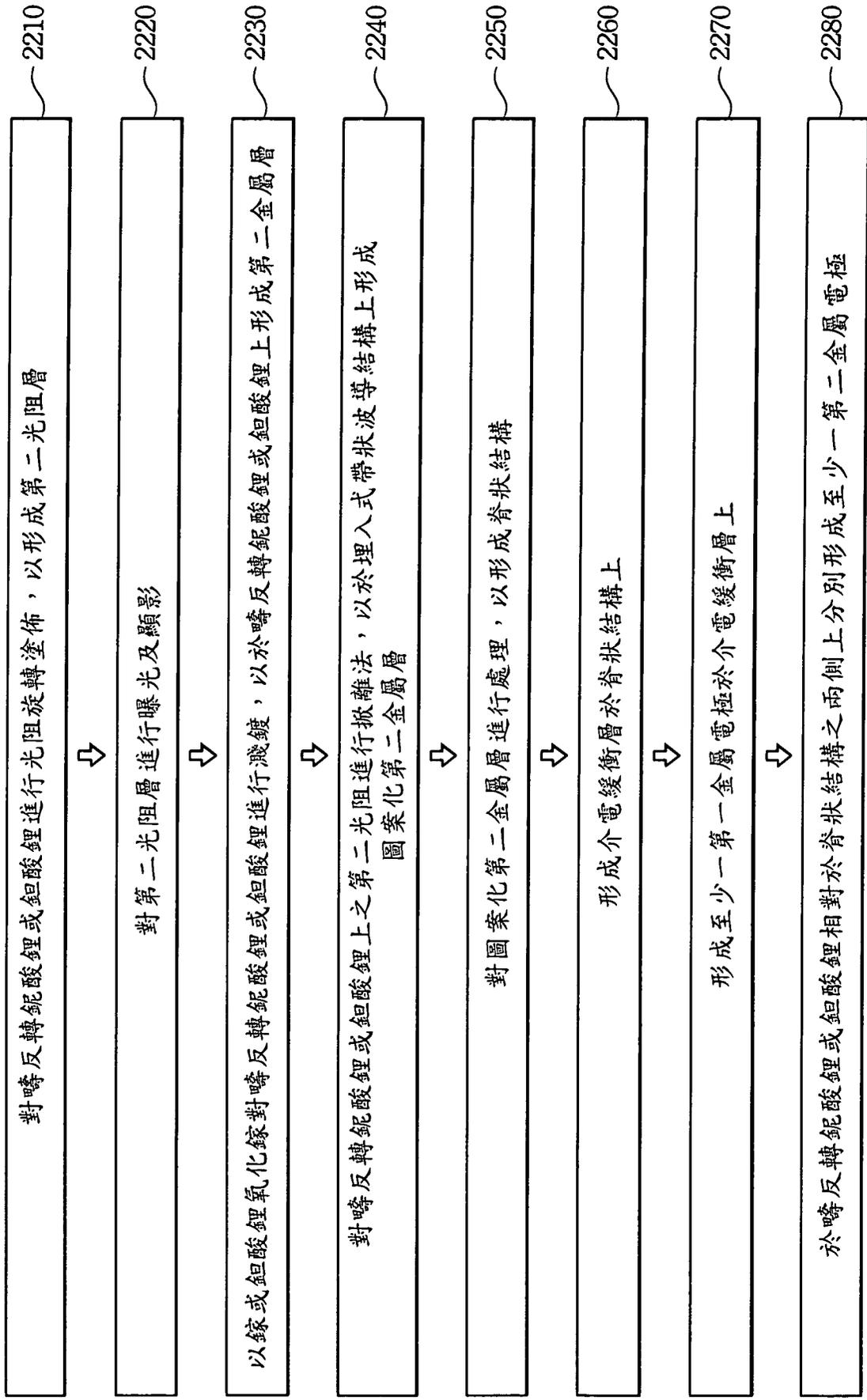
第 19 圖



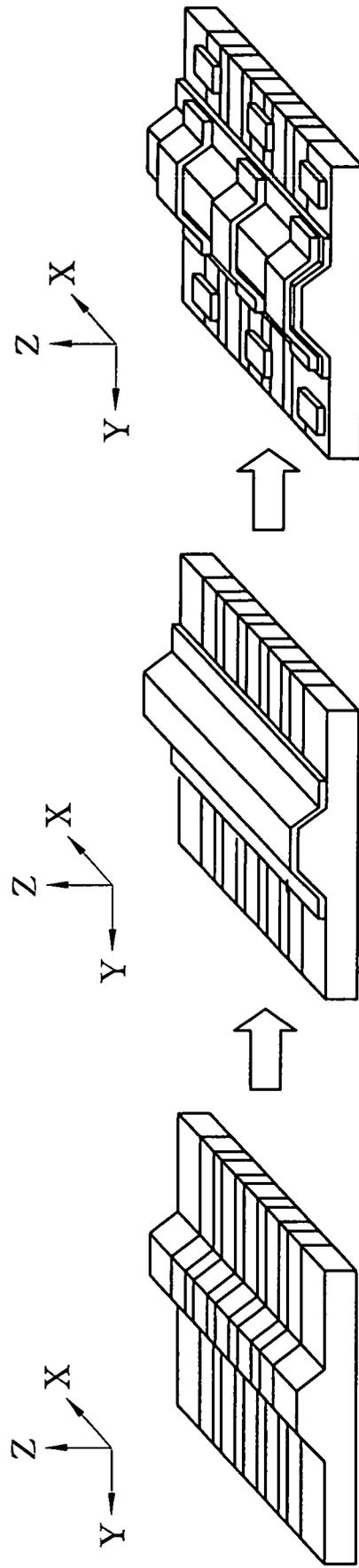
