



(21)申請案號：109110373

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 03 月 18 日

(51)Int. Cl. : C25D19/00 (2006.01)

C25D21/12 (2006.01)

(30)優先權：2015/03/20 美國

14/664,652

(71)申請人：美商蘭姆研究公司(美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：何治安 HE, ZHIAN (CN)；拉密許 阿什溫 RAMESH, ASHWIN (IN)；剛加迪 相

提納斯 GHONGADI, SHANTINATH (IN)

(74)代理人：許峻榮

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：21 項 圖式數：13 共 61 頁

(54)名稱

電鍍設備中之電流密度的控制

(57)摘要

文中的各種實施例係關於電鍍金屬至基板上用的方法及設備。在各種情況中，可修改參考電極以促進較佳的電鍍結果。修改可關於參考電極之形狀、位置、相對於電解液之電導率、或其他設計特徵中的一或多者。在某些特定的實例中，參考電極可為可動態變化的例如具有可變化之形狀及/或位置。在某些特定的實例中，參考電極可由複數段所製成。文中所述之技術可依各別應用的需求加以組合。

Various embodiments herein relate to methods and apparatus for electroplating metal onto substrates. In various cases, a reference electrode may be modified to promote improved electroplating results. The modifications may relate to one or more of the reference electrode's shape, position, relative conductivity compared to the electrolyte, or other design feature. In some particular examples the reference electrode may be dynamically changeable, for example having a changeable shape and/or position. In a particular example the reference electrode may be made of multiple segments. The techniques described herein may be combined as desired for individual applications.

指定代表圖：

符號簡單說明：

402a:參考電極

510:電鍍池

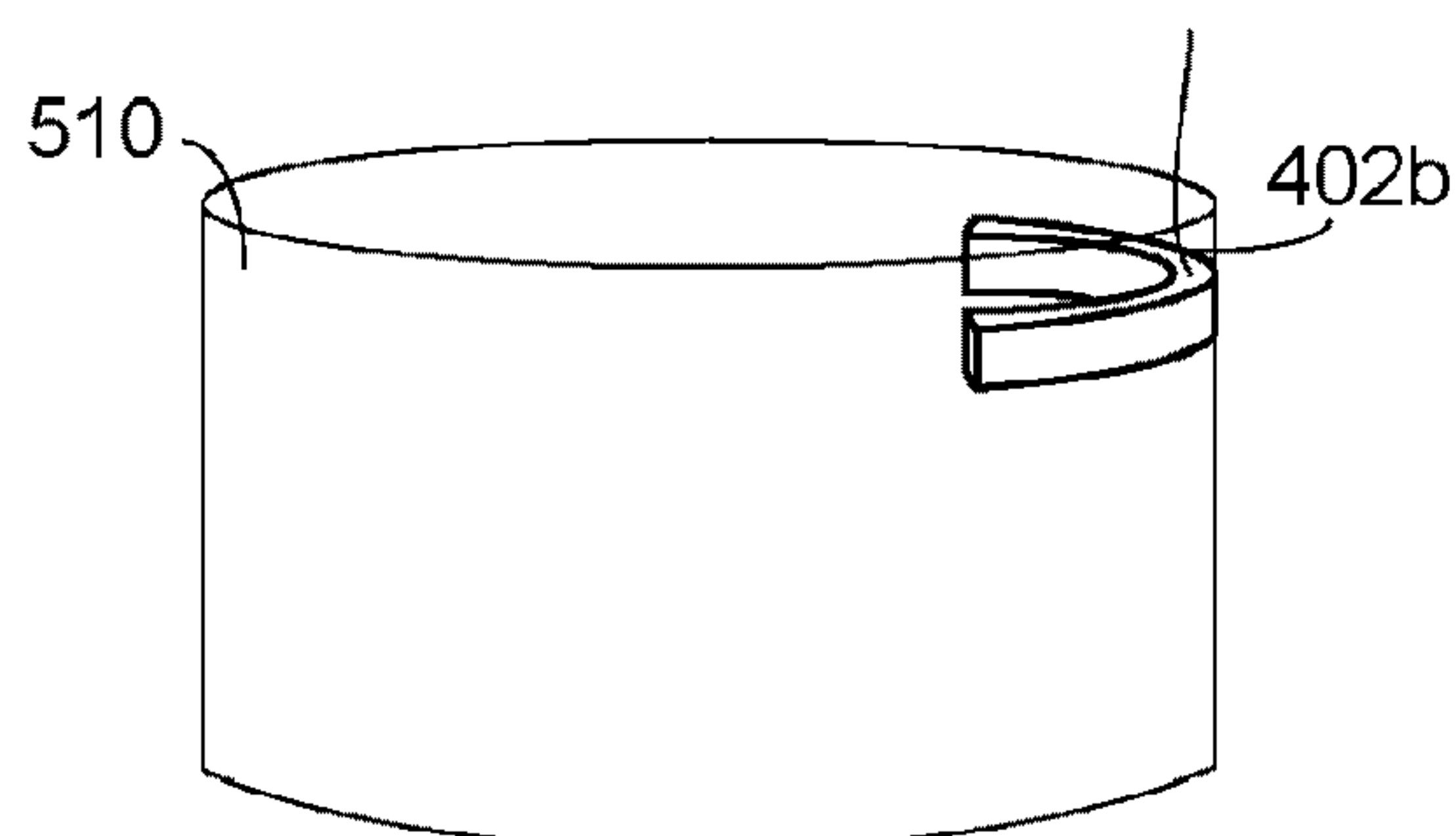


圖 5B

【發明摘要】

【中文發明名稱】 電鍍設備中之電流密度的控制

【英文發明名稱】 CONTROL OF CURRENT DENSITY IN AN

ELECTROPLATING APPARATUS

【中文】文中的各種實施例係關於電鍍金屬至基板上用的方法及設備。在各種情況中，可修改參考電極以促進較佳的電鍍結果。修改可關於參考電極之形狀、位置、相對於電解液之電導率、或其他設計特徵中的一或多者。在某些特定的實例中，參考電極可為可動態變化的例如具有可變化之形狀及/或位置。在某些特定的實例中，參考電極可由複數段所製成。文中所述之技術可依各別應用的需求加以組合。

【英文】 Various embodiments herein relate to methods and apparatus for electroplating metal onto substrates. In various cases, a reference electrode may be modified to promote improved electroplating results. The modifications may relate to one or more of the reference electrode's shape, position, relative conductivity compared to the electrolyte, or other design feature. In some particular examples the reference electrode may be dynamically changeable, for example having a changeable shape and/or position. In a particular example the reference electrode may be made of multiple segments. The techniques described herein may be combined as desired for individual applications.

【指定代表圖】 5B

【代表圖之符號簡單說明】

402a 參考電極

510 電鍍池

【發明說明書】

【中文發明名稱】 電鍍設備中之電流密度的控制

【英文發明名稱】 CONTROL OF CURRENT DENSITY IN AN

ELECTROPLATING APPARATUS

【技術領域】

【0001】 本發明係關於電鍍金屬至基板上用的設備及方法。

【先前技術】

【0002】 半導體裝置製造期間常使用的一種製程為電鍍。例如，在銅鑲嵌製程中，使用電鍍形成通道內的銅線和通孔，在此製程中通道早在電鍍前便被蝕刻至介電層中。在電鍍之前，利用如物理氣相沉積將晶種層沉積至通道中及基板表面上。接著在晶種層進行電鍍以在晶種層上沉積較厚的銅層俾以銅完全填滿通道。在電鍍之後，以化學機械研磨移除多餘的銅。電鍍亦可用以沉積其他金屬及合金且可用以形成其他類型的特徵部。

【發明內容】

【0003】 文中的某些實施例係關於電鍍方法及設備。在文中之實施例的一態樣中，提供一種電鍍金屬至基板上用的設備，此設備包含：容納一電解液用之一室；在該室中用以支撐該基板的一基板支撐件；及一參考電極，其中該參考電極(a)為類環形；(b)為類弧形；(c)具有包含複數獨立段的一形狀；及/或(d)被設計成包含一可動態變化的形狀。

【0004】 例如在某些實施例中該參考電極為環形。在其他情況中，該參考電極為弧形。在某些使用弧形參考電極的實施例中，該參考電極的一弧可橫跨介於約75-180°例如介於約105-150°之間的一角度範圍。

【0005】 該參考電極可位於相對於該基板首次進入該電解液之一點的一特定位置處。在某些實施例中，該參考電極的一位置俾使該參考電極之一中央部分的一位置鄰近該基板進入位置。在某些其他實施例中，該參考電極之一位置俾使該參考電極的一中央部分角偏離該基板進入位置，一偏離角度係介於約30-90°之間。

【0006】 在某些實施例中，該參考電極可具有一更複雜的設計。例如該參考電極可為一多段電極，該多段電極包含可被獨立活化及/或去活化的至少兩段。該活化/去活化可在浸沒期間及/或之後進行。該設備更包含具有用於下列者之複數指令的一控制器：(i)在將該基板浸沒至該電解液之前活化該多段電極的該複數段；及(ii)當該基板係浸沒於該電解液中時獨立地去活化該多段電極之該複數段中的一或多者。在某些實施例中，該複數段的數目係介於4-6之間。在某些實施例中，該相鄰複數段之間的一間距可介於約2.5-12.5 cm之間。

【0007】 在某些實施例中，該參考電極被設計為具有一可動態變化的形狀，該可動態變化的形狀包含至少一第一形狀與一第二形狀，該第一與該第二形狀皆為弧形且該第一與該第二形狀延伸不同的角範圍。該設備更可包含具有用於下列者之複數指令的一控制器：當該基板係浸沒至該電解液中時將該參考電極之形狀自該第一形狀變化為該第二形狀。在某些實施例中，該第一形狀所延伸之一角範圍係大於該第二形狀所延伸之一角範圍。

【0008】 在本發明實施例的另一態樣中，提供一種電鍍金屬至半導體基板上用的方法，該方法包含：將該基板浸沒至一電鍍室中的一電解液中；監控該基板與一參考電極之間的一電位差；及將一金屬電鍍至該基板上。該參考電極(a)為類環形；(b)為類弧形；(c)包含複數獨立段的一形狀；及/或(d)被設計成包含一可動態變化的形狀。

【0009】 在各種實施例中，監控該基板與該參考電極之間的該電位差包含在浸沒期間控制該基板與該參考電極之間的該電位差。在某些此類情況中，將浸沒期間該基板與該參考電極之間的該電位差控制為一實質常數。

【0010】 如上所述，在某些實施例中該參考電極為環形。在某些此類實施例中，該參考電極的一電導率為該電解液之一電導率的約 10 倍-50 倍之間。在某些實施例中，該參考電極亦可為弧形，在某些情況中其弧例如橫跨介於約 75-150°之間的一角度範圍。在某些此些實施例中，該參考電極的一電導率可介於該電解液之一電導率的約 100 倍-200 倍之間。在某些情況中，亦可使用其他形狀及相對電導率。例如在某些實施例中，該參考電極為弧形且其橫跨介於約 105-150°之間的一角度範圍。在某些此些實例中，該參考電極的一電導率可介於該電解液之一電導率的約 120 倍-200 倍之間。在另一實施例中，該參考電極為弧形且其弧橫跨介於約 150-240°之間的一角度範圍。在某些此類情況中，該參考電極的一電導率可介於該電解液之一電導率的約 70 倍-100 倍之間。

【0011】 該參考電極可位於各種位置處。在某些實施例中，該參考電極之一位置俾使該參考電極之一中央部的一位置鄰近該基板進入位置。在某些其他實施例中，該參考電極之一位置俾使該參考電極之一中央部角偏離該基板進入位置，一偏離角度係介於約 30-90°之間。如所述，在某些情況中該參考電極可

具有更複雜的設計。例如該參考電極可為一多段電極，該多段電極包含可被獨立活化及/或去活化的至少兩段。該方法更包含獨立地活化及/或去活化該多段電極之該複數段。在某些情況中，該參考電極被設計為具有一可動態變化的形狀，該可動態變化的形狀包含至少一第一形狀與一第二形狀，該第一與該第二形狀皆為弧形且該第一與該第二形狀延伸不同的角範圍。該方法更包含在浸沒期間將該參考電極的形狀自該第一形狀變化為該第二形狀。

【0012】 在本發明實施例的另一態樣中，提供一種電鍍金屬至基板上用的設備，該設備包含：容納一電解液用之一室；用以在該室中支撐該基板的一基板支撐件；及一參考電極，其中該參考電極的一電導率介於該電解液之一電導率的約 10 倍-225 倍之間。

【0013】 在某些實施例中，該參考電極為環形且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 10 倍-50 倍之間。在某些其他實施例中，該參考電極為弧形，該參考電極的一弧橫跨介於約 75-150°之間的一角度範圍且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 100 倍-200 倍之間。在某些其他實施例中，該參考電極為弧形、該參考電極的該弧橫跨介於約 105-150°之間的一角度範圍、且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 120 倍-200 倍之間。在其他實施例中，該參考電極為弧形、該參考電極的該弧橫跨介於約 150-240°之間的一角度範圍、且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 70 倍-100 倍之間。在某些其他情況中，該參考電極為弧形、該參考電極的該弧橫跨介於約 240-300°之間的一角度範圍、且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 30 倍-70 倍之間。在某些其他情況中，該參考電極為弧形、該參考

電極的該弧橫跨介於約 300-359°之間的一角度範圍、且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 20 倍-50 倍之間。

【0014】 在本發明實施例的另一態樣中，提供一種將金屬電鍍至半導體基板上的方法，該方法包含：將該基板浸沒至一電鍍室中的一電解液中；監控該基板與該參考電極之間的一電位差，其中該參考電極的一電導率介於該電解液之一電導率的約 10 倍-225 倍之間；及將該金屬電鍍至該基板上。

【0015】 在某些實施例中，該參考電極為環形且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 10 倍-50 倍之間。在某些其他實施例中，該參考電極可為弧形。在某些此類實施例中，該參考電極的該弧橫跨介於約 75-150°之間的一角度範圍且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 100 倍-200 倍之間。在某些情況中，該參考電極的該弧橫跨介於約 105-150°之間的一角度範圍且該參考電極的該電導率為該電解液之該電導率的 120 倍-200 倍之間。在某些其他情況中，該參考電極的該弧橫跨介於約 150-240°之間的一角度範圍且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 70 倍-100 倍之間。在其他實施例中，該參考電極的該弧橫跨介於約 240-300°之間的一角度範圍且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 30 倍-70 倍之間。在某些情況中，該參考電極的該弧橫跨介於約 300-359°之間的一角度範圍且該參考電極的該電導率介於該電解液之該電導率的 20 倍-50 倍之間。

【0016】 在本發明實施例的更另一態樣中，提供一種電鍍金屬至基板上用的設備，該設備包含：容納一電解液用之一室；在該室中用以支撐該基板的一基板支撐件；一參考電極；一控制器，包含用於下列者之複數指令：以一角度將該基板浸沒至該電解液中俾使該基板的一前緣比該基板之一後緣先接觸該電

解液，該基板的該前緣在一基板進入位置處先接觸該電解液；在浸沒期間控制該基板與該參考電極之間的一電位差；及將該金屬電鍍至該基板上，其中該參考電極徑向地位於該基板外緣之外且其位置角偏離該基板進入位置，一偏離角度係介於約 5-60°之間。

【0017】 在某些實施例中，該參考電極為一點參考電極且該偏離角度係介於約 20-40°之間。例如該偏離角度係介於約 25-35°之間。

【0018】 在本發明實施例的另一態樣中，提供一種電鍍金屬至基板上用的方法，該方法包含：將該基板浸沒至一電鍍室中的一電解液中，該基板係以一角度浸沒俾使該基板的一前緣比該基板之一後緣先接觸該電解液，該基板的該前緣在一基板進入位置處先接觸該電解液；監控該基板與該參考電極之間的一電位差，該參考電極徑向地位於該基板外緣之外且其位置角偏離該基板進入位置，一偏離角度係介於約 5-60°之間。

【0019】 在某些實施例中，該參考電極為一點參考電極且該偏離角度係介於約 5-50°之間。在某些此類情況中，該偏離角度係介於約 20-40°之間。

【0020】 下面將參考相關圖示說明此些與其他特徵。

【圖式簡單說明】

【0021】 圖 1 例示經由一角浸沒製程將基板浸沒於電解液中。

【0022】 圖 2A 與 2B 顯示在浸沒期間基板之浸沒部分上的電流(圖 2A)與平均電流密度 (圖 2B)，其中使用不同的設備/進入條件。

【0023】 圖 3 顯示具有用以回收電解液之再循環迴路之電鍍室的簡化圖。

【0024】圖 4A-4D 與 5A-5D 例示可用於某些實施例中之不同形狀的參考電極。

【0025】圖 6 與 7 例示和浸沒期間施加至基板之浸沒部分上之平均電流密度相關的模型化結果(圖 6)與實驗結果(圖 7)，其中使用各種形狀之參考電極。

【0026】圖 8A 為電鍍室之俯視圖，其例示根據某些實施例之可設置參考電極的各種偏離角度。

【0027】圖 8B-8D 顯示和浸沒過程期間施加至基板之浸沒部分上之平均電流密度(圖 8B 與 8D)及電流(圖 8C)相關的實驗結果，其中點參考電極之位置係以各種偏離角度偏離基板進入位置。

【0028】圖 9A 顯示和浸沒過程期間施加至基板之浸沒部分上之平均電流密度相關的模型化結果，其中使用相對於電解液具有不同相對電導率的全環形參考電極。

【0029】圖 9B 顯示和浸沒過程期間施加至基板之浸沒部分上之平均電流密度相關的模型化結果，其中使用相對於電解液具有不同相對電導率的半圓形參考電極。

【0030】圖 9C 之表顯示根據某些實施例之不同形狀之參考電極之參考電極與電解液之間之相對電導率的可能範圍。

【0031】圖 10 為根據一實施例之分段參考電極的簡化俯視圖。

【0032】圖 11 為根據一實施例之具有可變化之形狀之動態參考電極的簡化俯視圖。

【0033】圖 12 與 13 顯示根據某些實施例之整合式多室電鍍設備的簡化圖。

【實施方式】

【0034】 在本申請案中，「半導體晶圓」、「晶圓」、「基板」、「晶圓基板」及「部分製造完成之積體電路」等詞可互換使用。熟知此項技藝者當瞭解，「部分製造完成之積體電路」一詞可指於矽晶圓上進行之積體電路製造之眾多階段中之任何階段期間的矽晶圓。在半導體裝置業界中所用的晶圓或基板通常具有 200、300、或 450 mm 的直徑。又，「電解液」、「電鍍浴」、「浴」、「電鍍溶液」等詞可互換使用。下面的詳細說明假設本發明實施例係於晶圓上施行。然而，本發明實施例不限於此。工作件可具有各種形狀、各種尺寸、及各種材料。除了半導體晶圓外，可受惠於本發明實施例的其他工作件包含各種物品如印刷電路板、磁性記錄媒體、磁性記錄感應器、鏡、光學元件、光電裝置、微機械裝置等。

【0035】 在下面的敘述中將提供各種特定細節以提供對所述實施例的全面瞭解。本發明之實施例可在缺乏部分或全部此些特定細節的情況下實施。在其他的情況下，不詳細說明習知的製程操作以免不必要地模糊本發明之實施例。雖然將利用特定實施例來說明本發明，但應瞭解，其意不在限制本發明。

【0036】 電鍍所遇到的一個挑戰為，在基板表面上達到空間上的期望電流密度及/或在電鍍製程之過程期間暫時地達到期望電流密度。在文中的各種實施例中，可使用修改過的參考電極促進浸沒/電鍍期間施加至基板上的期望電流密度。藉著利用文中所述的一或多種技巧修改參考電極，可更準確地量測並控制基板與參考電極之間的電位差，進而導致改良的電鍍結果。文中之實施例可用在各種電鍍文義下，其包含但不限於電鍍銅、鎳、鈷、及其組合。

【0037】 在許多的電鍍應用中，可以一角度將基板浸沒至電解液中。在此情況下，基板的前緣比基板的後緣先受到浸沒。在某些情況中，浸沒發生在持續約 120-200 ms 位準的期間內。角浸沒可減少泡泡困在基板表面下的可能性，此現象可不利地影響沉積結果。角浸沒亦可具有各種其他優點。另一方面，角浸沒可使得浸沒期間基板表面上的電流密度分佈更難控制。

【0038】 圖 1 例示三時間點處之基板的典型角浸沒及基板的對應浸沒區域。在此些晶圓示意圖中，暗區域對應至晶圓未被浸沒的區域而亮區域對應至晶圓已被沒之區域。在圖 1 的上部中，基板正開始進入電鍍溶液(「前緣」受到浸沒)。在圖 1 的中間部中晶圓在浸沒半途，在圖 1 的下部中基板幾乎被完全浸沒(「後緣」幾乎浸沒)。

【0039】 在浸沒期間施加至基板的電條件對於所得的電鍍薄膜具有很大的影響。可使用各種類型的進入條件。在一實例中，在基板被完全浸沒之前不對基板施加任何電流，這通常被稱為「冷入」或「零電流進入」。不幸地，冷入製程通常會導致基板上之晶種層的退化(如腐蝕)。

【0040】 藉著使晶種層相對於電解液溶液陰極化可減少浸沒期間晶種層的腐蝕。已顯示相較於不施加之浸沒，在浸沒期間陰極化能提供明顯的金屬化填充優點。在某些情況中可藉著預設定連接至晶圓的電源以在晶圓首度浸沒至電解液後儘快地提供一電流密度範圍如介於約 0.02 至 5 mA/cm² j 內的小(有時是固定的)DC 陰極電流，以達到陰極化。此類方法常被稱為「熱入」法。熱入通常會在基板首次進入電鍍溶液時造成被施加至基板前緣的高電流密度並在基板完全進入電鍍溶液時被施加至基板後緣的較低電流密度。

