



(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 I729274 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 06 月 01 日

(21)申請案號：107107295

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 03 月 05 日

(51)Int. Cl. : **C23C16/455 (2006.01)****H01L23/34 (2006.01)**

(30)優先權：2017/03/28 日本

2017-063076

2018/01/16 日本

2018-005160

(71)申請人：日商紐富來科技股份有限公司 (日本) NUFLARE TECHNOLOGY, INC. (JP)
日本(72)發明人：家近泰 IYECHIKA, YASUSHI (JP)；早野貴憲 HAYANO, TAKANORI (JP)；高橋
英志 TAKAHASHI, HIDESHI (JP)

(74)代理人：葉璟宗；鄭婷文；詹富閔

(56)參考文獻：

TW 201542891A

JP 2017017285A

審查人員：葉獻全

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：9 共 53 頁

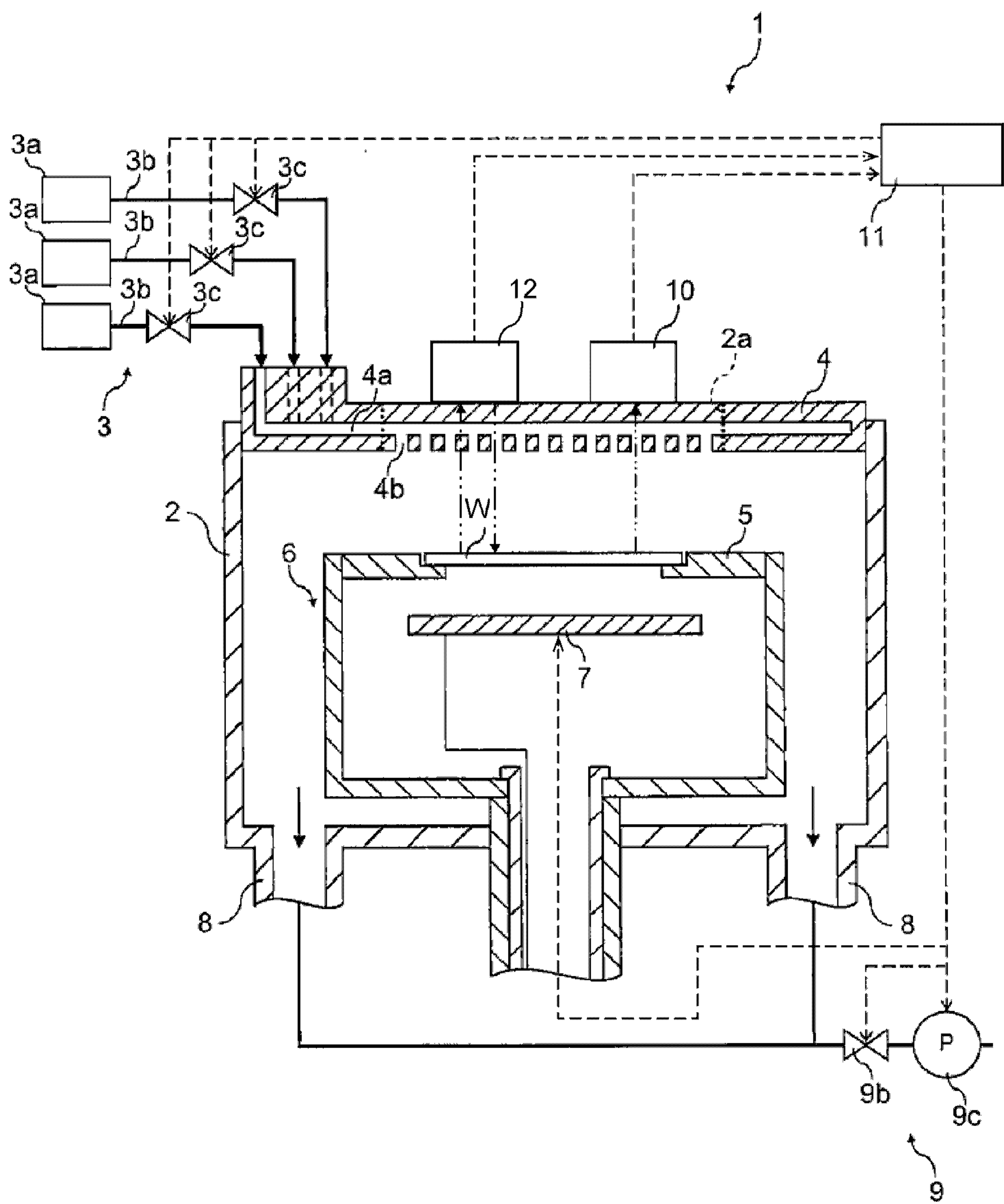
(54)名稱

成膜裝置與成膜方法

(57)摘要

本發明的實施形態提供一種可準確控制基板的溫度從而可提高生產性的成膜裝置與成膜方法。本發明的實施形態的成膜裝置具備：成膜室，收容基板且對該基板逐一進行成膜處理；氣體供給部，於基板上供給氣體；加熱器，對基板進行加熱；窗，設於成膜室上；放射溫度計，經由窗而測定基板的溫度；參數取得部，取得與基板的溫度相關的參數；修正部，根據與參數的初期值相比的變動而修正基板的溫度；以及控制部，根據基板的溫度或經修正的基板的溫度而控制加熱器。

指定代表圖：



【圖 1】

- 符號簡單說明：
- 1 . . . 成膜裝置
 - 2 . . . 腔室
 - 2a . . . 透光窗
 - 3 . . . 氣體供給部
 - 3a . . . 氣體蓄積部
 - 3b . . . 氣體管
 - 3c . . . 氣體閥
 - 4 . . . 原料釋出部
 - 4a . . . 噴淋板
 - 4b . . . 氣體噴出口
 - 5 . . . 承載盤
 - 6 . . . 旋轉部
 - 7 . . . 加熱器
 - 8 . . . 氣體排出部
 - 9 . . . 排氣機構
 - 9b . . . 排氣閥
 - 9c . . . 真空泵
 - 10 . . . 放射溫度計
 - 11 . . . 控制部
 - 12 . . . 光學監視器
 - W . . . 晶圓



I729274

【發明摘要】

【中文發明名稱】成膜裝置與成膜方法

【中文】

本發明的實施形態提供一種可準確控制基板的溫度從而可提高生產性的成膜裝置與成膜方法。本發明的實施形態的成膜裝置具備：成膜室，收容基板且對該基板逐一進行成膜處理；氣體供給部，於基板上供給氣體；加熱器，對基板進行加熱；窗，設於成膜室上；放射溫度計，經由窗而測定基板的溫度；參數取得部，取得與基板的溫度相關的參數；修正部，根據與參數的初期值相比的變動而修正基板的溫度；以及控制部，根據基板的溫度或經修正的基板的溫度而控制加熱器。

【指定代表圖】圖 1。

【代表圖之符號簡單說明】

1：成膜裝置

2：腔室

2a：透光窗

3：氣體供給部

3a：氣體蓄積部

3b：氣體管

3c：氣體閥

4：原料釋出部

4a：噴淋板

4b：氣體噴出口

5：承載盤

6：旋轉部

7：加熱器

8：氣體排出部

9：排氣機構

9b：排氣閥

9c：真空泵

10：放射溫度計

11：控制部

12：光學監視器

W：晶圓

【發明說明書】

【中文發明名稱】成膜裝置與成膜方法

【技術領域】

【0001】 本發明的實施形態是有關於一種成膜裝置與成膜方法。

【先前技術】

【0002】 金屬有機物化學氣相沈積（Metal Organic Chemical Vapor Deposition，MOCVD）裝置等成膜裝置於廣面積的基板上均勻地形成薄膜，故於產業上重要。此種薄膜的成膜裝置中，薄膜的膜質受成膜中的基板溫度的影響大，因此必須測定成膜中的基板溫度並進行控制。關於基板溫度的測定，於各種測定方法中廣泛地採用利用放射溫度計的方法。放射溫度計為以下方法：測定來自經加熱的測定對象物的熱輻射光強度，根據所測定的熱輻射光強度而求出測定對象物的溫度。利用放射溫度計的溫度測定的特長可列舉：能以不與測定對象物接觸的方式測定溫度；測定所需要的時間非常短等，因此可合適地用於通常於成膜中在與大氣甚為不同的環境或條件下進行成膜的 MOCVD 裝置等薄膜形成裝置。

【0003】 另一方面，為了利用放射溫度計對測定對象物的溫度進行準確測定，必須準確地測定來自測定對象物的熱輻射光強度。一般而言，為了於成膜裝置中測定來自測定對象物的熱輻射光強度，而於成膜裝置的壁面上設置透光窗，經由該窗而進行熱輻射

光強度的測定。關於透光窗的構件，一般而言使用石英等光學透明的構件。

另一方面，若反覆實行薄膜的成膜動作，則堆積物逐漸附著於溫度測定用的窗構件的內表面。該堆積物的附著會導致窗構件模糊。若窗構件模糊，則來自供形成薄膜的基板的熱輻射光強度降低，因此放射溫度計無法經由窗構件而測定準確的基板溫度。

【0004】 若由放射溫度計所得的測定溫度的誤差變大，則成膜裝置無法形成所需膜厚或膜質的薄膜。因此，每當窗構件模糊時，必須開放需要預先將裝置內與大氣環境隔離的成膜裝置，進行窗構件的維護。此種維護使成膜步驟的產率劣化，導致生產性降低。

【發明內容】

【0005】 本發明的實施形態提供一種可準確地控制基板的溫度從而可提高生產性的成膜裝置與成膜方法。

【0006】 實施形態的成膜裝置具備：成膜室，收容基板並對該基板逐一進行成膜處理；氣體供給部，於基板上供給氣體；加熱器，對基板進行加熱；窗，設於成膜室上；放射溫度計，經由窗而測定基板的溫度；參數取得部，取得與基板的溫度相關的參數；修正部，根據與參數的初期值相比的變動而修正基板的溫度；以及控制部，根據基板的溫度或經修正的基板的溫度而控制加熱器。

【0007】 修正部亦可考慮到放射率因溫度或所形成的薄膜的光學干涉效果而變動，而修正基板的溫度。

【0008】 修正部亦可根據於第一成膜處理前作為參數而取得的

第一反射光強度、及於第一成膜處理以後的第二成膜處理前作為參數而取得的第二反射光強度而修正基板的溫度。

【0009】 成膜裝置亦可更具備對成膜室的環境溫度進行測定的環境溫度計，修正部根據實質上使環境溫度相同而測定的第一反射光強度與第二反射光強度而修正基板的溫度。

【0010】 修正部根據第一反射光強度與第二反射光強度之比而修正基板的溫度。

【0011】 修正部亦可根據第一反射光強度與第二反射光強度之比對放射率進行修正而算出修正放射率，並使用熱輻射光強度及修正放射率算出基板的溫度。

【0012】 修正部亦可根據作為參數而取得的形成於基板上的既定的膜的成長速度而修正基板的溫度。

【0013】 修正部亦可根據作為參數而取得的形成於基板上的既定的膜的折射率而修正基板的溫度。

【0014】 本實施形態的成膜方法一面藉由加熱器將收容於成膜室內的基板加熱至既定溫度，一面於基板上供給氣體；並且經由設於成膜室上的窗而測定基板的溫度，取得與基板的溫度相關的參數，根據與參數的初期值相比的變動而修正基板的溫度，以經修正的基板的溫度成為既定溫度的方式控制加熱器。

【圖式簡單說明】

【0015】

圖 1 為表示第一實施形態的成膜裝置的概略構成的圖。

圖 2 為表示放射溫度計及光學監視器經由透光窗而測定熱輻射光強度及反射光強度的狀況的概略圖。

圖 3 為表示相對於成膜處理次數的晶圓的初期反射光強度比的測定值的圖。

圖 4 為表示第一實施形態的成膜裝置的動作的一例的流程圖。

圖 5 為表示由 X 射線搖擺曲線(rocking curve)法所得的 AlN 的(102)面的折射強度波峰的半高寬的測定值的圖。

圖 6 為表示 AlN 及 AlGaIn 的成膜中的反射率的時間變化的測定值的圖。

圖 7 為表示 GaN 的成長速度比的測定值的圖。

圖 8 為表示第二實施形態的成膜裝置的動作的流程圖。

圖 9 為表示腔室的環境溫度的測定點的示例的圖。

【實施方式】

【0016】（第一實施形態）

以下，一面參照圖式一面對本發明的實施形態進行說明。本實施形態並未限定本發明。圖 1 為表示第一實施形態的成膜裝置 1 的概略構成的圖。於本實施形態中，使用矽基板、具體而言矽晶圓（以下簡稱為晶圓）W 作為進行成膜處理的基板，對在該晶圓 W 上積層單一的膜或多個薄膜而進行成膜的示例進行說明。以下，作為氣相成長方法以 MOCVD 為例進行具體說明。

【0017】 圖 1 的成膜裝置 1 具備：腔室 2，對晶圓 W 進行成膜；

氣體供給部 3，對所述腔室 2 內的晶圓 W 供給原料氣體；原料釋出部 4，位於腔室 2 的上部；承載盤 5，於腔室 2 內支持晶圓 W；旋轉部 6，保持所述承載盤 5 並旋轉；加熱器 7，對晶圓 W 進行加熱；氣體排出部 8，排出腔室 2 內的氣體；排氣機構 9，將氣體自所述氣體排出部 8 排出；放射溫度計 10，測定晶圓 W 的溫度；控制部 11，控制各部分；以及光學監視器 12，測定來自晶圓 W 的反射光強度。

【0018】 作為成膜室的腔室 2 為可收納成膜對象的晶圓 W 的形狀（例如圓筒形狀），於腔室 2 的內部收容有承載盤 5、加熱器 7、旋轉部 6 的一部分等。

【0019】 氣體供給部 3 具有：多個氣體蓄積部 3a，分別蓄積多種氣體；多個氣體管 3b，將該些氣體蓄積部 3a 與原料釋出部 4 連接；以及多個氣體閥 3c，調整該些氣體管 3b 中流動的氣體的流量。各氣體閥 3c 連接於對應的氣體管 3b。多個氣體閥 3c 是藉由控制部 11 而控制。實際的配管可採取將多個氣體管結合、將一條氣體管分支成多個氣體管、或者將氣體管的分支或結合組合等多種構成。

