



(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 I698404 B

(45)公告日：中華民國 109 (2020) 年 07 月 11 日

(21)申請案號：108129737

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 07 月 21 日

(51)Int. Cl. : C03C21/00 (2006.01)  
G06F1/16 (2006.01)

H05K5/03 (2006.01)

(30)優先權：2015/07/21 美國  
2016/05/31 美國

62/194,984

62/343,320

(71)申請人：美商康寧公司 (美國) CORNING INCORPORATED (US)  
美國

(72)發明人：德馬提諾 史蒂芬愛德華 DEMARTINO, STEVEN EDWARD (US)；法比安 米歇爾達恩 FABIAN, MICHELLE DAWN (US)；柯里 傑佛瑞泰德 KOHLI, JEFFREY TODD (US)；里昂 珍妮佛琳 LYON, JENNIFER LYNN (US)；史密斯 夏琳瑪莉 SMITH, CHARLENE MARIE (US)；唐中幟 TANG, ZHONGZHI (CN)

(74)代理人：李世章

(56)參考文獻：

CN 103097319A

審查人員：洪敏峰

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：21 共 133 頁

(54)名稱

展現改善的斷裂效能的玻璃製品

(57)摘要

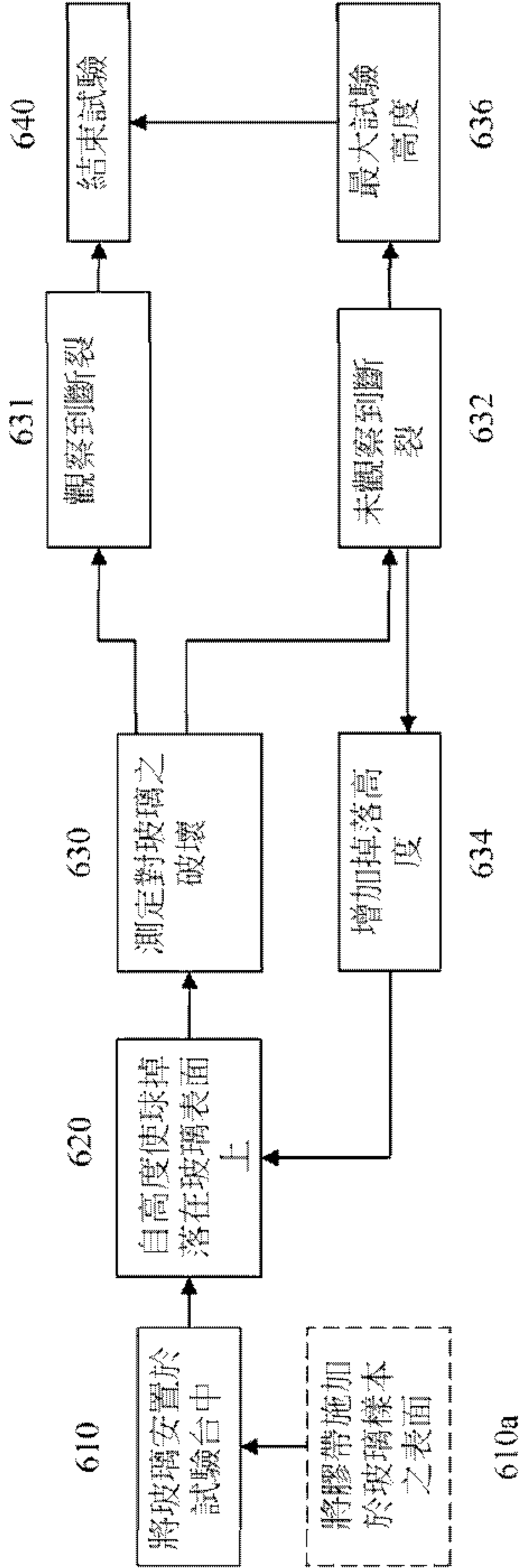
本揭示內容之實施例係關於一種強化玻璃製品，其包括第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約小於約 1.1 mm 之厚度(t)；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至約 0.1·t 或更大之壓縮深度(DOC)，以使得當該玻璃製品斷裂時，該玻璃製品碎裂成具有約 5 或更小之縱橫比的複數個碎片。在一些實施例中，在利用 90 粒 SiC 粒子在 25 psi 之壓力下研磨 5 秒之後，該玻璃製品展現約 20 kgf 或更大之等雙軸撓曲強度。本案亦揭示併入有本文所述的該玻璃製品之裝置及用於製得該玻璃製品之方法。

Embodiments of this disclosure pertain to a strengthened glass article including a first surface and a second surface opposing the first surface defining a thickness ( t ) of about less than about 1.1 mm, a compressive stress layer extending from the first surface to a depth of compression (DOC) of about 0.1• tor greater, such that when the glass article fracture, it breaks into a plurality of fragments having an aspect ratio of about 5 or less. In some embodiments, the glass article exhibits an equibiaxial flexural strength of about 20 kgf or greater, after being abraded with 90-grit SiC particles at a pressure of 25 psi for 5 seconds. Devices incorporating the glass articles described herein and methods for making the same are also disclosed.

指定代表圖：

第8圖

600



符號簡單說明：

600 方法

610 步驟

610a 步驟

620 步驟

630 步驟

631 步驟

632 步驟

634 步驟

636 步驟

640 步驟



I698404

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】展現改善的斷裂效能的玻璃製品

【英文發明名稱】GLASS ARTICLES EXHIBITING IMPROVED FRACTURE PERFORMANCE

【中文】

本揭示內容之實施例係關於一種強化玻璃製品，其包括第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約小於約  $1.1\text{ mm}$  之厚度 ( $t$ )；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至約  $0.1 \cdot t$  或更大之壓縮深度 (DOC)，以使得當該玻璃製品斷裂時，該玻璃製品碎裂成具有約 5 或更小之縱橫比的複數個碎片。在一些實施例中，在利用 90 粒 SiC 粒子在 25 psi 之壓力下研磨 5 秒之後，該玻璃製品展現約 20 kgf 或更大之等雙軸撓曲強度。本案亦揭示併入有本文所述的該玻璃製品之裝置及用於製得該玻璃製品之方法。

【英文】

Embodiments of this disclosure pertain to a strengthened glass article including a first surface and a second surface opposing the first surface defining a thickness ( $t$ ) of about less than about 1.1 mm, a compressive stress layer extending from the first surface to a depth of compression (DOC) of about  $0.1 \cdot t$  or greater, such that when the glass article fracture, it breaks into a plurality of fragments having an aspect ratio of about 5 or less. In some embodiments, the glass article exhibits an equibiaxial flexural strength of about 20 kgf or greater, after being abraded with 90-grit SiC particles at a pressure of 25 psi for 5 seconds. Devices incorporating

the glass articles described herein and methods for making the same are also disclosed.

【指定代表圖】第（8）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

6 0 0 方 法

6 1 0 步 驟

6 1 0 a 步 驟

6 2 0 步 驟

6 3 0 步 驟

6 3 1 步 驟

6 3 2 步 驟

6 3 4 步 驟

6 3 6 步 驟

6 4 0 步 驟

【特徵化學式】

無

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】展現改善的斷裂效能的玻璃製品

【英文發明名稱】GLASS ARTICLES EXHIBITING IMPROVED FRACTURE PERFORMANCE

【0001】 本申請案根據專利法主張2016年5月31日申請之美國臨時申請案序列號第62/343,320號及2015年7月21日申請之美國臨時申請案序列號第62/194,984號之優先權權益，該等申請案之內容為本文之基礎且以全文引用方式併入本文中。

【技術領域】

【0002】 本揭示內容係關於展現改善的斷裂效能的玻璃製品，且更特定言之係關於展現改善的斷裂模式及切割行為的玻璃製品。

【先前技術】

【0003】 消費者電子裝置常常併入有化學強化玻璃製品以用作蓋玻璃，該等消費者電子裝置包括手持式裝置，諸如智慧型電話、平板電腦、電子書籍閱讀器及膝上型電腦。由於蓋玻璃係直接黏結至如觸控面板、顯示器或其他結構之基板，所以當強化玻璃製品斷裂時，此等製品可自自由表面彈出小的碎片或粒子，此係歸因於由玻璃表面之下的表面壓縮應力及拉伸應力之組合所產生的儲存能量。如本文所使用，術語斷裂包括開裂及/或裂紋之形成。此等小的碎片潛在地受到裝置使用者之

關注，尤其當靠近使用者面部（亦即，眼睛及耳朵）以延遲方式發生斷裂時，且當使用者持續使用及觸碰斷裂表面並因此易於遭受輕微割傷或磨傷時，尤其是在裂紋距離相對較長且存在具有鋒利拐角及邊緣之碎片時如此。

【0004】 因此，需要展現改質碎斷行為的玻璃製品，以便當此等製品斷裂時，該等製品展現增強的切割行為，諸如，例如產生短裂紋長度及較少彈出粒子之切割效果。此外，亦需要當斷裂時彈出較少碎片及具有較少動能及動量之碎片的玻璃製品。

【發明內容】

【0005】 本揭示內容之第一態樣係關於強化玻璃製品，該強化玻璃製品包括：第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約  $1.1\text{ mm}$  或更小之厚度 ( $t$ )；以及壓縮應力層，該壓縮應力層自該第一表面延伸至大於約  $0.11 \cdot t$  之壓縮深度 (depth of compression; DOC)。在一些實施例中，在玻璃製品斷裂之後，玻璃製品包括複數個碎片，其中該複數個碎片之至少 90% 具有約 5 或更小之縱橫比，該玻璃製品在 1 秒或更少之內斷裂成該複數個碎片，如藉由易碎性試驗所量測。

【0006】 在一些實施例中，在利用 90 粒 SiC 粒子在 25 psi 之壓力下研磨 5 秒之後，強化玻璃製品展現約 20 kgf 或更大之撓曲強度。在一些實施例中，在玻璃製品斷裂

之後，強化玻璃製品可包含裂痕以使得裂痕之50%或更多僅部分地延伸穿過該厚度。

【0007】 本揭示內容之第三態樣係關於裝置，該裝置包括如本文所述的強化玻璃基板；圍阻層；以及支撐體，其中該裝置包含平板電腦、透明顯示器、行動電話、視訊播放器、資訊終端裝置、電子閱讀器、膝上型電腦或不透明顯示器。

【0008】 本揭示內容之第四態樣係關於消費者電子產品，該消費者電子產品包括：外殼，該外殼具有前表面，至少部分地在該外殼內部提供電組件，該等電組件至少包括控制器、記憶體及顯示器；以及蓋玻璃，該蓋玻璃安置在該外殼之該前表面處且處於該顯示器之上，該蓋玻璃包含如本文所述的強化玻璃製品。

【0009】 另外特徵及優點將在以下的詳細描述中闡述，且在部分程度上，熟習此項技術者將根據該描述而容易明白該等特徵及優點，或藉由實踐如本文(包括隨後的實施方式、發明申請專利範圍以及隨附圖式)所述的實施例來認識該等特徵及優點。

【0010】 應理解，前述的一般描述及以下詳細描述僅僅為示範性的，且意欲提供用於理解發明申請專利範圍之性質及特性的概述及框架。隨附圖式係納入來提供進一步理解，且併入本說明書中並構成本說明書之一部分。圖式例示一或多個實施例，且連同說明書一起用以解釋各種實施例之原理及操作。

**【圖式簡單說明】**

**【0011】** 第1A圖是根據一或多個實施例的玻璃製品之側視圖；

**【0012】** 第1B圖為在斷裂之後第1A圖之玻璃製品之側視圖；

**【0013】** 第2圖為跨於基於已知熱回火玻璃之製品的厚度的橫截面視圖；

**【0014】** 第3圖為跨於基於已知化學強化玻璃之製品的厚度的橫截面視圖；

**【0015】** 第4圖為根據一或多個實施例的跨於基於強化玻璃之製品的厚度的橫截面視圖；

**【0016】** 第5圖為環對環設備之示意性橫截面視圖；

**【0017】** 第6圖為用於執行本揭示內容中所述的砂紙上倒置球(inverted ball on sandpaper；IBoS)試驗的設備之實施例之示意性橫截面視圖；

**【0018】** 第7圖為歸因於破壞引入加彎曲的主要破裂機制之示意性橫截面表示，該彎曲典型地在用於行動電子裝置或手持式電子裝置的基於玻璃之製品中發生；

**【0019】** 第8圖為用於在本文所述的設備中進行IBoS試驗之方法的流程圖；以及

**【0020】** 第9A圖為包括圍阻層的第1A圖之玻璃製品之側視圖；

**【0021】** 第9B圖為包括第二圍阻層的第9A圖之玻璃製品之側視圖；

【0022】 第10圖為併入有本文所述的玻璃製品之一或多個實施例的電子裝置之前平面視圖。

【0023】 第11圖為展示實例1之AROR試驗結果的圖表；

【0024】 第12圖為展示實例2之掉落試驗結果之圖表；

【0025】 第13圖為展示實例4的 $K_2O$ 之濃度隨離子交換深度變化之圖；

【0026】 第14圖為展示實例4G之應力分佈的圖；

【0027】 第15A - 15D圖為實例5之斷裂影像；

【0028】 第16A - 16D圖為展示在斷裂之後、在不同檢視角度下實例6之可讀取性的影像；

【0029】 第17圖為實例7的所計算儲存拉伸能量隨離子交換時間變化之圖；以及

【0030】 第18圖為實例7的所計算中心張力隨離子交換時間變化之圖；以及

【0031】 第19圖為實例6之應力分佈的圖，其中根據壓縮應力及拉伸應力隨深度的變化繪圖。

#### 【實施方式】

【0032】 現將詳細參考各種實施例，該等實施例之實例例示於隨附圖式中。總體上參考圖式，應瞭解的是，圖解係出於描述特定實施例之目的且並非意欲限制本揭示內容或其所附之發明申請專利範圍。圖式未必按比例

繪製，且為明晰及簡明起見，圖式之某些特徵及某些視圖可在尺度上誇大展示或以示意方式展示。

【0033】 在以下描述中，相同元件符號在圖式中展示的若干視圖中始終指定相同或相應部件。亦應瞭解，除非另外規定，否則諸如「頂部」、「底部」、「向外」、「向內」及其類似語之術語為方便用詞且不應解釋為限制術語。另外，每當一群組係描述為包含一組要素中之至少一者及其組合時，應理解的是，該群組可包含任何數目的彼等所列舉要素，基本上由彼等要素組成或由彼等要素組成，彼等要素係單獨的或彼此組合的。類似地，每當一群組係描述為由一組要素中之至少一者或其組合組成時，應理解的是，該群組可由任何數目的彼等所列舉要素組成，彼等要素係單獨的或彼此組合的。除非另外規定，否則在列舉時，值之範圍包括該範圍之上限及下限，以及上限與下限之間的任何範圍。除非另外規定，否則如本文所使用，不定冠詞「一(a / an)」及相應定冠詞「該」意謂「至少一個」或「一或多個」。亦應理解，在本說明書中及在圖式中揭示的各種特徵可以任何及所有組合來使用。

【0034】 應注意，術語「實質上」及「約」可在本文中用於表示可歸因於任何定量比較、值、量測值或其他表示法之固有不確定度。此等術語亦在本文中用於表示定量表示法可自所陳述參照值變化而不導致所論述標的之基本功能發生變化的程度。

【0035】如本文所使用，術語「玻璃製品」係以其最廣意義用於包括完全或部分由玻璃製得之任何物體。玻璃製品包括玻璃及非玻璃材料之積層體、非晶形及結晶材料之積層體及玻璃陶瓷(包括非晶相及結晶相)。除非另外規定，否則所有組成係以莫耳百分比(mol%)表示。

【0036】如將在本文論述的，玻璃製品之實施例可包括強化玻璃或玻璃陶瓷材料，該等材料相較於已知玻璃製品、尤其是已知蓋玻璃製品而言展現改善的機械效能及可靠性。本文所述的玻璃製品之實施例可展現不由已知蓋玻璃製品展現的碎斷行為。在本揭示內容中，基於玻璃之基板通常為未強化的，且基於玻璃之製品通常係指已強化(藉由例如離子交換強化)的基於玻璃之基板。

【0037】本揭示內容之第一態樣係關於強化玻璃製品，該強化玻璃製品展現類似於用於展示器面板或汽車窗面板的完全熱回火玻璃的斷裂成具有切割效果的緻密斷裂圖案之能力。在一些實施例中，預期碎片對人類之損傷更小。此等製品儘管經化學強化且具有顯著小於由當前已知熱回火製程可達成的厚度，但仍展現此行為。在一些實施例中，碎片甚至比利用已知熱回火玻璃觀察到的彼等碎片更小或更精細。例如，玻璃製品之實施例展現「切割」效果，原因在於，當玻璃製品斷裂時，「切斷」碎片具有小縱橫比，且斷裂產生之表面及初始形成之表面形成較大角度(亦即，較少刀刃狀或刀狀角度)，以使得碎片比起碎尖片(splinter)更類似於立方體，如

下文相對於第 1 A 圖更詳細所述。在一些情況下，切斷碎片在玻璃製品之主要平面之任何方向上受限於 2 毫米 ( m i l l i m e t e r ; m m ) 之最大或最長尺寸。在一些情況下，當斷裂時或在玻璃製品斷裂之後，玻璃製品包括複數個碎片，該等碎片具有約 10 或更小或約 5 或更小之平均縱橫比 (例如，約 4.5 或更小、約 4 或更小、約 3.5 或更小、約 3 或更小、約 2.5 或更小、約 2 或更小)。在一些實施例中，該複數個碎片之平均縱橫比在約 1 至約 2 的範圍內。在一些情況下，該複數個碎片之約 90 % 或更大或約 80 % 或更大展現本文所述的平均縱橫比。如本文所使用，術語「縱橫比」係指碎片之最長或最大尺寸與碎片之最短或最小尺寸之比率。術語「尺寸」可包括長度、寬度、對角線或厚度。在斷裂之後展現此等碎片之玻璃製品可在本文中特性化為展現「切割」行為。

**【0038】** 參考第 1 A 及 1 B 圖，在一或多個實施例中，本文所述的玻璃製品 10 可具有片材組態，該片材組態具有相對主表面 12、14 及相對次表面 16、18。至少一個主表面 12 形成玻璃製品之「初始形成」之表面。當斷裂時，形成由玻璃製品之斷裂產生的新表面 (亦即，「斷裂產生」之表面)，其由第 1 B 圖中之元件符號 19 指示。斷裂產生之表面與初始形成之表面之間的角度  $\alpha$  (在玻璃製品斷裂之後) 在約 85 度至約 95 度或約 88 度至約 92 度之間的範圍內。在一或多個實施例中，在玻璃製品斷裂

之後，玻璃製品中複數個碎片之約90%或更多展現初始形成之表面與斷裂產生之表面之間的該等角度。

【0039】 在一或多個實施例中，複數個碎片之至少50%（例如，約60%或更多、約70%或更多、約80%或更多或約90%或更多）具有小於或等於 $5 \cdot t$ 、小於或等於 $3 \cdot t$ 或小於或等於 $3 \cdot t$ 之最大尺寸。在一些情況下，複數個碎片之至少50%（例如，約60%或更多、約70%或更多、約80%或更多或約90%或更多）包含小於最小尺寸2倍的最大尺寸。在一些實施例中，最大尺寸為最小尺寸的約1.8倍或更小、最小尺寸的約1.6倍或更小、最小尺寸的約1.5倍或更小、最小尺寸的約1.4倍或更小、最小尺寸的約1.2倍或更小或約等於最小尺寸。

【0040】 在一或多個實施例中，複數個碎片之至少50%（例如，約60%或更多、約70%或更多、約80%或更多或約90%或更多）包含小於或等於約 $10 \text{ mm}^3$ 之體積。在一些實施例中，體積可小於或等於約 $8 \text{ mm}^3$ 、小於或等於約 $5 \text{ mm}^3$ 或小於或等於約 $4 \text{ mm}^3$ 。在一些實施例中，體積可在約 $0.1 \text{ mm}^3$ 至約 $1.5 \text{ mm}^3$ 的範圍內。

【0041】 如本文所使用，片語「強化製品」包括經化學強化或經化學強化及熱強化的製品，但排除僅經熱強化的製品。如第4圖所示，強化玻璃製品展現應力分佈，該應力分佈可就表面壓縮應力（compressive stress；CS）、中心張力（central tension；CT）及

壓縮深度 (depth of compression ; D O C ) 而言來特性化。

【0042】 由一或多個實施例之強化玻璃製品展現的應力分佈可在由已知熱回火玻璃製品展現的應力分佈與由已知化學強化玻璃製品展現的應力分佈之間區分。傳統上，熱回火玻璃已用於阻止此類瑕疵可引入至玻璃之處的破裂，因為熱回火玻璃常常展現大CS層（例如，玻璃之總厚度的大致21%），從而可阻止瑕疵傳播且因此破裂。由熱回火產生的應力分佈之實例展示於第2圖中。在第2圖中，熱處理玻璃製品100包括第一表面101、厚度 $t_1$ 及表面CS 110。玻璃製品100展現自第一表面101至如本文所定義的D O C 130減小之CS，在該深度處，應力自壓縮應力變化成拉伸應力且達到CT 120。

【0043】 熱回火當前限於厚玻璃製品（亦即，具有約3毫米或更大之厚度 $t_1$ 的玻璃製品），因為，為達成熱強化及所欲殘餘應力，必須在此等製品之芯部與表面之間形成足夠的熱梯度。此等厚製品在許多應用中為不合需要的或不實用的，該等應用諸如顯示器（例如，消費者電子設備，包括行動電話、平板電腦、電腦、導航系統及類似設備），建築（例如，窗戶、展示器面板、檯面等），運輸（例如，汽車、火車、飛機、船舶等），電器、包裝或需要優異抗斷裂性但薄的及輕重量製品之任何應用。

【0044】 已知化學強化玻璃製品不展現熱回火玻璃製品之應力分佈，儘管化學強化不以與熱回火相同之方式

受玻璃製品之厚度的限制。由化學強化(例如，由離子交換製程)產生的應力分佈之實例展示於第3圖中。在第3圖中，化學強化玻璃製品200包括第一表面201、厚度 $t_2$ 及表面CS 210。玻璃製品200展現自第一表面201至如本文所定義的DOC 230減小之CS，在該深度處，應力自壓縮應力變化成拉伸應力且達到CT 220。如第3圖所示，此等分佈展現平坦CT區域，或具有恆定或接近恆定拉伸應力及如相較於第2圖中所示之CT值常常較低CT值之CT區域。

【0045】 本揭示內容之一或多個實施例之玻璃製品展現小於約3 mm (例如，約2 mm或更小、約1.5 mm或更小或約1.1 mm或更小)之厚度 $t$ 及壓縮應力層，該壓縮應力層自該第一表面延伸至約 $0.1 \cdot t$ 或更大之DOC。如本文所使用，DOC係指玻璃製品內之應力自壓縮應力變化至拉伸應力所在之深度。在DOC處，應力自正(壓縮)應力跨至負(拉伸)應力(例如，第2圖中之130)，且因此展現應力零值。

【0046】 根據常用於此項技術中之慣例，壓縮係表示為負( $< 0$ )應力，且張力係表示為正( $> 0$ )應力。然而，在本說明書全文中，CS係表示為正值或絕對值-亦即，如本文所述， $CS = |CS|$ 。

【0047】 詳言之，本文所述的玻璃製品為薄的且展現應力分佈，該等應力分佈典型地僅可經由回火厚玻璃製品(例如，具有約2 mm或3 mm或更大之厚度)達成。在

一些狀況下，玻璃製品展現比回火玻璃製品更大的表面CS。在一或多個實施例中，玻璃製品展現較大深度之壓縮層(其中CS比已知化學強化玻璃製品更為漸進地減小及增加)以使得玻璃製品展現實質上改善的抗斷裂性，甚至在玻璃製品或包括該玻璃製品之裝置掉落在硬、粗糙表面上時如此。一或多個實施例之玻璃製品展現比一些已知化學強化玻璃基板更大的CT值。

【0048】CS由表面應力量計(surface stress meter; FSM)使用可商購儀器來量測，該等可商購儀器諸如由Orihara Industrial Co., Ltd. (日本)製造的FSM-6000。表面應力量測依賴於與玻璃之雙折射性相關的應力光學係數(stress optical coefficient; SOC)之準確量測。SOC又根據標題為「Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient」之ASTM標準C770-98 (2013)中所述的程序C之修改版來量測，該標準之內容以全文引用方式併入本文中。修改包括使用玻璃圓盤，試樣具有5至10 mm之厚度及12.7 mm之直徑，其中圓盤為等向性及均質的且芯部經鑽孔，其中兩個面經拋光且平行。修改亦包括計算所施加的最大力Fmax。力應足以產生至少20 MPa的壓縮應力。Fmax如下計算：

$$F_{max} = 7.854 * D * h$$

其中：

$F_{max}$  = 以牛頓計的力

$D$  = 圓盤之直徑

$h$  = 光徑之厚度

對所施加的每一力，應力如下計算：

$$\sigma_{MPa} = 8F/(\pi * D * h)$$

其中：

$F$  = 以牛頓計的力

$D$  = 圓盤之直徑

$h$  = 光徑之厚度

【0049】 CT值係使用散射光偏光鏡(「SCALP」，由位於Tallinn, Estonia的Glasstress Ltd.以型號SCALP-04供應)及此項技術中已知的技術來量測。SCALP亦可用於量測DOC，如將在下文更詳細所述。

【0050】 在一些實施例中，玻璃製品亦可展現區別於DOC的鉀離子穿透深度(depth of penetration of potassium ion；「鉀DOL」)。DOC與鉀DOL之間的不同程度取決於玻璃基板組成及在所得玻璃製品中產生應力之離子交換處理。在玻璃製品中之應力由將鉀離子交換至玻璃製品中而產生的情況下，FSM(如相對於CS上文所述)用於量測鉀DOL。在應力由將鈉離子交換至玻璃製品中而產生的情況下，SCALP(如上文相對於CT所述)用於量測DOC，且所得玻璃製品將具有鉀DOL，因為不存在鉀離子穿透。在玻璃製品中之應力由將鉀離子及鈉離子兩者交換至玻璃中而產生的情況下，

鈉之交換深度指示DOC，且鉀離子之交換深度指示壓縮應力之量值變化(但不是自壓縮至拉伸的應力變化)；在此等實施例中，DOC由SCALP量測，且鉀DOL由FSM量測。在鉀DOL及DOC兩者存在於玻璃製品中的情況下，鉀DOL典型地小於DOC。

【0051】 折射近場(refracted near-field；RNF)方法或SCALP可用來量測本文所述的玻璃製品中之應力分佈(不管應力是否由鈉離子交換及/或鉀離子交換產生)。當利用RNF方法時，利用由SCALP提供的CT值。詳言之，由RNF量測的應力分佈經力平衡且校準至由SCALP量測提供的CT值。標題為「Systems and methods for measuring a profile characteristic of a glass sample」之美國專利第8,854,623號中描述RNF方法，該專利以全文引用方式併入本文中。詳言之，RNF方法包括相鄰於參考區塊置放基於玻璃之製品，產生以1 Hz與50 Hz之間的速率在正交極化之間切換的極化切換光束，量測極化切換光束之功率量且產生極化切換參考信號，其中正交極化中每一者的所量測功率量彼此相差50%以內。該方法進一步包括使極化切換光束透射穿過玻璃樣本及參考區塊達進入玻璃樣本中之不同深度，隨後使用中繼光學系統將所透射極化切換光束中繼至信號光偵測器，其中信號光偵測器產生極化切換偵測器信號。該方法亦包括將偵測器

信號除以參考信號以形成正規化偵測器信號，及自正規化偵測器信號判定玻璃樣本之輪廓特性。

【0052】在其中玻璃製品中之應力由僅鉀離子交換產生且鉀DOL等效於DOC之一或多個實施例中，應力分佈亦可由Rostislav V. Roussev等人於2012年5月3日申請的標題為「Systems And Methods for Measuring the Stress Profile of Ion-Exchanged Glass」之美國專利申請案第13/463,322號(後文稱為「Roussev I」)中所揭示的方法來獲得，該美國專利申請案主張具有相同標題且於2011年5月25日申請的美國臨時專利申請案第61/489,800號之優先權。Roussev I揭示用於使用FSM來提取化學強化玻璃之詳細及精確應力分佈(應力隨深度變化)的方法。具體而言，用於TM及TE極化之結合光學模式之光譜係經由稜鏡耦合技術收集，且將其全部用於獲得詳細及精確TM及TE折射率分佈 $n_{TM}(z)$ 及 $n_{TE}(z)$ 。上文申請案之內容以全文引用方式併入本文中。藉由使用反Wentzel-Kramers-Brillouin (inverse Wentzel-Kramers-Brillouin; IWKB)方法，且將所量測模式光譜擬合至預定義函數形式(其描述折射率分佈之形狀)之數值計算光譜以及自最佳擬合獲得函數形式之參數而自模式光譜獲得的詳細折射率分佈。詳細應力分佈 $S(z)$ 係藉由使用應力光學係數

(stress optic coefficient ; SOC) 之已知值自所回收 TM 及 TE 折射率分佈之差異來計算：

$$S(z) = [n_{TM}(z) - n_{TE}(z)]/SOC \quad (2)。$$

【0053】 歸因於 SOC 之較小值，在任何深度  $z$  處的雙折射性  $n_{TM}(z) - n_{TE}(z)$  為折射率  $n_{TM}(z)$  及  $n_{TE}(z)$  中任一者之小部分(典型地為大約 1%)。獲得不歸因於所量測模式光譜中之雜訊而顯著畸變的應力分佈需要利用大約 0.00001 RIU 之精度來測定模式有效折射率。Roussev I 中揭示的方法進一步包括應用於原始資料以確保用於所量測模式折射率之此高精度的技術，儘管所收集 TE 及 TM 模式光譜或模式光譜之影像中存在雜訊及/或不良對比度。此等技術包括雜訊平均法、濾波及曲線擬合以便找出相應於具有子像素解析度之模式的極值位置。

【0054】 如上文所述，本文所述的玻璃製品可藉由離子交換而化學強化且展現與由已知強化玻璃展現的彼等應力分佈區分的應力分佈。在此製程中，玻璃製品之表面處或表面附近的離子由具有相同原子價或氧化狀態的較大離子置換或與其交換。在其中玻璃製品包含鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃的彼等實施例中，玻璃之表面層中的離子及較大離子為單價鹼金屬陽離子，諸如  $Li^+$  (當存在於玻璃製品中時)、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Rb^+$  及  $Cs^+$ 。替代地，表面層中的單價陽離子可使用不同於鹼金屬陽離子之單價陽離子(諸如  $Ag^+$  或類似離子)置換。

【0055】離子交換製程通常藉由將玻璃製品浸沒於含有較大離子的熔融鹽浴(或兩個或兩個以上熔融鹽浴)中來進行，該等較大離子欲與玻璃製品中之較小離子交換。應注意，亦可使用水性鹽浴。另外，浴之組成可包括多於一種類型之較大離子(例如， $\text{Na}^+$ 及 $\text{K}^+$ )或單一較大離子。熟習此項技術者將瞭解的是，用於離子交換製程之參數包括但不限於浴組成及溫度、浸沒時間、玻璃製品於(一或多個)鹽浴中之浸沒次數、多個鹽浴之使用、另外的步驟(諸如，退火、洗滌)及類似參數，該等參數通常由玻璃製品之組成(包括製品之結構及存在的任何結晶相)及因強化操作而產生的玻璃製品之所欲DOC以及CS決定。舉例而言，玻璃製品之離子交換可藉由將玻璃製品浸沒於含有鹽的至少一個熔融浴中來達成，該浴諸如但不限於較大鹼金屬離子之硝酸鹽、硫酸鹽及氯化物。典型硝酸鹽包括 $\text{KNO}_3$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{LiNO}_3$ 、 $\text{NaSO}_4$ 及其組合。熔融鹽浴之溫度典型地在約 $380^\circ\text{C}$ 至多約 $450^\circ\text{C}$ 範圍內，而浸沒時間在約15分鐘至多約100小時範圍變化，此取決於玻璃厚度、浴溫度及玻璃擴散率。然而，亦可使用與上文所述之彼等者不同的溫度及浸沒時間。

【0056】在一或多個實施例中，玻璃製品可浸沒於具有約 $370^\circ\text{C}$ 至約 $480^\circ\text{C}$ 的100%  $\text{NaNO}_3$ 熔融鹽浴中。在一些實施例中，玻璃基板可浸沒於包括約5%至約90%  $\text{KNO}_3$ 及約10%至約95%  $\text{NaNO}_3$ 之熔融混合鹽浴中。

在一些實施例中，玻璃基板可浸沒於包括  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  及  $\text{NaNO}_3$  且具有較寬溫度範圍（例如，至多約  $500^\circ\text{C}$ ）之熔融混合鹽浴中。在一或多個實施例中，玻璃製品可在浸沒於第一浴之後浸沒於第二浴中。於第二浴中之浸沒可包括浸沒於包括  $100\%$   $\text{KNO}_3$  之熔融鹽浴中歷時  $15$  分鐘至  $8$  小時。

【0057】離子交換條件可基於玻璃組成物及玻璃基板之厚度而修改。例如，具有如下文實例 1 中所示的標稱組成並具有  $0.4\text{ mm}$  之厚度的玻璃基板可浸沒於具有約  $460^\circ\text{C}$  之溫度的  $80-100\%$   $\text{KNO}_3$  熔融鹽浴（餘量為  $\text{NaNO}_3$ ）中歷時約  $10$  小時至約  $20$  小時之持續時間。具有約  $0.55\text{ mm}$  之厚度的相同基板可浸沒於具有約  $460^\circ\text{C}$  之溫度的  $70-100\%$   $\text{KNO}_3$  熔融鹽浴（餘量為  $\text{NaNO}_3$ ）中歷時約  $20$  小時至約  $40$  小時之持續時間。具有約  $0.8\text{ mm}$  之厚度的相同基板可浸沒於具有約  $460^\circ\text{C}$  之溫度的  $60-100\%$   $\text{KNO}_3$  熔融鹽浴（餘量為  $\text{NaNO}_3$ ）中歷時約  $40$  小時至約  $80$  小時之持續時間。

【0058】在一或多個實施例中，基於玻璃之基板可浸沒於包括  $\text{NaNO}_3$  及  $\text{KNO}_3$ （例如， $49\%/51\%$ 、 $50\%/50\%$ 、 $51\%/49\%$ ）並具有小於約  $420^\circ\text{C}$ （例如，約  $400^\circ\text{C}$  或約  $380^\circ\text{C}$ ）之溫度的熔融、混合鹽浴中歷時小於約  $5$  小時或甚至約  $4$  小時或更少。