【0041】 在許多的應用中，期望在浸沒期間於基板受到浸沒的部分上達到固定電流密度。被用來促進浸沒期間在基板表面各處之更均勻電流密度的一方法為定電位進入。在使用定電位進入的情況中，在電解液中的基板與參考電極之間施加固定電壓。藉由電源控制器監控參考電極以在參考電極與基板之間提供受到控制的電位。基板亦可被稱為工作電極或陰極。控制器自參考電極讀取電位並依需求適當調整施加至基板的電位，以在基板與參考電極之間維持受到控制(在定電位的情況中為固定的)的電位。以此方式，基板新受到浸沒的區域在受到浸沒時會面對相對固定的電壓，藉此降低浸沒期間基板各處之電流密度的變異。在美國專利 US 6,793,796、US 6,551,483、US 6,946,065、及 US 8,048,280 中更進一步地討論在進入期間的極化，將上述每一者的所有內容包含於此作為參考。在某些實施例中，在進入期間的定電位控制能在晶圓表面各處產生約介於 1 至 50 mA/cm² 之間的電流密度。

【0042】 參考電極係常用於電鍍系統中。在各種電鍍系統中，將負電位施加至基板/陰極，藉此將金屬電鍍至基板上。陽極(亦被稱為對電極)使電鍍池中的主要電路完整並在電鍍期間接收正電位。陽極抗衡受到沉積之基板處所發生的反應。參考電極具有提供特定位置(參考電極之位置)處之電解液電位之直接量測的功能。

【0043】 參考電極汲取可忽略之電流，因此不會在靠近參考電極的電解液中產生歐姆或質量輸送變異。藉著設計參考電極使其具有極高的阻抗可使參考電極汲取極少的電流。

【0044】 在許多傳統的電鍍系統及某些文中的電鍍系統中，參考電極的設計俾使其不會擾亂其所在之處的電解液電位。對此缺乏擾亂有貢獻的一個因素

為參考電極上之電化學活性區域的尺寸。例如，點參考電極(有時亦被稱為點探針)包含小電化學活性區域並只量測小電化學活性區域之切確位置處的電解液電位。文中的某些實施例可使用點參考電極。在許多其他實施例中，可使用不同類型的參考電極。在某些情況中，參考電極可比傳統的點參考電極具有更大的電化學活性區域(複數區域)。如此在某些實施例中，參考電極可影響其中電極具有電化學活性之區域處的電解液電位。

【0045】 本案發明人觀察到，在使用定電位進入的情況中，基板前緣和基板後緣所經歷的電流密度之間可能仍存在明顯的差異。在許多的情況中，基板前緣比基板後緣經歷更高的電流密度。是以，雖然定電位進入能降低在浸沒期間的電流密度變異，但定電位無法獨自消除此類變異。又，本案發明人觀察到，定電位進入製程對硬體的設計與條件及所用基板極為敏感。

【0046】 圖 2A 與 2B 顯示當基板被浸沒至電解液中時被施加至基板之電流與電流密度隨著時間的關係。圖中所示之不同線條係關於特定進入條件下不同類型之電鍍設備(設備 A、B 與 C，其中顯示設備 B 在兩組不同進入條件設定處的表現即 B1 與 B2)。圖 2A 顯示在浸沒期間施加電流隨著時間的變化。在理想的情況下，在浸沒期間施加電流隨著時間的變化應呈 S 形。在施加電流隨著時間的變化呈 S 形的情況中，浸沒面積增加最快速(例如當基板中央正受到浸沒時)時電流增加最快速，而施加至受到浸沒之基板的電流密度可相對地穩定。圖 2B 顯示在基板浸沒過程期間的施加電流密度。在理想的情況下，此圖的線條應相對平且施加電流密度在浸沒過程期間內為均勻的。用以產生圖 2A 與 2B 中之數據的進入條件為定電位進入條件，且用以量測被施加至基板的電位的參考探針

為點探針。如圖示中所示，不同類型之電鍍硬體及浸沒條件之間之浸沒期間的電流及電流密度曲線之間存在明顯的差異。

【0047】 文中的各種實施例揭露用以在電鍍期間尤其是在基板首次被浸沒至電解液時之浸沒階段期間達到更受控制之電流密度的方法及設備。此類實施例使電流密度得以受到控制以達到例如下列任一者：**(a)**整個基板各處的均勻電流密度；**(b)**相較於基板後緣，基板前緣處經歷較低的電流密度；或**(c)**相較於基板前緣，基板後緣處經歷較高的電流密度。在許多情況中，使用受到控制的電位進入。在受到控制的電位進入中，控制在浸沒期間電解液中之基板與參考電極之間的電位。在某些情況中，將電位控制為一固定值，使製程為定電位進入製程。在雙鑲嵌電鍍的文義下定電位進入製程尤其相關。在其他情況中，在浸沒期間可控制電位俾使其變化(如增加、減少、或其組合)。

【0048】 雖然之前已使用過受控制的電位進入，但文中的實施例提供更精確控制施加至基板之電位的方法與設備。施加至基板的電位係基於基板與參考電極之間的電位差所量測。在許多文中實施例中，修改參考電極的特性以達到施加至基板之電位的更精確控制。例如，在各種實施例中可自先前使用的參考電極修改參考電極之形狀/尺寸/設計/位置/材料/電導率中的一或多者。對參考電極的此些修改無論是單獨或彼此的組合皆有助於更精確地控制被施加至基板的電位，因此有助於在基板浸沒過程期間達到基板表面上更受控制的電流密度。

【0049】 圖 3 顯示實施電鍍用之一例示性設備。該設備包含一或多個電鍍池，複數基板(如複數晶圓)在電鍍池中接受處理。圖 3 中僅顯示單一電鍍池以保持圖示清晰。用以施行所示之方法的一例示性設備係顯示於圖 3 中。該設備包

含一或多個電鍍池，複數基板(如複數晶圓)可在電鍍池中受到處理。圖 3 中僅顯示單一電鍍池以維持畫面清晰。為了最佳化由下往上之電鍍，可如文中所述將添加劑(如加速劑及抑制劑)添加至電解液；然而，具有添加劑之電解液可能會以非所欲之方式和陽極反應。因此，有時電鍍池之陽極與陰極區域會藉由薄膜分離，俾使具有不同組成的電鍍溶液可在各自的區域中受到使用。陰極區域中的電鍍溶液被稱為陰極電解液，陽極區域中的電鍍溶液被稱為陽極電解液。可使用多種工程設計將陽極電解液與陰極電解液導入電鍍設備中。為了最佳化由下往上電鍍，可將添加劑(如加速劑及抑制劑)添加至電解液；然而，具有添加劑的電解液可能會以非所欲之方式與陽極反應。因此電鍍池的陽極與陰極區域有時會藉由薄膜分隔，故在每一區域中可使用不同組成的電鍍溶液。陰極區域中的電鍍溶液被稱為陰極電解液而陽極區域中的電鍍溶液被稱為陽極電解液。可使用許多工程設計以將陽極電解液與陰極電解液導入電鍍設備中。

【0050】 參考圖 3，顯示文義下之電鍍設備 801 的概略橫剖面圖。電鍍浴 803 包含電鍍溶液，其係以位準 805 代表之。此容器的陰極電解液部分係用以將基板容納於陰極電解液中。晶圓 807 被浸沒於電鍍溶液中且受到安裝於可旋轉轉子 811 上的「殼式」支撐固定件 809 所支撐，可旋轉轉子 811 使得殼式固定件 809 能與晶圓 807 一起旋轉。在美國專利 US 6,156,167 及美國專利 US 6,800,187 中詳細揭露了具有適合與本發明一起使用之態樣之殼式電鍍設備的一般說明，將其所有內容包含於此作為參考。

【0051】 陽極 813 係設置於電鍍浴 803 內的晶圓下方並藉由薄膜 815 如離子選擇薄膜和晶圓區域分離。例如，可使用 Nafion™陽離子交換薄膜(CEM)。陽極薄膜下方的區域通常被稱為「陽極室」。離子選擇陽極薄膜 815 允許電鍍池

之陽極區域與陰極區域之間的離子交流，但避免在陽極處所產生的粒子進入晶圓附近污染晶圓。陽極薄膜亦可用以在電鍍製程期間分散電流，藉此改善電鍍均勻度。美國專利 US 6,126,798 與 US 6,569,299 中提供了適合之陽極薄膜的詳細說明，將其所有內容包含於此作為參考。離子交換薄膜如陽離子交換薄膜尤其適合此些應用。此些薄膜係通常由離子聚合物材料如包含磺酸基團之全氟化共聚物(如 Nafion™)、磺化的聚醯亞胺、及此領域中人已知適合陽離子交換之其他材料所製成。適合之 Nafion™ 薄膜的選擇性實例包含來自 Dupont de Nemours Co. 的 N324 與 N424 薄膜。

【0052】 在電鍍期間，來自電鍍溶液的離子沉積在基板上。金屬離子必須擴散通過擴散邊界層而進入凹陷特徵部(若其存在)中。協助擴散的一典型方法為藉由泵浦 817 提供電鍍溶液的對流。此外，可使用振動攪動或音波攪動構件以及晶圓旋轉。例如，可將振動傳感器 808 附接至晶圓夾頭 809。

【0053】 泵浦 817 持續地將電鍍溶液提供予電鍍浴 803。在各種實施例中，電鍍溶液大致上向上流經陽極薄膜 815 與擴散板 819 而流至晶圓 807 中央，接著徑向地向外流過晶圓 807。亦可自電鍍浴 803 的側邊將電鍍溶液提供至電鍍浴的陽極區域中。接著電鍍溶液自電鍍浴 803 溢流至溢流儲槽 821。接著電鍍溶液受到過濾(未顯示)並返回泵浦 817，完成電鍍溶液的再循環。在電鍍池的某些組態中，不同的電解液循環經過電鍍池包含陽極的部分，但利用具有適度滲透性的薄膜或離子選擇薄膜可避免此不同的電解液與主電鍍溶液混合。

【0054】 參考電極 831 尤其可用以促進在受控制之電位下的電鍍。參考電極 831 可為文中所揭露之各種參考電極的一者。在某些實施例中，除了參考電極外可使用與晶圓 807 直接接觸的接觸感測接腳以更精確地量測電位(未顯示)。

【0055】 在許多的現行設計中，參考電極 831 為可量測特定點/位置處之電鍍浴 803 之電位的點探針(即棒)。參考電極 831 之位置有時可量測極靠近基板首先進入電鍍浴 803 之點處的電解液電位。在某些情況中，例如參考電極 831 量測基板首先進入電鍍浴 803 之點之約 1 吋範圍內之位置處的電鍍浴電位。在其他情況中，參考電極 831 可量測遠離基板之位置處如電鍍浴 803 深處之位置處的電位。或者在某些實施例中，參考電極 831 係位於電鍍浴 803 外的分離室 833 上，分離室 833 受到來自主電鍍浴 803 的溢流補充。

【0056】 在各種情況中，參考電極為高阻抗電極，其在溶液中能表現穩定電位以提供參考電位/標準電位，使得施加至基板的電位能相對於參考電位受到量測。可用於水性系統之電極的常見類型包含例如汞-硫酸汞電極、銅-硫酸銅(II)電極、氯化銀電極、飽和甘汞電極、標準氫電極、常態氫電極、可逆氫電極、鈦-氫電極、及動態氫電極。亦可使用其他材料及材料組合。在某些情況中，參考電極包含在元件之至少一表面(在某些情況中至少上表面)上包覆了銅的鈦元件(如棒、弧、或環)。在此些或其他情況中，參考電極可包含電絕緣材料核及導電材料之覆層。

【0057】 通常在傳統的電鍍系統中，參考電極具有垂直位向(如垂直的棒)且上表面係置於電解液內。在許多的情況中，電位係於此上表面處量測，在某些情況中此上表面係位於電解液表面之約 1 吋範圍內。棒狀電極的例示性長度約為 2 吋，但此長度並非關鍵。

【0058】 在某些實施例中，參考電極室係藉由毛細管或其他方法連接至晶圓基板的一側或晶圓基板的正下方。在某些實施例中，設備更包含連接至晶圓

外緣的接觸感測接腳(未顯示)，接觸感測接腳係用以感測在晶圓外緣處的金屬晶種層的電位但不會將任何電流帶至晶圓。

【0059】 在各種實施例中可提供額外的電極(未顯示)。在某些情況中，額外的陰極可被稱為雙陰極、小偷陰極(thief cathode)、或輔助陰極。雙陰極通常為環形且被設置在雙陰極室中，雙陰極室可位在電鍍室之主要部分的外部例如藉由薄膜而與主電鍍浴 803 分離。通常雙陰極的位置俾使其在基板與基板支撐件銜合時徑向位於基板外緣之外。雙陰極的垂直位置可靠近基板或介於基板與陽極之間。雙陰極可影響電流流經電鍍設備的方式以促進基板表面各處的均勻電鍍結果。在美國專利 US 8,475,636 與 US 8,858,774 中更進一步地說明了使用額外電極的電鍍設備，將其所有內容包含於此作為參考。在某些情況中，可藉由雙陰極(或其他額外電極)的存在影響參考電位。難以量測相關電位差的另一因素為參考電極量測電位之點與基板進入電解液之點之間的距離。在某些文義下，此兩點之間的分隔距離愈大，則量測數據愈無用。

【0060】 DC 電源 835 可用以控制流至晶圓 807 之電流。電源 835 具有負輸出接腳 839，負輸出接腳 839 係經由一或多個滑環、刷與接觸件(未顯示)而電連接至晶圓 807。電源 835 的正輸出接腳 841 係電連接至位於電鍍浴 803 中的陽極 813。電源 835、參考電極 831、與接觸感應接腳(未顯示)可連接至系統控制器 847，系統控制器 847 除了其他功能外尤其能對電鍍池的元件提供經調變的電流與電位。例如，控制器可使電鍍發生在受到控制之電位及受到控制之電流範圍中。控制器可包含複數程式指令，此些程式指令明確定義需被施加至電鍍池之各種元件的電流與電壓位準以及需改變此些位準的時序。藉著持續地監控基板與參考電極之間的電位差並依為了驅動期望電沉積之需要進行調整，控制器可

控制施加至基板的電位。當施加順向電流時，電源 835 使晶圓 807 偏壓以相對於陽極 813 具有負電位。這使得電流自陽極 813 流向晶圓 807 且晶圓表面(陰極)上發生電化學還原反應，這造成導電層(如銅、鎳、鈷等)沉積至晶圓表面上。可將惰性陽極 814 安裝於電鍍浴 803 內之晶圓 807 的下方並藉由薄膜 815 而與晶圓區域分隔。

【0061】 設備亦可包含用以將電鍍溶液之溫度維持在特定位準的加熱器 845。電鍍溶液可用以將熱傳輸至電鍍浴中的其他元件。例如，當晶圓 807 係位於電鍍浴中時，可開啟加熱器 845 與泵浦 817 以經由電鍍設備 801 循環電鍍溶液直到整個設備的溫度變得實質上均勻。在一實施例中，加熱器係連接至系統控制器 847。系統控制器 847 可連接至熱耦以接收電鍍設備內之電鍍溶液的溫度反饋並決定是加需要額外加熱。

【0062】 控制器通常包含一或多個記憶體裝置及一或多個處理器。處理器可包含 CPU 或電腦、類比及/或數位輸入/輸出連接件、步進馬達控制板等。在某些實施例中，控制器控制電鍍設備以及用以在電鍍開始前濕潤基板表面之預濕室的所有活動。控制器亦可控制用以沉積晶種層之設備的所有活動以及涉及在相關設備間傳送基板的所有活動。

【0063】 通常存在著和控制器 847 相關的使用者界面。使用者界面可包含顯示螢幕、設備及/或製程條件的圖形化軟體顯示、及使用者輸入裝置如點擊裝置、鍵盤、觸控螢幕、麥克風等。

【0064】 可以任何傳統的電腦可讀程式語言撰寫控制電鍍製程用的電腦程式碼，電腦可讀程式語言例如是組合語言、C、C++、Pascal、Fortran 或其他語言。可藉由處理器執行編譯過的物件碼或腳本以進行程式中所認定的任務。

應瞭解，文中所揭露的方法及設備可用於許多不同類型的電鍍文義。例如，所揭露的技術可被應用於電鍍各種類型的金屬與合金且可在許多具有各種硬體設定的不同類型電鍍池中實施。如此，雖然文中以電鍍特定金屬說明許多實施例尤其是，但本發明的實施例不限於此。應預期，雖然實施例尤其有利於平及/或碟形基板如半導體晶圓，但所揭露的實施例可用以改善幾乎任何類型的電鍍結果。

【0065】 如上所述，在文中的各種實施例中可修改參考電極以更精確地量測及控制施加至基板的電位。

參考電極的形狀

【0066】 在許多的傳統電鍍應用中，參考電極為點電極(亦被稱為點探針)。點參考電極提供參考電極位置所在之特定點處之溶液的標準電位量測。圖4A-4D顯示可用於各種實施例中之四種替代性參考電極設計的俯視圖。圖4A的參考電極402a為點電極、圖4B的參考電極402b為四分之一環電極(亦被稱為90°弧電極)、圖4C的參考電極402c為半環電極(亦被稱為180°弧電極)、而圖4D的參考電極402d為全環電極。在每一圖示中，晶圓被顯示為元件401。顯示三種不同的參考電極基本類型：點電極(圖4A)、弧/部分環電極(圖4B與4C)、及全環電極(圖4D)。針對弧/部分環電極而言，電極的形狀可橫跨任何角範圍。換言之，實施例不限於圖示中所示之特定90°或180°弧，弧可橫跨小於90°、介於90-180°之間、及甚至在本發明實施例的範疇內可考慮大於180°的弧。下面將更進一步地討論對於電鍍半導體晶圓尤其有用的特定弧形。

【0067】 在各種實施例中，參考電極可位於基板首次進入電解液之點附近或參考電極之中心可位於基板首次進入電解液之點處。在其他實施例中，如下

所將進一步討論的，參考電極之設置位置/中心位置可偏離基板首次進入電解液之點。

【0068】 藉著使用此類替代性的參考電極形狀，參考電極可用以提供電鍍池中較大區域各處的標準電位量測。實際上，參考電極之形狀可提供電鍍池之一區域內的平均電位而非電鍍池內單一位置處的特定電位。此有助於抵消電鍍溶液內的局部電位變異，以協助達到施加至基板之電位的更精確量測。在各種實施例中，參考電極之位置可使參考電極在電鍍期間徑向地位於基板外緣之外例如與基板之外緣距離約 1 吋或更少的水平距離。

【0069】 圖 5A-5D 例示圖 4A-4D 之參考電極 402a-402d 的透視圖，參考電極 402a-402d 係位於具有文中所述之電鍍浴(未顯示)之電鍍池 510 中。為了清晰的目的，省略電鍍池 510 的細節。如圖 5A-5D 中所示，點參考電極 402a 的形狀係類似於棒，而參考電極 402b-402d 的形狀係類型於彎曲薄片(如銅薄片、但亦可使用其他材料)。

【0070】 圖 6 顯示模型化結果，此模型化結果預測了在使用不同形狀之參考電極的情況下浸沒過程期間被施加至基板之浸沒區域的平均電流密度。尤其，探究六種不同的參考電極形狀：點參考電極(如圖 4A 的參考電極 402a)、90°弧參考電極(如圖 4B 的四分之一環參考電極 402b)、105°弧參考電極、150°弧參考電極、180°弧參考電極(如圖 4C 的半環參考電極 402c)、及全環電極(如圖 4D 的全環電極 402d)。圖 6 中的數據係利用 FlexPDE 使用有限元素模型並假設使用定電位進入所產生。

【0071】 圖 7 顯示實驗結果，實驗結果顯示在使用不同形狀之參考電極的情況下定電位浸沒過程期間被施加至基板之浸沒區域的平均電流密度。所示之

數據係關於圖 4A-4D 中的參考電極 402a-402d。具體而言，數據顯示當參考電極為點參考電極、四分之一環參考電極、半環參考電極、或全環參考電極時整個受浸沒區域內的平均電流密度。

【0072】 理想地，在某些實施例中在浸沒期間的電流密度為常數不隨時間變化。換言之，一般期望圖 6 與 7 中所示的曲線相對地平。圖 6 與 7 中所示之模型化與實驗結果顯示，參考電極的形狀對浸沒期間基板經歷之平均電流密度有很大的影響。尤其，在使用點參考電極的情況中，施加至基板浸沒區域的電流密度一開始上升至一高位準，然後在浸沒過程期間下降。在此實例中電流密度在浸沒期間變化約 3 倍，遠遠不如理想。相對地，在使用其他參考電極形狀的情況中，電流密度在浸沒期間變化程度較小，藉此在浸沒過程期間達到施加至基板之更均勻的平均電流密度。例如，在使用四分之一環參考電極的情況中電流密度在浸沒期間的變化約 2.5 倍，在使用半環參考電極的情況中電流密度在浸沒期間的變化僅約 1.7 倍。全環參考電極會在前 40% 的浸沒期間內造成電流密度稍微下降，接著稍微上升，然後電流密度再次地逐漸下降。雖然此些結果暗示，全環參考電極可能會造成太「冷」的進入，但如例如图 9A 所更進一步討論地，可採取某些其他措施以促進全環參考電極的較佳結果。如此，在某些情況中期望全環參考電極可得到較佳結果，因此將全環參考電極視為落在本發明實施例之範疇內。

【0073】 一般而言，橫跨較長距離/橫跨較大範圍之基板/電鍍池之周長的參考電極能較佳地避免在浸沒製程初始期間施加至基板的平均電流密度的尖峰。然而，某些點參考電極可比理想情況橫跨更大的長度/角範圍，可將初始浸沒期間的電流密度維持在低於預期的位準。因此在某些實施例中，參考電極為橫跨

介於約 50-200°之間、例如介於約 70-180°之間、或介於約 105-150°之間之基板的弧。通常，參考電極之形狀/尺寸俾使參考電極如圖 4A-4D 所示在電鍍期間徑向地位於基板外緣之外。在參考電極為材料薄片(例如，如圖 5B-5D 中所示)的情況中，薄片的厚度可介於約 1-5 mm 之間、或介於約 1-3 mm 之間。參考電極的高度在某些情況中可介於約 0.5-2 吋之間。高度係於圖 5A-5D 中垂直測得，其量測方向為圖 4A-4D 之出入紙面的方向。

