



(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 I720378 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：107144070

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 12 月 07 日

(51)Int. Cl. : **B23K26/55 (2014.01)****B23K26/402 (2014.01)****B23K26/362 (2014.01)****C30B33/08 (2006.01)****C30B29/36 (2006.01)**

(30)優先權：2018/05/04 德國

102018003675.9

(71)申請人：德商希爾提克特拉股份有限公司 (德國) SILTECTRA GMBH (DE)

德國

(72)發明人：瑞屈特 珍 RICHTER, JAN (DE)；史沃保達 馬寇 SWOBODA, MARKO (DE)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 587346

TW 200929758A

CN 102308372A

CN 105899325A

EP 2599582A1

US 2005/0205538A1

審查人員：周永泰

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：13 共 63 頁

(54)名稱

從由 SiC 及金屬塗層或電氣元件製成的複合結構中分離固體層的方法

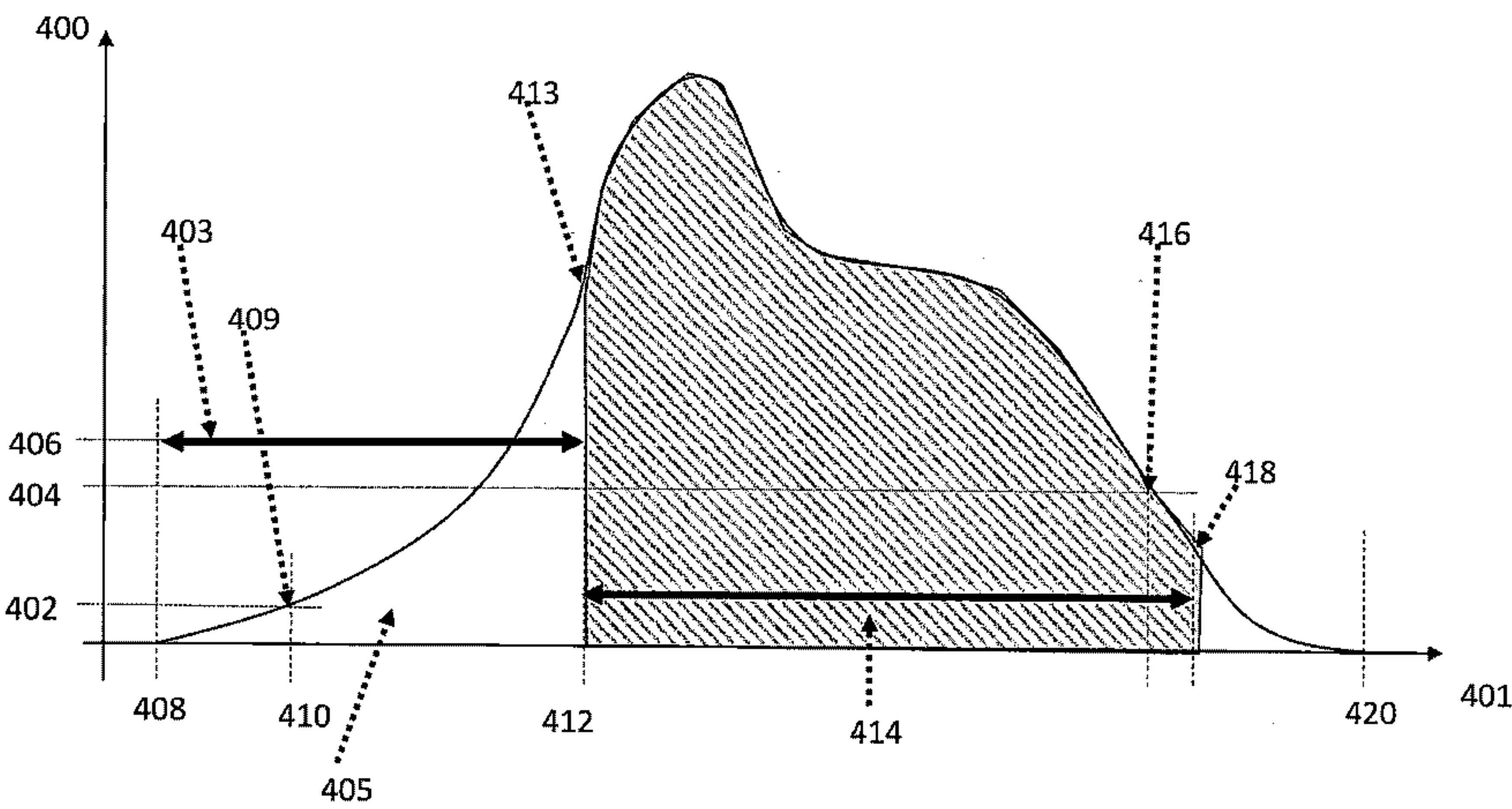
(57)摘要

本發明關於一種在複合結構(83)內部製造微裂縫(9)的方法。該方法較佳為至少包含下列步驟：提供或製造複合結構(83)，其中複合結構(83)具有固體(1)、及位於或提供於固體(1)一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件(82)，且在另一側上形成平坦表面(8)，其中固體(1)含有或係由碳化矽(SiC)製成；及在固體(1)內部製造修飾(9)，其中將雷射輻射(14)經由平坦表面(8)引入固體(1)中，其中雷射輻射(14)造成多光子激發，其中該多光子激發造成電漿產生，其中該修飾係藉電漿以材料轉變形式進行，其中該材料轉變在固體(1)中產生壓縮應力，其中固體(1)在特定修飾(9)的周圍區域發展次臨界裂縫，其中在距金屬塗層及/或電氣元件(82)小於 150 微米處製造修飾(9)，其中將雷射輻射(14)以脈衝引入固體(1)中，其中該脈衝的脈衝強度在特定脈衝啟動後 10 奈秒內達到最大脈衝強度。(參見第 11 圖)

The present invention relates to a method for producing microcracks (9) in the interior of a composite structure (83). The method preferably comprises at least the steps: providing or producing the composite structure (83), wherein the composite structure (83) has a solid body (1) and at least one metallic coating and/or electrical components (82) situated or provided on one side of the solid body (1), and on the other side forms a flat surface (8), wherein the solid body (1) contains or is made of silicon carbide (SiC), producing modifications (9) in the interior of the solid body (1), wherein laser radiation (14) is introduced into the solid body (1) via the flat surface (8), wherein the laser radiation (14) causes multiphoton excitation, wherein the multiphoton excitation brings about plasma generation, wherein the modification is effected by the plasma in the form of a material transformation, wherein the material transformations generate compressive stresses in the solid body (1), wherein the solid body (1) develops subcritical cracks in a surrounding area of the

particular modification (9), wherein the modifications (9) are produced at a distance of less than 150 μm from the metallic coating and/or the electrical components (82), wherein the laser radiation (14) is introduced into the solid body (1) in pulses, wherein the pulse intensity of a pulse reaches the maximum pulse intensity within 10 ns after the start of the particular pulse. (see Figure 11)

指定代表圖：



第11圖

符號簡單說明：

- 400 . . . 焦點的輻射強度
- 401 . . . 時間
- 402 . . . I_{MP} -發生多光子程序開始的焦點中輻射強度
- 403 . . . 傳輸時期
- 404 . . . I_{BD} -發生電子電漿崩潰的焦點中輻射強度
- 405 . . . 用於電子產生的能量(大部分被傳輸)
- 406 . . . I_{ON} -發生修改開始的焦點中輻射強度
- 408 . . . 脈衝啟動
- 409 . . . 多光子程序開始
- 410 . . . t_{mp} -脈衝啟動之後發生多光子程序開始的時間
- 412 . . . 脈衝啟動 408 之後發生修改開始的時間
- 413 . . . 修改開始
- 414 . . . 修改時期
- 416 . . . 由於吸收 $\text{BD} > \text{ON}$ 而造成電子電漿崩潰 $I_{\text{BD}} < I_{\text{ON}}$
- 418 . . . 修改崩潰
- 420 . . . 脈衝結束

I720378

發明摘要

【發明名稱】(中文/英文)

從由 SiC 及金屬塗層或電氣元件製成的複合結構中分離固體層的方法

METHOD FOR SEPARATING SOLID BODY LAYERS FROM COMPOSITE STRUCTURES MADE OF SiC AND A METALLIC COATING OR ELECTRICAL COMPONENTS

【中文】

本發明關於一種在複合結構(83)內部製造微裂縫(9)的方法。該方法較佳為至少包含下列步驟：
提供或製造複合結構(83)，

其中複合結構(83)具有固體(1)、及位於或提供於固體(1)一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件(82)，且在另一側上形成平坦表面(8)，

其中固體(1)含有或係由碳化矽(SiC)製成；及
在固體(1)內部製造修飾(9)，

其中將雷射輻射(14)經由平坦表面(8)引入固體(1)中，其中雷射輻射(14)造成多光子激發，

其中該多光子激發造成電漿產生，

其中該修飾係藉電漿以材料轉變形式進行，

其中該材料轉變在固體(1)中產生壓縮應力，

其中固體(1)在特定修飾(9)的周圍區

域發展次臨界裂縫，

其中在距金屬塗層及/或電氣元件(82)小於 150 微米處製造修飾(9)，

其中將雷射輻射(14)以脈衝引入固體(1)中，

其中該脈衝的脈衝強度在特定脈衝啟動後 10 奈秒內達到最大脈衝強度。

(參見第 11 圖)

【英文】

The present invention relates to a method for producing microcracks (9) in the interior of a composite structure (83). The method preferably comprises at least the steps:

providing or producing the composite structure (83),

wherein the composite structure (83) has a solid body (1) and at least one metallic coating and/or electrical components (82) situated or provided on one side of the solid body (1), and on the other side forms a flat surface (8),

wherein the solid body (1) contains or is made of silicon carbide (SiC),

producing modifications (9) in the interior of the solid body (1),

wherein laser radiation (14) is introduced into the solid body (1) via the flat surface (8), wherein the

laser radiation (14) causes multiphoton excitation,
wherein the multiphoton excitation brings about
plasma generation,

wherein the modification is effected by the
plasma in the form of a material
transformation,

wherein the material transformations
generate compressive stresses in the solid
body (1),

wherein the solid body (1) develops
subcritical cracks in a surrounding
area of the particular modification (9),

wherein the modifications (9) are produced at a
distance of less than 150 μm from the metallic
coating and/or the electrical components (82),
wherein the laser radiation (14) is introduced
into the solid body (1) in pulses,

wherein the pulse intensity of a pulse reaches
the maximum pulse intensity within 10 ns
after the start of the particular pulse.

(see Figure 11)

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第 11 圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

400	焦點的輻射強度
401	時間
402	I_{MP} -發生多光子程序開始的焦點中輻射強度
403	傳輸時期
404	I_{BD} -發生電子電漿崩潰的焦點中輻射強度
405	用於電子產生的能量(大部分被傳輸)
406	I_{ON} -發生修改開始的焦點中輻射強度
408	脈衝啟動
409	多光子程序開始
410	t_{mp} -脈衝啟動之後發生多光子程序開始的時間
412	脈衝啟動 408 之後發生修改開始的時間
413	修改開始
414	修改時期
416	由於吸收 $BD >$ 吸收 ON 而造成電子電漿崩潰 $I_{BD} < I_{ON}$
418	修改崩潰
420	脈衝結束。

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無。

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

從由 SiC 及金屬塗層或電氣元件製成的複合結構中分離固體層的方法

METHOD FOR SEPARATING SOLID BODY LAYERS FROM
COMPOSITE STRUCTURES MADE OF SiC AND A METALLIC
COATING OR ELECTRICAL COMPONENTS

【技術領域】

【0001】本發明依照請求項 1 及 14 在各情形關於一種在固體內部製造修飾(modification)的方法，及依照請求項 15 關於一種從固體分離至少一固體層的方法。

【先前技術】

【0002】DE 102017206178 A1 號公告揭示一種從具有圓柱形外圍表面(其具有第一定向面、及比第一定向面短且垂直第一定向面的第二定向面)之圓柱形 SiC 單晶塊製造晶圓的晶圓製造方法，其中該圓柱形 SiC 單晶塊具有從垂直第二定向面方向之圓形上表面的垂直軸傾斜的 c 軸，及具有在垂直 c 軸的 c 面與上表面之間形成的偏移角，其中該晶圓製造方法包括：切削進料方向的偵測步驟，其確認是否 c 軸為傾斜方向與第二定向面是否彼此垂直，並偵測切削進料方向是否垂直 c 軸傾斜方向；強度降低區域的形成步驟，其在該圓柱形 SiC 單晶塊與該焦點依切削進料方向(已在偵測步驟中偵測切削進料方

向)的相對移動期間，將雷射光束的焦點對準該圓柱形 SiC 單晶塊的一定深度(從圓形上表面起算)，其中該深度對應欲製造晶圓的厚度；將該圓柱形 SiC 單晶塊以一定波長之雷射光束照射，其傳輸通過 SiC 而形成由平行圓形上表面之修飾層製成的直線強度降低區域、及從該修飾層沿 c 面延伸對應欲製造晶圓的厚度的一定深度之裂縫；在該圓柱形 SiC 單晶塊中形成剝離面的剝離面形成步驟，其將該形成步驟依垂直切削進料方向的方向按預定距離對強度降低區域進行多次；在剝離面形成步驟之後為從該圓柱形 SiC 單晶塊製造晶圓的晶圓製造步驟，其將該圓柱形 SiC 單晶塊從作為邊界面的剝離面剝除一部分；其中切削進料方向的偵測步驟包括：掃描步驟，其進行掃描照射以將雷射光束的焦點對準該圓柱形 SiC 單晶塊的預定深度(從圓形上表面起算)，及在將該圓柱形 SiC 單晶塊與焦點彼此相對移動時，將該圓柱形 SiC 單晶塊以一定波長之雷射光束沿平行第二定向面的方向、及複數個從第二定向面傾斜各按順時鐘及逆時鐘方向之修飾角的方向照射，其傳輸通過 SiC 而在該圓柱形 SiC 單晶塊中形成複數個經掃描的直線強度降低區域、及從該修飾層沿 c 面延伸之裂縫，其中各直線強度降低區域係由平行圓形上表面之修飾層製成；以及測定步驟，其使用成像手段記錄各經掃描的直線強度降低區域之圖像，對每單位長度之各經掃描的直線強度降低區域測量存在於其圖像之一中的之節點數，及測定其中節點測量數為零之經掃描的直線強度降低區域隨切削進料方

向延伸的方向。

【0003】現已認知，脈衝能量在最初雷射損壞期間部分被傳輸到底下材料區域。然而，現有許多情形為這些區域必須不或僅有限暴露於雷射輻射。

【0004】尤其是傳輸的輻射能量會損壞電子元件，主要由於其金屬元件吸收大部分雷射輻射。例如在其中金屬中間層及半導體產生所欲的二極體效應之肖特基(Schottky)二極體中，如此造成損壞其本身的金屬結構及中間層。由於雷射能量而改變中間層造成元件失效。

【0005】當不需要的下部從所謂的裝置晶圓(即具有成品及半成品電子元件結構之晶圓)分離時，發生此問題。一方面，如此節省研磨成本，其由經濟觀點非常適宜，尤其是對於非常堅硬的材料，如 SiC。

【發明內容】

【0006】因此，本發明之目的為提供一種可製造非常薄的複合結構的方法，其從複合結構分開 SiC 固體部分或固體層，尤其是 SiC 層，其中該複合結構具有至少一金屬層及/或電氣元件。

【0007】上述目的係依照本發明之請求項 1，藉一種在複合結構內部製造微裂縫的方法完成。本發明的方法較佳為至少包括下列步驟：提供或製造複合結構，其中該複合結構具有固體、及位於或提供於該固體一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件，且在另一側上形成平坦表面，其中該固體較佳為含有或係由碳化矽(SiC)製成；在該固體內部製造修飾，其中將雷射輻射經由該平坦表

面引入該固體中，其中該雷射輻射造成多光子激發，其中該多光子激發造成電漿產生，其中該修飾係藉電漿以材料轉變形式進行，其中該材料轉變在該固體中產生壓縮應力，其中該固體在特定修飾的周圍區域發展次臨界裂縫。該修飾較佳為在距該金屬塗層及/或電氣元件小於150微米處製造。該雷射輻射較佳為以脈衝引入該固體中，其中該脈衝的脈衝強度在特定脈衝啟動後10奈秒內，尤其是在8奈秒或6奈秒或5奈秒或4奈秒或3奈秒或2奈秒或1.5奈秒或1奈秒內，達到最大脈衝強度。脈衝啟動係定義為超過最大脈衝強度之1%。脈衝結束較佳為定義為下降到小於最大脈衝強度之1%，其條件為在脈衝啟動之後及在下降到小於最大脈衝強度之1%之前，達到最大脈衝強度。脈衝期間因此為脈衝啟動至脈衝結束之間的時間。

【0008】此方法由於快速啟動高強度電漿產生，結果限制或防止雷射輻射被傳輸到金屬層或到電氣元件，而為有利的。如此較少的輻射，因此較小的能量到達金屬層或電氣元件，故避免金屬塗層及/或到電氣元件損壞，甚至為距金屬塗層及/或電氣元件小於150微米處。

【0009】該方法亦由於最先對個別雷射脈衝指定非常精確的能量分布，而為有利的。

【0010】本發明方法之另一優點為，由於基於裂縫分離固體部分，其可一再作為裝置晶圓。如此造成顯著的生產力增益。一方面，其相較於藉由研磨而減小的厚度，造成更少的器具磨損。另一方面，欲分離的固體部分不

被轉化成爲碎片，而是可同樣地作爲固體層或晶圓。

【0011】該金屬層可具有本質上或完整的全表面設計，亦可設計成金屬條狀導體，其厚度爲數微米，尤其是 1 微米至 100 微米、尤其是 1 微米至 10 微米，到數奈米，尤其是 1 奈米至 100 奈米、尤其是 1 奈米至 10 奈米。

【0012】基本上，在本發明之固體雷射處理中將光集中在焦點，如此藉多光子吸收而製造自由電荷載體。其造成代表自由電荷載體之電子被釋放。已存在的自由電荷載體因此吸收更多雷射能量，且將能量傳輸到固體材料，進而同時隨多光子吸收持續而釋放更多電子。如此造成快速增加的電子密度崩瀉，結果點燃電漿，其進而產生高溫而發生 SiC 相轉變成爲非晶成分。SiC 因此被轉化成爲 Si 與 C。關於此點，在電漿點燃之後大幅抑制雷射輻射傳輸爲重要的。其係藉由吸收該電漿中的自由電子及/或藉由以電漿反射及散射該輻射而發生。

【0013】電漿點燃涉及膨脹程序，其中爲了啓動電子崩瀉，必需達到多光子程序的臨界強度，然後在電子崩瀉造成電漿點燃之前必須將大於膨脹能量的能量堆積在焦點。因此，本發明方法的結果爲雷射脈衝具有非常急變的最初邊緣而超過強度底限，及電漿儘可能快地點燃。

