



(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 201517133 A

(43) 公開日：中華民國 104 (2015) 年 05 月 01 日

(21) 申請案號：103132297 (22) 申請日：中華民國 103 (2014) 年 09 月 18 日
 (51) Int. Cl. : *H01L21/268 (2006.01)* *C23C16/56 (2006.01)*
 (30) 優先權：2013/10/07 美國 61/887,587
 (71) 申請人：應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)
 美國
 (72) 發明人：史林尼法森史瓦米奈森 T SRINIVASAN, SWAMINATHAN T. (US)；克哈嘉法林
 阿德尼 KHAJA, FAREEN ADENI (IN)
 (74) 代理人：蔡坤財；李世章
 申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：4 共 34 頁

(54) 名稱

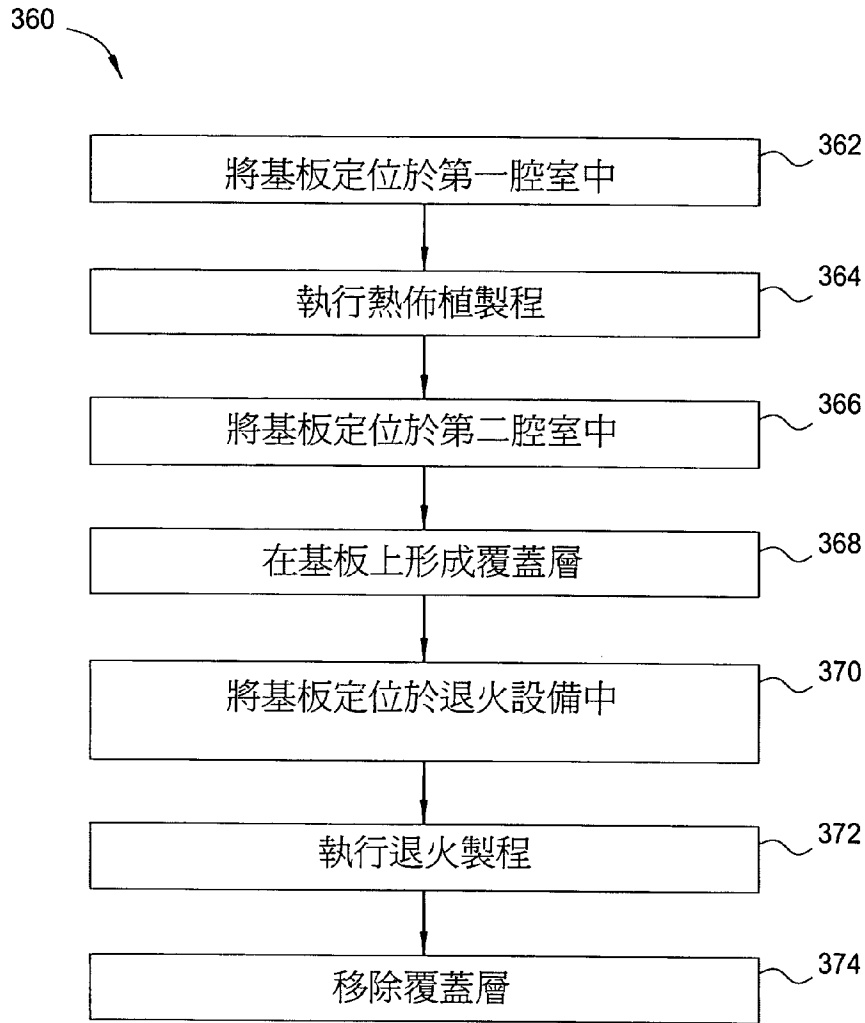
使用熱佈植與奈秒退火致使銦鋁鎵氮化物材料系統中摻雜劑的高活化

ENABLING HIGH ACTIVATION OF DOPANTS IN INDIUM-ALUMINUM-GALIUM-NITRIDE
 MATERIAL SYSTEM USING HOT IMPLANTATION AND NANOSECOND ANNEALING

(57) 摘要

本案揭露內容的實施例大體上關於摻雜與退火基板。該等基板可於熱佈植製程期間摻雜，且之後使用奈秒退火製程退火。熱佈植與奈秒退火的組合減少基板的晶格損壞且有助於接近基板表面處有更高的摻雜劑濃度，以助於增加與基板的電接觸。視情況任選的覆蓋層可置於基板上以減少摻雜劑的釋氣或控制摻雜劑佈植深度。

Embodiments of the present disclosure generally relate to doping and annealing substrates. The substrates may be doped during a hot implantation process, and subsequently annealed using a nanosecond annealing process. The combination of hot implantation and nanosecond annealing reduces lattice damage of the substrates and facilitates a higher dopant concentration near the surface of the substrate to facilitate increased electrical contact with the substrate. An optional capping layer may be placed over the substrate to reduce outgassing of dopants or to control dopant implant depth.



