



(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 I704696 B

(45)公告日：中華民國 109 (2020) 年 09 月 11 日

(21)申請案號：104138228

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 11 月 19 日

(51)Int. Cl. : *H01L31/18 (2006.01)**H01L29/36 (2006.01)**H01L31/0248(2006.01)*

(30)優先權：2015/01/26

美國

62/107,711

2015/10/08

美國

62/239,115

2015/10/14

世界智慧財產權組織

PCT/US15/55460

(71)申請人：美商 1 3 6 6 科技公司 (美國) 1366 TECHNOLOGIES, INC. (US)

美國

(72)發明人：強克席克 拉爾夫 JONCZYK, RALF (US)；卡能 布萊恩 D KERNAN, BRIAN D.

(US)；胡德森 斯蒂芬 G D HUDELSON, STEPHEN G. D. (US)；羅倫茲 亞當

M LORENZ, ADAM M. (US)；莎栩思 伊繆爾 M SACHS, EMANUEL M. (US)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 201340177A

CN 103155178A

Guang Fu Zheng et al, "High-efficiency drift-field thin-film silicon solar cells by liquid-phase epitaxy and substrate thinning", Conference Record of the Twenty Fifth IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1996, 13 May, 1996, pages 693 - 696.

審查人員：蕭盛澤

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：8 共 64 頁

(54)名稱

用於製造具有輪廓摻雜的半導體晶圓的方法以及具有如漂移和背表面輪廓電場的晶圓和太陽能電池構件

(57)摘要

本發明提供一種半導體晶圓，其形成在一含有摻雜物的模具之上。該摻雜物會摻雜相鄰於該模具的熔融物區域。該處的摻雜物濃度高於該熔融物本體。一晶圓會開始凝固。摻雜物在固體半導體之中的擴散效果不佳。在一晶圓開始凝固之後，摻雜物便無法進入該熔融物。而後，在相鄰於該晶圓表面的熔融物之中的摻雜物的濃度會小於出現在該晶圓開始形成的地方的摻雜物的濃度。新的晶圓區域會隨著時間經過而從摻雜物濃度變低的熔融物區域處成長。這會在該晶圓之中建立一摻雜物梯度，較高的濃度相鄰於該模具。該梯度能夠被修正。梯度會導致一電場，其能夠發揮漂移電場或背表面電場的功能。太陽能收集器在該背表面處會具有多個開放格柵的導體並且具有較佳的光學反射器，其可由該本質背表面電場來達成。

A semiconductor wafer forms on a mold containing a dopant. The dopant dopes a melt region adjacent the mold. There, dopant concentration is higher than in the melt bulk. A wafer starts solidifying. Dopant diffuses poorly in solid semiconductor. After a wafer starts solidifying, dopant can not enter the melt. Afterwards, the concentration of dopant in the melt adjacent the wafer surface is less than what was present where the wafer began to form. New wafer regions grow from a melt region whose dopant concentration

lessens over time. This establishes a dopant gradient in the wafer, with higher concentration adjacent the mold. The gradient can be tailored. A gradient gives rise to a field that can function as a drift or back surface field. Solar collectors can have open grid conductors and better optical reflectors on the back surface, made possible by the intrinsic back surface field.

指定代表圖：

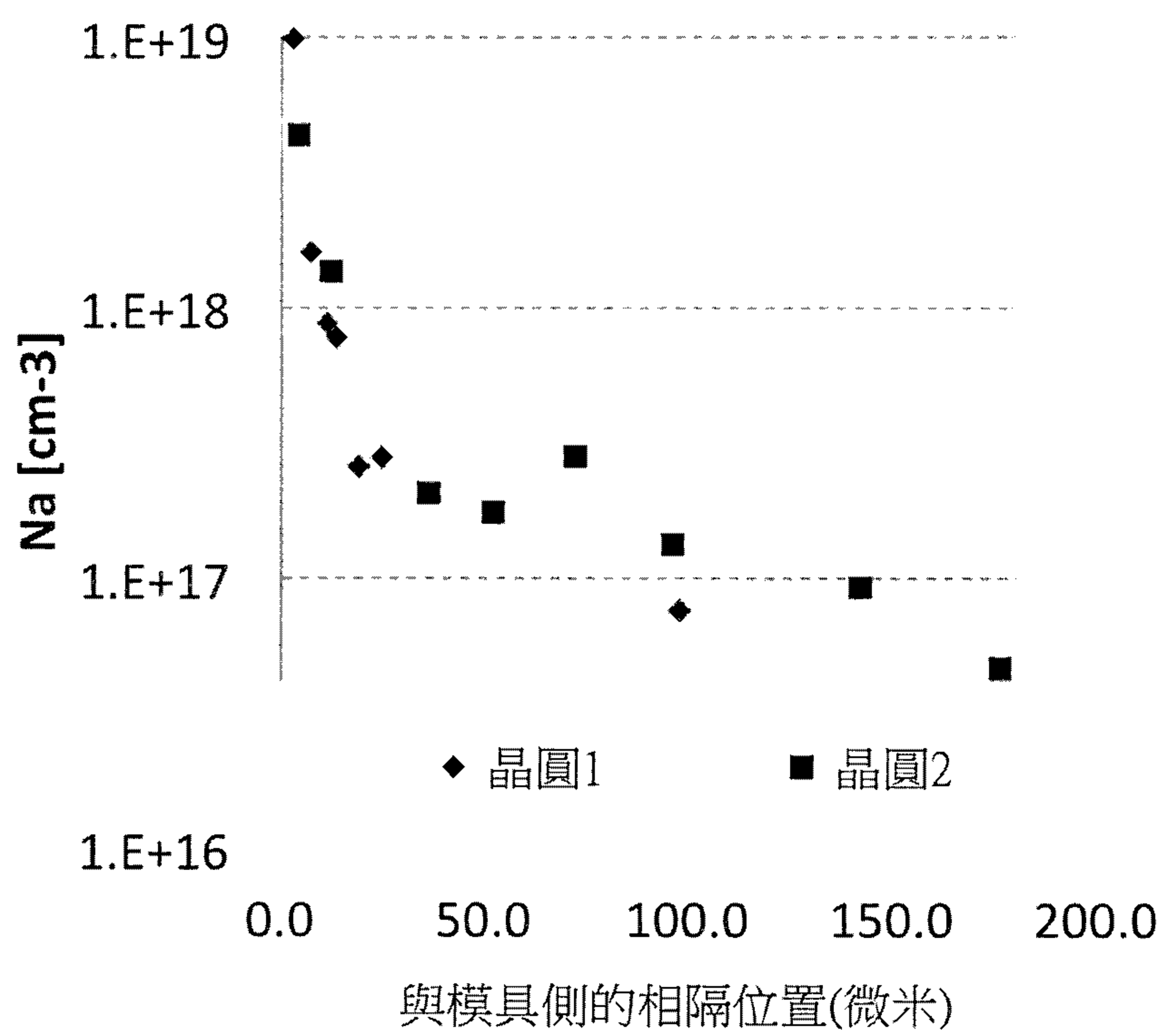


圖5

I704696

發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日：

※IPC 分類：

【發明名稱】(中文/英文)

用於製造具有輪廓摻雜的半導體晶圓的方法以及具有如漂移和背表面輪廓電場的晶圓和太陽能電池構件

METHODS FOR CREATING A SEMICONDUCTOR WAFER HAVING
PROFILED DOPING AND WAFERS AND SOLAR CELL COMPONENTS
HAVING A PROFILED FIELD, SUCH AS DRIFT AND BACK SURFACE

【中文】

本發明提供一種半導體晶圓，其形成在一含有摻雜物的模具之上。該摻雜物會摻雜相鄰於該模具的熔融物區域。該處的摻雜物濃度高於該熔融物本體。一晶圓會開始凝固。摻雜物在固體半導體之中的擴散效果不佳。在一晶圓開始凝固之後，摻雜物便無法進入該熔融物。而後，在相鄰於該晶圓表面的熔融物之中的摻雜物的濃度會小於出現在該晶圓開始形成的地方的摻雜物的濃度。新的晶圓區域會隨著時間經過而從摻雜物濃度變低的熔融物區域處成長。這會在該晶圓之中建立一摻雜物梯度，較高的濃度相鄰於該模具。該梯度能夠被修正。梯度會導致一電場，其能夠發揮漂移電場或背表面電場的功能。太陽能收集器在該背表面處會具有多個開放格柵的導體並且具有較佳的光學反射器，其可由該本質背表面電場來達成。

【英文】

A semiconductor wafer forms on a mold containing a dopant. The dopant dopes a melt region adjacent the mold. There, dopant concentration is higher than in the melt bulk. A wafer starts solidifying. Dopant diffuses poorly in solid semiconductor. After a wafer starts solidifying, dopant can not enter the melt. Afterwards, the concentration of dopant in the melt adjacent the wafer surface is less than what was present where the wafer began to form. New wafer regions grow from a melt region whose dopant concentration lessens over time. This establishes a dopant gradient in the wafer, with higher concentration adjacent the mold. The gradient can be tailored. A gradient gives rise to a field that can function as a drift or back surface field. Solar collectors can have open grid conductors and better optical reflectors on the back surface, made possible by the intrinsic back surface field.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 5 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

用於製造具有輪廓摻雜的半導體晶圓的方法以及具有如漂移和背表面輪廓電場的晶圓和太陽能電池構件

METHODS FOR CREATING A SEMICONDUCTOR WAFER HAVING
PROFILED DOPING AND WAFERS AND SOLAR CELL COMPONENTS
HAVING A PROFILED FIELD, SUCH AS DRIFT AND BACK SURFACE

【技術領域】

【0001】 本申請案和用於製造具有輪廓摻雜的半導體晶圓的方法以及具有如漂移和背表面輪廓電場的晶圓和太陽能電池構件有關。

【0002】 本發明主張 2015 年 1 月 26 日提申的美國臨時申請案第 62/107,711 號的優先權，該案標題為「製造具有輪廓摻雜之漂移電場的半導體晶圓的方法以及具有輪廓漂移電場的晶圓(METHODS OF CREATING A SEMICONDUCTOR WAFER HAVING A DRIFT FIELD WITH PROFILED DOPING AND WAFERS HAVING A PROFILED DRIFT FIELD)」，發明人為 Ralf Jonczyk 等人，申請人為位於美國麻薩諸塞州貝德福德市的 1366 Technologies, Inc.，本文以引用的方式將其完整揭示內容併入。本發明還主張 2015 年 10 月 8 日提申的美國臨時申請案第 62/239,115 號的優先權，該案標題為「用於製造具有輪廓摻雜的半導體晶圓的方法以及具有如漂移和背表面輪廓電場的晶圓和太陽能電池構件」，發明人為 Ralf Jonczyk 等人，申請人為位於美國麻薩諸塞州貝德福德市的 1366 Technologies, Inc.，本文同樣以引用的方式將其完整揭示內容併入。

【0003】 半導體晶圓能夠由半導體熔融物直接形成，其通常利用 Sachs 等人在 2012 年 10 月 23 日所獲頒的美國專利案第 8,293,009 號之中所揭示的技術，該案標題為「以用於太陽能電池的熔融材料和類似物來有效製作薄半導體主體的方法(METHODS FOR EFFICIENTLY MAKING THIN SEMICONDUCTOR BODIES FROM MOLTEN MATERIAL FOR SOLAR CELLS AND THE LIKE)」，本文以引用的方式將其完整併入。

【先前技術】

【0004】 習知的太陽能收集器係由具有一相對較厚部分以及一非常薄的區段的半導體晶圓所組成，該相對較厚部分中會有多數載子，舉例來說，晶格電洞，而在該非常薄的區段中的多數載子則為相反類型的載子，於此情況中為電子。該兩個部分會交會在所謂的 p/n 接面處。在 180 微米厚的業界標準晶圓中，p 型部分為 180 微米厚，而該 n 型部分則為約 0.5 微米厚。於此習知的晶圓中，摻雜在該晶圓的整個較厚部分(例如，該 p 型部分)中會很均勻，其係由 p 型晶圓中的受體(電洞)來摻雜，例如，被硼摻雜的矽晶圓。於此收集器中，少數電荷載子會以基本上隨機的方式自由地移動，從它們的生成位置點處隨機地擴散出來(在每一個部分中，但是，此處主要考量的是該較厚的部分)。一部分的少數載子可能會前往該 p/n 接面收集區；而一部分則會在其它方向移動。此情形缺乏效率。已知的係，在其它事物相等下，建立一電場驅使該些少數電荷載子朝向該 p/n 接面收集區移動會提高效率。此電場被認為朝向該 p/n 接面並且造成已生成的少數電荷載子優先朝該收集 p/n 接面移動。此有方向性的優先性會提高太陽能電池的收集效率。一般相信，用於從厚的晶圓鑄塊(ingot)或晶圓磚(brick)中切割晶圓的任

何習知的熔融物凝固方法皆無法達成此效應。此電場有時候被稱為漂移電場。

【0005】 已知試圖在一晶圓中創造此電氣漂移電場會建立一摻雜梯度，其會建立導向該收集 p/n 接面的一電場。此已知功效已在 PCT 專利申請案第 PCT/NL2005/000422 號中說明過，該案已公開為 WO2005122287A1，其標題為「用於產生結晶矽薄片的方法(Method for the production of crystalline silicon foils)」。此專利申請案已受讓給 Stichting Energie，並且該功效在下文中稱為 Stichting 功效。該 Stichting 功效有明顯的負面效果。主要的半導體材料為矽，而摻雜物為鎵。摻雜位準的輪廓係因快速冷卻一熔融體而產生，其中，初始的快速冷卻會在剛開始凝固的表面處造成受損的分凝效果，並且當冷卻變慢時，因為鎵的顯著平衡分凝係數(equilibrium segregation coefficient)(約 0.008)，鎵會優先與後面接續凝固的表面分凝。受損的分凝效果隱喻冷卻發生非常快速，足以使得鎵雜質的實際分凝係數高於該平衡分凝係數的 10 倍以上。分凝係數 1 表示液相與固相之間沒有任何優先分凝，其代表分凝係數的最大數值。對微弱分凝的摻雜物(例如，硼)來說，其分凝係數為 0.8，從該受損機制中最高僅可增加 1.25 倍。

【0006】 在 Stichting 專利申請案中雖然沒有提及此快速冷卻的必然結果；不過，對熟習的人士來說卻非常顯見。在該熔融材料裡面的金屬雜質同樣必然以大量且不可接受的程度被併入於該初始快速冷卻及凝固的半導體晶體的固體之中。該 Stichting 功效方法運用鎵的相對顯著(數值非常小)的分凝係數來達成濃度梯度。但是，該些金屬雜質同樣有相對顯著(數值非常小)的分凝係數，而且對於要呈現足以提供可利用之摻雜輪廓的程度的鎵

來說，任何金屬雜質同樣必然會以很高且因而不可接受的程度出現在該已凝固的結晶之中。因此，該 Stichting 方法雖然會創造一摻雜輪廓；不過，任何經形成的本體卻無法實際上用於太陽能收集，其擁有的金屬含量雜質的程度至少高於平衡分凝一個大小級數(order)。

【0007】 以稍微不同的方式來說，為達到讓晶圓的其中一個部分與另一個部分有 10 倍的摻雜差異(大小級數)，該 Stichting 方法本質上會有此相同的因數；也就是，相較於出現在較低摻雜區域之中的金屬，在較高摻雜區域之中的金屬會多 10 倍。熟習本技術的人士便會瞭解，此高金屬含量(以及此不同的金屬含量(或是其它雜質))會有嚴重的不利的效應。舉例來說，少數載子生命期會低於沒有此些雜質時的生命期。此較低的生命期會導致電池的效能不及有較高生命期的電池。

【0008】 一種假設性但是合理的案例顯示該些問題。探討在熔融物之中有 1ppm 金屬的案例，平衡分凝係數為 $k=10^{-6}$ ，舉例來說，鐵(Fe)。利用 Stichting 方法，這會在晶圓之中造成 5×10^{11} 個原子/cm³。這會導致約 7 微秒的少數載子生命期，其造成 16.4%的效率。

【0009】 加諸在已知太陽能收集器中所使用的晶圓上的另一種電場稱為背表面電場(Back Surface Field, BSF)。習知的電池通常有背表面電場。此電場會降低有效的背表面再結合速度並且改良少數載子的收集機率。達成此目的的一種典型方式為在處理期間於該背表面上提供一鋁質或是鋁合金薄層。應用鋁會有缺點。首先，其在處理中為一分開的步驟，從而增加複雜度，如果不需要此鋁層便不會有此複雜度。其次，鋁係一種長波長光的不良反射器。因此，當有鋁質背表面層時，此長波長光之中會有相對大

量的光沒有被反射並且遺失。能夠反射並且因而捕捉一部分或全部的此長波長光會有好處。(為達說明的目的，應該注意的係，BSF 討論必須藉由 BSF 拒斥(repulsion)或是反射兩種完全不同的實體少數載子，驅使它們遠離該背表面。特定的光子不會從該背表面處被充分地反射，因為它們會由於該 BSF 的鋁層所引發的吸收或者至少不會被該鋁層反射。)

【0010】 因此，本技術領域需要具有在一方向中建立電場之手段的半導體晶圓，用以驅使少數電荷載子(主要係在該晶圓的較厚部分中)至收集 p/n 接面。本技術領域進一步需要此些晶圓具有卓越的電氣特性以及可接受的低雜質位準。本技術領域還需要此些晶圓被不具有顯著分凝係數的摻雜物摻雜。本技術領域還需要此些具有摻雜物輪廓的晶圓為 p 型半導體以及 n 型半導體。本技術領域進一步需要一種製作此些晶圓的方法。本技術領域還需要併入此些晶圓的太陽能收集器以及太陽能面板。

【0011】 本技術領域還需要能夠使用在太陽能電池之中的晶圓，其中，不需要使用專屬於該目的的處理步驟便能夠建立 BSF，而且在背表面亦不需要有一層不良光學反射性的鋁層。本技術領域進一步需要此晶圓被建構為能夠反射相對大量的長波長光，並且因此能夠在該晶圓與電池內捕捉該長波長光。

【發明內容】

【0012】 因此，本發明的目的包含具有在一方向中建立電場之手段的半導體晶圓，用以驅使少數電荷載子至收集 p/n 接面。進一步目的包含此些晶圓具有卓越的電氣特性以及可接受的低雜質位準。另一目的為此些晶圓被不具有顯著分凝係數的摻雜物摻雜。又一目的包含此些具有摻雜物輪廓

