



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201742103 A

(43) 公開日：中華民國 106 (2017) 年 12 月 01 日

(21) 申請案號：105133290

(22) 申請日：中華民國 105 (2016) 年 10 月 14 日

(51) Int. Cl. : *H01L21/02 (2006.01)*

(30) 優先權：2015/11/26 日本 2015-231063

(71) 申請人：東洋炭素股份有限公司 (日本) TOYO TANSO CO., LTD. (JP)  
日本

(72) 發明人：鳥見聰 TORIMI, SATOSHI (JP)；篠原正人 SHINOHARA, MASATO (JP)；寺元陽次 TERAMOTO, YOUJI (JP)；矢吹紀人 YABUKI, NORIHITO (JP)；野上暁 NOGAMI, SATORU (JP)；北畠真 KITABATAKE, MAKOTO (JP)

(74) 代理人：林志剛

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：17 項 圖式數：15 共 44 頁

(54) 名稱

薄型 SiC 晶圓之製造方法及薄型 SiC 晶圓

(57) 摘要

提供一種薄型 SiC 晶圓之製造方法，其能以不產生龜裂等之方法薄化加工 SiC 晶圓，並可省略 SiC 晶圓之厚度調整後之研磨。於此薄型 SiC 晶圓(40)之製造方法中，包含有一薄化步驟，其藉由進行利用在 Si 蒸氣壓下對自晶錠(4)切取後的 SiC 晶圓(40)進行加熱而蝕刻表面之 Si 蒸氣壓蝕刻，將厚度減小至 100 $\mu$ m 以下。

指定代表圖：

符號簡單說明：

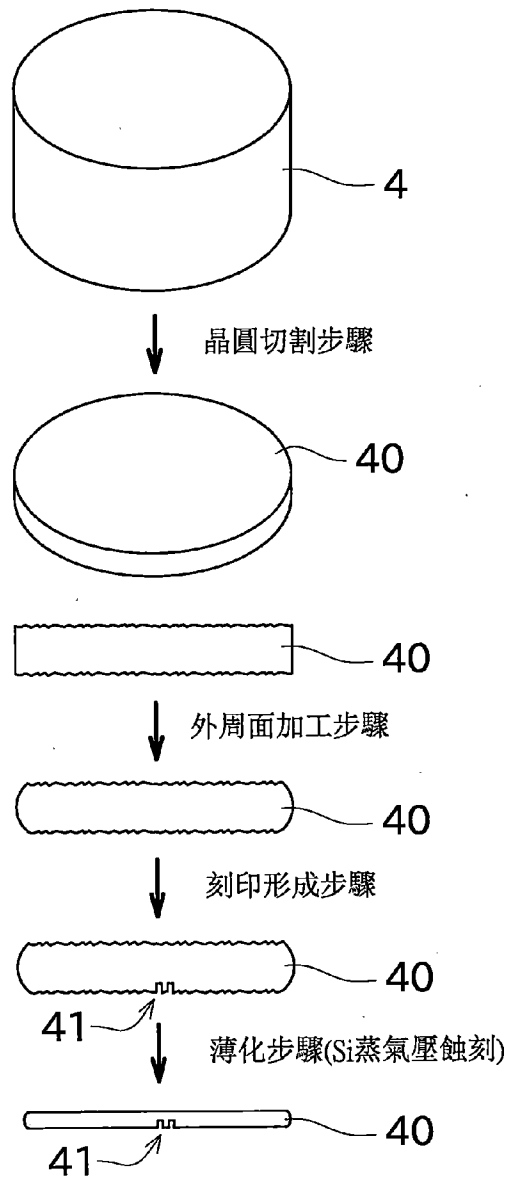
4 . . . 晶錠

40 . . . SiC 晶圓

41 . . . 刻印

圖 3

本實施形態



## 發明摘要

※申請案號：105133290

※申請日：105年10月14日

※IPC分類：~~H01L 21/02~~(2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

薄型 SiC 晶圓之製造方法及薄型 SiC 晶圓

【中文】

[課題]提供一種薄型 SiC 晶圓之製造方法，其能以不產生龜裂等之方法薄化加工 SiC 晶圓，並可省略 SiC 晶圓之厚度調整後之研磨。

[解決手段]於此薄型 SiC 晶圓(40)之製造方法中，包含有一薄化步驟，其藉由進行利用在 Si 蒸氣壓下對自晶錠(4)切取後的 SiC 晶圓(40)進行加熱而蝕刻表面之 Si 蒸氣壓蝕刻，將厚度減小至 100 $\mu$ m 以下。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(3)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

4：晶錠

40：SiC 晶圓

41：刻印

【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)

薄型 SiC 晶圓之製造方法及薄型 SiC 晶圓

## 【技術領域】

本發明主要關於一種對 SiC 晶圓進行薄化步驟而製造薄型之 SiC 晶圓之方法及薄型 SiC 晶圓。

## 【先前技術】

近年來，作為半導體元件之小型化及降低導通電阻(on-resistance)等目的，產生了對薄型之 SiC 晶圓之需求。專利文獻 1、2 及非專利文獻 1 記載有一種用以薄化加工 SiC 晶圓之處理。譬如，於非專利文獻 1 記載有一種使用鑽石磨輪(Diamond wheel)等對 SiC 晶圓進行機械研削(grinding)，而薄化加工 SiC 晶圓之方法。

於專利文獻 3 記載有一種 Si 蒸氣壓蝕刻，其藉由在 Si 蒸氣壓下加熱 SiC 晶圓而進行蝕刻。於專利文獻 3 中，記載有一種藉由對被機械研削及研磨(lapping)後之 SiC 晶圓進行 Si 蒸氣壓蝕刻，進而對因機械研磨等而產生的表面之粗糙部分進行平整之處理。

於非專利文獻 2 及非專利文獻 3 記載有一種藉由電漿 CVM(Cheical Vaporization Machining)而去除 SiC 晶圓的表面之處理。於非專利文獻 2 中，記載有藉由對被機械研

削及研磨後之 SiC 晶圓進行電漿 CVM，進而將 SiC 晶圓薄化加工至約 60 $\mu$ m 之處理。

於專利文獻 4 記載有一種藉由雷射加工、鑽石刀具之切削加工、乾式蝕刻、或離子植入等，於晶種預先形成刻印(mark)，且於自晶種形成 SiC 晶圓時維持該刻印之構成。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

專利文獻 1：日本特開 2014-229843 號公報

專利文獻 2：日本專利第 5550738 號公報

專利文獻 3：日本特開 2011-247807 號公報

專利文獻 4：日本特開 2014-75380 號公報

[非專利文獻]

非專利文獻 1：Roland Rupp et al, “Performance of a 650V SiC diode with reduced chip thickness”, Material Science Forum, vol.717-720, 2012 年, pp.921-924

非專利文獻 2：Yu Okada et al, “Thinning of a two-inch silicon carbide wafer by plasma chemical vaporization machining using a slit electrode”, Material Science Forum, vol.778-720, 2014 年, pp.750-753

非專利文獻 3：Yasuhisa Sano et al, “Polishing Characteristics of 4H-SiC Si-face and C-face by Plasma Chemical Vaporization Machining”, Material Science Forum, vol.556-557, 2007 年, pp.757-760

**【發明內容】**

(發明所欲解決之問題)

然而，於如專利文獻 1、2、及非專利文獻 1 之方式進行機械研削之情況下，雖然在進行研削時藉由朝 SiC 晶圓之加壓，而將研削速度加快，但卻會因此而於 SiC 晶圓產生加工損傷及應力，進而成為於結晶產生應變等之原因。其結果，可能於 SiC 晶圓形成變質層、或造成 SiC 晶圓破裂。此外，於非專利文獻 1 中記載有，在進行機械研削而使厚度成為  $110\mu\text{m}$  以下之情況下，會形成發絲狀裂紋 (hairline crack)，因此於進行機械研削之情況下， $110\mu\text{m}$  即為加工界限。此外，由於進行機械研削之情況下，表面粗糙度變大，因而於該研削後還需要機械研磨、化學機械研磨等之步驟。

於專利文獻 3 中，完全無關於 SiC 晶圓之厚度之記載。此外，於專利文獻 3 中，進行 Si 蒸氣壓蝕刻，並不是為了薄化加工 SiC 晶圓，而是為了去除 SiC 晶圓之表面粗糙度。換一種說法，其係對已藉由機械研削而調整了厚度後之 SiC 晶圓進行 Si 蒸氣壓蝕刻。

於非專利文獻 2 中，與專利文獻 3 同樣，揭示一種對被機械研削後之 SiC 晶圓進行電漿 CVM 之方法。一般來說，電漿 CVM 之蝕刻速度，係較 Si 蒸氣壓蝕刻慢，因此，於薄化加工 SiC 晶圓時需花費時間。

本發明係鑑於以上之情狀而完成者，其主要目的，在

於提供一種薄型 SiC 晶圓之製造方法，其能以不產生龜裂等之方法薄化加工 SiC 晶圓，並可省略 SiC 晶圓之厚度調整後之研磨。

(解決問題之技術手段及功效)

本發明所欲解決之問題，誠如以上之說明，下面對用以解決此問題之手段及其功效進行說明。

根據本發明之第 1 觀點，提供一種薄型 SiC 晶圓之製造方法，其包含：薄化步驟，其藉由進行利用在 Si 蒸氣壓下對自晶錠(Ingot)切取後的 SiC 晶圓進行加熱而蝕刻表面之 Si 蒸氣壓蝕刻，將厚度減小至 100 $\mu$ m 以下。

藉此，於 Si 蒸氣壓蝕刻下不會在蝕刻時對 SiC 晶圓產生加工損傷及應力，因而即使將 SiC 晶圓薄化加工至 100 $\mu$ m 以下，也不會產生發絲狀裂紋等。此外，藉由進行 Si 蒸氣壓蝕刻，可將表面以分子級加以平整，因而變得不需要研磨步驟。並且，由於 Si 蒸氣壓蝕刻還可以高速進行，因此即是於大幅薄化加工 SiC 晶圓之情況下，仍可在短時間內進行薄化步驟。

並且，使用 Si 蒸氣壓蝕刻將厚度減小之 SiC 晶圓，係較使用機械研磨將厚度減小之 SiC 晶圓的強度高。因此，可彌補因 SiC 晶圓之薄化而造成之強度降低。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述薄化步驟中，對被自上述晶錠切取後且未進行用以調整上述 SiC 晶圓的厚度之機械研削之上述 SiC 晶圓，進行上述

Si 蒸氣壓蝕刻。

藉此，可取代進行用以調整厚度之機械研削，而進行 Si 蒸氣壓蝕刻，因而可減少步驟數。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述薄化步驟中，一面去除自上述晶錠切割時而形成的上述 SiC 晶圓之表面粗糙部分，一面減小該 SiC 晶圓之厚度。

藉此，可對自晶錠之切取後不太進行研削及研磨等處理之 SiC 晶圓進行 Si 蒸氣壓蝕刻，以進行薄化及表面之平整。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法，較佳為，於上述薄化步驟中，將上述 SiC 晶圓之厚度去除 100 $\mu\text{m}$  以上。

藉此，由於 Si 蒸氣壓蝕刻還可以高速進行，因此，即使於將 SiC 晶圓去除 100 $\mu\text{m}$  以上之情況下，仍可完全去除迄此而提及的步驟之加工損傷，並且可於短時間內進行薄化步驟。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述薄化步驟中進行之上述 Si 蒸氣壓蝕刻，其對被處理面之蝕刻速度為 500nm/min 以上。

藉此，只要在適宜條件下進行 Si 蒸氣壓蝕刻，即可達到 500nm/min 以上之速度，因而即使於大幅薄化加工 SiC 晶圓之情況下，仍可於短時間內進行薄化步驟。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳可採用以下之方法。亦即，於將上述 SiC 晶圓之表面中的用以形成磊晶層(epitaxial layer)之表面作為主面時，於上述薄化步驟