第3圖

發明摘要

※ 申請案號：103132297

※ 申請日：2014 年 09 月 18 日

※IPC 分類：

H01L 21/58 (2006.01)
C30C 6/56

【發明名稱】（中文/英文）

使用熱佈植與奈秒退火致使銦鋁鎵氮化物材料系統中摻雜劑的高活化

ENABLING HIGH ACTIVATION OF DOPANTS IN
INDIUM-ALUMINUM-GALIUM-NITRIDE MATERIAL
SYSTEM USING HOT IMPLANTATION AND
NANOSECOND ANNEALING

【中文】

本案揭露內容的實施例大體上關於摻雜與退火基板。該等基板可於熱佈植製程期間摻雜，且之後使用奈秒退火製程退火。熱佈植與奈秒退火的組合減少基板的晶格損壞且有助於接近基板表面處有更高的摻雜劑濃度，以助於增加與基板的電接觸。視情況任選的覆蓋層可置於基板上以減少摻雜劑的釋氣或控制摻雜劑佈植深度。

【英文】

Embodiments of the present disclosure generally relate to doping and annealing substrates. The substrates may be doped during a hot implantation process, and subsequently annealed using a nanosecond annealing process. The combination of hot implantation and nanosecond annealing

reduces lattice damage of the substrates and facilitates a higher dopant concentration near the surface of the substrate to facilitate increased electrical contact with the substrate. An optional capping layer may be placed over the substrate to reduce outgassing of dopants or to control dopant implant depth.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 3 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

360 方法

362-374 操作

【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)

使用熱佈植與奈秒退火致使銦鋁鎵氮化物材料系統中摻雜劑的高活化

ENABLING HIGH ACTIVATION OF DOPANTS IN
INDIUM-ALUMINUM-GALIUM-NITRIDE MATERIAL
SYSTEM USING HOT IMPLANTATION AND
NANOSECOND ANNEALING

【技術領域】

【0001】 本案揭露之發明的實施例大體上關於摻雜與退火基板，所述基板諸如半導體基板。

【先前技術】

【0002】 三五族 (Group III-V) 或二五族 (Group II-V) 化合物於開發與製造各種半導體元件方面日漸重要，所述半導體元件諸如發光二極體 (LED)、雷射二極體 (LD)、與邏輯電路元件 (諸如場效電晶體 (FET))。這些元件中，具有不同混合晶體組成的複數個半導體層層疊在一起，而獲得所要的光學與電特質。

【0003】 然而，以期望的摻雜分佈曲線於基板上生長低電阻率、高品質 p 型三五族化合物已提供無法讓人感到滿足的特質。以 GaN 為例，具有相對高蒸氣壓的五族元素 (例如氮) 在 GaN 晶體於高溫加熱而活化其中的佈植摻雜劑物種時傾向

揮發，導致會透過 GaN 晶格中損失氮（即，氮的空位）而使 GaN 分解。若表面分解發生，則化合物半導體的結晶度傾向劣化。

【0004】 此外，在將 GaN 膜摻雜成 p 型方面的努力工作已無法成功，這是因為 GaN 天生是有高載子濃度的 n 型摻雜半導體材料。n 型特質部分歸因於晶體結構中的氮空位，這是因為如前文所討論的在高溫下的 GaN 分解所形成。因此，適合的 p 型摻雜劑物種一般是在 GaN 生長期間導入，而獲得 p 型摻雜的 GaN。

【0005】 許多元件要求 p 型摻雜 GaN 中的自由載子濃度為至少 10^{18} 原子/cm³；然而，p 型摻雜的 GaN 蒙受不充足的載子濃度，這是由於摻雜劑非純質的效應大幅地被大量氮空位降低所致。同樣，許多情況中，摻雜劑非純質的效應被非所要的 H 鈍化所「中和」或「失活」，所述 H 鈍化是由於氫與摻雜劑原子之複合物形成所造成，這特別是在處理氣氛中使用當含氫氣體（諸如 NH₃ 氣體）時會發生。因此，僅有少許比例的 p 型摻雜劑原子受到活化，造成結構、組成、與元件性能非理想地打折。

【0006】 先前對增加活化 p 型摻雜劑的總量的嘗試已包括將更高濃度的 p 型摻雜劑佈植進入基板。然而，這樣的嘗試造成基板結晶結構由於過量佈植而產生讓人無法滿意的劣化。因此，需要一種改良的方法，以於基板上形成高品質、高活化的摻雜材料。

【發明內容】

【0007】 本案揭露內容的實施例大體上關於摻雜與退火基板。該等基板可於熱佈植製程期間摻雜，且之後使用奈秒退火製程退火。熱佈植與奈秒退火的組合減少基板的晶格損壞且有助於接近基板表面處有更高的摻雜劑濃度，以助於增加與基板的電接觸。視情況任選的覆蓋層可置於基板上以減少摻雜劑的釋氣（outgas）或控制摻雜劑佈植深度。

【0008】 一個實施例中，一種處理基板之方法包括下述步驟：於熱佈植製程期間將摻雜劑佈植至基板中，其中在該熱佈植製程期間，該基板維持於範圍在約攝氏 80 度至約攝氏 600 度內的溫度；以及，於奈秒退火製程期間退火該基板，以活化該摻雜劑且修復該基板中的結晶缺陷，其中在該奈秒退火製程期間，該基板暴露至一或多個脈衝的雷射能量，該等脈衝的雷射能量每一個具有低於約 10 微秒的持續期間。

【0009】 另一實施例中，一種處理基板的方法包括以下步驟：於熱佈植製程期間將摻雜劑佈植至基板中，其中在該熱佈植製程期間，該基板維持在低於約攝氏 500 度的溫度；以及，於奈秒退火製程期間退火該基板，以活化該摻雜劑且修復該基板中的結晶缺陷，其中在該奈秒退火製程期間，該基板暴露至一或多個脈衝的雷射能量，該等脈衝的雷射能量每一個具有低於約 10 微秒的持續期間，且該基板維持固態。

【0010】 另一實施例中，一種處理基板的方法包括以下步驟：於熱佈植製程期間將摻雜劑佈植至基板中，其中在該熱佈植製程期間，該基板維持於約攝氏 300 度至約攝氏 400 度之間的溫度；以及，於奈秒退火製程期間退火該基板，以活

