



(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 I718368 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：107114045

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 10 月 07 日

(51)Int. Cl. : *H01L41/047 (2006.01)**H01L41/18 (2006.01)**H01L41/22 (2013.01)**H03H9/125 (2006.01)*

(30)優先權：2015/10/08 日本

JP2015-200232

2016/03/23 日本

JP2016-059077

2016/04/27 日本

JP2016-089765

(71)申請人：日商村田製作所股份有限公司(日本) MURATA MANUFACTURING CO., LTD.

(JP)

日本

(72)發明人：木津徹 KIDU, TORU (JP)；長谷貴志 HASE, TAKASHI (JP)；鎌田威 KAMADA,

TAKESHI (JP)；開田弘明 KAIDA, HIROAKI (JP)；杉村茂昭 SUGIMURA,

SHIGEAKI (JP)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

JP S61123211A

JP S61147613A

JP S61201512A

JP S62105599A

JP 2002-340559A

審查人員：孫建文

申請專利範圍項數：35 項 圖式數：28 共 103 頁

(54)名稱

水晶振動元件及具備該水晶振動元件之水晶振動子

(57)摘要

本發明之水晶振動元件具備：水晶片 11，其具有既定之結晶方位且於俯視下具有第 1 方向及第 2 方向；及激勵電極 14a、14b，其等以於施加交變電場時對水晶片 11 激勵厚度切變振動之方式分別設置於水晶片 11 之正背面；且水晶片 11 中之以厚度切變振動為主要振動之振動分佈具有於水晶片 11 之第 2 方向上呈帶狀延伸之振動區域 40、及於水晶片 11 之第 1 方向上分別鄰接於振動區域 40 之兩側之非振動區域 50。

指定代表圖：



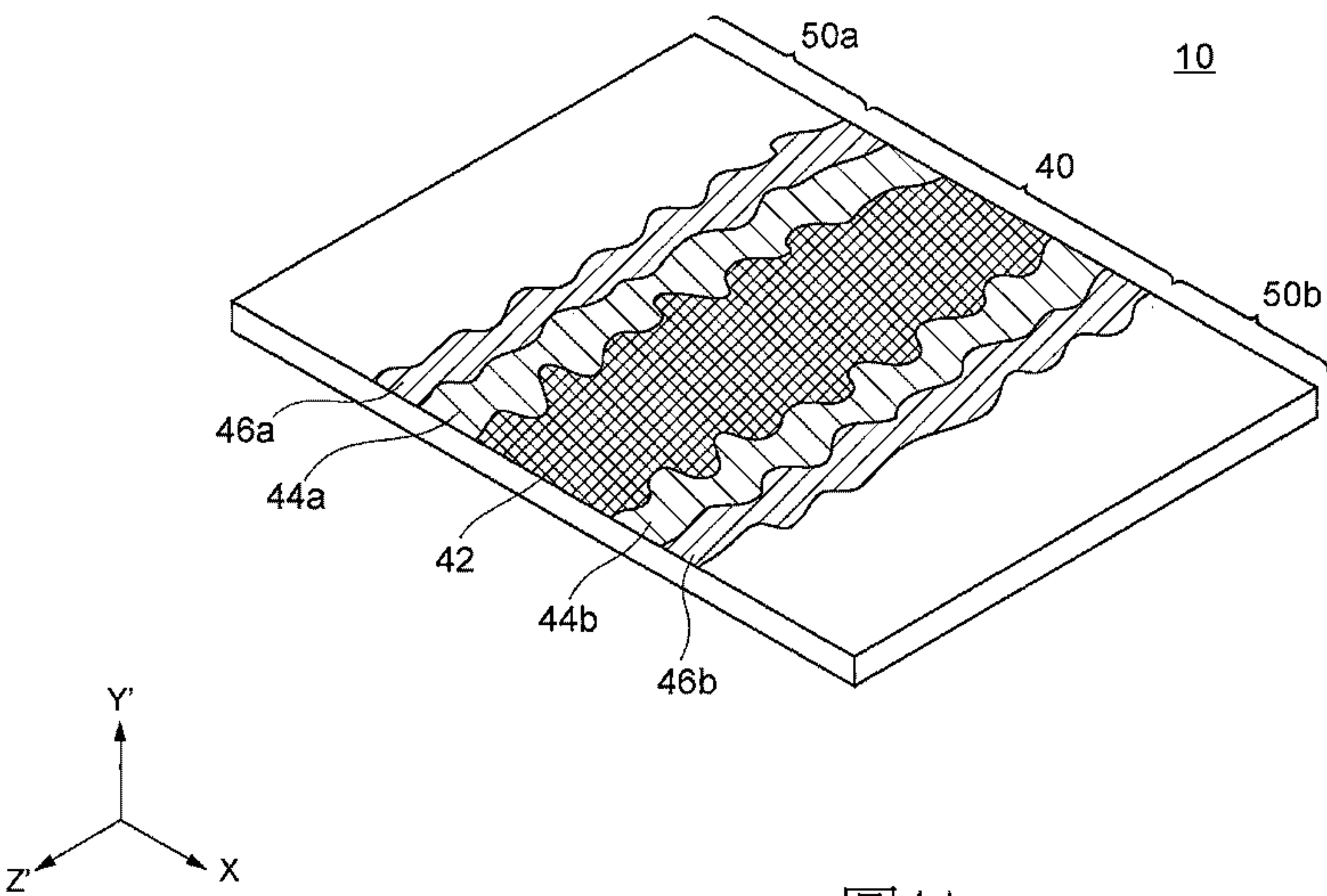


圖4A

- 符號簡單說明：
- 10 . . . 水晶振動元件
  - 40 . . . 振動區域
  - 42 . . . 第 1 振動強度區域
  - 44a . . . 第 2 振動強度區域
  - 44b . . . 第 2 振動強度區域
  - 46a . . . 第 3 振動強度區域
  - 46b . . . 第 3 振動強度區域
  - 50a . . . 非振動區域
  - 50b . . . 非振動區域
  - X . . . 方向
  - Y' . . . 方向
  - Z' . . . 方向



I718368

**【發明摘要】****【中文發明名稱】** 水晶振動元件及具備該水晶振動元件之水晶振動子**【中文】**

本發明之水晶振動元件具備：水晶片11，其具有既定之結晶方位且於俯視下具有第1方向及第2方向；及激勵電極14a、14b，其等以於施加交變電場時對水晶片11激勵厚度切變振動之方式分別設置於水晶片11之正背面；且水晶片11中之以厚度切變振動為主要振動之振動分佈具有於水晶片11之第2方向上呈帶狀延伸之振動區域40、及於水晶片11之第1方向上分別鄰接於振動區域40之兩側之非振動區域50。

**【英文】**

無

**【指定代表圖】** 圖4A**【代表圖之符號簡單說明】**

10：水晶振動元件

40：振動區域

42：第1振動強度區域

44a：第2振動強度區域

44b：第2振動強度區域

46a：第3振動強度區域

46b：第3振動強度區域

50a：非振動區域



50b：非振動區域

X：方向

Y'：方向

Z'：方向

【特徵化學式】

無



## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 水晶振動元件及具備該水晶振動元件之水晶振動子

### 【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種水晶振動元件及水晶振動子。

### 【先前技術】

【0002】 用於振盪裝置或帶通濾波器等之基準訊號之訊號源廣泛使用以厚度切變振動為主振動之水晶振動子。

【0003】 例如於專利文獻1中揭示有保持於保持器之密閉空間內部且於壓電板之中央部附近設置有激勵電極的壓電振動元件。此種壓電振動元件中之厚度切變振動之振動分佈係自壓電板之中央部向外側呈大致同心圓狀擴散，越朝向壓電板之外側，振動之移位越小。於專利文獻2中揭示有如下構成，即，藉由設為使台面型壓電振動片之尺寸滿足既定之關係式之構成，而抑制因伴隨著接著劑等固定構件之流出之振動部之振動受到阻礙所導致之晶體阻抗（Crystal Impedance，以下稱為「CI」）值等特性劣化。進而，於專利文獻3及4中揭示有於具有細長形狀之水晶片之主面形成激勵電極至該水晶片之長邊側之緣為止之構成。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

【0004】 [專利文獻1]日本專利第4458203號公報

[專利文獻2]日本專利特開2013-102472號公報

[專利文獻3]日本專利特公昭56-36814號公報

[專利文獻4]日本專利特開2001-7677號公報



**【發明內容】****[發明所欲解決之課題]**

【0005】 然而，於如專利文獻1之具有大致同心圓狀之振動分佈之壓電振動元件之情形時，存在如下情況：由於在壓電板之大致同心圓狀之外側鄰接因振動產生之移位較小或完全無移位之區域，故而激勵位準依存性（Drive Level Dependence，以下稱為「DLD」）特性劣化，或者由於振動區域之寬度窄於水晶片之寬度，故而CI值較高或電容比 $\gamma$ 之值變大等，無法獲得良好之振動特性。

【0006】 又，於如專利文獻3及4之構成中，存在無法充分地防止向主振動產生振動洩漏之情況。

【0007】 本發明係鑒於此種情況而完成者，其目的在於提供一種可獲得良好之振動特性之水晶振動子。

**[解決課題之技術手段]**

【0008】 本發明之一態樣之水晶振動元件具備：水晶片，其具有既定之結晶方位且於俯視下具有第1方向及第2方向；及激勵電極，其等以於施加交變電場時對水晶片激勵沿第1方向具有主要振動之厚度切變振動之方式分別設置於水晶片之正面及背面；且水晶片中之以厚度切變振動為主要振動之振動分佈具有於水晶片之第2方向上呈帶狀延伸之振動區域、及於水晶片之第1方向上分別鄰接於振動區域之兩側之非振動區域。

【0009】 本發明之其他態樣之水晶振動元件具備：經AT切割之水晶片，其於俯視下具有第1方向及第2方向；及激勵電極，其等與水晶片之正面及背面對向設置；且水晶片中之由激勵電極激勵之於第1方向具有主要振動之厚度切變振動之振動分佈具有以橫跨第2方向上對向之水晶片之2條邊之方式延伸且於第1方向上隔開距離且對向設置之2個振幅之波節、及設置於由2個波節夾著之位置



之振動區域之振幅之波腹。

【0010】 本發明之其他態樣之水晶振動元件具有：水晶片，其具有既定之結晶方位且於俯視下具有第1方向及第2方向；及激勵電極，其等以具有位於第1方向之中央部且至少利用厚度切變振動進行振動之振動區域、及於第1方向上夾著振動區域之兩側之非振動區域之方式，分別設置於水晶片之正面及背面；且振動區域與非振動區域之邊界將水晶片之第2方向上對向之沿第1方向延伸之2條邊連結，沿第2方向呈波狀延伸。

【0011】 本發明之其他態樣之水晶振動元件係以厚度切變振動為主振動者，且具備：水晶片，其於正背具有長方形狀之主面；及長方形狀之激勵電極，其等分別形成於水晶片之各主面；且激勵電極之長邊緣與對應之水晶片之長邊緣平行，若將激勵電極之長邊緣與對應之水晶片之長邊緣之間之距離設為G，將水晶片中之各激勵電極之間之厚度設為T，則具有 $0 < G/T \leq 0.5$ 之關係。

#### [發明之效果]

【0012】 根據本發明，能夠提供一種可獲得良好之振動特性之水晶振動元件及水晶振動子。

#### 【圖式簡單說明】

【0013】 圖1係本發明之第1實施形態之水晶振動子之分解立體圖。

圖2係圖1之II-II線剖面圖。

圖3係圖1之水晶振動子中之水晶振動元件之立體圖。

圖4A係表示圖3之水晶振動元件之厚度切變振動之振動分佈之圖。

圖4B係表示圖3之水晶振動元件中之振動分佈之模擬結果之圖。

圖4C係表示第1變形例之水晶振動元件中之振動分佈之X方向成分（相當於結晶方位之X方向成分）之模擬結果的圖。



圖4D係表示第1變形例之水晶振動元件中之振動分佈之Z方向成分（相當於結晶方位之Y'方向成分）之模擬結果的圖。

圖4E係表示第1變形例之水晶振動子中之振動分佈之Y方向成分（相當於結晶方位之Z'方向成分）之模擬結果的圖。

圖5係第2變形例之水晶振動元件之側視圖。

圖6係表示圖5所示之水晶振動元件利用於第1方向具有主要振動之厚度切變振動進行振動之情形、且設為波數 $n=4$ 之本發明之實施形態之水晶振動元件之振動狀態之側視圖。

圖7係表示圖5所示之水晶振動元件利用於第1方向具有主要振動之厚度切變振動進行振動之情形、且設為波數 $n=5$ 之本發明之實施形態之水晶振動元件之振動狀態之側視圖。

圖8係表示圖5所示之水晶振動元件利用於第1方向具有主要振動之厚度切變振動進行振動之情形、且設為波數 $n=4.5$ 之與本發明之比較形態之水晶振動元件之振動狀態之側視圖。

圖9A係表示第3變形例之水晶振動元件中之振動分佈之X方向成分（相當於結晶方位之X方向成分）之模擬結果的圖。

圖9B係表示第3變形例之水晶振動元件中之振動分佈之Z方向成分（相當於結晶方位之Y'方向成分）之模擬結果的圖。

圖10係表示第4變形例之水晶振動元件之圖。

圖11A係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果的圖。

圖11B係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向背面側之模擬結果的圖。

圖11C係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之



X方向成分（相當於結晶方位之X方向成分）之模擬結果的圖。

圖11D係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向背面側之X方向成分（相當於結晶方位之X方向成分）之模擬結果的圖。

圖11E係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之Z方向成分（相當於結晶方位之Y'方向成分）之模擬結果的圖。

圖11F係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向背面側之Z方向成分（相當於結晶方位之Y'方向成分）之模擬結果的圖。

圖11G係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之Y方向成分（相當於結晶方位之Z'方向成分）之模擬結果的圖。

圖11H係表示第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向背面側之Y方向成分（相當於結晶方位之Z'方向成分）之模擬結果的圖。

圖11I係第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果且相位為 $0^\circ$ 之情形之圖。

圖11J係第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果且相位設為大致 $45^\circ$ 之情形之圖。

圖11K係第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果且相位設為大致 $90^\circ$ 之情形之圖。

圖11L係第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果且相位設為大致 $135^\circ$ 之情形之圖。

圖11M係第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果且相位設為大致 $180^\circ$ 之情形之圖。

圖11N係第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果且相位設為大致 $225^\circ$ 之情形之圖。

圖11O係第4變形例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬



結果且相位設為大致 $270^\circ$ 之情形之圖。

圖12A係表示比較例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果的圖。

圖12B係表示比較例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向背面側之模擬結果的圖。

圖12C係表示比較例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之Z方向成分（相當於結晶方位之Y'方向成分）之模擬結果的圖。

圖12D係表示比較例之水晶振動元件中之振動分佈之厚度方向正面側之Y方向成分（相當於結晶方位之Z'方向成分）之模擬結果的圖。

圖13係關於第1變形例、第3變形例、第4變形例及比較例將振動狀態進行比較之曲線圖。

圖14係表示本發明之第5變形例之水晶振動元件之圖。

圖15係本發明之第2實施形態之水晶振動子之分解立體圖。

圖16係圖15之XVI-XVI線剖面圖。

圖17係本發明之第3實施形態之水晶振動子之分解立體圖。

圖18係圖17之XVIII-XIVIII線剖面圖。

圖19係圖14所示之水晶振動元件之立體圖。

圖20A係用以說明本發明之第3實施形態之水晶振動元件之特性的曲線圖。

圖20B係用以說明本發明之第3實施形態之水晶振動元件之特性的曲線圖。

圖21係表示水晶振動元件之等效電路之圖。

圖22A係用以說明本發明之第3實施形態之水晶振動元件之特性的曲線圖，且係表示水晶振動元件之短邊之寬度W較小之情形的圖。

圖22B係用以說明本發明之第3實施形態之水晶振動元件之特性之曲線圖，且係表示水晶振動元件之短邊之寬度W較大之情形的圖。



圖23係用以說明本發明之第3實施形態之水晶振動元件之特性之曲線圖。

圖24係本發明之第3實施形態之第1變形例之水晶振動元件之立體圖。

圖25係本發明之第3實施形態之第2變形例之水晶振動元件之立體圖。

圖26係本發明之第3實施形態之第3變形例之水晶振動元件之立體圖。

圖27係習知技術之水晶振動子中之水晶振動元件之立體圖。

圖28係表示圖27之習知技術之水晶振動元件之厚度切變振動之振動分佈的圖。

### 【實施方式】

【0014】 以下說明本發明之實施形態。於以下圖式之記載中，相同或類似之構成要素以相同或類似之符號表示。圖式為例示，各部之尺寸或形狀為模式性者，不應將本案發明之技術範圍限定於該實施形態進行解釋。

#### 【0015】 <第1實施形態>

一面參照圖1及圖2，一面對本發明之第1實施形態之水晶振動子1進行說明。此處，圖1為水晶振動子之分解立體圖，圖2為圖1之II-II線剖面圖。再者，於圖2中省略了水晶振動元件10之各種電極之圖示。

【0016】 如圖1所示，本實施形態之水晶振動子1具備水晶振動元件10、作為蓋構件之一例之頂蓋20、及作為支持水晶振動元件10之支持體之一例之基板30。頂蓋20及基板30係用以收容水晶振動元件10之保持器（殼體或封裝體）。

【0017】 水晶振動元件10包含水晶片11、及分別設置於水晶片11之正面及背面之激勵電極14a、14b（以下亦稱為「第1激勵電極14a及第2激勵電極14b」）。第1激勵電極14a設置於作為水晶片11之主面之第1面12a（正面），又，第2激勵電極14b設置於作為水晶片11之與第1面12a對向之主面之第2面12b（背面）。

【0018】 水晶片11具有與如壓電陶瓷之立方晶系不同之三方晶系之結晶



構造，由具有既定之結晶方位之水晶材料形成。水晶振動元件10例如具有AT切割之水晶片11。AT切割之水晶片11係於將作為人工水晶之晶軸之X軸、Y軸、Z軸中使Y軸及Z軸繞X軸自Y軸向Z軸之方向旋轉35度15分 $\pm$ 1分30秒後之軸分別設為Y'軸及Z'軸之情形時，以與由X軸及Z'軸既定出之面平行之面(以下稱為「XZ'面」；關於由其他軸既定出之面亦同樣)作為主面而切出者。於圖1所示之例中，作為AT切割水晶片之水晶片11具有與作為第1方向之X軸平行之長邊、及與作為和第1方向正交之第2方向之Z'軸平行之短邊，進而具有與作為和第1方向及第2方向正交之第3方向之Y'軸平行之厚度。再者，以下，有時亦將沿長邊之方向稱為長邊方向，將沿短邊之方向稱為短邊方向，以及將厚度稱為厚度方向。水晶片11於俯視XZ'面時形成為長方形狀。使用AT切割水晶片之水晶振動元件於較廣之溫度範圍具有極高之頻率穩定性，又，經時變化特性亦優異。又，AT切割水晶振動元件以厚度切變振動模式(Thickness Shear Mode)作為主要振動。以下，以AT切割之軸向為基準說明水晶振動子1之各構成。

【0019】 本實施形態之水晶片11並不限定於上述構成，例如亦可應用具有與Z'軸平行之長邊及與X軸平行之短邊之AT切割水晶片。或者，只要主要振動為厚度切變振動模式，則例如亦可為BT切割等AT切割以外之不同切割之水晶片。但是，最佳為可於較廣之溫度範圍獲得極高之頻率穩定性之AT切割水晶片。

【0020】 第1激勵電極14a形成於水晶片11之第1面12a，又，第2激勵電極14b形成於水晶片11之第2面12b。第1及第2激勵電極14a、14b作為一對電極於俯視XZ'面之情形時以隔著水晶片11而大致整體重疊之方式配置。第1及第2激勵電極14a、14b於俯視XZ'面之情形時呈矩形形狀。例如，如圖1所示，以激勵電極之長邊與水晶片11之短邊平行，並且激勵電極之短邊與水晶片11之長邊平行之方式設置。

【0021】 再者，水晶振動元件之態樣並不限定於上述，作為下述第1變形



例，能以如圖4C～圖4E所示之於結晶方位之X方向上細長之板狀之水晶振動元件之構成實施。即，亦可以激勵電極之長邊與水晶片11之長邊平行，並且激勵電極之短邊與水晶片11之短邊平行之方式設置。

【0022】 於水晶片11，形成有經由引出電極15a而電性連接於第1激勵電極14a之連接電極16a、及經由引出電極15b而電性連接於第2激勵電極14b之連接電極16b。具體而言，引出電極15a於第1面12a自第1激勵電極14a朝向X軸負方向側短邊引出，進而通過水晶片11之X軸負方向側之側面，連接於形成於第2面12b之連接電極16a。另一方面，引出電極15b於第2面12b自第2激勵電極14b朝向X軸負方向側短邊引出，連接於形成於第2面12b之連接電極16b。連接電極16a、16b沿X軸負方向側之短邊配置，該等連接電極16a、16b經由塗佈導電性接著劑並硬化而成之導電性保持構件36a、36b而實現與基板30電性導通並且機械地保持於基板30。再者，連接電極16a、16b及引出電極15a、15b之配置或圖案形狀並無限定，可考慮與其他構件之電性連接而適當變更。再者，俯視時第1激勵電極14a與第2激勵電極14b重疊之電極重疊區域自水晶片11之短邊具有既定距離而設置。自水晶片11之短邊至電極重疊區域為止之距離大於自水晶片11之長邊至電極重疊區域為止之距離。

【0023】 第1及第2激勵電極14a、14b、引出電極15a、15b、連接電極16a、16b係例如於水晶片11之表面形成鉻（Cr）層以用於提高接合力，且於鉻層之基底之表面上形成有金（Au）層。再者，其材料並無限定。

【0024】 如圖2所示，頂蓋20具有與基板30之第1面32a對向地開口之凹部24。於凹部24，遍及開口之全周而設置有以自凹部24之底面豎立之方式形成之側壁部22。又，頂蓋20具有自側壁部22進而向開口外方向突出之凸緣部28。於此情形時，凸緣部28具有與基板30之第1面32a對向之對向面26。對向面26之橫寬之長度大於頂蓋20之側壁部22之厚度。據此，可藉由將凸緣部28與基板30接



合而增大兩者之接合面積，因此可實現兩者之接合強度之提高。

【0025】 再者，本實施形態中，頂蓋20之形狀並無特別限定，例如亦可不具有凸緣部28，而係自凹部24之底面呈大致直角地豎立而形成之側壁部22之前端與基板30接合。

【0026】 頂蓋20之材質並無特別限定，例如亦可由金屬等導電材料構成。據此，可藉由使頂蓋20電性連接於接地電位而附加屏蔽功能。或者，頂蓋20亦可為絕緣材料或導電材料、絕緣材料之複合構造。

【0027】 基板30係將水晶振動元件10可激勵地支持者。於圖1所示之例中，水晶振動元件10經由導電性保持構件36a、36b而可激勵地支持於基板30之第1面32a。

【0028】 於圖1所示之例中，基板30具有與X軸方向平行之長邊、與Z'軸方向平行之短邊、及與Y'軸方向平行之厚度，於XZ'面呈長方形狀。基板30例如可由絕緣性陶瓷形成，例如亦可藉由積層複數個絕緣性陶瓷片材並進行煅燒而形成。或者，基板30亦可由玻璃材料（例如矽酸鹽玻璃、或以矽酸鹽以外作為主成分之材料且藉由升溫而具有玻璃轉移現象之材料）、水晶材料（例如AT切割水晶）或玻璃環氧樹脂等形成。基板30較佳為由耐熱性材料構成。基板30可為單層，亦可為多層，於多層之情形時，亦可於第1面32a之最表層形成絕緣層。又，基板30可呈平板之板狀，或者亦可呈向與頂蓋20對向之朝向開口之凹狀。如圖2所示，藉由頂蓋20及基板30之兩者經由接合材70而接合，水晶振動元件10被密封密閉於由頂蓋20之凹部24與基板30所包圍之內部空間（空腔）23。於此情形時，內部空間之壓力較佳為較大氣壓力低壓之真空狀態，藉此可減少因第1及第2激勵電極14a、14b之氧化所致之經時變化等，因此較佳。

【0029】 接合材70係遍及頂蓋20及基板30之各全周而設置，介置於頂蓋20之側壁部22之對向面26與基板30之第1面32a之間。接合材70由絕緣性材料構



成。作為絕緣性材料，可為低熔點玻璃（例如鉛硼酸系或錫磷酸系等）等玻璃接著材料，或者亦可使用樹脂接著劑。藉由該等絕緣性材料，成本低於金屬接合，又，可抑制加熱溫度，可實現製造製程之簡化。再者，若使用金屬接合，則可獲得較利用樹脂接著劑之接合高之接合強度。

【0030】 於圖2所示之例中，關於水晶振動元件10，其一端由導電性保持構件36a、36b固定，其另一端自由。再者，作為變形例，水晶振動元件10亦可於長邊及短邊中之任一方向之兩端固定於基板30。

【0031】 如圖1所示，基板30包含形成於第1面32a之連接電極33a、33b、及自連接電極33a、33b朝向第1面32a之外緣引出之引出電極34a、34b。

【0032】 於連接電極33a，經由導電性保持構件36a而連接水晶振動元件10之連接電極16a，另一方面，於連接電極33b，經由導電性保持構件36b而連接水晶振動元件10之連接電極16b。

【0033】 引出電極34a自連接電極33a朝向基板30之任一個角部引出，另一方面，引出電極34b自連接電極33b朝向基板30之另一個角部引出。又，於基板30之各角部形成有複數個外部電極35a、35b、35c、35d。於圖1所示之例中，引出電極34a連接於形成在Z'軸正方向及X軸負方向側之角部之外部電極35a，另一方面，引出電極34b連接於形成在Z'軸負方向及X軸正方向側之角部之外部電極35b。又，如圖1所示，亦可於剩餘之角部亦形成外部電極35c、35d，該等外部電極亦可為不與水晶振動元件10電性連接之虛設電極。即，虛設電極亦可不與第1及第2激勵電極14a、14b中之任一者電性連接。又，虛設電極亦可連接於被設置在安裝水晶振動子1之安裝基板（未圖示）之端子（不與其他任一電子元件連接之端子）。藉由形成此種虛設電極，容易賦予用以形成外部電極之導電材料，又，可於所有角部形成外部電極，因此將水晶振動子電性連接於其他構件之處理步驟亦變得容易。進而，代替虛設電極，外部電極35c、35d亦可為被供



給接地電位之接地用電極。於頂蓋20由導電性材料所構成之情形時，可藉由將頂蓋20連接於作為接地用電極之外部電極35c、35d而對頂蓋20附加屏蔽功能。

【0034】 於圖1所示之例中，基板30之角部具有其一部分呈圓筒曲面狀（亦稱為城堡形狀）切斷而形成之切口側面，外部電極35a～35d係遍及第1面32a、切口側面及第2面32b而連續地形成。再者，基板30之角部之形狀並不限定於此，亦可為切口之形狀為平面狀，還可為無切口而於俯視時四角為直角之矩形形狀。

【0035】 再者，基板30之連接電極33a、33b、引出電極34a、34b及外部電極35a～d之各構成並不限定於上述例，可多樣地變形而應用。例如，連接電極33a、33b亦可一者形成於X軸正方向側，另一者形成於X軸負方向側等，於基板30之第1面32a上配置於互不相同之側。於此種構成中，水晶振動元件10於長邊之一端及另一端之兩者支持於基板30。又，外部電極之個數並不限於4個，例如亦可為配置於對角上之2個。又，外部電極並不限於配置於角部，亦可形成於除角部以外之基板30之任一側面。於此情形時，如上述所說明般，亦可形成將側面之一部分呈圓筒曲面狀切斷之切口側面，於除角部以外之該側面形成外部電極。進而，亦可不形成作為虛設電極之其他外部電極35c、35d。又，亦可於基板30形成自第1面32a貫通至第2面32b之貫通孔，自設置於該貫通孔內並藉由通孔導體而形成於第1面32a之連接電極向第2面32b實現電性導通。

【0036】 於如圖1所示之水晶振動子1中，經由基板30之外部電極35a、35b對水晶振動元件10中之一對第1及第2激勵電極14a、14b之間施加交變電場。藉此，水晶片11以厚度切變為主振動模式進行振動，可獲得伴隨該振動之共振特性。

【0037】 其次，一面參照圖3～圖14，一面對水晶振動元件進一步詳細敘述。圖3係水晶振動元件10之立體圖，圖4A及圖4B係表示水晶振動元件10之厚度切變振動之振動分佈之圖，具體而言，圖4A係模式圖，圖4B係表示模擬結果之



圖。此處，於圖4A及圖4B中，為方便說明起見，僅表示與第1激勵電極14a及第2激勵電極14b對應之振動分佈。再者，圖4C～圖14係用以說明本實施形態之變形例及比較例之水晶振動元件之圖。

【0038】 圖3係表示本實施形態之水晶振動元件10中之水晶片11與第1激勵電極14a及第2激勵電極14b之一例之圖。於該例中，於俯視XZ'面時，Z'軸正方向側之激勵電極14a之短邊與Z'軸正方向側之水晶片11之長邊重疊，Z'軸負方向側之激勵電極14a之短邊與Z'軸負方向側之水晶片11之長邊重疊。又，激勵電極14b亦同樣地，於俯視XZ'面時，Z'軸正方向側之激勵電極14b之短邊與Z'軸正方向側之水晶片11之長邊重疊，Z'軸負方向側之激勵電極14b之短邊與Z'軸負方向側之水晶片11之長邊重疊。即，激勵電極14a於水晶片11之第1面12a上設置至Z'軸方向上之水晶片11之主面之兩端為止，另一方面，激勵電極14b於水晶片11之第2面12b上形成至Z'軸方向上之水晶片11之主面之兩端為止。

【0039】 又，若將水晶片11之長邊之長度設為L、將水晶片11之短邊之長度設為W、將水晶片11之Y'軸方向之厚度設為T、以及將激勵電極14a之X軸方向之短邊之長度設為EL，則水晶振動元件10例如由 $L=1.322\text{ mm}$ 、 $W=0.895\text{ mm}$ 、 $T=0.0426\text{ mm}$ 、 $EL=0.640\text{ mm}$ 、 $G=0$ 之尺寸構成。 $G/T=0$ ， $W/T=21.0$ ， $L/T=31.0$ 。此處，G為激勵電極之短邊與水晶片之長邊之距離，於圖3中兩者一致，因此 $G=0$ 。再者，上述尺寸僅為一例，本實施形態之水晶振動元件包含具有以下所說明之振動分佈之形態（包含水晶片及激勵電極之各者之形狀及尺寸以及兩者之位置關係）。

【0040】 圖4B係使用關於對圖3之水晶振動元件10施加既定之振盪頻率、例如AT切割基本振盪頻率之交變電場時之厚度切變振動的村田製作所製造之軟體Femtet（註冊商標），於網眼尺寸 $0.02\text{ mm}$ 之條件下藉由壓電解析解算器實施之模擬結果，圖4A係其模式圖。材料常數引自化學便覽 基礎編II修訂4版 日



本化學學會編 丸善（1993）、理科年表 1996年國立天文台編 丸善（1996）、聲波元件技術手冊 日本學術振興會 聲波元件技術 第150委員會編 Ohmsha, Ltd.、及表面聲波元件材料資料冊 日本電子工業振興會。再者，上述說明對於表示其他模擬結果之圖式亦同樣適用。

【0041】 再者，如圖4B所示，振動分佈之振動方向之X方向相當於結晶方位之X方向，振動分佈之振動方向之Y方向相當於結晶方位之Z'方向，振動分佈之振動方向之Z方向相當於結晶方位之Y'方向。此種振動方向與結晶方位之關係對於表示其他模擬結果之圖亦同樣適用。以下，若無特別明確說明，則以結晶方位之方向為基準進行說明。

【0042】 如圖4A及圖4B所示，水晶振動元件10之以主要沿X方向振動之厚度切變振動為主要振動之振動分佈具有沿水晶片11之Z'軸方向（短邊方向）呈帶狀延伸之振動區域40、及於水晶片11之X軸方向（長邊方向）上分別鄰接於振動區域40之兩側之非振動區域50a、50b。即，非振動區域50a與50b不相互鄰接。此處，於本發明中，所謂振動區域係指施加既定之振盪頻率（例如AT切割基本振盪頻率）之交變電場時藉由作為厚度切變振動之主要振動而於水晶片產生實質性移位之區域。又，於本發明中，所謂非振動區域係指藉由該主要振動使水晶片之振動區域振動時於水晶片未產生實質性移位之區域，並不限於完全無因振動產生之移位之區域，亦包括因振動產生之移位小於振動區域之區域。再者，作為非振動區域，較佳為移位量未達最大移位量之20~25%之區域。又，於俯視XZ'面時，振動區域40具有自水晶片11之與X軸平行之一長邊至同樣與X軸平行之另一邊為止連續之帶狀之形狀。再者，該振動區域40未到達水晶片11之與Z'軸平行之兩條短邊之任一者。而且，於俯視XZ'面時，振動區域40與非振動區域50a、50b鄰接之邊界並非直線，而具有山與谷交替地重複之波形狀。該波狀之邊界例如具有山之高度與谷之深度大致相等且為大致固定之週期之大致正弦波狀。此



時，以山與谷之中央部為基準時，谷之深度之大小相對於山之高度之大小之差較佳為 $\pm 25\%$ 以內。所謂振動區域40呈帶狀延伸，只要以某寬度沿某方向延伸即可，並不限定於在延伸方向上細長者，例如亦包含延伸方向之長度小於其寬度之態樣。

【0043】 此處，振動區域40之區域亦可於俯視XZ'面時與圖3之激勵電極14a、14b之區域實質上一致。於此情形時，振動區域40具有自激勵電極14a、14b之與X軸平行之一短邊至同樣與X軸平行之另一短邊為止連續之帶狀之形狀。又，振動區域40與非振動區域50a、50b鄰接之邊界如上所述般具有波形狀，但與激勵電極14a、14b之與Z'軸平行之長邊大致一致。

【0044】 圖4A表示於圖3之構成中主面之振動顯示最大移位之瞬間移位分佈。振動區域40係以最大移位之值為基準分割成四等份，劃分成3個振動區域與1個非振動區域，對振動區域使用不同影線表示。即，振動區域40具有：第1振動強度區域42、振動之移位量小於第1振動強度區域42之第2振動強度區域44a、44b、及振動之移位量小於第2振動強度區域44a、44b之第3振動強度區域46a、46b。於俯視XZ'面時，第2振動強度區域44a、44b於水晶片11之X軸方向（長邊方向）上分別鄰接於第1振動強度區域42之兩側。又，第3振動強度區域46a、46b係於水晶片11之X軸方向（長邊方向）上分別鄰接於第2振動強度區域44a、44b之不與第1振動強度區域42鄰接之側。換言之，振動區域40於在第1振動強度區域42之中央劃出與Z'軸平行之中央線時，以該中央線為基準具有線對稱之振動分佈。而且，為圖4A所示之最大移位量之0%~25%且為0 nm~85 nm之非振動區域50於水晶片11之X軸方向（長邊方向）上分別鄰接於第3振動強度區域46a、46b之不與第2振動強度區域44a、44b鄰接之側。於圖4所示之例中，第1振動強度區域42之移位量為最大移位量之75%~100%且約為255 nm~340 nm，第2振動強度區域44a、44b之移位量為最大移位量之50%~75%且為170 nm~255 nm，第



3振動強度區域46a、46b為最大移位量之25%~50%且為85 nm~170 nm。各振動強度區域於俯視XZ'面時，均具有自水晶片11之與X軸平行之一長邊至同樣與X軸平行之另一長邊為止連續之帶狀之形狀。再者，各振動強度區域未到達水晶片11之與Z'軸平行之兩條短邊之任一者。又，各振動強度區域相互鄰接之邊界並非直線，而係呈波狀蜿蜒。波狀之邊界例如呈大致正弦波狀。

【0045】 進而，振動區域40具有顯示最大移位量之90%以上之移位量之強振動區域（包含振動之頂點）。例如，如圖4A及圖4B所示，振動區域40中之第1振動強度區域42具有強振動區域。如圖4B所示，強振動區域具有位於水晶片11之正面（第1主面12a）之沿X軸方向延伸之一長邊、及自該長邊於Z'軸方向上相隔且對向之水晶片11之背面（第2主面12b）之沿X軸方向延伸之另一長邊之相互為反相位的第1分佈。該第1分佈係將具有沿水晶片11之X軸方向（長邊方向）之長軸之橢圓縱向對半分割之半橢圓狀之分佈。進而，強振動區域具有分別位於水晶片11之正面（第1主面12a）及背面（第2主面12b）之沿Z'軸方向並排配置之第2分佈。該第2分佈如圖4B所示般為具有沿水晶片11之X軸方向之長軸之大致橢圓狀之分佈。如此，圖4A之第1振動強度區域42沿Z'軸方向（短邊方向）具有複數個強振動區域。再者，於圖4A中圖示有包含複數個強振動區域之第1振動強度區域42之外緣。

【0046】 進而，如圖4D所示，基於模擬模型之Z軸方向（結晶方位之Y'軸方向）之移位成分之強振動區域具有結晶方位之X軸方向之一側一半與另一側一半相互為反相位之第3分佈。更具體而言，該強振動區域進而具有如下第3分佈，該第3分佈係以於水晶片之結晶方位之X軸方向中點向結晶方位之Z'軸方向延伸之中間線為基準，包含位於該中間線之X軸方向之一側且沿X軸方向排列之複數個一種分佈、及位於該中間線之X軸方向之另一側且沿X軸方向排列且與上述一分佈相互為反相位之複數個另一種分佈。



【0047】 此處，於本實施形態中，於將作為具有既定之結晶方位之三方晶系之壓電結晶的水晶材料進行AT切割而成之水晶片中，產生如下厚度切變振動模式，其係以厚度切變為主振動模式之圖4A及圖4B所示之與本發明中獲得之非振動區域之邊界成為波狀之沿第2方向呈帶狀分佈之新的厚度切變振動模式，且具有於正背面之對角位置之邊上振動相互成為反相位之強振動區域（包含振動之頂點或波腹）。以下，將本發明所包含之此種厚度切變振動模式稱為全幅厚度切變振動模式。於全幅厚度切變振動模式中，於背面之對角位置之邊上振動相互成為反相位之強振動區域較佳為將於X方向上較長地延伸之橢圓縱向對半分劃之半橢圓狀之分佈（參照圖4A～圖4E）。

【0048】 此處，一面參照圖27及圖28，一面對與習知例之對比進行說明。圖27係習知之厚度切變振動被封閉於水晶片之中央部之水晶振動元件。該習知例與圖4A之不同點在於：短邊方向之激勵電極之長度EW為0.554 mm，長度EW設置為小於圖4A；以及自水晶片之端面之間距設置為 $G/T=4$ 。即，圖27所示之水晶振動元件具備呈環狀設置於水晶片之外周之激勵電極之非形成區域、及位於呈環狀設置之激勵電極之非形成區域之內側且設置於水晶片之中央部之激勵電極之形成區域。圖28係圖27所示之習知之水晶振動元件之厚度切變振動模式下之振動分佈之模式圖。圖27表示具備存在於水晶片之中央部之振幅之波腹、及包圍振幅之波腹之全周之連續地延伸之振幅之波節的振動分佈。又，於俯視水晶片之正面時，存在於正背面之振幅之波腹位於相互重疊之位置。如圖28所示，於習知例之水晶振動元件中，於俯視XZ'面時，自水晶片之中央部朝向外側呈大致同心圓狀地存在因振動產生之移位最大之第1振動強度區域、於第1振動強度區域之周圍因振動產生之移位小於第1振動強度區域之第2振動強度區域、及於第2振動強度區域之周圍因振動產生之移位小於第1振動強度區域之第3振動強度區域。