【0059】離子交換條件可特製來提供在所得基於玻璃之製品之表面處或附近的應力分佈之「尖峰」或增加該

應力分佈之斜率。此尖峰可由單一浴或多個浴來達成，其中該或該等浴具有單一組成或混合組成，此歸因於用於本文所述的基於玻璃之製品的玻璃組成物之獨特性質。

【0060】如第4圖所例示，一或多個實施例之玻璃製品300包括第一表面302及與第一表面相對的第二表面304，該等表面界定厚度 $t$ 。在一或多個實施例中，厚度 $t$ 可小於約3 mm、約2 mm或更小、約1.5 mm或更小、約1.1 mm或更小或1 mm或更小(例如，在以下範圍內：約0.01 mm至約1.5 mm、約0.1 mm至約1.5 mm、約0.2 mm至約1.5 mm、約0.3 mm至約1.5 mm、約0.4 mm至約1.5 mm；在以下範圍內：約0.01 mm至約1.1 mm、約0.1 mm至約1.1 mm、約0.2 mm至約1.1 mm、約0.3 mm至約1.1 mm、約0.4 mm至約1.1 mm、約0.01 mm至約1.4 mm、約0.01 mm至約1.2 mm、約0.01 mm至約1.1 mm、約0.01 mm至約1 mm、約0.01 mm至約0.9 mm、約0.01 mm至約0.8 mm、約0.01 mm至約0.7 mm、約0.01 mm至約0.6 mm、約0.01 mm至約0.5 mm、約0.1 mm至約0.5 mm或約0.3 mm至約0.5 mm)。

【0061】第4圖為化學強化玻璃製品300的沿其厚度330(沿x軸描繪)之應力分佈的橫截面圖解。應力之量值例示於y軸上，其中線301表示零應力。

【0062】應力分佈312包括自第一主表面302及第二主表面304中之一或兩者延伸至DOC 330之CS層315 (具有表面CS值310)，及自DOC 330延伸至製品之中心部分的CT層325 (具有CT 320)。

【0063】如本文所使用，DOC係指玻璃製品內之應力將壓縮應力變化至拉伸應力所在之深度。在DOC處，應力自正(壓縮)應力跨至負(拉伸)應力(例如，第5圖中之330)，且因此展現應力零值。

【0064】CS層具有自主表面302、304延伸至DOC 330的相關聯深度或長度317。CT層325亦具有相關聯深度或長度327 (CT區域或層)。

【0065】表面CS 310可為約150 MPa或更大或約200 MPa或更大(例如，約250 MPa或更大、約300 MPa或更大、約400 MPa或更大、約450 MPa或更大、約500 MPa或更大或約550 MPa或更大)。表面CS 310可為至多約900 MPa、至多約1000 MPa、至多約1100 MPa或至多約1200 MPa。在一或多個實施例中，表面CS 310可在以下範圍內：約150 MPa至約1200 MPa、約200 MPa至約1200 MPa、約250 MPa至約1200 MPa、約300 MPa至約1200 MPa、約350 MPa至約1200 MPa、約400 MPa至約1200 MPa、約450 MPa至約1200 MPa、約500 MPa至約1200 MPa、約200 MPa至約1100 MPa、約200 MPa至約1000 MPa、約200 MPa至約900 MPa、約200 MPa至約

800 MPa、約200 MPa至約700 MPa、約200 MPa至約600 MPa、約200 MPa至約500 MPa、約300 MPa至約900 MPa或約400 MPa至600 MPa。

【0066】CT 320可為約25 MPa或更大、約50 MPa或更大、約75 MPa或更大，或約85 MPa或更大，或約100 MPa或更大(例如，約150 MPa或更大、約200 MPa或更大、250 MPa或更大或約300 MPa或更大)。在一些實施例中，CT 320可在以下範圍：約50 MPa至約400 MPa(例如，約75 MPa至約400 MPa、約100 MPa至約400 MPa、約150 MPa至約400 MPa、約50 MPa至約350 MPa、約50 MPa至約300 MPa、約50 MPa至約250 MPa、約50 MPa至約200 MPa、約100 MPa至約400 MPa、約100 MPa至約300 MPa、約150 MPa至約250 MPa)。如本文所使用，CT為玻璃製品中中心張力之最大量值。

【0067】應注意，表面CS 310及CT 320之任一或多者可取決於玻璃製品之厚度。例如，具有約0.8 mm之厚度的玻璃製品可具有約100 MPa或更大之CT。在一或多個實施例中，具有約0.4 mm之厚度的玻璃製品可具有約130 MPa或更大之CT。在一些實施例中，CT可以玻璃製品之厚度 $t$ 來表示。例如，在一或多個實施例中，CT可為約 $(100 \text{ MPa}) / \sqrt{(t / 1 \text{ mm})}$ 或更大，其中 $t$ 為以mm計之厚度。在一些實施例中，CT可為約 $(105 \text{ MPa}) / \sqrt{(t / 1 \text{ mm})}$ 或更大、 $(110 \text{ MPa}) / \sqrt{(t / 1 \text{ mm})}$

或更大、 $(115 \text{ MPa}) / \sqrt{(t / 1 \text{ mm})}$  或更大、 $(120 \text{ MPa}) / \sqrt{(t / 1 \text{ mm})}$  或更大或  $(125 \text{ MPa}) / \sqrt{(t / 1 \text{ mm})}$  或更大。

【0068】CT 320 可定位在以下範圍：約  $0.3 \cdot t$  至約  $0.7 \cdot t$ 、約  $0.4 \cdot t$  至約  $0.6 \cdot t$  或約  $0.45 \cdot t$  至約  $0.55 \cdot t$ 。應注意，表面CS 310及CT 320之任一或多者可取決於基於玻璃之製品之厚度。例如，具有約  $0.8 \text{ mm}$  之厚度的基於玻璃之製品可具有約  $75 \text{ MPa}$  或更小之CT。當基於玻璃之製品之厚度減小時，CT可增加。換言之，CT隨厚度減小而增加（或在基於玻璃之製品變得更薄時增加）。

【0069】玻璃製品之楊氏模數可影響本文所述的強化玻璃製品之CT。具體而言，在玻璃製品之楊氏模數減小時，玻璃製品可經強化以針對給定厚度具有較低CT，且仍展現本文所述的斷裂行為。例如，當將具有相對較低楊氏模數之  $1 \text{ mm}$  玻璃製品與具有較高楊氏模數之另一  $1 \text{ mm}$  厚玻璃製品比較時，較低楊氏模數玻璃製品可經強化至更小程度（亦即，相對較低CT值），且仍展現與較高楊氏模數玻璃相同的斷裂行為（將具有相較於CT玻璃製品而言較高的CT）。

【0070】在一些實施例中，CT 320與表面CS之比率在以下範圍：約  $0.05$  至約  $1$ （例如，在以下範圍：約  $0.05$  至約  $0.5$ 、約  $0.05$  至約  $0.3$ 、約  $0.05$  至約  $0.2$ 、約  $0.05$  至約  $0.1$ 、約  $0.5$  至約  $0.8$ 、約  $0.05$  至約  $1$ 、約  $0.2$  至約  $0.5$ 、約  $0.3$  至約  $0.5$ ）。在已知化學強化玻璃製品中，

CT 320 與表面 CS 之比率為 0.1 或更小。在一些實施例中，表面 CS 可為 CT 的 1.5 倍（或 2 倍或 2.5 倍）或更大。在一些實施例中，表面 CS 可為 CT 的至多約 20 倍。

【0071】 在一或多個實施例中，應力分佈 312 包含最大 CS，其典型地為表面 CS 310 且可在第一表面 302 及第二表面 304 之一或兩者處發現。在一或多個實施例中，CS 層或區域 315 沿厚度之一部分延伸至 DOC 317 及 CT 320。在一或多個實施例中，DOC 317 可為約  $0.1 \cdot t$  或更大。例如，DOC 317 可為約  $0.12 \cdot t$  或更大、約  $0.14 \cdot t$  或更大、約  $0.15 \cdot t$  或更大、約  $0.16 \cdot t$  或更大、 $0.17 \cdot t$  或更大、 $0.18 \cdot t$  或更大、 $0.19 \cdot t$  或更大、 $0.20 \cdot t$  或更大、約  $0.21 \cdot t$  或更大或至多約  $0.25 \cdot t$ 。在一些實施例中，DOC 317 小於最大化學深度 342。最大化學深度 342 可為約  $0.4 \cdot t$  或更大、 $0.5 \cdot t$  或更大、約  $0.55 \cdot t$  或更大或約  $0.6 \cdot t$  或更大。

【0072】 在一或多個實施例中，基於玻璃之製品包含在約 6 微米至約 20 微米範圍內的鉀 DOL。在一些實施例中，鉀 DOL 可表示為基於玻璃之製品之厚度  $t$  的函數。在一或多個實施例中，鉀 DOL 可在以下範圍：約  $0.005 t$  至約  $0.05 t$ 。在一些實施例中，鉀 DOL 可在以下範圍：約  $0.005 t$  至約  $0.05 t$ 、約  $0.005 t$  至約  $0.045 t$ 、約  $0.005 t$  至約  $0.04 t$ 、約  $0.005 t$  至約  $0.035 t$ 、約  $0.005 t$  至約  $0.03 t$ 、約  $0.005 t$  至約  $0.025 t$ 、約  $0.005 t$  至約  $0.02 t$ 、約  $0.005 t$  至約  $0.015 t$ 、約  $0.005 t$  至約

0.01 t、約 0.006 t 至約 0.05 t、約 0.008 t 至約 0.05 t、約 0.01 t 至約 0.05 t、約 0.015 t 至約 0.05 t、約 0.02 t 至約 0.05 t、約 0.025 t 至約 0.05 t、約 0.03 t 至約 0.05 t 或約 0.01 t 至約 0.02 t。

【0073】 在一或多個實施例中，鉀 DOL 深度處的壓縮應力值可在約 50 MPa 至約 300 MPa 的範圍內。在一些實施例中，鉀 DOL 深度處的壓縮應力值可在以下範圍：約 50 MPa 至約 280 MPa、約 50 MPa 至約 260 MPa、約 50 MPa 至約 250 MPa、約 50 MPa 至約 240 MPa、約 50 MPa 至約 220 MPa、約 50 MPa 至約 200 MPa、約 60 MPa 至約 300 MPa、約 70 MPa 至約 300 MPa、約 75 MPa 至約 300 MPa、約 80 MPa 至約 300 MPa、約 90 MPa 至約 300 MPa、約 100 MPa 至約 300 MPa、約 1100 MPa 至約 300 MPa、約 120 MPa 至約 300 MPa、約 130 MPa 至約 300 MPa 或約 150 MPa 至約 300 MPa。

【0074】 在一或多個實施例中，玻璃製品展現以下組合：在約 450 MPa 至約 600 MPa 範圍內的表面 CS、在約 200 MPa 至 300 MPa 範圍內的 CT 及在約 0.4 mm 至 0.5 mm 範圍內的厚度。在一些實施例中，玻璃製品之 DOC 在約 0.18 t 至約 0.21 t 範圍內。

【0075】 在一或多個實施例中，玻璃製品展現以下組合：在約 350 MPa 至約 450 MPa 範圍內的表面 CS、在約 150 MPa 至 250 MPa 範圍內的 CT 及在約 0.4 mm 至

0.5 mm 範圍內的厚度。在一些實施例中，玻璃製品之 D O C 在約 0.18 t 至約 0.21 t 範圍內。

【0076】 在一或多個實施例中，玻璃製品展現以下最大化學深度：約  $0.4 \cdot t$  或更大、 $0.5 \cdot t$  或更大、約  $0.55 \cdot t$  或更大或約  $0.6 \cdot t$  或更大。如本文所使用，術語「化學深度」意指金屬氧化物或鹼金屬氧化物之離子（例如，金屬離子或鹼金屬離子）擴散至玻璃製品中所處的深度，及彼離子之濃度達到最低值所處的深度，如由電子探針微分析 (Electron Probe Micro-Analysis ; EPMA) 所測定。離子為由於離子交換而擴散至化學強化玻璃製品中之離子。最大化學深度係指藉由離子交換製程交換至化學強化玻璃製品中之任何離子之最大擴散深度。例如，在具有多於一種擴散離子物種的熔融鹽浴（亦即， $\text{NaNO}_3$  及  $\text{KNO}_3$  之熔融鹽浴）的情況下，不同離子物種可擴散至化學強化玻璃製品中之不同深度。最大化學深度為離子交換至化學強化玻璃製品中的所有離子物種之最大擴散深度。

【0077】 在一或多個實施例中，應力分佈 312 可描述為類似拋物線之形狀。在一些實施例中，沿基於玻璃之製品中展現拉伸應力之區域或深度的應力分佈展現類似拋物線之形狀。在一或多個特定實施例中，應力分佈 312 不含平坦應力（亦即，壓縮或拉伸）部分或展現實質上恆定應力（亦即，壓縮或拉伸）之部分。在一些實施例中，CT 區域展現實質上不含平坦應力或不含實質上恆定應

力之應力分佈。在一或多個實施例中，應力分佈 312 中介於約  $0 \cdot t$  至多約  $0.2 \cdot t$  的厚度範圍與大於  $0.8 \cdot t$  的厚度範圍 (或約  $0 \cdot t$  至約  $0.3 \cdot t$  的厚度範圍與大於  $0.7 \cdot t$  的厚度範圍) 之間的所有點包含小於約  $-0.1 \text{ MPa/微米}$  或大於約  $0.1 \text{ MPa/微米}$  的正切。在一些實施例中，正切可小於約  $-0.2 \text{ MPa/微米}$  或大於約  $0.2 \text{ MPa/微米}$ 。在一些更特定實施例中，正切可小於約  $-0.3 \text{ MPa/微米}$  或大於約  $0.3 \text{ MPa/微米}$ 。在甚至更特定實施例中，正切可小於約  $-0.5 \text{ MPa/微米}$  或大於約  $0.5 \text{ MPa/微米}$ 。換言之，沿此等厚度範圍 (亦即， $0 \cdot t$  至多約  $2 \cdot t$  及大於  $0.8 \cdot t$ ，或約  $0 \cdot t$  至約  $0.3 \cdot t$  及  $0.7 \cdot t$  或更大) 之一或多個實施例之應力分佈排除具有正切之點，如本文所述。在不受理論約束的情況下，已知誤差函數或準線性應力分佈具有沿此等厚度範圍 (亦即，約  $0 \cdot t$  至多約  $2 \cdot t$  及大於  $0.8 \cdot t$ ，或約  $0 \cdot t$  至約  $0.3 \cdot t$  及  $0.7 \cdot t$  或更大) 之點，該等點具有在以下範圍的正切：約  $-0.1 \text{ MPa/微米}$  至約  $0.1 \text{ MPa/微米}$ 、約  $-0.2 \text{ MPa/微米}$  至約  $0.2 \text{ MPa/微米}$ 、約  $-0.3 \text{ MPa/微米}$  至約  $0.3 \text{ MPa/微米}$  或約  $-0.5 \text{ MPa/微米}$  至約  $0.5 \text{ MPa/微米}$  (指示沿此等厚度範圍的平坦或零斜率應力分佈，如第 3 圖 220 所示)。本揭示內容之一或多個實施例的基於玻璃之製品不展現沿此等厚度範圍具有平坦或零斜率應力分佈之此種應力分佈，如第 4 圖所示。

【0078】 在一或多個實施例中，基於玻璃之製品展現在約  $0.1 \cdot t$  至  $0.3 \cdot t$  及約  $0.7 \cdot t$  至  $0.9 \cdot t$  之厚度範圍包含最大正切及最小正切的應力分佈。在一些情況下，最大正切與最小正切之間的差異約  $3.5 \text{ MPa/微米}$  或更小、約  $3 \text{ MPa/微米}$  或更小、約  $2.5 \text{ MPa/微米}$  或更小或約  $2 \text{ MPa/微米}$  或更小。

【0079】 在一或多個實施例中，基於玻璃之製品包括應力分佈 312，該應力分佈實質上不含在深度方向上延伸或沿基於玻璃之製品之厚度  $t$  的至少一部分延伸的任何線性段。換言之，應力分佈 312 實質上沿厚度  $t$  連續增加或減小。在一些實施例中，應力分佈實質上在具有約  $10 \text{ 微米}$  或更多、約  $50 \text{ 微米}$  或更多，或約  $100 \text{ 微米}$  或更多，或約  $200 \text{ 微米}$  或更多的長度之深度方向上不含任何線性段。如本文所使用，術語「線性」係指沿線性段具有小於約  $5 \text{ MPa/微米}$  或小於約  $2 \text{ MPa/微米}$  之量值的斜率。在一些實施例中，應力分佈中在深度方向上實質上不含任何線性段之一或多個部分在基於玻璃之製品內自第一表面或第二表面之一或兩者約  $5 \text{ 微米}$  或更大（例如， $10 \text{ 微米}$  或更大或  $15 \text{ 微米}$  或更大）的深度處存在。例如，沿自第一表面約  $0 \text{ 微米}$  至小於約  $5 \text{ 微米}$  之深度，應力分佈可包括線性段，但自第一表面約  $5 \text{ 微米}$  或更大之深度，應力分佈可實質上不含線性段。

【0080】 在一些實施例中，應力分佈可在約  $0 \cdot t$  至多約  $0.1 \cdot t$  之深度處包括線性段，且可在約  $0.1 \cdot t$  至約  $0.4 \cdot t$  之深

度處實質上不含線性段。在一些實施例中，在約  $0t$  至約  $0.1t$  厚度範圍內的應力分佈可具有在約  $20\text{ MPa}/\text{微米}$  至約  $200\text{ MPa}/\text{微米}$  範圍內的斜率。如將在本文所述的，此等實施例可使用單一離子交換製程形成，藉由該單一離子交換製程，浴包括兩種或兩種以上鹼性鹽或為混合鹼性鹽浴；或使用多個（例如，2個或2個以上）離子交換製程來形成。

【0081】 在一或多個實施例中，基於玻璃之製品可就沿 CT 區域（第4圖中之327）的應力分佈形狀而言來描述。例如，在一些實施例中，沿 CT 區域（應力處於張力）之應力分佈可藉由方程式近似。在一些實施例中，沿 CT 區域之應力分佈可藉由方程式（1）近似：

$$\text{應力}(x) = \text{Max}T - (((CT_n \cdot (n+1))/0.5^n) \cdot |(x/t) - 0.5|^n) \quad (1)$$

在方程式（1）中，應力（x）為位置 x 處之應力值。此處，應力為正（張力）。在方程式（1）中，Max T 為最大張力值且  $CT_n$  為 n 處之張力值且小於或等於 Max T。Max T 及  $CT_n$  兩者為正值（MPa）。值 x 為沿以微米計的範圍為 0 至 t 的厚度（t）之位置； $x = 0$  為一個表面（第4圖中之302）， $x = 0.5t$  為基於玻璃之製品之中心，應力（x）= Max CT，且  $x = t$  為相反表面（第4圖中之304）。用於方程式（1）之 Max T 等效於 CT，其可小於約  $71.5/\sqrt{t}$ 。在一些實施例中，用於方程式（1）之 Max T 可在以下範圍：約  $50\text{ MPa}$  至約  $80\text{ MPa}$ （例如，約  $60\text{ MPa}$  至約  $80\text{ MPa}$ 、約  $70\text{ MPa}$  至約  $80\text{ MPa}$ 、

約 50 MPa 至約 75 MPa、約 50 MPa 至約 70 MPa 或約 50 MPa 至約 65 MPa)，且  $n$  為 1.5 至 5（例如，2 至 4、2 至 3 或 1.8 至 2.2）或約 1.5 至約 2 之擬合參數。在一或多個實施例中， $n = 2$  可提供拋物線應力分佈，由  $n = 2$  導出的指數提供具有近拋物線應力分佈之應力分佈。第 5 圖為例示根據本揭示內容之一或多個實施例的各種應力分佈之圖表，該等應力分佈基於擬合參數  $n$  之變化。

【0082】 在一或多個實施例中， $CT_n$  可小於  $Max T$ ，其中在基於玻璃之製品之一或兩個主表面上存在壓縮應力尖峰。在一或多個實施例中，當基於玻璃之製品之一或兩個主表面上不存在壓縮應力尖峰時， $CT_n$  等於  $Max T$ 。

【0083】 在一些實施例中，應力分佈可由熱處理來修改。在此等實施例中，熱處理可發生在任何離子交換製程之前，離子交換製程之間或所有離子交換製程之後。在一些實施例中，熱處理可引起表面處或附近的應力分佈之斜率減少。在一些實施例中，在表面處意欲較陡或較大斜率的情況下，可利用熱處理之後的離子交換製程來提供表面處或附近的應力分佈之「尖峰」或斜率增加。

【0084】 在一或多個實施例中，應力分佈 312 歸因於沿厚度之一部分變化的金屬氧化物之非零濃度而產生。濃度變化可在本文中稱為梯度。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度為非零的且有所變化，皆沿約  $0 \cdot t$  至約

$0.3 \cdot t$ 之厚度範圍。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度為沿約  $0 \cdot t$  至約  $0.35 \cdot t$ 、約  $0 \cdot t$  至約  $0.4 \cdot t$ 、約  $0 \cdot t$  至約  $0.45 \cdot t$  或約  $0 \cdot t$  至約  $0.48 \cdot t$  之厚度範圍為非零的且有所變化。金屬氧化物可描述為在基於玻璃之製品中產生應力。濃度變化可沿上文提及的厚度範圍為連續的。濃度變化可包括沿約 100 微米之厚度段的約 0.2 mol% 之金屬氧化物濃度變化。此變化可藉由此項技術中已知的方法(微探針)來量測，如實例 1 所示。濃度非零且沿厚度之一部分變化的金屬氧化物可描述為在基於玻璃之製品中產生應力。

【0085】 濃度變化可沿上文提及的厚度範圍為連續的。在一些實施例中，濃度變化可沿約 10 微米至約 30 微米範圍內的厚度段為連續的。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度自第一表面至第一表面與第二表面之間的一點減小，且自該點至第二表面增加。

【0086】 金屬氧化物之濃度可包括多於一種金屬氧化物(例如， $\text{Na}_2\text{O}$  及  $\text{K}_2\text{O}$  之組合)。在一些實施例中，在利用兩種金屬氧化物的情況下且在離子之半徑彼此有所不同的情況下，在淺深度處，具有較大半徑的離子之濃度大於具有較小半徑的離子之濃度，而在較深深度處，具有較小半徑的離子之濃度大於具有較大半徑的離子之濃度。例如，在含單一  $\text{Na}^+$  及  $\text{K}^+$  之浴用於離子交換製程的情況下，在較淺深度處，基於玻璃之製品中  $\text{K}^+$  離子之濃度大於  $\text{Na}^+$  離子之濃度，而在較深深度處， $\text{Na}^+$  之濃

度大於  $K^+$  離子之濃度。此部分地歸因於離子之大小。在此等基於玻璃之製品中，表面處或附近之區域包含較大  $CS$ ，此歸因於表面處或附近的較大量的較大離子（亦即， $K^+$  離子）。此較大  $CS$  可藉由在表面處或附近具有較陡斜率之應力分佈（亦即，表面處之應力分佈的尖峰）而展現。

【0087】 一或多種金屬氧化物之濃度梯度或變化藉由化學強化基於玻璃之基板而產生，如本文先前所述，其中基於玻璃之基板中的複數個第一金屬離子與複數個第二金屬離子交換。第一離子可為鋰、鈉、鉀及銣之離子。第二金屬離子可為鈉、鉀、銣及銻中一者之離子，其限制條件為第二鹼金屬離子具有大於第一鹼金屬離子之離子半徑的離子半徑。第二金屬離子以其氧化物形式（例如， $Na_2O$ 、 $K_2O$ 、 $Rb_2O$ 、 $Cs_2O$  或其組合）存在於基於玻璃之基板中。

【0088】 在一或多個實施例中，金屬氧化物濃度梯度延伸穿過基於玻璃之製品之厚度  $t$  的一實質部分或全部厚度  $t$ （包括  $CT$  層 327）。在一或多個實施例中，金屬氧化物之濃度在  $CT$  層 327 中為約 0.5 mol% 或更大。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度可沿基於玻璃之製品之全部厚度為約 0.5 mol% 或更大（例如，約 1 mol% 或更大），且在第一表面 302 及 / 或第二表面 304 處最大並實質上恆定地減小至第一表面 302 與第二表面 304 之間的一點。在彼點處，金屬氧化物之濃度沿全部厚度  $t$  為最

小；然而，彼點處之濃度亦為非零的。換言之，彼特定金屬氧化物之非零濃度沿厚度 $t$ 之一實質部分(如本文所述)或全部厚度 $t$ 延伸。在一些實施例中，特定金屬氧化物之最低濃度處於CT層327中。基於玻璃之製品中特定金屬氧化物之總濃度可在約1 mol%至約20 mol%範圍內。

【0089】 在一或多個實施例中，基於玻璃之製品包括第一金屬氧化物濃度及第二金屬氧化物濃度，以使得第一金屬氧化物濃度沿約 $0t$ 至約 $0.5t$ 之第一厚度範圍在約0 mol%至約15 mol%範圍內，且第二金屬氧化物濃度在約0微米至約25微米(或約0微米至約12微米)之第二厚度範圍在約0 mol%至約10 mol%範圍內；然而，第一金屬氧化物及第二金屬氧化物中一或兩者之濃度沿基於玻璃之製品之一實質部分或全部厚度為非零的。基於玻璃之製品可包括可選的第三金屬氧化物濃度。第一金屬氧化物可包括 $\text{Na}_2\text{O}$ ，而第二金屬氧化物可包括 $\text{K}_2\text{O}$ 。

【0090】 金屬氧化物之濃度可自基於玻璃之製品於改質來包括金屬氧化物之濃度梯度之前的此種金屬氧化物之基線量判定。

【0091】 在一些實施例中，應力分佈可由熱處理來修改。在此等實施例中，熱處理可發生在任何離子交換製程之前，離子交換製程之間或所有離子交換製程之後。在一些實施例中，熱處理可引起表面處或附近的應力分

佈之斜率減少。在一些實施例中，在表面處意欲較陡或較大斜率的情況下，可利用熱處理之後的離子交換製程來提供表面處或附近的應力分佈之「尖峰」或斜率增加。

【0092】 在一或多個實施例中，應力分佈312歸因於沿厚度之一部分變化的金屬氧化物之非零濃度而產生。濃度變化可在本文中稱為梯度。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度為非零的且有所變化，皆沿約 $0 \cdot t$ 至約 $0.3 \cdot t$ 之厚度範圍。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度為沿約 $0 \cdot t$ 至約 $0.35 \cdot t$ 、約 $0 \cdot t$ 至約 $0.4 \cdot t$ 、約 $0 \cdot t$ 至約 $0.45 \cdot t$ 或約 $0 \cdot t$ 至約 $0.48 \cdot t$ 之厚度範圍為非零的且有所變化。金屬氧化物可描述為在基於玻璃之製品中產生應力。濃度變化可沿上文提及的厚度範圍為連續的。濃度變化可包括沿約100微米之厚度段的約0.2 mol%之金屬氧化物濃度變化。此變化可藉由此項技術中已知的方法(微探針)來量測，如實例1所示。濃度非零且沿厚度之一部分變化的金屬氧化物可描述為在基於玻璃之製品中產生應力。

【0093】 濃度變化可沿上文提及的厚度範圍為連續的。在一些實施例中，濃度變化可沿約10微米至約30微米範圍內的厚度段為連續的。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度自第一表面至第一表面與第二表面之間的一點減小，且自該點至第二表面增加。

【0094】 金屬氧化物之濃度可包括多於一種金屬氧化物(例如， $\text{Na}_2\text{O}$ 及 $\text{K}_2\text{O}$ 之組合)。在一些實施例中，在

利用兩種金屬氧化物的情況下且在離子之半徑彼此有所不同的情況下，在淺深度處，具有較大半徑的離子之濃度大於具有較小半徑的離子之濃度，而在較深深度處，具有較小半徑的離子之濃度大於具有較大半徑的離子之濃度。例如，在含單一  $\text{Na}^+$  及  $\text{K}^+$  之浴用於離子交換製程的情況下，在較淺深度處，基於玻璃之製品中  $\text{K}^+$  離子之濃度大於  $\text{Na}^+$  離子之濃度，而在較深深度處， $\text{Na}^+$  之濃度大於  $\text{K}^+$  離子之濃度。此部分地歸因於離子之大小。在此等基於玻璃之製品中，表面處或附近之區域包含較大  $\text{CS}$ ，此歸因於表面處或附近的較大量的較大離子（亦即， $\text{K}^+$  離子）。此較大  $\text{CS}$  可藉由在表面處或附近具有較陡斜率之應力分佈（亦即，表面處之應力分佈的尖峰）而展現。

【0095】 一或多種金屬氧化物之濃度梯度或變化藉由化學強化基於玻璃之基板而產生，如本文先前所述，其中基於玻璃之基板中的複數個第一金屬離子與複數個第二金屬離子交換。第一離子可為鋰、鈉、鉀及銣之離子。第二金屬離子可為鈉、鉀、銣及銈中一者之離子，其限制條件為第二鹼金屬離子具有大於第一鹼金屬離子之離子半徑的離子半徑。第二金屬離子以其氧化物形式（例如， $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{Cs}_2\text{O}$  或其組合）存在於基於玻璃之基板中。

【0096】 在一或多個實施例中，金屬氧化物濃度梯度延伸穿過基於玻璃之製品之厚度  $t$  的一實質部分或全部

厚度  $t$  (包括 CT 層 327)。在一或多個實施例中，金屬氧化物之濃度在 CT 層 327 中為約 0.5 mol% 或更大。在一些實施例中，金屬氧化物之濃度可沿基於玻璃之製品之全部厚度為約 0.5 mol% 或更大 (例如，約 1 mol% 或更大)，且在第一表面 302 及 / 或第二表面 304 處最大並實質上恆定地減小至第一表面 302 與第二表面 304 之間的一點。在彼點處，金屬氧化物之濃度沿全部厚度  $t$  為最小；然而，彼點處之濃度亦為非零的。換言之，彼特定金屬氧化物之非零濃度沿厚度  $t$  之一實質部分 (如本文所述) 或全部厚度  $t$  延伸。在一些實施例中，特定金屬氧化物之最低濃度處於 CT 層 327 中。基於玻璃之製品中特定金屬氧化物之總濃度可在約 1 mol% 至約 20 mol% 範圍內。

【0097】 在一或多個實施例中，基於玻璃之製品包括第一金屬氧化物濃度及第二金屬氧化物濃度，以使得第一金屬氧化物濃度沿約  $0t$  至約  $0.5t$  之第一厚度範圍在約 0 mol% 至約 15 mol% 範圍內，且第二金屬氧化物濃度在約 0 微米至約 25 微米 (或約 0 微米至約 12 微米) 之第二厚度範圍在約 0 mol% 至約 10 mol% 範圍內；然而，第一金屬氧化物及第二金屬氧化物中一或兩者之濃度沿基於玻璃之製品之一實質部分或全部厚度為非零的。基於玻璃之製品可包括可選的第三金屬氧化物濃度。第一金屬氧化物可包括  $\text{Na}_2\text{O}$ ，而第二金屬氧化物可包括  $\text{K}_2\text{O}$ 。

【0098】金屬氧化物之濃度可自玻璃製品於改質來包括金屬氧化物之濃度梯度之前的此種金屬氧化物之基線量判定。

【0099】本文所述的玻璃製品可展現在大於  $15 \text{ J/m}^2$  或更大(例如, 約  $15 \text{ J/m}^2$  至約  $50 \text{ J/m}^2$ ) 範圍內的儲存拉伸能量。例如, 在一些實施例中, 儲存拉伸能量可在約  $20 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$  範圍內。在一些情況下, 儲存拉伸能量可在以下範圍: 約  $25 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $30 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $35 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $40 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $45 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $50 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $55 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $60 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $65 \text{ J/m}^2$  至約  $150 \text{ J/m}^2$ 、約  $25 \text{ J/m}^2$  至約  $140 \text{ J/m}^2$ 、約  $25 \text{ J/m}^2$  至約  $130 \text{ J/m}^2$ 、約  $25 \text{ J/m}^2$  至約  $120 \text{ J/m}^2$ 、約  $25 \text{ J/m}^2$  至約  $110 \text{ J/m}^2$ 、約  $30 \text{ J/m}^2$  至約  $140 \text{ J/m}^2$ 、約  $35 \text{ J/m}^2$  至約  $130 \text{ J/m}^2$ 、約  $40 \text{ J/m}^2$  至約  $120 \text{ J/m}^2$  或約  $40 \text{ J/m}^2$  至約  $100 \text{ J/m}^2$ 。一或多個實施例之基於熱強化及化學強化玻璃之製品可展現約  $40 \text{ J/m}^2$  或更大、約  $45 \text{ J/m}^2$  或更大、約  $50 \text{ J/m}^2$  或更大、約  $60 \text{ J/m}^2$  或更大或約  $70 \text{ J/m}^2$  或更大之儲存拉伸能量。

【0100】儲存拉伸能量係使用以下方程式(2)來計算:

$$\text{儲存拉伸能量 (J/m}^2\text{)} = [1-\nu]/E \int \sigma^2 dt \quad (2)$$

其中  $\nu$  為帕松比， $E$  為楊氏模數且僅對拉伸區域計算積分值。方程式 (2) 描述於 Suresh T. Gulati, *Frangibility of Tempered Soda-Lime Glass Sheet*, GLASS PROCESSING DAYS, 第五屆建築及汽車玻璃國際會議 (The Fifth International Conference on Architectural and Automotive Glass), 1997 年 9 月 13-15 日，如方程式編號 4。

【0101】一些實施例之玻璃製品展現如藉由裝置掉落測試或組件級測試所證明的優異機械效能，如相較於已知強化玻璃製品而言。在一或多個實施例中，玻璃製品在經受研磨環對環 (abraded ring-on-ring; AROR) 測試時展現改善的表面強度。材料之強度係定義為斷裂發生時的應力。AROR 試驗為用於測試平坦玻璃試樣之表面強度量測法，且標題為「Standard Test Method for Monotonic Equibiaxial Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature」的 ASTM C1499-09 (2013) 充當用於本文所述的環對環研磨 ROR 試驗方法之基礎。ASTM C1499-09 之內容以全文引用方式併入本文。在一個實施例中，玻璃試樣在環對環測試之前利用 90 粒碳化矽 (SiC) 粒子研磨，該等粒子使用標題為「Standard Test Methods for Strength of Glass by Flexure (Determination of Modulus of Rupture)」的 ASTM C158-02 (2012) 中標題為「abrasion

Procedures」之附錄 A 2 中所述的方法及設備來遞送至玻璃樣本。詳言之，ASTM C 158-02 之內容及附錄 2 之內容以全文引用方式併入本文。

【0102】在環對環測試之前，如 ASTM C 158-02 附錄 2 所述使用 ASTM C 158-02 之第 A 2.1 圖所示的設備來研磨玻璃製品之表面以正規化及 / 或控制樣本之表面缺陷條件。典型地使用 304 kPa (44 psi) 之空氣壓力以 15 psi 或更大之載荷或壓力將磨料材料噴砂至玻璃製品之表面 110。在一些實施例中，磨料材料可以 20 psi、25 psi 或甚至 45 psi 之載荷噴砂至表面 110 上。在建立空氣流之後，將 5 cm<sup>3</sup> 之磨料材料傾倒至漏斗中，且在引入磨料材料之後將樣本噴砂 5 秒。