【0014】「次臨界」表示在裂縫將該固體分割成至少二部分之前，裂縫傳播中止或停止。次臨界裂縫較佳爲在固體中傳播小於 5 毫米，尤其是小於 1 毫米或小於 500 微米或小於 250 微米或小於 100 微米。該修飾較佳爲以從平坦固體板分離時，例如次臨界裂縫較佳爲大多在同

一平面中，尤其是在平行、或以相對雷射光束穿透到固體中的固體表面為界定方式定向的平面中傳播的方式製造。該修飾較佳為以如下的方式製造：在從不均勻固體分離時，例如次臨界裂縫較佳為以界定方式，例如在球面夾層或層中，以分離區域取為界定(尤其是球面)形狀的方式傳播。

【0015】進一步較佳具體實施例為附屬項之標的、及以下的說明部分。

【0016】依照本發明之一較佳具體實施例，各脈衝將能量 E 引入該固體中，其中電漿產生及/或已製造的微裂縫造成特定脈衝的能量 E 之最大 20%，尤其是最大 15% 或最大 10% 或最大 5% 或最大 1% 或最大 0.5%，被傳輸通過固體直到金屬塗層及/或電氣元件。此具體實施例由於對金屬層或金屬結構或電氣元件限制每次脈衝的能量輸入，如此防止金屬層或金屬結構或電氣元件因雷射輻射傳輸而損壞，而為有利的。該電氣元件可為例如肖特基 (Schottky) 二極體，及該複合結構可具有複數個肖特基二極體或其元件或部分。

【0017】依照本發明之另一較佳具體實施例，各脈衝之電漿在脈衝啟動後的時間 x 內產生。 x 較佳為比脈衝期間 y 短。 x 尤其是小於 10 奈秒，尤其是小於 7.5 奈秒或小於 5 奈秒或小於 3 奈秒或小於 2 奈秒或小於 1 奈秒或小於 0.75 奈秒或小於 0.5 奈秒。另外或任選，其可應用 $x < 0.5 * y$ ，尤其是 $x < 0.2 * y$ 或 $x < 0.1 * y$ 或 $x < 0.05 * y$ 或 $x < 0.01 * y$ 。此具體實施例由於早期電漿產生造成保護金

屬層或金屬結構或電氣元件，而為有利的。

【0018】依照本發明之另一較佳具體實施例，該光束品質(M^2)小於 1.4，尤其是小於 1.3 或小於 1.2 或小於 1.1。此具體實施例由於多光子激發，以及因此電漿產生可以非常精確地控制，而同樣為有利的。

【0019】依照本發明之另一較佳具體實施例，該雷射輻射係以小於 9 奈秒，尤其是小於 8 奈秒或小於 7 奈秒或小於 6 奈秒或小於 5 奈秒或小於 4 奈秒或小於 3 奈秒或小於 2 奈秒或小於 1.8 奈秒或小於 1.6 奈秒或小於 1.4 奈秒或小於 1.1 奈秒或小於 0.9 奈秒或小於 0.75 奈秒或小於 0.6 奈秒或小於 0.5 奈秒或小於 0.4 奈秒的脈衝期間產生。

【0020】依照本發明之另一較佳具體實施例，其將 10-200 奈焦/微米²的表面能量提供 0.9 奈秒至 10 奈秒之間的脈衝期間，或將 0.1-50 奈焦/微米²的表面能量提供 10 皮秒至 1.1 奈秒之間的脈衝期間，或將 0.01-0.1 奈焦/微米²的表面能量提供 100 飛秒至 11 皮秒之間的脈衝期間。

【0021】依照本發明之另一較佳具體實施例，脈衝的輻射強度達到最大之後的最短期間為 10 皮秒，尤其是至少 50 皮秒或至少 100 皮秒或 500 皮秒或 1 奈秒，尤其是用於產生熱程序，及輻射強度超過 50%的最長期間為 25 奈秒，尤其是 15 奈秒或 10 奈秒或 7.5 奈秒或 5 奈秒或 3.5 奈秒或 2.5 奈秒或 2 奈秒。此具體實施例由於對於熱處理(尤其是對於製造該修飾)有充分的時間，而為有利

的。

【0022】依照本發明之另一較佳具體實施例，該雷射輻射係以界定方式偏光，尤其是線性偏光。該雷射輻射的偏光方向較佳為相對該固體的晶軸按界定角度，尤其是 0° 或 90° 的固定角度，或按界定角範圍，尤其是 -20° 至 20° 或 -10° 至 10° 或 -5° 至 5° 或 -1° 至 1° 或 70° 至 110° 或 80° 至 100° 或 85° 至 95° 或 89° 至 91° ，或按角度 $<30^\circ$ 或按角度 $<20^\circ$ 或按角度 $<15^\circ$ 或按角度 $<10^\circ$ 或按角度 $<5^\circ$ 定向。

【0023】在平行主面之雷射偏光期間，對於雷射切削成為 SiC 基板的 C 側，相較於以此組態垂直主面之雷射偏光，其確定需要大約多 50% 的雷射能量以提供相近的損壞樣式。當使用圓偏光時，直接偏光反側的偏光片測得傳輸的雷射功率少 1/3。其表示對於圓偏光，相較於線性理想偏光，利用的雷射能量顯然必須增加至多 50%。然而，此差異可甚至更低，尤其是由於該程序的非線性，及 SiC 中多光子效應對圓偏光的有效橫切面。理想雷射偏光與相對轉動 90° 的雷射偏光的膨脹能量之間之值因此亦可行，因為兩種偏光在轉動雷射偏光過程中均瞬時掃測通過。然而，多光子效應通常對線性偏光具有較佳的有效橫切面，故完美的圓偏光必須消耗甚至更高能量。

【0024】依照本發明之另一較佳具體實施例，該雷射輻射被線性偏光或橢圓偏光或圓偏光。此具體實施例由於該修飾可藉界定的雷射輻射偏光製造，其造成次臨界裂縫之非常短的裂縫傳播，尤其是可能比 100 微米短，而為有利的。

【0025】藉雷射光束在該固體內部製造的修飾的縱向延伸方向係相對在尤其是製造該修飾的平面(產生面)之間的假想或虛擬界面處生成的交叉線、及尤其是在晶格面中生成的假想或虛擬交叉線，按界定角度，尤其是 0° 或 90° 之固定角度，或按界定角範圍，尤其是 -20° 至 20° 或 -10° 至 10° 或 -5° 至 5° 或 -1° 至 1° 或 70° 至 110° 或 80° 至 100° 或 85° 至 95° 或 89° 至 91° 定向。

【0026】平均裂縫長度較佳為在一平面中測定；即在線性形狀的同一平面中、在一側上、或在另一側上，偵測相對線性形狀的縱向延伸方向的正交方向之裂縫傳播，及較佳為解析修飾而評估或測定。

【0027】該固體可含有碳化矽，或者可由碳化矽製成，尤其是摻雜碳化矽。

【0028】依照本發明之另一較佳具體實施例，該雷射輻射係經由至少一光學組件引入該固體中，其中該光學組件，尤其是透鏡，具有大於 0.4，尤其是大於 0.5 或 0.6 或 0.7 或 0.8 或 0.9 之數值孔徑(NA)。另外或任選，在穿透到該固體中之前，該雷射輻射可較佳為經引導通過浸漬流體，尤其是浸漬溶液，其中當使用浸漬流體時，NA 較佳為大於 1，尤其是大於 1.1 或 1.2 或 1.3，且較佳為至多 2。

【0029】依照本發明之另一較佳具體實施例，個別修飾在該固體的縱向方向(Z)具有最大延伸，其中該修飾之最大延伸在各情形較佳為小於 100 微米，尤其是小於 80 微米或小於 70 微米或小於 60 微米或小於 50 微米或小於

40 微米或小於 30 微米或小於 20 微米或小於 15 微米或小於 10 微米或小於 8 微米或小於 6 微米或小於 5 微米或小於 4 微米或小於 3 微米或小於 2 微米或小於 1 微米或小於 0.5 微米。在該固體的延伸方向，該固體的第一表面(雷射光束經其穿透到該固體中)及第二表面(金屬層及/或電氣元件所在或提供處)彼此分開。

【0030】依照本發明之另一較佳具體實施例，其製造複數個修飾而形成一線性形狀或多個線性形狀，尤其是一切割線或多條切割線。次臨界裂縫在正交特定線性形狀的縱向延伸方向具有小於 150 微米，尤其是小於 120 微米或小於 110 微米或小於 90 微米或小於 75 微米或小於 60 微米或小於 50 微米或小於 40 微米或小於 30 微米或小於 25 微米的平均裂縫長度。

【0031】依照本發明之另一較佳具體實施例，在彼此相距由函數 $(d-x)/d < -0.31$ ，尤其是 < -0.4 定義處，其中 $x > d$ ，製造包括於同一線性形狀且連續製造的修飾。此方法由於所述條件 $(d-x)/d < -0.31$ 界定同一線性形狀之連續製造的修飾的焦點間隔彼此夠遠，使得先前產生的材料轉變造成在後續材料轉變中的吸收為些微或無影響，尤其是極小或不增加，而為有利的。其由於因此可非常精確地製造該修飾，結果可較佳地控制次臨界裂縫更強烈地傳播之趨勢，而為有利的。

【0032】依照本發明之另一較佳具體實施例，2 個緊鄰線性形狀之間的距離在各情形均小於 400 微米，尤其是小於 300 微米或小於 250 微米或小於 200 微米或小於

150 微米或小於 100 微米或小於 75 微米或小於 50 微米或小於 40 微米或小於 30 微米或小於 25 微米或小於 20 微米或小於 15 微米或小於 10 微米。

【0033】此具體實施例由於製造裂縫前緣，其對其餘固體的暴露表面、及對分離固體層的暴露表面賦與特徵形狀，而為有利的。此特徵形狀較佳為在固體層側上及/或其餘固體側上形成鋸齒形高地及/或谷。其適用於所有晶面及/或滑動面(即較佳的裂縫面)相對雷射輻射經由其被引入固體中的第一表面為傾斜的之固體。

【0034】依照本發明之另一較佳具體實施例，在該固體相對雷射光學系統的第一相對移動期間對第一部分，及在該固體相對雷射光學系統的第二相對移動期間對第二部分產生在該固體中製造的修飾。第一相對移動較佳為按第一方向的線性移動，及第二相對移動較佳為按第二方向的線性移動，行進路徑較佳為彼此平行。全部行進路徑較佳為形成蜿蜒形狀，或按 X-Y 滑台發生行進移動。

【0035】依照本發明之另一較佳具體實施例，繞射光學組件(DOE)位於在雷射輻射穿透到施體基板中或到固體中上游的雷射輻射路徑中。該雷射輻射被 DOE 分割成多條光路徑而製造多焦點。DOE 製造小於或等於 50 微米，尤其是小於或等於 30 微米或小於或等於 10 微米或小於或等於 5 微米或小於或等於 3 微米，較佳為長 200 微米的像場曲度，其中 DOE 同時產生至少 2，且較佳為至少或正好 3 或至少或正好 4 或至少或正好 5 或至少或

正好或至多 10 或至少或正好或至多 20 或至少或正好或至多 50 或至多 100 個用以改變施體基板的材料性質的焦點。此具體實施例由於該程序可顯著加速而為有利的。

【0036】因此，在本發明之範圍內已認知，高功率位準的繞射光學組件(DOE)在焦點面被分割成多焦點。DOE顯示即使是在焦點面前緣仍有干涉現象，且已認知在焦點面前緣之表面處干涉可產生局部最大強度，其可造成表面損壞及降低雷射輻射對深度切削的傳輸率。另外已認知，某些材料(如 SiC)由於材料摻雜(例如經常發生摻雜斑點)而具有局部折射率差及其他的材料性質(如吸收、傳輸、散射)。此外已認知，依在雷射偶合表面處的材料表面粗度而定，雷射在材料路徑中的波前會顯著受損，故焦點強度降低(多光子轉移機率較低)，其再度涉及上述的較高強度問題。

【0037】將雷射光束以布魯斯特(Brewster)角照射到固體上或其中或施體基板為複雜的且可能艱難，因為各光束分量在高折射率介質中長度不同的路徑上行進。焦點因此必須藉高能量及/或藉光束成形調適。光束成形較佳為例如經由一個或以上的繞射光學組件(DOE)發生，其平衡此雷射光束外形差異。布魯斯特角相當大，其對於大數值孔徑施加光學系統及其尺寸以及作業距離的要求。然而，此方法仍為有利的，因為由於光強度較佳地偶合到材料中，表面反射減少亦促成表面損壞降低。在本發明之涵義內，在本文所揭示的所有其他具體實施例中，雷射光束亦可以布魯斯特角或本質上布魯斯特角照

射。關於布魯斯特角偶合，在此參考文件“Optical Properties of Spin-Coated TiO_2 Antireflection Films on Textured Single-Crystalline Silicon Substrates”(Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Photoenergy, 第 2015 卷，章節 ID 147836，第 8 頁，<http://dx.doi.org/10.1155/2015/147836>)。此文件有關本專利申請案之標的全部納入此處作為參考。引用、納入的文件特別揭示對各種材料之最適照射角、因此及折射率的計算。雷射或雷射處理裝置的能量不太依材料函數，而是依在指定角度之可能傳輸率函數調適。因此，如果最適傳輸率為例如 93%，則針對垂直照射測試必須考量這些損失，且例如損失為 17%，則因而必須調整雷射功率。

【0038】實施例：垂直傳輸率 83% 相對某角度傳輸率 93% 表示為了得到相同的深度能量，僅需要用於垂直照射的雷射功率之 89% ($0.83/0.93=0.89$)。在本發明之涵義內，偏斜照射因此較佳地造成因表面反射的光損失較少，及將較多光引入該深度中。一種在特定組態可能引起的可能次級問題為，深度焦點會取得「歪斜」外形，因此所得強度-多光子切削的關鍵變數-較低，可能甚至低於垂直照射，其中全部光束分量均行進通過材料中的同一光學路徑。其可在補償這些額外路徑及/或對個別光束影響(尤其是光束外形上的不同球面像差)的光束路徑中，因繞射光學組件或藉多個繞射組件、或一連續楔或多個連續楔、及/或其他光學組件而較佳地發生。這些

DOE 可使用合適的軟體解決方法(例如得自德國 Jena 之 Lighttrans 公司的 Virtuallab)完成數值計算，然後結束或提供該材料。

【0039】依照本發明之另一較佳具體實施例設定以下參數：NA>0.6，在 10 奈秒內脈衝強度從 1%增加到最大強度，二線性形狀之間的距離小於 100 微米，光束品質小於 1.4，損壞深度(到金屬層或金屬結構握電氣元件的距離)小於 115 微米，相鄰修飾之間的點對點距離=5 微米，1064 奈米雷射，5 至 20 微焦/脈衝之間的脈衝能量，及 10 至 50 毫歐姆/公分之間的摻雜。其已證明，此 SiC 設定產生非常有利的結果。

【0040】上述目的亦依照本發明之請求項 14，藉一種在複合結構內部製造微裂縫的方法達成。此方法較佳為至少包括下列步驟：提供複合結構，其中該複合結構具有固體、及位於或提供於該固體一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件，且在另一側上形成平坦表面，其中該固體含有或係由碳化矽(SiC)製成；在該固體內部製造修飾，其中將雷射輻射經由該平坦表面引入該固體中，其中該雷射輻射造成多光子激發，其中該多光子激發造成電漿產生，其中該修飾係藉電漿以材料轉變形式進行，其中該材料轉變在該固體中產生壓縮應力，其中該固體在特定修飾的周圍區域發展次臨界裂縫，其中該修飾係在距該金屬塗層及/或電氣元件小於 150 微米處製造，其中該雷射輻射係以脈衝引入該固體中。

【0041】各偶合到固體中的雷射脈衝較佳為將能量 E

引入該固體中，其中電漿產生及/或已製造的微裂縫造成特定脈衝的能量 E 之最大 20%，尤其是最大 15%或最大 10%或最大 5%或最大 1%或最大 0.5%，被傳輸通過固體直到金屬塗層及/或電氣元件。

【0042】另外或任選，本發明亦關於一種在複合結構內部製造微裂縫的方法。此方法較佳為至少包括以下步驟：提供複合結構，其中該複合結構具有固體、及位於或提供於該固體一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件，且在另一側上形成平坦表面。雷射輻射經其穿透到該固體中的平坦表面或表面較佳地被當作第一表面或主表面。相距一段距離且較佳為平行第一表面，及金屬層及/或電氣元件所在或製造處的表面較佳為稱為第二表面。該固體含有或係由碳化矽 (SiC) 製成。在該固體內部製造修飾，其中將雷射輻射經由該平坦表面引入該固體中，其中該雷射輻射造成多光子激發，其中該多光子激發造成電漿產生，其中該修飾係藉電漿以材料轉變形式進行，其中該材料轉變在該固體中產生壓縮應力，其中該固體在特定修飾的周圍區域發展次臨界裂縫，其中該修飾係在距該金屬塗層及/或電氣元件小於 150 微米處製造。

【0043】該雷射輻射較佳為以脈衝引入該固體中。各脈衝之電漿較佳為在脈衝啟動後的時間 x 內產生。 x 較佳為比脈衝期間 y 短。 x 特佳為小於 10 奈秒，尤其是小於 5 奈秒或小於 3 奈秒或小於 2 奈秒或小於 1.5 奈秒或小於 1 奈秒或小於 0.8 奈秒或小於 0.5 奈秒。另外，較佳

為應用 $x < 0.5 * y$ ，尤其是 $x < 0.2 * y$ 或 $x < 0.1 * y$ 或 $x < 0.05 * y$ 或 $x < 0.01 * y$ 。

【0044】本發明進一步關於一種從複合結構分離至少一固體層的方法。該方法較佳為至少包括下列步驟：進行本發明的方法以在複合結構內部製造微裂縫，及將外力引入該複合結構中，尤其是該固體中，在該固體中產生應力，及/或在該固體中產生內力，該外及/或內力強到足以沿分離區域造成裂縫傳播或次臨界裂縫結合。

【0045】本發明進一步關於一種製造至少一固體層，尤其是從固體分離至少一固體層的方法。該方法較佳為至少包括下列步驟：進行在此所述方法，尤其是在複合結構內部製造微裂縫的方法；將外力引入固體中而在該固體中產生應力，及/或在該固體中產生內力，該外及/或內力強到足以沿分離區域造成裂縫傳播或次臨界裂縫結合。

【0046】依照本發明之另一較佳具體實施例，在欲分離的固體層的暴露表面將外力引入接收層，其中該接收層包括聚合物材料，尤其是 PDMS，及尤其是在該固體中產生機械應力，該接收層接受熱效應，其中該熱效應為將該接收層冷卻到低於周溫的溫度，尤其是低於 0°C 的溫度或低於 -10°C 的溫度或 -20°C 至 -200°C 之間的溫度，其中該冷卻以該接收層之聚合物材料進行玻璃轉移的方式發生，及其中應力造成裂縫在該固體中沿分離區域傳播，其將第一固體層從該固體分離，及/或以音波，尤其是超音波，進行將外力引入該固體中，及/或為了引