中，對上述 SiC 晶圓之主面及該主面之背面的兩者進行蝕刻。

藉此，可同時去除主面及背面兩者的表面粗糙部分。此外，藉由同時蝕刻兩面，而可以高速進行蝕刻。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述薄化步驟中，對藉由依規定的形狀將表面去除而形成有顯示資訊之刻印之上述 SiC 晶圓，進行上述 Si 蒸氣壓蝕刻。

藉此，於 Si 蒸氣壓蝕刻中，與機械研磨及研削不同，連自 SiC 晶圓之表面凹陷之部分也可蝕刻，因此，即使進行薄化步驟，仍可殘留刻印。因此，可不用在薄型 SiC 晶圓形成刻印，因而可防止薄型 SiC 晶圓之破裂。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述薄化步驟前進行刻印形成步驟，該刻印形成步驟係於上述 SiC 晶圓形成上述刻印。

藉此，如上述，於 Si 蒸氣壓蝕刻中，在薄化步驟後也殘留刻印，因此可在薄化步驟前進行刻印形成步驟。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述薄化步驟中，以使蝕刻量根據上述 SiC 晶圓之位置而不同之方式進行上述 Si 蒸氣壓蝕刻。

藉此，於 Si 蒸氣壓蝕刻中，可根據條件控制 SiC 晶圓之各部分之蝕刻量，因此可製造所希望的形狀之 SiC 晶圓。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述

薄化步驟中，以上述 SiC 晶圓的外緣部之厚度較中央部之厚度厚之方式進行上述 Si 蒸氣壓蝕刻。

藉此，可提高 SiC 晶圓之機械強度。

於上述薄型 SiC 晶圓之製造方法中，較佳為，於上述薄化步驟中，將上述 SiC 晶圓之厚度減小，並進行上述 SiC 晶圓之倒角。

藉此，不僅薄化步驟而且外周面之處理，也可以 Si 蒸氣壓蝕刻進行。

根據本發明之第 2 觀點，提供一種薄型 SiC 晶圓之製造方法，其包含：薄化步驟，其在對自晶錠切取後之 SiC 晶圓進行機械研削而將厚度減小之後，藉由進行利用在 Si 蒸氣壓下加熱而蝕刻表面之 Si 蒸氣壓蝕刻，進一步減小厚度，進而將厚度減小至 100 $\mu$ m 以下。

藉此，即使於切割及機械研削之後進行 Si 蒸氣壓蝕刻之情況下，表面仍被以分子級加以平整，因此不需要研磨步驟，而可製造強度高之 SiC 晶圓。

根據本發明之第 3 觀點，提供一種薄型 SiC 晶圓，其藉由依規定之形狀將表面去除而形成顯示資訊之刻印，且該薄型 SiC 晶圓之厚度為 100 $\mu$ m 以下。

先前技術中，由於藉由機械之研削進行薄化步驟，因此在薄化步驟前形成刻印之情況下，刻印會於薄化步驟時也被去除。另一方面，在薄化步驟後之薄型 SiC 晶圓上形成刻印之情況下，SiC 晶圓有可能破裂。這點藉由進行 Si 蒸氣壓蝕刻，可實現形成有刻印之薄型 SiC 晶圓。

於上述 SiC 晶圓中，較佳可採用以下之構成。亦即，其為形成磊晶層之前的晶圓。並且，包含有硬度為 27GPa 以上之部分，該硬度係使用奈米壓印方法，且在將負荷設為 500mN 或壓入量設為 1 $\mu$ m 之條件下測量表面而得。

於上述 SiC 晶圓中，較佳可採用以下之構成。亦即，於表面形成有磊晶層。並且，包含有硬度為 29.5GPa 以上之部分，該硬度係使用奈米壓印方法，且在將負荷設為 500mN 或壓入量設為 1 $\mu$ m 之條件下測量磊晶層的表面而得。

於上述 SiC 晶圓中，較佳可採用以下之構成。亦即，其為形成磊晶層之前的晶圓。並且，使用奈米壓印方法，且在將負荷設為 500mN 或壓入量設為 1 $\mu$ m 之條件下測量表面而得之硬度，係較進行化學機械研磨之後的 SiC 晶圓高。

使用如上述之 Si 蒸氣壓蝕刻之 SiC 晶圓，其強度係較使用先前之化學機械研磨之 SiC 晶圓高，因而可彌補因 SiC 晶圓之薄化而引起之強度降低。

### 【圖式簡單說明】

圖 1 為說明在本發明之 Si 蒸氣壓蝕刻中使用之高溫真空爐之概要之圖。

圖 2 為顯示先前之磊晶形成用之 SiC 晶圓之製造步驟之示意圖。

圖 3 為顯示本實施形態之磊晶形成用之 SiC 晶圓之製

造步驟之示意圖。

圖 4 為顯示 Si 面及 C 面之 Si 蒸氣壓蝕刻前後的狀況之顯微鏡照片。

圖 5 為顯示 Si 面及 C 面之蝕刻速度與溫度之關係之曲線圖。

圖 6 為顯示惰性氣體之壓力與蝕刻速度之關係之曲線圖。

圖 7 為顯示 Si 蒸氣壓蝕刻前的、刻印之顯微鏡照片、與刻印之寬度及深度之測量結果之曲線圖。

圖 8 為顯示 Si 蒸氣壓蝕刻後的、刻印之顯微鏡照片、與刻印之寬度及深度之測量結果之曲線圖。

圖 9 為顯示第 1 變形例之磊晶形成用之 SiC 晶圓之製造步驟之示意圖。

圖 10 為顯示 Si 蒸氣壓蝕刻前之 SiC 晶圓的厚度之分佈之曲線圖。

圖 11 為顯示 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓的厚度之分佈之曲線圖。

圖 12 為顯示第 2 變形例之磊晶形成用之 SiC 晶圓之製造步驟之示意圖。

圖 13 為顯示 Si 蒸氣壓蝕刻後之蝕刻量之分佈之曲線圖。

圖 14 為顯示藉由奈米壓印方法對化學機械研磨後的 SiC 晶圓、及 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓進行硬度測量之結果之威布爾分佈(Weibull distribution)之圖。

圖 15 為顯示藉由奈米壓印方法對在化學機械研磨後形成磊晶層之 SiC 晶圓、及於 Si 蒸氣壓蝕刻後形成磊晶層之 SiC 晶圓進行硬度測量之結果之威布爾分佈之圖。

### 【實施方式】

其次，參照圖式對本發明之實施形態進行說明。首先，參照圖 1，對在本實施形態之加熱處理中使用之高溫真空爐 10 進行說明。

如圖 1 所示，高溫真空爐 10 具備主加熱室 21、及預備加熱室 22。主加熱室 21 至少可將表面由單晶 4H-SiC 等構成之 SiC 晶圓 40(單晶 SiC 基板)加熱為 1000°C 以上且 2300°C 以下之溫度。預備加熱室 2 係用以於以主加熱室 21 加熱之前對 SiC 晶圓 40 進行預備加熱之空間。

於主加熱室 21 連接有真空形成用閥 23、惰性氣體注入用閥 24、及真空計 25。真空形成用閥 23 可調整主加熱室 21 之真空度。惰性氣體注入用閥 24，可調整主加熱室 21 內之惰性氣體(譬如 Ar 氣體)之壓力。真空計 25 可測量主加熱室 21 內之真空度。

於主加熱室 21 之內部具備加熱器 26。此外，於主加熱室 21 之側壁及天花板固定有省略圖示之熱反射金屬板，此熱反射金屬板，係被構成為使加熱器 26 之熱朝主加熱室 21 之中央部反射。藉此，可強力且均勻地加熱 SiC 晶圓 40，進而使 SiC 晶圓 40 昇溫至 1000°C 以上且 2300°C 以下之溫度。再者，作為加熱器 26，譬如可使用電

阻加熱式之加熱器或高頻感應加熱式之加熱器。

高溫真空爐 10，係對被收容在坩堝(收容容器)30 之 SiC 晶圓 40 進行加熱。坩堝 30 係載置於適宜之支撐台等上，且被構成為藉由此支撐台移動，至少能自預備加熱室移動至主加熱室。坩堝 30 具備可相互嵌合之上容器 31 及下容器 32。坩堝 30 之下容器 32，係可支撐該 SiC 晶圓 40，以使 SiC 晶圓 40 之主面及背面(若以結晶面表現，則為(0001)面及(000-1)面(Si 面及 C 面))之兩者露出。在此，主面係指 SiC 晶圓 40 之表面中的面積為最大之 2 面(圖 1 之上面及下面)中的一面，且為在後步驟形成有磊晶層之表面。背面係主面背側之面。

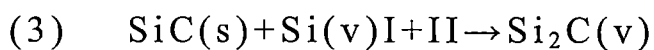
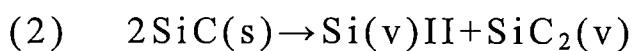
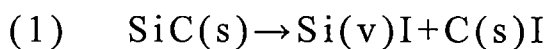
坩堝 30 係於構成收容 SiC 晶圓 40 之內部空間之壁面(上面、側面、底面)之部分，依自外部側朝內部空間側之順序，由鉭層(Ta)、碳化鉭層(TaC 及 Ta<sub>2</sub>C)、及鉭矽化物層(TaSi<sub>2</sub> 或 Ta<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> 等)構成。

此鉭矽化物層，係藉由進行加熱而朝內部空間供給 Si。此外，由於坩堝 30 包含有鉭層及碳化鉭層，因此可取入周圍之 C 蒸氣。藉此，加熱時可將內部空間內設定為高純度之 Si 氣氛。再者，也可取代設置鉭矽化物層，而於內部空間配置固態之 Si 等。該情況下，藉由固態之 Si 在加熱時昇華，可將內部空間內設定為高純度之 Si 氣氛。

當加熱 SiC 晶圓 40 時，首先如圖 1 之點劃線所示，將坩堝 30 配置於高溫真空爐 10 之預備加熱室 22 內，且

以適宜之溫度(譬如約 800°C)進行預備加熱。接著，使坩堝 30 朝預先被昇溫至設定溫度(譬如，約 1800°C)之主加熱室 21 移動。然後，一面調整壓力等一面加熱 SiC 晶圓 40。再者，也可省略預備加熱。

其次，對在本實施形態進行之 Si 蒸氣壓蝕刻進行說明。本實施形態中，將具有傾斜角(off-angle)之 SiC 晶圓 40 收容於坩堝 30，於高純度之 Si 蒸氣壓下且在 1500°C 以上且 2200°C 以下、更佳希望能在 1600°C 以上且 2000°C 以下之溫度範圍內，使用高溫真空爐 10 進行加熱。藉由於此條件下將 SiC 晶圓 40 加熱，一面蝕刻表面一面對該表面進行平整。於此 Si 蒸氣壓蝕刻時，會進行以下所示之反應。簡單地說明如下，藉由在 Si 蒸氣壓下加熱 SiC 晶圓 40，SiC 晶圓 40 之 SiC 被熱分解，並且藉由與 Si 之化學反應而成為 Si<sub>2</sub>C 或 SiC<sub>2</sub> 等進行昇華，然後，Si 氣氛下之 Si 在 SiC 晶圓 40 之表面與 C 結合而引起自組織化，進而被平整處理。



接著，對自晶錠 4 製造磊晶形成用之 SiC 晶圓 40 之步驟進行說明。首先，參照圖 2 對先前之製造步驟進行說明。

如圖 2 所示，首先藉由鑽石線鋸等之切割手段以規定之間隔切割晶錠 4，自晶錠 4 切取複數片之 SiC 晶圓

40(晶圓切割步驟)。於被如此切取之 SiC 晶圓 40(切片狀晶圓)之主面及背面存在有切割時形成之大的表面粗糙部分。圖 2 中，示意顯示此 SiC 晶圓 40 之立體圖及剖視圖。

