



(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 I515774 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 01 月 01 日

(21)申請案號：102141070

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 11 月 12 日

(51)Int. Cl. : H01L21/265 (2006.01)

H01L21/322 (2006.01)

H01L27/146 (2006.01)

(30)優先權：2012/11/13 日本

2012-249598

(71)申請人：勝高股份有限公司 (日本) SUMCO CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：門野武 KADONO, TAKESHI (JP)；栗田一成 KURITA, KAZUNARI (JP)

(74)代理人：詹銘文

(56)參考文獻：

JP 2001-139399A

JP 2009-540531A

JP 2012-59849A

審查人員：陳志遠

申請專利範圍項數：14 項 圖式數：5 共 39 頁

(54)名稱

半導體磊晶晶圓的製造方法、半導體磊晶晶圓及固體攝影元件的製造方法

METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR EPITAXIAL WAFER, SEMICONDUCTOR EPITAXIAL WAFER, AND METHOD FOR MANUFACTURING SOLID STATE IMAGING DEVICE

(57)摘要

本發明的目的是提供一種製造具有更高的去疵能力，且磊晶層表面的霧度水準降低的半導體磊晶晶圓的方法。本發明的半導體磊晶晶圓的製造方法的特徵在於包括：第 1 步驟，對半導體晶圓 10 照射簇離子 16，而在半導體晶圓的表面 10A 形成包含簇離子 16 的構成元素的改質層 18；第 2 步驟，其在該第 1 步驟後，對半導體晶圓 10 進行用以結晶性恢復的熱處理，以使半導體晶圓表面 10A 的霧度水準成為 0.20ppm 以下；第 3 步驟，其在該第 2 步驟後，在半導體晶圓的改質層 18 上形成磊晶層 20。

The object of the present invention is to provide a method for manufacturing a semiconductor epitaxial wafer having a higher gettering ability, and lowering the haze of epitaxial layer surface. The method for manufacturing a semiconductor epitaxial wafer in the disclosure is characterized by including a first step, in which cluster ions 16 are irradiated onto a semiconductor wafer 10 and a modified layer 18 including constituent elements of the cluster ions 16 is formed on a surface 10A of the semiconductor wafer; a second step after the first step, in which a thermal treatment for crystallinity recovery is applied to the semiconductor wafer 10 to make the haze of the surface 10A of the semiconductor wafer become 0.20 ppm or less; and a third step after the second step, in which an epitaxial layer 20 is formed on the modified layer 18 of the semiconductor wafer.

指定代表圖：

符號簡單說明：

10 . . . 半導體晶圓

10A . . . 半導體晶圓的表面

12 . . . 主體半導體晶圓

16 . . . 簇離子

18 . . . 改質層

20 . . . (第2)磊晶層

100 . . . 半導體磊晶晶圓

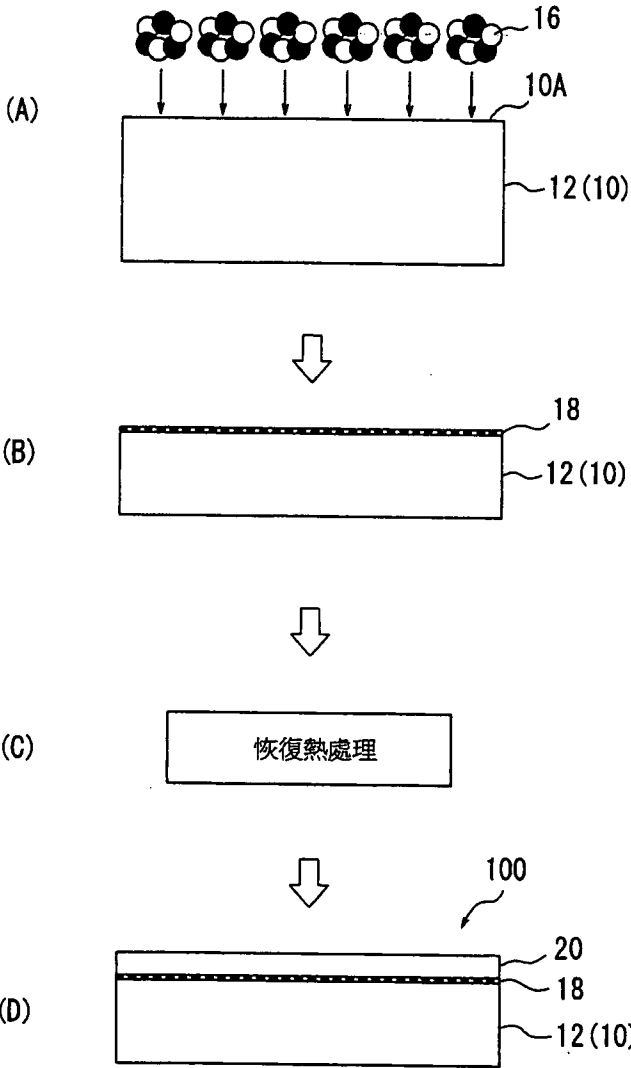


圖 1

發明摘要

※ 申請案號：102141070

※ 申請日：102.11.12

※IPC 分類：H01L 21/215 (2006.01)

H01L 21/322 (2006.01)

H01L 27/146 (2006.01)

【發明名稱】半導體磊晶晶圓的製造方法、半導體磊晶晶圓及固體攝影元件的製造方法

METHOD FOR MANUFACTURING
SEMICONDUCTOR EPITAXIAL WAFER, SEMICONDUCTOR
EPITAXIAL WAFER, AND METHOD FOR MANUFACTURING
SOLID STATE IMAGING DEVICE

【中文】

本發明的目的是提供一種製造具有更高的去疵能力，且磊晶層表面的霧度水準降低的半導體磊晶晶圓的方法。本發明的半導體磊晶晶圓的製造方法的特徵在於包括：第 1 步驟，對半導體晶圓 10 照射簇離子 16，而在半導體晶圓的表面 10A 形成包含簇離子 16 的構成元素的改質層 18；第 2 步驟，其在該第 1 步驟後，對半導體晶圓 10 進行用以結晶性恢復的熱處理，以使半導體晶圓表面 10A 的霧度水準成為 0.20 ppm 以下；第 3 步驟，其在該第 2 步驟後，在半導體晶圓的改質層 18 上形成磊晶層 20。

【英文】

The object of the present invention is to provide a method for manufacturing a semiconductor epitaxial wafer having a higher

gettering ability, and lowering the haze of epitaxial layer surface. The method for manufacturing a semiconductor epitaxial wafer in the disclosure is characterized by including a first step, in which cluster ions 16 are irradiated onto a semiconductor wafer 10 and a modified layer 18 including constituent elements of the cluster ions 16 is formed on a surface 10A of the semiconductor wafer; a second step after the first step, in which a thermal treatment for crystallinity recovery is applied to the semiconductor wafer 10 to make the haze of the surface 10A of the semiconductor wafer become 0.20 ppm or less; and a third step after the second step, in which an epitaxial layer 20 is formed on the modified layer 18 of the semiconductor wafer.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 1 (A) 至圖 1 (D)。

【本代表圖之符號簡單說明】：

10：半導體晶圓

10A：半導體晶圓的表面

12：主體半導體晶圓

16：簇離子

18：改質層

20：(第 2) 磊晶層

100：半導體磊晶晶圓

【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】 半導體磊晶晶圓的製造方法、半導體磊晶晶圓及固體攝影元件的製造方法

METHOD FOR MANUFACTURING
SEMICONDUCTOR EPITAXIAL WAFER, SEMICONDUCTOR
EPITAXIAL WAFER, AND METHOD FOR MANUFACTURING
SOLID STATE IMAGING DEVICE

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種半導體磊晶晶圓的製造方法、半導體磊晶晶圓及固體攝影元件的製造方法。本發明特別是有關於製造可藉由發揮出更高的去疵 (gettering) 能力而抑制金屬污染、且磊晶層表面的霧度 (haze) 水準降低的半導體磊晶晶圓的方法。

【先前技術】

【0002】 作為使半導體元件的特性劣化的主要原因，可列舉金屬污染。例如，在背面照射型固體攝影元件中，混入至成為該元件的基板的半導體磊晶晶圓中的金屬，成為使固體攝影元件的暗電流增加的主要原因，而產生稱為白點 (white spot) 缺陷的缺陷。背面照射型固體攝影元件藉由將配線層等配置於較感測器部分更靠下層處，而將來自外部的光直接吸收進感測器，從而即便在暗處等亦可拍攝出更鮮明的圖像或動畫，因此，近年來被廣泛地用於數位攝影機或智慧型手機等行動電話。因此，期望極力減少白