入外力而使該固體的外圍表面在分離面高度接受熱效應及/或切削，及/或爲了產生內力而在該固體內部製造許多修飾，其造成次臨界裂縫結合成爲單一裂縫而分離該固體層。

【0047】本發明進一步關於一種固體層，尤其是藉在此所述的本發明方法製造。該固體層或晶圓較佳爲含有或係由 SiC 製成。該固體層較佳爲形成表面，其中該表面形成地形，其中該地形爲長鋸齒形或波狀高地，其中該長鋸齒形或波狀高地大多(在各情形均爲其全體)按異於平行晶格面且平行該表面的方向之一個方向或多個方向延伸，尤其是對其傾斜 2° 至 30° 之間，尤其是 3° 至 15° 之間，尤其是 4° 至 9° 之間的角度，其中該鋸齒形或波狀高地的平均高度、或該鋸齒形或波狀高地的最大高度，相對表面的最深位置處小於 100 微米，尤其是小於 75 微米或小於 50 微米或小於 30 微米。該最深位置較佳爲僅考量一位於距該固體層或距該晶圓的邊緣至少 1 毫米或至少 5 毫米或至少 10 毫米的位置。該固體層較佳爲從 SiC 晶塊或 SiC 人造胚晶分離的晶圓、或薄化複合結構，其中該複合結構之 SiC 固體部分已被分開、分割、或分離，或爲從複合結構分離的固體層，其中該複合結構之 SiC 固體部分已被分開、分割、或分離。

【0048】該複合結構具有至少一固體或一施體基板，其中該固體或施體基板含有或係由 SiC 製成。另外，該複合結構具有至少一金屬層及/或電氣元件。

【0049】此方法由於製造其表面結構降低或防止裂縫

傳播不受控制的複合結構及固體層，而為有利的。

【0050】另外或任選，上述目的可藉一種在固體內部製造修飾的方法達成，其較佳為至少包括以下步驟：將雷射的雷射輻射經由該固體的第一表面引入固體內部，其中該固體形成晶體結構且較佳為由 SiC 製成，及該雷射輻射在固體內部的產生面上的預定位置處製造修飾而指定分離面，其中用於各修飾的雷射輻射造成電漿調節以修改該固體，其中在修飾製造時期保持該電漿，其中從雷射脈衝開端到恰在電漿調節之前有該雷射輻射至少部分通過該固體的傳輸時期，其中該電漿調節在電漿調節時期內發生，其中對電漿作用的雷射輻射至少大多且較佳為被該電漿完全吸收及/或反射及/或散射，其中在修飾製造期間，包含修飾製造時期、傳輸時期、及電漿調節時期(尤其是電漿點燃與加熱)的總時間相當於雷射輻射脈衝期間之至少 70%，其中脈衝期間小於 100 奈秒，其中該雷射輻射在焦點產生界定輻射強度而造成界定電子密度，其中在修飾製造時期內的焦點中電子密度超過預先界定的底限值，其中修飾製造時期短於 70 奈秒。修飾製造時期可較佳為短於 4 奈秒，尤其是短於 3 奈秒或 2 奈秒或 1 奈秒。

【0051】本發明之其他優點、目的、及特徵基於以下附圖的說明而解釋，其描述本發明分離方法之實施例。可較佳地用於本發明方法及/或在圖式中至少本質上功能相配的元件或組件可以同一元件符號(reference numeral)表示；然而，這些元件或組件在全部圖式中未

必以號碼表示或經解釋。

【圖式簡單說明】

【0052】 在圖式中，

第 1a 圖係顯示切割線與偏光雷射輻射之間的關係之第一示意圖；

第 1b 圖係顯示切割線與偏光雷射輻射之間的關係之第二示意圖；

第 2a-e 圖係顯示不同偏光之各例示圖；

第 3a 圖係顯示切割線與偏光雷射輻射之間的關係之第三示意圖；

第 3b 圖係顯示切割線與偏光雷射輻射之間的關係之第四示意圖；

第 4a 圖係顯示具有以相對縱軸不等於 90° 之角度定向的晶格面之施體基板，及所製造的雷射切割線；

第 4b 圖係顯示由第 4a 圖得知的固體，其附有金屬層及/或電氣元件；

第 5 圖係顯示另一具有以相對縱軸不等於 90° 之角度定向的晶格面之施體基板，及所製造的雷射切割線，其中雷射切割線或線型形狀的定向係藉平面界定；

第 6 圖係顯示線性形狀的修飾交叉複數個不同的晶格面；

第 7 圖係顯示 4H-SiC 之具有滑動面的晶格之一實例；

第 8a 圖係顯示 Si 之具有滑動面 110 的晶格之一實例；

第 8b 圖係顯示 Si 之具有滑動面 100 的晶格之一實例；

第 8c 圖係顯示 Si 之具有滑動面 111 的晶格之一實例；

第 9a 圖係顯示式 $(d-x)/x$ 的理論關係之示意圖；

第 9b 圖係顯示使用本發明方法分離的固體層的固體表面之典型表面結構；

第 9c 圖係顯示以不同的界定參數製造的切割線之圖；

第 9d 圖係顯示各種鋸齒形線；

第 10a-c 圖係顯示用以改變雷射光束性質之光學裝置；

第 11 圖係示意地顯示雷射脈衝的輻射強度如時間函數之曲線；

第 12 圖係示意地顯示雷射脈衝期間的焦點中電子密度；及

第 13 圖係示意地顯示理想雷射脈衝的輻射強度(尤其是頂蓋外形)如時間函數之曲線。

【實施方式】

【0053】第 1a 圖顯示固體 1 在處理(尤其是在固體 1 內部製造修飾 9)期間之示意圖。修飾 9 代表藉多光子激發製造的固體材料(尤其是 SiC)之相轉變。依照此圖，修飾 9 係以其彼此分開的方式製造。此方法由於因已製造的修飾 9 對雷射光束吸收無或僅有無足輕重的改變或影響，而為有利的。修飾 9 較佳為被製成線性形狀之形式

或切割線 103。切割線 103 較佳為被設計成直線。依照此圖，切割線 103 較佳為平行交叉線 10 而定向。交叉線 10 較佳為由產生面 4 與晶格面 6 之間的界面生成(參見第 4 圖)。依照此圖，亦顯然修飾 9 始終按同一方向定向。結果雷射輻射被以界定方式偏光。因此依照第 1a 圖使用第一偏光，而依照第 1b 圖使用不同的偏光。由不同的偏光亦較佳地生成不同的損壞樣式。

【0054】第 2a 至 2e 圖顯示數個不同地偏光的雷射輻射之實例。第 2a 圖之實例對應得自第 1a 圖之實例，及第 2b 圖之實例對應得自第 1b 圖之實例。

【0055】另外，其必須設定多或全部切割線 103 之偏光，以形成相對切割線 103 的縱向延伸方向之界定角。該角度可較佳為 0° 至 90° 之間，尤其是 5° 至 85° 之間，尤其是 15° 至 75° 之間，尤其是 30° 至 60° 之間，尤其是 40° 至 50° ，或 45° 或本質上 45° 。其示於例如第 2c 至 2e 圖。

【0056】第 2d 圖顯示不同切割線 103 之修飾 9 可被不同地定向。切割線之修飾 9 亦可分部或在點處以界定方式不同地偏光。

【0057】第 2e 圖顯示其中製造超過 2，尤其是 3 或超過 3 種不同偏光的切割線 103 之變式。

【0058】亦可理解，線性形狀之個別或多修飾或大部分修飾的各定向 R 彼此不同。該修飾的各定向 R 可彼此不同，尤其是彎曲或螺旋線性形狀。該修飾的定向 R 因此可連續或分段或分區改變，例如其中一區較佳為由多

個，尤其是 2 至 200 或 2 至 100 或 2 至 50 個修飾製成。

【0059】第 3a 圖顯示切割線可相對交叉線 10 為傾斜的。依偏光相對切割方向的定向而定，如此製造的修飾 9 可具有相對交叉線 10 為傾斜的之定向。第 3b 圖顯示該修飾可以相對交叉線 10 為 90° 定向，而切割線係相對交叉線 10 為傾斜的或在平面中轉動而製造。

【0060】第 4a 圖示意地顯示將雷射的雷射輻射 14(參見第 10c 圖)經由主表面 8 引入固體 1 內部，而改變固體 1 在至少一雷射焦點區域的材料性質，其中該雷射焦點係藉雷射發射的雷射光束形成。該材料性質變化因改變雷射輻射到施體基板 1 中的穿透位置而形成線性形狀 103，其中係在至少一，尤其是同一產生面 4 上產生該材料性質變化。施體基板 1 的晶格面 6 傾斜相對產生面 4 為尤其是 0.1° 至 9° 之間，較佳為 2° 或 4° 或 8° 之角度。線性形狀 103 或切割線相對交叉線 10 為傾斜的，其生成產生面 4 與晶格面 6 之間的界面。改變材料性質的結果為施體基板 1 發展次臨界裂縫形式的裂縫。其未描述將外力引入施體基板 1 中使次臨界裂縫結合而分離固體層 2 的步驟。或者可藉雷射輻射在產生面 4 上改變足夠的材料，使得固體層 2 因次臨界裂縫結合而從施體基板 1 分離。產生面 4 較佳為平行主表面 8。固體或施體基板 1 或複合結構在固體或施體基板 1 或複合結構的另一側上形成第二表面。

【0061】切削係以製造線性形狀 103 或切割線、或按界定空間間隔施加個別的雷射射擊而形成之線之形式發

生。

【0062】尤其是可製造由碳化矽，尤其是晶軸之傾斜角 $>0^\circ$ (產業標準為圍繞主軸方向 4° 或 8°)的具有0001表面且/未摻雜之多型體4H製成的晶圓。由於六方晶體結構的滑動面平行0001面延伸，因為晶圓表面晶格相對其傾斜該傾斜角，故生成0001晶面與晶圓表面的交叉直線。

【0063】因此，該新穎方法的基本理念為，雷射線103的切削方向與這些交叉直線的方向不同。同樣地，切削方向應較佳為不沿晶體的主方向之一、或不沿晶體的較佳滑動面與晶體表面的交叉線延伸。

【0064】另外，製造由例如多型體4H碳化矽製成的晶圓為可行的。多型體4H碳化矽具有六方晶體系統，其具有纖鋅礦結構且0001面中為六方對稱性。因而每 60° 出現一新的主晶軸。當沿0001面切割切削雷射通過而穿透到欲切削材料工件中的表面時，圍繞表面法線轉動再度出現六方對稱性。然後生成相對各主軸轉動 30° ，如此在二主軸之間定向的線切割方向。如此確保所切割線較佳地交叉晶體之單位晶格，及形成包含相當大區域且涉及多單位晶格之裂縫同時發生更為困難。為了簡化後續切削的磊晶步驟，多型體4H碳化矽經常以相對0001面為 4° 傾斜角切割。顯然主晶軸彼此相對的投射仍為實際上 60° ，因此 $30^\circ \pm 3^\circ$ 為依照本發明進行切削之較佳切割角。

【0065】另外，例如其可由立方SiC(所謂的3C)製造

晶圓。立方 SiC 具有立方晶體系統的行爲，因此具有 111 面作為較佳滑動面，而造成較佳線切割方向為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0066】亦可例如以晶軸之傾斜角為 0° ，製造具有 100 表面且 / 未摻雜之矽晶圓。

【0067】具有立方結構(鑽石結構)之矽的較佳滑動面為 111 面，其以相對主晶軸為 45° 角交叉晶圓表面。如此造成相對主晶軸為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 之所欲線切割角，且滑動面與晶圓表面的交叉線以彼此相對 45° 角定向。

【0068】因為亦可以傾斜角切割矽基板，故不同的切削角在此再度較佳。當圍繞主軸以一定角度傾斜時，在基板表面對稱性由於傾斜而從四方瓦解成為二方對稱性。未傾斜的主軸投射長度然後按 $\cos(a)$ 的比例縮放，而造成主軸及滑動面與表面的交叉直線之間的理想角度改變。由於對稱性瓦解而可行的二線切割角度 b 則為 $b1 = \tan^{-1}(\cos a)/2$ 或 $b2 = \tan^{-1}(1/\cos a)/2$ 。

【0069】對於具有六方纖鋅礦結構且 0001 面中為六方晶體對稱性之氮化鎵，生成的主晶軸 60° 角造成較佳線方向相對主軸為 $30^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0070】對於藍寶石，即具有六方剛玉型結構且 0001 面中為六方晶體對稱性之氧化鋁，所謂的 C-面藍寶石之生成主晶軸 60° 角造成較佳線方向相對主軸為 $30^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0071】對於 A-面切割藍寶石， 180° 對稱性的主軸定向為 90° 角，而造成較佳線切割角為 $45^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0072】藍寶石之 C-面基板係以表面顯然為六方對稱性，且該表面與滑動面一致，即較佳為 $30^\circ \pm 3^\circ$ 角的方

式切割。

【0073】對於 M-面切割藍寶石， 180° 對稱性的主軸定向為 90° 角，而造成較佳線切割角為 $45^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0074】R-面藍寶石無轉動對稱性，但是具有相對滑動面之投射直線為 45° 之主軸投射，故切割方向在此亦較佳為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0075】對於具有與六方晶體系統有關的三斜結構之鋇酸鋰，依基板定向而定，其生成相對個別主軸及其在基板表面中的投射為 $10^\circ \pm 3^\circ$ 至 $45^\circ \pm 3^\circ$ 之間的切割方向。

【0076】對於具有閃鋅礦結構且 100 面中為四方晶體對稱性之砷化鎵，其較佳滑動面為 111 面，生成的主晶軸 90° 角造成較佳線方向相對具有 100 表面之基板或施體基板 1 的主軸為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0077】對於具有單斜立方結構且 100 面中為四方晶體對稱性之氧化鎵，其較佳滑動面為 111 面，生成的主晶軸 90° 角造成較佳線方向相對具有 100 表面之基板的主軸為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0078】對於具有鑽石結構且 100 面中為四方晶體對稱性之鍺，其較佳滑動面為 111 面，生成的主晶軸 90° 角造成較佳線方向相對具有 100 表面之基板的主軸為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0079】對於具有閃鋅礦結構且 100 面中為四方晶體對稱性之磷化銦，其較佳滑動面為 111 面，生成的主晶軸 90° 角造成較佳線方向相對具有 100 表面之基板的主軸為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0080】對於具有立方結構且 100 面中為四方晶體對稱性之鉍-鋁石榴石，其較佳滑動面為 111 面，生成的主晶軸 90° 角造成較佳線方向相對具有 100 表面之基板的主軸為 $22.5^\circ \pm 3^\circ$ 。

【0081】第 4b 圖顯示距金屬層及/或電氣元件 82 非常接近，尤其是小於 150 微米而製造修飾 9。該雷射輻射較佳為經由第一表面 8 引入固體 1 中。非常小量的特定雷射脈衝能量到達金屬層或電氣元件為重要的。由於修飾 9 鄰近金屬層 82，故在非常短的時間內選擇經其產生材料轉變所需電漿的雷射參數。該電漿具有部分吸收及部分反射雷射輻射的性質，因而顯著減少被傳輸到金屬層及/或電氣元件 82 的能量之量。其可因此非常接近金屬層及/或電氣元件 82 而製造修飾 9。元件符號 83 表示固體 1 及金屬層及/或電氣元件整體，其稱為複合結構。

【0082】第 5 圖顯示本發明方法從施體基板 1 分離至少一固體層 2 的重要步驟，及切割線 103 的定向或線性形狀的定向之幾何導算。

【0083】依照此圖，本發明方法可另外或任選包括以下步驟：

提供施體基板 1，其中施體基板 1 具有相對平坦主表面 8 為傾斜的之晶格面 6，其中主表面 8 將施體基板 1 限定在施體基板的縱向方向 L 中一側上，其中晶格面法線 60 在第一方向相對主表面法線 80 為傾斜的；提供至少一雷射 29；將該雷射之雷射輻射 14 經由主表面 8 引入固體或施體基板 1 內部，而改變該固體在至少一雷射

焦點區域的材料性質，其中該雷射焦點係藉該雷射發射的雷射光束形成，其中材料性質變化因改變雷射輻射在施體基板 1 中的穿透位置而形成線性形狀，其中該線性形狀至少部分較佳為以直線延伸，及其中平行主表面 8 而製造該線性形狀，尤其是至少以直線延伸的部分，且按相對第一方向傾斜不為 90° 之一定角度的第二方向延伸，其中施體基板 1 由於經改變的材料性質而發展次臨界裂縫形式的裂縫；將外力引入該施體基板中以結合次臨界裂縫，或者藉雷射輻射在產生面上改變足夠的材料，使得該固體層因次臨界裂縫結合而從該施體基板分離，而分離固體層。該主表面較佳為已分離固體層 2 的構件。

【0084】第二方向較佳為相對第一方向傾斜 45° 至 87° 之間的角範圍，尤其是 70° 至 80° 之間的角範圍，且較佳為 76° 。

【0085】第 6 圖顯示線性形狀 103 或切割線相對晶格面末端，或者如第 5 圖所示，相對交叉線 10、或在產生面 4 與晶格面 6 之間的界面處生成的交叉直線為傾斜的。此定向的結果為裂縫生長限於晶格面 6(尤其是滑動面)的方向。因此，在同一晶格面 6 中未製造各切割線之修飾 9。例如在基板縱向方向 L，同一切割線 103 之修飾的前 1-5% 可如此僅為切割一部分晶格面，尤其是同一切割線 103 之修飾的後 1-5% 之小於 75% 或小於 50% 或小於 25% 或小於 10% 或零。此關係尤其是示意為修飾 9a 切割晶格面 6a-6c，及修飾 9b 切割晶格面 6a、6d、與 6e 而

敘述。因此，二修飾 9a 與 9b 切割不同的晶格面，雖然其為同一線性形狀 103 或切割線的分量。此外，顯然例如修飾 9c 與 9d 較佳為切割與修飾 9a 不同，尤其是大多或完全不同的晶格面。

【0086】在主表面 8 上終止之晶格面 6 的末端 7 在顯微切面圖中較佳為形成一型鋸齒樣式。

【0087】個別晶格面 6 較佳為相對縱軸傾斜 0.1° 至 10° 之間，尤其是 2° 至 9° 之間，例如 4° 或 8° 之角度。施體基板 1 的個別晶格面較佳為彼此平行而定向。

【0088】第 7 圖顯示 4H-SiC 之具有滑動面的晶格之一實例；第 8a 圖顯示 Si 之具有滑動面 110 的晶格之一實例；第 8b 圖顯示 Si 之具有滑動面 100 的晶格之一實例；及第 8c 圖顯示 Si 之具有滑動面 111 的晶格之一實例。

【0089】晶格面 6 較佳為指定型式的滑動面。如果晶體結構為面心立方，則滑動面較佳為 {111} 面且滑動方向為 $\langle 110 \rangle$ 方向。如果晶體結構為體心立方，則滑動面較佳為 {110} 面且滑動方向為 $\langle 111 \rangle$ 方向，或者滑動面較佳為 {112} 面且滑動方向為 $\langle 111 \rangle$ 方向，或者滑動面較佳為 {123} 面且滑動方向為 $\langle 111 \rangle$ 方向。如果晶體結構為六方，則滑動面較佳為 {0001} 面且滑動方向為 $\langle 1120 \rangle$ 方向，或者滑動面較佳為 {1010} 面且滑動方向為 $\langle 1120 \rangle$ 方向，或者滑動面較佳為 {1011} 面且滑動方向為 $\langle 1120 \rangle$ 方向。