【0103】對環對環試驗而言，如第 5 圖所示的具有至少一個研磨表面之玻璃製品係置放於具有不同大小的兩個同心環之間，以判定等雙軸撓曲強度或破裂載荷（亦即，當經受兩個同心環之間的撓曲時材料能夠維持的最大應力），亦如第 5 圖所示。在研磨環對環組態 10 中，研磨玻璃製品 110 藉由具有直徑 D 2 之支撐環 120 支撐。藉由荷重元（未展示），由具有直徑 D 1 之裝載環 130 向玻璃製品之表面施加力 F。

【0104】裝載環及支撐環之直徑比 D 1 / D 2 可在約 0.2 至約 0.5 範圍內。在一些實施例中，D 1 / D 2 為約 0.5。裝載環 130 及支撐環 120 應同心對準至支撐環直徑 D 2 之 0.5 % 內。用於測試的荷重元應精確至選定範圍內的任

何載荷的 $\pm 1\%$ 內。在一些實施例中，在 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 之溫度及 $40 \pm 10\%$ 之相對濕度下進行測試。

【0105】 針對夾具設計，裝載環430之突出表面之半徑 $r$ ， $h/2 \leq r \leq 3h/2$ ，其中 $h$ 為玻璃製品110之厚度。裝載環130及支撐環120典型地由具有 $\text{HRC} > 40$ 之硬度的硬化鋼製成。ROR夾具為可商購的。

【0106】 ROR試驗之所欲破裂機制將觀察到起源於裝載環130內之表面130a的玻璃製品110之斷裂。自資料分析省略在此區域外部一亦即，裝載環130與支撐環120之間一發生的破裂。然而，歸因於玻璃製品110之薄度及高強度，有時觀察到超過試樣厚度 $h$ 之 $1/2$ 大的偏轉。觀察到起源於裝載環130之下的高破裂百分比並非不常見。無法在不知曉環內部及下方的應力發展(經由應變計分析收集)及每一試樣中破裂起源的情況下精確地計算應力。AROR測試因此集中在破裂時的峰值載荷，如所量測回應。

【0107】 玻璃製品之強度取決於表面瑕疵之存在。然而，給定大小的瑕疵存在的可能性無法精確預測，因為玻璃之強度本質上為統計學的。機率分佈可因此通常用作所獲得資料之統計學表示。

【0108】 在一些實施例中，本文所述的強化玻璃製品展現 $20\text{ kgf}$ 或更大及至多約 $45\text{ kgf}$ 之等雙軸撓曲強度或破裂載荷，如藉由AROR測試，使用 $25\text{ psi}$ 或甚至 $45$

p s i 之載荷來研磨表面所測定。在其他實施方案中，表面強度為至少 25 k g f，且在其他實施例中為至少 30 k g f。

【0109】 在一些實施例中，強化玻璃製品可展現改善的掉落效能。如本文所使用，掉落效能係藉由將玻璃製品組裝至行動電話裝置來評估。在一些情況下，許多玻璃製品可組裝至相同的行動電話裝置且同等地進行測試。隨後使組裝有玻璃製品之行動電話裝置掉落於研磨紙(可包括  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子或其他磨擦物)上用於以 50 c m 之高度開始的連續掉落。由於每一樣本自一高度掉落中倖存，再次自增加的高度使具有樣本之行動電話裝置掉落直至玻璃製品斷裂，在此點，彼樣本之破裂高度係記錄為最大破裂高度。

【0110】 在一些實施例中，當具有約 1 m m 之厚度時，玻璃製品展現約 100 c m 或更大之最大破裂高度。在一些實施例中，在約 1 m m 之厚度處，玻璃製品展現約 120 c m 或更大、約 140 c m 或更大、約 150 c m 或更大、約 160 c m 或更大、約 180 c m 或更大或約 200 c m 或更大之最大破裂高度。一或多個實施例之玻璃製品在破裂高度處失敗之後展現切斷斷裂模式。切斷斷裂圖案包括展現本文所述的縱橫比。

【0111】 在一或多個實施例中，本文的玻璃製品展現斷裂行為，以使得當玻璃製品直接地黏結至基板(亦即，顯示單元)時，在玻璃製品斷裂之後，50 % 或更多之裂紋為表面下裂紋(其中裂紋僅部分地延伸穿過厚度且在表

面下方停止)。例如，在一些情況下，裂紋可部分地延伸穿過玻璃製品之厚度 $t$ ，例如自 $0.05t$ 至 $0.95t$ 。玻璃製品中僅部分地延伸穿過厚度 $t$ 之裂紋百分比可為50%或更大、60%或更大、70%或更大、80%或更大或90%或更大。

【0112】 在一些實施例中，本文所述的基於強化玻璃之製品可就砂紙上倒置球(inverted ball on sandpaper；IBoS)試驗中之效能來描述。IBoS試驗為模擬歸因於破壞引入加彎曲的破裂之主要機制的動態組件級試驗，該彎曲典型地在用於行動電子裝置或手持式電子裝置的基於玻璃之製品中發生，如第6圖示意所示。在現場，破壞引入(第7圖中之a)發生在基於玻璃之製品之頂部表面上。斷裂起始於基於玻璃之製品之頂部表面上且破壞或穿透基於玻璃之製品(第7圖中之b)，或斷裂由頂部表面上之彎曲或由基於玻璃之製品之內部部分傳播(第7圖中之c)。IBoS試驗係設計來同時向玻璃之表面引入破壞且在動態載荷下施加彎曲。在一些情況下，當基於玻璃之製品包括壓縮應力時，該基於玻璃之製品比相同的基於玻璃之製品不包括壓縮應力之情況展現改善的掉落效能。

【0113】 第6圖示意地展示IBoS試驗設備。設備500包括試驗台510及球530。球530為剛性或實心球，諸如，例如不銹鋼球或類似物。在一個實施例中，球530為具有10 mm之直徑的4.2公克不銹鋼球。自預定高度

h 使球 530 直接地掉落於基於玻璃之製品樣本 518 上。試驗台 510 包括實心基座 512，該實心基座包含硬的、剛性材料，諸如花岡岩或類似物。表面上安置有磨料材料之片材 514 係置放於實心基座 512 之上表面上以使得具有磨料材料之表面面向上。在一些實施例中，片材 514 為具有 30 粒表面之砂紙，且在其他實施方案中，為具有 180 粒表面之砂紙。基於玻璃之製品樣本 518 藉由樣本固持器 515 在片材 514 上方固持於適當位置中，以使得氣隙 516 存在於基於玻璃之製品樣本 518 與片材 514 之間。片材 514 與基於玻璃之製品樣本 518 之間的氣隙 516 允許基於玻璃之製品樣本 518 在藉由球 530 衝擊時彎曲且彎曲至片材 514 之磨料表面上。在一個實施例中，跨於所有拐角夾緊基於玻璃之製品樣本 218 以便將所含的彎曲僅保持至球衝擊之點且確保可重複性。在一些實施例中，樣本固持器 514 及試驗台 510 經調適以容納至多約 2 mm 之樣本厚度。氣隙 516 在約 50  $\mu$ m 至約 100  $\mu$ m 範圍內。氣隙 516 經調適來針對材料剛度(楊氏模數，E mod)之差異而調整，且亦包括樣本之楊氏模數及厚度。黏著劑膠帶 520 可用於覆蓋基於玻璃之製品樣本之上表面以便收集基於玻璃之製品樣本 518 在球 530 之衝擊時的斷裂事件中之碎片。

【0114】 各種材料可用作磨料表面。在一個特定實施例中，磨料表面為砂紙，諸如碳化矽或氧化鋁砂紙、工程砂紙或熟習此項技術者已知用於獲得可比較硬度及 /

或銳度的任何磨料材料。在一些實施例中，可使用具有30粒之砂紙，因為其具有比混凝土或瀝青更一致的表面形貌，及產生所欲等級試樣表面破壞之粒度及銳度。

【0115】 在一個態樣中，第8圖中展示使用上文所述的設備500進行IBoS試驗之方法600。在步驟610中，將基於玻璃之製品樣本(第6圖中之218)置放於先前所述的試驗台510中，且緊固在樣本固持器515中以使得在基於玻璃之製品樣本518與具有磨料表面之片材514之間形成氣隙516。方法600推定：具有磨料表面之片材514已置放於試驗台510中。然而，在一些實施例中，方法可包括將片材514置放於試驗台510中，以使得具有磨料材料之表面面向上。在一些實施例中(步驟610a)，將黏著劑膠帶520施加至基於玻璃之製品樣本518之上表面，之後將基於玻璃之製品樣本518緊固於樣本固持器510中。

【0116】 在步驟620中，具有預定質量及大小的實心球530自預定高度 $h$ 掉落至基於玻璃之製品樣本518之上表面上，以使得球530在上表面之大致中心處(亦即，中心之1 mm內，或3 mm內，或5 mm內，或10 mm內)衝擊上表面(或附著至上表面之黏著劑膠帶520)。在步驟620之衝擊之後，測定對基於玻璃之製品樣本518之破壞程度(步驟630)。此處，如上文先前所述，術語「斷裂」意指當基板掉落或由物體衝擊時，裂紋跨於基板之全部厚度及/或全部表面傳播。

【0117】 在方法600中，具有磨料表面之片材518可在每次掉落之後更換以便避免「老化」效應，該等效應已在其他類型（例如，混凝土或瀝青）之掉落試驗表面之重複使用中觀察到。

【0118】 典型地將各種預定掉落高度 $h$ 及增量用於方法600中。試驗可例如利用最小掉落高度來開始（例如，約10-20 cm）。隨後可針對連續掉落以設定增量或可變增量來增加高度。一旦基於玻璃之製品樣本518碎裂或斷裂，即停止方法600中之所述試驗（步驟631）。替代地，若掉落高度 $h$ 達到最大掉落高度（例如，約100 cm）而無斷裂，亦可停止方法300之掉落試驗，或可在最大高度處重複步驟620直至斷裂發生。

【0119】 在一些實施例中，方法600之IBoS試驗僅在每一基於玻璃之製品樣本518上、在每一預定高度 $h$ 處進行一次。然而，在其他實施方案中，每一樣本可在每一高度經受多次試驗。

【0120】 若基於玻璃之製品樣本518之斷裂已發生（第7圖中之步驟631），則結束根據方法600之IBoS試驗（步驟640）。若沒有觀察到由預定掉落高度處掉落的球引起的斷裂（步驟632），則將掉落高度增加預定增量（步驟634）——諸如，例如，5 cm、10 cm或20 cm——且重複步驟620及630直至觀察到樣本斷裂（631）或達到最大試驗高度（636）而無樣本斷裂。當達到步驟631或636，結束根據方法600之試驗。

【0121】 當經受如上所述的砂紙上倒置球(inverted ball on sandpaper; IBoS)試驗時，本文所述的基於玻璃之製品之實施例在球自100 cm高度掉落至玻璃之表面上時具有至少約60%倖存率。例如，基於玻璃之製品係描述為在自給定高度掉落時，當五個相等(或幾乎相等)樣本(亦即，具有大致相同組成且當經強化時，大致相同的壓縮應力及壓縮深度或壓縮應力層深度，如本文所述)中之三者自規定高度(此處為100 cm)掉落時自IBoS掉落試驗倖存而無斷裂時具有60%倖存率。在其他實施方案中，經強化的基於玻璃之製品之100 cm IBoS試驗中的倖存率為至少約70%，在其他實施方案中，為至少約80%，且在其他實施例中，為至少約90%。在其他實施方案中，在IBoS試驗中自100 cm之高度掉落的經強化的基於玻璃之製品之倖存率為至少約60%，在其他實施方案中，為至少約70%，在其他實施例中，為至少約80%，且在其他實施方案中，為至少約90%。在一或多個實施例中，在IBoS試驗中自150 cm之高度掉落的經強化的基於玻璃之製品之倖存率為至少約60%，在其他實施方案中，為至少約70%，在其他實施例中，為至少約80%，且在其他實施方案中，為至少約90%。

【0122】 為測定基於玻璃之製品在使用上文所述的IBoS試驗方法及設備自預定高度掉落時的可倖存率，測試基於玻璃之製品之至少五個相等(或幾乎相等)樣本

(亦即，具有大致相同組成，且若經強化，則大致相同壓縮應力及壓縮深度或層深度)，儘管可使更大數量(例如，10個、20個、30個等)之樣本經受測試來提高試驗結果之置信水平。每一樣本自預定高度(例如，100 cm或150 cm)掉落單次，或替代地，自漸進更高的高度掉落而無斷裂直至達到預定高度，且視覺(亦即，利用肉眼)檢查斷裂之跡象(跨於樣本之全部厚度及/或全部表面的裂紋形成及傳播)。若在自預定高度掉落之後未觀察到斷裂，則認為樣本得以「倖存」，且若當樣本自小於或等於預定高度之高度掉落時觀察到斷裂，則認為樣本「失敗」(或「未倖存」)。可倖存率係測定為自掉落試驗倖存的樣本群體百分比。例如，若一組10個樣本中的7個樣本在自預定高度掉落時不斷裂，則玻璃之可倖存率將為70%。

【0123】 在一或多個實施例中，玻璃製品展現較低延遲斷裂率(亦即，玻璃製品在斷裂時快速斷裂或甚至立即斷裂)。在一些實施例中，此種斷裂率可歸結於深的DOC及高CT位準。具體而言，在誘導斷裂或破裂發生的對玻璃製品之傷害之後，存在玻璃製品將自發碎裂的較低機率。在一或多個實施例中，當玻璃製品斷裂時，該玻璃製品在衝擊之後的2或1秒或更少內斷裂成複數個碎片，如藉由「易碎性試驗」所量測，如Z. Tang等人，*Automated Apparatus for Measuring the Frangibility and Fragmentation of*

*Strengthened Glass*, Experimental Mechanics (2014) 54:903-912 中所述。易碎性試驗利用 50 mm 之針頭掉落高度及具有碳化鎢尖端之針頭(可以商標 TOSCO® 及製造商識別號 #13-378 購自 Fisher Scientific Industries, 具有 60 度球錐形尖端), 該針頭具有 40 g 之重量。在一些實施例中, 初級斷裂(或肉眼可見的產生 2 個碎片的第一斷裂)在引起玻璃製品斷裂的衝擊之後立即發生或在零秒或 0.1 秒內發生。在一或多個實施例中, 在本文所述的時段內發生初級斷裂之機率約 90% 或更大, 如藉由易碎性試驗所量測。在一些實施例中, 次級斷裂在 5 秒或更少(例如, 4 秒或更少、3 秒或更少、2 秒或更少或約 1 秒或更少)時間內發生。如本文所使用, 「次級斷裂」意指在初級斷裂之後發生的斷裂。在一或多個實施例中, 在本文所述的時段內發生一或多初次級斷裂之機率約 90% 或更大, 如藉由易碎性試驗所量測。

【0124】 在一或多個實施例中, 在斷裂時, 玻璃製品彈出比藉由當前用於行動電子裝置上的已知玻璃製品所展現的更少及更小碎片, 該等碎片潛在地受到使用者之關注。如本文所使用, 術語「彈出」或「彈出的」係指在玻璃製品斷裂之後自碎片於玻璃製品中之原始位置或原始佈置移動的碎片。在一些實施例中, 在玻璃製品斷裂且形成複數個碎片之後, 彈出複數個碎片之約 10% 或更小(例如, 約 8% 或更小、約 6% 或更小或約 5% 或更

小)。在一些實施例中，在玻璃製品斷裂且形成複數個碎片之後，複數個碎片之彈出部分之約50%或更多具有小於0.5 mm之最大尺寸。在一些實施例中，彈出碎片之數量或量可關於斷裂前後之玻璃製品以重量計來特性化。例如，斷裂之前的玻璃製品之重量(包括斷裂之後複數個碎片之彈出部分及碎片之非彈出部分的總重量)與碎片之非彈出部分之重量之間的差異可為衝擊之前的重量之小於約1%或更小。在一些情況下，斷裂之前的玻璃製品之重量(包括斷裂之後的複數個碎片之彈出部分及碎片之非彈出部分的總重量)與碎片之非彈出部分之重量之間的差異可小於約0.0005 g (例如，0.0004 g 或更小、0.0003 g 或更小、0.0002 g 或更小或0.0001 g 或更小)。

**【0125】** 在一或多個實施例中，玻璃製品展現跨於玻璃製品之表面及體積的呈更均勻模式之高切割程度。在一些實施例中，在玻璃製品具有非均勻厚度(亦即，經成形以具有三維或2.5維形狀)的情況下，展現此高切割程度及均勻性。在不受理論約束的情況下，此舉賦能玻璃製品之最薄部分得以強化至足夠程度，而無需使玻璃製品之一些部分展現易碎性而其他部分為不易碎的，如當前工業標準中所定義。

**【0126】** 在一或多個實施例中，玻璃製品(直接地黏結至基板，亦即，顯示單元)在斷裂之後展現一霧度，此歸因於緻密斷裂模式。可讀取性取決於檢視角度及基於玻

璃之製品之厚度。在相對玻璃製品之主表面為90度的檢視角度或在法向入射處，斷裂玻璃製品展現低霧度以使得下伏影像或文字對肉眼可見。在相對玻璃製品之主表面為70度或更小的檢視角度(或遠離法向入射30度或更大)處，斷裂玻璃製品展現一霧度，其阻止下伏影像或文字對肉眼可見。應理解，當玻璃製品之碎片仍保持在一起或當碎片之小於10%自玻璃製品彈出時，存在此種霧度。在不受理論約束的情況下，威信玻璃製品在斷裂之後可提供私密螢幕功能性，此歸因於玻璃製品在90度處之低霧度及在較小檢視角度處之高霧度。

【0127】 在一些實施例中，在玻璃製品斷裂之後，玻璃製品之至少一個主表面具有低的表面粗糙度。在玻璃製品斷裂之後可使用玻璃製品或由使用者觸碰玻璃製品的情況下，此屬性為所要的以便最小化或消除對使用者的割傷及磨傷。

【0128】 在一或多個實施例中，本文所述的玻璃製品可與圍阻層組合。圍阻層為可在斷裂時容納玻璃製品之碎片的材料。例如，圍阻層可包括聚合物材料。在一或多個實施例中，圍阻層可包括黏著劑材料(諸如，壓敏黏著劑材料)。在一或多個實施例中，圍阻層可具有在約0.5 MPa至約1.2 MPa範圍內的楊氏模數。在一或多個實施例中，圍阻層可包括填充環氧樹脂、未填充環氧樹脂、填充胺甲酸乙酯或未填充胺甲酸乙酯。

【0129】 填充環氧樹脂之實例包括來自以下者之聚合產物的UV誘導催化環氧樹脂(catalytic epoxy)：70.69 wt% Nanopox C620 膠態二氧化矽溶膠(於環脂族環氧樹脂中之40%二氧化矽奈米粒子)、23.56 wt% Nanopox C680 (於3-乙基-3-羥甲基-氧呔中之50%wt 二氧化矽奈米粒子)、3 wt% Coatosil MP-200 環氧樹脂官能矽烷(黏著促進劑)、2.5 wt% Cyacril UVI-6976 (陽離子光起始劑，包括於碳酸丙烯酯中之三芳基銻六氟銻酸鹽)、0.25 wt% Tinuvine 292 胺穩定劑(雙(1,2,2,6,6-五甲基-4-哌啶基)-癸二酸酯及1-(甲基)-8-(1,2,2,6,6-五甲基-4-哌啶基)-癸二酸酯)。

【0130】 未填充環氧樹脂材料之實例包括48 wt% Synasia S06E 環脂族環氧樹脂、48 wt% Synasia S-101 (3-乙基-3-氧呔甲醇)、1 wt% UVI-6976 (陽離子光起始劑)及3 wt% Silquest A-186 (環氧樹脂官能化矽烷)。

【0131】 在一些實施例中，低模數胺甲酸乙酯丙烯酸酯可用於圍阻層。在一些實施例中，此種材料可包括二氧化矽填充物。低模數胺甲酸乙酯丙烯酸酯之實例包括31.5 wt% Doublemer 554 (脂族胺甲酸乙酯二丙烯酸酯樹脂)、1.5 wt% Genomer 4188/M22 (單官能胺甲酸乙酯丙烯酸酯)、20 wt% NK 酯 A-SA ( $\beta$ -丙烯醯基氧基乙基氫琥珀酸酯)、10 wt% Sartomer

S R 3 3 9 2 ( 丙 烯 酸 苯 氧 基 乙 酯 ) 、 4 w t % I r g a c u r e 2 0 2 2 ( 光 起 始 劑 ， 醯 基 磷 氧 化 物 /  $\alpha$  羥 基 酮 ) 、 3 w t % 黏 著 促 進 劑 ( 例 如 ， S i l q u e s t A - 1 8 9 ，  $\gamma$  - 巰 基 丙 基 三 甲 氧 基 矽 烷 ) 。 為 形 成 填 充 胺 甲 酸 乙 酯 ， 可 添 加 4 w t % 二 氧 化 矽 粉 末 ( 諸 如 H i S i l 2 3 3 ) 。

【 0 1 3 2 】 在 一 或 多 個 實 施 例 中 ， 玻 璃 製 品 可 與 圍 阻 層 在 與 之 黏 附 或 不 黏 附 的 情 況 下 組 合 。 在 一 些 實 施 例 中 ， 玻 璃 製 品 可 安 置 於 圍 阻 層 上 且 黏 附 至 圍 阻 層 。 玻 璃 製 品 可 暫 時 黏 附 或 永 久 黏 附 至 圍 阻 層 。 如 第 9 A 圖 所 示 ， 圍 阻 層 2 0 係 安 置 於 玻 璃 製 品 之 至 少 一 個 主 表 面 ( 例 如 ， 第 1 A 圖 之 1 2 、 1 4 ) 上 。 在 第 9 A 圖 中 ， 圍 阻 層 2 0 為 安 置 於 次 表 面 1 6 、 1 8 之 任 何 部 分 上 ； 然 而 ， 圍 阻 層 2 0 可 至 少 部 分 地 沿 一 或 兩 個 次 表 面 ( 1 6 、 1 8 ) 或 沿 一 或 兩 個 次 表 面 ( 1 6 、 1 8 ) 之 全 部 長 度 自 主 表 面 延 伸 。 在 此 等 實 施 例 中 ， 圍 阻 層 可 由 相 同 材 料 形 成 。 在 一 或 多 個 替 代 實 施 例 中 ， 形 成 於 主 表 面 上 的 圍 阻 層 可 不 同 於 形 成 於 次 表 面 之 任 何 部 分 上 的 圍 阻 層 。 第 9 B 圖 例 示 其 中 圍 阻 層 2 0 安 置 於 主 表 面 1 4 上 且 第 二 圍 阻 層 2 2 安 置 於 兩 個 次 表 面 1 6 、 1 8 上 的 實 施 例 。 在 一 或 多 個 實 施 例 中 ， 圍 阻 層 2 0 在 組 成 是 不 同 於 第 二 圍 阻 層 2 2 。

【 0 1 3 3 】 在 一 或 多 個 實 施 例 中 ， 玻 璃 製 品 可 包 括 應 力 分 佈 ， 該 應 力 分 佈 包 括 如 本 文 所 述 的 尖 峰 ， 以 使 得 表 面 C S 在 約 4 0 0 M P a 至 約 1 2 0 0 M P a 範 圍 內 ， 且 包 括 在 一 個 主 表 面 1 4 上 之 圍 阻 材 料 2 0 ， 及 在 兩 個 次 表 面 1 6 、 1 8

上的第二圍阻材料 22 (如第 9 B 圖所示)。在一或多個實施例中，玻璃製品可包括不具有尖峰之應力分佈，以使得表面 CS 在約 150 MPa 至約 500 MPa 範圍內，且僅包括在主表面 14 上之圍阻材料 20 (如第 9 A 圖所示)。

本文所述的玻璃製品可併入各種產品及製品中，諸如併入消費者電子產品或裝置(例如，用於行動電子裝置及賦能觸控之顯示器的蓋玻璃)中。玻璃製品亦可用於顯示器(或用作顯示製品)(例如，告示牌、銷售點系統、電腦、導航系統及類似物)，建築製品(牆壁、夾具、面板、窗戶等)，運輸製品(例如，用於汽車應用、火車、飛機、船舶等中)，電器(例如，洗滌機、乾燥機、洗碟機、冰箱及類似物)，包裝(例如，醫藥包裝或容器)或需要一些抗斷裂性之任何製品。

【0134】如第 10 圖所示，電子裝置 1000 可包括根據本文所述的一或多個實施例的基於玻璃之物件 100。裝置 1000 包括外殼 1020，該外殼具有正面 1040、背面 1060 及側表面 1080；電組件(未展示)，該等電組件至少部分地處於該外殼內或完全在該外殼內且至少包括控制器、記憶體及處於該外殼之前表面處或相鄰於該前表面的顯示器 1120。基於玻璃之物件 100 係展示為安置於該外殼之前表面處或之上的蓋件以使得其處於顯示器 1120 之上。在一些實施例中，基於玻璃之製品可用作背面蓋件。

【0135】 在一些實施例中，電子裝置可包括平板電腦、透明顯示器、行動電話、視訊播放器、資訊終端裝置、電子閱讀器、膝上型電腦或不透明顯示器。

【0136】 在一或多個實施例中，本文所述的玻璃製品可用於包裝。例如，包裝可包括呈盛放液體、固體或氣體材料之瓶子、小瓶或容器形式的玻璃製品。在一或多個實施例中，玻璃製品為包括諸如醫藥材料之化學品的小瓶。在一或多個實施例中，包裝包括界定包殼的外殼，該外殼包括開口、外部表面及內部表面。外殼可由本文所述的玻璃製品形成。玻璃製品包括圍阻層。在一些實施例中，包殼由化學材料或醫藥材料填充。在一或多個實施例中，外殼之開口可由蓋帽封閉或密封。換言之，蓋帽可安置在開口中或封閉或密封包殼。

【0137】 玻璃製品可包括非晶形基板、結晶基板或其組合(例如，玻璃陶瓷基板)。玻璃製品可包括鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃、含鹼金屬硼矽酸鹽玻璃、鹼金屬鋁磷矽酸鹽玻璃或鹼金屬鋁硼矽酸鹽玻璃。在一或多個實施例中，玻璃製品基板(在如本文所述的化學強化之前)可包括以莫耳百分比(莫耳%)計具有包括以下各項之組成物的玻璃：約40至約80範圍內之 $\text{SiO}_2$ 、約10至約30範圍內之 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、約0至約10範圍內之 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、約0至約20範圍內之 $\text{R}_2\text{O}$ 及約0至約15範圍內之 $\text{RO}$ 。在一些情況下，組成物可包括約0 mol%至約5 mol%範圍內之 $\text{ZrO}_2$ 及

約 0 至約 15 mol% 範圍內之  $P_2O_5$  中任一者或兩者。  
 $TiO_2$  可以約 0 mol% 至約 2 mol% 存在。

【0138】 在一些實施例中，玻璃組成物可包括以 mol% 計在以下範圍內之量的  $SiO_2$ ：約 45 至約 80、約 45 至約 75、約 45 至約 70、約 45 至約 65、約 45 至約 60、約 45 至約 65、約 45 至約 65、約 50 至約 70、約 55 至約 70、約 60 至約 70、約 70 至約 75 或約 50 至約 65。

【0139】 在一些實施例中，玻璃組成物可包括以 mol% 計在以下範圍內之量的  $Al_2O_3$ ：約 5 至約 28、約 5 至約 26、約 5 至約 25、約 5 至約 24、約 5 至約 22、約 5 至約 20、約 6 至約 30、約 8 至約 30、約 10 至約 30、約 12 至約 30、約 14 至約 30、約 16 至約 30、約 18 至約 30 或約 18 至約 28。

【0140】 在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括以 mol% 計在以下範圍內之量的  $B_2O_3$ ：約 0 至約 8、約 0 至約 6、約 0 至約 4、約 0.1 至約 8、約 0.1 至約 6、約 0.1 至約 4、約 1 至約 10、約 2 至約 10、約 4 至約 10、約 2 至約 8、約 0.1 至約 5 或約 1 至約 3。在一些情況下，玻璃組成物可實質上不含  $B_2O_3$ 。如本文所使用，相對於組成物之組分的片語「實質上不含」意指組分並非在初始混配期間主動地或有意地添加至組成物，但可作為呈小於約 0.001 mol% 之量的雜質存在。

【0141】 在一些實施例中，玻璃組成物可包括一或多種鹼土金屬氧化物，諸如  $MgO$ 、 $CaO$  及  $ZnO$ 。在一些實

施例中，一或多種鹼土金屬氧化物之總量可為非零量至多約 15 mol%。在一或多個特定實施例中，鹼土金屬氧化物中任何者之總量可為至多約 14 mol%、至多約 12 mol%、至多約 10 mol%、至多約 8 mol%、至多約 6 mol%、至多約 4 mol%、至多約 2 mol% 或至多約 1.5 mol% 之非零量。在一些實施例中，一或多種鹼土金屬氧化物之總量 (以 mol% 計) 可在以下範圍內：約 0.1 至 10、約 0.1 至 8、約 0.1 至 6、約 0.1 至 5、約 1 至 10、約 2 至 10 或約 2.5 至 8。MgO 之量可在約 0 mol% 至約 5 mol% (例如，約 2 mol% 至約 4 mol%) 的範圍內。ZnO 之量可在約 0 至約 2 mol% 範圍內。CaO 之量可在約 0 mol% 至約 2 mol% 範圍內。在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括 MgO 且可實質上不含 CaO 及 ZnO。在一個變體中，玻璃組成物可包括 CaO 或 ZnO 中之任一者，且可實質上不含 MgO、CaO 及 ZnO 中之其他者。在一或多個特定實施例中，玻璃組成物可包括 MgO、CaO 及 ZnO 中僅兩種鹼土金屬氧化物，且可實質上不含該等鹼土金屬氧化物之第三者。

【0142】 玻璃組成物中鹼土金屬氧化物  $R_2O$  之總量 (以 mol% 計) 可在以下範圍內：約 5 至約 20、約 5 至約 18、約 5 至約 16、約 5 至約 15、約 5 至約 14、約 5 至約 12、約 5 至約 10、約 5 至約 8、約 5 至約 20、約 6 至約 20、約 7 至約 20、約 8 至約 20、約 9 至約 20、約 10 至約 20、約 6 至約 13 或約 8 至約 12。

【0143】 在一或多個實施例中，玻璃組成物包括呈以下範圍內之量的  $\text{Na}_2\text{O}$ ：約 0 mol% 至約 18 mol%、約 0 mol% 至約 16 mol% 或約 0 mol% 至約 14 mol%、約 0 mol% 至約 10 mol%、約 0 mol% 至約 5 mol%、約 0 mol% 至約 2 mol%、約 0.1 mol% 至約 6 mol%、約 0.1 mol% 至約 5 mol%、約 1 mol% 至約 5 mol%、約 2 mol% 至約 5 mol% 或約 10 mol% 至約 20 mol%。

【0144】 在一些實施例中， $\text{Li}_2\text{O}$  及  $\text{Na}_2\text{O}$  之量經控制至特定量或比率以平衡可形成性及可離子交換性。例如，在  $\text{Li}_2\text{O}$  之量增加時，液相線黏度可減少，因此阻止一些成形方法得以使用；然而，此等玻璃組成物經離子交換至較深 DOC 位準，如本文所述。 $\text{Na}_2\text{O}$  之量可改質液相線黏度，但可抑制離子交換至較深 DOC 位準。

【0145】 在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括呈小於約 5 mol%、小於約 4 mol%、小於約 3 mol%、小於約 2 mol% 或小於約 1 mol% 之量的  $\text{K}_2\text{O}$ 。在一或多個替代實施例中，玻璃組成物可如本文所定義實質上不含  $\text{K}_2\text{O}$ 。

【0146】 在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括呈以下量之  $\text{Li}_2\text{O}$ ：約 0 mol% 至約 18 mol%、約 0 mol% 至約 15 mol% 或約 0 mol% 至約 10 mol%、約 0 mol% 至約 8 mol%、約 0 mol% 至約 6 mol%、約 0 mol% 至約 4 mol% 或約 0 mol% 至約 2 mol%。在一些實施例中，玻璃組成物可包括呈以下量之  $\text{Li}_2\text{O}$ ：約 2 mol% 至

約 10 mol%、約 4 mol% 至約 10 mol%、約 6 mol% 至約 10 mol 或約 5 mol% 至約 8 mol%。在一或多個替代實施例中，玻璃組成物可如本文所定義實質上不含  $\text{Li}_2\text{O}$ 。

【0147】 在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。在此等實施例中， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  可以如下量存在：小於約 1 mol%、小於約 0.9 mol%、小於約 0.8 mol%、小於約 0.7 mol%、小於約 0.6 mol%、小於約 0.5 mol%、小於約 0.4 mol%、小於約 0.3 mol%、小於約 0.2 mol%、小於約 0.1 mol% 及其之間的所有範圍及子範圍。在一或多個替代實施例中，玻璃組成物可如本文所定義實質上不含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。

【0148】 在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括  $\text{ZrO}_2$ 。在此等實施例中， $\text{ZrO}_2$  可以如下量存在：小於約 1 mol%、小於約 0.9 mol%、小於約 0.8 mol%、小於約 0.7 mol%、小於約 0.6 mol%、小於約 0.5 mol%、小於約 0.4 mol%、小於約 0.3 mol%、小於約 0.2 mol%、小於約 0.1 mol% 及其之間的所有範圍及子範圍。在一或多個替代實施例中，玻璃組成物可如本文所定義實質上不含  $\text{ZrO}_2$ 。

【0149】 在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括在以下範圍內之  $\text{P}_2\text{O}_5$ ：約 0 mol% 至約 10 mol%、約 0 mol% 至約 8 mol%、約 0 mol% 至約 6 mol%、約 0 mol% 至約 4 mol%、約 0.1 mol% 至約 10 mol%、約

0.1 mol% 至約 8 mol%、約 4 mol% 至約 8 mol% 或約 5 mol% 至約 8 mol%。在一些情況下，玻璃組成物可實質上不含  $P_2O_5$ 。

【0150】 在一或多個實施例中，玻璃組成物可包括  $TiO_2$ 。在此等實施例中， $TiO_2$  可以小於約 6 mol%、小於約 4 mol%、小於約 2 mol% 或小於約 1 mol% 之量存在。在一或多個替代實施例中，玻璃組成物可如本文所定義實質上不含  $TiO_2$ 。在一些實施例中， $TiO_2$  以在約 0.1 mol% 至約 6 mol% 或約 0.1 mol% 至約 4 mol% 範圍內之量存在。在一些實施例中，玻璃可實質上不含  $TiO_2$ 。

【0151】 在一些實施例中，玻璃組成物可包括各種組成關係。例如，玻璃組成物可包括在約 0.5 至約 1 範圍內的  $Li_2O$  之量 (以 mol% 計) 與  $R_2O$  之總量 (以 mol% 計) 之比率。在一些實施例中，玻璃組成物可包括在約 -5 至約 0 範圍內的  $R_2O$  之總量 (以 mol% 計) 與  $Al_2O_3$  之量 (以 mol% 計) 之間的差異。在一些情況下，玻璃組成物可包括在約 0 至約 3 範圍內的  $R_xO$  之總量 (以 mol% 計) 與  $Al_2O_3$  之量之間的差異。一或多個實施例之玻璃組成物可展現在約 0 至約 2 範圍內的  $MgO$  之量 (以 mol% 計) 與  $RO$  之總量 (以 mol% 計) 之比率。