【0020】 自氣體供給部 3 供給的原料氣體通過原料釋出部 4 而釋出至腔室 2 內。釋出至腔室 2 內的原料氣體（製程氣體）被供給於晶圓 W 上，藉此於晶圓 W 上形成所需的膜。再者，所使用的原料氣體的種類並無特別限定。

【0021】 於原料釋出部 4 的底面側設有噴淋板 4a。該噴淋板 4a 可使用不鏽鋼或鋁合金等金屬材料而構成。來自多個氣體管 3b 的

氣體於原料釋出部 4 內混合，通過噴淋板 4a 的氣體噴出口 4b 而供給於腔室 2 內。再者，亦可於噴淋板 4a 中設置多個氣體流路，保持將多種氣體分離的狀態而供給於腔室 2 內的晶圓 W。

【0022】 原料釋出部 4 的構造應考慮所形成的膜的均勻性、原料效率、再現性、製作成本等而選定，只要滿足該些要求則並無特別限定，亦可適當使用公知構造。

【0023】 承載盤 5 成為以下構造：設於旋轉部 6 的上部，且在設於承載盤 5 內周側的凹坑內載置並支持晶圓 W。再者，於圖 1 的示例中，承載盤 5 為於其中央具有開口部的環狀形狀，亦可為並無開口部的大致平板形狀。

【0024】 加熱器 7 為對承載盤 5 及/或晶圓 W 進行加熱的加熱部。只要滿足將加熱對象加熱至所需溫度及溫度分佈的能力、耐久性 etc 等要求，則並無特別限定。具體而言，可列舉電阻加熱、燈加熱、感應加熱等。

【0025】 排氣機構 9 經由氣體排出部 8 自腔室 2 的內部排出反應後的原料氣體，藉由排氣閥 9b 及真空泵 9c 的作用而將腔室 2 內控制為所需壓力。

【0026】 放射溫度計 10 設於原料釋出部 4 的上表面。放射溫度計 10 測定晶圓 W 的溫度。利用放射溫度計 10 測定的熱輻射光的波長範圍為可見光部至近紅外部的波長範圍，於晶圓 W 為藍寶石或碳化矽（SiC）等在所述波長範圍內透明的基板（以下為透明基板）的情形時，無法利用放射溫度計直接測定晶圓 W 的溫度，因

此一般而言使用透過透明基板的來自承載盤 5 的熱輻射光強度而測定承載盤 5 的溫度。可藉由如此般測定的承載盤 5 的溫度來監視晶圓 W 的溫度。於本實施形態中，將基板設為於放射溫度計所測定的波長範圍內不透明的晶圓 W。然而，即便晶圓 W 為透明基板，亦可對承載盤 5 的溫度同樣地進行以下將詳述的修正透光窗的模糊的影響的方法。

【0027】 放射溫度計 10 接受來自晶圓 W 的熱輻射光，並測定熱輻射光強度。放射溫度計 10 使用熱輻射光強度算出晶圓 W 的溫度。放射溫度計 10 於其內部具有資料運算部。該資料運算部根據熱輻射光強度求出晶圓 W 的溫度。資料運算部例如可藉由通用的電腦而構成。放射溫度計 10 中的晶圓 W 的測定溫度被反饋至控制部 11，用於將晶圓 W 的實際溫度控制為既定溫度。

【0028】 於原料釋出部 4 的上表面設有透光窗 2a，來自光學監視器 12 的光源的光、來自晶圓 W 的反射光及熱輻射光通過該透光窗 2a。透光窗 2a 可採取狹縫形狀或矩形狀、圓形狀等任意形狀。對於窗，使用在放射溫度計所測量的光的波長範圍內透明的構件。於測定室溫至 1500℃ 左右的溫度的情形時，較佳為測量可見光區域至近紅外區域的光的波長，於該情形時窗的構件可較佳地使用石英玻璃等。

【0029】 控制部 11 具備：電腦，集中控制成膜裝置 1 內的各部分；以及記憶部，記憶與成膜處理有關的成膜處理資訊或各種程式等。控制部 11 根據成膜處理資訊或各種程式而控制氣體供給部

3 或旋轉部 6 的旋轉機構、排氣機構 9 等，且控制加熱器 7 對晶圓 W 的加熱等。例如，控制部 11 以藉由放射溫度計 10 所測定的晶圓 W 的測定溫度成為既定溫度的方式控制加熱器 7。

【0030】 於將晶圓 W 加熱至高溫的情形時，有時將腔室 2、原料釋出部 4、氣體排出部 8 等冷卻。若原料釋出部 4 等較晶圓 W 更靠上游側以超出需要的程度成為高溫，則於該以超出需要的程度成為高溫的部分，會發生對晶圓 W 上的成膜而言欠佳的原料的前分解等氣相反應。另外，雜質從該以超出需要的程度成為高溫的部分釋出至原料氣體中，形成於晶圓 W 上的膜中含有大量雜質。為了不發生所述欠佳的氣相反應，較晶圓 W 更靠上游部的溫度較佳為保持於室溫以上、250℃ 以下。更佳為 60℃ 以上、200℃ 以下。

【0031】 另外，若將大氣與反應爐隔離的腔室 2 等部分以超出需要的程度成為高溫，則有於人體觸碰該部分等的情形時遭受火傷等危險性。為了避免此種危險性，於大氣中露出的部分較佳為保持於 100℃ 以下。

【0032】 關於控制所述溫度的方法，一般而言於需要控制溫度的部分設置適當的流路，於該流路的內部流動冷媒。關於所述冷媒，可使用水或溶解於水中的液體的溶液、有機材料或無機材料的液體。為了以良好的再現性進行成膜，該些冷媒有效的是將溫度設為一定而於所述流路內通過，用於溫度控制。

【0033】 光學監視器 12 與放射溫度計 10 同樣地設於原料釋出部 4 的上表面。光學監視器 12 可遠離放射溫度計 10 而設置，但較佳

為設於靠近放射溫度計 10 的位置。

【0034】 另外，圖 1 所示的成膜裝置 1 中，更佳為使光學監視器 12 與放射溫度計 10 距晶圓 W 的旋轉軸的距離大致相同，且相對於晶圓的旋轉軸而設於相反側。於透光窗 2a 不均勻地產生模糊的情形時，由於圖 1 所示的成膜裝置 1 相對於晶圓 W 的旋轉軸而為大致旋轉對稱，故透光窗 2a 的模糊亦大致相對於晶圓 W 的旋轉軸而對稱地產生。因此，藉由將光學監視器 12 與放射溫度計 10 設置成所述般的配置，可將光學監視器 12 與放射溫度計 10 配置於模糊程度大致相等的位置，故而可減小透光窗 2a 的模糊的不均勻性的影響。即便於設置多個放射溫度計 10 及多個光學監視器 12 的情形時，亦於相對於晶圓 W 的旋轉軸而大致對稱的位置設置放射溫度計 10 與光學監視器 12，藉此可減小透光窗 2a 的模糊的不均勻性的影響，使各放射溫度計 10 具有本實施形態的效果。

【0035】 進而較佳可列舉：使熱輻射光自晶圓 W 向放射溫度計 10 通過的光軸與光學監視器 12 的光學軸一致。藉由使光學監視器 12 與放射溫度計 10 的光學軸一致，光學監視器 12 可直接評價對放射溫度計 10 的熱輻射光強度的測定造成影響的透光窗 2a 的區域。該配置亦可較佳地用於透光窗 2a 的模糊的不均勻性不具有對稱性般的情形。為了使光學監視器 12 與放射溫度計 10 的光學軸一致，只要將光學監視器 12 的光源、半反射鏡等光學零件適當組合即可。

【0036】 於使用透明基板的情形時，放射溫度計 10 亦可設於承

載盤上。

【0037】 作為參數取得部的光學監視器 12 經由透光窗 2a 對晶圓 W 照射光，並經由透光窗 2a 而測定來自晶圓 W 的反射光強度作為參數。光學監視器 12 例如設置於晶圓 W 或薄膜的中央部及/或外周部的上方，測定對應的晶圓 W 部分的反射光強度。反射光強度可用於修正由放射溫度計 10 所算出的晶圓 W 的溫度的測定值。關於晶圓 W 的溫度的測定值的修正，將於下文中進行說明。

【0038】 再者，成膜裝置 1 反覆進行成膜，由此透光窗 2a 因堆積物而產生模糊，故而透光窗 2a 的透過率 Tr 降低。

【0039】 該透過率 Tr 的降低導致光學監視器 12 所測定的反射光強度及放射溫度計 10 所測定的熱輻射光強度降低。例如，產生模糊之前的透光窗 2a 的透過率 Tr 為 1，但若產生模糊，則透光窗 2a 的透過率 Tr 降低至小於 1 的值並接近零。即，透光窗 2a 的透過率 Tr 因附著於透光窗 2a 的堆積物而可於 1~0 的範圍內變化 ($0 \leq Tr \leq 1$)。

【0040】 此處，透光窗 2a 的透過率受到窗構件表面的反射、窗構件對光的吸收或散射的影響。然而，以下的討論中忽視該些影響，將透光窗 2a 並無模糊的狀態下的透過率設為 1，但本實施形態的有效性並無問題。其原因在於，於本實施形態中，將透光窗 2a 的模糊所造成的影響與並無模糊的狀態相比較而表示。再者，為了消除並無模糊的情形時的透光窗 2a 的實際透過率的影響，必須使用不受透光窗 2a 的透過率的影響的溫度測定方法，預先進行放射溫度計 10 的修正。所述不受透光窗 2a 的透過率的影響的測

溫方法可列舉：將熔點已知的材料熔融的方法、使用雙色放射溫度計的方法、測定熱放射光譜並以黑體輻射定律擬合的方法等。所述方法中，使用雙色放射溫度計的方法及測定熱放射光譜的方法為根據熱輻射光強度的波長分佈而求出測定對象的溫度的方法，原理上不受透光窗 2a 的透過率的影響。另一方面已知，若於基板上成長薄膜，則由光的干涉效果導致反射率具有大的波長分佈。因此，雙色放射溫度計或對熱輻射光譜進行測定、分析的方法中，難以於薄膜的成膜中途測定溫度，薄膜成膜中的溫度測定仍需要使用將測定波長限制得窄的單色放射溫度計。

【0041】 參照圖 2，對晶圓 W 的溫度誤差進行更詳細說明。

【0042】 圖 2 為表示放射溫度計 10 及光學監視器 12 經由透光窗 2a 而測定熱輻射光強度及反射光強度的狀況的概略圖。另外，圖 2 中示出一個放射溫度計 10 及一個光學監視器 12，亦可與晶圓 W 的中央部或外周部等相對應而設有多個放射溫度計 10 及多個光學監視器 12。

【0043】 於放射溫度計 10 測定晶圓 W 的溫度時，熱輻射光 L1 通過透光窗 2a 一次。若因成膜裝置 1 進行成膜動作而堆積物附著於透光窗 2a，則透光窗 2a 的透過率 Tr 變得小於 1。於該情形時，光 L1 每通過透光窗 2a 一次則成為 Tr 倍，故而與透光窗 2a 並無模糊的情形（ $Tr=1$ 的情形）相比，放射溫度計 10 所測定的熱輻射光強度降低至 Tr 倍。於此種情形時，放射溫度計 10 無法測定晶圓 W 的準確溫度。放射溫度計 10 的測定溫度被反饋至控制部

11 而用於晶圓 W 的實際溫度的控制。因此，測定溫度的誤差成為晶圓 W 的實際溫度的誤差原因。

【0044】 因此，根據本實施形態，作為參數取得部的光學監視器 12 於作為第一成膜處理的最初的成膜處理之前測定第一初期反射光強度，並於最初的成膜處理以後的第二成膜處理之前測定第二初期反射光強度。光學監視器 12 算出第一初期反射光強度與第二初期反射光強度之比作為晶圓 W 的初期反射光強度比，根據因透光窗 2a 的模糊而降低的初期反射光強度而求出透光窗 2a 的透過率 Tr 。然後，成膜裝置 1 使用透過率 Tr 對放射率或測定溫度進行修正。所謂初期反射光強度，為於各晶圓 W 的成膜處理中，藉由光學監視器 12 所測定的成膜處理前的晶圓 W 的反射光強度。即，晶圓 W 的初期反射光強度為將晶圓 W 於各成膜處理中搬入至腔室 2 內後，於晶圓 W 的成膜處理前經由透光窗 2a 所測定的反射光強度。

【0045】 圖 3 為表示相對於成膜處理次數的晶圓 W 的初期反射光強度比的測定值的圖。橫軸表示成膜處理次數，縱軸表示初期反射光強度比。圖 3 的資料是由如下配置而獲得：於一個成膜裝置內設置三個腔室 2，對該些腔室 2 同時進行處理。於圖 3 中，PM1 ~ PM3 表示該成膜裝置所具有的三個腔室 2。

【0046】 初期反射光強度比為於某次成膜處理（第一成膜處理）之前測定的初期反射光強度（第一初期反射光強度） $Ir1$ 、與於第一成膜處理以後的第二成膜處理之前測定的初期反射光強度（第

二初期反射光強度) I_{r2} 之比率 (I_{r2}/I_{r1})。另外，於成膜處理次數為 0 時，初期反射光強度比為第一初期反射光強度 I_{r1} 與第一初期反射光強度 I_{r1} 之比率 ($I_{r1}/I_{r1} = 1$)。

【0047】 第一初期反射光強度 I_{r1} 為於實行第一次成膜處理之前，例如經由新的（剛更換後的）透光窗 2a 測定的初期反射光強度。即，第一初期反射光強度 I_{r1} 為於更換透光窗 2a 之後，於第一次晶圓 W 的成膜處理前測定的初期反射光強度。第二初期反射光強度 I_{r2} 為於實行第二次以後的任意成膜處理之前測定的初期反射光強度。即，第二初期反射光強度 I_{r2} 為更換透光窗 2a 之後，於第二次以後的晶圓 W 的成膜處理之前測定的初期反射光強度。另外，若透光窗 2a 並無模糊，則第一初期反射光強度 I_{r1} 亦可於實行幾次成膜處理之後測定。於該情形時，第二初期反射光強度 I_{r2} 為於第一初期反射光強度 I_{r1} 以後的任意成膜處理之前測定的反射光強度。