【0074】 雖然不欲受限於任何理論或作用機制，但發明人相信，弧形及環形參考電極在浸沒期間提供更均勻的電流密度，因為這些電極可用以量測電鍍池內之整個區域內的電位而非電鍍池內一特定位置處的電位。這提供了平均參考電壓，藉此克服某些局部電位變異並能更精確地控制施加至基板的電位。電鍍池內之電位的局部變異在浸沒期間可能會增加，在使用傾斜浸沒使得基板之一側比基板的另一側更早進入電鍍溶液的情況下尤其如此。在此情況中，基板的前緣可被理解成在浸沒首次發生時「活化」電解液，但靠近電鍍池之另一側的電解液在浸沒製程的此初始階段期間維持「未被活化」的狀態。由於在浸沒期間電解液內的電壓分佈並非空間均勻的，因此使用弧形或環形參考電極而在相關區域上使用平均參考電壓，有助於在基板上達到均勻電流密度，藉此最小化電解液內因非均勻性電壓分佈所產生的任何效應。

【0075】 又，參考電極的形狀本身可影響電鍍池內的電壓分佈。由於參考電極大致上是由導電材料所製成且包含等電位的表面，因此電極(若其具有適合的形狀)可作用以將其電位施加於電解池內寬廣區域(大致上與參考電極共存在的區域)的電解液上。例如，模型化的結果暗示，使用全環參考電極情況下之電鍍池內的電位分佈會比使用點參考電極情況下之電鍍池內的電位分佈更均勻。

相較於點參考電極，全環參考電極能建立更角均勻的電位分佈。在使用點參考電極時，靠近基板首次進入電解液之點之電壓可與電鍍池之相反側處的電壓明顯不同。弧形參考電極可類似地影響電鍍池內之電位分佈。

【0076】 可導致較佳電流密度控制的另一因素為，基板在浸沒期間通常旋轉的事實。此類旋轉可造成浸沒過程期間參考電極與基板之最靠近之浸沒部分之間的距離的變化。例如，參考電極的位置可鄰近基板的前緣首次進入電解液的位置。當基板受到浸沒時基板亦可旋轉，這可增加點參考電極與基板之浸沒部分之間的距離。較快的旋轉速度將使此現象惡化。為了比較，當參考電極為弧形時此現象可能較不會造成問題，因為在基旋轉時參考電極與基板之浸沒部分之間的距離可維持恆定一段時間。

【0077】 在某些實施例中，參考電極可具有更複雜的形狀。例如在某些情況中，參考電極可由各種複數段所製成。在此些或其他情況中，參考電極可具有可在電鍍製程期間變化或在複數電鍍製程之間變化的動態形狀。下面會更進一步地討論具有複數段及/或動態可變化之形狀的參考電極。

參考電極的位置

【0078】 在各種電鍍應用中，參考電極係位於接近基板首次進入電解液之點之處。基板前緣首次進入電解液的點亦被稱為基板進入點或基板進入位置。模型化與實驗結果皆顯示，參考電極相對於基板進入點的所在位置會對浸沒過程期間施加至基板之電流密度有顯著的影響。如此，在某些實施例中，參考電極可位於和基板進入點分離的位置處。通常此分離為角分離。換言之，參考電極可位於接近基板外緣的位置處(若基板被完全浸沒)，此位置以一特定角度角偏離基板首次進入電解液之點。

【0079】圖 8A 例示電鍍池的簡化俯視圖。星號(*)代表傾斜基板之前緣首次進入電解液的點(基板進入點)。亦顯示繞著電鍍池的數個角位置以例示可設置參考電極的數個可能位置。這些位置係以其和基板進入位置之間的偏離角度標示。這些位置為非限制性的，其係用以清楚說明何謂角偏離。如所示，在各種實施例中偏離角度可為任一旁向。在某些實施例中，參考電極可位於基板首次進入電解液之後基板前緣將接近參考電極位置的位置。換言之，參考電極可以和基板旋轉相同的方向偏離基板進入位置。在一此類實例中，基板以順時針方式旋轉、基板在星號處進入電解液、且參考電極係位於中小圓圈中的 45°處。在另一實施例中，參考電極可位於基板前緣將移動遠離基板首次進入電解液之點的位置處。換言之，參考電極可沿著和基板旋轉的相反方向偏離基板進入位置。在此實施例的一實例中，基板以逆時針方式旋轉、基板在星號處進入電解液、且參考電極位於圖 8A 中小圓圈中的 45°處。相較於上面的實例，基板以相反方向(遠離參考電極而非朝向參考電極)旋轉。

【0080】雖然文中許多和參考電極相較於基板進入位置之相對位置相關的討論係於點參考電極的文義下提供，但本發明之實施例不限於此。亦可使弧形參考電極的中心角偏離晶圓進入位置。弧形參考電極的位置被認為是電極上和弧兩端皆等距的點(弧的中間)。

【0081】圖 8B-8D 之實驗結果顯示，當使用不同參考探針位置時在基板浸沒過程期間施加至基板之浸沒區域之電流(圖 8C)及平均電流密度(圖 8B 與 8D)。圖 8B-8D 中的數據係利用點參考電極如圖 4A 與 5A 之電極 402a 所產生。

【0082】針對圖 8B，實驗結果確認了參考電極之位置鄰近基板進入位置(偏離 0°)的情況下的期望電流密度輪廓。該結果亦顯示，在用以進行實驗的條件

下 60° 或更大的偏離角度會導致非所欲地低的初始電流密度。 60° 或更大的偏離角度可能更適合於某些其他實施例中。圖 8C 與 8D 顯示在參考電極角偏離基板進入位置的偏離角度小於圖 8B 之偏離角度的情況下的額外實驗結果。尤其，圖 8C 與 8D 比較了參考電極之位置鄰近基板進入位置(偏離 0°) 的情況以及參考電極角偏離基板進入位置約 30° 的情況。如圖 8C 中所示，在參考電極稍微偏離基板進入位置的情況下電流上升較緩慢。如圖 8D 中所示，此較漸進的上升會造成在浸沒過程期間施加至基板之更均勻的平均電流密度。此改善為實質且超出預期的。

【0083】 在某些實施例中，參考電極之位置可使其角偏離基板進入位置，偏離的角度係介於約 $5-50^\circ$ 之間、或介於約 $10-45^\circ$ 之間、或介於約 $20-40^\circ$ 之間、或介於約 $25-35^\circ$ 之間。在一特定的實施例中，參考電極角偏離基板進入位置約 30° 。亦可使用超出此些範圍的偏離角度。參考電極可徑向地位於基板外緣之外。在某些情況中，參考電極可直接位於電鍍池內俾使其被暴露至接觸基板的相同電解液。在其他情況中，參考電極之位置可使其與接觸基板的電解液分離，例如參考電極可位於和接觸基板之電解液分離(如藉由薄膜分離)的參考電極室中。在許多情況中，參考電極係徑向地位於基板外緣之外。通常但並非總是，參考電極之位置俾使其被浸沒於電解液中，電極的上表面距離電解液-空氣介面約 2 吋或更少如約 1 吋或更少。

【0084】 在某些情況中，參考電極的位置可為靜態的。在其他情況中，參考電極的位置可變化例如在處理不同基板之間變化、或甚至在處理單一基板期間變化。下面包含關於可移動之參考電極的更進一步細節。

參考電極的電導率

【0085】 參考電極的電導率亦可影響基板浸沒過程期間施加至基板之平均電流密度的均勻性。相對於電鍍浴之電導率之參考電極的相對電導率尤其相關。由於這些電導率具有相同的單位(如S/cm)，因此其可直接相互比較，但參考電極的電導率代表電子電導率而電鍍浴的電導率代表離子電導率。

【0086】 圖 9A 所產生之模型化結果係用以顯示被施加至基板之浸沒區域之平均電流密度與基板受到浸沒之百分比之間的關係。換言之，圖 9A 預測在浸沒過程期間被施加至基板之平均電流密度。圖 9A 中的結果係基於下列假設所產生：參考電極為類似於圖 4D 與 5D 中所示的全環電極。

【0087】 圖 9A 中的結果顯示相較於電鍍浴之參考電極的相對電導率可對浸沒過程期間施加至基板之平均電流密度的均勻性有實質影響。當參考電極之電導率為電鍍浴之電導率的 5 倍時，電流密度一開始相對地高，然後電流密度隨著基板更進一步浸沒而以相當陡的方式下降。比較地，當參考電極之電導率為電鍍浴之電導率的 30 倍時，平均電流密度在浸沒過程期間內更加均勻。在範圍的另一端處，當參考電極之電導率為電鍍浴之電導率的 5000 倍時，平均電流密度一開始相對地低，然後電流密度在基板浸沒的最終 20% 期間爬升至其終值。一般而言，預測在參考電極之電導率介於電鍍浴之電導率的 10 倍-50 倍之間如介於約 15 倍-40 倍之間、或介於約 20 倍-35 倍之間時可得到最佳結果。這些範圍尤其適合形狀類似於全環電極的參考電極，但這些範圍亦可應用至其他形狀的參考電極(如棒及/或弧)。然而，其他形狀之參考電極相對於電鍍浴可具有不同的最佳相對電導率。

【0088】 如文中所用，相較於電鍍浴之相對參考電極電導率 A 倍代表參考電極所具有之電導率為電鍍溶液之電導率的約 A 倍。類似地，相較於電鍍浴之

相對參考電極電導率 A 倍-B 倍代表參考電極所具有之電導率係介於電鍍浴之電導率的約 A 倍-B 倍之間。例如，參考電極所具有之電導率 3000 mS/cm 為電鍍浴之電導率 100 mS/cm 的 30 倍。在各種實施例中，電鍍浴的電導率可介於約 3-120 mS/cm 之間，但本發明實施例不限於此。

【0089】圖 9B 之模型化結果顯示類似於圖 9A 中所示之結果(在浸沒期間的電流密度)，但圖 9B 中的數據係關於參考電極為半環電極的情況。該數據顯示，當參考電極之電導率為電鍍浴之電導率的 5000 倍時，電流密度開始低於期望值。此結果和高度電導率(5000 倍)之全環參考電極之情況中所預測的結果相符。當參考電極具有較少電導率(如電鍍浴之電導率的 70 倍或 100 倍)時，在浸沒過程期間內的電流密度均勻度大幅改善。

【0090】圖 9C 之表列出弧形參考電極的不同範圍(範圍係對應至參考電極的角範圍，例如半環電極具有 180°弧)以及在某些情況中相較於電鍍浴之電導率之參考電極的相對電導率的可能範圍。雖然本發明之實施例不限於圖 9C 中所示之實例，但本案發明人已辨識出能夠針對某些實施例中之每一特定參考電極在浸沒期間達到特別均勻之電流密度的所列相對電導率。

【0091】藉著控制用以製造參考電極之材料種類與材料的相對量可調變參考電極的電導率。例如，參考電極可包含電絕緣材料(如塑膠或其他絕緣體)的核，此核可覆以導電材料(如銅，但亦可使用許多其他的材料)。施加至絕緣核的導電材料的厚度/量會影響參考電極的電導率。在某些其他情況中，藉著選擇自具有適合電導率之材料所製成之電極，可控制參考電極的電導率。電鍍浴的電導率為電鍍浴之組成(如金屬離子與酸的濃度)的函數且可針對特定應用適當地調變。

分段之參考電極

【0092】 在某些實施例中，可使用分段的參考電極。圖10顯示包含4段即段55a-55d之分段之參考電極的一實例。在某些其他實施例中，參考電極可包含更少段或額外段。例如，該複數段的數目可介於約2-8之間、在某些情況中例如介於約4-6之間。在某些實施例中，相鄰之複數段之間的距離係介於約2.5-12.5 cm之間、或介於約5-10 cm之間，此距離可代表受到處理之基板之約20-40%直徑。可獨立地活化/去活化該複數段。在某些實施例中，在基浸沒製程期間該複數段係獨立地受到活化/去活化。在基板浸沒完成之後，亦可獨立地使該複數段變成活化及/或去活化狀態。

【0093】 藉著獨立地活化/去活化複數段，可控制被施加至基板之浸沒區域的電流密度分佈。在某些情況中，可在實質上相同的時間處活化及/或去活化兩或更多的獨立段。在此些或其他情況中，可依序活化及/或去活化該複數獨立段的兩或更多者。在某些情況中可沿著基板旋轉的相同方向活化及/或去活化該複數段。例如，針對基板係以順時針方式旋轉的圖 10 而言，可先活化(及/或去活化)段 55a、然後段 55b、接著段 55c、接著段 55d。在另一實例中，以和基板旋轉之方向相反的方向活化及/或去活化該複數段。例如，針對基板係以順時針方式旋轉的圖 10 而言，可先活化(及/或去活化)段 55a、然後段 55d、接著 55c、接著段 55b。在更另一實施例中，可以兩種方式活化及/或去活化該複數段。針對圖 10 而言，可先活化(及/或去活化)段 55a、然後段 55b 與 55d、接著段 55c。在某些實施例中，被活化或去活化之第一段(複數段)為鄰近基板進入位置的該些段。然而，並非總是如此。在某些其他實施例中，被活化或去活化之第一段(複數段)

為位置角偏離基板進入位置的該些段，該些段可例如位於上面和參考電極之位置相關的段落中所述的任何位置。

【0094】 如所述，可在浸沒期間(及之後)活化及/或去活化該複數段。在各種實施例中，當基板前緣首先進入電解液時活化所有該複數段。在某些實施例中，在基板後緣被浸沒於電解液中時去活化某些段。該複數段中的每一者皆可被一單一控制器與一單一電源或可被複數獨立控制器及/或複數電源控制。

【0095】 提供多段參考電極亦為控制參考電極之電導率的一種方法。該複數段的數目、該複數段的相對位置、該相鄰複數段之間的距離等皆可影響參考電極的電導率。又，活化/去活化參考電極之複數獨立段能有效地變化電鍍池之不同部分處的電導率/電阻率，藉此得以控制施加至基板之浸沒部分的平均電流密度及電流密度分佈。

動態參考電極

【0096】 在某些實施例中，參考電極可被設計為動態參考電極。動態參考電極可在電鍍製程期間變化其一或多個特性。可變化之例示性特性包含參考電極的位置及形狀。在使用分段之參考電極的電鍍期間可變化的另一特性為，在特定時間處參考電極的哪些段受到活化(如上面針對分段之參考電極的討論)。

【0097】 如上面之段落所討論，參考電極的位置及參考電極的形狀兩者皆能大幅地影響在浸沒過程期間內施加至基板之浸沒部分的電流及電流密度。在某些實施例中，在電鍍期間變化參考電極之位置及/或形狀藉此在浸沒製程之不同階段期間針對各種參考電極的位置/形狀而達到不同的電流/電流密度是有利的。

【0098】圖 11 顯示具有動態可變化之形狀之參考電極的俯視圖。所示的兩個不同形狀包含延伸形狀(左)及收縮形狀(右)，但應瞭解，可達到圖 11 中所例示之兩種形狀之間的任何形狀。亦可使用延伸更多或收縮更多的形狀。在某些情況中，參考電極之設計可俾使形狀持續變化。電極可由可滑至彼此上方的複數段、可疊套於彼此中的複數段等所製成。

【0099】參考圖 7 能更佳地瞭解具有動態可變化之形狀之參考電極的潛在優點。在各種情況中，變化參考電極在浸沒期間的形狀有利於在浸沒的不同階段處達到期望的電流密度效能。在一實例中，參考電極可始於四分之一環電極並在浸沒過程期間延伸至半環或全環電極。此方式使電流密度在浸沒的初始階段適當地高但同時能避免電流密度在浸沒製程的下個階段(如中間階段)上升太多。實際上，電流密度可始於四分之一環之線，但當參考電極之形狀隨著時間變化時電流密度可維持更均勻然後電流密度下降更靠近對應至半環或全環參考電極的線，而非在前 30%的浸沒期間實質上增加。為了得到特定的結果可最佳化參考電極變化形狀的時間點/速率，以例如在浸沒過程期間達到被施加至基板之浸沒部分的均勻平均電流密度。

【0100】變化參考電極形狀的能力是有利的，因為在各種情況中，能在浸沒初期期間(如前 5%之期間)達到充分高之電流密度的參考電極形狀亦能在浸沒後(如前 20%或 30%之期間)造成電流密度的明顯上升。在某些情況中，實例可包含點參考電極及/或四分之一環參考電極，圖 7 中所示之曲線顯示了相關的電流密度。相對地，能達到相對較低及/或較後之電流密度上升的參考電極形狀通常可造成過低的初始電流密度。一實例可包含全環參考電極，圖 7 中所示之曲線顯示了相關的電流密度。藉著在浸沒期間變化參考電極的形狀，可達到下列兩

者：(a)在基板首次被浸沒時達到充分高的電流密度；及(b)在浸沒持續時避免電流密度實質升高。

【0101】 在某些實施例中，參考電極被設計為如圖 11 中所示之可伸縮的弧。可伸縮的弧在浸沒過程期間可變化形狀，可伸縮的弧在基板開始首次進入電解液時處於第一位置並在基板完全浸沒時處於浸沒終點處的第二位置。在某些情況中，參考電極可在基板完全浸沒之後持續變化形狀直到終極形狀，參考電極終極形狀又被稱為最終形狀。在其他情況中，參考電極的形狀在完全浸沒後便不再變化。在某些實施例中，參考電極的形狀在浸沒製程中途停止變化。

【0102】 第一與第二形狀(及最終形狀(若參考電極在浸沒之後持續變化))每一者可為文中所提及的任一弧形。在某些情況中，第一弧形係小於第二弧形。在此情況中，參考電極隨著時間變大，例如從圖 11 之右手邊的形狀變化至圖 11 之左手邊的形狀。在其他情況中，第一弧形可大於第二弧形。在此實施例中，參考電極隨著時間變小。第一及/或第二弧形的特定實例包含橫跨介於約 10-30°之間、或介於約 30-50°之間、或介於約 50-70°之間、或介於約 70-90°之間、或介於約 90-110°之間、或介於約 110-130°之間、或介於約 130-150°之間、或介於約 150-170°之間、或介於約 170-190°之間、或介於約 190-210°之間、或介於約 210-230°之間、或介於約 230-250°之間、或介於約 250-270°之間、或介於約 270-290°之間、或介於約 290-310°之間、或介於約 310-330°之間、或介於約 330-350°之間、或介於約 350-380°的弧。換言之，第一、第二及最終形狀中的任一者或所有者皆可落在這些範圍中的任一範圍內。

【0103】 在某些實施例中，第一與第二形狀之間有至少約 10°、例如至少約 20°、至少約 30°、至少約 50°、至少約 75°、或至少約 100°的差異。當第一形

狀為橫跨 100° 的弧而第二形狀為橫跨 130° 的弧，應理解第一與第二形狀差 30° 。在某些實施例中，第一與第二形狀的差異係以百分比表示。例如，在第一弧形為 100° 且第二弧形為 130° 的情況中，第二弧形比第一弧形大 $30\%((130-100)/100 = 30\%)$ 。此計算係基於初始形狀。在第一弧形為 130° 且第二弧形為 100° 的情況中，第二弧形比第一弧形小約 $23\%((100-130)/130 = 23\%)$ 。在某些實施例中，第二弧形比第一弧形大或小至少約 5% 、 10% 、 20% 、 30% 、 40% 、 50% 、或 75% 。

【0104】 如前所述，在浸沒過程期間可變化之參考電極的其他特性為參考電極之位置。基於類似於針對可變化之形狀所討論的相同理由，在浸沒期間變化參考電極的位置可是以有利的。以此方式，可在浸沒製程的特定期間在基板的特定部分處達到施加於基板上的期望平均電流密度及/或電流密度分佈。在某些實施例中，基板可具有非均勻性地蝕刻至基板表面上的特徵部。例如，基板的一部分可具有緻密配置的特徵部而基板的另一部分可具有較少的特徵部。類似地，基板的一部分和基板的另一部分可分別具有不同尺寸/形狀的特徵部。對於此些或其他理由而言，輸送至基板之一部分的電流密度高於輸送至基板之另一部分的電流密度是有利的。在某些此類情況中，將受到控制之非均勻性電流密度提供予基板的各部分在某些情況中能抵消系統中的其他非均勻性(如基板上的特徵部佈局)而得到期望的(如均勻的)電鍍填充結果。藉著變化參考電極的位置及/或形狀，可在基板浸沒過程期間隨心所欲地控制施加至基板不同部分的電流密度。

【0105】 在某些情況中，在浸沒期間變化點參考電極之位置。在其他情況中，在浸沒期間變化弧形參考電極的位置(以及選擇性地如前所述變化弧的形狀)。參考電極的位置的變化可沿著相對於基板進入位置的任一角方向。在某些情況

中，參考電極之移動方向與基板旋轉方向相同。在其他情況中，參考電極之移動方向與基板旋轉方向相反。在某些實施例中，在浸沒期間亦可變化參考電極的垂直位置。例如，在基板浸沒過程期間參考電極可變得更多浸沒或更少浸沒(在基板完全浸沒後可選擇性地持續此類深度變化)。類似地，在浸沒過程期間可變化電鍍池之中央與參考電極之間的徑向距離。例如，在浸沒期間參考電極可水平移垂更靠近或更遠離電鍍池之中央(在基板完全浸沒後可選擇性地持續此類距離變化)。

【0106】 參考電極可在基板的前緣首次進入電解液時始於第一位置，並在基板完全浸沒至電解液中時移動至第二位置，第二位置為基板完全浸沒至電解液中時的電極位置。在基板完全浸沒之後參考電極可持續移動直到電極達到終極位置，電極的終極位置又被稱為參考電極之最終位置。在某些情況中，參考電極在基板完全浸沒之前到達其第二位置。

【0107】 當參考電極以角方式移動時，在某些情況中，參考電極之第一與第二位置相差至少約 5° 、或至少約 10° 、或至少約 20° 、或至少約 30° 、或至少約 50° 、或至少約 75° 。在此些或其他情況中，參考電極之第一與第二位置可變化約 180° 或更少、或約 150° 或更少、或 120° 或更少、或 90° 或更少、或 70° 或更少、或約 50° 或更少。

【0108】 參考電極可配有適當的硬體以達到動態可變化之形狀及/或動態可變化之位置。此類硬體可包含例如連接至電源之連接件、連接至控制器之連接件、馬達/磁鐵/其他機構、或用以變化參考電極之形狀的模組。在某些情況中，參考電極之形狀及/或位置的變化可在單一晶圓上之單一電鍍製程期間發生。在其他情況中，參考電極之形狀及/或位置的變化可在不同晶圓上之複數電鍍製程

