



(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 I851374 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 08 月 01 日

(21)申請案號：112129371

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 08 月 04 日

(51)Int. Cl. : H01L21/20 (2006.01)

H01L21/70 (2006.01)

(30)優先權：2022/10/25 日本

2022-170586

(71)申請人：高見澤彰一 (日本) TAKAMIZAWA, SHOICHI (JP)

日本

(72)發明人：高見澤彰一 TAKAMIZAWA, SHOICHI (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

JP 2007-96139A1

JP 2009-224606A

審查人員：于若天

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：14 共 51 頁

(54)名稱

具有超接面構造之半導體元件之製造方法

(57)摘要

[課題]

提供一種方法，將形成於矽基板的開口寬小且深寬比大的溝槽，一邊防止開口部的閉塞，一邊透過高速的磊晶成長進行埋入。

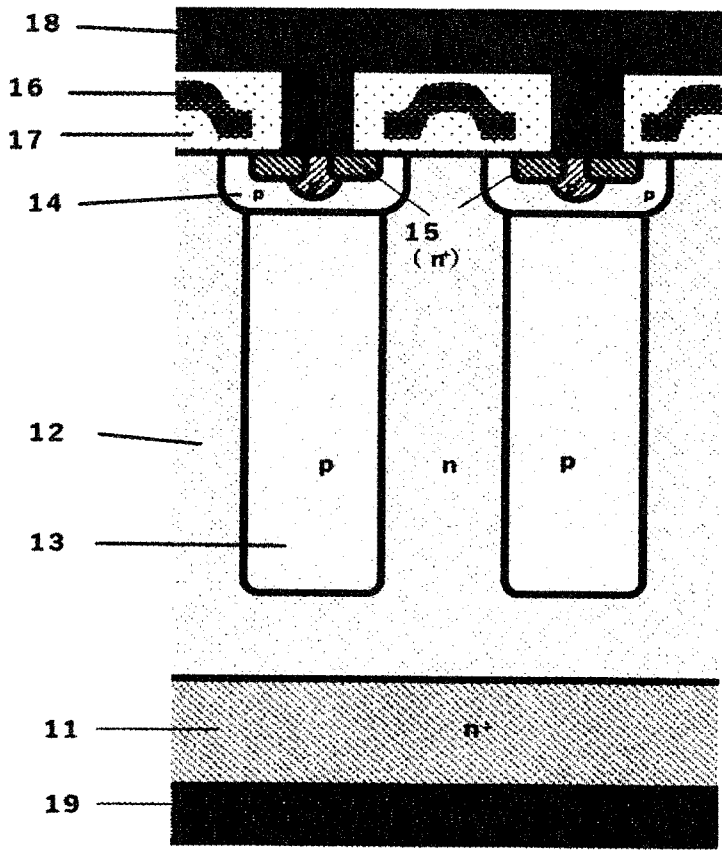
[解決手段]

將形成有高深寬比的溝槽的矽基板，透過選擇性磊晶成長，以在溝槽開口部不發生閉塞的方式將成長溫度設定為 950°C 至 1050°C 的範圍，對以高濃度的氯化矽烷為矽源的反應氣體將氯化氫氣體添加和溝槽的深寬比對應的量，在不發生閉塞的範圍內以高速的成長速度，將溝槽以磊晶成長進行埋入。

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 11:n+型矽基板
- 12:n 型磊晶層
- 13:p 型埋入磊晶層
- 14:p 井
- 15:源極
- 16:閘極電極
- 17:閘極絕緣膜
- 18:源極電極
- 19:汲極電極



【圖 1】



I851374

【發明摘要】

【中文發明名稱】

具有超接面構造之半導體元件之製造方法

【英文發明名稱】

MANUFACTURING METHOD OF THE SEMICONDUCTOR
ELEMENT HAVING SUPER JUNCTION STRUCTURE

【中文】

[課題]

提供一種方法，將形成於矽基板的開口寬小且深寬比大的溝槽，一邊防止開口部的閉塞，一邊透過高速的磊晶成長進行埋入。

[解決手段]

將形成有高深寬比的溝槽的矽基板，透過選擇性磊晶成長，以在溝槽開口部不發生閉塞的方式將成長溫度設定為 950℃ 至 1050℃ 的範圍，對以高濃度的氯化矽烷為矽源的反應氣體將氯化氫氣體添加和溝槽的深寬比對應的量，在不發生閉塞的範圍內以高速的成長速度，將溝槽以磊晶成長進行埋入。

【指定代表圖】圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

11:n+型矽基板

12:n型磊晶層

13:p型埋入磊晶層

14:p井

15:源極

16:閘極電極

17:閘極絕緣膜

18:源極電極

19:汲極電極

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

具有超接面構造之半導體元件之製造方法

【英文發明名稱】

MANUFACTURING METHOD OF THE SEMICONDUCTOR
ELEMENT HAVING SUPER JUNCTION STRUCTURE

【技術領域】

【0001】本發明，有關一種半導體基板之製造方法，在矽基板(表面被鏡面處理的矽晶圓)長條狀地形成多數個深溝槽，以和基板不同的導電型的矽磊晶成長層，將前述溝槽進行回填。

【先前技術】

【0002】隨功率MOSFET的技術進展，以導通電阻的減低效果為顯著的600V前後的高耐壓產品為中心，在基板長條狀形成多數個pn的柱並對耐壓具有低導通電阻特性的超接面MOSFET(SJMOS)的實用化正在進展。超接面(SJ)構造的製造法方面，包括多層磊晶法及深溝槽法(以下記載為溝槽埋入法)；該多層磊晶法，為將使和矽基板相同的導電型的薄磊晶層進行成長的程序，及將在微影程序後將和基板不同的導電型的摻雜劑進行離子植入，並再次使和前述基板相同的導電型的薄磊晶層進行成長的程序，反覆

進行多數次者；該深溝槽法，為以乾式蝕刻在矽基板形成深溝槽，透過和基板不同的導電型的磊晶成長，將溝槽進行回填者。利用容易形成微細溝槽且製造方法單純的溝槽埋入法下的SJ MOS的開發，一度被奮力推廣。然而，具有在將形成了溝槽的矽基板(以下記載為溝槽基板)以磊晶成長進行埋入之際溝槽開口部發生閉塞並產生空洞(void)的問題，不得不為了迴避產生空洞而使成長速度變慢，生產率顯著不良化，故實用化有限。

【0003】相對於此，多層磊晶法方面，交替反覆進行薄磊晶成長、微影及離子植入從而形成pn柱，故各個製程在技術上已確立。然而，要形成微細的pn柱，需要將形成薄磊晶成長層而進行離子植入的程序反覆進行多數次，直到pn柱的厚度成為可應付元件的耐壓的厚度為止，製程顯著變長變複雜，存在成本上升如此之問題。

【0004】多層磊晶法，在最尖端的邏輯系統CMOSIC用的矽基板方面變成廣泛使用p/p+型磊晶基板，單片式磊晶裝置的改良、 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 的厚度的磊晶成長處理技術有所進步，品質的提升、成本減低有進展，及 $300\text{mm} \phi$ 的基板亦開始用於多層磊晶法SJ MOS的製造，成為面積平均的磊晶製造成本減半的狀況。由於如此的背景，且亦由於將微細的溝槽在避開空洞的產生而效率佳地進行埋入的溝槽埋入法的技術開發未有進展，在現狀下，SJ MOS大半以多層磊晶法進行生產。

【0005】溝槽埋入法，在溝槽內產生空洞時成為耐壓

降低、漏電流增大的原因，故如何迴避其而將溝槽進行埋入，成為技術課題。將溝槽以磊晶成長進行埋入時，溝槽開口部發生閉塞而容易成為空洞產生的原因，其對策成為最大的課題。在初期，雖採用在對在埋入中途即將閉塞的溝槽開口部以利用了氯化氫氣體的回蝕進行拓寬後再開始埋入程序的方法，惟生產率極差。為了生產率提升，在相對早的階段，已提出如下手法：對磊晶成長的反應氣體添加鹵化物氣體而使溝槽開口部附近的成長速度比底部慢而防止閉塞；以反應速率限制條件進行埋入磊晶成長，防止在開口部的閉塞。(專利文獻1、2)然而，在將該等提議具體地實施下去的階段，難以有效率、穩定地實施空洞的產生防止，雖已提出多數個建議，惟大半為試錯地尋求無空洞的產生的磊晶成長條件的內容的建議，幾乎無在為了解決低生產率的問題方面的建議。(專利文獻5[0008])

【0006】在溝槽埋入法的一部分中，已有一種製程技術開發，採取在即使產生空洞亦幾乎不影響SJ MOS的電氣特性的位置產生空洞，磊晶成長速度相對上快，正在被以相當大的規模進行產品的製造。以在會招致元件特性的不良化或對製程造成大的障礙的表層部不產生空洞的方式，透過結晶方位的選擇、程序的設計而確保一定程度的生產率，逐漸實現大規模的產品販賣。然而，應付微細化方面達到極限，故未能應付多層磊晶法以上的微細化。(專利文獻4)

【0007】從2010年左右開始，SJ MOS的微細化、低導

通電阻化，變得被透過以多層磊晶法使磊晶層薄化而多層化從而執行，利用溝槽埋入法下的尖端 SJMOS 的產品開發，變得幾乎未有進行。在多層磊晶法，使磊晶層薄化而使層數增加至 15 層位而進行微細化、低導通電阻化的情形漸多。亦存在程序的複雜化、離子植入層的橫向的擴散等問題，微細化正接近極限。為此，雖仍留有往 200mm ϕ 化轉變的課題，惟實際上，次世代產品的開發的重點，已移至使用了 SiC、Si 上的 GaN 等新材料的元件下之高效能功率半導體。

【0008】無論如何，必然的是，矽系的功率 MOS 的需求，以反相器用為中心，今後會更加擴大。不僅尖端產品，通用產品的性能提升、成本減低、節能化亦需要進展下去。SJMOS，雖主要漸使用於耐壓為 600V 前後的產品，惟 100V 前後的低耐壓功率 MOS 方面，多層磊晶法的應用雖難，惟可應用溝槽埋入法，開發的主體移往 SiC、Si 上 GaN 等的當前，考量到使用矽基板的今後的功率 MOS 整體的性能提升時，使溝槽埋入型 SJMOS 的可能性再一次回到原點而再檢討，若可能，不應使該技術被埋藏。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

【0009】

[專利文獻 1] 日本特許第 3915984 號

[專利文獻 2] 日本特許第 4773716 號

[專利文獻 3] 日本特許第 4879545 號

[專利文獻4]日本特許第5072221號

[專利文獻5]日本特許第5702622號

[非專利文獻]

【0010】

[非專利文獻1]S.Yamauchi, et.al, Proc.ISPSD 2001,
p363

【發明內容】

[發明所欲解決之課題]

【0011】 SJMOS的導通電阻特性，以元件的微細化而實現高性能化。(圖2參照)然而，微細化方面，多層磊晶法及溝槽埋入法皆存在課題。在多層磊晶法，雖已具體地推測微細化的極限，惟溝槽埋入法，在不使空洞產生之下埋入何程度微細的溝槽方面，取決於溝槽埋入磊晶技術。在多層磊晶法，耐壓600V前後的產品方面，雖需要積層12層以上的薄磊晶層而作為必要的厚度，惟溝槽埋入法只要可容易地以磊晶成長將微細的溝槽進行埋入，則只需要1次磊晶成長，故只要可實現之，則可確定的是，會成為低導通電阻的SJMOS的製法的優選候補者。然而，為了迴避溝槽部的埋入不良(空洞)的產生方面的技術障礙，比預想以上高，未取得製法的進展的狀態持續至今。另一方面，邏輯系統CMOS用的3~5 μm 的厚度的平坦的磊晶成長的成本逐漸降低，故SJMOS方面，以多層磊晶法供應大半的產品。溝槽埋入法方面，在結束開發前，需要徹底的解