【0048】 於成膜處理次數為 0 時，如上文所述，初期反射光強度比成為第一初期反射光強度 I_{r1} 與第一初期反射光強度 I_{r1} 之比率 ($I_{r1}/I_{r1} = 1$)。於成膜處理次數為 1 以上時，初期反射光強度比 (I_{r2}/I_{r1}) 有隨著成膜處理次數增大而降低的傾向。

【0049】 如此，透光窗 2a 的透過率 T_r 與初期反射光強度比相關，故本實施形態的放射溫度計 10 或光學監視器 12 可根據初期反射光強度比而算出透過率 T_r 。放射溫度計 10 或控制部 11 使用透過率 T_r 對放射率或測定溫度進行修正。

【0050】 以下，對透過率 Tr 的算出及放射率或測定溫度的修正更詳細地進行說明。

【0051】 （透光窗 2a 的透過率 Tr 的算出）

再次參照圖 2。於光學監視器 12 測定反射光強度時，來自光學監視器 12 的光 $L2$ 通過具有透過率 Tr 的透光窗 2a 後，被晶圓 W 反射，再次通過透光窗 2a 而回到光學監視器 12。因此，為了由光學監視器 12 測定反射光強度，光 $L2$ 於光學監視器 12 與晶圓 W 之間往返而通過透光窗 2a 兩次。此處，如上文所述，光每通過透光窗 2a 一次則成為 Tr 倍，因此與透光窗 2a 並無模糊的情形相比，由光學監視器 12 測定的光 $L2$ 的強度（反射光強度）成為 $(Tr)^2$ 倍。若因成膜裝置 1 進行成膜動作而透光窗 2a 的透過率 Tr 變得小於 1，則伴隨於此，由光學監視器 12 所測定的反射光強度亦若照射光強度不變化則降低至 $(Tr)^2$ 倍。

【0052】 此處，一般而言物質的反射率 R 及放射率 ε 具有式 1 的關係。另外，將該物質的透過率設為零（不透明）。

$$\varepsilon + R = 1 \quad (\text{式 1})$$

【0053】 成膜中的晶圓 W 的放射率 ε 可使用式 1 根據反射率 R 而求出。有時於晶圓 W 上形成薄膜時放射率 ε 大幅度地變化，但藉由利用式 1 來測定反射率 R ，可評價成膜中的放射率 ε ，故可進行成膜中的準確的溫度測定。另外，一般而言材料的反射率是作

為材料固有的值而預先決定。例如於矽的情形時，於波長為 $1\ \mu\text{m}$ 附近的光下，晶圓的垂直方向上的反射率 R 於室溫下為約 0.3 。因此，可於成長開始前使用晶圓 W 等反射率已知的材料測定反射光強度，利用所述已知的反射率校正反射光強度與反射率的關係。

【0054】 此時，成膜裝置 1 可根據晶圓 W 的初期反射光強度的測定值而求出透光窗 2a 的透過率 Tr 。例如若透光窗 2a 有模糊，則其透過率 Tr 變得小於 1，伴隨於此，由光學監視器 12 測定的初期反射光強度降低至 $(Tr)^2$ 倍。光學監視器 12 可藉由運算（初期反射光強度的降低率） $^{1/2}$ 而算出透光窗 2a 的透過率 Tr 。

【0055】 於本實施形態中，將剛更換後的新透光窗 2a 的透過率假定為 1，將第一初期反射光強度 $Ir1$ 作為分母。因此，若將於第二次成長處理之前測定的初期反射光強度設為 $Ir2$ ，則透過率 Tr 是以 $(Ir2/Ir1)^{1/2}$ 的形式算出。

【0056】 以下列舉若干此處需注意的點。首先，於求出所述透過率 Tr 時，未必一定要事先測定成為成膜處理對象的各晶圓的初期反射光強度。即，透光窗 2a 的透過率 Tr 亦可使用具有相同光學性質的材料相同且材質相同的測定用晶圓（標準樣本品圓）定期求出。然而，於頻繁使用相同種類的晶圓進行成膜的情形時，較佳為使用成為成膜處理對象的晶圓定期進行透過率的測定。其原因在於，於該情形時，無需費事更換標準樣本品圓與成膜處理對象的晶圓，不會損及生產性。

【0057】 繼而，有時即便材質相同，材料的反射率亦不同。例如，

材料的反射率一般而言依存於溫度，進而於材料為結晶質的情形時，有時依存於面方位或偏光方向等。於測定用以測定透過率的初期反射光強度時，必須預先使影響所述反射率的要素相同。

【0058】 再者，一般而言為了提高成膜的生產性，需要將成膜處理後的晶圓 W 於降溫中的早期階段自腔室 2 中取出。因此，於將新晶圓 W 搬入至腔室 2 中時，腔室 2 的內部溫度並未充分降低，新搬入至腔室 2 中的晶圓 W 的溫度經時降低。此種狀況下測定的初期反射光強度仍不穩定，於測定初期反射光強度時需細心注意。

【0059】 具體而言，用以高精度地測定初期反射光強度的方法可列舉：測定腔室 2 內的環境溫度，使測定初期反射光強度時的腔室 2 內的溫度於每次測定時相同；或使成膜處理結束起至下一次成膜之前進行的初期反射光強度測定為止的製程相同。

【0060】 圖 9 為表示所述腔室 2 的環境溫度的測定點的示例。所述腔室 2 的環境溫度可列舉：將腔室 2 或原料釋出部 4 冷卻的冷媒的出口側的溫度（T21 及 T41）。另外，所述環境溫度可列舉氣體排出部 8 中的排出氣體的溫度 T81。另外，所述環境溫度可列舉腔室 2 或氣體排出部 8 的壁面的溫度（T22 及 T82）。所述壁面的溫度為成膜裝置 1 的大氣側壁面或內壁部分。另外，所述環境溫度可列舉腔室 2 內部的下部 61 的氣體溫度。所述腔室 2 內部的下部 61 為較加熱器 7 更靠下方的旋轉部 6 的內部。腔室 2 內部的下部 61 的氣體溫度隨著遠離加熱器 7 而與晶圓 W 之差變大，故而若下部 61 中的測定點過於遠離加熱器 7，則氣體溫度與晶圓 W

的溫度的關係變得不明確。腔室 2 內部的下部 61 的氣體溫度與晶圓 W 之溫度差依存於旋轉部 6 的內部流動的氣體流量、或加熱器 7 及其周邊構造。然而，只要測定點距加熱器 7 的直線距離為大致 30 cm 以內，則腔室 2 內部的下部 61 的氣體溫度與晶圓 W 的溫度明顯相關，可較佳地用作本實施形態的腔室 2 的環境溫度。所述環境溫度可藉由熱電偶、電阻溫度計等而簡便地測定。

【0061】 關於使所述製程相同，重要的是即將新搬入晶圓 W 之前的成膜處理每次以相同條件結束。所述製膜處理的結束時刻的條件的內容可列舉：晶圓 W 的溫度、環境氣體的種類、流量、壓力、晶圓 W 的轉速、對加熱器 7 施加的電力等。於該些條件相同的情形時，可列舉：進而使晶圓 W 的搬出、搬入的時間經過相同，且使新搬入的晶圓 W 的搬入時刻起至測定初期反射光強度為止的時間相同。於成膜處理的結束時刻的條件與通常不同的情形時，有時無法準確地測定隨後新搬入的晶圓 W 的初期反射光強度。於該情形時，亦可於與通常不同的結束條件的成膜處理結束後，另以製膜處理的結束條件與通常相同的試運轉（dummy run）進行處理，然後搬入新的晶圓 W，測定初期反射光強度。

【0062】 進而，用以測定初期反射光強度的光源必須長期穩定。若於進行所述光源的初期反射光強度測定的波長區域內照射光強度不穩定，則無法準確求出反射光強度，從而無法準確求出透光窗 2a 的窗構件的透過率。因此，所述光源必須將發光強度反饋至光源的驅動電路而實現長期間穩定的發光強度等。或者，亦可將

發光強度輸出至光學監視器 12，修正反射光強度。另外，於將發光二極體等半導體發光元件用於光源的情形時，亦可藉由利用可供給穩定的驅動電流的驅動電源來驅動發光元件而獲得穩定的發光強度。再者，於以恆定電流驅動發光元件的情形時，亦應留意以下方面：發光元件自身的溫度穩定，及開始驅動發光元件後設置充分的發光強度的穩定時間等。

【0063】 另外，光學監視器 12 所測定的反射光的波長與放射溫度計 10 所測定的熱輻射光強度的波長較佳為儘可能接近。其原因在於：有時透光窗 2a 上產生的模糊視波長而顯示出不同的透過率。藉由使光學監視器 12 所測定的光的波長與放射溫度計 10 所測定的熱輻射光的波長接近，可消除此種問題。

【0064】 （晶圓 W 的測定溫度的修正）

另一方面，若將自溫度為 T （K）、放射率為 ϵ 的物質所放射的波長 λ （ μm ）的熱輻射光的強度設為 L ，則熱輻射光強度 L 是由式 2 所示的普朗克公式（Planck formula）表示。

$$L = \frac{2c_1}{\lambda^5} \frac{\epsilon}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1}$$

（式2）

【0065】 另外， c_1 、 c_2 為常數。常數 c_2 為約 $14388 \text{ K}\cdot\mu\text{m}$ 。

【0066】 作為一例，成膜時的晶圓 W 的溫度 T 為約 1000°C ～約

1500℃，熱輻射光的測定波長 λ 例如為 1 μm 。於該情形時，分母的第一項充分大於 1，故亦可忽視式 2 的右邊分母的第二項的「－1」。即，放射溫度計 10 亦可使用式 3 而求出晶圓 W 的溫度 T。放射溫度計 10 可使用放射率 ϵ 、熱輻射光強度（觀測值）L、波長 λ 的值，由式 3 而計算晶圓 W 的溫度 T。

$$L = \frac{2c_1}{\lambda^5} \frac{\epsilon}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right)}$$

（式3）

【0067】 此處，於透光窗 2a 並無模糊，透光窗 2a 的透過率 Tr 為 1 的情形時，藉由放射溫度計 10 所算出的溫度 T 成為基本準確的晶圓 W 的溫度。另一方面，於透光窗 2a 有模糊，透過率 Tr 小於 1 的情形時，熱輻射光強度 L 降低，故藉由放射溫度計 10 所算出的溫度 T 低於實際的晶圓溫度，成為含有誤差的溫度（以下為表觀溫度）。

【0068】 若將實際的晶圓 W 的溫度（以下為實際溫度）設為 Ta，則為了根據熱輻射強度的測定值 L 算出實際溫度 Ta，需要對預先設定的放射率 ϵ 進行修正而設定為修正放射率 ϵ_c 。即，藉由使用熱輻射強度的測定值 L 及修正放射率 ϵ_c 可算出實際溫度 Ta。因此，有根據透光窗 2a 的透過率 Tr 求出修正放射率 ϵ_c ，並使用修正放射率 ϵ_c 算出實際溫度 Ta 的方法（方法 1）。另外，有根據透

過率 Tr 直接算出實際溫度 Ta 的方法（方法 2）。

【0069】 於方法 1 中，利用 ϵ_c/ϵ 等於透光窗 2a 的透過率 Tr 。放射溫度計 10 將式 3 的 ϵ 修正為 ϵ_c （即， $\epsilon \times Tr$ ），並將 $\epsilon \times Tr$ 代入至式 3 的 ϵ 。藉此算出的溫度 T 成為實際溫度 Ta 。因此，得出式 4。

$$L = \frac{2c_1}{\lambda^5} \frac{\epsilon_c}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot Ta}\right)}$$

（式4）

【0070】 放射溫度計 10 於對放射率 ϵ 進行修正之後，使用熱輻射強度的測定值 L 運算式 4。藉此，放射溫度計 10 可獲得晶圓 W 的實際溫度 Ta 。即，方法 1 中，放射溫度計 10 只要將放射率 ϵ 修正為修正放射率 ϵ_c ，並如通常般根據熱輻射強度的測定值 L 求出晶圓 W 的溫度即可。藉此，放射溫度計 10 可獲得晶圓 W 的實際溫度 Ta 。於該情形時，放射溫度計 10 輸出晶圓 W 的實際溫度 Ta 作為測定溫度，故控制部 11 只要根據來自放射溫度計 10 的測定溫度而控制加熱器 7 即可。

【0071】 方法 2 中，利用將修正放射率 ϵ_c 及實際溫度 Ta 代入至式 3 中所得的熱輻射強度 L 等於將原本的放射率 ϵ 及表觀溫度 T 代入至式 3 中所得的熱輻射強度 L 。即，利用式 5 成立。

$$\frac{2c_1}{\lambda^5} \frac{\epsilon}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right)} = \frac{2c_1}{\lambda^5} \frac{\epsilon_c}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T_a}\right)}$$

(式5)

【0072】 若對式 5 求解，則成為式 6。

$$\frac{1}{T_a} = \frac{1}{T} + \frac{\lambda}{c_2} \log\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon}\right)$$

(式6)

【0073】 另外， ϵ_c/ϵ 等於透光窗 2a 的透過率 Tr，故式 6 是如式 7 般表示。

$$\frac{1}{T_a} = \frac{1}{T} + \frac{\lambda}{c_2} \log(Tr)$$

(式7)

【0074】 放射溫度計 10 可使用式 7，根據透光窗 2a 的透過率 Tr 及經由透光窗 2a 所得的熱輻射強度的測定值 L 而計算實際溫度 Ta。於該情形時，放射溫度計 10 亦可運算式 7 並輸出晶圓 W 的實際溫度 Ta。然而，亦可由放射溫度計 10 輸出晶圓 W 的表觀溫度 T，且由控制部 11 運算式 7 而算出晶圓 W 的實際溫度 Ta。