【0152】 在一些實施例中，用於玻璃基板之組成物可用 0-2 mol% 的至少一種澄清劑混配，該至少一種澄清劑選自包括以下各項之群： $Na_2SO_4$ 、 $NaCl$ 、 $NaF$ 、

$\text{NaBr}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{KCl}$ 、 $\text{KF}$ 、 $\text{KBr}$ 及 $\text{SnO}_2$ 。根據一或多個實施例之玻璃組成物可進一步包括在以下範圍內之 $\text{SnO}_2$ ：約0至約2、約0至約1、約0.1至約2、約0.1至約1或約1至約2。本文揭示的玻璃組成物可實質上不含 $\text{As}_2\text{O}_3$ 及/或 $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 。

【0153】 在一或多個實施例中，組成物可具體而言包括62 mol%至75 mol%  $\text{SiO}_2$ ；10.5 mol%至約17 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ；5 mol%至約13 mol%  $\text{Li}_2\text{O}$ ；0 mol%至約4 mol%  $\text{ZnO}$ ；0 mol%至約8 mol%  $\text{MgO}$ ；2 mol%至約5 mol%  $\text{TiO}_2$ ；0 mol%至約4 mol%  $\text{B}_2\text{O}_3$ ；0 mol%至約5 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ ；0 mol%至約4 mol%  $\text{K}_2\text{O}$ ；0 mol%至約2 mol%  $\text{ZrO}_2$ ；0 mol%至約7 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ；0 mol%至約0.3 mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ；0 mol%至約2 mol%  $\text{MnO}_x$ ；以及0.05 mol%至約0.2 mol%  $\text{SnO}_2$ 。

【0154】 在一或多個實施例中，組成物可包括67 mol%至約74 mol%  $\text{SiO}_2$ ；11 mol%至約15 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ；5.5 mol%至約9 mol%  $\text{Li}_2\text{O}$ ；0.5 mol%至約2 mol%  $\text{ZnO}$ ；2 mol%至約4.5 mol%  $\text{MgO}$ ；3 mol%至約4.5 mol%  $\text{TiO}_2$ ；0 mol%至約2.2 mol%  $\text{B}_2\text{O}_3$ ；0 mol%至約1 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ ；0 mol%至約1 mol%  $\text{K}_2\text{O}$ ；0 mol%至約1 mol%  $\text{ZrO}_2$ ；0 mol%至約4 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ；0 mol%至約0.1 mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ；

0 mol% 至約 1.5 mol%  $\text{MnO}_x$ ；以及 0.08 mol% 至約 0.16 mol%  $\text{SnO}_2$ 。

【0155】 在一或多個實施例中，組成物可包括 70 mol% 至 75 mol%  $\text{SiO}_2$ ；10 mol% 至約 15 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ；5 mol% 至約 13 mol%  $\text{Li}_2\text{O}$ ；0 mol% 至約 4 mol%  $\text{ZnO}$ ；0.1 mol% 至約 8 mol%  $\text{MgO}$ ；0 mol% 至約 5 mol%  $\text{TiO}_2$ ；0.1 mol% 至約 4 mol%  $\text{B}_2\text{O}_3$ ；0.1 mol% 至約 5 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ ；0 mol% 至約 4 mol%  $\text{K}_2\text{O}$ ；0 mol% 至約 2 mol%  $\text{ZrO}_2$ ；0 mol% 至約 7 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ；0 mol% 至約 0.3 mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ；0 mol% 至約 2 mol%  $\text{MnO}_x$ ；以及 0.05 mol% 至約 0.2 mol%  $\text{SnO}_2$ 。

【0156】 在一或多個實施例中，組成物可包括 52 mol% 至約 63 mol%  $\text{SiO}_2$ ；11 mol% 至約 15 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ；5.5 mol% 至約 9 mol%  $\text{Li}_2\text{O}$ ；0.5 mol% 至約 2 mol%  $\text{ZnO}$ ；2 mol% 至約 4.5 mol%  $\text{MgO}$ ；3 mol% 至約 4.5 mol%  $\text{TiO}_2$ ；0 mol% 至約 2.2 mol%  $\text{B}_2\text{O}_3$ ；0 mol% 至約 1 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ ；0 mol% 至約 1 mol%  $\text{K}_2\text{O}$ ；0 mol% 至約 1 mol%  $\text{ZrO}_2$ ；0 mol% 至約 4 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ；0 mol% 至約 0.1 mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ；0 mol% 至約 1.5 mol%  $\text{MnO}_x$ ；以及 0.08 mol% 至約 0.16 mol%  $\text{SnO}_2$ 。

【0157】 在一些實施例中，組成物可實質上不含  $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  及  $\text{ZrO}_2$  中之任一者或多者。

【0158】 在一或多個實施例中，組成物包括至少 0.5 mol%  $P_2O_5$ 、 $Na_2O$  及視需要  $Li_2O$ ，其中  $Li_2O(mol\%) / Na_2O(mol\%) < 1$ 。另外，此等組成物可實質上不含  $B_2O_3$  及  $K_2O$ 。在一些實施例中，組成物可包括  $ZnO$ 、 $MgO$  及  $SnO_2$ 。

【0159】 在一些實施例中，組成物可包含：約 58 mol% 至約 65 mol%  $SiO_2$ ；約 11 mol% 至約 19 mol%  $Al_2O_3$ ；約 0.5 mol% 至約 3 mol%  $P_2O_5$ ；約 6 mol% 至約 18 mol%  $Na_2O$ ；0 mol% 至約 6 mol%  $MgO$ ；以及 0 mol% 至約 6 mol%  $ZnO$ 。在某些實施例中，組成物可包含約 63 mol% 至約 65 mol%  $SiO_2$ ；11 mol% 至約 17 mol%  $Al_2O_3$ ；約 1 mol% 至約 3 mol%  $P_2O_5$ ；約 9 mol% 至約 20 mol%  $Na_2O$ ；0 mol% 至約 6 mol%  $MgO$ ；以及 0 mol% 至約 6 mol%  $ZnO$ 。

【0160】 在一些實施例中，組成物可包括以下組成關係  $R_2O(mol\%) / Al_2O_3(mol\%) < 2$ ，其中  $R_2O = Li_2O + Na_2O$ 。在一些實施例中， $65\text{ mol}\% < SiO_2(mol\%) + P_2O_5(mol\%) < 67\text{ mol}\%$ 。在某些實施例中， $R_2O(mol\%) + R'O(mol\%) - Al_2O_3(mol\%) + P_2O_5(mol\%) > -3\text{ mol}\%$ ，其中  $R_2O = Li_2O + Na_2O$  且  $R'O$  為存在於組成物中之二價金屬氧化物之總量。

【0161】 在如本文所述的化學強化之前玻璃製品之其他示範性組成展示於表 1 中。

【0162】 表 1：化學強化之前的示範性組成。

| Mol%                           | 實例 A | 實例 B | 實例 C | 實例 D | 實例 E | 實例 F |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 71.8 | 69.8 | 69.8 | 69.8 | 69.8 | 69.8 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.1 | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 2    | 2.5  | 4    | 2.5  | 2.5  | 4    |
| Li <sub>2</sub> O              | 8    | 8.5  | 8    | 8.5  | 8.5  | 8    |
| MgO                            | 3    | 3.5  | 3    | 3.5  | 1.5  | 1.5  |
| ZnO                            | 1.8  | 2.3  | 1.8  | 2.3  | 2.3  | 1.8  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0    | 0    | 0    | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| SnO <sub>2</sub>               | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  |

| Mol%                                            | 實例 G  | 實例 H  | 實例 I  | 實例 J  | 實例 K  | 實例 L  | 實例 M  | 實例 N  |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                                | 70.18 | 70.91 | 71.28 | 71.65 | 71.65 | 71.65 | 74.77 | 72.00 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                  | 12.50 | 12.78 | 12.93 | 13.07 | 13.07 | 13.07 | 10.00 | 12.50 |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 1.91  | 1.95  | 1.98  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 1.99  | 2.00  |
| Li <sub>2</sub> O                               | 7.91  | 7.95  | 7.96  | 7.98  | 6.98  | 5.00  | 6.13  | 6.00  |
| Na <sub>2</sub> O                               | 4.43  | 2.43  | 1.42  | 0.41  | 1.41  | 3.40  | 3.97  | 0.50  |
| MgO                                             | 2.97  | 2.98  | 2.99  | 3.00  | 3.00  | 3.00  | 2.94  | 2.10  |
| ZnO                                             | 0.00  | 0.89  | 1.34  | 1.80  | 1.80  | 1.80  | 0.00  | 0.00  |
| CaO                                             | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.05  | 4.90  |
| SnO <sub>2</sub>                                | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  |
| Li <sub>2</sub> O/R <sub>2</sub> O              | 0.64  | 0.77  | 0.85  | 0.95  | 0.83  | 0.60  | 0.61  | 0.92  |
| R <sub>2</sub> O-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -0.16 | -2.41 | -3.54 | -4.68 | -4.68 | -4.67 | 0.10  | -6.00 |
| R <sub>x</sub> O-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.81  | 1.47  | 0.79  | 0.12  | 0.12  | 0.13  | 3.09  | 1.00  |
| MgO/RO                                          | 1.00  | 0.77  | 0.69  | 0.63  | 0.63  | 0.63  | 1.00  | 1.00  |
| R <sub>2</sub> O                                | 12.34 | 10.38 | 9.39  | 8.39  | 8.39  | 8.40  | 10.10 | 6.50  |
| RO                                              | 2.97  | 3.88  | 4.34  | 4.79  | 4.79  | 4.79  | 2.99  | 7.00  |

【 0 1 6 3 】 在如本文所述的化學強化之前基於玻璃之製品之其他示範性組成展示於表 1 A 中。表 1 B 列出針對表 1 A 中所列實例而測定的選定物理性質。表 1 B 中所列物理性質包括：密度；低溫及高溫 C T E ；應變、退火及軟化點；1 0<sup>1 1</sup> 泊、3 5 k P、2 0 0 k P 液相線，及鋇石分解溫度；鋇石分解及液相線黏度；帕松比；楊氏模數；折

射率以及應力光學係數。在一些實施例中，本文所述的基於玻璃之製品及玻璃基板具有小於或等於 30 ppm/℃ 之高溫 CTE 及 / 或至少 70 GPa 之楊氏模數及在一些實施例中至多 80 GPa 之楊氏模數。

【 0 1 6 4 】 表 1 A：化學強化之前的示範性組成。

【 0 1 6 5 】

| 組成(mol%)                                                                              | 實例 1  | 實例 2  | 實例 3  | 實例 4  | 實例 5  | 實例 6  | 實例 7  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                                                                      | 63.77 | 64.03 | 63.67 | 63.91 | 64.16 | 63.21 | 63.50 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        | 12.44 | 12.44 | 11.83 | 11.94 | 11.94 | 11.57 | 11.73 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                         | 2.43  | 2.29  | 2.36  | 2.38  | 1.92  | 1.93  | 1.93  |
| Li <sub>2</sub> O                                                                     | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Na <sub>2</sub> O                                                                     | 16.80 | 16.81 | 16.88 | 16.78 | 16.80 | 17.63 | 16.85 |
| ZnO                                                                                   | 0.00  | 4.37  | 0.00  | 4.93  | 0.00  | 5.59  | 5.93  |
| MgO                                                                                   | 4.52  | 0.02  | 5.21  | 0.02  | 5.13  | 0.02  | 0.01  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  |
|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 1.35  | 1.35  | 1.43  | 1.41  | 1.41  | 1.52  | 1.44  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 6.45  | 6.46  | 7.89  | 7.40  | 8.07  | 9.74  | 9.14  |

| 組成(mol%)                                                                              | 實例 8  | 實例 9  | 實例 10 | 實例 11 | 實例 12 | 實例 13 | 實例 14 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                                                                      | 63.37 | 63.43 | 63.56 | 63.58 | 63.66 | 63.62 | 63.67 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        | 11.72 | 12.49 | 12.63 | 12.59 | 12.91 | 12.85 | 12.89 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                         | 2.00  | 2.32  | 2.46  | 2.46  | 2.43  | 2.45  | 2.47  |
| Li <sub>2</sub> O                                                                     | 0.00  | 0.00  | 1.42  | 2.87  | 0.00  | 1.42  | 2.92  |
| Na <sub>2</sub> O                                                                     | 16.84 | 17.16 | 15.45 | 14.04 | 16.89 | 15.48 | 13.92 |
| ZnO                                                                                   | 6.00  | 4.54  | 4.43  | 4.41  | 4.04  | 4.12  | 4.06  |
| MgO                                                                                   | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  |
|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 1.44  | 1.37  | 1.34  | 1.34  | 1.31  | 1.31  | 1.31  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.00  | 0.00  | 0.09  | 0.20  | 0.00  | 0.09  | 0.21  |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 9.14  | 6.90  | 6.22  | 6.29  | 5.62  | 5.72  | 5.57  |

| 組成(mol%)                                                                              | 實例 15 | 實例 16 | 實例 17 | 實例 18 | 實例 19 | 實例 20 | 實例 21 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                                                                      | 63.55 | 63.80 | 63.76 | 63.88 | 63.74 | 64.03 | 63.68 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        | 12.92 | 12.90 | 12.95 | 13.48 | 13.37 | 13.26 | 13.19 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                         | 2.35  | 2.34  | 2.37  | 2.31  | 2.34  | 2.29  | 2.46  |
| Li <sub>2</sub> O                                                                     | 0.00  | 1.47  | 2.94  | 0.00  | 1.48  | 2.94  | 0.00  |
| Na <sub>2</sub> O                                                                     | 17.97 | 16.36 | 14.85 | 17.20 | 15.96 | 14.37 | 16.84 |
| ZnO                                                                                   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 3.77  |
| MgO                                                                                   | 3.17  | 3.08  | 3.09  | 3.08  | 3.08  | 3.06  | 0.02  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.05  | 0.04  | 0.04  | 0.05  |
|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 1.39  | 1.38  | 1.37  | 1.28  | 1.30  | 1.31  | 1.28  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.00  | 0.09  | 0.20  | 0.00  | 0.09  | 0.20  | 0.00  |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 5.87  | 5.67  | 5.56  | 4.48  | 4.81  | 4.83  | 4.98  |

| 組成(mol%)                                                                              | 實例 22 | 實例 23 | 實例 24 | 實例 25 | 實例 26 | 實例 27 | 實例 28 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                                                                      | 63.66 | 63.76 | 63.67 | 63.73 | 63.73 | 63.64 | 63.76 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        | 14.15 | 15.31 | 13.87 | 14.82 | 12.93 | 16.62 | 16.59 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                         | 2.47  | 2.44  | 2.47  | 2.43  | 2.48  | 2.47  | 2.47  |
| Li <sub>2</sub> O                                                                     | 1.49  | 2.98  | 1.50  | 2.96  | 0.00  | 2.52  | 4.91  |
| Na <sub>2</sub> O                                                                     | 15.31 | 13.79 | 15.36 | 13.93 | 16.83 | 14.68 | 12.20 |
| ZnO                                                                                   | 2.85  | 1.64  | 0.00  | 0.00  | 2.98  | 0.00  | 0.00  |
| MgO                                                                                   | 0.03  | 0.03  | 3.09  | 2.08  | 1.00  | 0.03  | 0.03  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  |
|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 1.19  | 1.10  | 1.22  | 1.14  | 1.30  | 1.03  | 1.03  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.10  | 0.22  | 0.10  | 0.21  | 0.00  | 0.17  | 0.40  |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 3.05  | 0.70  | 3.61  | 1.72  | 5.40  | -1.86 | -1.92 |

| 組成(mol%)                                        | 實例 29 | 實例 30 | 實例 31 | 實例 32 | 實例 33 | 實例 34 | 實例 35 |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                                | 63.89 | 63.92 | 63.77 | 63.73 | 63.70 | 63.65 | 63.87 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                  | 16.55 | 15.29 | 15.27 | 15.30 | 15.27 | 15.22 | 15.29 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                   | 2.47  | 2.24  | 2.31  | 2.39  | 2.40  | 2.48  | 2.37  |
| Li <sub>2</sub> O                               | 7.27  | 3.46  | 2.98  | 4.02  | 4.46  | 4.96  | 5.39  |
| Na <sub>2</sub> O                               | 9.74  | 13.46 | 13.99 | 12.91 | 12.51 | 11.99 | 11.44 |
| ZnO                                             | 0.00  | 1.56  | 1.61  | 1.57  | 1.58  | 1.63  | 1.57  |
| MgO                                             | 0.03  | 0.02  | 0.02  | 0.03  | 0.03  | 0.02  | 0.02  |
| SnO <sub>2</sub>                                | 0.04  | 0.04  | 0.04  | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.04  |
|                                                 |       |       |       |       |       |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.03  | 1.11  | 1.11  | 1.11  | 1.11  | 1.11  | 1.10  |

|                                                                                       |       |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.75  | 0.26 | 0.21 | 0.31 | 0.36 | 0.41 | 0.47 |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | -1.98 | 0.97 | 1.01 | 0.84 | 0.90 | 0.91 | 0.76 |

|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 組成(mol%)                                                                              | 實例 36 | 實例 37 | 實例 38 | 實例 39 | 實例 40 | 實例 41 | 實例 42 |
| SiO <sub>2</sub>                                                                      | 63.69 | 63.75 | 63.70 | 63.62 | 63.74 | 63.77 | 63.77 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        | 15.26 | 15.30 | 15.27 | 15.23 | 15.27 | 15.27 | 15.33 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                         | 2.45  | 2.42  | 2.45  | 2.46  | 2.47  | 2.46  | 2.44  |
| Li <sub>2</sub> O                                                                     | 2.96  | 2.98  | 3.94  | 3.98  | 4.93  | 4.93  | 2.91  |
| Na <sub>2</sub> O                                                                     | 13.50 | 13.46 | 12.54 | 12.57 | 11.49 | 11.50 | 13.94 |
| ZnO                                                                                   | 2.06  | 2.01  | 2.03  | 2.06  | 2.03  | 2.00  | 0.00  |
| MgO                                                                                   | 0.02  | 0.03  | 0.02  | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 1.57  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.05  | 0.04  | 0.04  | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.04  |
|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 1.08  | 1.08  | 1.08  | 1.09  | 1.08  | 1.08  | 1.10  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.22  | 0.22  | 0.31  | 0.32  | 0.43  | 0.43  | 0.21  |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.83  | 0.77  | 0.80  | 0.95  | 0.73  | 0.73  | 0.66  |

|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 組成(mol%)                                                                              | 實例 43 | 實例 44 | 實例 45 | 實例 46 | 實例 47 | 實例 48 | 實例 49 |
| SiO <sub>2</sub>                                                                      | 63.69 | 63.81 | 63.65 | 63.71 | 63.62 | 63.65 | 63.62 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        | 15.25 | 15.26 | 15.33 | 15.32 | 15.24 | 15.68 | 15.67 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                         | 2.43  | 2.41  | 2.46  | 2.44  | 2.47  | 2.44  | 2.48  |
| Li <sub>2</sub> O                                                                     | 4.00  | 4.89  | 2.96  | 4.01  | 4.91  | 6.07  | 6.06  |
| Na <sub>2</sub> O                                                                     | 13.01 | 12.03 | 13.29 | 12.25 | 11.42 | 10.93 | 10.53 |
| ZnO                                                                                   | 0.00  | 0.00  | 2.24  | 2.20  | 2.27  | 1.17  | 1.57  |
| MgO                                                                                   | 1.57  | 1.56  | 0.03  | 0.03  | 0.02  | 0.02  | 0.02  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.04  | 0.05  |
|                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 1.12  | 1.11  | 1.06  | 1.06  | 1.07  | 1.08  | 1.06  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.31  | 0.41  | 0.22  | 0.33  | 0.43  | 0.56  | 0.58  |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.90  | 0.81  | 0.73  | 0.73  | 0.91  | 0.08  | 0.04  |

|                                |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 組成(mol%)                       | 實例 50 | 實例 51 | 實例 52 | 實例 53 | 實例 54 | 實例 55 | 實例 56 |
| SiO <sub>2</sub>               | 63.60 | 63.89 | 63.84 | 63.90 | 63.88 | 64.74 | 60.17 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.65 | 16.09 | 16.47 | 16.87 | 16.97 | 15.25 | 18.58 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 2.46  | 2.42  | 2.43  | 2.43  | 2.42  | 0.98  | 1.90  |
| Li <sub>2</sub> O              | 6.13  | 6.80  | 7.84  | 8.75  | 9.78  | 5.28  | 5.16  |
| Na <sub>2</sub> O              | 10.29 | 9.97  | 8.96  | 7.99  | 6.88  | 12.09 | 12.58 |

|                                                                                       |      |       |       |       |       |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| ZnO                                                                                   | 1.81 | 0.78  | 0.39  | 0.00  | 0.00  | 1.61 | 1.55  |
| MgO                                                                                   | 0.02 | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02 | 0.02  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.04 | 0.04  | 0.04  | 0.04  | 0.04  | 0.03 | 0.03  |
|                                                                                       |      |       |       |       |       |      |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 1.05 | 1.04  | 1.02  | 0.99  | 0.98  | 1.14 | 0.96  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.60 | 0.68  | 0.87  | 1.10  | 1.42  | 0.44 | 0.41  |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.14 | -0.94 | -1.68 | -2.54 | -2.70 | 2.78 | -1.16 |

|                                                                                       |       |       |       |       |       |        |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 組成(mol%)                                                                              | 實例 57 | 實例 58 | 實例 59 | 實例 60 | 實例 61 | 實例 62  | 實例 63 | 實例 64 |
| SiO <sub>2</sub>                                                                      | 58.32 | 63.3  | 63.3  | 63.3  | 63.3  | 63.3   | 63.3  | 63.46 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        | 18.95 | 15.25 | 15.65 | 16.2  | 15.1  | 15.425 | 15.7  | 15.71 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                         | 2.42  | 2.5   | 2.5   | 2.5   | 2.5   | 2.5    | 2.5   | 2.45  |
| Li <sub>2</sub> O                                                                     | 4.96  | 6     | 7     | 7.5   | 6     | 7      | 7.5   | 6.37  |
| Na <sub>2</sub> O                                                                     | 13.74 | 10.7  | 9.7   | 9.45  | 10.55 | 9.475  | 8.95  | 10.69 |
| ZnO                                                                                   | 1.56  | 1.2   | 0.8   | 0     | 2.5   | 2.25   | 2     | 1.15  |
| MgO                                                                                   | 0.02  | 1     | 1     | 1     | 0     | 0      | 0     | 0.06  |
| SnO <sub>2</sub>                                                                      | 0.03  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05   | 0.05  | 0.04  |
|                                                                                       |       |       |       |       |       |        |       |       |
| R <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | 0.99  | 1.10  | 1.07  | 1.05  | 1.10  | 1.07   | 1.05  | 1.09  |
| Li <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                                   | 0.36  | 0.56  | 0.72  | 0.79  | 0.57  | 0.74   | 0.84  | 0.6   |
| (R <sub>2</sub> O + RO)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | -1.09 | 1.15  | 0.35  | -0.75 | 1.45  | 0.80   | 0.25  | -1.1  |

表 1 B：表 1 A 中所列玻璃之選定物理性質。

|                              |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 實例 1  | 實例 2  | 實例 3  | 實例 4  | 實例 5  | 實例 6  | 實例 7  |
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )   | 2.434 | 2.493 | 2.434 | 2.504 | 2.44  | 2.514 | 2.519 |
| 低溫 CTE<br>25-300°C (ppm/°C)  | 8.9   | 8.62  | 8.95  | 8.6   | 8.82  | 8.71  | 8.54  |
| 高溫 CTE (ppm/°C)              | 17.67 | 19.1  | 17.16 | 21    | 18.12 | 20    | 20.11 |
| 應變點(°C)                      | 630   | 591   | 612   | 580   | 605   | 580   | 589   |
| 退火點(°C)                      | 683   | 641   | 662   | 628   | 651   | 629   | 639   |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度<br>(°C) | 770   | 725   | 748   | 710   | 734   | 711   | 721   |
| 軟化點<br>(°C)                  | 937   | 888   | 919   | 873   | 909   | 868   | 874   |
| T <sup>35kP</sup> (°C)       |       |       |       | 1167  | 1180  | 1158  | 1160  |
| T <sup>200kP</sup> (°C)      |       |       |       | 1070  | 1083  | 1061  | 1064  |

|                   |        |        |        |                      |                      |                      |                      |
|-------------------|--------|--------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 鋯石分解溫度(°C)        |        | 1205   |        | 1220                 | 1170                 | 1185                 | 1205                 |
| 鋯石分解黏度(P)         |        |        |        | 1.56x10 <sup>4</sup> | 4.15x10 <sup>4</sup> | 2.29x10 <sup>4</sup> | 1.74x10 <sup>4</sup> |
| 液相線溫度(°C)         |        | 980    |        | 990                  | 975                  | 990                  | 1000                 |
| 液相線黏度(P)          |        |        |        | 1.15x10 <sup>6</sup> | 2.17x10 <sup>6</sup> | 9.39x10 <sup>5</sup> | 7.92x10 <sup>5</sup> |
| 帕松比               | 0.200  | 0.211  | 0.206  | 0.214                | 0.204                | 0.209                | 0.211                |
| 楊氏模數(GPa)         | 69.2   | 68.8   | 69.4   | 68.5                 | 69.6                 | 68.3                 | 69.0                 |
| 在 589.3 nm 處之折射率  | 1.4976 | 1.5025 | 1.4981 | 1.5029               | 1.4992               | 1.5052               | 1.506                |
| 應力光學係數(nm/mm/MPa) | 2.963  | 3.158  | 3.013  | 3.198                | 2.97                 | 3.185                | 3.234                |

|                          |                      |                      |                      |                      |                      |                      |       |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|
|                          | 實例 8                 | 實例 9                 | 實例 10                | 實例 11                | 實例 12                | 實例 13                | 實例 14 |
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )   | 2.516                | 2.501                | 2.498                | 2.493                | 2.493                | 2.492                | 2.486 |
| 低溫 CTE 25-300°C (ppm/°C) | 8.35                 | 8.67                 | 8.87                 | 8.49                 | 8.65                 | 8.71                 | 8.49  |
| 高溫 CTE (ppm/°C)          | 20.11                | 20.6                 | 20.94                |                      | 19.52                | 20.77                |       |
| 應變點(°C)                  | 590                  | 589                  | 591                  | 584                  | 600                  | 579                  | 588   |
| 退火點(°C)                  | 641                  | 639                  | 640                  | 628                  | 652                  | 620                  | 630   |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度(°C) | 726                  | 724                  | 720                  | 704                  | 738                  | 695                  | 704   |
| 軟化點(°C)                  | 888                  | 890                  | 865                  | 857                  | 900                  | 867                  | 860   |
| T <sup>35kP</sup> (°C)   | 1170                 | 1176                 | 1159                 | 1139                 | 1197                 | 1169                 |       |
| T <sup>200kP</sup> (°C)  | 1073                 | 1080                 | 1061                 | 1041                 | 1099                 | 1070                 |       |
| 鋯石分解溫度(°C)               | 1195                 | 1195                 | 1210                 | 1225                 | 1195                 | 1195                 | 1220  |
| 鋯石分解黏度(P)                | 2.33x10 <sup>4</sup> | 2.58x10 <sup>4</sup> | 1.60x10 <sup>4</sup> | 9.94x10 <sup>3</sup> | 3.63x10 <sup>4</sup> | 2.35x10 <sup>4</sup> |       |
| 液相線溫度(°C)                | 1005                 | 990                  | 990                  | 980                  | 990                  | 980                  | 980   |

|                   |                          |          |          |          |          |          |        |
|-------------------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 液相線黏度(P)          | 8.69<br>x10 <sup>4</sup> | 1.48E+06 | 9.02E+05 | 7.10E+05 | 2.19E+06 | 1.33E+06 |        |
| 帕松比               | 0.211                    | 0.205    | 0.208    | 0.209    | 0.209    | 0.210    | 0.217  |
| 楊氏模數(GPa)         | 69.0                     | 68.7     | 71.4     | 73.5     | 68.4     | 71.6     | 74.0   |
| 在 589.3 nm 處之折射率  | 1.506                    | 1.5036   | 1.505    | 1.5063   | 1.5026   | 1.5041   | 1.5052 |
| 應力光學係數(nm/mm/MPa) | 3.234                    | 3.194    | 3.157    | 3.131    | 3.18     | 3.156    | 3.131  |

|                          |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          | 實例 15  | 實例 16  | 實例 17  | 實例 18  | 實例 19  | 實例 20  | 實例 21  |
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )   | 2.433  | 2.429  | 2.426  | 2.431  | 2.428  | 2.433  | 2.486  |
| 低溫 CTE 25-300°C (ppm/°C) | 9.15   | 9.16   | 8.83   | 8.97   | 8.97   | 8.79   | 8.45   |
| 高溫 CTE (ppm/°C)          | 20     | 20     | 21     | 17.3   | 20     |        |        |
| 應變點(°C)                  | 615    | 606    | 599    | 633    | 616    | 611    | 602    |
| 退火點(°C)                  | 662    | 659    | 653    | 684    | 670    | 665    | 653    |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度(°C) | 747    | 745    | 741    | 771    | 758    | 751    | 739    |
| 軟化點(°C)                  | 935    | 903    | 901    | 943    | 918    | 905    | 910    |
| T <sup>35kP</sup> (°C)   | 1182   | 1166   | 1152   | 1221   | 1185   | 1167   | 1207   |
| T <sup>200kP</sup> (°C)  | 1083   | 1066   | 1051   | 1122   | 1084   | 1066   | 1108   |
| 鋇石分解溫度(°C)               |        |        |        |        |        |        |        |
| 鋇石分解黏度(P)                |        |        |        |        |        |        |        |
| 液相線溫度(°C)                |        |        |        |        |        |        |        |
| 液相線黏度(P)                 |        |        |        |        |        |        |        |
| 帕松比                      | 0.203  | 0.207  | 0.205  | 0.209  | 0.199  |        | 0.207  |
| 楊氏模數(GPa)                | 68.9   | 71.2   | 72.7   | 69.4   | 70.9   |        | 68.1   |
| 在 589.3 nm 處之折射率         | 1.4964 | 1.4981 | 1.4991 | 1.4965 | 1.4984 | 1.5006 | 1.5019 |
| 應力光學係數                   | 2.994  | 3.022  | 2.982  | 2.979  | 2.99   | 0      | 3.173  |

|             |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|
| (nm/mm/MPa) |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|

|                              |          |          |          |          |        |        |          |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|----------|
|                              | 實例 22    | 實例 23    | 實例 24    | 實例 25    | 實例 26  | 實例 27  | 實例 28    |
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )   | 2.468    | 2.448    | 2.434    | 2.428    | 2.47   | 2.419  | 2.414    |
| 低溫 CTE<br>25-300°C (ppm/°C)  | 8.6      | 8.23     | 8.91     | 8.25     | 8.66   | 8.52   | 8.17     |
| 高溫 CTE (ppm/°C)              | 19.52    |          | 19.49    |          |        |        | 19.47    |
| 應變點(°C)                      | 596      | 595      | 638      | 616      | 608    | 640    | 620      |
| 退火點<br>(°C)                  | 644      | 649      | 695      | 656      | 654    | 700    | 677      |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度<br>(°C) | 728      | 741      | 785      | 732      | 736    | 798    | 771      |
| 軟化點<br>(°C)                  | 905      | 922      | 941      | 925      | 911    | 978    | 946      |
| T <sup>35kP</sup> (°C)       | 1217     | 1227     | 1209     | 1215     | 1209   | 1283   | 1249     |
| T <sup>200kP</sup> (°C)      | 1115     | 1125     | 1109     | 1115     | 1107   | 1184   | 1150     |
| 鋇石分解溫度<br>(°C)               | 1185     | 1185     | 1180     | 1185     |        |        | 1185     |
| 鋇石分解黏度(P)                    | 5.86E+04 | 6.91E+04 | 5.59E+04 | 5.72E+04 |        |        | 1.05E+05 |
| 液相線溫度<br>(°C)                | 975      | 980      | 1080     | 1025     |        |        | 940      |
| 液相線黏度(P)                     | 4.14E+06 | 4.52E+06 | 3.56E+05 | 1.27E+06 |        |        | 2.92E+07 |
| 帕松比                          | 0.210    |          | 0.204    | 0.210    | 0.212  |        | 0.213    |
| 楊氏模數<br>(GPa)                | 71.4     |          | 71.6     | 73.5     | 68.8   |        | 76.9     |
| 在 589.3 nm 處之折<br>射率         | 1.502    | 1.5025   | 1.4996   | 1.5008   | 1.5006 | 1.4987 | 1.5014   |
| 應力光學係數<br>(nm/mm/MPa)        | 3.123    | 3.03     | 3.001    | 3.021    | 3.148  | 3.039  | 3.015    |

|    |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | 實例 29 | 實例 30 | 實例 31 | 實例 32 | 實例 33 | 實例 34 | 實例 35 |
| 密度 | 2.408 | 2.446 | 2.448 | 2.446 | 2.445 | 2.443 | 2.442 |

|                              |              |              |              |              |              |              |              |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| (g/cm <sup>3</sup> )         |              |              |              |              |              |              |              |
| 低溫 CTE<br>25-300°C (ppm/°C)  | 7.86         | 8.29         | 8.38         | 8.17         | 8.14         | 8.04         | 7.97         |
| 高溫 CTE (ppm/°C)              | 18.57        |              |              |              |              | 19.71        |              |
| 應變點(°C)                      | 610          | 591          | 595          | 585          | 580          | 574          | 577          |
| 退火點<br>(°C)                  | 665          | 645          | 649          | 638          | 633          | 627          | 629          |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度<br>(°C) | 755          | 736          | 740          | 726          | 722          | 717          | 717          |
| 軟化點<br>(°C)                  | 924          | 915          | 919          | 894          | 894          | 895          | 890          |
| T <sup>35kP</sup> (°C)       | 1216         | 1223         | 1227         | 1216         | 1210         | 1203         | 1196         |
| T <sup>200kP</sup> (°C)      | 1120         | 1122         | 1126         | 1114         | 1108         | 1102         | 1095         |
| 鋯石分解溫度<br>(°C)               | 1210         | 1175         | 1180         | 1190         | 1195         | 1210         | 1205         |
| 鋯石分解黏度(P)                    | 3.86E+0<br>4 | 7.72E+0<br>4 | 7.55E+0<br>4 | 5.29E+0<br>4 | 4.43E+0<br>4 | 3.14E+0<br>4 | 3.04E+0<br>4 |
| 液相線溫度<br>(°C)                | 1080         | 990          | 975          | 975          | 975          | 975          | 980          |
| 液相線黏度(P)                     | 4.55E+0<br>5 | 3.28E+0<br>6 | 5.43E+0<br>6 | 3.80E+0<br>6 | 3.33E+0<br>6 | 3.02E+0<br>6 | 2.29E+0<br>6 |
| 帕松比                          | 0.211        | 0.206        | 0.202        | 0.21         | 0.204        | 0.204        | 0.203        |
| 楊氏模數<br>(GPa)                | 75.0         | 73.91        | 73.02        | 74.60        | 74.67        | 75.15        | 75.43        |
| 在 589.3 nm 處之折<br>射率         | 1.5053       | 1.503        | 1.5025       | 1.5035       | 1.5041       | 1.5046       | 1.5053       |
| 應力光學係數<br>(nm/mm/MPa)        | 3.002        | 3.074        | 3.083        | 3.071        | 3.059        | 3.016        | 3.053        |

