



(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 I801586 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 05 月 11 日

(21)申請案號：108117522

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 05 月 21 日

(51)Int. Cl. : H01L21/64 (2006.01)

H01L21/66 (2006.01)

H01L21/324 (2006.01)

(30)優先權：2018/06/12 日本

2018-112062

(71)申請人：日商信越半導體股份有限公司 (日本) SHIN-ETSU HANDOTAI CO., LTD. (JP)
日本

(72)發明人：竹野博 TAKENO, HIROSHI (JP)

(74)代理人：林志青

(56)參考文獻：

JP 2015-23062A

JP 2015-156420A

JP 2015-198166A

審查人員：許勝宗

申請專利範圍項數：9 項 圖式數：7 共 26 頁

(54)名稱

單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法

(57)摘要

本發明提供一種單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，包含準備步驟、粒子束照射步驟及粒子束照射步驟後的熱處理步驟，在進行準備步驟之前，預先進行將粒子束照射至試驗用單晶矽基板後熱處理而測量產生的缺陷密度的測量步驟以及取得經測量的缺陷密度與氮濃度間相關關係的相關關係取得步驟，基於經取得的相關關係，以熱處理步驟後的單晶矽基板中的缺陷密度為目標值的方式調整準備步驟中準備的單晶矽基板氮濃度，藉此在以粒子束照射及熱處理控制缺陷密度的裝置的製造步驟中，能縮小因單晶矽基板的缺陷密度參差，能夠以高精密度控制缺陷密度。

指定代表圖：

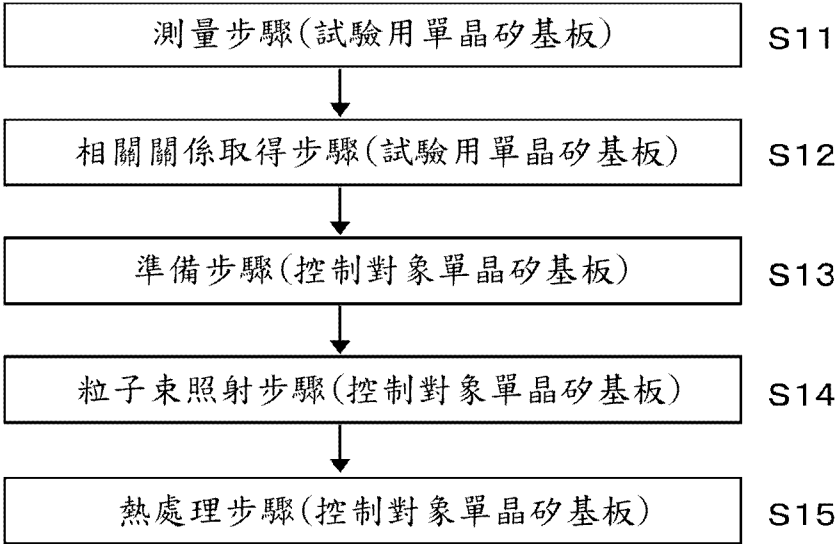


圖 1



I801586

【發明摘要】

【中文發明名稱】 單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法

【中文】

本發明提供一種單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，包含準備步驟、粒子束照射步驟及粒子束照射步驟後的熱處理步驟，在進行準備步驟之前，預先進行將粒子束照射至試驗用單晶矽基板後熱處理而測量產生的缺陷密度的測量步驟以及取得經測量的缺陷密度與氮濃度間相關關係的相關關係取得步驟，基於經取得的相關關係，以熱處理步驟後的單晶矽基板中的缺陷密度為目標值的方式調整準備步驟中準備的單晶矽基板氮濃度，藉此在以粒子束照射及熱處理控制缺陷密度的裝置的製造步驟中，能縮小因單晶矽基板的缺陷密度參差，能夠以高精密度控制缺陷密度。

【指定代表圖】 圖1

【發明說明書】

【中文發明名稱】 單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法。

【先前技術】

【0002】 在使用單晶矽基板的半導體元件的製造步驟中，會頻繁地進行粒子束照射及熱處理。例如電晶體的源極/汲極的形成步驟中，離子注入高濃度的摻雜物，藉由之後的熱處理，在使摻雜物活性化的同時，使因離子注入而產生的損傷回復。此外，控制功率裝置中過剩載子的再結合生命週期的步驟中，藉由電子束或質子等的粒子束照射，將成為載子的再結合中心的缺陷刻意地導入，藉由之後的熱處理進行再結合生命週期的調整。

【0003】 一旦對著單晶矽基板照射高能量的粒子束，晶格位置的矽原子會被彈出，會生成晶格間矽（I）及係為空殼的空孔（V）。過量生成的I及V在單獨存在時會不穩定，因此會再結合（ $V+I \rightarrow O$ ），或者是I彼此、V彼此之間叢集，或與單晶矽基板中所含的輕元素雜質反應而形成複合體。接著，I及V的叢集或I及V與輕元素雜質的複合體會在矽的能帶隙中形成深能階，作為載子的再結合中心或發生中心而運作。這些再結合中心或發生中心會使裝置特性劣化的場合，會希望盡量降低輕元素複合體的密度。

【0004】 另一方面，IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor，絕緣閘雙極電晶體）或二極體等的功率裝置中，藉由粒子束照射及熱處理，將成為載子的再結合中心的缺陷故意地導入至單晶矽基板中，控制縮短載子的再結合生命週期，

藉此將切換速度予以高速化，最終使得切換損失減少的技術過往就一直被使用（專利文獻1~4）。由於在此場合，藉由粒子束照射使複數種的成為再結合中心的缺陷在室溫附近被導入而其中也存在熱不穩定的缺陷種類，故藉由利用在粒子束照射後實施熱處理而使熱不穩定的缺陷消滅，並調整缺陷密度，以能夠得到再結合生命週期的期望的數值。

【0005】然而，即使讓粒子束照射的條件或粒子束照射後的熱處理的條件為相同，仍有裝置特性參差的問題（非專利文獻1~4）。作為裝置特性的參差的重要因素，被懷疑是矽基板本身所包含的某種物質，特別擔心的是碳及氧的雜質的影響。

【0006】非專利文件1中指出，即使是進行一樣的再結合生命週期控制的場合，也會在切換損失發生晶圓相依的問題，由於藉由電子束照射而生成的主要缺陷（CsI、CiCs或CiOi）之中，僅CiOi對活性化能量有晶圓相依性，在氧濃度高的場合活性化能量會有變高的傾向，故一般認為氧雜質係成為晶圓相依的重要因素（惟Cs：置換型碳、Ci：晶格間型碳、Oi：晶格間型氧、I：晶格間矽）。此外，非專利文獻2及非專利文獻3中，電子束照射後以 $350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 熱處理的場合，顯示IGBT的ON電壓的 $V_{ce(sat)}$ 與光致發光法所測量的來自CiOi的C射線發光強度具有相關。此外，非專利文獻4中記載，FWD（Free Wheeling Diode）的回復特性的改善中，如He照射般以與施體濃度同等以上而將結晶缺陷局部地導入的場合，作為正孔陷阱運作的CiOi的密度控制係為重要，從而碳濃度控制係為重要。在這樣的場合，有必要盡可能以沒有參差的方式控制輕元素複合體的密度。

〔先前技術文獻〕

〔專利文獻〕

【0007】

〔專利文獻1〕日本特開平11-135509號公報

〔專利文獻2〕日本特開2000-200792號公報

〔專利文獻3〕日本國際公開第2013/100155號

〔專利文獻4〕日本國際公開第2007/055352號

〔非專利文獻〕

【0008】

〔非專利文獻1〕清井等人，第61屆應用物理學會春季學術演講會，演講預稿集，19p-F9-14.