【0049】 相對於此，本實施形態之全幅厚度切變振動模式不存在如圖27所示之習知之厚度切變振動模式之如呈環狀包圍水晶片之中央部般之厚度切變振幅之波節、或非振動區域。進而，如圖4A所示，於橫跨第2方向上對向之水晶片之兩端部間而呈帶狀分佈之振動區域內存在至少一個振幅之波腹。又，於俯視水晶片之正面時，存在於正背面之振幅之波腹位於不相互重疊之位置。因此，於本實施形態中，與圖28所示之習知之於在中央部之正背重疊之位置具有1個波腹之厚度切變振動模式相比，具有圖4A所示之振動分佈，因此可沿水晶片之Z'軸方向確保更大之振動區域。進而，於依存於由激勵電極夾著之水晶片之厚度T之厚度切變振動中，藉由使水晶片之X軸方向之長度L較激勵電極之X軸方向之長度EL以既定之比率增大，不僅可激發圖4A所示之存在於第1方向之全幅厚度切變振動模式，而且亦可激發如包含於第1方向上在振動區域內向第3方向移位之振動以複數個波數分佈之振動狀態之全幅厚度切變振動模式。又進而，若將水晶片之第1方向之長度L相對於長度EL之比率設定於既定範圍，則可將全幅厚度切變振動模式之沿Z'軸方向連續地延伸之振幅之波節配置於第1方向之水晶片之端部。因此，若於全幅厚度切變振動模式下之振幅之波節之位置由保持構件支持水晶片，則振動之洩漏及振動之阻礙等因支持所致之對全幅切變振動模式之影響減小。

【0050】 如上所述，於本實施形態中，可遍及水晶振動元件10之Z'軸方向（短邊方向），於厚度切變振動之振動分佈中選擇產生既定之本發明中所稱之全幅厚度切變振動，因此可獲得均勻之振動。因此，可提高DLD特性，又，可藉由確保振動區域40較寬而降低CI值且減小電容比 $\gamma$ 之值，因此可獲得良好之振動特性。

【0051】 其次，一面參照圖4C～圖4E，一面對第1變形例進行說明。於以下之說明中，對與上述內容不同之方面進行說明。於該變形例中，水晶振動元



件於呈在X方向上細長之板狀之方面與圖3為相同之構成，但於激勵電極之長邊方向與水晶片11之長邊方向一致並且激勵電極之短邊方向與水晶片11之短邊方向一致之方面不同於圖3。具體而言，於該變形例中，設為 $W=0.277\text{ mm}$ 、 $T=0.033\text{ mm}$ 、 $L=0.77\text{ mm}$ 、 $EL=0.44\text{ mm}$ 、 $T_{ex}=0.267\mu\text{m}$ ，且 $G/T=0$ ， $W/T=8.39$ 、 $L/T=23.7$ ， $EL/T=12.8$ 。圖4C係以模擬求出振動分佈之X方向成分（相當於結晶方位之X方向成分）之移位分佈之圖，圖4D係以模擬求出振動分佈之Z方向成分（相當於結晶方位之Y'方向成分）之移位分佈之圖，圖4E係以模擬求出振動分佈之Y方向成分（相當於結晶方位之Z'方向成分）之移位分佈之圖。由圖4C可知，表示振動之主要振動之X方向成分之移位分佈表示具有夾在位於水晶振動元件之X方向兩端之非振動區域之間且連結對向之長邊之振動區域的全幅厚度切變振動之移位分佈。又，於劃分為正最大值與負最小值之間之移位之10個階段時，表示顯示最大移位之負移位之最大絕對值之80%以上的負移位側之強振動區域之分佈狀態為，沿X方向較長地延伸之2個橢圓狀之分佈與將橢圓縱向對半分劃之半橢圓狀之分佈沿寬度方向排列。半橢圓狀之分佈係以中心位於長邊上，且沿長邊較長地延伸之方式分佈。此時，X方向成分之移位之最大值為 $5.668\mu\text{m}$ ，振動分佈之Z（厚度）方向成分之移位之最大值為 $0.603\mu\text{m}$ ，振動分佈之Y方向（寬度）成分之移位之最大值為 $0.966\mu\text{m}$ 。

【0052】 其次，一面參照圖5～圖8，一面對第2變形例進行說明。

【0053】 該水晶振動元件210具備具有第1部分240及第2部分250之台面形狀之水晶片。第1部分240具有以與圖3～圖4B中所說明之振動區域相同之方式沿Z'軸方向呈帶狀延伸之振動區域。於俯視XZ'面時，第2部分250設置於與作為振動區域之第1部分240之與Z'軸平行之一邊、及同樣與Z'軸平行之另一邊之各者相接之位置。水晶振動元件210於自XY'面觀察水晶振動元件之側面，具有由厚度為 $T_{ex1}$ 之第1激勵電極214a與厚度為 $T_{ex2}$ 之第2激勵電極214b夾著之水晶片之第1



部分240。第1部分240於XY'面之俯視下具有厚度為T之振動區域。又，第2部分250之厚度 $T_{pe}$ 薄於第1部分240之厚度T。如圖5所示，一對激勵電極214a、214b分別以覆蓋位於水晶片之X軸方向之中央部的第1部分240之振動區域之X軸方向之整個長度L1之方式沿X軸方向以長度EL設置，規定 $L1=EL$ 。

【0054】 圖6表示關於具有以厚度切變振動為主振動之振動模式之圖5所示之水晶振動元件210，滿足下式1、下式2，且於X軸方向之長度L1之振動區域使波數 $n=4$ 之振動模式激勵之情形時之振動之移位分佈。

【0055】 再者，將振動區域之水晶片之厚度設為T，將第1部分之X軸方向上之長度設為L1，將第1激勵電極之厚度 $T_{ex1}$ 及第2激勵電極之厚度 $T_{ex2}$ 之合計厚度設為 $T_{ex}$ ，將激勵電極之材料之比重設為 $\gamma_{ex}$ ，將水晶片之材料之比重設為 $\gamma_{xt}$ 。根據下式1，給出水晶振動元件之振動區域之有效厚度 $T_e$ ，其係在水晶片之厚度T之值上加上激勵電極之厚度 $T_e$ 乘以激勵電極之材料之比重 $\gamma_{ex}$ 相對於水晶片之材料之比重 $\gamma_{xt}$ 之比率所得之值而算出。將X軸方向之振動區域之波數設為n（n為自然數）。再者，於下式1、下式2中，激勵電極214a與激勵電極214b利用相同材料以相同厚度設置。

$$T_e = T + T_{ex} \cdot \gamma_{ex} / \gamma_{xt} \quad \cdot \cdot \cdot \text{式1}$$

$$L1 / T_e = 1.603 \cdot n - 0.292 \quad \cdot \cdot \cdot \text{式2}$$

由圖6之振動之移位分佈可知，於水晶振動元件210中，振動之移位被封閉於第1部分240之振動區域內，第2部分250之振動之移位充分小於第1部分240。

【0056】 圖7表示 $n=5$ 時以滿足式1及式2之方式形成之水晶振動元件212中之振動之移位分佈。由圖7之振動之移位分佈可知，於 $n=5$ 時，振動之移位亦被封閉於第1部分241之振動區域內，第2部分251之振動之移位充分小於第1部分241。

【0057】 圖8為比較例且表示 $n=4.5$ 時（即n並非自然數時）以滿足式1及



式2之方式形成之水晶振動元件214中之振動之移位分佈。由圖8之振動之移位分佈可知，於水晶振動元件中，振動之移位未被封閉於第1部分242之振動區域內，因此第2部分252之振動之移位大於圖6之第2部分250或圖7之第2部分251。

【0058】 此處，水晶振動元件被保持於保持器之密閉空間內部而使用（例如參照圖2）。一般而言，水晶振動元件係由設置於作為保持器之構成要素之基板上之導電性保持構件予以保持。因此，水晶振動元件之振動能量容易經由導電性保持構件向基板產生振動洩漏。因此，只要可於振動之移位實質上較小之部分由導電性保持構件支持水晶振動元件，則可減少向基板之振動洩漏。又，若振動之移位實質上較小之部分之面積較小，則無法確保導電性保持構件之保持面積，水晶振動元件之保持強度降低。其結果為，因跌落衝擊或經時變化而容易於水晶振動元件與導電性保持構件之間產生應力而產生龜裂或剝離。關於此點，圖6及圖7所示之本發明之實施形態與圖8所示之比較例相比，可於第2部分之大致全域配置非振動區域。由此，圖6及圖7所示之本發明之實施形態具有減少振動洩漏且減少於水晶振動元件與導電性保持構件之間產生之龜裂、剝離之效果。

【0059】 圖5表示第2部分250之全域之厚度薄於振動區域之第1部分240之厚度之例。

【0060】 再者，水晶振動元件之態樣並不限定於上述，作為下述第4變形例，亦可應用如圖10之構成，即，包括具有厚度T之第1部分243、於X軸方向上之第1部分243之兩端鄰接於第1部分243之第2部分253、及鄰接於第2部分253之與第1部分243相反之側之第3部分263，且第2部分253之厚度 $T_{pe}$ 薄於第1部分243之厚度T。於此情形時，第1部分243之厚度T與第3部分263之厚度 $T_{rm}$ 亦可相同。換言之，亦可應用如下構成，即，自側面觀察時，於與振動區域之X軸方向之兩端相接之部分具有厚度薄於其他部分之沿第2方向延伸之槽部（第2部分253）。



於此情形時，亦可將第2部分253設為非振動區域。再者，於圖10中，為了易於理解水晶片之尺寸，省略顯示作為以厚度 $T_{ex}$ 設置於水晶片之振動區域之一對激勵電極中之一者的設置於Y'軸正側之主面之激勵電極。

【0061】 於專利文獻2中揭示有如下問題，即，若使台面形狀之周邊部之厚度相對於振動區域之厚度變薄，則除厚度切變振動以外，亦容易激勵彎曲振動，其結果為，能量封閉效果降低，難以小型化。具體而言，於周邊部之厚度 $T_{pe}$ 與振動區域之厚度 $T$ 之比率為0.9之情形時，以與圖8之比較例相同之方式，振動能量自振動區域洩漏至第2部分。然而，藉由使用本發明之實施形態之變形例之構成，即便周邊部與振動區域之各厚度之比率 $T_{pe}/T$ 為0.9以上，亦可防止能量封閉效果之降低。

【0062】 作為又一變形例，圖5中表示有水晶片之形狀為台面形狀之構成，亦可採用具備具有振動區域之第1部分、及鄰接於X軸方向上之第1部分之兩端且與第1部分為相同厚度之第2部分之構成。換言之，如圖3所示，亦可以水晶片之形狀為直方體形狀之構成實施。於該構成之情形時，只要以滿足上式1且使振動區域產生之激勵電極之X軸方向之長度 $EL$ 與有效厚度 $Te$ 滿足下式3之方式規定即可。

$$EL/Te = 1.603 \cdot n - 0.292 \quad \dots \text{式3}$$

認為藉由該情形時之構成亦可獲得與圖5所示之構成相當之效果。

【0063】 圖9A及圖9B係表示第3變形例之圖，且係關於與圖5相同之台面形狀表示模擬結果者。第3變形例中之條件為 $W=0.277 \text{ mm}$ 、 $T=0.033 \text{ mm}$ 、 $L=0.77 \text{ mm}$ 、 $EL=0.44 \text{ mm}$ 、 $D=0.0012 \text{ mm}$ 、 $Lt=0.165 \text{ mm}$ 、 $T_{ex}=0.267 \text{ }\mu\text{m}$ ，且 $G/T=0$ 、 $W/T=8.39$ 、 $L/T=23.7$ 、 $EL/T=12.8$ 、 $T_{pe}/T=0.927$ 。

【0064】 圖10～圖11O係表示第4變形例之圖。圖10所示之水晶振動元件216具備具有厚度 $T$ 之第1部分243、於X軸方向上之第1部分243之兩端鄰接於第1



部分243之第2部分253、及鄰接於第2部分253之與第1部分243相反之側之第3部分263，且第2部分253薄於第1部分243。又，第1部分243與第3部分263之厚度相同。此種水晶振動元件216於例如一側之第3部分263由導電性保持構件保持於基板上。第4變形例中之條件為 $W=0.277\text{ mm}$ 、 $T=0.033\text{ mm}$ 、 $L=0.77\text{ mm}$ 、 $EL=0.44\text{ mm}$ 、 $D=0.0012\text{ mm}$ 、 $L_t=0.11\text{ mm}$ 、 $L_h=\text{約}0.055\text{ mm}$ 、 $T_{ex}=0.267\text{ }\mu\text{m}$ ，且 $G/T=0$ 、 $W/T=8.39$ 、 $L/T=23.7$ 、 $EL/T=12.8$ 。再者， $L_h$ 係藉由 $L_h=(L-EL-2L_t)/2$ 之關係式而算出。

【0065】 此處，一面參照圖11I～圖11O，一面對第4變形例之水晶振動元件之振動狀態進行說明。圖11I～圖11O係振動分佈之厚度方向正面側之模擬結果，且係表示使相位以大致 $45^\circ$ 為單位自相位 $0^\circ$ 偏移至大致 $225^\circ$ 為止時之振動狀態者。於各圖中，與圖11A同樣地，將移位之大小劃分為10個階段而表示，灰度越亮之顏色表示移位量越大。各圖之相位為近似值。再者，模型之各點之位置係與振動分佈之移位成比例地移位。

【0066】 圖11I係將於模擬結果之X方向之負側（畫面左側）移位變得最大之情形時之振動狀態設為相位 $0^\circ$ 而表示之圖。如圖11I所示，移位最大區域（圖11I之灰度最亮之區域）存在3個，具體而言，存在位於X方向之大致中央部之第1區域、第2區域及第3區域。第1區域位於Y方向之負側之長邊之位置，第2區域位於自第1區域向Y方向之正側離開之位置，第3區域位於自第2區域向Y方向之正側離開之位置。第1區域呈將於X軸方向具有長軸之橢圓縱向對半分割之半橢圓狀。又，第2區域及第3區域呈於X軸方向具有長軸之橢圓狀。圖11I所示之移位最大區域係顯示最大移位量90%以上之移位量之強振動區域。

【0067】 圖11J係表示相位大致 $45^\circ$ 之模擬結果之圖。於圖11J中，移位之最大值減小，對應於該減小，移位最大區域之位置向X方向正側移動，模型之點（網眼）與相位 $0^\circ$ 相同。振動之分佈傾向與相位 $0^\circ$ 類似。又，振動區域與非振動



區域之邊界之位置與相位 $0^{\circ}$ 大致相同。

【0068】 圖11K係表示相位大致 $90^{\circ}$ 之模擬結果之圖。隨著相位前進，進而移位之最大值減小並且移位最大區域之位置向X方向正側移動。又，振動區域之X方向之長度隨著相位自相位 $0^{\circ}$ 前進而逐漸變小，於相位大致 $90^{\circ}$ 時不再出現表面整體之移位。

【0069】 圖11L係表示相位大致 $135^{\circ}$ 之模擬結果之圖。若相位自相位大致 $90^{\circ}$ 前進，則再次出現振動區域，隨著相位前進，振動區域之X方向長度變大。於相位大致 $135^{\circ}$ 時，移位最大區域之位置出現於相位 $45^{\circ}$ 之與X方向相反之方向。

【0070】 圖11M係表示相位大致 $180^{\circ}$ 之模擬結果之圖。若相位自相位大致 $135^{\circ}$ 前進，則移位之最大值增加，於相位大致 $180^{\circ}$ 時，移位最大區域之位置出現於相位 $0^{\circ}$ 之與X方向相反之方向。圖11M中之移位最大區域係表示最大移位量90%以上之移位量之強振動區域。

【0071】 圖11N係表示相位大致 $225^{\circ}$ 之模擬結果之圖。若相位自相位大致 $180^{\circ}$ 前進，則移位之最大值減少，並且移位最大區域之位置移動至X方向負側。再者，移位最大區域之位置於相位 $0^{\circ}$ 、相位大致 $45^{\circ}$ 、相位大致 $135^{\circ}$ 、相位大致 $180^{\circ}$ 、相位大致 $225^{\circ}$ 之各者大致相同。

【0072】 圖11O係表示相位大致 $270^{\circ}$ 之模擬結果之圖。隨著相位前進，進而移位之最大值減小，並且移位最大區域之位置移動至X方向負側。又，振動區域之X方向之長度隨著相位自相位大致 $180^{\circ}$ 前進而逐漸減小，於相位大致 $270^{\circ}$ 時不再出現表面整體之移位。

【0073】 如以上所述，由振動之移位分佈之推移可知，本實施例之振動具有既定之位置始終成為移位極大點之波腹、波腹附近之移位成為半橢圓狀或橢圓狀之振動分佈、及於X方向之兩端始終成為最小移位點之波節，且具有駐波而使水晶振動元件進行振動。再者，最大移位點之位置於相位 $0^{\circ}$ 與大致 $180^{\circ}$ 看上去



波腹之位置不同，其原因在於，關於所產生之各方向之移位，對應於正負而使模型之各部之位置進行各方向之正負移位。

【0074】 圖12A～圖12D係表示比較例之圖。該比較例係相對於第4變形例變更水晶片之短邊之長度 $W$ 之數值者。即，比較例中之條件設為 $W=0.260\text{ mm}$ 、 $T=0.033\text{ mm}$ 、 $L=0.77\text{ mm}$ 、 $EL=0.44\text{ mm}$ 、 $D=0.0012\text{ mm}$ 、 $Lt=0.11\text{ mm}$ 、 $Lh=約0.055\text{ mm}$ 、 $Tex=0.267\text{ }\mu\text{m}$ ，且 $G/T=0$ 、 $W/T=7.88$ 、 $L/T=23.7$ 、 $EL/T=12.8$ 。

【0075】 <評價>

其次，對第1變形例、第3變形例、第4變形例及比較例進行評價。圖13係關於第1變形例、第3變形例、第4變形例及比較例比較振動狀態之曲線圖。於以下評價之說明中，以模擬模型之XYZ軸（相當於結晶方位之XZ'Y'軸）作為基準。

【0076】 圖13係以作為第1變形例之平板（無台面）之X方向成分（厚度切變之主振動方向）之最大振幅強度為基準，以比率表示Z方向成分之成分，又，以百分比表示Z成分相對於X成分之比率的圖。於圖13中，表示平板中之全幅厚度切變振動模式之振動分佈（第1變形例）、台面中之全幅厚度切變振動模式之振動分佈（第3變形例）、附支持台面中之全幅厚度切變振動模式之振動分佈（第4變形例）、附支持台面中之非全幅厚度切變振動模式之振動分佈。於第1變形例、第3變形例及第4變形例之水晶振動元件中，表示X方向成分之振幅成分之最大強度之絕對值之80%以上之強度的強振動區域呈沿Y方向（結晶方位之Z'方向）排列且於X方向上較長之橢圓狀之分佈，於俯視水晶片之主面時，強振動區域於正背之主面不重疊，相位反轉。

【0077】 根據圖13，藉由作為第3變形例之台面形狀，振動區域（台面凸部）之封閉狀態改善，與平板相比，X方向成分之振幅強度增加9%。另一方面，Z（厚度）方向成分自0.11增加至0.14。作為其主要原因，認為模擬之模型係假定對水晶片進行蝕刻加工，使階差部不為直角，考慮由結晶方位產生之蝕刻之



各向異性，使傾斜於正主面之階差之X方向正側為55度、於負側為33度，成為於X方向上非對稱形狀之形狀，因此，藉由振動之非對稱性，作為X方向之厚度切變振動之副振動，激發Z（厚度）方向之振動。

【0078】 又，藉由作為第4變形例之附支持台面，振動區域（台面凸部）之封閉狀態改善，與平板相比，X方向成分之振幅強度增加8%。又，認為藉由增厚作為第3部分263（參照圖10）之支持部（非振動部）之厚度，提高階差部之形狀之對稱性，而使Z方向成分之振動強度減少。另一方面，雖然使支持部之厚度變厚而使質量增加，但是X方向成分之振動強度為1.08，較平板增加8%，自質量較小之台面之X方向成分之振動強度1.09僅略微地減少0.01。

【0079】 又，於作為比較例之附支持台面中，振動區域（台面凸部）之封閉狀態降低，與平板相比，X方向成分之振幅強度降低6%。進而，作為X方向之厚度切變振動之副振動，激發Z（厚度）方向成分之振動，又，Z（厚度）方向成分之振動強度大幅地增加為0.45，Z（厚度）方向成分相對於X方向成分之比率增加為47.6%。認為其原因在於，X方向之彎曲振動未被封閉於厚度切變之振動區域，除於X方向成分具有主要振動之厚度切變振動以外，於Z方向（厚度）成分具有主要振動之彎曲振動未被封閉於台面突起部，向厚度切變振動之能量之集中度降低。

【0080】 進而，為了對附支持台面評價向支持部之振動洩漏，求出設置於水晶片之第1方向之兩端之厚壁部支持部(凸緣部)之最大移位相對於振動區域內之最大移位之比率（未圖示）。於第4變形例之情形時成為0.03，於作為比較例之並非全幅厚度切變振動之單純之厚度切變振動（ $W/T=7.88$ ）之情形時成為0.17。由此，藉由實施全幅厚度切變振動，與單純之厚度切變振動相比，於水晶片之激勵電極之寬度方向之兩側未設置非振動區域，且可獲得能夠減少自振動區域之振動洩漏之效果。



【0081】 其次，參照圖14對水晶振動元件60之第5變形例進行說明。以下，對與上述內容之不同點進行說明。

【0082】 該水晶振動元件60具有：水晶片61、設置於作為水晶片61之主面之第1面62a（正面）之第1激勵電極64a、及設置於作為水晶片61之與第1面62a對向之主面之第2面62b（背面）之第2激勵電極64b。

【0083】 於該例中，於俯視XZ'面時，Z'軸正方向側之第1激勵電極64a之短邊自Z'軸正方向側之水晶片61之長邊具有間隙而設置。又，Z'軸負方向側之第1激勵電極64a之短邊自Z'軸負方向側之水晶片61之長邊具有間隙而設置。

【0084】 又，第2激勵電極64b亦同樣地，於俯視XZ'面時，Z'軸正方向側之第2激勵電極64b之短邊自Z'軸正方向側之水晶片61之長邊具有間隙而設置。又，Z'軸負方向側之第2激勵電極64b之短邊自Z'軸負方向側之水晶片61之長邊具有間隙而設置。

【0085】 即，第1激勵電極64a之兩側之短邊於水晶片61之第1面62a上自水晶片61之兩側之長邊分別具有間隙而設置。而且，另一方面，第2激勵電極64b之兩側之短邊於水晶片61之第2面62b上自水晶片61之兩側之長邊分別具有間隙而設置。該等間隙之大小G例如為 $0 < G \leq 20 \mu\text{m}$ 。再者，距X方向之側面之稜線之間隙之大小G較佳為藉由第1激勵電極64a與第2激勵電極64b間之交變電場對水晶片61之Z'軸方向之側面施加電場之範圍內。

【0086】 間隙之大小G較佳為於激勵電極之一邊大致相同。又，於第1激勵電極64a之一邊與另一邊，間隙之大小G較佳為大致相同，關於第2激勵電極64b，亦於一邊與另一邊，間隙之大小G較佳為大致相同。再者，作為變形例，間隙之大小G亦可於激勵電極之一邊局部地不同。又，亦可於第1激勵電極64a及第2激勵電極64b中之任一激勵電極之一邊與另一邊互不相同。

【0087】 於本變形例中，產生以施加既定之振盪頻率、例如AT切割基本



振盪頻率之交變電場時之厚度切變振動作為主要振動之振動模式，其振動分佈與基於圖4A所說明之內容本質上相同。又，於本變形例中，亦以與圖4A所示之振動區域40相同之方式，於俯視XZ'面時，沿水晶片61之Z'軸方向呈帶狀延伸，且延伸至較圖14所示之第1激勵電極64a及第2激勵電極64b之兩側之短邊進而更外側。即，圖14之第1激勵電極64a及第2激勵電極64b之振動區域具有自水晶片61之與X軸方向平行之一長邊至同樣與X軸方向平行之另一長邊為止連續之帶狀之形狀。但是，於本變形例中，亦沿水晶片61之X軸方向於振動區域之兩側鄰接有圖4A所示之非振動區域50a、50b。

【0088】 再者，於水晶片61中形成有經由引出電極65a電性連接於第1激勵電極64a之連接電極66a、及經由引出電極65b電性連接於第2激勵電極64b之連接電極66b之情況如已說明般。

【0089】 如以上所述，於本實施形態之變形例中，由於沿水晶片61之Z'軸方向產生全幅厚度切變振動模式，故而亦可獲得良好之振動特性。

【0090】 <第2實施形態>

其次，一面參照圖15及圖16，一面對本發明之第2實施形態之水晶振動子2進行說明。此處，圖15係水晶振動子2之分解立體圖，圖16係圖15之XVI-XVI線剖面圖。於本實施形態中，水晶振動子2之封裝之態樣與第1實施形態不同，水晶振動元件110中之水晶片102、第1激勵電極114a及第2激勵電極114b之形狀、尺寸及兩者之位置關係可應用與第1實施形態相同之構成。以下，對與第1實施形態之內容之不同點進行說明。

【0091】 如圖15所示，本實施形態之水晶振動子2具備水晶振動元件110、第1基板120、及第2基板130。

【0092】 於本變形例中，第1及第2基板120、130係用以收容水晶振動元件110之水晶片102之殼體或封裝體。水晶振動元件110、第1基板120及第2基板130



於XZ'平面分別具有大致相同之尺寸及形狀（矩形形狀）。於採用晶圓級晶片尺寸封裝（Wafer Level Chip Size Package，以下稱為「WLCSP」）等直接以晶圓狀態進行至水晶片之封裝為止之製法之情形時，對由相當於第1基板120之晶圓、相當於水晶振動元件110之晶圓及相當於第2基板130之晶圓所構成之3層構造總括地進行加工，使用晶圓切割機分割成各個水晶振動子1而進行製造。因此，水晶振動元件110、第1基板120及第2基板130具有實質上相同之尺寸及形狀。

【0093】 水晶振動元件110具備水晶片102、包圍水晶片102之外周之框體104、及連結水晶片102與框體104之連結構件118a、118b。框體104係用以支持水晶片102之支持體之一例。水晶片102、框體104及連結構件118a、118b均由具有既定之結晶方位之水晶材料所形成，例如由AT切割之水晶材料所形成。

【0094】 水晶振動元件110之Y'軸方向上之厚度並無特別限定，如例如圖16所示，水晶片102、框體104及連結構件118a、118b之厚度亦可完全相同。或者，作為類似於台面構造之構成，為了實現振動能量之封閉性之提高，亦可使連結構件118a、118b之厚度薄於水晶片102。

【0095】 水晶振動元件110具有X軸方向之長邊、Z'軸方向之短邊、及Y'軸方向之厚度。於圖15所示之例中，連結構件118a、118b均配置於水晶片102之X軸方向側之長邊之一端。水晶片102自框體104相隔而設，兩者藉由連結構件118a、118b而連結。再者，於圖1所示之例中表示有配置於長邊之一端側之2個連結構件，但連結構件之個數或其配置等並無特別限定。例如，連結構件可應用配置於長邊之一端側之1個連結構件，或者亦可將2個連結構件之一者配置於長邊之一端側，將另一者配置於長邊之另一端側。

【0096】 水晶振動元件110具有角之一部分呈圓筒曲面狀切斷而形成之切口側面108a、108b、108c、108d。又，同樣地，於第1基板120亦形成有切口側面122a、122b、122c、122d，於第2基板130亦形成有切口側面132a、132b、132c、



132d。此種切口側面係伴隨著採用WLCSP等直接以晶圓狀態進行至封裝為止之製法而形成。於此情形時，水晶振動元件110、第1基板120及第2基板130之切口側面之中，例如切口側面108a、122a、132a分別與Y'軸方向一致地形成。再者，切口側面之形狀可為圓筒曲面狀以外之形狀，或者亦可不具有此種切口。

【0097】 於水晶片102之正背面分別形成有第1及第2激勵電極114a、114b。第1激勵電極114a設置於水晶片102之第1面112a（正面），另一方面，第2激勵電極114b設置於水晶片102之與第1面112a對向之第2面112b（背面）。第1及第2激勵電極114a、114b作為一對電極於俯視XZ'平面之情形時以隔著水晶片102而大致整體重疊之方式配置。各激勵電極114a、114b於XZ'平面呈矩形形狀，例如亦可如圖15所示，以激勵電極之長邊與水晶片102之短邊平行並且激勵電極之短邊與水晶片102之長邊平行之方式設置。

【0098】 於框體104之第1面111a，形成有電性連接於第1激勵電極114a之引出電極115a。引出電極115a自第1激勵電極114a通過一連結構件118a被引出後，通過框體104之第1面111a上，朝向切口側面108a被引出，而電性連接於形成於框體104之第2面111b之連接電極116a。另一方面，於框體104之第2面111b，形成有電性連接於第2激勵電極114b之引出電極115b。引出電極115b自第2激勵電極114b通過另一連結構件118b被引出後，通過框體104之第2面111b，朝向角之切口側面108b延出，而電性連接於形成於框體104之第2面111b之連接電極116b。如此，於圖10所示之例中，電性連接於第1及第2激勵電極114a、114b之連接電極116a、116b配置於框體104之對向之角。

【0099】 再者，電性連接於第1及第2激勵電極114a、114b之連接電極116a、116b之配置並無特別限定，例如亦可配置於框體104之X軸負方向側之2個角、即切口側面108d、108b。

【0100】 第1及第2激勵電極114a、114b、引出電極115a、115b、連接電極



116a、116b例如亦可由鉻（Cr）層形成基底，並於鉻層之表面形成金（Au）層，其材料並無限定。

【0101】 第1基板120配置於水晶片102之第1面112a側。又，第2基板130配置於水晶片102之第2面112b側。即，第1基板120、水晶振動元件110及第2基板130依此順序積層，形成3層構造。第2基板130具有搭載水晶振動元件110之搭載面、及與搭載面對向且與外部電性連接之安裝面。

【0102】 於第2基板130之安裝面，於各角形成有外部電極134a、134b、134c、134d。若水晶振動元件110搭載於第2基板130，則外部電極134a經由連接電極116a及引出電極115a而電性連接於第1激勵電極114a。藉此，外部電極134b經由連接電極116b及引出電極115b而電性連接於第2激勵電極114b。剩餘之外部電極134c、134d亦可為不與第1及第2激勵電極114a、114b中之任一者電性連接之虛設電極。虛設電極之詳細情況如已說明般。

【0103】 再者，於圖15所示之例中，電性連接於第1及第2激勵電極114a、114b之外部電極134a、134b配置於第2基板130之對向之角，但並不限定於此，亦可配置於其他角。又，於在第2基板130之各角形成圓筒曲面狀之切口側面之情形時，各外部電極亦可於對應之各角，以自第2基板130之安裝面到達切口側面之方式延出。

【0104】 外部電極134a～134d例如由鉻（Cr）或金（Au）等形成。其形成方法係使用濺鍍法或鍍覆法。再者，於本實施形態中表示由4個外部電極所構成之四端子構造，但外部電極之數量並無特別限定，例如亦可應用由2個外部電極所構成之二端子構造。

【0105】 第1及第2基板120、130為平板之基板。又，第1及第2基板120、130之材質可由玻璃（例如矽酸鹽玻璃、或以矽酸鹽以外作為主成分之材料且藉由升溫而具有玻璃轉移現象之材料）構成，或者亦可由與水晶振動元件110為相



同材質之水晶（例如AT切割水晶）構成。

【0106】 如圖15及圖16所示，第1基板120經由第1接合材140而接合於框體104之第1面111a之全周，另一方面，第2基板130經由第2接合材142而接合於框體104之111b之全周。藉由將第1及第2接合材140、142設置於框體104之各面之全周，水晶片102被密封密閉於內部空間（空腔）123。第1及第2接合材140、142只要可接合各構件之接合面彼此並且以形成內部空間之方式密封密閉即可，其材料並無限定。第1及第2接合材140、142例如亦可為低熔點玻璃（例如鉛硼酸系或錫磷酸系等）等玻璃接著材料，或者亦可使用樹脂接著劑。

【0107】 本實施形態之水晶振動元件110中之水晶片102與第1激勵電極114a及第2激勵電極114b之構成可應用上述第1實施形態所說明之內容（參照圖1～圖14）。根據本實施形態之水晶振動子2，由於沿水晶片102之Z'軸方向產生全幅厚度切變振動模式，故而可獲得良好之振動特性。

#### 【0108】 <第3實施形態>

一面參照圖17及圖18，一面對本發明之一實施形態之水晶振動子進行說明。此處，圖17係水晶振動子之分解立體圖，圖18係圖17之XVIII-XVIII線剖面圖。再者，於圖18中，省略水晶振動元件之各種電極之圖示。

【0109】 以下，對本實施形態之水晶振動子之構成進行說明。以下，只要不與第1及第2實施形態中所說明之內容矛盾，則可適當選擇性地應用該等中所說明之內容。

【0110】 如圖17所示，本實施形態之水晶振動子1001具備水晶振動元件1100、頂蓋1200、及基板1300。頂蓋1200及基板1300係用以收容水晶振動元件1100之保持器（殼體或封裝體）。

【0111】 水晶振動元件1100包含水晶片1110、及分別設置於水晶片1110之正背面之激勵電極1120、1130（以下亦稱為「第1及第2激勵電極1120、1130」）。



第1激勵電極1120設置於作為水晶片1110之主面之第1面1112（正面）。第2激勵電極1130設置於作為水晶片1110之與第1面1112對向之主面之第2面1114（背面）。

【0112】 關於水晶片1110之結晶構造或切角等之構成，可應用第1實施形態中所說明之水晶片11之內容。於圖17所示之例中，水晶片1110為AT切割之水晶片。AT切割之水晶片1110具有與X軸平行之長邊、與Z'軸平行之短邊、及與Y'軸平行之厚度。再者，以下，有時亦將長邊稱為長邊方向，將短邊稱為短邊方向，及將厚度稱為厚度方向。又，AT切割之水晶片1110於XZ'面之俯視下呈長方形狀。

【0113】 本實施形態之水晶片並不限定於上述構成，例如亦可應用具有與Z'軸平行之長邊、及與X軸方向平行之短邊之AT切割水晶片。或者，只要主要振動為厚度切變振動模式，則例如亦可為BT切割等AT切割以外之不同切割之水晶片。

【0114】 第1激勵電極1120形成於水晶片1110之第1面1112（Y'軸正方向側之XZ'面），又，第2激勵電極1130形成於水晶片1110之與第1面1112相反之第2面1114（Y'軸負方向側之XZ'面）。第1及第2激勵電極1120、1130作為一對電極於俯視XZ'面之情形時以隔著水晶片1110而大致整體重疊之方式配置。第1及第2激勵電極1120、1130於XZ'面呈長方形狀。又，以激勵電極之長邊與水晶片1110之長邊平行並且激勵電極之短邊與水晶片1110之短邊平行之方式設置。再者，水晶片1110及各激勵電極1120、1130之各構成之詳細情況於下文進行敘述。

【0115】 於水晶片1110，形成有經由引出電極1122而電性連接於第1激勵電極1120之連接電極1124、及經由引出電極1132而電性連接於第2激勵電極1130之連接電極1134。具體而言，引出電極1122於第1面1112自第1激勵電極1120朝向X軸負方向側短邊引出，進而通過水晶片1110之X軸負方向側之側面，連接於形成於第2面1114之連接電極1124。另一方面，引出電極1132於第2面1114自第2激



勵電極1130朝向X軸負方向側短邊引出，連接於形成於第2面1114之連接電極1134。連接電極1124、1134沿X軸負方向側之短邊配置，該等連接電極1124、1134經由下述導電性保持構件1340、1342而與基板1300實現電性導通並且機械地保持於基板1300。再者，於本實施形態中，連接電極1124、1134及引出電極1122、1132之配置或圖案形狀並無限定，可考慮與其他構件之電性連接而適當變更。

【0116】 第1及第2激勵電極1120、1130、引出電極1122、1132、連接電極1124、1134例如亦可由鉻（Cr）層形成基底，並於鉻層之表面形成金（Au）層，其材料並無限定。

【0117】 如圖18所示，頂蓋1200具有與基板1300之第1面1302對向地開口之凹部1204。於凹部1204，遍及開口之全周，設置有以自凹部1204之底面豎立之方式形成之側壁部1202，側壁部1202具有與基板1300之第1面1302對向之端面1205。

【0118】 頂蓋1200之材質並無特別限定，例如亦可由金屬構成。據此，可藉由使頂蓋1200電性連接於接地電位而附加屏蔽功能。或者，所謂頂蓋1200亦可為絕緣材料或金屬、絕緣材料之複合構造。

【0119】 再者，作為變形例，頂蓋1200亦可具有自側壁部1202進而向開口外方向突出之凸緣部。據此，藉由將凸緣部與基板1300接合，可增大兩者之接合面積，因此可實現兩者之接合強度之提高。

【0120】 於基板1300之第1面1302（上表面），搭載水晶振動元件1100。於圖17所示之例中，基板1300具有與X軸平行之長邊、與Z'軸平行之短邊、及與Y'軸平行之厚度，於XZ'面呈長方形狀。基板1300例如可由絕緣性陶瓷形成，例如可藉由將複數個絕緣性陶瓷片材積層並進行煅燒而形成。或者，基板1300亦可由玻璃材料、水晶材料或玻璃環氧樹脂等形成。基板1300較佳為由耐熱性材料構成。基板1300可為單層，亦可為多層，於多層之情形時，亦可於第1面1302之



最表層形成絕緣層。又，基板1300可呈平板狀，或者亦可呈朝與頂蓋1200對向之朝向開口之凹狀。如圖15所示，藉由頂蓋1200及基板1300之兩者經由接合材1350接合，水晶振動元件1100被密閉於由頂蓋1200之凹部1204與基板1300所包圍之內部空間（空腔）1206內。

【0121】 接合材1350遍及頂蓋1200及基板1300之各全周而設置，介置於頂蓋1200之側壁部1202之端面1205與基板1300之第1面1302之間。接合材1350由絕緣性材料構成。作為絕緣性材料，例如可為玻璃材料（例如低熔點玻璃），或者亦可為樹脂材料（例如環氧系樹脂）。該等絕緣性材料之熔點較金屬材料低，且成本低。因此，藉由將該等絕緣性材料用於接合材1350，可抑制頂蓋1200與基板1300之接合步驟中之加熱溫度，又，可實現水晶振動子之低成本化。

【0122】 於圖18所示之例中，水晶振動元件1100係其一端（導電性保持構件1340、1342側之端部）為固定端，其另一端成為自由端。再者，作為變形例，水晶振動元件1100亦可於長邊方向之兩端固定於基板1300。

【0123】 如圖17所示，基板1300包含形成於第1面1302之連接電極1320、1322、及自連接電極1320、1322朝向第1面1302之外緣引出之引出電極1320a、1322a。連接電極1320、1322以水晶振動元件1100可配置於基板1300之第1面1302之大致中央之方式配置於基板1300之較外緣靠內側處。

【0124】 於連接電極1320，經由導電性保持構件1340連接水晶振動元件1100之連接電極1124，另一方面，於連接電極1322，經由導電性保持構件1342連接水晶振動元件1100之連接電極1134。

【0125】 引出電極1320a自連接電極1320朝向基板1300之任一個角部引出，另一方面，引出電極1322a自連接電極1322朝向基板1300之另一個角部引出。又，於基板1300之各角部形成有複數個外部電極1330、1332、1334、1336。於圖17所示之例中，引出電極1320a連接於形成於Z軸負方向及X軸負方向側之