析、檢討其高技術障礙為何。

【0012】溝槽埋入法，使將深溝槽隔離、DRAM的溝槽電容器透過LPCVD以多晶矽進行埋入的技術發展於溝槽埋入磊晶技術的非專利文獻1，應成為原點。為了進行磊晶成長，使成長溫度為 650°C 至 850°C ，使成長壓力高達 10^3Pa 至 10^5Pa 。為此，溝槽開口部附近的成長速度變快，閉塞容易發生，故在成長中途升溫至 1000°C 以上，以氯化氫氣體將溝槽開口部進行回蝕而拓寬，低溫化而再次進行成長。以溝槽的深度 $40\mu\text{m}$ 、使深寬比為12而超越尖端多層磊晶法的特性為目標，示出了溝槽埋入法的可能性，惟在高溫的氫環境下即使最後進行退火，在溝槽底部仍留下微細的空洞，此外由於使用RTA裝置，故生產率的降低方面亦留下課題。

【0013】溝槽埋入法方面，以磊晶成長將溝槽進行埋入時，在溝槽內產生空洞時，會變成元件的電氣特性的不良化，會變成對製程造成障礙，故空洞的產生的問題解決被當作優先至今。為了解決空洞產生的問題用的技術上應對方面，已在早期階段提出一種溝槽埋入手法，透過對磊晶成長的反應氣體添加鹵化物氣體而在溝槽開口部附近阻礙蝕刻、磊晶成長，從而使溝槽開口部附近的成長速度比底部慢而防止閉塞。(專利文獻1、2)已依具體的結果而示出：可透過對成長氣體添加氯化氫氣體，從而一定程度抑制溝槽部的空洞的產生。然而，添加於成長氣體的鹵化物氣體如何有助於空洞產生的抑制方面的定量的確認未有進

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

行，未達到原理上理解該現象而謀求進一步的技術上的進展如此的狀況。

於前述的專利文獻1、2，亦已有如下的提議：為了溝槽的埋入性的提升，以反應速率限制條件進行埋入磊晶成長。透過氯化氫氣體的增加使得在開口部不發生閉塞的具體的實施例的提示、事例的說明雖已有進行，惟使溝槽埋入磊晶成長為反應速率限制成長的具體的方法、有效性方面，原理上的解說未有進行。最佳的溝槽埋入磊晶條件，被如示於專利文獻5般試錯地決定，設定多數個參數而決定最佳條件的手法成為煩雜者。需要發現將存在最佳條件的範圍進行縮小的策略。

【0014】在SJ MOS，透過將溝槽開口寬、pn柱的長條之間距進行窄小化，從而實現低導通電阻化。然而，在迄今為止的試作，要抑制空洞的產生而以磊晶成長將微細且高寬高比的溝槽進行埋入而製作SJ構造，變成需要使埋入磊晶成長的速度大幅降低如此之結果。迄今為止的溝槽埋入SJ MOS的製造手法的日本特許建議，防止空洞的產生的手法為主要的內容，為了將埋入磊晶成長時間進行短時間化用的手法方面，幾乎無觸及者。在已提出具體的時間的事例，依條件而有60分至200分的報告，惟(專利文獻3)在實施例中的成長時間的明確的報告，幾乎找不到。微細的溝槽的埋入磊晶成長方面，使空洞的產生防止與成膜時間的縮短同時成立的技術方案受到期望。

【0015】根據以上的狀況，本發明的課題在於，以現

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

狀下被廣泛使用的單片(型)磊晶裝置為前提，非如迄今為止的日本特許建議般的定性的議論，而是透過基於磊晶反應機構下的定量的議論，研究可否透過磊晶法以高速成長條件抑制空洞的產生而將微細至以多層磊晶法所實現以上且高寬高比的溝槽進行埋入，基於該研究，提供高性能、低成本的溝槽埋入型SJ MOS的具體的製造方法。

[用於解決課題之手段]

【0016】為了解決上述課題，請求項1的發明，其要旨在於，一種具有超接面構造之半導體元件之製造方法，在將形成於矽基板的長條狀的溝槽以和該矽基板不同的導電型的磊晶層進行埋入的超接面構造之製造中，使用利用了單片式反應器下的選擇磊晶成長法，在第1準備程序，將往和形成溝槽的前述矽基板相同的結晶方位的矽低電阻基板1的磊晶成長設定為成為穩定的高速擴散速率限制成長的條件，從將該情況下的反應氣體的矽源氣體流量、載流氫氣流量條件及該溫度下的成長速度，求出往前述矽基板單位表面每單位時間所供應的矽源的莫耳量，進一步以計算求出僅使成長溫度發生變化時的各溫度下的矽源的供應量，

在第2準備程序，不改變前述反應氣體的各流量條件之下，把將形成於前述矽基板的深寬比A的溝槽進行埋入的選擇性磊晶成長的溫度降低為 $1000\pm 50^{\circ}\text{C}$ 的適合的溫度，透過計算而求出在該溫度下對於在第1準備程序所求

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

出的往前述矽基板單位表面每單位時間所供應的來源的莫耳量因將在該單位表面區域的深寬比A的溝槽進行埋入的磊晶成長而每單位時間所消耗的源的莫耳量不超過的磊晶成長速度，掌握對往和形成有溝槽的前述矽基板相同的結晶方位的矽低電阻基板2的前述反應氣體條件添加了氯化氫氣體的前述適合的成長溫度下的選擇性磊晶成長的速度成為從計算所求出的速度的對反應氣體添加的氯化氫氣體流量，

以使用了透過前述第1及第2準備程序而設定的反應氣體條件、適合的成長溫度及所掌握的氯化氫氣體的添加流量條件的選擇磊晶成長方法將形成於前述矽基板的溝槽進行埋入，從而使在溝槽部的單位表面使來源的供應量超過矽源的消耗量的反應速率限制型磊晶成長進展，從而在不產生空洞的範圍內以高速的成長速度將溝槽進行埋入，以擴散速率限制條件設定高速磊晶成長條件，從而可掌握對基板每單位時間所供應的矽源的莫耳量，該量大時可進行高速且反應速率限制成長。在溝槽被加工的基板的單位表面進行磊晶成長的面積，相對於平坦的表面的矽基板，和深寬比大致成比例而增大，故反應速率限制型條件變窄。可得知以選擇性磊晶成長在相對高溫下予以符合反應速率限制條件的成長速度範圍，故以盡可能高速的條件應對。(圖6參照)

【0017】請求項2的發明，為如請求項1的具有超接面構造的半導體元件之製造方法的一例，其中，在第1準備程序，以在往和前述矽基板相同的結晶方位的矽低電阻基

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

板 1 的磊晶成長成為擴散速率限制反應的 $1100 \sim 1150^{\circ}\text{C}$ 的範圍的成長溫度 $T1^{\circ}\text{C}$ 下成長速度 $X\mu\text{m}/\text{min}$ 成為 $3.0\mu\text{m}/\text{min}$ 以上、 $5.0\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的方式設定反應氣體的矽源氣體流量與氫載流氣體的流量條件 $G1$ ，在第 2 準備程序，將在不變更該反應氣體流量條件 $G1$ 之下將深寬比 A 的溝槽進行埋入的磊晶成長溫度 $T2^{\circ}\text{C}$ 設定為 $1000 \pm 50^{\circ}\text{C}$ 的範圍，，求出對反應氣體添加氯化氫氣體而在和形成溝槽的前述矽基板相同的晶面的矽低電阻基板 2 進行了選擇性磊晶成長時的成長速度成為 $[(T1+273)/(T2+273)]^{-3/2} X/(A+1)\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的氯化氫氣體的添加流量，

透過根據了透過前述第 1 及第 2 準備程序而設定的反應氣體的流量條件、成長溫度、氯化氫氣體的添加流量下的選擇性磊晶成長從而將形成於前述矽基板的溝槽進行埋入，從而在溝槽全部位使矽源的供應量超過消耗量的反應速率限制型磊晶成長進展，從而以不產生空洞的選擇磊晶成長程序將溝槽進行埋入。擴散速率限制成長下的成長速度方面，由於供應於基板表面的矽源的總量立即磊晶反應，且矽源的氣體中的擴散係數和絕對溫度的 2 分之 3 平方成比例，故求出在各溫度下供應於基板的擴散速率限制成長下的矽源的量。增加此矽源的供應量，使得可在不使空洞產生之下以高速的磊晶成長將溝槽進行埋入。

【0018】請求項 3 的發明，為如請求項 2 的具有超接面構造的半導體元件之製造方法，其中，在透過選擇性磊晶成長進行埋入的前述矽基板所形成的長條狀的溝槽之間距

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

為 $10.0\mu\text{m}$ 以下且深寬比為 10 以上為的情況下將溝槽進行埋入的選擇性磊晶成長中，求出對和形成溝槽的前述矽基板相同的晶面的矽低電阻基板 2 進行選擇性磊晶成長時的成長速度成為 $1.2X/(A+1)\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的添加於反應氣體的氯化氫氣體的流量，透過依該添加流量下的選擇性磊晶成長將形成於前述矽基板的溝槽進行埋入，對於在溝槽的長條之間距變窄，深寬比變大時，以磊晶成長而生成的每單位面積的氯化氫氣體增大，在溝槽基板的表面的氯化氫氣體會高濃度化的應對，在 [0051]、[0052] 進行更詳細的說明。(圖 10、圖 12、圖 14 參照)

【0019】請求項 4 的發明，要旨在於，如請求項 1 的具有超接面構造的半導體元件之製造方法，其中，使用以形成有溝槽的前述矽基板表面的磊晶成長速度比在溝槽的長邊方向之側壁的晶面的磊晶成長速度成為高速或同等的晶面的組合之中，前述矽基板表面為 (100) 面、溝槽側壁為 (100) 面，或前述矽基板表面為 (110) 面、溝槽側壁為 (111) 面的方式將溝槽進行了加工的前述矽基板。在此應對下，在開口部，(110) 面成長，在溝槽底部，(310) 如此的穩定的面成長，閉塞難發生。(圖 12 參照)

【0020】請求項 5 的發明，要旨在於：如請求項 1 的具有超接面構造的半導體元件之製造方法，其中，於形成溝槽的反應性離子蝕刻，使用在對生產率優異的貫通電極用深蝕刻方面所使用的哈伯法，針對隨哈伯法在蝕刻面產生的稱為開孔的微小的凹凸，使選擇性磊晶成長的溫度條件

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

為 $1000 \pm 50^{\circ}\text{C}$ 透過氯化氫氣體的增加流量而符合反應速率限制型條件，矽源的表面遷移大的磊晶條件，在成長初期將成長面進行平滑化，從而以無微空洞、錯位差排的發生的良好的結晶品質的磊晶層將溝槽進行埋入；溝槽側面的錐角的極嚴密的加工，在此方法變得非必須。

【0021】請求項6的發明，要旨在於：如請求項1之使用溝槽埋入磊晶成長條件的具有超接面構造之半導體元件之製造方法，其中，溝槽因磊晶成長而埋入下去時，溝槽部的成長面積減少，矽源的每單位時間的消耗量降低，故因應於該變化，在可保持反應速率限制型條件的範圍內減少氯化氫氣體的增加量，或使成長溫度上升而使埋入磊晶成長速度為高速，縮短成長時間並使生產率提升。(圖12參照)

[發明功效]

【0022】根據技術上檢討，理解到：在往深寬比A的溝槽基板的磊晶成長，相對於在基板單位表面的反應面積為平坦的表面的矽基板，成為(A+1)倍，此理解歷來欠缺；需要將矽源的供應量相應其地增加，或使成長速度相應其地降低，而以反應速率限制型的埋入成長條件將溝槽進行埋入。為了解決該問題，教示以下：於溝槽埋入磊晶成長，以盡可能每單位時間的矽源的供應量增加的方式設定反應氣體條件，規劃在選擇性磊晶成長中的氯化氫氣體的增加條件的設定方法，透過選擇磊晶成長法，從而可在