接著，藉由機械加工等對 SiC 晶圓 40 之外周面(平行於厚度方向之面、與主面垂直或大致垂直之面)進行倒角(外周面加工步驟)。如圖 2 所示，此倒角可為於外周面形成規定的圓弧之圓倒角，也可為以規定之角度斜切之倒角。

接著，藉由鑽石磨輪等對 SiC 晶圓 40 主面或背面進行機械研削(薄化步驟)。薄化步驟係為了將 SiC 晶圓 40 加工成所希望之厚度而進行之步驟。於藉由機械研削進行薄化步驟之情況下，SiC 晶圓 40 之表面依然為粗糙面。因此，進行機械研磨步驟及化學機械研磨步驟，對 SiC 晶圓 40 之表面進行平整。

然後，於 SiC 晶圓 40 之表面(主面或背面)，譬如，藉由照射雷射選擇性地去除該表面(選擇性地形成槽)，而形成刻印 41。刻印 41 係用以識別 SiC 晶圓 40 之資訊(具體為文字、符號、條碼等)。藉由以上製程，製造形成磊晶層之前的 SiC 晶圓(換言之，用以形成磊晶層之 SiC 晶圓、或「開盒即用(EPI-READY)」晶圓)。再者，磊晶形成用之 SiC 晶圓 40 之製造方法係各種各樣，上述中說明之方法，係一例而已。

在此，近年來，作為半導體元件之小型化及降低導通

電阻等目的，產生了對薄型(譬如厚度  $100\mu\text{m}$  以下)之 SiC 晶圓 40 之需求。然而，於以先前之方法製造薄型之 SiC 晶圓 40 之情況下，存在有以下所示之問題。亦即，於製造薄型之 SiC 晶圓 40 之情況下，需要在薄化步驟中將 SiC 晶圓 40 研削至變薄為止。然而，如非專利文獻 1 之記載，於機械研削中若厚度為  $110\mu\text{m}$  以下，則會產生龜裂，因而不能形成薄型之 SiC 晶圓 40。即使假定為已形成完成薄型 SiC 晶圓 40 之情況，因在機械研磨步驟中對 SiC 晶圓 40 施加有壓力，因而仍有可能於 SiC 晶圓 40 形成變質層、或造成 SiC 晶圓 40 破裂。並且，於在薄型 SiC 晶圓 40 上形成刻印 41 之情況下，也可能造成 SiC 晶圓 40 破裂。然而，在薄化步驟前形成刻印 41 之情況下，由於刻印 41 之槽以外之部分會因薄化步驟而被研削，因而刻印 41 會消失。如此，於先前之方法中，製造薄型 SiC 晶圓 40(尤其是附設刻印 41 之 SiC 晶圓 40)會有困難。

相對於此，於本實施形態中，可簡單且確實地製造磊晶形成用之薄型 SiC 晶圓 40。以下，參照圖 3 對本實施形態之薄型 SiC 晶圓 40 之製造方法進行說明。

本實施形態之製造方法，係與先前例同樣，首先進行晶圓切割步驟及外周面加工步驟。然後，進行刻印形成步驟。於先前例中，最後進行刻印形成步驟，但於本實施形態中，在薄化步驟之前進行刻印形成步驟。再者，本實施形態之晶圓切割步驟、外周面加工步驟、刻印形成步驟，

係如同在先前例中說明之步驟。

然後，將形成有刻印 41 之 SiC 晶圓 40 收容於坩堝 30，使用高溫真空爐 10 對 SiC 晶圓 40 進行 Si 蒸氣壓蝕刻(薄化步驟)。於此薄化步驟中，一直將 Si 蒸氣壓蝕刻進行至 SiC 晶圓 40 之厚度變為  $100\mu\text{m}$  以下(較佳為  $70\mu\text{m}$  以下)為止，且不進行機械研削之薄化步驟(換言之，對未被進行用以調整厚度之機械研削之 SiC 晶圓 40 進行 Si 蒸氣壓蝕刻)。若詳細地對厚度進行說明，該厚度係表示雖於 SiC 晶圓 40 之厚度上存在有誤差，但平均厚度卻為  $100\mu\text{m}$  以下等之意思。此外，於僅較厚地殘留有 SiC 晶圓 40 之一部分之情況下，表示 SiC 晶圓 40 之中央部(即、形成有磊晶層或形成有半導體元件之部分)之厚度為  $100\mu\text{m}$  以下等之意思。再者，於藉由在表面形成有槽而被分割為半導體元件之晶片尺寸等的 SiC 晶圓 40 之情況下，顯示不是形成有槽之部分，而是其以外之部分(形成有磊晶層或形成有半導體元件之部分)之厚度。

以下，對藉由 Si 蒸氣壓蝕刻進行薄化步驟的 3 個主要優點簡單地進行說明。(1)Si 蒸氣壓蝕刻，係一面以分子級將表面加以平整一面進行蝕刻，因而不需要後續之研磨步驟。(2)詳細容待後述，但 Si 蒸氣壓蝕刻，係可藉由變更條件等而控制蝕刻速度。藉此，還可以高速(譬如， $500\text{nm}/\text{min}$ )蝕刻 SiC 晶圓 40。尤其是，於本實施形態中，由於同時蝕刻 SiC 晶圓 40 之主面與背面，因而能非常快速地將 SiC 晶圓 40 加工至  $100\mu\text{m}$  以下。並且，還存

在有藉由同時蝕刻主面及背面，可同時進行兩面之平整之優點(於電漿 CVM 中，由於不能同時加工 SiC 晶圓之兩面，因此具有不能充分地將 SiC 晶圓之一面平整之缺點，於非專利文獻 3 顯示有此狀況)。(3)Si 蒸氣壓蝕刻係一種汽相蝕刻，因此作為刻印 41 而形成的槽之底部也被蝕刻。因此，於本實施形態中，即使於進行薄化步驟之後，也能殘留刻印 41。再者，於專利文獻 3 中，因在藉由機械研削步驟調整 SiC 晶圓 40 之厚度之後，且進一步進行機械研磨之後進行 Si 蒸氣壓蝕刻，因而其用途與本實施形態不同。此外，可認為蝕刻速度及蝕刻量也大為不同。

其次，根據實驗資料等對上述功效詳細地進行說明。首先，參照圖 4 對 Si 蒸氣壓蝕刻之平整加工進行說明。

圖 4 為顯示 Si 面及 C 面之 Si 蒸氣壓蝕刻前後的狀況之顯微鏡照片。由此顯微鏡照片可知，藉由進行 Si 蒸氣壓蝕刻，於 Si 面及 C 面之兩者，切割時之表面粗糙部分等已去除而被平整。藉此，於本實施形態中，可同時進行減小 SiC 晶圓的厚度之處理、及去除表面粗糙部分之處理。於本實施形態中，由於對 Si 面及 C 面之兩者進行蝕刻，因而 Si 面及 C 面分別相當於被處理面。此外，由圖 5 記載之表面粗糙度之變化，也可知表面已被平整。藉由進行 Si 蒸氣壓蝕刻，可將表面平整至超過進行化學機械研磨之情況之等級。

其次，參照圖 5 及圖 6 對控制 Si 蒸氣壓蝕刻之蝕刻速度之情況進行說明。

控制 SiC 晶圓 40 的蝕刻速度之參數之一，係加熱溫度。圖 5 為顯示在規定之環境下，使加熱溫度自 1750°C 變化至 2000°C 附近時的蝕刻速度之變化之阿瑞尼氏曲線圖 (Arrhenius plot prograf)。在此，蝕刻速度之變化，係個別對 Si 面及 C 面進行繪製而成。由該曲線圖可知，加熱溫度越高，則蝕刻速度越快。此外，此曲線圖之橫軸，係溫度之倒數，此曲線圖之縱軸，係對數顯示蝕刻速度。如圖 5 所示，由於此曲線圖成為直線，因此可估算譬如變更加熱溫度時之蝕刻速度。

控制 SiC 晶圓 40 之蝕刻速度之另一參數，係惰性氣體之壓力。圖 6 為顯示惰性氣體之壓力與蝕刻速度之關係之曲線圖。由此曲線圖可知，惰性氣體之壓力越高，則蝕刻速度越低。譬如，於加熱溫度為 1800°C 之情況下，藉由將壓力設為 1Pa 以下，可將一表面(圖 6 中為 Si 面)之蝕刻速度設為 500nm/min 以上。此外，藉由將壓力設為 10Pa 以上，可將蝕刻速度設為 300nm/min 以下。於蝕刻量少之情況下，藉由減慢蝕刻速度，可正確地估算蝕刻量。再者，也可首先以蝕刻速度快速之條件進行蝕刻，暫且測量 SiC 晶圓 40 之厚度而計算需要之蝕刻量，然後以蝕刻速度慢之條件一面正確地控制蝕刻量一面進行蝕刻。

此外，SiC 晶圓 40 之蝕刻速度，譬如根據 Si 之供給源之不同也會變化。譬如，於在坩堝 30 之內部配置固態之 Si(Si 粒)之情況下，Si 之供給容易度，係根據配置之數量及位置等而變化。藉由容易供給 Si，可加快 SiC 晶圓

40 之蝕刻速度。

接著，參照圖 7 及圖 8，對即使進行 Si 蒸氣壓蝕刻仍殘留刻印 41 之情況進行說明。

圖 7 為顯示 Si 蒸氣壓蝕刻前的、(a)刻印 41 之顯微鏡照片、與(b)刻印之寬度及深度之測量結果之曲線圖。於此實驗中，Si 蒸氣壓蝕刻前(薄化步驟前)之 SiC 晶圓 40 之厚度為  $350\mu\text{m}$ 。如圖 7(a)及圖 7(b)明顯可知，Si 蒸氣壓蝕刻前之刻印 41，在深度方向之誤差大。此外，雖不能自圖 7 讀取，但存在有因進行雷射加工而產生之變質層。

圖 8 為顯示 Si 蒸氣壓蝕刻後的、(a)刻印 41 之顯微鏡照片、與(b)刻印之寬度及深度之測量結果之曲線圖。於此實驗中，Si 蒸氣壓蝕刻後(薄化步驟後)之 SiC 晶圓 40 之厚度為  $65\mu\text{m}$ 。由圖 8(a)及圖 8(b)明顯可知，即使進行約  $300\mu\text{m}$  之蝕刻，仍殘留有刻印 41。刻印 41 之寬度，在 Si 蒸氣壓蝕刻之前後幾乎不變，深度雖藉由平整加工而會使平均深度略微下降，但作為刻印 41 仍殘留有充分之深度。此外，雖不能自圖 8 中看出，但藉由 Si 蒸氣壓蝕刻，可去除因進行雷射加工而產生之變質層。

如此，於本實施形態中，即使進行薄化步驟仍可殘留刻印 41，因此可於薄化步驟後形成刻印 41，以防止 SiC 晶圓 40 破裂。

其次，參照圖 9 至圖 11，對上述實施形態之第 1 變形例進行說明。再者，於本變形例之說明中，對與前述之實施形態相同或類似之構件，有時會於圖式上賦予相同之

符號，並省略說明。

上述實施形態中，藉由薄化步驟均勻地對 SiC 晶圓 40 進行蝕刻，但於第 1 變形例中，根據 SiC 晶圓 40 之位置(尤其是沿被處理面的表面之方向之位置)而使蝕刻量不同。具體而言，於第 1 變形例之薄化步驟中，將 SiC 晶圓 40 之外緣部之蝕刻量，較其他之部分(譬如，磊晶形成部分、中心部)之蝕刻量減少。其結果，如圖 9 所示，可製造外緣部的厚度較其他部分之厚度大之 SiC 晶圓 40。因為於外緣部不形成半導體元件，因而良率不會降低。藉由增大外緣部之厚度，可提高 SiC 晶圓 40 之機械強度，因此可提高良率。