之間發生。可變化之參考電極能夠最佳化單一電鍍設備上的各種製程，藉此增加設備的彈性並使設備被用於不同應用並維持高品質的電鍍結果。

設備

【0109】 文中所述的方法可以任何適合的設備施行之。適合的設備包含用以完成製程操作的硬體以及具有用以根據本發明實施例控制製程操作之複數指令的系統控制器。例如，在某些實施例中，硬體可包含在製程設備中的一或多個製程站。

【0110】 圖 12 顯示可用以實施文中實施例之多站設備的一實例。電沉積設備 1200 可包含三個分離的電鍍模組 1202、1204 與 1206。又，三個分離的模組 1212、1214 與 1216 可針對各種製程操作加以配置。例如，在某些實施例中，模組 1212、1214 與 1216 中的一或多者可為旋轉沖洗乾燥(SRD)模組。在此些或其他實施例中，模組 1212、1214 與 1216 中的一或多者可為複數電填充後模組 (PEM)，每一電填充後模組係用以進行一功能如基板受到電鍍模組 1202、1204 與 1206 中之一者處理後之邊緣斜角移除、背側蝕刻、及酸清洗。又，模組 1212、1214 與 1216 中的一或多者可用來作為預處理室。預處理室可為文中所述之遠端電漿室或退火室。或者，預處理室可被包含於設備的另一部分處或被包含於不同的設備中。

【0111】 電沉積設備 1200 包含中央電沉積室 1224。中央電沉積室 1224 為用來作為電鍍模組 1202、1204 與 1206 中之電鍍溶液的化學溶液容納室。電沉積設備 1200 亦包含可儲存並輸送電鍍溶液用之添加劑的劑量系統 1226。化學品稀釋模組 1222 可儲存並混合用來作為蝕刻劑的化學品。過濾與泵抽單元 1228 可過濾中央電沉積室 1224 用的電鍍溶液並將其泵抽至電鍍模組。

【0112】 系統控制器 1230 提供用以操作電沉積設備 1200 的電子與界面控制。在上述之系統控制器的段落中介紹系統控制器 1230 且文中更進一步地說明系統控制器 1230。系統控制器 1230(其可包含一或多個實體或邏輯控制器)控制電鍍設備 1200 之部分或全部特性。系統控制器 1230 通常包含一或多個記憶體裝置及一或多個處理器。處理器可包含中央處理單元(CPU)或電腦、類比及/或數位輸入/輸出連接件、步進馬達控制器板、及其他類似的元件。用以實施如文中所述之適當控制操作的複數指令可在處理器上執行。此些指令可被儲存在與系統控制器 1230 相關的記憶體裝置上或其可藉由網路提供。在某些實施例中，系統控制器 1230 執行系統控制軟體。

【0113】 電沉積設備 1200 中的系統控制軟體可包含用於控制下列者的複數指令：時序、電解液成分(包含一或多種電解液成分的濃度)的混合物、電解液的氣體濃度、入口壓力、電鍍池壓力、電鍍池溫度、基板溫度、施加至基板與任何其他電極的電流與電位、基板位置、基板旋轉、及電沉積設備 1200 所施行之特定製程的其他參數。

【0114】 在某些實施例中，可存在與系統控制器 1230 相關的一使用者界面。使用者界面可包含顯示螢幕、設備及/或製程條件的圖形化軟體顯示、及使用者輸入裝置如點擊裝置、鍵盤、觸控螢幕、麥克風等。

【0115】 在某些實施例中，藉由系統控制器 1230 調整的參數可關於製程條件。非限制性的實例包含在各個階段處的溶液條件(溫度、組成、及流率)、基板位置(旋轉率、線性(垂直)速度、自水平偏離之角度)等。此些參數可以配方形式提供予使用者，配方可利用使用者界面加以輸入。

【0116】藉由系統控制器 1230 的類比及/或數位輸入連接件可自各種製程設備感測器提供用以監控制程的訊號。可在製程設備的類比及數位輸出連接件上輸出用以控制製程的訊號。可被監控之製程設備感測器的非限制性實例包含質量流量控制器、壓力感測器(如壓力計)、熱偶、光學位置感測器等。受到適當程式化的反饋與控制演算法可與來自此些感測器的數據一起使用以維持製程條件。

【0117】在多站設備的一實施例中，複數指令可包含將基板插入晶圓支撐件中、傾斜基板、在浸沒期間對基板施加偏壓、將鈷電鍍至基板上。複數指令更可包含預處理基板、在電鍍基板後退火基板、及在相關的設備之間適當地傳送基板。

【0118】交付設備 1240 自基板晶圓盒如晶圓盒 1242 或晶圓盒 1244 選擇一基板。晶圓盒 1242 或 1244 可為前端開口標準艙(FOUP)。FOUP 為一外殼，其被設計用以在受到控制的環境中安全穩固地支撐複數基板並允許複數基板被設有適當裝載艙口及機器人搬運系統的設備移除以接受製程或量測。交付設備 1240 可利用真空附接或某些其他附接機制抓取基板。

【0119】交付設備 1240 可與晶圓搬運站 1232、晶圓盒 1242 或 1244、傳送站 1250、或對準器 1248 交界。交付設備 1246 可自傳送站 1250 取得對基板之接取。傳送站 1250 可為一槽口或一位置，交付設備 1240 與 1246 可毋需行經對準器 1248 而自該槽口或該位置傳送基板或將基板送達至該槽口或該位置。然而在有些實施例中，為了確保基板在交付設備 1246 上適當地對準以被精準地傳送至電鍍模組，交付設備 1246 可利用對準器 1248 對準基板。交付設備 1246 亦可將

基板傳送至電鍍模組 1202、1204、或 1206 中的一者、或用於各種製程操作之分離的模組 1212、1214、及 1216 中的一者。

【0120】 為了在製造環境中實施使用，設備可用以使得基板經歷有程序的有效率循環：電鍍、沖洗、乾燥、及 PEM 製程操作。為達此目的，可將模組 1212 配置為旋轉沖洗乾裝置及邊緣斜角移除室。具有此類模組 1212 時，只需在電鍍模組 1204 與模組 1212 之間傳送基板以進行銅電鍍及 EBR 操作。設備 1200 的一或多個內部部分可處於次大氣壓條件。例如在某些實施例中，包圍電鍍池 1202、1204 與 1206 及 PEM 1212、1214 與 1216 的整個區域可處於真空狀態。在其他實施例中，只有包圍電鍍池的區域處於真空狀態。在其他的實施例中，獨立的電鍍池可處於真空狀態。雖然電解液的流動迴路未顯示於圖 12 或 13 中，但應瞭解，文中所述之流動迴路可以多站設備的部分(或與多站設備一起)實施。

【0121】 圖 13 顯示可用以實施文中實施例之多站設備的額外實例。在此實施例中，電沉積設備 1300 具有一系列之鍍池 1307，每一鍍池 1307 包含一電鍍浴，電鍍浴係以一對或複數對的方式配置。除了電鍍本身，電沉積設備 1300 可進行各種電鍍相關的其他製程與子步驟例如旋轉沖洗、旋轉乾燥、金屬與矽的濕式蝕刻、無電鍍沉積、預濕與預化學處理、還原、退火、光阻剝除、及表面預活化等。由上往下概略顯示電沉積設備 1300 且在圖示中只顯示單層，但此領域中具有通常技術者當瞭解，此類設備如加州費里蒙科林研發公司所販售之 Sabre™ 3D 設備可具有彼此上下「堆疊」之兩或多層且每一層可能具有相同類型或不同類型之複數製程站。

【0122】 再次參考圖 13，經由前端裝載 FOUP 1301 將欲受到電鍍的複數基板 1306 大致上饋送至電沉積設備 1300，在此實例中，藉由前端機器人 1302

將欲受到電鍍的複數基板 1306 自 FOUP 1301 搬運至電沉積設備 1300 的主基板製程區，前端機器人 1302 可以多維度自複數接取站中的一者收回受到轉子 1303 驅動的基板 1306 並將基板 1306 移動至複數接取站中的另一者—在此實例中複數接取站顯示兩個前端接收站 1304 及兩個前端接收站 1308。前端接收站 1304 與 1308 可包含例如預處理站、旋轉沖洗乾燥(SRD)站。此些接取站 1304 與 1308 亦可為文中所述的移除站。前端機器人 1302 之側至側的橫向移動係利用機器人軌道 1302a 來完成。每一基板 1306 可被一杯狀/錐狀組件(未顯示)所支撐，杯狀/錐狀組件係由連接至馬達(未顯示)的一轉子 1303 所驅動，馬達係附接至安裝架 1309。在此實例中亦顯示四「雙」電鍍池 1307，因此總共八個電鍍池 1307。電鍍池 1307 可用以針對含銅結構電鍍銅及針對焊料結構(其他可能材料中的一種)電鍍焊料材料。系統控制器(未顯示)可耦合至電沉積設備 1300 以控制電沉積設備 1300 的部分或全部特性。可程式化或以其他方式配置系統控制器以執行根據前文中所述之製程的複數指令。

系統控制器

【0123】 在某些實施例中，控制器為系統的一部分，其為上述實例的一部分。此類系統可包含半導體處理設備，半導體處理設備包含一處理工具或複數工具、一處理室或複數處理室、一處理平臺或複數平臺、及/或複數的特定處理元件(晶圓座臺、氣體流動系統等)。此些系統係與一些電子裝置整合，此些電子裝置係用以在半導體晶圓或基板處理之前、期間及之後控制系統的操作。此些電子裝置可被稱為「控制器」，其可控制一系統或複數系統的各種元件或子部件。取決於處理需求及/或系統類型，控制器可被程式化以控制文中所揭露的任何製程包含輸送製程氣體、溫度設定(如加熱及/或冷卻)、壓力設定、真空設定、

功率設定、射頻(RF)產生器設定、RF 匹配電路設定、頻率設定、流率設定、流體輸送設定、位置與操作設定、晶圓傳輸進入或離開設備與連接至特定系統或與特定系統具有界面的其他傳輸設備及/或裝載互鎖機構。

【0124】 概括地說，控制器可被定義為具有各種積體電路、邏輯、記憶體及/或軟體的電子裝置，其可接收指令、發佈指令、控制操作、致能清理操作、致能終點量測等。積體電路可包含儲存了程式指令之具有韌體形式的晶片、數位訊號處理器(DSP)、被定義為特殊應用積體電路(ASIC)的晶片及/或能執行程式指令(如軟體)的一或多個微處理器或微控制器。程式指令可為與控制器通訊之具有各種獨立設定(或程式檔案)形式的指令，其定義為了在半導體晶圓上或針對半導體晶圓、或對一系統進行特定處理所用的操作參數。在某些實施例中，操作參數為處理工程師為了完成一或多膜層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路及/或晶圓之晶粒之製造期間的一或多個處理步驟所定義之配方的一部分。

【0125】 在某些實施例中控制器為整合至系統、耦合至系統、藉由網路連接至系統、或其組合的電腦的一部分或控制器耦合至電腦。例如，控制器係位於雲端中或工廠主機電腦系統的全部或部分中，這允許使用者遠端接取晶圓處理。電腦可致能遠端接取系統以監控製造操作的目前進展、檢視過去製造操作的歷程、自複數製造操作檢視驅勢或效能度量、改變現有處理的參數、設定處理步驟以符合現有處理、或開始一新的處理。在某些實例中，遠端電腦(或伺服器)可經由電腦網路對系統提供處理配方，電腦網路包含區域網路或網際網路。遠端電腦可包含使用者介面，使用者介面讓使用者能進入或程式化參數及/或設定，然後自遠端電腦與系統通訊。在某些實例中，控制器接收數據形式的指令，

其明確定義了在一或多個操作期間欲進行之每一處理步驟的參數。應瞭解，參數可特別針對欲施行之處理的類型及控制器用以交界或控制之設備的類型。因此如上所述，可分散控制器如藉著包含一或多個藉由網路互連並朝向共同目的如文中所述之處理與控制工作的離散控制器。為了此類目的的分散控制器的實例為處理室上的一或多個積體電路，其係與一或多個位於遠端(例如位於平臺位準或遠端電腦的一部分)的積體電路通訊而共同控制處理室中的處理。

【0126】 不受限地，例示性的系統可包含電漿蝕刻室或模組、沉積室或模組、旋轉沖洗室或模組、金屬鍍室或模組、清理室或模組、邊緣蝕刻室或模組、物理氣相沉積(PVD)室或模組、化學氣相沉積(CVD)室或模組、原子層沉積(ALD)室或模組、原子層蝕刻(ALE)室或模組、離子植入室或模組、軌道室或模組、及和半導體晶圓之製造相關或用於製造半導體晶圓的任何其他半導體處理系統。

【0127】 如上所述，取決於設備所欲進行的處理步驟或複數步驟，控制器可與下列的一或多者通訊交流：其他設備的電路或模組、其他設備的元件、叢集設備、其他設備的界面、相鄰設備、鄰近設備、位於工廠內的設備、主電腦、另一控制器、或半導體製造工廠中用以將晶圓容器載入與載出設備位置及/或裝載接口的材料運輸用設備。

【0128】 本文中所述的各種硬體與方法實施例可與微影圖案化設備或製程一起使用，例如用以製造半導體裝置、顯示器、LED、光伏面板等的微影圖案化設備或製程。一般而言，雖然沒有必要，但此些設備/製程會在一共同的製造廠房中一起使用或進行。

【0129】 薄膜的微影圖案化通常包含下列步驟的部分者或全部，每一步驟可由許多可能的設備達成：(1)利用旋塗或噴塗設備將光阻施加至工作件如其上

形成有氮化矽膜的基板上；(2)利用熱板、爐管或其他適合的固化設備固化光阻；(3)利用一設備如晶圓步進機將光阻曝露至可見光或 UV 光或 X 射線；(4)利用一設備如濕式槽或噴塗顯影設備顯影光阻以選擇性地移除光阻藉此將其圖案化；(5)利用一乾式或電漿輔助蝕刻設備將光阻圖案轉移至下方膜層或工作件中；及(6)利用一設備如 RF 或微波電漿光阻剝除設備移除光阻。在某些實施例中，在施加光阻之前可沉積可灰化的硬遮罩層(如非晶碳層)及另一適合的硬遮罩(如抗反射層)。

【0130】 應瞭解，文中所述的配置及/或方法具有例示性的本質，這些特定實施例或實例不應被視為是限制性的，許多變化皆可行。文中所述之特定日常工作或方法可代表任何數目之製程策略中的一或多者。是以，可以所述的順序、其他順序、平行順序、或在某些情況中省略任一者的方式施行所述的各種步驟。類似地，可改變上述製程的順序。

【0131】 本發明的標的包含文中所述之各種製程、系統、配置、其他特徵、功能、動作及/或特性的所有新穎與非顯而易見性組合與次組合以及其所有等效物。

【符號說明】

【0132】

55a 段

55b 段

55c 段

55d 段

- 402a 參考電極
- 402b 參考電極
- 402c 參考電極
- 402d 參考電極
- 510 電鍍池
- 801 電鍍設備
- 803 電鍍浴
- 805 位準
- 807 晶圓
- 808 振動傳感器
- 809 殼式固定件/晶圓夾頭
- 811 轉子
- 813 陽極
- 815 薄膜
- 814 惰性陽極
- 817 泵浦
- 819 擴散板
- 821 溢流儲槽
- 831 參考電極
- 833 分離室
- 835 電源
- 839 負輸出接腳

- 841 正輸出接腳
- 845 加熱器
- 847 系統控制器
- 1200 電沉積設備
- 1202 電鍍模組
- 1204 電鍍模組
- 1206 電鍍模組
- 1212 模組
- 1214 模組
- 1216 模組
- 1222 化學品稀釋模組
- 1224 中央電沉積室
- 1226 劑量系統
- 1228 過濾與泵抽單元
- 1230 系統控制器
- 1232 晶圓搬運站
- 1240 交付設備
- 1242 晶圓盒
- 1244 晶圓盒
- 1246 交付設備
- 1248 對準器
- 1250 傳送站

1300 電沉積設備

1301 FOUP

1302 前端機器人

1302a 機器人軌道

1303 轉子

1304 前端接收站

1306 基板

1307 鍍池

1308 前端接收站

1309 安裝架

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種電鍍金屬至基板上的方法，該方法包含：

將該基板浸沒至一電鍍室中的一電解液中，其中以一角度將該基板浸沒，俾使該基板的一前緣比該基板之一後緣先接觸該電解液，該基板的該前緣在一基板進入位置處先接觸該電解液；

監控該基板與一參考電極之間的一電位差，其中該參考電極徑向地位於該基板外緣之外且角偏離該基板進入位置；及

將該金屬電鍍至該基板上。

【第2項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，更包括：

在該基板之浸沒之前活化該參考電極的複數段；及

當該基板受浸沒時將該參考電極之該複數段中的一或多者去活化。

【第3項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，其中該參考電極包括複數段，該複數段可被獨立地活化及去活化。

【第4項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，其中偏離角度係約 60° 。

【第5項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，其中偏離角度係約 180° 。

【第6項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，其中偏離角度係約 30° 。

【第7項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，其中該參考電極為點參考電極且其中偏離角度係介於約 $5-60^\circ$ 之間。

【第8項】 如申請專利範圍第7項之電鍍金屬至基板上的方法，其中該偏離角度係介於約10-45°之間。

【第9項】 如申請專利範圍第8項之電鍍金屬至基板上的方法，其中該偏離角度係介於約20-40°之間。

【第10項】 如申請專利範圍第9項之電鍍金屬至基板上的方法，其中該偏離角度係介於約25-35°之間。

【第11項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，更包含在將該基板浸沒於該電解液時旋轉該基板，其中該參考電極在與該基板受旋轉之相同方向上角偏離該基板進入位置高達180°，俾使當該基板之該前緣首次接觸該電解液時該基板之該前緣移動靠近該參考電極。

【第12項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，更包含在將該基板浸沒於該電解液時旋轉該基板，其中該參考電極在與基板受旋轉之相反方向上角偏離該基板進入位置高達180°，俾使當該基板之該前緣首次接觸該電解液時該基板之該前緣移動遠離該參考電極。

【第13項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，其中該參考電極係置於該電鍍室內，與浸沒該基板相同之該電解液接觸。

【第14項】 如申請專利範圍第13項之電鍍金屬至基板上的方法，其中該參考電極之位置俾使該參考電極的一上表面浸沒於該電解液中，且該參考電極之位置係距離一電解液-空氣介面不大於約2吋。

【第15項】 如申請專利範圍第1項之電鍍金屬至基板上的方法，其中將該參考電極置於一參考電極室中，其中該參考電極室包括一薄膜，該薄膜分離（a）浸沒該基板之該電解液及（b）浸沒該參考電極之該電解液。

【第16項】 一種電鍍金屬至基板上用的設備，該設備包含：

- 一室，用以容納一電解液；
- 一基板支撐件，用以在該室中支撐該基板；
- 一參考電極；及
- 一控制器，配置以使得：

該基板以一角度浸沒至該電解液中，俾使該基板的一前緣比該基板之一後緣先接觸該電解液，該基板的該前緣在一基板進入位置處先接觸該電解液，

在浸沒期間控制該基板與該參考電極之間的一電位差，及將該金屬電鍍至該基板上，其中該參考電極徑向地位於該基板外緣之外且其位置角偏離該基板進入位置，偏離角度係 60° 或 180° 。

【第17項】 如申請專利範圍第16項之電鍍金屬至基板上用的設備，其中該偏離角度係約 60° 。

【第18項】 如申請專利範圍第16項之電鍍金屬至基板上用的設備，其中該偏離角度係約 180° 。

【第19項】 如申請專利範圍第16項之電鍍金屬至基板上用的設備，其中該參考電極為點參考電極。

【第20項】 如申請專利範圍第16項之電鍍金屬至基板上用的設備，其中該參考電極包括複數段，該複數段可被獨立地活化及去活化。

【第21項】 如申請專利範圍第16項之電鍍金屬至基板上用的設備，其中該控制器更配置以使得在該基板之浸沒之前活化該參考電極的複數段，及當該基板受浸沒時將該參考電極之該複數段中的一或多者去活化。