溝槽開口部不發生閉塞之下，將高寬高比的溝槽以相對高溫、高速進行埋入。具體地教示了：透過此溝槽埋入法，從而可實現進一步的高性能的SJ MOSFET的實用化。

【圖式簡單說明】

【0023】

[圖1]為針對本發明之半導體裝置的一例進行說明的示意截面圖。

[圖2]為針對超接面MOSFET的導通電阻與pn柱之間距的關係的一例進行繪示的圖。

[圖3]為針對透過溝槽埋入磊晶成長而形成本發明中的超接面構造的製程的一例進行繪示的流程圖。

[圖4]為輻射加熱式單片磊晶成長裝置的截面示意圖。

[圖5]為針對往矽基板的矽磊晶成長的成長機構進行說明的圖式。

[圖6]為針對矽基板(a)與深寬比A的溝槽基板(b)的基板單位表面S之磊晶成長面的面積的差異進行繪示的概念圖。

[圖7]為平行平板型裝置的阿瑞尼氏圖(Arrhenius plot)的一例，為針對往矽基板表面的矽源的供應量與因反應而消耗的矽源的量的關係進行繪示的圖。

[圖8]為針對在矽基板進行了選擇性磊晶成長時的成長速度與氯化氫氣體的增加流量的關係之例進行了繪示的

圖。

[圖9]為溝槽埋入選擇性磊晶成長的示意流程圖。

[圖10]為針對CVD的階梯覆蓋(step coverage)之堆積膜的形狀與表面遷移及平均自由徑的關係進行繪示的示意圖。

[圖11]為針對以三氯矽烷為矽源的埋入磊晶成長中對供應氣體添加了氯化氫的情況下的成長中的氯化氫的濃度分布的變化進行說明的圖。

[圖12]為針對矽基板表面與溝槽側壁的結晶方位導致的溝槽開口部的磊晶成長的差異進行說明的概念圖，且為表面/溝槽側壁為(100)時的成長中途的開口部的截面SEM相片。

[圖13]為針對將溝槽以磊晶成長進行埋入的中途的狀況以截面SEM進行了觀察時的示意圖與截面SEM的相片。

[圖14]為對實施例的溝槽埋入磊晶晶圓以截面SEM針對空洞的發生狀況進行了調查的結果針對深寬比與成長速度的關係進行了整理的圖。

【實施方式】

【0024】關於本實施方式之半導體裝置，包含專利文獻，已在多數的文獻有所說明。在以下，針對平面式SJ MOS的構造，說明其概要。近來，雖逐漸採用在微細化方面有利的溝槽閘極式的SJ MOS構造，惟僅為在溝槽埋入程序之後元件製程略微不同，該方面無大的技術課題，故

在以下，說明有關溝槽埋入後的平坦化研磨為止的程序。

【0025】示於圖1的本實施方式之半導體裝置，為具備了超接面構造的縱形的MOSFET的構成。在此裝置構造，作為半導體基板，在n+型的單晶矽基板11上，設有n型的矽磊晶層12。此外，於n型磊晶層12內，形成有長條狀地交替排列了p型柱13與n型矽層12的超接面構造(SJ構造)。於SJ構造，雜質濃度被依pn柱個別的寬而定。pn柱的深度，決定了元件的耐壓。此外，只要可縮小pn柱之間距，即可進一步提高 7×10^{15} atoms/cc左右的雜質濃度，實現低導通電阻化。(圖2)p型柱13，從n型磊晶層12之上表面，形成為接近於n+型矽基板11的既定的深度。該深度決定元件的耐壓。

【0026】在形成於n型矽層12內的p型柱13的正上方區域，形成有延伸於溝槽的長邊方向的p型基極區域14。於p型基極區域14之上層部分，以彼此分隔的方式選擇性地形成延伸於溝槽的長邊方向的一對的n+型的源極區域15。於n型矽層12上，為控制電極的閘極電極16，被設為被閘極絕緣膜17包圍。閘極電極16，普通的情況下，由進行了摻雜的多晶矽而形成。閘極絕緣膜17，多數的情況下，由矽氧化物形成。

【0027】以跨過p型基極區域14與隔壁的p型基極區域14的方式形成以絕緣膜覆蓋的閘極電極16。配置為其端部到達於源極區域15的端部正上方。閘極電極16下的氧化膜的厚度，在源極區域15與n型矽層12之間的p型基極區域部

為薄，在其以外的部分為厚。閘極電極16，呈如朝上凸的形狀。於閘極電極16間，設有源極電極18，連接於源極區域。源極電極18亦形成於閘極絕緣膜上，將各源極電極間進行連接。於n+型矽基板11的下表面上，汲極電極19連接於n+型矽基板11。源極電極18及汲極電極19，一般而言採用金屬。使閘極構造為溝槽閘極式的SJ MOS方面，基本的構造亦不會大幅改變。

【0028】圖3，為針對本實施方式之半導體裝置的製程的前半的溝槽埋入後的表面平坦化研磨為止的程序流程與各程序完成階段的晶圓示意截面圖進行了繪示者。在本發明的半導體裝置的製造所使用的矽基板1，可使用在被高濃度地摻雜了磷、砷或銻的n+型矽基板11上透過磊晶成長法使 $1\Omega\text{cm}$ 前後的電阻率的n型磊晶層12成長的n/n+型矽磊晶基板1。此處，該基板的表面的面方位可作為(100)。此外，由於使定位平邊(orientation flat)方位或槽口方位為(100)從而可將晶圓表面與溝槽側壁的晶面取向統一為(100)，可不用考慮因晶面取向導致的磊晶成長速度的差異，故在以下使定位平邊方位或槽口方位為(100)而進行說明。接著，在磊晶基板1的表面，形成熱氧化膜，透過周知的微影技術，形成長條狀氧化膜9，作為以反應性離子蝕刻對溝槽進行加工之際的遮罩氧化膜9(圖3(b))。

【0029】使以上述方法而形成的氧化膜作為遮罩，例如透過反應性離子蝕刻(RIE)等乾式蝕刻法，形成供於形

成條紋狀的pn柱狀構造用的既定的深度的溝槽20(圖3(c))。使用矽貫通電極形成用的哈伯法的RIE裝置時，能以深寬比20以上，高速且高精度地形成開口寬 $2\mu\text{m}$ 以下的微細的溝槽。在溝槽的蝕刻時會殘留聚合物、損傷，故以洗淨、蝕刻等將該等除去，作為在下個程序的磊晶成長不產生結晶缺陷。在哈伯法，會在溝槽側面產生被稱為開孔的微細的凹凸。此凹凸，在本方法中在磊晶程序中進行平滑化。在溝槽形成程序，使用氧化膜9作為遮罩。雖亦存在將該氧化膜9在溝槽形成後透過濕式蝕刻進行除去的方法，惟在本方法，使用了留下氧化膜9並透過選擇性磊晶成長而埋入溝槽的方法。使用此方法時，雖具有即使在 1100°C 的氬環境的熱處理下在溝槽開口部仍不會發生變形等優點，惟存在氧化膜與矽的熱應力導致的缺陷容易產生等缺點。在將埋入磊晶成長的過度生長(overgrowth)層進行表面研磨後，使對準標記留下，故在考慮便於之後的對準之下作出選擇。亦可為將遮罩氧化膜進行除去的方法。

【0030】接著，在形成溝槽後的溝槽基板2上使p型的埋入磊晶層13氣相成長(圖3(d))。具體而言，在磊晶成長裝置內載置溝槽基板2而以既定溫度(例如 1100°C 、氬環境中)進行熱處理，除去了矽表面的自然氧化膜後，使該基板下降至既定的溫度，將p型埋入磊晶層13進行氣相成長。

【0031】圖4，為針對廣泛使用於直徑 150mm 至 300mm 的矽基板的平行平板型單片磊晶裝置的截面示意圖的一例

第 112129371 號

民國 113 年 3 月 14 日修正

進行繪示者。如示於圖 4，氣相成長裝置，為在反應室載置晶圓 31 而一面旋轉一面進行磊晶成長的磊晶成長裝置，該反應室，上表面、下表面、側面分別由頂板 22、水平地載置矽基板的晶圓載置部及側壁部而界定，從形成於該磊晶成長裝置的一端的氣體導入口 24，供磊晶成長用的反應(原料)氣體被導入於反應管內。反應氣體，在反應管內部空間中朝水平且一方向以層流條件流通，從而形成厚度大致固定的邊界層(boundary layer)32。在晶圓載置部的基座 23 上載置 1 枚矽基板 31，和基座 23 一起進行旋轉。此外，在反應氣體導入口 24 的相反側形成有氣體排出口 29。所導入的反應氣體，在矽基板的表面上以既定的流速而通過後，未因磊晶反應而消耗的氣體與反應生成氣體，被從氣體排出口 29 排氣。

【0032】此處，矽源氣體，例如可使用三氯矽烷氣體。此三氯矽烷氣體，在液體的三氯矽烷(SiHCl_3)中使氫氣起泡而作為一定濃度的混合氣體，一邊透過質流控制器而調整流量，一邊和載流氫氣進行混合而被稀釋為 3% ~ 8% 左右的濃度，被導入於反應管。作為摻雜劑氣體而被氫氣稀釋為一定的濃度的微量的乙硼烷(B_2H_6)，被透過質流控制器進行調整，同樣地被和稀釋用的氫氣進行混合。再者，氯化氫氣體亦被透過質流控制器進行調整，同樣地被和稀釋用的氫氣進行混合。混合了此等氣體的反應氣體，以容易在反應容器內形成層流的方式，被從多數個導入口而送入。

【0033】並且，矽基板31被和基座23一起旋轉驅動，進一步一邊被透過鹵素燈21從上表面、下表面加熱為既定的溫度，一邊接受反應氣體的供應，在溝槽內形成磊晶層。反應容器內的壓力，設定為常壓或從730torr至750torr的微減壓。在本方法，雖以常壓條件前提進行說明，惟亦可使壓力下降至70torr左右的減壓條件而進行磊晶成長。在本方法，溝槽埋入磊晶成長，在1000℃下進行。為在為了在溝槽部實現共形(conformal)的成長方面適合的溫度。溫度測定，雖主要使用輻射溫度計33，在留下氧化膜的表面，輻射率會改變，故需要校正。透過盡可能考慮溫度設定為1000℃，使得可使成長條件穩定，可防止空洞的產生。

【0034】於歷來的溝槽埋入型的SJ MOS的製造，在將圖3(d)的溝槽20以磊晶成長而進行埋入的程序，由於為了防止在溝槽開口部8的閉塞導致的空洞的產生用的對策，使得不得不使成長速度變慢，未能實現低成本的生產。此程序成為最大的課題，故一邊詳細說明達成確立本發明的溝槽埋入磊晶成長技術的研究的過程，一邊具體地說明本方法下去。首先，一邊針對磊晶成長機構進行用語的統一，一邊針對空洞的產生與磊晶成長條件的關係進行說明，同時針對在將溝槽以磊晶成長進行埋入之際一邊防止空洞的產生一邊使成長速度為最大限的手法進行具體的說明。

【0035】將以當前被廣泛使用的平行平板型單片磊晶

裝置為前提的磊晶成長的反應機構的概要，示於圖5。使反應氣體以層流條件在反應管內流通，對於在邊界層的厚度達到一定的區域所載置的晶圓，從主氣體流在邊界層中進行擴散，將矽源輸送至矽(鏡面)基板。到達於矽基板表面的矽源發生吸附，因表面遷移到達於成長點，發生化學反應，嵌入於晶格，以一定速度，磊晶成長發生進展。此時，在邊界層進行擴散而輸送至矽基板表面的矽源的流速 F_1 ，以下式表示。

【0036】

【數式1】

$$F_1 = h_G(C_G - C_S) = D(C_G - C_S)/\delta$$

此處， $h_G = D/\delta$ 為輸送係數。 C_G 為主氣體流(反應氣體)中的濃度， C_S 為基板表面的矽源的濃度。到達於基板表面的矽源，發生吸附，因表面遷移到達於結晶成長點，發生化學反應，嵌入於晶格。由於此化學反應(結晶成長)而單位時間所消耗的矽源的量 F_2 ，能以下式表示。

【0037】

【數式2】

$$F_2 = C_S \cdot k_s = C_S \cdot k_0 \exp(-E_a/kT)$$

此處， $k_s = k_0 \exp(-E_a/kT)$ 為表面反應係數。 E_a 為反應的活化能， k 為波茲曼常數。磊晶成長中， $F_1 = F_2$ ，故成長速度 v 能以下式表示。

【0038】

【數式3】

$$v = \frac{F_1}{N} = \frac{F_2}{N} = \frac{1}{1/h_G + 1/k_s} \frac{C_G}{N}$$

此處， N 為矽單晶的原子密度。

【0039】 $h_G \gg k_s$ 的情況下， $v \doteq k_s \cdot C_G/N \doteq C_G \cdot k_0 \exp(-E_a/kT)/N$ ，磊晶成長的速度，變成因在基板表面的化學反應的速度而定。成為所謂的反應速率限制磊晶成長。此時，基板表面的矽源的濃度 C_s ，接近於主氣體的矽源濃度 C_G 。 $k_s \gg h_G$ 的情況下， $v \doteq h_G \cdot C_G/N \doteq (D/\delta) \cdot C_G/N$ ，磊晶成長的速度，因邊界層的厚度與其中的矽源的擴散速度而定。成為所謂的擴散速率限制磊晶成長。此時，基板表面的矽源的濃度 C_s ，成為接近零的濃度。此等兩個情況，為極端的情況，在實際的磊晶成長，需要先行理解的是，即使比率不同，亦會受到 h_G 與 k_s 雙方影響。