圖 10 及圖 11 為顯示證實可進行第 1 變形例的加工之實驗結果之曲線圖。圖 10 及圖 11 顯示將外緣部之蝕刻量較其他部分減少而進行 Si 蒸氣壓蝕刻(薄化步驟)之實驗結果。圖 10(a)為說明測量 SiC 晶圓 40 之厚度之方向之圖。圖 10(b)為顯示圖 10(a)之各方向上的、Si 蒸氣壓蝕刻前之 SiC 晶圓 40 之厚度之曲線圖。如圖 10(b)所示，Si 蒸氣壓蝕刻前之 SiC 晶圓 40，雖然外緣部之厚度較其他之部分略小，但基本上平坦。

圖 11 為顯示圖 10(a)之各方向上的、Si 蒸氣壓蝕刻後(薄化步驟後)之 SiC 晶圓 40 之厚度之曲線圖。藉由在 SiC 晶圓 40 之外緣部及其他部分使環境不同，如圖 11 所示，可將外緣部之蝕刻量較其他之部分減少。因此，可製造機械強度優異之薄型 SiC 晶圓 40。再者，於第 1 變形例

中，其係同時進行 SiC 晶圓 40 之薄化步驟、及外緣部之厚度形成步驟，但也可分別進行。

其次，參照圖 12 及圖 13，對上述實施形態之第 2 變形例進行說明。再者，於本變形例之說明中，對與前述之實施形態相同或類似之構件，有時會於圖式上賦予相同之符號，並省略說明。

上述實施形態中，藉由機械加工等進行外周面加工步驟，但於第 2 變形例中，如圖 12 所示，藉由 Si 蒸氣壓蝕刻進行外周面加工步驟。再者，於第 2 變形例中，外周面加工步驟係在薄化步驟後進行，但也可與上述實施形態同樣，在晶圓切割步驟與刻印形成步驟之間進行。

與第 1 變形例同樣，藉由使 SiC 晶圓 40 之周圍之環境不一致，譬如使加熱溫度等保持有分佈，則也可使蝕刻量保持有分佈。於第 2 變形例中，一面減少外緣部之蝕刻量，一面較外緣部進一步增加外側(即、外周面)之蝕刻量。藉此，如圖 12 所示，可一面為了補強而將外緣部之厚度增大，一面使用 Si 蒸氣壓蝕刻進行 SiC 晶圓 40 之倒角。

圖 13 為顯示證實可進行第 2 變形例的加工之實驗結果之曲線圖。圖 13 為顯示圖 10(a)之各方向上的、Si 蒸氣壓蝕刻後之蝕刻量之分佈之曲線圖。由圖 13 之曲線圖可知，與圖 11 之曲線圖同樣，外緣部之蝕刻量較中央部等少(外緣部之厚度大)。並且，於圖 13 之曲線圖中，蝕刻量在測量位置之端部附近變得最少，並且蝕刻量在端側略

有增多。因此，可以看出 SiC 晶圓 40 之測量位置之端部(外周面)已被蝕刻，且外周面被倒角。

其次，參照圖 14，對 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓之硬度、與化學機械研磨後之 SiC 晶圓的硬度之差進行說明。圖 14 為顯示藉由奈米壓印方法對化學機械研磨後的 SiC 晶圓及 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓進行硬度測量之結果之威布爾分佈之圖。

於本實驗中，將相對於[11-20]方向的傾斜角為 4 度之 4H-SiC 之 SiC 晶圓的表面作為硬度之測量對象。SiC 晶圓之表面(主面)，係指形成半導體元件之面，於本次之實驗中，為 Si 面即(0001)面。此外，一 SiC 晶圓，係於機械研磨後對表面進行化學機械研磨。另一 SiC 晶圓，係於機械研磨後，藉由在 1850°C 下之 Si 蒸氣壓蝕刻而自表面蝕刻去除 40 $\mu\text{m}$ 。再者，本發明中，其係一藉由 Si 蒸氣壓蝕刻而進行薄化步驟之構成，但於本實驗(後述之圖 15 之實驗也同樣)中，其目的旨在為了測量 SiC 晶圓表面之硬度，因此於機械研磨後進行 Si 蒸氣壓蝕刻。

作為硬度之測量方法，使用公知之奈米壓印方法。具體而言，藉由對測量對象之 2 個 SiC 晶圓施加 500mN 之負荷，將壓入量設定為 1 $\mu\text{m}$  左右。亦即，於本次之測量中，測量出 SiC 晶圓之表面之硬度。然後，藉由求出負荷/接觸投影面積，算出硬度[GPa]。圖 14 顯示進行複數次該測量之結果之威布爾分佈。

圖 14 顯示 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓較化學機械研

磨後之 SiC 晶圓硬之情形。於本次之實驗結果中，祇限於進行了 Si 蒸氣壓蝕刻之情況，硬度才成為 27GPa 以上(換言之，至少一部分之硬度為 27GPa 以上)。當然，27.5GPa、28GPa 以上的硬度者，也唯有進行了 Si 蒸氣壓蝕刻之 SiC 晶圓才能做到。此外，根據其他之觀點進行說明，若對此概率分佈中成為 50%時之硬度進行比較，則相對於化學機械研磨後之 SiC 晶圓約為 26GPa，而 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓約為 28GPa。如此，藉由進行 Si 蒸氣壓蝕刻，可使在概率分佈中成為 50%時之硬度較 26GPa 大(更具體為 26GPa、27GPa、27.5GPa 以上)。

如此，藉由使用 Si 蒸氣壓蝕刻，與使用化學機械研磨之情況比較，可製造硬度高之 SiC 晶圓。藉此，即使於如本實施形態將厚度減小至 100 $\mu$ m 以下之情況下，也可使 SiC 晶圓維持充分之強度。作為此種之硬度變高之理由，可認為是因為進行 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓之結晶缺陷較進行化學機械研磨後之 SiC 晶圓少。此外，根據申請人等之實驗，證明了進行 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓的硬度係較進行氫蝕刻後之 SiC 晶圓之硬度高。並且，根據申請人等之實驗，證明了在抗彎強度方面，Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓較機械研磨後之 SiC 晶圓高。

其次，參照圖 15，對在以下之狀態下、即於上述 2 種類之 SiC 晶圓上再形成磊晶層之狀態下，同樣以奈米壓印方法測量硬度之結果進行說明。圖 15 為顯示藉由奈米壓印方法對在進行機械研磨且進行化學機械研磨之後形成

磊晶層之 SiC 晶圓、及進行機械研磨且進行 Si 蒸氣壓蝕刻之後形成磊晶層之 SiC 晶圓進行硬度測量之結果之威布爾分佈之圖。

於本實施形態之方法中，由於測量出表面約  $1\mu\text{m}$  之硬度，因此可判斷為圖 15 之測量結果顯示磊晶層之硬度。圖 15 顯示 Si 蒸氣壓蝕刻後形成之磊晶層，較化學機械研磨後形成之磊晶層硬之情況。於本次之實驗結果中，祇限於 Si 蒸氣壓蝕刻後形成之磊晶層，其硬度才成為 29.5GPa 以上(換言之，至少一部分之硬度為 29.5GPa)。當然，30GPa、30.5Pa 以上的硬度者，也唯有 Si 蒸氣壓蝕刻後之磊晶層才能做到。此外，根據其他之觀點進行說明，若對在此概率分佈中成為 50%時之硬度進行比較，則相對於化學機械研磨後形成之磊晶層約為 28GPa，而 Si 蒸氣壓蝕刻後形成之磊晶層約為 29.5GPa。如此，藉由進行 Si 蒸氣壓蝕刻，可使在概率分佈中成為 50%時之硬度較 28GPa 大(更具體為 28.5GPa、29GPa、29.5GPa 以上)。

作為如此地於磊晶層也產生硬度差異之理由，可認為是因為進行 Si 蒸氣壓蝕刻後之 SiC 晶圓的結晶缺陷較進行化學機械研磨後之 SiC 晶圓少，因而傳播於磊晶層之結晶缺陷之數量也變少之緣由。

如以上說明，於本實施形態之薄型 SiC 晶圓 40 之製造方法中，包含有一薄化步驟，其藉由對自晶錠 4 切取後之 SiC 晶圓 40 進行 Si 蒸氣壓蝕刻，將厚度減小至  $100\mu\text{m}$  以下。

藉此，於 Si 蒸氣壓蝕刻下不會在蝕刻時對 SiC 晶圓 40 產生加工損傷及應力，因而即使將 SiC 晶圓薄化加工至  $100\mu\text{m}$  以下，也不會產生發絲狀裂紋等。此外，藉由進行 Si 蒸氣壓蝕刻，可將表面以分子級加以平整，因而變得不需要研磨步驟。並且，由於 Si 蒸氣壓蝕刻還可以高速進行，因此即是於大幅薄化加工 SiC 晶圓之情況下，仍可在短時間內進行薄化步驟。

以上，對本發明之較適實施形態及變形例進行了說明，但上述構成譬如可變更如下。

圖 3 等中說明之製造步驟，係一例而已，也可更換步驟之順序、或省略一部分之步驟、或追加其他之步驟。此外，於上述實施形態及變形例中，薄化步驟係僅藉由 Si 蒸氣壓蝕刻而進行，但也可取代此，藉由機械研削及 Si 蒸氣壓蝕刻進行薄化步驟。該情況下，藉由先進行機械研削，然後進行 Si 蒸氣壓蝕刻，可去除切割時及機械研削時產生之加工損傷，因此可製造具有與上述實施形態等之 SiC 晶圓 40 同樣強度之 SiC 晶圓。再者，為了去除加工損傷，較佳為，使用 Si 蒸氣壓蝕刻自 SiC 晶圓表面蝕刻至少  $20\mu\text{m}$ (更佳為至少  $50\mu\text{m}$ )。

上述說明之溫度條件及壓力條件等，係一例而已，也可適宜地進行變更。此外，也可使用上述高溫真空爐 10 以外之加熱裝置、或使用多晶 SiC 晶圓 40、或使用與坩堝 30 不同之形狀或材料之容器。譬如，收容容器之外形不限於圓柱狀，也可為立方體狀或長方體狀。

【符號說明】

4：晶錠

10：高溫真空爐

30：坩堝

40：SiC 晶圓

41：刻印

## 申請專利範圍

1. 一種薄型 SiC 晶圓之製造方法，其特徵在於包含：

薄化步驟，其藉由進行利用在 Si 蒸氣壓下對自晶錠切取後的 SiC 晶圓進行加熱而蝕刻表面之 Si 蒸氣壓蝕刻，將厚度減小至 100 $\mu$ m 以下。

2. 如請求項 1 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，對被自上述晶錠切取後且未進行用以調整上述 SiC 晶圓的厚度之機械研削之上述 SiC 晶圓，進行上述 Si 蒸氣壓蝕刻。

3. 如請求項 1 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，一面去除自上述晶錠切割時而形成的上述 SiC 晶圓之表面粗糙部分，一面減小該 SiC 晶圓之厚度。

4. 如請求項 1 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，將上述 SiC 晶圓之厚度去除 100 $\mu$ m 以上。

5. 如請求項 1 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，至少進行被處理面之蝕刻速度為 500nm/min 以上之 Si 蒸氣壓蝕刻。

6. 如請求項 1 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於將上述 SiC 晶圓之表面中的用以形成磊晶層之表面作為主面時，

於上述薄化步驟中，對上述 SiC 晶圓之主面及該主面

之背面的兩者進行蝕刻。

7. 如請求項 1 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，對藉由依規定的形狀將表面去除而形成有顯示資訊之刻印之上述 SiC 晶圓，進行上述 Si 蒸氣壓蝕刻。

8. 如請求項 7 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟前進行刻印形成步驟，該刻印形成步驟係於上述 SiC 晶圓形成上述刻印。

9. 如請求項 1 至 8 項中任一項之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，以使蝕刻量根據上述 SiC 晶圓之位置而不同之方式進行上述 Si 蒸氣壓蝕刻。

10. 如請求項 9 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，進行上述 Si 蒸氣壓蝕刻，以使上述 SiC 晶圓的外緣部之厚度較中央部之厚度厚、且上述中央部之厚度成為  $100\mu\text{m}$  以下。