|                             |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | 實例 29 | 實例 30 | 實例 31 | 實例 32 | 實例 33 | 實例 34 | 實例 35 |
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )  | 2.408 | 2.446 | 2.448 | 2.446 | 2.445 | 2.443 | 2.442 |
| 低溫 CTE<br>25-300°C (ppm/°C) | 7.86  | 8.29  | 8.38  | 8.17  | 8.14  | 8.04  | 7.97  |
| 高溫 CTE (ppm/°C)             | 18.57 |       |       |       |       | 19.71 |       |

|                              |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 應變點(°C)                      | 610      | 591      | 595      | 585      | 580      | 574      | 577      |
| 退火點<br>(°C)                  | 665      | 645      | 649      | 638      | 633      | 627      | 629      |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度<br>(°C) | 755      | 736      | 740      | 726      | 722      | 717      | 717      |
| 軟化點<br>(°C)                  | 924      | 915      | 919      | 894      | 894      | 895      | 890      |
| T <sup>35kP</sup> (°C)       | 1216     | 1223     | 1227     | 1216     | 1210     | 1203     | 1196     |
| T <sup>200kP</sup> (°C)      | 1120     | 1122     | 1126     | 1114     | 1108     | 1102     | 1095     |
| 鋯石分解溫度<br>(°C)               | 1210     | 1175     | 1180     | 1190     | 1195     | 1210     | 1205     |
| 鋯石分解黏度(P)                    | 3.86E+04 | 7.72E+04 | 7.55E+04 | 5.29E+04 | 4.43E+04 | 3.14E+04 | 3.04E+04 |
| 液相線溫度<br>(°C)                | 1080     | 990      | 975      | 975      | 975      | 975      | 980      |
| 液相線黏度(P)                     | 4.55E+05 | 3.28E+06 | 5.43E+06 | 3.80E+06 | 3.33E+06 | 3.02E+06 | 2.29E+06 |
| 帕松比                          | 0.211    | 0.206    | 0.202    | 0.21     | 0.204    | 0.204    | 0.203    |
| 楊氏模數<br>(GPa)                | 75.0     | 73.91    | 73.02    | 74.60    | 74.67    | 75.15    | 75.43    |
| 在 589.3 nm 處之折<br>射率         | 1.5053   | 1.503    | 1.5025   | 1.5035   | 1.5041   | 1.5046   | 1.5053   |
| 應力光學係數<br>(nm/mm/MPa)        | 3.002    | 3.074    | 3.083    | 3.071    | 3.059    | 3.016    | 3.053    |

|                              |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 實例 36 | 實例 37 | 實例 38 | 實例 39 | 實例 40 | 實例 41 | 實例 42 |
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )   | 2.453 | 2.453 | 2.452 | 2.451 | 2.449 | 2.449 | 2.425 |
| 低溫 CTE<br>25-300°C (ppm/°C)  | 8.17  | 8.14  | 7.97  | 8.01  | 7.79  | 7.9   | 8.54  |
| 高溫 CTE (ppm/°C)              |       |       |       |       | 20.56 |       |       |
| 應變點(°C)                      | 595   | 595   | 584   | 587   | 578   | 584   | 617   |
| 退火點(°C)                      | 649   | 649   | 638   | 640   | 630   | 637   | 663   |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度<br>(°C) | 740   | 741   | 729   | 730   | 718   | 726   | 746   |
| 軟化點<br>(c)                   | 918   | 921   | 905   | 907   | 894   | 901   | 929   |

|                         |          |      |          |      |          |      |        |
|-------------------------|----------|------|----------|------|----------|------|--------|
| T <sup>35kP</sup> (°C)  | 1229     | 1232 | 1212     | 1219 | 1200     | 1204 | 1232   |
| T <sup>200kP</sup> (°C) | 1128     | 1131 | 1111     | 1118 | 1100     | 1103 | 1132   |
| 鋯石分解溫度<br>(°C)          | 1185     |      | 1200     |      | 1210     |      |        |
| 鋯石分解黏度(P)               | 7.20E+04 |      | 4.26E+04 |      | 3.00E+04 |      |        |
| 液相線溫度<br>(°C)           | 995      |      | 990      |      | 965      |      |        |
| 液相線黏度(P)                | 3.33E+06 |      | 2.51E+06 |      | 3.71E+06 |      |        |
| 帕松比                     | 0.208    |      | 0.206    |      | 0.206    |      |        |
| 楊氏模數(GPa)               | 73.70    |      | 74.67    |      | 75.50    |      |        |
| 在 589.3 nm 處之折<br>射率    | 1.5032   |      | 1.5042   |      | 1.5054   |      | 1.5005 |
| 應力光學係數<br>(nm/mm/MPa)   | 3.093    |      | 3.071    |      | 3.072    |      | 3.033  |

|                               |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                               | 實 例<br>43 | 實 例<br>44 | 實 例<br>45 | 實 例<br>46 | 實 例<br>47 | 實 例<br>48 | 實 例<br>49 | 實 例<br>50 |
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )    | 2.424     | 2.422     | 2.455     | 2.454     | 2.454     | 2.434     | 2.439     | 2.443     |
| 低溫熱膨脹係數，<br>25-300°C (ppm/°C) | 8.48      | 8.34      | 8.03      | 7.88      | 7.76      | 7.87      | 7.71      | 7.63      |
| 高溫熱膨脹係數<br>(ppm/°C)           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 應變點溫度<br>(°C)                 | 614       | 594       | 595       | 586       | 579       | 580       | 581       | 579       |
| 退火點溫度<br>(°C)                 | 659       | 640       | 649       | 639       | 630       | 633       | 633       | 632       |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度<br>(°C)  | 739       | 722       | 740       | 729       | 718       | 722       | 721       | 721       |
| 軟化點溫度<br>(°C)                 | 912       | 899       | 918       | 909       | 898       | 892       | 893       | 895       |
| 35 kP<br>溫度                   | 1216      | 1204      |           | 1212      | 1200      | 1203      | 1203      | 1203      |

|                       |        |        |        |        |        |          |          |          |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|
| (°C)                  |        |        |        |        |        |          |          |          |
| 200 kP 溫度<br>(°C)     | 1116   | 1102   |        | 1113   | 1099   | 1105     | 1102     | 1103     |
| 鋯石分解溫度<br>(°C)        |        |        |        |        |        |          |          |          |
| 鋯石分解黏度(P)             |        |        |        |        |        |          |          |          |
| 液相線溫度<br>(°C)         |        |        | 985    |        | 965    | 1005     | 1010     | 1030     |
| 液相線黏度(P)              |        |        |        |        | 4.E+06 | 1.78E+06 | 1.34E+06 | 8.98E+05 |
| 帕松比                   |        |        |        |        |        | 0.211    | 0.21     | 0.213    |
| 楊氏模數(GPa)             |        |        |        |        |        | 76.32    | 76.60    | 76.81    |
| 在 589.3 nm 處之折<br>射率  | 1.5014 | 1.5026 | 1.5036 | 1.5047 | 1.5061 | 1.505    | 1.5059   | 1.5064   |
| 應力光學係數<br>(nm/mm/MPa) | 2.965  | 2.981  | 3.082  | 3.057  | 3.063  | 3.025    | 3.004    | 3.046    |

|                              | 實例 51 | 實例 52 | 實例 53 | 實例 54 | 實例 55 | 實例 56 | 實例 57 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )   | 2.424 | 2.431 | 2.403 | 2.4   | 2.45  | 2.462 | 2.468 |
| 低溫 CTE<br>25-300°C (ppm/°C)  | 77.1  | 76.1  | 74.3  | 73.1  | 80.2  | 79.7  | 83.6  |
| 高溫 CTE (ppm/°C)              |       |       |       |       |       |       |       |
| 應變點(°C)                      | 588   | 599   | 611   | 612   | 580   | 611   | 597   |
| 退火點<br>(°C)                  | 640   | 651   | 665   | 665   | 631   | 663   | 649   |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度<br>(°C) | 728   | 738   | 753   | 752   | 718   | 750   | 735   |
| 軟化點<br>(°C)                  | 900.4 | 907.5 | 916   | 912.5 | 892.2 | 915.6 | 899.4 |
| T <sup>35kP</sup> (°C)       | 1204  | 1209  | 1209  | 1202  | 1206  | 1205  | 1184  |
| T <sup>200kP</sup> (°C)      | 1106  | 1113  | 1113  | 1106  | 1102  | 1111  | 1093  |
| 鋯石分解溫度<br>(°C)               |       |       |       |       |       |       |       |

|                   |          |          |          |          |  |  |  |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|--|--|--|
| 鋯石分解黏度(P)         |          |          |          |          |  |  |  |
| 液相線溫度(°C)         | 1060     | 1115     | 1160     | 1205     |  |  |  |
| 液相線黏度(P)          | 5.11E+05 | 1.90E+05 | 8.18E+04 | 3.32E+04 |  |  |  |
| 帕松比               | 0.211    | 0.212    | 0.208    | 0.214    |  |  |  |
| 楊氏模數(GPa)         | 77.01    | 78.05    | 77.57    | 78.74    |  |  |  |
| 在 589.3 nm 處之折射率  | 1.5054   | 1.5055   | 1.5059   | 1.5072   |  |  |  |
| 應力光學係數(nm/mm/MPa) | 3.011    | 2.98     | 2.982    | 2.964    |  |  |  |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
|                          | 實例 64   |
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )   | 2.428   |
| CTE 25-300°C (ppm/°C)    | 7.8     |
| 應變點(°C)                  | 571     |
| 退火點(°C)                  | 622     |
| 10 <sup>11</sup> 泊溫度(°C) |         |
| 軟化點(°C)                  | 881.4   |
| T <sup>35kP</sup> (°C)   |         |
| T <sup>200kP</sup> (°C)  | 1645    |
| 鋯石分解溫度(°C)               |         |
| 鋯石分解黏度(P)                |         |
| 液相線溫度(°C)                | 1000    |
| 液相線黏度(P)                 | 1524280 |
| 帕松比                      | 0.211   |
| 楊氏模數(GPa)                | 76.3    |

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 在 589.3 nm 處之折射率      | 1.51 |
| 應力光學係數<br>(nm/mm/MPa) | 3.02 |

【 0 1 6 6 】 在玻璃製品包括玻璃陶瓷的情況下，結晶相可包括  $\beta$  - 鋰輝石、金紅石、鋅尖晶石或其他已知結晶相及其組合。

【 0 1 6 7 】 玻璃製品可為實質上平坦的，儘管其他實施例可利用彎曲或以其他方式成形或雕刻的基板。在一些情況下，玻璃製品可具有 3 D 或 2 . 5 D 形狀。玻璃製品可為實質上光學清透、透明且無光散射的。玻璃製品可具有在約 1 . 4 5 至約 1 . 5 5 範圍內之折射率。如本文所使用，折射率值係相對於 5 5 0 n m 之波長而言。

【 0 1 6 8 】 另外或替代地，玻璃製品之厚度可沿一或多個維度為恆定的，或可出於審美學及 / 或功能性原因而沿其維度之一或多者而變化。例如，相較於玻璃製品之較為中心的區域，玻璃製品之邊緣可較厚。玻璃製品之長度、寬度及厚度尺寸亦可根據製品之應用或用途而變化。

【 0 1 6 9 】 玻璃製品可藉由形成其之方式來特性化。例如，玻璃製品可特性化為可浮製形成的 ( 亦即，藉由浮製製程形成 ) 、可下拉的及尤其為可熔合形成或可狹槽拉製 ( 亦即，藉由下拉製程，諸如熔合拉製製程或狹槽拉製製程形成 ) 的情況。

【 0 1 7 0 】 可浮製形成的玻璃製品可藉由光滑表面特性化且藉由在熔融金屬 ( 典型地為錫 ) 之床層上浮製熔融玻璃而製成均勻厚度。在一示例性製程中，進料至熔融錫

床層之表面上的熔融玻璃形成浮製玻璃帶。隨著玻璃帶沿著錫浴流動，溫度逐步降低直至玻璃帶固化成固體玻璃製品，該固體玻璃製品可自錫提升至滾筒上。一旦離開浴，玻璃製品即可進一步冷卻並經退火來減少內部應力。在玻璃製品為玻璃陶瓷的情況下，由浮製製程形成的玻璃製品可經受陶瓷化製程，藉由陶瓷化製程產生一或多個結晶相。

【0171】 下拉製程產生具有均勻厚度之玻璃製品，該等玻璃製品擁有相對原始的表面。因為玻璃製品之平均撓曲強度係藉由表面瑕疵之量及大小控制，所以有過最小接觸的原始表面具有較高的初始強度。當此高強度玻璃製品接著經進一步強化（例如，化學強化）時，所得強度可高於具有已研磨及拋光的表面之玻璃製品的強度。下拉玻璃製品可經拉製至小於約 2 mm 之厚度。另外，下拉玻璃製品具有極平坦、光滑表面，該表面可用於其最終應用中而無需高成本的研磨及拋光。在玻璃製品為玻璃陶瓷的情況下，由下拉製程形成的玻璃製品可經受陶瓷化製程，藉由陶瓷化製程產生一或多個結晶相。

【0172】 熔合拉製製程例如使用拉伸槽，該拉製槽具有用於接收熔融玻璃原料之通道。通道具有堰口，該等堰口在通道之兩側上沿通道之長度於頂部處敞開。當通道充滿熔融材料時，熔融玻璃溢出堰口。由於重力，熔融玻璃作為兩個流動的玻璃膜沿拉製槽之外表面向下流動。拉製槽之此等外表面向下延伸且向內延伸，以使得

此等表面在拉製槽下方的邊緣處會合。兩個流動玻璃膜在此邊緣處會合以便熔合併形成單一流動玻璃製品。熔合拉製方法提供的優點在於：因為在通道上方流動的兩個玻璃膜熔合在一起，所以所得玻璃製品之任一外表面均不與設備之任何部分接觸。因此，熔合拉製玻璃製品之表面性質不受此種接觸影響。在玻璃製品為玻璃陶瓷的情況下，由熔合製程形成的玻璃製品可經受陶瓷化製程，藉由陶瓷化製程產生一或多個結晶相。

【0173】 狹槽拉製製程不同於熔合拉製方法。在狹槽拉製製程中，熔融原料玻璃係提供至拉製槽。拉製槽之底部具有敞開狹槽，該狹槽具有沿狹槽之長度延伸的噴嘴。熔融玻璃流動穿過狹槽/噴嘴且作為連續玻璃製品向下拉製並進入退火區域。在玻璃製品為玻璃陶瓷的情況下，由狹槽拉製製程形成的玻璃製品可經受陶瓷化製程，藉由陶瓷化製程產生一或多個結晶相。

【0174】 在一些實施例中，玻璃製品可使用薄輥軋製程形成，如以下各項中所述：標題為「Precision Glass Roll Forming Process and Apparatus」之美國專利第8,713,972號、標題為「Precision Roll Forming of Textured Sheet Glass」之美國專利第9,003,835號、標題為「Methods And Apparatus For Forming A Glass Ribbon」之美國專利公開案第20150027169號，以及標題為「Apparatus and Method for Forming Thin Glass Articles」之

美國專利公開案第20050099618號，該等專利之內容以全文引用方式併入本文。更具體而言，玻璃製品可藉由以下方式形成：供應垂直熔融玻璃流，利用維持在約500℃或更高或約600℃或更高之表面溫度下的一雙成形輥形成熔融玻璃或玻璃陶瓷之供應流以便形成具有所形成厚度之成形玻璃帶，利用維持在約400℃或更低之表面溫度下之一對大小設定輥將所形成的玻璃帶進行大小設定以便產生具有小於所形成厚度之所欲厚度及所欲厚度均勻性之經大小設定的玻璃帶。用於形成玻璃帶之設備可包括：玻璃進料裝置，用於供應所供應的熔融玻璃流；維持在約500℃或更高之表面溫度下的一對成形輥，該等成形輥相鄰彼此緊密間隔，從而在該等成形輥之間界定玻璃成形間隙，其中玻璃成形間隙垂直地位於玻璃進料裝置下方以用於接收所供應的熔融玻璃流且在該等成形輥之間薄化所供應的熔融玻璃流，以便形成具有所形成厚度的成形玻璃帶；以及維持在約400℃或更低之表面溫度下的一對大小設定輥，該等大小設定輥相鄰彼此緊密間隔，從而在該等大小設定輥之間界定玻璃大小設定間隙，其中玻璃大小設定間隙垂直地位於成形輥下方以用於接收成形玻璃帶且薄化成形玻璃帶以產生具有所欲厚度及所欲厚度均勻性之經大小設定的玻璃帶。

【0175】 在一些情況下，在玻璃之黏度不允許使用熔合或狹槽拉製方法的情況下，可利用薄輥軋製程。例如，

當玻璃展現小於 100 kP 之液相線黏度時，可利用薄輥軋來形成玻璃製品。

【0176】 玻璃製品可經酸拋光或以其他方式處理來移除或減少表面瑕疵之效應。

【0177】 本揭示內容之另一態樣係關於一種形成抗斷裂玻璃製品之方法。該方法包括提供玻璃基板，該玻璃基板具有第一表面及第二表面，該等表面界定約 1 毫米或更小之厚度；以及如本文所述在玻璃基板中產生應力分佈以便提供抗斷裂玻璃製品。在一或多個實施例中，產生該應力分佈包含將複數種鹼金屬離子離子交換至玻璃基板中以形成鹼金屬氧化物濃度梯度，該鹼金屬氧化物濃度梯度包含沿厚度延伸的鹼金屬氧化物之非零濃度。在一個實例中，產生該應力分佈包括將玻璃基板浸沒於包括  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Rb}^+$ 、 $\text{Cs}^+$  或其組合之硝酸鹽的熔融鹽浴中，該熔融鹽浴具有約 350 °C 或更大（例如，約 350 °C 至約 500 °C）之溫度。在一個實例中，熔融浴可包括  $\text{NaNO}_3$  且可具有約 485 °C 之溫度。在另一實例中，浴可包括  $\text{NaNO}_3$  且具有約 430 °C 之溫度。玻璃基板可浸沒於浴中約 2 小時或更久、至多約 48 小時（例如，約 12 小時至約 48 小時，約 12 小時至約 32 小時、約 16 小時至約 32 小時、約 16 小時至約 24 小時或約 24 小時至約 32 小時）。

【0178】 在一些實施例中，該方法可包括在多於一個步驟中使用在多於一個浴種的連續浸沒步驟來化學強化或離子交換該玻璃基板。例如，可連續使用兩個或兩個

以上的浴。一或多個浴之組成可在相同浴中包括單一金屬(例如,  $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Rb}^+$ 或 $\text{Cs}^+$ )或金屬之組合。當利用多於一個浴時, 浴可彼此具有相同或不同組成及/或溫度。在每一此種浴中之浸沒時間可為相同的, 或可變化以提供所欲應力分佈。

【0179】 在一或多個實施例中, 可利用第二浴或後繼浴來產生較大表面CS。在一些情況下, 該方法包括將玻璃材料浸沒在第二或後繼浴以產生較大表面CS, 而不顯著地影響層及/或DOC之化學深度。在此等實施例中, 第二或後繼浴可包括單一金屬(例如,  $\text{KNO}_3$ 或 $\text{NaNO}_3$ )或金屬之混合物( $\text{KNO}_3$ 及 $\text{NaNO}_3$ )。第二或後繼浴之溫度可經特製以產生較大表面CS。在一些實施例中, 玻璃材料於第二或後繼浴中之浸沒時間亦可經特製以產生較大表面CS, 而不影響層及/或DOC之化學深度。例如, 於第二或後繼浴中之浸沒時間可小於10小時(例如, 約8小時或更少、約5小時或更少、約4小時或更少、約2小時或更少、約1小時或更少、約30分鐘或更少、約15分鐘或更少或約10分鐘或更少)。

【0180】 在一或多個替代實施例中, 該方法可包括一或多個熱處理步驟, 其可與本文所述的離子交換製程組合使用。熱處理包括熱處理玻璃製品以獲得所欲應力分佈。在一些實施例中, 熱處理包括將玻璃材料退火、回火或加熱至約300℃至約600℃範圍內之溫度。熱處理可持續1分鐘至多約18小時。在一些實施例中, 熱處理

可在一或多個離子交換製程之後使用或在離子交換製程之間使用。

實例

【0181】 各種實施例將藉由以下實例進一步闡明。

實例 1

【0182】 根據實例 1 A - 1 B 及比較實例 1 C - 1 G 的玻璃製品係藉由提供具有 58 mol% SiO<sub>2</sub>、16.5 mol% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、17 mol% Na<sub>2</sub>O、3 mol% MgO 及 6.5 mol% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 之標稱玻璃組成物的玻璃基板來製得。玻璃基板具有 0.4 mm 之厚度及 50 mm 之長度及寬度尺寸。玻璃基板藉由離子交換製程化學強化，該離子交換製程包括浸沒於具有約 420 °C 之溫度的 80 % KNO<sub>3</sub> 及 20 % NaNO<sub>3</sub> 之熔融鹽浴歷時表 2 所示的持續時間。所得玻璃製品隨後如上所述且藉由在 5 psi、15 psi 或 25 psi 之壓力下使用 90 粒 SiC 粒子研磨每一樣本之主表面而經受 A R O R 測試，亦如表 2 中所示。表 2 展示玻璃製品之平均等雙軸撓曲強度或破裂載荷。

【0183】 表 2：實例 1 之化學強化條件及 A R O R 結果。

| 實例 | 離子交換條件      | 5 psi 下之平均 kgf (標準偏差) | 15 psi 下之平均 kgf (標準偏差) | 25 psi 下之平均 kgf (標準偏差) |
|----|-------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 1C | 420°C/4 小時  | 49.4 (7.1)            | 17.4 (7.2)             | 0.3 (0.9)              |
| 1D | 420°C/8 小時  | 49.9 (7.1)            | 36.5 (6.7)             | 19.3 (6.4)             |
| 1A | 420°C/16 小時 | 47.5 (6.0)            | 38.3 (2.8)             | 30.0 (5.4)             |
| 1B | 420°C/32 小時 | 36.9 (4.3)            | 30.9 (3.1)             | 26.2 (2.8)             |

|    |              |            |            |            |
|----|--------------|------------|------------|------------|
| 1E | 420°C/64 小時  | 18.7 (1.5) | 15.3 (0.9) | 13.5 (1.2) |
| 1F | 420°C/128 小時 | 5.9 (0.5)  | 5.4 (0.3)  | 4.5 (0.3)  |

【 0 1 8 4 】 在 1 5   p s i 及 2 5   p s i 下 研 磨 之 後 各 實 例 之 平 均 等 雙 軸 撓 曲 強 度 或 破 裂 載 荷 繪 製 於 第 1 1 圖 中 。 如 第 1 1 圖 所 示 ， 實 例 1 A 及 1 B 在 2 5   p s i 下 研 磨 之 後 展 現 最 大 平 均 等 雙 軸 撓 曲 強 度 。 因 此 ， 實 例 1 A 及 1 B 之 A R O R 效 能 證 明 ： 此 等 玻 璃 製 品 展 現 高 度 切 斷 斷 裂 模 式 ， 從 而 指 示 改 善 的 保 留 強 度 ， 尤 其 針 對 由 較 高 研 磨 壓 力 引 起 的 較 深 研 磨 深 度 而 言 如 此 。

實 例 2

【 0 1 8 5 】 根 據 實 例 2 A - 2 C 及 比 較 實 例 2 D - 2 F 的 玻 璃 製 品 係 藉 由 提 供 玻 璃 基 板 並 化 學 強 化 玻 璃 基 板 來 製 得 。 用 於 實 例 2 A - 2 C 及 比 較 2 E - 2 F 之 玻 璃 基 板 具 有 以 下 標 稱 玻 璃 組 成 物 ： 6 9 . 2   m o l %   S i O <sub>2</sub> 、 1 2 . 6   m o l %   A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、 1 . 8   m o l %   B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、 7 . 7   m o l %   L i <sub>2</sub> O 、 0 . 4   m o l %   N a <sub>2</sub> O 、 2 . 9   m o l %   M g O 、 1 . 7   m o l %   Z n O 、 3 . 5   m o l %   T i O <sub>2</sub>   a n d   0 . 1   m o l %   S n O <sub>2</sub> 。 用 於 比 較 實 例 2 D 之 基 板 具 有 與 實 例 1 相 同 的 組 成 物 。

【 0 1 8 6 】 玻 璃 基 板 具 有 1   m m 之 厚 度 及 允 許 與 已 知 行 動 裝 置 外 殼 組 裝 的 長 度 及 寬 度 尺 寸 。 玻 璃 基 板 藉 由 表 3 所 示 的 離 子 交 換 製 程 來 化 學 強 化 。 實 例 2 A - 2 C 之 C T 及 D O C 值 藉 由 S C A L P 量 測 且 亦 展 示 於 表 3 中 。

【 0 1 8 7 】 表 3 ： 實 例 2 之 離 子 交 換 條 件 及 掉 落 測 試 結 果 。

| 實例         | 熔融浴組成         | 熔融浴溫度(°C) | 浸 沒 時 間<br>(小時) | CT (MPa) | DOC<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|------------|---------------|-----------|-----------------|----------|--------------------------|
| 實例 2A      | 100%<br>NaNO3 | 430       | 24              | 128      | 160                      |
| 實例 2B      | 100%<br>NaNO3 | 430       | 29              | 153      | 200                      |
| 實例 2C      | 100%<br>NaNO3 | 430       | 33              | 139      | 200                      |
| 比較實例<br>2D |               |           |                 |          |                          |
| 比較實例<br>2E | 100%<br>NaNO3 | 390       | 3.5             |          |                          |
| 比較實例<br>2F | 100%<br>NaNO3 | 430       | 48              |          |                          |

【 0 1 8 8 】 比 較 實 例 2 D 經 離 子 交 換 以 展 現 具 有 超 過 7 5 微 米 之 D O C 的 誤 差 函 數 應 力 分 佈 ( 如 藉 由 應 用 I W K B 分 析 之 R o u s s e v I 所 量 測 ) 。 隨 後 將 所 得 玻 璃 製 品 改 裝 至 等 同 的 行 動 裝 置 外 殼 且 經 受 如 上 所 述 於 3 0 粒 砂 紙 上 之 掉 落 測 試 。 第 1 2 圖 展 示 該 實 例 之 最 大 破 裂 高 度 。 如 第 1 2 圖 所 示 ， 實 例 2 A - 2 C 展 現 顯 著 更 大 的 最 大 破 裂 高 度 ( 亦 即 ， 分 別 為 2 1 2 c m 、 2 2 0 c m 及 2 2 0 c m ) 且 展 現 切 割 行 為 。 如 相 較 於 實 例 2 A - 2 C 而 言 ， 具 有 相 同 組 成 物 之 實 例 2 F 不 展 現 相 同 切 割 行 為 且 展 現 較 低 最 大 破 裂 高 度 。

實 例 3

【 0 1 8 9 】 根 據 實 例 3 A - 3 K 及 比 較 實 例 3 L - 3 X 的 玻 璃 製 品 係 藉 由 提 供 玻 璃 基 板 並 強 化 玻 璃 基 板 來 製 得 。 用 於 實 例 3 A - 3 D 之 基 板 具 有 與 實 例 1 相 同 的 組 成 物 ， 且 用 於

實例 3 L - 3 X 之基板具有以下標稱玻璃組成物：69 mol %  $\text{SiO}_2$ 、10.3 mol %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、15.2 mol %  $\text{Na}_2\text{O}$ 、5.4 mol %  $\text{MgO}$  及 0.2 mol %  $\text{SnO}_2$ 。

【0190】 玻璃基板具有 0.4 mm 之厚度及 50 mm 乘 50 mm 之長度及寬度尺寸。玻璃基板藉由離子交換而化學強化。實例 3 A - 3 K 於具有 460 °C 之溫度的 80 %  $\text{KNO}_3$  及 20 %  $\text{NaNO}_3$  之熔融鹽浴中離子交換 12 小時。比較實例 3 L - 3 X 經離子交換以使得每一所得玻璃製品展現 912 MPa 之表面 CS 及 37  $\mu\text{m}$  之 DOC，如藉由 FSM 所量測。

【0191】 隨後藉由利用碳化鎢錐球形劃線物 (scribe) 自掉落距離 (如表 4 及 5 中所指示) 單次擊打來衝擊每一製品之主表面使所得玻璃製品經受斷裂，且就產生多少碎片、玻璃製品是否立即斷裂或未完全斷裂以及玻璃製品之易碎性而言評定碎裂或斷裂模式。

【0192】 表 4：實例 3 A - 3 K 之破裂特性及斷裂力學。

| 實例 | 擊打<br>計數 | 碎片計<br>數<br>(#) | 易碎性<br>(Y/N) | 掉落距<br>離(吋) | 斷裂時<br>間 |
|----|----------|-----------------|--------------|-------------|----------|
| 3A | 1        | 100+            | 是            | 0.611       | 瞬時       |
| 3B | 1        | DNB             | DNB          | 0.561       | DNB      |
| 3C | 1        | DNB             | DNB          | 0.511       | DNB      |
| 3D | 1        | DNB             | DNB          | 0.461       | DNB      |
| 3E | 1        | DNB             | DNB          | 0.411       | DNB      |
| 3F | 1        | DNB             | DNB          | 0.361       | DNB      |
| 3G | 1        | DNB             | DNB          | 0.311       | DNB      |
| 3H | 1        | 100+            | Yes          | 0.261       | 瞬時       |
| 3I | 1        | DNB             | DNB          | 0.211       | DNB      |
| 3J | 1        | DNB             | DNB          | 0.161       | DNB      |
| 3K | 1        | DNB             | DNB          | 0.111       | DNB      |

\* DNB =未碎裂

【 0 1 9 3 】 表 5 ： 比 較 實 例 3 L - 3 X 之 破 裂 特 性 及 斷 裂 力 學 。

| 實例         | 擊打計數 | 碎片計數 (#) | 易碎性 (是/否) | 掉落距離 (吋) | 斷裂時間 |
|------------|------|----------|-----------|----------|------|
| 3L         | 1    | 9        | 否         | 0.226    | 瞬時   |
| 3M         | 1    | 7        | 否         | 0.221    | 瞬時   |
| 3N         | 1    | 5        | 是         | 0.216    | 30 秒 |
| 3O         | 1    | 6        | 是         | 0.211    | 30 秒 |
| 3P         | 1    | 2        | 否         | 0.206    | 30 秒 |
| 3Q         | 1    | 7        | 是         | 0.201    | 1 分鐘 |
| 3R         | 1    | DNB      | DNB       | 0.196    | DNB  |
| 3S         | 1    | 5        | 是         | 0.191    | 30 秒 |
| 3T         | 1    | 6        | 是         | 0.186    | 10 秒 |
| 3U         | 1    | 9        | 是         | 0.181    | 10 秒 |
| 3V         | 1    | 6        | 是         | 0.176    | 15 秒 |
| 3W         | 1    | 10+      | 是         | 0.171    | 10 秒 |
| 3X         | 1    | 8        | 是         | 0.111    | 30 秒 |
| * DNB =未碎裂 |      |          |           |          |      |

【 0 1 9 4 】 如 表 4 - 5 所 示 ， 明 顯 的 是 ， 當 相 較 於 經 化 學 強 化 至 在 斷 裂 時 發 生 高 切 割 / 碎 斷 程 度 之 條 件 的 玻 璃 製 品 ( 亦 即 ， 實 例 3 A - 3 K ) 時 ， 經 化 學 強 化 至 接 近 易 碎 性 極 限 之 條 件 的 玻 璃 製 品 ( 亦 即 ， 比 較 實 例 3 L - 3 X ) 經 歷 延 遲 破 裂 之 可 能 性 更 大 。 具 體 而 言 ， 比 較 實 例 3 L - 3 X 中 大 於 8 0 % 以 延 遲 方 式 失 敗 ， 而 表 4 中 之 樣 本 立 即 失 敗 或 不 碎

裂。此外，比較實例 3 L - 3 X 展現比實例 3 A - 4 K 更少、更大、更多的多片狀碎片，該等實例 3 A - 4 K 在高切割程度下失敗且展現具有低縱橫比之碎片。

實 例 4

【 0 1 9 5 】 根據實例 4 A - 4 B 及比較實例 4 C - 4 F 的玻璃製品係藉由提供具有與實例 1 相同的標稱組成物之玻璃基板並強化玻璃基板來製得。玻璃基板具有 0.4 mm 之厚度且藉由離子交換製程而化學強化，其中將玻璃基板浸沒於具有 430℃ 之溫度的 80% KNO<sub>3</sub> 及 20% NaNO<sub>3</sub> 之熔融鹽浴中歷時表 6 所示的持續時間。

【 0 1 9 6 】 表 6：實例 5 之離子交換持續時間。

| 實例      | 浸沒時間(小時) |
|---------|----------|
| 實例 4A   | 16       |
| 實例 4B   | 32       |
| 比較實例 4C | 4        |
| 比較實例 4D | 8        |
| 比較實例 4E | 64       |
| 比較實例 4F | 128      |

【 0 1 9 7 】 玻璃製品中 K<sub>2</sub>O 之濃度係使用輝光放電光學發射光譜術 (Glow - Discharge Optical Emission Spectroscopy ; GDOES) 來量測。在第 13 圖中，置換玻璃基板中之較小 Na<sup>+</sup> 的較大 K<sup>+</sup> 離子之 mol% (表示為 K<sub>2</sub>O) 係表示於垂直軸上，且根據隨離子交換深度的變化來繪圖。實例 4 A 及 4 B 展現比其他分佈更高的儲存拉伸能量 (及中心張力)，且最大化 DOC 以及表面壓縮之量值。

【0198】 第14圖展示如藉由應用IWKB分析之Roussev I所量測的實例4G之應力分佈，該實例藉由提供與實例4A及4B之相同基板但浸沒於具有460℃之溫度的70% KNO<sub>3</sub>及30% NaNO<sub>3</sub>之熔融鹽浴中歷時12小時而形成。

實例 5

【0199】 根據實例5A-5D之玻璃製品(與實例B及C相比較)係藉由提供具有與實例2A-2C相同的標稱組成物之玻璃基板並強化玻璃基板而製得。玻璃基板藉由表7所示的離子交換製程來化學強化。

【0200】 表7：實例5之離子交換條件。

| 實例    | 熔融浴組成                                        | 熔融浴溫度(°C) | 浸沒持續時間(小時) |
|-------|----------------------------------------------|-----------|------------|
| 5A    | 80 % KNO <sub>3</sub> /20% NaNO <sub>3</sub> | 460       | 12         |
| 比較 5B | 65% KNO <sub>3</sub> /35% NaNO <sub>3</sub>  | 460       | 12         |
| 比較 5C | 100% NaNO <sub>3</sub>                       | 430       | 4          |
| 5D    | 100% NaNO <sub>3</sub>                       | 430       | 16         |