【0040】迄今為止的磊晶成長機構方面，考量往和平坦的表面垂直的方向輸送矽源而檢討了有關成長速度會變成如何。此外，於和迄今為止的溝槽埋入型SJ MOS的磊晶成長有關的日本特願，有許多使埋入磊晶成長為反應速率限制而防止閉塞如此之建議。然而，在往具有非平坦的階梯狀、溝槽形狀的表面的基板的磊晶成長，將矽源的輸送限定於一方向而變得無法考量到成長速度。在溝槽基板進行磊晶成長時，變得在溝槽全部的部位未必成長速度成為相同，故變得無法無歧義地判斷成長反應的速率限制性。決定無空洞的產生的高速的溝槽埋入磊晶成長的最佳的條

件之有效的參數不明確，故至今為止被試錯地摸索。(專利文獻5)

【0041】關於在往階梯、溝槽形狀的基板表面的薄膜的堆積方面的膜形狀，迄今為止，針對各種的成膜法，被當作階梯覆蓋的問題進行檢討。在矽的磊晶成長的情況，亦需要2維、3維地研究矽源的氣相中的輸送現象、在表面的活性種的舉動，議論變複雜。在以下，為了進行定量的研究，以往矽基板的磊晶成長的反應機構為基底，進行近似研究。使用了廣泛用於200mm ϕ 以上的矽基板的平行平板型的矽單片磊晶裝置的情況下，已透過模擬得知示於圖5的邊界層的厚度 δ 成為10～15mm左右。相對於此，在相對上高耐壓的600V級SJ MOS，該溝槽的深度被以50 μ m前後進行設計。通過邊界層和基板表面垂直方向的矽源的流速 F_1 ，或者輸送係數 $h_G(=D/\delta)$ ，相對於溝槽開口部8在溝槽底部7成為0.99以上的垂直方向的輸送方面，往溝槽開口部與底部的輸送，溝槽基板及平坦的表面的矽基板皆可近似為同等。

【0042】在溝槽基板的磊晶成長，在表面、溝槽底面及側壁，成長反應會進展。在溝槽部的溫度為固定，故只要晶面取向相同，則溝槽側壁的表面反應係數 k_s ，和矽基板表面成為相同。在往溝槽基板的磊晶反應，亦需要考量表面上水平方向的輸送。在溝槽基板，對溝槽加工前的矽基板的表面積 S 的區域通過邊界層而每單位時間從垂直方向所供應的矽源的最大莫耳量($C_s=0$ 之時)亦為相同。然

而，在溝槽基板，於該表面積 S 的區域，發生磊晶成長的面積大為不同。如示於圖6般，在深寬比 A 的溝槽基板，反應面積在除去氧化膜9的情況下成為矽基板的 $(A+1)$ 倍。

關於垂直方向的輸送，可將溝槽基板近似為平坦的矽基板，惟與其同時，磊晶成長之基板的實效表面積需要近似為矽基板的 $(A+1)$ 倍。

【0043】萬一，每單位時間，通過邊界層所供應的矽源的莫耳量，成為比因在溝槽區域的磊晶成長所消耗的莫耳量少的 $h_G < (A+1)k_s$ 的情況下，在形成有溝槽的基板表面， C_s 成為接近0的值，成長成為擴散速率限制型。成為如此的狀況時，通過邊界層而輸送來到溝槽基板表面的矽源，到達於溝槽開口部角落的比率變大。即使 C_s 不成為零，從溝槽開口部上部，矽源因溝槽側壁的磊晶成長被消耗， C_s 朝底部減少。其結果，在開口部附近的成長變快，變得會發生閉塞。要在溝槽基板表層作成為不會發生如此的擴散速率限制型的反應，需要作成為 $h_G > (A+1)k_s$ 。要符合此條件，需要使通過邊界層而每單位時間供應至單位表面積 S 的矽源的最大莫耳量，相對於往矽基板的反應速率限制型磊晶成長的情況，成為 $(A+1)$ 倍以上，或使溝槽部的表面反應係數 k_s ，亦即使成長速度為 $1/(A+1)$ 。在迄今為止的溝槽埋入磊晶成長的技術檢討，無關於此點的認識。

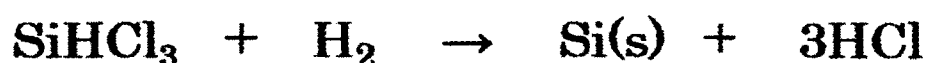
【0044】於圖7，示出使用了被廣泛使用的平行平板型的單片磊晶裝置時的往矽(鏡面)基板的磊晶成長的代表

性的阿瑞尼氏圖。成長速度 v ，可近似為 $v \doteq k_s \cdot C_G/N$ 、 $v \doteq h_G \cdot C_G/N$ 。虛線 F_1^* ，矽源的擴散係數和絕對溫度的2分之3次方成比例，故針對高速成長反應的氣體條件的2例，以成長速度示出供應至各溫度下的基板的矽源的最大量 $h_G \cdot C_G$ 。要將被實用化的深寬比10的溝槽以成為 $h_G \cdot C_G > (A+1)k_s \cdot C_G$ 的反應速率限制型的磊晶成長進行埋入，使成長溫度下降至 900°C 的情況下，即使令 1150°C 下的反應氣體條件為 $4.0\mu\text{m}/\text{min}$ 仍難謂充分，需要成為 $6.0\mu\text{m}/\text{min}$ 左右的反應氣體條件。此成長速度，為非限定的磊晶裝置即無法實現的成長速度。即使令成長溫度為 900°C 以下而降低成長速度而符合了條件，該溫度下，良好的品質的磊晶層無法獲得。

【0045】減慢磊晶成長反應的手法方面，除降低成長溫度以外，存在將為磊晶反應的生成氣體之氯化氫氣體添加於反應氣體的方法。以氧化膜為遮罩的選擇性磊晶成長，從以前即已被進行至今。尤其，在氧化膜上，難發生核成長，可使磊晶成長僅在矽結晶的曝露部分進展。以三氯矽烷為原料的磊晶反應，以下式表示。

【0046】

【化1】



此反應雖為亦發生逆反應的平衡反應，惟為一種非平衡穩態反應，其中，往反應區域(基板表面附近)供應一定的濃度的 SiHCl_3 而使磊晶成長進展，為生成氣體的氯化氫

氣體(HCl)從該區域同時被排出，以一定速度，反應進展。於反應氣體添加了HCl氣體時，為生成氣體的HCl在邊界層發生擴散，往反應爐外的排出的速度降低，發生磊晶反應的基板表面的HCl氣體成為高濃度，逆反應的速度 k_{-1} ，和 $[HCl]^3$ 成比例而變高，故磊晶反應變慢。(勒沙特列的原理)一定溫度下，不改變 $SiHCl_3$ 的供應條件，添加HCl，使得可使成長速度降低1位以上。

【0047】於圖8，示出透過添加了氯化氫氣體的反應氣體在矽(鏡面)基板進行了磊晶成長時的成長速度與添加量的關係之例。添加了和 $SiHCl_3$ 相同左右的流量的HCl氣體時，成長速度降低至10分之1以下。使用了平行平板型的磊晶裝置時的圖8的情況下，反應氣體的流量設定為70L至75L左右，故HCl氣體添加時的反應氣體總流量的增加、 $SiHCl_3$ 的濃度 C_G 的降低為5%以下。可理解到，可透過添加氯化氫，從而在不使成長溫度變化之下，於磊晶成長，獨立地控制矽源的供應量與成長速度。

【0048】在CVD的階梯覆蓋的教科書，關於CVD的條件與堆積膜的形狀，整理如圖10。可得知表面遷移對於為了獲得共形的膜形狀為重要。在矽的磊晶成長幾乎不發生表面遷移的狀況，為以下中的任一者：矽源到達於基板時，在高溫成為 $k_s \gg h_G$ 、 $C_s \doteq 0$ ，在發生表面遷移前立即反應，矽原子被嵌入於晶格的擴散速率限制型反應(圖10(c))；或者，因低溫在表面遷移幾乎不發生的狀態。已知只要自然氧化膜被除去，在氫環境下成為比900℃高溫

下去時，矽原子的表面遷移逐漸活躍化，表面粗糙度的降低，亦即表面積的降低導致的表面能量的降低開始，在1100℃下，1、2分鐘內，溝槽開口部的曲率降低，觀察到發生閉塞的現象(矽架空)。應為以900度～1100℃的溫度區域的反應速率限制型成長，實現如圖10(A)的共形的成膜。

【0049】根據以上的檢討，於1150℃前後的成為擴散速率限制成長的高溫T1℃，在一反應氣體條件下的往矽(鏡面)基板的磊晶成長速度為X $\mu\text{m}/\text{min}$ 時(請求項2的第1準備程序)，在不改變反應氣體條件之下，使成長溫度降低至1000℃前後的T2℃而進行選擇性磊晶成長時的矽源的往基板表面的供應量，成為 $[(T1+273)/(T2+273)]^{-3/2}X$ $\mu\text{m}/\text{min}$ 。可得知，將對前述條件的反應氣體添加氯化氫氣體而在矽基板進行了選擇性磊晶成長時的成長速度變比 $[(T+273)/(T2+273)]^{-3/2}X/(A+1)$ $\mu\text{m}/\text{min}$ 低的流量的氯化氫(透過了請求項2的第2準備程序)添加於反應氣體而在深寬比A的溝槽基板進行選擇性磊晶成長，使得可在往形成有溝槽的基板的選擇性磊晶成長中作成為矽源的供應量超過消耗量。選擇性磊晶成長的成長溫度，需要在900度～1100℃之間，惟期望為950℃～1050℃的範圍。

【0050】對將三氯矽烷混合於氫氣後的反應氣體添加氯化氫氣體而以選擇性磊晶成長將溝槽進行了埋入的情況下，和往矽基板的磊晶成長比較下溝槽部的局部的成長速度變慢的情形，在將成長中途的溝槽以截面SEM進行了觀

察的結果等被確認到。於溝槽部中基板表面積平均因磊晶成長所消耗的矽源的量對應於深寬比而變大，故反應生成物的HCl氣體的基板表面積平均的產生量亦變大。HCl氣體在邊界層進行擴散而流入於主氣體流並被從反應室排出，故進行磊晶成長的邊界層基板側的HCl氣體濃度，亦變得比矽基板的情況高。在溝槽深度為 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ 、pn柱之間距 $10 \mu\text{m}$ 以下、深寬比為10至20的溝槽基板方面，依經驗已知：以成長速度成為 $1.2X/(A+1) \mu\text{m}/\text{min}$ 以下的條件而決定在請求項2的第2準備程序的往反應氣體的HCl的添加量時，即不會發生空洞的產生。(圖14參照)或者，例如將溝槽的寬為 $1 \mu\text{m}$ 以下、深度為 $10 \mu\text{m}$ 以下、耐壓為100V前後的低耐壓PMOS以溝槽埋入型SJ MOS進行製造的情況、製造溝槽深度為 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ 的耐壓1000V前後的SJ MOS的情況下，無法以計算求出邊界層基板側的HCl氣體濃度，故最佳的HCl的添加量，需要以依經驗的方法進行決定。

【0051】在迄今為止的溝槽埋入型SJ MOS的製造技術開發，已提議一種手法並檢討了具體方案，該手法作成爲，對反應氣體以擴散速率限制條件而添加鹵化物氣體，和磊晶成長並行而在開口部附近阻礙蝕刻、成長，比溝槽底部減小開口部的成長速度，從而使閉塞不發生。然而，關於其是否已被實現的確認，由於成長速度的測定困難，尚未被明確化。添加氯化氫氣體，以二氯矽烷、三氯矽烷為來源的情況下，如示於圖10，生成物的HCl氣體充滿於溝槽內，從開口部在邊界層進行擴散，被從反應爐而排