【0075】 成膜裝置 1 無論使用方法 1 及方法 2 的哪一個，均可根

據準確的晶圓 W 的溫度而控制加熱器 7。

【0076】 例如於透光窗 2a 的透過率 T_r 為 95%，熱輻射光的波長 λ 為 $0.95\ \mu\text{m}$ ，表觀溫度 T 為 1273 K (1000°C) 的情形時，晶圓 W 的實際溫度 T_a 成為 1278 K (1005°C)。產生此種表觀溫度 T 與實際溫度 T_a 的誤差的原因在於：因透光窗 2a 的透過率 T_r 降低，而將晶圓 W 的溫度判斷為較既定溫度 (1000°C) 低 5°C。

【0077】 若於放射溫度計 10 輸出表觀溫度 T ，且控制部 11 使用表觀溫度 T 控制加熱器 7 的情形時，控制部 11 相對於設定溫度 1000°C 而以使晶圓 W 的溫度成為 1005°C 的方式控制加熱器 7。

【0078】 相對於此，根據本實施形態，放射溫度計 10 輸出使用修正放射率 ϵ_c 所算出的實際溫度 T_a 、或藉由透過率 T_r 進行了修正的實際溫度 T_a 。藉此，控制部 11 可使用實際溫度 T_a 控制加熱器 7。因此，控制部 11 例如可相對於設定溫度 1000°C 而以使晶圓 W 的溫度成為 1000°C 的方式控制加熱器 7。亦可取而代之而由控制部 11 算出藉由透過率 T_r 進行了修正的實際溫度 T_a ，並使用該實際溫度 T_a 控制加熱器 7。如此，即便透光窗 2a 的透過率 T_r 降低，本實施形態的成膜裝置 1 亦可準確地控制晶圓 W 的溫度。結果，可延長透光窗 2a 的更換等維護的週期，從而可提高生產性。

【0079】 繼而，對本實施形態的成膜裝置 1 的動作進行說明。

【0080】 圖 4 為表示本實施形態的成膜裝置 1 的動作的一例的流程圖。首先，光學監視器 12 於作為第一成膜處理的最初的成膜處理之前，測定第一初期反射光強度 I_{r1} (S10)。最初的成膜處理例

如為更換透光窗 2a 之後的第一次晶圓 W 的成膜處理。光學監視器 12 將所測定的第一初期反射光強度 I_{r1} 輸出至放射溫度計 10。放射溫度計 10 將第一初期反射光強度 I_{r1} 儲存於內部記憶體（未圖示）中。於最初的成膜處理中，透光窗 2a 並無模糊，透光窗 2a 的透過率 Tr 為 1（ $I_{r1}/I_{r1} = 1$ ）。因此，放射溫度計 10 實質上不對放射率 ε 及表觀溫度 T 進行修正而將其輸出。此時，控制部 11 根據來自放射溫度計 10 的測定溫度而控制加熱器 7。

【0081】 最初的成膜處理結束後，成膜裝置 1 搬出成膜處理後的晶圓 W，並搬入隨後要實行成膜處理的第二次的晶圓 W（S20）。光學監視器 12 於第二次成膜處理之前，測定第二初期反射光強度 I_{r2} （S30）。光學監視器 12 將於第二次成膜處理之前測定的第二初期反射光強度 I_{r2} 輸出至放射溫度計 10。放射溫度計 10 將第二初期反射光強度 I_{r2} 儲存於內部記憶體中。

【0082】 進而，於成膜處理之前，放射溫度計 10 運算第二初期反射光強度 I_{r2} 相對於第一初期反射光強度 I_{r1} 之比（初期反射光強度比 = I_{r2}/I_{r1} ）（S40）。

【0083】 繼而，如上文所述，放射溫度計 10 根據初期反射光強度比運算透光窗 2a 的透過率 Tr ，將晶圓 W 的放射率 ε 乘以透過率 Tr ，藉此對晶圓 W 的放射率 ε 進行修正（S50）。例如，透過率 Tr 為初期反射光強度比的平方根（ I_{r2}/I_{r1} ）^{1/2}。藉此，放射溫度計 10 可使用方法 1 運算修正放射率 ε_c （ $\varepsilon_c = \varepsilon \times Tr$ ），算出晶圓 W 的實際溫度 T_a 。

【0084】 或者，控制部 11 可使用方法 2 根據透過率 Tr 算出晶圓 W 的實際溫度 Ta 。

【0085】 於使用方法 2 的情形時，光學監視器 12 亦可將第一初期反射光強度 $Ir1$ 及第二初期反射光強度 $Ir2$ 輸出至控制部 11。於該情形時，控制部 11 將第一初期反射光強度 $Ir1$ 及第二初期反射光強度 $Ir2$ 儲存於內部記憶體（未圖示）中，運算初期反射光強度比（ $S40$ ）。控制部 11 根據初期反射光強度比運算透過率 Tr ，並使用透過率 Tr 將藉由放射溫度計 10 所測定的測定溫度（表觀溫度）修正為實際溫度 Ta （ $S50$ ）。控制部 11 根據經修正的實際溫度 Ta 而控制加熱器 7。

【0086】 關於第三次以後的成膜處理，亦與第二次成膜處理同樣地實行。將於第三次以後的成膜處理之前測定的初期反射光強度亦方便地稱為第二初期反射光強度 $Ir2$ 。即，於各成膜處理結束後，成膜裝置 1 搬出成膜處理後的晶圓 W ，並搬入隨後要實行成膜處理的晶圓 W （ $S20$ ）。光學監視器 12 於各成膜處理之前，測定第二初期反射光強度 $Ir2$ （ $S30$ ）。光學監視器 12 將於各成膜處理之前測定的第二初期反射光強度 $Ir2$ 輸出至放射溫度計 10。放射溫度計 10 將第三次以後的成膜處理前的第二初期反射光強度 $Ir2$ 亦儲存於內部記憶體中。

【0087】 繼而，於各成膜處理之前，放射溫度計 10 運算第二初期反射光強度 $Ir2$ 相對於第一初期反射光強度 $Ir1$ 之比（初期反射光強度比 = $Ir2/Ir1$ ）（ $S40$ ）。

【0088】 然後，放射溫度計 10 根據初期反射光強度比運算透光窗 2a 的透過率 Tr ，將晶圓 W 的放射率 ϵ 乘以透過率 Tr ，藉此對晶圓 W 的放射率 ϵ 進行修正（S50）。藉此，放射溫度計 10 使用方法 1 運算修正放射率 ϵ_c （ $\epsilon_c = \epsilon \times Tr$ ），並算出晶圓 W 的實際溫度 T_a 。或者，放射溫度計 10 使用方法 2 根據透過率 Tr 算出晶圓 W 的實際溫度 T_a （S50）。控制部 11 根據所算出的實際溫度 T_a 而控制加熱器 7。

【0089】 控制部 11 亦可根據初期反射光強度比而警告用戶透光窗 2a 的模糊存在問題。例如，控制部 11 判斷初期反射光強度比是否成為既定值以下（S60）。於成膜次數少，初期反射光強度比大於既定值的情形時（S60 的否（NO）），成膜裝置 1 於成膜結束後再次進行 S20～S50 的步驟。另一方面，於初期反射光強度比成為既定值以下的情形時（S60 的是（YES）），成膜裝置 1 於成膜結束後，通知用戶透光窗 2a 的模糊存在問題（S70）。關於向用戶的通知，可向未圖示的監視器輸出，或亦可由未圖示的揚聲器鳴響警報音。

【0090】 如此，本實施形態的成膜裝置 1 測定晶圓 W 的初期反射光強度，並運算初期反射光強度比，藉此進行放射率的修正或測定溫度的修正。藉此，即便於透光窗 2a 產生了模糊的情形時，成膜裝置 1 亦可測定晶圓 W 的準確溫度。

【0091】 圖 5 為表示由 X 射線搖擺曲線法所得的 AlN 的(102)面的折射強度波峰的半高寬的測定值的圖。圖 5 所示的資料為關於

以下樣本的測定資料，該樣本於以圖 3 中亦使用的運轉數（處理次數）表示而相當於第 82 次運轉的運轉中進行了成膜。橫軸表示距晶圓 W 的中心的距離，縱軸表示半高寬。搖擺曲線法中的折射波峰的半高寬可用於評價結晶性。例如，晶格的應變或結晶缺陷存在得越多而結晶性越差，半高寬越變廣。

【0092】 圖 5 表示於腔室 PM1 中結晶性自晶圓 W 的中心部向外周部劣化。其原因如下。因透光窗 2a 的模糊而熱輻射強度的測定值 L 降低，放射溫度計 10 輸出較晶圓 W 的實際溫度 Ta 低的表觀溫度 T。由此，控制部 11 將處理溫度控制得較所需溫度高。結果，形成於晶圓 W 上的薄膜的結晶性劣化。於腔室 PM1 中，因於晶圓 W 的外周部將處理溫度控制得高，故其結晶性劣化。

【0093】 相對於此，本實施形態的成膜裝置 1 高精度地測定晶圓 W 的實際溫度 Ta，並根據該測定溫度控制晶圓 W 的處理溫度。藉此，成膜裝置 1 可抑制由溫度所致的結晶性的劣化，形成優質的薄膜。

【0094】 如以上般，即便於透光窗 2a 產生了模糊的情形時，本實施形態的成膜裝置 1 亦可根據晶圓 W 的初期反射光強度算出透光窗 2a 的透過率 Tr，對放射率 ϵ 或測定溫度 T 進行修正。藉此，成膜裝置 1 可形成所需膜厚或膜質的膜，可減少維護透光窗 2a 的頻率，提高成膜步驟的產率及半導體裝置的生產性。

【0095】 再者，每次更換透光窗 2 時測定透光窗 2a 的第一初期反射光強度的原因在於排除窗構件的個體差的影響。透光窗 2a 所

用的窗構件雖為經高精度地加工的光學零件，但由於加工尺寸、表面精飾、安裝作業等的誤差，而於更換窗構件時因更換窗構件而難以獲得不產生溫度測定誤差的程度的光透過率的再現性。另一方面，窗構件的安裝後不會產生所述列舉的誤差，故藉由以更換窗構件之後立即測定的第一初期反射光強度為基準來評價初期反射光強度，可準確地評價由透光窗 2a 的模糊所致的影響。若可獲得可忽視所述誤差的窗構件及安裝的再現性，則無需於更換透光窗 2a 後立即測定第一初期反射光強度。

【0096】再者，有時因於光學構件的表面極稀少地產生堆積物而導致光學構件的光透過率增大。其原因在於：光學構件的表面的反射率因堆積物的影響而降低。於此種情形時雖然 $Tr > 1$ ，但可完全同樣地進行至此為止所描述的溫度修正。

【0097】再者，式 2 中並未考慮到放射率 ε 變化。物質的放射率視溫度而變化。或者，於物質表面形成有不同物質的薄膜的情形時的放射率視所述成膜的薄膜的光學干涉效果而變化。即便於該情形時，式 1 的反射率與放射率的關係亦成立。因此，可測定晶圓 W 的反射率，於存在任意的溫度或由成膜所致的光學干涉效果的情形時亦測定晶圓 W 的放射率。藉由將如此般測定的放射率用於式 2，即便於溫度變化的情形、或於晶圓 W 的表面形成有薄膜的情形時，亦可準確地評價溫度。如此般藉由一面測定反射率一面進行溫度變化或成膜處理而對放射率變化進行修正的方法是作為放射率修正測溫（Emissivity Correcting Pyrometry，ECP）而已

知。藉由將 ECP 與本實施形態的測定初期反射光強度的方法組合，可較將放射率視為不變化而計算薄膜成膜中的溫度的情況更準確地進行評價。

【0098】 另外，對於不對測定對象的反射率進行測定的通常的放射溫度計而言，有時可藉由調整放射溫度計的光學特性而減小因於晶圓 W 上形成薄膜所致的干涉效果。關於所述調整方法，具體而言對放射溫度計所測定的熱輻射光的測定波長範圍進行調整。較佳為將所述測定波長範圍相對於波長範圍的中心值而設為 5% 以上。例如，於放射溫度計的熱輻射光的測定波長的中心為 1 μm 的情形時，將測定波長範圍設為 975 nm 以上、1025 nm 以下的範圍。進而佳的測定波長範圍為波長範圍的中心波長的 10% 以上，最佳為 20% 以上。藉由如此般設定測定波長範圍，於形成膜厚為測定波長的中心值程度以上的薄膜的情形時，可有效率地減小干涉效果，通常的放射溫度計亦可進行精度良好的溫度測定。

【0099】（第二實施形態）

第一實施形態的成膜裝置 1 測定晶圓 W 的初期反射光強度，對放射率或測定溫度進行修正。相對於此，第二實施形態的成膜裝置 1 測定形成於晶圓 W 上的膜的成長速度作為參數，對測定溫度進行修正。所謂成長速度，是將所形成的膜的厚度除以薄膜的形成時間所得，是以奈米/分、微米/小時等將厚度除以時間的單位表示。成長速度與晶圓 W 的溫度或成膜溫度相關。所謂成膜溫度，為晶圓 W 的溫度。該相關亦因成膜溫度影響薄膜形成機制而產

生。受成膜溫度影響的薄膜形成機制的具體基本過程例如可列舉：原料於氣相中的熱分解、吸附於晶圓的原料的熱脫離。

【0100】 於 MOCVD 等使用熱分解性原料的薄膜形成中，於成膜溫度為低溫的情形時，不發生原料的分解，薄膜不成長。若成膜溫度達到某程度以上，則原料發生分解，成膜速度亦隨著溫度上升而增加。若成膜溫度進一步變高，則原料於氣相中的熱分解變明顯，原料無法到達晶圓。於該情形時，成膜速度隨著成膜溫度上升而降低。另外，若成膜溫度高，則供形成薄膜的表面上吸附的原料再次向氣相中脫離，實質上的成長速度降低。為了獲得膜質良好的薄膜，一般而言提高成膜溫度。於此種溫度區域中，通常若成膜溫度變高則成膜速度降低。成膜裝置 1 藉由使用此種成膜溫度與成長速度之間的相關，而測定成長速度，從而測定晶圓 W 的準確溫度。