角部之外部電極1330，另一方面，引出電極1322a連接於形成於Z'軸正方向及X軸正方向側之角部之外部電極1332。又，如圖17所示，亦可於剩餘之角部亦形成外部電極1334、1336。該等外部電極亦可用作已說明之虛設電極。於此情形時，亦可藉由於作為虛設電極之外部電極1334、1336電性連接由導電性材料所構成之頂蓋1200，而對頂蓋1200附加屏蔽功能。

【0126】 於圖17所示之例中，基板1300之角部具有其一部分呈圓筒曲面狀切斷而形成之切口側面，外部電極1330、1332、1334、1336遍及第1面1302、切口側面及第2面1304連續地形成。再者，基板1300之角部之形狀並不限定於此，亦可為切口之形狀為平面狀，還可為無切口而於俯視時四角為直角之矩形形狀。

【0127】 再者，基板1300之連接電極、引出電極及外部電極之各構成並不限定於上述例，可多樣地變形而應用。例如，連接電極1320、1322亦可一者形成於X軸正方向側，另一者形成於X軸負方向側等，於基板1300之第1面1302上配置於互不相同之側。於此種構成中，水晶振動元件1100於長邊方向之一端及另一端之兩者支持於基板1300。又，關於外部電極之個數或配置、虛設電極之有無、外部電極與連接電極之電性連接態樣，可應用已說明之內容。

【0128】 於如圖17所示之水晶振動子1001中，藉由經由外部電極1330、1332對水晶振動元件1100中之一對第1及第2激勵電極1120、1130之間施加交流電壓，水晶片1110以厚度切變為主振動模式進行振動，可獲得伴隨著該振動之共振特性。

【0129】 其次，一面參照圖19～圖21，一面對圖17所示之水晶振動元件進一步進行詳細敘述。圖19係表示圖17所示之水晶振動元件中之水晶片及其第1面上之激勵電極之圖（為方便說明起見，省略了引出電極及連接電極之圖示）。圖20A及圖20B係用以說明水晶振動元件之特性之曲線圖。圖21係表示水晶振動元件之等效電路之圖。



【0130】 如圖19所示，於Z'軸正方向側，激勵電極1120之長邊緣1120a與水晶片1110之Z'軸正方向側之長邊緣1112a平行，又，於將激勵電極1120之長邊緣1120a與水晶片1110之長邊緣1112a之間之距離設為G，將水晶片1110中之各激勵電極1120、1130之間之厚度設為T之情形時，具有

$$0.0002 \leq G/T \leq 0.5$$

之關係。換言之，激勵電極1120之長邊緣1120a較水晶片1110之長邊緣1112a向內側隔開距離G，該距離G相對於水晶片1110之厚度T具備上述關係式。

【0131】 據此，水晶片1110之各主面之緣有於製造製程中容易受到損傷而導致材質發生變化之虞，因此藉由設定上述關係式之下限，可抑制因此種損傷所致之振動特性之劣化。另一方面，若使距離G過大，則會擴大無助於振動之無效面積，因此藉由設定上述關係式之上限，可實現水晶振動元件之小型化並且實現確保激勵電極之有效面積。

【0132】 又，可知若水晶振動元件之等效電路之電容比較小，則可獲得良好之振動特性。即，已知如圖21所示，於等效串聯電阻R1、等效串聯電容C1、等效電感L1串聯連接，且等效並聯電容CO並聯連接之水晶振動元件之等效電路中，若該電容比 $CO/C1=\gamma$ 較小，則可增大水晶振動元件之頻率感度。

【0133】 關於此點，若嘗試使用圖20A及圖20B來觀察G/T與電容比 $\gamma$ 之關係，則可知如圖20A所示，於 $G/T=0.5$ 附近具有電容比 $\gamma$ 之增加率變大之臨界點，另一方面，可知如圖20B（表示圖20A中G/T為零附近之範圍之圖）所示，於G/T未達0.0002且接近於0.0001之附近，亦以電容比 $\gamma$ 變大之方式變動。即，可知藉由G/T具有上述關係式，可減小電容比 $\gamma$ 。而且，藉由減小電容比 $\gamma$ ，可增大水晶振動元件之頻率感度，如此可提高水晶振動元件之頻率控制性而獲得良好之振動特性。進而，若自水晶片之端面起於G/T未達0.0002之範圍設置激勵電極，則不僅受到電容比 $\gamma$ 之變動之影響，亦受到水晶片之端面形狀不穩定之影響。因



此，較佳為以 $G/T$ 成為0.0002以上之方式將激勵電極設置於水晶片。

【0134】 又，如圖20A所示，由於在 $G/T=0.2$ 附近（0.2與0.3之間）亦存在電容比 $\gamma$ 之增加率變大之臨界點，故而進而更佳為具有

$$G/T \leq 0.2$$

之關係。

又進而，若具有 $0.0002 \leq G/T \leq 0.2$ 之關係，則電容比 $\gamma$ 較小，且可穩定地設定，因此最佳。

【0135】 再者，以上所說明之關於 $G/T$ 之關係式對於 $Z'$ 軸負方向側之激勵電極1120之長邊緣1120b與水晶片1110之 $Z'$ 軸負方向側之長邊緣1112b之關係亦同樣適用。又，於上述中，對水晶片1110之第1面1112之激勵電極1120進行了說明，但對於水晶片1110之第2面1114側之長邊亦同樣適用。再者，對水晶片1110之長邊側應用上述關係式之原因在於，距離相對較長之長邊相較於短邊對水晶振動元件之振動特性所造成之影響更大。

【0136】 又，若將水晶片1110之短邊之寬度設為 $W$ ，則亦可進而具有

$$W/T \leq 10.2$$

之關係。以下，對該關係式之技術意義進行說明。

【0137】 於水晶振動元件中，除主振動以外，亦產生因形狀、尺寸所致之寄生（無用振動）引起之共振。該因寄生引起之共振於阻抗曲線中以或大或小之凹陷（凹處）之形式出現。若於主振動附近存在凹陷，則有振盪頻率偏移、或因共振電阻增加而導致相對於振盪之裕度降低等對水晶振動元件造成不良影響之可能性。此處，於如本實施形態之矩形狀之水晶振動元件中，於將短邊之寬度設為 $W$ 、將水晶片之厚度設為 $T$ 之情形時，寄生為與 $W/T$ 相關之寬度振動，作為多次模式大量存在。將此種寄生稱為寬度寄生。若嘗試於主振動附近觀察寬度寄生，則於 $W$ 較小之情形時，如圖22A所示，寬度寄生之頻率間隔變大，另



一方面，於W較大之情形時，如圖22B所示，寬度寄生之頻率間隔變小。進而，若嘗試觀察相對於溫度變化之變動，則於AT切割之水晶片中，主振動例如伴隨著0°C至50°C之溫度變化而呈三次函數地變化，更具體而言於10 ppm左右之範圍變動，另一方面，寬度寄生以值變小之方式呈一次函數地變化，更具體而言變動約1.0%。若如此自相對於溫度變化之寬度寄生觀察，則可相對忽略主振動之變動。

【0138】 參照圖23，對相對於溫度變化之寄生振動之影響較少之W/T進行說明。此處，圖23係將橫軸設為W/T、將縱軸設為 $\Delta F/\Delta P$ （寄生密度）之曲線圖。再者，溫度變化之條件設為作為電子機器之主要使用溫度之0°C至50°C。

【0139】 對圖23具體地說明。首先，藉由有限元素法解析，於常溫下使W/T變動，研究主振動前後之頻率下之寬度寄生之產生頻率及個數，算出鄰接之寄生間之平均頻率間隔 $\Delta P$ （MHz）。又，作為一條件，於頻率37.4 MHz下選取W=430（W/T=10.35）者，進行使頻率溫度自0°C變化為50°C之解析。根據該解析結果，關於主振動前後之10個寬度寄生，計算自0°C至50°C變化時之寄生之變動量，算出其平均值 $\Delta F$ （MHz）。即，於各W/T中，寬度寄生之頻率根據溫度變化具有 $\Delta F$ 之變動幅度。而且，若夾著主振動之2個寬度寄生之頻率間隔 $\Delta P$ 小於 $\Delta F$ ，則有相對於溫度變化，鄰接之寬度寄生之至少一者橫截主振動之可能性。如此，於各W/T中，若鄰接之寬度寄生之頻率間隔 $\Delta P$ 相對於 $\Delta F$ 較小，則無法避免橫截主振動之寬度寄生之可能性變大，視情形有寬度寄生橫截複數個而使特性急遽劣化之可能性。因此，如圖23所示，於 $\Delta F/\Delta P \leq 1$ 、即鄰接於主振動之2個寬度寄生之間隔小於與自0°C至50°C變化之變動幅度一致之W/T之區域（即，如圖23所示，W/T $\leq 10.2$ ），可實現寬度寄生不會橫截主振動之設計、詳細而言為主振動之激勵頻率與寬度寄生之頻率不一致之設計之可能性提高，更小者橫截之風險更小。再者，寬度寄生之位置亦可藉由對水晶片實施斜面或凸面加工



而略微地變動。因此，於 $W/T \leq 10.2$ 時，藉由進而實施斜面或凸面加工而模擬性地減小寬度尺寸，藉此亦可進一步減少寬度寄生橫截主振動之風險。

【0140】 再者，水晶片1110之各長邊之長度L根據所需之振動特性等適當選擇即可。

【0141】 根據本實施形態，水晶片1110之長邊緣1112a與激勵電極1120之長邊緣1120a之間之距離G和水晶片1110中之各激勵電極1120、1130之間之厚度T之關係滿足上述關係式，因此如已說明般可獲得良好之振動特性。

【0142】 本發明可不限定於上述實施形態而進行各種變形而應用。再者，於以下說明中，說明與上述內容之不同點，對與上述內容相同之構成於圖中標註相同之符號。

【0143】 一面參照圖24～圖26，一面對本實施形態之變形例之水晶振動元件進行說明。於以下各變形例中，水晶片之構成均與上述內容不同。

【0144】 圖24係用以說明第1變形例之水晶振動元件之圖，於該例中具備於所謂長邊方向採用台面構造之水晶片。

【0145】 本變形例之水晶振動元件1400之水晶片1410具有激勵電極1420、1430相互重疊之振動部1402、及連接於振動部1402且形成為薄於振動部1402之薄壁端部1404、1406。水晶片1410係與圖17所示之例同樣地具有與X軸平行之長邊及與Z'軸平行之短邊，薄壁端部1404、1406設置於水晶片1410之長邊延伸之方向之兩端。又，激勵電極1420形成於作為振動部1402之一主面之第1面1412，另一方面，激勵電極1430形成於作為振動部1402之另一主面之第2面1414。振動部1402之第1及第2面1412、1414均形成為於與X軸方向平行之方向較長之長方形狀。

【0146】 於本變形例中，亦於Z'軸正方向側，激勵電極1420之長邊緣1420a與水晶片1410之Z'軸正方向側之長邊緣1412a平行，又，於將激勵電極1420之長



邊緣1420a與水晶片1410之長邊緣1412a之間之距離設為G，將水晶片1410中之各激勵電極1420、1430之間之厚度設為T之情形時，具有已說明之G/T之關係式。再者，關於G/T之關係式對於Z'軸負方向側之激勵電極1420之長邊緣1420b與水晶片1410之X軸負方向側之長邊緣1412b之關係亦同樣適用。又，G/T之關係式對於水晶片1410之激勵電極1430側之長邊亦同樣適用。

【0147】 根據本變形例，水晶片1410於長邊方向之兩端具有形成為厚度薄於振動部1402之薄壁端部1404、1406，因此如已說明般可獲得良好之振動特性，並且亦具有振動能量封閉性優異等台面型構造特有之作用效果。

【0148】 圖25係用以說明第2變形例之水晶振動元件之圖，於該例中具備於所謂短邊方向採用台面構造之水晶片。

【0149】 本變形例之水晶振動元件1500之水晶片1510具有激勵電極1520與未圖示之Y'軸負方向側之激勵電極相互重疊之振動部1502、及連接於振動部1502且形成為薄於振動部1502之薄壁端部1504、1506。水晶片1510係與圖17所示之例同樣地具有與X軸平行之長邊及與Z'軸平行之短邊，薄壁端部1504、1506設置於水晶片1510之短邊延伸之方向之兩端。又，激勵電極1520形成於作為振動部1502之一主面之第1面1512，另一方面，未圖示之Y'軸負方向側之激勵電極形成於作為振動部1502之另一主面之第2面1514。振動部1502之第1及第2面1512、1514均形成為於與X軸方向平行之方向上較長之長方形狀。

【0150】 於本變形例中，亦於Z'軸正方向側，激勵電極1520之長邊緣1520a與水晶片1510之Z'軸正方向側之長邊緣1512a平行，又，於將激勵電極1520之長邊緣1520a與水晶片1510之長邊緣1512a之間之距離設為G，將水晶片1510中之各激勵電極之間之厚度設為T之情形時，具有已說明之G/T之關係式。再者，關於G/T之關係式對於Z'軸負方向側之激勵電極1520之長邊緣1520b與水晶片1510之Z'軸負方向側之長邊緣1512b之關係亦同樣適用。又，G/T之關係式對於水晶片



1510之激勵電極1530側之長邊亦同樣適用。

【0151】 根據本變形例，水晶片1510於短邊方向之兩端具有形成為厚度薄於振動部1502之薄壁端部1504、1506，因此如已說明般可獲得良好之振動特性，並且亦具有振動能量封閉性優異等台面型構造特有之作用效果。

【0152】 再者，上述台面構造之態樣並不限定於圖24及圖25，亦可採用組合例如圖24及圖25所示之各構成而成之台面構造。據此，水晶片於長邊方向及短邊方向之各者具有薄壁端部，可具備關於圖24及圖25之各態樣所說明之作用效果。

【0153】 圖26係用以說明第3變形例之水晶振動元件之圖，於該例中於水晶片之端部與振動部之間形成有槽。

【0154】 本變形例之水晶振動元件1600之水晶片1610於第1面1612設置有激勵電極1620，於第2面1614設置有激勵電極1630。第1及第2激勵電極1620、1630係隔著水晶片1610而相互重疊地設置。水晶片1610具有第1及第2激勵電極1620、1630相互重疊之振動部1602。水晶片1610與圖17所示之例同樣地具有與X軸平行之長邊及與Z'軸平行之短邊。而且，於水晶片1610之長邊延伸之方向之X軸正方向側設置有第1端部1604，於相反之X軸負方向側設置有第2端部1606。即，振動部1602設置於該等第1端部1604與第2端部1606之間。

【0155】 而且，於圖26所示之例中，於第1端部1604與振動部1602之間、及第2端部1606與振動部1602之間分別形成有槽1608、1609。該等槽1608、1609自水晶片1610之一長邊緣1612a延伸至另一長邊緣1612b。各槽1608、1609形成於水晶片1610之Y'正方向側。再者，如圖26所示，亦可於水晶片1610之Y'負方向側亦同樣地分別形成有槽。槽1608、1609之深度並無特別限定，只要以可獲得所需之振動特性之方式適當設定即可。槽1608、1609之與延伸方向正交之剖面形狀並無特別限定，可為如圖26所示般設置有底面之凹狀，或者亦可為由傾斜



之2個側面所構成之V字狀。又，槽1608、1609如圖26所示般分別於延伸方向具有相同之剖面形狀，亦可具有例如槽寬不同等不同之剖面形狀。

【0156】 激勵電極1620形成於作為振動部1602之一主面之第1面1612，另一方面，激勵電極1630形成於作為振動部1602之另一主面之第2面1614。振動部1602之第1及第2面1612、1614均形成為具有與X軸平行之長邊及與Z'軸平行之短邊之長方形狀。

【0157】 於本變形例中，亦於Z'軸正方向側，激勵電極1620之長邊緣1620a與水晶片1610之Z'軸正方向側之長邊緣1612a平行，又，於將激勵電極1620之長邊緣1620a與水晶片1610之長邊緣1612a之間之距離設為G，將水晶片1610中之各激勵電極1620、1630之間之厚度設為T之情形時，具有已說明之G/T之關係式。再者，關於G/T之關係式對於Z'軸負方向側之激勵電極1620之長邊緣1620b與水晶片1610之Z'軸負方向側之長邊緣1612b之關係亦同樣適用。又，G/T之關係式對於水晶片1610之激勵電極1630側之長邊亦同樣適用。

【0158】 根據本變形例，於第1端部1604與振動部1602之間、及第2端部1606與振動部1602之間分別形成有槽1608、1609，因此具備所謂台面型構造特有之作用效果。即，如已說明般可獲得良好之振動特性，並且亦具有振動能量封閉性優異等台面型構造特有之作用效果。

【0159】 再者，於圖26所示之例中，例如說明於Y'軸正方向側形成有2行槽之構成。然而，槽之態樣並不限定於此，槽亦可為沿水晶片之短邊之方向延伸之一個。或者，沿水晶片之短邊之方向延伸之槽亦可於水晶片之長邊方向排列3行以上。作為又一態樣，例如亦可於水晶片之第1端部與第2端部之間形成一個寬幅之槽，並於該槽之底面形成激勵電極。於此情形時，形成激勵電極之槽之底面成為振動部之主面。

【0160】 本實施形態之構成亦可具備第1實施形態中所說明之全幅厚度切



變振動模式之振動特性。於此情形時，除本實施形態中所說明之作用效果以外，如第1實施形態中所說明般可藉由產生全幅厚度切變振動而獲得均勻之振動。因此，可進而獲得良好之振動特性。

【0161】 於以上說明中，對水晶片之整體或各構成為大致長方體之態樣進行了說明，但本發明並不限定於此，例如亦可應用於如斜面構造或凸面構造之自中央部朝向端部逐漸減小厚度之形狀。於此情形時，上述厚度T可應用於各激勵電極之間中最厚之部分（例如激勵電極之中央部）。

【0162】 於各實施形態中，水晶片中之全幅厚度切變振動模式之振動分佈產生於水晶片之正背面之兩者。

【0163】 上述各部之尺寸、形狀及方向等無需嚴格規定，包含對於業者而言可理解為同等者。

【0164】 再者，以上所說明之各實施形態係用於容易理解本發明者，並非用於限定性地解釋本發明者。本發明可不脫離其主旨而進行變更/改良，並且本發明亦包含其等效物。即，業者對各實施形態適當添加設計變更而成者只要具備本發明之特徵，則亦包含於本發明之範圍內。例如，各實施形態所具備之各要素及其配置、材料、條件、形狀、尺寸等並不限定於例示者，可適當進行變更。又，各實施形態所具備之各要素可於技術上允許之範圍內進行組合，組合該等而成者只要包含本發明之特徵，則亦包含於本發明之範圍內。

## 【符號說明】

### 【0165】

1：水晶振動子

2：水晶振動子

10：水晶振動元件



•

11：水晶片

14a：激勵電極

14b：激勵電極

20：蓋構件

23：內部空間

30：基板

36a：導電性保持構件

36b：導電性保持構件

40：振動區域

50：非振動區域



## 【發明申請專利範圍】

【第1項】一種水晶振動元件，其具備：經AT切割之水晶片，其於俯視下具有第1方向及第2方向；及

激勵電極，其等與上述水晶片之正面及背面對向設置；且

上述水晶片中之由上述激勵電極激勵之沿上述第1方向具有主要振動之厚度切變振動之振動分佈具有以橫跨上述第2方向上對向之上述水晶片之2條邊之方式延伸且於上述第1方向上隔開距離而對向設置之2個振幅之波節、及設置於由上述2個波節夾著之位置之振動區域之振幅之波腹。

【第2項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中上述振動區域中之強振動區域具有位於上述正面之沿上述第1方向延伸之一邊、及與上述一邊於上述第2方向上相隔且對向之上述背面之沿上述第1方向延伸之另一邊的相互為反相位之第1分佈。

【第3項】如申請專利範圍第2項之水晶振動元件，其中上述第1分佈具有將於上述第1方向上較長之橢圓縱向對半分割之半橢圓狀之分佈。

【第4項】如申請專利範圍第2項之水晶振動元件，其中上述振動區域中之強振動區域相對於上述第1分佈，進而具有沿上述第2方向並排配置且位於上述正面及上述背面之各者的第2分佈。

【第5項】如申請專利範圍第4項之水晶振動元件，其中上述第2分佈為於上述第1方向上較長之橢圓狀之分佈。

【第6項】如申請專利範圍第2項之水晶振動元件，其中上述振動區域中之上述正面之法線方向即第3方向之移位成分之強振動區域進而具有第3分佈，該第3分佈係以於上述水晶片之上上述第1方向之中點沿上述第2方向延伸之中間線為基準，包含位於上述中間線之上上述第1方向之一側且沿上述第1方向排列之複數個一種分佈、及位於上述中間線之上上述第1方向之另一側且沿上述第1方向排



列、且與上述一種分佈相互為反相位之複數個另一種分佈。

【第7項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中上述振動區域分佈至到達上述水晶片之上述第2方向上之上述激勵電極之兩端為止。

【第8項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中上述振動區域分佈至上述水晶片之上述第2方向上之較上述激勵電極之兩端更外側。

【第9項】如申請專利範圍第8項之水晶振動元件，其中上述激勵電極自上述水晶片之上述第2方向之兩端具有間隙而設置。

【第10項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中上述激勵電極自上述水晶片之上述第2方向之兩端分別具有距離G之間隙而設置，

若將上述水晶片中之各上述激勵電極之間之厚度設為T，則具有

$$0 < G/T \leq 0.5$$

之關係。

【第11項】如申請專利範圍第10項之水晶振動元件，其進而具有 $G/T \leq 0.2$ 之關係。

【第12項】如申請專利範圍第10項之水晶振動元件，其進而具有 $0.0002 \leq G/T$

之關係。

【第13項】如申請專利範圍第10項之水晶振動元件，其中若將上述水晶片之上述第2方向之寬度設為W，則進而具有

$$W/T \leq 10.2 \text{ 之關係。}$$

【第14項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中上述振動區域具有一個或複數個強振動區域。

【第15項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中上述水晶片具備具有上述振動區域之第1部分、及鄰接於上述第1方向上之上述第1部分之兩端之第



2部分，

上述激勵電極於上述第1方向上以於上述振動區域之上上述第1方向具有複數個波數之方式設置，

當將上述水晶片之上上述正面及上述背面之上上述激勵電極之厚度設為 $T_{ex}$ ，將由上述激勵電極夾著之上上述水晶片之厚度設為 $T$ ，將上述第1部分之上上述第1方向上之長度設為 $L1$ ，將上述激勵電極之材料之比重設為 $\gamma_{ex}$ ，將上述水晶片之材料之比重設為 $\gamma_{xt}$ 時，由式1求出之有效厚度 $T_e$ 於將波數設為 $n$ （ $n$ 為自然數）時，滿足式2之關係：

$$T_e = T + T_{ex} \cdot \gamma_{ex} / \gamma_{xt} \quad \cdot \cdot \cdot \text{式1}$$

$$L1 / T_e = 1.603 \cdot n - 0.292 \quad \cdot \cdot \cdot \text{式2}。$$

【第16項】如申請專利範圍第15項之水晶振動元件，其中上述第2部分之厚度薄於上述第1部分之厚度。

【第17項】如申請專利範圍第16項之水晶振動元件，其中上述水晶片進而具備鄰接於上述第1方向上之上上述第2部分之兩端之第3部分，且上述第3部分之厚度厚於上述第2部分。

【第18項】如申請專利範圍第17項之水晶振動元件，其中上述水晶片之上上述第3部分之厚度與上述第1部分相同。

【第19項】如申請專利範圍第15項之水晶振動元件，其中於上述第1方向上，以覆蓋上述振動區域之長度 $L1$ 之全域之方式設置有上述激勵電極。

【第20項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中於俯視上述水晶片時為具有與上述第1方向及上述第2方向正交之邊之長方形狀。

【第21項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其中上述第1方向為上述水晶片之結晶方位之 $X$ 軸方向。

【第22項】如申請專利範圍第1項之水晶振動元件，其進而具備：



框體，其包圍上述水晶片之外周；及  
連結構件，其將上述水晶片與上述框體連結。

【第23項】一種水晶振動子，其具備  
如申請專利範圍第1至22項中任一項之水晶振動元件、及  
可激勵地支持上述水晶片之基板，且  
上述水晶片經由導電性保持構件可激勵地支持於上述基板上。

【第24項】如申請專利範圍第23項之水晶振動子，其進而具備經由接合材  
接合於上述基板之蓋構件，且  
上述水晶片設置於上述基板與上述蓋構件之內部空間。

【第25項】一種水晶振動子，其具備：  
如申請專利範圍第22項之水晶振動元件；及  
第1及第2基板，其等以將上述水晶片可激勵地收容於內部空間之方式於上  
述水晶片之正背側分別接合於上述框體。

【第26項】一種水晶振動元件，其係以厚度切變振動為主振動者，且具備：  
水晶片，其於正背具有長方形狀之主面；及  
長方形狀之激勵電極，其等分別形成於上述水晶片之各主面；  
上述激勵電極之長邊緣與對應之上述水晶片之長邊緣平行；  
若將上述激勵電極之長邊緣與對應之上述水晶片之長邊緣之間之距離設為  
G，