化該摻雜劑且修復該基板中的結晶缺陷，其中在該奈秒退火製程期間，該基板暴露至一或多個脈衝的雷射能量，該等脈衝的雷射能量每一個具有約 1 奈秒至約 10 奈秒之間的持續期間，且該基板維持固態。

【圖式簡單說明】

【0011】 透過參考實施例（一些實施例繪示於附圖中），可得到上文簡要總結的本案揭露內容之更特定的描述，而可詳細瞭解本案揭露內容之前述特徵。然而，應注意附圖僅繪示本案揭露內容之典型實施例，因此不應被視為限制本案揭露內容之範疇，因為本案揭露內容可容許其他等效實施例。

【0012】 第 1A 圖描繪離子佈植器系統，該系統中可根據本案揭露內容之實施例實行溫度控制離子佈植。

【0013】 第 1B 圖繪示第 1A 圖的平台。

【0014】 第 2A 圖繪示退火設備的概略等角視圖，該退火設備適於執行本文中實施例內所述的退火製程。

【0015】 第 2B 圖繪示第 2A 圖的退火設備之概略側視圖。

【0016】 第 3 圖繪示根據本案揭露內容之一個實施例的處理基板之流程圖。

【0017】 第 4 圖繪示其中可執行本文所述之實施例的群集工具。

【0018】 為了助於瞭解，如可能則已使用相同的元件符號指定各圖共通的相同元件。應考量一個實施例的元件與特徵可有利地併入其他實施例而無需進一步記敘。

【實施方式】

【0019】 本案揭露內容的實施例大體上關於摻雜與退火基板。該等基板可於熱佈植製程期間摻雜，且之後使用奈秒退火製程退火。熱佈植與奈秒退火的組合減少基板的晶格損壞且有助於接近基板表面處有更高的摻雜劑濃度，以助於增加與基板的電接觸。視情況任選的覆蓋層可置於基板上以減少摻雜劑的釋氣或控制摻雜劑佈植深度。

【0020】 第 1A 圖描繪離子佈植器系統 100，其中可根據本案揭露內容之實施例執行溫度控制的離子佈植（例如熱佈植）。該離子佈植器系統 100 可包括離子源 150（被電力供應器 151 偏壓至一電位）以及離子束 10 所通過的一系列束線部件。該系列的束線部件可包括例如萃取電極 154、 90° 磁鐵分析器 156、第一減速台 158、 70° 磁鐵準直器 160、以及第二減速台 162。與操縱光束的一系列光學透鏡極類似，束線部件可過濾與聚焦離子束 10，之後再將離子束 10 導向基板，諸如半導體晶圓。離子佈植期間，基板一般是裝設於平台 114 上，該平台 114 可於一或多個維度上移動（例如，平移、旋轉、與傾斜）。可用一或多個裝置（諸如法拉第杯 166）測量離子束 10。

【0021】 第 1B 圖繪示第 1A 圖的平台 114。平台 114 可用於根據本案揭露內容之一或多個實施例的高溫離子佈植。整個平台 114 可耦接掃描器機構 164，該掃描器機構 164 助於平台 114 的各種移動。平台 114 可包括介電板 122 與界面板 124。該介電板 122 可具有多個電極 126，該等電極 126 嵌在該介電板 122 中，以施加靜電力，而將基板 40 支承（hold）於介電

板 122 之表面上。介電板 122 之表面可為平滑，抑或含有檯面結構（mesa structure）130，以減少對基板 40 的背側接觸且減少背側顆粒。形成於基板 40 與介電板 122 之間的界面 128 可含有背側氣體，以改善或調整基板 40 與介電板 122 之間的熱接觸。此外，一或多個加熱元件 132 可嵌於介電板 122 中，以加熱介電板 122 與基板 40，且於離子佈植期間維持期望的升高溫度。一個範例中，基板 40 可利用加熱元件 132 加熱，該等加熱元件 132 可包括例如電阻式加熱元件。

【0022】 界面板 124 可經由界面 134 耦接介電板 122。界面板 124 可為鋁塊，該鋁塊含有水/冷卻劑溝道 136。界面板 124 也可由其他材料製成，諸如鈦、不鏽鋼、石英、或陶瓷，該等材料可選以在期望操作溫度下匹配平台 114 的不同零件的熱膨脹係數。界面板 124 可具有與介電板 122 的受控熱接觸，該熱接觸可透過界面 134 調整。舉例而言，界面 134 可含有背側氣體，當期望與介電板 122 熱隔離時，可抽空該背側氣體。當充有該背側氣體時，界面 134 可增加界面板 124 與介電板 122 之間的熱交換，以助於冷卻。為了加速平台 114 的冷卻，界面 134 可充有增加自介電板 122 至界面板 124 之導熱率的背側氣體。冷卻速率可藉由變化背側氣體壓力（於界面 134 中）及/或冷卻劑流速（於冷卻溝道 136 中）而受到控制。

【0023】 平台 114 有助「熱佈植」基板 40。佈植製程期間，基板 40 升高至超過周圍溫度的溫度且維持於該溫度。一個範例中，基板可維持在約攝氏 80 度至約攝氏 600 度的溫度。佈

植期間的增加的溫度助於修復對基板 40 之結晶結構引發的損壞，此損壞是由於佈植製程期間帶有能量的離子與基板 40 衝擊之故。藉此，相較於室溫下執行的佈植製程，熱佈植製程之後存在較少量或尺寸較小的缺陷。