的晶圓為 p 型半導體以及 n 型半導體。再一目的為一種具有 BSF 的晶圓，其沒有鋁質背表面。再，本發明的其它目的為製作任何以及所有此些晶圓的方法。再，另一目的為併入具有此些漂移電場或 BSF 或兩者之晶圓的太陽能電池。又另一目的為一種比具有鋁質 BSF 平面的電池擁有更高效率來收集長波長光的太陽能電池。

【0013】 一晶圓會被形成在一模具上，該模具以特定的方式而具有摻雜物。舉例來說，該模具會有一含有摻雜物的塗層。為利用矽來製造 p 型晶圓，摻雜物能夠為硼，其會提供額外的電子受體。當該模具加熱升溫時，摻雜物會進入該熔融物(藉由數種可能的方法)，從而摻雜該熔融物中緊鄰該模具的區域，因此，相較於在該熔融物本體之中的摻雜物的濃度，在該相鄰區域中，該摻雜物(例如，硼)的濃度會相對較高。於一非常短的時間內，一半導體晶圓會開始凝固於該模具的表面。該摻雜物(例如，硼)在固體矽之中不會明顯地擴散。因此，在形成一固體晶圓之後，該摻雜物便不會再從該模具處進入該熔融物，因為在該模具表面上的固體矽會充當硼摻雜物擴散屏障。此時及之後，於相鄰於該晶圓之成長表面的該熔融物區域之中的硼摻雜物的濃度會小於出現在率先開始形成該晶圓的熔融物區域之中的濃度。當該晶圓繼續成長，該晶圓之新的額外區域會從該熔融物之新成長區域處被形成，其硼摻雜物濃度會隨著時間經過而不斷地變得越來越小。在每一個接續的新成長區域之中的摻雜物持續地減少會建立硼摻雜物的一濃度梯度或輪廓，較高的濃度出現在靠近該模具的晶圓處，其為最先被凝固，而在已凝固晶圓的熔融物側則有較低的硼濃度，其為最後被凝固。該梯度能夠藉由各種手段來設計。摻雜的梯度會造成導向特定方向的一電場，其

在任何位置處的強度皆和該位置以及相鄰位置處的梯度程度有關。此電場會用於太陽能收集器的晶圓之中的少數電荷載子會有影響。

【0014】 其中一個梯度濃度輪廓能夠用於在該晶圓裡面創造一漂移電場。另一個輪廓能夠用於在該晶圓裡面創造一背表面電場。本發明的晶圓能夠用於太陽能電池之中。因為漂移電場的關係而促成較高的效率，其會在該電池裡面促成載子收集的目的。較高的效率也會肇因在該背表面提供較佳的反射器，其可因該摻雜輪廓所導致的本質背表面電場而達成，其可不需要用到由鋁合金背表面元件所製成的業界標準不良的反射器。

【0015】 本發明的特徵為，和以決定性方式達成的局部摻雜濃度有關的係局部電阻係數。電阻係數梯度同樣存在，並且藉由測量不同位置處的電阻係數能夠決定濃度。因此，研究與分析摻雜物濃度的梯度的相同方式便係探討從一晶圓的其中一個表面至另一個表面的電阻係數的輪廓，且因而和研究與分析所產生的電場梯度為相同的方式。

【0016】 本發明的方法包含從一熔融物處製造一個此種晶圓。本發明的方法還包含從相同的熔融物處製造複數個此種晶圓，其包含下面步驟：於該熔融物裡面補償該熔融物裡面的主要摻雜物的累積情形，其可能會太高而無法讓晶圓被製造為有目標淨摻雜物濃度以達到使用在太陽能電池之中的目標本體電阻係數。當越來越多晶圓被形成，藉由週期性提供該熔融物相反受體/施體類型的補償摻雜物可以達到補償的目的(舉例來說，為補償受體摻雜物硼，施體摻雜物磷會被使用)。於某些情況中，該補償摻雜物可能不成比例的方式分凝至晶粒邊界，其為缺點。於此些情況中，本發明的方法為加入逆補償摻雜物。於硼(受體)與磷(施體)系統的情況中，逆補償摻

雜物為受體，例如，鎵，其具有合宜的顯著分凝常數，以便最小化在晶粒邊界處的補償摻雜物的濃度的電氣效應。

【圖式簡單說明】

【0017】 本發明能夠達成前述目的與其它目的，在本發明的圖式中更完整顯示本發明，其中：

圖 1A 概略顯示一種利用接近半導體材料熔融物的摻雜劑所處理的模具的剖面圖；

圖 1B 概略顯示圖 1A 之經過處理的模具的剖面圖，該經過處理的模具接觸該熔融物，該熔融物的上方部分有部分處理材料進入該熔融物之中；

圖 1C 概略顯示圖 1B 之經過處理的模具的剖面圖，該經過處理的模具仍然接觸該熔融物，有一晶圓凝固在該模具上，並且，相較於圖 1B 中所示的熔融物，圖 1C 的熔融物中較大的部分有部分處理材料進入該熔融物的該較大部分之中；

圖 1D 概略顯示圖 1C 之經過處理的模具的剖面圖，該經過處理的模具仍然接觸該熔融物，有一較厚的晶圓凝固在該模具上，並且，相較於圖 1C 中所示的熔融物，圖 1C 的熔融物中更大的部分有部分處理材料進入該熔融物的該更大部分之中；

圖 2A 概略顯示被形成在如圖 1D 中所示之模具上的晶圓的剖面圖，其具有一摻雜的梯度輪廓；

圖 2B 概略顯示圖 2A 的晶圓在其中一側加入 n 型材料摻雜之後的剖面圖，從而形成一 p/n 接面，並且在該 n 型材料的相反側形成一較高摻雜的區域，其會造成 BSF；

圖 3 概略顯示本發明的模具的剖面圖，在該模具的整個體積中皆利用摻雜材料來處理；

圖 4 概略顯示本發明的模具的剖面圖，該模具在其中一個表面上或附近的一對層或塗層之中經過摻雜材料處理；

圖 5 以關係圖形式顯示根據本發明所製造的代表性晶圓的受體數量(Na/cm^3)和與模具側之相隔位置之間的關係；

圖 6A 概略顯示一種使用在太陽能收集器之中的先前技術晶圓的剖面圖，其具有鋁合金背表面電極；

圖 6B 概略顯示一種使用在太陽能收集器之中的本發明的晶圓的剖面圖，由於摻雜輪廓的關係，其具有一高度摻雜的後表面，其並沒有鋁合金背表面電極，但是有一開放格柵電極以及一高效率的光學反射器；

圖 7 以關係圖形式顯示包含圖 6A 與 6B 中所示之配置的兩種不同配置的量子效率和入射光波長之間的關係；

圖 8A 所示的係本發明的晶圓的概略代表圖，圖中顯示在晶粒邊界(grain boundaries)處的施體補償摻雜物原子的分凝；以及

圖 8B 所示的係圖 8A 中所示之本發明的晶圓的概略代表圖，圖中同樣顯示在晶粒邊界處的受體逆補償摻雜物原子的分凝。

【實施方式】

【0018】 如上面的討論，用於太陽能收集器的典型半導體晶圓具有一相對較厚部分，其中，多數載子為其中一種施體/受體類型，舉例來說，通常為 p 型。此些晶圓會被形成並且接著經過處理，以便使得其中一面會被摻雜為具有相反施體/受體類型的多數載子，因此，於主要為 p 型的晶圓的

情況中，該相反施體/受體類型為 n 型。在一典型的晶圓中，該第一部分基本上的全部厚度為 180 微米，而另一類型部分的厚度則僅有約 0.5 微米。介於該兩個部分之間的接面被稱為 p/n 接面。下面的討論主要關於一種用於製作該相對較厚部分的新方法，該相對較厚部分通常為 p 型部分。下面討論的方法通常被用來製造此晶圓。該 p/n 接面以及相反載子類型的部分會在進行本文中所討論的方法步驟之後被製造於其中一個表面上。此些方法亦能夠被用來製造一主要為 n 型的厚晶圓。於本發明的此晶圓中，從已成長的晶圓的其中一面至另一面會有一摻雜梯度輪廓。此摻雜梯度輪廓會在最終已成長的晶圓之中造成一電場，該電場能夠充當漂移電場，並且亦能夠或者替代充當背表面電場(BSF)。

【0019】 圖 1A、1B、1C、以及 1D 顯示一種模具 110(有時候亦稱為基板)，其會以特定的方式被提供摻雜物，於該模具 110 上將會形成一晶圓 100(圖 2A)。舉例來說，模具 110 會有一塗層 112，其含有摻雜物 114。為利用已熔融的矽來製造 p 型晶圓，該摻雜物會為硼(其係一種電荷載子受體)。於圖 3 中概略顯示的替代實施例中具有一模具 310，其具有以均勻或是特定其它模式分散在其整個主體之中的摻雜物 314。下面會討論數種不同的模具摻雜物處理實施例。本發明的主要典型用途為 p 型半導體晶圓，且因而係針對受體摻雜物。因此，本發明的討論主要聚焦在此些組合上。然而，本發明亦可用於 n 型半導體以及電荷載子施體摻雜物(此系統的一範例為有磷摻雜的基板，配合硼熔融物補償)。又，本發明亦可能有更多相關組合並且將會在下面作討論。

【0020】 主要摻雜物，例如，硼，會在此模具 110 表面的任何地方，

或者，會在模具 310 的主體裡面。然而，咸信，倘若其出現在該模具中最靠近該熔融物的區域之中的話，例如，塗層 112 或是主體 310 內緊鄰該表面的區域，其會提供最大優點，如下面的討論。許多不同的半導體皆能夠作為該主要熔融物構件。矽為經常被用到並且將在下面的討論中作為代表性範例。同樣地，亦可以使用其它摻雜物。在下面的討論中將使用硼作為代表性摻雜物範例。然而，本揭示內容的通用性並不受限於以矽作為半導體或是以硼作為摻雜物。所有合理的替代例皆被視為本發明的態樣。舉例來說，在以矽作為半導體之中，摻雜物的範例包含，但是並不受限於：硼(B)、鋁(Al)、鎵(Ga)、以及銦(In)。在 n 型的晶圓之中，摻雜物的範例包含，但是並不受限於：磷(P)、砷(As)、銻(Sb)、以及鉍(Bi)。

【0021】 當該模具 110 加熱升溫時，例如，當其接觸該熱的半導體熔融物 116(舉例來說，已熔融的矽)時，摻雜物(例如，該模具裡面的硼 314(圖 3)或是模具塗層 112 的硼 114)會進入該熔融物 116，從而摻雜該熔融物 116 中緊鄰該模具 110 的區域 118b，因此，相較於在該熔融物 116 的本體 120(剩餘的區域)之中的硼的濃度，在該相鄰區域中的硼 114b 的濃度會相對較高。現在將先討論如圖 1A、1B、1C、以及 1D 中所示的實施例，其利用塗層 112。如圖 1C 中所示，於一非常短的時間內(舉例來說，數毫秒至數秒)，一半導體(舉例來說，矽)晶圓 100 會開始凝固於該模具 110 的表面 122。

【0022】 該模具能夠以其它方式被加熱(舉例來說，其能夠在接觸該熔融物之前先被預熱)。一般來說，有利的係，該模具在接觸液體矽時比該熔融物為冷，以便以最佳的方式進行熱抽出，並且因而凝固該已熔融的矽。此凝固過程會加熱該模具，使其從它的起始溫度處升溫度。

【0023】 硼在固體矽之中不會明顯地擴散。因此，如圖 1C 中所示，在固體晶圓 100 被形成之後，硼 114 便不再會從該模具/基板 110 處進入熔融物 116，因為固體矽 100 已經被形成在模具表面 122 上並且該固體矽會充當硼擴散屏障(這通常也是本文中所討論的其它摻雜物和半導體晶圓系統的情況)。一般來說，數微米的固體材料厚度便足以防止進一步擴散。此厚度剛開始可能僅出現在該模具表面上的多個分隔位置處；但是，很快地，在該模具上每一個地方的已凝固厚度便都足以防止進一步擴散。此時，在模具表面 122 接觸熔融物 116 之後，靠近晶圓 100 之成長表面 111 的熔融物 116 的區域 118c 之中的硼 114c 的濃度會小於出現在先開始形成晶圓 100 的區域 118b 之中的硼 114b 的濃度，如圖 1B 中所示，因為硼 114c 原子已經藉由對流擴散並且移動遠離模具 110 與成長晶圓 100 並且遠離靠近模具 110 和晶圓 100 之成長表面 111 的區域 118c，進入熔融物 116 之中。

【0024】 當晶圓 100 在後面數秒的時間段期間繼續成長時(也就是，變厚)，該形成中的晶圓 100 的新的額外區域會從靠近成長表面 111 的熔融物的新成長區域 118c、118d 被形成在表面 111 處，新的成長區域 118d 的硼濃度 114d 會隨著時間經過持續地變得越來越小。在每一個連續數量的成長晶圓之中，新成長區域 118 會越來越遠離模具，摻雜物的原始來源。摻雜物已快速地擴散至熔融物 116 的本體 120 之中，遠離模具 110。

【0025】 圖 2A 所示的係已成長的矽晶圓 100。每一個接續的新成長區域 118 之中的摻雜物持續地減少會在已成長的晶圓 100 之中建立摻雜物硼的梯度，如圖 2A 中所示，當該晶圓完成其構形時，硼的較高濃度會出現在靠近該模具 110 及其表面 122 的晶圓的部分 132 處，表面 132 係從該熔融物

116 的區域 118 處最先被凝固，其具有相對較高的硼濃度。在該已凝固晶圓 100 的表面 136 處則有較低的硼濃度，其係在熔融物 116 具有相對較低硼濃度的時候並且從熔融物 116 具有相對較低硼濃度的位置處該熔融物的區域 118(相對遠離模具表面 122，其具有該位置處的硼含量)處最後被凝固。

【0026】 前面的討論的已成長晶圓 100 的多個連續區域以及該熔融物的多個連續新成長區域 118 如同此些成長區域為分離、層狀區域，例如，多張薄紙；但是，實際上，晶圓的成長為連續的、逐個原子的方式，而且摻雜物擴散至該熔融物之中同樣為連續的、逐個原子的方式。被併入於該熔融物之中的摻雜物的數量相依於摻雜物擴散至該熔融物之中、遠離並且離開該熔融物之連續新成長區域的相對速率以及該半導體晶圓的成長速率。此兩個速率會受到該熔融物之中的摻雜物的擴散傾向、溫度、結晶成長速度、…等的影響。因此，在該晶圓之中的硼的濃度會從被形成在最靠近該模具處的表面 132 平緩地改變至比較深入於該熔融物裡面而被形成在比較遠離該模具處的表面 136(圖 2A 顯示該已形成晶圓的三個不同區域，其三個不同、不連續的摻雜物濃度，水平黑影線的鄰近性表示濃度，較接近的黑影線表示較大的摻雜物濃度。這並不意謂著實際上代表該已形成的晶圓，而且僅因為必須以黑白來表示實際情況的圖式限制關係，從被形成在靠近該模具處的表面 132 至被形成在比較遠離該模具處的表面 136 以一連串的灰階可以達成較佳的顯示效果)。

【0027】 圖 5 所示的係兩個不同晶圓(圖中表示為晶圓 1 和晶圓 2)的 p 型摻雜濃度，每一個晶圓在緊鄰模具、最先形成的晶圓部分處皆顯示約 $1 \times 10^{19} \text{Na/cm}^3$ 的濃度，它們以具有粗略為指數衰減形狀的平緩曲線下降，在

和該緊鄰模具、最先形成的晶圓部分相隔約 25 微米至約 150 微米的位置範圍中的濃度則介於約 $1 \times 10^{17} \text{ Na/cm}^3$ 與 $1.5 \times 10^{17} \text{ Na/cm}^3$ 之間。 N_a 相信可能高至 $1 \times 10^{20} \text{ Na/cm}^3$ ，並且亦可能在和該遠離該模具、最後形成的晶圓位置處；咸信，濃度亦可能低至 $1 \times 10^{15} \text{ Na/cm}^3$ 。單位 N_a 代表受體的數量，如同電子受體。在 n 型摻雜物中，對應單位為 N_d ，其代表施體的數量，如同電子施體(於下面的某些情況中，以及在申請專利範圍中，利用表示符號 N_x 來表示 N_a 或 N_d ，因為其情況可能相依於預期的究竟為電子施體或受體)。從圖中會看見，從相對較高濃度至相對較低濃度的轉變為平緩且連續。

【0028】 除了在上面提及的非常有限的類型中，並不知道以前曾利用 Stichting 方法生產過具有此摻雜梯度的半導體晶圓。如上面的討論，該方法製造的半導體具有非常不良的電氣特性。

【0029】 回想上面針對雜質和 Stichting 方法概述的假設性範例，摻雜差異相差十倍，且因此雜質也會有相同的差異，並且在該晶圓中有 5×10^{11} 個原子/ cm^3 的金屬，其會導致約 7 微秒的少數載子生命期，其造成 16.4% 的效率，根據本發明所製作的晶圓具有明顯較佳的特性。此晶圓在該晶圓中有 5×10^{10} 個原子/ cm^3 的金屬，其會導致約 70 微秒的少數載子生命期，其造成 18.4% 的效率。此範例為假設性，在任何真實的實體案例中可以採用其它係數，但是對照例比較恰當。

【0030】 於本發明的摻雜物輪廓晶圓中，倘若利用以 p 型材料摻雜的熔融物所形成的話，該晶圓會先被形成，並且接著，相反類型的材料(於此情況中為 n 型)會被創造於其中一個表面，從而創造一 p/n 接面。圖 2B 概略顯示本發明的 p/n 接面和摻雜輪廓之間的關係。針對如上面討論之具有一摻