點缺陷。

【0003】 在晶圓中的金屬的混入主要在半導體磊晶晶圓的製造步驟及固體攝影元件的製造步驟（元件製造步驟）中產生。前者的半導體磊晶晶圓的製造步驟中的金屬污染，一般認為是由於來自磊晶成長爐的構成材料的重金屬粒子所致，或者由於使用氯系氣體作為磊晶成長時的爐內氣體，而其配管材料發生金屬腐蝕而產生的重金屬粒子所致等。近年來，這些金屬污染藉由將磊晶成長爐的構成材料替換為耐腐蝕性優異的材料等，獲得了一定程度的改善，但並不充分。另一方面，在後者的固體攝影元件的製造步驟中，在離子注入、擴散及氧化熱處理等各處理中，擔心半導體基板的重金屬污染。

【0004】 因此習知上，在半導體磊晶晶圓上形成用以捕獲金屬的去疵吸附（gettering sink）、或使用高濃度硼基板等金屬的捕獲能力（去疵能力）高的基板，而避免對半導體晶圓的金屬污染。

【0005】 在半導體晶圓上形成去疵吸附的方法一般而言有：在半導體晶圓的內部形成作為結晶缺陷的氧析出物（矽氧化物析出物的通稱，亦稱為主體微缺陷（Bulk Micro Defect，BMD））或形成錯位（dislocation）的內部去疵（Intrinsic Gettering，IG）法，以及半導體晶圓的背面形成去疵吸附的外部去疵（Extrinsic Gettering，EG）法。

【0006】 此處，作為重金屬的去疵法的一個方法，有在半導體晶圓中藉由單體離子（monomer ion）（單離子，single ion）注入而

形成去疵部位（gettering site）的技術。專利文獻 1 中記載：自矽晶圓的一面注入碳離子，形成碳離子注入區域後，在該表面形成矽磊晶層，而製成矽磊晶晶圓的製造方法。該技術中，碳離子注入區域發揮作為去疵部位的功能。

【0007】 另外，專利文獻 2 中記載以下的技術：其在矽晶圓中注入碳離子而形成碳注入層，然後，藉由快速熱退火（Rapid Thermal Annealing，RTA）裝置進行用以使因離子注入而混亂的晶圓的結晶性恢復的熱處理（以下稱為「恢復熱處理」），藉此縮短該恢復熱處理步驟，然後形成矽磊晶層。

【0008】 更進一步地，專利文獻 3 中記載以下的磊晶晶圓的製造方法，其特徵在於：對矽單晶基板在劑量為 5×10^{14} atoms/cm² ~ 1×10^{16} atoms/cm² 的範圍內將硼、碳、鋁、砷、銻中的至少 1 種進行離子注入，然後，不對進行了該離子注入的上述矽單晶基板進行恢復熱處理而進行清洗，然後，使用單晶圓磊晶裝置在 1100℃ 以上的溫度下形成磊晶層。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

【0009】

[專利文獻 1]日本專利特開平 6-338507 號公報

[專利文獻 2]日本專利特開 2008-294245 號公報

[專利文獻 3]日本專利特開 2010-177233 號公報

【0010】 專利文獻 1、專利文獻 2、及專利文獻 3 中所記載的技

術，均是在磊晶層形成前在半導體晶圓中注入單體離子者。然而，根據本發明者等人的研究可知，在實施了單體離子的注入的半導體磊晶晶圓中，去疵能力不充分，而要求更強力的去疵能力。

【0011】 另外，爲了由半導體磊晶晶圓獲得高品質的半導體元件，磊晶層表面的平坦度高（霧度水準低）是重要的。

【發明內容】

【0012】 因此，本發明鑒於上述課題，其目的在於提供一種具有更高的去疵能力、且磊晶層表面的霧度水準降低的半導體磊晶晶圓及其製造方法，以及由該半導體磊晶晶圓形成固體攝影元件的固體攝影元件的製造方法。

【0013】 根據本發明者等人的研究，發現與注入單體離子的情形相比，對半導體晶圓照射簇離子（cluster ion）具有以下的有利點。即，照射簇離子時，即便以與單體離子同等的加速電壓照射，每 1 原子或每 1 分子以小於單體離子時的能量而與半導體晶圓碰撞，因此可使所照射的元素在深度方向分佈的峰值（peak）濃度成爲高濃度，並可使峰值位置更靠近半導體晶圓表面的位置。結果發現去疵能力提高。另外，由於簇離子的照射是照射多個原子或分子集合而成的團塊，造成半導體晶圓最表面的結晶性因所使用的簇離子的尺寸或劑量而混亂，從而有使磊晶層表面的平坦度變差（霧度水準變高）的情形。爲此發現，在簇離子的照射後進行恢復熱處理，使半導體晶圓表面的霧度水準恢復至設定的水準，然後形成磊晶層，藉此可充分地降低磊晶層表面的霧度水準。

【0014】 本發明者等人基於上述發現，從而完成了本發明。

即，本發明的半導體磊晶晶圓的製造方法的特徵在於包括：

第 1 步驟，對半導體晶圓照射簇離子，而在所述半導體晶圓的表面形成包含上述簇離子的構成元素的改質層；第 2 步驟，其在所述第 1 步驟後，對上述半導體晶圓進行用以結晶性恢復的熱處理，以使上述半導體晶圓表面的霧度水準成為 0.20 ppm 以下；第 3 步驟，其在所述第 2 步驟後，在上述半導體晶圓的改質層上形成磊晶層。

【0015】 此處，上述半導體晶圓可設為矽晶圓。

【0016】 另外，上述半導體晶圓可設為在矽晶圓的表面形成有矽磊晶層的磊晶矽晶圓，此時，在上述第 1 步驟中，上述改質層形成於上述矽磊晶層的表面。

【0017】 此處，上述簇離子較佳為包含碳作為構成元素，更佳為包含含有碳在內的 2 種以上元素作為構成元素。

【0018】 此處，上述簇離子的碳的劑量較佳為設為 2.0×10^{14} atoms/cm² 以上。

【0019】 繼而，本發明的半導體磊晶晶圓的特徵在於包括：半導體晶圓；改質層，形成於所述半導體晶圓的表面，且包含固溶於所述半導體晶圓中的特定元素；以及所述改質層上的磊晶層；上述改質層中的上述特定元素在深度方向的濃度分佈的半寬度 (half width) 為 100 nm 以下，上述磊晶層表面的霧度水準為 0.30 ppm 以下。

【0020】 此處，上述半導體晶圓可設為矽晶圓。

【0021】 另外，上述半導體晶圓可設為在矽晶圓的表面形成有矽磊晶層的磊晶矽晶圓，此時，上述改質層位於上述矽磊晶層的表面。

【0022】 而且，上述改質層中的上述濃度分佈的峰值，較佳為位於距上述半導體晶圓的表面之深度為 150 nm 以下的範圍內，所述峰值濃度較佳為 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ 以上。

【0023】 此處，上述特定元素較佳為包含碳，上述特定元素更佳為包含含有碳在內的 2 種以上元素。

【0024】 並且，本發明的固體攝影元件的製造方法的特徵在於：在位於藉由上述任一種製造方法而製造的磊晶晶圓或上述任一種磊晶晶圓的表面的磊晶層上，形成固體攝影元件。

[發明的效果]

【0025】 根據本發明，由於對半導體晶圓照射簇離子，而在所述半導體晶圓的表面形成包含上述簇離子的構成元素的改質層，然後實施使半導體晶圓表面的霧度水準恢復的熱處理，因此可獲得能藉由所述改質層發揮出更高的去疵能力而抑制金屬污染、且磊晶層表面的霧度水準降低的半導體磊晶晶圓，並且可由所述半導體磊晶晶圓形成高品質的固體攝影元件。

【圖式簡單說明】

【0026】

圖 1 (A) ~ 圖 1 (D) 是根據本發明一實施形態說明半導體

磊晶晶圓 100 的製造方法的示意剖面圖。

圖 2 (A) ~ 圖 2 (E) 是根據本發明其他實施形態說明半導體磊晶晶圓 200 的製造方法的示意剖面圖。

圖 3 (A) 是說明照射簇離子時的照射機制的示意圖，圖 3 (B) 是說明注入單體離子時的注入機制的示意圖。

圖 4 是以二次離子質譜法 (Secondary Ion Mass Spectrometry, SIMS) 測定參考例 1 與參考例 2 而得的碳的濃度分佈。

圖 5 (A) 是將實施例 1 之矽磊晶晶圓的碳濃度分佈與去疵能力評估後的鎳濃度分佈一併表示的圖表，圖 5 (B) 是將比較例 4 之矽磊晶晶圓的碳濃度分佈與去疵能力評估後的鎳濃度分佈一併表示的圖表。

【實施方式】

【0027】 以下，一邊參照圖式一邊對本發明的實施形態進行詳細說明。另外，原則上對於相同的構成要素給予相同的參照編號，而省略說明。另外，在圖 1 (A) 至圖 1 (D) 及圖 2 (A) 至圖 2 (E) 中，爲了方便說明，厚度與實際的比例不同，對於半導體晶圓 10，誇大表示第 1 磊晶層 14 及第 2 磊晶層 20 的厚度。

【0028】 (半導體磊晶晶圓的製造方法)