〔非專利文獻2〕湊等人，第4屆功率裝置用矽及關於關連半導體材料研討會 p. 77.

〔非專利文獻3〕K. Takano et al., Proceeding of the 27th International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC' s, 2015, p.129.

〔非專利文獻4〕杉山等人，第4屆功率裝置用矽及關於關連半導體材料研討會 p. 71.

【發明內容】**【0009】**

〔發明所欲解決之問題〕

如前述般，為了提升裝置特性，有必要更嚴格地控制藉由粒子束照射及熱處理所形成的輕元素複合體的密度。

【0010】雖然一般認為，若粒子束照射的條件或粒子束照射後的熱處理的條件相同，藉由粒子束照射及熱處理所形成的輕元素複合體的密度係能夠藉由控制作為輕元素複合體的構成元素的碳及氧的濃度來控制，但實際上並不一定是

如此，還是會有即使碳濃度及氧濃度相同，輕元素複合體的密度仍舊參差不齊的情形問題。

【0011】有鑑於上述問題點，本發明的目的在於提供一種單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，在藉由粒子束照射及熱處理而控制缺陷密度的裝置的製造步驟中，能夠縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差，能夠以高精密度控制缺陷密度。

【0012】為了達成上述目的，本發明提供一種單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，係包含下列步驟：一準備步驟，將待控制缺陷密度的單晶矽基板予以準備；一粒子束照射步驟，將粒子束照射至經準備的該單晶矽基板；以及一熱處理步驟，在該粒子束照射步驟後的該單晶矽基板實施熱處理，其中，該單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法在進行該準備步驟之前，預先包含下列步驟：一測量步驟，將該粒子束照射至氮濃度相異的複數個試驗用單晶矽基板後，進行熱處理，而測量複數個該試驗用單晶矽基板中產生的缺陷密度；以及一相關關係取得步驟，取得經測量的該缺陷密度與該氮濃度之間的相關關係，基於經取得的該相關關係，以該熱處理步驟後的該單晶矽基板中的缺陷密度成為目標值的方式，調整該準備步驟中準備的該單晶矽基板的氮濃度。

【0013】如此基於預先自試驗用單晶矽基板所得到的熱處理步驟後的單晶矽基板中的缺陷密度與氮濃度之間的相關關係，藉由調整單晶矽基板的氮濃度來控制缺陷密度的話，就能夠縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。

【0014】此外，這時作為待控制該缺陷密度的對象的缺陷，係碳或含有碳及氧的複合體為佳。

【0015】單晶矽基板在結晶培養時，碳及氧會作為雜質而混入。在這樣的單晶矽基板中，基於熱處理步驟後的碳或含有碳及氧的複合體的濃度與氮濃度之間的相關關係，藉由調整單晶矽基板的氮濃度來控制缺陷密度的話，就能夠縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。

【0016】此外，於該測量步驟中，作為測量該缺陷密度的方法，係使用陰極射線發光或是光致發光法為佳。

【0017】由於陰極射線發光法或是光致發光法中，能夠觀察來自碳或者是包含碳及氧的複合體的發光射線的G射線或C射線，故作為測量碳或包含碳及氧的複合體的濃度的方法，能夠適宜地使用陰極射線發光法或光致發光法。

【0018】此外，準備的該單晶矽基板係自藉由浮區法（FZ法）培養的氮添加的單晶矽所製造之物為佳。

【0019】FZ單晶矽基板中，為了結晶培養時被導入的結晶缺陷的減少及晶圓強度的提升，結晶培養時經常會添加氮。導入至所培養的單晶的氮的濃度，能夠藉由結晶培養時的氛圍氣體的調整來控制。這樣的FZ單晶矽基板中，基於熱處理步驟後的單晶矽基板中的缺陷密度與氮濃度之間的相關關係，藉由調整單晶矽基板的氮濃度來控制缺陷密度的話，就能夠進一步縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。

【0020】此外，該準備步驟中，準備氮濃度的參差調整至相對於目標的氮濃度值的10%以內的單晶矽基板為佳。

【0021】若這樣地讓氮濃度的參差為10%以內的話，就能夠進一步縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。

〔對照先前技術之功效〕

【0022】若為本發明的單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，由於能夠藉由調整單晶矽基板的氮濃度，而以高精密度控制缺陷密度，故能夠縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。此外，由於本發明在控制氮添加FZ單晶矽基板中的缺陷密度的場合，能夠以高精密度控制缺陷密度，故特別合適於將氮添加FZ單晶矽基板用於功率裝置之際。

【圖式簡單說明】

【0023】

圖1係表示本發明的單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法的流程圖。

圖2係表示實驗例中藉由氧濃度約0.2 ppma的場合的陰極射線發光法所測量的發光光譜的範例的圖。

圖3係表示實驗例中藉由氧濃度未達0.1 ppma的場合的陰極射線發光法所測量的發光光譜的範例的圖。

圖4係表示氧濃度未達0.1 ppma的場合的G射線強度與氮濃度之間的關係的圖。

圖5係表示氧濃度未達0.1 ppma的場合的C射線強度與氮濃度之間的關係的圖。

圖6係表示氧濃度0.1~0.3 ppma的場合的G射線強度與氮濃度之間的關係的圖。

圖7係表示氧濃度0.1~0.3 ppma的場合的C射線強度與氮濃度之間的關係的圖。

【實施方式】

【0024】以下針對本發明的實施型態進行說明，然而本發明不限於此。

【0025】如上述般，過去技術是藉由調整粒子束照射的條件與粒子束照射後的熱處理的條件來控制單晶矽基板中的缺陷密度，在此場合，會有起因於單晶矽基板的某些重要因素而讓缺陷密度的參差產生的問題。

【0026】本發明人反覆積極探討的結果，找出了對單晶矽基板實施粒子束照射及熱處理的場合的缺陷密度，即使在過去被認為是重要因素的碳濃度及氧濃度幾乎相同的場合，缺陷密度亦會參差不齊而強烈地相依於單晶矽基板的氮濃度，進而完成本發明。