【0101】 成膜裝置 1 使用藉由光學監視器 12 所測定的反射光強度而測定成長速度。第二實施形態的成膜裝置 1 的構成與第一實施形態的成膜裝置 1 的構成相同，故省略其詳細說明。

【0102】 成長速度可藉由監視光的反射率的經時變化而當場檢測。於該方法中，經由設於成膜裝置的壁面上的光學窗對基板照射光，於成膜製程中測量某特定波長的光的反射率。於基板的表面為鏡面狀的情形時，對於照射至形成於基板上的薄膜的光而言，由於薄膜表面的反射光、與基板和薄膜的界面上的反射光的干涉效果，所觀測到的反射率相對於薄膜的膜厚而週期性地變

化。即，反射率成為薄膜的膜厚的週期函數。因此，可根據相對於薄膜的膜厚的反射率變化週期、反射率的最小值、最大值等值而計算所形成的薄膜的光學常數或膜厚，另外可根據薄膜的成膜時間而計算成長速度。

【0103】 圖 6 為表示 AlN 及 AlGa_N 的成膜中的反射率的時間變化的測定值的圖。縱軸表示反射率，橫軸表示時間。另外，G0401 及 G0446 表示成膜處理的處理編號。例如，成膜裝置 1 實行處理 G0401，然後重複 44 次成膜處理，繼而實行處理 G0446。另外，第二實施形態的成膜裝置 1 可用於晶圓 W 上的各種膜的成膜，以下例如對在矽晶圓 W 上將 AlN、Ga_N、AlGa_N 或 InGa_N 成膜的情形進行說明。

【0104】 此處，若參照圖 6，則處理 G0446 中的晶圓 W 的反射率的時間變化的週期較處理 G0401 中的晶圓 W 的反射率的時間變化的週期長。如上文所述，反射率成為薄膜的膜厚的週期函數，故週期變長表示薄膜的成長速度降低。例如，處理 G0401、處理 G0446 中的反射率於薄膜 AlN-1 及薄膜 AlN-2 的成膜中以基本相同的週期變化。即，於處理 G0401、處理 G0446 中，薄膜 AlN-1 及薄膜 AlN-2 以基本相同的速度成長。然而，於薄膜 AlGa_N-1 及薄膜 AlGa_N-2 的成膜中，處理 G0446 的反射率較處理 G0401 的反射率延遲而變化。即，於薄膜 AlGa_N-1 及薄膜 AlGa_N-2 的成膜中，處理 G0446 的成長速度與處理 G0401 的成長速度相比降低。如此，表示處理 G0446 的成長速度較處理 G0401 的成長速度慢，處理

G0446 的成膜溫度較處理 G0401 的成膜溫度高。

【0105】 光學監視器 12 將該反射率的時間變化輸出至控制部 11。控制部 11 使用反射率的時間變化而測定成長速度。

【0106】 以下，對根據反射率的膜厚依存性來計算所形成的膜的光學常數及成長速度的方法進行說明。

【0107】 於光相對於基板而垂直入射的情形時，若將空氣（折射率＝1）與形成於基板上的薄膜（折射率＝ n 、吸收係數＝0）表面的電場反射率設為 r_0 ，則 r_0 是由以下的式 8 表示。再者，於以下的本實施形態中，亦可將「空氣」改稱為「真空」、「氣體」。

$$r_0 = (1 - n) / (1 + n) \quad (\text{式 } 8)$$

【0108】 於式 8 中薄膜吸收光的情形時，只要將折射率 n 替換為複數折射率＝ $n + ik$ （ k 為吸收係數）即可。再者，式 8 中， i 為虛數單位（以下相同）。

【0109】 若使用基板的吸收係數 k_s 及基板的折射率 n_s ，則薄膜與基板的界面上的反射率 r_1 是由以下的式 9 表示。

$$r_1 = (n - ik_s - n_s) / (n + ik_s + n_s) \quad (\text{式 } 9)$$

【0110】 實際來自薄膜的反射光是將以下的光相加所得：空氣與薄膜的界面上的反射光；以及透過空氣與薄膜的界面後，於薄膜

的基板側界面與空氣側界面之間往返 p 次(p 為 1 以上的整數)後，透過薄膜與空氣的界面而回到空氣側的所有光。另外，光通過薄膜內部時相位變化，故若亦考慮該相位變化，則反射光的電場 E_r 是由以下的式 10 表示。

$$\begin{aligned} E_r &= E_0 r_0 + E_0 (1 - r_0^2) r_1 \cdot \exp(i2\varphi) \{ 1 - r_1 r_0 \cdot \exp(i2\varphi) + (-r_1 r_0) \\ &\quad 2 \exp(i4\varphi) + \cdots \} \\ &= E_0 r_0 + E_0 (1 - r_0^2) r_1 \cdot \exp(i2\varphi) / \{ 1 + r_1 r_0 \cdot \exp(i2\varphi) \} \\ &= E_0 \{ r_0 + r_1 \cdot \exp(i2\varphi) \} / \{ 1 + r_1 r_0 \cdot \exp(i2\varphi) \} \quad (\text{式 10}) \end{aligned}$$

【0111】 式 10 中的 E_0 為照射於薄膜的光的電場。因此，薄膜的電場反射率 r 是由以下的式 11 表示。

$$\begin{aligned} r = E_r / E_0 &= \{ r_0 + r_1 \cdot \exp(i2\varphi) \} / \{ 1 + r_1 r_0 \cdot \exp(i2\varphi) \} \\ &\quad (\text{式 11}) \end{aligned}$$

【0112】 此處，若使用薄膜的折射率 n 、薄膜的膜厚 d 、光的波長 λ ，則光於薄膜的內部往返一次時產生的相位差(以下稱為相位) φ 是由以下的式 12 表示。

$$\varphi = 2\pi n d / \lambda \quad (\text{式 12})$$

【0113】 如式 12 所示，相位 φ 與膜厚 d 成比例，隨著膜厚 d 增大而線性增加。所觀測到的光的反射率（能量反射率）與電場反射率的振幅的平方成比例。即，電場反射率及能量反射率成為膜厚的週期函數。反之，若假定為薄膜的膜厚與成長時間成比例，則可根據反射率的時間變化藉由式 8 及式 9 而求出式 11 中所用的 n 、 n_s 、 k_s 、成長速度（ d /小時）。

【0114】 藉由使用此種方法，控制部 11 可根據反射率的時間變化而測定成長速度。

【0115】 另外，控制部 11 亦可代替所述成長速度的運算方法，而使用反射率的時間變化中自某個波峰起至下一波峰為止的一波長的時間來測定成長速度。於該情形時，雖然成長速度的精度與所述方法相比降低，但控制部 11 可更簡易地測定成長速度。

【0116】 圖 7 為表示相對於成膜處理次數的 GaN 的成長速度比的測定值的圖。橫軸表示成膜處理次數（處理編號），縱軸表示成長速度比。

【0117】 成長速度比為於某次成膜處理（第一成膜處理）中經由新的（剛更換後的）透光窗 2a 所測定的第一成長速度 $Gr1$ 、與於第一成膜處理以後的第二成膜處理中經由透光窗 2a 所測定的第二成長速度 $Gr2$ 之比率（ $Gr2/Gr1$ ）。另外，於最初的成膜處理時，成長速度比成為第一成長速度 $Gr1$ 與第一成長速度 $Gr1$ 之比率（ $Gr1/Gr1 = 1$ ）。於圖 7 所示的示例中，處理 G0401 成為最初的成膜處理，將此時的成長速度比設為 1。

【0118】 第一成長速度 $Gr1$ 為於實行第一次成膜處理時所測定的成長速度。即，第一成長速度 $Gr1$ 為使用實行第一次晶圓 W 的成膜處理時所測定的反射光強度而算出的成長速度。第二成長速度 $Gr2$ 為使用實行第二次以後的任意成膜處理時所測定的反射光強度而算出的成長速度。即，第二成長速度 $Gr2$ 為於實行第二次以後的晶圓 W 的成膜處理時所測定的成長速度。另外，若透光窗 $2a$ 並無模糊，則第一成長速度 $Gr1$ 亦可於實行幾次成膜處理後的成膜處理中測定。於該情形時，第二成長速度 $Gr2$ 是於實行第一成長速度 $Gr1$ 以後的任意成膜處理時測定。另外，第一成長速度 $Gr1$ 及第二成長速度 $Gr2$ 可對薄膜 $AlN-1$ 、薄膜 $AlN-2$ 、薄膜 $AlGaN-1$ 、薄膜 $AlGaN-2$ 全部分別測定，或亦可僅對該些薄膜中的任一者測定。其中，比較成長速度比的薄膜較佳為相同。

【0119】 於最初的成膜處理 $G0401$ 時，成長速度比表示第一成長速度 $Gr1$ 與第一成長速度 $Gr1$ 之比率（ $Gr1/Gr1 = 1$ ）。於成膜處理次數為一次以上時，成長速度比（ $Gr2/Gr1$ ）有隨著成膜處理次數增大而降低的傾向。例如於處理 $G0446$ 中，成長速度比（ $Gr2/Gr1$ ）成為 0.99 以下。其原因在於，於處理 $G0446$ 中透光窗 $2a$ 產生模糊，由此 GaN 的成膜溫度上升。控制部 11 使用該成長速度比而對成膜溫度進行修正。

【0120】 例如，如圖 7 所示， $G0446$ 的成長速度比為自 $G0401$ 降低約 1% 而成的約 99% （約 0.99 ）。於本實施形態的示例中，據經驗得知，於在表觀溫度為 $1000^{\circ}C$ 下成長速度比降低 1% 的情形時，

實際溫度為 $1002^{\circ}\text{C} \sim 1003^{\circ}\text{C}$ 左右。實際上，成長速度的溫度依存性依存於成膜條件、成膜裝置等，故必須切合實際的成膜而預先取得成膜速度的溫度依存性的資料。控制部 11 儲存此種成長速度及成膜溫度的經驗性相關作為關係式。因此，控制部 11 根據成長速度比的降低而算出溫度誤差，並使用該溫度誤差將由放射溫度計 10 所得的測定溫度（表觀溫度 T ）修正為準確的成膜溫度（實際溫度 T_a ）。藉此，控制部 11 可使用準確的實際溫度 T_a 而控制加熱器 7。

【0121】 繼而，對第二實施形態的成膜裝置 1 的動作進行說明。

【0122】 圖 8 為表示第二實施形態的成膜裝置 1 的動作的流程圖。首先，光學監視器 12 於作為第一成膜處理的最初的成膜處理時，測定反射率的時間變化。最初的成膜處理例如為更換透光窗 2a 後的第一次晶圓 W 的成膜處理。光學監視器 12 將所測定的反射率的時間變化輸出至控制部 11。控制部 11 算出最初的成膜處理的第一成長速度 $Gr1$ ($S11$)。控制部 11 將第一成長速度 $Gr1$ 儲存於內部記憶體（未圖示）中。於最初的成膜處理中，透光窗 2a 並無模糊，透光窗 2a 的透過率 Tr 為 1。因此，控制部 11 實質上不對來自放射溫度計 10 的表觀溫度 T 進行修正而將其輸出。

【0123】 最初的成膜處理結束後，成膜裝置 1 將成膜處理後的晶圓 W 搬出，並搬入隨後要實行成膜處理的第二次的晶圓 W ($S21$)。繼而，光學監視器 12 測定第二次成膜處理中的薄膜的反射率的時間變化。控制部 11 對第二次成膜處理測定第二成長速度 $Gr2$

(S31)。繼而，控制部 11 運算成長速度比 (Gr2/Gr1) (S41)。進而，控制部 11 根據成長速度比運算成膜溫度的誤差，藉此將來自放射溫度計 10 的表觀溫度 T 修正為實際溫度 T_a (S51)。控制部 11 根據經修正的實際溫度 T_a 而控制加熱器 7。

【0124】 關於第三次以後的成膜處理，亦與第二次成膜處理同樣地實行。將於第三次以後的成膜處理時測定的成長速度亦方便地稱為第二成長速度 Gr2 。即，於各成膜處理結束後，成膜裝置 1 將成膜處理後的晶圓 W 搬出，並搬入隨後要實行成膜處理的晶圓 W (S21)。光學監視器 12 於各成膜處理中測定第二成長速度 Gr2 (S31)。光學監視器 12 將於各成膜處理中測定的第二成長速度 Gr2 輸出至控制部 11。控制部 11 將第三次以後的成膜處理中的第二成長速度 Gr2 亦儲存於內部記憶體中。繼而，放射溫度計 10 運算第二成長速度 Gr2 相對於第一成長速度 Gr1 之比（成長速度比 $= \text{Gr2/Gr1}$ ）(S41)。進而，控制部 11 根據成長速度比運算成膜溫度的誤差，藉此將來自放射溫度計 10 的表觀溫度 T 修正為實際溫度 T_a (S51)。控制部 11 根據經修正的實際溫度 T_a 而控制加熱器 7。

【0125】 控制部 11 亦可根據成長速度比而警告用戶透光窗 2a 的模糊存在問題。例如，控制部 11 判斷成長速度比是否成為既定值以下 (S61)。於成膜次數少，成長速度比大於既定值的情形時 (S61 的否 (NO))，成膜裝置 1 於成膜結束後再次進行 S21~S51 的步驟。另一方面，於成長速度比成為既定值以下的情形時 (S61 的是

(YES))，成膜裝置 1 於成膜結束後通知用戶透光窗 2a 的模糊存在問題 (S71)。關於對用戶的通知，可向未圖示的監視器輸出，或由未圖示的揚聲器鳴響警報音。

【0126】 如此，第二實施形態的成膜裝置 1 測定薄膜的成長速度，運算成長速度比，藉此對來自放射溫度計 10 的測定溫度進行修正。藉此，第二實施形態的成膜裝置 1 可獲得與第一實施形態的成膜裝置 1 相同的效果。