本發明的第 1 實施形態的半導體磊晶晶圓 100 的製造方法如圖 1 (A) 至圖 1 (D) 所示般，其特徵在於包括：第 1 步驟 (圖 1 (A)、圖 1 (B))，其對半導體晶圓 10 照射簇離子 16，而在半導體晶圓 10 的表面 10A 形成包含所述簇離子 16 的構成元素的改質

層 18；第 2 步驟（圖 1（C）），對半導體晶圓 10 進行用以結晶性恢復的熱處理（恢復熱處理），以使半導體晶圓 10 的表面 10A 的霧度水準成為 0.20 ppm 以下；以及第 3 步驟（圖 1（D）），其在半導體晶圓 10 的改質層 18 上形成磊晶層 20。圖 1（D）是由所述製造方法的結果所得的半導體磊晶晶圓 100 的示意剖面圖。

【0029】 作為半導體晶圓 10，例如可列舉：包含矽、化合物半導體（GaAs、GaN、SiC），且表面不具有磊晶層的主體單晶晶圓。在製造背面照射型固體攝影元件時，通常使用主體單晶矽晶圓。另外，半導體晶圓 10 可為使用線切割機（wire saw）等將單晶矽錠切片而成的晶圓，所述單晶矽錠是藉由柴可斯基法（Czochralski Method，CZ 法）或懸浮區熔法（Floating Zone Method，FZ 法）形成。另外，為了獲得更高的去疵能力，可添加碳及/或氮。另外，亦可添加任意的雜質摻雜劑而製成 n 型或 p 型。圖 1（A）至圖 1（D）所示的第 1 實施形態是使用表面不具有磊晶層的主體半導體晶圓 12 作為半導體晶圓 10 的例子。

【0030】 另外，作為半導體晶圓 10，亦可列舉：如圖 2（A）所示的，在主體半導體晶圓 12 表面形成有半導體磊晶層（第 1 磊晶層）14 的磊晶半導體晶圓。例如為在主體單晶矽晶圓的表面形成有矽磊晶層的磊晶矽晶圓。矽磊晶層可藉由化學氣相沈積（Chemical Vapor Deposition，CVD）法在一般的條件下形成。第 1 磊晶層 14 的厚度較佳為設在 $0.1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 的範圍內，更佳為設在 $0.2\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 的範圍內。

【0031】 作為上述的例子，本發明的第 2 實施形態的半導體磊晶晶圓 200 的製造方法如圖 2 (A) 至圖 2 (E) 所示，其特徵在於包括：第 1 步驟（圖 2 (A) 至圖 2 (C)），對在主體半導體晶圓 12 的表面（至少單面）形成有第 1 磊晶層 14 的半導體晶圓 10 照射簇離子 16，而在半導體晶圓的表面 10A（本實施形態中為第 1 磊晶層 14 的表面），形成包含簇離子 16 的構成元素的改質層 18；第 2 步驟（圖 2 (D)），對半導體晶圓 10 進行用以結晶性恢復的熱處理（恢復熱處理），以使半導體晶圓的表面 10A 的霧度水準成為 0.20 ppm 以下；以及第 3 步驟（圖 2 (E)），其在半導體晶圓 10 的改質層 18 上形成磊晶層 20。圖 2 (E) 是由所述製造方法的結果所得的半導體磊晶晶圓 200 的示意剖面圖。

【0032】 此處，本發明的特徵性步驟之一是圖 1 (A) 及圖 2 (B) 所示的簇離子照射步驟。此處將採用該步驟的技術意義與作用效果一起進行說明。照射了簇離子 16 的結果所形成的改質層 18，是簇離子 16 的構成元素固溶在半導體晶圓的表面的結晶的格隙位置（interstitial site）或取代位置而局部存在的區域，發揮作為去疵部位的作用。其理由推測如下。即，以簇離子的形態照射的碳或硼等元素，以高密度局部存在於矽單晶的取代位置與格隙位置。並且藉由實驗確認到：若將碳或硼固溶直至矽單晶的平衡濃度以上，則重金屬的固溶度（過渡金屬的飽和溶解度）大幅增加。即認為，重金屬的固溶度因所固溶的碳或硼而增加至平衡濃度以上，藉此，對重金屬的捕獲率顯著地增加。

【0033】 此處，在本發明中，由於照射簇離子 16，因此與注入單體離子的情形相比，可獲得更高的去疵能力。因此，可製造具有較高去疵能力的半導體磊晶晶圓 100 與半導體磊晶晶圓 200，由藉由本製造方法而得的半導體磊晶晶圓 100 與半導體磊晶晶圓 200 所製造的背面照射型固體攝影元件，與習知相比可期待抑制白點缺陷的產生。

【0034】 另外，本說明書中，「簇離子」是指對多個原子或分子集合而成爲塊的簇（cluster）提供正電荷或負電荷而離子化者。簇是多個（通常爲 2 個～2000 個左右）的原子或分子相互結合的塊狀集團。

【0035】 本發明者等人認爲藉由照射簇離子而獲得高去疵能力的作用如以下所述。

【0036】 在對矽晶圓注入例如碳的單體離子時，如圖 3（B）所示，單體離子彈開構成矽晶圓的矽原子，而注入至矽晶圓中的特定深度位置。注入深度取決於注入離子的構成元素種類及離子的加速電壓。此時，在矽晶圓的深度方向的碳的濃度分佈變得相對較寬，所注入的碳存在區域大致爲 $0.5\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$ 左右。在以相同能量同時照射多種離子時，越輕的元素注入得越深，即，由於各元素注入至與其質量對應的不同位置，注入元素的濃度分佈變得較寬。

【0037】 另一方面，在對矽晶圓照射包含例如碳及硼的簇離子時，如圖 3（A）所示般，若簇離子 16 照射至矽晶圓時，因其能

量會瞬間成為 $1350^{\circ}\text{C} \sim 1400^{\circ}\text{C}$ 左右的高溫狀態，而將矽熔解。然後，矽急速冷卻，碳及硼固溶於矽晶圓中的表面附近。即，本說明書中的所謂「改質層」，是指照射的離子的構成元素固溶在半導體晶圓表面的結晶的格隙位置或取代位置所得的層。矽晶圓深度方向的碳及硼的濃度分佈取決於簇離子的加速電壓及簇尺寸，但較單體離子時的情況尖銳，所照射的碳及硼局部存在的區域（即改質層）的厚度大致為 500 nm 以下的區域（例如 $50\text{ nm} \sim 400\text{ nm}$ 左右）。另外，以簇離子的形態照射的元素在磊晶層 20 的形成過程中會引起些許的熱擴散。因此，磊晶層 20 形成後的碳及硼的濃度分佈，會在所述元素局部存在的峰值的兩側，形成較寬的擴散區域。但改質層的厚度不會發生太大的變化（請參照後述的圖 5（A））。其結果可使碳及硼的析出區域成為局部且高濃度。另外，由於在矽晶圓的表面附近形成改質層 18，因此可進一步進行臨近去疵（proximity gettering）。其結果認為，與注入單體離子的情形相比，可獲得較高的去疵能力。另外，若為簇離子的形態，則亦有可藉由一次的簇離子照射處理而同時照射多種離子的優點。

【0038】 單體離子通常以 $150\text{ keV} \sim 2000\text{ keV}$ 左右的加速電壓注入，各離子以其能量與矽原子碰撞，因此使注入了單體離子的矽晶圓表層部分的結晶性產生巨大的混亂，因此，即使在離子注入後進行用以使混亂的結晶性恢復的熱處理（恢復熱處理），所形成的磊晶層表面的霧度水準的恢復率亦低。

【0039】 另一方面，簇離子通常以 $10\text{ keV/簇(Cluster)} \sim 100\text{ keV/}$

簇（Cluster）左右的加速電壓進行照射，但由於簇為多個原子或分子的集合體，因此可減小每 1 原子或每 1 分子的能量而植入。因此，對半導體晶圓表層部分的結晶所造成的損傷較小。並且，亦由於如圖 3 所述的注入機制的差異，與單體離子注入相比，簇離子照射不會使半導體晶圓的表層部分的結晶性混亂。但半導體晶圓最表面的結晶性因所使用的簇離子的尺寸或劑量而混亂，因而有磊晶層表面的霧度水準變高的情況。該情況下，亦可在第 1 步驟後，藉由第 2 步驟進行特定條件的恢復熱處理，然後進行使磊晶層 20 磊晶成長的第 3 步驟，從而可充分地降低磊晶層 20 表面的霧度水準。