【0027】換言之，本發明提供一種單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，係包含下列步驟：一準備步驟，將待控制缺陷密度的單晶矽基板予以準備；一粒子束照射步驟，將粒子束照射至經準備的該單晶矽基板；以及一熱處理步驟，在該粒子束照射步驟後的該單晶矽基板實施熱處理，其中，該單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法在進行該準備步驟之前，預先包含下列步驟：一測量步驟，將該粒子束照射至氮濃度相異的複數個試驗用單晶矽基板後，進行熱處理，而測量複數個該試驗用單晶矽基板中產生的缺陷密度；以及一相關關係取得步驟，取得經測量的該缺陷密度與該氮濃度之間的相關關係，基於經取得的該相關關係，以該熱處理步驟後的該單晶矽基板中的缺陷密度成為目標值的方式，調整該準備步驟中準備的該單晶矽基板的氮濃度。

【0028】以下參考圖1而說明本發明的單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法。

首先，準備複數個試驗用單晶矽基板。在此準備的複數個試驗用單晶矽基板係為各自的氮濃度相異之物。此外，氮濃度以外的條件則能夠與實際成為控制缺陷密度的對象的單晶矽基板（控制對象單晶矽基板）為相同條件。

【0029】此外，這時作為待控制缺陷密度的對象的缺陷，係碳或含有碳及氧的複合體為佳。單晶矽基板在結晶培養時，將碳及氧作為雜質混入。在這樣的單晶矽基板中，基於熱處理步驟後的碳或含有碳及氧的複合體的濃度與氮濃度

之間的相關關係而藉由調整單晶矽基板的氮濃度來控制缺陷密度的話，就能夠縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。

【0030】此外，準備這個試驗用單晶矽基板的方法，本發明中並無特別限制。例如能夠自單晶矽切出矽晶圓，為了去除切斷損傷而對矽晶圓進行化學性蝕刻處理後，藉由機械性化學性研磨來準備試驗用單晶矽基板。

【0031】其次，對複數個試驗用單晶矽基板照射粒子束後，進行熱處理，進行測量缺陷密度的測量步驟（圖1的S11）。另外，圖1的括弧內的單晶矽基板係表示個步驟中所處理的單晶矽基板。

這時，粒子束照射之前，亦可在單晶矽基板形成氧化膜等。

【0032】測量步驟中，雖然藉由粒子束照射而使缺陷產生，但粒子束照射的條件以配合作為對象的半導體裝置的製造過程的粒子束照射步驟（圖1的S14）中所使用的條件為佳。例如能夠以 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 的射線量且以0.5~2 MV的加速電壓照射作為粒子束的電子束。

【0033】此外，測量步驟中，雖然會實施粒子束照射後的熱處理（以下稱為回復熱處理），但回復熱處理的條件以配合作為對象的半導體裝置的製造過程的熱處理步驟（圖1的S15）中所使用的條件為佳。例如能夠為溫度300~400℃，時間10~60分，氛圍則為氮、氧或氬等。

【0034】此外，測量步驟中，測量複數個試驗用單晶矽基板中所發生的缺陷密度。作為缺陷密度的測量方法，使用陰極射線發光（CL）法或光致發光（PL）法為佳。

【0035】PL法是一種輕元素複合體的評估方法。PL法中，能夠偵測CiCs或CiOi的複合體，能夠自這些個發光強度測量複合體的相對密度。來自CiCs的發光光線被稱為G射線，來自CiOi的發光光線被稱為C射線。

【0036】PL法中，將藉由對半導體照射較能帶隙更高能量的光線（激發光）而產生的電子與正孔於再結合之際所放出的光線（發光）的強度予以測量。這個再結合受到了能帶隙中具有能階的雜質及晶格缺陷的影響，依照這些能階而讓發光能量產生變化。藉此能夠評估雜質及晶格缺陷。

【0037】作為測量發光的其他的方法，有CL法。CL法係為將藉由對試料照射電子束而產生的電子與正孔於再結合之際所放出的光線的強度予以測量。已知與PL法同樣地，CL法也會讓CiCs或CiOi的複合體被偵測出。

【0038】這樣的話，由於CL法或PL法能夠觀測來自碳或包含碳及氧的複合體的發光光線的G射線或C射線，故作為測量碳或包含碳及氧的複合體的濃度的方法，能夠適合地使用CL法或PL法。

【0039】其次，進行相關關係取得步驟（圖1的S12）。

相關關係取得步驟中，將測量步驟（圖1的S11）中測量的缺陷密度與複數個試驗用單晶矽基板的氮濃度予以相對應，因而取得缺陷密度與氮濃度之間的相關關係。

【0040】其次，基於經上述般取得的相關關係，以熱處理步驟後的單晶矽基板的缺陷密度成為目標值的方式，調整準備步驟中準備的單晶矽基板的氮濃度（圖1的S13）。

【0041】將準備的控制對象的單晶矽基板的氮濃度予以調整的方法，本發明中並無特別限制。例如能夠使用將單晶矽培養時的條件予以調整的方法等。例

如，若為FZ法，藉由調整單晶培養時的氛圍氣體中的氮濃度而能夠調整單晶矽中的氮濃度。若為CZ法或施加磁場的MCZ法，能夠以坩鍋內添加的矽氮化物的量來調整單晶矽中的氮濃度。此外，藉由在包含氮的氛圍下對單晶矽基板進行熱處理而能夠使單晶矽基板中的氮向內擴散來調整單晶矽基板的氮濃度。此外，藉由自單晶矽基板的表面離子注射氮而能夠調整單晶矽基板的氮濃度。

【0042】本發明中，準備的控制對象的單晶矽基板係為自藉由FZ法培養的氮添加的單晶矽所製造之物為佳。

本發明中，FZ單晶矽基板中，能夠基於熱處理步驟後的缺陷密度與氮濃度之間的相關關係，藉由將控制對象單晶矽基板的氮濃度予以調整來控制缺陷密度，能夠進一步縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。因此，能夠得到適用於功率裝置的FZ單晶矽基板。

【0043】此外，準備步驟中，準備氮濃度的參差調整至相對於目標的氮濃度值的10%以內的單晶矽基板為佳。若這樣地讓氮濃度的參差為10%以內的話（0%以上10%以內），就能夠進一步縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。

【0044】其次，對於準備的控制對象單晶矽基板進行粒子束照射步驟（圖1的S14）。

在此進行的粒子束照射的條件係以與測量步驟（圖1的S11）同樣的條件為佳。例如能夠以 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 的射線量且以0.5~2 MV的加速電壓照射電子束。

【0045】其次，對於經照射粒子束的控制對象單晶矽基板進行熱處理步驟（圖1的S15）。

在此進行的熱處理的條件係以與測量步驟（圖1的S11）同樣的條件為佳。例如能夠為溫度300~400℃，時間10~60分，氛圍則為氮、氧或氫等。

【0046】若為以上這樣的本發明的缺陷密度的控制方法，能夠以高精密度控制缺陷密度，能夠縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差。

【0047】本發明中，為了以高精密度控制缺陷密度並縮小起因於單晶矽基板的缺陷密度的參差，而使用上述般單晶矽基板的缺陷密度控制方法的理由，係根據以下的實驗所得到的知識。