【0090】第 9a 圖顯示條件 $(d-x)/d < y$ 的理論基礎，其

中 y 較佳為 -0.31 或小於 0.31 或小於 0.35 或小於 0.4 。另外，較佳為應用式「 $d=1.22*\lambda/NA$ -繞射極限焦點大小」。 x 較佳為在線性形狀上連續製造的點間距離、或 2 個焦點中心之間的距離。另外， $x>d$ 。依照本發明，較佳為使用大於 0.5 或大於 0.6 或大於 0.65 或大於 0.7 或大於 0.75 或大於 0.8 或大於 0.85 之數值孔徑。

【0091】第 9b 圖顯示在分離步驟中暴露的固體層表面 200，其係從固體分離。表面 200 具有長形鋸齒形高地的地形。該長形鋸齒形高地大多(且在各情形均為其全體)按異於平行晶格面且平行該表面的一個方向 204 或多個方向 204 延伸，尤其是對其傾斜 2° 至 30° 之間，尤其是 3° 至 15° 之間，尤其是 4° 至 9° 之間的角度。該鋸齒形高地的平均高度、或該鋸齒形高地的最大高度，尤其是相對表面的最深位置處，較佳為小於 100 微米，尤其是小於 75 微米或小於 50 微米或小於 30 微米。

【0092】因為用以在相對主平面不為零之切割線角度製造均勻裂縫樣式或光學密度(即相轉變/雷射修飾)的雷射能量底限為行進方向的函數，故對特定切削方向調適雷射能量可為有利的。其示於第 9c 圖，其中為了切削而進行蜿蜒行進，且每隔一條線 210(切削方向 1)具有異於各相鄰線 212(切削方向 2)的修飾強度。因而將較微弱的線以對應較高雷射能量調適，而提供儘可能均勻的損壞樣式，如此在各線橫切得到相等的裂縫形成可能性。

【0093】第 9d 圖顯示 4 條不同的鋸齒形線(1)-(4)。這些線示意地指定高地 202 或凹處可具有的[形狀]實例。

高地 202 或凹處可一段一段均勻或大約均勻地重複。均勻重複之鋸齒樣式由樣式(1)及(2)顯示。高地及凹處較佳為始終具有按第一方向延伸的第一分量，及按第二方向延伸的第二分量。這些分量較佳為沿方向 204，尤其是沿切割方向或沿製造線性形狀修飾的方向重複。然而，相較於平均長度，第一分量亦可為「各鋸齒」或「個別鋸齒」延伸較長或較短的距離。然而，相較於平均長度，第二分量另外或任選可為「各鋸齒」或「個別鋸齒」延伸較長或較短的距離。第一方向可較佳為各鋸齒改變 0° 至 45° 之間的角範圍，尤其是 0° 至 20° 之間或 0° 至 5° 之間的角範圍。另外或任選，第二方向可較佳為各鋸齒改變 0° 至 45° 之間，尤其是 0° 至 20° 之間或 0° 至 5° 之間的角範圍。實例(3)及(4)顯示長度分量及角度變動的裂縫樣式。

【0094】第 10a 圖顯示入射光錐 5700，經其在固體 1 中製造焦點 5700(sic; 5701)。該圖顯示以具有高斯光束外形之雷射照射的透鏡焦點圖像。

【0095】第 10b 圖示意地表示以具有非高斯光束外形之雷射照射的透鏡焦點圖像 5702，例如在光束已經 SLM 修改之後。空間光調變器(SLM)為光之空間調變器，因此為可經其對光施加空間調變之裝置。相較於高斯光束外形，焦點之 Z 延伸大為減小或可減小。

【0096】第 10c 圖示意地表示具有非高斯光束外形之雷射照射的透鏡焦點圖像 5703，例如在光束已經繞射光學組件(DOE)修改之後。光束較佳為被 DOE 分開形成多

焦點。較佳為使用 DOE 將雷射光束繞射而改變焦點之空間成像。

【0097】繞射光學組件(DOE)藉雷射輻射繞射作用。其用於雷射波長規模的結構。藉由對繞射結構進行光繞射之數值模擬而計算組件，然後可以大量製造。其通常在緊接組件下游、或在聚焦組件的焦點下游改變雷射光束外形中的光空間分布。其表示例如可將光束分開成為多光束，可將(一般出現的)高斯光束強度外形轉化成為某種其他形式，或者將焦點之雷射輻射強度分布以習知透鏡無法達成的方式修改，例如故意引入或抑制所欲的雷射相互作用所需的第二最大值。

【0098】相反地，空間光調變器(SLM)為對光施加空間調變之裝置。

【0099】SLM 一般調變光束強度；然而，其亦可調變相，或同時調變相及強度。

【0100】對於 DOE，空間調變係由組件中的結構實行，而對於 SLM，其係由 SLM 上的個別像素實行。尤其是在將經強度及相調變光束成像或聚焦之後，可如此得到可設計的焦點中強度分布。DOE 係如此對雷射光束靜態及再現地作用，但例如使用 SLM，則可動態切換用於雷射切削裝置之光束數量或亦及雷射光束外形。另外，例如依照來自同時監測程序進度的反饋，在程序過程中進行動態調適為可行的。

【0101】依照本發明，在此提議的方法包括在雷射光束穿透到固體中之前改變光束性質的步驟，其中光束性

質為焦點中強度分布，其中光束性質之變化或調適均藉至少一個或正好一個空間光調變器及/或藉至少一個或正好一個 DOE 發生，其中該空間光調變器及/或 DOE 位於雷射輻射的光束路徑中，在固體與輻射來源之間。

【0102】至於 DOE 及空間光調變器的操作原理解釋，請參考以下刊物：Flexible beam shaping system for the next generation of process development in laser micromachining, LANE 2016, 9th International Conference on Photonic Technologies, LANE 2016, Tobias Klerks, Stephan Eifel。

【0103】異於常態高斯形狀之雷射光束強度外形稱為非高斯光束外形，且可用以得到一些其他的切削結果。因此，例如其可理解在垂直光束傳播方向的維度延伸與第二維度極為不同的線焦點。如此可在切削步驟中以雷射光束掃測相當大的工件面積。「高帽」外形亦為已知的，其在光束中心具有固定強度，而提供在切削中無焦點中強度不同的區域，或至少僅有高於雷射切削底限之強度相同區域的優點。其可用以例如將分離後的研磨損失最小化。

【0104】本發明因此較佳為關於一種在固體 1 內部製造修飾 9 的方法。該方法較佳為包括將雷射 29 之雷射輻射 14 經由固體 1 的第一表面 8 引入固體 1 內部的步驟。雷射輻射 14 經其穿透到固體 1 的表面 8 較佳為欲分離固體層的構件。欲分離的固體層較佳為比剩餘固體部分薄。

【0105】固體 1 較佳為形成晶體結構，且由於雷射輻

射 14 而在固體 1 內部的產生面 4 上的預定位置處製造修飾 9。該產生面較佳為平行第一表面 8。修飾 9 較佳為位於距第一表面 8 比第二表面近，第二表面較佳為平行第一表面 8 而提供。修飾 9 製造多個線性形狀 103，尤其是虛線或實心切割線，其中固體 1 在特定修飾 9 的區域中發展次臨界裂縫，其中正交特定線性形狀的縱向延伸方向之次臨界裂縫具有小於 150 微米，尤其是小於 120 微米、或小於 110 微米、或小於 90 微米、或小於 75 微米、或小於 60 微米的裂縫長度或平均裂縫長度。

【0106】應了解，在修飾 9 的「區域中」表示固體 1 在經修改或材料轉變部分，及在固體鄰接部分形成裂縫。然而，其亦可為不在經修改區域，而是在固體縱向方向的修飾上下形成裂縫。如果固體在修飾上下發展裂縫，則裂縫(尤其是次臨界裂縫)距產生面較佳為小於 20 微米，尤其是小於 15 微米或小於 10 微米或小於 5 微米或小於 4 微米或小於 3 微米或小於 2 微米或小於 1 微米。

【0107】包括於同一線性形狀 103 且連續製造的修飾 9 較佳為在彼此相距由函數 $(d-x)/d < -0.31$ ，尤其是 < -0.4 定義處製造。

【0108】另外或任選，雷射輻射可以界定方式偏光。雷射輻射 14 的偏光方向較佳為相對固體 1 的晶軸按界定角度或以界定角範圍定向，或者藉雷射光束 14 在固體 1 內部製造的修飾 9 的縱向延伸方向 R 係按相對在產生面 4 與晶格面之間的界面處生成的交叉線 10 之界定角度或以界定角範圍定向。

【0109】第 11 圖顯示在焦點 400 中的輻射強度分布如時間 401 函數。

【0110】元件符號 402 表示 I_{MP} ，即發生多光子程序開始的焦點中輻射強度。多光子程序開始係以元件符號 409 表示。元件符號 410 表示 t_{mp} ，即脈衝啟動 408 之後發生多光子程序開始的時間。應了解，傳輸時期 403 表示從脈衝啟動 408 起到製造修飾的時間。傳輸時期 403 可包含電漿調節時期。

【0111】元件符號 404 表示 I_{BD} ，即發生電子電漿崩潰的焦點中雷射強度。即從此刻起引發電子電漿。元件符號 405 表示用於電子產生的能量，其大部分被傳輸。其在本發明之涵義內表示此時間縮短。元件符號 406 表示 I_{ON} ，即發生修改開始 413 的焦點中輻射強度。即從此刻起發生材料轉變或相轉變。類似地，元件符號 412 表示脈衝啟動 408 之後發生修改開始的時間。元件符號 411 表示修改時期，即發生材料轉變的時期。

【0112】元件符號 416 表示由於吸收 $BD >$ 吸收 ON 而造成電子電漿崩潰 $I_{BD} < I_{ON}$ 。電子電漿崩潰造成緊接的修改崩潰 418。元件符號 420 表示雷射脈衝之脈衝結束。

【0113】如此生成本發明的方法。本發明的方法較佳為用以在固體 1 內部製造修飾 9，且較佳為至少包括以下步驟：將雷射 29 之雷射輻射 14 經由固體 1 的第一表面 8 引入固體 1 內部，其中固體 1 形成晶體結構，及其中雷射輻射 14 在固體 1 內部的產生面 4 上的預定位置處製造修飾 9 而指定分離面，其中用於各修飾的雷射輻射

造成電漿調節以修改該固體，其中在修飾製造時期 414 保持該電漿，其中從雷射脈衝開端起到恰在電漿調節之前有該雷射輻射至少部分通過該固體的傳輸時期 403，其中該電漿調節在電漿調節時期 412 內發生，其中對電漿作用的雷射輻射至少大多且較佳為被該電漿完全吸收及/或反射及/或散射，其中在修飾製造期間，包含修飾製造時期 414、傳輸時期 403、及電漿調節時期(尤其是電漿點燃與加熱)的總時間相當於雷射輻射脈衝期間之至少 70%，其中脈衝期間小於 100 奈秒，尤其是小於 10 奈秒或小於 5 奈秒或小於 3 奈秒或小於 2 奈秒或小於 1 奈秒。該雷射輻射在焦點產生界定輻射強度而造成界定電子密度，其中在修飾製造時期內的焦點中電子密度超過預先界定的底限值，其中傳輸時期短於 70 奈秒。傳輸時期可較佳為短於 2 奈秒，尤其是短於 1 奈秒或 0.75 奈秒或 0.5 奈秒。

【0114】第 12 圖顯示電子密度 450 如時間 401 函數之曲線。元件符號 451 表示電漿開始點，即形成電漿且吸收、反射、及散射雷射輻射的時刻，即電漿啟動而降低或防止雷射光束被傳輸到金屬層或金屬結構或電氣元件的時刻。此元件符號表示最大電子密度。電子電漿較佳為隨雷射輻射振盪。

【0115】在有吸收核的情況，電子密度在脈衝啟動後較急劇增加，結果傳輸時期 403 變短。在此情形，元件符號 453 表示已存在的非晶晶體區域進行線性吸收。

【0116】因此，一種在固體 1 內部製造修飾 9 的進一

步方法亦為可行的。此進一步方法較佳為包括將雷射 29 之雷射輻射 14 經由固體 1 的第一表面 8 引入固體 1 內部的步驟。固體 1 較佳為形成晶體結構。雷射輻射 14 在固體 1 內部的產生面 4 上的預定位置處製造修飾 9。第二表面 81 較佳為平行第一表面 8 而提供。較佳為由修飾 9 製造多個線性形狀 103，尤其是切割線。固體 1 較佳為在特定修飾 9 的區域中發展次臨界裂縫，其中正交特定線性形狀的縱向延伸方向之次臨界裂縫具有小於 150 微米，尤其是小於 120 微米或小於 110 微米或小於 90 微米或小於 75 微米或小於 60 微米的平均裂縫長度。雷射輻射較佳為以界定方式偏光，尤其是線性偏光，其中雷射輻射 14 的偏光方向特佳為相對固體 1 的晶軸按界定角度或以界定角範圍定向。另外或任選，藉雷射光束 14 在固體 1 內部製造的修飾 9 的縱向延伸方向 R 係按相對在產生面 4 與晶格面 6 之間的界面處生成的交叉線 10 之界定角度或以界定角範圍定向。

【0117】用於各修飾的雷射輻射較佳為造成電漿調節以修改該固體。較佳為在修飾製造時期 414 保持該電漿，其中從雷射脈衝開端起到恰在電漿調節之前有該雷射輻射至少部分通過該固體的傳輸時期 403，其中該電漿調節在電漿調節時期內發生，其中對電漿作用的雷射輻射至少大多且較佳為被該電漿完全吸收及/或反射及/或散射。電漿調節時期的長度較佳為在傳輸時期到修改時期之間，且可為非常小，尤其是短於 1 奈秒或短於 0.1 奈秒或短於 0.01 奈秒。包含修飾製造時期 414、傳輸時

期 403、及電漿調節時期(未描述)(尤其是電漿點燃與加熱)的總時間較佳為小於 10 奈秒，尤其是小於 4 奈秒。該雷射輻射因此較佳為在焦點產生界定輻射強度而造成界定電子密度，其中焦點中電子密度大到足以使傳輸時期特佳地比修飾製造時期短。因此，在修飾製造時期期間，電漿發生相轉變，尤其是由於熱效應，尤其是將該固體加熱到相轉變溫度之值或以上。

【0118】其較佳為非常精確地設定雷射脈衝邊緣，即雷射脈衝增加到其最大值或從最大值下降到低於限度值之時序範圍，以及以個別雷射脈衝曲線設定個別雷射強度分布。對於光譜擴大脈衝，例如由於所謂的「線性變頻(chirp)」而可得到偏離高斯外形的不對稱強度分布，其為即時補償之個別雷射輻射頻率的陣列。

【0119】第 13 圖顯示此替代性焦點 400 中輻射強度曲線如時間 401 函數，即具有有利性質之理想脈衝形狀。由於輻射強度急劇增加，傳輸時期 403 非常短，結果相當少的輻射可被傳輸到金屬層或金屬結構或電氣元件。由於修改時期的長度，其較佳為同樣非常精確地設定，而可非常精確地控制修飾設計。

【0120】本發明因此關於一種在複合結構 83 內部製造微裂縫 9 的方法。本發明的方法較佳為至少包括下列步驟：提供或製造複合結構 83，其中複合結構 83 具有固體 1、及位於或提供於固體 1 一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件 82，且在另一側上形成平坦表面 8，其中固體 1 含有或係由碳化矽(SiC)製成；在固體 1 內部製

造修飾 9，其中將雷射輻射 14 經由平坦表面 8 引入固體 1 中，其中雷射輻射 14 造成多光子激發，其中該多光子激發造成電漿產生，其中該修改係藉電漿以材料轉變形式進行，其中該材料轉變在固體 1 中產生壓縮應力，其中固體 1 在特定修飾 9 的周圍區域發展次臨界裂縫，其中修飾 9 係在距金屬塗層及 / 或電氣元件 82 小於 150 微米處製造，其中雷射輻射 14 係以脈衝引入固體 1 中。脈衝的脈衝強度較佳為在特定脈衝啟動後 10 奈秒內達到最大脈衝強度。

【符號說明】

【0121】

1	固體 / 施體基板
2	固體層
4	產生面
5	製造修飾的位置
6	晶格面
6 a / b / c	晶格面
7	晶格面末端
8	主表面 / 第一表面
9	修飾
9 a / b	修飾
10	交叉線
12	次臨界裂縫
11	平面
13	機械應力

14	雷射輻射
29	雷射
30	重新定位裝置
32	雷射輻射
45	轉動裝置
49	中心
50	轉動中心
51	連接段
52	方向
60	晶格面法線
80	主表面法線
81	第二表面
82	金屬層或電氣元件
83	複合結構
90	法面
92	正交法面的平面
94	晶格面末端的延伸方向
103	雷射線/切割線/線性形狀
200	因分離而暴露的固體層表面
202	鋸齒形高地
204	鋸齒形高地的延伸方向
210	第一方向
212	第二方向(與第一方向 210 相反)
400	焦點的輻射強度
401	時間

402	I_{MP} -發生多光子程序開始的焦點中輻射強度
403	傳輸時期
404	I_{BD} -發生電子電漿崩潰的焦點中輻射強度
405	用於電子產生的能量(大部分被傳輸)
406	I_{ON} -發生修改開始的焦點中輻射強度
408	脈衝啓動
409	多光子程序開始
410	t_{mp} -脈衝啓動之後發生多光子程序開始的時間
412	脈衝啓動 408 之後發生修改開始的時間
413	修改開始
414	修改時期
416	由於吸收 $BD >$ 吸收 ON 而造成電子電漿崩潰 $I_{BD} < I_{ON}$
418	修改崩潰
420	脈衝結束
450	焦點中電子密度
451	電漿開始(突崩潰；相當於最大電子密度之半)
452	電子電漿隨雷射輻射振盪
453	已存在的非晶晶體區域進行
5700	光錐

5702	焦點圖像
5703	焦點圖像
R	修飾的縱向延伸方向

申請專利範圍

1. 一種在複合結構(83)內部製造微裂縫(9)的方法，其至少包含下列步驟：

提供或製造複合結構(83)，

其中複合結構(83)具有固體(1)、及位於或提供於固體(1)一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件(82)，且在另一側上形成平坦表面(8)，

其中固體(1)含有或係由碳化矽(SiC)製成；及在固體(1)內部製造修飾(9)，

其中將雷射輻射(14)經由平坦表面(8)引入固體(1)中，其中雷射輻射(14)造成多光子激發，

其中該多光子激發造成電漿產生，

其中該修改係藉電漿以材料轉變形式進行，

其中該材料轉變在固體(1)中產生壓縮應力，

其中固體(1)在特定修飾(9)的周圍區域發展次臨界裂縫，

其中在距金屬塗層及/或電氣元件(82)小於150微米處製造修飾(9)，

其中將雷射輻射(14)以脈衝引入固體(1)中，

其中該脈衝的脈衝強度在特定脈衝啟動後10奈秒內達到最大脈衝強度。

2. 如請求項1的方法，

其中

各脈衝將能量 E 引入固體 (1) 中，其中電漿產生及 / 或已製造的微裂縫造成特定脈衝的能量 E 之最大 20% 被傳輸通過固體直到該金屬塗層及 / 或電氣元件。

3. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

各脈衝之電漿在脈衝啟動後的時間 x 內產生，

其中 x 比脈衝期間 y 短，及 x 小於 10 奈秒或 $x < 0.5 * y$ 。

4. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

該光束品質 (M^2) 小於 1.4。

5. 如請求項 3 的方法，

其中

雷射輻射 (14) 係以小於 9 奈秒的脈衝期間產生。

6. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

脈衝的輻射強度達到最大之後的最短期間為 10 皮秒以用於產生熱程序，及輻射強度超過 50% 的最長期間為 25 奈秒。

7. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

雷射輻射 (14) 係線性偏光，其中該雷射輻射的偏光方向係相對該固體的晶軸按 0° 或 90° 的固定角度，或按界定角範圍是 -20° 至 20° 或 -10° 至 10° 或 -5° 至 5° 或 -1° 至 1° 或 70° 至 110° 或 80° 至 100° 或 85° 至 95° 或 89° 至 91° ，或按角度 $< 30^\circ$ 或按角度 $< 20^\circ$ 或按角度 $< 15^\circ$ 或按角

度 $<10^\circ$ 或按角度 $<5^\circ$ 定向。

8. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

藉雷射輻射(14)在固體(1)內部製造的修飾(9)的縱向延伸方向(R)係相對在製造該修飾的平面(產生面)之間的假想或虛擬界面處生成的交叉線(10)、及在晶格面(6)中生成的假想或虛擬交叉線(10)，按 0° 或 90° 之固定角度，或按界定角範圍是 -20° 至 20° 或 -10° 至 10° 或 -5° 至 5° 或 -1° 至 1° 或 70° 至 110° 或 80° 至 100° 或 85° 至 95° 或 89° 至 91° 定向。

9. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

雷射輻射(14)經由至少一光學組件引入固體(1)中，其中該光學組件為透鏡，具有大於 0.4 之數值孔徑，其中在穿透到固體(1)中之前，雷射輻射(14)為經引導通過浸漬流體，其中當使用浸漬流體時，NA 為大於 1 且為至多 2。

10. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

個別修飾(9)在該固體的縱向方向(Z)具有最大延伸，其中修飾(9)之最大延伸在各情形為小於 100 微米。

11. 如請求項 1 或 2 的方法，

其中

其製造複數個修飾(9)以形成一線性形狀(103)或多個線性形狀(103)，

其中該次臨界裂縫在正交特定線性形狀(103)的縱向延伸方向具有小於 150 微米的平均裂縫長度。

12.如請求項 1 或 2 的方法，

其中

2 個緊鄰線性形狀(103)之間的距離在各情形均小於 400 微米。

13.如請求項 1 或 2 的方法，

其中

將繞射光學組件(DOE)置於在雷射輻射(14)穿透到固體(1)中上游的雷射輻射(14)路徑中，雷射輻射(14)被 DOE 分割成多條光路徑而製造多焦點，

其中 DOE 製造小於或等於 50 微米或為長 200 微米的像場曲度，其中 DOE 同時產生至少 2 個用以改變固體(1)的材料性質的焦點。

14.一種在複合結構(83)內部製造微裂縫的方法，其至少包含下列步驟：

提供複合結構(83)，

其中複合結構(83)具有固體(1)、及位於或提供於固體(1)一側上的至少一金屬塗層及/或電氣元件(82)，且在另一側上形成平坦表面，

其中固體(1)含有或係由碳化矽(SiC)製成；及在固體(1)內部製造修飾(9)，

其中將雷射輻射(14)經由該平坦表面引入固體(1)中，其中雷射輻射(14)造成多光子激發，

其中該多光子激發造成電漿產生，

其中修改(9)係藉電漿以材料轉變形式進行，

其中該材料轉變在固體(1)中產生壓縮應力，

其中固體(1)在特定修飾(9)的周圍區域發展次臨界裂縫，

其中修飾(9)係在距該金屬塗層及/或電氣元件(82)小於 150 微米處製造，

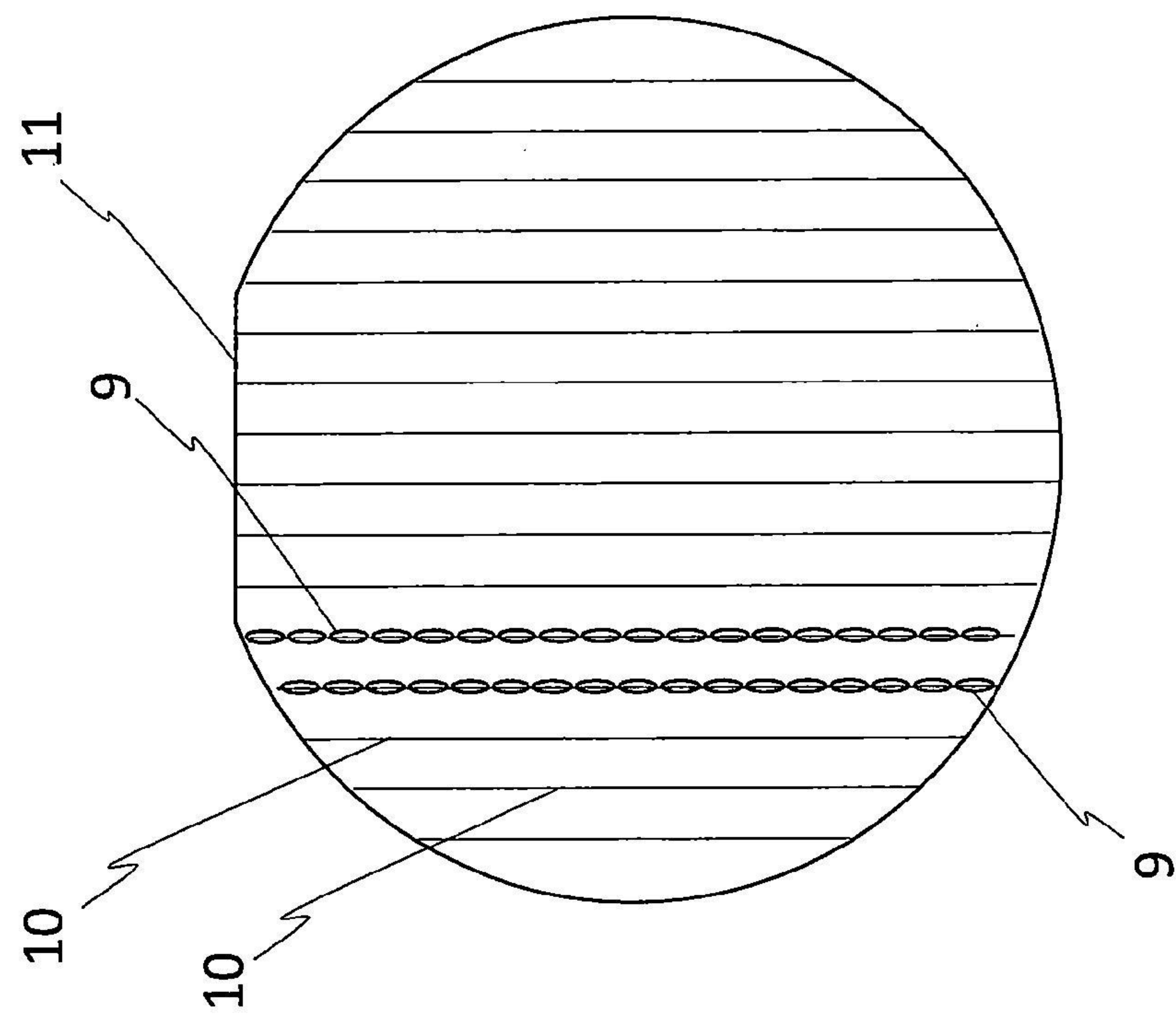
其中雷射輻射(14)係以脈衝引入固體(1)中，其中各脈衝將能量 E 引入固體(1)中，其中電漿產生及/或已製造的微裂縫造成特定脈衝的能量 E 之最大 20%，被傳輸通過固體(1)直到金屬塗層及/或電氣元件(82)。

15.一種從複合結構(83)分離至少一固體層(2)的方法，其至少包含下列步驟：

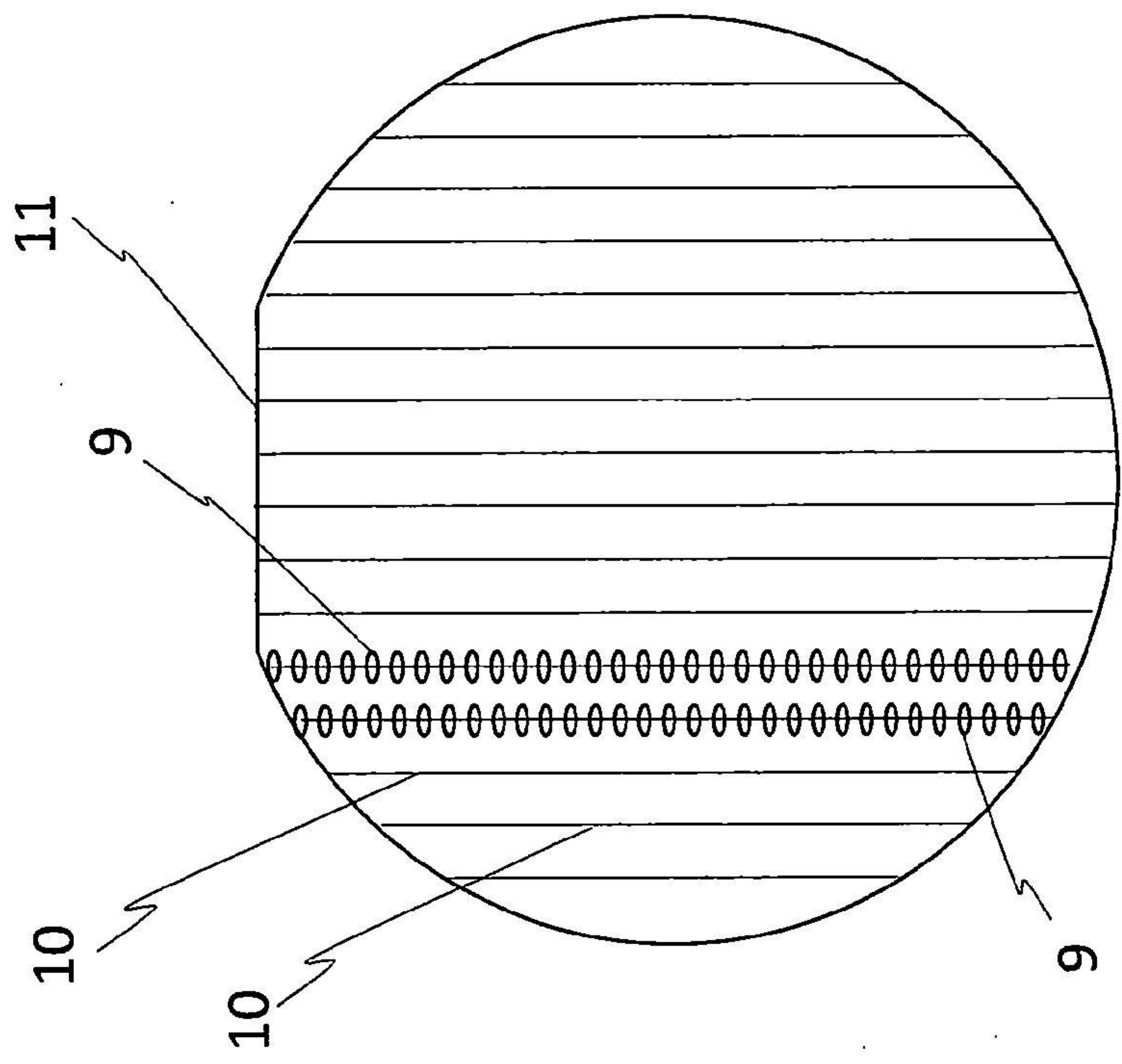
進行如請求項 1 至 14 中任一項的方法，

將外力引入該複合結構中，尤其是固體(1)中，以在固體(1)中產生應力，及/或在固體(1)中產生內力，該外及/或內力強到足以沿分離區域(8)造成裂縫傳播或次臨界裂縫結合。