【發明圖式】

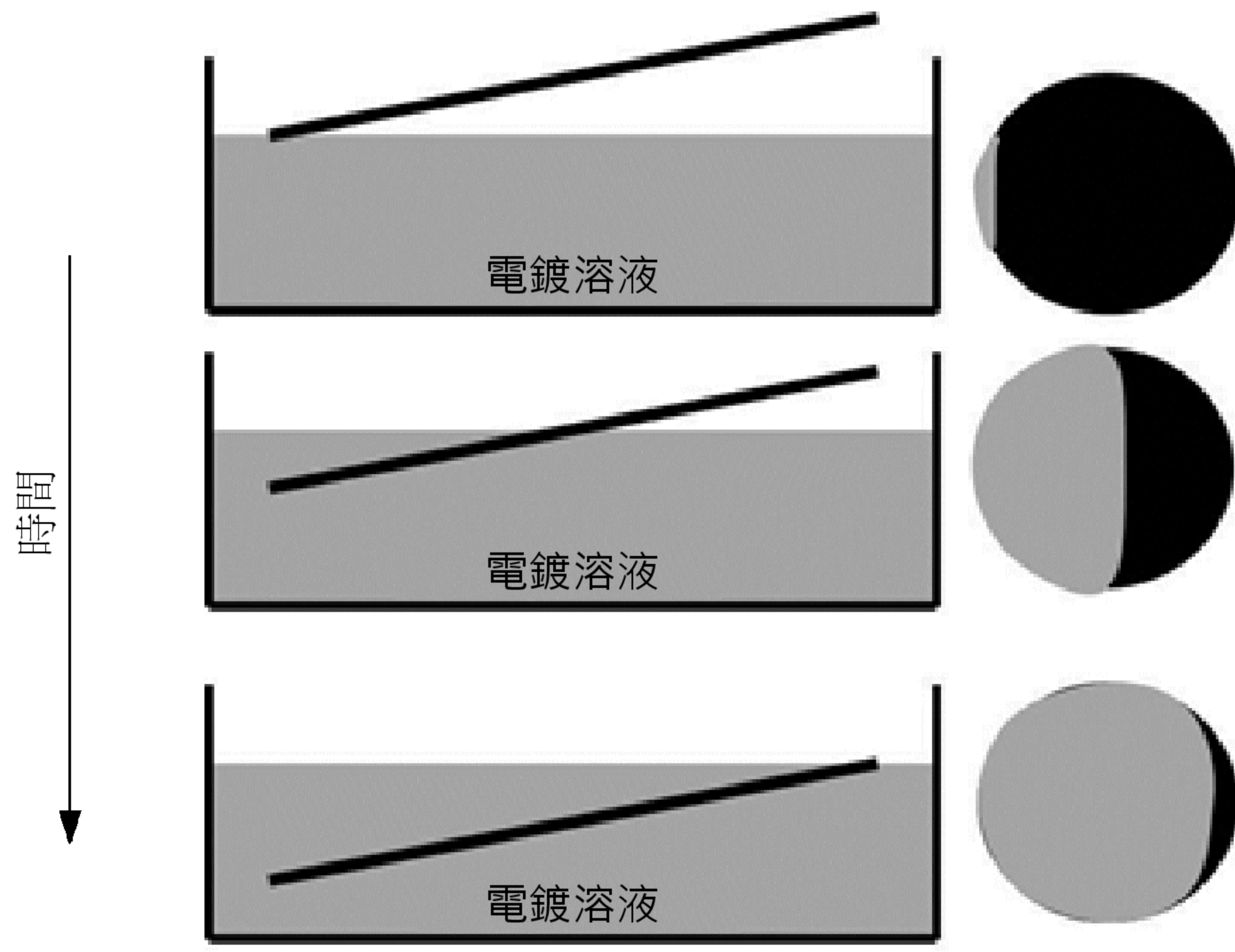


圖 1

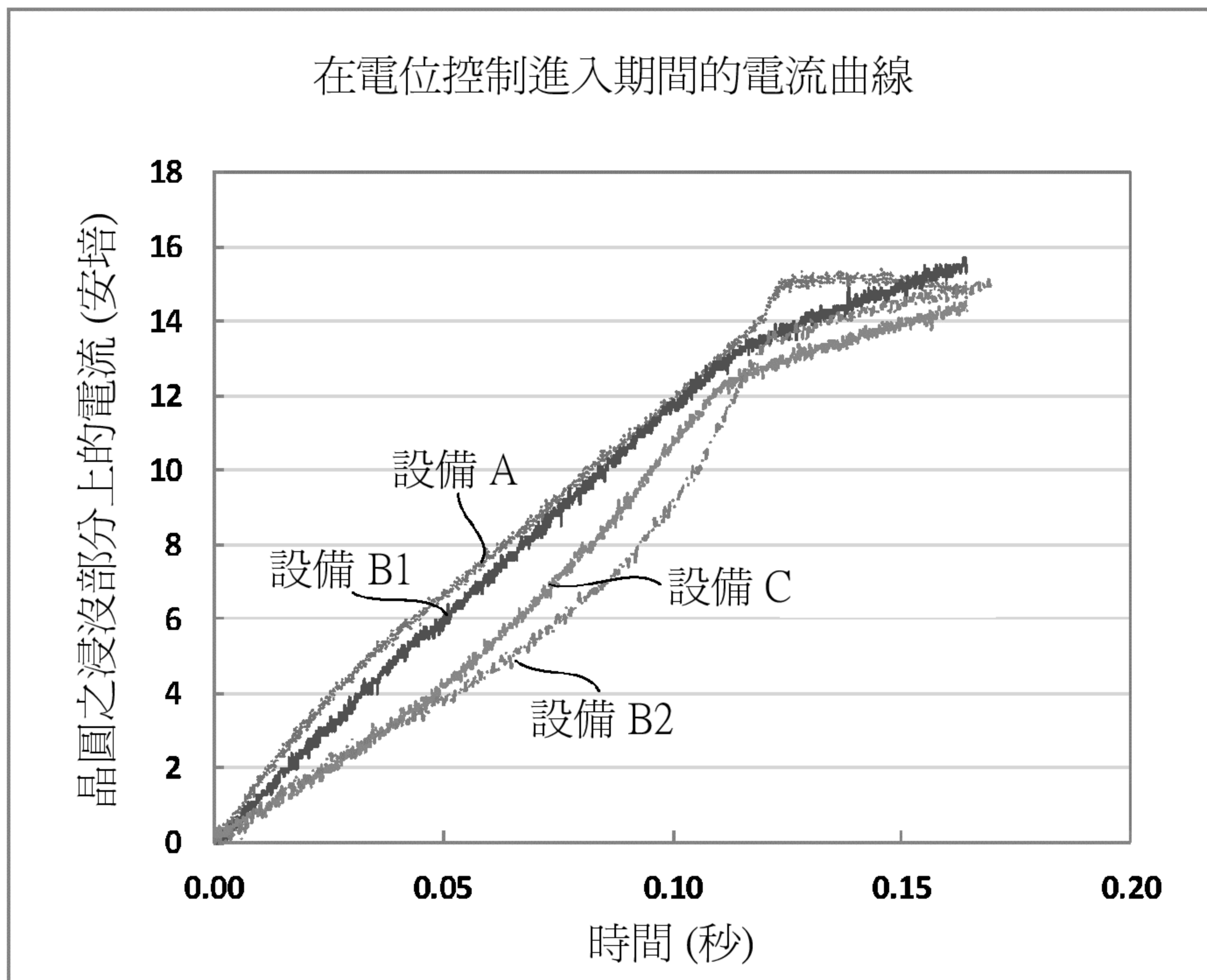


圖 2A

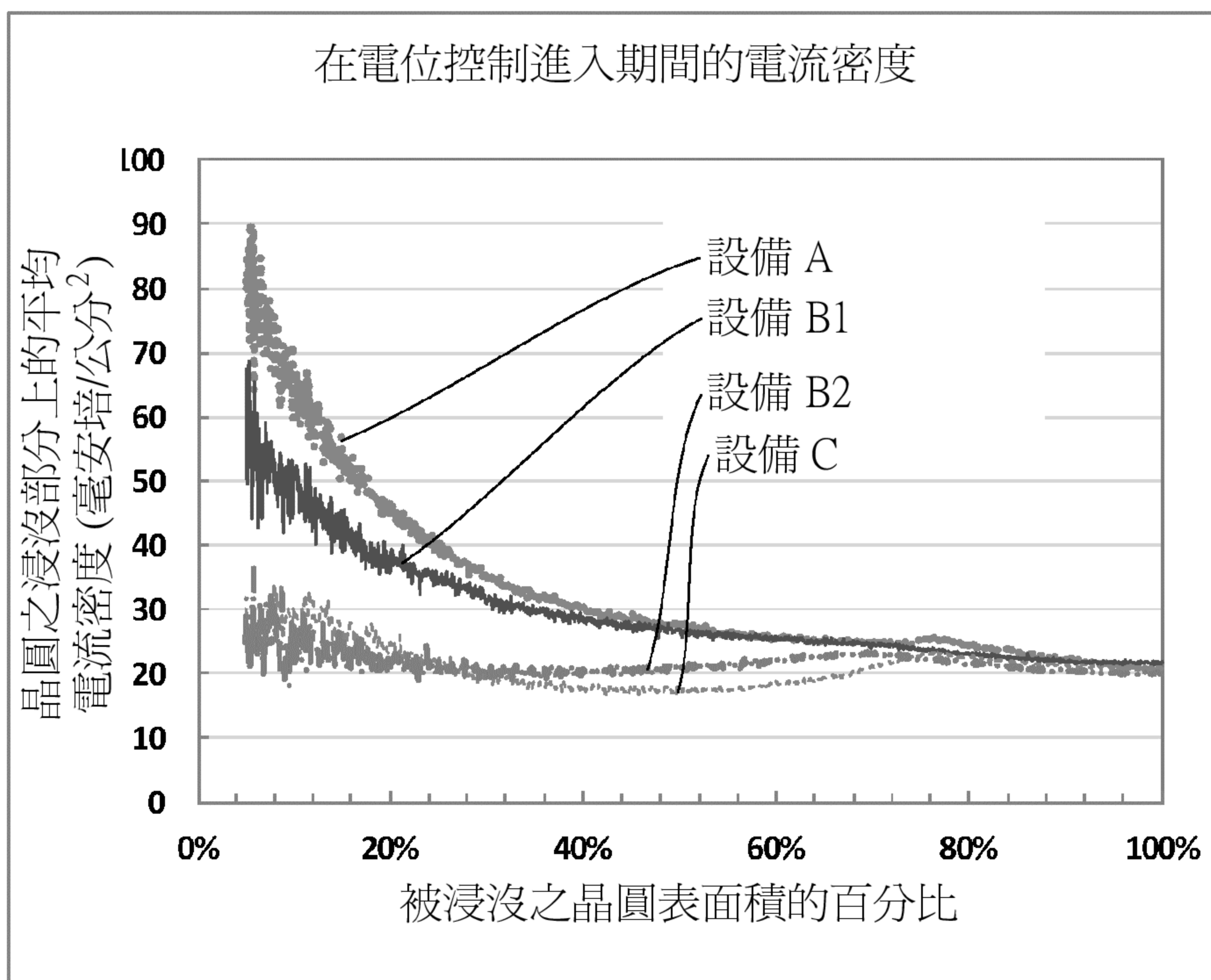


圖 2B

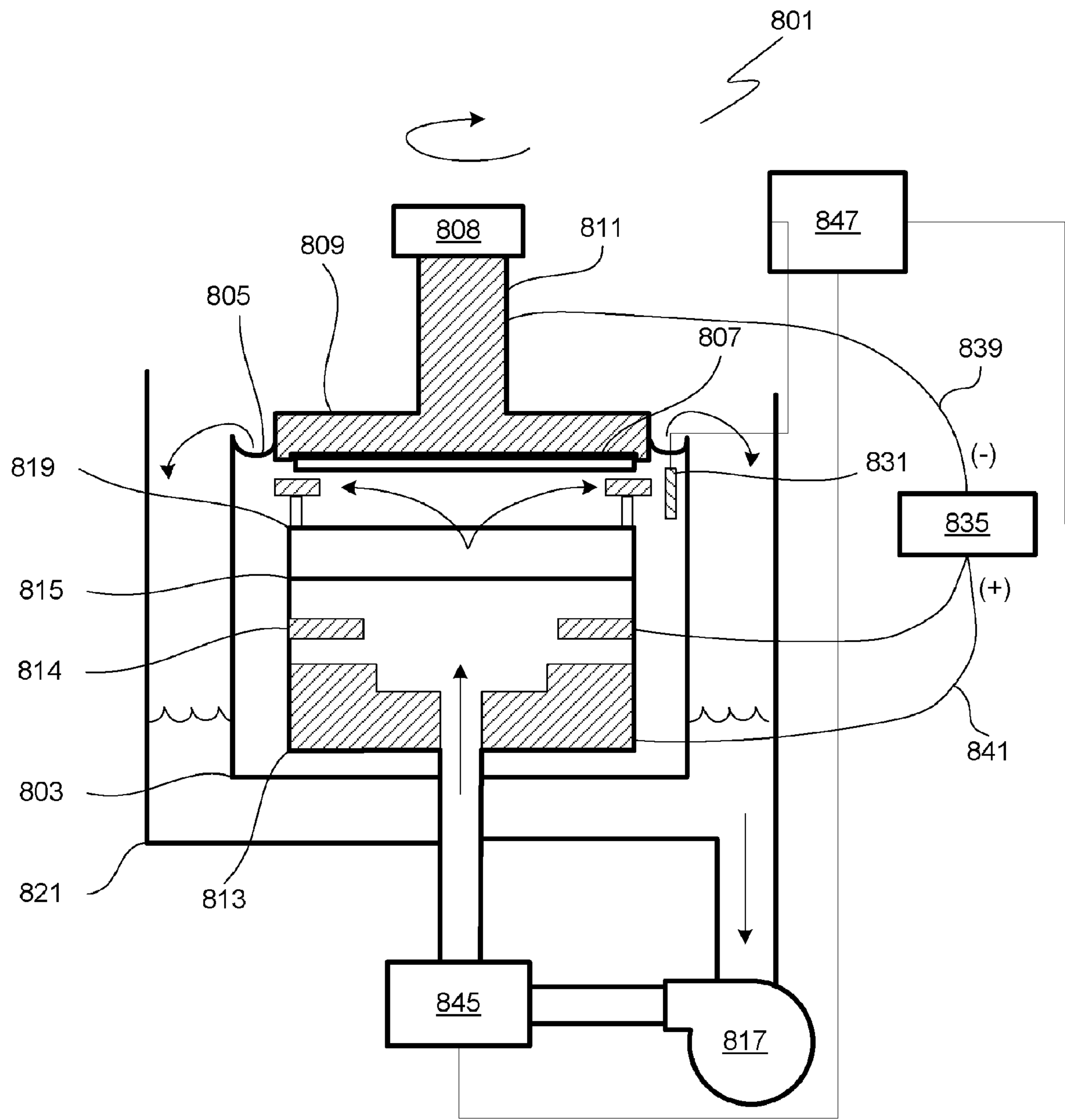


圖 3

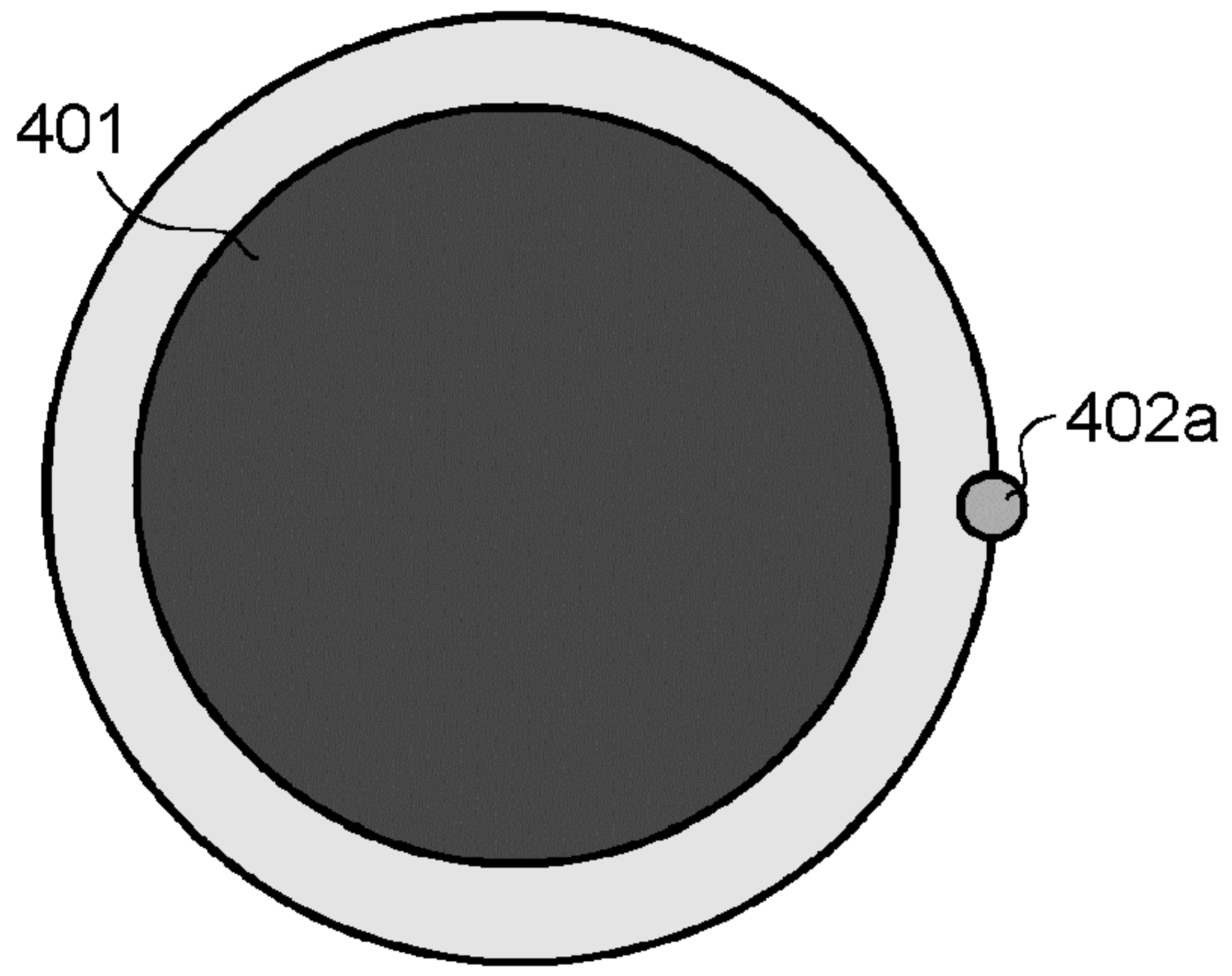


圖 4A

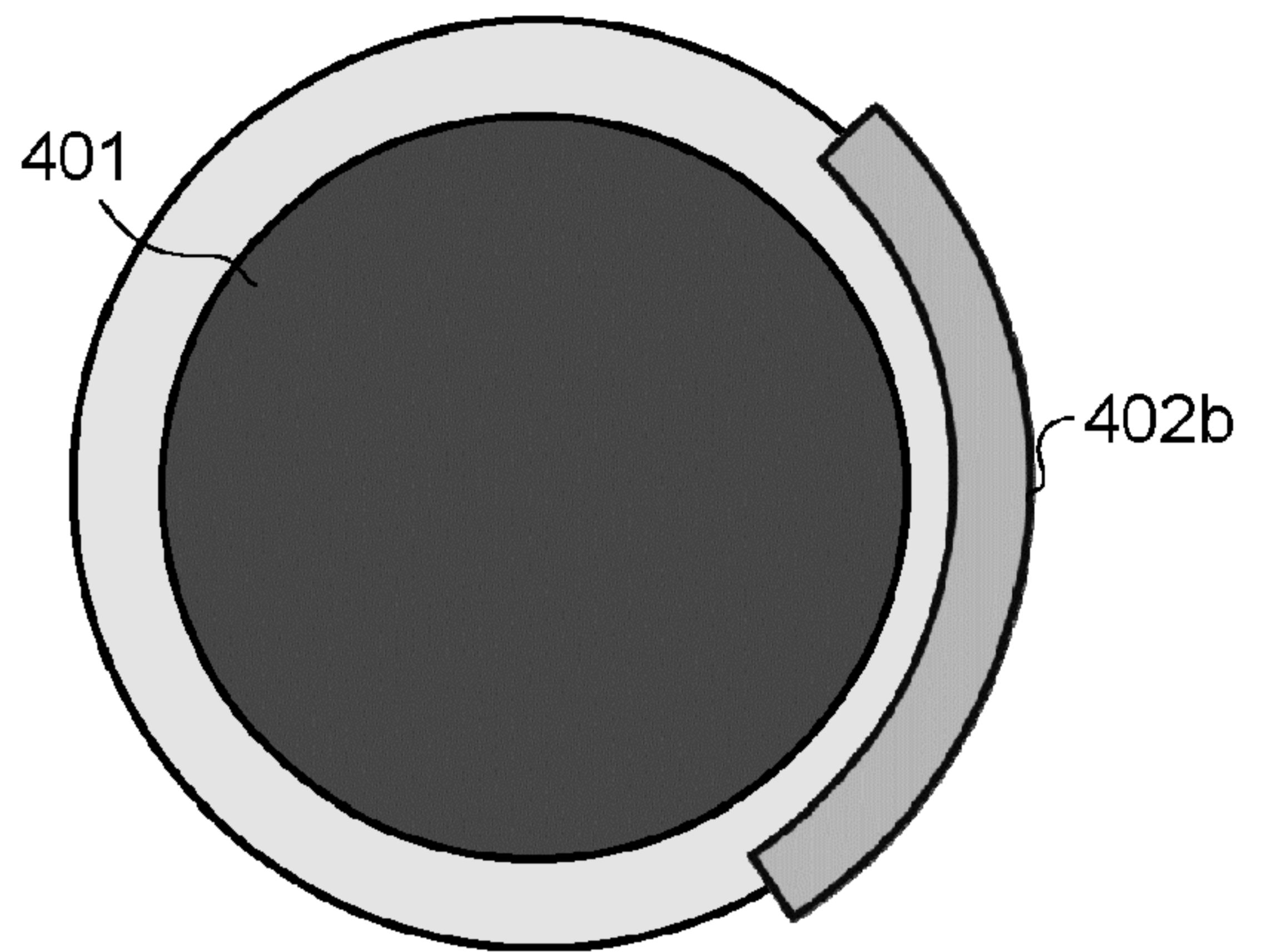


圖 4B

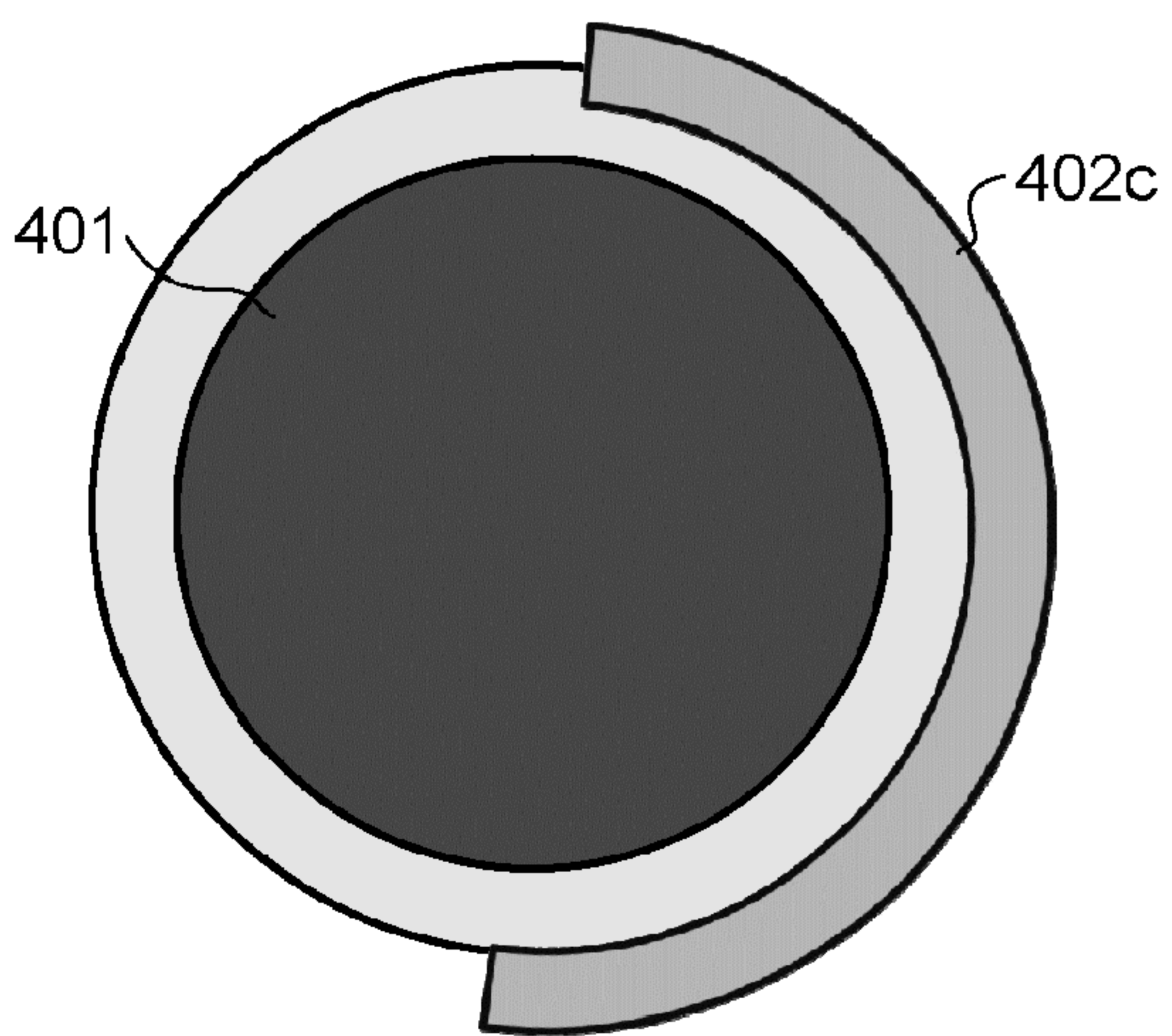