出，故使溝槽開口部附近的成長速度比底部低，原理上應不太可能。

【0052】將形成有溝槽的基板以選擇性磊晶成長而埋入時，雖以在矽基板的成長速度成為 $[(T1+273)/(T2+273)]^{-3/2}X/(A+1)\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的方式決定了往反應氣體的 HCl 氣體的添加流量，惟溝槽的基板的實效反應面積變大時，反應區域的氯化氫氣體濃度變比矽鏡面基板的情況高，依經驗得知，成長速度在多數的情況下成為 $1.2X/(A+1)\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的 HCl 氣體的添加流量即可。此外，迄今為止以在溝槽基板整面形成有溝槽為前提。然而，有時有留下了將溝槽透過 RIE 進行蝕刻之際被用作為遮罩的氧化膜的情況、存在元件周邊部、切割道等不形成溝槽的部分的情況、為了應付遮罩圖案等狀況而需要略微的調整。

【0053】溝槽埋入磊晶成長，單晶地對溝槽進行加工而以磊晶成長進行埋入，故將為此有利的晶面的選擇為重要的事實在 [0019] 大致地進行了說明。以不產生空洞的方式將溝槽以高速的磊晶成長進行埋入為最大的課題。在主要的晶面的磊晶成長速度，為 $(110) > (100) > (111)$ 。在成長速度快之面，只要往成長面的矽源的供應速度相同，則成長速度快之面的矽源的濃度變低。如示於圖 11 般，晶面不同的面鄰接時，因表面遷移，矽源從表面的矽源的高濃度面擴散至低濃度的面，被納入於結晶，故該部分的成長速度變快。在 (100) 表面 / (110) 側面的構造，在接合部產生

(111)面，多數的矽源自該處朝表面濃度低之(110)側進行表面遷移而在溝槽側壁上部產生成長速度快的部分而成為空洞的產生的原因。表面、側壁皆為(100)面的情況下，在接合部產生(110)，在側壁(100)之上部不產生成長速度變快的部位，故在溝槽開口部，閉塞被加速的情形不會發生。即使為氧化膜，狀況仍不變。在埋入磊晶成長中表面遷移適當大時，在溝槽開口部形成能量上穩定的(110)，在溝槽底部，成長以在角落部的表面積變小的方式進展，形成(310)而成為空洞難產生的形狀，溝槽的埋入進展下去。

【0054】依本方法時，以反應性離子蝕刻在基板形成深溝槽的手段方面，可使用在貫通電極形成所採用的可將溝槽以高速進行蝕刻的哈伯法。不僅在哈伯法方面特有的為微小的凹凸的開孔，即使不嚴密地加工溝槽之側面的角度，由於作成為表面遷移具有適度的大小，故表面能量降低、穩定，使得溝槽被以表面積變小的方式埋入下去。只要曲率在溝槽開口部降低而不發生閉塞，在不產生空洞之下，溝槽內的表面積變小，亦即被以被平坦化的方式埋入下去。

【0055】以表面遷移大的1000℃的磊晶成長條件使溝槽被埋入下去時，在圖12示出了溝槽埋入程序的初期、中期、結束時的截面示意圖與中期的截面SEM相片。以表面能量降低的方式從底部的角被埋入下去的情形，被透過截面SEM而觀察到。另外，表面、溝槽側壁皆為(100)面的情

況下，在溝槽底部形成表面能量低的(310)面，在溝槽開口部形成(110)面。溝槽部的反應面積逐漸地降低下去，故即使提高成長速度，仍可作成為矽源的在溝槽部的消耗量不超過通過邊界層而供應至溝槽部的矽源的量。在考慮到此情形下，以適切的條件使氯化氫氣體濃度降低下去或使溫度提升，從而依溝槽部的埋入狀態提升成長速度，使得能以短時間以不產生空洞的方式進行埋入。透過如此的對應，使得能以比多層磊晶法優異的生產率、低成本進行SJ MOS的製造。

【0056】如此般而求得的選擇磊晶成長條件下，於1000℃附近的溫度進行溝槽埋入磊晶成長時，溝槽的內部被以磊晶層逐漸進行填埋下去，最後溝槽整體被以磊晶層13進行埋入。即使在基板整面方面溝槽部被以磊晶層進行埋入後，進一步繼續磊晶成長而進行過度沉積時，如示於圖3(d)，從溝槽上部在氧化膜上磊晶層擴展。無氧化膜的情況下，以透過表面遷移使表面能量減小的方式使表面變平坦下去。埋入磊晶成長的適切的終點，因溝槽的形狀、成長速度的面內變異性而定，故在最初，一面觀察外觀一面進行判斷而決定。

【0057】接著，將形成於溝槽5的開口部之上方的過度沉積層，透過使用了膠態氧化矽下的機械化學研磨(mechanochemical polishing)而除去。此時，溝槽上部的氧化膜，作用為研磨的阻擋物(stopper)，在將氧化膜上的矽以研磨進行除去的階段，成為如圖3(e)。可基於此階段的

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

對準標記，形成可在圖 3(f)利用的新的對準標記。將氧化膜以濕式蝕刻進行除去而將 $1\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ 的矽的階差以研磨進行除去，從而獲得具有平坦的表面的如圖 3(f)的基板。將氧化膜完全除去而進行了溝槽埋入磊晶成長的情況下，以溝槽寬程度的過度沉積，獲得平坦的表面。其之後，以和對準有關的設計，在 p 型溝槽上形成 p 井，之後可透過一般的 PMOS 的製程使 SJMOS 的製程進展。

[實施例]

【0058】以下，雖透過本發明的實施例而更具體地說明本發明，惟不限定於此等。在本發明，降低成長壓力從而使溝槽深度深至 $100\mu\text{m}$ 左右，亦可應付 $10\mu\text{m}$ 以下的微細的淺溝槽。

【0059】在 $200\text{mm } \phi$ 的 (100)n+ 型矽單晶基板 11 上透過磊晶成長法使 $1\Omega\text{cm}$ 前後的電阻率、厚度 $55\mu\text{m}$ 的磊晶層 12 成長，準備了 n/n+ 型矽磊晶基板 1。此基板 1，為表面方位及槽口方位皆為 (100) 者。接著，在基板 1 的表面，形成氧化膜，透過微影而形成氧化膜遮罩圖案後，將側壁、底面的結晶方位為 (100) 的溝槽 20 透過 RIE(哈伯法)形成為深度成為 $50\mu\text{m}$ 。溝槽的線寬，為 $3.0\mu\text{m}$ 、 $4.5\mu\text{m}$ 、 $6.0\mu\text{m}$ (間距寬分別為 $6\mu\text{m}$ 、 $9\mu\text{m}$ 、 $12\mu\text{m}$)。蝕刻結束後，透過聚合物洗淨與 SC1 洗淨，除去損傷，遮罩氧化膜不動留下而使下個程序推進。

【0060】在本方法，在將溝槽 20 以磊晶成長進行埋入

第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

的程序，首先實施兩個準備程序，在該兩個準備程序，利用了往矽低電阻(鏡面)基板的磊晶成長。高溫的擴散速率限制條件下的磊晶成長速度，為每單位時間供應至矽基板的矽源的供應量。進行第1程序及第2程序，於該第1程序，掌握該供應量變大的反應氣體條件與具體的供應量，於該第2程序，從在第1程序所求出的實測值，透過計算，求出在所述成長氣體條件下使成長溫度下降至對溝槽埋入磊晶成長為適合的溫度時的往基板單位表面的矽源的供應量，透過往矽基板的磊晶成長，求出為了在將深寬比A的溝槽基板以前述適合的溫度透過選擇性磊晶成長進行埋入之際下降為對於對基板單位表面每單位時間所供應的矽源的量因該區域的選擇性磊晶成長每單位時間所消耗的矽源的量不超過的成長速度而添加於前述反應氣體的氯化氫氣體的流量；透過以此兩個程序而求出的使用了前述成長氣體與添加氯化氫氣體流量的成長條件，將溝槽20以選擇性磊晶成長進行埋入。(圖9參照)

【0061】使用和圖4類似的Applied Materials公司製磊晶反應器(Centura)，使第1準備程序推進。求出在n+(100)鏡面晶圓上在1150℃下磊晶成長速度 $X\mu\text{m}/\text{min}$ 成為 $5.0\mu\text{m}/\text{min}$ 以上的磊晶成長氣體條件。在量產上，成長速度 $5.0\mu\text{m}/\text{min}$ 以上的高速成長，往反應管的多晶矽附著成為問題，如此的條件一般而言不使用，惟溝槽埋入磊晶成長，在1000℃下進行，故反應生成物的往反應管的附著問題為輕微。矽源，使用了對高濃度的源極的供應有利的三

氯矽烷。在液體的三氯矽烷(SiHCl_3)中使氫氣起泡而將在氫氣含有濃度20%的三氯矽烷的混合氣體用作為矽源氣體。將載流氫氣設定為50slm，於其混合前述矽源氣體，求出成長速度 $X\mu\text{m}/\text{min}$ 成為 $5.0\mu\text{m}/\text{min}$ 的矽源氣體的流量5Mslm。成長壓力條件，在750torr的微減壓下進行。稀釋於氫氣的微量的乙硼烷亦添加於供應氣體，作成為磊晶層的電阻率成為 $1\Omega\text{cm}$ 前後。對該混合氣體的流量進行調整，使用質流控制器而進行。確認了，磊晶層的面內膜厚分布，為 $\pm 2.5\%$ 以下，電阻率的面內分布，為 $\pm 3.5\%$ 以下。高速成長條件，使增加往基板表面的矽源流速，可達成將反應速率限制型埋入成長以高速進行。

【0062】接著，使第2準備程序進展。將新的n+(100)矽基板裝料於磊晶裝置，使溫度上升至 1100°C ，以3分鐘氫環境進行了預退火後，使溫度降低至 1000°C ，和前述 1150°C 下的磊晶成長時不改變反應氣體的流量條件(載流氫氣50slm與於氫氣含有20%的三氯矽烷的矽源氣體5Mslm)之下，於其添加氯化氫氣體，求出和相對於矽基板之成長速度成為 $0.15\mu\text{m}/\text{min}$ 、 $0.30\mu\text{m}/\text{min}$ 、 $0.45\mu\text{m}/\text{min}$ 、 $0.60\mu\text{m}/\text{min}$ 的各個成長速度對應的氯化氫氣體流量Hslm。

【0063】依透過前述第1、第2準備程序而求出的磊晶成長條件，對溝槽開口寬為 $3.0\mu\text{m}$ 、 $4.5\mu\text{m}$ 、 $6.0\mu\text{m}$ 的3種類的溝槽形成基板，以添加了對於矽基板之成長速度成為 $0.15\mu\text{m}/\text{min}$ 、 $0.30\mu\text{m}/\text{min}$ 、 $0.45\mu\text{m}/\text{min}$ 、 $0.60\mu\text{m}/\text{min}$ 的在前項所求的各流量Hslm的氯化氫氣體的反應氣體條件，按

各條件，對4枚的溝槽形成基板透過選擇性磊晶成長將溝槽進行了埋入。該情況下，添加了既定的量的乙硼烷，從而使埋入磊晶區域成為p型 $1\Omega\text{cm}$ 左右，之後以掃描型電子顯微鏡進行觀察之際，進行為微少的蝕刻量之缺陷蝕刻並作為可得知p型、n型的邊界與缺陷的位置關係而進行了觀察。磊晶層的電阻率的嚴密的控制，未進行。此外，為了確認中途的狀態，準備了針對溝槽開口寬為 $4.5\mu\text{m}$ 的預備的基板將埋入磊晶成長在中途進行了中斷者。

【0064】在磊晶成長程序，將溝槽基板載置於基座23後，在氫環境中將晶圓的溫度短時間升溫至 1100°C 而將自然氧化膜進行了除去後，使溫度下降至 1000°C ，以已求出的條件將各氣體在磊晶成長中不改變之下進行供應，透過選擇性磊晶成長將溝槽進行了埋入。成長時間，因溝槽開口寬、深寬比而變，故在氧化膜上磊晶膜開始成長的時點，一面觀察晶圓外周部與中心部的變異性一面在適當的時點針對各條件決定埋入磊晶成長的終點，進行冷卻並取出。埋入磊晶成長之時間，需要使往矽基板的成長速度為側壁的成長速度而根據溝槽寬所預想的時間的1.5～3倍的成長時間。