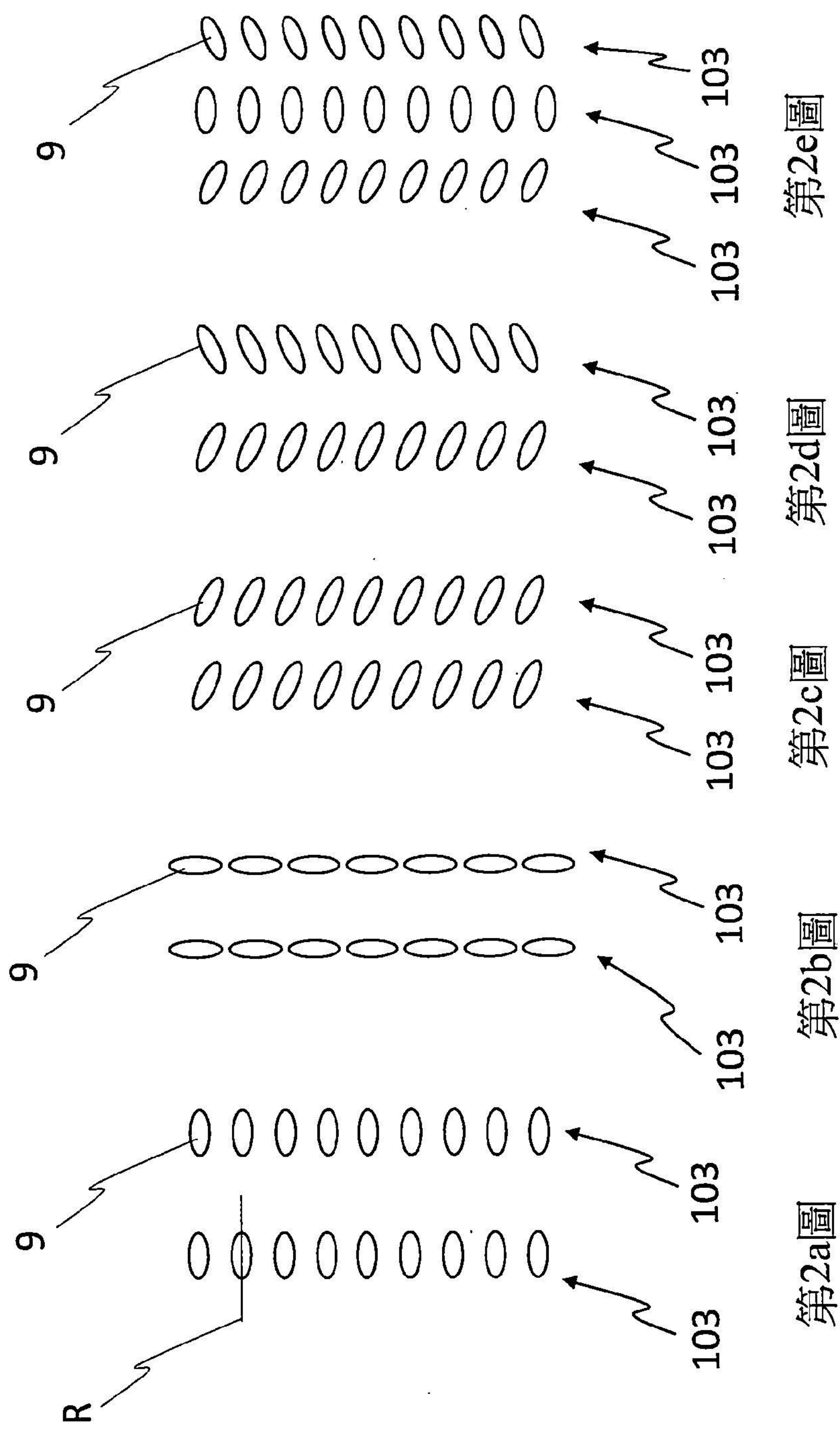
圖式

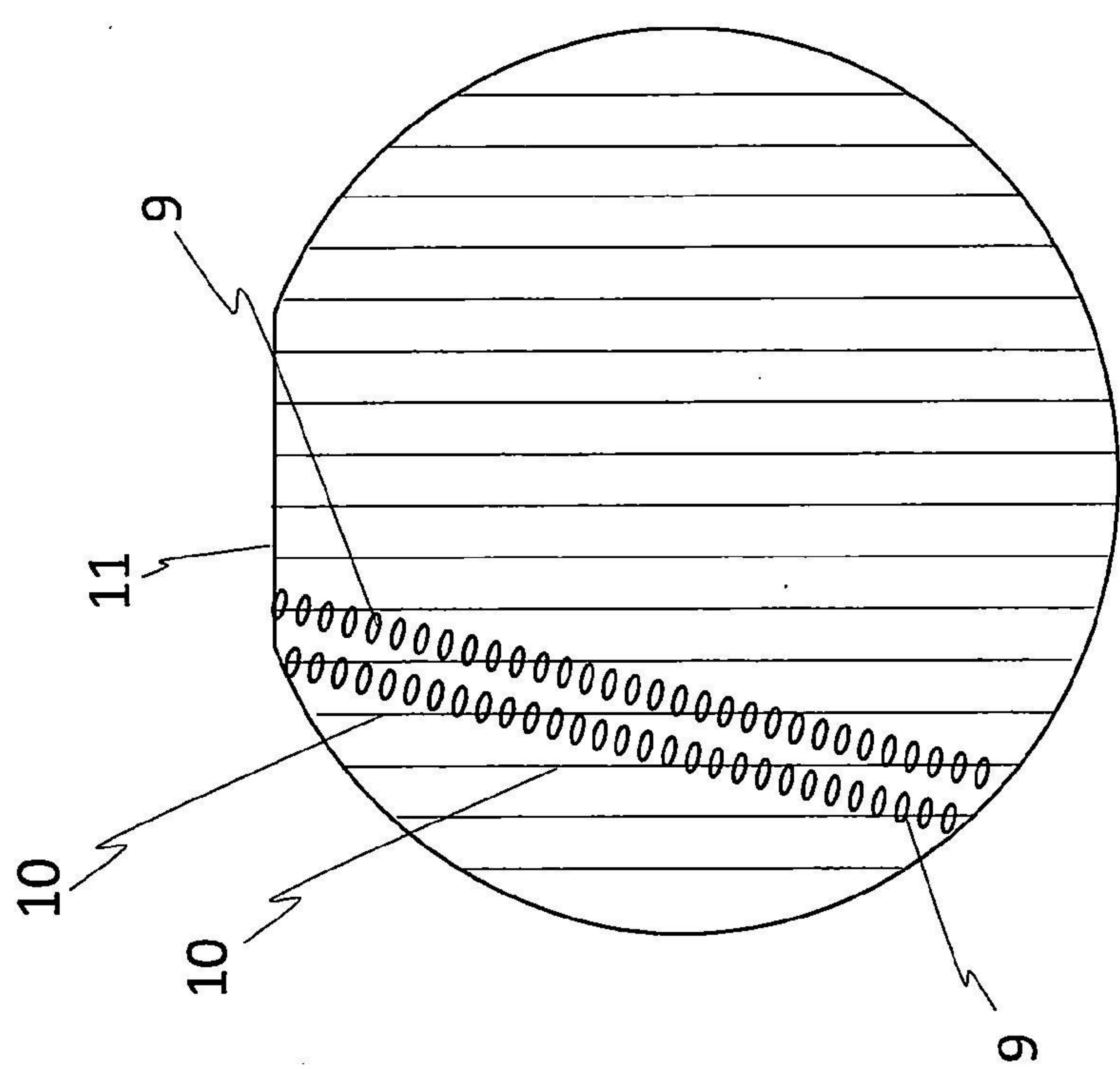


第1b圖

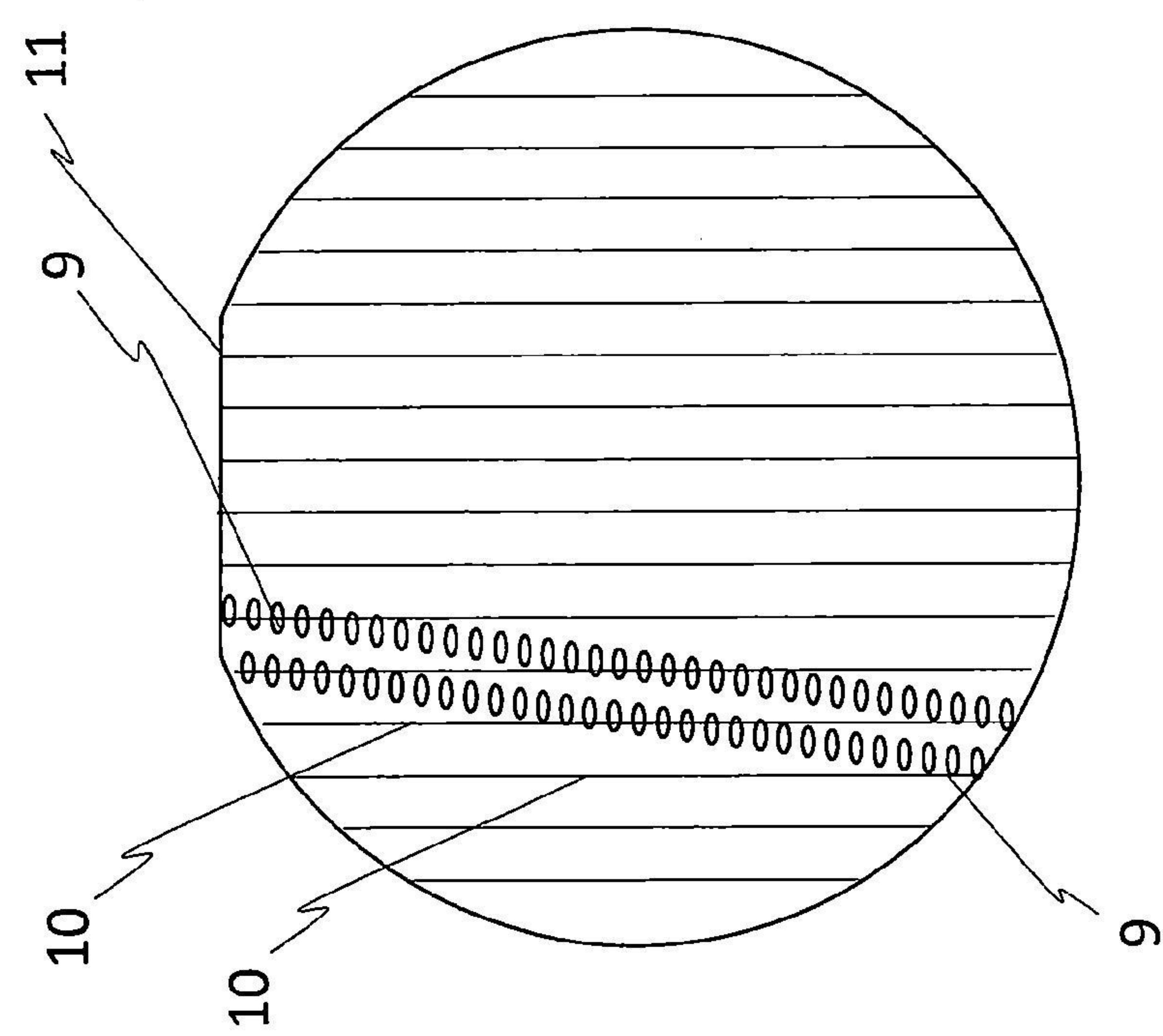


第1a圖

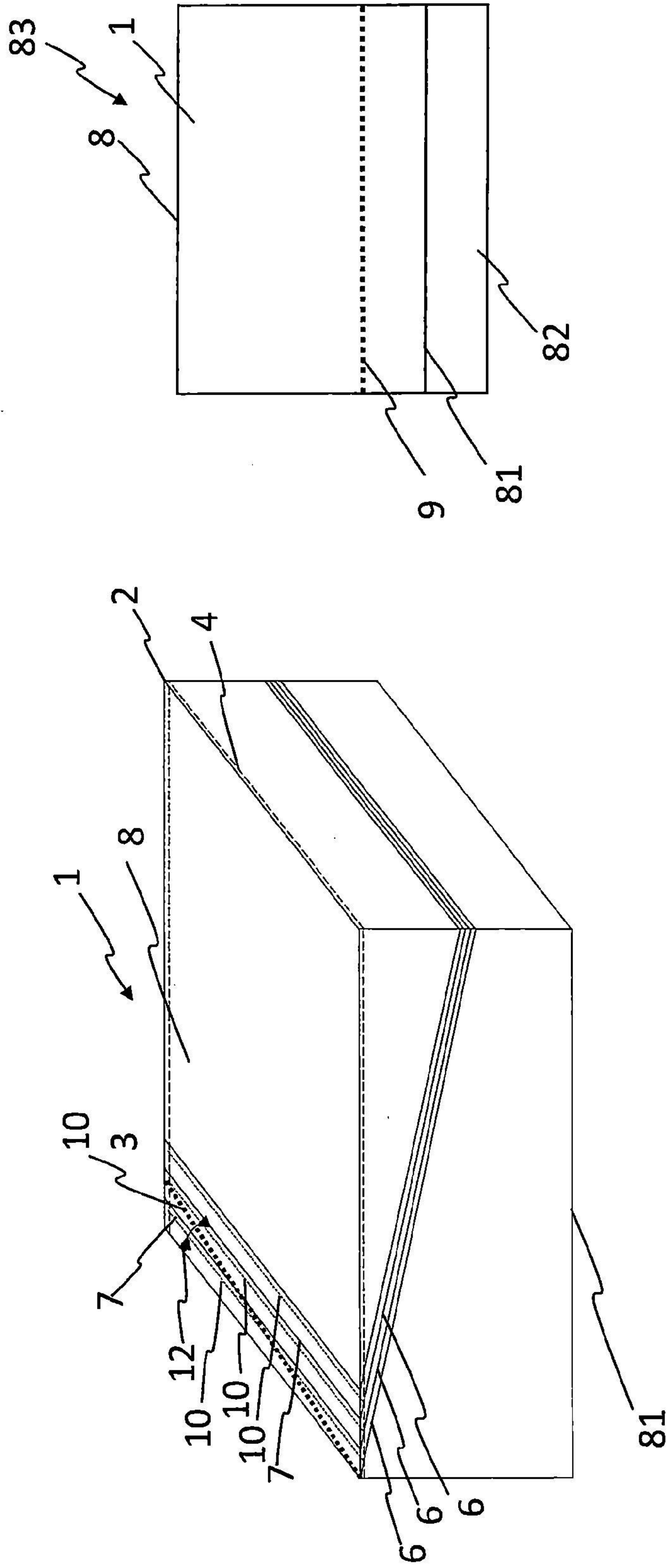




第3a圖