圖 4C

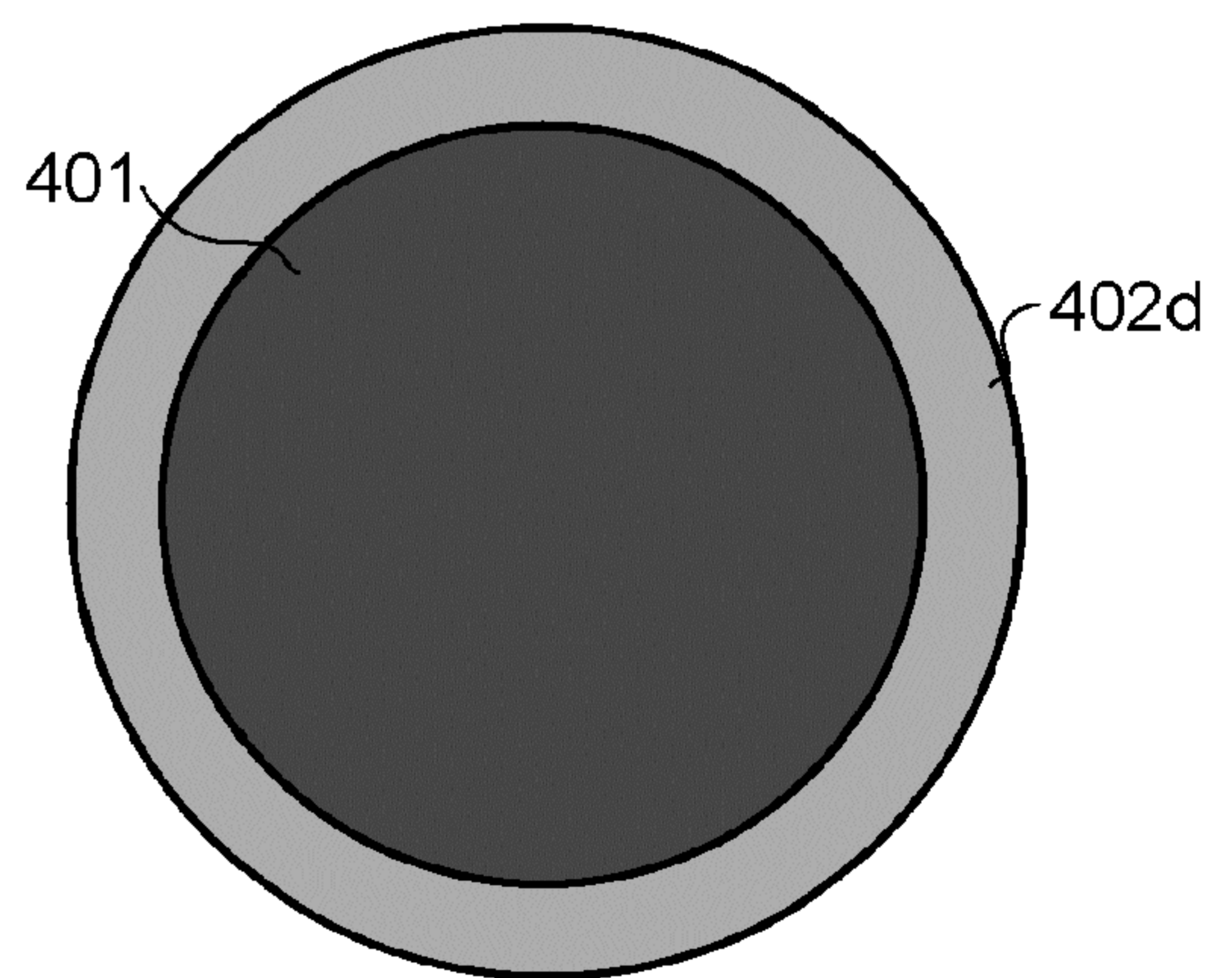


圖 4D

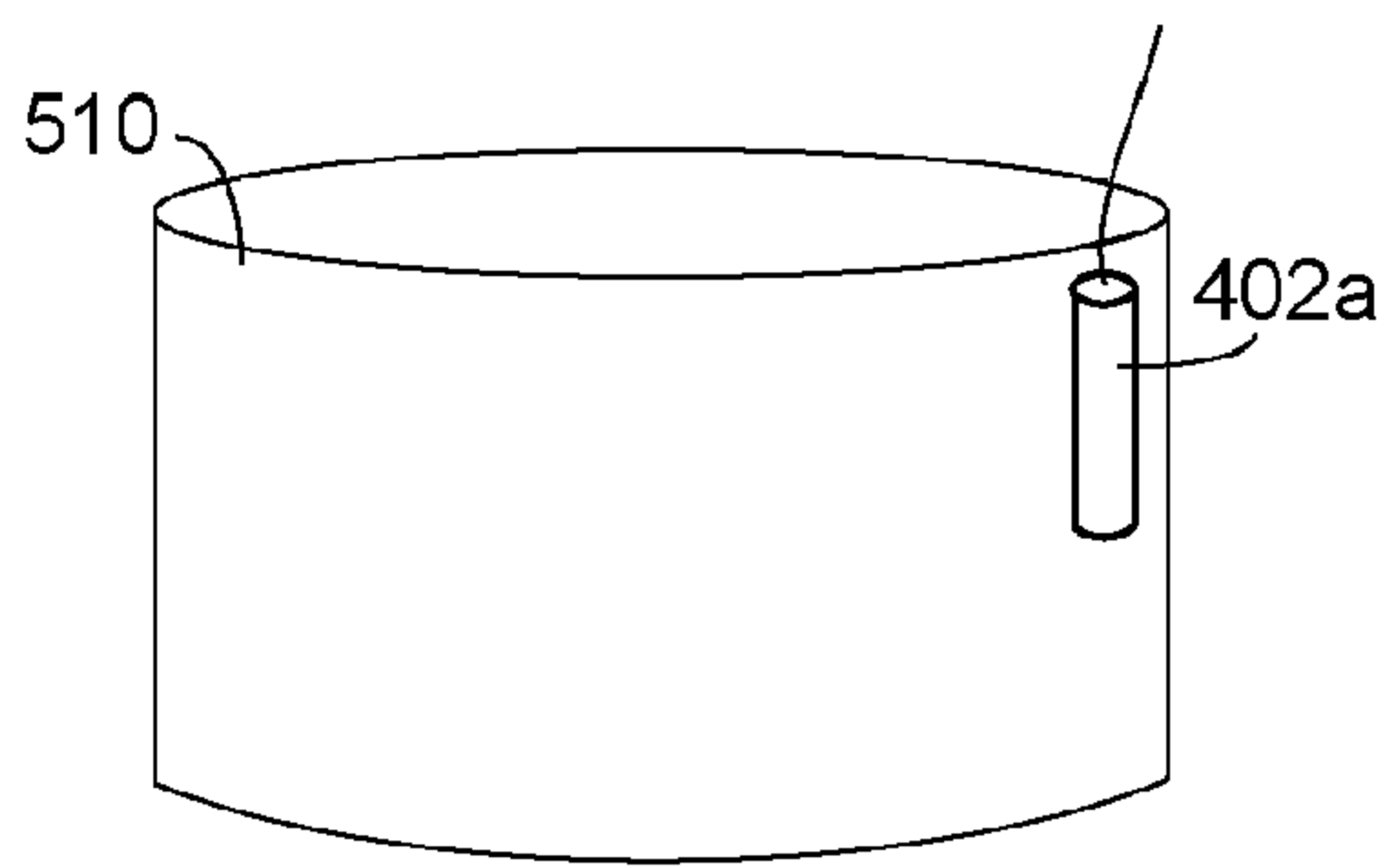


圖 5A

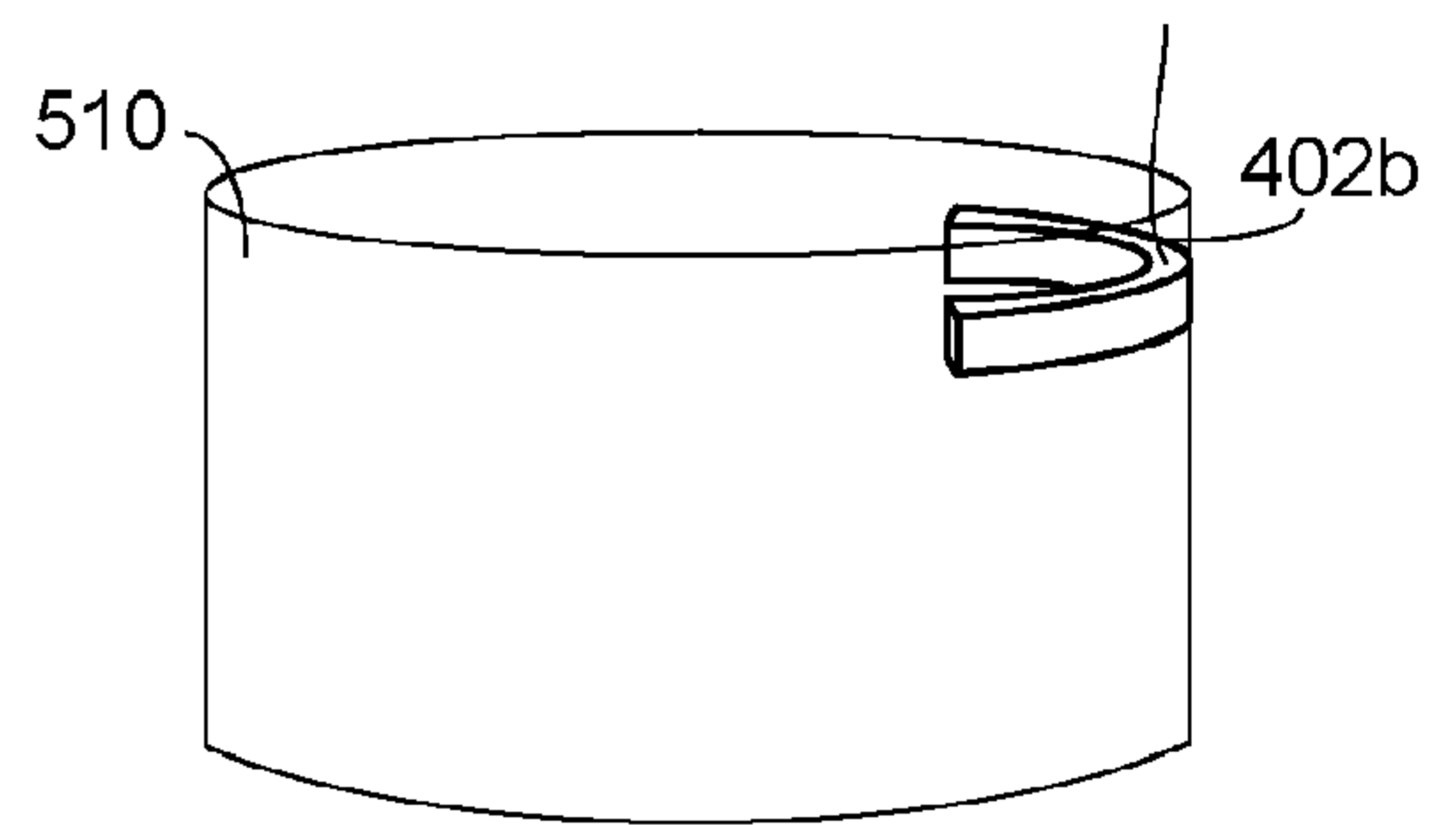


圖 5B

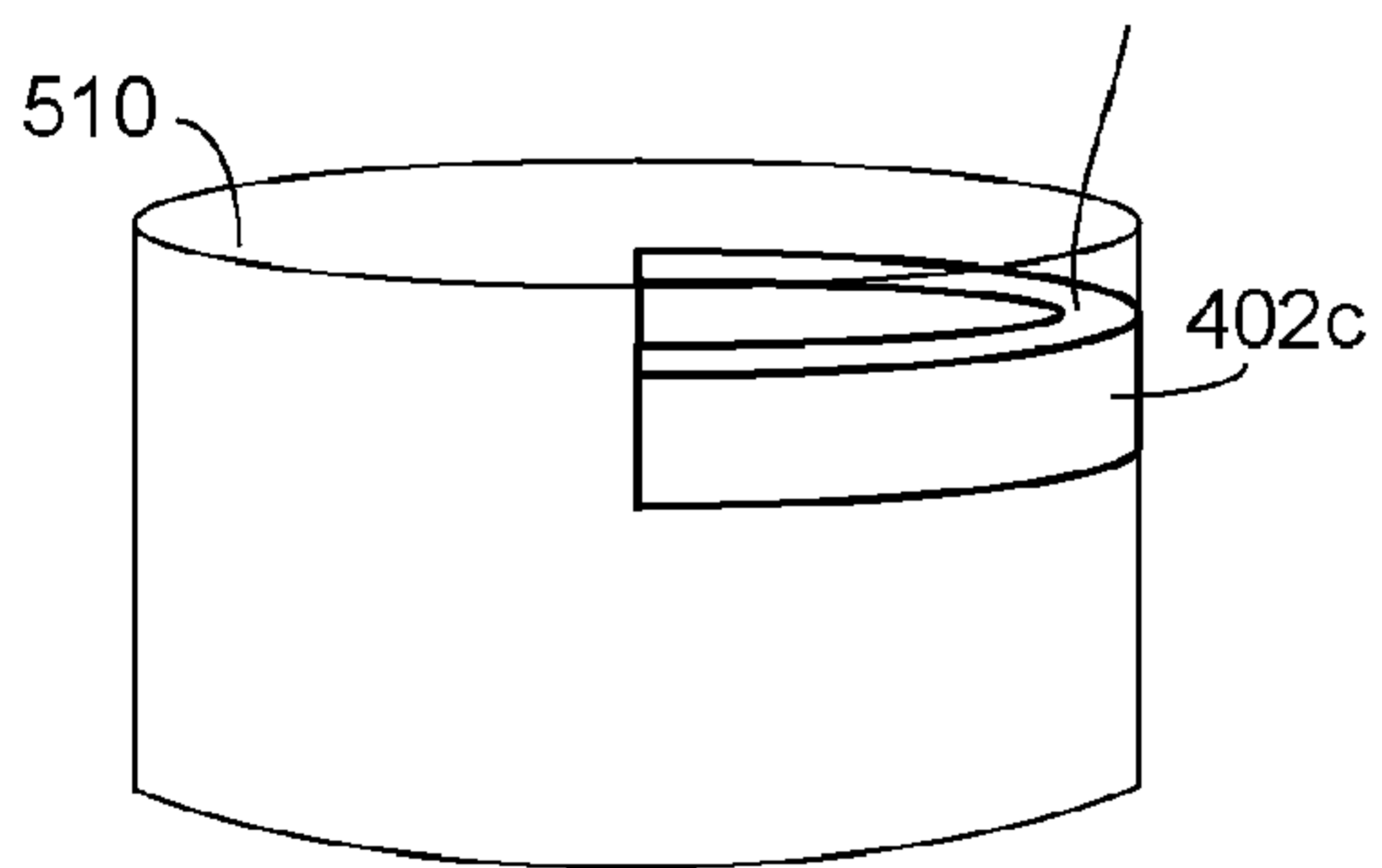


圖 5C

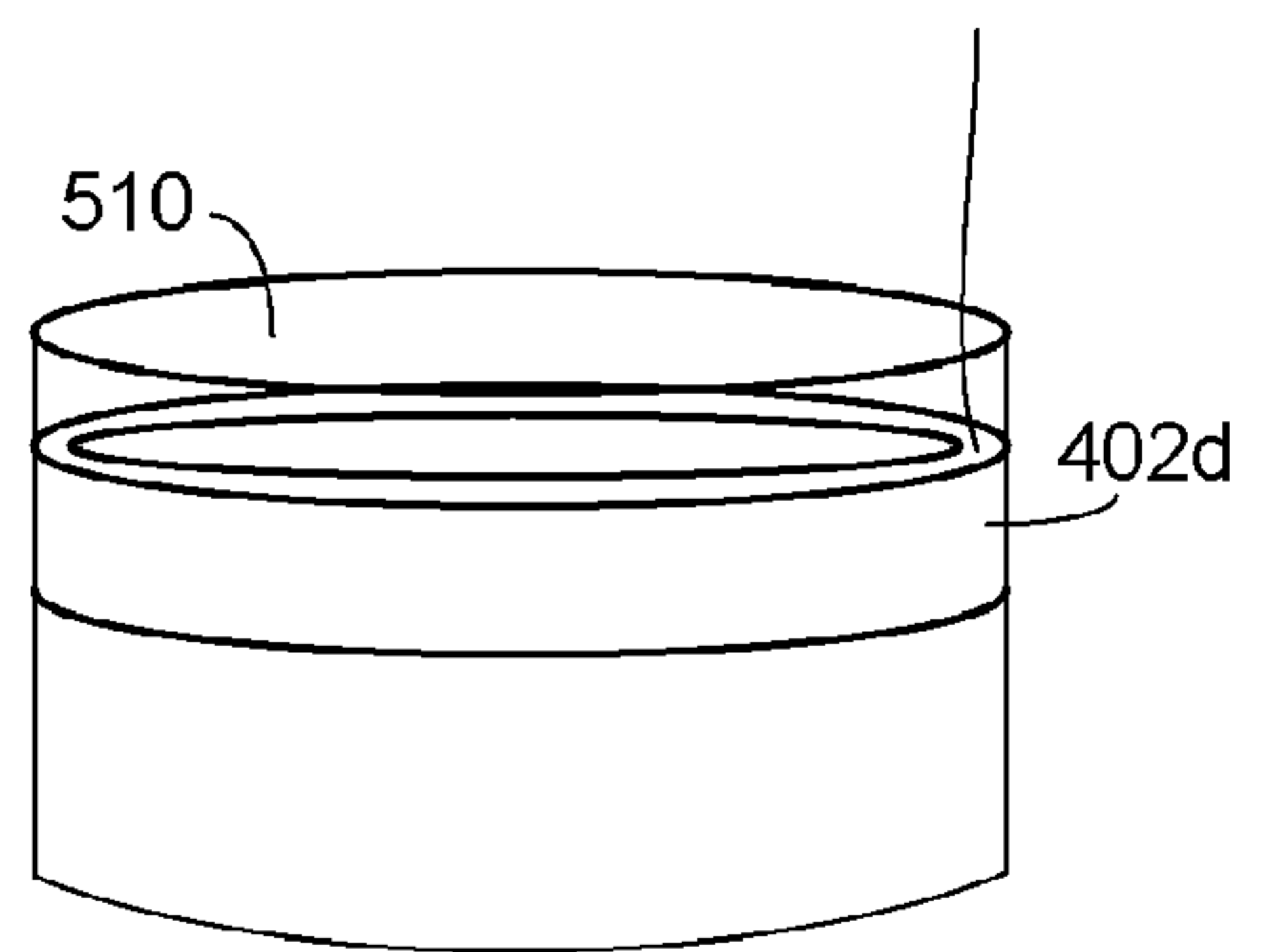


圖 5D

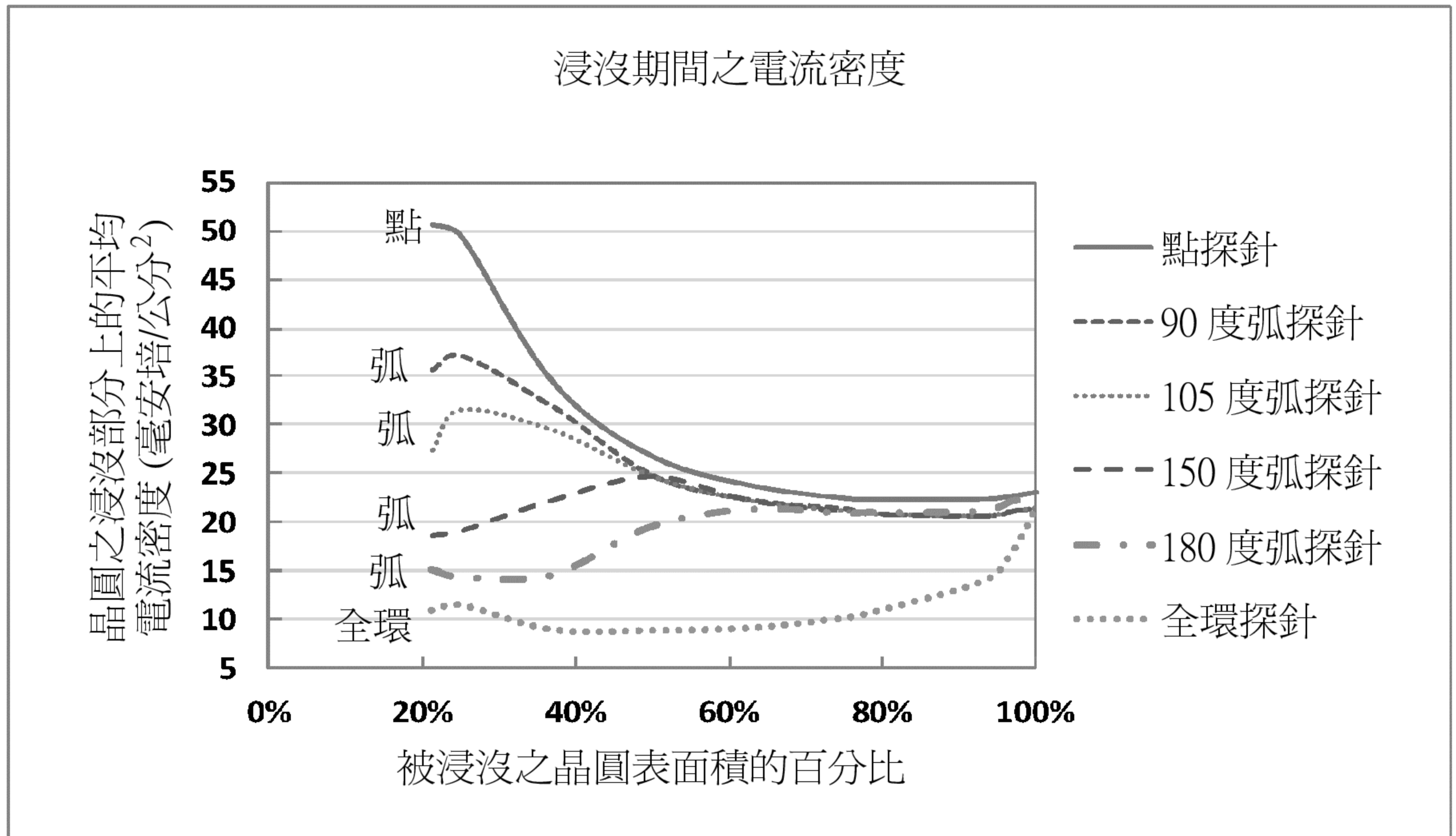


圖 6