【0024】 第 2A 圖繪示適於執行本文之實施例內描述的退火製程的退火設備 200 的概略等角視圖。舉例而言，退火設備 200 可執行奈秒退火製程，以活化基板內的摻雜劑且校正基板內的結晶缺陷。一個實施例中，能量源 220 適於將一定量的能量投射至基板 40 的限定之區域（或退火區域 212），以優先退火該退火區域 212 內的某期望區域。一個實施例中，如第 2A 圖所示，在任何給定時間，基板 40 的僅一或多個限定區域（諸如退火區域 212）暴露至來自能量源 220 的輻射。本案揭露內容之一個態樣中，基板 40 的單一區域依序暴露至期望量的能量（該能量來自能量源 220）以引發優先退火基板 40 之期望區域。一般而言，一或多個電致動器 217（例如，線性馬達、螺桿、與伺服馬達）用於控制基板 40 之移動與位置，該等電致動器 217 可以是分離的精密平台（precision stage）的一部分。

【0025】 第 2A 圖中所示的一個態樣中，退火區域 212（與遞送至該退火區域 212 的輻射）尺寸經設計以匹配晶粒 213（例如，第 2A 圖中顯示 40 個「晶粒」）或半導體元件（例如記憶體晶片）之尺寸，上述晶粒或半導體元件形成於基板 40 之表面上。一個態樣中，退火區域 212 的邊界對準且尺寸設計成配適（fit）於「劈痕」（kerf）線或「刻劃」線 210A 內，

該劈痕線或刻劃線界定每一晶粒 213 的邊界。依序定位退火區域 212 使得該等退火區域 212 僅重疊於晶粒 213 之間自然產生的非使用空間/邊界（諸如刻劃線或劈痕線），而減少將能量重疊於基板上形成元件之區域中的需要，從而減少重疊退火區域之間製程結果的差異。一個範例中，基板表面上形成的依序定位的退火區域 212 的每一者之面積介於約 4 mm^2 （例如 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ ）至約 1000 mm^2 （例如 $25 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ ）之間。應考量退火區域 212 的邊緣之尺寸與形狀可取決於處理方案之需求而調整。

【0026】 能量源 220 大體上適於遞送電磁能量，以優先退火基板表面之某些期望區域。一般的電磁能量源包括（但不限於）光學輻射源（例如雷射或閃光燈）、電子束源、離子束源、及/或微波能量源。一個範例中，來自能量源 220 的多個脈衝的能量經裁製（tailor），使得遞送遍及退火區域 212 的能量的量及/或於整個脈衝週期遞送的能量的量最佳化，以便不至於熔融（或幾乎熔融）退火區域或結晶種區域（該等區域已預先沉積在基板表面上）。相反地，來自能量源 220 的多個脈衝的能量經裁製而遞送足夠能量以促進磊晶再生長，例如漸進地從結晶種區域之表面磊晶式再生長非晶層。因此，退火區域下方的結晶種區域的重要（significant）部分被活化且傳播遍佈整個非晶層，從而使沉積於結晶種區域上方的非晶層再結晶。

【0027】 一個實施例中，能量源 220 的波長經調諧（tune）而使得輻射的重要部分被配置於基板 40 上的層吸收。對於含

矽層上執行的退火製程而言，舉例而言，輻射波長可少於約 800 nm，且可以深紫外線（UV）、紅外線（IR）、或其他期望的波長遞送。一個範例中，可用波長為約 365 nm 或更低的輻射照射包括 GaN 的基板。另一實施例中，可用波長為約 460 nm 或更低的輻射照射 InGaN。由於對不同材料而言光吸收波長有所不同，所以應考量，基板的多個部分的「選擇性退火」可藉由調諧光源波長以優先加熱基板之期望區域而執行。應考量不同光波長的使用可用於選擇性退火基板表面之不同區域，以及垂直堆疊的元件之不同層。舉例而言，可選擇輻射波長以通過結構的最上層，且被結構的下面的層吸收（從而退火或活化該下面的層）。

【0028】 一個實施例中，能量源 220 是強烈光源（諸如雷射），該強烈光源適於遞送波長介於約 500 nm 至約 11 微米之間的輻射。另一實施例中，能量源 220 可以是鎢鹵素燈或閃光燈，這些燈的特色是複數個發射輻射的燈，諸如氙氣、氬氣、或氬放電燈。所有情況中，用於退火製程的能量脈衝大體上發生相對短的時間，諸如約 1 奈秒至約 10 毫秒之等級，且在本文中可稱為「奈秒退火」。

【0029】 第 2B 圖是第 2A 圖的設備 200 的概略側視圖。電源 202 耦接能量源 220。能量源 220 可包括能量產生器 204 與光學組件 208，該能量產生器 204 可以是諸如前文所述的彼等光源。能量產生器 204 裝設成產生能量且將該能量引導至光學組件 208 中，該光學組件 208 繼而如期望般塑形能量以遞送至基板 40。光學組件 208 大體上包括透鏡、濾光片、鏡、與

類似物，上述透鏡、濾光片、鏡、與類似物裝設成對能量產生器 204 所產生之能量聚焦、偏振、去偏振、過濾、或調整同調性，目的在於遞送均勻的光柱給退火區域 212。

【0030】 爲了遞送能量脈衝，能量產生器 204 可含有脈衝雷射，該脈衝雷射可裝設成發射單一波長的光或同時發射兩個波長的光。在一個實施例中，能量產生器 204 可包括 Nd:YAG 雷射，該雷射具一或多個內部頻率轉換器，該內部頻率轉換器使雷射頭發射不同雷射頻率的光。或者，能量產生器 204 可裝設成同時發射三個或更多個波長，或進一步替代式或額外地提供波長可調諧的輸出。一個範例中，用於該能量產生器 104 中的雷射頭經 Q 切換（Q-switch）以發射短且強的脈衝，且脈衝持續時間範圍是例如從 1 奈秒至 1 秒。