雜輪廓由熔融物所形成的 p 型晶圓，晶圓 100 的 p 側(較多正電摻雜側)為側邊 242，其具有較高的 p 型硼摻雜物濃度，其被形成在比較靠近模具表面 122 處。該晶圓的 n 側(較少正電摻雜側，或是，較多負電側)則被形成在側邊 246，其具有初始較低的 p 型摻雜物硼濃度，其被形成在比較遠離模具表面 122 處。n 型（或是相反摻雜）部分 250 的形成能夠藉由任何習知的，或是即將開發，的方法來達成。一般來說，此區段的深度僅為約 0.5 微米厚。於一典型的應用中，該硼 p 型摻雜會提供約 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 的 N_a 。該 n 型摻雜會提供約 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 的 N_d 。因此，在側邊 246 處以該 n 型摻雜為主。p/n 接面 252 介於該 n 型部分 250 和具有初始較低 p 型摻雜物濃度的側邊 246 之間。此晶圓的面向太陽側為面向太陽的 n 型部分 250。圖中在和太陽所在處相反的側邊亦顯示一背表面電場部分 254（下面會更詳細地討論），其相鄰於具有初始較高 p 型摻雜物濃度的側邊 242。

【0031】 如上面的討論，此摻雜物梯度有好處，因為其會建立關於該些少數載子之導向該收集 p/n 接面的一電場。該電場會導致已產生的少數電荷載子優先朝該 p/n 接面移動。此有方向性的優先性會提高太陽能電池的收集效率。咸信，任何習知的熔融物摻雜方法皆無法達成此效應(於一 p 型半導體之中，該些少數載子為電子)。

【0032】 應該注意的係，探討該晶圓的主體裡面不同位置處的摻雜物濃度僅係說明其結構與特性的其中一種方式。另一種方式係探討在其整個主體中同樣該些不同位置處之該材料的電阻係數。同樣成立的係，由於不同的淨摻雜濃度的關係，在整個主體中的不同位置處之該晶圓的電阻係數會有對應且相關的差異。因此，該主體同樣會有電阻係數梯度，該梯度通

常和淨摻雜梯度反向。藉此，意謂著，電阻係數在較低摻雜物濃度的區域之中會較高，在較高摻雜物濃度的區域之中會較低。還應該注意的係，此些濃度梯度和電阻係數梯度雖然係由上面所述的熔融物凝固與分凝現象所產生；不過，比較難以測量一晶圓裡面不同位置處的材料濃度，但是卻非常容易測量整個主體中此些位置處的電阻係數(這能夠藉由測量一主體的電阻係數、移除一材料層、以及測量剩餘主體的電阻係數來達成，因而可以從差異中決定被移除的部分的電阻係數)。從此經決定的電阻係數中還可以決定該已被移除的層的材料濃度，也就是，摻雜濃度。逐層地進行便能夠測量並且因而決定整個主體的電阻係數輪廓，並且因而亦可以決定摻雜濃度輪廓。

【0033】 電阻係數與摻雜物或載子濃度之間的關係為決定性並且為非線性。下面的表 1 顯示電阻係數(ohm-cm)受體載子濃度(個原子/cm³)以及施體載子濃度之關係的一組代表性數值。

電阻係數 (ohm-cm)	受體濃度(個原子/cm ³) P 型摻雜物	施體濃度(個原子/cm ³) N 型摻雜物
0.001	1.15x10 ²⁰	7.36x10 ¹⁹
0.01	7.98x10 ¹⁸	4.38x10 ¹⁸
0.1	2.40x10 ¹⁷	7.77x10 ¹⁶
0.3	5.83x10 ¹⁶	1.87x10 ¹⁶
0.5	3.19x10 ¹⁶	1.04x10 ¹⁶
1	1.47x10 ¹⁶	4.83x10 ¹⁵
2	6.97x10 ¹⁵	2.31x10 ¹⁵
4	3.38x10 ¹⁵	1.13x10 ¹⁵
6	2.23x10 ¹⁵	7.43x10 ¹⁴
10	1.32x10 ¹⁵	4.41x10 ¹⁴

表 1—電阻係數和載子濃度之間的關係

【0034】 該關係亦能夠以關係圖來特徵化，例如，對數-對數圖。此關係圖顯示在 www.solecon.com/pdf/converting_resitivity_to_carrier_concentration_graph_sige.pdf。此網站顯示位於美國內華達州雷諾市的 Solecon Laboratories of Trademark Dr.的工作成果。本文以引用的方式將該處所顯示的關係圖完整併入。垂直刻度表示載子濃度/cm³，水平刻度表示電阻係數(ohm-cm)。載子濃度和電阻係數之間的關係通常顯示出較高的濃度和較低的電阻係數相關，反之亦然。在對數-對數刻度中，斜率通常為負數。相同半導體(舉例來說，鍺)的 n 型摻雜關係圖與 p 型摻雜關係圖通常會一致並且分開，p 型摻雜關係圖會往右移動，俾使得一般來說，在 p 型半導體中，針對在 n 型半導體之中的相同載子濃度會有較高的電阻係數。矽半導體的載子濃度和電阻係數之間的關係通常和針對鍺半導體所述的關係相同。該些數值係利用展阻分析(Spreading Resistance Analysis，SRA)來決定。作者解釋為計算矽的載子濃度數值，他們使用從 Thurber、Mattis、Liu、以及 Filliben 在 National Bureau of Standards Special Publication 400-64 之中所發表的「摻雜磷的矽以及摻雜硼的矽的電阻係數和摻雜物密度之間的關係(The Relationship Between Resistivity and Dopant Density for Phosphorus- and Boron-Doped Silicon)」(1981 年 5 月)之中的第 34 頁的表 10 以及第 40 頁的表 14 所推知的移動率數值。為計算鍺載子濃度數值，他們使用從 D.B. Cuttriss 所發表的 Bell System Technical Journal(1961 年 3 月)之中的第 509 頁所推知的載子移動率數值。

【0035】 上面所述的製程非常有效，不需要任何修正，便可用於從單一熔融物處製造一個或是少量的晶圓，並不需要調整熔融物組成。

【0036】 此製程所呈現的其中一項挑戰為，如果沒有經過修正，隨著

時間經過，當越來越多的晶圓被製作時，其會導致該熔融物之中的摻雜物(例如，硼)的濃度提高。那係因為在單一晶圓的生產時間期間，從該模具處被移除的硼並沒有於該時間區間期間全部被併入正在形成的晶圓之中。在該熔融物的摻雜物(舉例來說，硼)於基線摻雜位準中變得太濃之前，該熔融物之中的濃度累增便會限制能夠被成長的晶圓數量。確切地說，不論該摻雜物提供電子施體或受體，該熔融物皆已經變得太濃。最後會抵達平衡，於此時點，配合每一個晶圓的形成從該熔融物被移除的硼的數量會等於配合每一個晶圓成長循環從該模具處被加入該熔融物之中的硼的數量。在達到此平衡時的硼濃度通常會太高而無法從該有很多摻雜物的熔融物處製作優質的習知太陽能電池晶圓。

【0037】 為補償熔融物之中的此硼累增情況，某個數量(下面會明確說明)的不同材料會直接被加至該熔融物之中，該不同的材料於本文中稱為補償摻雜物，舉例來說，於硼為主要摻雜物的情況中，補償摻雜物為磷(如下面的解釋，於某些情況中，基於某種理由會有另一種補償摻雜物(針對不同的理由)，且因此，於某些情況中，即將要說明的此補償摻雜物可以被稱為第一補償摻雜物)。

【0038】 硼為元素週期表中第 III 族的成員，並且具有接受或接收一個電子的傾向。因此，硼係一電子受體。磷為元素週期表中第 V 族的成員，且因此，其有一個超額的電子能夠捐施給該熔融物。因此，磷係一電子施體。因此，磷會補償硼的超額電子受體，因為磷提供超額的硼易於接受的電子，因此，可以補償該些超額的硼受體。單一原子的磷會捐施單一電子，而單一原子的硼則會接受單一電子。

【0039】 以適當數額被加入的磷會補償超額的硼並且無限期地維持該晶圓構形製程在所希望的硼摻雜物位準處。用於補償的磷(補償、施體摻雜物)的數量(以原子的數量來計量)約等於在該熔融物之中的硼(超額、主要、接受摻雜物)的數量(以原子的數量來計量)乘以硼的分凝係數 k 並且除以磷的分凝係數(明確地說，硼的 $k=0.8$ ，而磷的 $k=0.3$)。

【0040】 以不同的方式來說，熔融物摻雜(如本案例，受體或施體的濃度可能相依於究竟為 p 型半導體或 n 型半導體)理想上應該保持在或者接近於在一模具或模具塗層的任何部分之中不含任何摻雜材料時被成長在該模具上的晶圓為高電阻係數的條件，例如，一般來說，在 n 型中，電阻係數大於 1 Ohm-cm，而在 p 型中，電阻係數大於 2 Ohm-cm。為達成此的目的，和出現在該模具或塗層之中的主要類型為相反類型的補償摻雜材料的數額應該較佳的係以下面關係式所述的濃度出現在該熔融物之中：

$$C_{cd} \text{ 約等於 } C_{md} * (k_{md}/k_{cd})$$

其中：

C_{md} 為模具主要摻雜物(舉例來說，硼)的熔融物濃度；

C_{cd} 為補償摻雜物(舉例來說，在上面的硼主要摻雜物範例中為磷)的熔融物濃度；

k_{md} 為模具主要摻雜物的有效分凝係數；以及

k_{cd} 為補償摻雜物的有效分凝係數。

【0041】 所生成的晶圓會具有可測量的硼濃度梯度(參見圖 5)，舉例來說，從約 $1 \times 10^{19} \text{ Na/cm}^3$ 至約 $1 \times 10^{17} \text{ Na/cm}^3$ 。因此，本文中所揭示之發明的其中一項觀點係一種製造商品，其為從其中一個表面至相反表面具有可測量

的主要摻雜物(例如，硼)濃度梯度的晶圓。事實上，介於在該熔融物側的摻雜和在該基板側的摻雜之間的合理最小差異為三倍。這會在含有相同數量受體的平坦摻雜輪廓中提高 0.1%的效率。該增益的大小相依於許多因素，例如，電池架構、晶圓的少數電荷載子、表面鈍化情況、…等。上面的範例（0.1%增益，前面與後面摻雜差異為 1/3）係利用 PERC 架構來達成。該增益可能不同於鋁質 BSF 架構。如上面提及，很難直接測量晶圓的主體裡面的摻雜物(例如，硼)濃度。因此，本發明藉由可測量的摻雜物濃度，其意義為摻雜物濃度能夠藉由下面方式來決定：藉由目前或是尚未開發的手段直接測量摻雜物濃度；或者，如上面的討論般，藉由逐層測量電阻係數，並且接著從該電阻係數中以特定的其它方式計算或是決定和該電阻係數相關聯的摻雜物濃度，例如，藉由參考諸如表 1 的表格或是關係圖，並且因而匯編成一電阻係數梯度輪廓以及一摻雜物梯度輪廓。

【0042】 該補償摻雜物應該定期性或連續性地添加，以便匹配來自該模具的摻雜物的增加速率。

【0043】 因此，本文中所揭示之發明的另一項觀點係一種製作品圓的方法；以及本文中所揭示之方法發明的更明確觀點係一種製作具有可測量的摻雜物(例如，硼)梯度濃度或是電阻係數的晶圓的方法，如上面所述；以及本文中所揭示之特殊的方法發明係一種隨著時間經過從熔融物處生產複數個此些晶圓的方法，即時越來越多的晶圓被製作並且有更多的主要摻雜物進入該熔融物，仍可維持相對雷同的摻雜輪廓與電阻係數輪廓。

【0044】 現在討論會被併入於該晶圓之中的摻雜物來源的位置，典型的位置如圖 1A 中所示，其為模具 110 的形成表面 122 上的塗層，或者如圖

3 與 4 中所示，其位在模具 110 的主體裡面的某個地方，當加熱該模具時，該摻雜物能夠在該位置中移動經過該模具的主體，以便離開該模具並且摻雜熔融物 116。因此，如圖 1A 中的 114 處所示，摻雜物 114 可能在模具 110 的塗層的最外層 112 之中，例如，釋放層(release layer)。或者，如圖 3 中所示，其可能位在模具 310 的主體 314 裡面，其可能均勻地分佈或者位在多個比較高濃度的區域之中，例如，越靠近形成表面 322 的濃度會越高。或者，如圖 4 中所示，其可能位在該模具的塗層的一埋沒層 414 之中，而另一層 424(例如，釋放層)則在表面處。

【0045】 更明確地說，模具 310 本身會含有揮發性的含硼化合物 314，例如：氧化硼、氮化硼、硼、硼酸、以及硼矽酸鹽玻璃。或者，甚至除此之外，緊密接觸熔融物的模具塗層 112 會含有揮發性的硼化合物以及可溶解於矽之中(於形成矽晶圓的情況中，否則，則為可溶解於要被形成的半導體之中)的硼化合物，其包含：氧化硼、氮化硼、硼、硼酸、硼矽酸鹽玻璃、碳化硼、以及矽化硼。又於進一步替代例之中，甚至額外例之中，沒有緊密接觸熔融物的模具塗層區域 414 亦會含有揮發性的硼化合物，其包含：氧化硼、氮化硼、硼、硼酸、以及硼矽酸鹽玻璃。

【0046】 和摻雜物的位置有關，必須探討的另一重要主題為其從該模具處通往或是遷移至已熔融材料的形態。咸信有三種不同的主要可能形態存在。其中一種形態為摻雜物溶解於該已熔融的矽之中，接著，進一步擴散至該熔融物之中。咸信，此溶解與擴散形態會提供許多好處。第二種形態為從該模具處擴散至該熔融物的液體之中。第三種形態為從該模具處蒸發至該熔融物，其為目前最不好的形態。

【0047】 依序參考此些形態之中的每一者，最佳的形態為來自該模具的摻雜物(例如，具有 B_4C (碳化硼)或是 B_4Si (矽化硼)的形式)從該模具處(例如，來自塗層)溶解於熔融物之中。於該熔融物裡面，該摻雜物會分解成其多種組成成分，並且該摻雜物(例如，硼)會進一步擴散至已熔融材料的主體之中。其它構成元素(例如，C 或 Si)同樣會擴散，擴散至使得該熔融物沒有充滿該些構成元素的程度，如同本案例。此形態的優點係，被製造在同一個模具上的每一個晶圓會接收相同數量的摻雜物，不同於其它形態(例如，在下面提及的第三種形態中會針對較早被製造的晶圓釋放較多的摻雜物)。

【0048】 在第二種形態中，摻雜物會從該模具處直接擴散至該液體之中，其可以從一塗層或是從該模具本身擴散至該熔融物之中，該第二種形態被認為比較不可能，雖然並非所有材料，不過，因為大部分的材料僅以擴散以外的特定模式進入該熔融物，例如，藉由溶解或是蒸發。於任何情況中，在摻雜物實際接觸該熔融物的所有模式中，擴散仍會某種程度地發生。

【0049】 第三種形態為直接蒸發，該形態並不合宜。舉例來說， B_2O_3 (氧化硼)或 BN(氮化硼)雖然可以被加熱至某個程度，從其在該模具上(舉例來說，在塗層之中)或是該模具之中的位置處直接蒸發成為氣體，直接前往該已熔融的半導體材料之中；但是，此形態並不合宜，因為預期會難以控制摻雜物被釋放至該熔融物之中的程度。全部的摻雜物來源會同時全部被加熱並且藉由蒸發而釋放硼，並非僅有接觸該熔融物的摻雜物來源部分。因此，該模具第一次被加熱時會有比較多的摻雜物被釋放，舉例來說，小顆粒會在一次加熱循環之後便消失。或者，該製程會因該些摻雜物顆粒

擴散至該模具表面而受限。

【0050】 和摻雜物的位置以及形態兩者有關的某些範例會有助瞭解。在來自直接接觸該熔融物的模具塗層(例如，釋放塗層(例如，圖 4 中所示的層 424 或是圖 1B 中所示的層 112))的摻雜中，當需要最少的蒸氣傳輸時，合宜的摻雜物來源為 Si_3N_4 或 SiO_2 塗層材料以及 B_4C 或 SiB_4 摻雜物。在來自沒有直接接觸該熔融物的模具塗層中的任意層(例如，圖 4 中所示的層 414)的摻雜中，合宜的摻雜物來源為 Si_3N_4 或 SiC 塗層材料以及 B_2O_3 或 BN 摻雜物。在來自該模具而非塗層(例如，圖 3 中所示的 314)的摻雜中，合宜的模具材料為 SiC 以及 B_2O_3 或 BN 摻雜物。

【0051】 上面所述的基礎方法同樣分別適用於硼以外的任何其它 p 型主要摻雜物(例如，鋁(Al)、鎵(Ga)、銦(In))並且利用任何合宜的 n 型摻雜物來補償該熔融物(磷(P)、砷(As)、銻(Sb)、鉍(Bi))。然而，B 與 P 被認為最有利於用來成長矽晶圓，因為它們在矽的所有有效摻雜物中具有數值最高的分凝係數(具有相對較高分凝係數的元素在凝固期間的分凝相對小於其它元素，且因此，具有最高分凝係數的元素在凝固期間會分凝最少)。因此，在凝固時，對照於使用具有數值較小的分凝係數的元素(具有較大的分凝傾向)所導致的情況，摻雜物 B 和補償摻雜物 P 會相對均勻地分散在該結晶裡面。亦可以使用雷同但是相關的製程來製作主要為 n 型摻雜的晶圓。於此情況中，由該模具或是其上的塗層所提供的主要摻雜物會是 n 型摻雜物(例如，P、As、Sb、Bi)，而熔融物補償摻雜物則為 p 型摻雜物(例如，B、Al、Ga、In)。

【0052】 下面的表 A 顯示用於 p 型半導體和 n 型半導體的代表性主

要摻雜物和補償摻雜物以及它們的個別分凝係數。

P 型		N 型	
主要摻雜物	補償摻雜物	主要摻雜物	補償摻雜物
B(0.8)	P(0.3)	P	B
Al(.002)	As(0.3)	As	Al
Ga(0.008)	Sb(0.023)銻	Sb 銻	Ga
In(0.004)	Bi(0.007)	Bi	In

表 A—摻雜物以及平衡分凝常數

【0053】 此種摻雜半導體材料的方法可以套用於能夠從熔融物中成長的任何半導體，其包含：矽(Si)、鍺(Ge)、砷化鎵(GaAs)、…等。從矽以外的半導體材料處成長半導體晶圓/主體需要利用不同的摻雜物(舉例來說，以矽作為 GaAs 晶圓的主要摻雜物)以及不同的補償摻雜物材料。