【0040】 簇離子 16 根據結合模式而存在多種簇，例如可藉由如以下的文獻所記載的公知的方法而生成。作為氣體簇束（Gas Cluster Ion Beam）的生成法，有（1）日本專利特開平 9-41138 號公報、（2）日本專利特開平 4-354865 號公報；作為離子束的生成法，有（1）「荷電粒子束工學」：石川順三：ISBN978-4-339-00734-3：科羅娜（CORONA）公司、（2）「電子、離子束工學」：電氣學會：ISBN4-88686-217-9：歐姆公司（Ohmsha）、（3）「簇離子束基礎與應用」：ISBN4-526-05765-7：日刊工業報社。另外，通常正電荷的簇離子的產生是使用尼爾森（Nielsen）型離子源或考夫曼（Kaufman）型離子源，而負電荷的簇離子的產生是使用利用體積生成法的大電流負離子源。

【0041】 以下說明簇離子的照射條件。首先，所照射的元素並無

特別限定，可列舉碳、硼、磷、砷等。但就獲得更高的去疵能力的觀點而言，簇離子較佳為包含碳作為構成元素。由於晶格位置的碳原子的共價鍵半徑比矽單晶小，因此會形成矽結晶晶格的收縮場，故吸附格隙雜質的去疵能力高。

【0042】 另外，更佳為包含含有碳在內的 2 種以上元素作為構成元素。由於根據析出元素的種類而可有效去疵的金屬種類不同，故藉由使 2 種以上的元素固溶，而可應對更廣泛的金屬污染。例如在為碳的情況下，可有效地將鎳去疵，在為硼的情況下，可有效地將銅、鐵去疵。

【0043】 進行離子化的化合物並無特別限定，作為可離子化的碳源化合物，可使用乙烷(ethane)、甲烷(methane)、二氧化碳(CO₂)、苄基(benzyl)等，作為可離子化的硼源化合物，可使用二硼烷(diborane)、十硼烷(decaborane, B₁₀H₁₄)等。例如在將使苄基與十硼烷混合而成的氣體作為材料氣體時，可生成碳、硼及氫集合的氫化合物簇。另外，若將環己烷(cyclohexane, C₆H₁₂)作為材料，則可生成包含碳及氫的簇離子。作為碳源化合物，特佳為使用由芘(pyrene, C₁₆H₁₀)、聯苄(C₁₄H₁₄)等生成的簇 C_nH_m (3 ≤ n ≤ 16、3 ≤ m ≤ 10)。原因是容易形成小尺寸的簇離子束。

【0044】 另外，藉由控制簇離子的加速電壓及簇尺寸，可以控制改質層 18 中的構成元素在深度方向的濃度分佈的峰值的位置。本說明書中所謂「簇尺寸」，是指構成 1 個簇的原子或分子的個數。

【0045】 在本實施形態的第 1 步驟中，就獲得較高去疵能力的觀

點而言，用以下方式照射簇離子 16：使改質層 18 中的構成元素在深度方向的濃度分佈的峰值在距半導體晶圓 10 的表面 10A 的深度為 150 nm 以下的範圍內。另外，在本說明書中，「構成元素在深度方向的濃度分佈」在構成元素包含 2 種以上元素時，並非其合計，而是關於各個單獨的元素的分佈。

【0046】 在使用 C_nH_m ($3 \leq n \leq 16$ 、 $3 \leq m \leq 10$) 簇離子時，為了將峰值位置設定於該深度的範圍所必需的條件為：每 1 碳原子的加速電壓為超過 0 keV/atom 且小於 50 keV/atom，較佳為設為 40 keV/atom 以下。另外，簇尺寸設為 2 個～100 個、較佳為設為 60 個以下、更佳為設為 50 個以下。

【0047】 另外，在加速電壓的調整中，通常使用 (1) 靜電加速、(2) 高頻加速這 2 種方法。作為前者的方法為：將多個電極等間隔地排列，對所述電極之間施加相等的電壓，而在軸方向產生等加速電場的方法。作為後者的方法為：一邊使離子直線行進一邊使用高頻進行加速的線形直線加速器 (LINAC: Linear Accelerator) 法。另外，簇尺寸的調整可藉由調整自噴嘴噴出的氣體的氣壓及真空容器的壓力以及離子化時對長絲 (filament) 施加的電壓等而進行。另外，簇尺寸可由以下方式求出：藉由利用四極高頻電場 (quadrupole high frequency electric field) 的質譜或飛行時間 (Time-of-Flight) 質譜求出簇個數分佈，並取簇個數的平均值求出。

【0048】 另外，簇離子的劑量可藉由控制離子照射時間而調整。

在本實施形態中，爲了獲得去疵能力，簇離子的碳的劑量較佳爲 $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^2 \sim 1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$ 。原因是，在簇離子的碳的劑量小於 $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^2$ 時，有可能無法充分獲得去疵能力，在簇離子的碳的劑量超過 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$ 時，有對磊晶表面造成較大損傷之虞。簇離子的碳的劑量特佳爲 $2.0 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2$ 以上。此時，由於對半導體晶圓的結晶造成的損傷變大，藉由恢復熱處理的結晶性恢復的效果變得更有效。

● **【0049】** 本發明的其他特徵性步驟是：對半導體晶圓 10 進行用以結晶性恢復的熱處理（恢復熱處理），以使半導體晶圓表面 10A 的霧度水準成爲 0.20 ppm 以下的第 2 步驟（圖 1(C)、圖 2(D)）。若半導體晶圓的表面 10A 的霧度水準設爲 0.20 ppm 以下，則在藉由後續的第 3 步驟而形成磊晶層 20 時，半導體磊晶晶圓的磊晶層表面可成爲 0.30 ppm 以下。

● **【0050】** 此處，所謂霧度水準，是半導體晶圓的表面粗糙度的指標。在半導體晶圓上形成磊晶層時，容易在磊晶層的表面產生被稱爲霧化（Haze）的模糊現象（cloudy），而發生藉由粒子計數器難以測定光點缺陷（Light Point Defects, LPD），無法保證半導體磊晶晶圓的品質的情況，因此使用該指標。霧度水準能以測定照射至晶圓表面的光（主要是雷射光）的表面散射光時，總散射光相對於入射光的比例（ppm）而求出，並藉由任意的的方法測定。例如可使用作爲表面缺陷檢查裝置的科磊（KLA-Tencor）公司製造的 Surfscan SP-1，藉由 DWN 模式（Dark Field Wide Normal 模式：

暗視野-寬-垂直入射模式)觀察晶圓表面,將所得的霧度值的平均值作為霧度水準進行評估。通常,表面粗糙度越大,則霧度水準變得越高。

【0051】 在一實施形態例中,為了進行將半導體晶圓的表面 10A 的霧度水準設成為 0.20 ppm 以下的恢復熱處理,而可在用以形成磊晶層 20 的磊晶成長裝置內,兼帶進行在磊晶成長之前的氫烘烤處理,而可使半導體晶圓 10 的結晶性恢復。此處,氫烘烤處理的通常的條件是:將磊晶成長裝置內設為氫氣環境,在 600℃ 以上、900℃ 以下的爐內溫度下將矽晶圓 10 投入至爐內,以 1℃/秒以上、15℃/秒以下的升溫速率,升溫至 1100℃ 以上、1200℃ 以下的溫度範圍,並在該溫度下保持 30 秒以上、1 分鐘以下的時間。本實施形態中,就使結晶性充分恢復的觀點而言,積極地進行該通常的氫烘烤處理溫度以上的熱處理。兼帶氫烘烤處理時的恢復熱處理條件,可將上述保持溫度及保持時間分別設為 1100℃ ~ 1200℃、1 分鐘以上,更佳為將保持時間設為 2 分鐘以上。熱處理時間的上限並無特別限定,例如可設為 10 分鐘。原因是,即便實施超過 10 分鐘的熱處理,使因簇離子照射而混亂的結晶性恢復的效果亦會飽和,而且長時間的熱處理會招致生產性的降低。另外,在進行兼帶上述磊晶成長之前所進行的氫烘烤處理的恢復熱處理時,藉由進行與模擬氫烘烤處理的條件相同的條件的恢復熱處理,而可以測定恢復熱處理後且磊晶層形成前的半導體晶圓的表面 10A 的霧度水準。

【0052】 另外，作為恢復熱處理的其他實施形態，在第 2 步驟中，可使用快速熱退火/快速熱氧化（Rapid Thermal Annealing/Rapid Thermal Oxidation，RTA/RTO）、或批次式熱處理裝置（縱型熱處理裝置、橫型熱處理裝置）等與磊晶裝置不同的加熱裝置進行恢復熱處理。此時的恢復熱處理可在 $900^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 、10 秒 $\sim$ 1 小時的恢復熱處理條件下進行。此處，將熱處理溫度設為 $900^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 以下的原因是，在熱處理溫度小於 900°C 時，難以獲得結晶性的恢復效果；另一方面，若熱處理溫度超過 1200°C ，則會因高溫下的熱處理產生滑動，並且對裝置的熱負載變大。另外，將熱處理時間設為 10 秒 $\sim$ 1 小時的原因是，在熱處理時間小於 10 秒時，難以獲得恢復效果；另一方面，在熱處理時間超過 1 小時之時，會招致生產性的降低，並且對裝置的熱負載變大。此時，在進行上述恢復熱處理後，將半導體晶圓 10 搬送至磊晶成長裝置中進行後續的第 3 步驟。另外，簇離子的碳的劑量為 1.0×10^{15} atoms/cm² 以上時，恢復熱處理所需要的時間變長，因此更佳為在搬送至磊晶成長裝置內之前進行上述恢復熱處理。