【0031】 爲了實現脈衝雷射，該設備可含有開關（switch）206。該開關 206 可以是快速的快門（shutter），該快門可在 1 微秒或更低的時間內開啓或關閉。或者，開關 206 可爲光學開關，諸如不透明晶體，該不透明晶體在具閾值強度的光沖射至該晶體上時會在少於 1 微秒的時間內變得澄澈。光學開關透過中斷朝基板引導的電磁能量之連續射束而產生脈衝。開關是由控制器 221 操作，且可位於能量產生器 204 內側或外側，諸如耦接或緊固至能量產生器 204 的出口區。控制器 221 可裝設成如所需般關閉及開啓電源 102，或者可設置電容器 218 使得該電容器由電源 202 充電，且憑藉控制器 221 賦能的電路而放電至能量產生器 204。藉由電容器的電切換是一種自我切換的方式，因爲能量產生器 204 在電容器 218 提供

之電力跌落低於某電力閾值時會停止產生能量。當電容器 218 由電源 202 再充電時，隨後電容器 218 可放電至能量產生器 204，而產生另一脈衝能量。一些實施例中，電開關可裝設成在少於 1 奈秒的時間內開啓或關閉電力，從而助於奈秒退火製程。

【0032】 一個實施例中，可期望藉由將基板 40 之表面（如第 2A 圖所繪示）成與熱交換裝置 215 之基板支撐表面 216 熱接觸，而於熱處理期間控制基板之溫度。熱交換裝置 215 大體上適於在退火製程之前或期間加熱及/或冷卻基板，以改善基板之退火區域的後處理性質。大體上，基板 40 放置在處理腔室（圖中未示）的封閉的處理環境（圖中未示）之內，該處理環境含有該熱交換裝置 215。處理期間基板安置於其內的處理環境可抽空，或含有適合期望製程的氣體。舉例而言，本案揭露內容的實施例可用於需要提供某些氣體至腔室的沉積或佈植製程。第 2A 圖中所示的一個態樣中，熱交換裝置 215 含有電阻式加熱元件 215A 與溫度控制器 215C，該電阻式加熱元件 215A 與溫度控制器 215C 適於加熱配置於基板支撐表面 216 上的基板。溫度控制器 215C 可與控制器 221 相通。

【0033】 另一實施例中，可期望於處理期間冷卻基板，以減少由於退火製程期間添加至基板的能量所造成的交互擴散。需要漸增式熔融基板的製程中，往後冷卻可能增加再生長速率，而可於處理期間增加各個區域的非晶化。熱交換裝置 215 可含有一或多個流體溝道 215B 與極冷冷卻器（cryogenic chiller）215D，該流體溝道 215B 與極冷冷卻器 215D 適於冷

卻配置在基板支撐表面 216 上的基板。一個態樣中，極冷冷卻器 215D 與控制器 221 相通，該極冷冷卻器 215D 適於遞送冷卻流體通過該一或多個流體通道 215B。

【0034】 第 3 圖繪示根據本案揭露內容的一個實施例的用於處理基板的方法 360。該方法 360 開始於操作 362，其中基板定位在第一製程腔室中，該基板諸如為矽、砷化鎵 (GaAs)、氮化鎵 (GaN)、氮化銦鎵 (InGaN)、磷化銦 (InP)、或氮化銦鋁鎵 (InAlGaN) 基板。第一製程腔室可以例如為佈植腔室，該佈植腔室能夠於升高的溫度將摻雜劑佈植進入基板 (例如，熱佈植)，諸如針對第 1 圖所描述的系統 100。一旦基板已定位在第一腔室，則於操作 364 執行熱佈植製程，以將摻雜劑 (諸如 p 型摻雜劑) 佈植進入基板中。p 型摻雜劑的範例包括鎂、鋁、鈣、銦、鋇、與鋅。該摻雜劑可以約 1×10^{20} 原子/cm³ (或更高) 的濃度併入基板，以藉由在觸點正下方區域 (諸如 p-GaN 區域) 進行重度摻雜而助於形成與基板的電接觸，使得接近表面的電洞濃度增加。一個範例中，可用鎂以大於 1×10^{19} 原子/cm³ 的濃度摻雜 GaN 層，以助於與 GaN 的歐姆接觸。大體而言，三五族化合物半導體可摻雜有鎂達到大於 1×10^{19} 原子/cm³ 的濃度，以增加活性層中 p 型摻雜的濃度，且也助於歐姆接觸的形成。期望藉由摻雜基板材料 (例如 GaN) 減少接觸電阻，使得對於光子元件 (諸如以 GaN 為基礎的發光二極體與雷射二極體) 可達成更高的光學透射度與改善的光學性能，且使得對於電子元件而言，可達成改善的元件特徵 (低操作電壓)。此外，元件可靠度將可藉由減

少接觸電阻改善。

【0035】 操作 364 的熱佈植製程期間，基板維持於範圍在約攝氏 80 度至約攝氏 600 度內的溫度。例如，矽基板可維持於低於約攝氏 500 度的溫度，諸如約攝氏 400 度。另一範例中，砷化鎵基板可維持於範圍在約攝氏 80 度至約攝氏 600 度內的溫度，諸如約攝氏 300 度至約攝氏 400 度的溫度。藉由將基板於佈植期間維持在升高溫度（例如，高於室溫），由於動態退火之故，晶格的損壞減少，因佈植造成的結晶性結構中的缺陷尺寸與量皆減少。處理期間基板的增加溫度助於處理期間的晶格修復。藉由執行熱佈植，填隙空位（例如點缺陷）快速重組，造成較少團簇與較少缺陷。由於存在較少晶體缺陷（這是因為處理期間的修復所致），所以可使後續的晶格修復操作變得更短，從而減少基板之熱預算以及氮或摻雜劑釋氣的量，所述釋氣是由於延長升高溫度而發生。