【0048】

〔實驗例〕

準備具有不同氮濃度的複數個FZ單晶矽基板。複數個FZ單晶矽基板的參雜物種類、參雜物濃度、氧濃度、碳濃度、氮濃度、直徑及結晶面方位如下。

參雜物種類/濃度：磷/ $6.3 \times 10^{13} \sim 6.9 \times 10^{13}$ atoms/cm³，

氧濃度：<0.1 ppma（矽原料為多晶矽）、0.1~0.3 ppma（矽原料為柴氏法（CZ法）所培養的單晶矽）>，

碳濃度：約0.02 ppma，

氮濃度： $3.6 \times 10^{14} \sim 2.2 \times 10^{15}$ atoms/cm³，

直徑：200 mm，

結晶面方位：（100）。

【0049】氧濃度係藉由紅外線吸收法進行測量（使用了依JEIDA規定之換算係數），碳濃度及氮濃度係藉由二次離子質量分析法（SIMS）進行測量。

【0050】氧濃度未達0.1 ppma的單晶矽基板係自以一般的多晶矽錠為原料而藉由FZ法培養的單晶矽所製造之物。此外，氧濃度0.1~0.3 ppma的單晶矽基板係自以CZ法培養的單晶矽錠為原料而藉由FZ法培養的單晶矽所製造之物。這時，

一旦以藉由CZ法培養的單晶矽錠為原料，會因為原料中含有的氧濃度的差異，而讓氧濃度在0.1~0.3 ppma的範圍產生參差。

【0051】其次，對準備的單晶矽基板照射電子束。這時電子束的照射線量為 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ，電子束的加速電壓為2 MV。

【0052】其次，對經電子束照射的單晶矽基板實施回復熱處理。回復熱處理的溫度為 360°C ，氛圍為氮，時間為45分。之後，藉由陰極射線發光法測量發光光譜。

【0053】藉由陰極射線發光法測量的發光光譜的範例示於圖2及圖3。圖2為氧濃度約0.2 ppma的場合，圖2的（a）為氮濃度 $4.9 \times 10^{14} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 的場合，圖2的（b）為氮濃度約 $2.2 \times 10^{15} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 的場合。圖2中，雖然觀測到來自CiCs的G射線（1305 nm附近）、來自CiOi的C射線（1570 nm附近），但是C射線的發光強度在圖2的（a）與圖2的（b）明顯不同。從這個結果得知在氮濃度低的場合，CiOi的密度會變低。

【0054】圖3為氧濃度未達0.1 ppma的場合，圖3的（a）為氮濃度 $3.6 \times 10^{14} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 的場合，圖3的（b）為氮濃度約 $1.7 \times 10^{15} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 的場合。圖3中，雖然與圖2的場合同樣地觀測到G射線與C射線，但是G射線的發光強度在圖3的（a）與圖3的（b）明顯不同。從這個結果得知在氮濃度低的場合，CiCs的密度會變高。圖2及圖3中，雖然觀察到來自矽的TO射線（1130 nm附近），但因為發光強度弱，故在圖的比例中無法辨識出波峰。

【0055】另外，雖然本實驗例中所觀測到的G射線的發光波長（1305 nm附近）較一般的G射線的發光波長（1270 nm附近）更偏向長波長側，但仍被認為是相同波段。

【0056】其次，自發光頻譜求出G射線強度與C射線強度。

針對氧濃度未達0.1 ppma的單晶矽的場合，將G射線與氮濃度之間的關係示於圖4，將C射線與氮濃度之間的關係示於圖5。從圖4及圖5的結果得知，在氧濃度未達0.1 ppma的場合，雖然C射線強度不會因為氮濃度而變低，但G射線強度則會因為氮濃度越高而變得越低。由此得知，即使碳濃度及氧濃度幾乎相同，在氧濃度未達0.1 ppma的場合，氮濃度越高則CiCs的密度會變得越低。此外亦得知，例如將CiOi維持在低密度的情況下欲提高CiCs的密度的場合，只要使氧濃度未達0.1 ppma並降低氮濃度即可。

【0057】針對氧濃度為0.1~0.3 ppma的單晶矽基板的場合，將G射線與氮濃度之間的關係示於圖6，將C射線與氮濃度之間的關係示於圖7。從圖6及圖7的結果得知，在氧濃度為0.1~0.3 ppma的場合，雖然G射線強度不會因為氮濃度而變低，但C射線強度則會因為氮濃度越高而變得越高。由此得知，即使碳濃度及氧濃度幾乎相同，在氧濃度為0.1~0.3 ppma的場合，氮濃度越高則CiOi的密度會變得越高。此外亦得知，例如將CiCs維持在低密度的情況下欲提高CiOi的密度的場合，只要使氧濃度為0.1~0.3 ppma並提高氮濃度即可。

【0058】由於得知光致發光法也觀察到與陰極射線發光法相同的發光光線，故光致發光法也能夠藉由同樣的方法求出G射線強度及C射線強度與氮濃度的關係。

【0059】雖然FZ單晶矽基板的氧濃度會隨著結晶製造時所使用的矽原料為多晶矽或以CZ法培育的單晶矽而有所不同，只要矽原料的製法相同，便能夠縮小氧濃度的參差。

【0060】由此得知，不論是使用哪一種原料的FZ單晶矽基板的場合，能夠以調整氮濃度來控制碳或包含碳及氧的複合體的密度。

【0061】如以上般，以實施電子束照射及之後的熱處理步驟的場合的缺陷密度成為目標值的方式，藉由調整待控制缺陷密度的單晶矽基板的氮濃度來控制缺陷密度的話，就能夠縮小起因於單晶矽基板本身的缺陷密度的參差。接著，藉由縮小氮濃度的參差，而能夠縮小缺陷密度的參差。

【0062】如上述般，實施電子束照射及之後的熱處理的場合的缺陷密度會相依於氮濃度的可能的理由如下。

【0063】一旦對著矽基板照射高能量的粒子束，晶格位置的矽原子會被彈出，會生成晶格間矽（I）及係為空殼的空孔（V）。過量生成的I及V在單獨存在時會不穩定，因此會再結合（ $V+I \rightarrow O$ ），或I彼此及V彼此之間叢集，或與單晶矽基板中所含的輕元素雜質反應形成複合體。接著，I及V的叢集或I及V與輕元素雜質的複合體會在矽的能帶隙中形成深能階，作為載子的再結合中心或發生中心而運作，影響裝置特性。

【0064】作為與空孔V關連的缺陷，已知V與置換型磷Ps反應而形成VP（ $V+Ps \rightarrow VP$ ）。此外，也有V與晶格間氧Oi反應而形成VO（ $V+Oi \rightarrow VO$ ），甚至是V與VO反應而形成 V_2O （ $V+VO \rightarrow V_2O$ ）的場合。此外，V彼此之間反應也會形成VV（ $V+V \rightarrow VV$ ）。氮存在的場合，V與N反應也會變得形成VN（ $V+N \rightarrow VN$ ）。由於V與P、O或N之間的反應係為各自相互競爭，故一旦氮濃度為高的場合VN變得容易形成，則有可能讓V所關連的其他的複合體變得難以形成。