11. 如請求項 9 之薄型 SiC 晶圓之製造方法，其中，於上述薄化步驟中，將上述 SiC 晶圓之厚度減小，並進行上述 SiC 晶圓之倒角。

12. 一種薄型 SiC 晶圓之製造方法，其特徵在於包含：

薄化步驟，其在對自晶錠切取後之 SiC 晶圓進行機械研削而將厚度減小之後，藉由進行利用在 Si 蒸氣壓下加熱而蝕刻表面之 Si 蒸氣壓蝕刻，進一步減小厚度，進而將厚度減小至  $100\mu\text{m}$  以下。

13. 一種 SiC 晶圓，係薄型之 SiC 晶圓，其特徵在於：

藉由依規定之形狀去除表面而形成有顯示資訊之刻印，且

厚度為  $100\mu\text{m}$  以下。

14. 如請求項 13 之 SiC 晶圓，其中，該 SiC 晶圓係形成磊晶層之前的晶圓，並且，

包含有硬度為  $27\text{GPa}$  以上之部分，該硬度係使用奈米壓印方法，且在將負荷設為  $500\text{mN}$  或壓入量設為  $1\mu\text{m}$  之條件下測量表面而得。

15. 如請求項 13 之 SiC 晶圓，其中，該 SiC 晶圓係於表面形成有磊晶層，並且，

包含有硬度為  $29.5\text{GPa}$  以上之部分，該硬度係使用奈米壓印方法，且在將負荷設為  $500\text{mN}$  或壓入量設為  $1\mu\text{m}$  之條件下測量磊晶層的表面而得。

16. 如請求項 13 之 SiC 晶圓，其中，該 SiC 晶圓係形成磊晶層之前的晶圓，並且，

使用奈米壓印方法，且在將負荷設為  $500\text{mN}$  或壓入量設為  $1\mu\text{m}$  之條件下測量表面而得之硬度，係較進行化學機械研磨之後的 SiC 晶圓高。