【0053】 在本實施形態的第 3 步驟中，作為形成於改質層 18 上的第 2 磊晶層 20，可列舉矽磊晶層，可藉由通常的條件而形成。例如，將氫氣作為載體氣體，將二氯矽烷（dichlorosilane）、三氯矽烷（trichlorosilane）等來源氣體導入至腔室內，成長溫度亦因所使用的來源氣體而不同，但可在大致 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 溫度範圍的溫度下，藉由 CVD 法在半導體晶圓 10 上進行磊晶成長。磊晶

層 20 的厚度較佳為設為 $1\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$ 的範圍內。原因是，在厚度小於 $1\ \mu\text{m}$ 時，第 2 磊晶層 20 的電阻率有可能因來自半導體晶圓 10 的摻雜劑的外側擴散而變化，另外，在厚度超過 $15\ \mu\text{m}$ 時，有對固體攝影元件的分光感度特性產生影響之虞。第 2 磊晶層 20 成為用以製造背面照射型固體攝影元件的裝置層。

【0054】 另外，在圖 2(A)～圖 2(E) 所示的第 2 實施形態中，其特徵之一在於並非對主體半導體晶圓 12 而是對第 1 磊晶層 14 進行簇離子照射。主體半導體晶圓與磊晶層相比，氧濃度高 2 階左右。因此，形成於主體半導體晶圓中的改質層，與形成於磊晶層中的改質層相比，有更多的氧擴散，並捕獲大量的氧。所捕獲的氧在元件製程中自捕獲部位被再次釋放，並擴散至元件的活性區域，而形成點缺陷，因此對元件的電氣特性造成不良影響。因此，對固溶氧濃度低的磊晶層照射簇離子，而在幾乎可忽視氧擴散的影響的磊晶層上形成去疵層，成為元件製程中重要的設計條件。

【0055】 (半導體磊晶晶圓)

接著，對藉由上述製造方法而得的半導體磊晶晶圓 100、半導體磊晶晶圓 200 進行說明。第 1 實施形態的半導體磊晶晶圓 100 及第 2 實施形態的半導體磊晶晶圓 200 如圖 1(D) 及圖 2(E) 所示，其包括：半導體晶圓 10；改質層 18，其形成於所述半導體晶圓 10 的表面，且包含在所述半導體晶圓 10 中固溶的特定元素；以及所述改質層 18 上的磊晶層 20。並且其特徵在於：任一者中，

改質層 18 中的特定元素在深度方向的濃度分佈的半寬度 W 均為 100 nm 以下，且磊晶層 20 表面的霧度水準為 0.30 ppm 以下。

【0056】 即，根據本發明的製造方法，與單體離子注入相比，可使構成簇離子的元素的析出區域局部化且高濃度化，因此可使上述半寬度 W 成為 100 nm 以下。半寬度的下限可為 10 nm。另外，本說明書中的「深度方向的濃度分佈」是藉由二次離子質譜法（SIMS：Secondary Ion Mass Spectrometry）而測定的深度方向的濃度分佈。另外，「特定元素在深度方向的濃度分佈的半寬度」是考慮到測定精度，在磊晶層的厚度超過 1 μm 時，即在將磊晶層薄膜化為 1 μm 的狀態下，藉由 SIMS 而測定特定元素的濃度分佈時的半寬值。

【0057】 而且，根據本發明的製造方法，可藉由在簇離子照射後進行使半導體晶圓 10 的表面 10A 的霧度水準成為 0.20 ppm 以下的恢復熱處理後，形成磊晶層 20，而使上述霧度水準成為 0.30 ppm 以下。另外，半導體磊晶晶圓表面的霧度水準測定能以與前述的半導體晶圓的霧度水準測定相同的方式進行。

【0058】 作為特定元素，若為半導體晶圓的主材料（在矽晶圓時，為矽）以外的元素，則並無特別限定，但如前述，較佳為碳或包含碳在內的 2 種以上元素。

【0059】 就獲得更高的去疵能力的觀點而言，半導體磊晶晶圓 100、半導體磊晶晶圓 200 的改質層 18 中的濃度分佈的峰值均較佳為位於距半導體晶圓 10 的表面之深度為 150 nm 以下的範圍

內。另外，濃度分佈的峰值濃度較佳為 1×10^{15} atoms/cm³ 以上，更佳為 1×10^{17} atoms/cm³ $\sim$ 1×10^{22} atoms/cm³ 的範圍內，尤佳為 1×10^{19} atoms/cm³ $\sim$ 1×10^{21} atoms/cm³ 的範圍內。

【0060】 另外，半導體磊晶晶圓 100、半導體磊晶晶圓 200 中，磊晶層 20 表面的霧度水準均為 0.30 ppm 以下，更佳為 0.26 ppm 以下，霧度水準的下限可為 0.05 ppm。

【0061】 另外，改質層 18 的深度方向厚度可為大約 30 nm $\sim$ 400 nm 的範圍內。

【0062】 根據本實施形態的半導體磊晶晶圓 100、半導體磊晶晶圓 200，可藉由發揮出比習知更高的去疵能力，而進一步抑制金屬污染，且可使磊晶層表面的霧度水準成為 0.30 ppm 以下。

【0063】 （固體攝影元件的製造方法）

本發明的實施形態的固體攝影元件的製造方法的特徵是：在位於藉由上述製造方法而製造的磊晶晶圓或上述磊晶晶圓、即半導體磊晶晶圓 100、半導體磊晶晶圓 200 的表面的磊晶層 20 上，形成固體攝影元件。藉由所述製造方法得到的固體攝影元件，與習知相比可降低在製造步驟的各處理中所產生的重金屬污染的影響，並且與習知相比可充分地抑制白點缺陷的產生。

【0064】 以上，對本發明的代表性的實施形態進行了說明，但本發明並不限定於所述實施形態。例如，亦可在半導體晶圓 10 上形成 2 層的磊晶層。

[實施例]

【0065】（參考實驗例）

首先，爲了釐清簇離子照射與單體離子注入的差異，而進行以下的實驗。

【0066】（參考例 1）

準備由 CZ 單晶而得的 n 型矽晶圓（直徑：300 mm、厚度：725 μm 、摻雜劑：磷、摻雜劑濃度： $4 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3$ ）。繼而使用簇離子產生裝置（日新離子機器（NISSIN ION EQUIPMENT）公司製造、型號：CLARIS），由聯苳（ $\text{C}_{14}\text{H}_{14}$ ）生成 C_5H_5 簇，在劑量爲 $1.2 \times 10^{14} \text{ 簇/cm}^2$ （碳的劑量爲 $6.0 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2$ ）、每 1 碳原子的加速電壓爲 14.8 keV/atom 的照射條件下，對矽晶圓進行照射。

【0067】（參考例 2）

對與參考例 1 相同的矽晶圓，將以 CO_2 作爲材料氣體而生成的碳的單體離子來代替簇離子照射，劑量設爲 $1.2 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2$ 、加速電壓爲 300 keV/atom 的條件，除此以外，以與參考例 1 相同的條件，對矽晶圓進行照射。

【0068】（SIMS 測定結果）

將上述參考例 1、參考例 2 中所製作的樣品以 SIMS 進行測定，而獲得圖 4 所示的碳的濃度分佈。另外，橫軸的深度是將矽晶圓表面設爲 0。根據該圖 4 可明白，在進行簇離子照射的參考例 1 中，碳濃度分佈尖銳，但在進行單體離子注入的參考例 2 中，碳濃度分佈較寬。另外，與參考例 2 相比，在參考例 1 中，碳的濃度分佈的峰值濃度高，且較峰值位置而位於矽晶圓表面附近。據

此推測，在磊晶層形成後，碳的濃度分佈亦有相同的傾向。

【0069】（實施例 1）

準備由 CZ 單晶而得的 n 型矽晶圓（直徑：300 mm、厚度：725 μm 、摻雜劑種類：磷、摻雜劑濃度： $4 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3$ ）。繼而使用簇離子產生裝置（日新離子機器公司製造、型號：CLARIS），由聯苳（ $\text{C}_{14}\text{H}_{14}$ ）生成 C_5H_5 簇，在劑量為 $1.2 \times 10^{14} \text{ 簇/cm}^2$ （碳的劑量為 $6.0 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2$ ）、每 1 碳原子的加速電壓為 14.8 keV/atom 的照射條件下，對矽晶圓進行照射。然後，將矽晶圓搬送至磊晶成長裝置（應用材料（Applied Materials）公司製造）內，作為因簇離子照射而混亂的結晶性的恢復熱處理，在裝置內以 1130°C 的溫度實施兼帶 2 分鐘的氫烘烤處理的熱處理後，將氫氣作為載體氣體，將三氯矽烷作為來源氣體，在 1000°C ~ 1150°C 下，藉由 CVD 法，在矽晶圓上使矽的磊晶層（厚度：7 μm 、摻雜劑種類：磷、摻雜劑濃度： $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ ）進行磊晶成長，而製作根據本發明的矽磊晶晶圓。