【0036】 進一步而言，一些實施例中，諸如鉍、鎂、鈣、鋇、與鋇之二族元素可與五族元素（諸如磷）於室溫或升高的溫度下共同摻雜，以產生 P+ 的接近表面的 GaN 層。與鎂共佈植的磷有助於增加鎵的空位、增進活化、且減少 p 型佈植的擴散。同樣，可將包括光阻劑、二氧化矽、氮化矽、旋轉塗佈碳、聚亞醯胺、先進圖案化薄膜（APF）、Topaz、或非晶碳中的一或多者的硬遮罩用於圖案化與選擇性開啓供摻雜之區域。

【0037】 在第一腔室中的熱佈植製程之後，於操作 366 中，基板定位於第二腔室，諸如沉積腔室。該沉積腔室可以是原

子層沉積 (ALD) 腔室與化學氣相沉積 (CVD) 腔室、物理氣相沉積 (PVD) 腔室、或類似腔室，上述腔室可購自美國加州 Santa Clara 的應用材料公司。

【0038】 在操作 368，將覆蓋層形成於基板上。該覆蓋層可藉由 ALD、CVD、或 PVD 之一或多者由例如氮化矽、氮化鋁、矽、氮化鎵、或二氧化矽之一或多者形成。該覆蓋層可沉積到約 20 埃至約 500 埃的厚度，諸如約 20 埃至約 200 埃。該覆蓋層減少退火或活化製程期間摻雜劑離子從基板的釋氣，同時也減少五族原子從基板表面損失的可能性。五族元素之原子的損失(諸如來自氮化鎵膜的氮)可導致 GaN 表面分解，從而非期望地影響膜品質。摻雜劑原子的釋氣的減少會減少「過度摻雜」基板的需求，而確保熱處理後留有足夠的摻雜劑。避免過度摻雜會進一步減少發生結晶結構損壞。一些範例中，基板的過量摻雜可造成不想要的基板損壞，且也可引發 p 型摻雜劑的去活。

【0039】 一個範例中，覆蓋層是由 PVD 製程形成的 AlN 材料。在這樣的情況中，AlN 材料可藉由下述方式沉積在基板上：在維持於減壓下的氬氣 (Ar) 與氮氣 (N₂) 之氣體混合物中反應性濺射 Al，該減壓諸如為維持在約 0.5 mTorr 至數 Torr 的環境，例如約 2 mTorr 至約 300 Torr。或者，AlN 材料可藉由下述方式沉積在基板上：於氬氣 (Ar) 及/或氮氣 (N₂) 環境中 RF 及/或 DC 偏壓氮化鋁 (AlN) 靶材，以將 AlN 材料濺鍍於基板表面上。也考量到，AlN 材料可藉由於富含氮氣 (N₂) 的環境中蒸鍍鋁 (Al) 而沉積，或是藉由使用 CVD 方

法形成 AlN 層而沉積。

【0040】 形成覆蓋層後，於操作 370，基板定位在退火設備中。退火設備可例如為針對第 2A 圖與第 2B 圖所述的退火設備 200。然而，應考量可使用能夠執行快速高溫退火的其他退火設備，諸如利用燈的閃光退火設備。

【0041】 在操作 372，於基板上執行奈秒退火製程，以移除佈植誘發的缺陷以及活化摻雜劑物種。退火製程可以是任何高溫熱退火製程，該製程能夠移除輻射損壞與將摻雜劑物種移動至基板上三五族材料的適當取代晶格位置上，而退火溫度為約 900 °C 或更高，例如約攝氏 1100 度至約攝氏 1500 度。一個範例中，包括 GaN 或 InGaN 的基板可在高於約攝氏 1000 度的溫度退火。一些範例中，五族材料可具有低游離溫度（對於 GaN 中的 N 而言，大約攝氏 800 度或更高），從而應非常快速地在期望上達到所需的退火溫度，且退火之持續時間應限制在相對短的時間（諸如次微秒的持續時間），以保有 GaN 的表面形態與晶格品質。

【0042】 操作 372 期間，以一系列依序的脈衝能量遞送電磁輻射能量，以容許摻雜劑的受控擴散及/或容許目標層或基板的期望區域內短距離上的佈植損壞的移除。短距離可介於約一個晶格平面至數十個晶格平面之間。單一脈衝期間遞送的能量的量一般短得足以提供平均擴散深度，該平均擴散深度僅為單一晶格平面的一部分，從而退火製程可需要多個脈衝以達成期望量的摻雜劑擴散或晶格損壞校正。強度與波長可取決於摻雜劑原子的深度與期望的移動量而調諧。所用的能

量之波長範圍可大體上從微波（例如約 3 cm）通過可見光波長，至深紫外線（例如約 150 奈米（nm））。範圍從約 300 nm 至約 1100 nm 的波長例如可用於雷射應用，諸如低於約 800 nm 的波長。脈衝退火製程期間，每一連續脈衝構成微退火（micro-anneal）循環，其中能量遞送至目標層且傳播通過該目標層，該目標層例如為三五族化合物層。

【0043】 既然每一脈衝足夠短且每一脈衝的加成效應局部化且將不會引發基板中溫度上升，所以五族元素的分解不會發生，且不會超過基板的熱預算。毋寧是，藉由存在高濃度的基板與覆蓋層（若使用的話）的五族材料區域，表面形態受到進一步控制。