【0127】 再者，於本實施形態中，示出包括於更換透過窗後測定第一成長速度的步驟 S11 的示例，但於在此之前測定了標準成長速度的情形時，有時亦可省略該步驟 S11。其原因在於：於溫度對薄膜折射率的影響不大的情形時，透光窗的模糊不會對成長速度的精度造成大的影響。具體而言，成膜溫度對成膜材料的折射率的影響不大的條件為以下情形：單一元素，或化學計量比不大幅依存於成長速度，且雜質濃度等影響折射率的性質不大幅依存於溫度。具體可列舉：利用矽或鍺等單一元素系材料、或者氮化鎵 (GaN) 或氮化鋁 (AlN) 等二元素系材料，於充分高溫下成膜的情形等。

【0128】 另外，與第一實施形態同樣地，可藉由 ECP 或同樣的放射溫度計的光學特性的調整，而於溫度測定時減小由形成薄膜所致的干涉效果。

【0129】 (第三實施形態)

第二實施形態的成膜裝置 1 於晶圓 W 上的成膜中對薄膜的結

晶的成長速度進行測定，修正測定溫度。相對於此，第三實施形態的成膜裝置 1 於晶圓 W 上的成膜中測定薄膜的折射率作為參數，修正測定溫度。薄膜的折射率與晶圓 W 的溫度或成膜溫度相關。

【0130】 例如，對於 InGaN 或 AlGaIn 般的混晶化合物而言，混晶的組成比視成膜溫度而變化，折射率與此相應地變化。

【0131】 成膜裝置 1 使用藉由光學監視器 12 所測定的反射光強度而測定薄膜的折射率。第三實施形態的成膜裝置 1 的構成與第一實施形態的成膜裝置 1 的構成相同，故省略其詳細說明。

【0132】 薄膜的折射率只要使用第二實施形態中算出的折射率 n 即可。與成膜速度同樣地，薄膜的折射率 n 與成膜溫度具有相關關係，以經驗關係式的形式表示。控制部 11 儲存此種折射率 n 與成膜溫度的關係式。控制部 11 求出折射率比代替第二實施形態的成長速度比，根據折射率比的變化算出溫度誤差。控制部 11 使用該溫度誤差，將由放射溫度計 10 所得的測定溫度（表觀溫度 T ）修正為準確的成膜溫度（實際溫度 T_a ）。藉此，控制部 11 可使用準確的實際溫度 T_a 而控制加熱器 7。

【0133】 另外，與第一實施形態同樣地，可藉由 ECP 或同樣的放射溫度計的光學特性的調整，而於溫度測定時減小由形成薄膜所致的干涉效果。

【0134】 第一實施形態～第三實施形態亦可任意組合。於該情形時，用於控制加熱器 7 的經修正的測定溫度可優先使用第一實施

形態～第三實施形態中所得的測定溫度的任一者，或亦可使用平均值。

【0135】 第一實施形態～第三實施形態中，以圖 1 所示般的對一片晶圓 W 進行處理的成長裝置為例進行了說明，但本發明不限於此，亦可應用於一次對多片晶圓 W 進行處理的裝置。

【0136】 本實施形態中，對將每次成長時測定的與溫度相關的各參數直接用於各成長的溫度控制的方法進行了說明，但對於所述與溫度相關的參數而言，亦可對在若干次不同成長中測定的參數實施統計處理並加以利用。即，所述與溫度相關的參數存在測定誤差，於若將各成長中測定的與溫度相關的參數直接用於溫度控制則溫度控制反而不穩定的情形時，例如可取某次成長以前的幾次運轉的所述參數的平均值等，抑制每次運轉的誤差的影響。或者，亦可對與溫度相關的參數設置某個標準值，於與溫度相關的參數的值超過該標準值的情形時，將該參數反映給溫度控制。例如，可於隨著反覆成長而透光窗 2a 緩慢地模糊的情形時，於根據與溫度相關的參數所算出的溫度誤差小於所設定的標準值的情形時不將該參數反映給溫度控制，且於所述溫度誤差成為所述標準值以上的成長運轉以後，使用預先求出的既定的修正值來進行溫度的控制。然後再次於所述溫度誤差小於所述標準值的情形時，繼續將所述既定的修正值用於溫度控制。

【0137】 所述般的統計處理可根據成膜的內容而適當應用公知的統計處理。

【0138】 對本發明的若干實施形態進行了說明，但該些實施形態是作為示例而提示，並非意圖限定發明的範圍。該些實施形態能以其他各種形態而實施，可於不偏離發明主旨的範圍內進行各種省略、替換、變更。該些實施形態或其變形包含在發明的範圍或主旨中，同樣地包含在申請專利範圍所記載的發明及其均等範圍內。

【符號說明】

【0139】

1：成膜裝置

2、PM1、PM2、PM3：腔室

2a：透光窗

3：氣體供給部

3a：氣體蓄積部

3b：氣體管

3c：氣體閥

4：原料釋出部

4a：噴淋板

4b：氣體噴出口

5：承載盤

6：旋轉部

7：加熱器

8：氣體排出部

- 9：排氣機構
 - 9b：排氣閥
 - 9c：真空泵
- 10：放射溫度計
- 11：控制部
- 12：光學監視器
- 61：腔室內部的下部
- AlGaN-1、AlGaN-2、AlN-1、AlN-2：薄膜
- G0401、G0446：處理/處理編號
- L1、L2：光
- S10、S11、S20、S21、S30、S31、S40、S41、S50、S51、S60、
S61、S70、S71：步驟
- T21、T22、T41、T81、T82：溫度
- W：晶圓
- λ ：波長

【發明申請專利範圍】

【第 1 項】一種成膜裝置，包括：

成膜室，收容基板並對所述基板逐一進行成膜處理；

氣體供給部，於所述基板上供給氣體；

加熱器，對所述基板進行加熱；

窗，設於所述成膜室上；

放射溫度計，經由所述窗而測定所述基板的溫度；

參數取得部，取得與所述基板的溫度相關的參數；

修正部，伴隨所述窗的經時變化，根據與所述參數的初期值相比的變動而修正所述放射溫度計測定的所述基板的溫度的測定值；以及

控制部，根據經修正的所述基板的溫度的測定值而控制所述加熱器，

其中所述修正部考慮到放射率因溫度或所形成的薄膜的光學干涉效果而變動，而修正所述基板的溫度。

【第 2 項】如申請專利範圍第 1 項所述的成膜裝置，其中所述修正部根據於第一成膜處理前作為所述參數而取得的第一反射光強度、及於所述第一成膜處理以後的第二成膜處理前作為所述參數而取得的第二反射光強度，修正所述基板的溫度。

【第 3 項】如申請專利範圍第 2 項所述的成膜裝置，還包括對所述成膜室的環境溫度進行測定的環境溫度計，

所述修正部根據實質上使所述環境溫度相同而測定的所述第

一反射光強度與所述第二反射光強度，修正所述基板的溫度。

【第 4 項】如申請專利範圍第 2 項所述的成膜裝置，其中所述修正部根據所述第一反射光強度與所述第二反射光強度之比而修正所述基板的溫度。

【第 5 項】如申請專利範圍第 2 項所述的成膜裝置，其中所述修正部根據所述第一反射光強度與所述第二反射光強度之比對所述放射率進行修正而算出修正放射率，並使用熱輻射光強度及所述修正放射率而算出所述基板的溫度。

【第 6 項】如申請專利範圍第 1 項所述的成膜裝置，其中所述修正部根據作為所述參數而取得的形成於所述基板上的既定的膜的成長速度而修正所述基板的溫度。

【第 7 項】如申請專利範圍第 1 項所述的成膜裝置，其中所述修正部根據作為所述參數而取得的形成於所述基板上的既定的膜的折射率而修正所述基板的溫度。

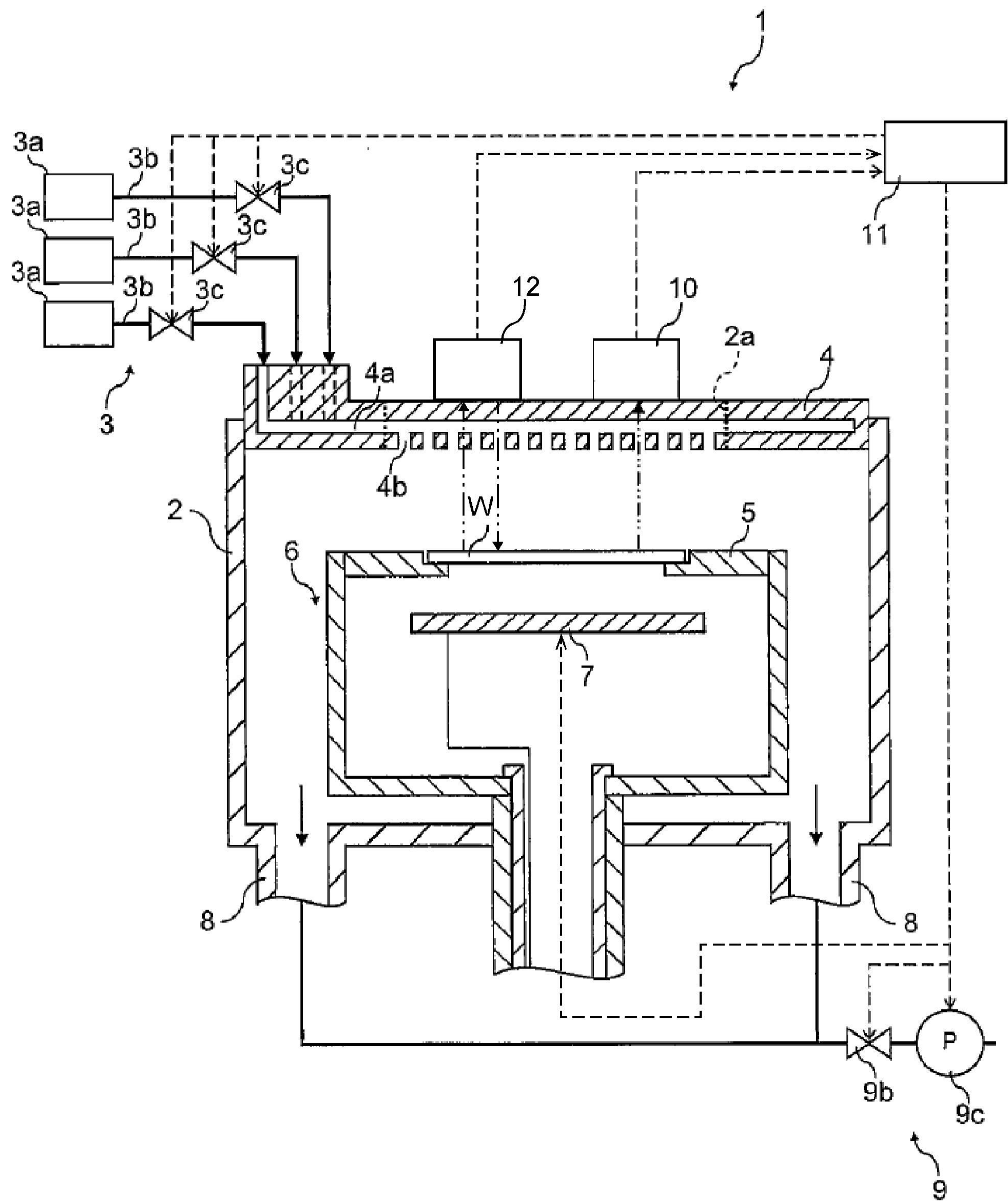
【第 8 項】一種成膜方法，一面藉由加熱器將收容於成膜室內的基板加熱至既定的溫度，一面於所述基板上供給氣體；並且

經由設於所述成膜室上的窗而測定所述基板的溫度，

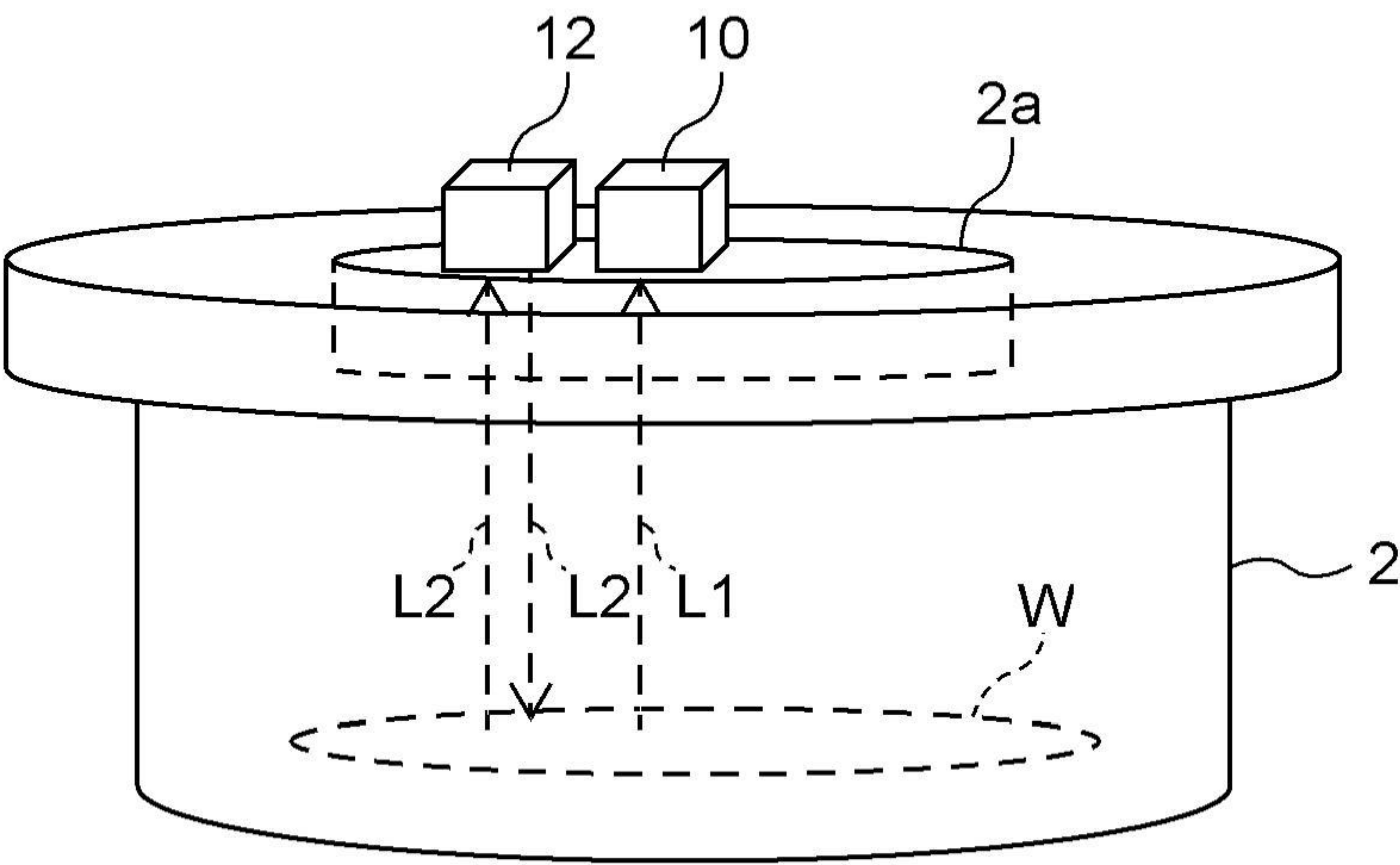
取得與所述基板的溫度相關的參數，

伴隨所述窗的經時變化，根據與所述參數的初期值相比的變動而修正所述基板的溫度的測定值，同時考慮到放射率因溫度或所形成的薄膜的光學干涉效果而變動，而修正所述基板的溫度，以經修正的所述基板的溫度成為既定溫度的方式控制所述加熱