【0065】另一方面，作為晶格間矽I所關連的缺陷，已知I與置換型硼Bs反應而形成晶格間硼Bi（ $I+Bs \rightarrow Bi$ ），甚至Bi與Oi反應而形成BiOi（ $Bi+Oi \rightarrow BiOi$ ）。

此外，碳存在的場合，I與置換型碳Cs反應而形成晶格間碳Ci ($I+Cs\rightarrow Ci$)，甚至Ci與Oi、Ci與Cs反應而形成CiOi、CiCs ($Ci+Oi\rightarrow CiOi$ 、 $Ci+Cs\rightarrow CiCs$)。此外，I彼此反應也會形成I叢集 ($I+I+\cdots\rightarrow I_n$)。氮以更高濃度存在的場合，藉由V與N的反應，V與I的再結合受到抑制，結果有可能讓I所關連的複合體變得容易形成。

【0066】由於I或V與輕元素雜質之間的反應相依於各自的絕對濃度與濃度平衡，因此相當複雜，甚至實施熱處理的場合，會發生複合體的消滅或型態變化，變得更複雜。

【0067】上述的實驗例的結果中，在氧濃度0.1~0.3 ppma的場合，當氮濃度越高，CiOi密度會變得越高的原因，被認為是藉由V與N的反應，V與I的再結合受到抑制，結果讓I所關連的複合體變得容易形成的緣故。此外，在氧濃度未達0.1 ppma的場合，不會因為氮濃度而CiOi密度變低的原因，被認為是藉由Oi的低濃度，不論氮濃度都會讓CiOi的形成受到抑制的緣故。另一方面，關於CiCs，雖然與CiOi同樣地是I所關連的複合體，但為何會變成與CiOi不同的表現的理由至今仍不清楚。

〔實施例〕

【0068】以下使用實施例及比較例來更具體地說明本發明，但本發明不限於此。

【0069】

〔實施例1〕

以如圖1所示的本發明的缺陷密度的控制方法進行單晶矽基板中的缺陷密度的控制。這時與實驗例同樣地以陰極射線發光法測量的場合，以控制C射線強度成為2000左右為目標。

【0070】首先，在測量步驟中，將電子束照射至不同氮濃度的複數個試驗用單晶矽基板後，進行熱處理，並測量複數個試驗用單晶矽基板中的C射線強度。試驗用單晶矽基板係自藉由FZ法培養的單晶矽所製造之物，氧濃度為0.1~0.3 ppma。

這時的電子束的照射線量為 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ，電子束的加速電壓為2 MV。此外這時，熱處理的溫度為 360°C ，時間為45分，氛圍為氮。

【0071】其次，相關關係取得步驟中，取得C射線強度與複數個試驗用單晶矽基板的氮濃度之間的相關關係（圖7）。

其次，基於上述相關關係，以熱處理步驟後的單晶矽基板中的C射線強度成為目標值（2000左右）的方式，調整準備步驟中準備的單晶矽基板的氮濃度。這時經準備的單晶矽基板係自以CZ法培養的單晶矽錠為原料且藉由FZ法培養的單晶矽所製造之物，且為調整至氧濃度約0.2 ppma，氮濃度 $1.7 \times 10^{15} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 之物。

【0072】之後，將電子束照射至經準備的單晶矽基板。電子束的照射線量為 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ，電子束的加速電壓為2 MV。其次，對經電子束照射的單晶矽基板實施回復熱處理。回復熱處理的溫度為 360°C ，氛圍為氮，時間為45分。

【0073】藉由陰極射線發光法測量回復熱處理後的C射線強度的結果，單晶矽基板的C射線強度為2008。

【0074】如此般在實施例1中，確認到藉由調整單晶矽基板的氮濃度，可得到目標值的缺陷密度。

【0075】此外，基於上述所取得的相關關係，準備五片氮濃度經調整至 $1.5 \times 10^{15} \sim 1.9 \times 10^{15} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 的範圍的FZ單晶矽基板，以與上述同樣的條件，進行電子束照射與回復熱處理後，藉由陰極射線發光法測量C射線強度。結果C射線強度為

1830、2105、1955、2161及1876，確認到可將起因於單晶矽基板本身的缺陷密度的參差予以抑制在非常小的範圍。

【0076】

〔比較例1〕

使用試驗用單晶矽基板，除了不取得缺陷密度與氮濃度之間的相關關係，也不基於上述相關關係而將準備的單晶矽基板的氮濃度予以調整以外，以與實施例1同樣的條件來控制單晶矽基板的缺陷密度。

此時，將電子束照射至氮濃度 1.0×10^{15} atoms/cm³，氧濃度未達0.1 ppma的FZ單晶矽基板後，實施回復熱處理。

【0077】繼續，以與實施例1同樣的條件，藉由陰極射線發光法測量回復熱處理後的C射線強度，結果為395。

【0078】如此般在比較例1中，儘管將電子束照射條件與回復熱處理條件設為與實施例1同樣的條件，仍然確認到單晶矽基板的C射線強度變成了從目標值2000大幅偏離的數值。

【0079】此外，隨機地準備5片不同氮濃度及氧濃度的FZ單晶矽基板，以與上述同樣的條件，進行電子束照射與回復熱處理後，藉由陰極射線發光法測量C射線強度的結果，C射線強度為1157、2276、377、435及1717，確認到與實施例1相比，起因於單晶矽基板本身的缺陷密度的參差明顯地變大。

【0080】

〔實施例2〕

以如圖1所示的本發明的缺陷密度的控制方法進行單晶矽基板中的缺陷密度的控制。這時與實驗例同樣地以陰極射線發光法測量的場合，以控制G射線強度成為1200左右為目標。

【0081】首先，測量步驟中，將電子束照射至不同氮濃度的複數個試驗用單晶矽基板後，進行熱處理，而測量複數個試驗用單晶矽基板中的G射線強度。試驗用單晶矽基板係自以多晶矽錠為原料且藉由FZ法培養的單晶矽所製造之物，氧濃度未達0.1 ppma。

這時的電子束的照射線量為 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ，電子束的加速電壓為2 MV。此外這時，熱處理的溫度為 360°C ，時間為45分，氛圍為氮。

【0082】其次，相關關係取得步驟中，取得G射線強度與複數個試驗用單晶矽基板的氮濃度之間的相關關係（圖4）。

其次，基於上述相關關係，以熱處理步驟後的單晶矽基板中的G射線強度成為目標值（1200左右）的方式，調整準備步驟中準備的單晶矽基板的氮濃度。這時經準備的單晶矽基板係自以多晶矽錠為原料且藉由FZ法培養的單晶矽所製造之物，且為調整至氧濃度未達0.1 ppma，氮濃度 $1.0 \times 10^{15} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 之物。