【0201】 實例5A及比較實例5B係使用以商標名468MP由3M供應的壓敏黏著劑黏附至透明基板，該壓敏黏著劑係以相同方式及相等厚度來塗覆。實例5A及比較實例5B斷裂，且評估所得斷裂玻璃製品。第15A及15B圖分別展示實例5A及比較實例5B之斷裂影像。如第15A圖所示，實例5A展現較高切割行為且產生具有小

於約2之縱橫比的碎片。如第15B圖所示，比較實例5B導致具有較高縱橫比的碎片。

【0202】 比較實例5C及實例5D不受黏著劑約束且斷裂。評估所得斷裂玻璃製品。第15C及15D圖分別展示比較實例5C及實例5D之斷裂影像。如第15C圖所示，比較實例5C展現較大碎片。如第15D圖所示，實例5D產生指示切割之碎片。咸信，子碎片(未展示)不延伸穿過玻璃製品之厚度。

### 實例 6

【0203】 根據實例6之玻璃製品係藉由提供具有與實例3A-3K相同的標稱組成物之玻璃基板並以相同方式強化來製得。評估實例6在斷裂之後在不同檢視角度下之霧度或可讀取性。在斷裂之後，實例6展現高切割程度，但仍在相對於玻璃製品之表面平面或主表面的90°檢視角度下展現良好可讀取性。可讀取性隨著檢視角度減小而下降，如藉由第16A-16D圖之影像所例示。第16A圖證明置於實例6後方的文字在相對於玻璃製品之表面平面或主表面的90度檢視角度下仍為可見及可讀取的。第16B圖展示在約67.5度之檢視角度下稍微可見及可讀取的試驗。根據第16C-16D圖，在相對於玻璃製品之表面平面或主表面的45度及22.5度之檢視角度下，文字不是清晰或可讀取的。因此，實例6可在用於顯示器時用作私密螢幕，以使得僅檢視者可清晰地讀取或看見顯

示器，而檢視者旁邊的其他人將不能夠清晰地讀取顯示器。

### 實例 7

【0204】根據實例7A-7C之玻璃製品係藉由提供具有2.5維形狀但每一者具有不同厚度(亦即，實例7A具有1 mm之厚度，實例7B具有0.8 mm之厚度且實例7C具有0.5 mm之厚度)之玻璃基板來製得。2.5維形狀包括平坦主表面及相反彎曲主表面。玻璃基板之組成物與實例2A-2C相同。每一基板之儲存拉伸能量係根據使用具有430℃之溫度的熔融浴的離子交換時間而計算。儲存拉伸能量係使用藉由SCALP量測的CT區域(第4圖中之327)上的應力總量來計算。所計算的儲存拉伸能量係根據第17圖中的離子交換時間來繪圖。為達例示目的，已繪製在10 J/m<sup>2</sup>之儲存拉伸能量值處的虛線來表示針對易碎性之大致大致閾值。突顯區域表示用於具有0.5-1.0 mm厚度範圍的單一部件之離子交換條件，該等厚度範圍展現本文所述的行為。具體而言，當部件斷裂及若部件斷裂時，此範圍賦能跨於該部件之區域的最佳化機械效能及類似切割程度。

【0205】若已知易碎性極限用於判定針對各種厚度的離子交換參數，則在儲存拉伸能量達到低於10 J/m<sup>2</sup>之離子交換時間的時間A，具有1 mm之厚度的玻璃基板將為非易碎的，且具有0.5 mm之厚度的玻璃基板將具有低CS。在時間C，具有0.5 mm之厚度的玻璃基板為非

易碎的，且具有厚度在 1 mm 與 0.8 mm 之間的區域之玻璃基板將視為易碎的。因此，當使用易碎性之當前定義時，第 17 圖展示：將選擇在處於指定溫度下的給定浴中之離子交換時間，該離子交換時間對相對厚部件或非均勻厚度部件而言顯著更長，而不是將針對有意非均勻厚度部件之較薄部件或較薄區域來進行選擇。為提供具有實質上改善的掉落效能及可靠性以及相對均勻碎斷或切割程度之完全成品的 2.5 D 部件，可為所要的是：使該部件離子交換較短時段以便置入比將選擇來限制碎斷或切割程度的情況更高的儲存拉伸能量程度。

【0206】 第 18 圖表示第 17 圖所示的樣本，只不過以 11 表示的所置入拉伸能量現在表示為中心張力 (central tension; CT)，其已用作離子交換試樣之中心區域中拉伸能量之更普遍描述符。

### 實例 8

【0207】 實例 8 包括藉由提供具有與實例 1 相同的標稱組成物之玻璃基板並強化玻璃基板而製得的玻璃製品。玻璃基板具有 0.4 mm 之厚度，且藉由兩步離子交換製程化學強化，其中首先將玻璃基板浸沒於具有 460 °C 之溫度的 80%  $\text{KNO}_3$  及 20%  $\text{NaNO}_3$  之第一熔融鹽浴中歷時 12 小時，自第一熔融鹽浴移除且浸沒於具有 390 °C 之溫度的 100%  $\text{KNO}_3$  之第二熔融鹽浴中歷時 12 分鐘。所得玻璃製品具有 624.5 MPa 之表面壓縮應力、約 83.3 微米 (等於 0.208 t) 之 DOC 及約 152.6 MPa 之

CT，如藉由應用IWKB分析之Roussev I所量測。第19圖展示隨深度(微米)變化的壓縮應力(展示為負值)及拉伸應力(展示為正值)。

【0208】 本揭示內容之態樣(1)係關於一種強化玻璃製品，其包含：第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約 $1.1\text{ mm}$ 或更小之厚度( $t$ )；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至大於約 $0.11 \cdot t$ 之壓縮深度(depth of compression；DOC)；其中在玻璃製品根據易碎性試驗斷裂之後，該玻璃製品包括複數個碎片，其中該複數個碎片之至少90%具有約5或更小之縱橫比。

【0209】 本揭示內容之態樣(2)係關於態樣(1)之強化玻璃製品，其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片，如藉由該易碎性試驗所量測。

【0210】 本揭示內容之態樣(3)係關於態樣(1)或態樣(2)之強化玻璃製品，其中該複數個碎片之至少80%具有小於或等於 $3 \cdot t$ 之最大尺寸。

【0211】 本揭示內容之態樣(4)係關於態樣(1)至態樣(3)中任一者之強化玻璃製品，其中複數個碎片之至少50%包含2或更小之縱橫比。

【0212】 本揭示內容之態樣(5)係關於態樣(1)至態樣(4)中任一者之強化玻璃製品，其中該複數個碎片之至少50%包含小於或等於約 $10\text{ mm}^3$ 之體積。

【0213】 本揭示內容之態樣(6)係關於態樣(1)至態樣(5)中任一者之強化玻璃製品，其中該複數個碎片包含碎片之彈出部分，其中碎片之該彈出部分構成該複數個碎片之10%或更小。

【0214】 本揭示內容之態樣(7)係關於態樣(1)至態樣(6)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含斷裂之前的第一重量，且其中該複數個碎片包含碎片之彈出部分及碎片之非彈出部分，碎片之該非彈出部分具有第二重量，且該第一重量與該第二重量之間的差異為該第一重量之1%。

【0215】 本揭示內容之態樣(8)係關於態樣(1)至態樣(7)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片之機率為99%或更大，如藉由易碎性試驗所量測。

【0216】 本揭示內容之態樣(9)係關於態樣(1)至態樣(8)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含 $20\text{ J/m}^2$ 或更大之儲存拉伸能量。

【0217】 本揭示內容之態樣(10)係關於態樣(1)至態樣(9)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含表面壓縮應力及中心張力，其中中心張力與表面壓縮應力之比率在約0.1至約1範圍內。

【0218】 本揭示內容之態樣(11)係關於態樣(10)之強化玻璃製品，其中該中心張力為 $100\text{ MPa}/\sqrt{(t/1\text{ mm})}$ 或更大(以MPa為單位)，其中t係以mm計。

【0219】 本揭示內容之態樣(12)係關於態樣(10)至態樣(11)中任一者之強化玻璃製品，其中該中心張力為50 MPa或更大。

【0220】 本揭示內容之態樣(13)係關於態樣(10)至態樣(12)中任一者之強化玻璃製品，其中該表面壓縮應力為150 MPa或更大。

【0221】 本揭示內容之態樣(14)係關於態樣(10)至態樣(13)中任一者之強化玻璃製品，其中該表面壓縮應力為400 MPa或更大。

【0222】 本揭示內容之態樣(15)係關於態樣(10)至態樣(14)中任一者之強化玻璃製品，其中該DOC包含約0.2 t或更大。

【0223】 本揭示內容之態樣(16)係關於態樣(1)至態樣(15)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃、含鹼金屬硼矽酸鹽玻璃、鹼金屬鋁磷矽酸鹽玻璃或鹼金屬鋁硼矽酸鹽玻璃。

【0224】 本揭示內容之態樣(17)係關於態樣(1)至態樣(16)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品係安置於圍阻層上。

【0225】 本揭示內容之態樣(18)係關於一種強化玻璃製品，其包含：第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約1.1 mm或更小之厚度( $t$ )；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至約大於 $0.11 \cdot t$ 之壓縮深度(depth of compression；DOC)；其中在利用90

粒 SiC 粒子在 25 psi 之壓力下研磨 5 秒之後，該玻璃製品展現約 10 kgf 或更大之破裂載荷。

【0226】 本揭示內容之態樣(19)係關於態樣(18)之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含  $20 \text{ J/m}^2$  或更大之儲存拉伸能量。

【0227】 本揭示內容之態樣(20)係關於態樣(18)或態樣(19)中任一者之強化玻璃製品，如請求項18或請求項19所述之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含表面壓縮應力及中心張力，其中中心張力與表面壓縮應力之比率在約 0.1 至約 1 範圍內。

【0228】 本揭示內容之態樣(21)係關於態樣(20)之強化玻璃製品，其中該中心張力(CT)為 50 MPa 或更大。

【0229】 本揭示內容之態樣(22)係關於態樣(20)或態樣(21)之強化玻璃製品，其中該表面壓縮應力為 150 MPa 或更大。

【0230】 本揭示內容之態樣(23)係關於態樣(20)至態樣(22)中任一者之強化玻璃製品，其中該表面壓縮應力為 400 MPa 或更大。

【0231】 本揭示內容之態樣(24)係關於態樣(20)至態樣(23)中任一者之強化玻璃製品，其中該 DOC 包含約 0.2 t 或更大。

【0232】 本揭示內容之態樣(25)係關於態樣(18)至態樣(24)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包

含鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃、含鹼金屬硼矽酸鹽玻璃、鹼金屬鋁磷矽酸鹽玻璃或鹼金屬鋁硼矽酸鹽玻璃。

【0233】 本揭示內容之態樣(26)係關於態樣(20)至態樣(25)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品係黏附至基板。

【0234】 本揭示內容之態樣(27)係關於一種裝置，其包含：強化玻璃基板；圍阻層；以及支撐件，其中該強化玻璃基板包含第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約 $1.1\text{ mm}$ 或更小之厚度( $t$ )；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至大於約 $0.11 \cdot t$ 之壓縮深度(depth of compression；DOC)；以及 $50\text{ MPa}$ 或更大之中心張力(central tension；CT)，其中該裝置包含平板電腦、透明顯示器、行動電話、視訊播放器、資訊終端裝置、電子閱讀器、膝上型電腦或不透明顯示器。

【0235】 態樣(28)係關於態樣(27)之裝置，其中在該玻璃製品根據易碎性試驗斷裂之後，該玻璃製品包括具有約5或更小之縱橫比的複數個碎片。

【0236】 態樣(29)係關於態樣(27)或態樣(28)之裝置，其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片，如藉由該易碎性試驗所量測。

【0237】 態樣(30)係關於態樣(28)或態樣(29)之裝置，其中該複數個碎片之至少80%具有小於或等於 $5 \cdot t$ 之最大尺寸。

【0238】態樣(31)係關於態樣(28)至態樣(30)中任一者之裝置，其中複數個碎片之至少50%各自包含2或更小之縱橫比。

【0239】態樣(32)係關於態樣(28)至態樣(31)中任一者之裝置，其中該複數個碎片之至少50%包含小於或等於約 $10\text{ mm}^3$ 之體積。

【0240】態樣(33)係關於態樣(28)至態樣(32)中任一者之裝置，其中該複數個碎片包含碎片之彈出部分，其中碎片之該彈出部分構成該複數個碎片之10%或更小。

【0241】態樣(34)係關於態樣(28)至態樣(33)中任一者之裝置，其中該玻璃製品包含斷裂之前的第一重量，且其中該複數個碎片包含碎片之彈出部分及碎片之非彈出部分，碎片之該非彈出部分具有第二重量，且該第一重量與該第二重量之間的差異為該第一重量之1%。

【0242】態樣(35)係關於態樣(28)至態樣(34)中任一者之裝置，其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片之機率為99%或更大，如藉由易碎性試驗所量測。

【0243】態樣(36)係關於態樣(28)至態樣(35)中任一者之裝置，其中該玻璃製品包含 $20\text{ J/m}^2$ 或更大之儲存拉伸能量。

【0244】態樣(37)係關於態樣(27)至態樣(36)中任一者之裝置，其中該玻璃製品包含表面壓縮應力及中心

張力，其中中心張力與表面壓縮應力之比率在約0.1至約1範圍內。

【0245】態樣(38)係關於態樣(37)之裝置，其中該表面壓縮應力為150 MPa或更大。

【0246】態樣(39)係關於態樣(27)至態樣(38)中任一者之裝置，如請求項27-38中任一項所述之裝置，其中該DOC包含約0.2t或更大。

【0247】態樣(40)係關於態樣(27)至態樣(39)中任一者之裝置，其中該玻璃製品包含鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃、含鹼金屬硼矽酸鹽玻璃、鹼金屬鋁磷矽酸鹽玻璃或鹼金屬鋁硼矽酸鹽玻璃。

【0248】態樣(41)係關於態樣(27)至態樣(40)中任一者之裝置，其中該玻璃製品係安置於圍阻層上。

【0249】態樣(42)係關於一種強化玻璃製品，其包含：第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約1.1 mm或更小之厚度( $t$ )；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至大於約 $0.11 \cdot t$ 之壓縮深度(depth of compression；DOC)；其中在將玻璃製品積層至圍阻層且根據易碎性試驗斷裂之後，該玻璃製品包含斷裂，且其中該等斷裂之至少5%僅部分地延伸穿過該厚度。

【0250】態樣(43)係關於態樣(42)之強化玻璃製品，其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片，如藉由該易碎性試驗所量測。

【0251】態樣(44)係關於態樣(42)或態樣(43)之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含 $20\text{ J/m}^2$ 或更大之儲存拉伸能量。

【0252】態樣(45)係關於態樣(42)至態樣(44)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含表面壓縮應力及中心張力，其中中心張力與表面壓縮應力之比率在約0.1至約1範圍內。

【0253】態樣(46)係關於態樣(45)之強化玻璃製品，其中該中心張力為 $50\text{ MPa}$ 或更大。

【0254】態樣(47)係關於態樣(45)或態樣(46)之強化玻璃製品，其中該表面壓縮應力為 $150\text{ MPa}$ 或更大。

【0255】態樣(48)係關於態樣(42)至態樣(47)中任一者之強化玻璃製品，其中該DOC包含約 $0.2\text{ t}$ 或更大。

【0256】態樣(49)係關於態樣(42)至態樣(48)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品包含鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃、含鹼金屬硼矽酸鹽玻璃或鹼金屬鋁硼矽酸鹽玻璃。

【0257】態樣(50)係關於態樣(42)至態樣(49)中任一者之強化玻璃製品，其中該玻璃製品係安置於圍阻層上。

【0258】態樣(51)係關於一種消費者電子產品，其包含：外殼，該外殼具有前表面；至少部分地提供在該外殼內部的電組件，該等電組件至少包括控制器、記憶體及顯示器；以及蓋玻璃，該蓋玻璃安置在該外殼之該前

表面處且處於該顯示器之上，該蓋玻璃包含強化玻璃製品，其中該強化玻璃製品包含：第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約  $1.1\text{ mm}$  或更小之厚度 ( $t$ )；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至大於約  $0.11 \cdot t$  之壓縮深度 (depth of compression；DOC)；以及約  $50\text{ MPa}$  或更大之中心張力 (central tension；CT)。

【0259】態樣(52)係關於態樣(51)之消費者電子裝置，其中在該玻璃製品根據易碎性試驗斷裂之後，該玻璃製品包括具有約5或更小之縱橫比的複數個碎片。

【0260】態樣(53)係關於態樣(52)之消費者電子裝置，其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片，如藉由該易碎性試驗所量測。

【0261】態樣(54)係關於態樣(52)或態樣(53)之消費者電子裝置，其中該複數個碎片之至少80%具有小於或等於  $2 \cdot t$  之最大尺寸。

【0262】態樣(55)係關於態樣(52)至態樣(54)中任一者之消費者電子裝置，其中複數個碎片之至少50%各自包含2或更小之縱橫比。

【0263】態樣(56)係關於態樣(52)至態樣(55)中任一者之消費者電子裝置，其中該複數個碎片之至少50%包含小於或等於約  $10\text{ mm}^3$  之體積。

【0264】態樣(57)係關於態樣(52)至態樣(56)中任一者之消費者電子裝置，其中該複數個碎片包含碎片之

彈出部分，其中碎片之該彈出部分構成該複數個碎片之 10 % 或更小。

【0265】 態樣(58)係關於態樣(52)至態樣(57)中任一者之消費者電子裝置，其中該玻璃製品包含斷裂之前的第一重量，且其中該複數個碎片包含碎片之彈出部分及碎片之非彈出部分，碎片之該非彈出部分具有第二重量，且該第一重量與該第二重量之間的差異為該第一重量之 1 %。

【0266】 態樣(59)係關於態樣(53)至態樣(58)中任一者之消費者電子裝置，其中該玻璃製品在 1 秒或更少內斷裂成該複數個碎片之機率為 99 % 或更大，如藉由易碎性試驗所量測。

【0267】 態樣(60)係關於態樣(51)至態樣(59)中任一者之消費者電子裝置，其中該玻璃製品包含  $20 \text{ J/m}^2$  或更大之儲存拉伸能量。

【0268】 態樣(61)係關於態樣(51)至態樣(60)中任一者之消費者電子裝置，其中該玻璃製品包含表面壓縮應力及中心張力，其中中心張力與表面壓縮應力之比率在約 0.1 至約 1 範圍內。

【0269】 態樣(62)係關於態樣(61)之消費者電子裝置，其中該表面壓縮應力為 150 或更大。

【0270】 態樣(63)係關於態樣(51)至態樣(62)中任一者之消費者電子裝置，其中該 DOC 包含約  $0.2 t$  或更大。

【0271】 態樣(64)係關於態樣(51)至態樣(63)中任一者之消費者電子裝置，其中該玻璃製品包含鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃、含鹼金屬硼矽酸鹽玻璃、鹼金屬鋁磷矽酸鹽或鹼金屬鋁硼矽酸鹽玻璃。

【0272】 態樣(65)係關於態樣(51)至態樣(64)中任一者之消費者電子裝置，其中該玻璃製品係安置於圍阻層上。

【0273】 態樣(66)係關於態樣(51)至態樣(65)中任一者之消費者電子裝置，其中該消費者電子產品包含平板電腦、透明顯示器、行動電話、視訊播放器、資訊終端裝置、電子閱讀器、膝上型電腦或不透明顯示器。

【0274】 態樣(67)係關於一種包裝產品，其包含：界定包殼的外殼，該包含開口、外部表面及內部表面；其中該外殼包含強化玻璃製品，其中該強化玻璃製品包含：第一表面及與該第一表面相對的第二表面，該等表面界定約 $1.1\text{ mm}$ 或更小之厚度( $t$ )；壓縮應力層，其自該第一表面延伸至大於約 $0.11 \cdot t$ 之壓縮深度(depth of compression；DOC)；以及 $50\text{ MPa}$ 或更大之中心張力(central tension；CT)。

【0275】 態樣(68)係關於態樣(67)之包裝產品，其中在該玻璃製品根據易碎性試驗斷裂之後，該玻璃製品包括具有約5或更小之縱橫比的複數個碎片，且其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片，如藉由該易碎性試驗所量測。

【0276】 態樣(69)係關於態樣(68)之包裝產品，其中該複數個碎片之至少80%具有小於或等於 $2 \cdot t$ 之最大尺寸。

【0277】 態樣(70)係關於態樣(68)或態樣(69)之消費者電子裝置，其中複數個碎片之至少50%各自包含2或更小之縱橫比。

【0278】 態樣(71)係關於態樣(68)至態樣(70)中任一者之包裝產品，其中該複數個碎片之至少50%包含小於或等於約 $10 \text{ mm}^3$ 之體積。

【0279】 態樣(72)係關於態樣(68)至態樣(71)中任一者之包裝產品，其中該複數個碎片包含碎片之彈出部分，其中碎片之該彈出部分構成該複數個碎片之10%或更小。

【0280】 態樣(73)係關於態樣(68)至態樣(72)中任一者之包裝產品，其中該玻璃製品包含斷裂之前的第一重量，且其中該複數個碎片包含碎片之彈出部分及碎片之非彈出部分，碎片之該非彈出部分具有第二重量，且該第一重量與該第二重量之間的差異為該第一重量之1%。

【0281】 態樣(74)係關於態樣(68)至態樣(73)中任一者之包裝產品，其中該玻璃製品在1秒或更少內斷裂成該複數個碎片之機率為99%或更大，如藉由易碎性試驗所量測。

【0282】 態樣(75)係關於態樣(67)至態樣(74)中任一者之包裝產品，其中該玻璃製品包含 $20\text{ J/m}^2$ 或更大之儲存拉伸能量。

【0283】 態樣(76)係關於態樣(67)至態樣(75)中任一者之包裝產品，其中該玻璃製品包含表面壓縮應力及中心張力，其中中心張力與表面壓縮應力之比率在約0.1至約1範圍內。

【0284】 態樣(77)係關於態樣(76)之包裝產品，其中該表面壓縮應力為150或更大。

【0285】 態樣(78)係關於態樣(67)至態樣(77)中任一者之包裝產品，其中該DOC包含約 $0.2\text{ t}$ 或更大。

【0286】 態樣(79)係關於態樣(67)至態樣(78)中任一者之包裝產品，其中該玻璃製品包含鹼金屬鋁矽酸鹽玻璃、含鹼金屬硼矽酸鹽玻璃、鹼金屬鋁磷矽酸鹽或鹼金屬鋁硼矽酸鹽玻璃。

【0287】 態樣(80)係關於態樣(67)至態樣(72)中任一者之包裝產品，其中該玻璃製品係安置於圍阻層上。

【0288】 態樣(82)係關於態樣(67)至態樣(80)中任一者之包裝產品，其進一步包含醫藥材料。

【0289】 態樣(83)係關於態樣(67)至態樣(81)中任一者之包裝產品，其進一步包含安置在該開口中之蓋帽。

【0290】 熟習此項技術者將明白的是，可在不脫離本發明之精神或範疇的情況下做出各種修改及變化。

【符號說明】

【 0 2 9 1 】

D<sub>1</sub> 直 徑

D<sub>2</sub> 直 徑

F 力

h 高 度

t<sub>1</sub> 厚 度

t<sub>2</sub> 厚 度

1 0 玻 璃 製 品 / 研 磨 環 對 環 組 態

1 2 主 表 面

1 4 主 表 面

1 6 次 表 面

1 8 次 表 面

1 9 新 表 面 / 斷 裂 產 生 之 表 面

2 0 圍 阻 層 / 圍 阻 材 料

2 2 第 二 圍 阻 層 / 第 二 圍 阻 材 料

1 0 0 / 1 0 0 a 熱 處 理 玻 璃 製 品 / 基 於 玻 璃 之 物 件

1 0 1 第 一 表 面

1 1 0 表 面 C S / 研 磨 玻 璃 製 品

1 2 0 C T / 支 撐 環

1 3 0 D O C / 裝 載 環

1 3 0 a 表 面

2 0 0 化 學 強 化 玻 璃 製 品

2 0 1 第 一 表 面

2 1 0 表 面 C S

- 2 2 0 C T
- 2 3 0 D O C
- 3 0 0 玻 璃 製 品
  - 3 0 1 線
  - 3 0 2 第 一 表 面 / 第 一 主 表 面
  - 3 0 4 第 二 表 面 / 第 二 主 表 面
  - 3 1 0 表 面 C S 值
  - 3 1 2 應 力 分 佈
  - 3 1 5 C S 層
  - 3 1 7 深 度 / 長 度 / D O C
  - 3 2 0 C T
  - 3 2 5 C T 層
  - 3 2 7 深 度 / 長 度
  - 3 3 0 厚 度 / D O C
- 5 0 0 設 備
  - 5 1 0 試 驗 台
  - 5 1 2 實 心 基 座
  - 5 1 4 片 材
  - 5 1 5 樣 本 固 持 器
  - 5 1 6 氣 隙
  - 5 1 8 基 於 玻 璃 之 製 品 樣 本
  - 5 2 0 黏 著 劑 膠 帶
  - 5 3 0 球 / 實 心 球
- 6 0 0 方 法

6 1 0 步 驟

6 1 0 a 步 驟

6 2 0 步 驟

6 3 0 步 驟

6 3 1 步 驟

6 3 2 步 驟

6 3 4 步 驟

6 3 6 步 驟

6 4 0 步 驟

1 0 0 0 電 子 裝 置

1 0 2 0 外 殼

1 0 4 0 正 面

1 0 6 0 背 面

1 0 8 0 側 表 面

1 1 2 0 顯 示 器

【生物材料寄存】

【 0 2 9 2 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 2 9 3 】 國外寄存資訊 (請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種用於產生一強化的基於玻璃的製品的方法，該方法包含以下步驟：

將一厚度(t)為 3 mm 或更小的一基於玻璃的基板浸沒於一第一熔融鹽浴中約 2 小時至約 48 小時，該第一熔融鹽浴包含約 350 °C 至約 500 °C 的一溫度以及鈉離子及鉀離子；

在浸沒於該第一熔融鹽浴中的步驟之後，將該基於玻璃的基板浸沒於一第二熔融鹽浴中 10 小時或更少，該第二熔融鹽浴包含約 350 °C 至約 500 °C 的一溫度以及鉀離子；

由此，浸沒於該第一熔融鹽浴中的步驟及浸沒於該第二熔融鹽浴中的步驟造成一強化的基於玻璃的製品，該製品包含一壓縮應力層，該壓縮應力層自該基板之一第一表面延伸至大於  $0.16 \cdot t$  之一壓縮深度(DOC)，該壓縮應力層包含 624.5 MPa 或更大之一表面壓縮應力；及一最大中心張力(central tension)為 50 MPa 或更大。

【第2項】 如請求項 1 所述之方法，其中：

該 DOC 是藉由散射光偏光鏡來量測；

該壓縮應力是藉由散射光偏光鏡及表面應力量計之一組合來量測；及

該中心張力是藉由散射光偏光鏡來量測。

【第3項】如請求項1所述之方法，其中該強化的基於玻璃的製品包含  $20 \text{ J/m}^2$  或更大之一儲存拉伸能量。

【第4項】如請求項1所述之方法，其中該最大中心張力與該表面壓縮應力之比率在約 0.1 至約 1 的範圍內，及其中該最大中心張力為  $100 \text{ MPa} / \sqrt{(t/1 \text{ mm})}$  或更大(以  $\text{MPa}$  為單位)，其中  $t$  係以  $\text{mm}$  計。

【第5項】如請求項1所述之方法，進一步包含以下步驟：將該強化的基於玻璃的製品安置於一圍阻層上。

【第6項】如請求項1所述之方法，該強化的基於玻璃的製品進一步包含：

一 CT 區域之應力分佈，其中該 CT 區域由以下方程式界定

$$\text{應力}(x) = \text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0.5^n) \cdot |(x/t) - 0.5|^n),$$

其中  $\text{MaxCT}$  為最大 CT 值且係提供為以  $\text{MPa}$  為單位的正值， $x$  為沿以微米計的厚度( $t$ )之位置，且  $n$  介於 1.5 至 2.2 之間。

【第7項】如請求項1至請求項6中任一項所述之方法，其中，在該強化的基於玻璃的製品根據一易碎性試驗斷裂之後，該強化的基於玻璃的製品包括複數個碎片，其中該複數個碎片之至少 90% 具有約 5 或更小之一縱橫比。

【第8項】如請求項7所述之方法，其中藉由該易碎性試驗所量測的，該強化的基於玻璃的製品在1秒或更少之內斷裂成該複數個碎片。

【第9項】如請求項7所述之方法，其中該複數個碎片之至少80%具有小於或等於 $3 \cdot t$ 之一最大尺寸。

【第10項】如請求項7所述之方法，其中該複數個碎片之至少50%包含2或更小之一縱橫比。

【第11項】如請求項7所述之方法，其中該複數個碎片之至少50%包含小於或等於約 $10 \text{ mm}^3$ 之體積。

【第12項】如請求項7所述之方法，其中該複數個碎片包含碎片之一彈出部分，其中碎片之該彈出部分包含該複數個碎片之10%或更小。

【第13項】如請求項7所述之方法，其中該強化的基於玻璃的製品包含斷裂之前的一第一重量，且其中該複數個碎片包含碎片之一彈出部分及碎片之一非彈出部分，碎片之該非彈出部分具有一第二重量，且該第一重量與該第二重量之間的差異為該第一重量之1%。

【第14項】如請求項1至請求項6中任一項所述之方法，進一步包含在一最大鉀層深度處的一壓縮應力值，該壓縮應力值在約 $50 \text{ MPa}$ 至約 $300 \text{ MPa}$ 的範圍內。

【第15項】 如請求項1至請求項6中任一項所述之方法，其中在利用90粒SiC粒子在25 psi之一壓力下研磨5秒之後，該強化的基於玻璃的製品展現約10 kgf或更大之一破裂載荷。

【第16項】 如請求項15所述之方法，其中該強化的基於玻璃的製品包含 $20\text{ J/m}^2$ 或更大之一儲存拉伸能量。

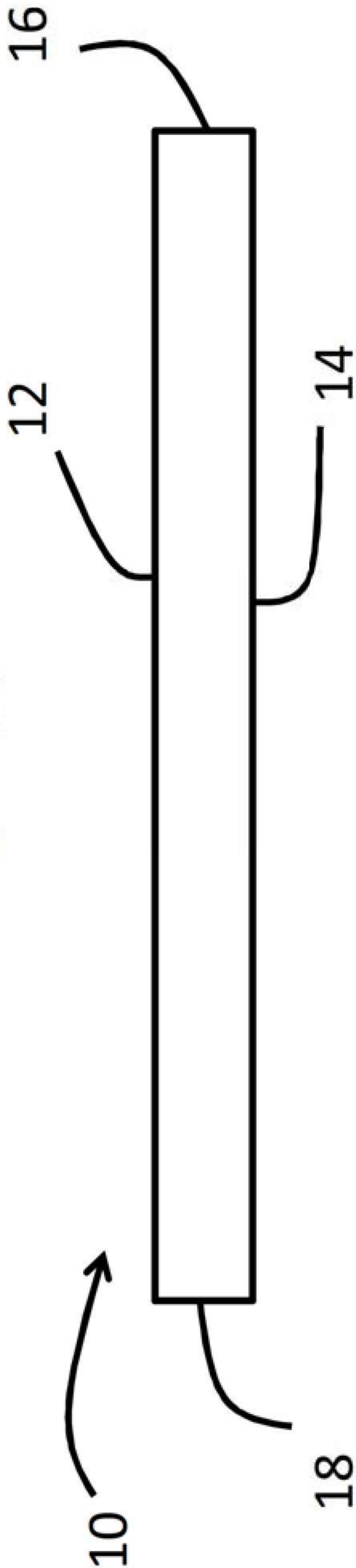
【第17項】 如請求項16所述之方法，其中該最大中心張力與該表面壓縮應力之比率在約0.1至約1的範圍內，及其中該最大中心張力(CT)為85 MPa或更大。