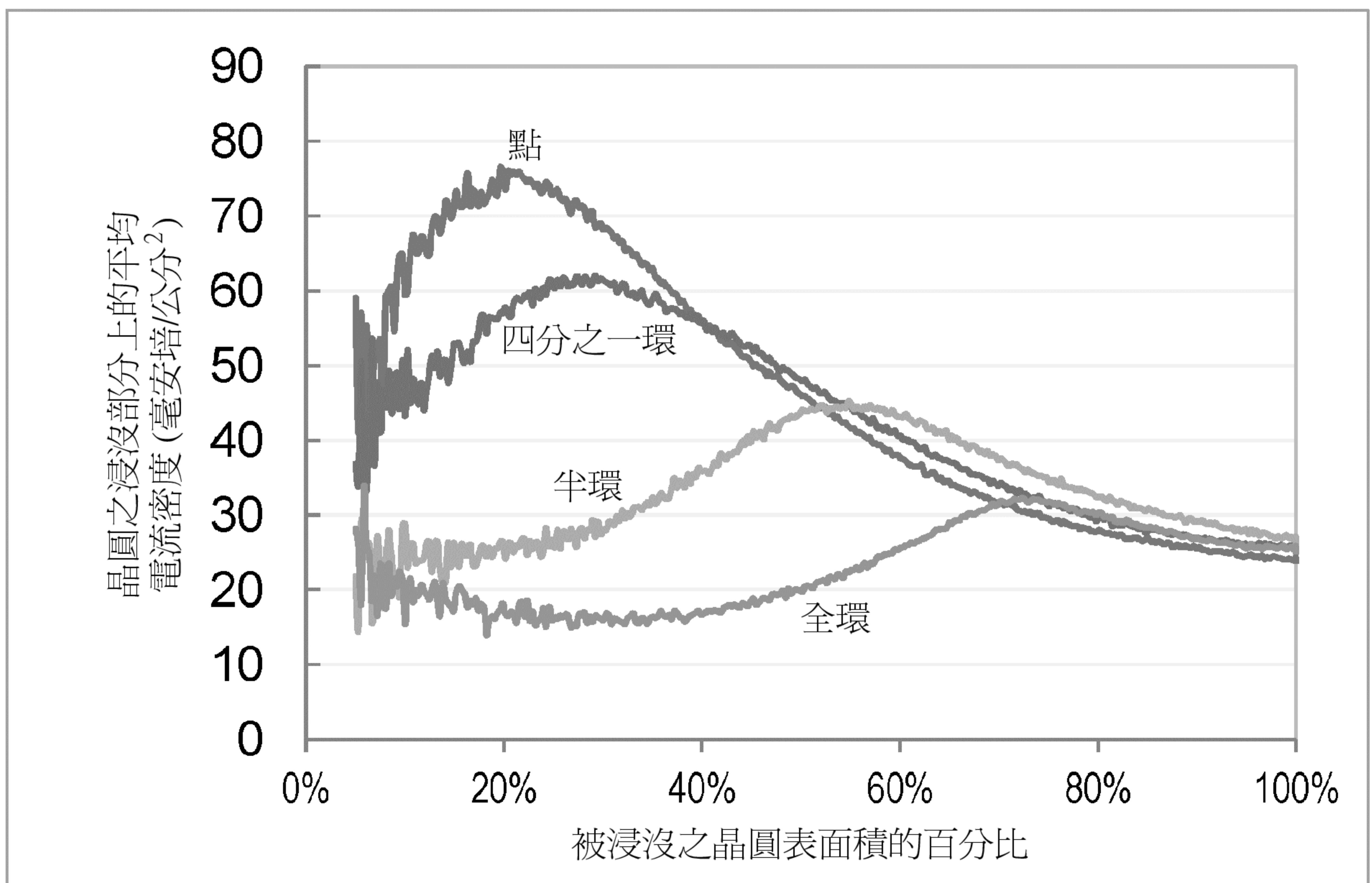


圖 7

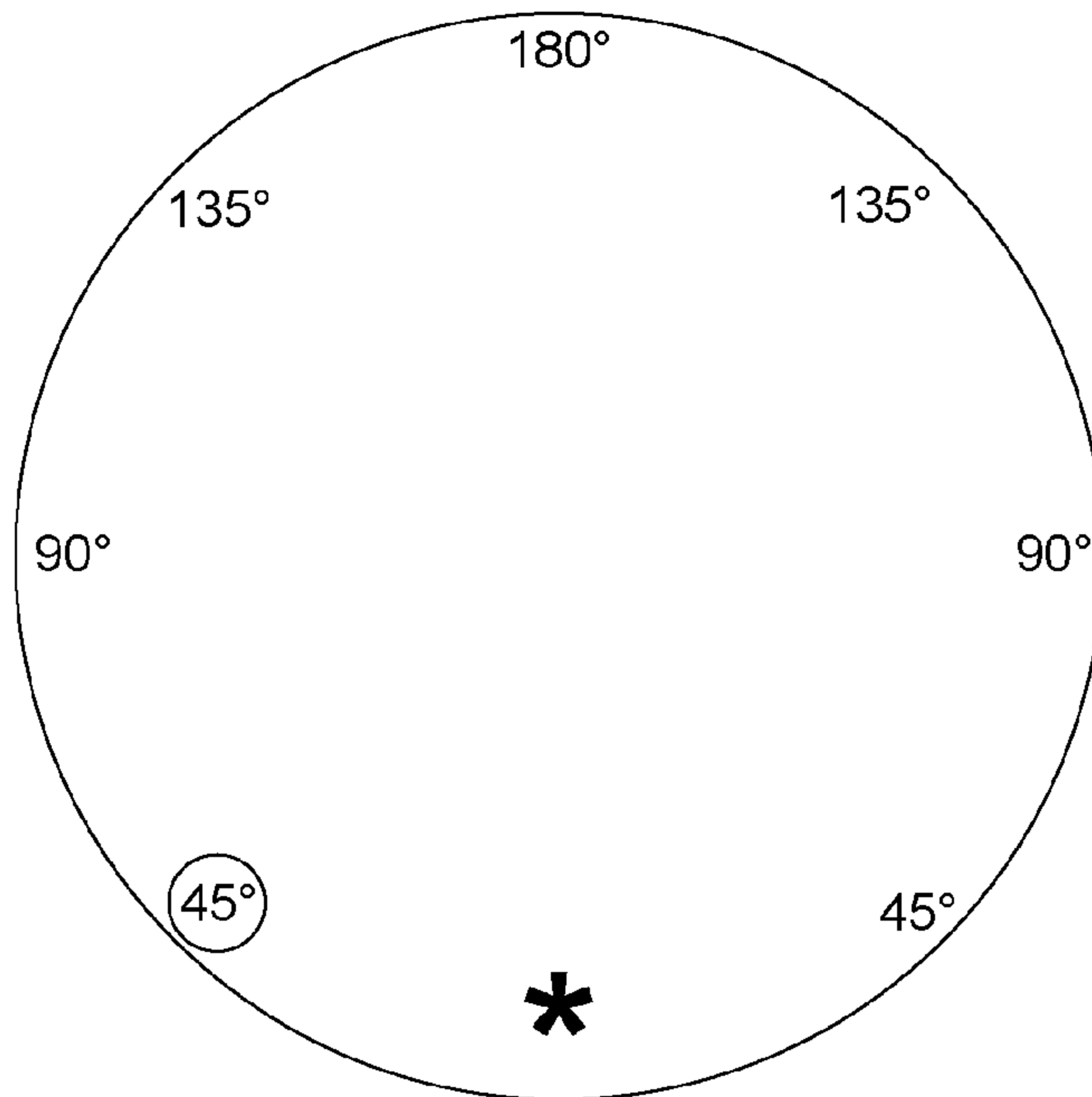


圖 8A

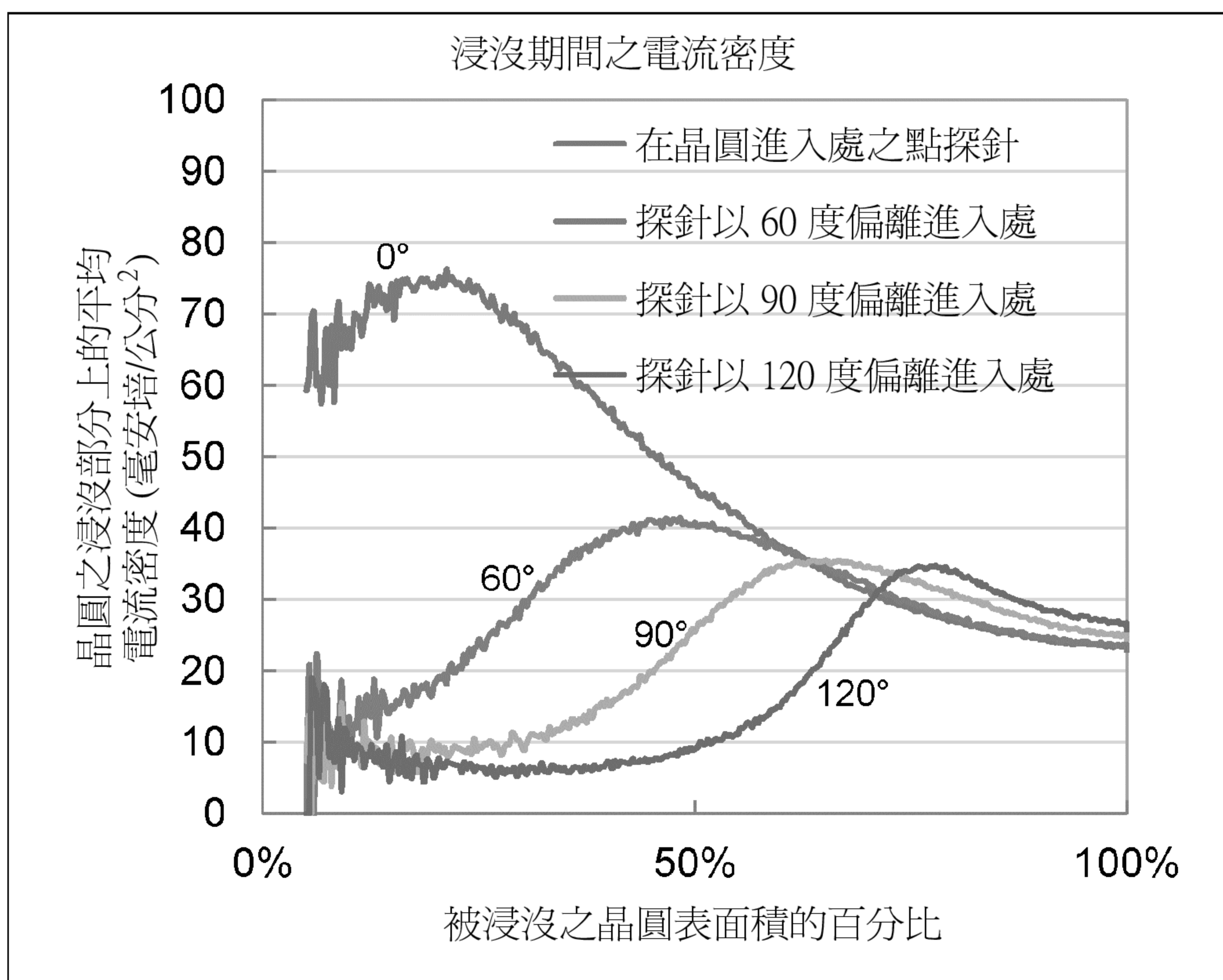


圖 8B

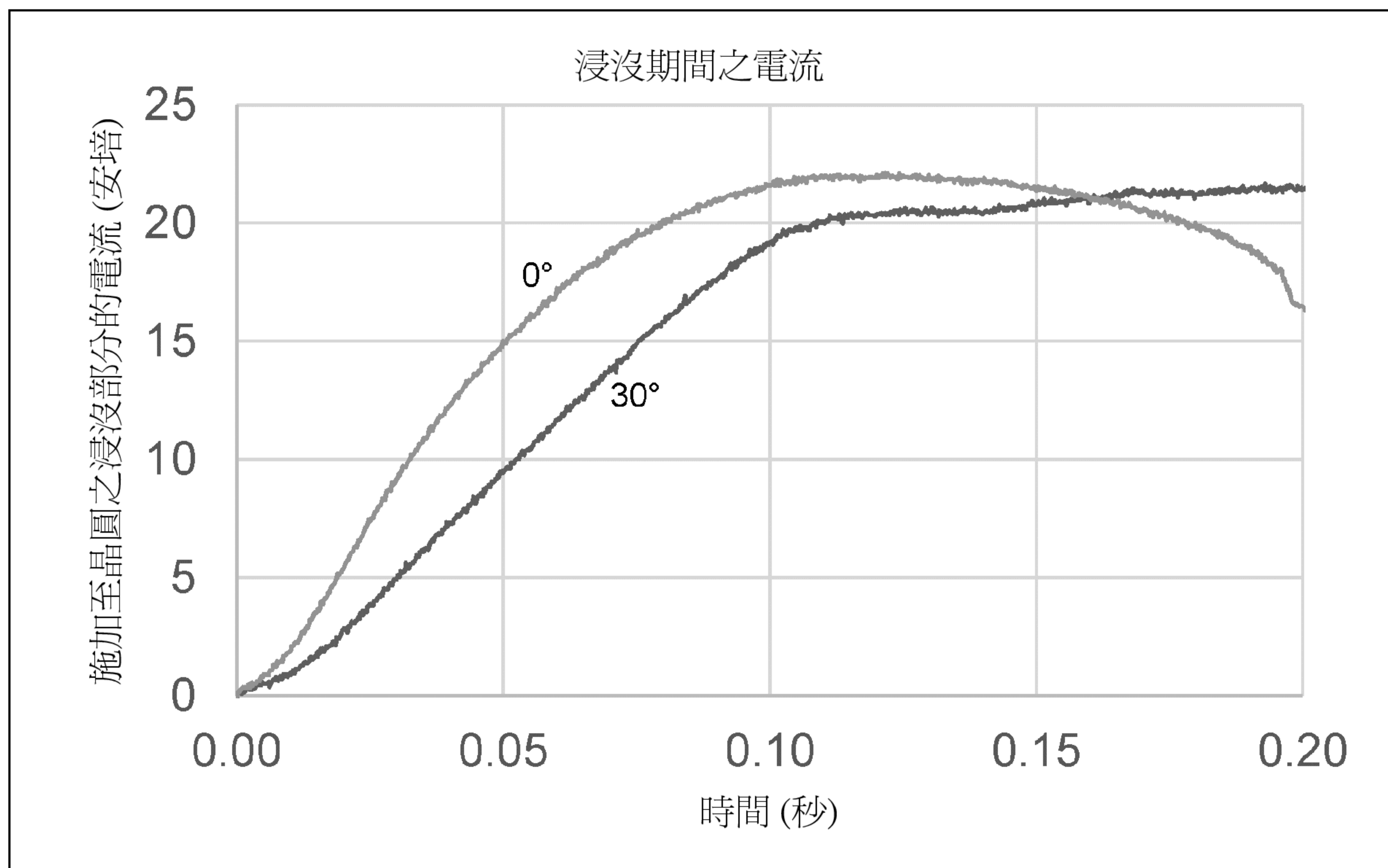


圖 8C

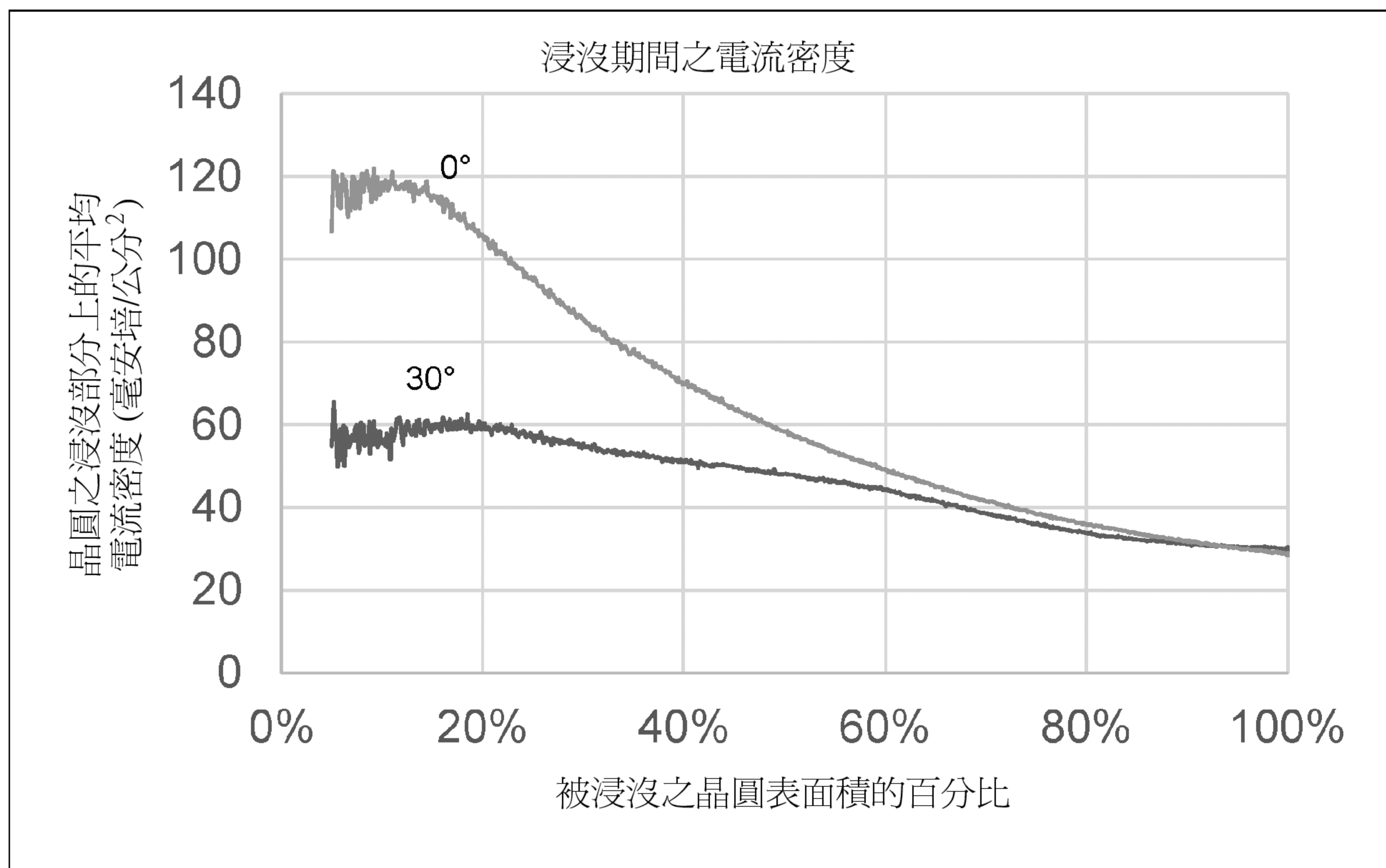


圖 8D

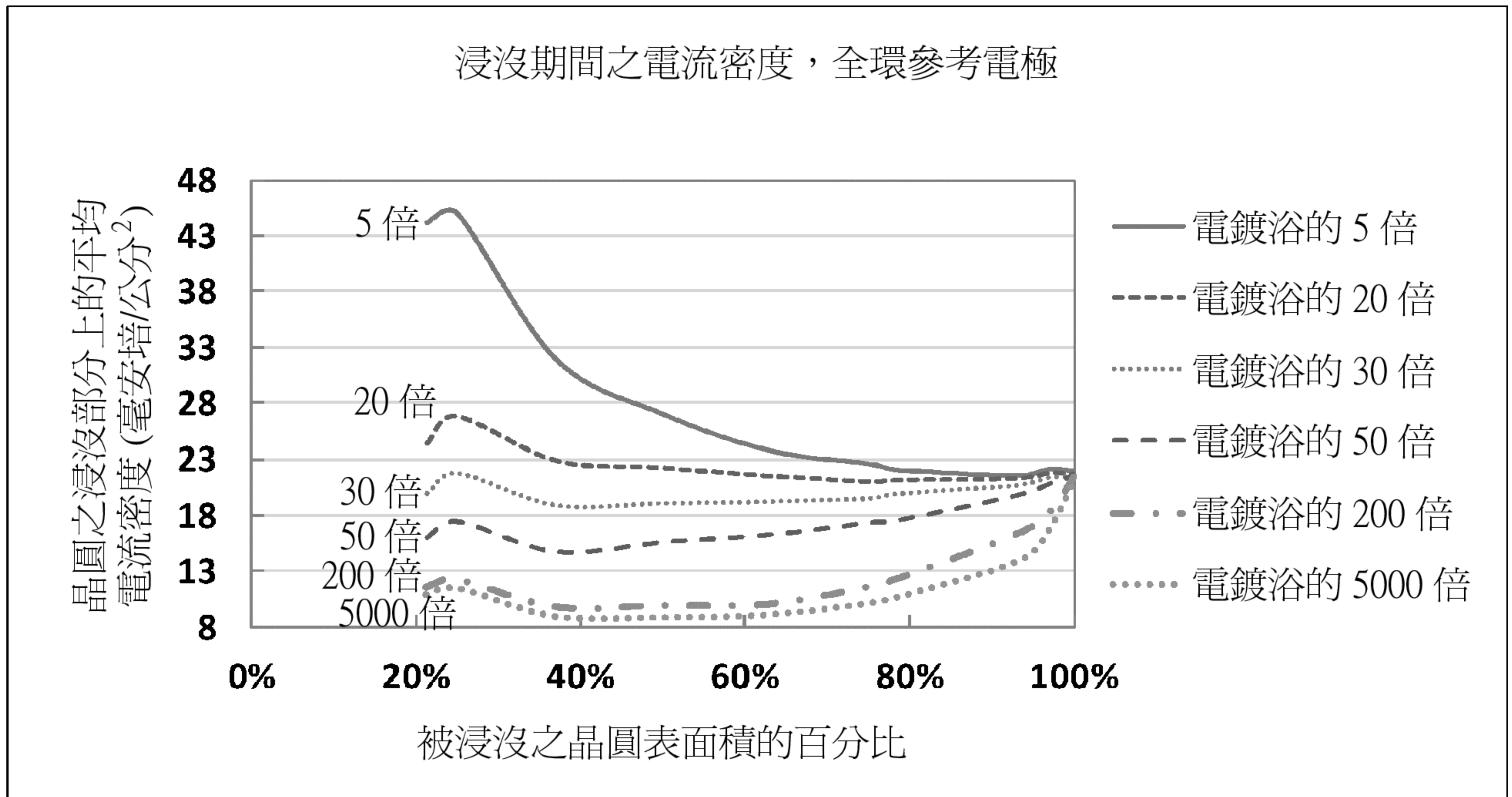


圖 9A

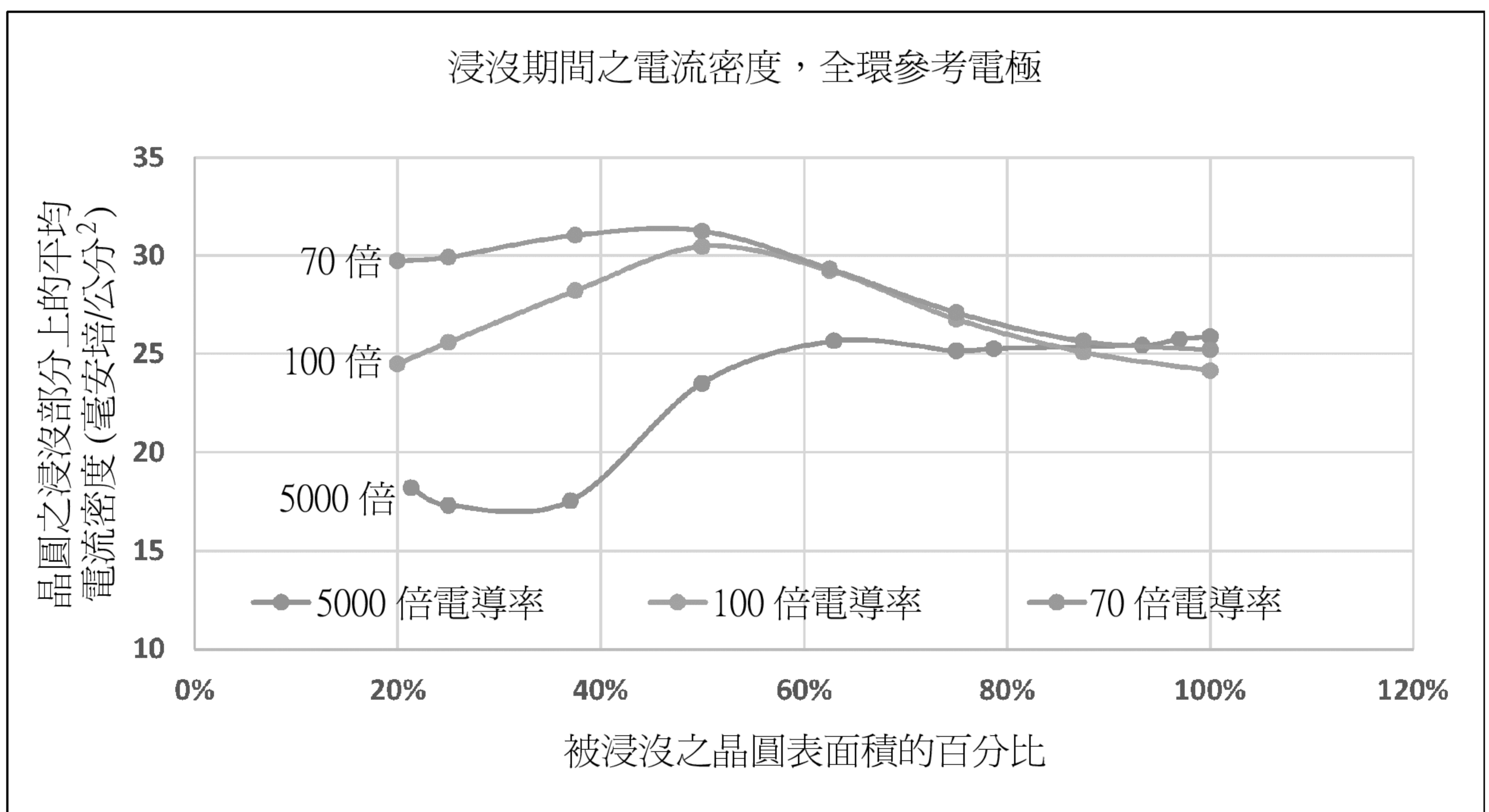


圖 9B