【0044】 在本案揭露內容的各種實施例中，脈衝雷射退火製程的每一脈衝可遞送約 0.2 J/cm^2 至約 100 J/cm^2 的能量密度且功率層級為至少 10 毫瓦（mW）（諸如介於約 10 mW 至 10 W 之間），且依序的脈衝的數目可在約 30 個至約 100,000 個脈衝間變化，每一脈衝的持續時間為約 1 奈秒（nsec）至約 10 毫秒（msec）。每一脈衝的持續時間可低於 10 msec，諸如介於約 1 msec 至約 10 msec 之間，或介於約 1 nsec 至約 10 微秒（ μsec ）之間，或甚至低於約 100 nsec。一些範例中，每一脈衝的持續時間可介於約 1 nsec 至約 10 nsec 之間，諸如約 1 nsec。另一範例中，每一脈衝的持續時間可為介於約 2 nsec 至約 200 nsec 之間。

【0045】 佈植與活化摻雜劑的先前技術方法已聚焦在僅只熱佈植抑或雷射退火（諸如奈秒退火）之單一方法，以減少處

理過的基板的熱預算。舉例而言，一些方法已執行室溫佈植，之後執行退火製程。在這樣的方法中，佈植製程經常引發比在退火製程中所能修復的還要更多的損壞，從而造成最終元件中的缺陷。即使企圖使缺陷消散而在退火製程期間超過熱預算，晶格損壞的程度可能太顯著而難以復原。此外，摻雜劑濃度可能過於接近基板表面而使得會熔融基板的再結晶。另一方法中，已執行熱退火而無後續的雷射或奈秒退火製程。在這樣的方法中，仰賴受熱的支座以將基板之溫度提升到足夠高的溫度而活化摻雜劑。然而，此方法也大體上會超過期望的基板熱預算，且更甚者，可能導致摻雜劑原子或五族原子非期望地釋氣。此外，此方法經常不會消散佈植製程引發的基板中的所有點缺陷。

【0046】 熱佈植與奈秒退火之組合提供許多勝於每一個別製程的優點。此提議之方法實現最佳的元件積體流程且提供擁有者成本的優點。該熱佈植製程在佈植期間建立缺陷時消散基板之結晶晶格中的缺陷，這是由於增進動態退火所致。增加佈植溫度增加動態退火且形成較少點缺陷團簇，造成非晶化（填隙空位團簇）減少。藉此，缺陷拓展超過小型點缺陷的可能性大幅降低。再者，熱佈植造成例如在熱佈植製程期間早期摻雜劑活化。進一步而言，殘餘的小型點缺陷在雷射或奈秒退火製程期間可快速消散，這與摻雜劑活化同時進行。因此，藉由使用熱佈植製程與雷射或奈秒退火之組合，基板之熱預算最小化，結晶結構修復。

【0047】 儘管第 3 圖繪示方法 360 的一個實施例，但也應考

量其他實施例。另一實施例中，考量可排除第 3 圖的操作 366 與 368。另一實施例中，考量第 3 圖的操作 366 與 368 可發生在操作 362 之前。在此實施例中，操作 374 可發生在操作 372 中的退火製程之前或之後。當操作 366 與 368 發生在操作 362 之前時，覆蓋層存在於基板上可助於控制佈植深度與接近基板表面的摻雜劑濃度。一些範例中，可期望在靠近基板表面處獲得重度的摻雜劑濃度（諸如約 1×10^{20} 原子/cm³），以形成超淺界面或高度摻雜的 P++ 層。因為摻雜劑的佈植深度大體上依循高斯分佈，所以覆蓋層的厚度可選擇以將高斯分佈的峰值定位在離基板表面的期望深度處，例如離約 10 至約 200 埃。

【0048】 第 4 圖繪示群集工具，其中可執行本文所述的實施例。群集工具 490 特徵在於至少一個磊晶沉積腔室，如前文所述。群集工具 490 的範例為 CENTURA® 系統，該系統可購自美國加州 Santa Clara 應用材料公司。也可使用由其他製造商所製造的群集工具。任何便利類型的移送機器人 491 配置於群集工具的移送室 492 中。裝載閘 493（具兩個裝載閘腔室 493A、493B）耦接移送室 492。複數個製程腔室 494、495、496、497 與 498 也耦接移送室 492。複數個製程腔室 494、495、496、497 與 498 可包括下述至少一者：預清潔腔室、材料沉積腔室（諸如磊晶沉積腔室）、熱製程腔室（諸如退火、脫氣（degas）、或氧化腔室）、或佈植腔室。舉例而言，該等製程腔室 494、495、496、497 與 498 的任一者可包括針對第 1 圖所討論的佈植腔室，或針對第 2A 圖與第 2B 圖討論的退

火設備。

【0049】 腔室 494 可以是預清潔腔室，該預清潔腔室裝設成在緩衝層及/或元件層之沉積前清潔基板。該預清潔腔室可以裝設成執行應用材料公司的 SICONI™預清潔製程。腔室 495 及/或 497 可以是材料沉積腔室，諸如磊晶沉積腔室，該磊晶沉積腔室能夠執行磊晶生長製程。腔室 496 及/或 498 可以是熱處理腔室，該熱處理腔室能夠執行熱處理製程，包括雷射退火製程。