【第18項】 如請求項17所述之方法，其中該DOC包含約0.2 t或更大。

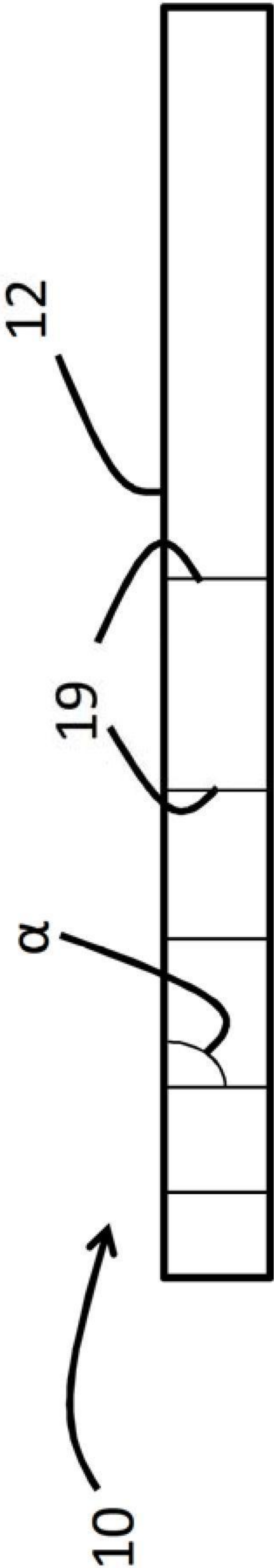
【第19項】 如請求項18所述之方法，其中該強化的基於玻璃的製品黏附至一基板。

【第20項】 如請求項15所述之方法，其中t為0.4 mm或更大。

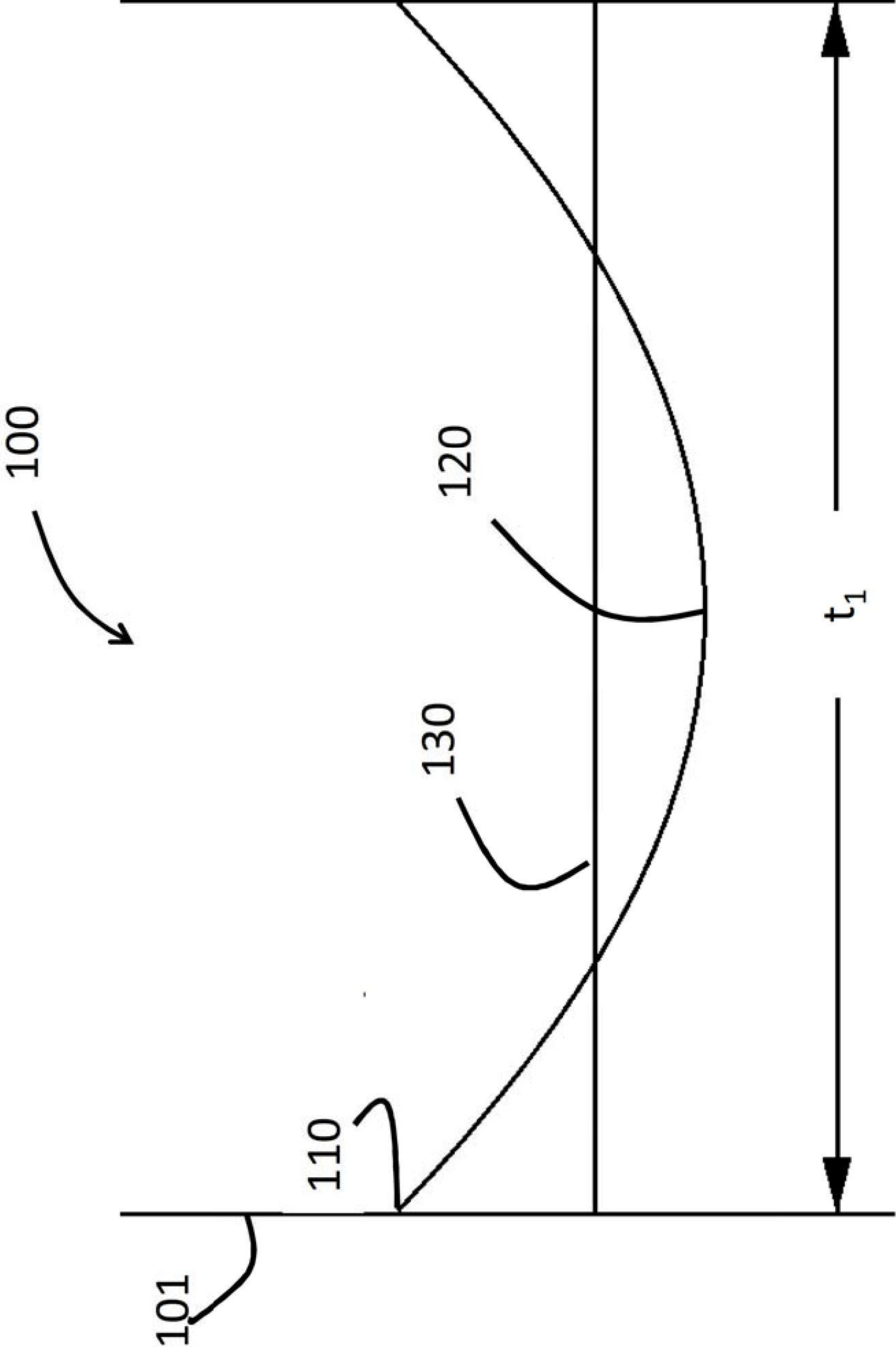
第1A圖



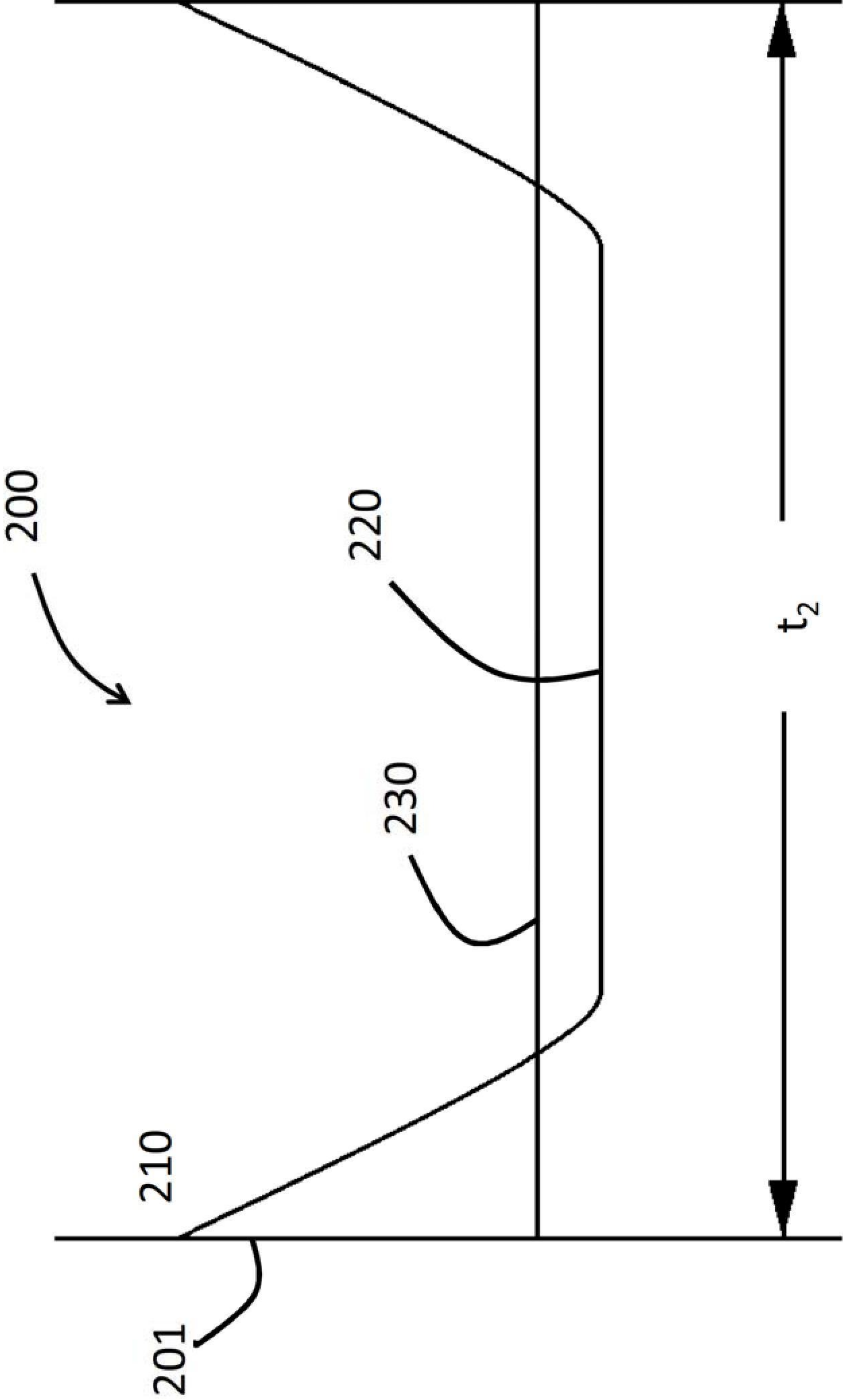
第1B圖

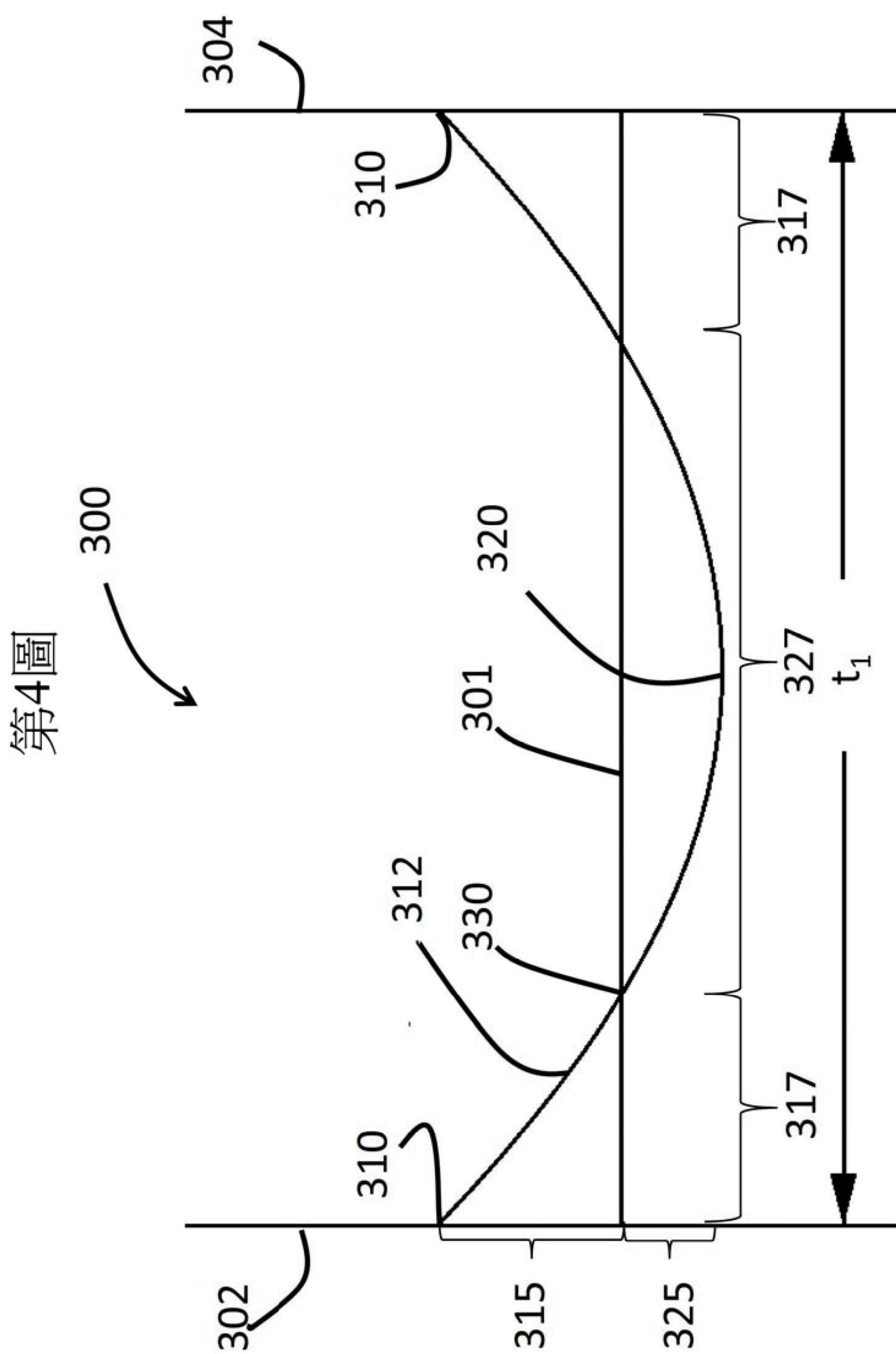


第2圖(先前技術)

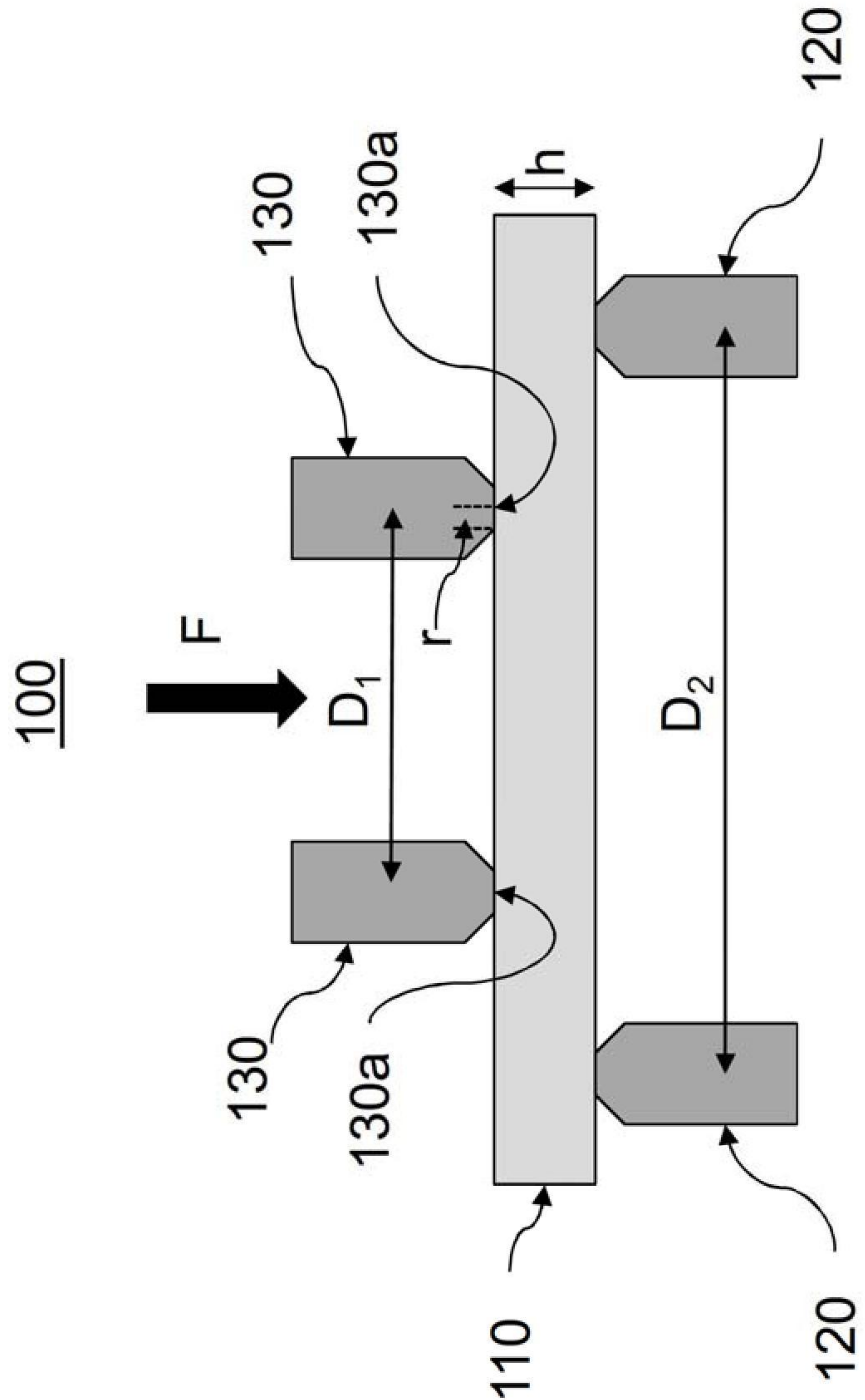


第3圖(先前技術)