【0054】 下面的表 B 顯示能夠作為摻雜元素來源的化合物。x 標記的意義為化合物有存在，舉例來說，碳化硼、氧化硼、…等(相反地，P、As、Sb、Bi 則沒有矽化物)。亦可以使用純元素，並且可以利用任何該些純元素來摻雜 Si、C、O、N 的任何化合物以及作為摻雜物來源。表列中的某些化合物雖然存在，但是，因為低穩定性、會和濕氣反應、有毒性、…等的關係而不實用。

元素	B	Al	Ga	In	P	As	Sb	Bi
碳化物	X	X	X	X	X	X	X	X
氧化物	X	X	X	X	X	X	X	X
氮化物	X	X	X	X	X	X	X	
矽化物	X	X	X	X				

表 B—摻雜元素的化合物

【0055】 本文中所揭示之發明提供許多好處。其中一項好處為提供有利的電場，其會改良少數載子收集，並且因而改良太陽能電池的效率。另一項好處為在較低電阻係數處有較高的效率，其暗喻著可以達成較高的填充因子(fill factor)。本發明亦可以和類 PERC 製程協同操作(較低的電阻係數有利於類 PERC 電池架構，PERC 代表鈍化射極背面接觸(Passivated Emitter Rear Contact，PERC))。

【0056】 本發明的另一項好處和摻雜物(或是其相關聯的電阻係數)的梯度能夠自動造成鈍化電場有關(從被形成在最靠進模具處的晶圓部分之中的超高摻雜濃度中可獲得證明，如圖 5 中所示的曲線之中的左手邊所示)。鈍化電場會減少背表面處的再結合。好處係，不需要並且可以消除在電池處理期間依照慣例會套用的習知鋁質 BSF(背表面電場)。這因而會減少在典型電池構形之中的步驟數量。

【0057】 此處會產生另一項優點。倘若該 Al BSF 不需要存在的話，那麼，可以在晶圓的背部使用一開放格柵接觸區，從而允許長波長光通過該電池並且在該模組背部的一有效反射薄板處被反射，並且接著再次反向

通過該電池。下面會更詳細討論此優點。

【0058】 本發明亦能夠在該晶圓的整個厚度之中提供摻雜（以及其相關聯的電阻係數）梯度，其被稱為背表面電場(BSF)。圖 6A 概略顯示一種併入 BSF 的已知太陽能電池 600 的剖面圖。BSF 係由該太陽能電池之背部(背對太陽的表面)有特別高摻雜物濃度的區域 662 所創造，其會在該電池的該背部處的半導體材料裡面創造一強烈的電場。此電場會斥退接近該電池之背部的少數載子並且防止它們之中的大多數抵達該半導體材料之非常後面的背表面 664。這非常重要，因為倘若它們底達此背表面 664 的話，它們便有很高的可能性會在此表面處再結合，且因此，不能再用來於一外部電路之中創造電流。

【0059】 漂移電場和背表面電場兩者皆依賴於該晶圓的整個厚度之中的摻雜密度的空間變異，較高的摻雜密度朝向該電池的背部，而較低的摻雜密度則朝向該電池的正面。然而，兩個電場在數個重要方面並不相同。首先，當其延伸經過晶圓的厚度時，漂移電場會最有效，因為其會將該些少數載子和緩地推向收集接面(而並不會讓它們只受到擴散作用)。相反地，BSF 則侷限在一電池晶圓的背部部分。舉例來說，在 180 至 200 微米厚度的電池晶圓中，該電池晶圓的 BSF 區域可能為 1 至 10 微米厚，典型的厚度為約 5 微米。進一步言之，在 BSF 之中的摻雜位準非常高，以便創造一高電場，其接著會有效地將該些少數載子朝正面斥退。事實上，此摻雜位準非常高，因此，其會負面影響該電池的此後面部分之中的少數載子擴散長度(或是生命期)。不過，對於裝置效能的淨影響仍然非常正面，因為擴散長度縮短僅為電池非常後面之中的局部情況並且因為該 BSF 本身會最小化進入此

區域的載子的數量。相反地，漂移電場之中的較低摻雜位準對少數載子擴散長度則有相對極小的負面影響。此 BSF 電池顯示在圖 6A 之中。

【0060】 創造 BSF 的最常見方式為將鋁漿網印在晶圓的背面並且於帶狀爐(belt furnace)之中對其進行加熱。這會導致一具有非常高的鋁(p 型摻雜物)摻雜密度的矽質區域 662。此外，在此區域後面則為一鋁矽合金層 668(多數為共晶組成)。此鋁合金區域 668 充當該電池的後方接觸區/導體。不幸地，針對此習知 BSF 電池的操作來說，該鋁矽合金並非特別優良的光學反射器，其反射係數為約 60%。因此，在其第一次通過電池主體 652 中沒有被吸收的紅外光之中的 40%會被此後方接觸區吸收並且無法在第二次傳送中反向移動經過該電池主體 652。這會大幅地限制由該電池所產生的電流並且小額限制電壓。該電池之面向太陽的表面可以具備一有紋理結構的表面 650 並且具有電氣接觸指狀部 670。

【0061】 如圖 6B 中所示，本發明的向內成長摻雜(grown-in doping)會提供一有摻雜輪廓的區域 682，其充當 BSF，但是卻沒有上面提及的缺點。於特定的實施例中，此具有特別高摻雜的區域 682(用於背表面)會連同在該電池晶圓的整個厚度中具有輪廓漂移電場摻雜的一更廣闊區域 692 一起被創造(如圖 6B 中所示，為簡化起見，區域 692 雖然沒有任何的摻雜輪廓圖形代表符；然而，應該瞭解的係，如上面討論般，其會具有雷同於如圖 2A 與 2B 中所示之平緩或較不平緩的摻雜輪廓)。於其它實施例中，來自模具或模具塗層的摻雜物流出量會被設計成非常狹窄地侷限在該電池晶圓的背部。接著，這能夠被用來創造一具有顯著摻雜的 BSF 區域 682，並且亦可被用來創造一僅有非常輕微摻雜的漂移電場區域 692，俾使得雖然有一漂移電場，

不過，其梯度卻非常地平緩或是不會驟變。或者，兩種效應能夠利用相同的摻雜圖樣或是利用不同的摻雜圖樣來達成。

【0062】 有數種方法可用來創造向內成長摻雜，其可充當 BSF。典型的 BSF 具有約 1×10^{18} 個受體/cm³。為達成此目的，大量的受體摻雜物(例如，硼)會被提供在該模具裡面。相較於前側摻雜，為增強背側摻雜，在初始凝核(initial nucleation)之後，該半導體結晶會相對緩慢地被成長，其提供較多的時間給已存在於該熔融物之中的受體更深入地擴散至該熔融物之中，遠離正在凝固的結晶，因此，相較於緊密相鄰於該模具被成長的初始層，該結晶之中的多數會有較低的受體(硼)濃度。BSF 的強度和在該背部處的摻雜及在該晶圓的本體之中的摻雜的比例成正比。此外，或者，如下面的討論，藉由在較早期的凝固部分期間提供較高的真空(或是壓力差異)亦能夠強化凝核作用。當從中凝固該主體的熔融物部分之中接近該模具的摻雜物濃度形成時，這會導致較早開始結晶凝固與成長。隨著時間經過或是在不同的位置改變真空(或是差動壓力系統)的技術在上面引用之由 Sachs 等人所獲頒的專利案第 8,293,009 號之中說明過。所製作的晶圓在被形成於該模具面旁邊的晶圓表面處的載子濃度為 1×10^{18} 個受體/cm³。

【0063】 前面提及在凝固期間調整真空壓力或是差動壓力系統。這引用到在第 8,293,009 號專利案之中所揭示的方法。在該案之中所述的模具的好處係有孔(如下面的討論)。壓力差異被提供在接觸該已熔融材料之表面的模具表面以及該模具背表面之間，俾使得在接觸時，已熔融材料會朝該模具面被吸取。該模具的有孔性會使得已熔融材料不會被吸至該些孔洞之中。因為該些孔洞很小足以使得表面張力和其它現象會防止該已熔融材料

在該材料凝固之前進入該些孔洞，所以，可以達成此目的。儘管它們的個別尺寸很小，不過，它們的數量亦夠多而足以能夠建立壓力差異。該壓力差異能夠藉由提供真空來建立；或者，藉由提供該已熔融材料的表面在大氣壓力以上的某個壓力處而該模具的相反表面在較小的壓力處來建立，俾使得該壓力差異會提供一作用力，強制該已熔融材料朝該模具面移動，並且因而強制已凝固的主體朝該模具面移動。相較於沒有壓力差異的情況(其提供較快速的凝固作用)，藉由提供此壓力差異，介於該已熔融材料與該模具面之間的接觸力會增強。在跨越該模具面的多個獨特位置處亦能夠藉由各種手段(例如，在該模具面之中的特定位置處的熱插件或空隙)來提供增強的壓力差異，不同於其它未增加的位置。有孔的意義為一主體充滿非常小的開孔以及通道，使得有連續的路徑存在用以讓氣體從模具的其中一個表面流動至另一個表面。該些孔洞非常的小。它們通常為微米等級，例如，直徑十微米，一直到可能為三十或四十微米的直徑。它們的數量眾多，以便覆蓋該模具的表面並且通過它的主體的龐大體積。該些通道為扭曲的，例如，在天然的海綿中一般。如本文中的定義，有孔並不包含從其中一個表面通往另一個表面之肉眼可見的簡易開孔，例如，鑽鑿貫穿該模具主體的開孔。

【0064】 圖 6B 顯示一種電池晶圓 601，其具有一 BSF 區域 682 並且具有一後方電極 698，其具有指狀部 671 的形式，雷同於前方、面向太陽的電極 699 的指狀部 673，該些面向太陽的電極 699 同樣顯示指狀部。一光學(通常為白光)反射器 695(其可能為鏡射或是擴散)位在後方電極 698 的後面(以太陽為基準)。此反射器可以為在囊封該模組期間所使用的背部薄板。在

該電池晶圓的背部與該反射器之間可能會有一實體空間 687 或者可能沒有任何空間。依此方式，在它們第一次通過矽的主體 693 中沒有被吸收的光子會離開該電池晶圓，被該光學反射器 695 反射並且從該背表面處重新進入該電池晶圓，第二次通過該矽主體 693 並且會有額外的機會被吸收。於此情況中，該背部接觸區之大部分的光學反射係數係由被放置在該電池晶圓後面的材料 695 的反射係數來操控，其能夠大於 90%，並且於許多情況中，其會大於 95%。該電池晶圓之面向太陽的表面可以具備一有紋理結構的表面 651，雷同於圖 6A 中所示的先前技術實施例。

【0065】 圖 7 以關係圖顯示兩種電池類型的量子效率(Quantum Efficiency, QE)測量結果。圖 6A 中所示之結構的光響應在圖中以虛線顯示並且大體上位於另一條曲線的內側。圖 6B 中所示之具有向內成長 BSF 以及反射性背部薄板的本發明的結構的光響應則以實線顯示，並且大體上位於另一條曲線的外側。因此，如圖中所見，圖 6B 中所示之本發明的結構的電池的光響應較高。高 QE，如預期般，位在關係圖 900nm 至 1200nm 中的頻譜波長的紅外光區域之中一因為能夠穿透至該電池之背部的便係此些較長的波長。該結果為一較高效率的電池。

【0066】 在本技術中已經知道晶圓的基礎電池結構，以及特定形式的 BSF，舉例來說，藉由在接觸區加熱步驟期間由鋁合金來提供，背部有一開放區域、一類格柵電極、以及一反射器。其範例為 PASHA 電池結構。同樣已知的係，藉由一分開的摻雜步驟來提供一 BSF，以便在接近該電池的背表面處提供較重的摻雜。為創造此結構，需要利用此分開的摻雜步驟。不需要利用分開的摻雜步驟來創造此有摻雜的 BSF 以達相同目的被視為係本

文中的發明，換言之，藉由在該晶圓的成長階段期間創造該 BSF 以及該漂移電場，如上面的解釋。因此，本文中的另一發明係關於一種新穎且非顯見之製造此結構的方法，其中，為創造該 BSF 所需要的摻雜係在根據上面討論之方法的晶圓成長過程期間被創造。

【0067】 經確定的係，在任何特殊的系統中，例如，利用矽作為半導體，以硼作為主要摻雜物，並且以磷作為補償摻雜物，皆可能會發生非所希望的情況。請回想，當從相同的晶舟(vessel)和熔融物之中製作許多次晶圓時，補償摻雜物會隨著時間經過被加入至該熔融物的本體之中，以便讓從此相同熔融物處所製作出來的一連串晶圓之中的每一個新製作晶圓的電阻係數會保持相同。儘管隨著時間經過在該熔融物之中的主要摻雜物(舉例來說，硼)的累積會增加，仍然必須達成此目的。

【0068】 該非所希望的現象為，分凝係數低於該主要摻雜物的補償摻雜物會比較強烈地分凝至晶粒邊界。舉例來說，參見圖 8A，圖中概略顯示一 Si 結晶 800，以及位在晶粒邊界 860 處的累積低分凝係數補償摻雜物 D。這通常係非所希望的，因為在晶粒邊界 860 附近的補償摻雜物 D 的較高濃度會導致在該補償摻雜物所需要的載子類型 D(於 P 的情況中，此些摻雜物為施體，且因此，使用字母 D 來表示它們)的晶粒邊界附近有較高的濃度。就此來說，在該些晶粒裡面會建立一朝向該些晶粒邊界的電場，且因此，少數載子將被吸取至該些邊界。此情況為非所希望的，因為那裡並不是希望引導此些載子的地方。它們將被引導遠離具有較高濃度之受體摻雜物 A 的晶圓的表面 242，朝向 p/n 接面(尚未形成，且因此，圖 8A 中並沒有顯示)，該 p/n 接面將被形成相鄰於表面 246，其具有較低濃度的受體摻雜物 A。

【0069】 已經確定的是，此非所希望的效應能夠藉由提供第二補償摻雜物的反直覺步驟來克服，該第二補償摻雜物在本文中稱為逆補償摻雜物，舉例來說，於 Si/B/Ph 系統中，逆補償摻雜物為鋁(Al)。鋁為和該主要摻雜物相同類型的載子施體/受體。因此，鋁為受體，和硼一樣。要有最大的好處，該逆補償摻雜物的分凝係數的數值小於該第一補償摻雜物的分凝係數的數值，並且數值盡可能接近該第一補償摻雜物的係數的數值。因為具有數值較小的分凝係數，所以，該逆補償摻雜物會以比該補償摻雜物更為強烈的方式遷移至晶粒邊界。因此，其受體/施體會抵消、補償來自此些邊界處之相對高濃度補償摻雜物的超額程度的施體/受體。

【0070】 於該主要摻雜物的分凝係數的數值小於該第一補償摻雜物的分凝係數的數值的情況中，並不需要使用第二逆補償摻雜物(且因此，該補償摻雜物簡稱為補償摻雜物，而非第一補償摻雜物)。在矽半導體之中的一種非常實用的組合為使用者硼作為主要摻雜物，以磷作為補償摻雜物，以及以鎵(Ga)作為第二逆補償摻雜物。B 具有最大(最小分凝)的分凝係數，數值為 0.8，接著為 P 的 0.3，以及 Ga 的 0.008。

【0071】 下面的表 C 顯示如表 A 中所示之 P 型半導體結晶(例如，矽)以及 N 型半導體結晶兩者的主要(基板)摻雜物、補償摻雜物、以及第二逆補償摻雜物的不同組合，但是，表 C 中有關於該些逆補償摻雜物的進一步資訊。每一個元素的分凝係數同樣被提供在該元素第一次出現處。

P 型			N 型		
主要 摻雜物	補償 摻雜物	逆補償 摻雜物	主要 摻雜物	補償 摻雜物	逆補償 摻雜物
B (0.8)	P (0.3)	Al	P	B	As
Al (.002)	As (0.3)	Ga	As	Al	Sb
Ga (0.008)	Sb (0.023)	In	Sb	Ga	Bi
In (0.004)	Bi (0.007)		Bi	In	
B (0.8)	P (0.3)	Ga			

表 C—P 型半導體以及 N 型半導體的主要摻雜物、補償摻雜物、以及逆補償摻雜物的組合

【0072】 上面表 C 之中所列的化合物能夠被用來提供逆補償摻雜物以及主要摻雜物和補償摻雜物。於 n 型摻雜物與 p 型摻雜物被加入至熔融物之中的情況中，會使用一種化合物半導體來加入該第二逆補償摻雜物。舉例來說，配合硼主要摻雜物，可以使用 InP(磷化銦)。磷會提供補償摻雜，而銦則提供逆補償，其方式和上面表格之中的 Ga 相同。但是，P 和 In 係以化合物被提供，而非個別的添加劑。

範例

【0073】 本發明的方法已經成長出晶圓並且製作出太陽能電池。太陽能電池在非常低電阻係數處具有高效率。舉例來說，利用此方法被製作在晶圓上的太陽能電池的平均本體電阻係數僅為 0.3 Ohm-cm，其比電阻係數

為 2.2 Ohm-cm 的控制晶圓高出 2%的效率。圖 5 中概略所示的摻雜輪廓係藉由逐層移除矽並且測量剩餘晶圓的電阻係數所測得。一般來說，較低的電阻係數出現在較高摻雜物濃度的區域之中，而較高的電阻係數則出現在較低摻雜物濃度的區域之中(摻雜係藉由測量電阻係數來測量，因為測量已形成的晶圓之中的材料的濃度非常困難，然而，逐層測量電阻係數卻沒有特別困難。因此，當探討本文中的申請專利範圍侵權時，出現在從其中一個表面至另一個表面的電阻係數輪廓可被視為摻雜物濃度之對應輪廓的證據。再者，呈現出在其中一個表面處(通常係背表面，而非面向太陽的表面，p 型晶圓之中於該處會有較高的摻雜物濃度)有較小電阻係數並且在另一個表面處(於此情況中為面向太陽的表面)有較高電阻係數之電阻係數輪廓的晶圓則會被視為本文中的發明，包含此些晶圓的太陽能電池以及製作此些晶圓的方法同樣被視為本文中的發明)。