將上述水晶片中之各上述激勵電極之間之厚度設為T，則具有  
 $0 < G/T \leq 0.5$   
之關係。

【第27項】如申請專利範圍第26項之水晶振動元件，其進而具有  
 $G/T \leq 0.2$ 之關係。



【第28項】如申請專利範圍第26或27項之水晶振動元件，其進而具有  
 $0.0002 \leq G/T$ 之關係。

【第29項】如申請專利範圍第26或27項之水晶振動元件，其中若將上述水晶片之短邊之寬度設為W，則進而具有  
 $W/T \leq 10.2$   
之關係。

【第30項】如申請專利範圍第26或27項之水晶振動元件，其中上述水晶片包含：

振動部，其中上述激勵電極相互重疊；

薄壁端部，其連接於上述振動部，且形成為薄於該振動部之厚度；且  
上述水晶片之長邊緣為上述薄壁端部之長邊緣。

【第31項】如申請專利範圍第30項之水晶振動元件，其中上述薄壁端部位於上述水晶片之長邊方向之兩端。

【第32項】如申請專利範圍第30項之水晶振動元件，其中上述薄壁端部位於上述水晶片之短邊方向之兩端。

【第33項】如申請專利範圍第26或27項之水晶振動元件，其中上述水晶片包含：

第1端部，其位於上述水晶片之長邊方向之一端；

第2端部，其位於上述水晶片之長邊方向之另一端；及

振動部，其設置於上述第1端部與上述第2端部之間，且上述激勵電極相互重疊；且

於上述水晶片中，於上述第1及第2端部中之至少一者與上述振動部之間，形成有自上述水晶片之一長邊緣向另一長邊緣延伸之槽。

【第34項】如申請專利範圍第26或27項之水晶振動元件，其中上述水晶片



為AT切割水晶片。

【第35項】一種水晶振動子，其具備：

基板；

蓋構件，其以構成內部空間之方式連接於上述基板；及

如申請專利範圍第26至34項中任一項之水晶振動元件，其收容於上述內部空間。



【發明圖式】

1

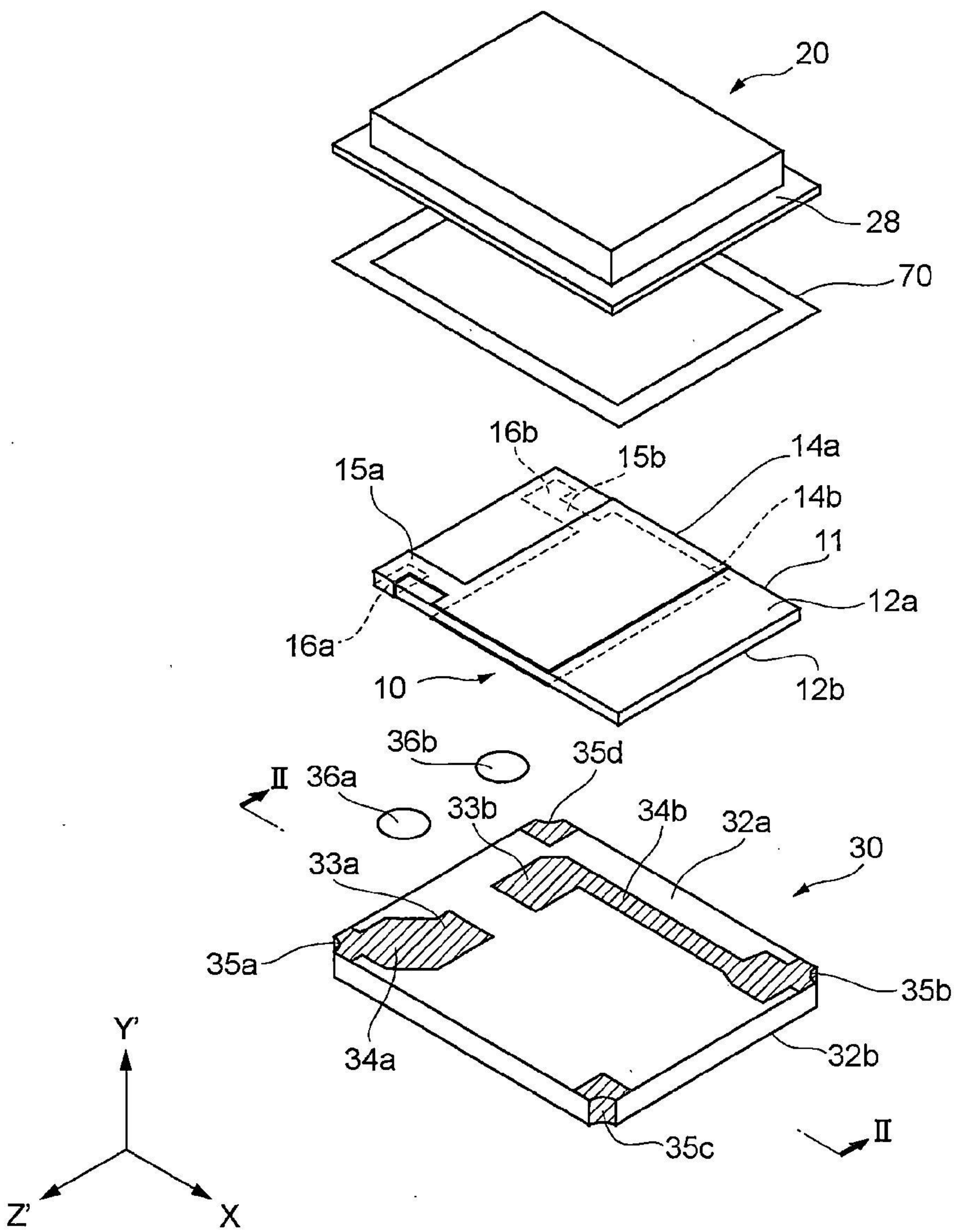


圖1



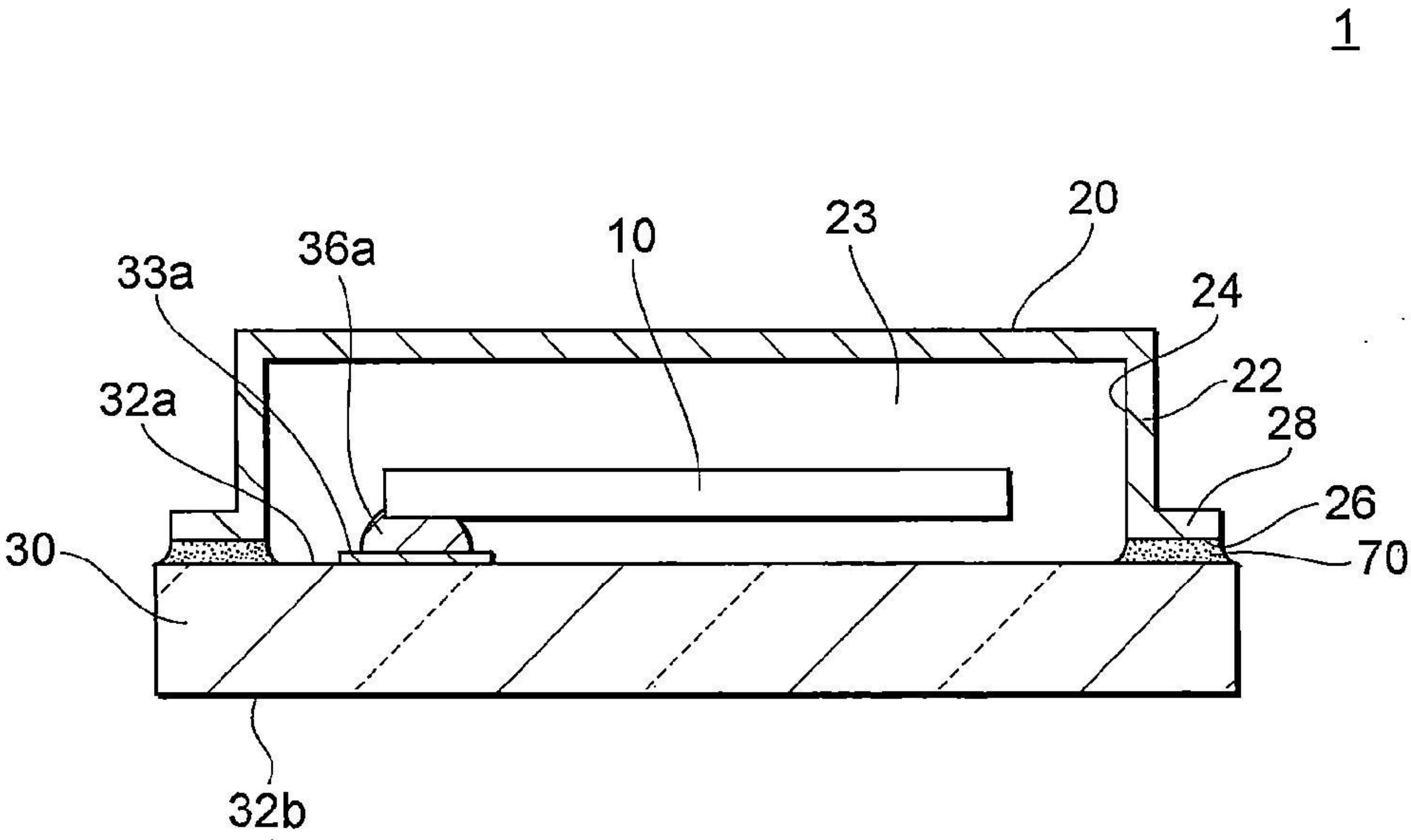


圖2



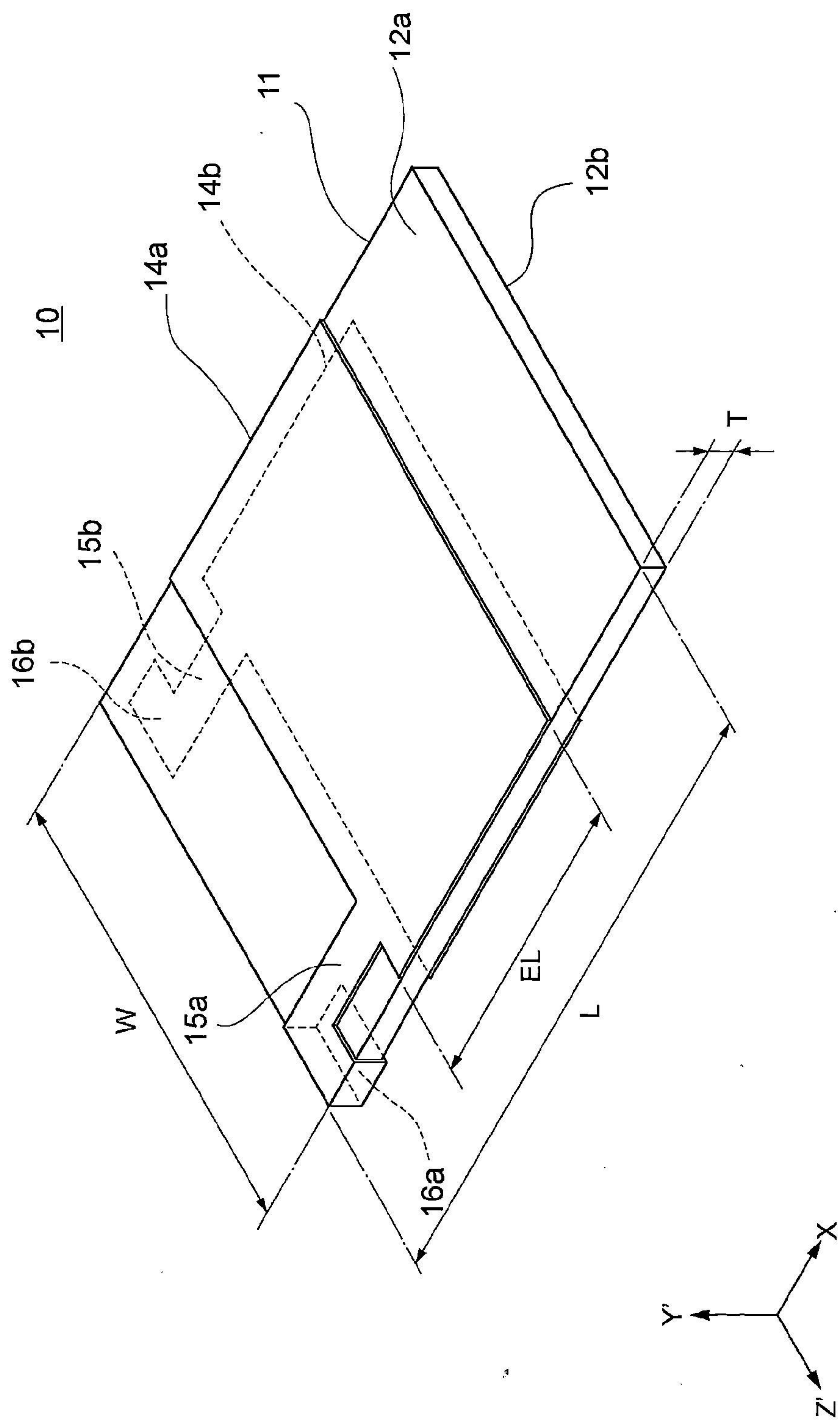


圖3



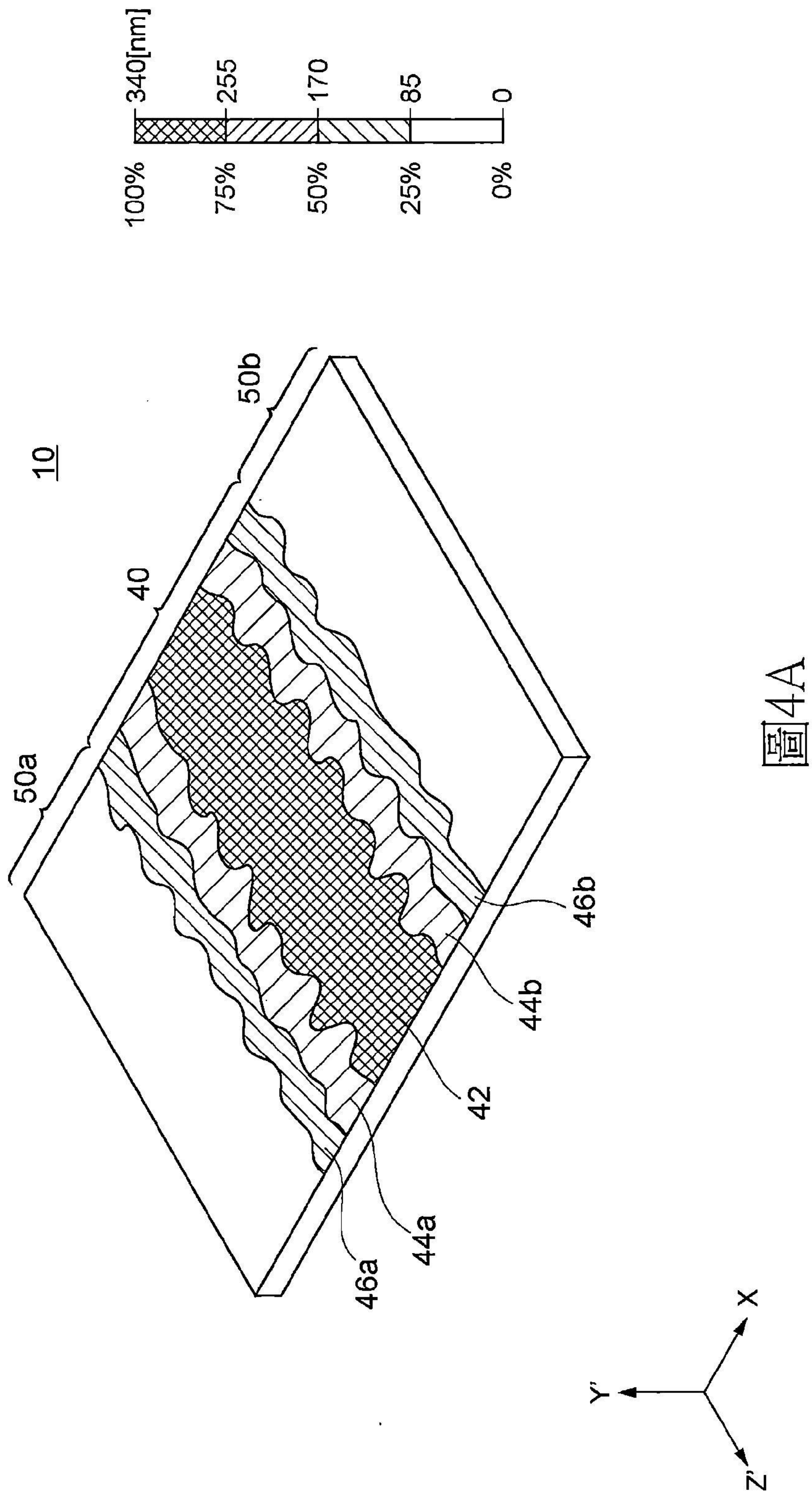


圖4A



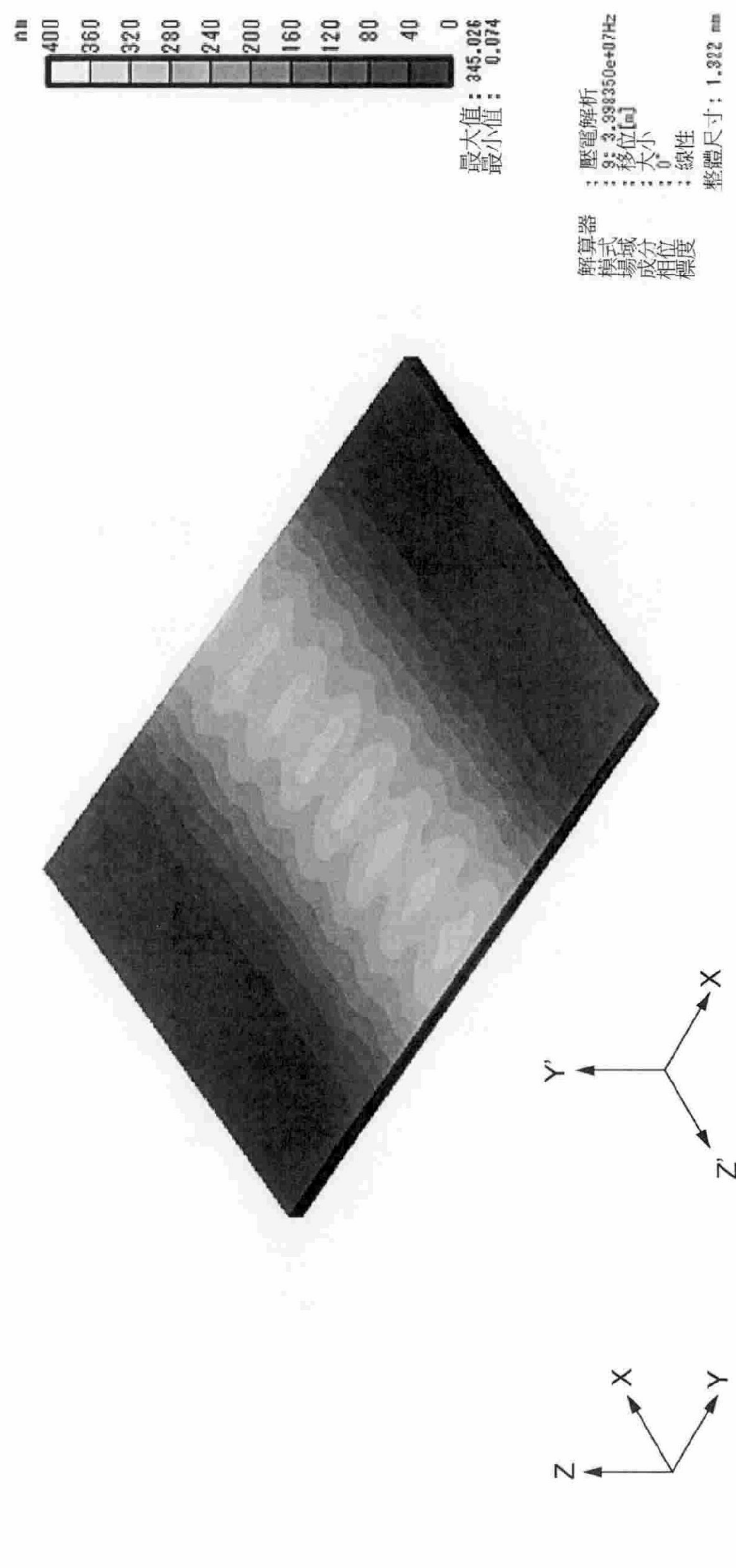


圖4B



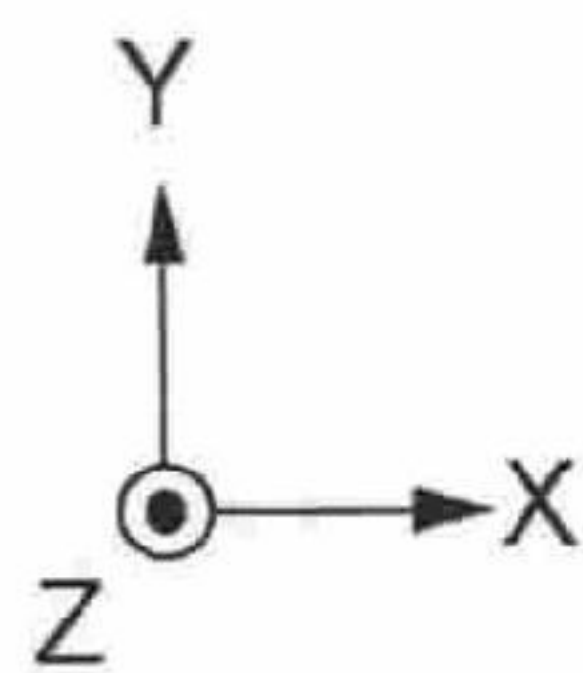
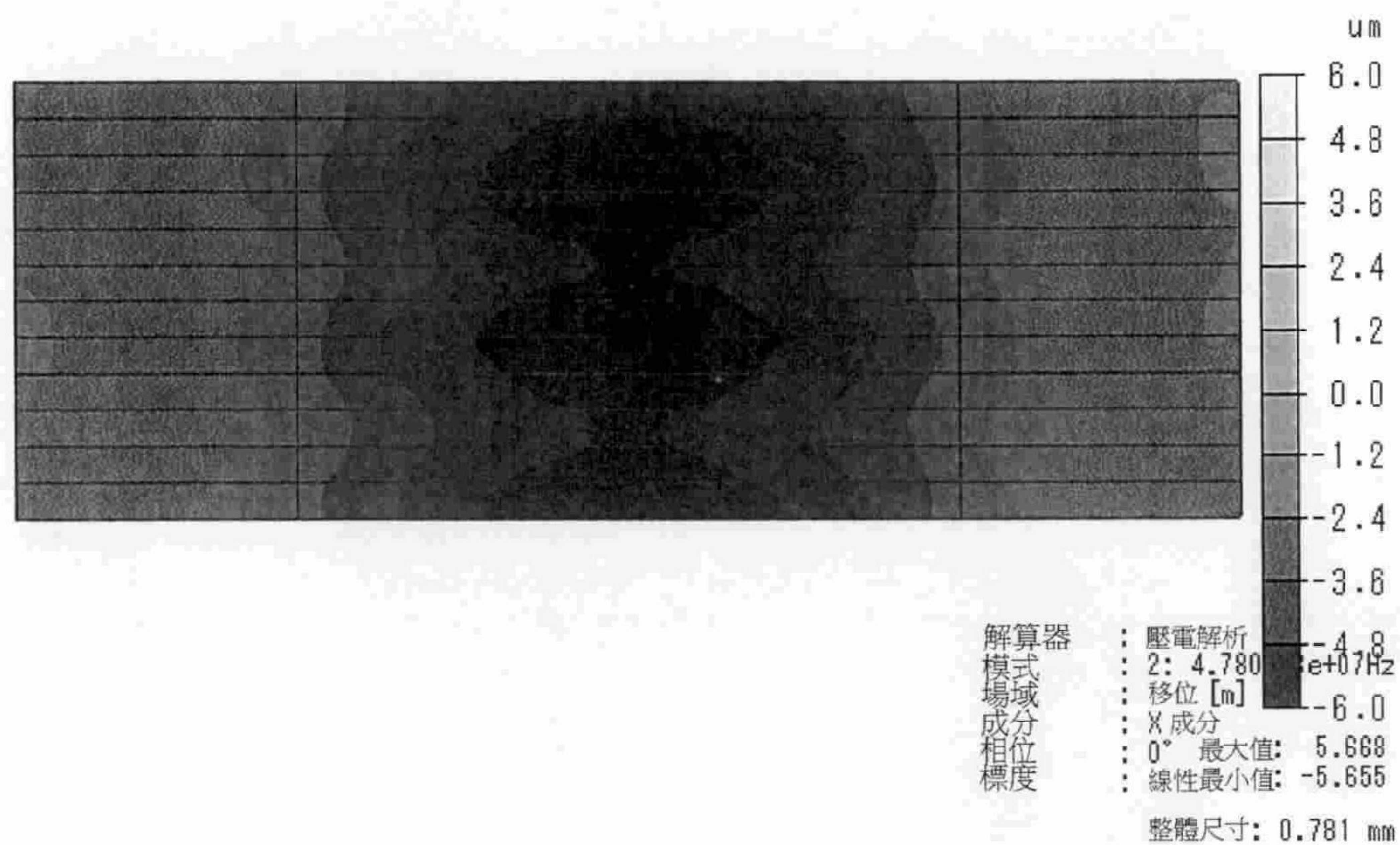


圖4C



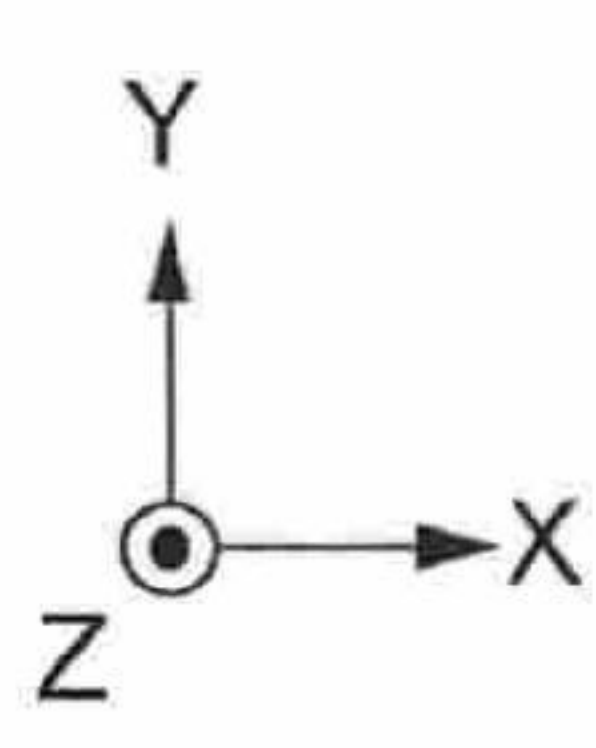
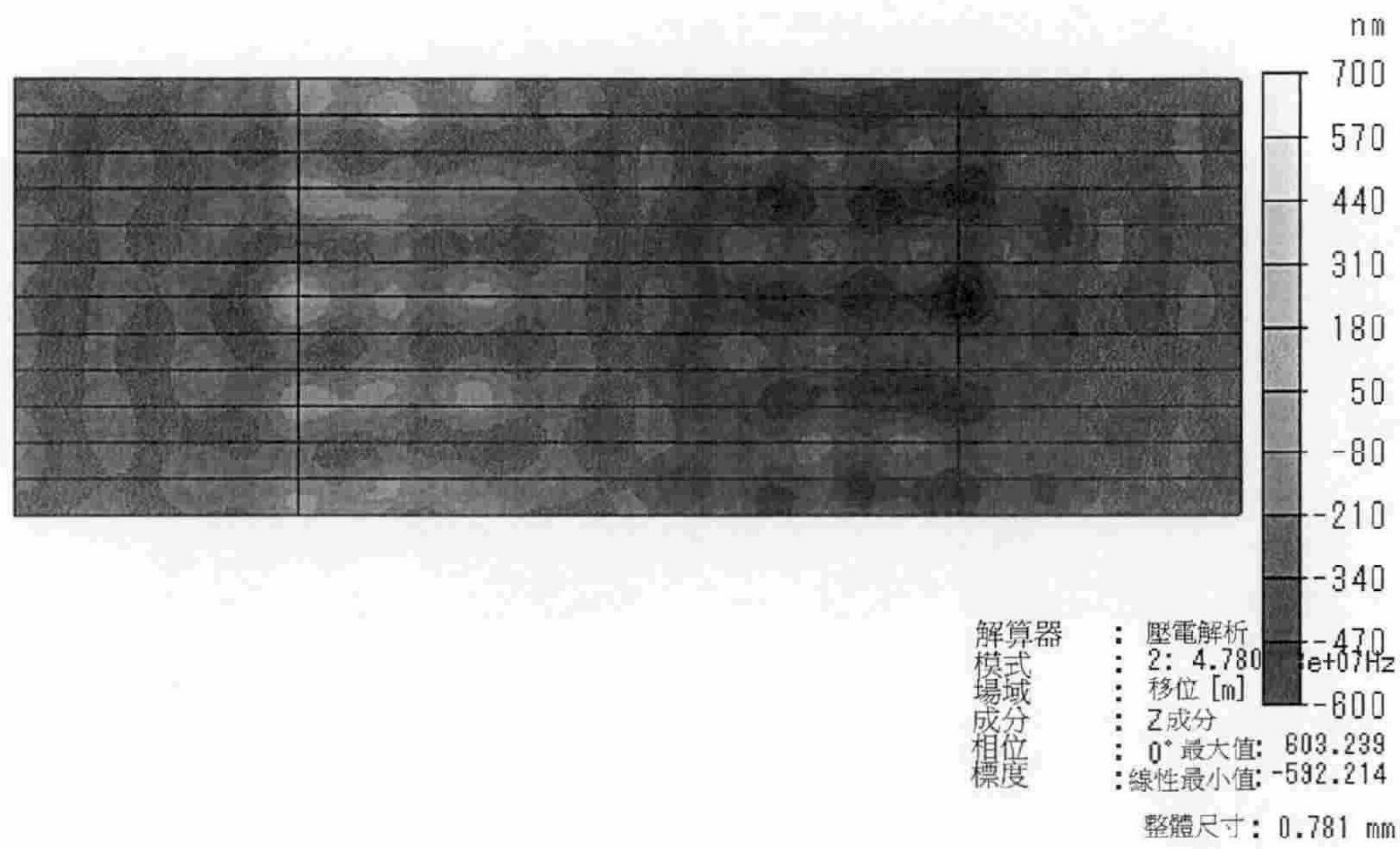