【0065】針對在前項將各種的溝槽形狀的基板以磊晶成長進行了埋入的晶圓，按各條件，每次3枚，從晶圓中心、一直線上的R/2及外周10mm的共5點將晶片切取而劈開，為了作為可得知溝槽的位置而進行了缺陷蝕刻後，利用掃描型電子顯微鏡而觀察了空洞的產生狀況。在

SEM，雖因溝槽之間距而可觀察出的溝槽的數量有異，惟將在視野範圍內的所有的溝槽未觀察到空洞者，當作良品。將該結果示於圖 14。此處，針對各晶圓 5 點的測定點，○為完全未看到空洞的產生者，△為在一部分的測定點看到空洞者，為在大半的測定點看到空洞者。示於括號內的分數的分子為 5 處之中未看到空洞的位置的數量。△中的空洞的產生，大半在比外周 10mm 靠外側發生。供於參考，將 $1.2X/(A+0.5)$ ，此情況下將 $6\mu\text{m}/\text{min}$ 除以對深寬比加了 0.5 的值的成長速度的值，以虛線示於圖中。將使成長在中途停止的溝槽開口寬為 $4.5\mu\text{m}$ 的基板劈開而進行了 SEM 觀察的結果，示於圖 13。

【 0066 】根據此結果，確認了：於 1150°C 且 $5.0\mu\text{m}/\text{min}$ 的高速成長的氣體條件添加氯化氫氣體，使 1000°C 下的成長速度為溝槽的深寬比 A 時，以 $1.2X/(A+0.5)$ 以下的成長速度的磊晶的成長條件將溝槽進行埋入從而可在無空洞的產生之下以磊晶成長進行埋入。同時，可確認了：將溝槽寬為 $3\mu\text{m}$ 、深度為 $50\mu\text{m}$ 的溝槽，以應不會產生空洞的往矽基板的成長速度成為 $0.30\mu\text{m}/\text{min}$ 的磊晶成長條件進行埋入時，實際上幾乎不產生空洞。成長時間，包含過度沉積，為 20～30 分鐘。迄今為止，和在日本特許公報所報告的微少的溝槽埋入磊晶成長時間進行比較時，應為 1/4 至 1/2 以下的成長時間。

【 0067 】針對剩下的 1 枚晶圓，使用膠態氧化矽系磨料將過度沉積層透過研磨進行除去；之後，在將氧化膜以

濕式蝕刻進行了除去後，再研磨而作為鏡面狀態。進行缺陷蝕刻，透過光學顯微鏡而調查了該基板的表面的結晶性。空洞未被觀察到，因氧化膜而起的滑動差排 (slip dislocation) 在一部分略有觀察到，惟確認了積層缺陷密度為和一般的磊晶晶圓不變的等級。

【符號說明】

【0068】

- 1:磊晶基板
- 2:溝槽基板
- 7:溝槽底部
- 8:溝槽開口部
- 9:遮罩氧化膜
- 11:n+型矽基板
- 12:n型磊晶層
- 13:p型埋入磊晶層
- 14:p井
- 15:源極
- 16:閘極電極
- 17:閘極絕緣膜
- 18:源極電極
- 19:汲極電極
- 20:溝槽
- 21:鹵素燈

22:頂板

23:基座

24:氣體導入口

25:升降銷

29:氣體排出口

31:矽基板

32:邊界層

33:輻射溫度計

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種具有超接面構造之半導體元件之製造方法，在將形成於矽基板的長條狀的溝槽以和該矽基板不同的導電型的磊晶層進行埋入的超接面構造之製造中，使用利用了單片式反應器下的選擇磊晶成長法，

在第1準備程序，設定往和形成溝槽的前述矽基板相同的結晶方位的矽低電阻基板1的磊晶成長成為穩定的高速擴散速率限制成長的條件，從將該情況下的為反應氣體的矽源氣體流量、載流氫氣流量條件及該溫度下的成長速度，求出往前述矽基板單位表面每單位時間所供應的矽源的莫耳量，進一步以計算求出僅使成長溫度發生變化時的各溫度下的矽源的供應量，

在第2準備程序，不改變前述反應氣體的各流量條件之下，使將形成於前述矽基板的深寬比A的溝槽進行埋入的選擇性磊晶成長的溫度下降至 $1000\pm 50^{\circ}\text{C}$ 的適合的溫度，透過計算而求出在該溫度下對於在第1準備程序所求出的往前述矽基板單位表面每單位時間所供應的來源的莫耳量因將在該單位表面區域的深寬比A的溝槽進行埋入的磊晶成長而每小時所消耗的源的莫耳量不超過的磊晶成長速度，掌握往和形成有溝槽的前述矽基板相同的結晶方位的矽低電阻基板2的對前述反應氣體條件添加了氯化氫氣體的前述適合的成長溫度下的選擇性磊晶成長的速度成為從計算所求出的速度的對反應氣體添加的氯化氫氣體流量，

以使用了透過前述第1及第2準備程序而設定的反應氣體條件、適合的成長溫度及所掌握的氯化氫氣體的添加流量條件的選擇磊晶成長方法將形成於前述矽基板的溝槽進行埋入，從而使在溝槽部的單位表面使來源的供應量超過矽源的消耗量的反應速率限制型磊晶成長進展，從而在不產生空洞的範圍內以高速的成長速度將溝槽進行埋入。

【請求項2】如請求項1的具有超接面構造的半導體元件之製造方法，其中，

在第1準備程序，以在往和前述矽基板相同的結晶方位的矽低電阻基板1的磊晶成長成為擴散速率限制反應的 $1100\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 的範圍的成長溫度 $T1^{\circ}\text{C}$ 下成長速度 $X\mu\text{m}/\text{min}$ 成為 $3.0\mu\text{m}/\text{min}$ 以上、 $5.0\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的方式設定反應氣體的矽源氣體流量與氫載流氣體的流量條件G1，在第2準備程序，將在不變更該反應氣體流量條件G1之下將深寬比A的溝槽進行埋入的磊晶成長溫度 $T2^{\circ}\text{C}$ 設定為 $1000\pm 50^{\circ}\text{C}$ 的範圍，求出對反應氣體添加氯化氫氣體而在和形成溝槽的前述矽基板相同的晶面的矽低電阻基板2進行了選擇性磊晶成長時的成長速度成為 $[(T1+273)/(T2+273)]^{-3/2} \times /(A+1)\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的氯化氫氣體的添加流量，

透過根據了透過前述第1及第2準備程序而設定的反應氣體的流量條件、成長溫度、氯化氫氣體的添加流量下的選擇性磊晶成長從而將形成於前述矽基板的溝槽進行埋入，從而在溝槽全部位使矽源的供應量超過消耗量的反應速率限制型磊晶成長進展，從而以不產生空洞的選擇磊晶

成長程序將溝槽進行埋入。

【請求項3】如請求項2的具有超接面構造的半導體元件之製造方法，其中，在透過選擇性磊晶成長進行埋入的前述矽基板所形成的長條狀的溝槽之間距為 $10.0\mu\text{m}$ 以下且深寬比為10以上的情況下將溝槽進行埋入的選擇性磊晶成長中，求出對和形成溝槽的前述矽基板相同的晶面的矽低電阻基板2進行選擇性磊晶成長時的成長速度成為 $1.2X/(A+1)\mu\text{m}/\text{min}$ 以下的添加於反應氣體的氯化氫氣體的流量，透過依該添加流量下的選擇性磊晶成長將形成於前述矽基板的溝槽進行埋入。

【請求項4】如請求項1的具有超接面構造的半導體元件之製造方法，其中，使用以形成有溝槽的前述矽基板表面的磊晶成長速度比在溝槽的長邊方向側壁的晶面的磊晶成長速度成為高速或同等的晶面的組合之中，前述矽基板表面為(100)面、溝槽側壁為(100)面，或前述矽基板表面為(110)面、溝槽側壁為(111)面的方式將溝槽進行了加工的前述矽基板。

【請求項5】如請求項1的使用溝槽埋入磊晶成長條件的具有超接面構造的半導體元件之製造方法，其中，於形成溝槽的反應性離子蝕刻，使用在對生產率優異的貫通電極用深蝕刻方面所使用的哈伯法，針對隨哈伯法在蝕刻面產生的稱為開孔的微小的凹凸，使選擇性磊晶成長的溫度條件為 $1000\pm 50^{\circ}\text{C}$ 透過氯化氫氣體的添加流量而符合反應速率限制型條件，矽源的表面遷移大的磊晶條件，在成長

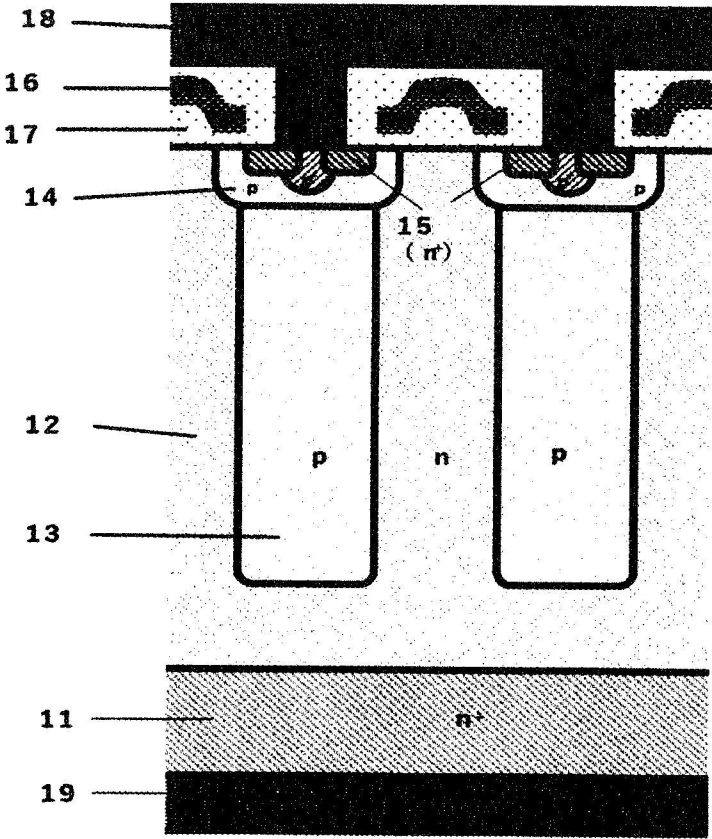
第 112129371 號

民國 112 年 12 月 29 日修正

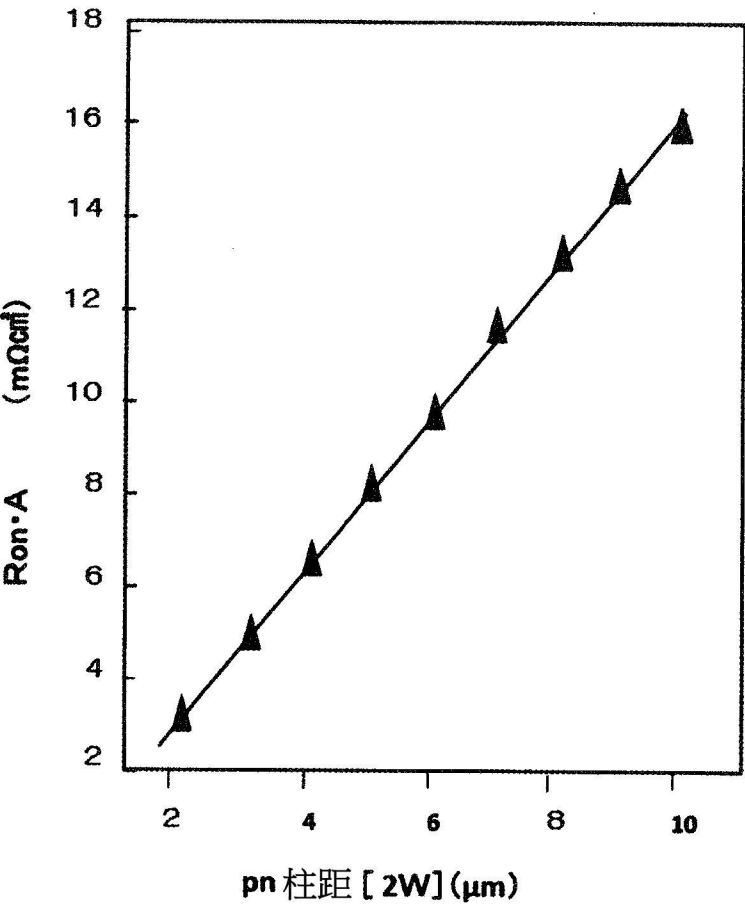
初期將成長面進行平滑化，從而以無微空洞、錯位差排的發生的良好的結晶品質的磊晶層將溝槽進行埋入。