【0074】 平均淨受體濃度為約 $5 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ ，在背表面(被形成在面向模具側)處有約 10 倍的摻雜。該電池具有鋁質背表面電場，並非向內成長 BSF，同樣如上面的討論。硼摻雜物為約 5×10^{18} 個原子/ cm^3 。雜質含量為最小，並且於任何情況中皆小於出現在平衡分凝處之數額的 10 倍。補償摻雜物的範圍從零(在該次運作的剛開始處)至該次運作結束時(其中，會製作出約 2,000 片晶圓)的約 1×10^{18} 個原子/ cm^3 。

【0075】 本文中所揭示之發明可解決許多問題。本文中的發明可以低成本從該已形成的晶圓的其中一個表面至另一個表面建立一摻雜物梯度。目前為止，已知用於在矽晶圓之中建立摻雜物梯度的方法皆會導致低品質的矽(例如，摻雜鎵的 RGS(基板矽晶帶成長法))，或者，非常昂貴(磊晶成長

的矽)。

【0076】 應該注意的是，用於提供晶圓一摻雜位準輪廓的許多/任何前面技術能夠用於任何其它應用。舉例來說，提供摻雜物給模具(舉例來說，在塗層之中、在模具的主體之中、或者在模具的表面附近)的任何形態能夠用於隨著時間經過來補償該熔融物之中的超額摻雜物的任何方法之中，以及同樣地，用於逆補償該補償摻雜物之過度分凝至晶粒邊界的任何方法亦能夠用於提供摻雜輪廓的任何其它方法。提供摻雜物至某個程度並且在多個位置中提供摻雜物用以創造 BSF 能夠用於任何的摻雜物補償技術，並且亦可用於抵消累積在該些晶粒邊界處的補償摻雜物。用於形成具有任何曲線或形狀的摻雜物輪廓的技術能夠用於補償技術及逆補償技術，並且亦可用於形成 BSF 的方法。

【0077】 本揭示內容說明與揭示一種以上的發明。該些發明會在以本揭示內容為基礎的任何專利申請案之申請過程期間所提申以及開發的本文件和相關文件的申請專利範圍之中被提出。發明人希望在稍後會決定之先前技術所允許的限制範圍內主張所有該些各種發明。對本文中所揭示的每一個發明來說，本文中所述的任何特點皆非必要條件。因此，發明人不希望在以本揭示內容為基礎的任何專利案的任何特殊專利項之中沒有主張之在本文中所述的任何特點會被併入於任何此些專利項之中。

【0078】 舉例來說，漂移電場的發明並非 BSF 的發明的必要條件；反之亦然。漂移電場能夠被建立為非常平緩，並且不具有極高摻雜的 BSF。BSF 會具備一相對高摻雜的區域，並且該晶圓之中的其餘部分會相對均勻，基本上沒有任何漂移電場，或者，僅具有輕微程度的漂移電場。在熔融物

之中未必要提供補償摻雜物，不論係在單晶圓構形或者在一連串晶圓構形之中，只要在該熔融物之中的主要摻雜物的濃度不會太大而無法形成優質晶圓即可。亦能夠使用其它摻雜物補償方法。同樣地，未必需要利用逆補償方法(本文中揭示提供一種具有更小分凝係數的逆摻雜物)來防止晶粒邊界處的補償摻雜物的超額累積。在某些應用中可以容忍此累積，或者，可以利用其它方法來抵消該累積。

【0079】 某些硬體的組裝件或是由多個步驟組成的群組在本文中雖然被稱為發明；然而，這並非承認任何此些組裝件或群組皆為必定可取得專利的不同發明，明確地說，必須遵照法律和法規對專利申請案之中要被檢視的發明數量的規範，或者，發明的單一性(unity of invention)。簡單地說，其被預期為本發明的實施例。

【0080】 本文有提出本發明的摘要說明。應該強調的係，此摘要說明以符合摘要說明的規則被提供，其讓審查人及其它檢索人快速確認本技術性揭示內容的主要內容。應該瞭解的係，如專利事務所法則之許諾，其並非用來詮釋或限制申請專利範圍的範疇或意義。

【0081】 前面的討論應該被理解為解釋性並且不應被視為有任何限制意義。本文中雖然已經參考本發明的較佳實施例來特別顯示與說明本發明；不過，熟習本技術的人士便會瞭解，可以於其中進行形式和細節的各種改變，其並沒有脫離申請專利範圍所定義之本發明的精神與範疇。

【0082】 下面的申請專利範圍之中的所有手段或步驟與功能要件的對應結構、材料、動作、以及等效例希望包含用於結合明確主張之其它已主張要件來實施該些功能的任何結構、材料、或是動作。

發明觀點

【0083】 本發明的下面觀點將在本文中作說明，而且此段落係用來確保該些觀點會被提出。雖然以雷同於申請專利範圍的方式來呈現；不過，本文中將其稱為觀點。然而，申請人保留在未來的某時點於本申請案及任何相關申請案中主張任何與所有此些觀點的權利。

【0084】 A1.一種製作半導體晶圓作為太陽能收集器的方法，該方法包括下面步驟：

- a. 提供一熔融的半導體材料，其具有一表面；
- b. 提供一模具，其包括一形成表面，該模具還包括一以該半導體材料為基準的主要摻雜物；
- c. 讓該形成表面接觸該熔融的材料，俾使得該摻雜物會從該模具處遷移至該熔融的半導體材料之中；以及
- d. 保持多項條件，俾使得具有晶圓之形式的半導體材料的主體會凝固在該形成表面之上，其第一表面會接觸該形成表面，該晶圓具有一摻雜物濃度輪廓，在該晶圓的該第一表面處有較大的摻雜物濃度，而在該晶圓的一第二表面處則有較小的摻雜物濃度。

【0085】 A2.一種製作半導體晶圓作為太陽能收集器的方法，該方法包括下面步驟：

- a. 提供一熔融的半導體材料，其具有一表面；
- b. 提供一模具，其包括一形成表面，該模具還包括一以該半導體材料為基準的摻雜物；

- c. 讓該形成表面接觸該熔融的材料維持一段接觸時間持續長度，俾使得摻雜物會在該接觸時間持續長度中的至少一部分之中從該模具處遷移至該熔融的半導體材料之中；以及
- d. 保持多項條件，俾使得具有晶圓之形式的半導體材料的主體會凝固在該形成表面之上，該晶圓具有一電阻係數輪廓，在該晶圓的一第一表面處有相對較小的電阻係數，而在該晶圓的一第二表面處則有相對較大的電阻係數。

【0086】 A3.根據第 1 項與第 2 項觀點之中任一項觀點的方法，其進一步包括將該已凝固的晶圓與該形成表面分開的步驟。

【0087】 A4.根據第 1 項至第 3 項觀點之中任一項觀點的方法，該模具在其中一個表面上包括一塗層，該塗層含有該主要摻雜物。

【0088】 A5.根據第 1 項至第 3 項觀點之中任一項觀點的方法，該模具進一步包括一主體，其中，該主要摻雜物分散在該模具主體裡面。

【0089】 A6.根據第 1 項至第 3 項觀點之中任一項觀點的方法，該模具進一步包括一主體，其中，該主要摻雜物位在該模具主體裡面，其在其中一個表面附近有較高濃度。

【0090】 A7.根據第 1 項至第 6 項觀點之中任一項觀點的方法，該保持多項條件的步驟包括以讓半導體正在凝固的主體充當擴散屏障的形式在該模具處提供該主要摻雜物，俾使得當該正在凝固的主體成長時，主要摻雜物剛開始會以第一速率遷移至該熔融的材料以及該正在凝固的主體之

中，並且而後，主要摻雜物會以越來越小的速率遷移至該熔融的材料以及該正在凝固的主體之中，俾使得相較於較晚凝固的主體部分，較早凝固的主體部分的每個單位體積會有相對較多的主要摻雜物。

【0091】 A8.根據第 1 項至第 7 項觀點之中任一項觀點的方法，該主要摻雜物包括僅為施體類型與受體類型之中其中一種類型的電荷載子，其進一步包括：

(在適當時)進行(第 1 項觀點或第 2 項觀點的)步驟 a、b、c、以及 d 至少兩次；

於該熔融的材料之中提供具有相反電荷載子施體/受體類型之某個數量的補償摻雜物給該主要摻雜物。

【0092】 A9.根據第 8 項觀點的方法，其進一步包括於該熔融的材料之中提供具有相反電荷載子施體/受體類型之某個數量的逆補償摻雜物給該補償摻雜物的步驟。

【0093】 A10.根據第 9 項觀點的方法，該些補償摻雜物和逆補償摻雜物各有一平衡分凝係數，該逆補償摻雜物的平衡分凝係數等於或小於該補償摻雜物的平衡分凝係數。

【0094】 A11.根據第 8 項觀點的方法，其中，提供某個數量的補償摻雜物的步驟係藉由以根據下面關係式的濃度 C_{cd} 在該熔融物之中提供該補償摻雜物而完成：

$$C_{cd} \text{ 約等於 } C_{md} * (k_{md}/k_{cd})$$

C_{md} 為主要摻雜物的熔融物濃度；

C_{cd} 為補償摻雜物的熔融物濃度；

k_{md} 為主要摻雜物的有效分凝係數；以及

k_{cd} 為補償摻雜物的有效分凝係數。

【0095】 A12.根據第 1 項觀點的方法，該主要摻雜物濃度在該晶圓的第一表面處小於或等於 $1 \times 10^{20} N_x / \text{cm}^3$ ，並且在該晶圓的第二表面處大於或等於 $1 \times 10^{15} N_x / \text{cm}^3$ ，其中，在電荷載子受體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子受體 N_a 的數量，而在電荷載子施體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子施體 N_d 的數量。

【0096】 A13.根據第 2 項觀點的方法，該主要摻雜物為電荷載子受體，在該晶圓的第一表面處的電阻係數大於或等於 0.001 ohm-cm，以及在該晶圓的第二表面處的電阻係數小於或等於約 10 ohm-cm。

【0097】 A14.根據第 1 項觀點的方法，該主要摻雜物濃度在該晶圓的第一表面處小於或等於 $1 \times 10^{19} N_x / \text{cm}^3$ ，並且在該晶圓的第二表面處大於或等於 $1 \times 10^{17} N_x / \text{cm}^3$ ，其中，在電荷載子受體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子受體 N_a 的數量，而在電荷載子施體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子施體 N_d 的數量。

【0098】 A15.根據第 2 項觀點的方法，該主要摻雜物為電荷載子施體，在該晶圓的第一表面處的電阻係數大於或等於 0.001 ohm-cm，以及在該晶圓的第二表面處的電阻係數小於或等於約 0.1 ohm-cm。

【0099】 A16.根據第 1 項與第 2 項觀點之中任一項觀點的方法，該半導體包括一 p 型半導體，該主要摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵、以及銦。

【0100】 A17.根據第 1 項與第 2 項觀點之中任一項觀點的方法，該半

導體包括一 n 型半導體，該主要摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：
磷、砷、銻(Sb)、以及鉍。

【0101】 A18.根據第 8 項觀點的方法，該半導體包括一 p 型半導體，該補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：磷、砷、銻(Sb)、以及鉍。

【0102】 A19.根據第 8 項觀點的方法，該半導體包括一 n 型半導體，該補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵、以及銦。

【0103】 A20.根據第 18 項觀點的方法，其進一步包括在該熔融的材料之中提供一逆補償摻雜物的步驟，該逆補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵、以及銦。

【0104】 A21.根據第 19 項觀點的方法，其進一步包括在該熔融的材料之中提供一逆補償摻雜物的步驟，該逆補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：磷、砷、銻、以及鉍。

【0105】 A22.根據第 4 項觀點的方法，該熔融的材料包括矽，該塗層包括由下面所組成的群之中所選出的摻雜物：B₄C(碳化硼)以及 B₄Si(矽化硼)。

【0106】 A23.根據第 1 項與第 2 項觀點之中任一項觀點的方法，該主要摻雜物包括由碳化物、氧化物、氮化物、以及矽化物所組成的群之中所選出的化合物，或是由硼、鋁、鎵、銦、磷、砷、銻、以及鉍所組成的群之中所選出的元素。

【0107】 A24.根據第 1 項與第 2 項觀點之中任一項觀點的方法，該保持步驟係被進行用以在該晶圓的該第一表面處提供足夠高的主要摻雜物濃度，以便在一作為太陽能收集器的晶圓之中建立一背表面電場。

【0108】 A25.根據第 24 項觀點的方法，其進一步包括下面步驟：

- a. 提供一具有開放格柵形式的金屬導體，其被耦合至該晶圓，接觸該晶圓的該第一表面；以及
- b. 提供一光學反射器，與該第一表面隔開，其被排列成使得該金屬導體位在該第一表面與該光學反射器之間。

【0109】 A26.根據第 1 項觀點的方法，該摻雜物濃度輪廓的形狀會在該晶圓主體裡面造成一漂移電場，其被倒向以驅使電荷載子於一較佳的方向中。

【0110】 A27.根據第 2 項觀點的方法，該電阻係數輪廓的形狀會在該晶圓主體裡面造成一漂移電場，其被導向以驅使電荷載子於一較佳的方向中。

【0111】 A28.一種作為太陽能收集器的半導體晶圓，該晶圓包括一主體，其具有第一表面與第二表面，該主體具有一摻雜物濃度輪廓，在該晶圓的第一表面處有較大的摻雜物濃度，並且連續轉變成該晶圓的第二表面處的較小摻雜物濃度，該較大濃度為該較小濃度的至少三倍，進一步言之，其中，出現在該主體之中的任何金屬雜質出現在該第一表面處的程度會小於出現在該第二表面處的金屬雜質的程度十倍。

【0112】 A29.一種作為太陽能收集器的半導體晶圓，該晶圓包括一主體，其具有第一表面與第二表面，該主體具有一電阻係數輪廓，在該晶圓的第一表面處有較小的電阻係數，並且連續轉變成該晶圓的第二表面處的較大電阻係數，該較大電阻係數為該較小電阻係數的至少三倍，進一步言之，其中，出現在該主體之中的任何金屬雜質出現在該第一表面處的程度

會小於出現在該第二表面處的金屬雜質的程度十倍。

【0113】 A30.根據第 28 項與第 29 項觀點之中任一項觀點的半導體晶圓，該半導體包括矽，以及該摻雜物包括硼。

【0114】 A31.根據第 28 項與第 29 項觀點之中任一項觀點的半導體晶圓，該半導體包括矽，以及該摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵、以及銮。

【0115】 A32.根據第 28 項與第 29 項觀點之中任一項觀點的半導體晶圓，該半導體包括一 p 型半導體，以及該摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵、以及銮。

【0116】 A33.根據第 28 項與第 29 項觀點之中任一項觀點的半導體晶圓，該半導體包括一 n 型半導體，以及該摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：磷、砷、銻(Sb)、以及鉍。

【0117】 A34.根據第 28 項觀點的半導體晶圓，該摻雜物濃度在該晶圓的第一表面處小於或等於 $1 \times 10^{20} N_x / \text{cm}^3$ ，並且在該晶圓的第二表面處大於或等於 $1 \times 10^{15} N_x / \text{cm}^3$ ，其中，在電荷載子受體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子受體 N_a 的數量，而在電荷載子施體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子施體 N_d 的數量。

【0118】 A35.根據第 29 項觀點的半導體晶圓，在該晶圓的第一表面處的電阻係數大於或等於 0.001 ohm-cm，以及在該晶圓的第二表面處的電阻係數小於或等於約 10 ohm-cm。

【0119】 A36.根據第 28 項觀點的半導體晶圓，在該晶圓的該第一表面處的主要摻雜物濃度足夠高，以便在一作為太陽能收集器的晶圓之中建

立一背表面電場。

【0120】 A37.根據第 29 項觀點的半導體晶圓，在該晶圓的該第一表面處的電阻係數足夠低，以便在一作為太陽能收集器的晶圓之中建立一背表面電場。

【0121】 A38.根據第 36 項與第 37 項觀點之中任一項觀點的半導體晶圓，其進一步包括：

- a. 一具有開放格柵形式的金屬導體，其被耦合至該晶圓，接觸該晶圓的該第一表面；以及
- b. 一光學反射器，其與該第一表面隔開，被排列成使得該金屬導體位在該第一表面與該光學反射器之間。

【0122】 A39.根據第 28 項觀點的半導體晶圓，該摻雜物濃度輪廓的形狀會在該晶圓主體裡面造成一漂移電場，其被導向以驅使電荷載子於一較佳的方向中。

【0123】 A40.根據第 29 項觀點的半導體晶圓，該電阻係數輪廓的形狀會在該晶圓主體裡面造成一漂移電場，其被導向以驅使電荷載子於一較佳的方向中。

【0124】 A41.一種太陽能收集器，其包括複數個半導體晶圓，每一個晶圓皆包括一主體，其具有第一表面與第二表面，該主體具有一摻雜物濃度輪廓，在該晶圓的第一表面處有較大的摻雜物濃度，並且連續轉變成該晶圓的第二表面處的較小摻雜物濃度，該較大濃度為該較小濃度的至少三倍，進一步言之，其中，出現在該主體之中的任何金屬雜質出現在該第一表面處的程度會小於出現在該第二表面處的金屬雜質的程度十倍。

【0125】 A42.一種太陽能收集器，其包括複數個半導體晶圓，每一個晶圓皆包括一主體，其具有第一表面與第二表面，該主體具有一電阻係數輪廓，在該晶圓的第一表面處有相對較小的電阻係數，並且連續轉變成該晶圓的第二表面處的相對較大電阻係數，進一步言之，其中，出現在該主體之中的任何金屬雜質出現在該第一表面處的程度會小於出現在該第二表面處的金屬雜質的程度十倍。

【0126】 A43.根據第 41 項與第 42 項觀點之中任一項觀點的太陽能收集器，該半導體包括矽，以及該摻雜物包括硼。

【0127】 A44.根據第 41 項與第 42 項觀點之中任一項觀點的太陽能收集器，該半導體包括矽，以及該摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵、以及銦。

【0128】 A45.根據第 41 項與第 42 項觀點之中任一項觀點的太陽能收集器，該半導體包括一 p 型半導體，以及該摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵、以及銦。

【0129】 A46.根據第 41 項與第 42 項觀點之中任一項觀點的太陽能收集器，該半導體包括一 n 型半導體，以及該摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：磷、砷、銻(Sb)、以及鉍。