圖4D



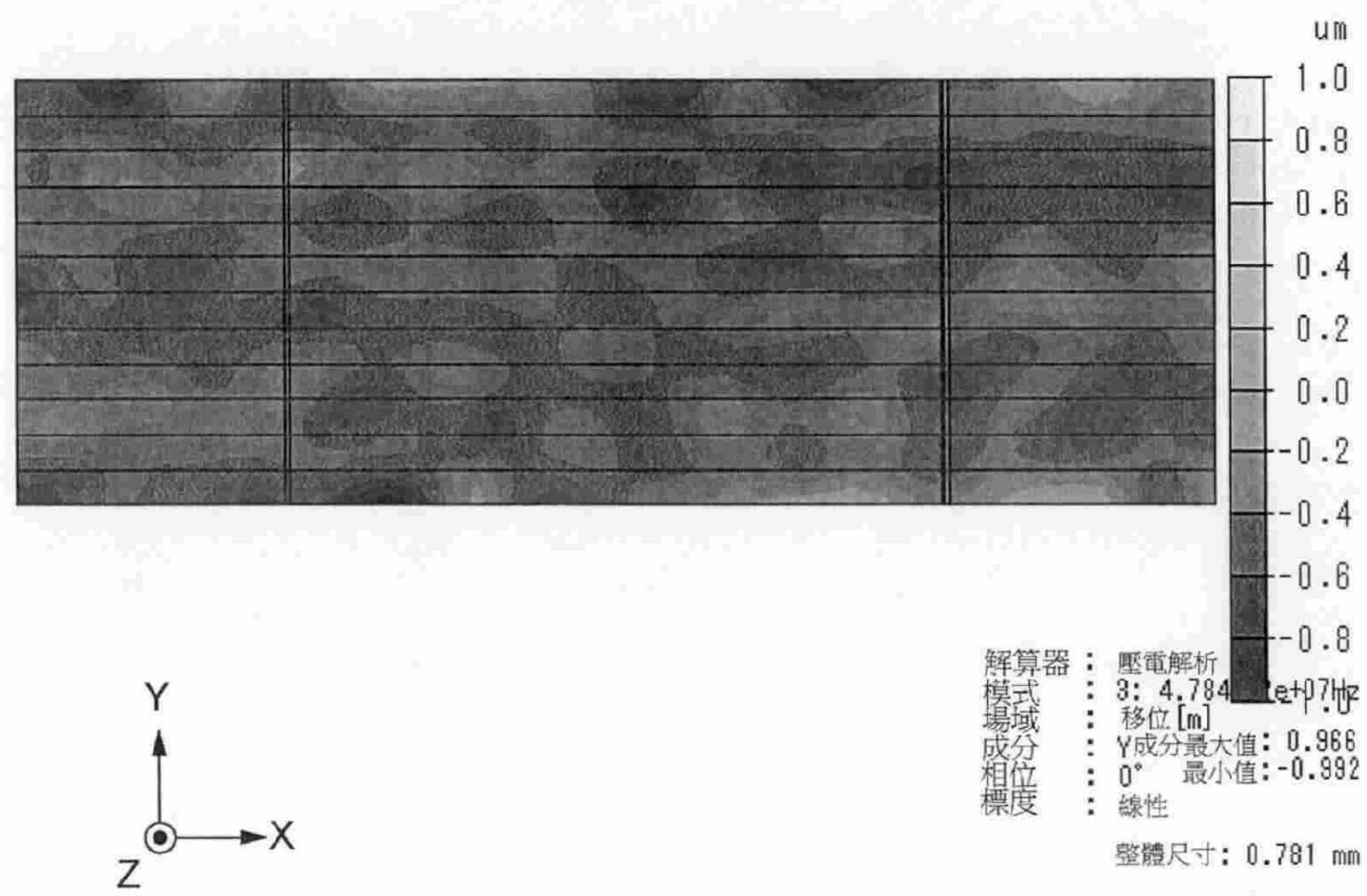


圖4E



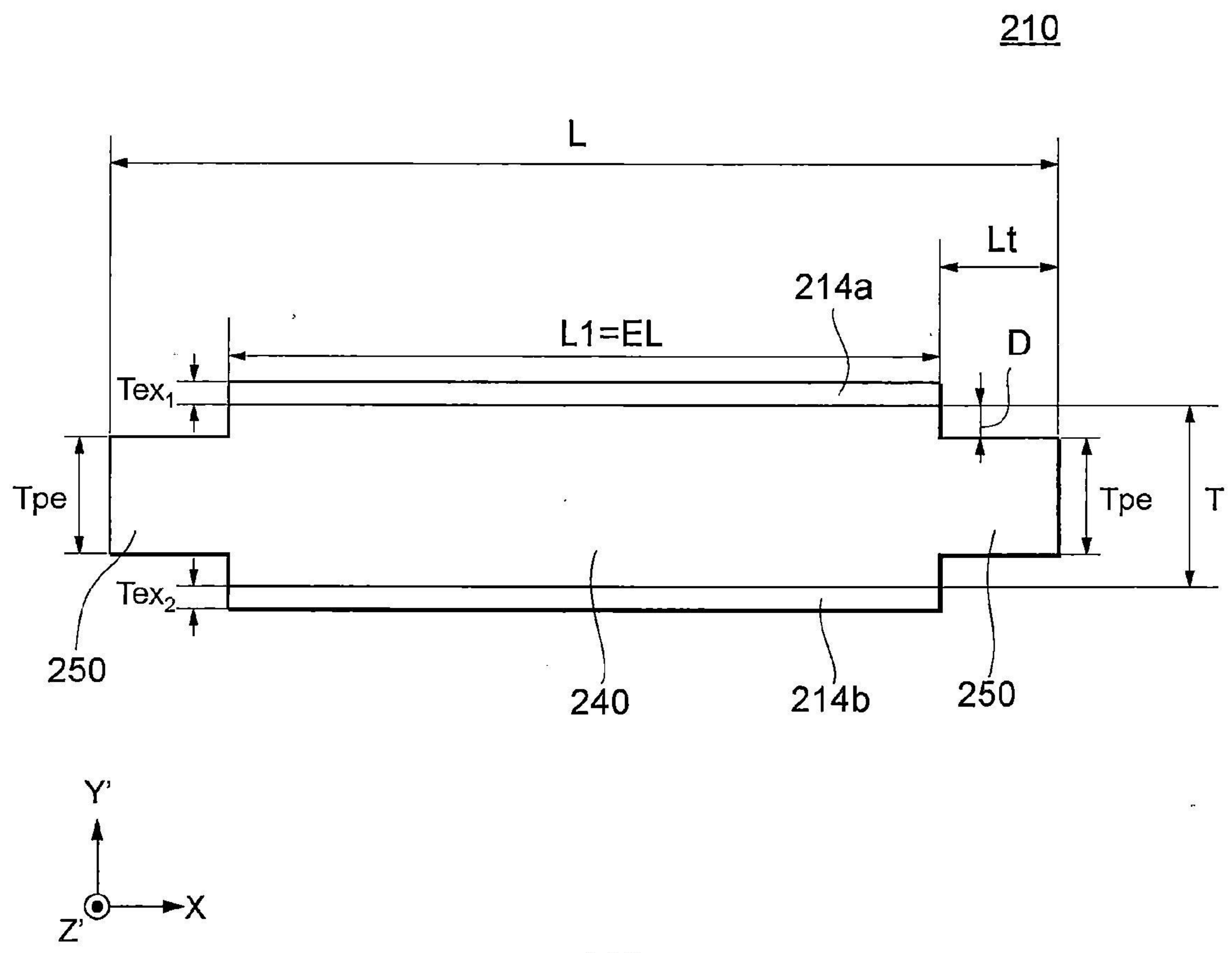


圖5



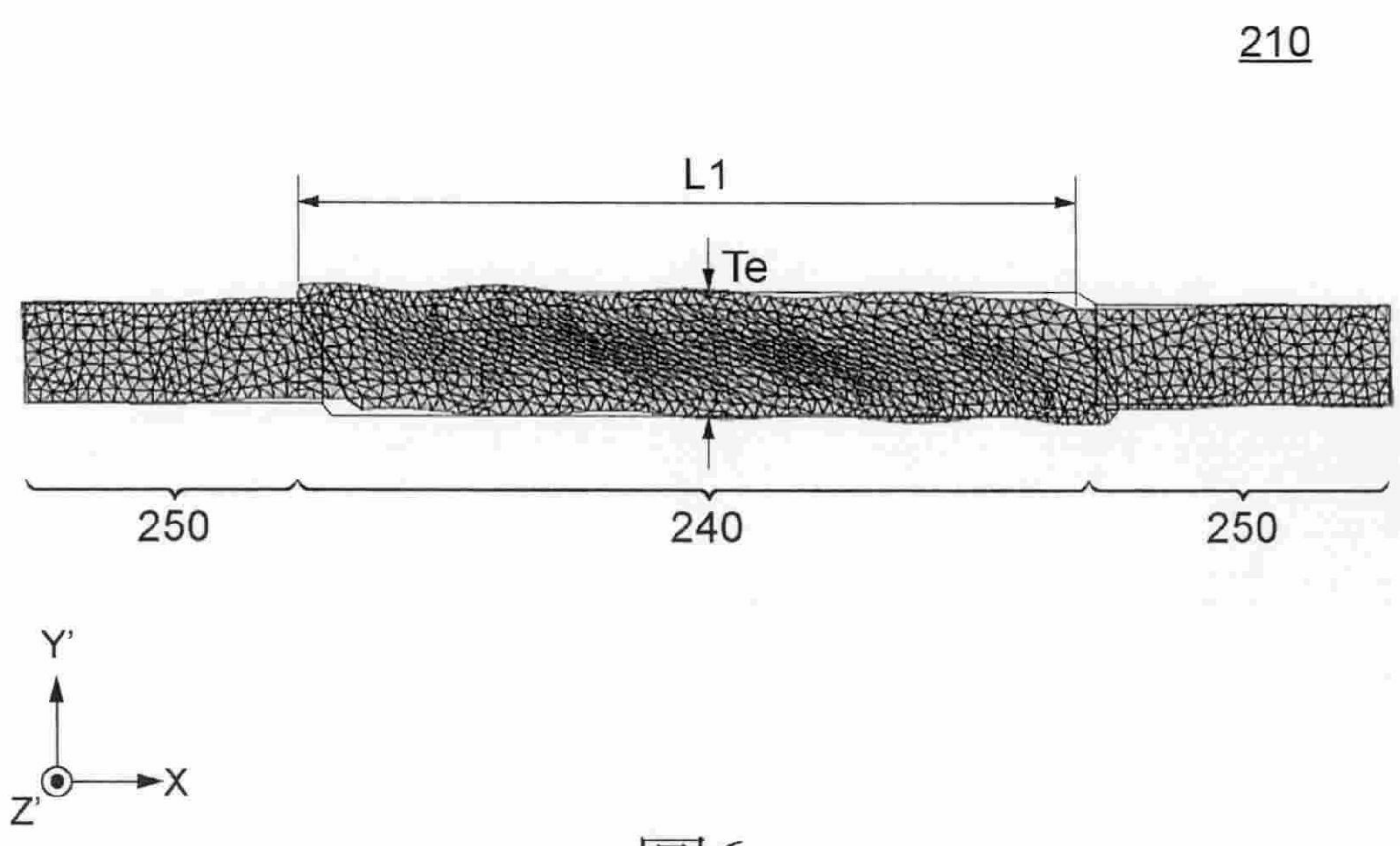


圖6



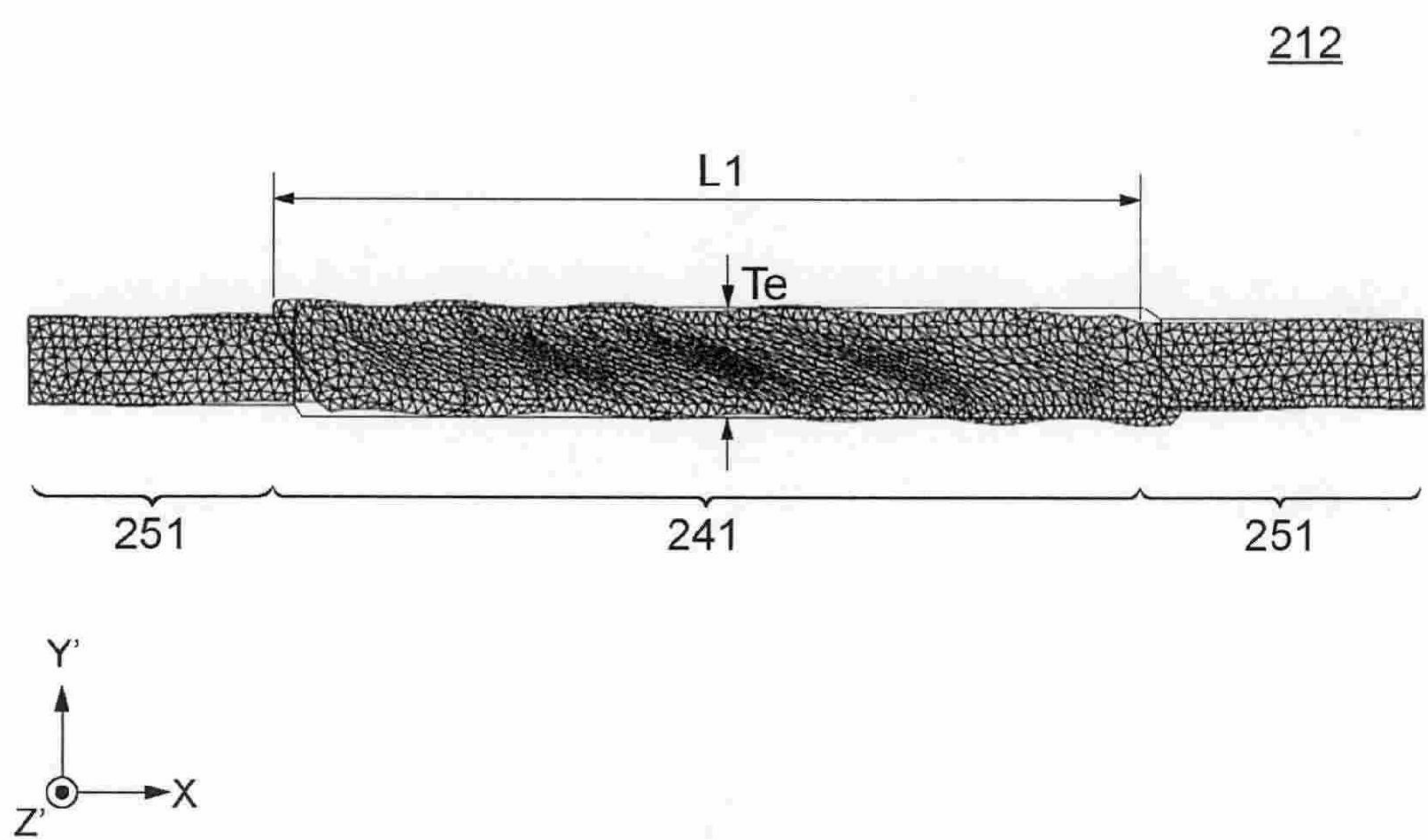


圖7



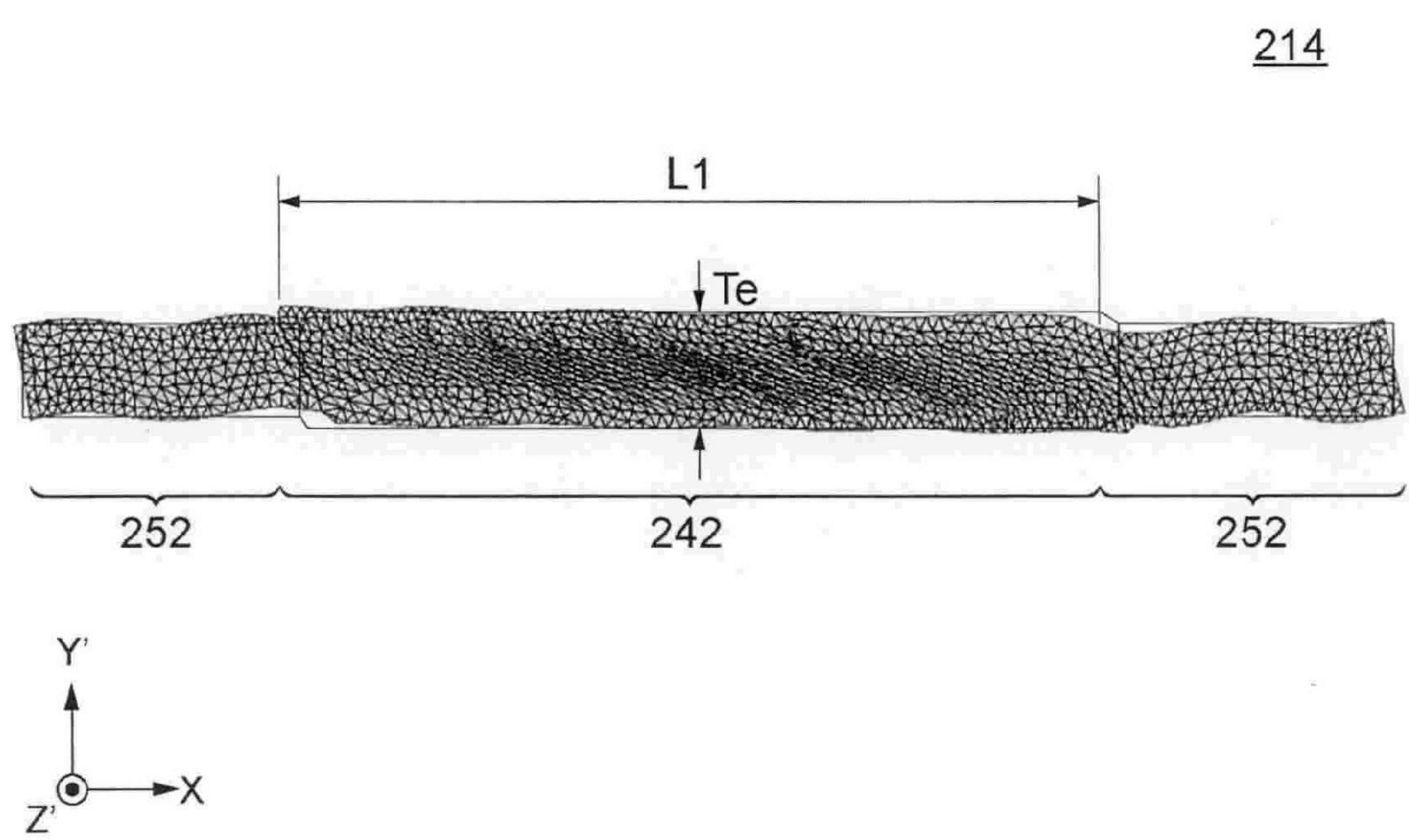


圖8



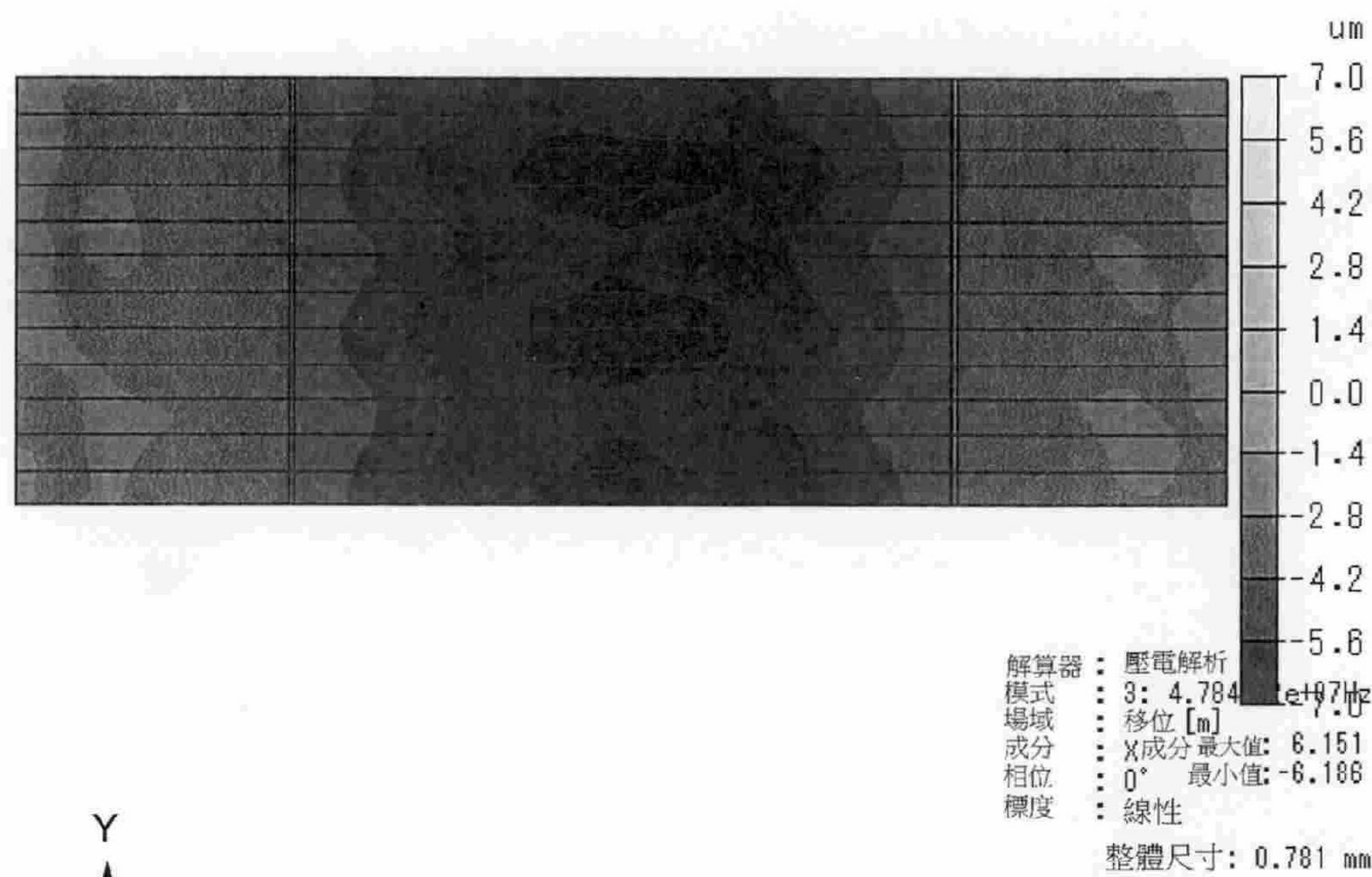


圖9A



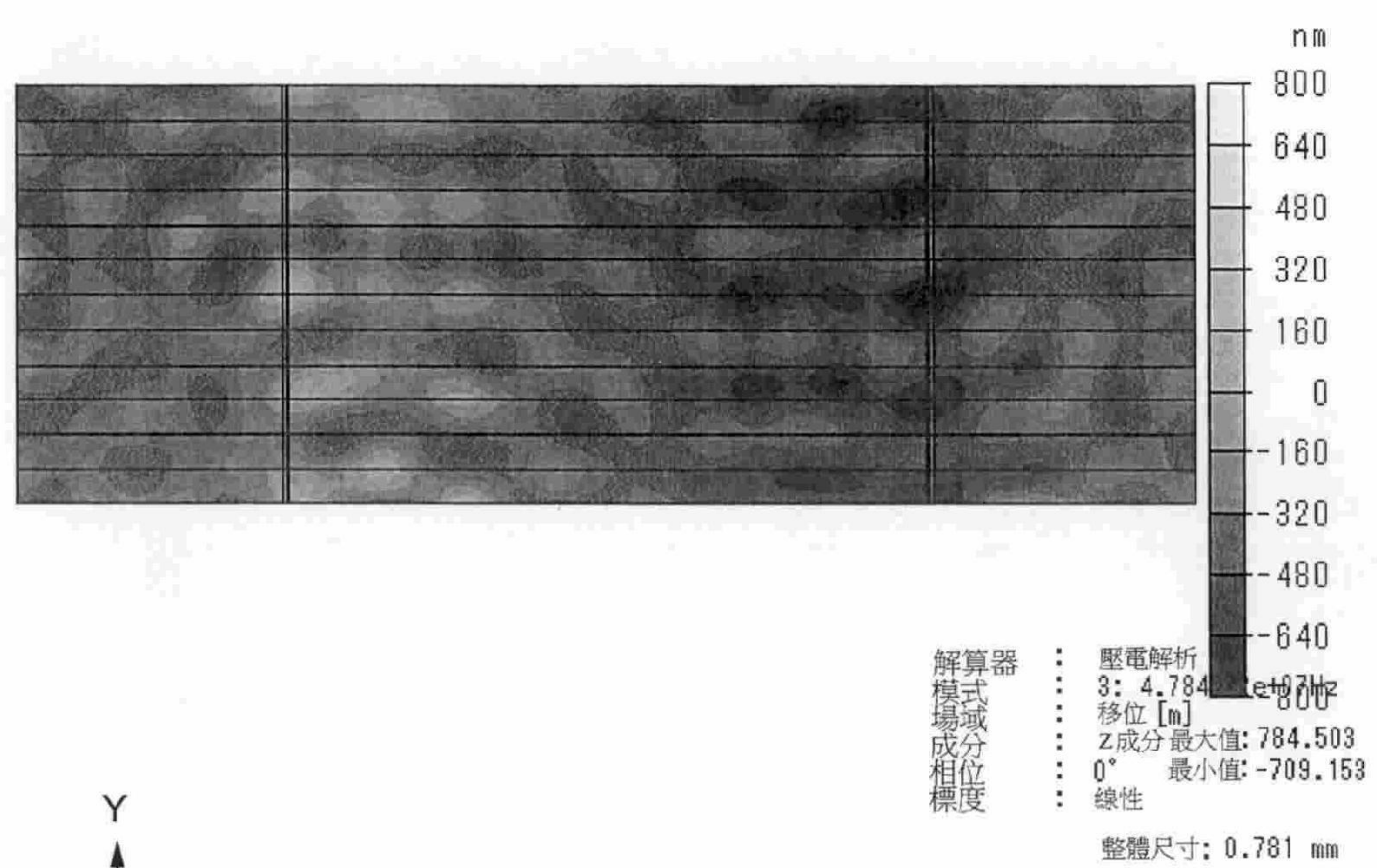


圖9B



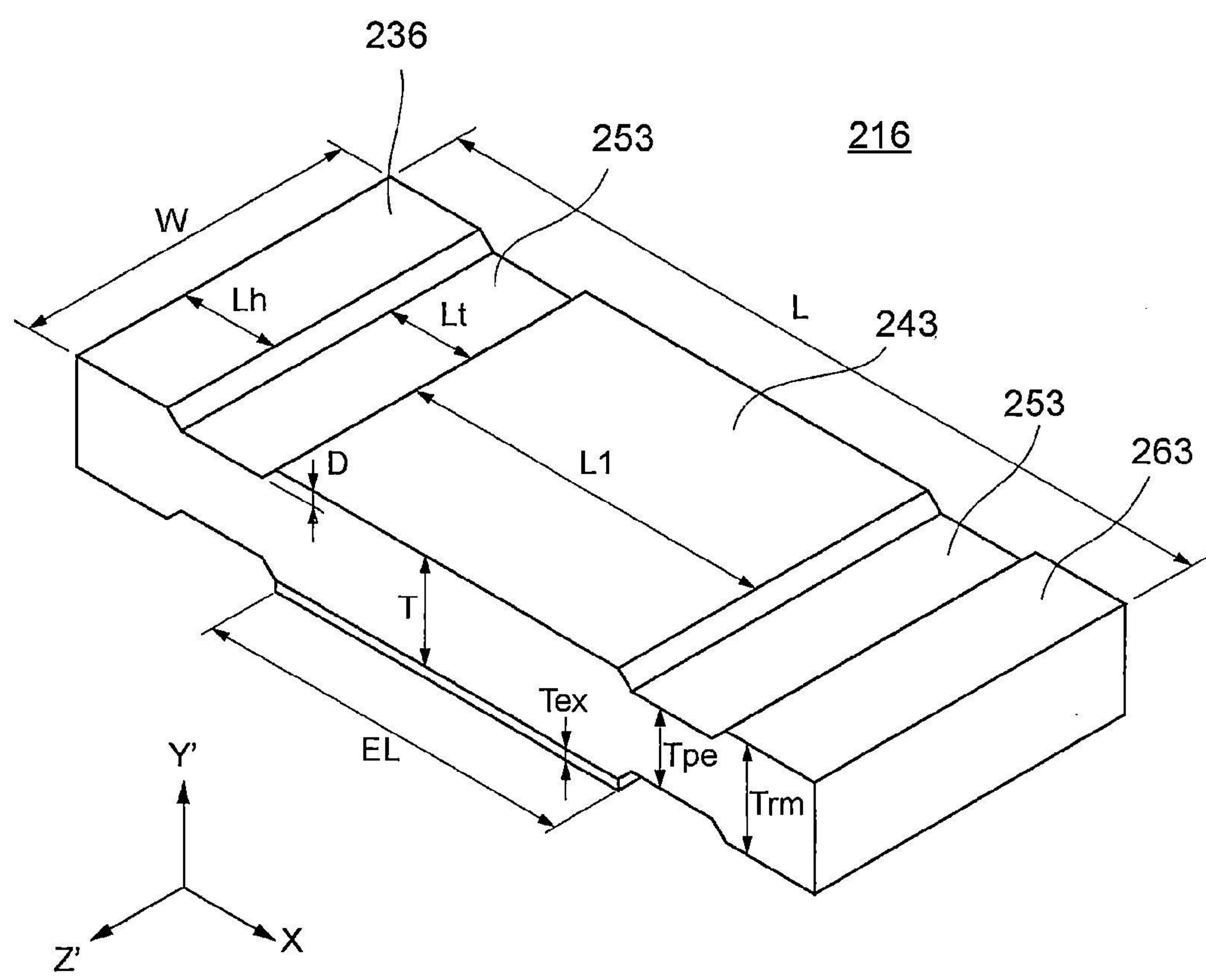


圖10



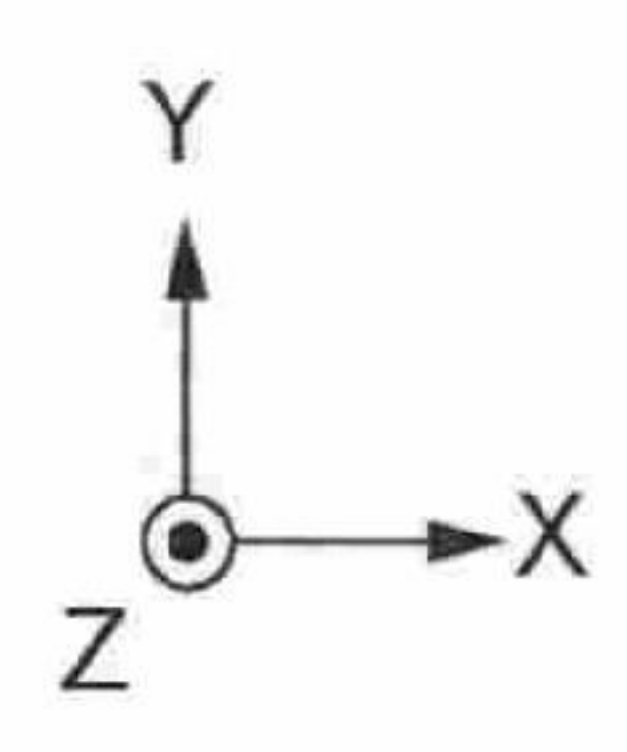
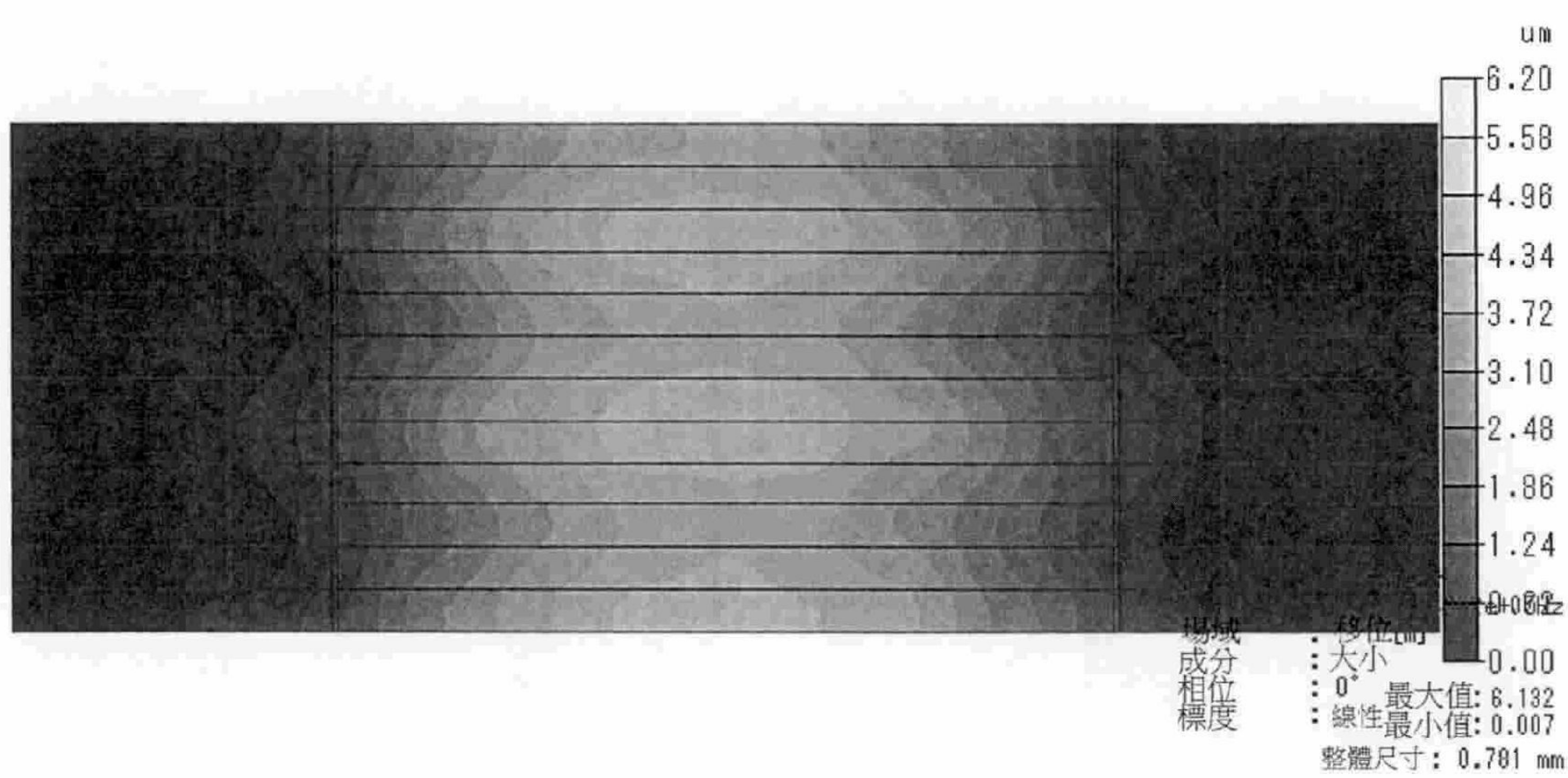


圖11A



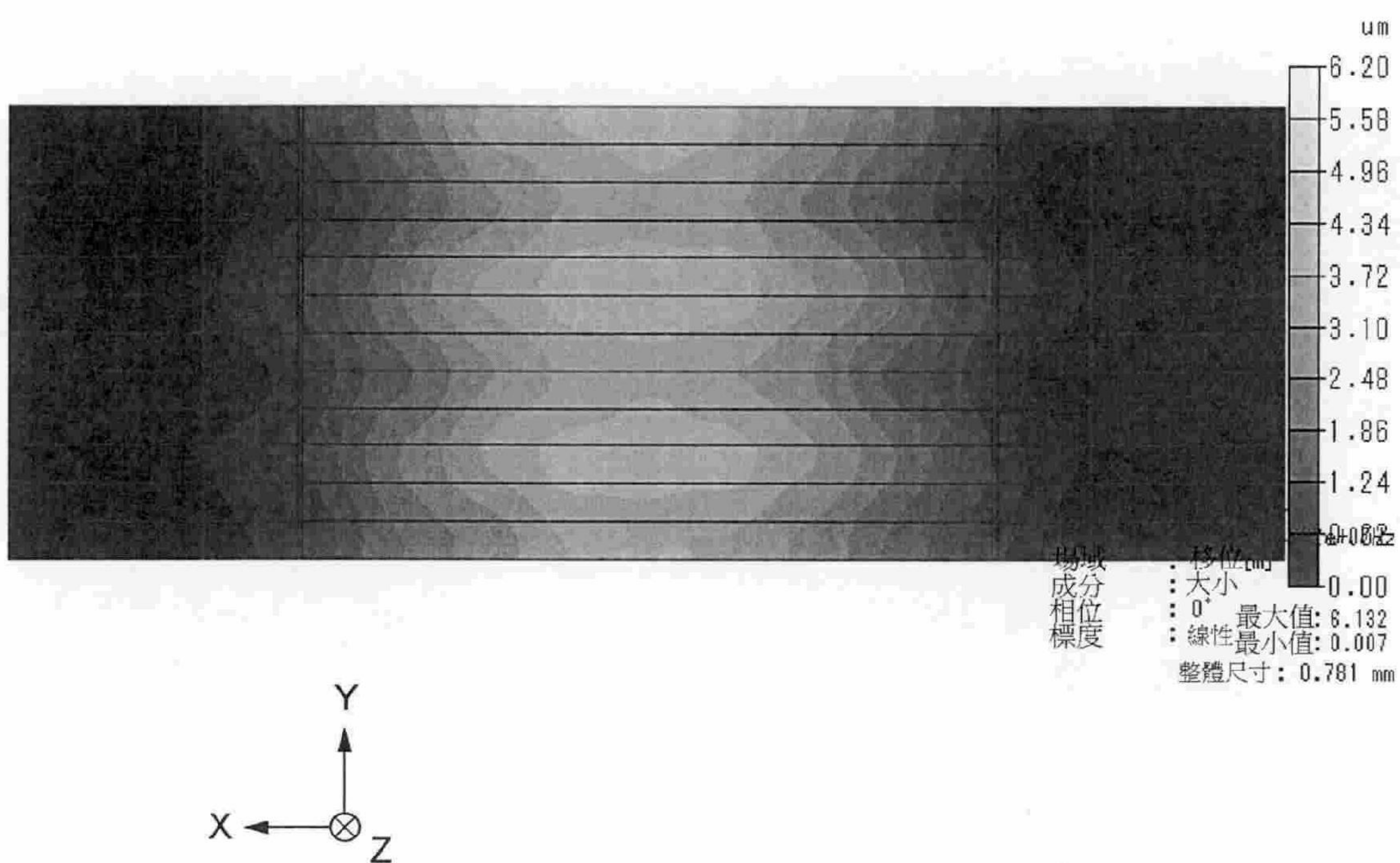


圖11B



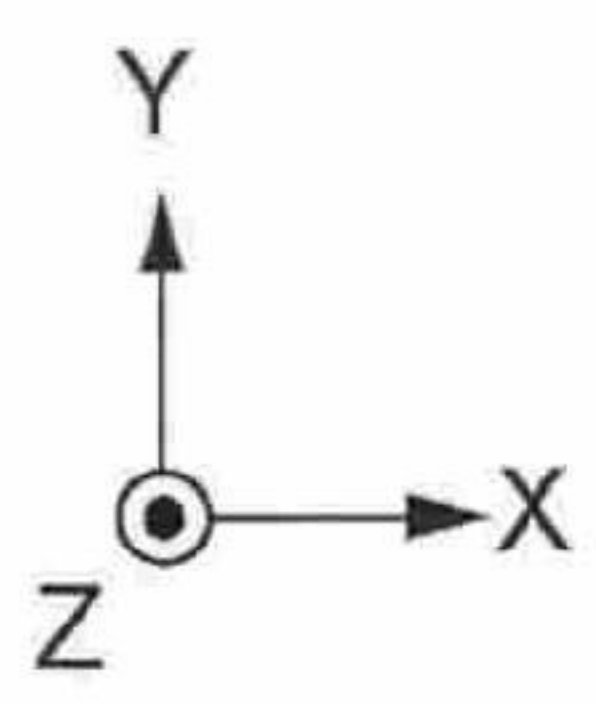
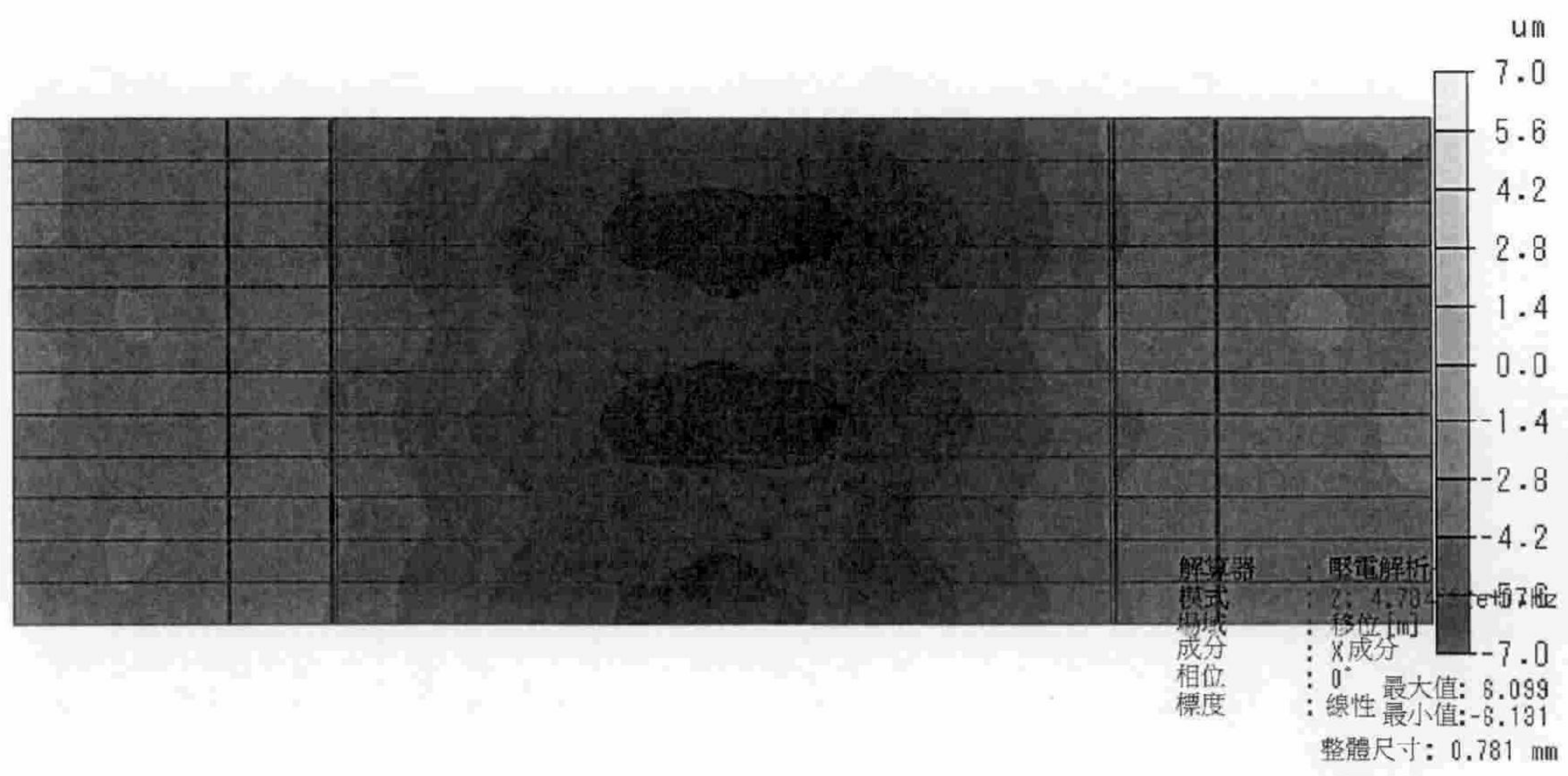


圖11C



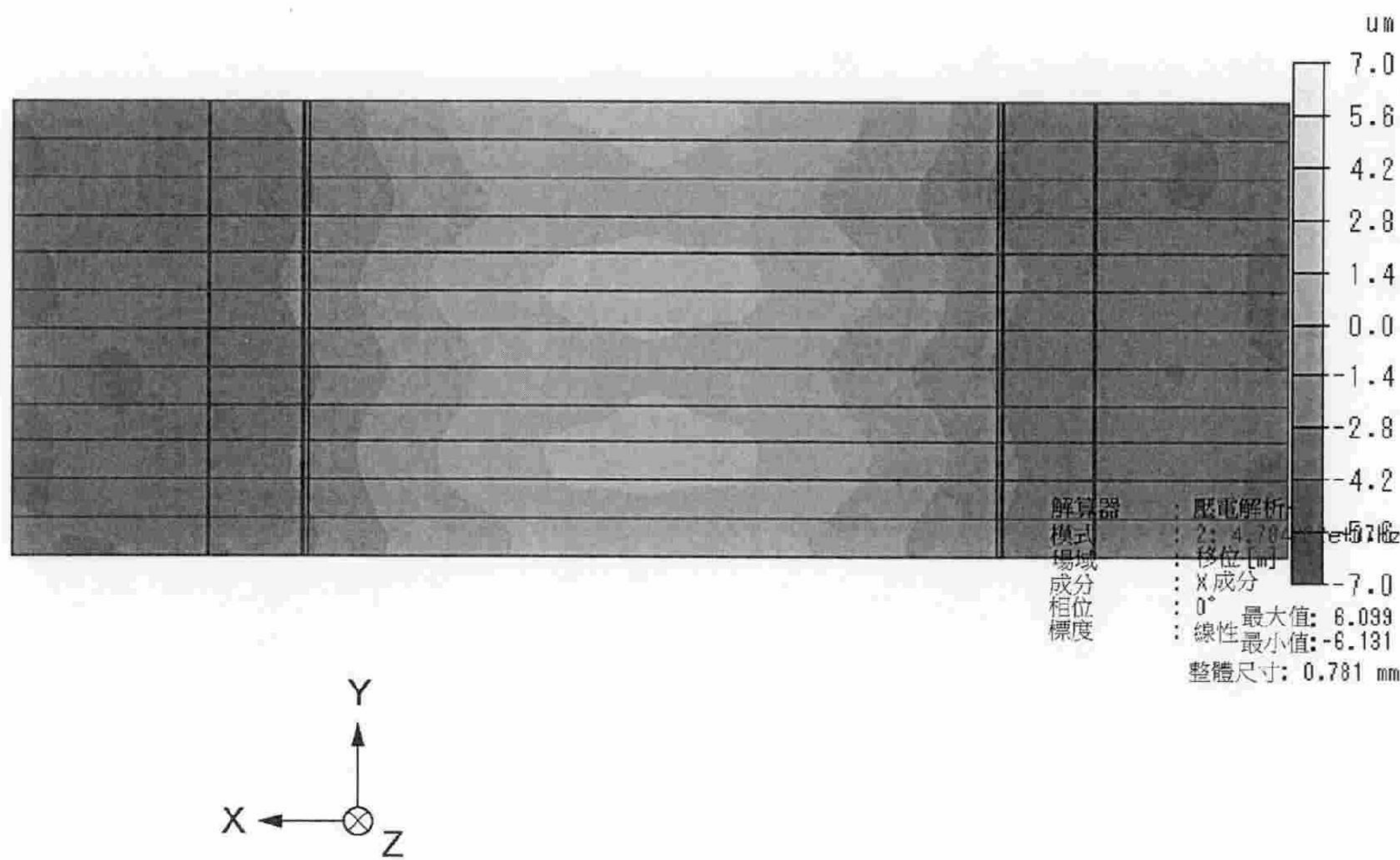


圖11D



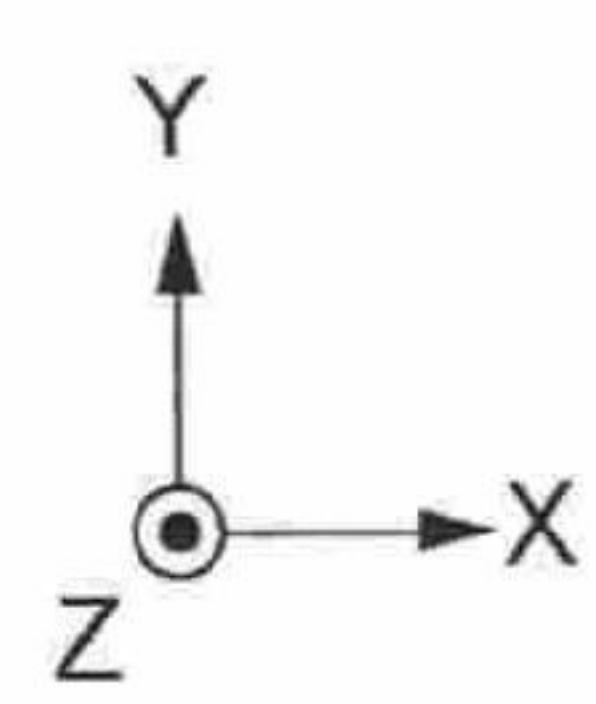
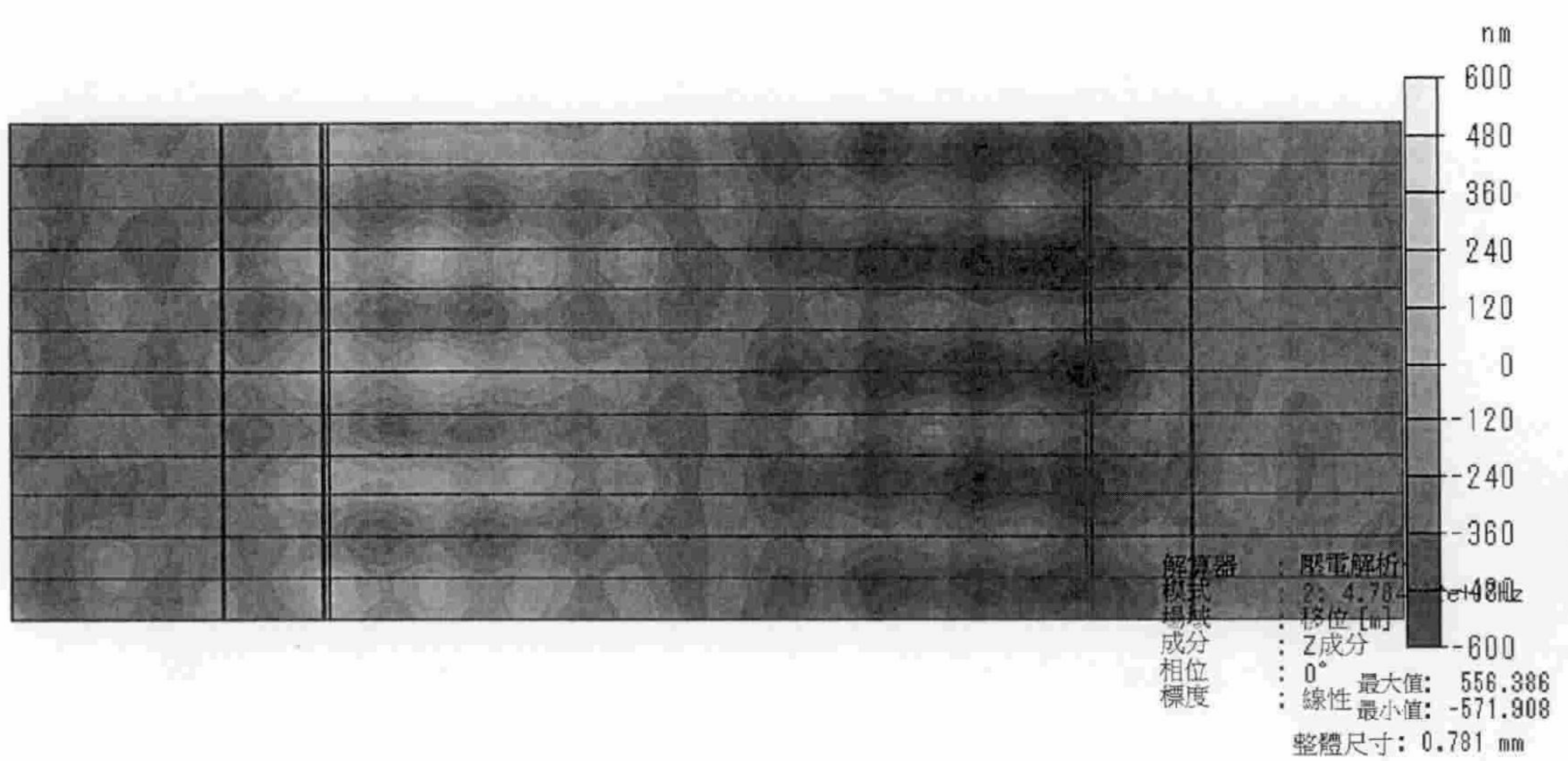


圖11E



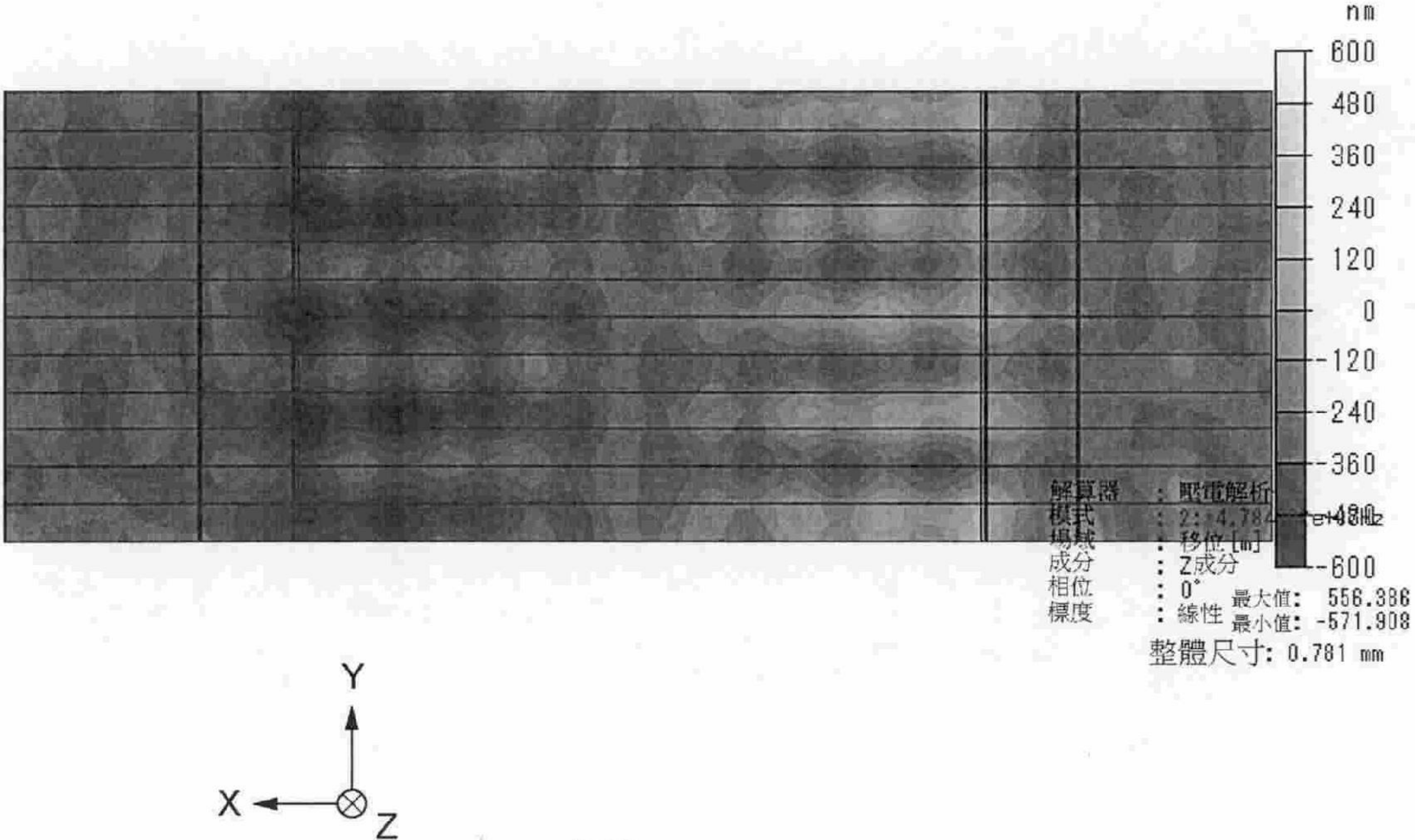


圖11F



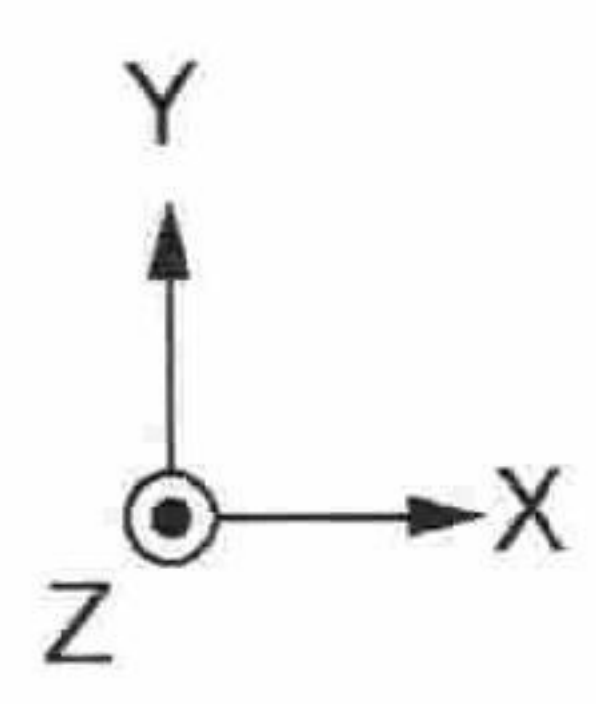
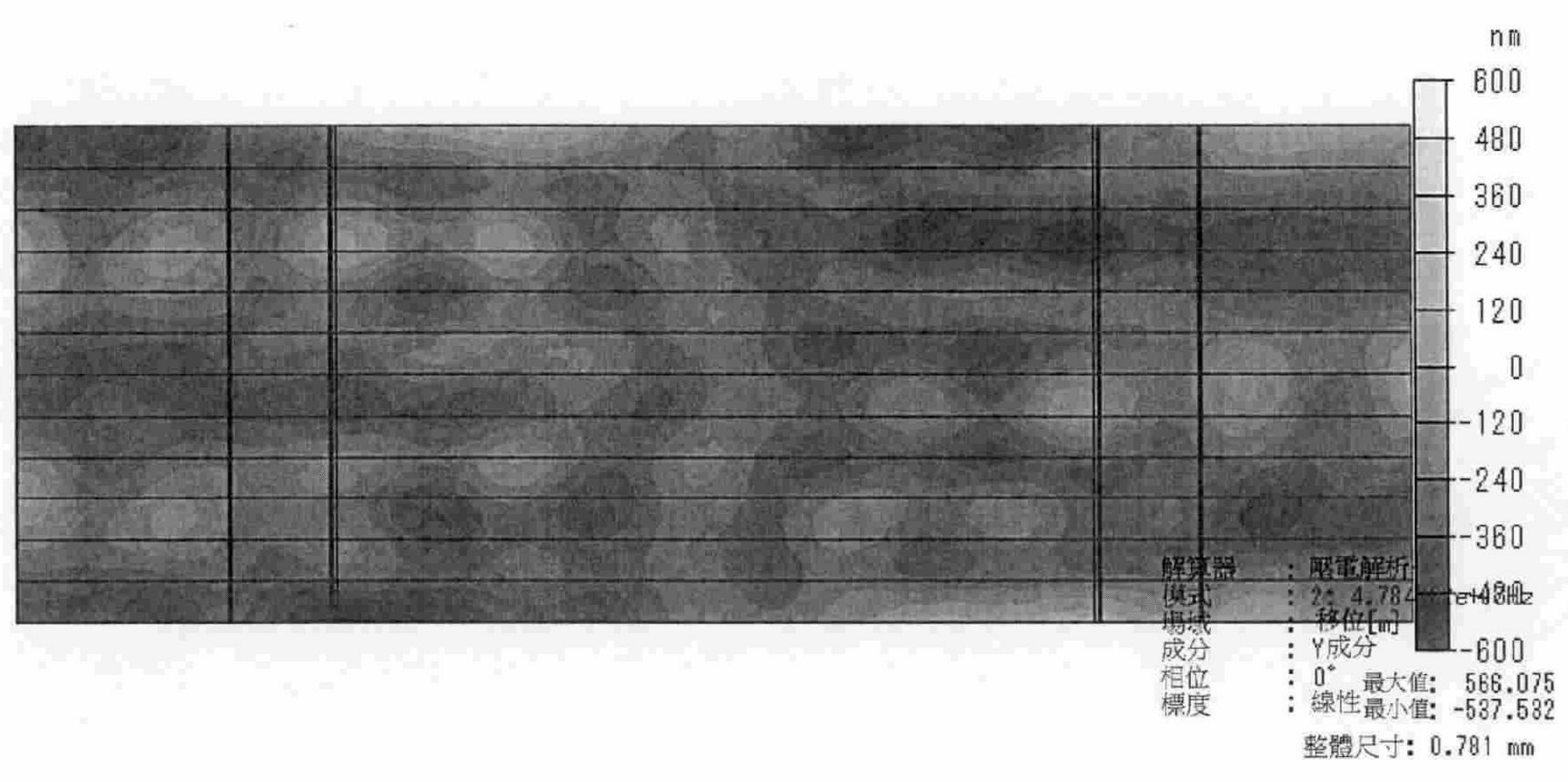