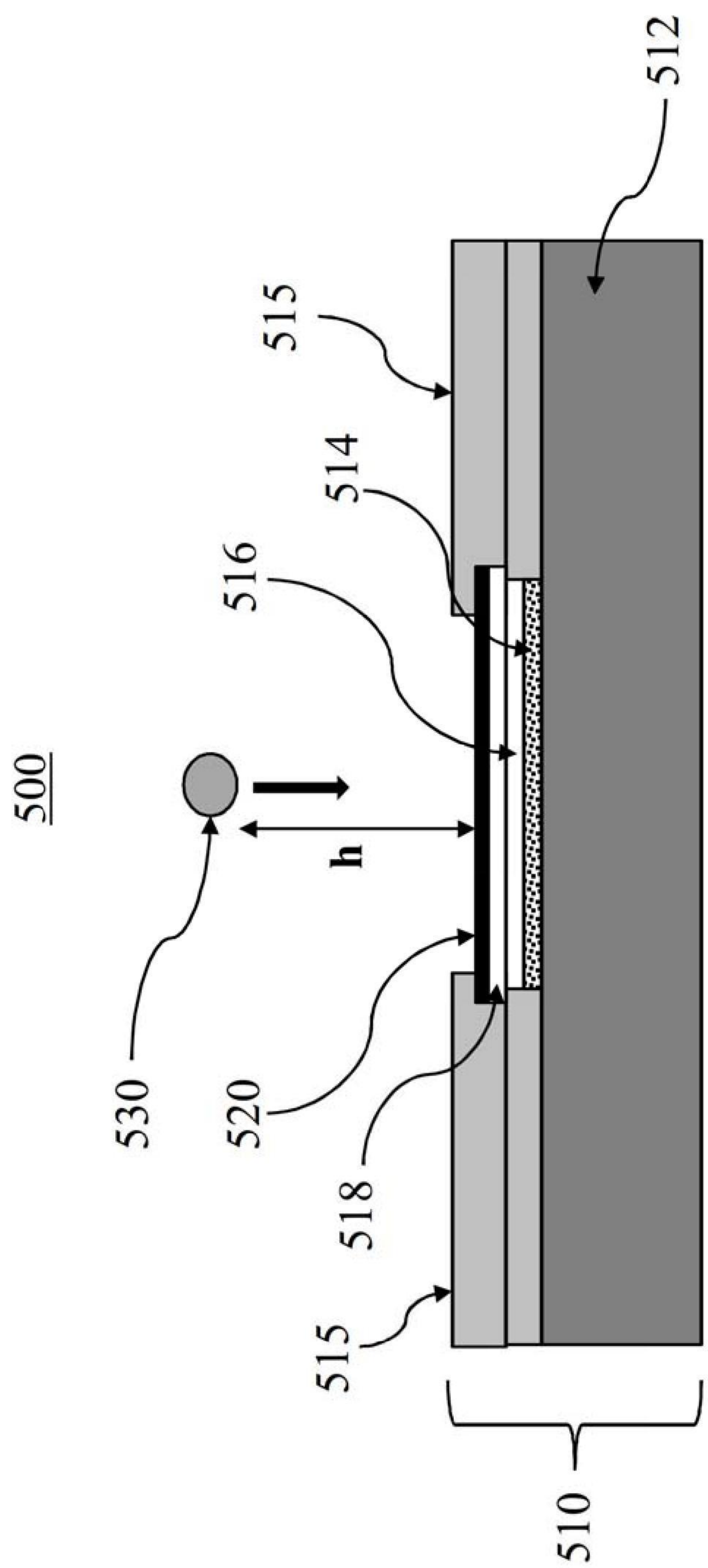




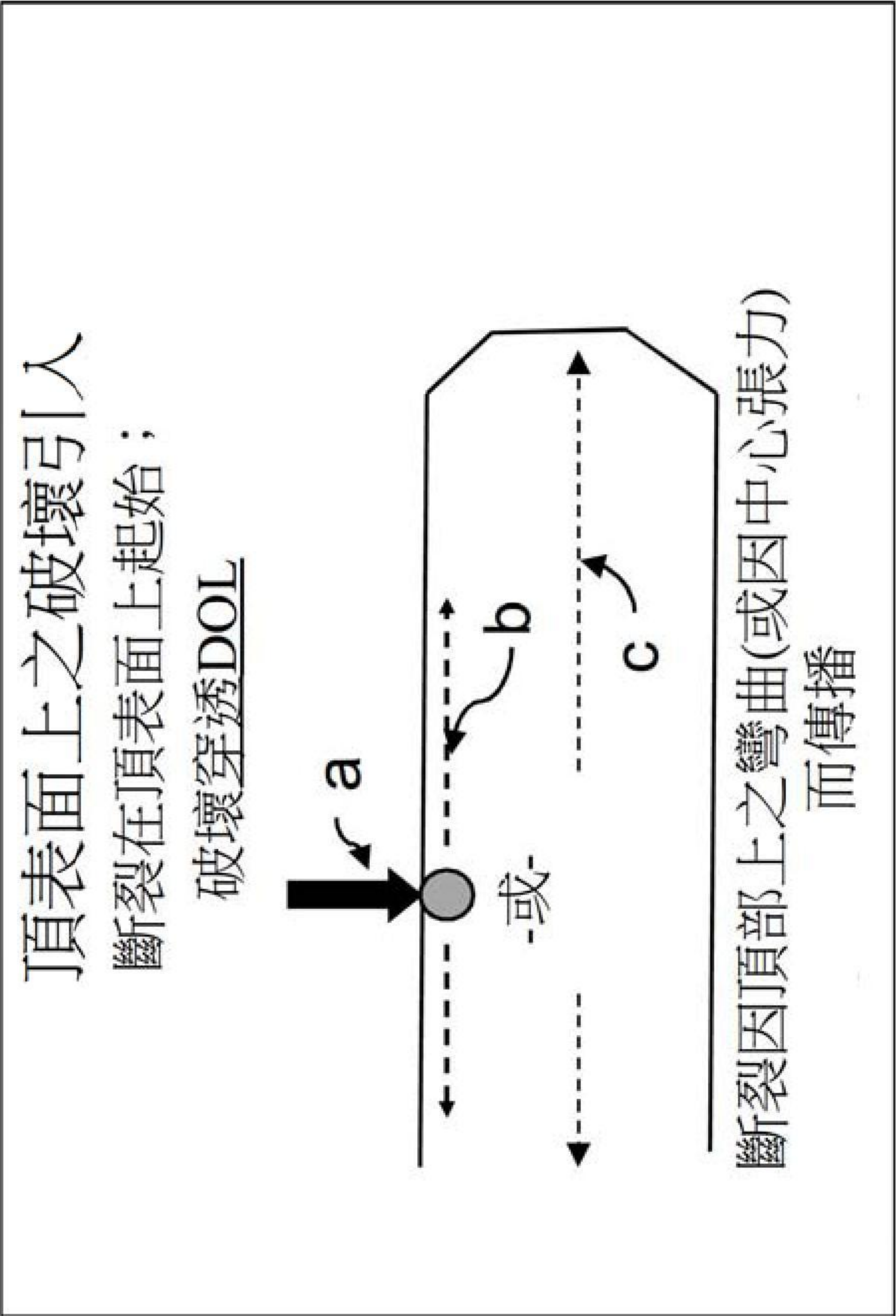
第5圖



第6圖

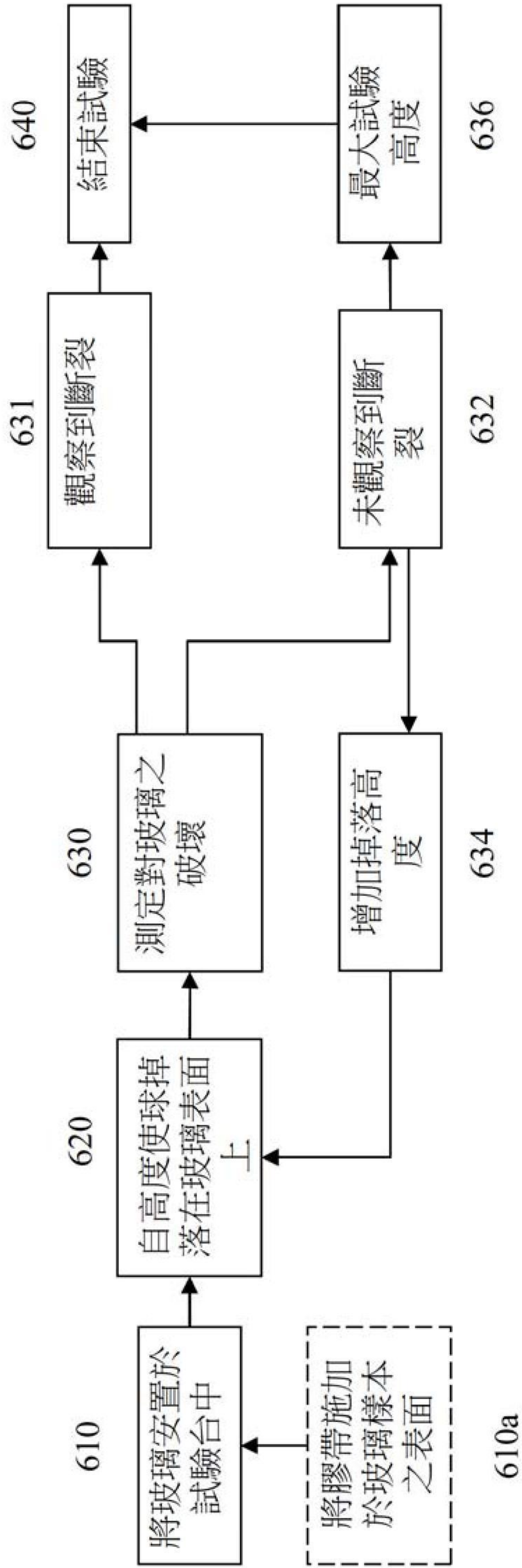


第7圖

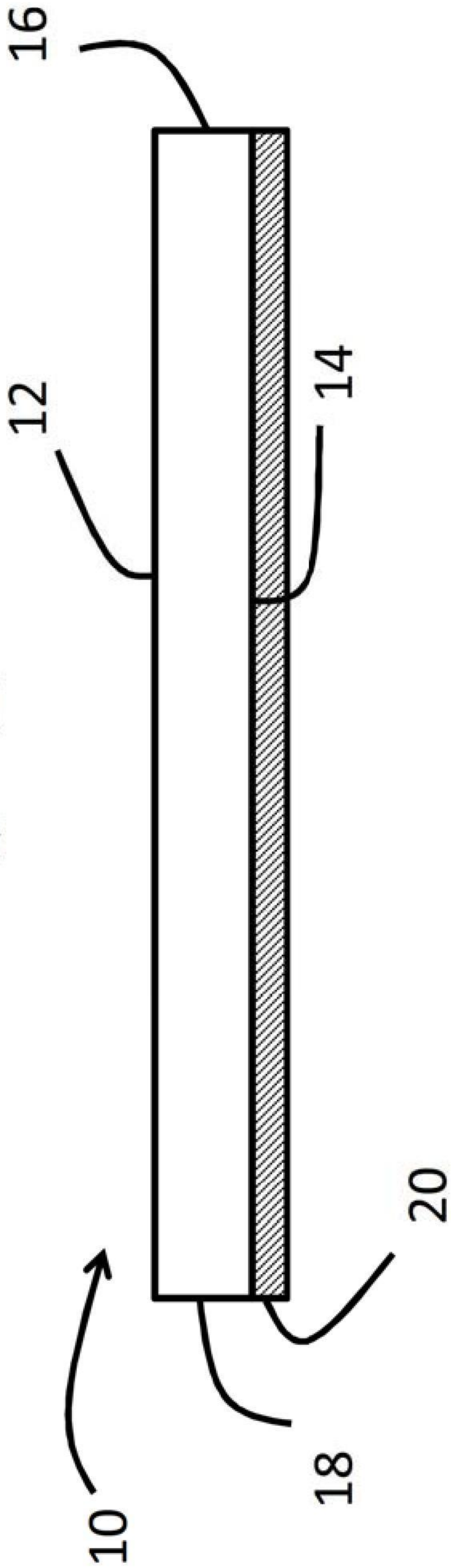


第8圖

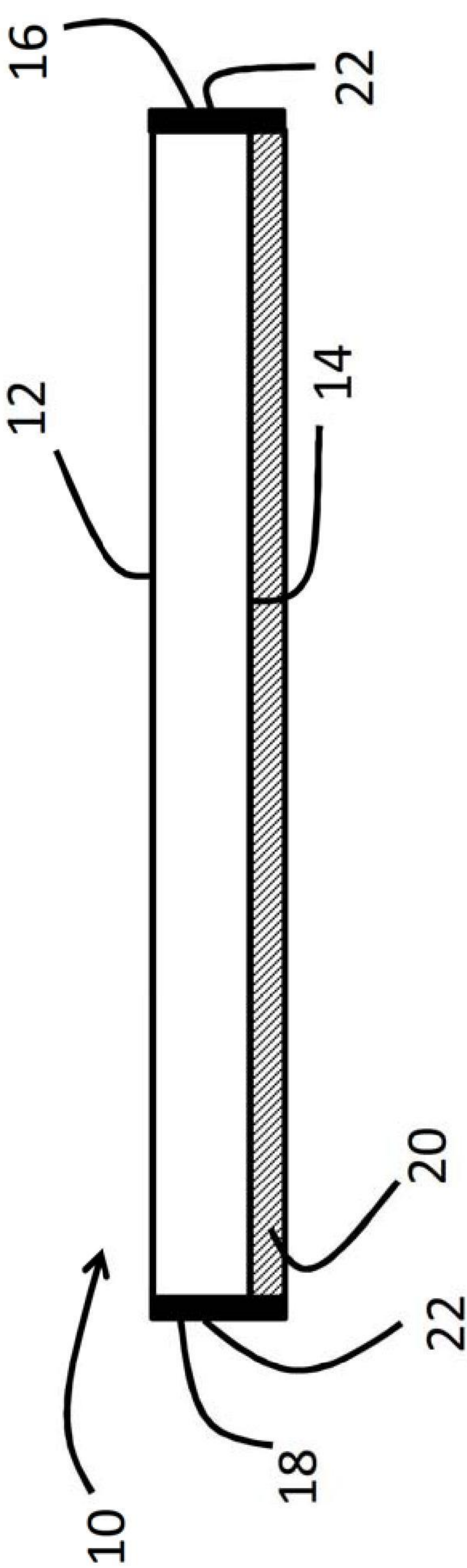
600



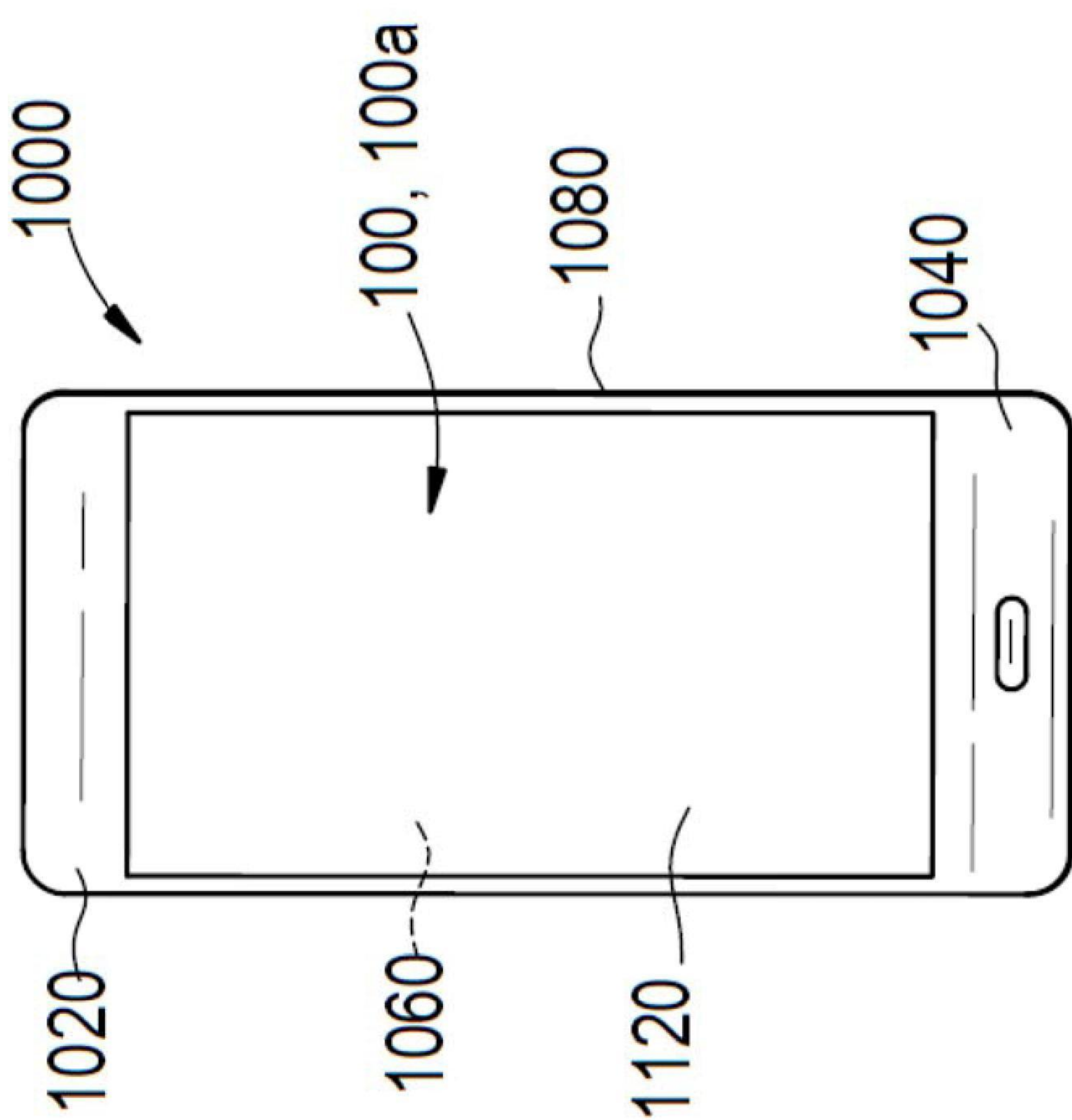
第9A圖



第9B圖

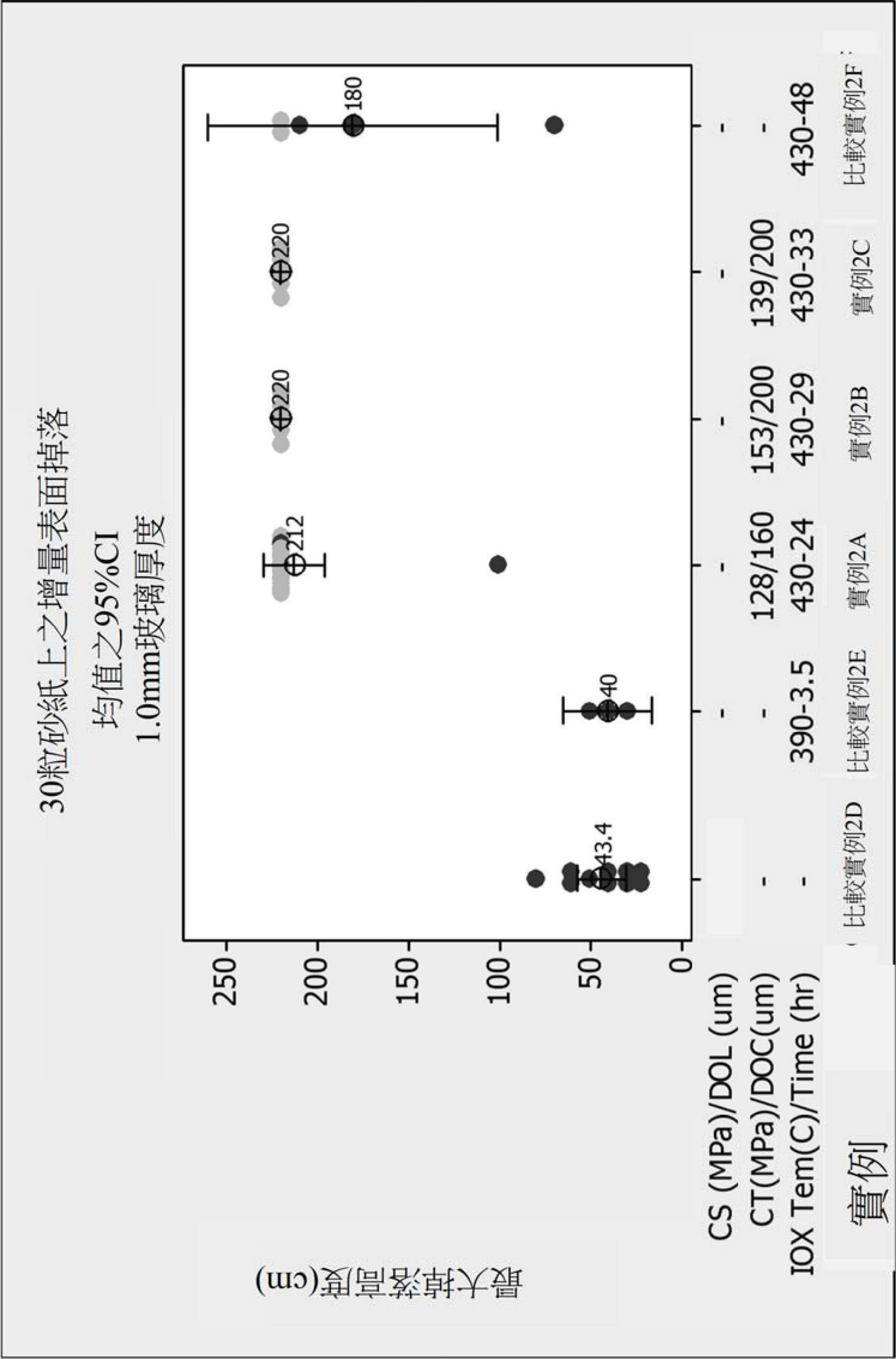


第10圖

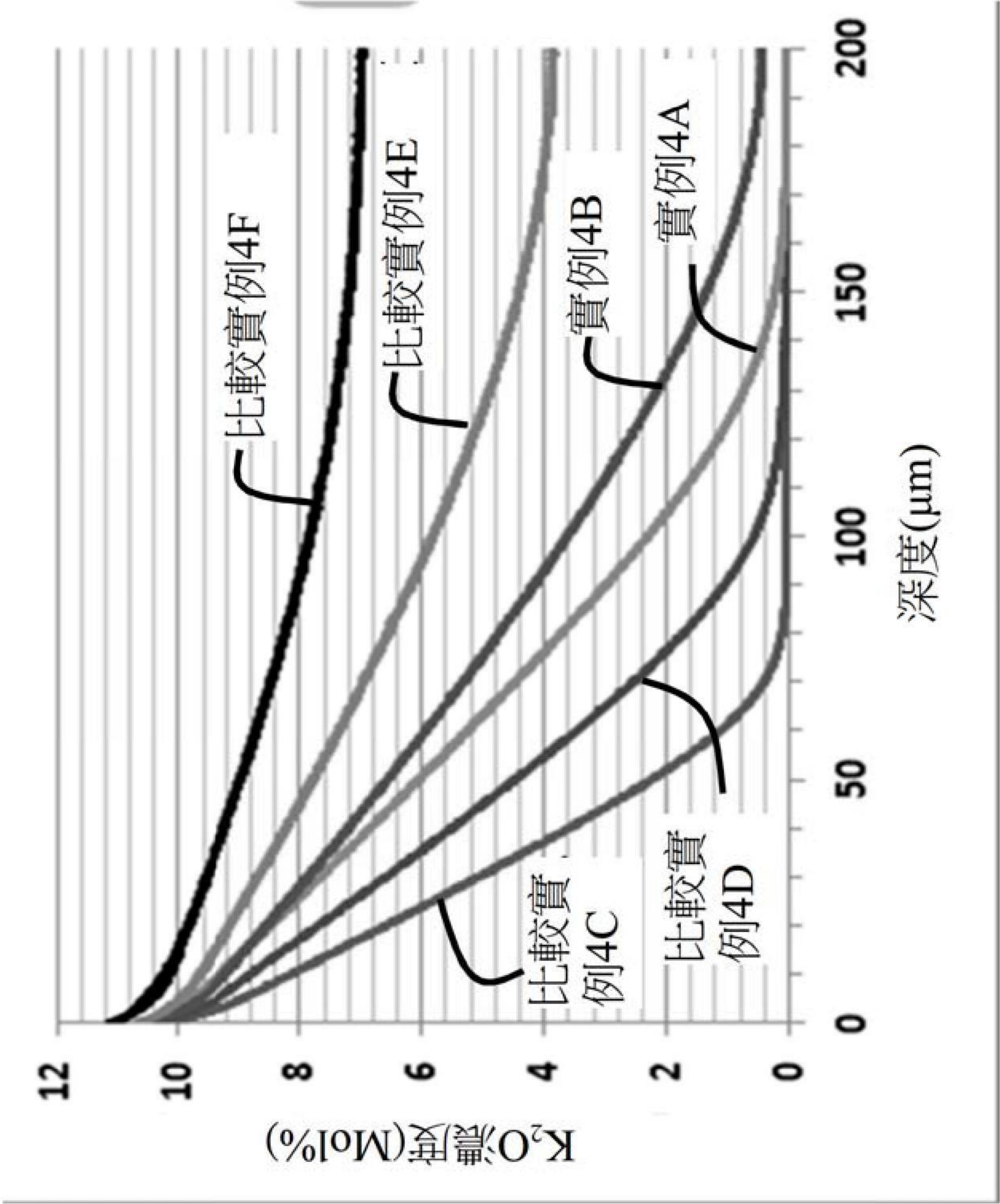




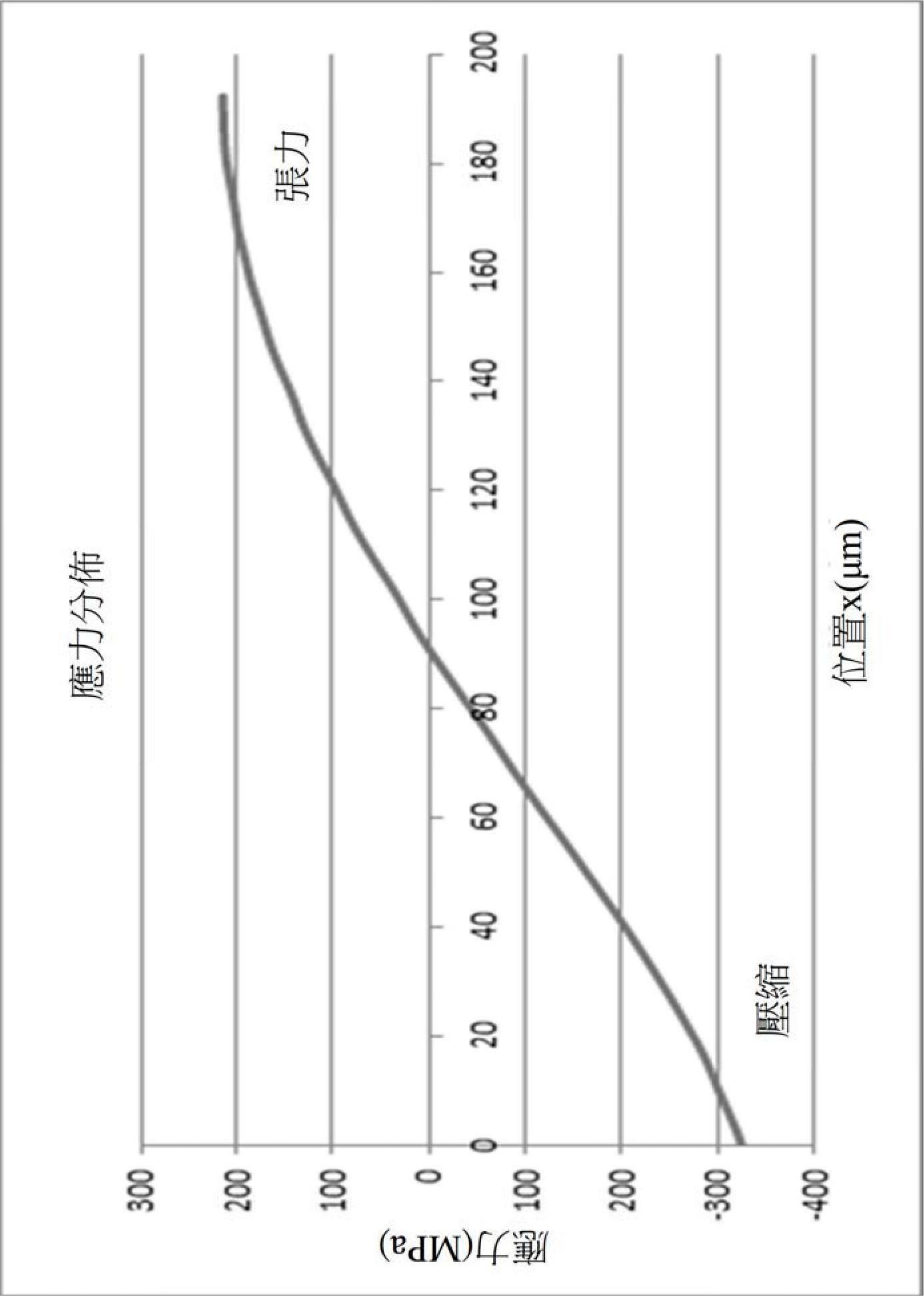
第12圖



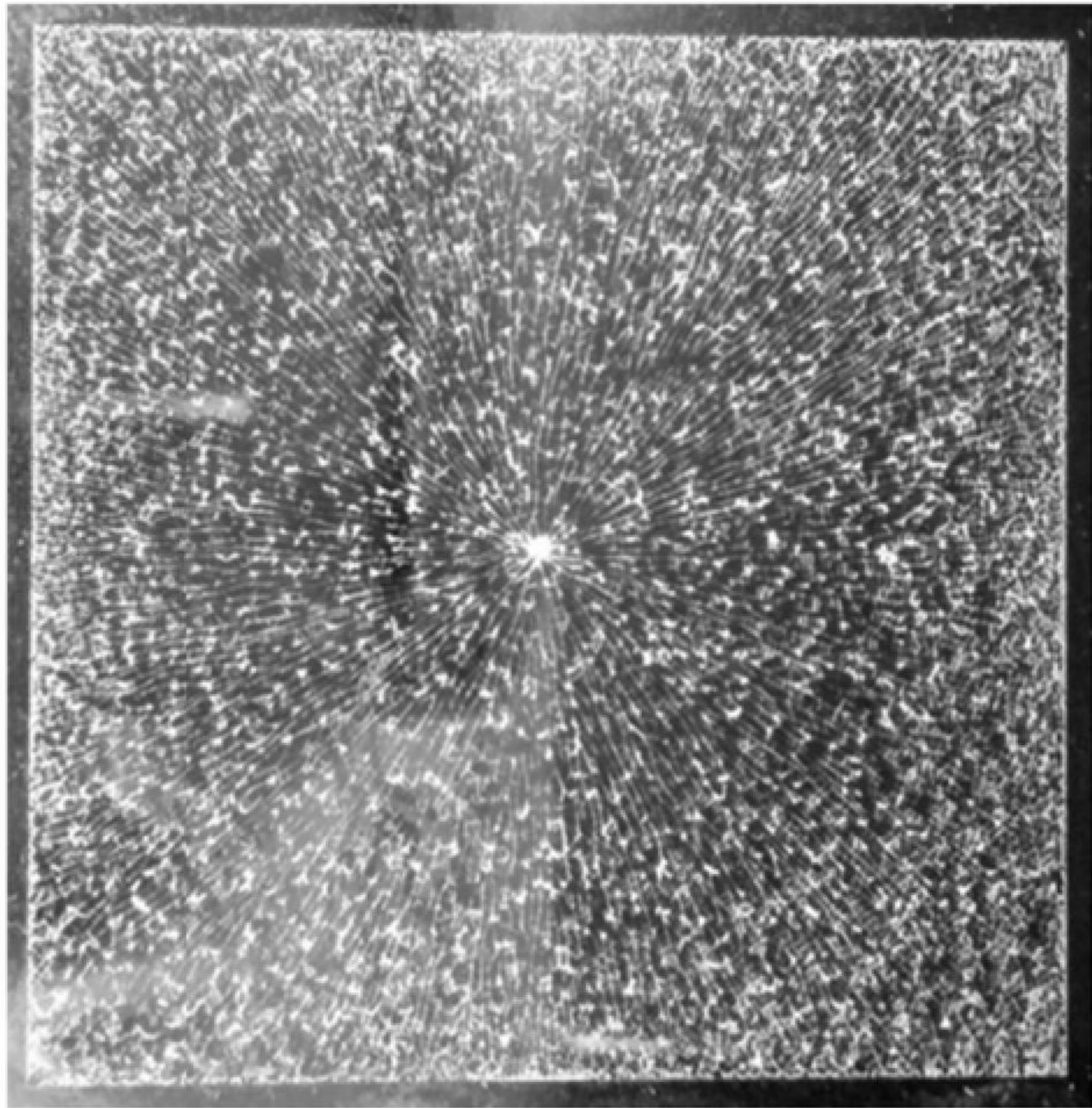
第13圖



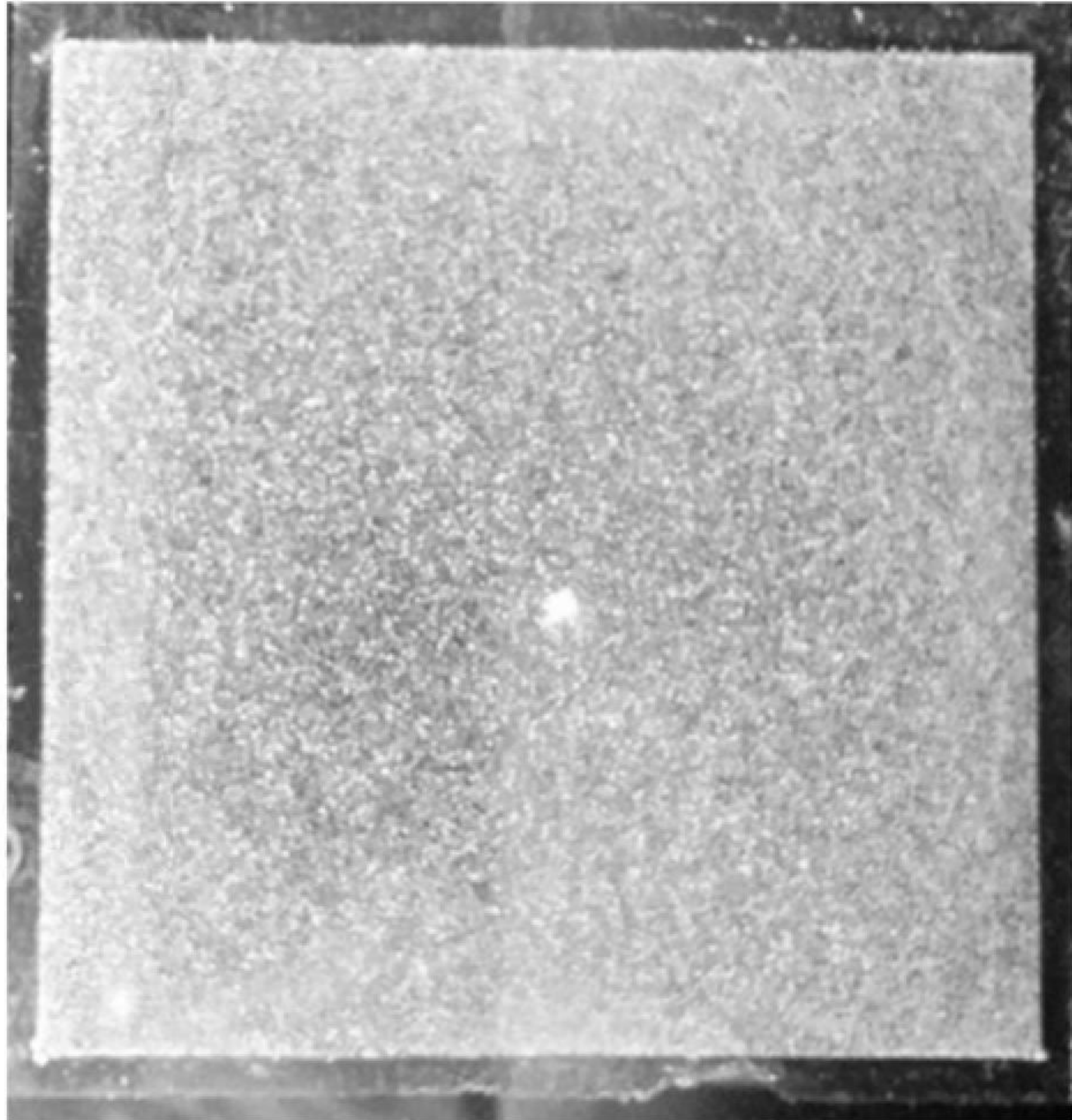
第14圖



第15B圖



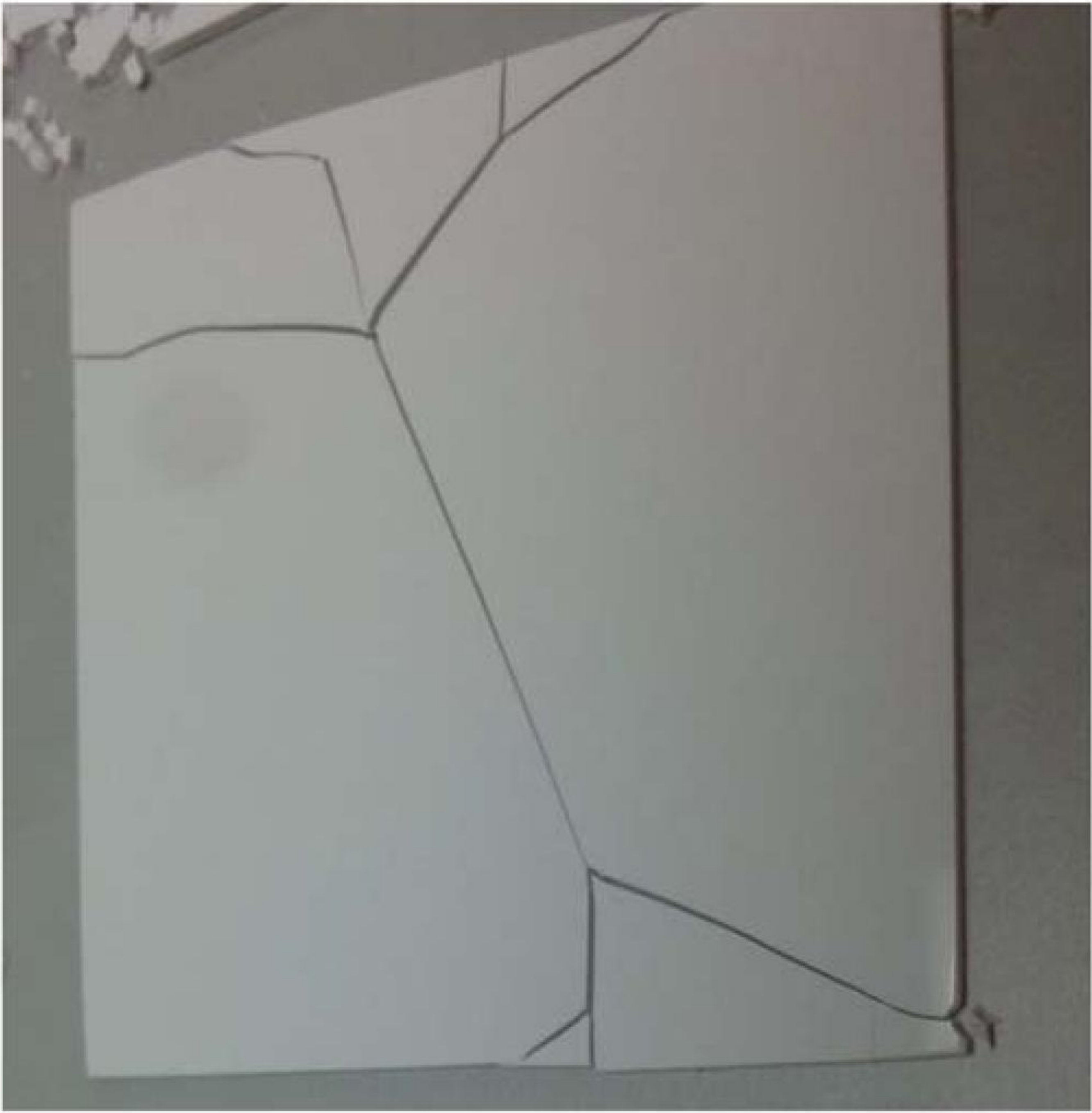
第15A圖



第15D圖

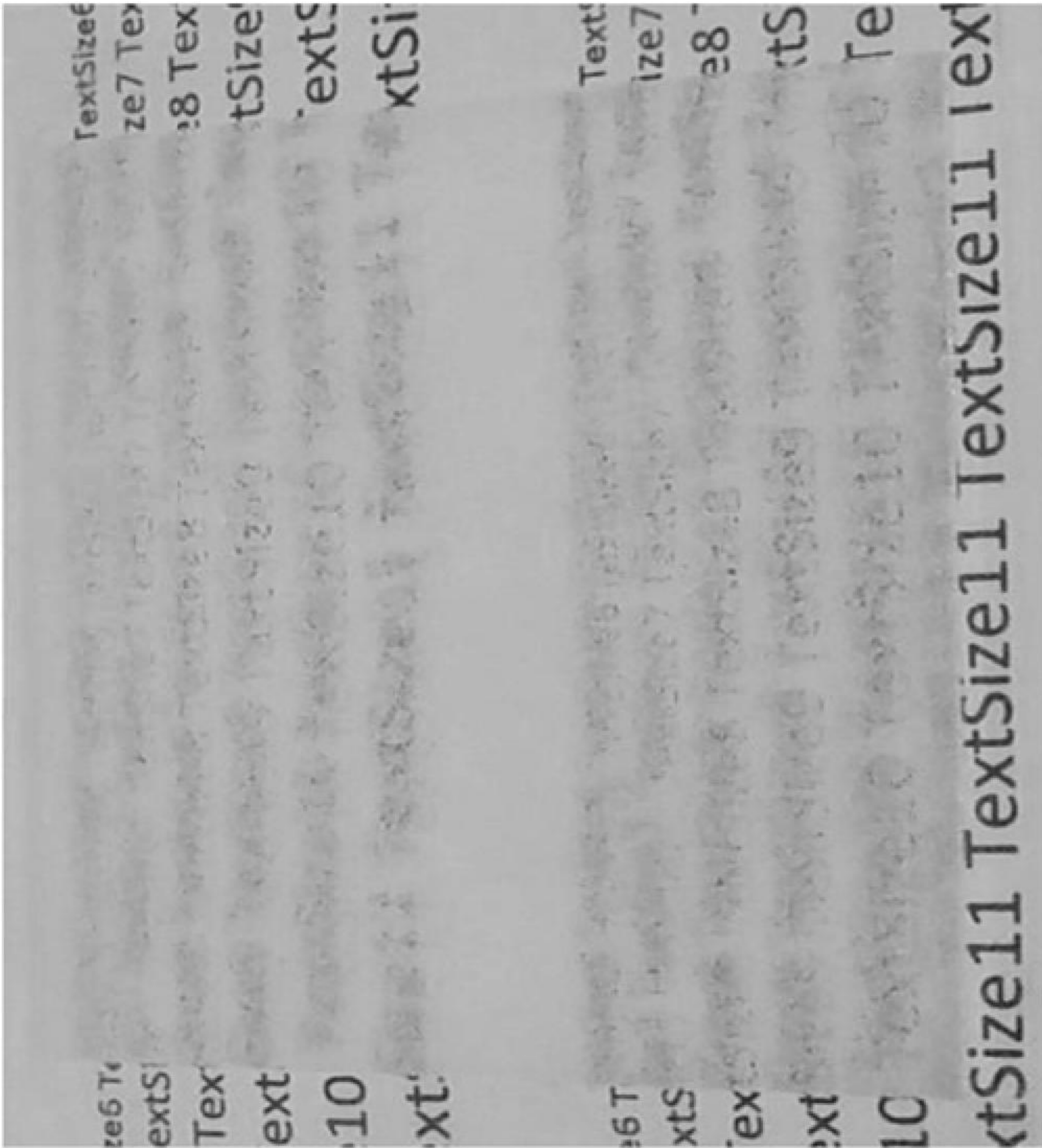


第15C圖

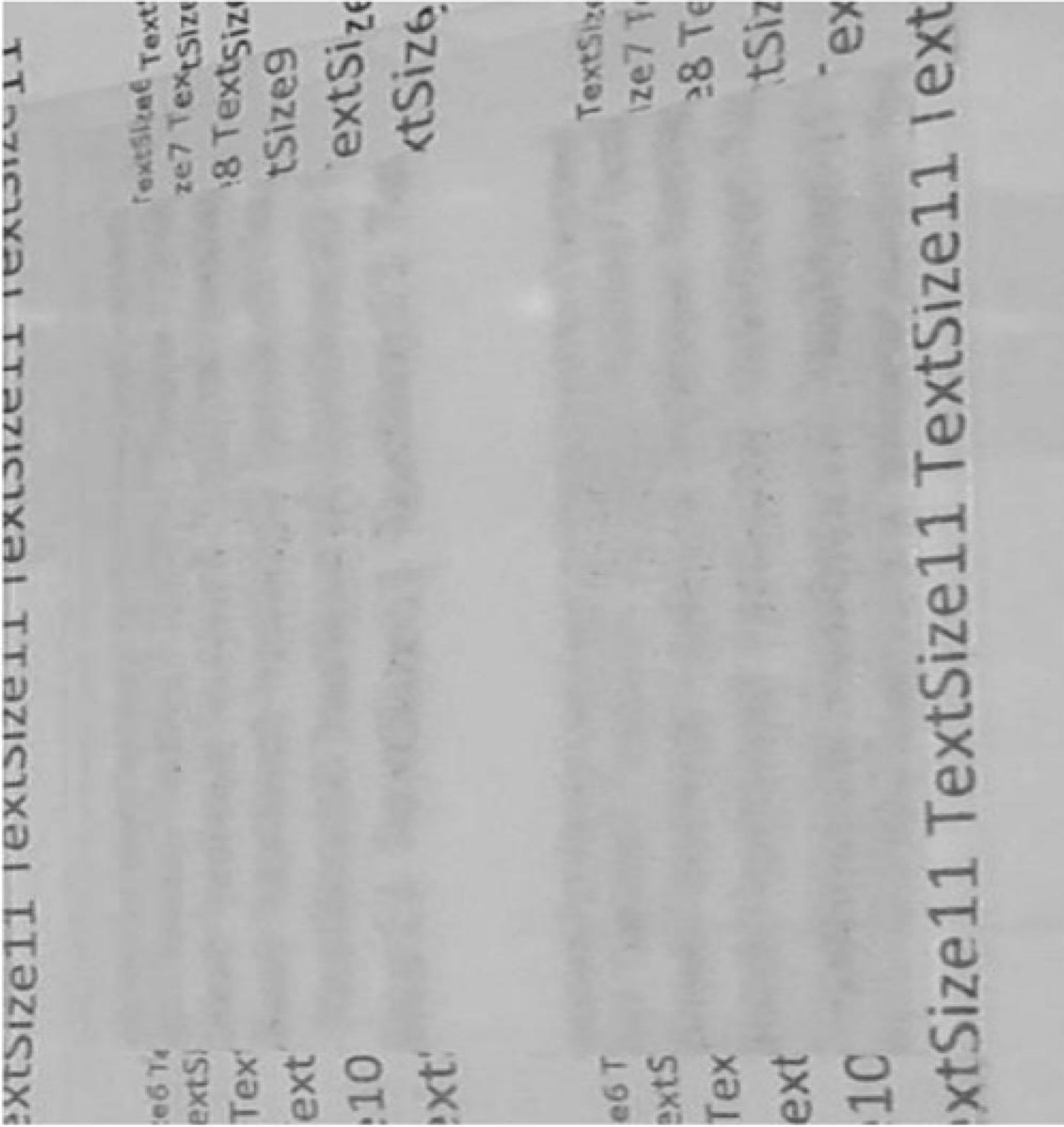




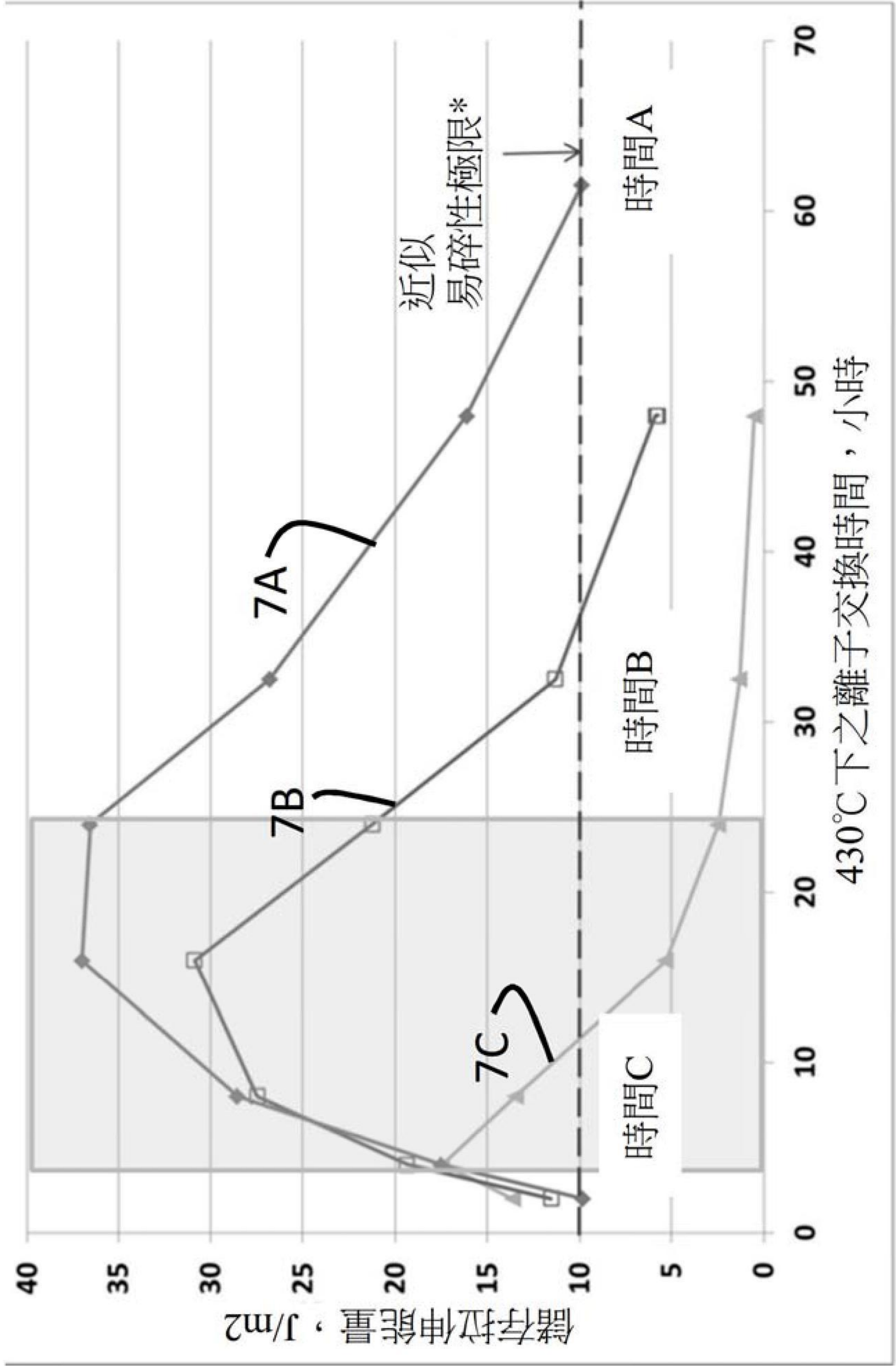
第16C圖



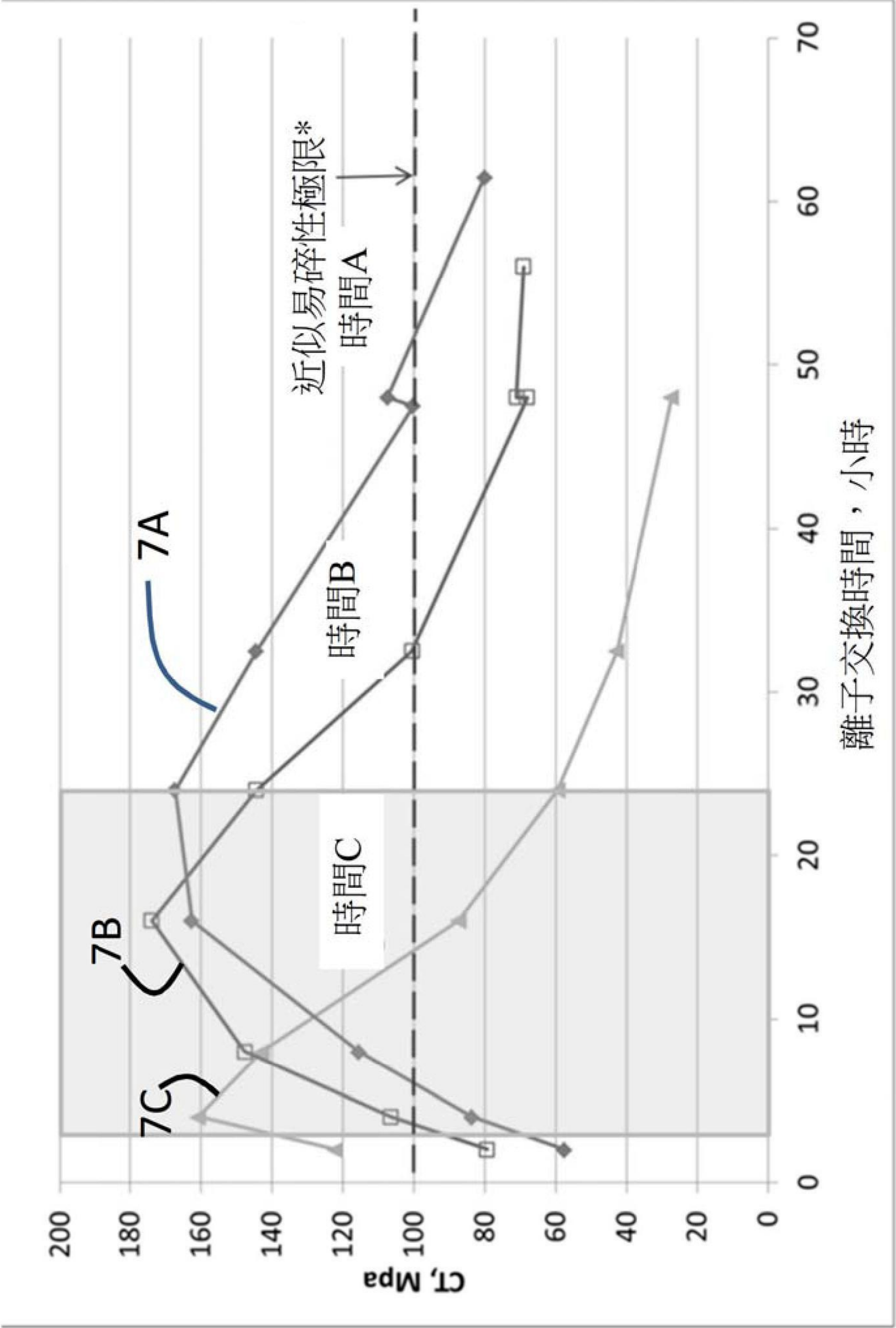
第16D圖



第17圖



第18圖



第19圖