【請求項6】如請求項1的具有超接面構造之半導體元件之製造方法，其中，溝槽因磊晶成長而埋入下去時，溝槽部的成長面積減少，矽源的每單位時間的消耗量降低，故因應於該變化，在可保持反應速率限制型條件的範圍內減少氯化氫氣體的增加量，或使成長溫度上升而使埋入磊晶成長速度為高速，縮短成長時間並使生產率提升。

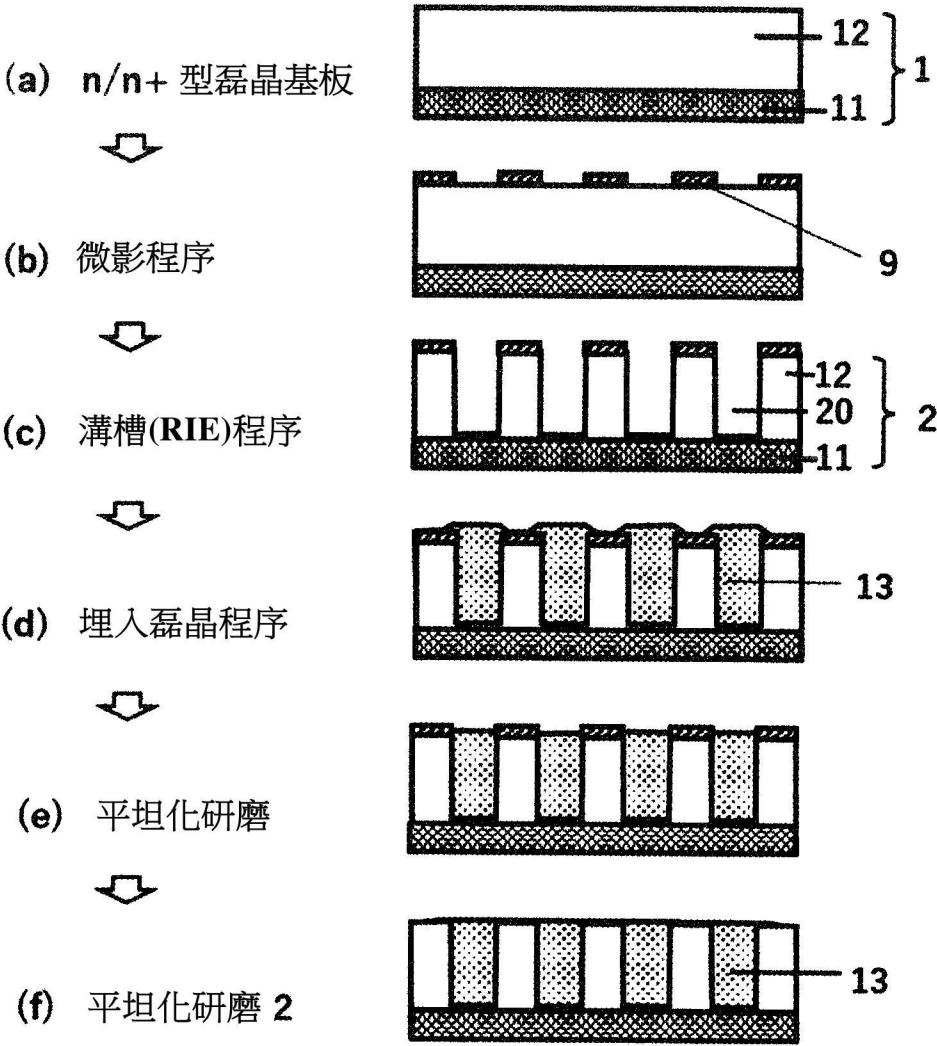
【發明圖式】



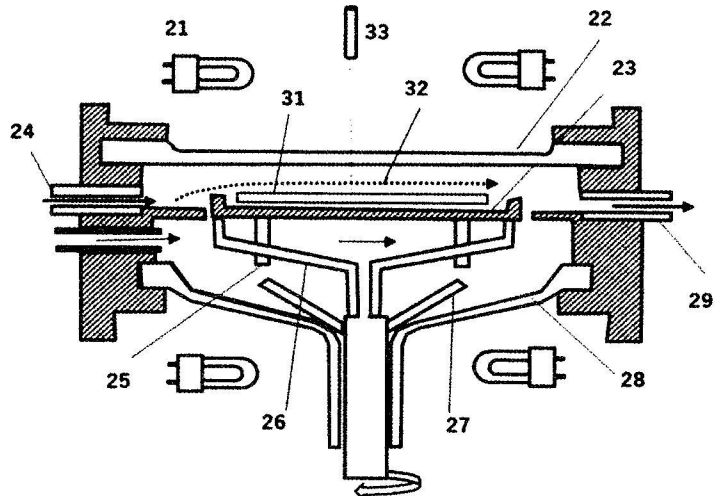
【圖 1】



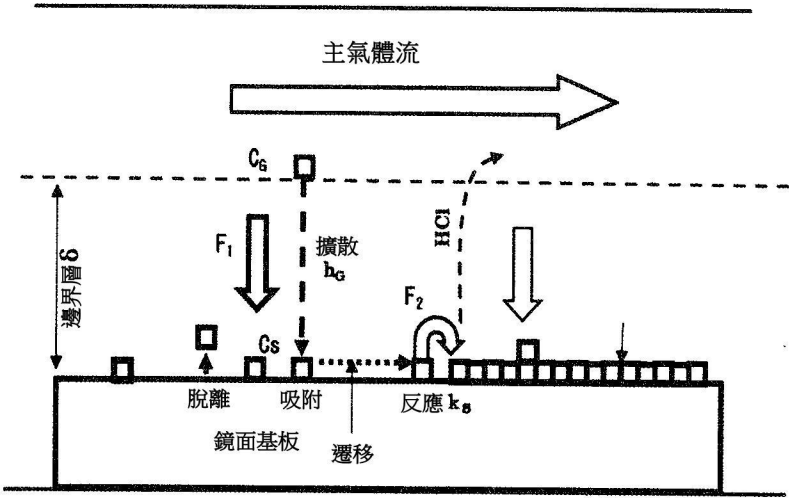
【圖 2】



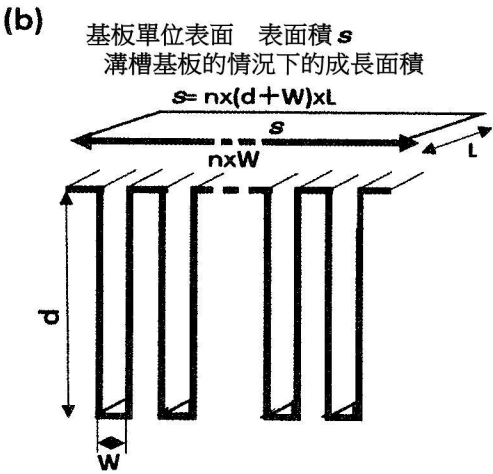
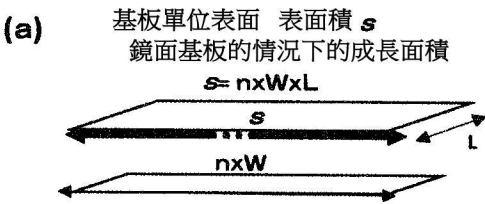
【圖 3】