【0083】之後，將電子束照射至經準備的單晶矽基板。電子束的照射線量為 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ，電子束的加速電壓為2 MV。其次，對經電子束照射的單晶矽基板實施回復熱處理。回復熱處理的溫度為 360°C ，氛圍為氮，時間為45分。

【0084】藉由陰極射線發光法測量回復熱處理後的G射線強度的結果，單晶矽基板的G射線強度為1225。

【0085】如此般在實施例2中，確認到藉由調整單晶矽基板的氮濃度，可得到缺陷密度的目標值。

【0086】此外，基於上述取得的相關關係，準備五片氮濃度經調整至 $0.9 \times 10^{15} \sim 1.1 \times 10^{15}$ atoms/cm³的範圍的FZ單晶矽基板，以與上述同樣的條件，進行電子束照射與回復熱處理後，藉由陰極射線發光法測量G射線強度。結果G射線強度為1170、1221、1195、1177及1265，確認到可將起因於單晶矽基板本身的缺陷密度的參差予以抑制在非常小的範圍。

【0087】

〔比較例2〕

使用試驗用單晶矽基板，除了不取得缺陷密度與氮濃度之間的相關關係，也不基於上述相關關係而將準備的單晶矽基板的氮濃度予以調整以外，以與實施例2同樣的條件來控制單晶矽基板的缺陷密度。

此時，氮濃度為 1.7×10^{15} atoms/cm³，氧濃度為未達0.1 ppma。將電子束照射至此FZ單晶矽基板後，實施回復熱處理。

【0088】繼續，以與實施例2同樣的條件，藉由陰極射線發光法測量回復熱處理後的G射線強度，結果為792。

【0089】如此般在比較例2中，儘管將電子束照射條件與回復熱處理條件設為與實施例2同樣的條件，仍然確認到單晶矽基板的G射線強度變成了從目標值1200大幅偏離的數值。

【0090】此外，隨機地準備5片不同氮濃度及氧濃度的FZ單晶矽基板，以與上述同樣的條件，進行電子束照射與回復熱處理後，藉由陰極射線發光法測量G射線強度的結果，G射線強度為280、286、1480、841及275，確認到與實施例2相比，起因於單晶矽基板本身的缺陷密度的參差明顯地變大。

【0091】另外，本發明並不限於上述的實施型態。上述實施型態為舉例說明，凡具有及本發明的申請專利範圍所記載之技術思想及實質上同一構成而產生相同的功效者，不論為何物皆包含在本發明的技術範圍內。

【符號說明】

【0092】

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，係包含下列步驟：

一準備步驟，將待控制缺陷密度的單晶矽基板予以準備；

一粒子束照射步驟，將粒子束照射至經準備的該單晶矽基板；以及

一熱處理步驟，在該粒子束照射步驟後的該單晶矽基板實施熱處理，

其中，該單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法在進行該準備步驟之前，預先包含下列步驟：

一測量步驟，將該粒子束照射至不同氮濃度的複數個試驗用單晶矽基板後，進行熱處理，而測量複數個該試驗用單晶矽基板中產生的缺陷密度；以及

一相關關係取得步驟，取得經測量的該缺陷密度與該氮濃度之間的相關關係，

基於經取得的該相關關係，以該熱處理步驟後的該單晶矽基板中的缺陷密度成為目標值的方式，調整該準備步驟中準備的該單晶矽基板的氮濃度。

【第2項】 如請求項1所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中作為待控制該缺陷密度的對象的缺陷，係為碳或含有碳及氧的複合體。

【第3項】 如請求項1所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中於該測量步驟中，作為測量該缺陷密度的方法，係使用陰極射線發光或是光致發光法。

【第4項】 如請求項2所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中於該測量步驟中，作為測量該缺陷密度的方法，係使用陰極射線發光或是光致發光法。

【第5項】 如請求項1所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中準備的該單晶矽基板係為自藉由浮區法培養的氮添加的單晶矽所製造之物。

【第6項】 如請求項2所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中準備的該單晶矽基板係為自藉由浮區法培養的氮添加的單晶矽所製造之物。

【第7項】 如請求項3所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中準備的該單晶矽基板係為自藉由浮區法培養的氮添加的單晶矽所製造之物。

【第8項】 如請求項4所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中準備的該單晶矽基板係為自藉由浮區法培養的氮添加的單晶矽所製造之物。