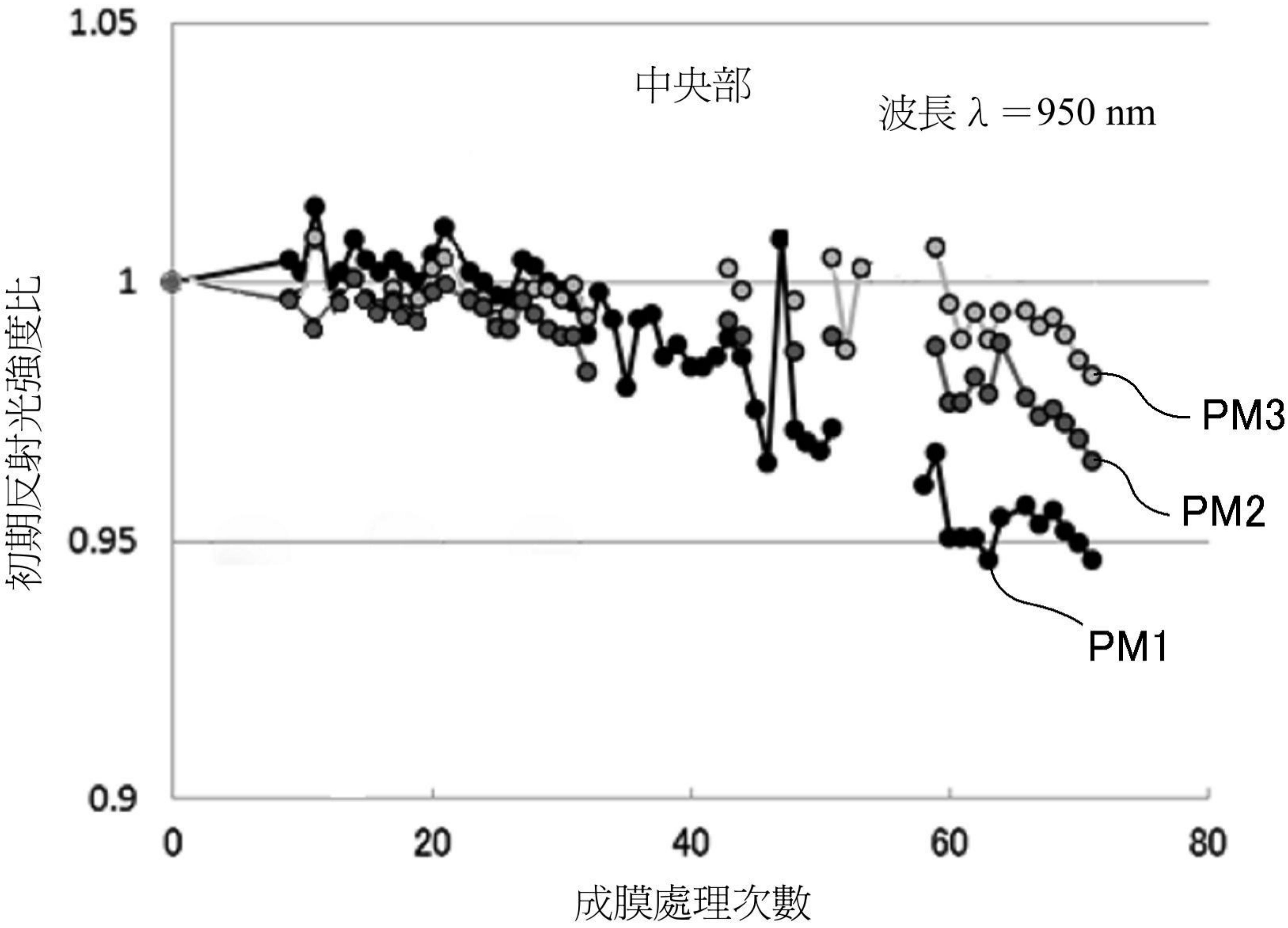
器。



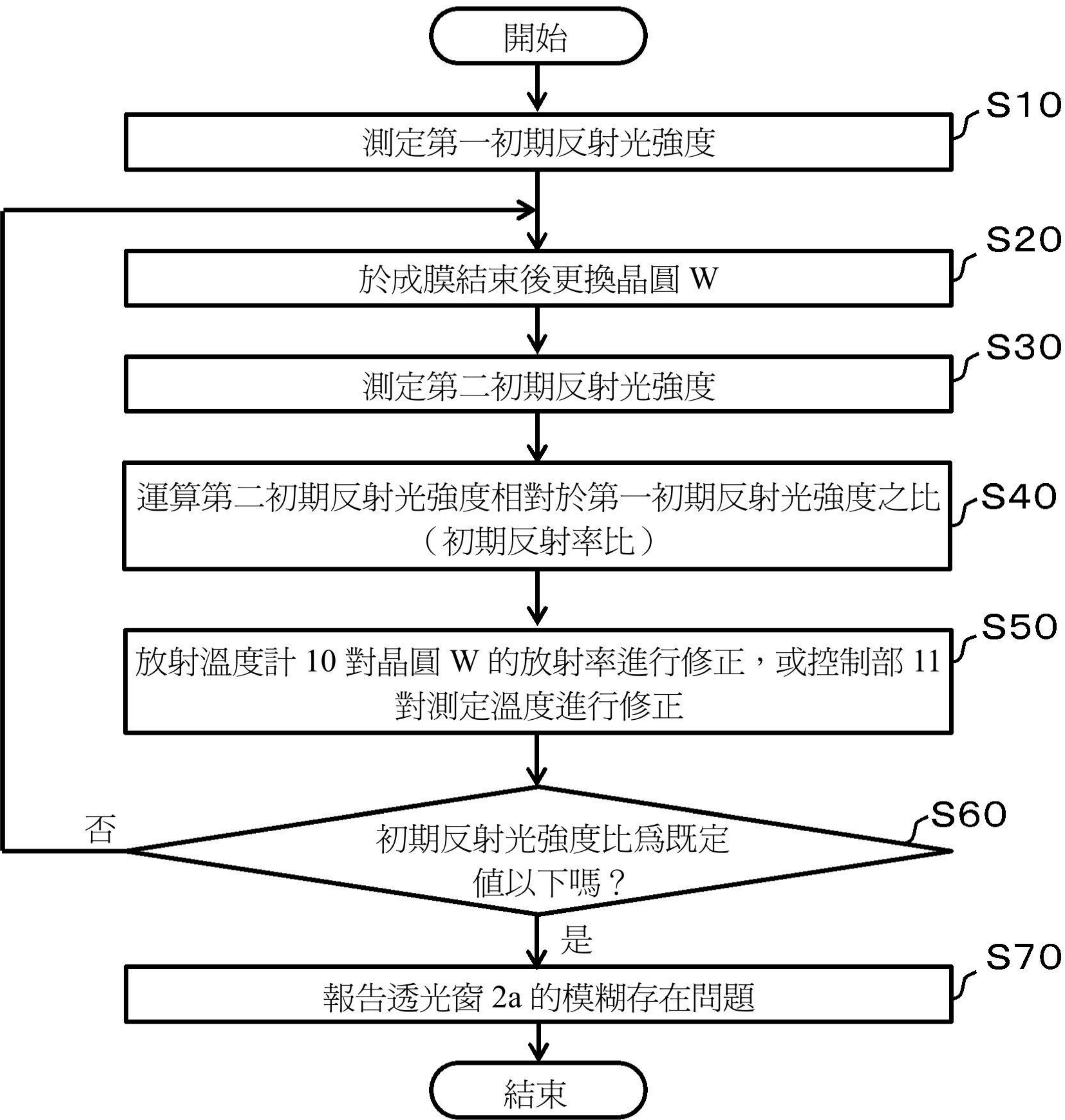
【圖 1】



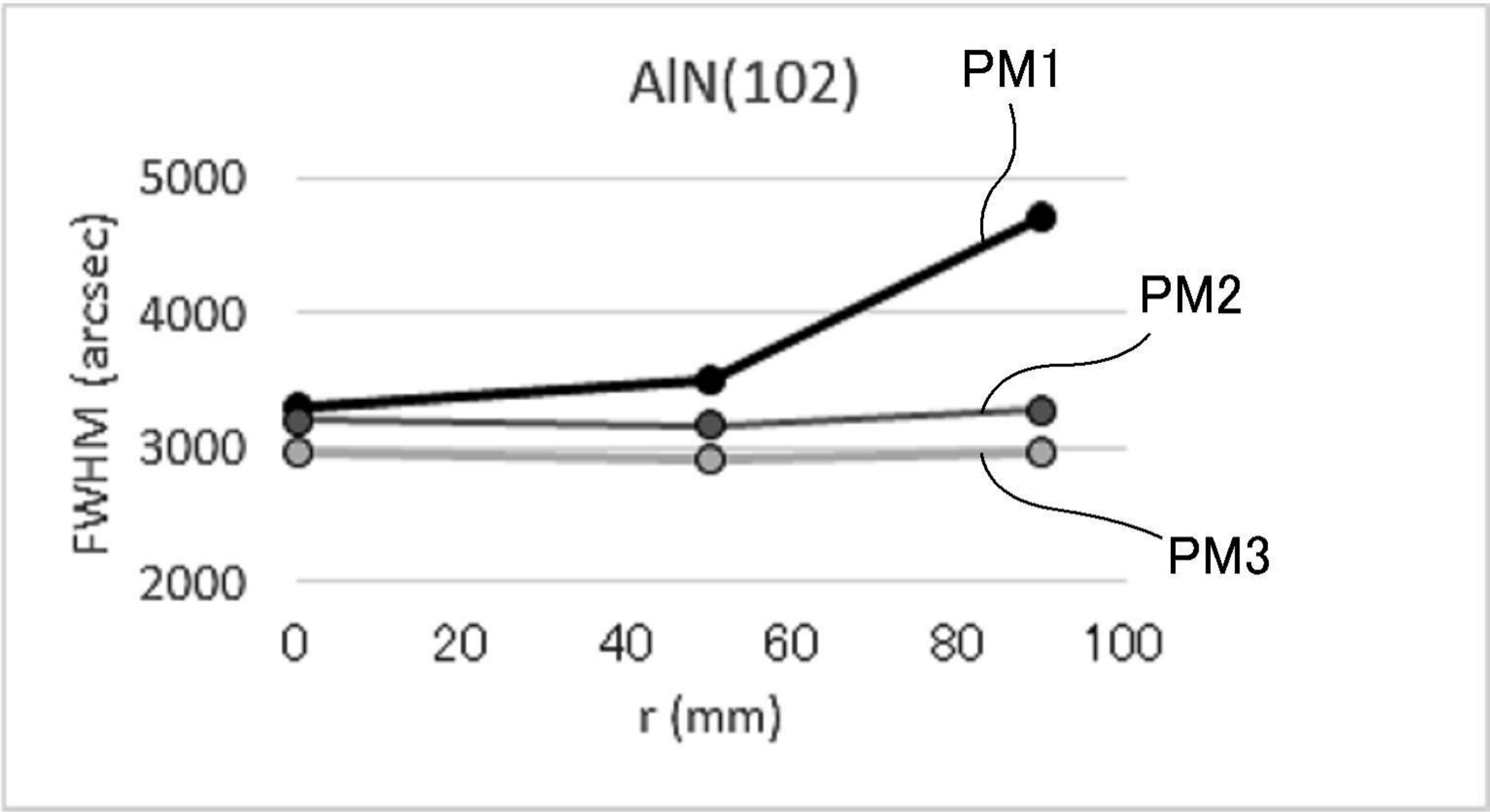
【圖 2】



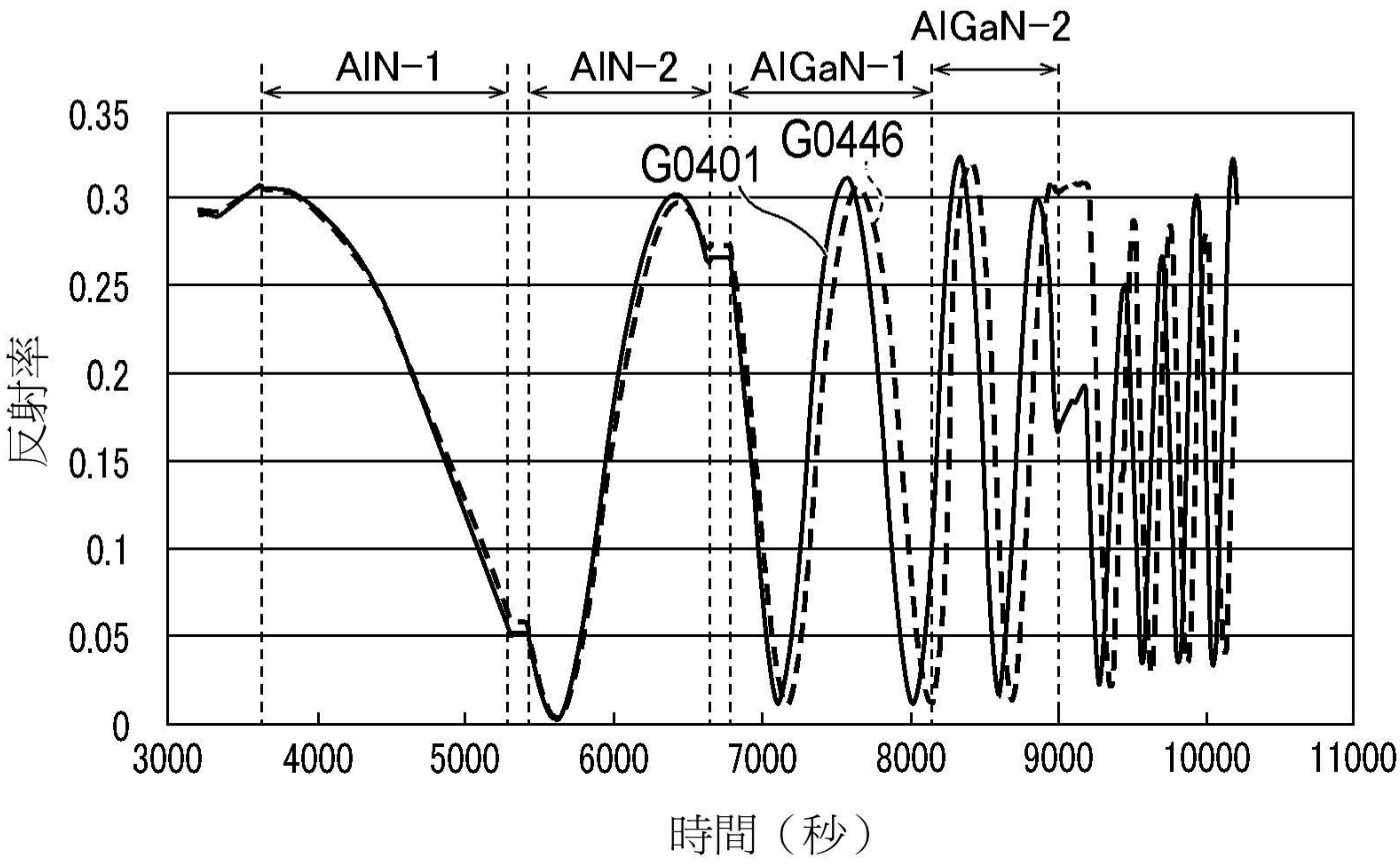