17. 如請求項 13 之 SiC 晶圓，其中，包含中央部及外緣部，且上述外緣部之厚度係較上述中央部之厚度厚。

圖式

圖 1

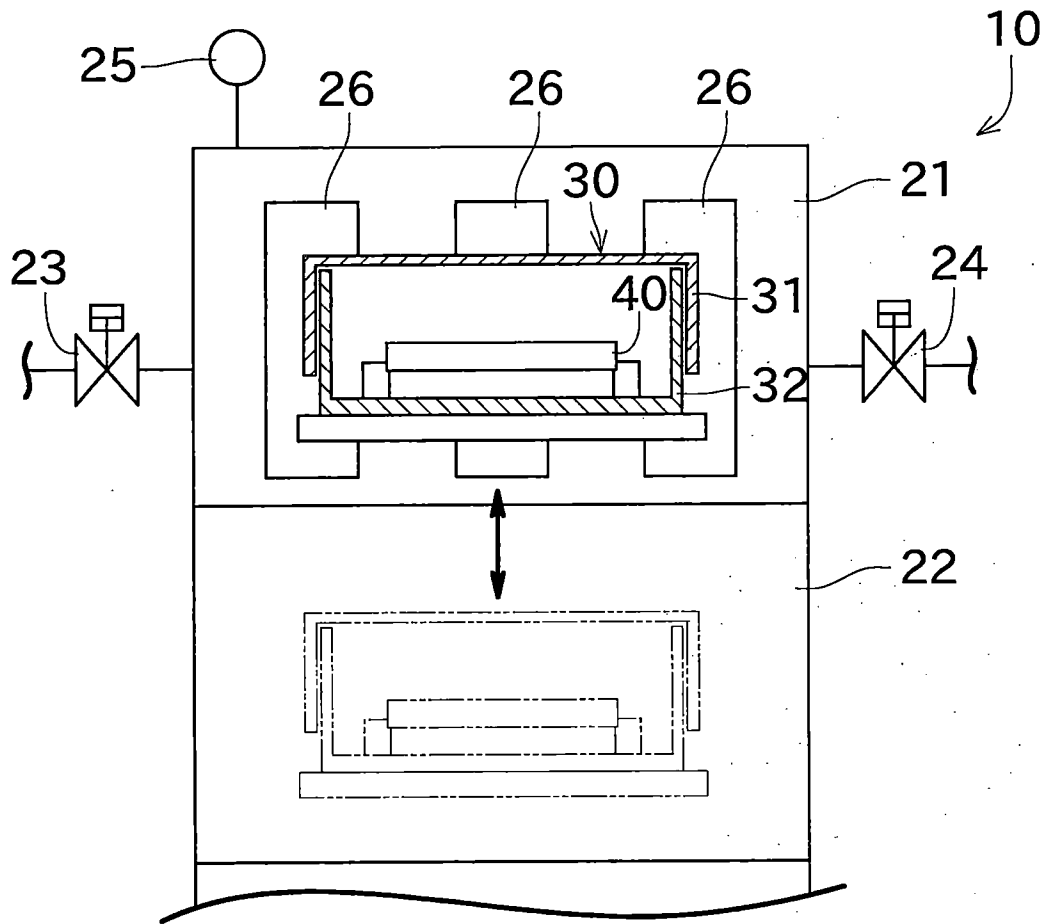


圖 2

先前例

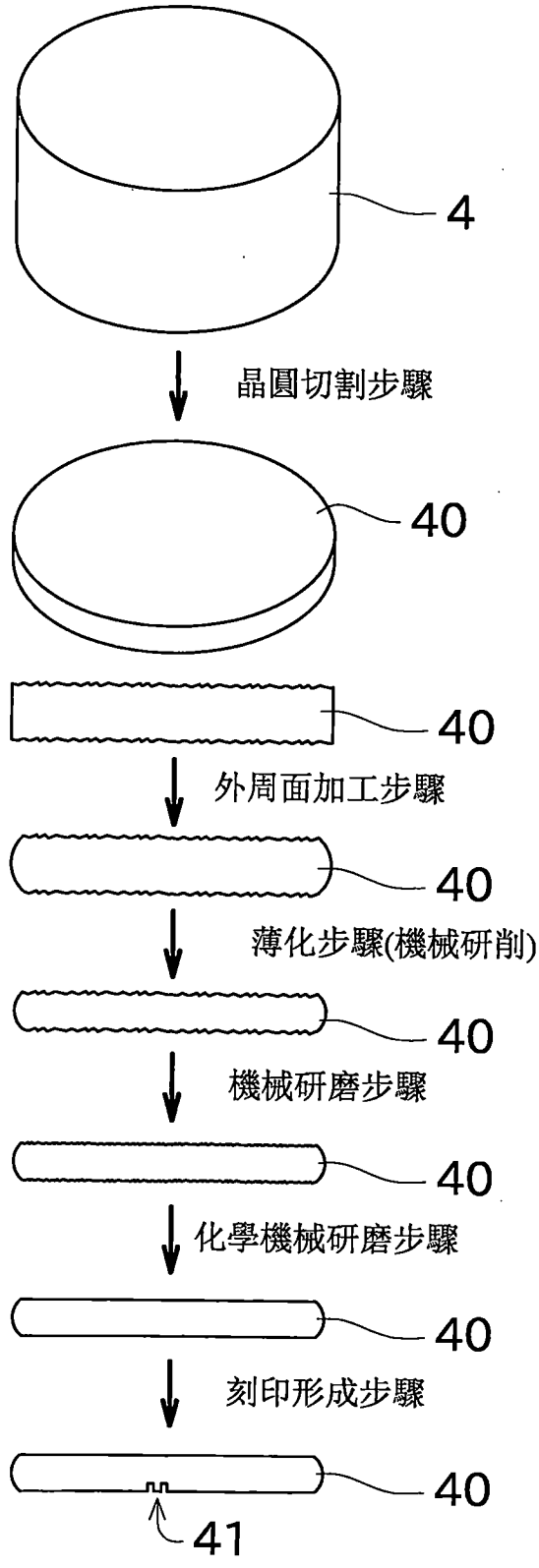


圖 3

本實施形態

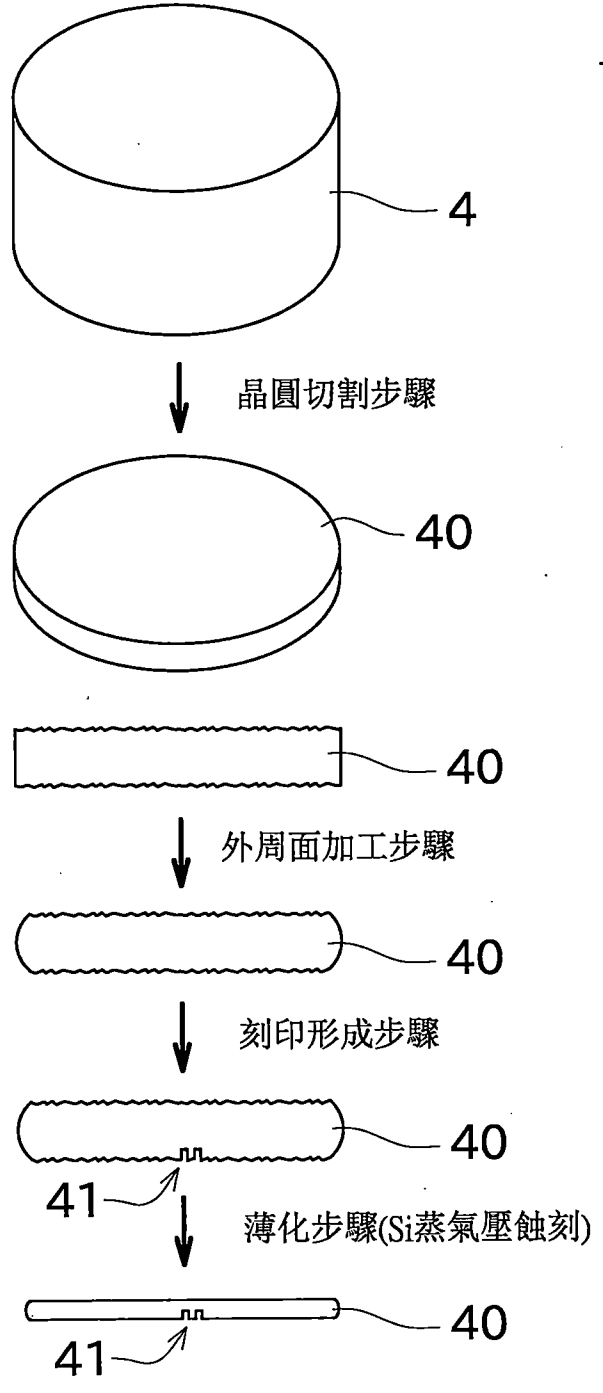


圖 4

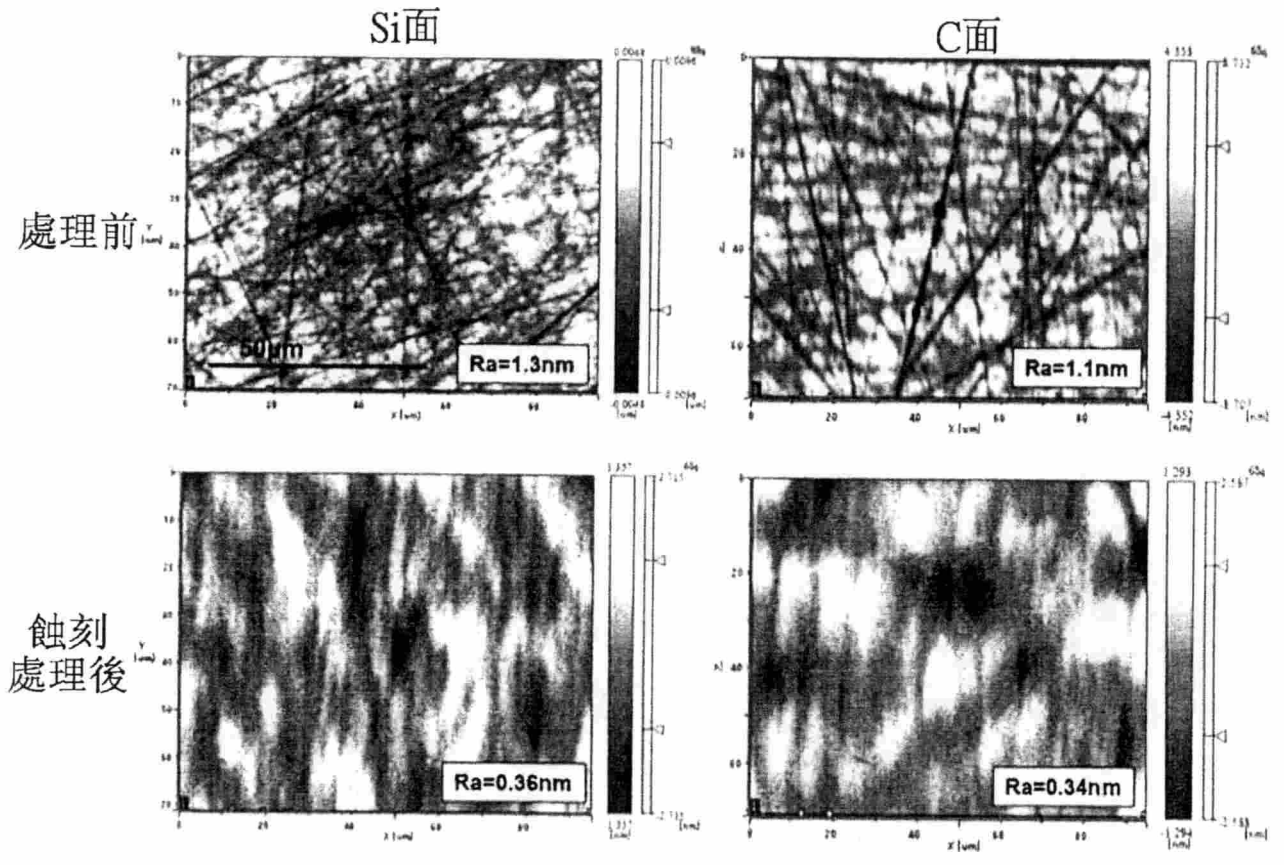


圖 5

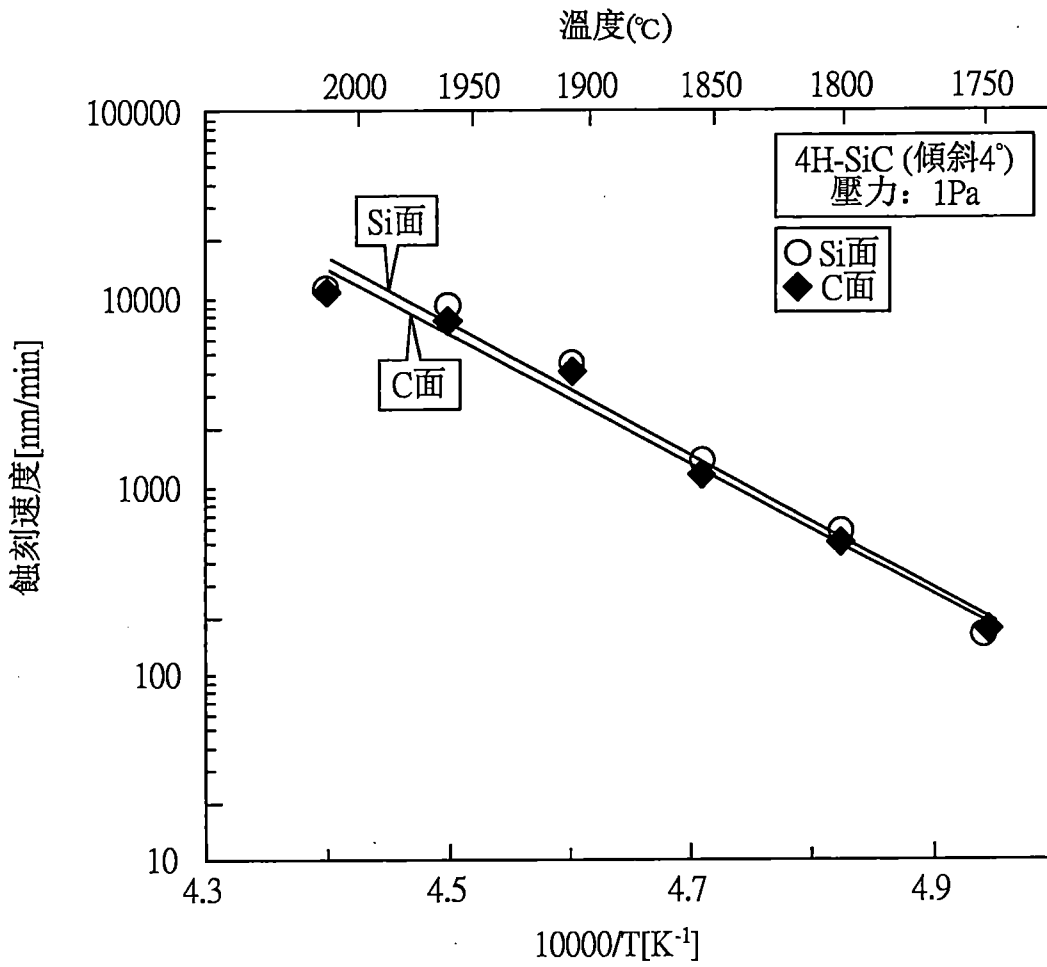


圖 6

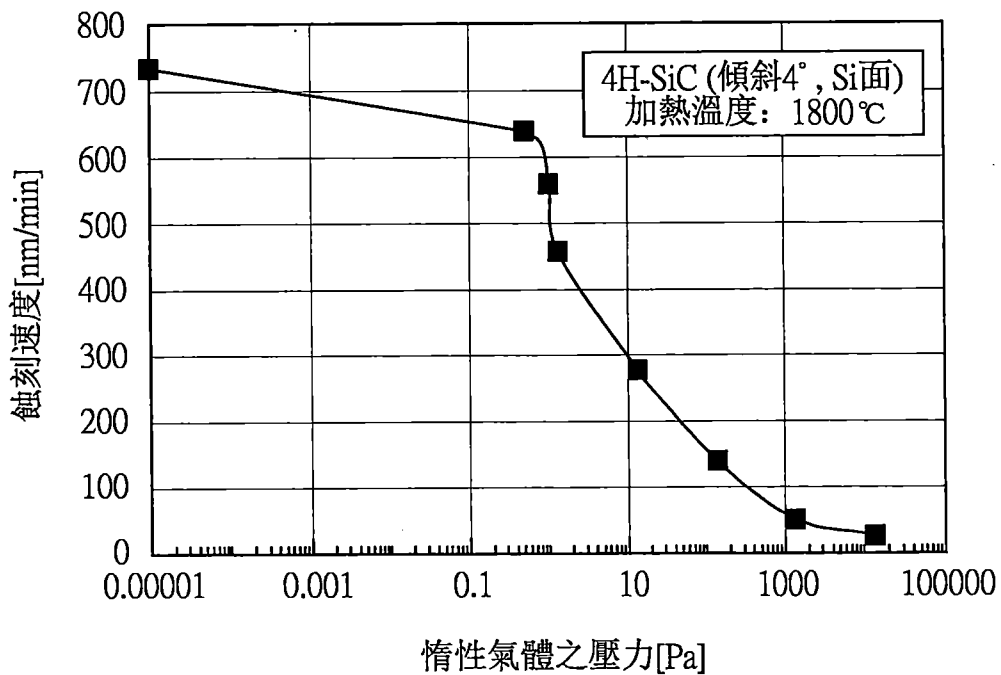
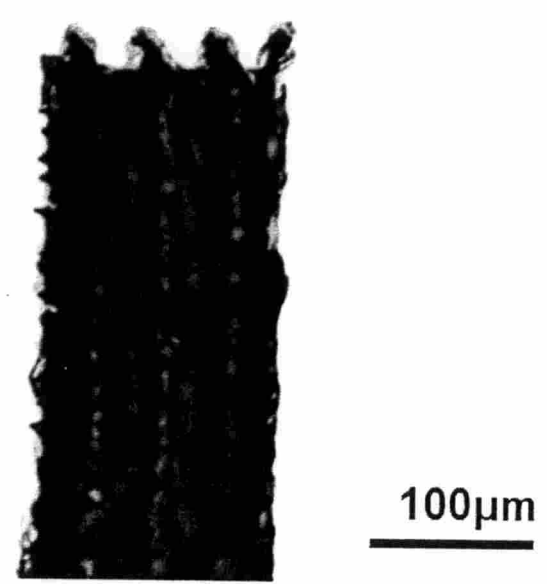


圖 7

(a)



(b)

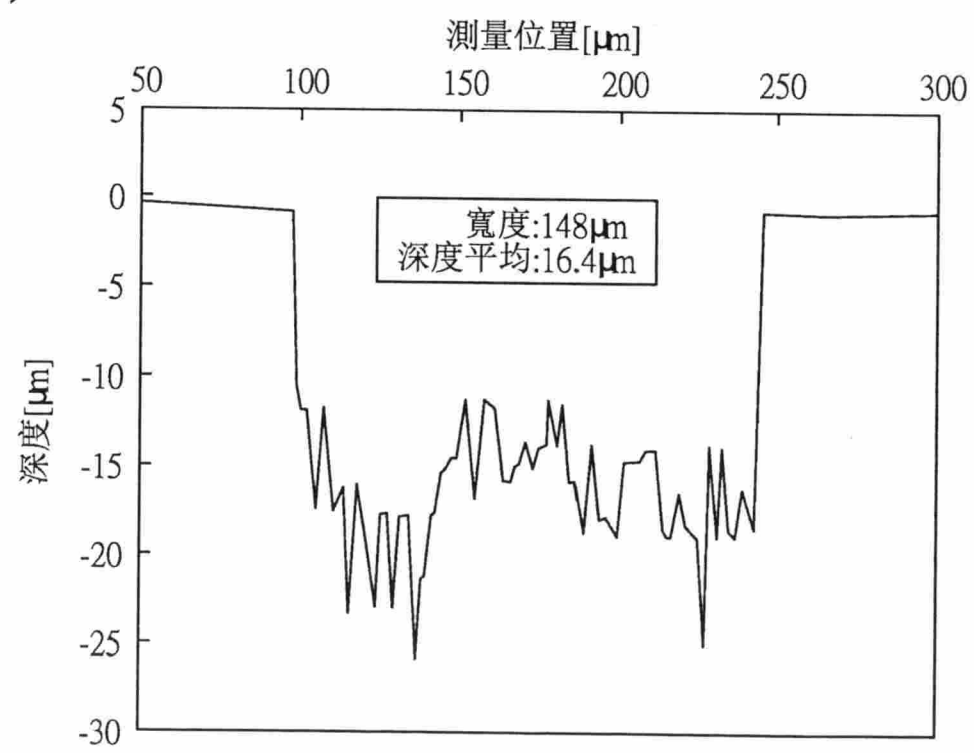
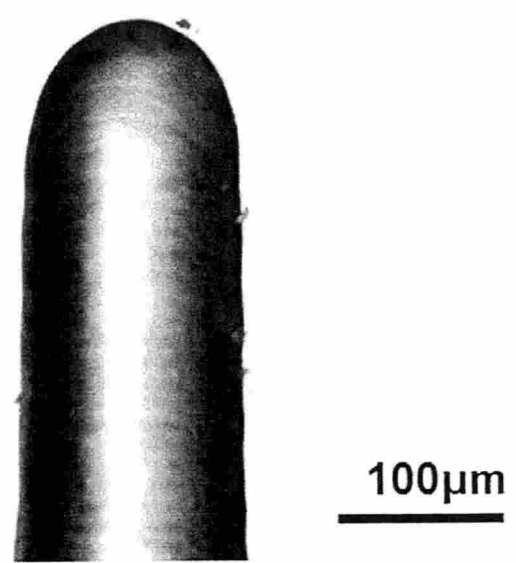