【0070】（實施例 2）

代替在磊晶裝置內的兼帶氫烘烤處理的恢復熱處理，而在將矽晶圓搬送至磊晶成長裝置前，使用 RTA 裝置（瑪特森熱產品（Mattson Thermal Products）公司製造），在 900°C、10 秒的條件下實施恢復熱處理，然後搬送至磊晶成長裝置內，在裝置內在 1130°C 的溫度下實施 30 秒的氫烘烤處理而使磊晶層成長，除此以外，以與實施例 1 相同的條件，製作根據本發明的矽磊晶晶圓。

【0071】（實施例 3）

將簇離子的照射條件設為表 1 所記載的條件，除此以外，以與實施例 1 相同的方式，製作根據本發明的矽磊晶晶圓。

【0072】（實施例 4）

將簇離子的照射條件設為表 1 所記載的條件，除此以外，以與實施例 2 相同的方式，製作根據本發明的矽磊晶晶圓。

【0073】（比較例 1、比較例 2）

將簇離子的照射條件設為如表 1 所記載，且不進行恢復熱處理步驟，除此以外，以與實施例 2 相同的方式，製作比較例的矽磊晶晶圓。

【0074】（比較例 3、比較例 4）

在表 1 所記載的條件下注入碳的單體離子代替簇離子照射，繼而將恢復熱處理條件設為表 1 所記載的條件，除此以外，以與比較例 1 相同的方式，製作比較例的矽磊晶晶圓。

【0075】（評估方法及評估結果）

對上述實施例及比較例中所製作的各樣品進行評估。評估方法為以下所示。

【0076】（1）SIMS 測定

作為代表例，對實施例 1 及比較例 4 的矽磊晶晶圓進行 SIMS 測定，而獲得圖 5（A）、圖 5（B）所示的碳的濃度分佈。另外，橫軸的深度是將磊晶層的表面設為 0。繼而對實施例 1 至實施例 4 及比較例 1 至比較例 4 中所製作的各樣品，在將磊晶層薄膜化至 1

μm 後進行 SIMS 測定。將此時所得的碳的濃度分佈的半寬度、峰值濃度、及峰值位置（距除去磊晶層的表面的峰值深度）表示於表 1。

【0077】（2）去疵能力評估

藉由鎳污染液（ $1.0 \times 10^{12} \text{ atoms/cm}^2$ ）使用旋塗污染法故意污染實施例 1 及比較例 4 中所製作的各樣品的矽磊晶晶圓表面，繼而實施 900°C 、30 分鐘的熱處理。然後，進行 SIMS 測定。將關於實施例 1 及比較例 4 的鎳濃度分佈分別與碳濃度分佈一起表示（圖 5（A）、圖 5（B））。關於其他的實施例及比較例，將去疵能力評估的結果表示於表 1。另外，將鎳濃度分佈的峰值濃度按以下方式分別進行分類，作為評估基準。

◎： $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上

○： $5.0 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上～小於 $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$

△：小於 $5.0 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$

【0078】（3）磊晶缺陷的評估

對實施例及比較例中所製作的各樣品，評估在磊晶層表面所觀察的磊晶缺陷。使用表面缺陷檢查裝置（科磊公司製造：Surfscan SP-2），藉由 DWO 模式（Dark Field Wide Oblique 模式：暗視野-寬-傾斜入射模式）觀察磊晶層表面，使用原子力顯微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）定點觀察評估所檢測的缺陷部位。測定將磊晶層表面所觀察到的由結晶引起之微粒（Crystal originated particles，COP）作為起點的疊差（SF：Stacking Fault）的個數，

將其作為磊晶缺陷進行評估。將磊晶缺陷的評估結果表示於表 1。

另外，評估基準如以下所述。

◎：2 個/晶圓以下

○：超過 2 個/晶圓～10 個/晶圓以下

△：超過 10 個/晶圓～50 個/晶圓以下

×：超過 50 個/晶圓

【0079】（4）霧度水準的評估

對實施例及比較例中所製作的各樣品，使用科磊公司製造：Surfscan SP-1，藉由 DWN 模式分別觀察磊晶層形成前的矽晶圓表面及磊晶形成後的磊晶層表面，將所得的霧度化值的平均值作為霧度水準進行評估。將霧度水準的評估結果表示於表 1。另外，關於實施例 1、實施例 3 的簇離子照射後且磊晶層形成前的矽晶圓表面的霧度水準，測定進行模擬氫烘烤的恢復熱處理時的霧度水準。

【0080】 [表 1]

表 1

	簇離子照射/單體離子注入條件					恢復熱處理條件			磊晶層形成前的評估	磊晶矽晶圓的評估				
	種類	照射/注入離子	加速電壓 (keV/atom)	劑量※ (簇/cm ²) (atoms/cm ²)	溫度 (℃)	時間	裝置種類	霧度水 準 (ppm)	半寬 度 (nm)	碳濃度峰 值位置 (nm)	碳濃度峰值 (atoms/cm ³)	霧度 水準 (ppm)	去疵 能力	磊晶 缺陷
實施例 1	簇離子	C ₃ H ₅	14.8	1.2×10 ¹⁴	1130	2分鐘	磊晶裝置	0.155	91	50	3.00×10 ¹⁹	0.233	◎	◎
實施例 2	簇離子	C ₃ H ₅	14.8	1.2×10 ¹⁴	900	10秒	RTA	0.150	93	50	3.02×10 ¹⁹	0.215	◎	◎
比較例 1	簇離子	C ₃ H ₅	14.8	1.2×10 ¹⁴	-	-	-	0.322	89	50	3.00×10 ¹⁹	0.350	◎	△
實施例 3	簇離子	C ₃ H ₅	14.8	3.0×10 ¹⁴	1130	2分鐘	磊晶裝置	0.193	96	80	4.00×10 ¹⁹	0.256	◎	◎
實施例 4	簇離子	C ₃ H ₅	14.8	3.0×10 ¹⁴	900	10秒	RTA	0.190	96	80	3.98×10 ¹⁹	0.260	◎	◎
比較例 2	簇離子	C ₃ H ₅	14.8	3.0×10 ¹⁴	-	-	-	0.507	95	80	4.01×10 ¹⁹	5.970	◎	△
比較例 3	單體離子	C	300	1.2×10 ¹⁴	-	-	-	0.157	270	700	1.00×10 ¹⁹	0.275	△	×
比較例 4	單體離子	C	300	1.2×10 ¹⁴	900	10秒	RTA	0.140	270	700	1.03×10 ¹⁹	0.270	△	○

※簇離子照射時的單位為簇/cm²，單體離子注入時的單位為 atoms/cm²。

【0081】（評估結果的考察）

根據圖 5 (A)、圖 5 (B) 可知，藉由簇離子照射，實施例 1 與實施了單體離子注入的比較例 4 相比，形成使碳局部且高濃度固溶的改質層。而且，根據鎳的濃度分佈可知，若將實施例 1 與比較例 4 進行比較，則在實施例 1 中，藉由簇離子照射而形成的改質層捕獲大量的鎳，而發揮出較高的去疵能力。另外，如表 1 所示可知，進行了簇離子照射的實施例 1 至實施例 4 及比較例 1、比較例 2，半寬度均為 100 nm 以下，而均具備充分的去疵能力。另一方面，進行了單體離子注入的比較例 3、比較例 4，半寬度均超過 100 nm，而去疵能力不足。如此可以說，照射了簇離子的實施例 1 至實施例 4 及比較例 1、比較例 2 與注入了單體離子的比較例 3、比較例 4 相比，由於碳濃度分佈的半寬度變小，因此能獲得更高的去疵能力。

【0082】 接著，關於霧度水準，請參照表 1。將雖然同樣進行簇離子照射，但進行恢復熱處理的實施例 1 至實施例 4，與未進行恢復熱處理的比較例 1、比較例 2 進行比較，則實施例 1 至實施例 4 藉由進行恢復熱處理而磊晶層表面的霧度水準變為 0.30 ppm 以下，但未進行恢復熱處理的比較例 1、比較例 2 中的霧度水準並未變為 0.30 ppm 以下。如此可知，在照射簇離子時，為了使磊晶矽晶圓的霧度水準成為 0.30 ppm 以下，必須在磊晶層形成前進行恢復熱處理以使矽晶圓表面的霧度水準為 0.20 ppm 以下。另外，若將比較例 3 與比較例 4 進行比較，則可知即便在單體離子注入時，