【第9項】 如請求項1至8中任一項所述之單晶矽基板中的缺陷密度的控制方法，其中該準備步驟中，準備氮濃度的參差調整至相對於目標的氮濃度值的10%以內的單晶矽基板。

【發明圖式】

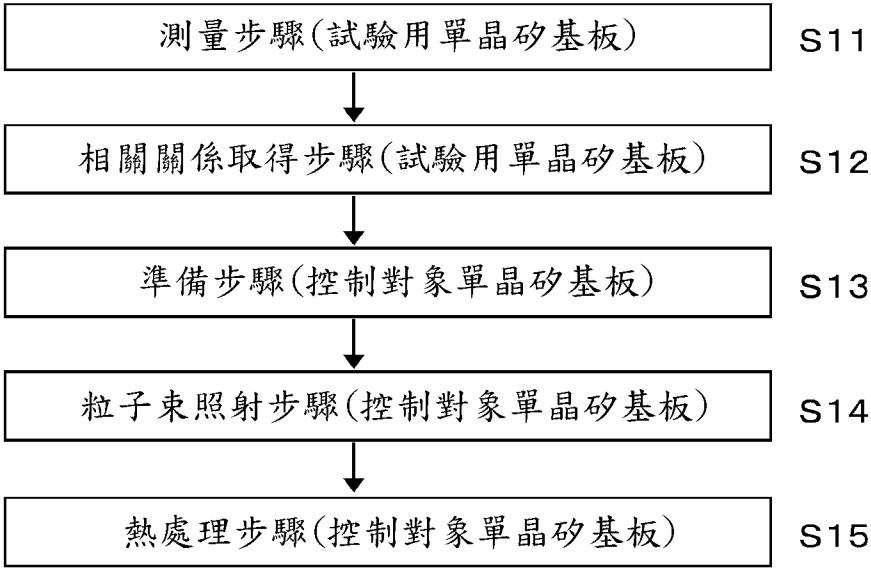


圖 1

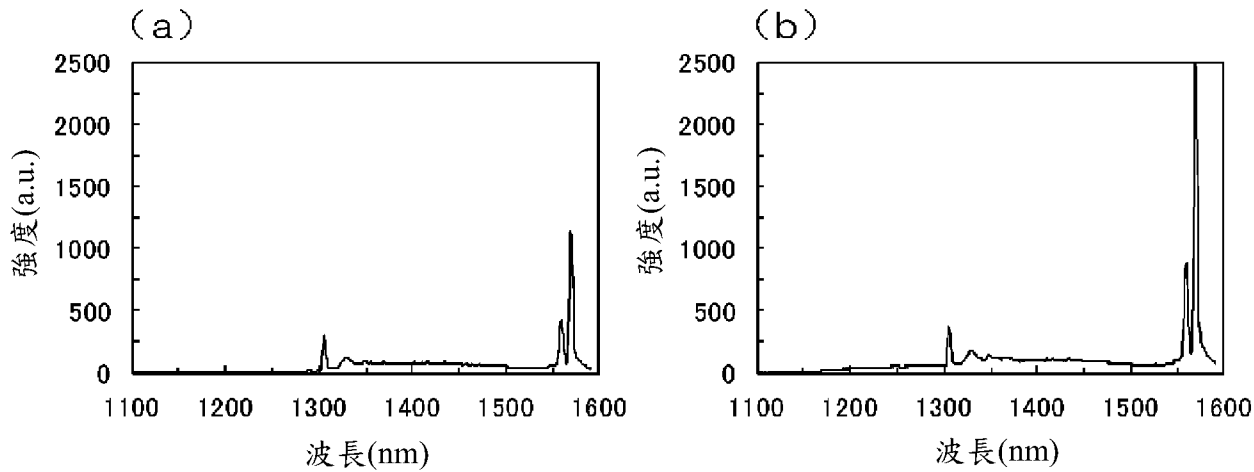


圖 2

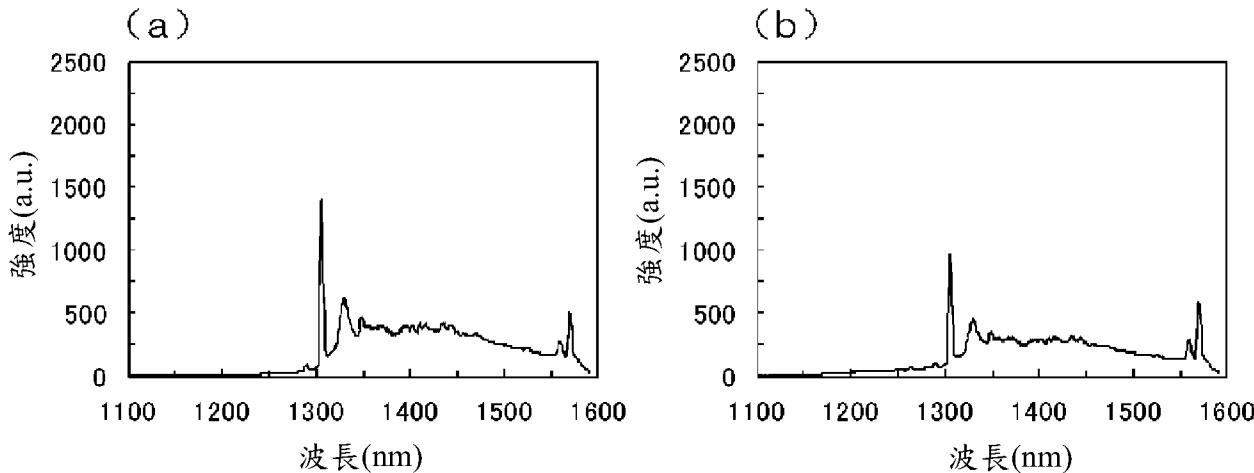