【0130】 A47.根據第 41 項觀點的太陽能收集器，該摻雜物濃度在該晶圓的第一表面處小於或等於 $1 \times 10^{20} N_x / \text{cm}^3$ ，並且在該晶圓的第二表面處大於或等於 $1 \times 10^{15} N_x / \text{cm}^3$ ，其中，在電荷載子受體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子受體 N_a 的數量，而在電荷載子施體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子施體 N_d 的數量。

【0131】 A48.根據第 42 項觀點的太陽能收集器，在該晶圓的第一表面處的電阻係數大於或等於 0.001 ohm-cm，以及在該晶圓的第二表面處的電阻係數小於或等於約 10 ohm-cm。

【0132】 A49.根據第 41 項觀點的太陽能收集器，在該晶圓的該第一表面處的主要摻雜物濃度足夠高，以便在一作為太陽能收集器的晶圓之中建立一背表面電場。

【0133】 A50.根據第 42 項觀點的太陽能收集器，在該晶圓的該第一表面處的電阻係數足夠低，以便在一作為太陽能收集器的晶圓之中建立一背表面電場。

【0134】 A51.根據第 49 項與第 50 項觀點之中任一項觀點的太陽能收集器，其進一步包括：

- a. 一具有開放格柵形式的金屬導體，其被耦合至該晶圓，接觸該晶圓的該第一表面；以及
- b. 一光學反射器，其與該第一表面隔開，被排列成使得該金屬導體位在該第一表面與該光學反射器之間。

【0135】 A52.根據第 41 項觀點的太陽能收集器，該摻雜物濃度輪廓的形狀會在該晶圓主體裡面造成一漂移電場，其被導向以驅使電荷載子於一較佳的方向中。

【0136】 A53.根據第 42 項觀點的太陽能收集器，該電阻係數輪廓的形狀會在該晶圓主體裡面造成一漂移電場，其被導向以驅使電荷載子於一較佳的方向中。

【符號說明】

【0137】

- 100 晶圓
- 110 模具
- 111 成長表面
- 112 塗層
- 114 摻雜物
- 114b 摻雜物
- 114c 摻雜物
- 114d 摻雜物
- 116 半導體熔融物
- 118b 半導體熔融物中緊鄰模具的區域
- 118c 半導體熔融物中靠近模具的區域
- 118d 半導體熔融物的成長區域
- 120 半導體熔融物本體
- 122 模具表面
- 132 晶圓表面
- 136 晶圓表面
- 242 p 側
- 246 n 側
- 250 n 型（或是相反摻雜）部分
- 252 p/n 接面
- 254 背表面電場部分

310	模具
314	摻雜物
322	形成表面
414	埋沒層
424	釋放層
600	太陽能電池
601	電池晶圓
650	有紋理結構的表面
651	有紋理結構的表面
652	電池主體
662	有特別高摻雜物濃度的區域
664	背表面
668	鋁矽合金層
670	指狀部
671	指狀部
673	指狀部
682	有摻雜輪廓的背表面電場(BSF)區域
687	實體空間
692	有輪廓漂移電場摻雜的區域
693	矽主體
695	光學反射器
698	後方電極

.

- 699 前方面向太陽的電極
- 800 矽(Si)結晶
- 860 晶粒邊界

申請專利範圍

1.一種製作半導體晶圓作為太陽能收集器的方法，該方法包括下面步驟：

- a. 提供一熔融的半導體主要材料，其具有一表面；
- b. 提供一模具，其包括一形成表面，該模具還包括與該半導體材料相關的一主要摻雜物；
- c. 讓該形成表面接觸該熔融的材料，俾使得該主要摻雜物會從該模具處遷移至該熔融的半導體材料之中；以及
- d. 將半導體材料的主體固化成晶圓之形式於該形成表面之上，其所述晶圓的第一表面會接觸該形成表面，該晶圓具有一主要摻雜物濃度輪廓，在該晶圓的該第一表面處有較大的主要摻雜物濃度，而相較於該晶圓的該第一表面處，在該晶圓的一第二表面處有較小的主要摻雜物濃度。

2. 根據申請專利範圍第 1 項的方法，該方法進一步包括將該已凝固的晶圓與該形成表面分開的步驟。

3.根據申請專利範圍第 1 項的方法，在該模具的該形成表面上包括一塗層，該塗層含有該主要摻雜物。

4.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該模具進一步包括一主體，其中，該主要摻雜物分散在該模具主體裡面。

5.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該模具進一步包括一主體，其中，該主要摻雜物位在該模具主體裡面，其在其中一個表面附近有較高濃度。

6.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該主要摻雜物包括僅為施體類型與受體類型之中其中一種類型的電荷載子，其進一步包括：

進行步驟 a、b、c 以及 d 至少兩次；

於該熔融的材料之中提供具有相反電荷載子施體/受體類型之某個數量的補償摻雜物給該主要摻雜物。

7.根據申請專利範圍第 6 項的方法，其進一步包括於該熔融的材料之中提供具有相反電荷載子施體/受體類型之某個數量的逆補償摻雜物給該補償摻雜物的步驟。

8.根據申請專利範圍第 7 項的方法，該些補償摻雜物和逆補償摻雜物各有一平衡分凝係數，該逆補償摻雜物的平衡分凝係數等於或小於該補償摻雜物的平衡分凝係數。

9.根據申請專利範圍第 6 項的方法，其中，提供某個數量的補償摻雜物的步驟係藉由以根據下面關係式的濃度 C_{cd} 在該熔融物之中提供該補償摻雜物而完成：

C_{cd} 約等於 $C_{md} \cdot (k_{md}/k_{cd})$ ，其中：

C_{md} 為主要摻雜物的熔融物濃度；

C_{cd} 為補償摻雜物的熔融物濃度；

k_{md} 為主要摻雜物的有效分凝係數；以及

k_{cd} 為補償摻雜物的有效分凝係數。

10.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該主要摻雜物濃度在該晶圓的第一表面處小於或等於 $1 \times 10^{20} N_x / \text{cm}^3$ ，並且在該晶圓的第二表面處大於或等於 $1 \times 10^{15} N_x / \text{cm}^3$ ，其中，在電荷載子受體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子受體 N_a 的數量，而在電荷載子施體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子施體 N_d 的數量。

11.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該主要摻雜物濃度在該晶圓的第一表面處小於或等於 $1 \times 10^{19} N_x / \text{cm}^3$ ，並且在該晶圓的第二表面處大於或等於 $1 \times 10^{17} N_x / \text{cm}^3$ ，其中，在電荷載子受體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子受體 N_a 的數量，而在電荷載子施體摻雜物之中， N_x 的意義為電荷載子施體 N_d 的數量。

12.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該半導體包括一 p 型半導體，該主要摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵以及銦。

13.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該半導體包括一 n 型半導體，該主要摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：磷、砷、銻(Sb)以及鉍。

14.根據申請專利範圍第 6 項的方法，該半導體包括一 p 型半導體，該補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：磷、砷、銻(Sb)以及鉍。

15.根據申請專利範圍第 6 項的方法，該半導體包括一 n 型半導體，該補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：硼、鋁、鎵以及銦。

16.根據申請專利範圍第 14 項的方法，其進一步包括在該熔融的材料之中提供一逆補償摻雜物的步驟，該逆補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：鋁、鎵以及銦。

17.根據申請專利範圍第 15 項的方法，其進一步包括在該熔融的材料之中提供一逆補償摻雜物的步驟，該逆補償摻雜物係由下面所組成的群之中所選出：砷、銻、以及鉍。

18.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該熔融的材料包括矽並且該主要摻雜物包括由碳化物、氧化物、氮化物以及矽化物所組成的群之中所選出的化合物，或是由硼、鋁、鎵、銦、磷、砷、銻以及鉍所組成的群之中所

選出的元素。

19.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該保持步驟係被進行用以在該晶圓的該第一表面處提供足夠高的主要摻雜物濃度，以便在一作為太陽能收集器的晶圓之中建立一背表面電場。