霧度水準亦會藉由恢復熱處理而恢復，但若與照射簇離子的情形相比，則其恢復效果微小。其原因被認為是：在簇離子照射時，會使矽晶圓表面的平坦度惡化，相對於此，在單體離子注入時，由於高能量之故，會使矽晶圓表層部分的結晶性極為混亂。

【0083】 另外，根據表 1 亦可知，霧度水準與磊晶缺陷存在相關關係。即，霧度水準越低，則磊晶缺陷表現出越良好的結果。

【0084】 根據以上的結果可知，如實施例中所進行的，為了獲得更高的去疵能力，而必須照射簇離子。而且可知，藉由在簇離子照射後進行恢復熱處理，而可使磊晶層表面的霧度水準成為 0.30 ppm 以下的充分低的水準。

[產業利用性]

【0085】 根據本發明，能獲得可藉由發揮出更高的去疵能力而抑制金屬污染、且磊晶層表面的霧度水準降低的半導體磊晶晶圓，並且可由所述半導體磊晶晶圓形成高品質的固體攝影元件。

【符號說明】

【0086】

10：半導體晶圓

10A：半導體晶圓的表面

12：主體半導體晶圓

14：第 1 磊晶層

16：簇離子

18：改質層

20 : (第 2) 磊晶層

100 : 半導體磊晶晶圓

200 : 半導體磊晶晶圓

申請專利範圍

1. 一種半導體磊晶晶圓的製造方法，其特徵在於包括：

第 1 步驟，其對半導體晶圓照射簇離子，而在上述半導體晶圓的表面形成包含上述簇離子的構成元素的改質層；

第 2 步驟，其在上述第 1 步驟後，對上述半導體晶圓進行用以結晶性恢復的熱處理，以使上述半導體晶圓表面的霧度水準成為 0.20 ppm 以下；以及

第 3 步驟，其在上述第 2 步驟後，在上述半導體晶圓的改質層上形成磊晶層；

在上述第 3 步驟後，得到上述改質層中的上述構成元素在深度方向的濃度分佈的半寬度為 100 nm 以下的半導體磊晶晶圓。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之半導體磊晶晶圓的製造方法，其中上述半導體晶圓為矽晶圓。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之半導體磊晶晶圓的製造方法，其中上述半導體晶圓為在矽晶圓的表面形成矽磊晶層的磊晶矽晶圓，在上述第 1 步驟中上述改質層形成於上述矽磊晶層的表面。

4. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述之半導體磊晶晶圓的製造方法，其中上述簇離子包含碳作為構成元素。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述之半導體磊晶晶圓的製造方法，其中上述簇離子包含含有碳在內的 2 種以上元素作為構成元素。

6. 如申請專利範圍第 4 項所述之半導體磊晶晶圓的製造方法，其中上述簇離子的碳的劑量為 2.0×10^{14} atoms/cm² 以上。

7. 一種半導體磊晶晶圓，其特徵在於包括：

半導體晶圓；

改質層，形成於上述半導體晶圓的表面，且包含固溶於上述半導體晶圓中的特定元素；以及

磊晶層，位於上述改質層上，

上述改質層中的上述特定元素在深度方向的濃度分佈的半寬度為 100 nm 以下，上述磊晶層表面的霧度水準為 0.30 ppm 以下。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述之半導體磊晶晶圓，其中上述半導體晶圓為矽晶圓。

9. 如申請專利範圍第 7 項所述之半導體磊晶晶圓，其中上述半導體晶圓為在矽晶圓的表面形成矽磊晶層的磊晶矽晶圓，上述改質層位於上述矽磊晶層的表面。

10. 如申請專利範圍第 7 項至第 9 項中任一項所述之半導體磊晶晶圓，其中上述改質層中的上述濃度分佈的峰值位於距上述半導體晶圓的表面之深度為 150 nm 以下的範圍內。

11. 如申請專利範圍第 7 項至第 9 項中任一項所述之半導體磊晶晶圓，其中上述改質層中的上述濃度分佈的峰值濃度為 1×10^{15} atoms/cm³ 以上。

12. 如申請專利範圍第 7 項至第 9 項中任一項所述之半導體磊晶晶圓，其中上述特定元素包含碳。

13. 如申請專利範圍第 12 項所述之半導體磊晶晶圓，其中上述特定元素包含含有碳在內的 2 種以上元素。

14. 一種固體攝影元件的製造方法，其特徵在於：在位於藉由如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述之半導體磊晶晶圓的製造方法而製造的磊晶晶圓或如申請專利範圍第 7 項至第 9 項中任一項所述之半導體磊晶晶圓的表面的磊晶層上，形成固體攝影元件。