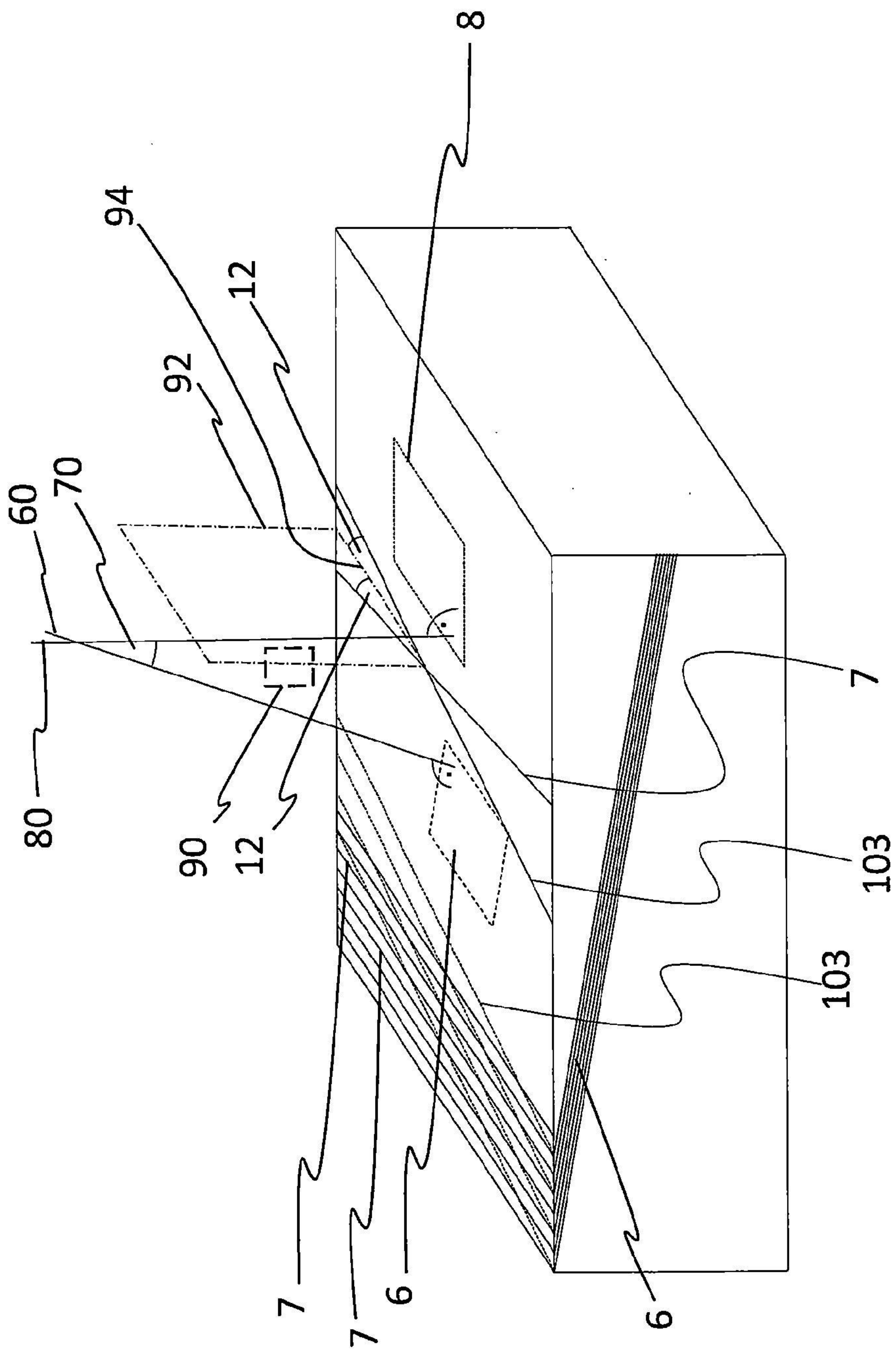


第3b圖

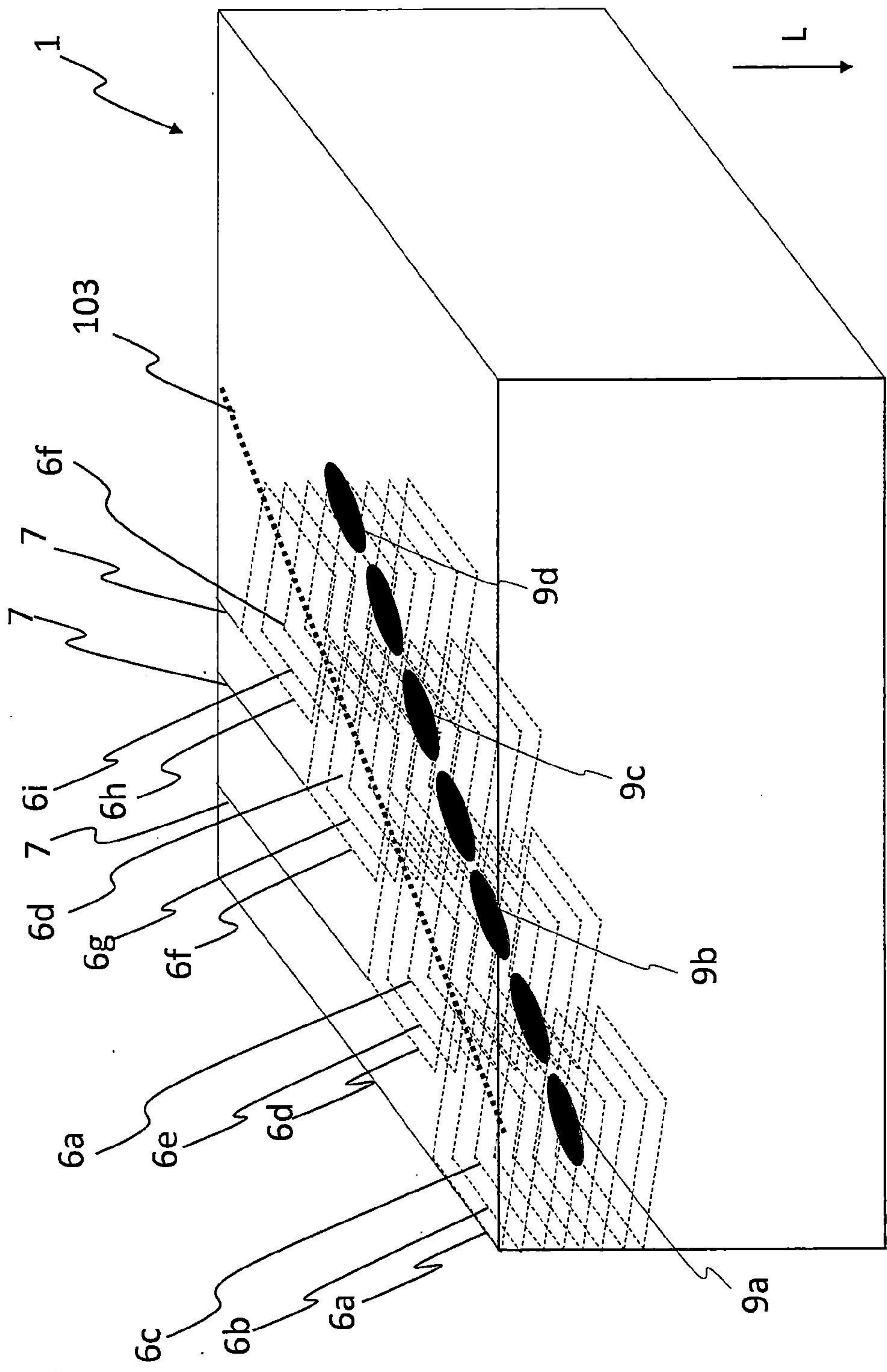


第4a圖

第4b圖

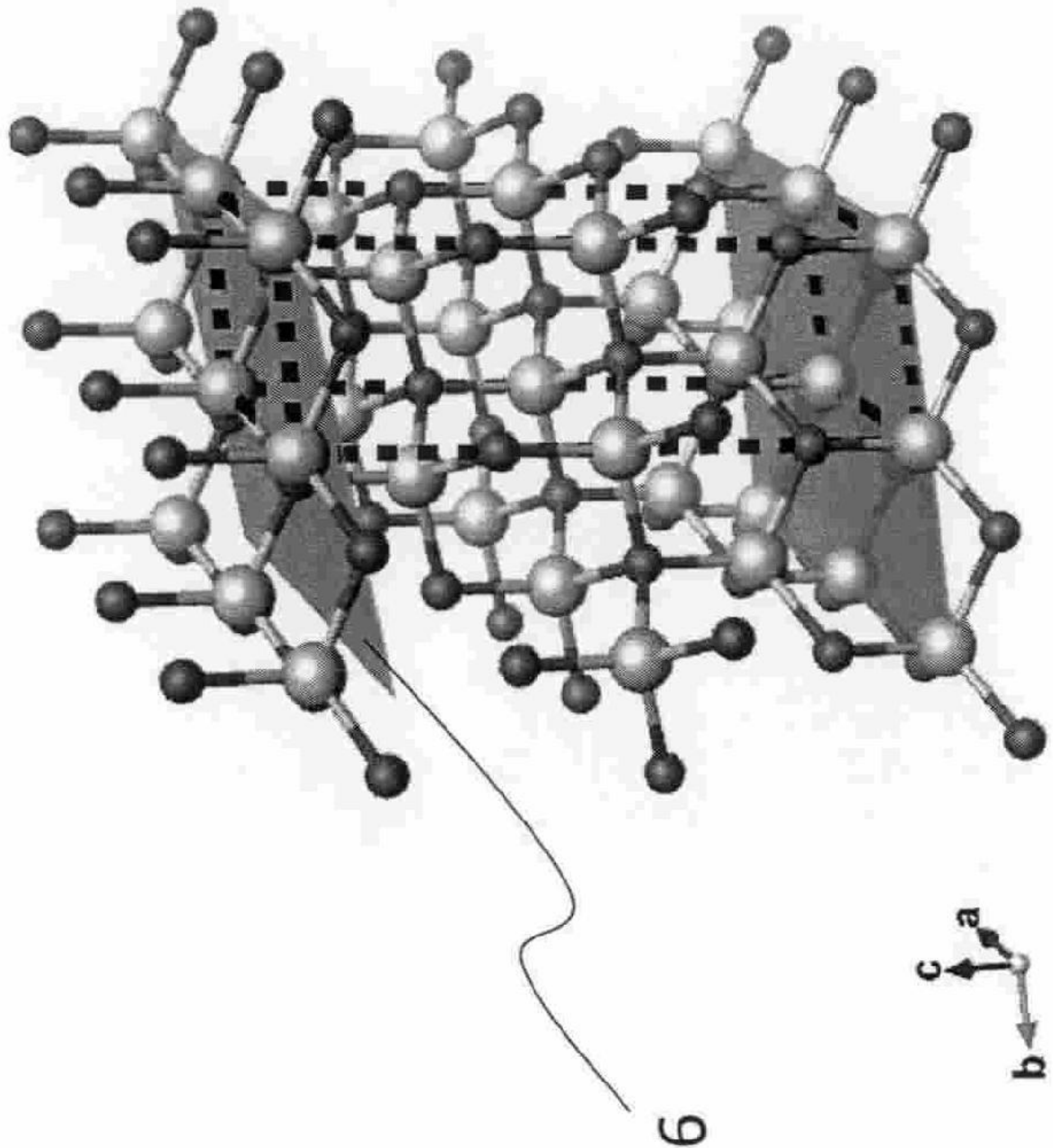


第5圖

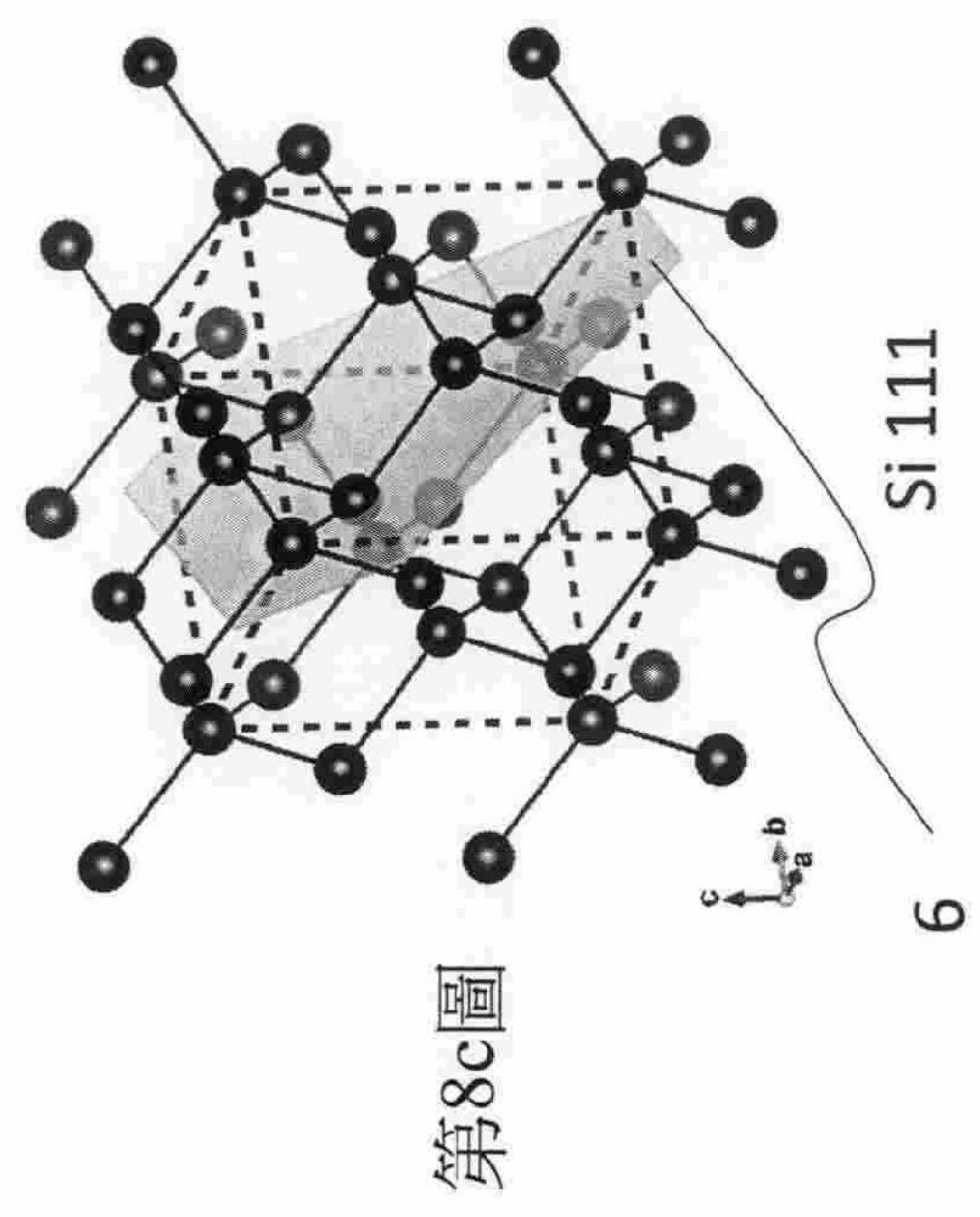
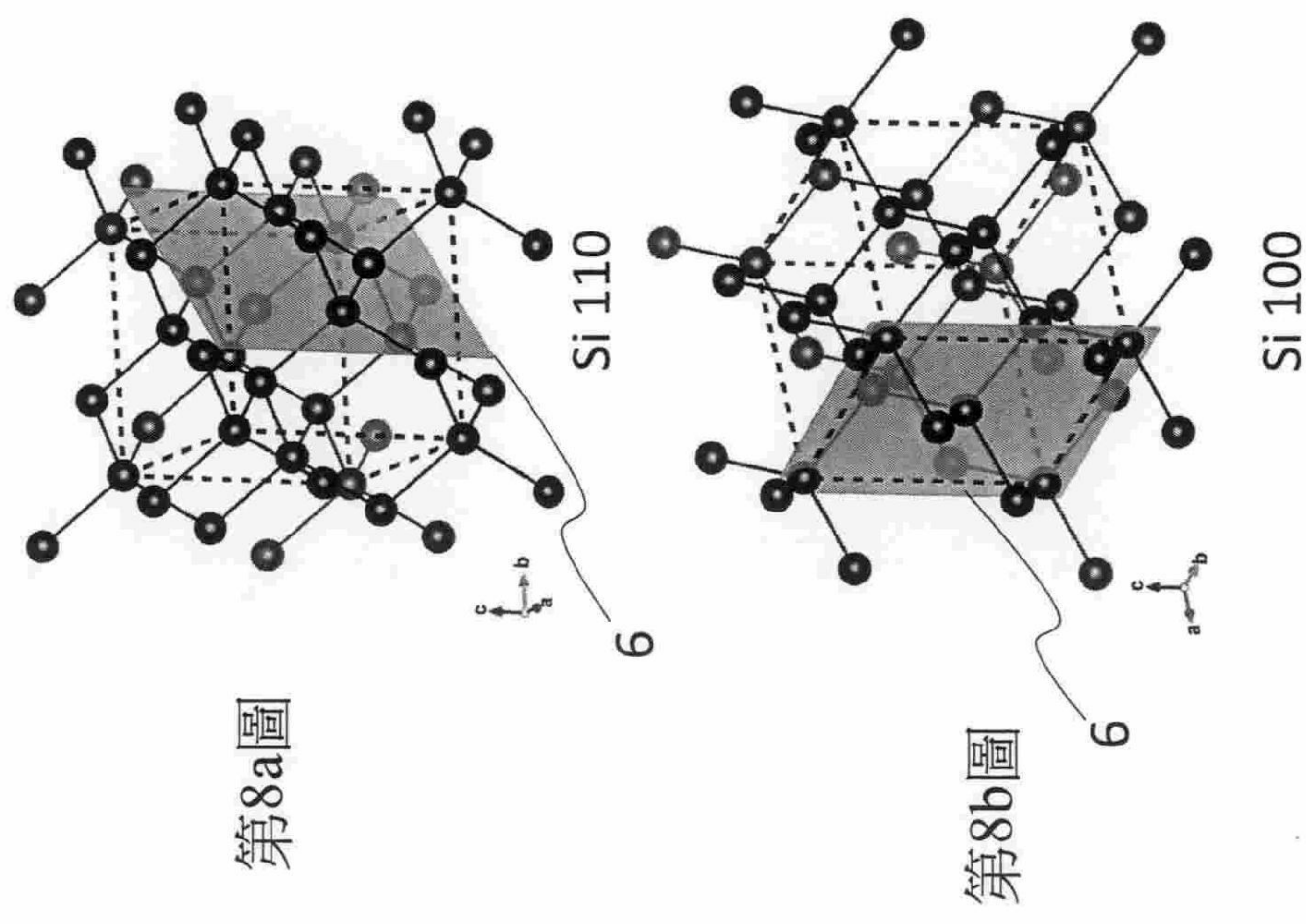