圖 8

(a)



(b)

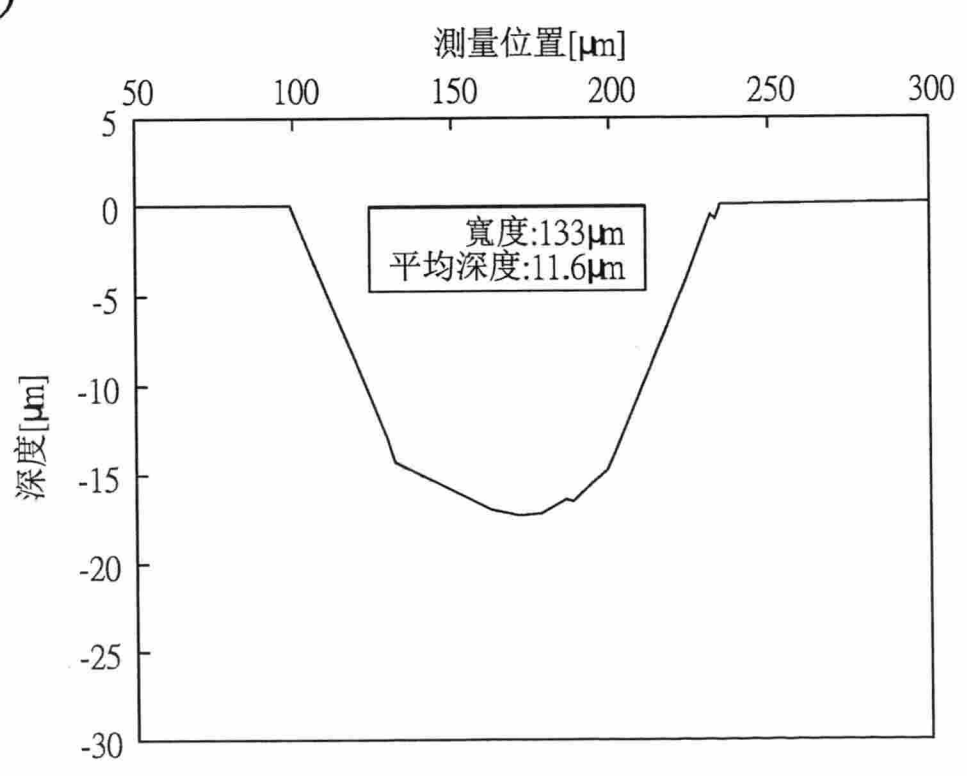


圖 9

第1變形例

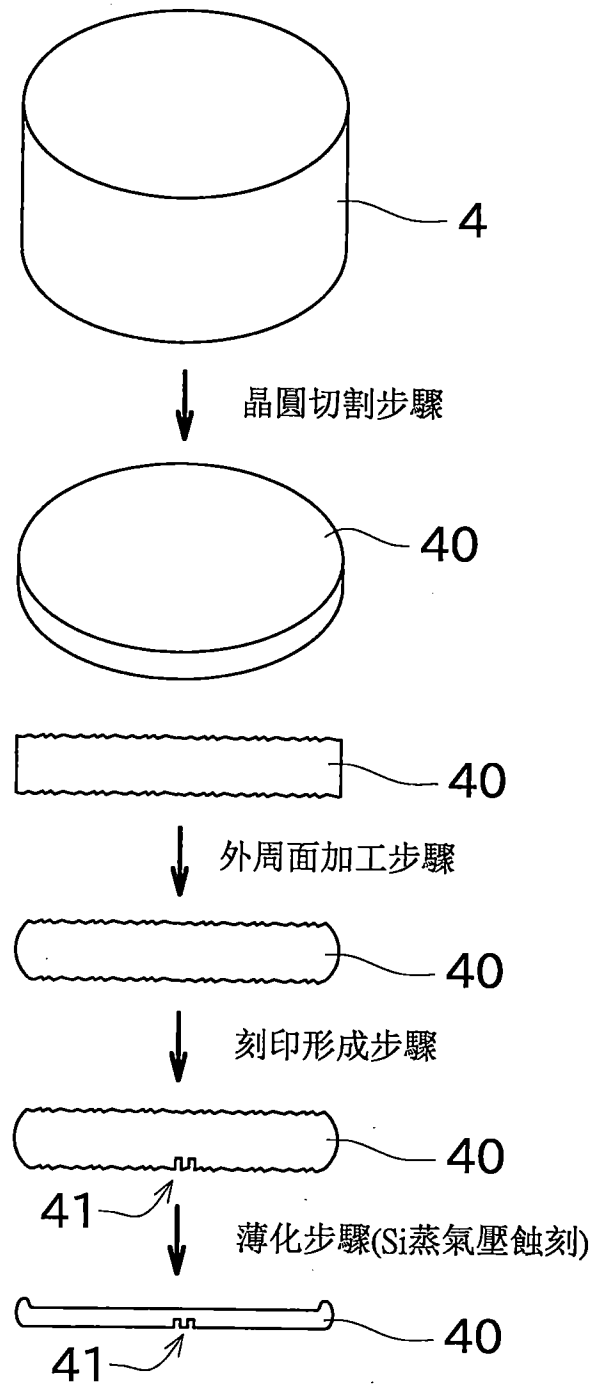


圖 10

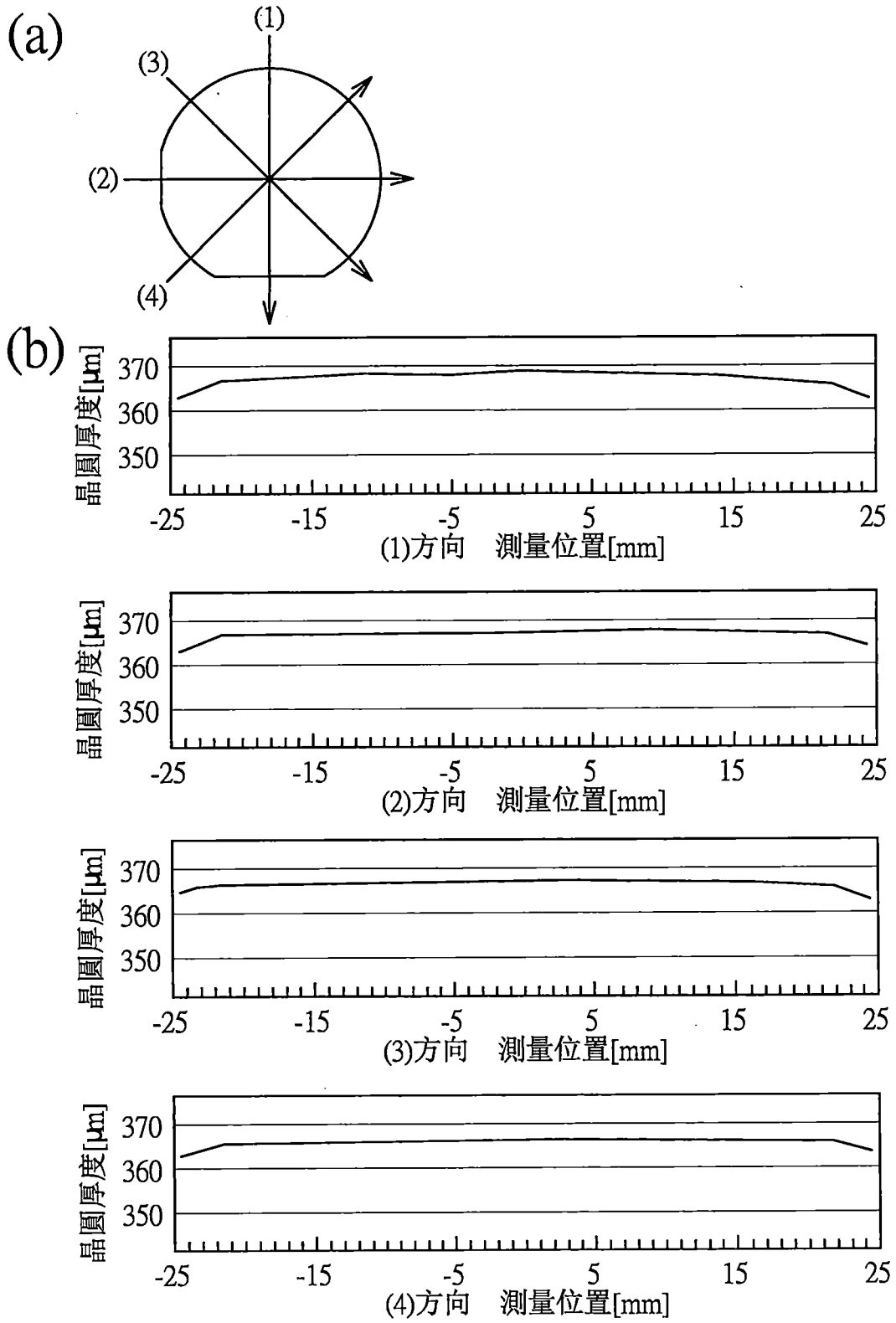


圖 11