第 20 圖



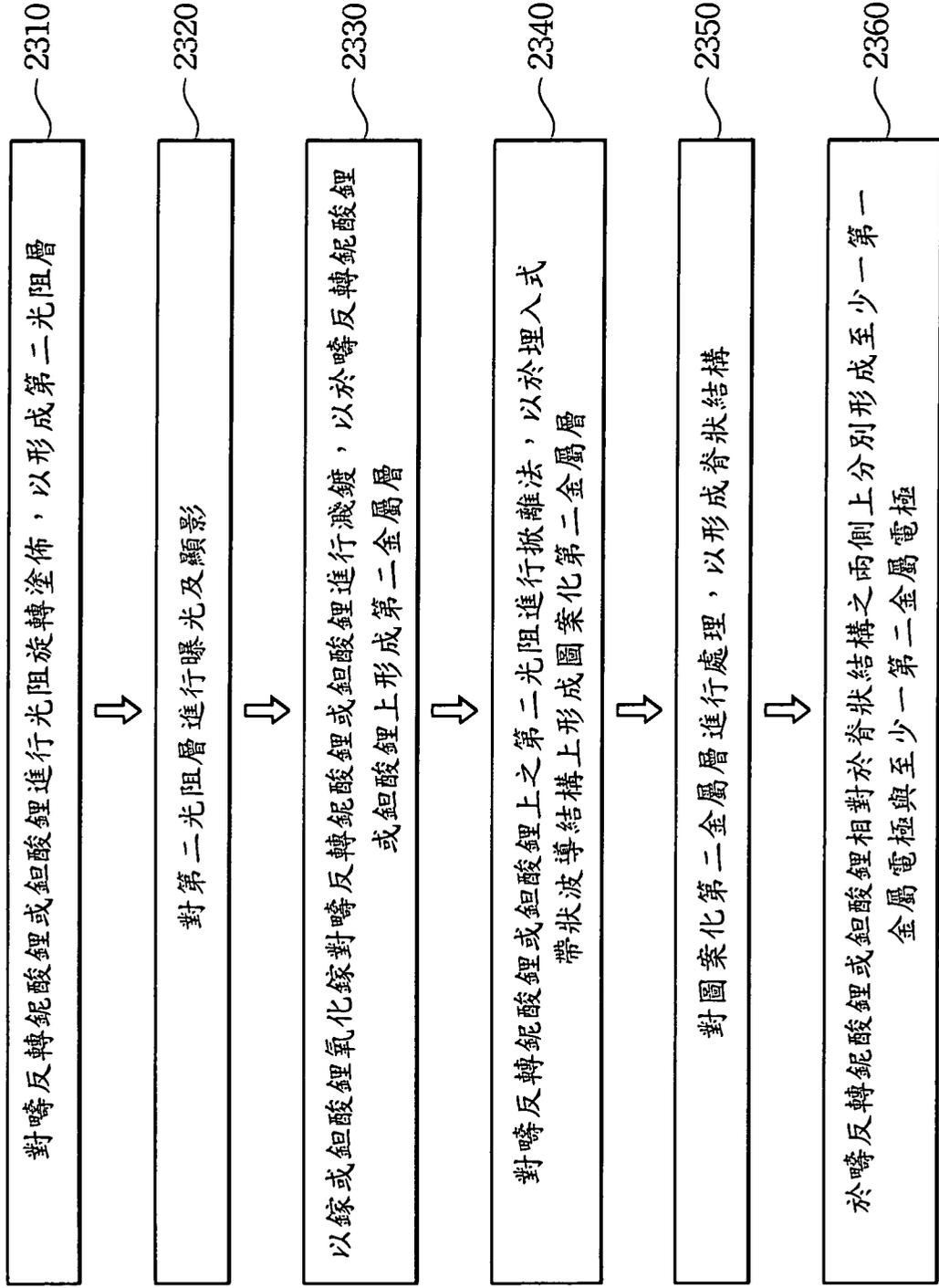
第 21 圖



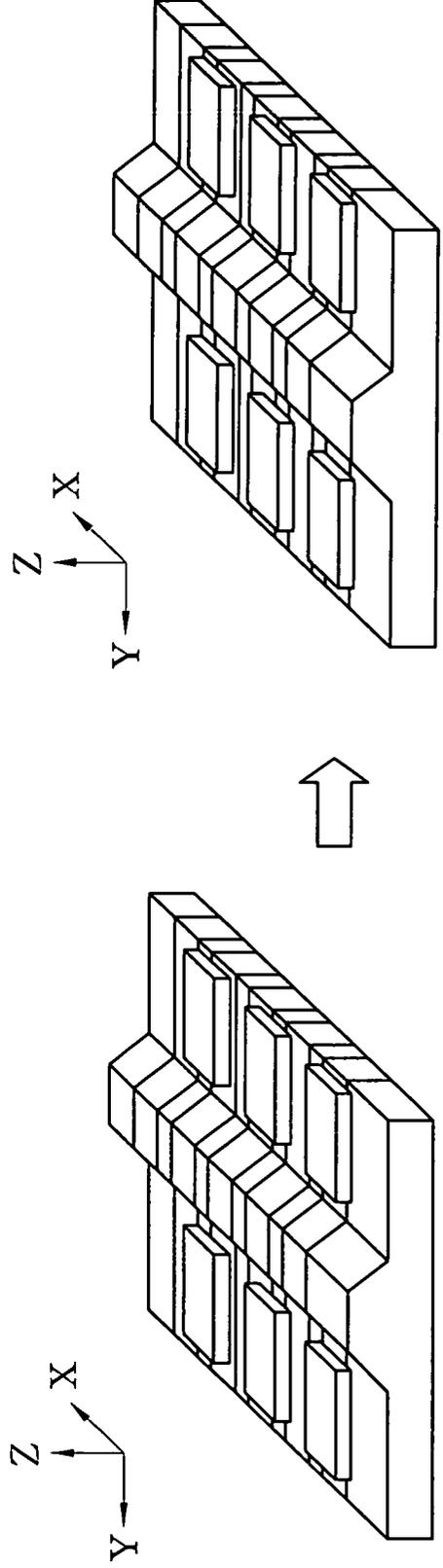