參考電極形狀	相較於電鍍浴之參考電極的相對電導率
5-75° 弧	200 倍以上
75-150° 弧	100 倍-200 倍
150-240° 弧	70 倍-100 倍
240-300° 弧	30 倍-70 倍
300-360° 弧/環	20 倍-50 倍

圖 9C

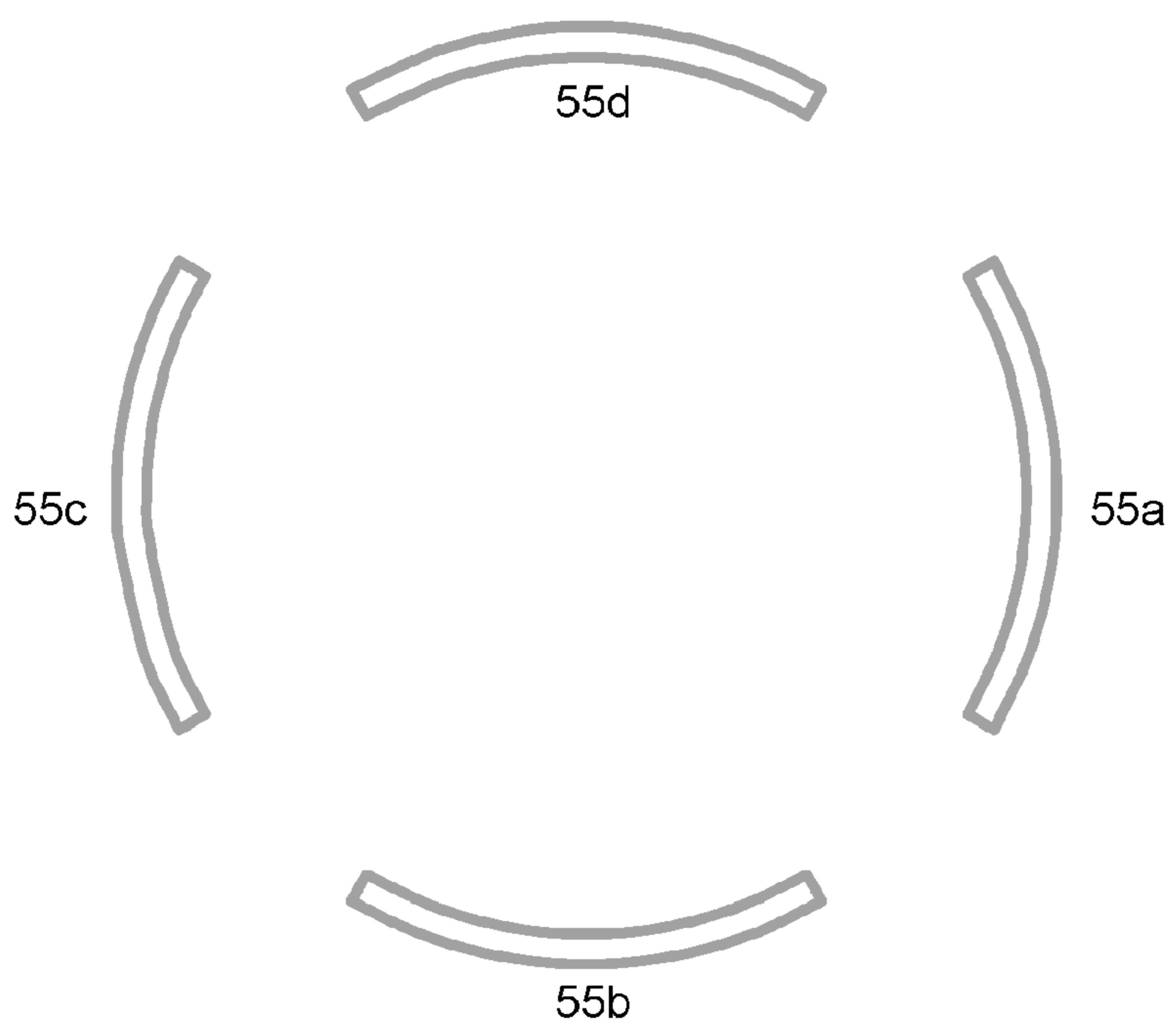


圖 10

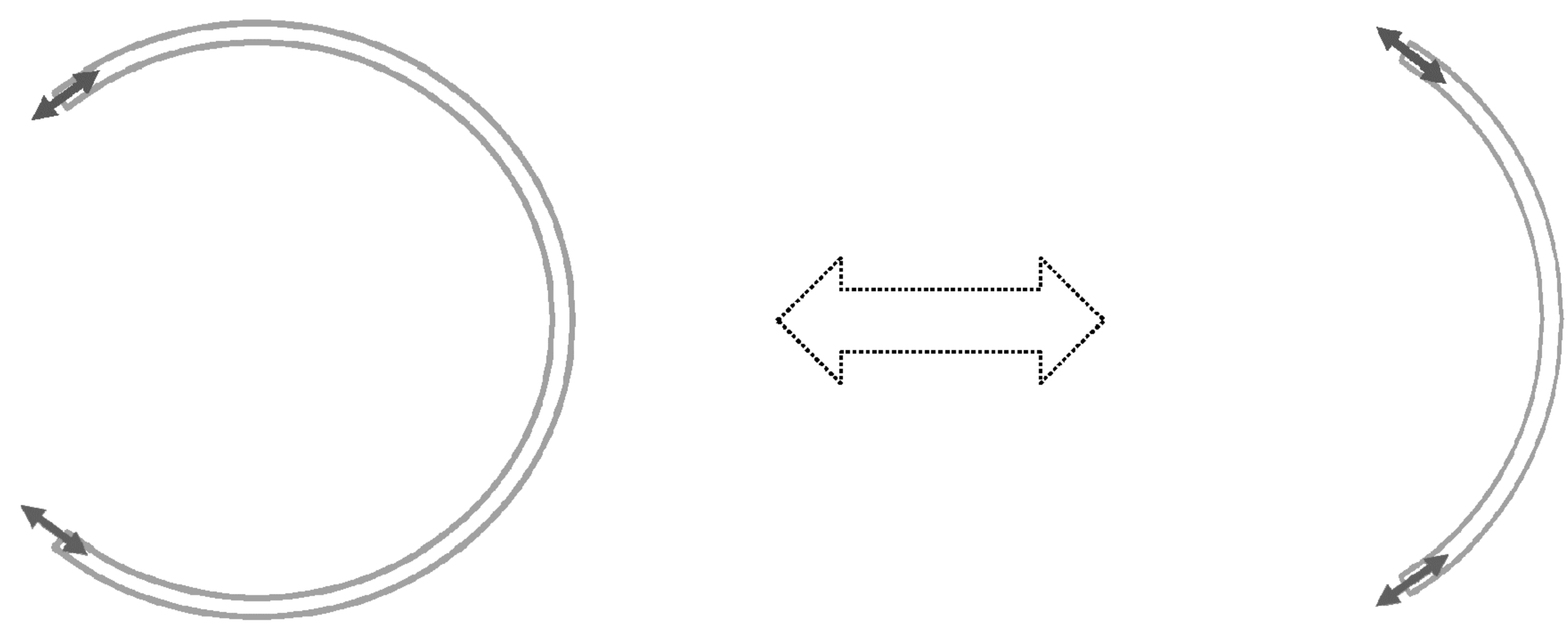


圖 11

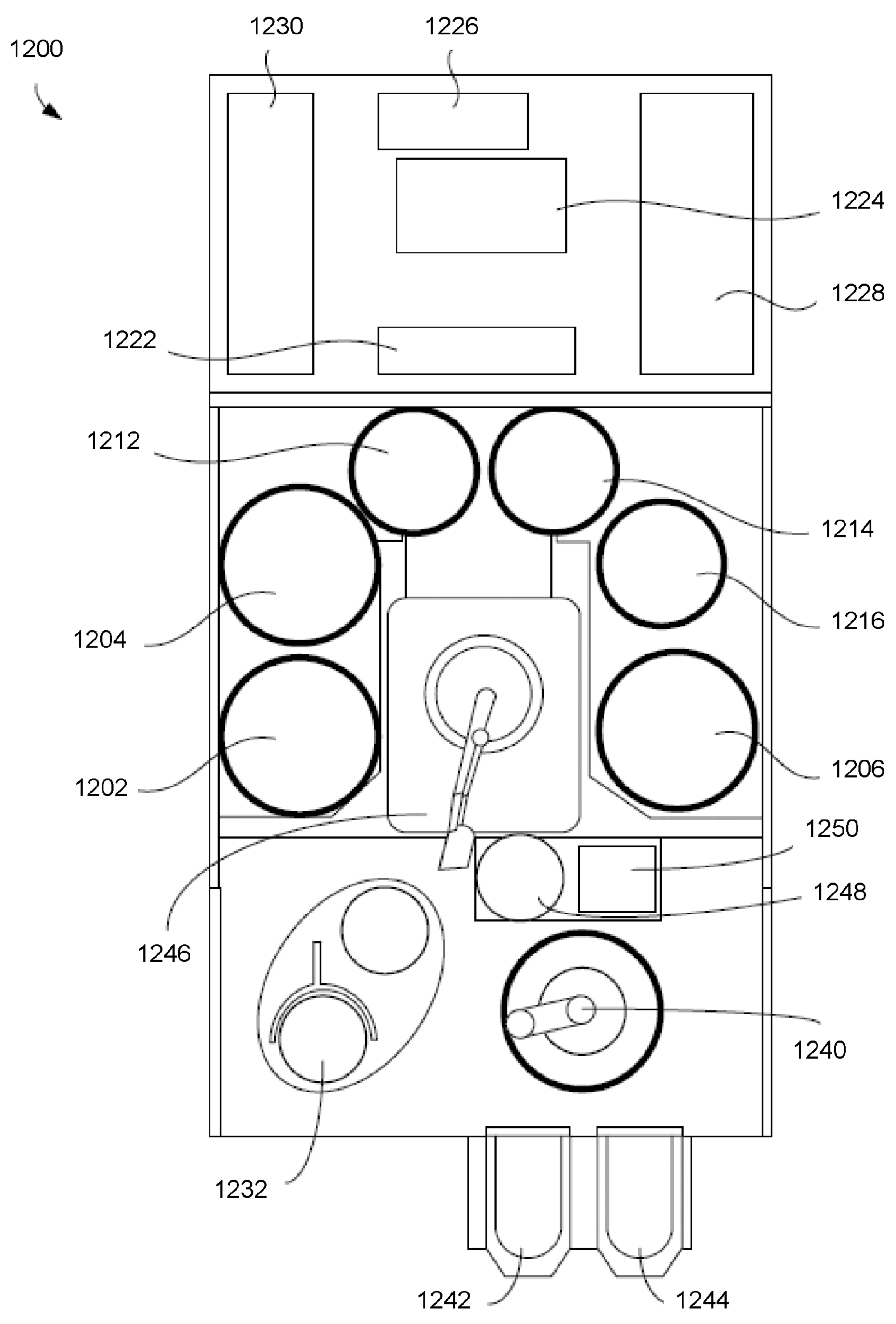


圖 12

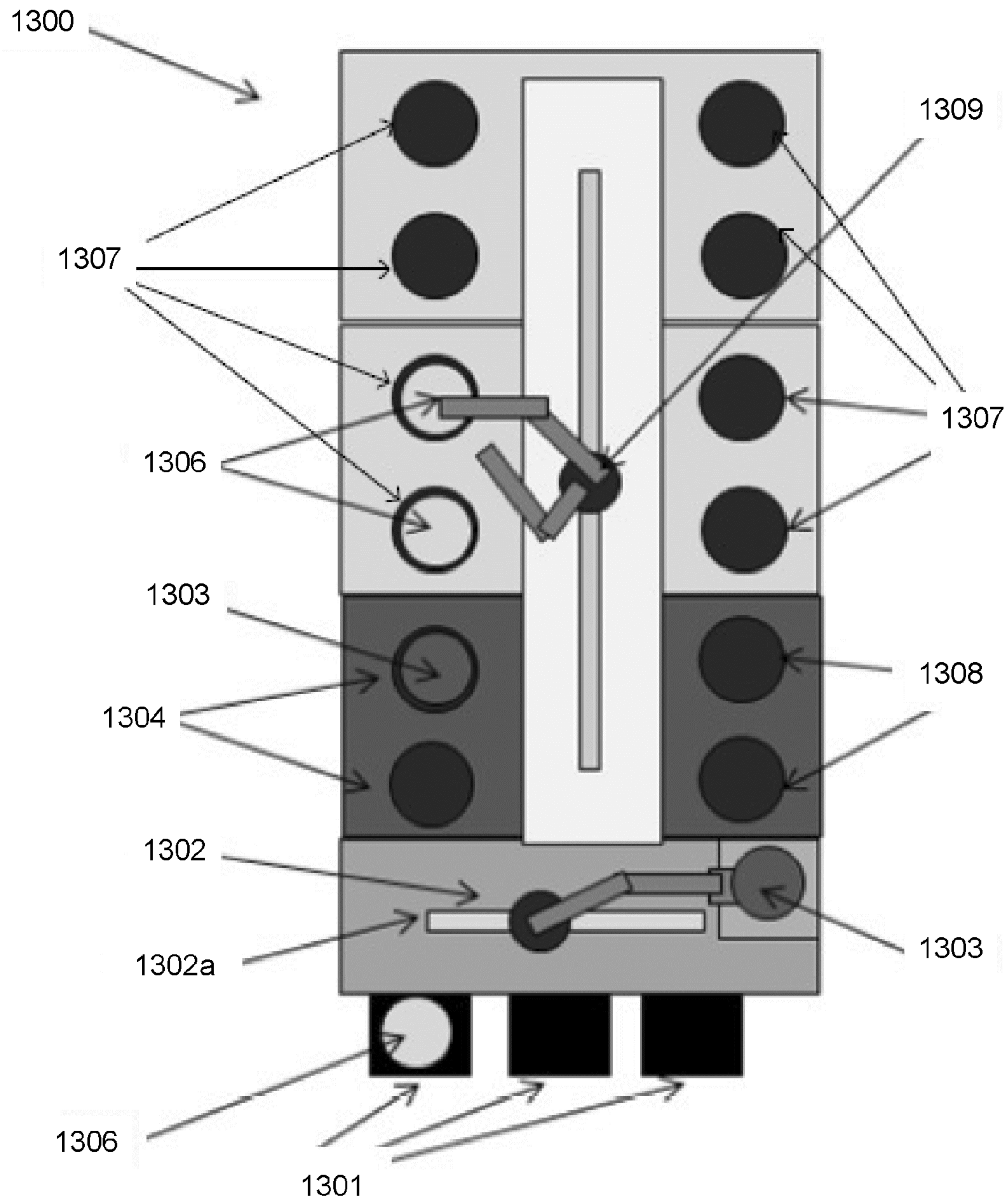


圖 13