圖11G



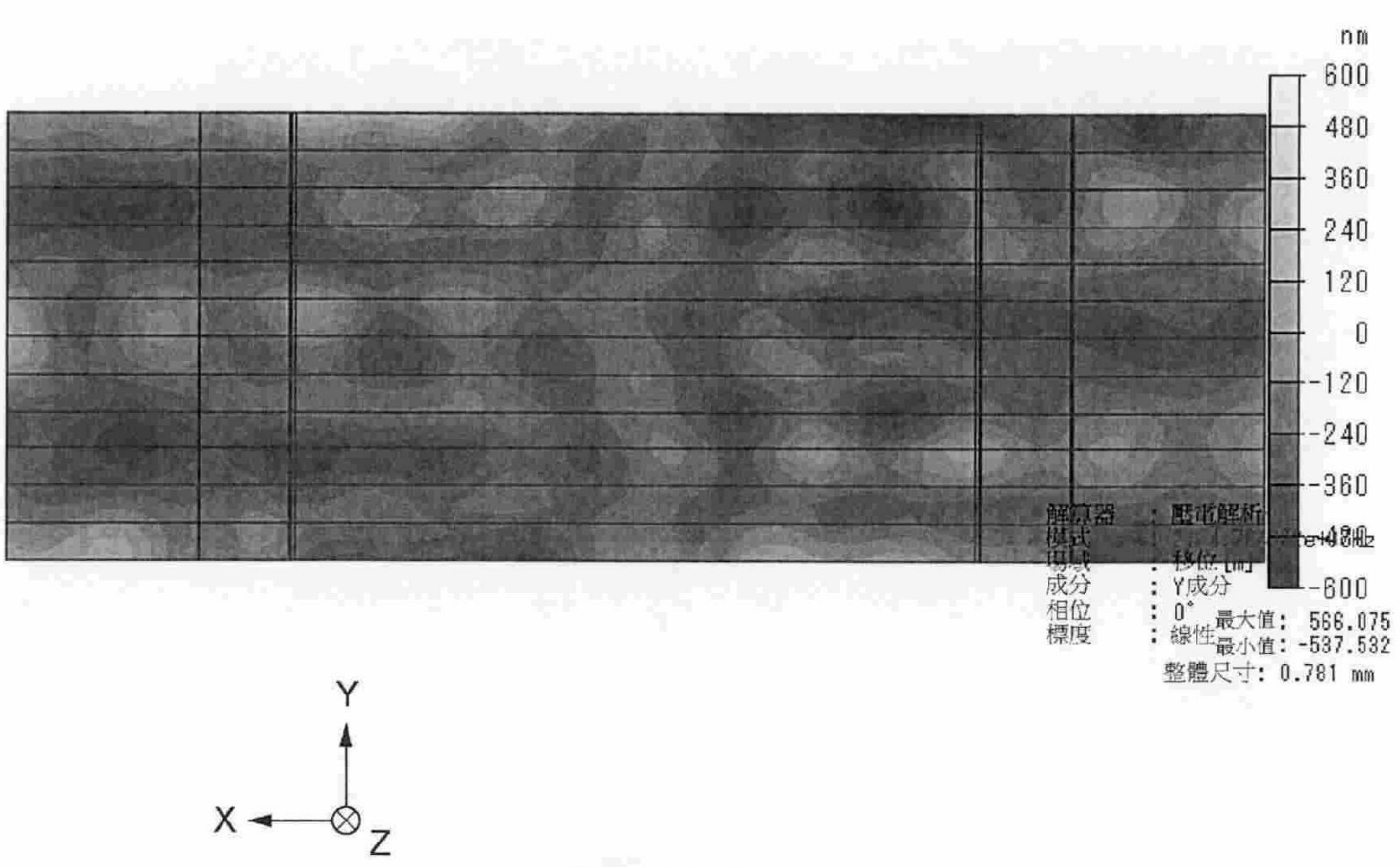


圖11H



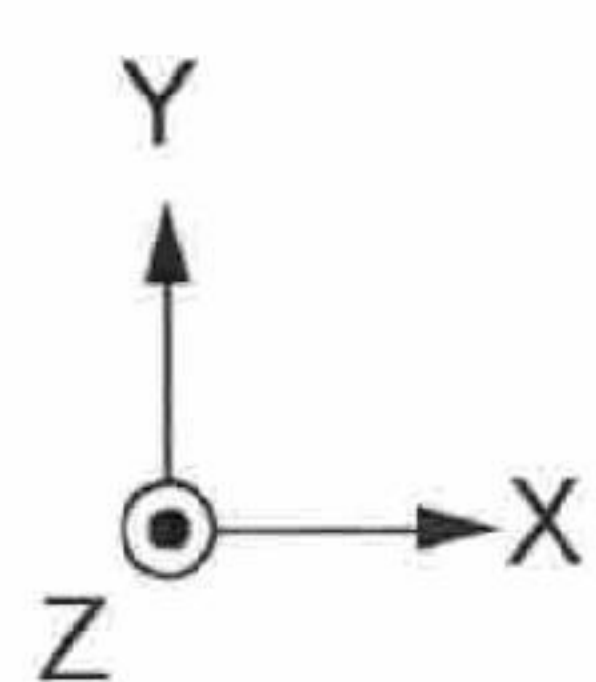
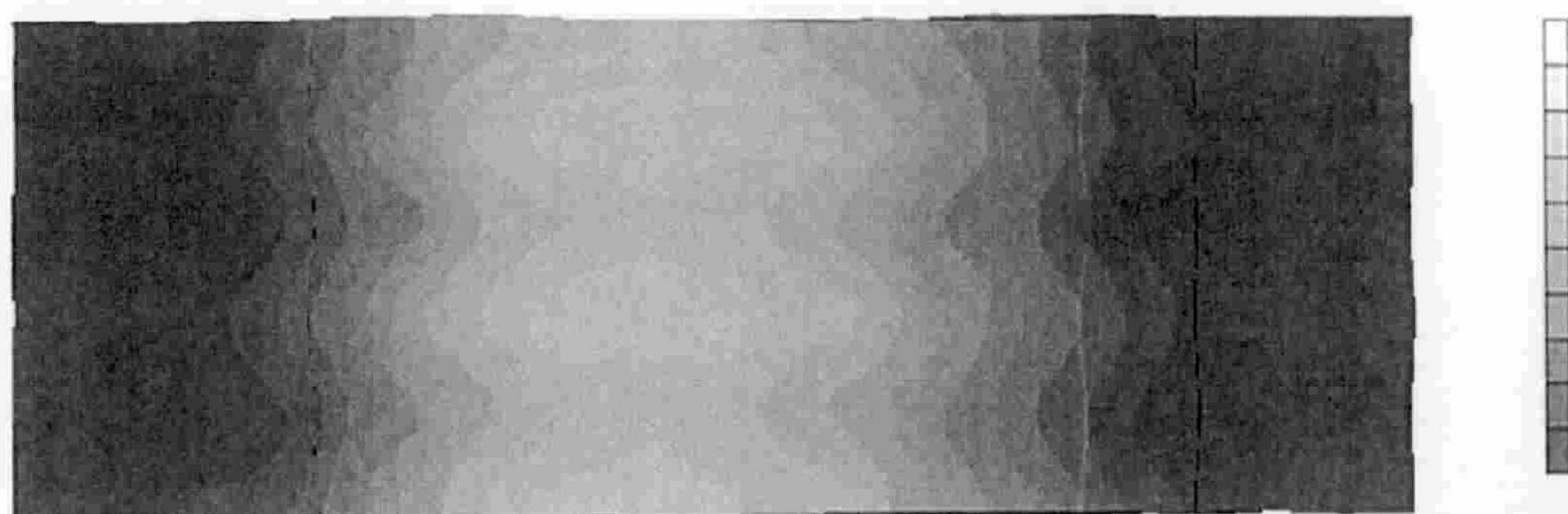


圖11I



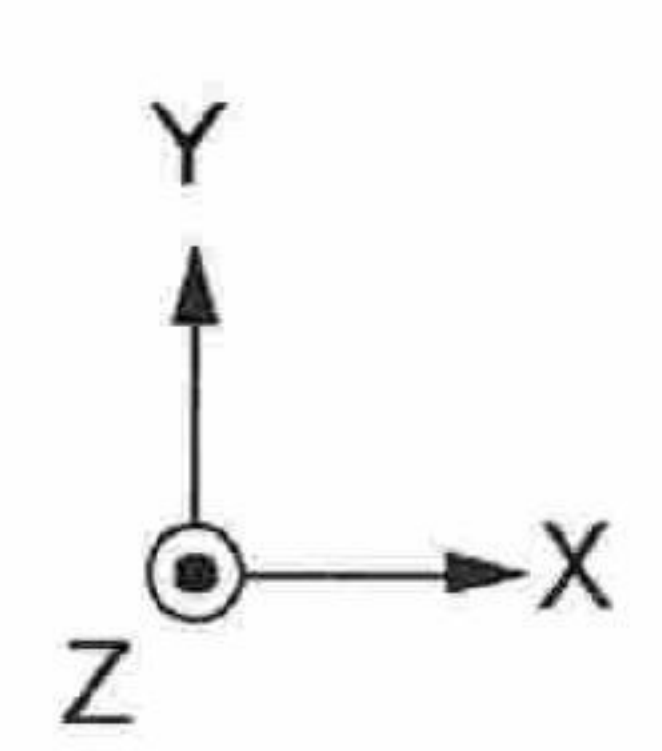
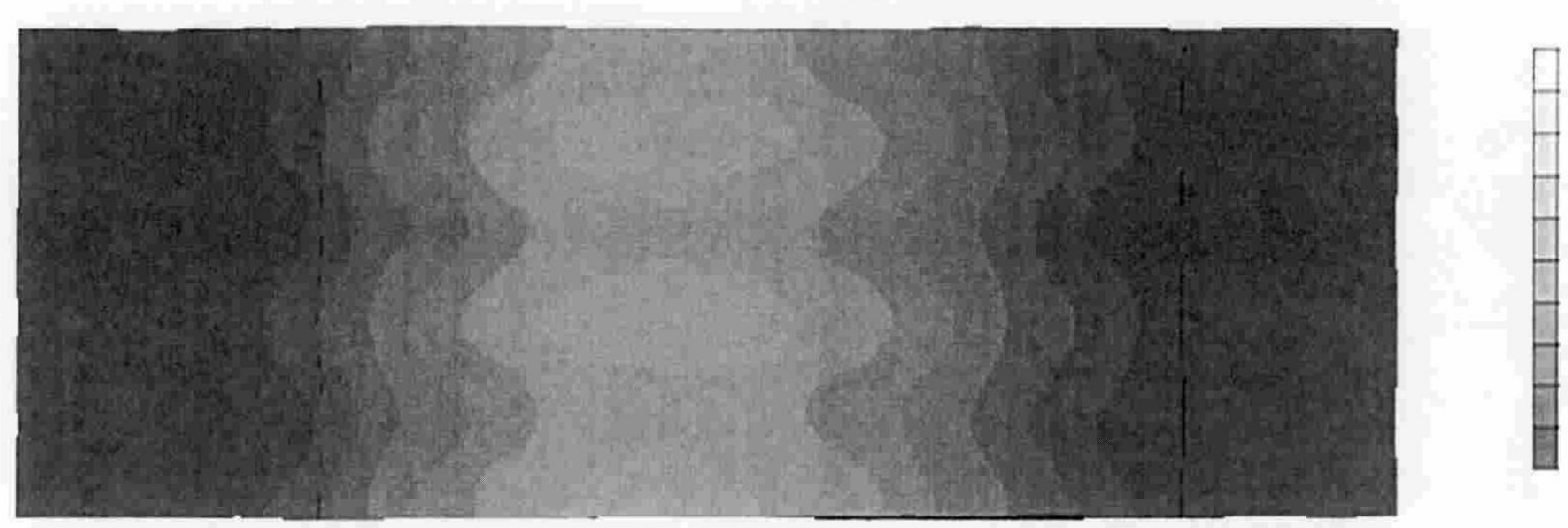


圖11J



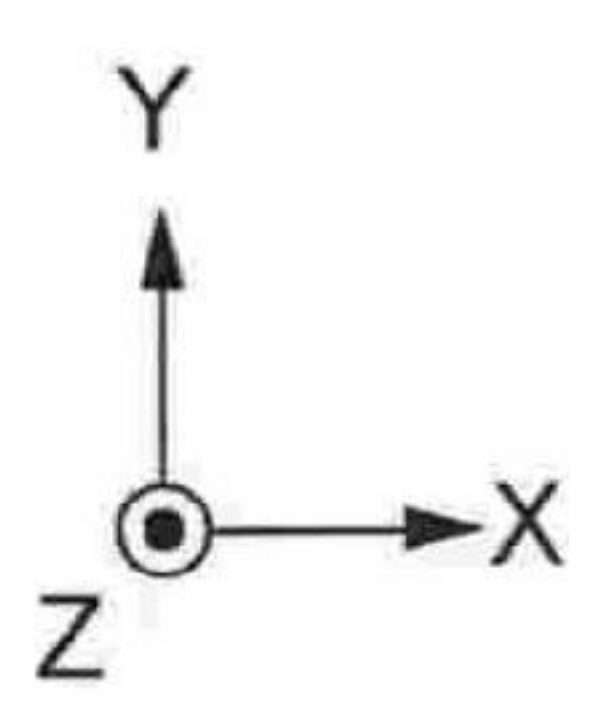
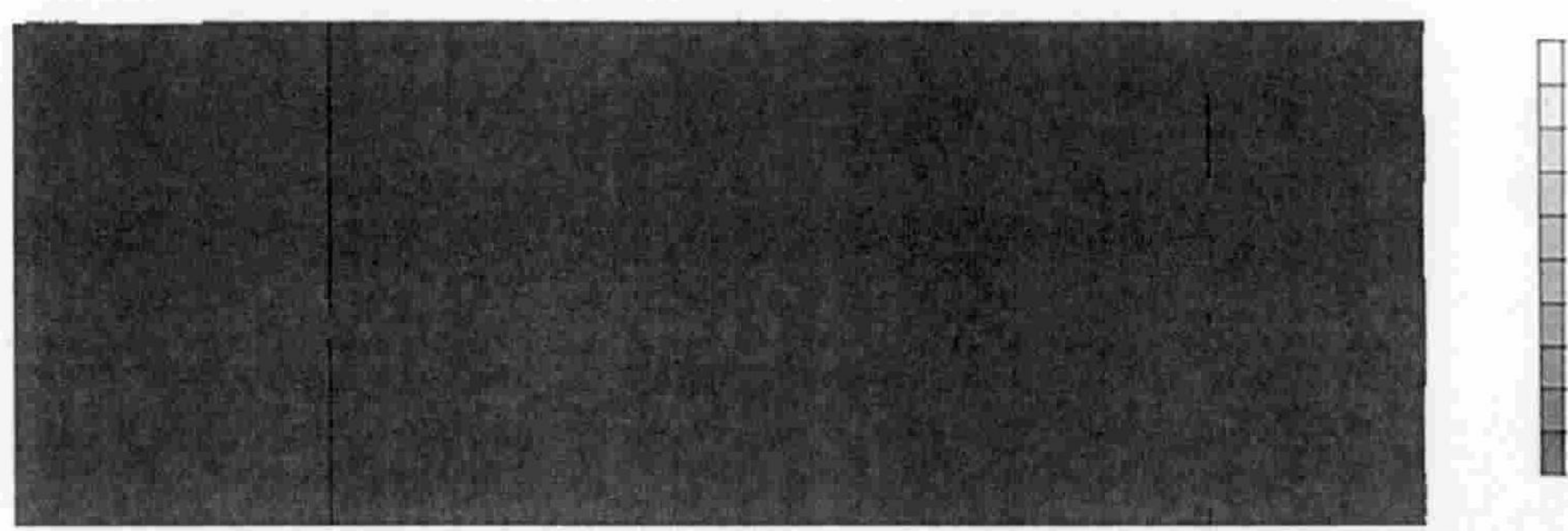


圖11K



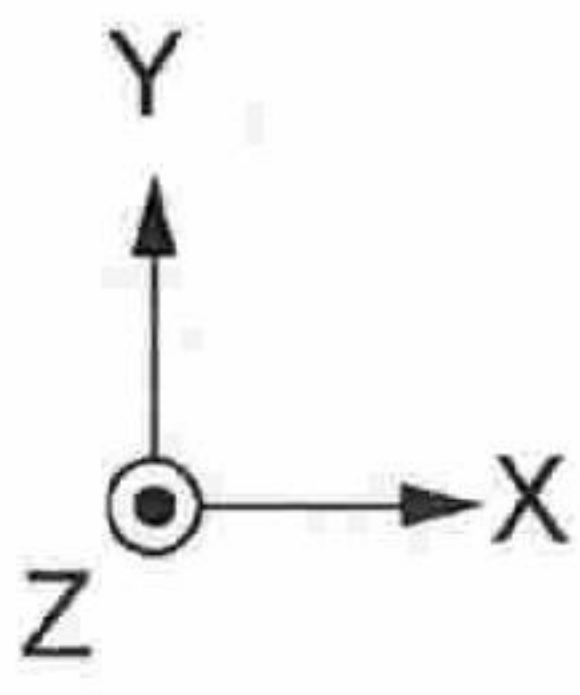
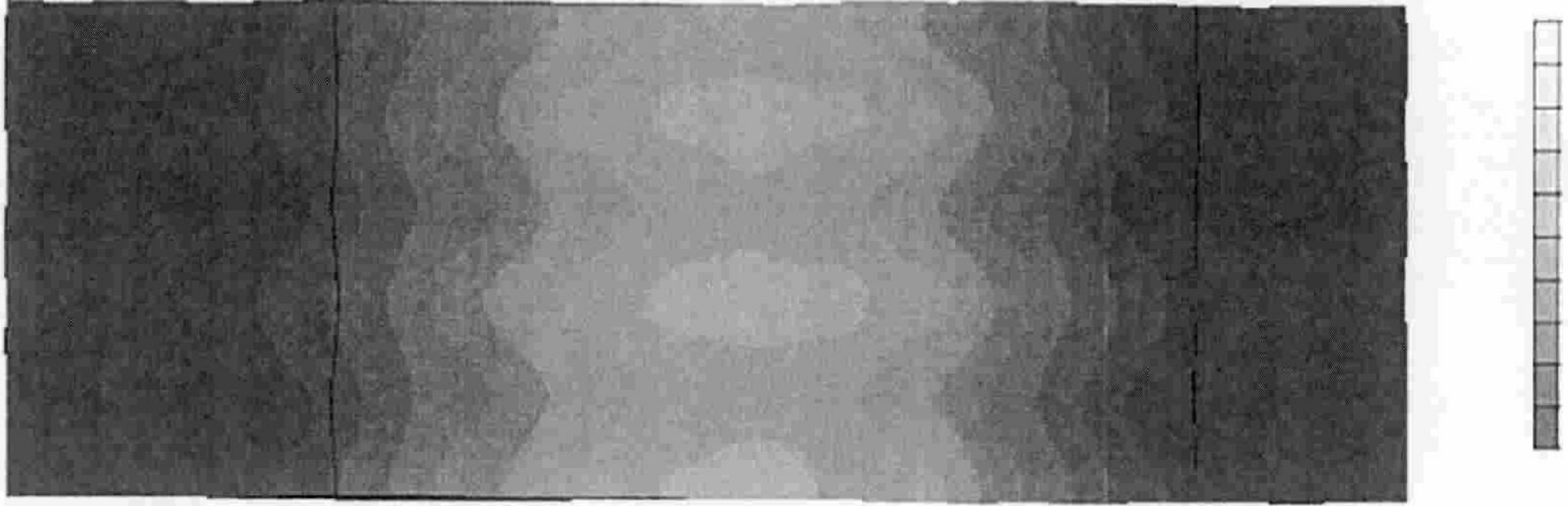


圖11L



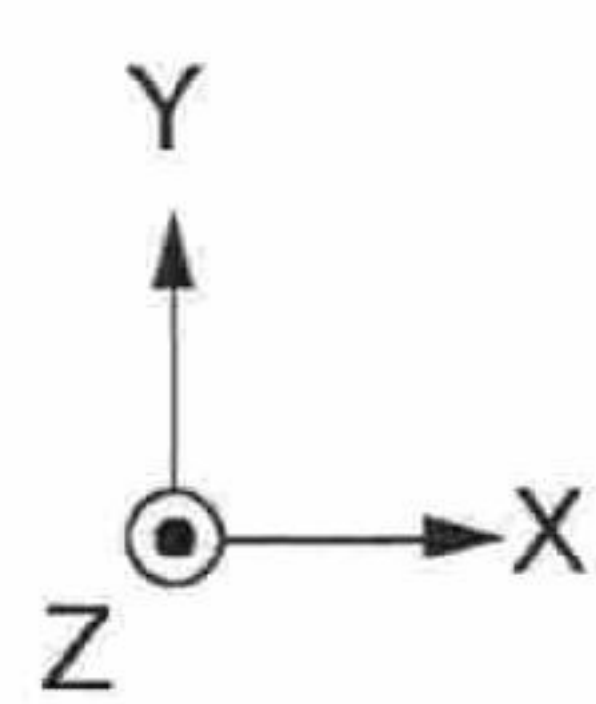
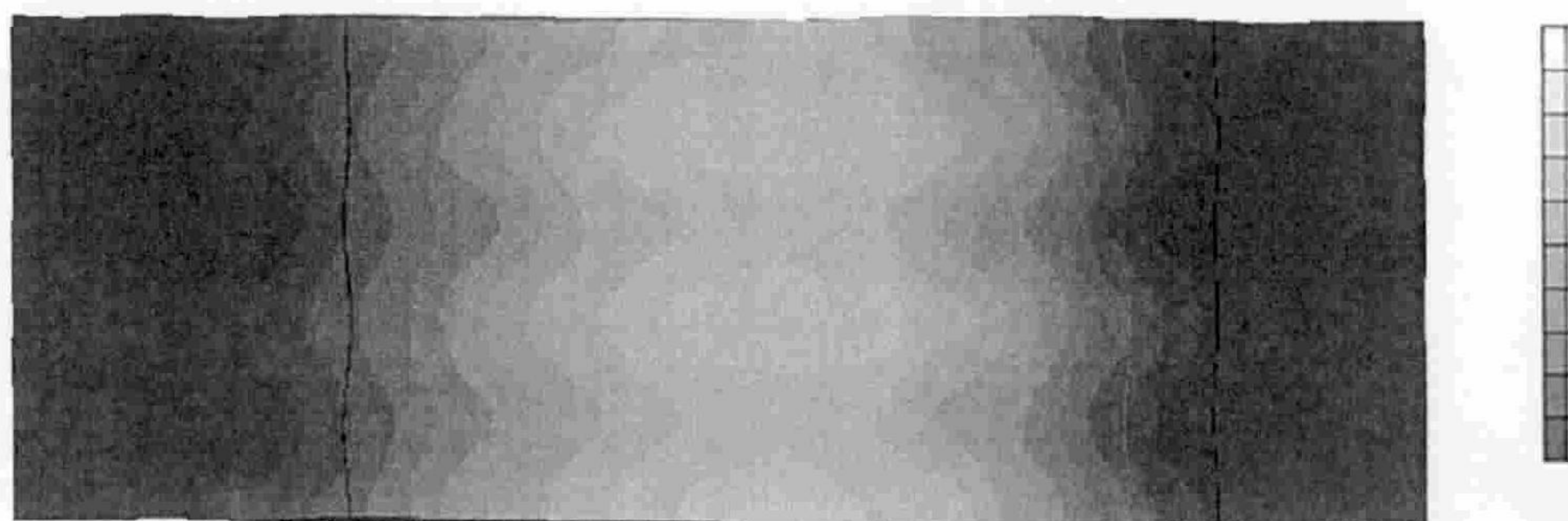


圖11M



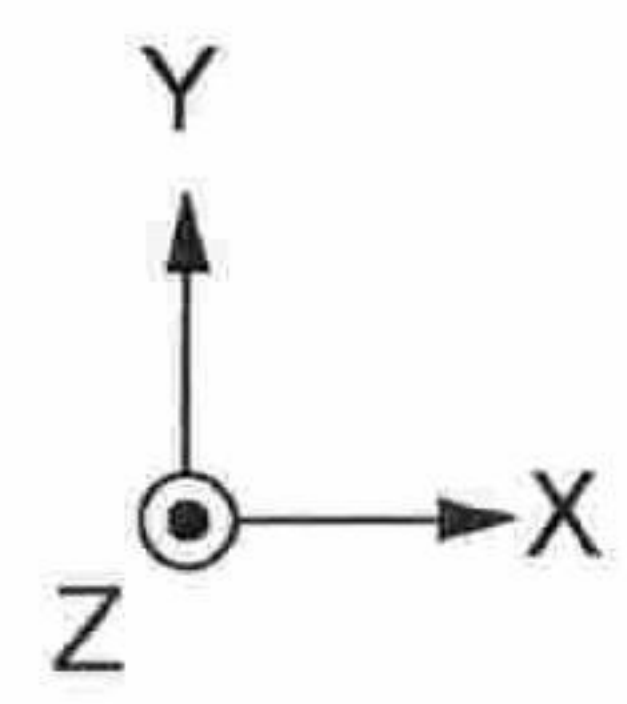
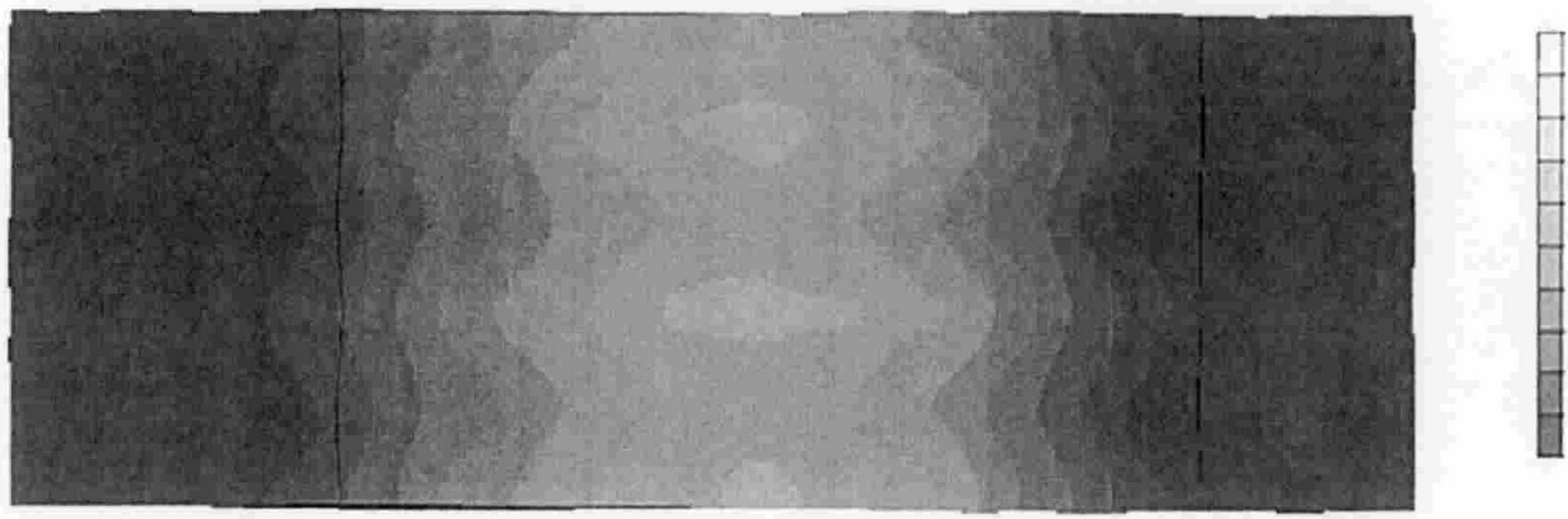


圖11N



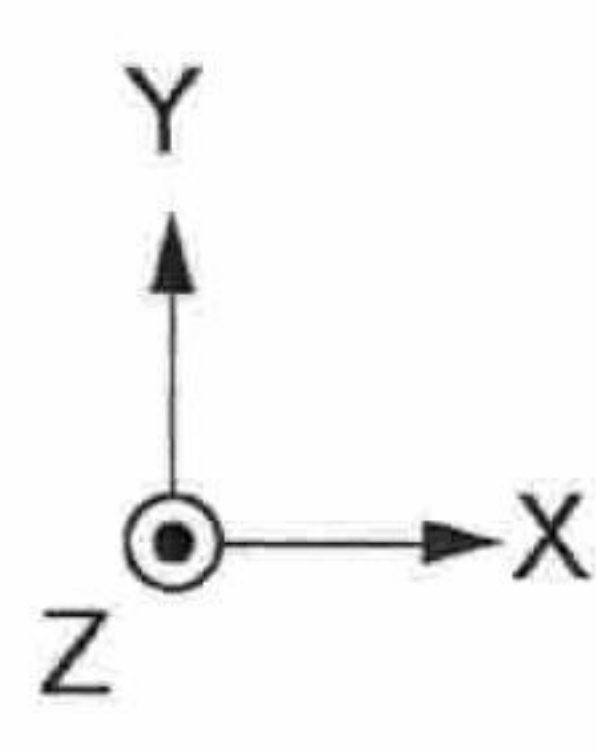
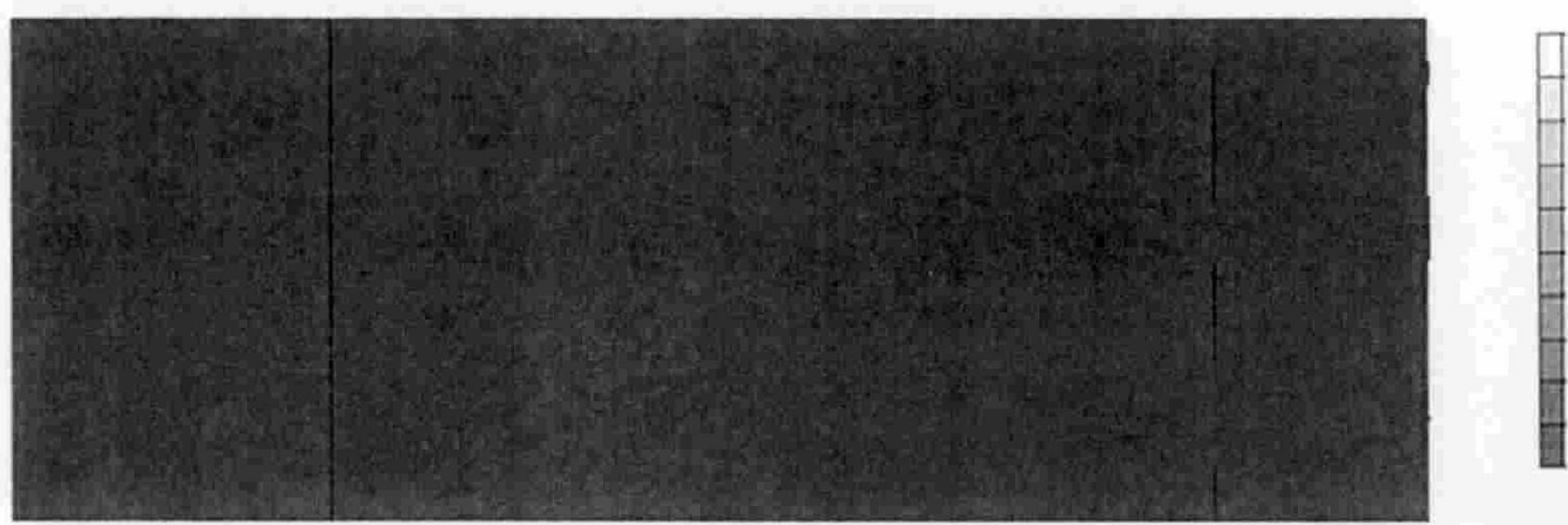


圖110



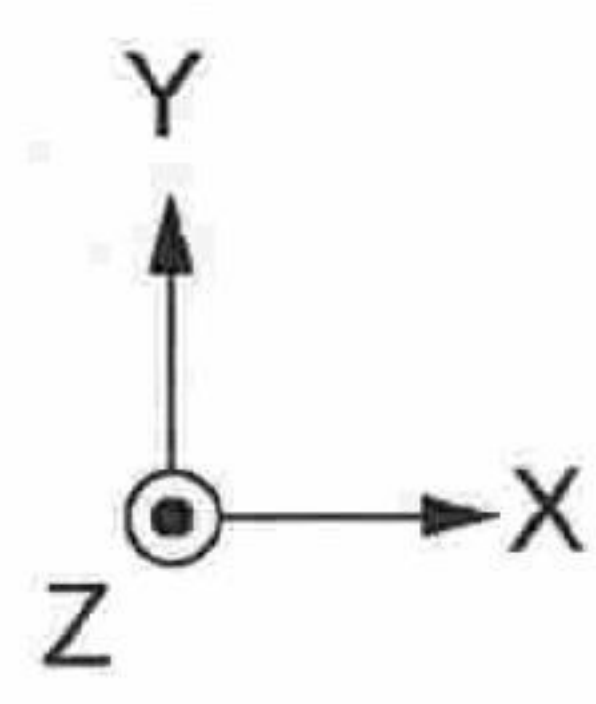
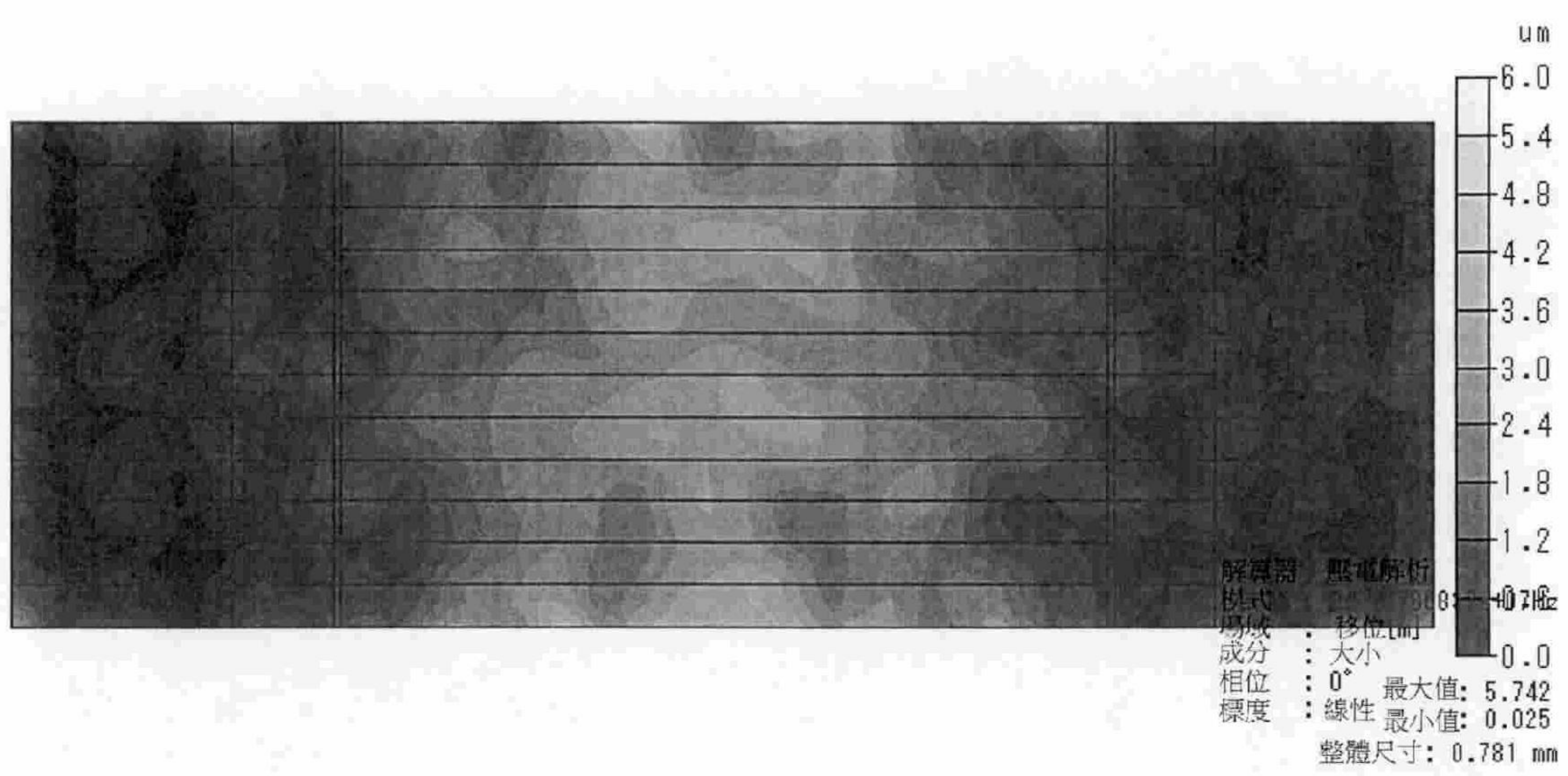


圖12A



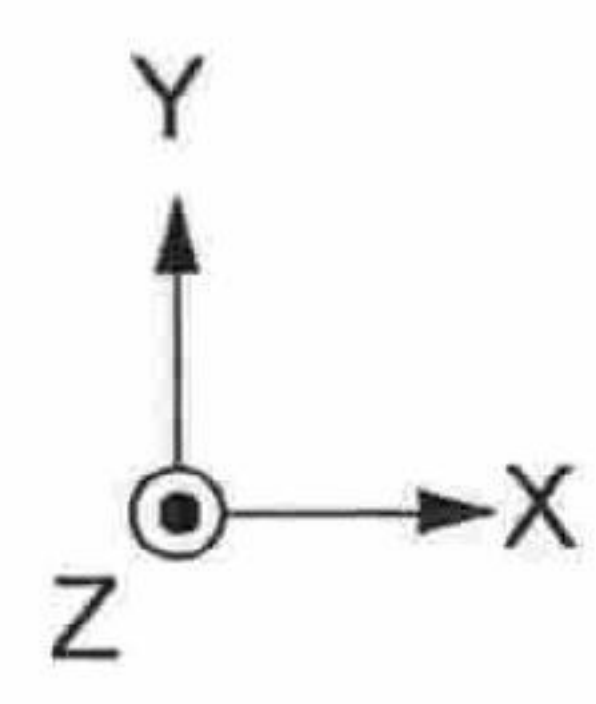
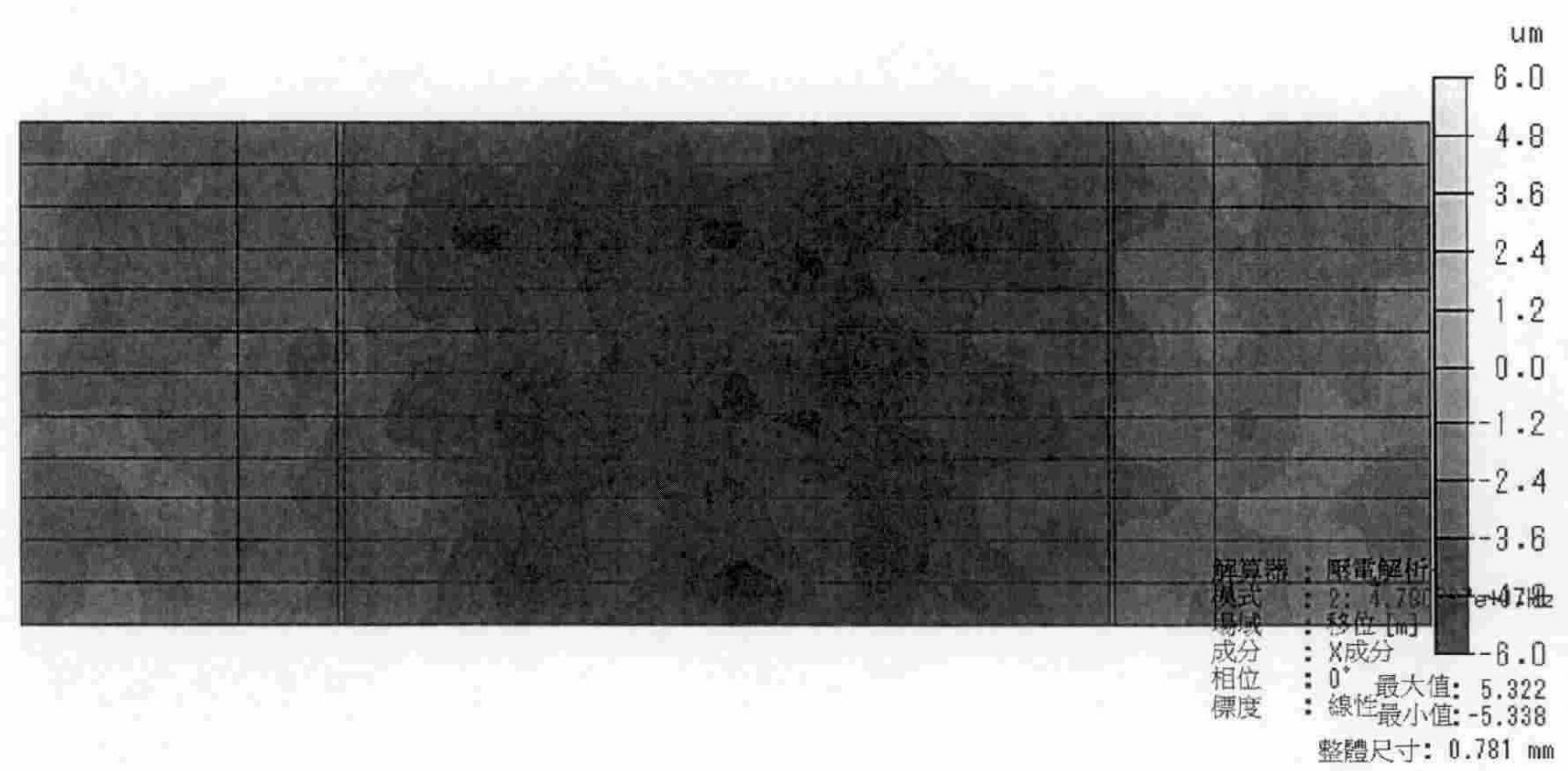