第 22A 圖



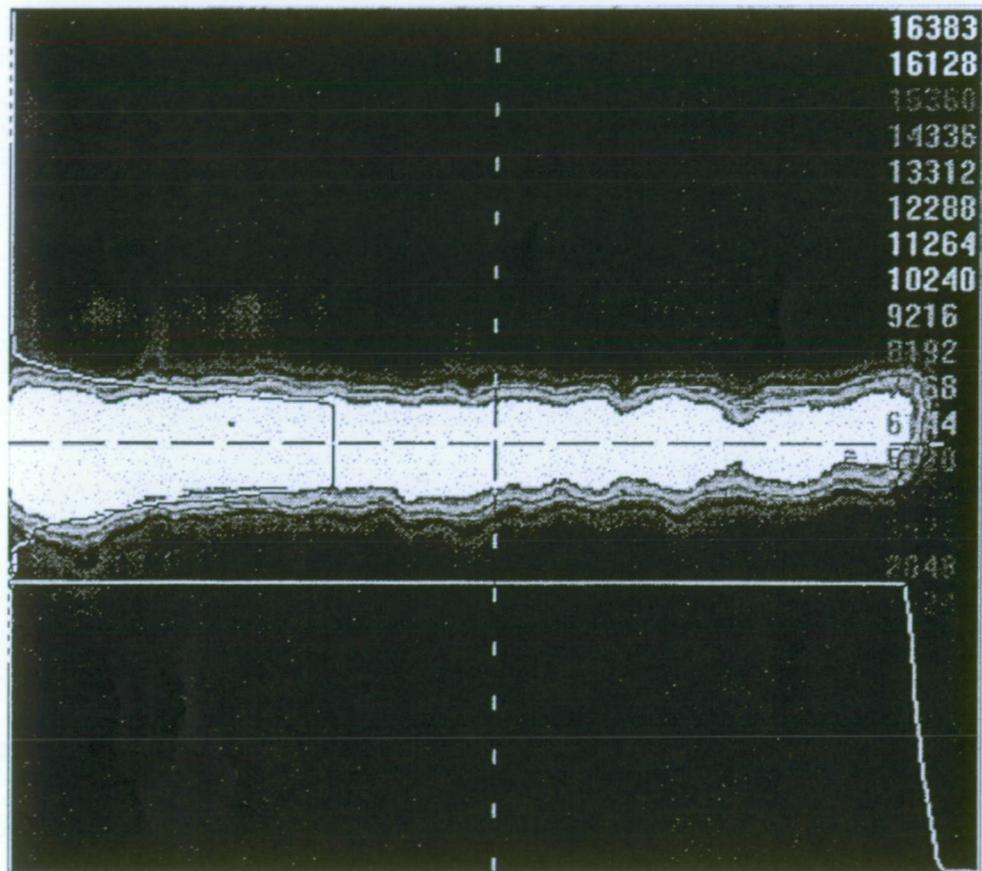
第 22B 圖



第 23A 圖



第 23B 圖



第 24 圖