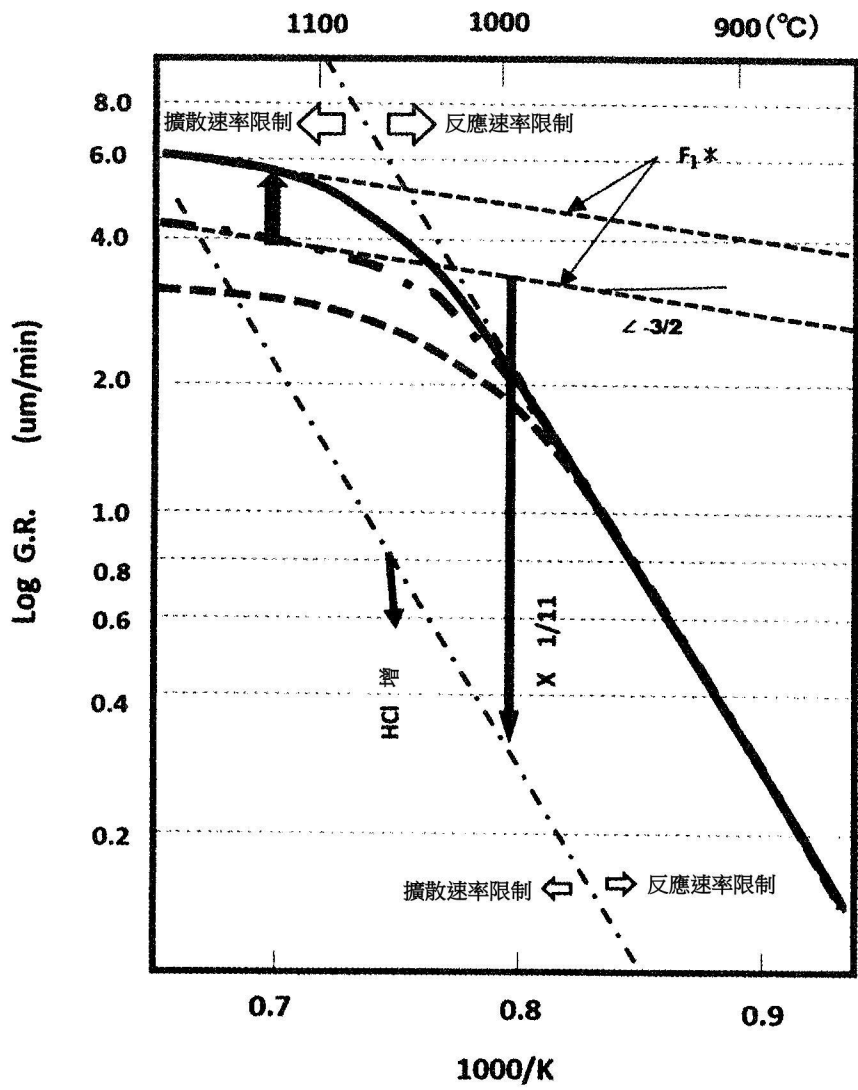
【圖 4】



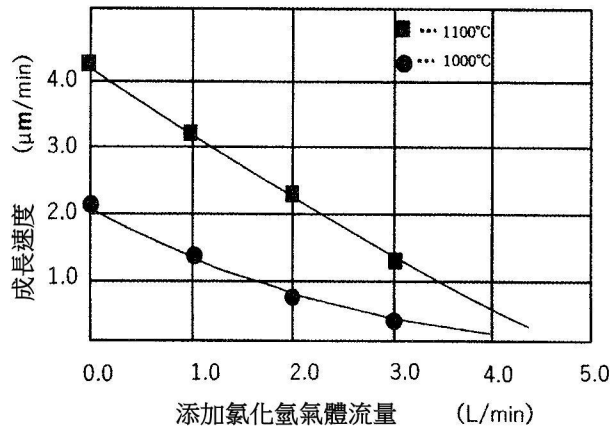
【圖 5】



【圖 6】

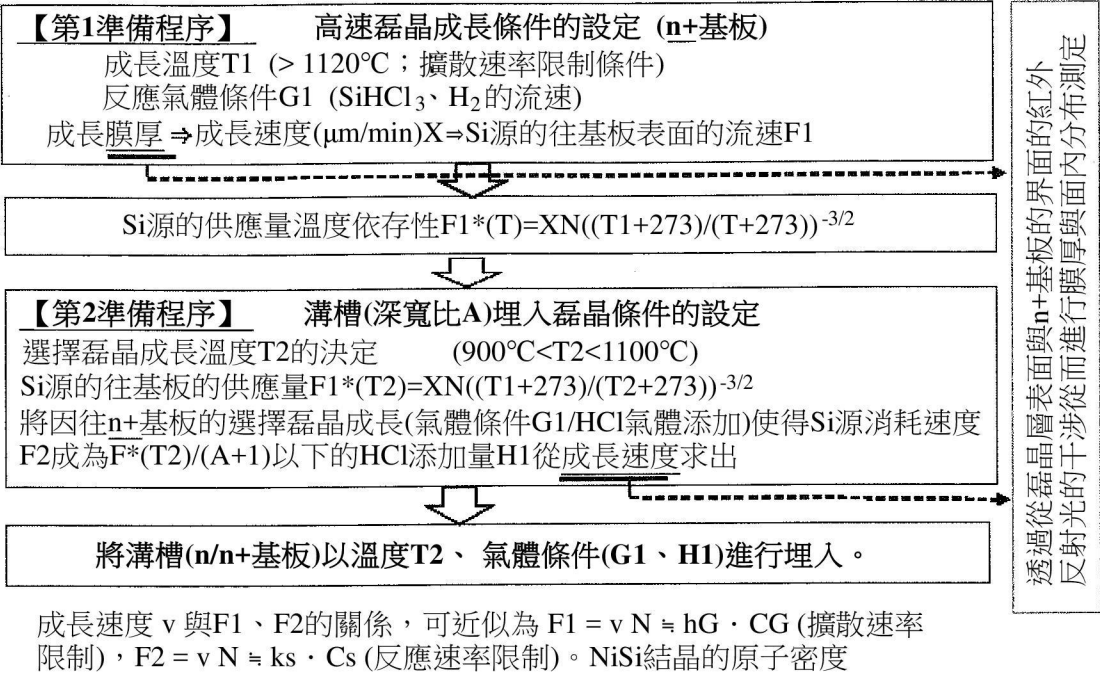


【圖 7】

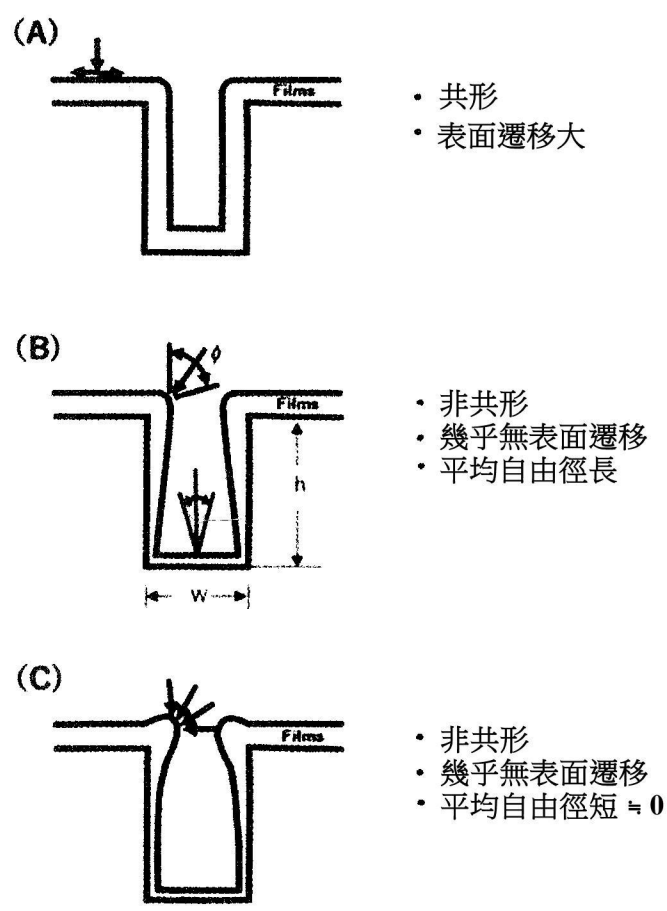


【圖 8】

溝槽埋入選擇性磊晶成長的流程圖

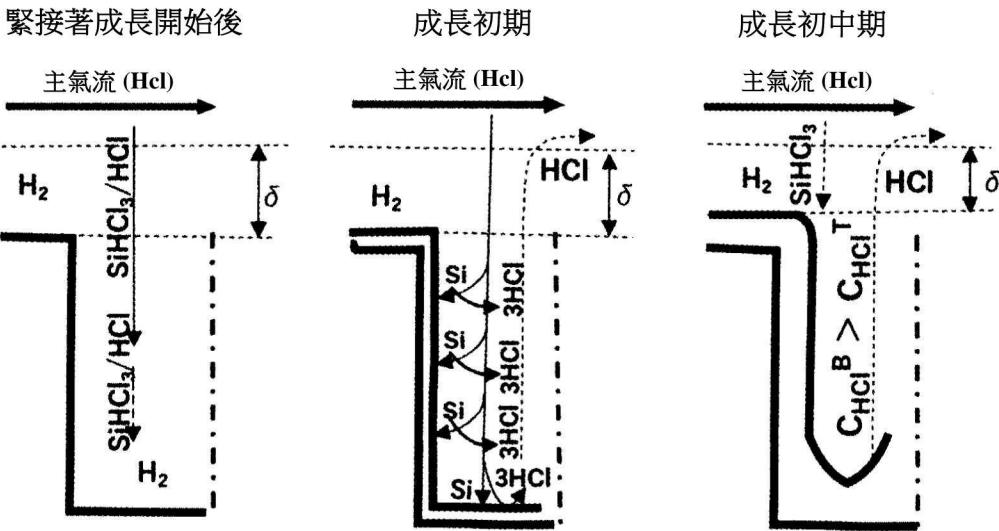


【圖 9】

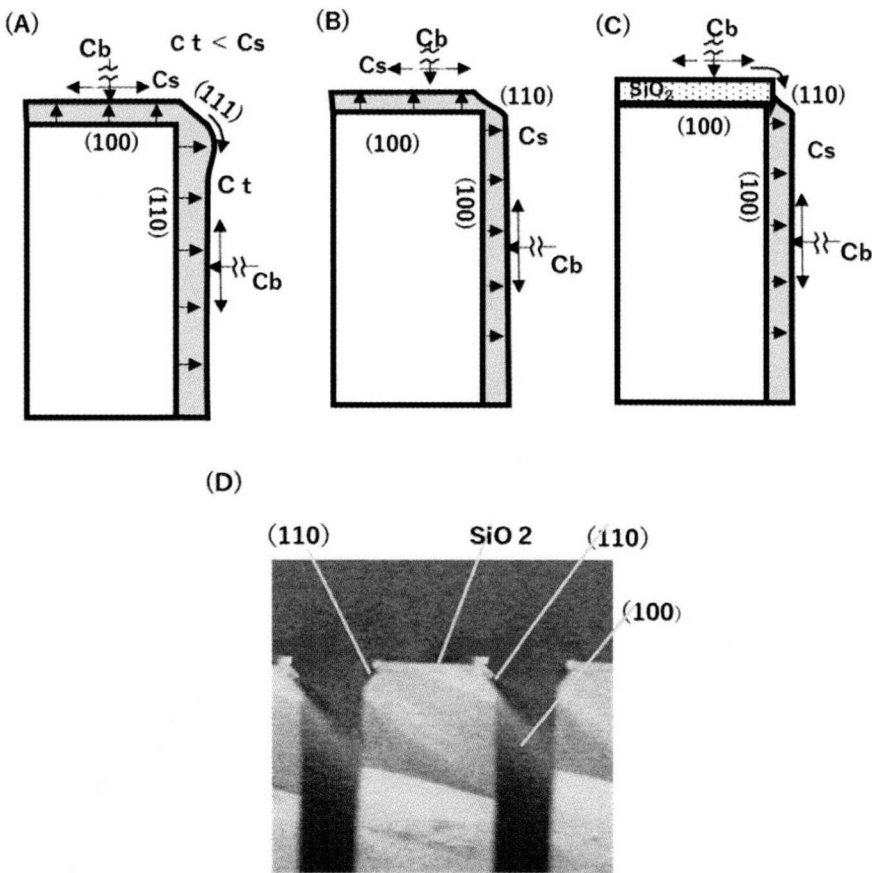


【圖 10】

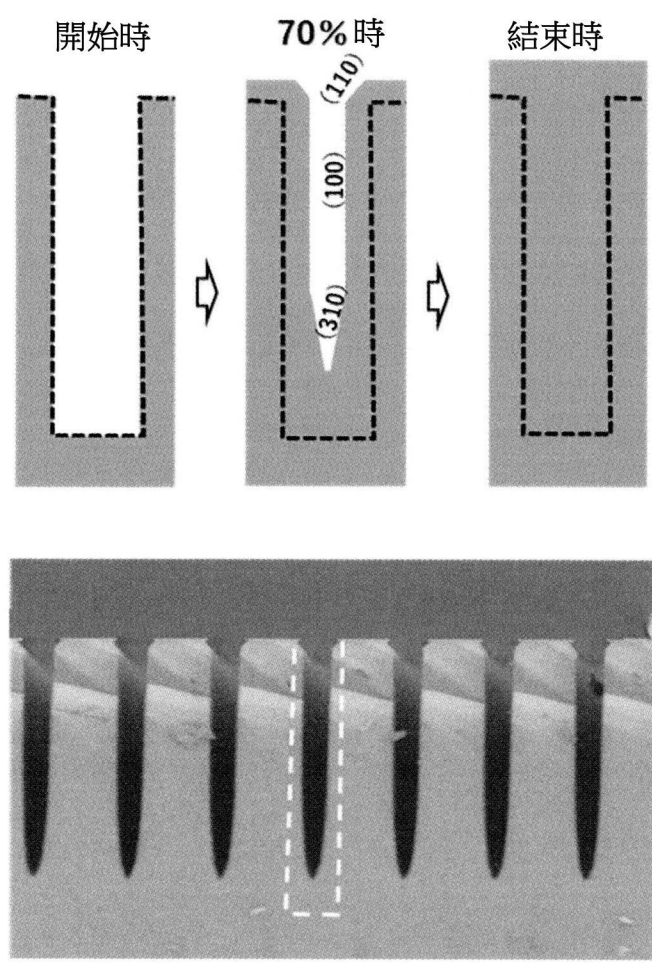
埋入磊晶成長中的HCL
TCS+HCl + H₂/ 氯化氫氣體的效果



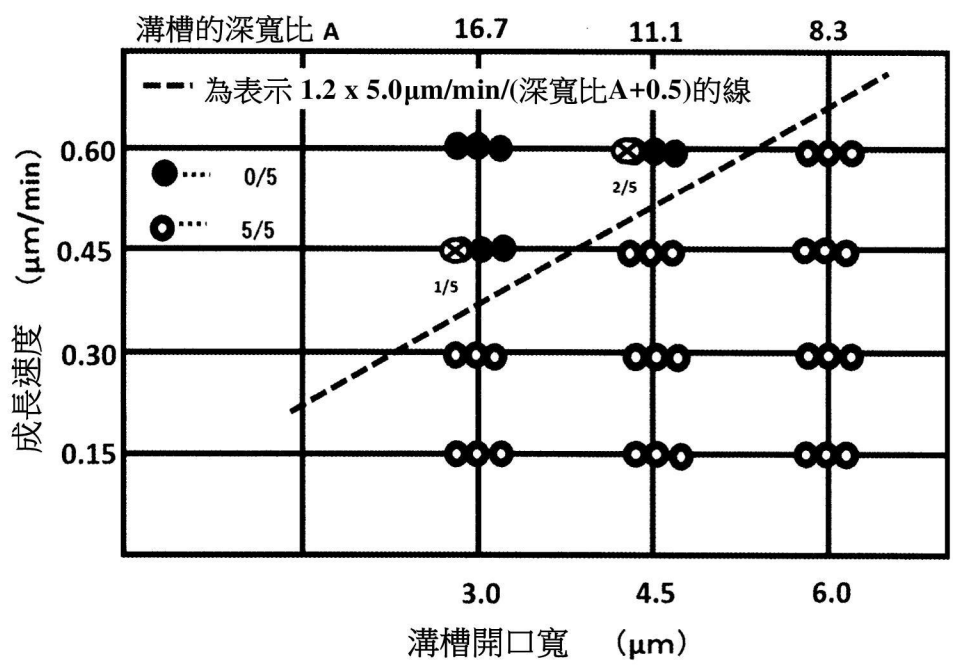
【圖 11】



【圖 12】



【圖 13】



【圖 14】