圖12B



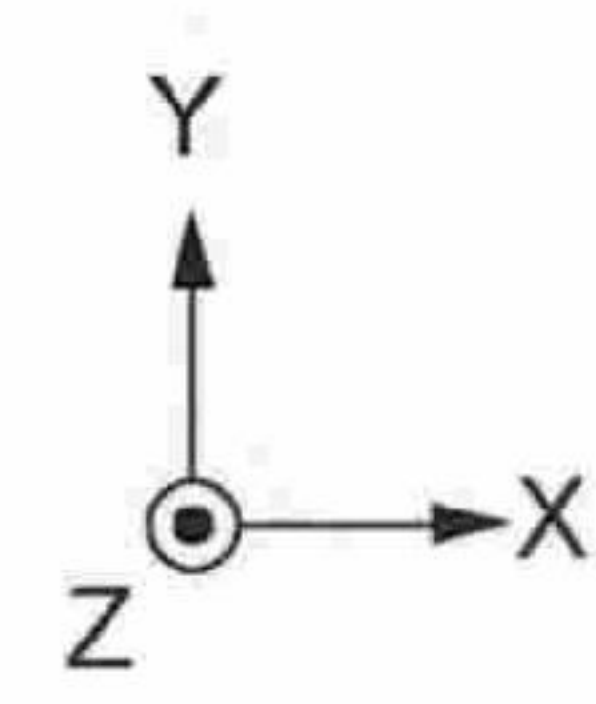
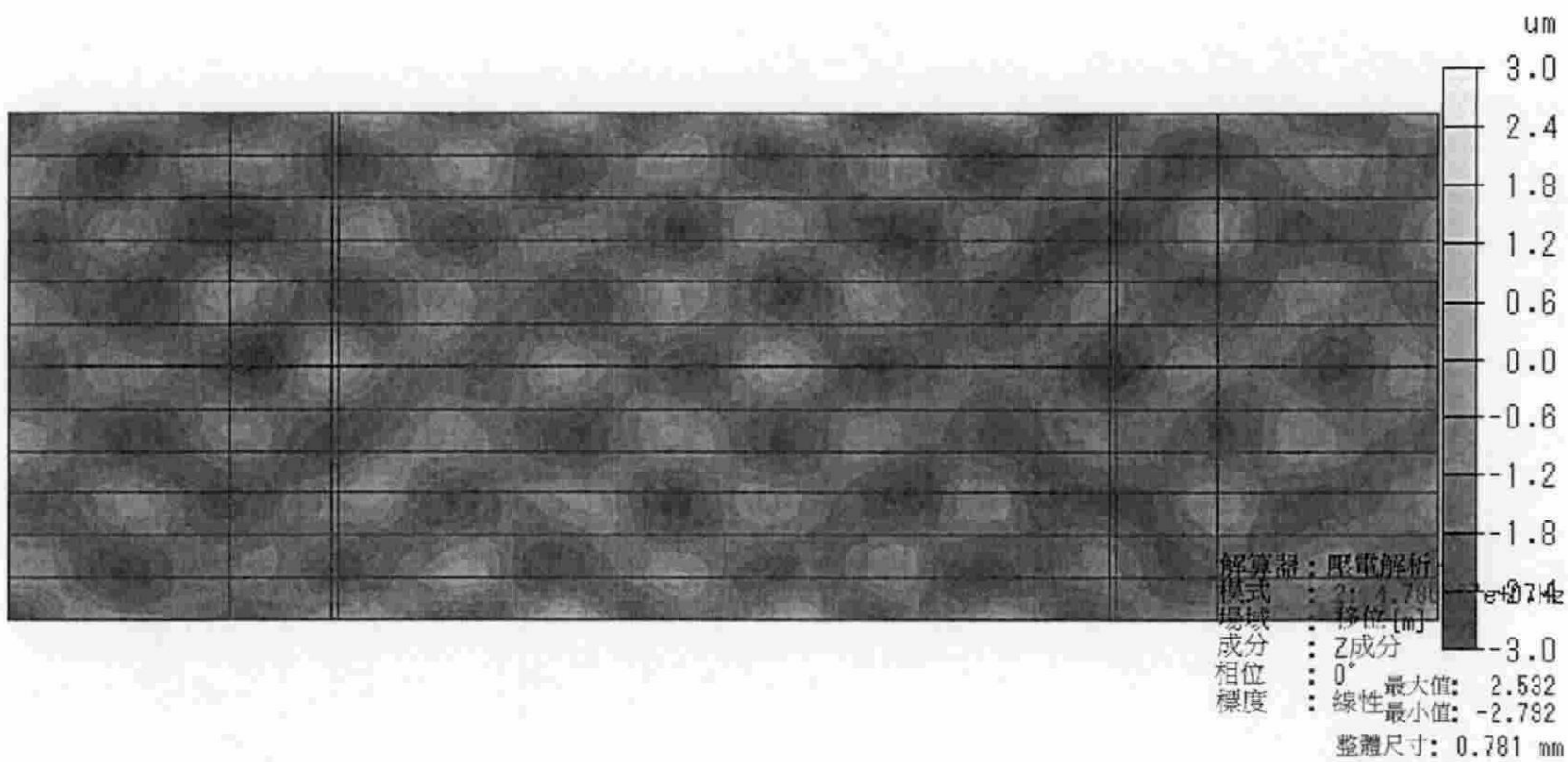


圖12C



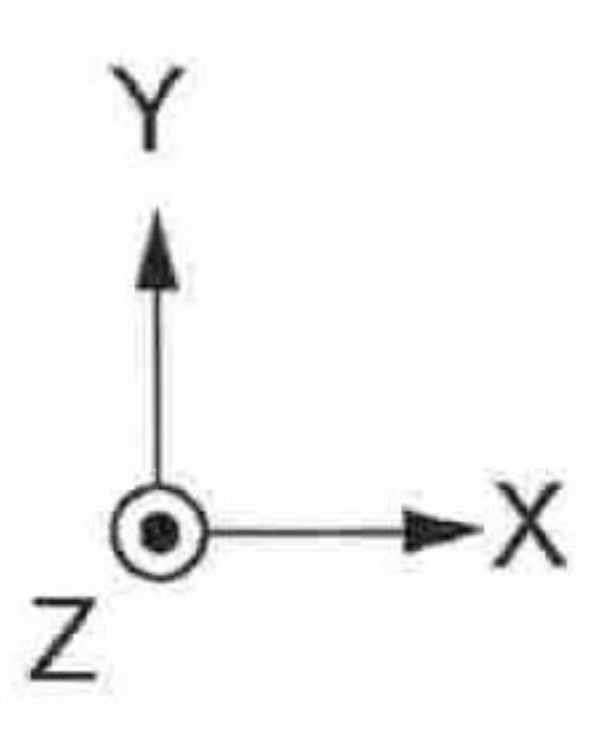
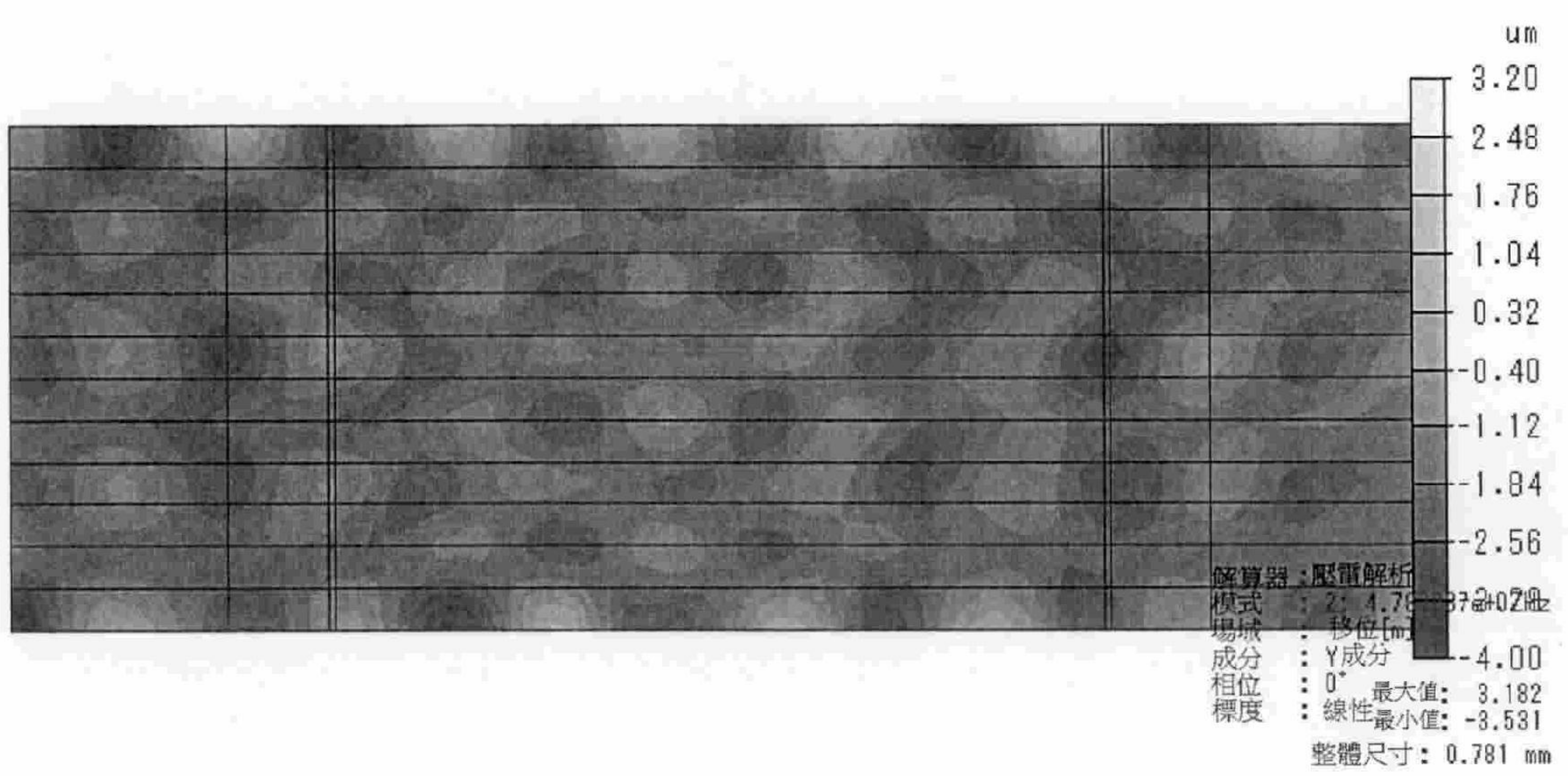