【圖 3】



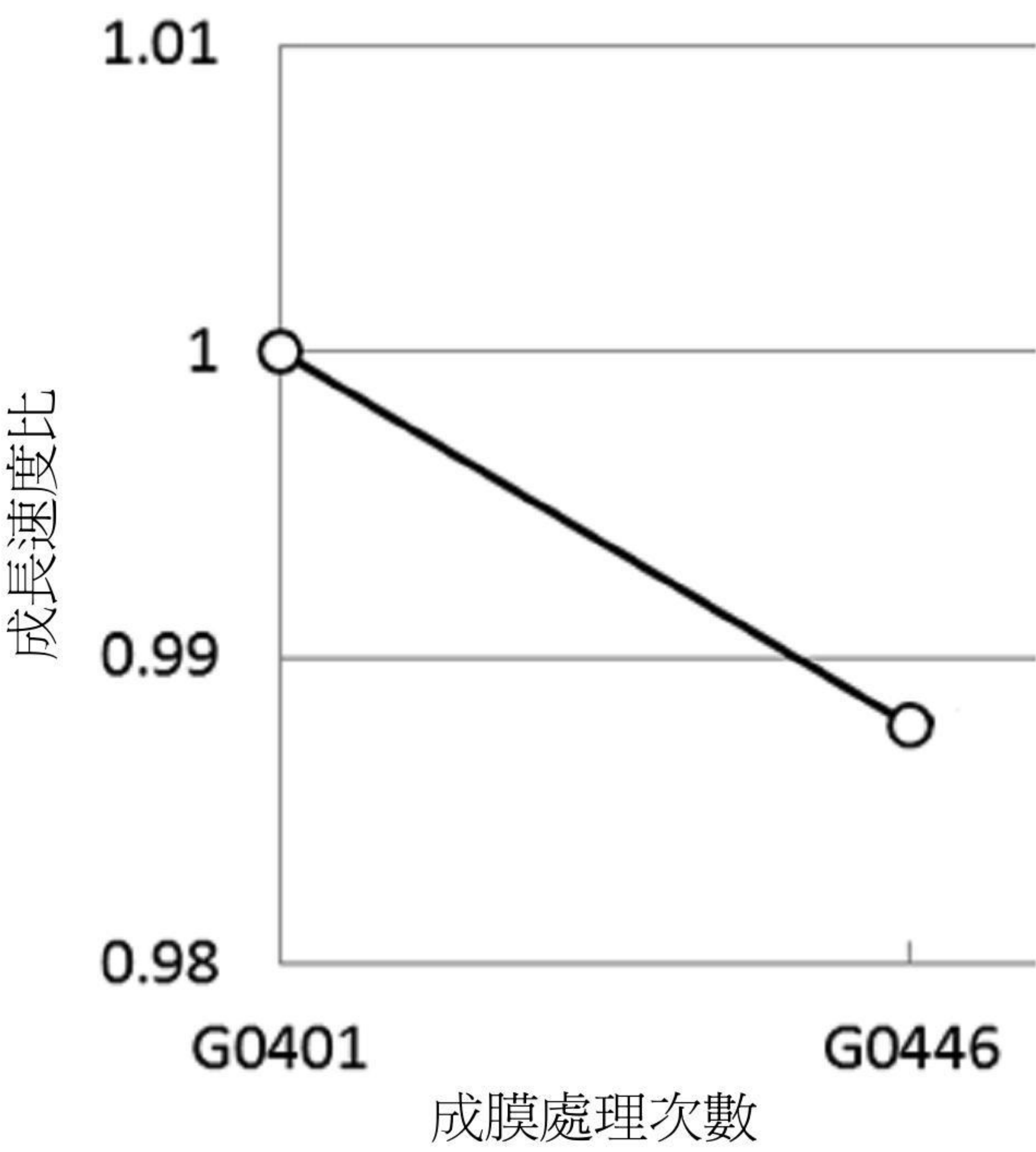
【圖 4】



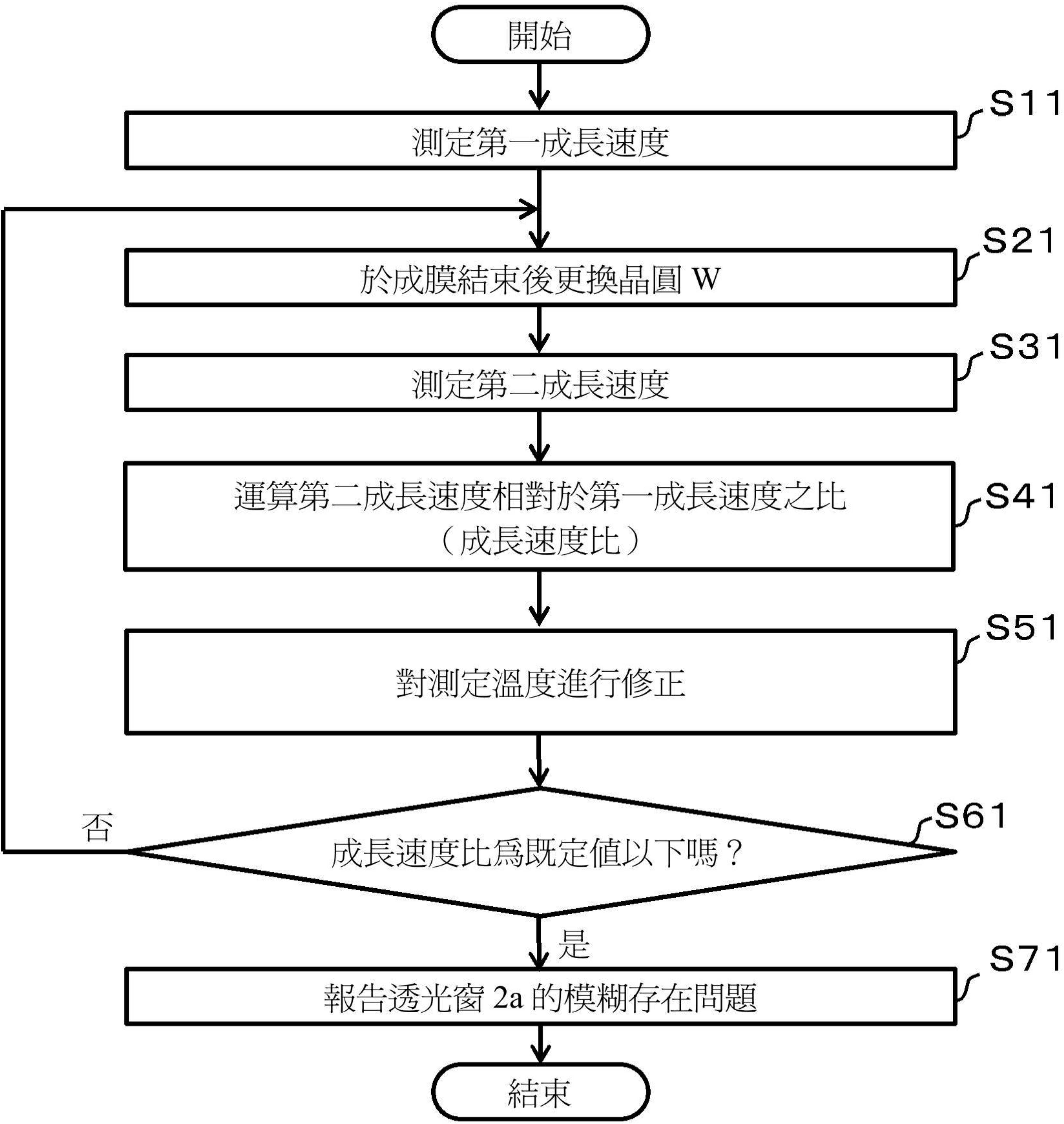
【圖 5】



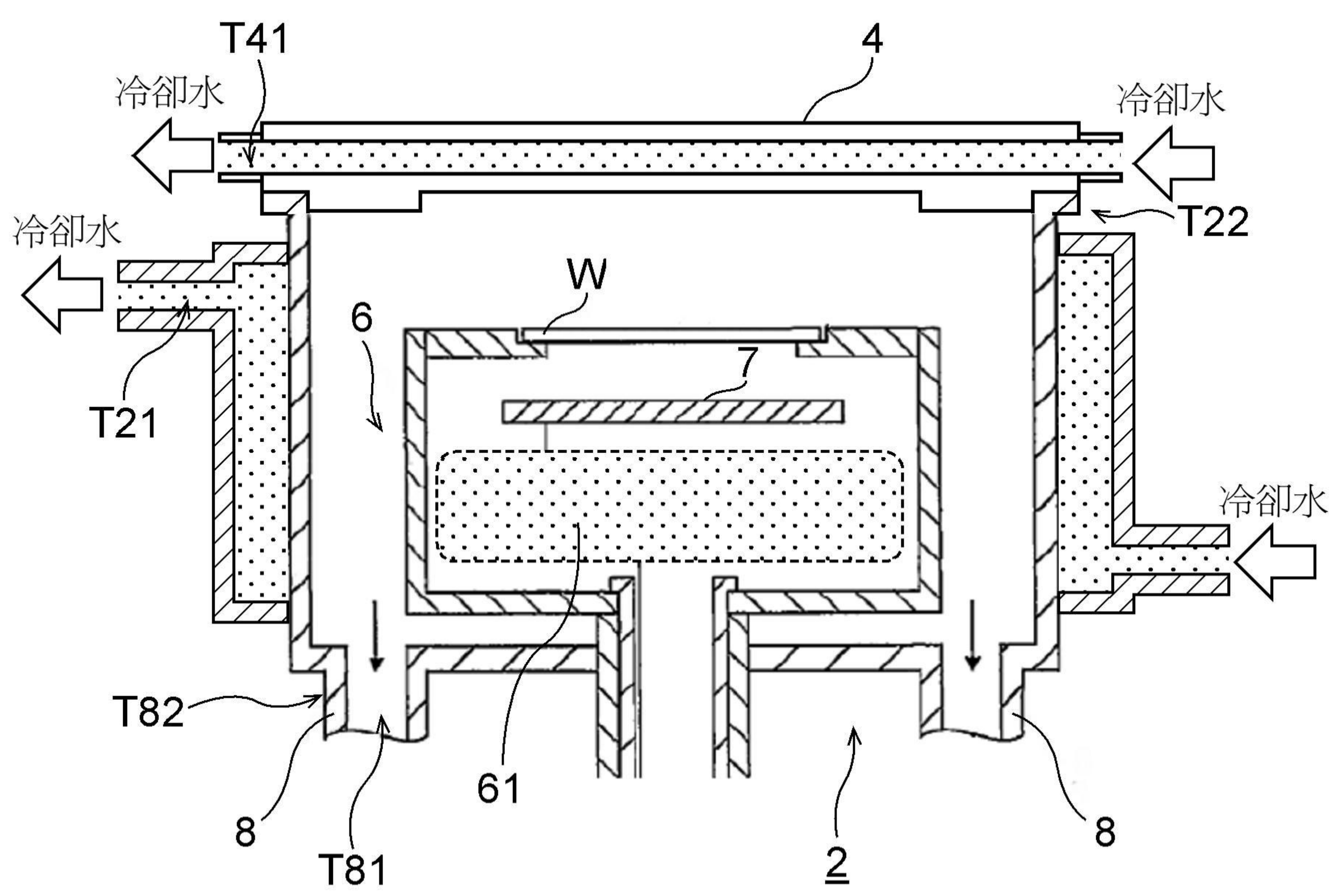
【圖 6】



【圖 7】



【圖 8】



【圖 9】