20.根據申請專利範圍第 1 項的方法，該摻雜物濃度輪廓的形狀會在該晶圓主體裡面造成一漂移電場，其被導向以驅使電荷載子於一較佳的方向中。

圖式

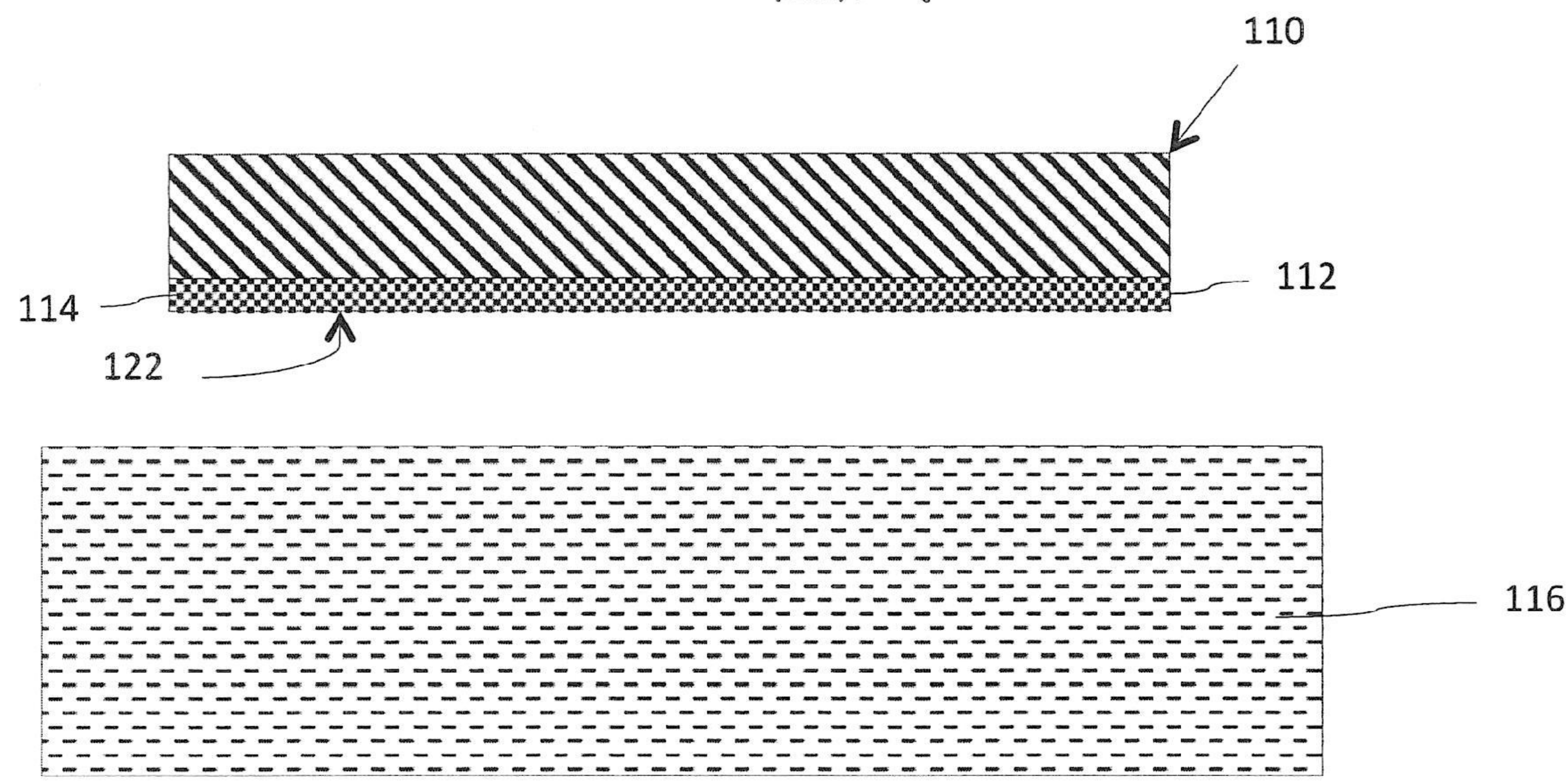


圖1A

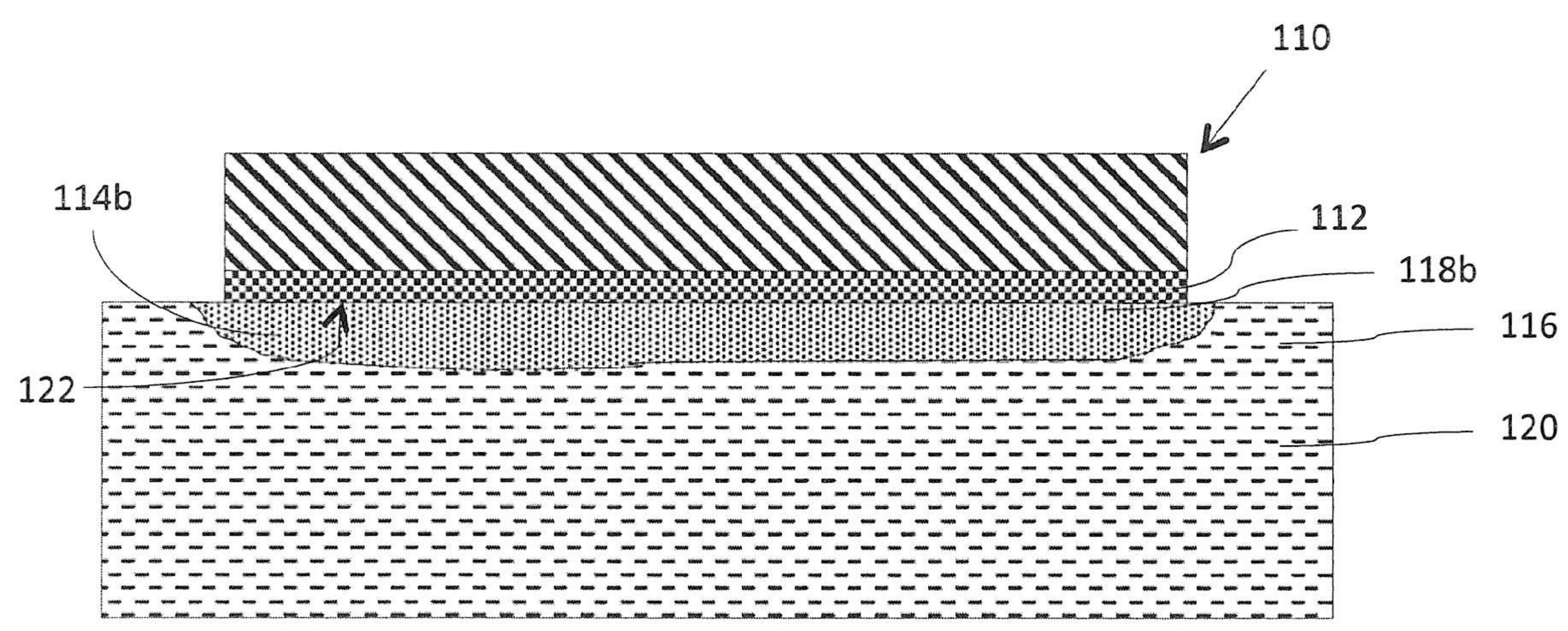


圖1B

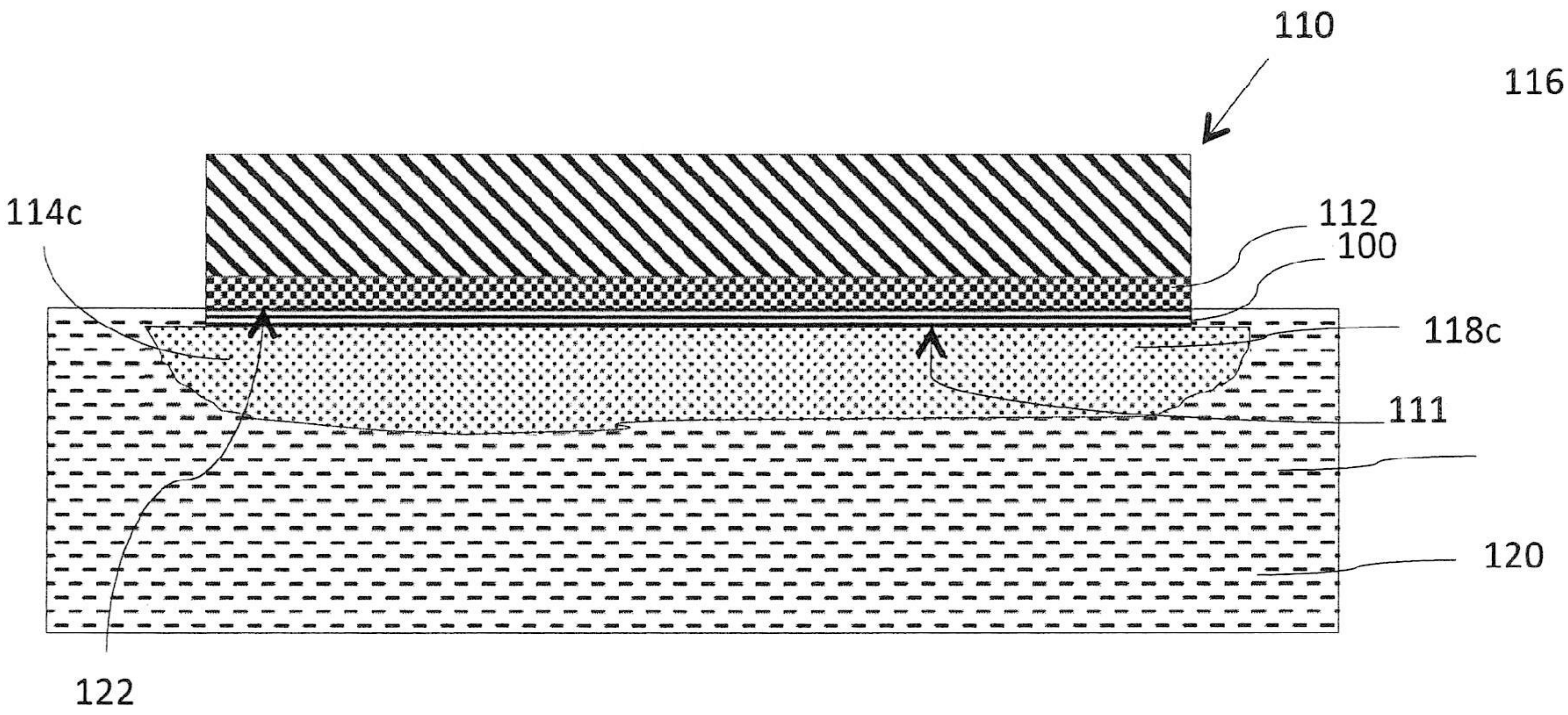


圖1C

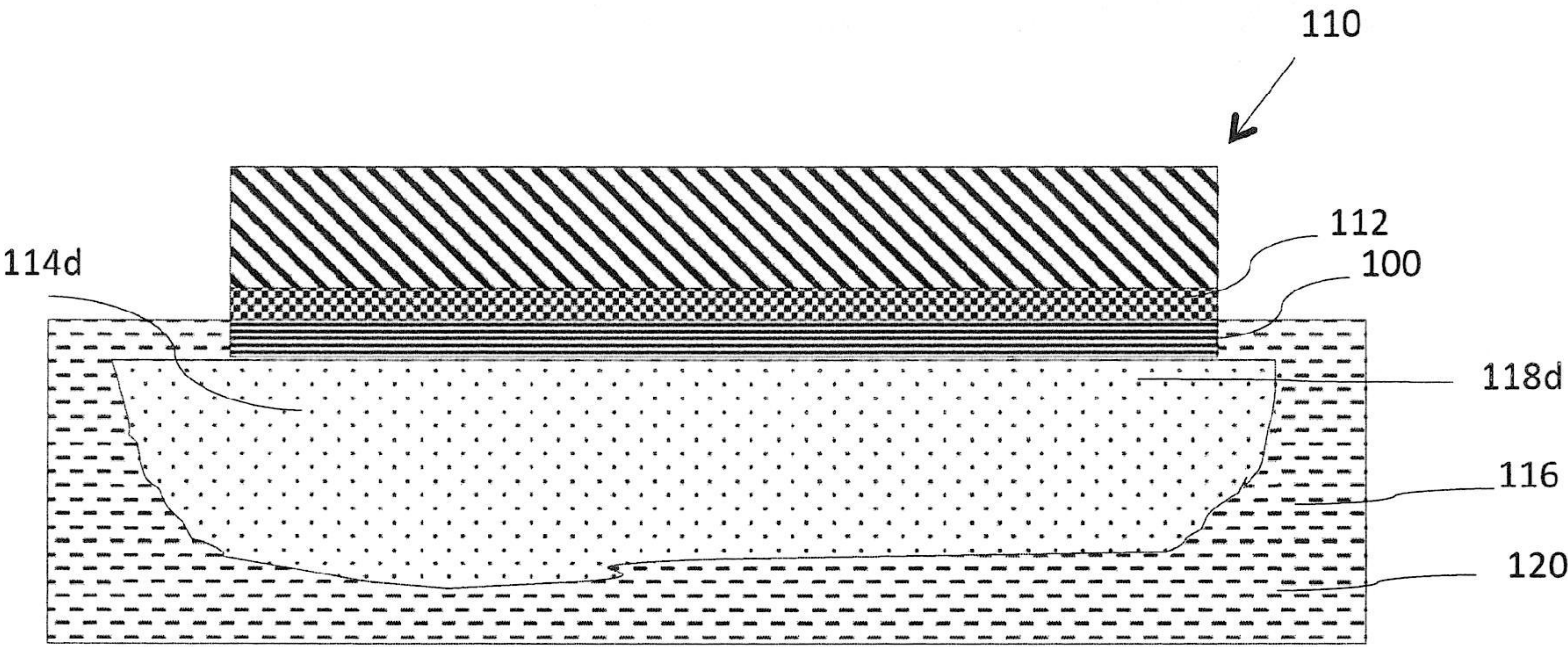


圖1D

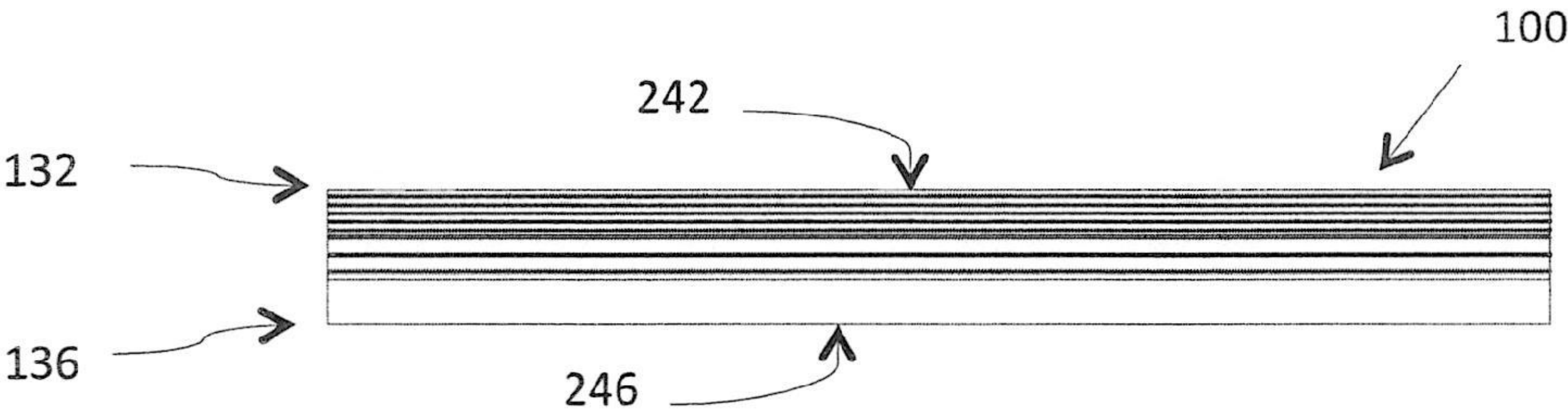


圖2A

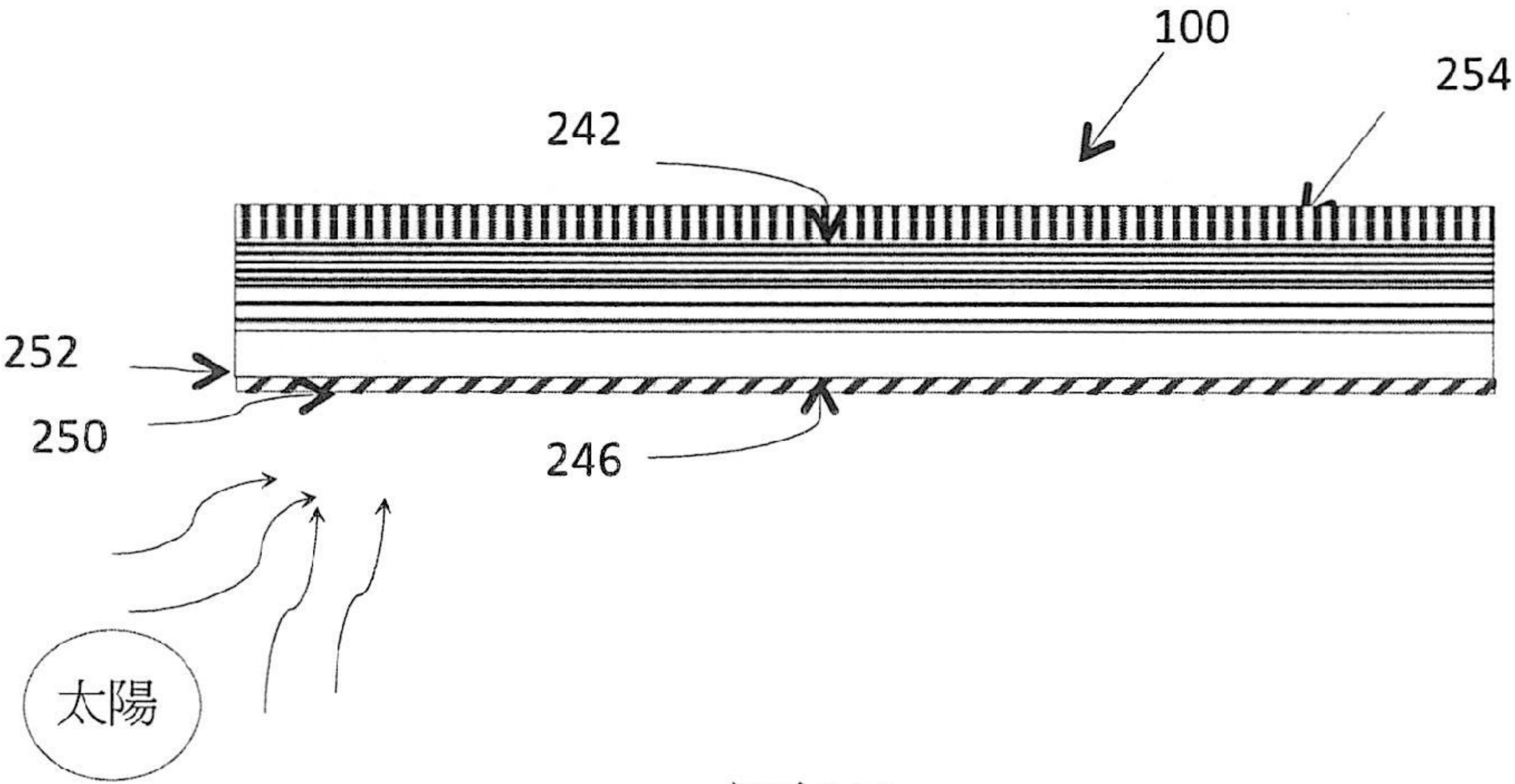


圖2B