圖 3

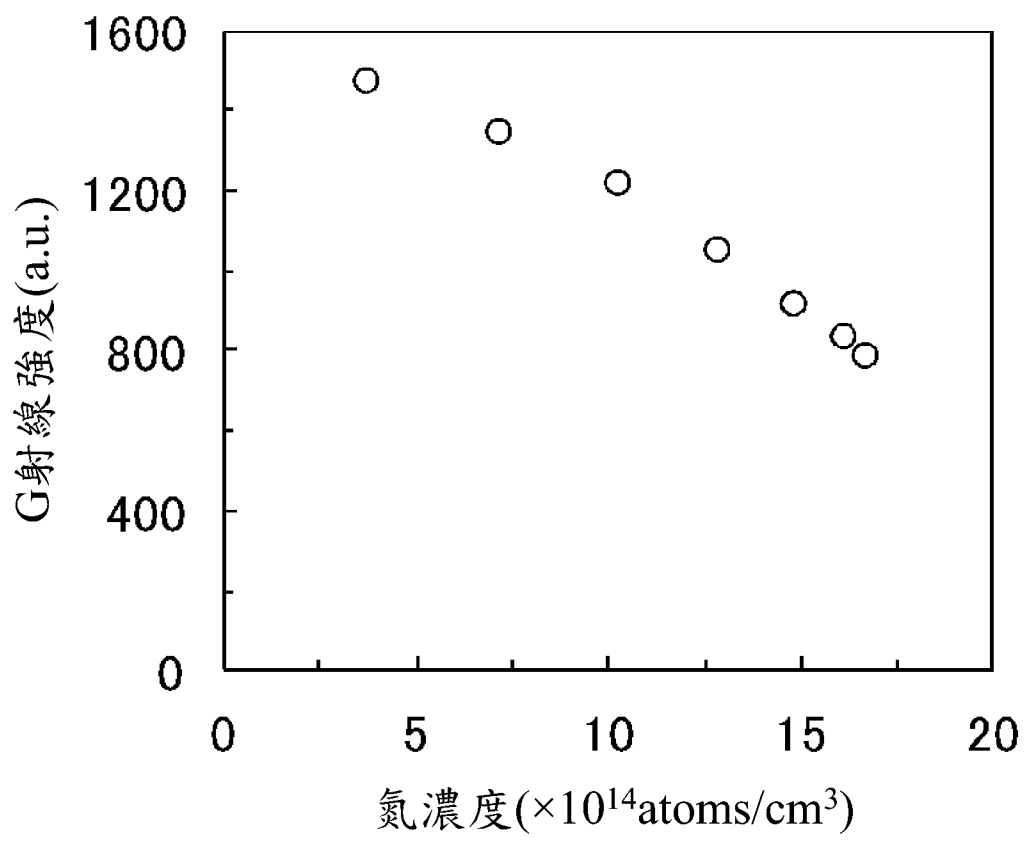


圖 4

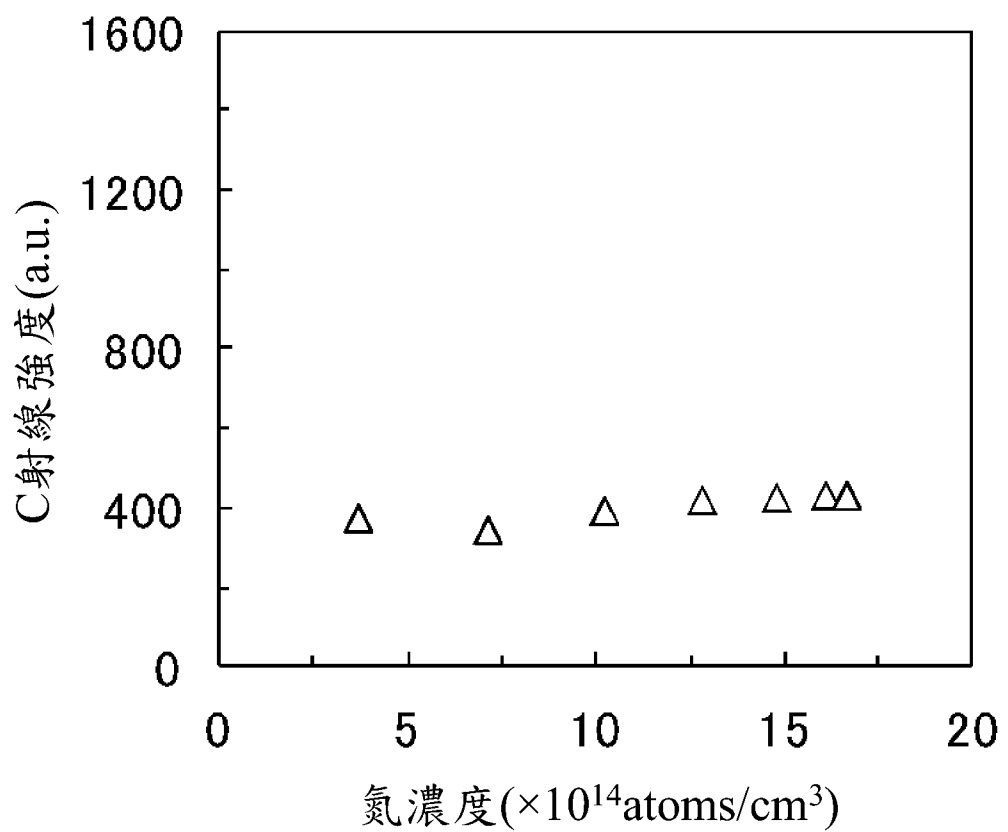


圖 5

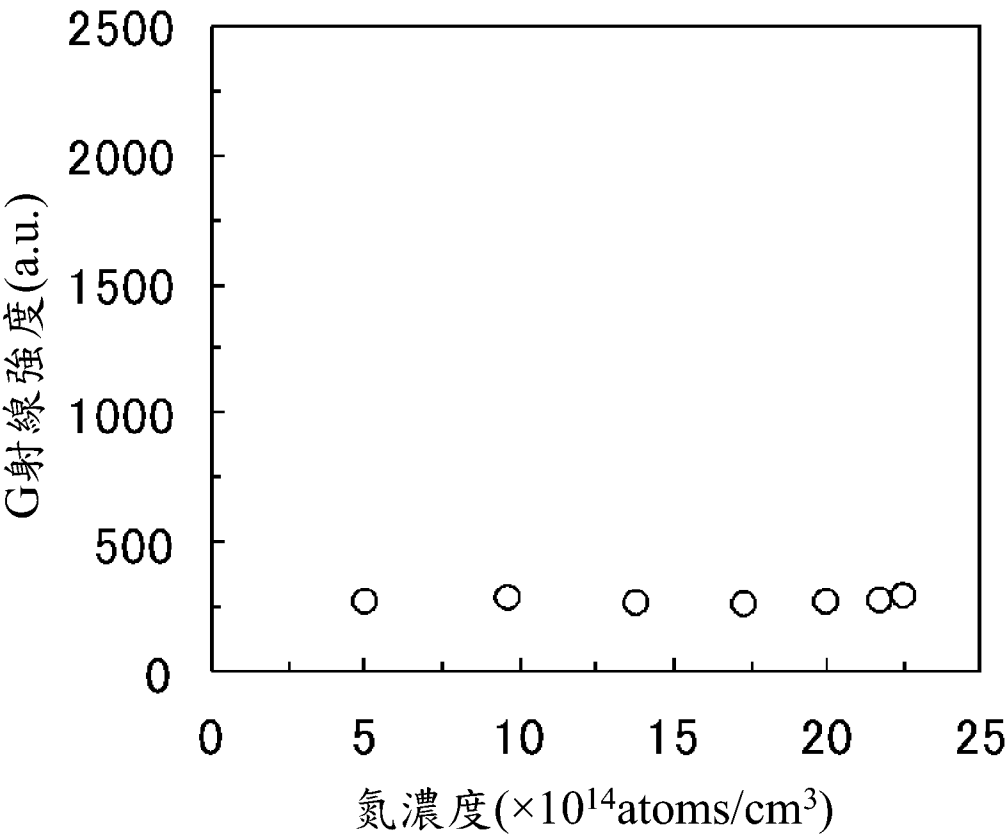


圖 6

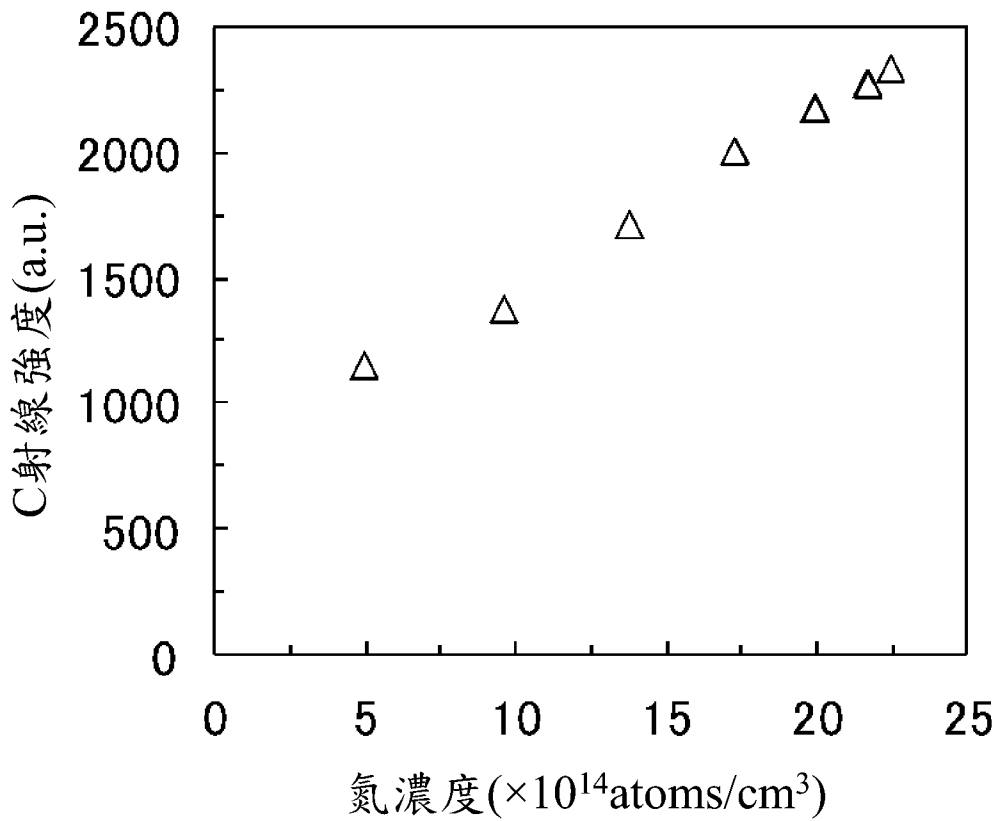


圖 7