圖式

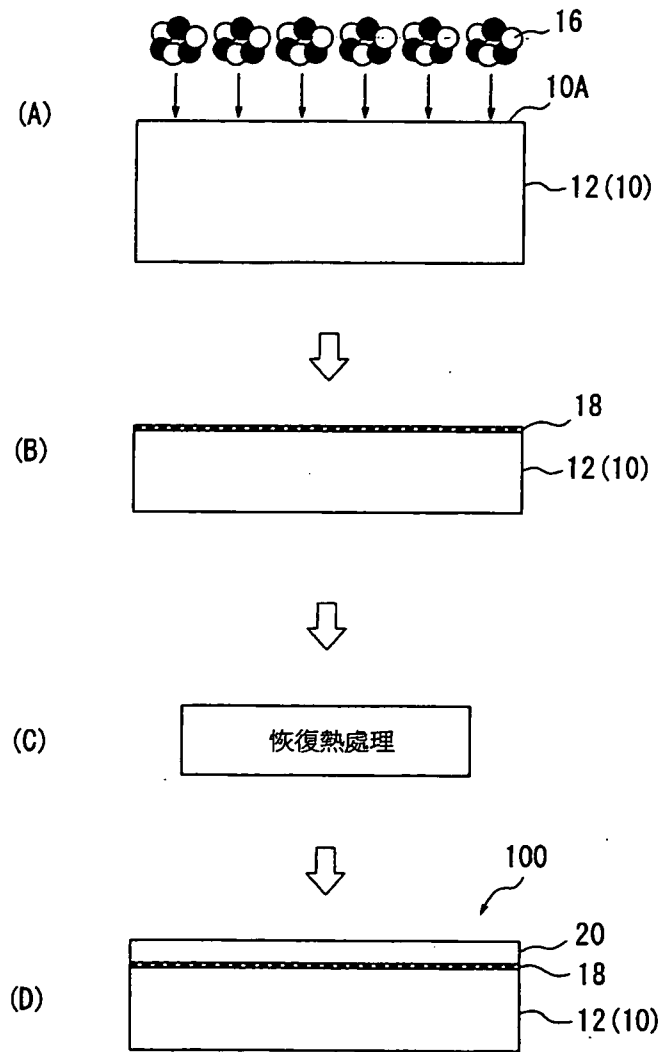


圖 1

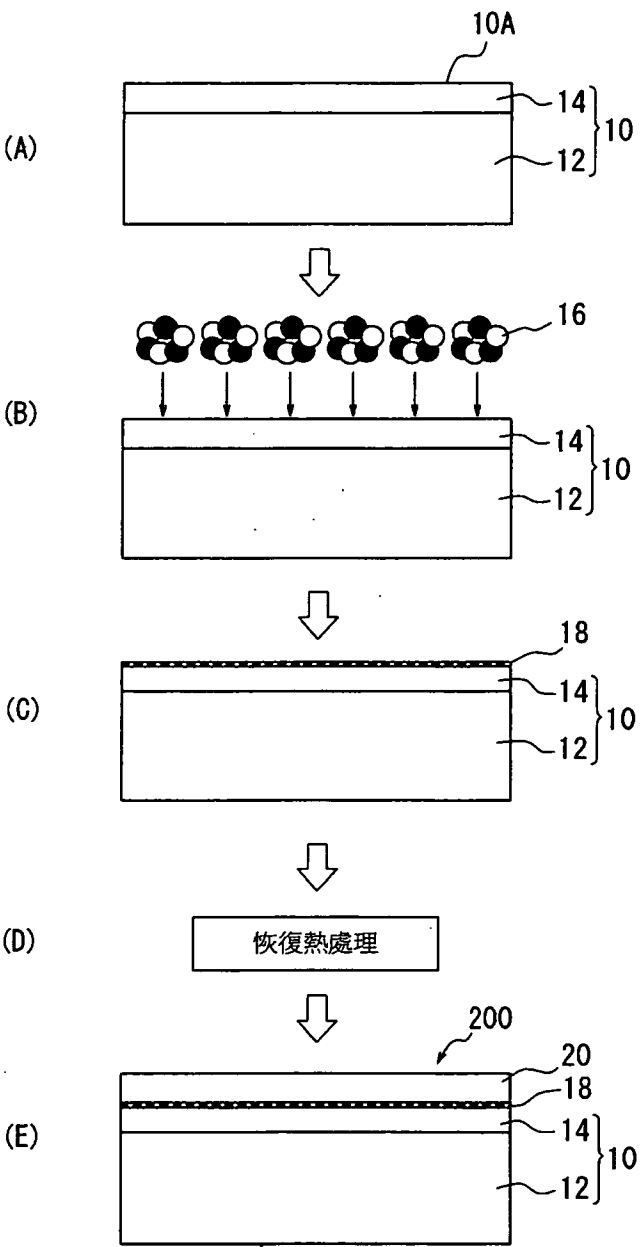


圖 2

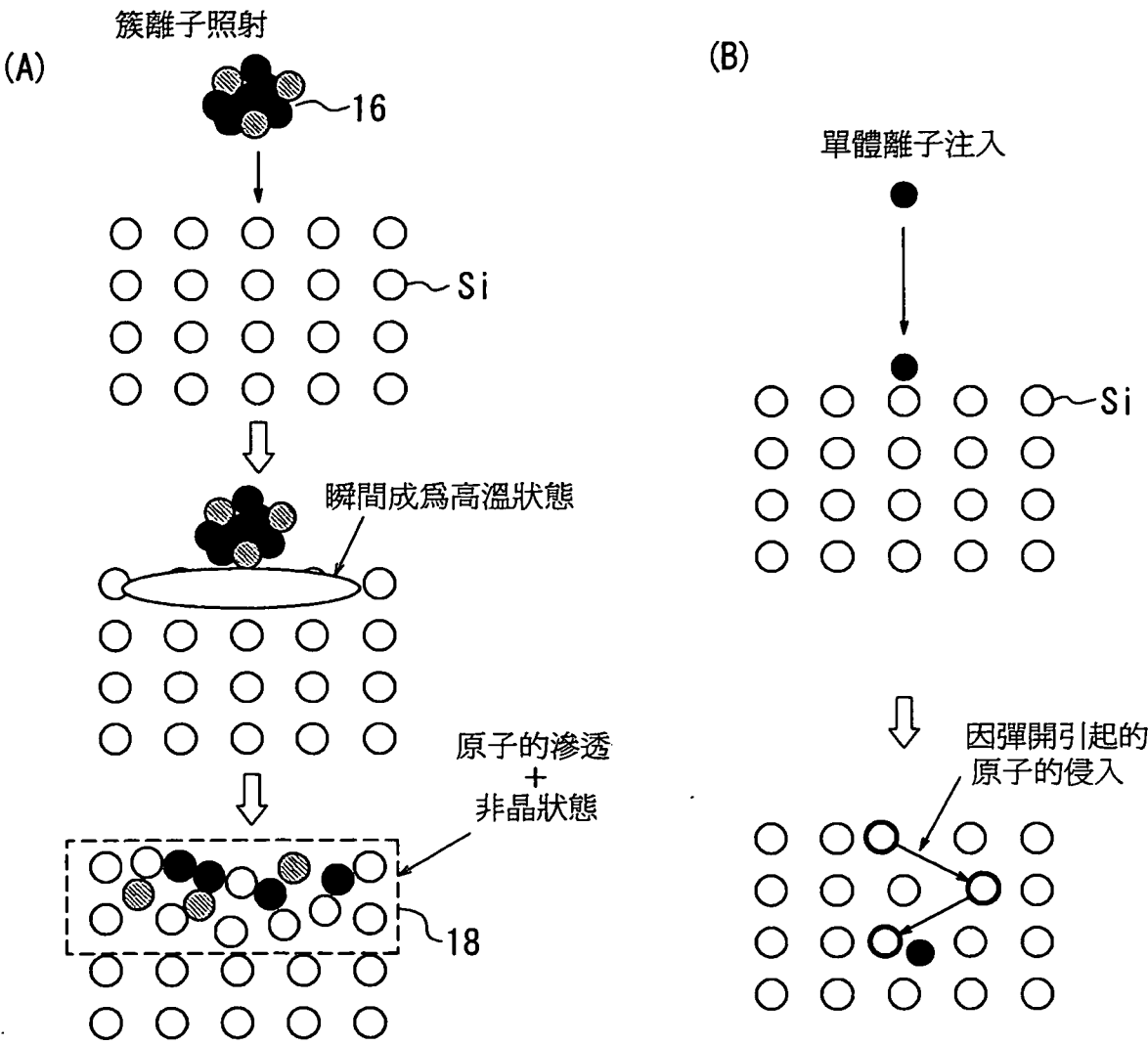


圖 3

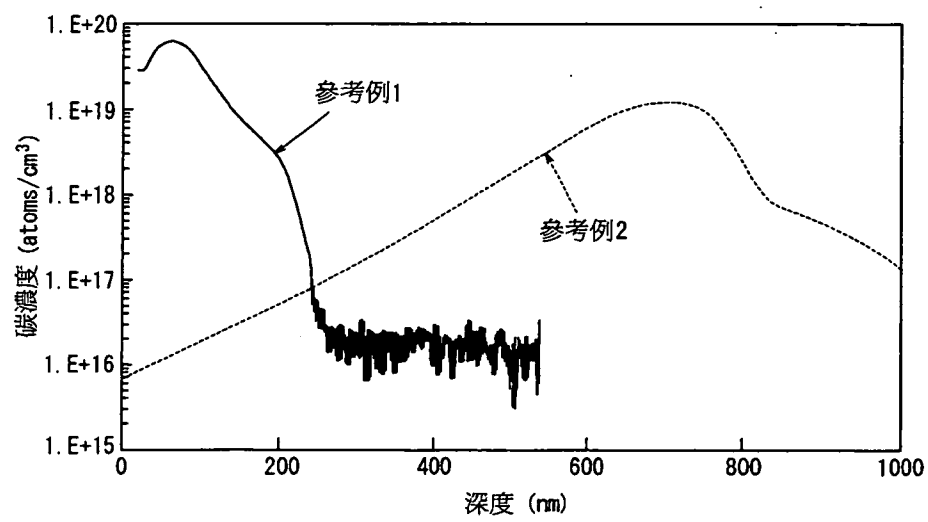


圖 4

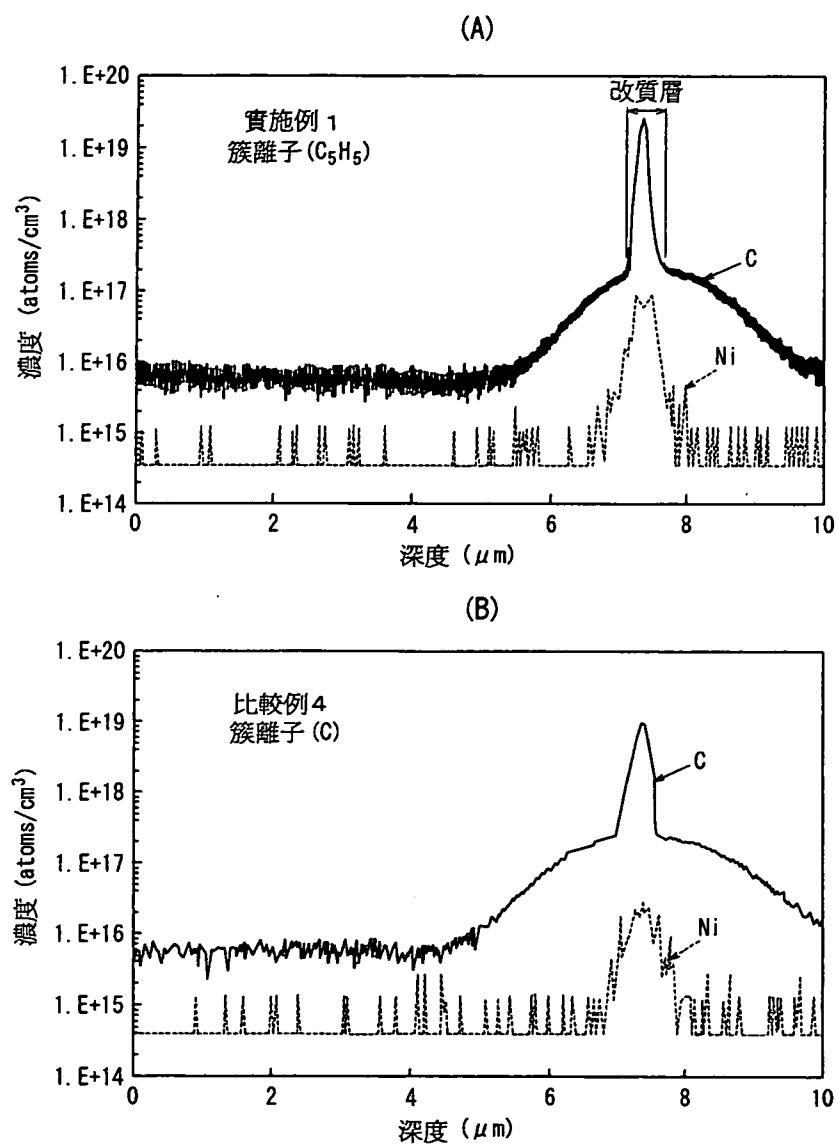


圖 5