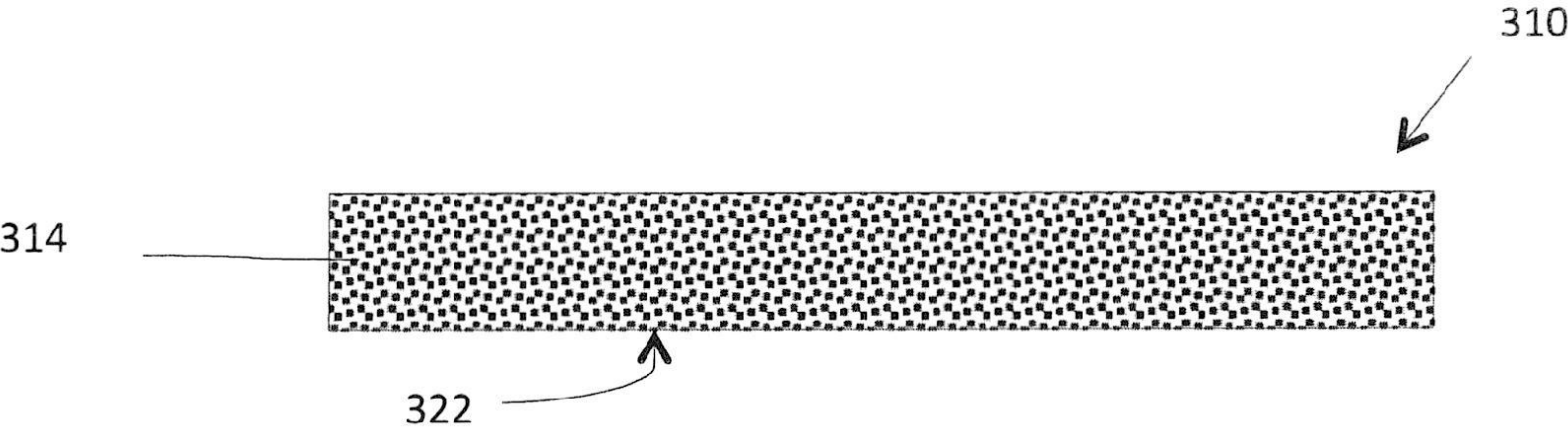


圖3

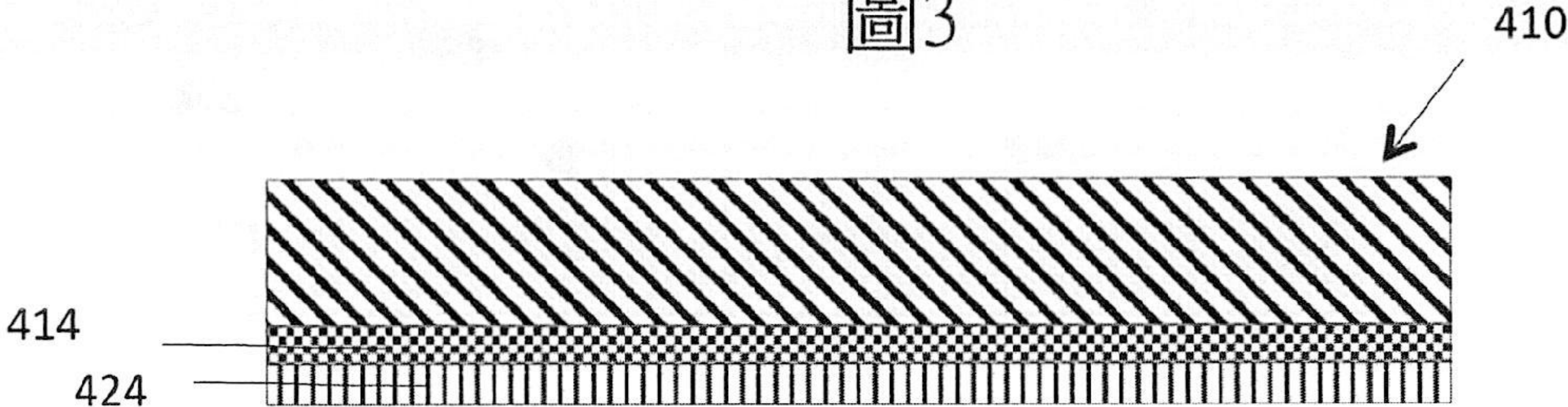


圖4

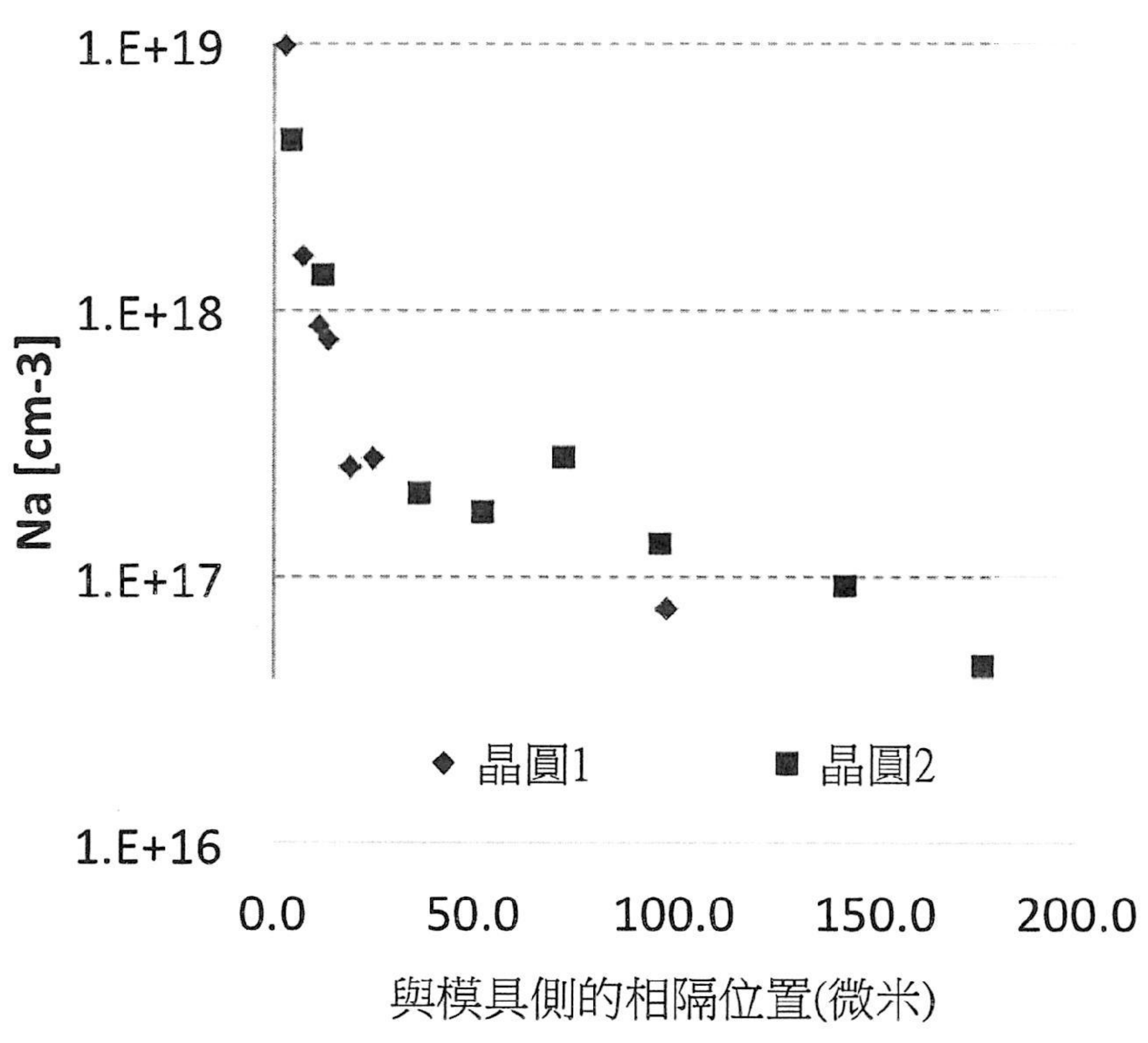


圖5

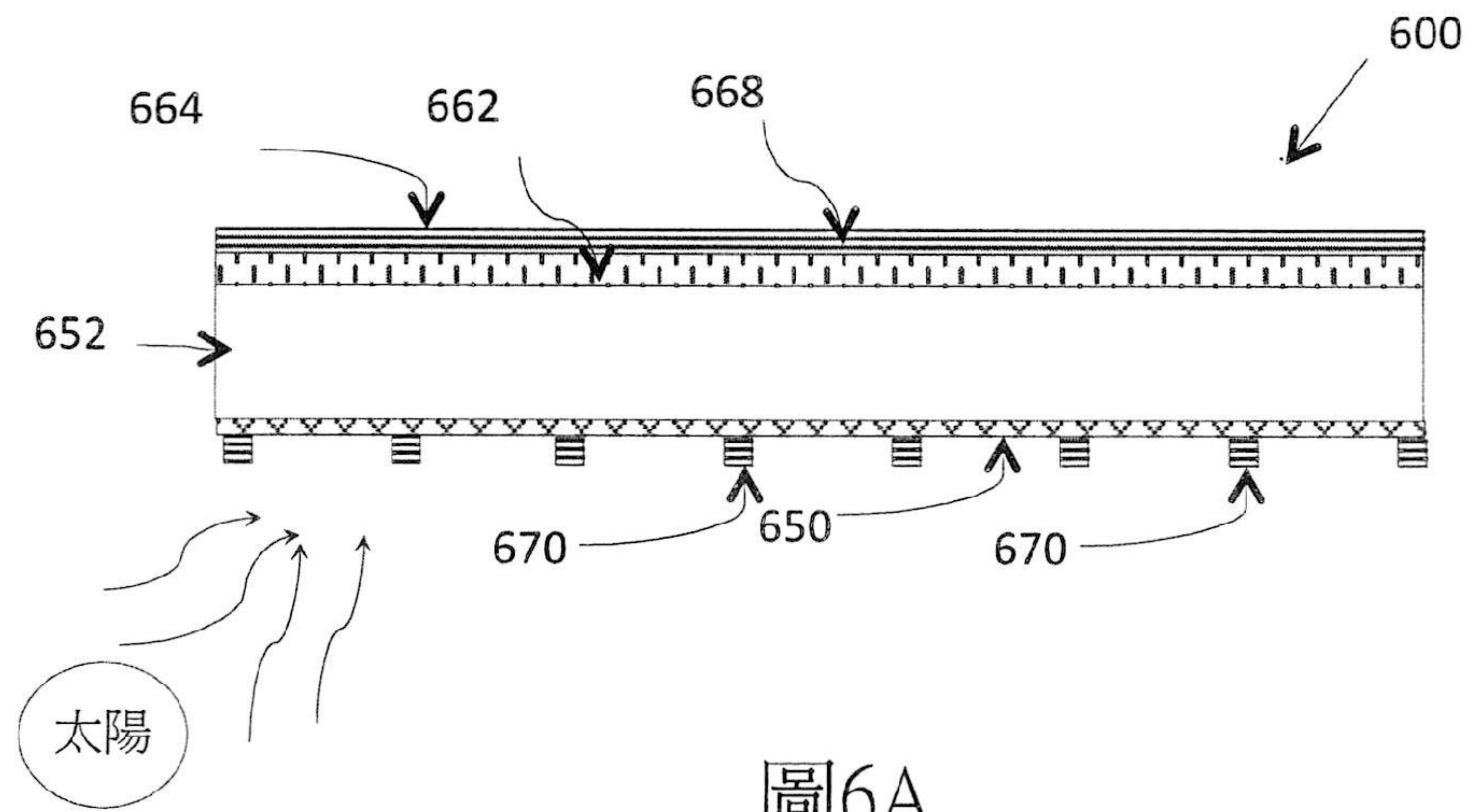


圖6A
(先前技術)

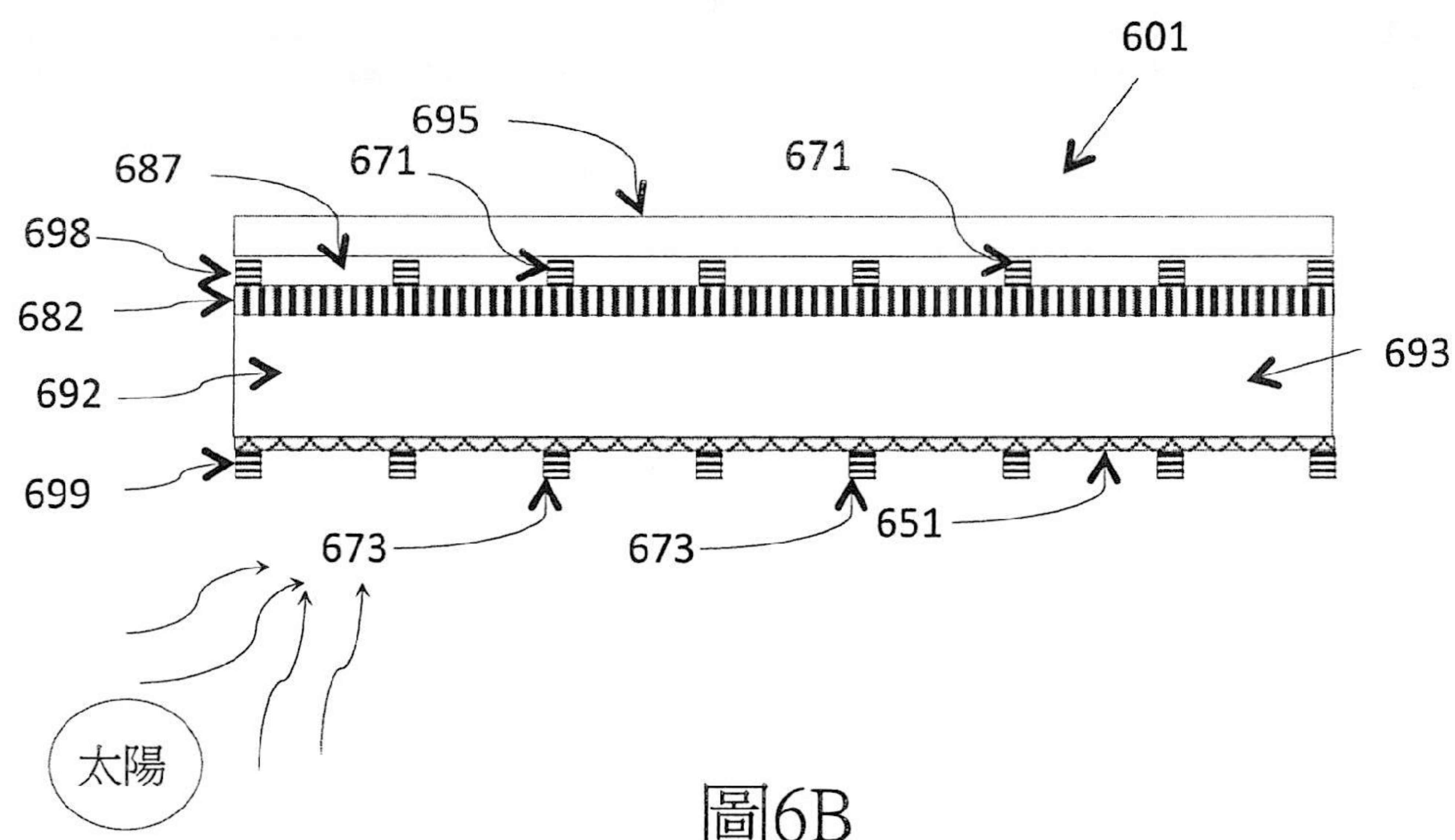


圖6B

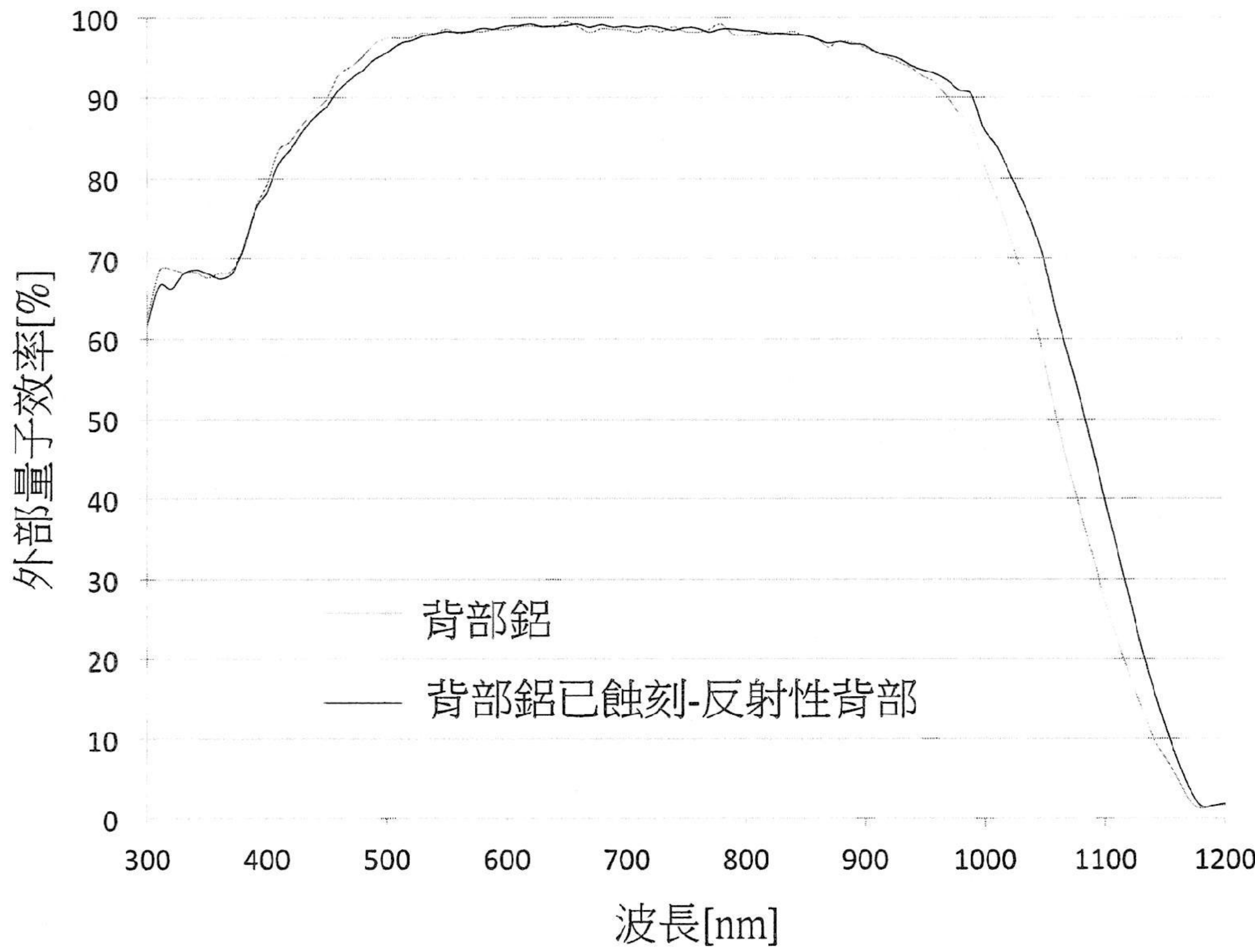


圖7

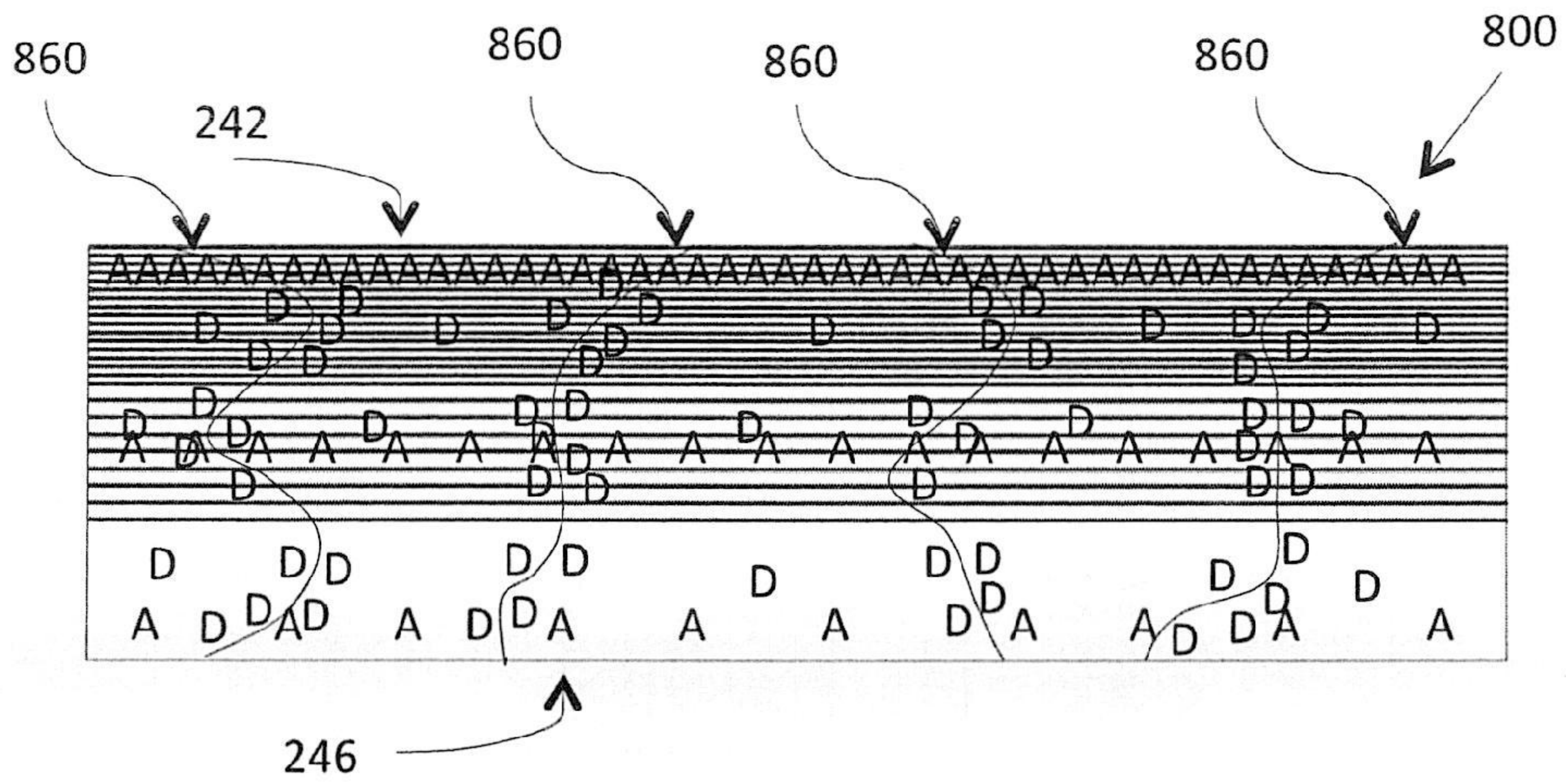


圖8A

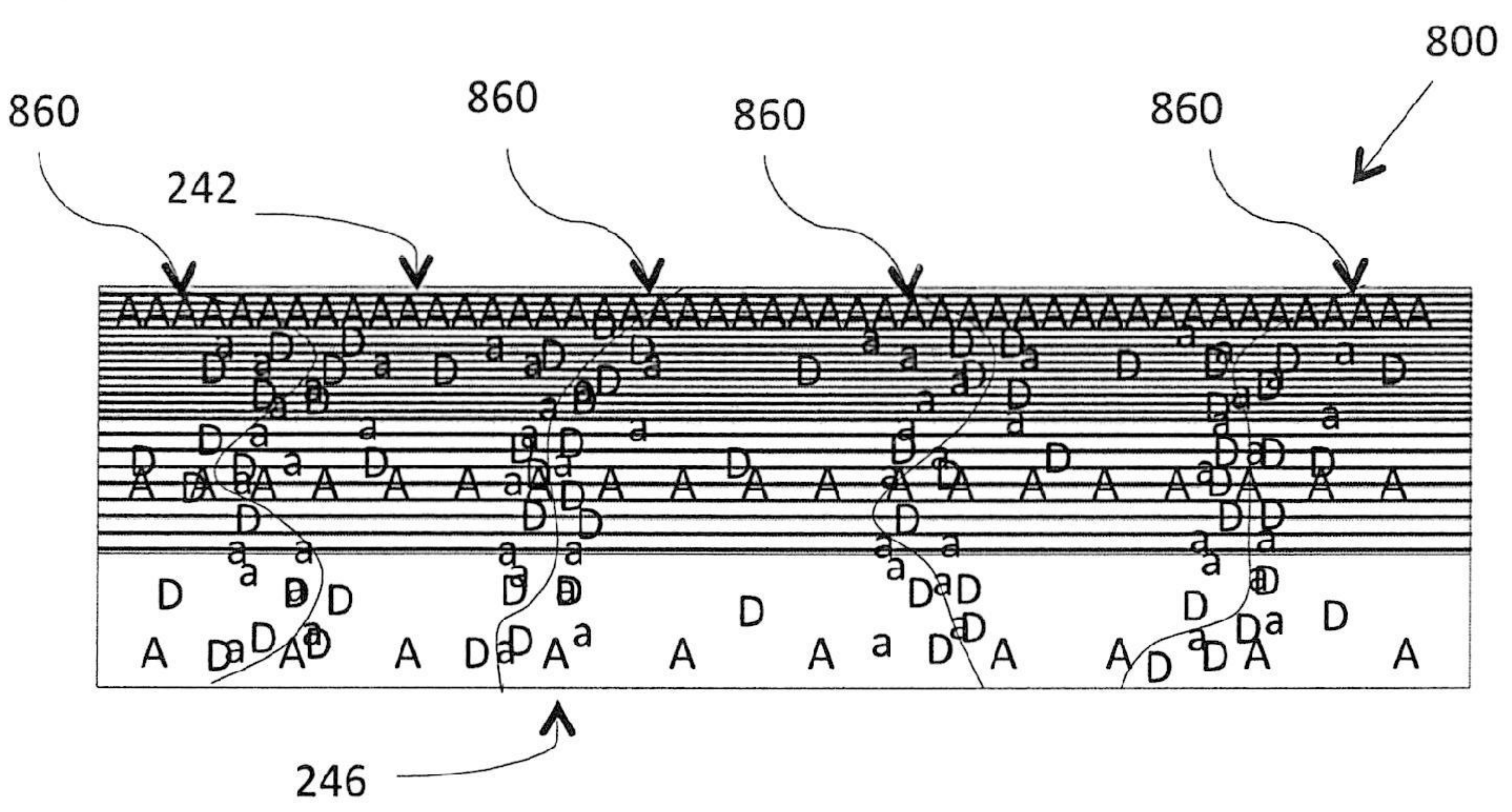


圖8B