圖12D



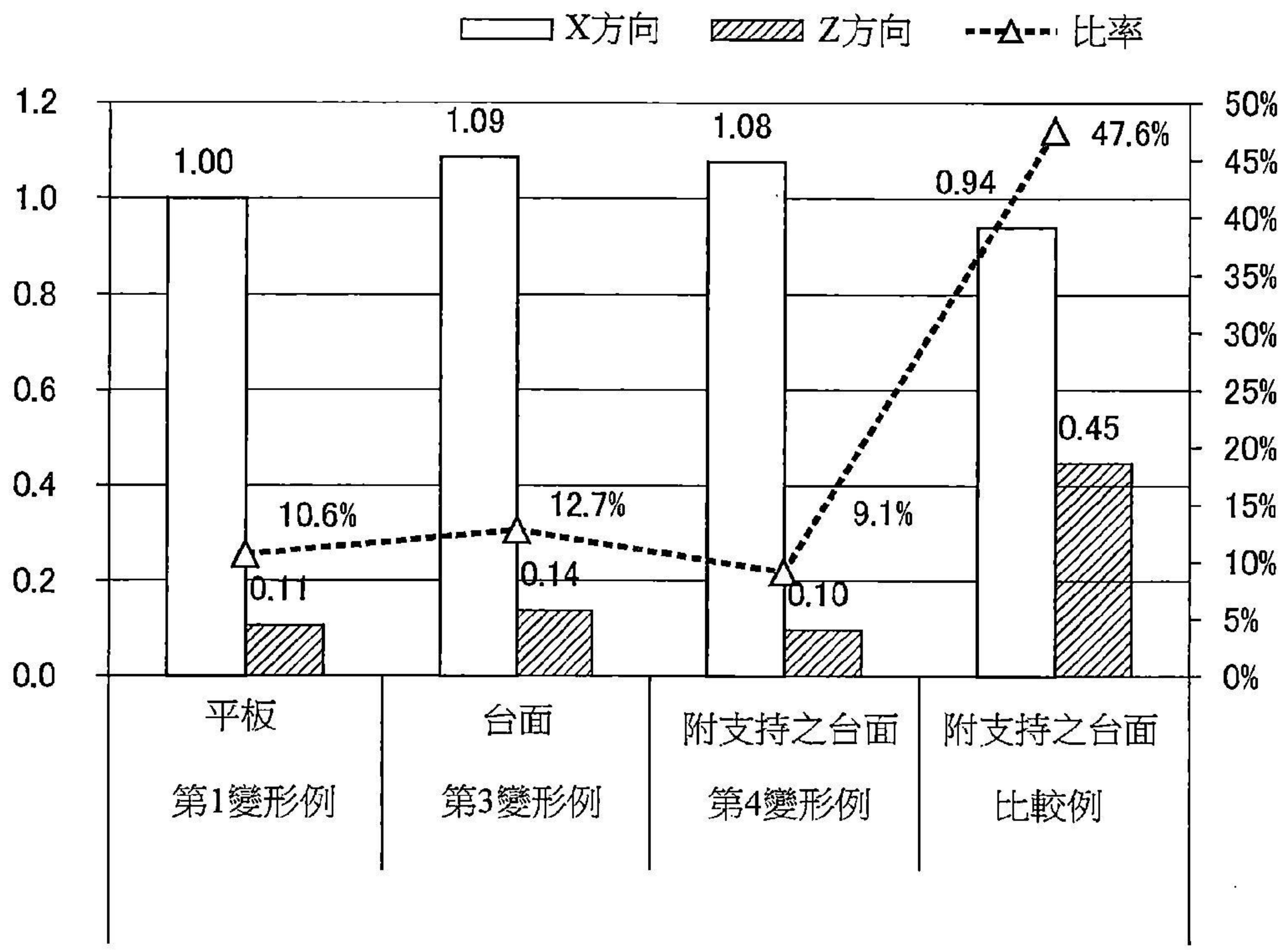


圖13



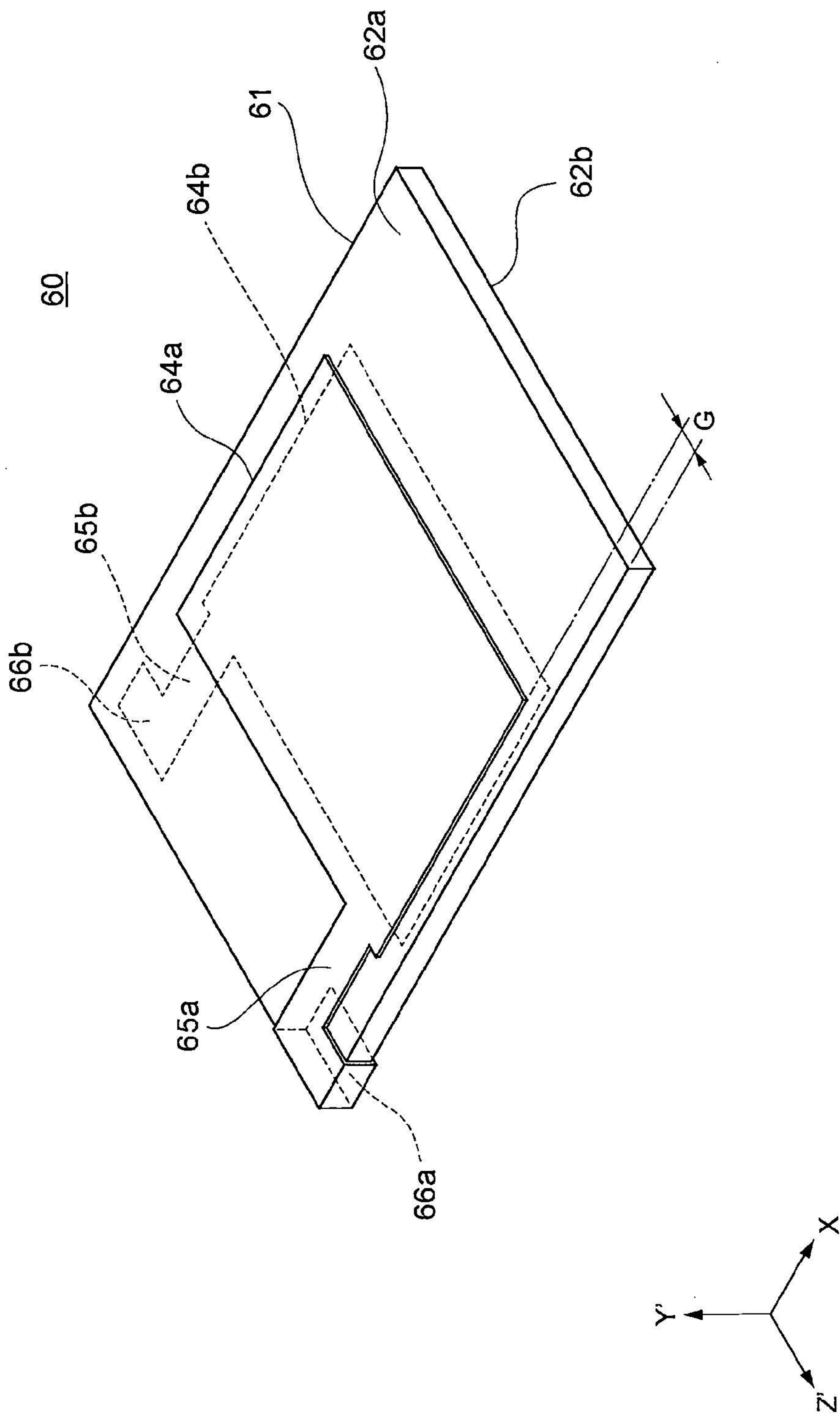


圖14



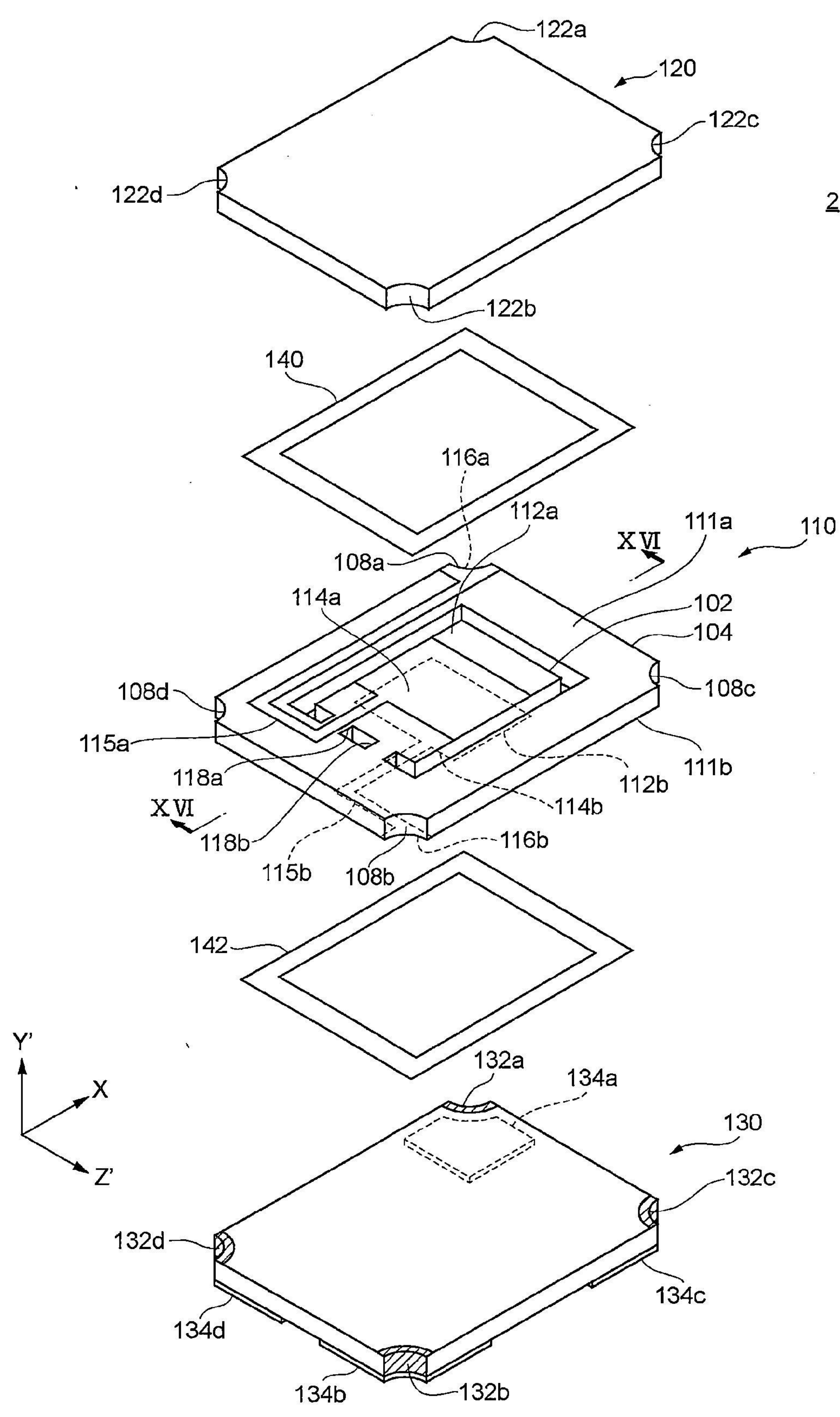


圖15



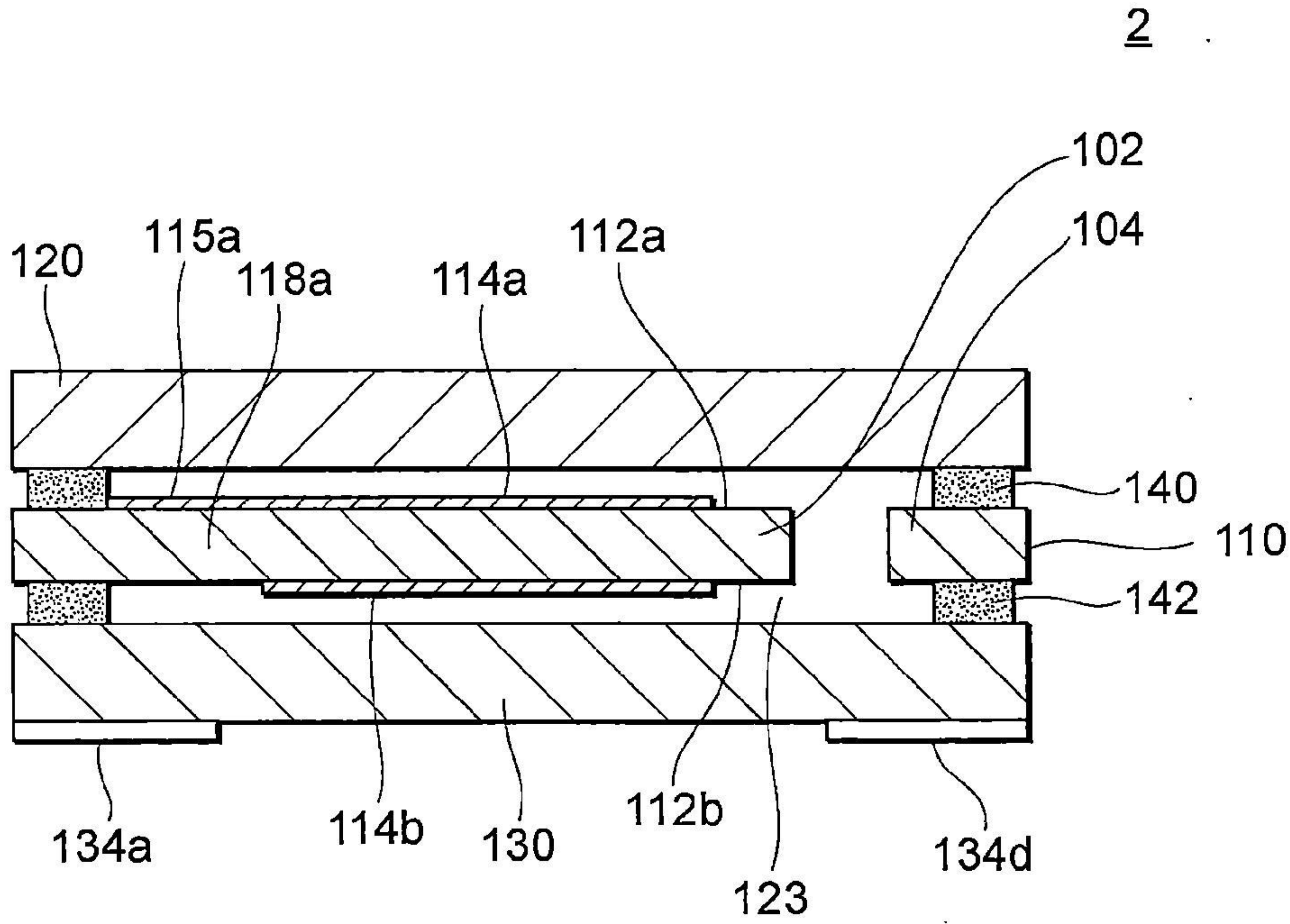


圖16



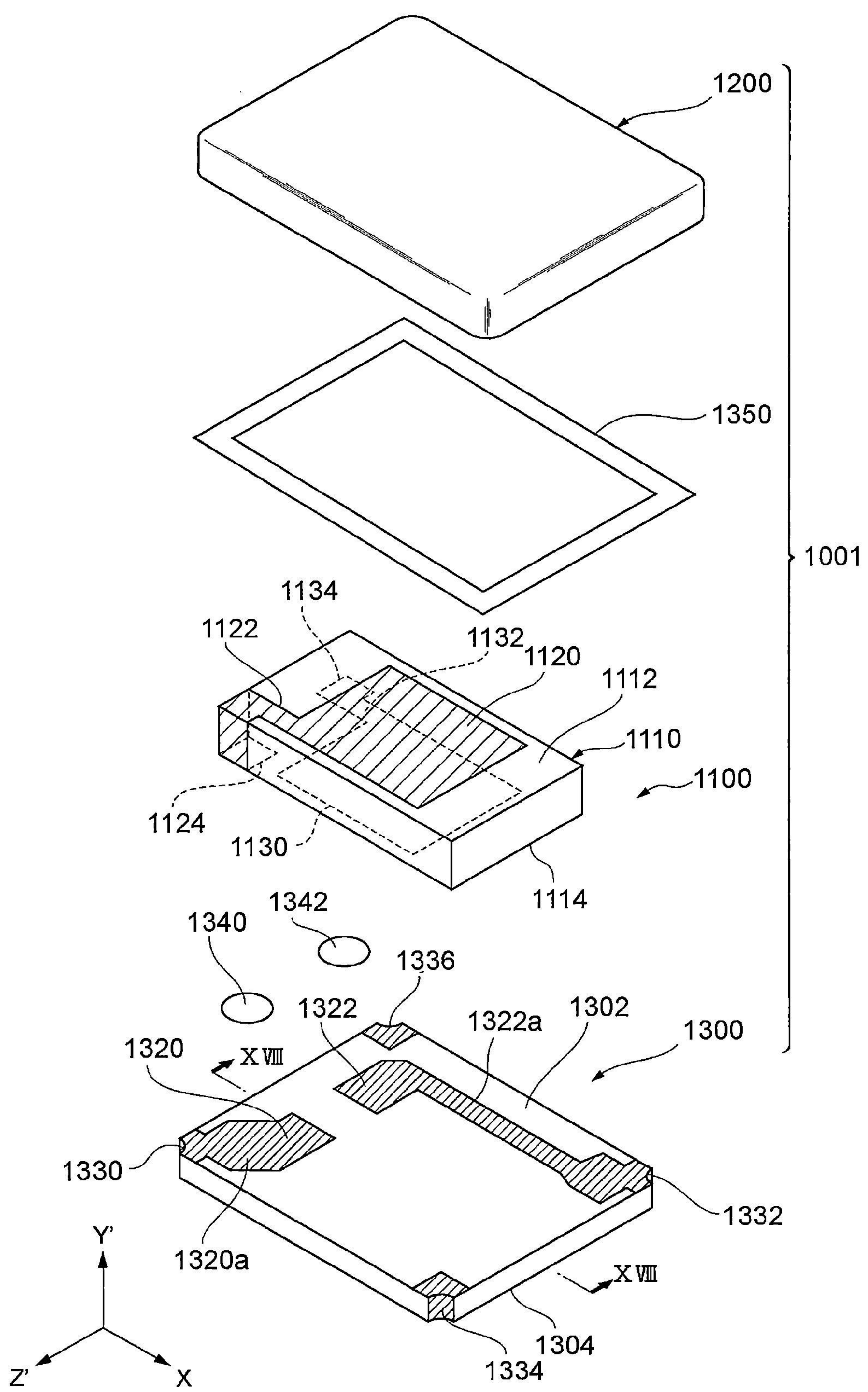


圖17



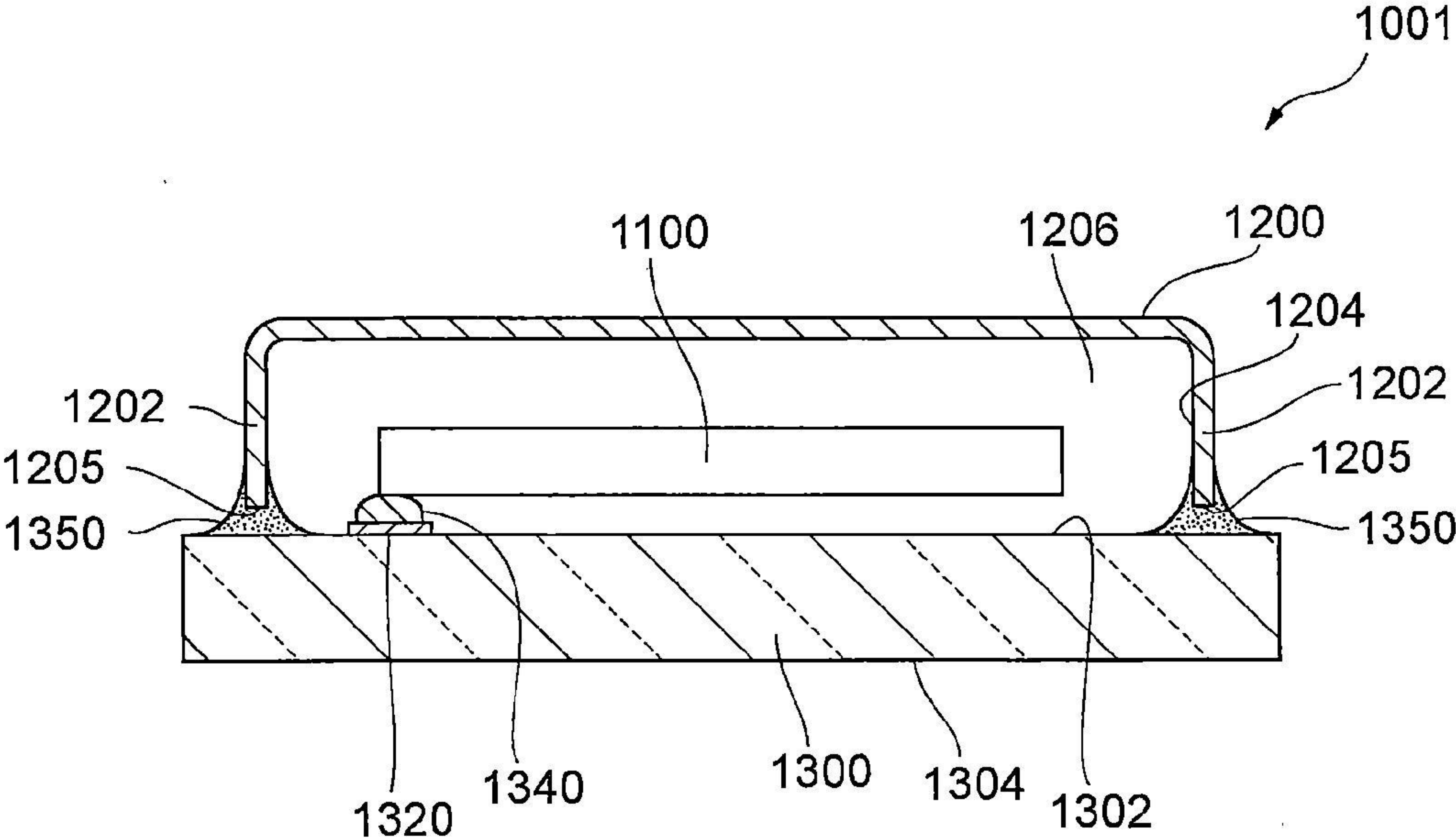


圖18



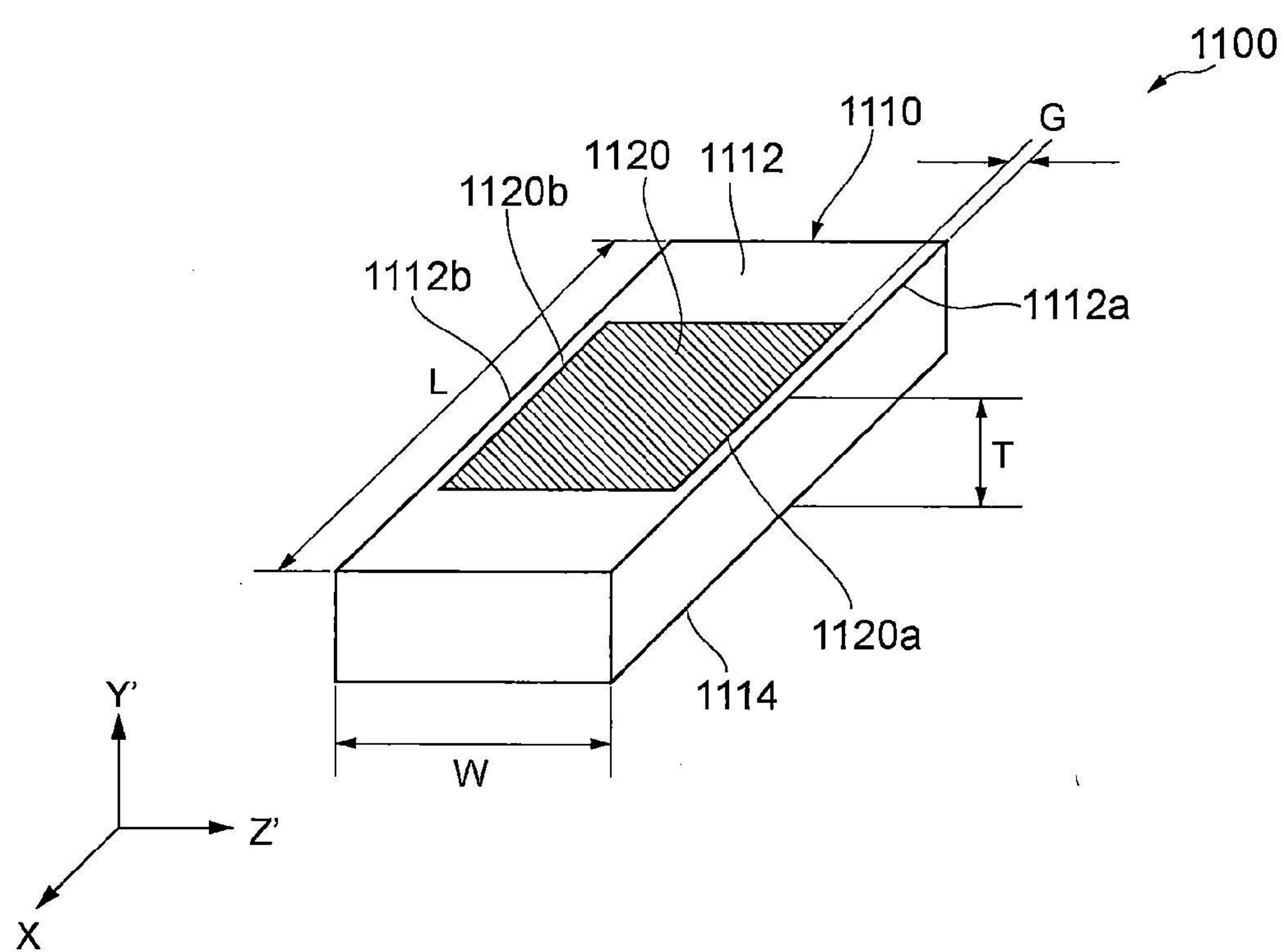


圖19



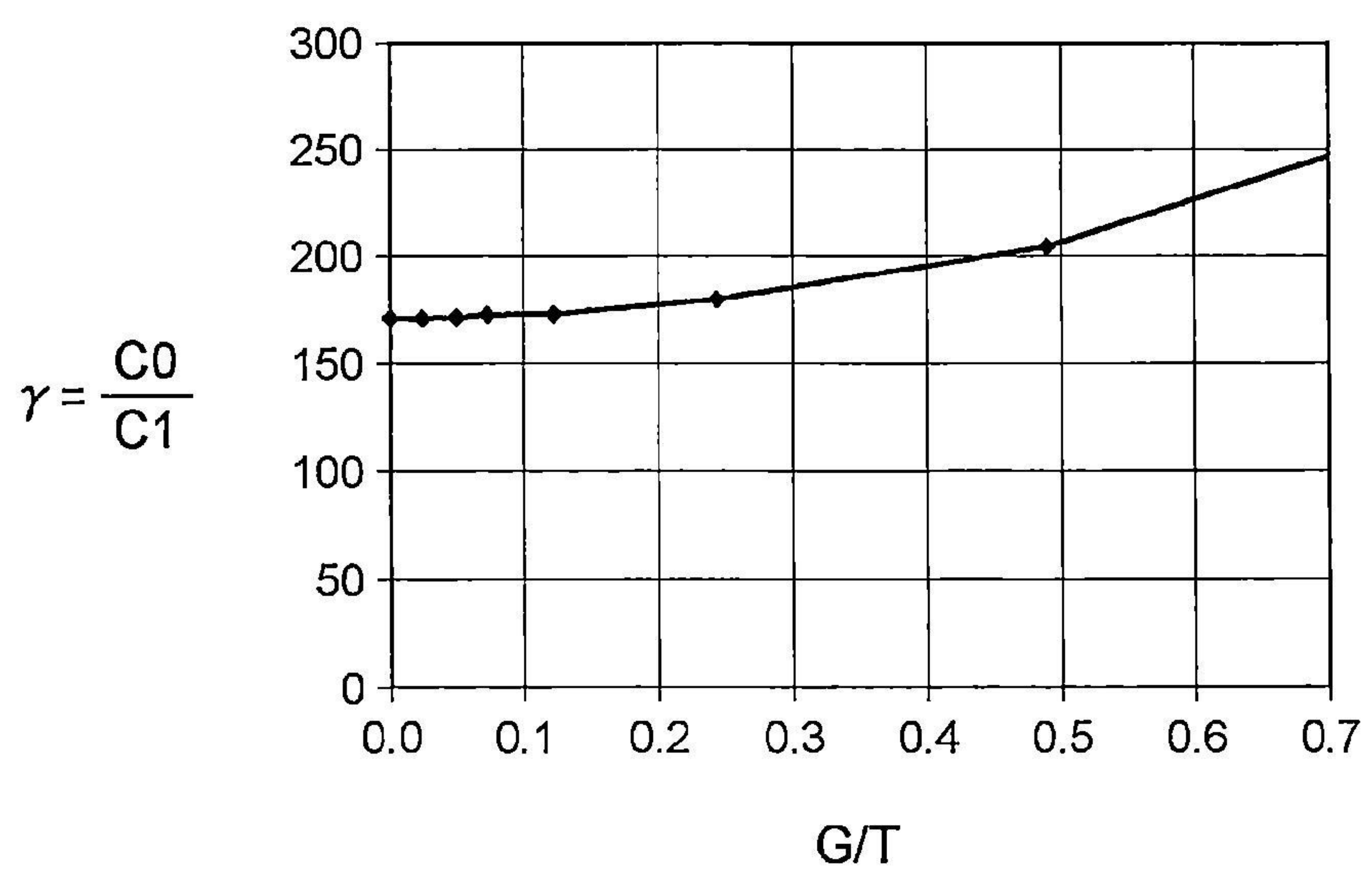


圖20A

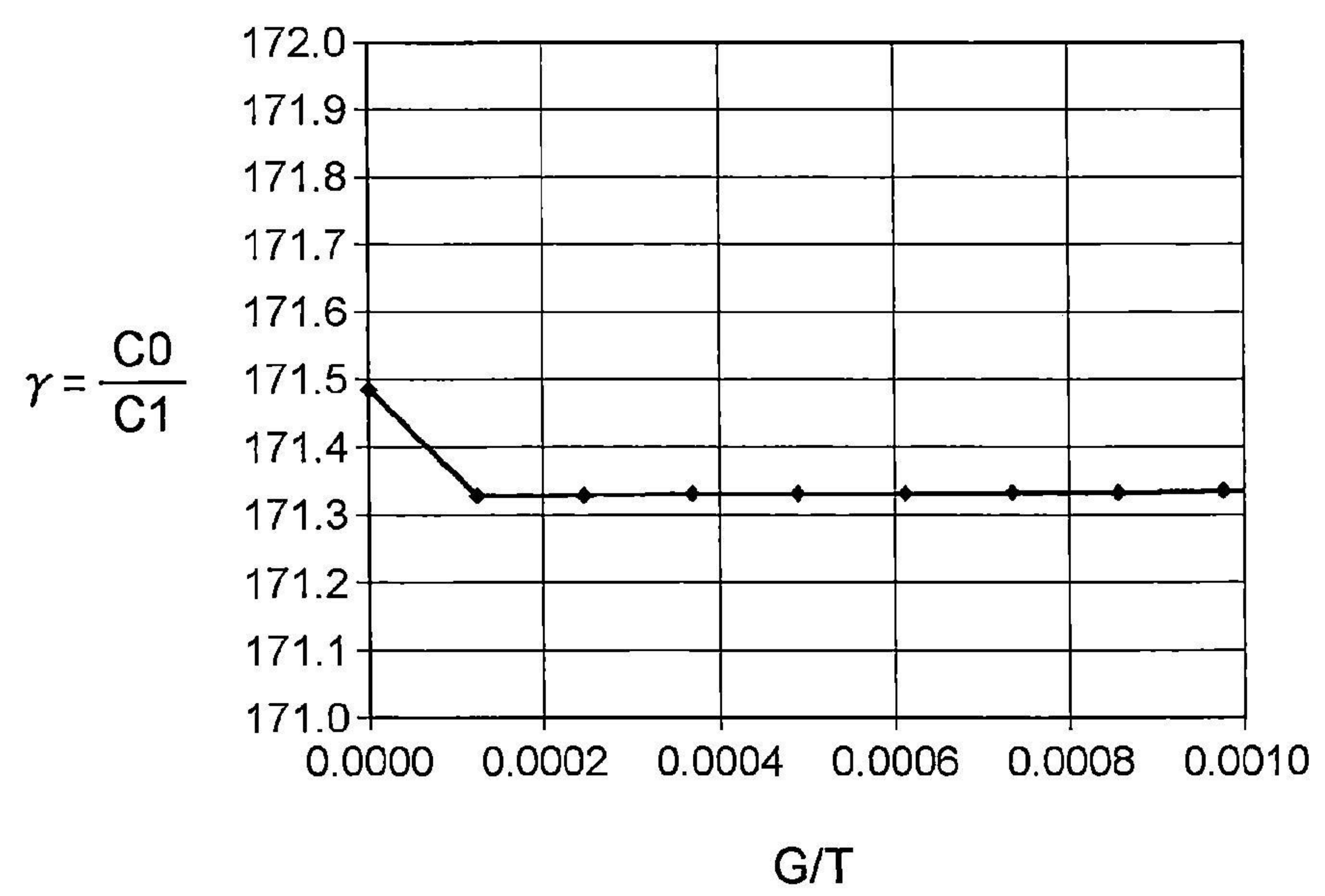


圖20B



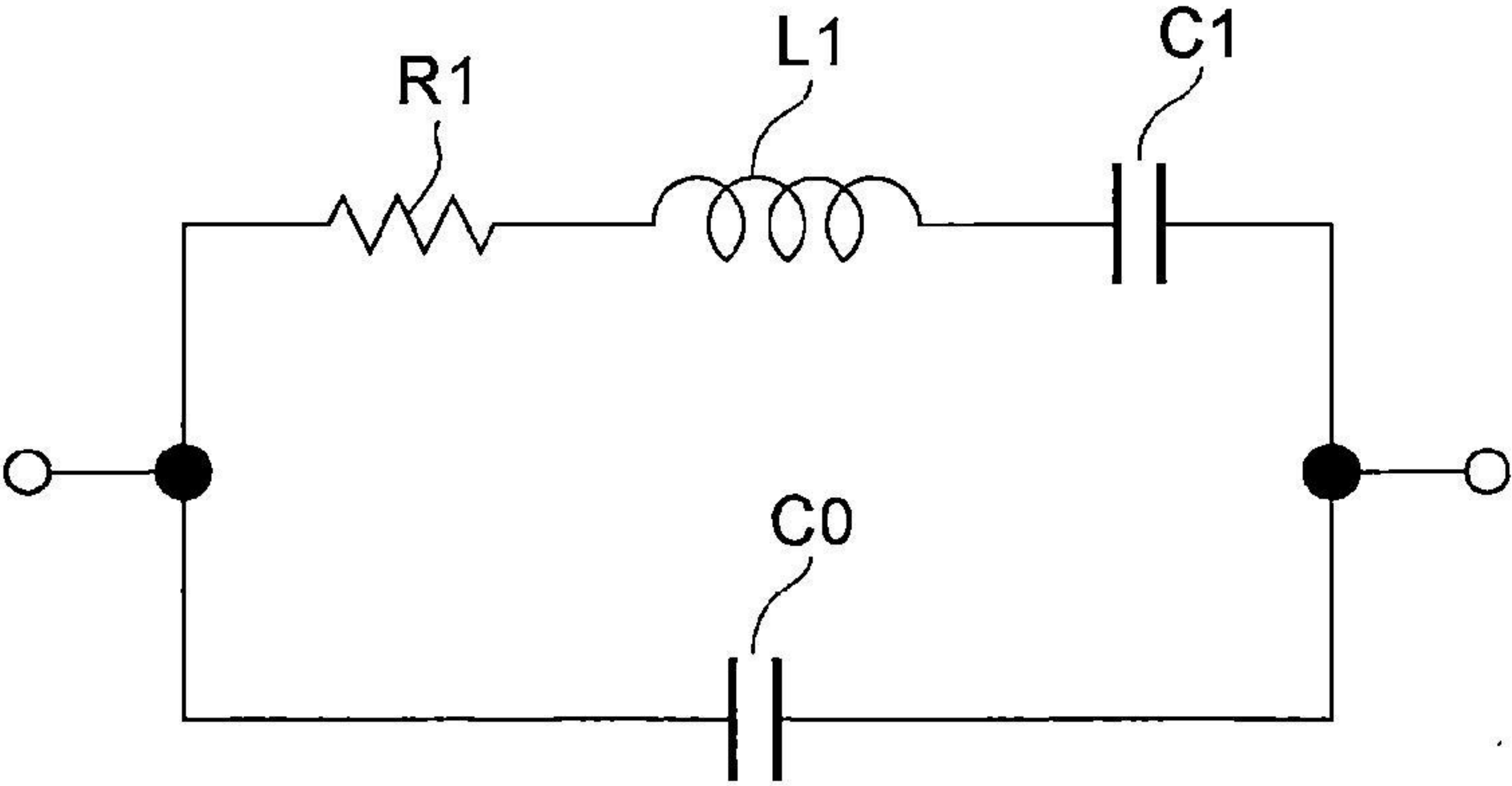


圖21



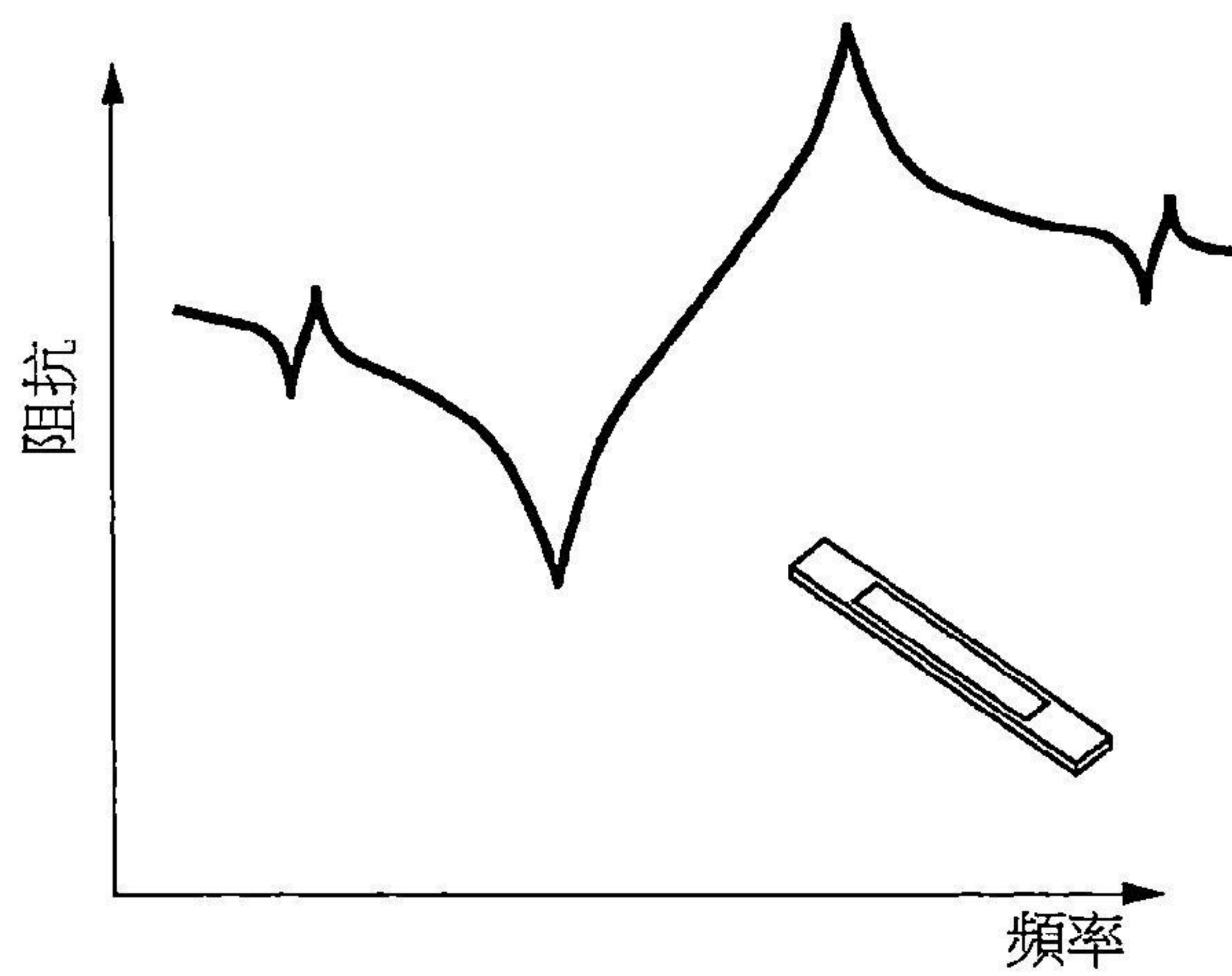


圖22A

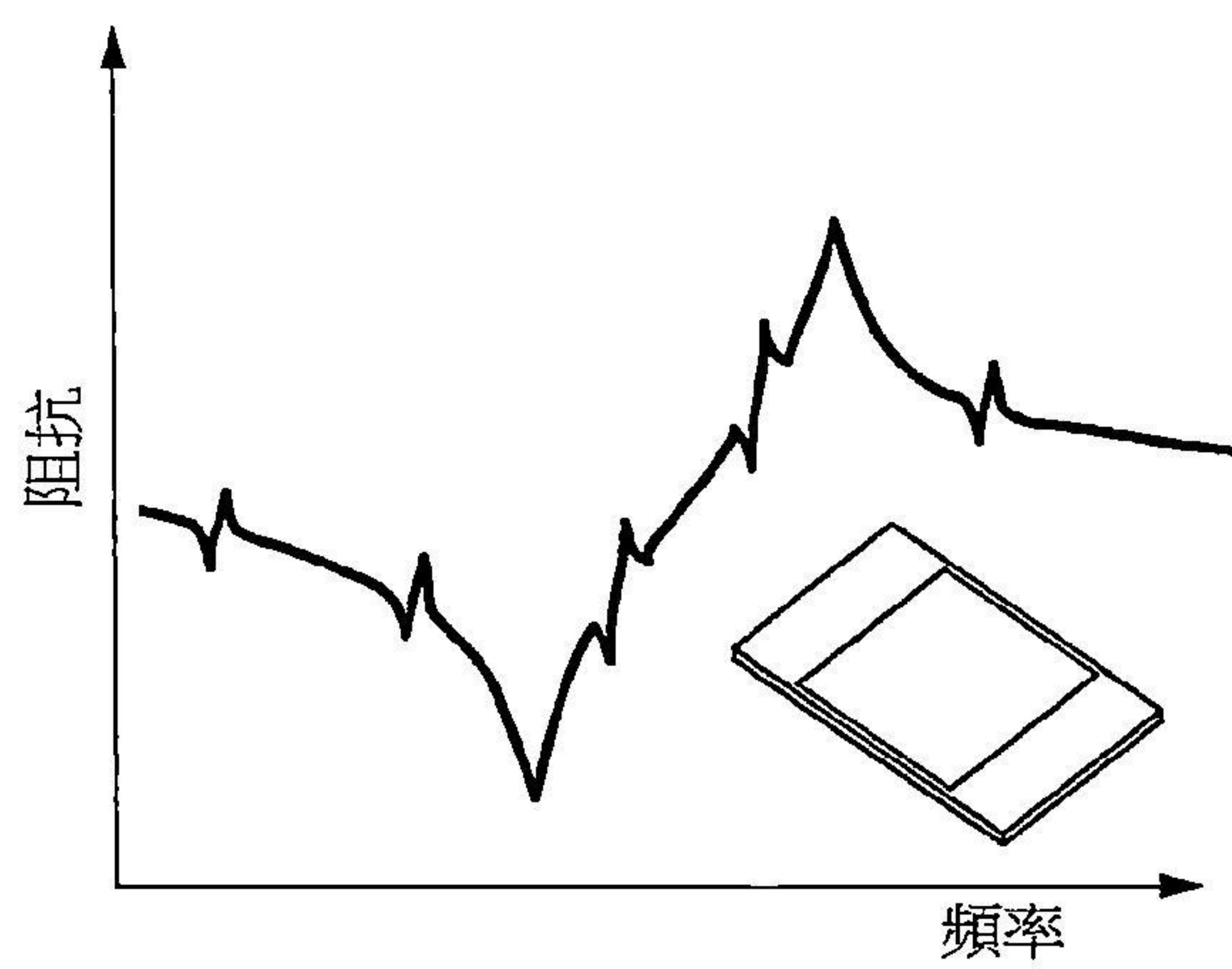


圖22B



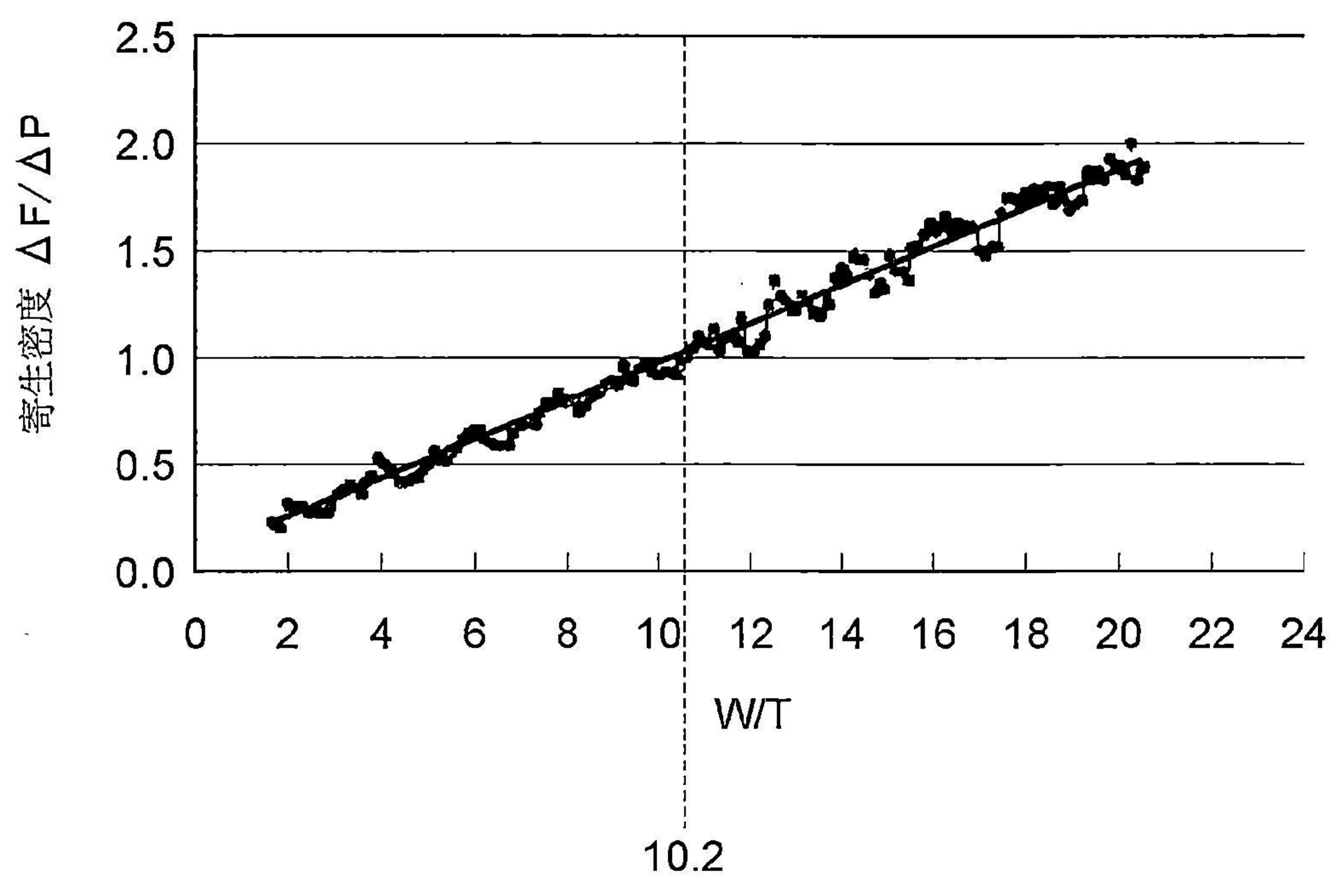


圖23



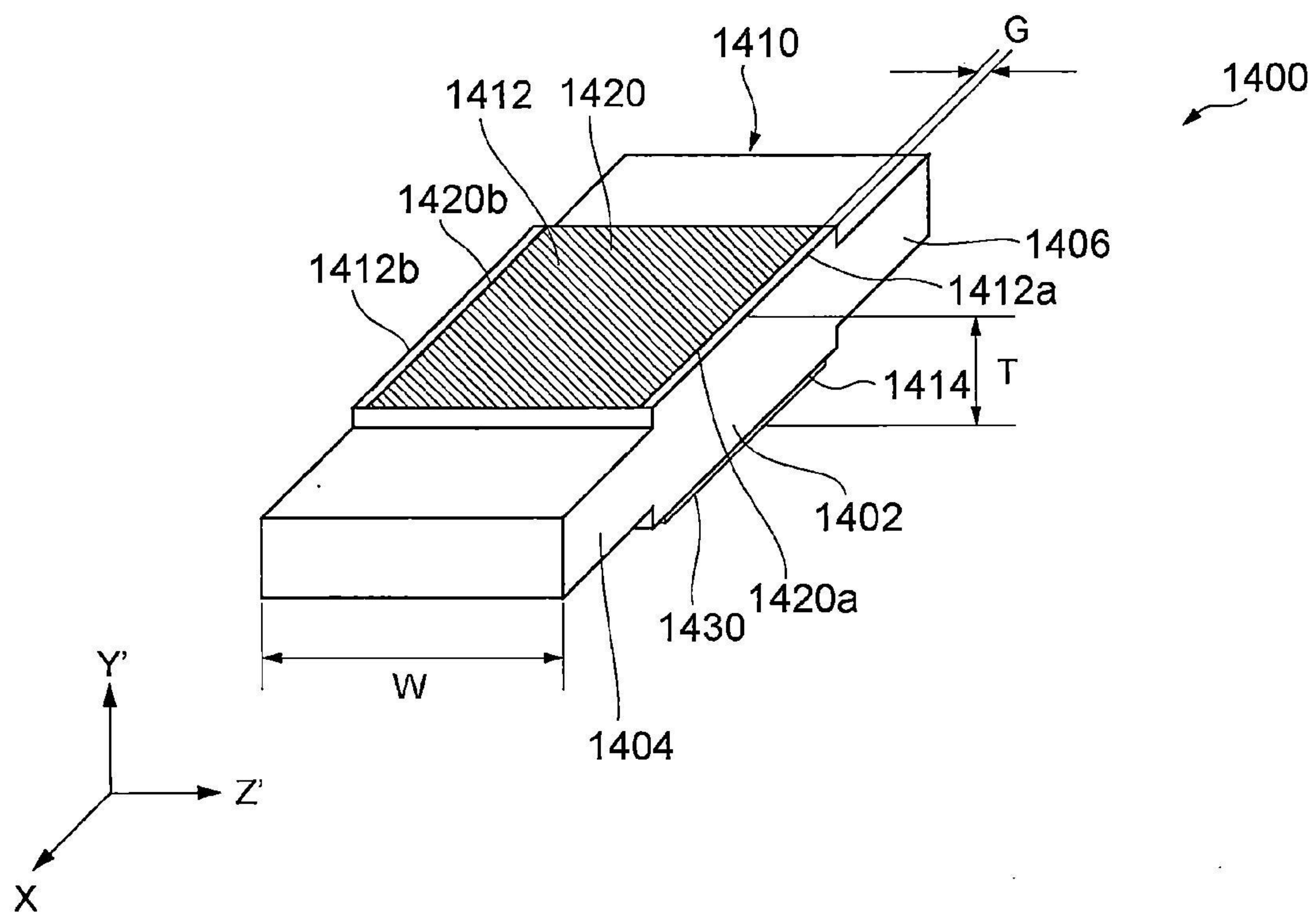


圖24



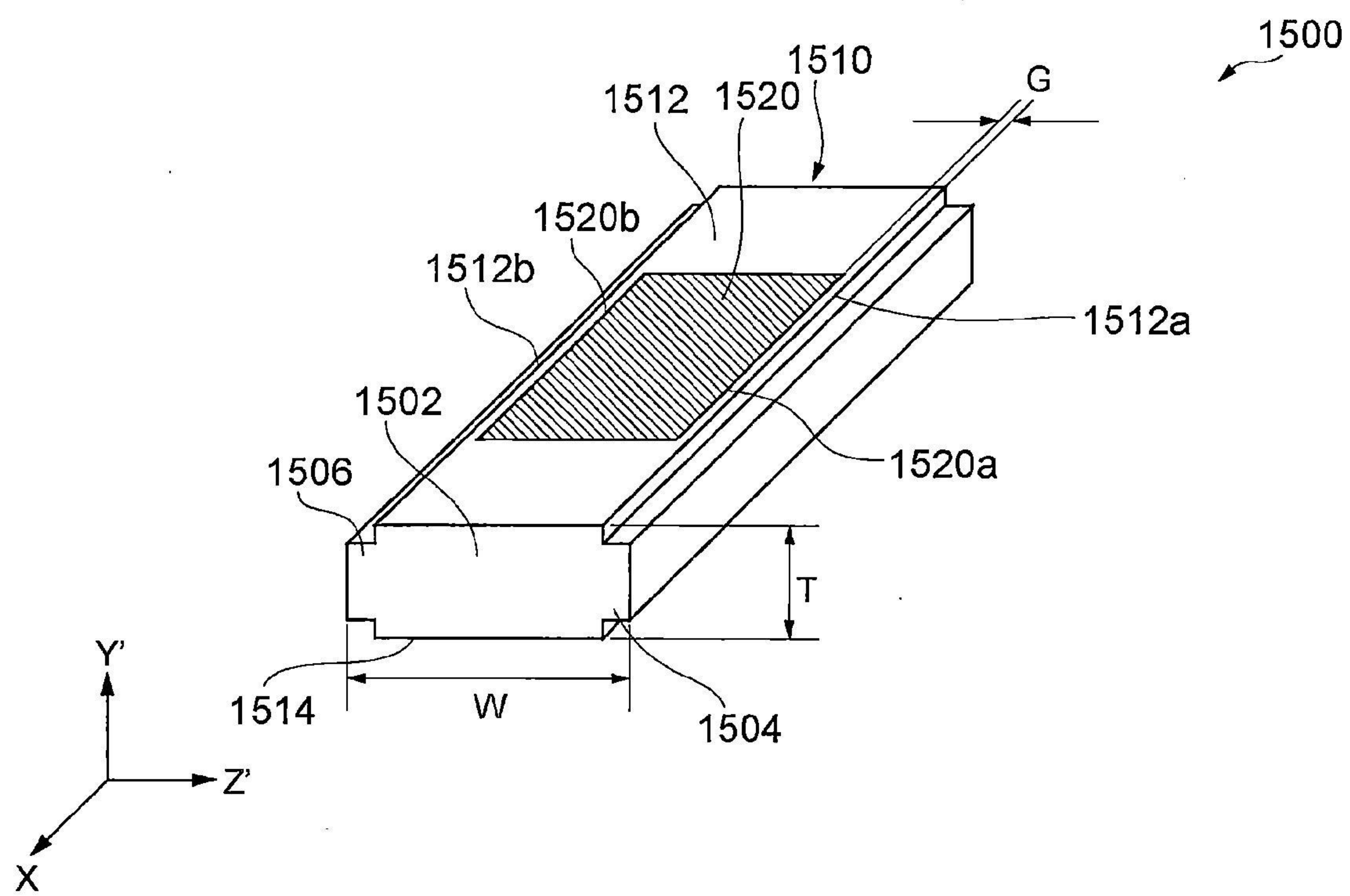


圖25



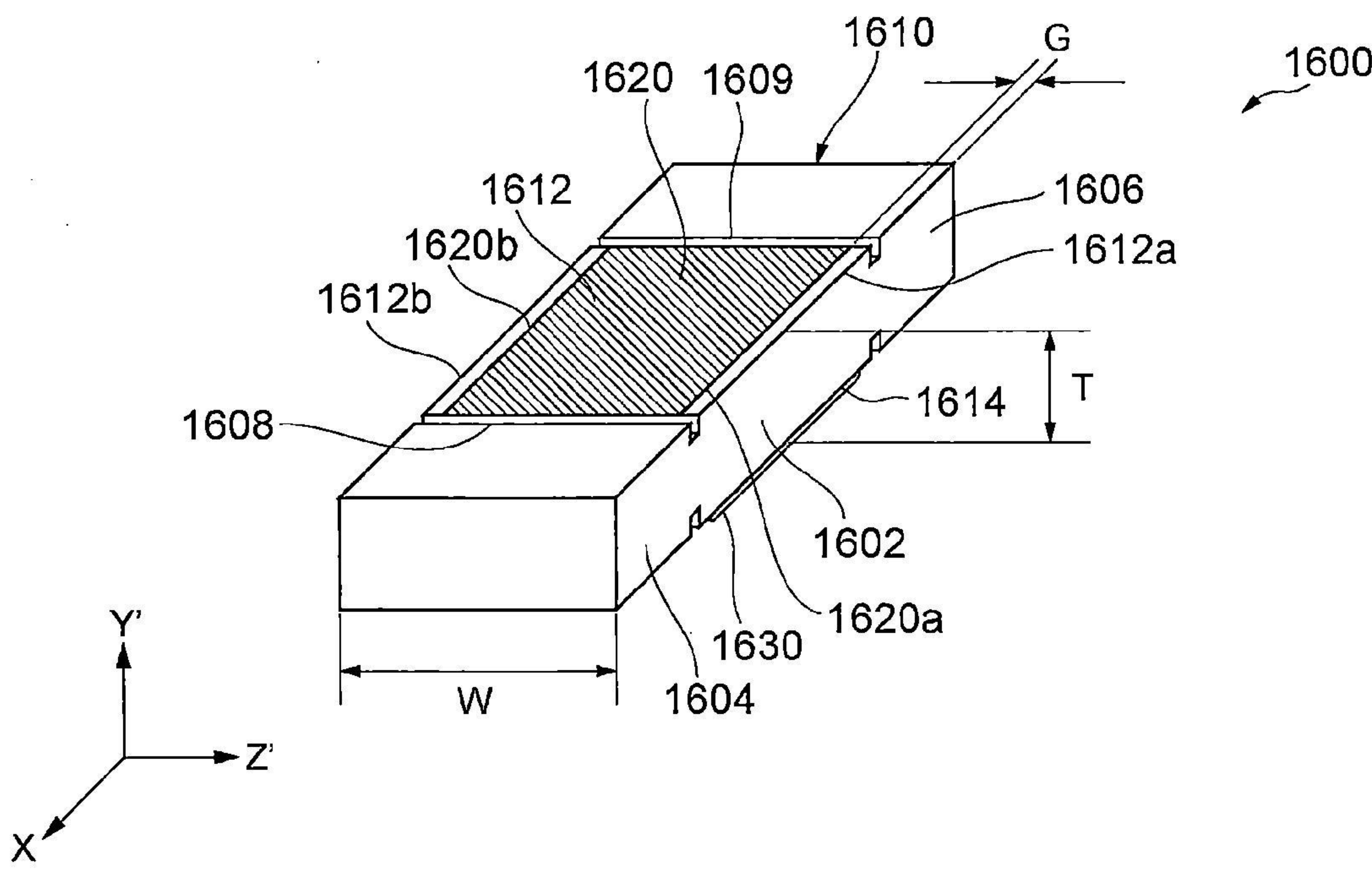


圖26



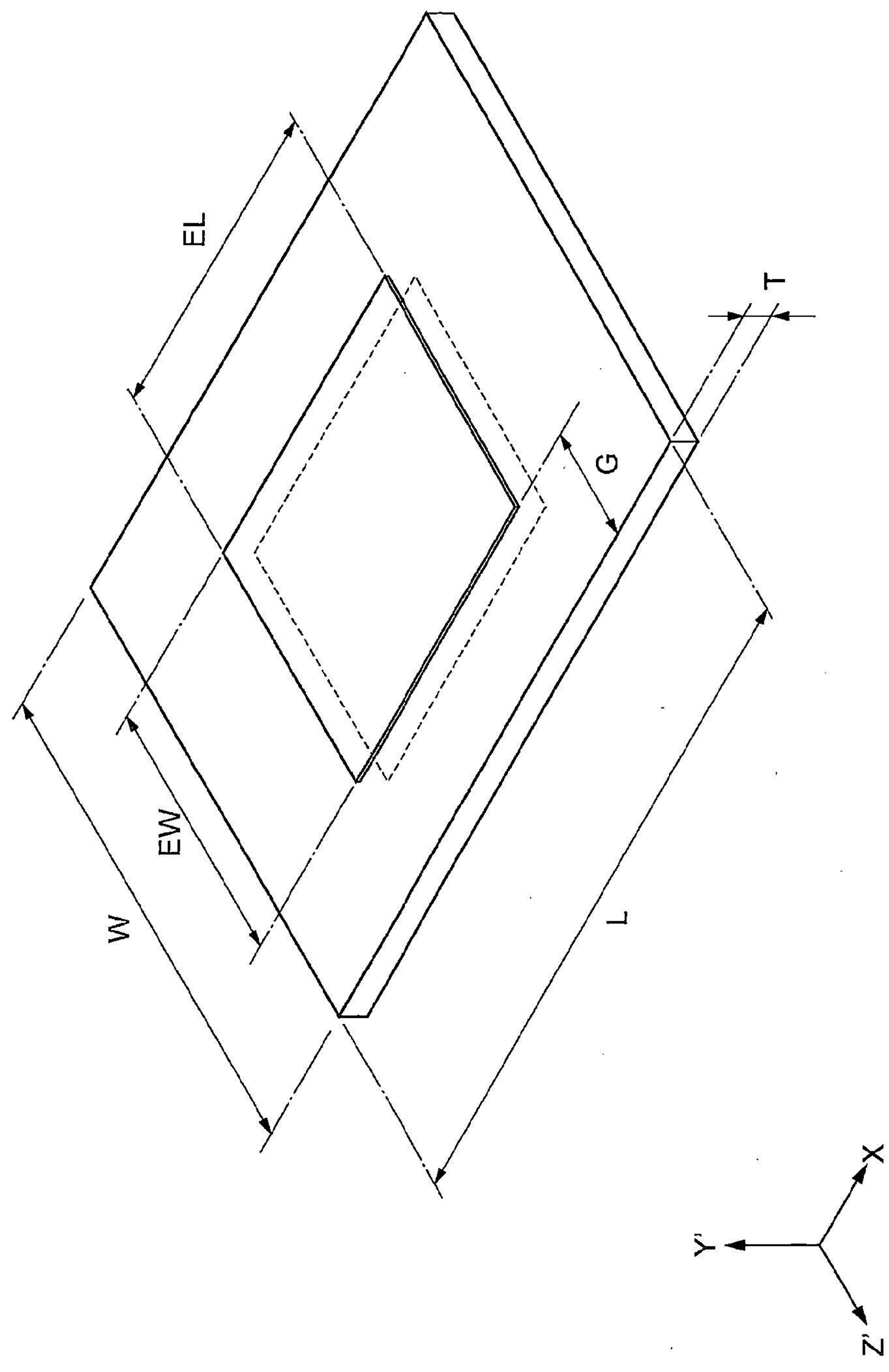


圖27



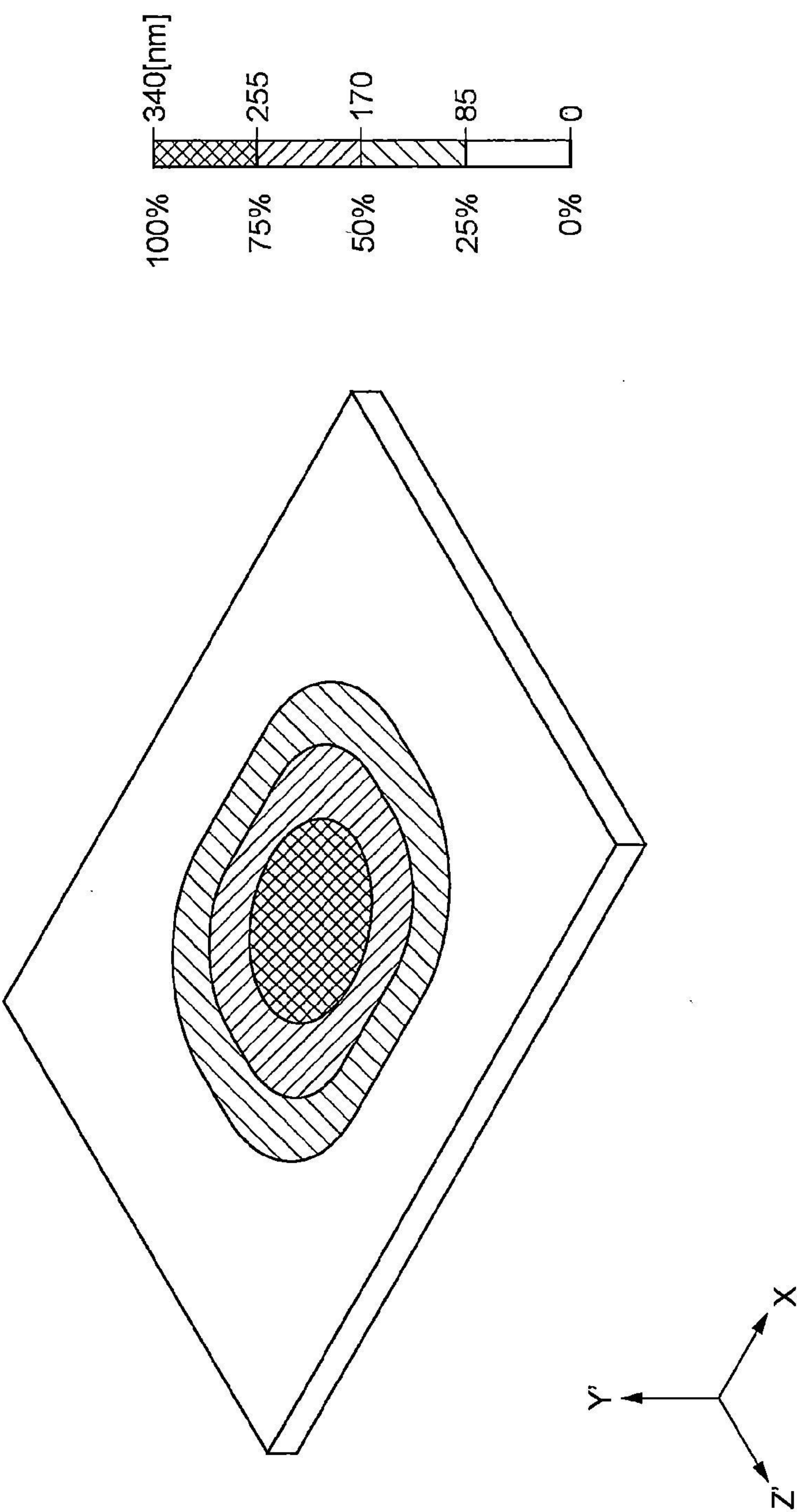


圖28