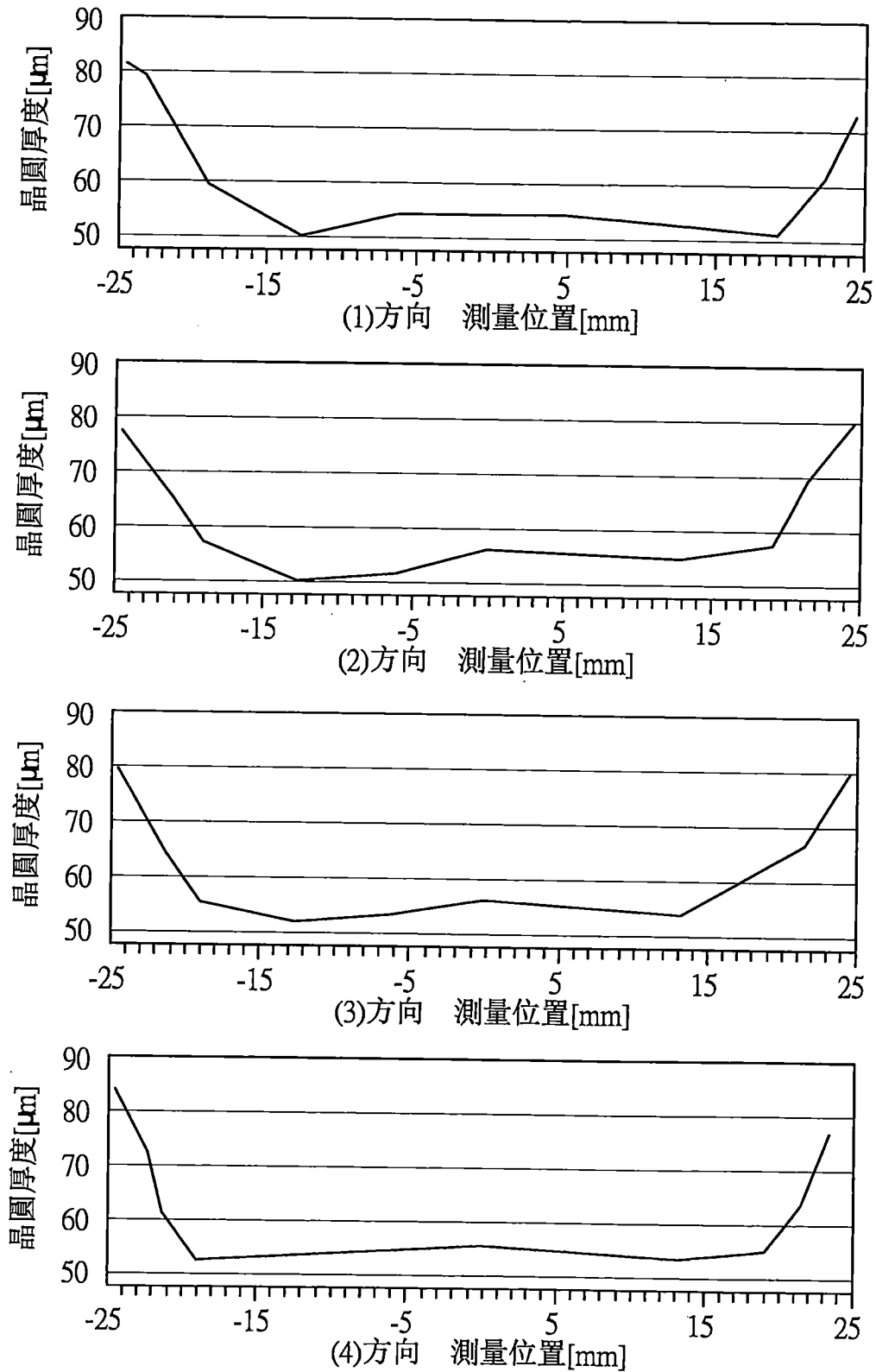


圖 12

第2變形例

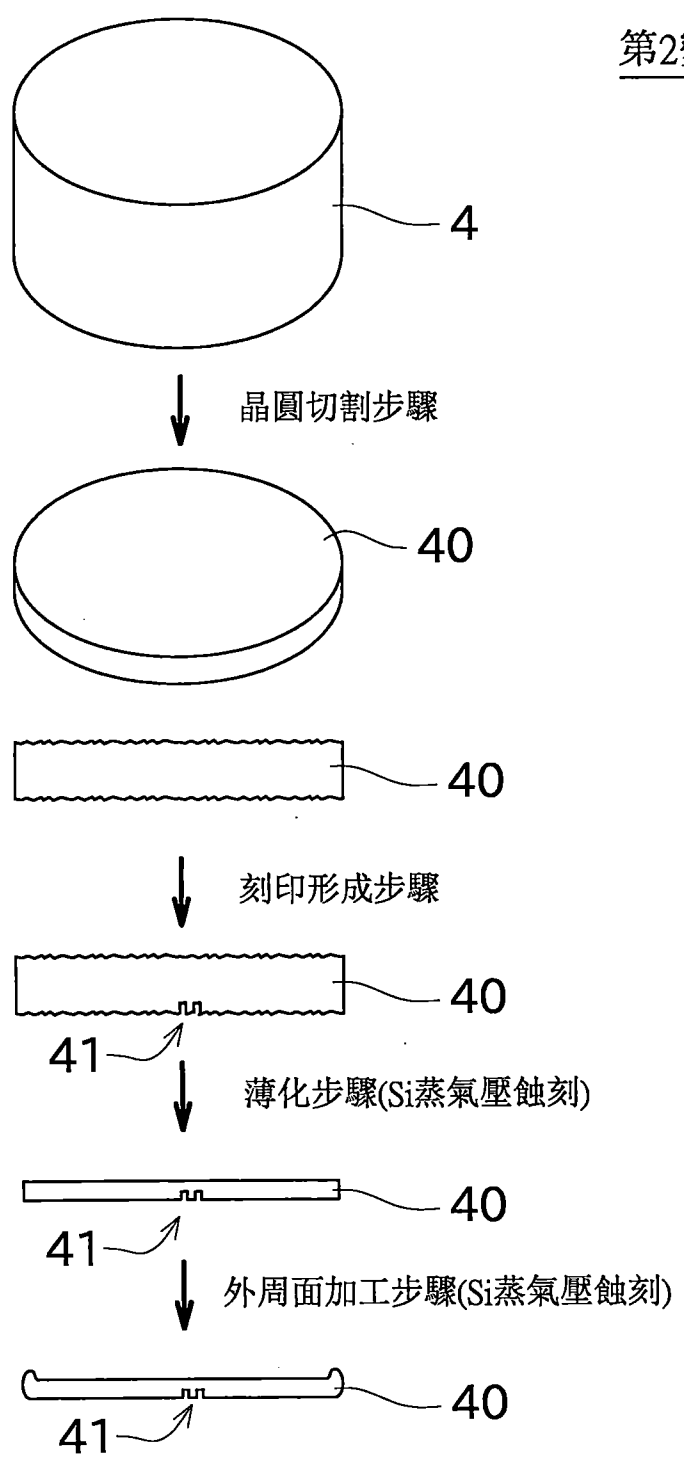


圖 13

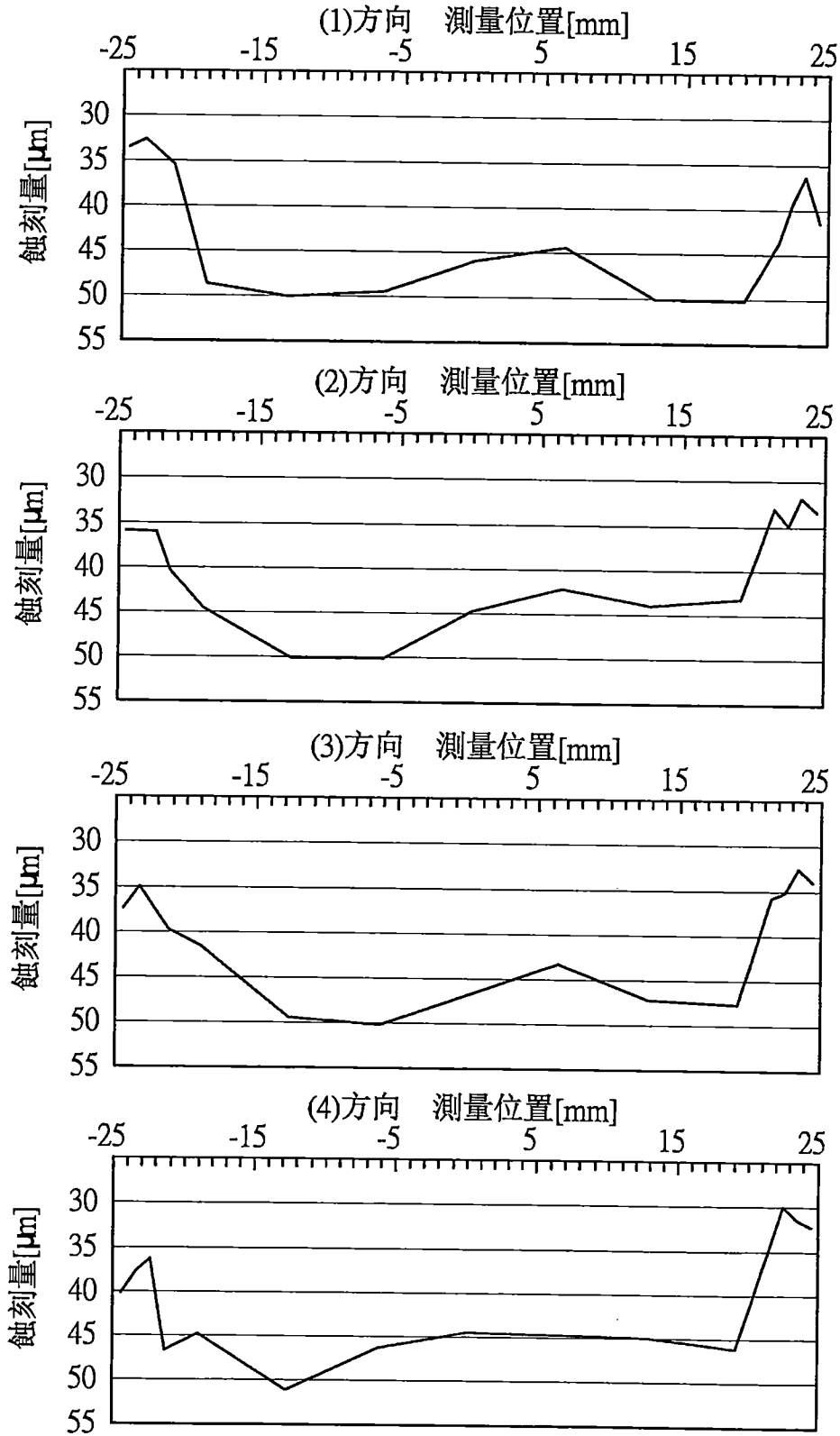


圖 14

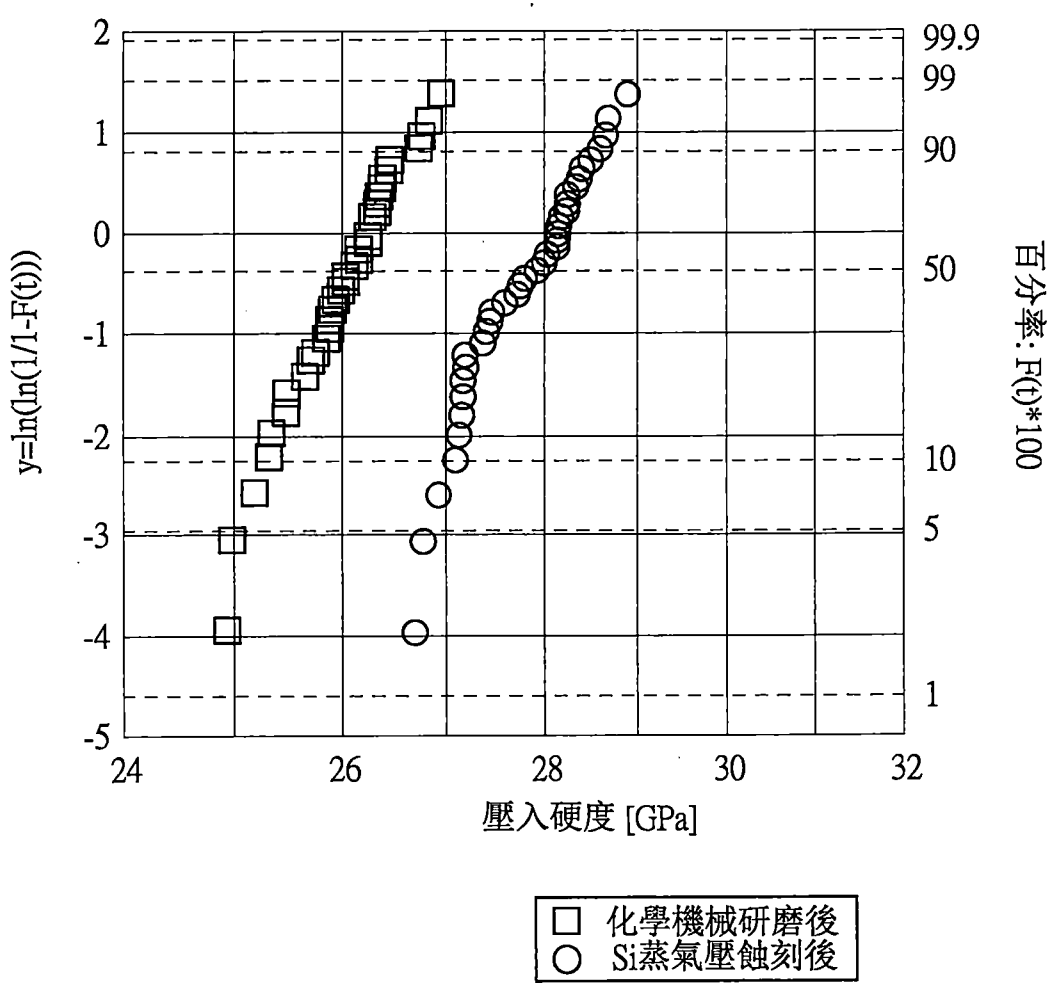


圖 15