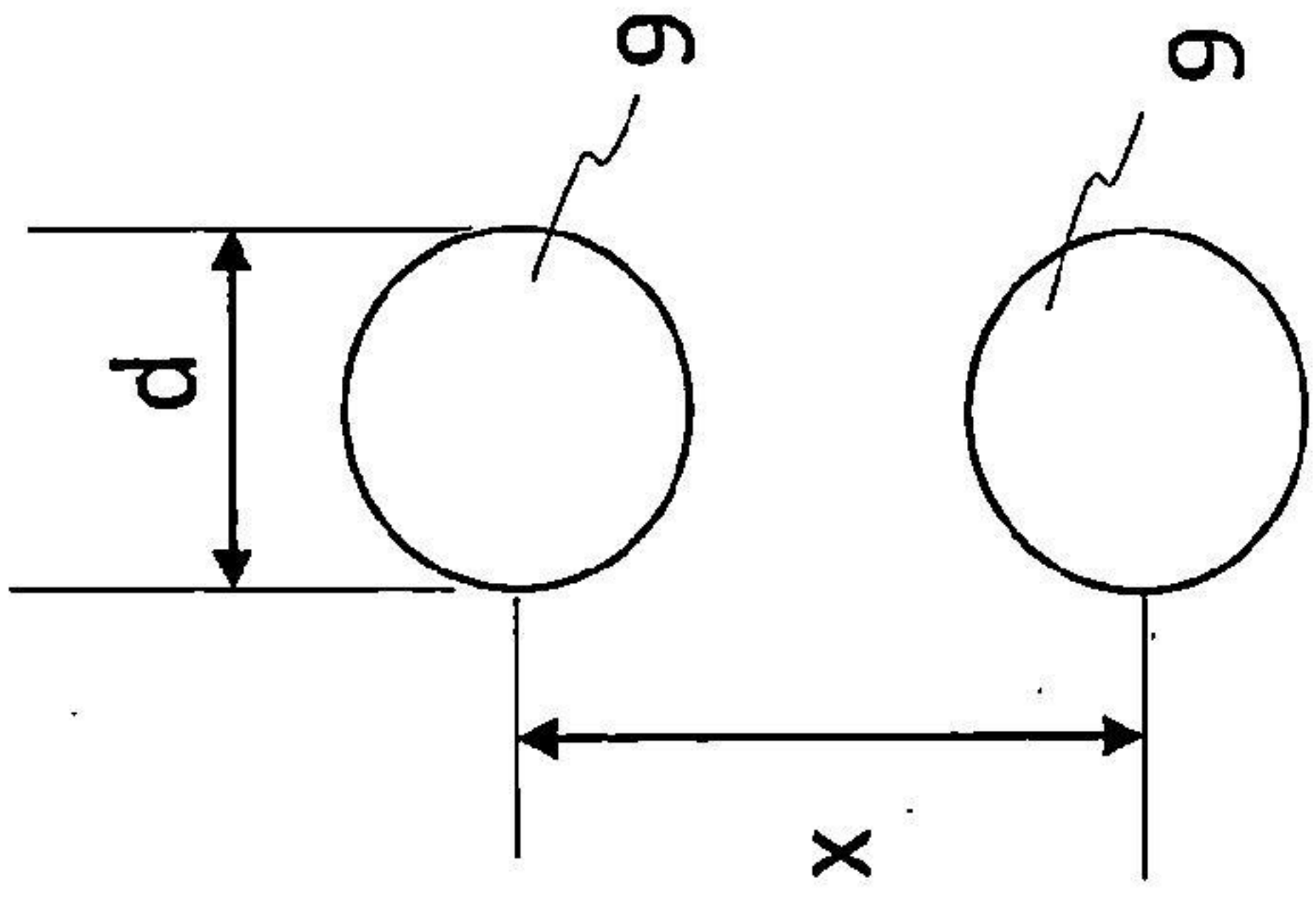
第6圖

4HSiC - 0001

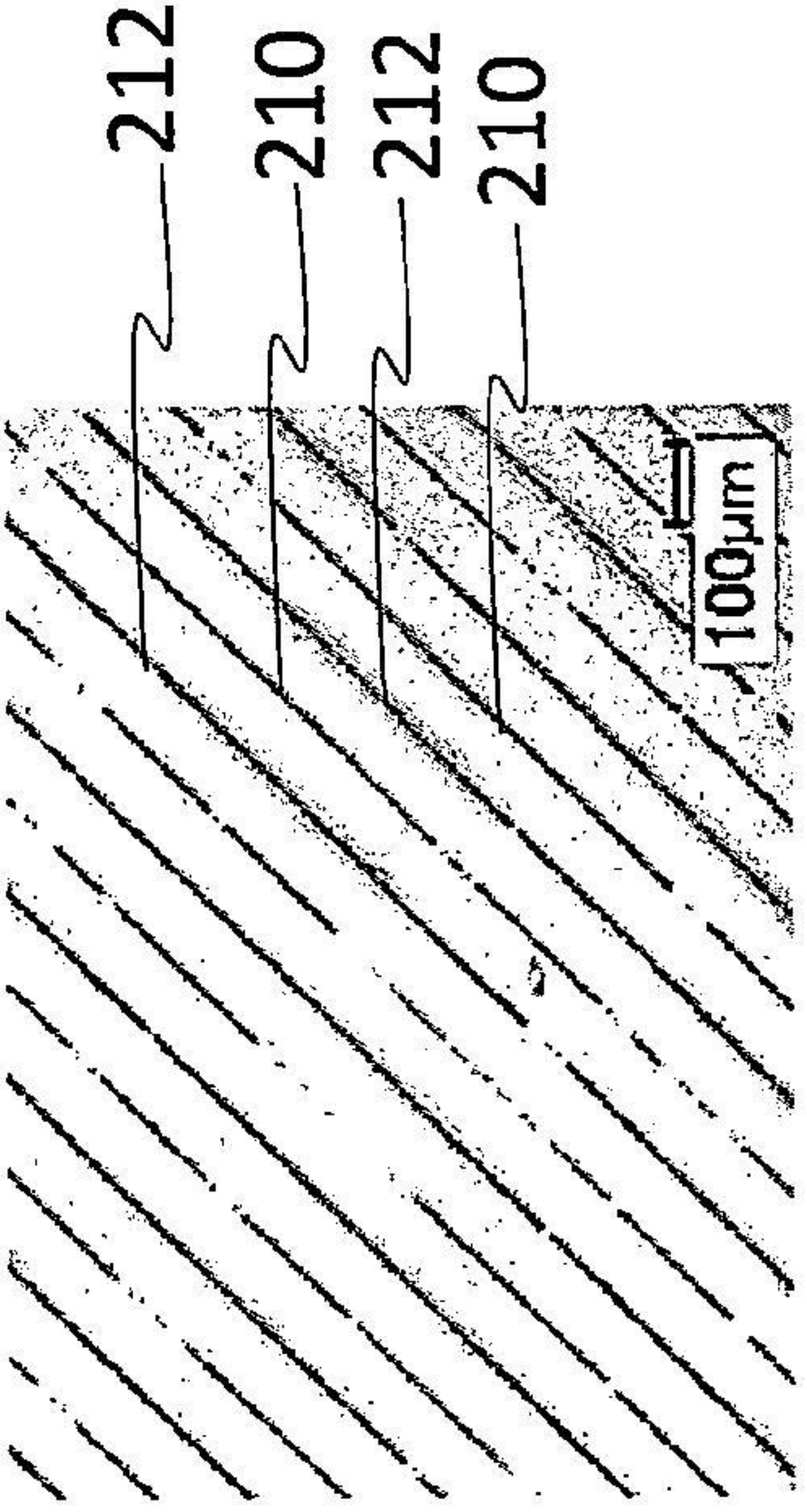


第7圖

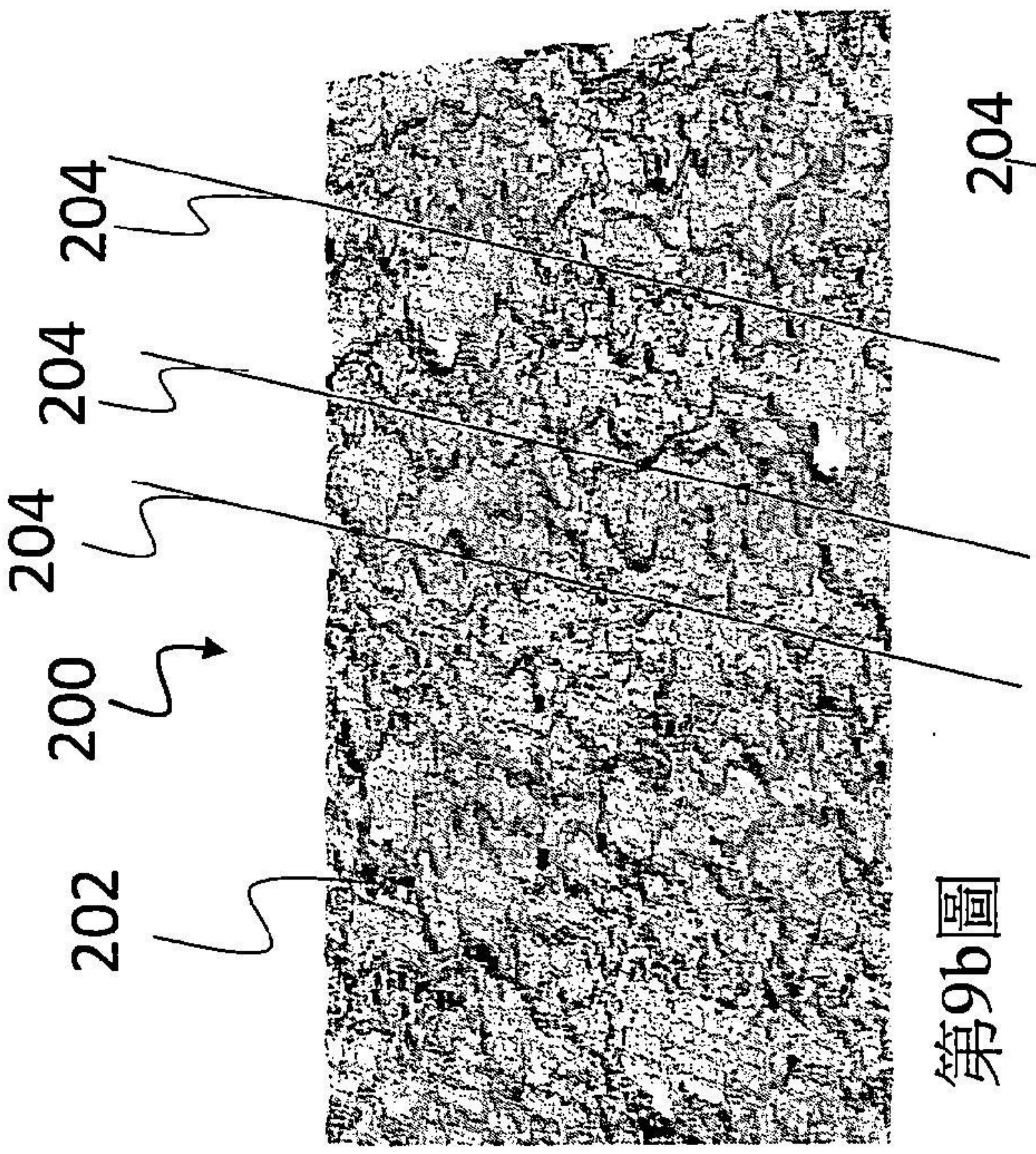




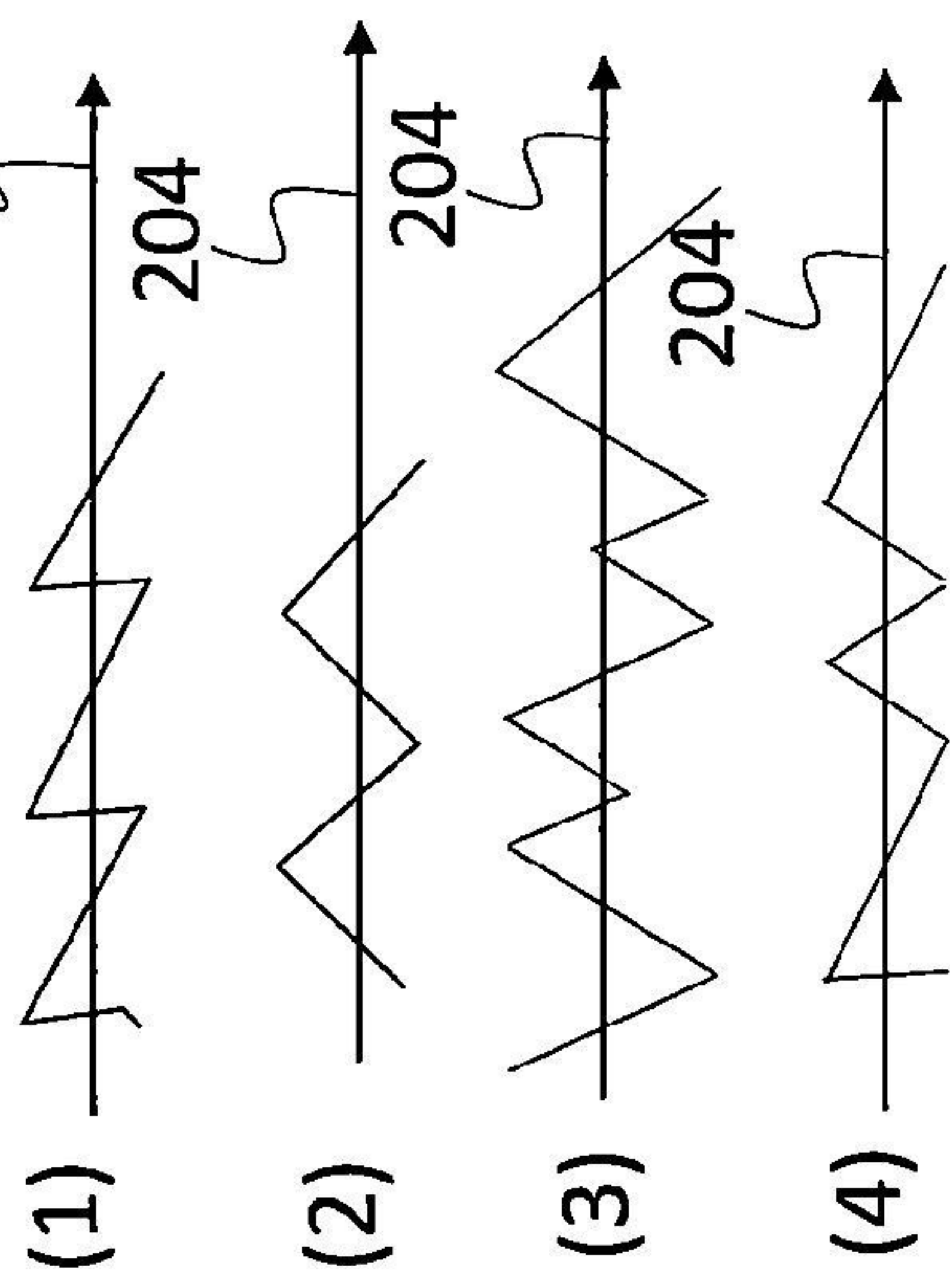
第9a圖



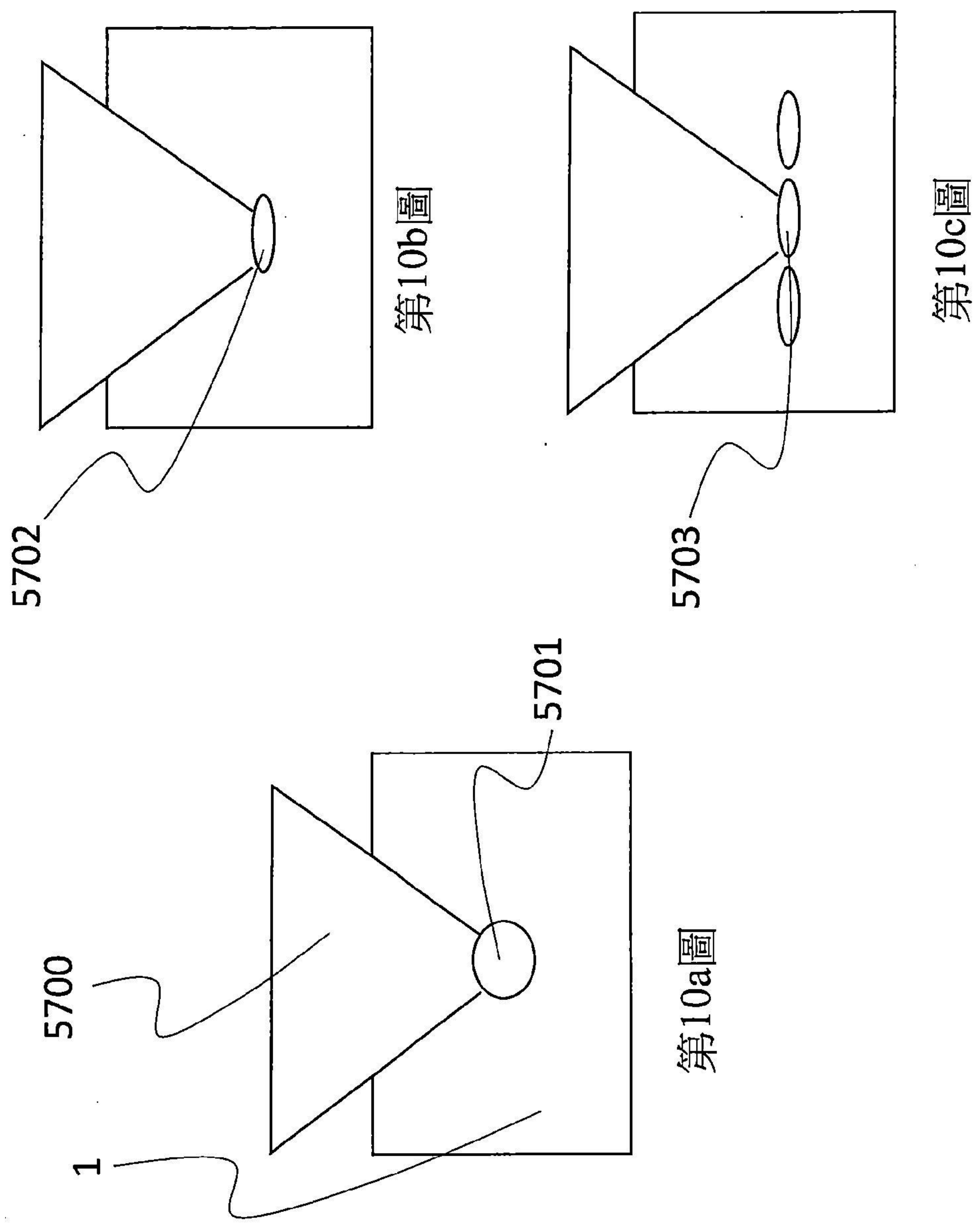
第9c圖

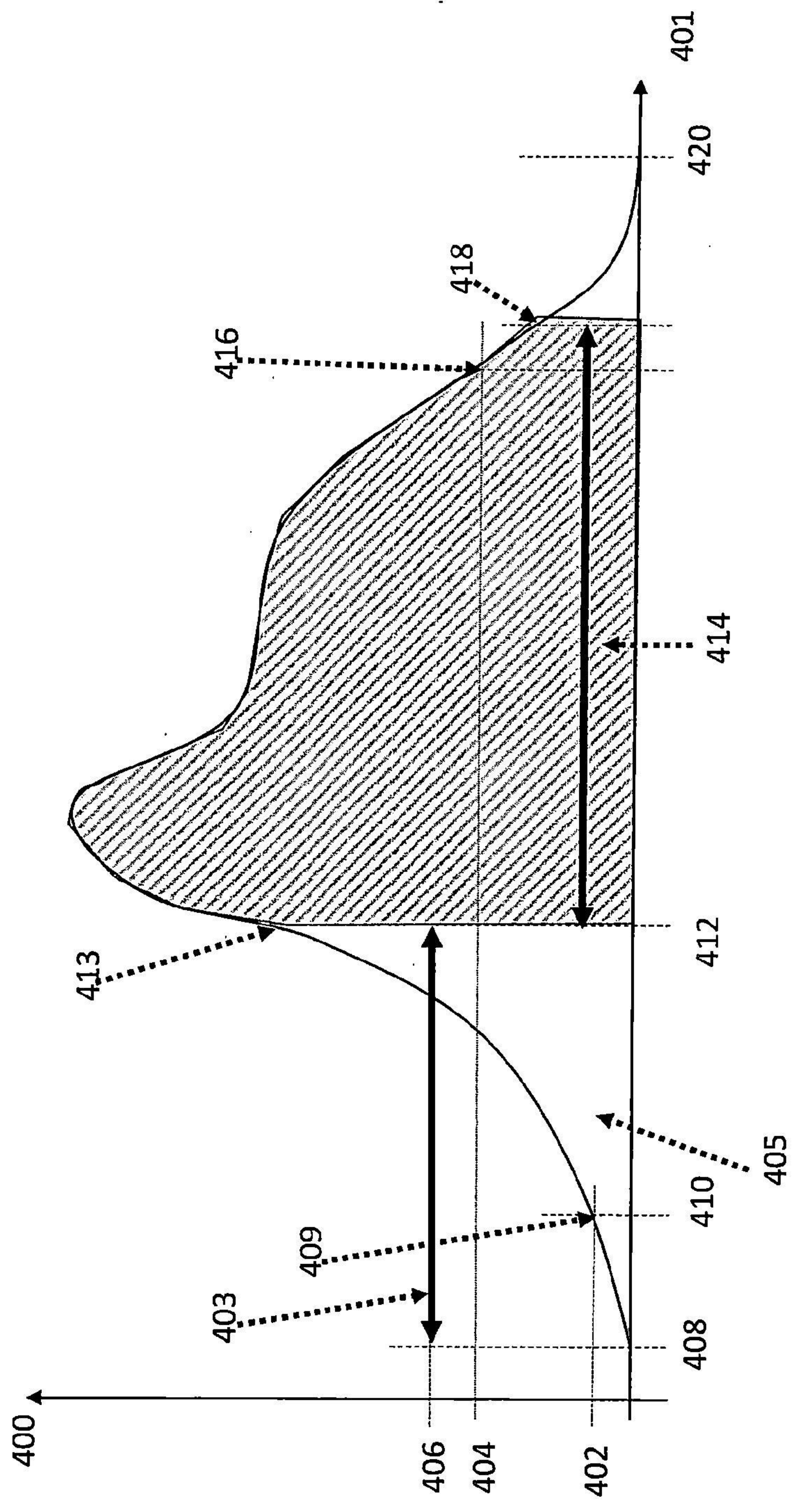


第9b圖

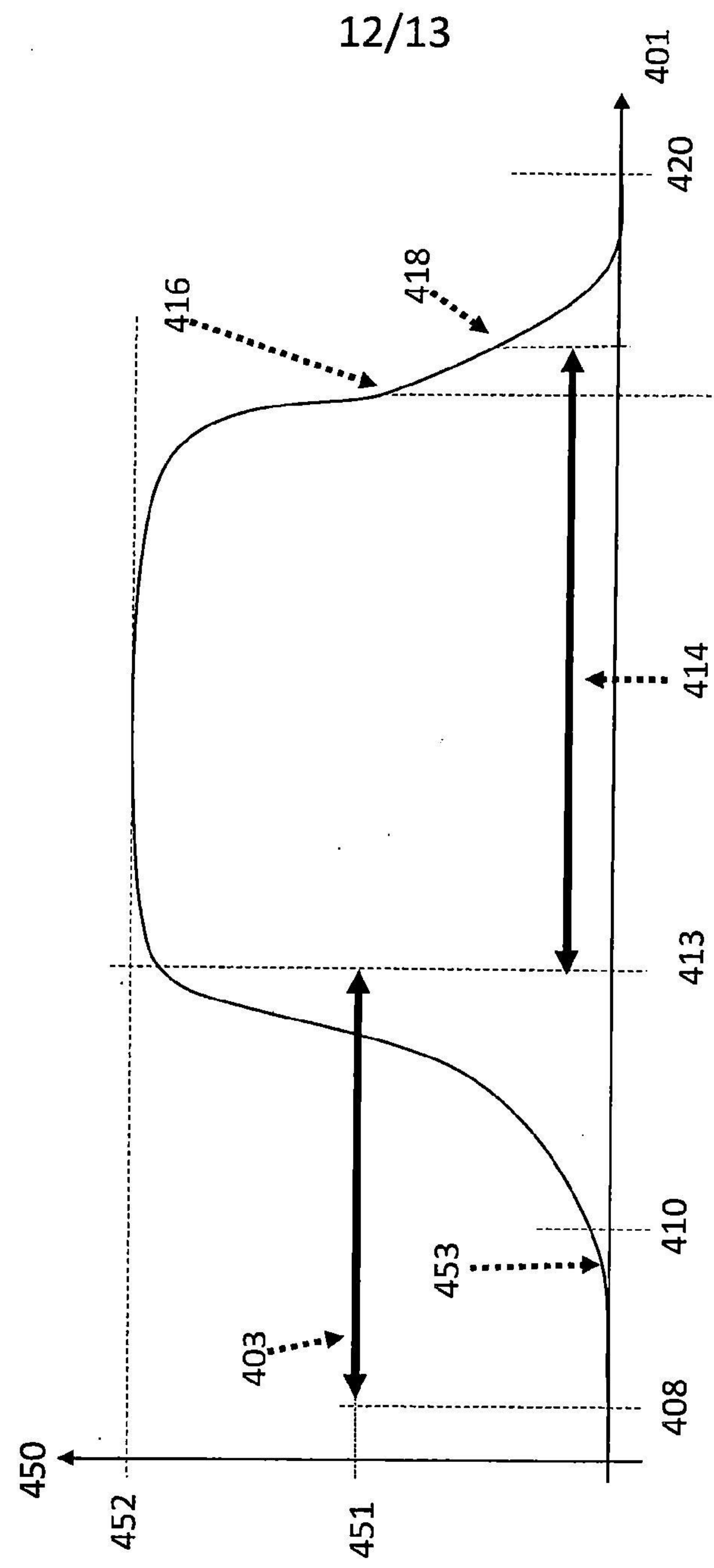


第9d圖





第11圖



第12圖

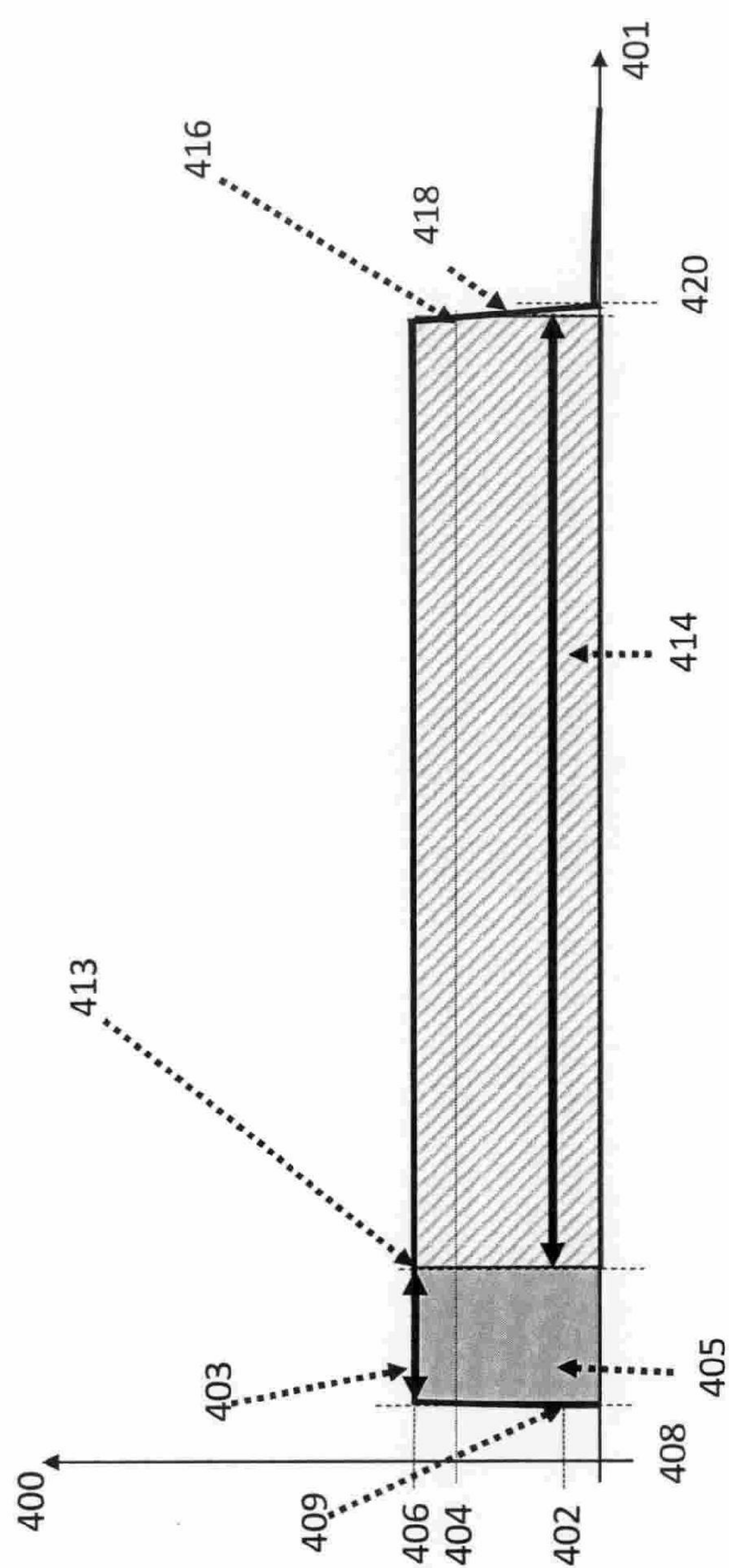


圖 13 第