【0050】 在本案揭露內容中，討論 p 型的三五族化合物，例如 GaN。然而，應考量類似的概念可應用至 n 型 GaN 或任何其他三五族化合物半導體（諸如，GaAs、InSb、InAs、InP、GaSb、GaP、或 AlSb 等（以上為舉例））或二六族化合物半導體（諸如 ZnS、ZnSe、ZnTe、CdS、CdSe、CdTe、或 BeO 等（以上為舉例）），包括上述材料之二元、三元、與四元的摻合物（alloy），或用於膜性質改善的非相似的基板上其他半導體的生長。應考量基板可由前述材料形成，或可包括前述材料之一或多層，且該前述材料配置在另一材料上。例如，應考量三五族材料可配置在包括下述材料之基板上，該等材料為：藍寶石（ Al_2O_3 ）、矽（Si）、碳化矽（SiC）、氧化鋰鋁（ LiAlO_2 ）、氧化鋰鎵（ LiGaO_2 ）、氧化鋅（ZnO）、氮化鎵（GaN）、氮化鋁（AlN）、石英、玻璃、砷化鎵（GaAs）、磷化銾（InP）、尖晶石（ MgAl_2O_4 ）、或前述材料之組合，且該三五族材料可經受本文所揭露的操作。

【0051】 本案揭露內容的優點包括將基板材料充分摻雜至期

望濃度的能力，使得可達成更高的光學透射性、改善的光學性能、以及增加的元件可靠度。舉例而言，藉由熱離子佈植後接奈秒退火而熱汲引與活化摻雜劑所達成的阻障寬度操縱減少了 p 型 GaN 層與配置在該層上的觸點金屬之間的高接觸電阻。本案揭露內容的實施例造成接觸特性改善（諸如接觸電阻減少），還有 GaN 光子元件性能改善（諸如輸出的光萃取變高、電流散佈更佳（減少吸熱體的需求）、增加可靠度、以及 GaN 電子元件特性）。相對低的摻雜劑濃度（諸如低於約 1×10^{18} 原子/cm³）會非期望地造成基板上配置的金屬觸點與基板之三五族或二五族層之間形成蕭特基阻障物。然而，蕭特基阻障物的寬度取決於摻雜劑濃度，因此當達成夠高的摻雜劑濃度（例如，超過約 1×10^{18} 原子/cm³）時可充分克服蕭特基阻障物的寬度。本文所述的熱佈植與奈秒退火之組合得以達成期望的摻雜劑分佈曲線，且同時減少基板的結晶缺陷並改善摻雜劑活化。

【0052】 前述內容涉及本案揭露內容之實施例，但可不背離本案揭露內容之基本範疇而設計本案揭露內容之其他與進一步的實施例，且本案揭露內容之範疇由下文的申請專利範圍所決定。

【符號說明】

【0053】

10 離子束

40 基板

100 離子佈植器系統

- 102 電源
- 104 能量產生器
- 114 平台
- 116 電極
- 122 介電板
- 124 界面板
- 126 電極
- 128 界面
- 130 檯面結構
- 132 加熱元件
- 134 界面
- 136 水/冷卻劑溝道
- 150 離子源
- 151 電力供應器
- 154 萃取電極
- 156 90° 磁鐵分析器
- 158 第一減速台
- 160 70° 磁鐵準直器
- 162 第二減速台
- 164 掃描器機構
- 166 法拉第杯
- 200 退火設備
- 202 電源
- 204 能量產生器

- 206 開關
- 208 光學組件
- 210A 劈痕線或刻劃線
- 212 退火區域
- 213 晶粒
- 215A 電阻式加熱元件
- 215B 流體溝道
- 215C 溫度控制器
- 215D 極冷冷卻器
- 215 熱交換裝置
- 216 基板支撐表面
- 217 電致動器
- 218 電容器
- 220 能量源
- 221 控制器
- 360 方法
- 362-374 操作
- 490 群集工具
- 491 機器人
- 492 移送室
- 493A、493B 裝載閘腔室
- 493 裝載閘
- 494-498 腔室

【生物材料寄存】

國內寄存資訊【請依寄存機構、日期、號碼順序註記】

無

國外寄存資訊【請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

無

【序列表】(請換頁單獨記載)

無

申請專利範圍

1. 一種處理基板之方法，包括下述步驟：

於一熱佈植製程期間將一摻雜劑佈植至一基板中，其中在該熱佈植製程期間，該基板維持於範圍在約攝氏 80 度至約攝氏 600 度內的溫度；以及

於一奈秒退火製程期間退火該基板，以活化該摻雜劑且修復該基板中的結晶缺陷，其中在該奈秒退火製程期間，該基板暴露至一或多個脈衝的雷射能量，該等脈衝的雷射能量每一個具有低於約 10 微秒的持續期間，且該基板維持固態。

2. 如請求項 1 所述之方法，其中該基板包括砷化鎵，且其中在該熱佈植製程期間，該基板維持於低於約攝氏 500 度的溫度。

3. 如請求項 1 所述之方法，其中該基板包括氮化鎵、磷化銻、或砷化銻鎵。

4. 如請求項 1 所述之方法，其中每一脈衝的持續時間各為介於約 1 奈秒至約 10 奈秒之間。

5. 如請求項 1 所述之方法，其中該基板被摻雜達約 1×10^{20} 原子/cm³ 或更高的濃度。

6. 如請求項 1 所述之方法，其中於該將一摻雜劑佈植的步驟期間，該基板維持在約攝氏 300 度至約攝氏 400 度之間的溫度。
7. 如請求項 1 所述之方法，其中每一脈衝的持續時間介於約 2 奈秒至約 200 奈秒之間。
8. 如請求項 1 所述之方法，進一步包括下述步驟：將一覆蓋層配置於該基板上。
9. 如請求項 1 所述之方法，其中該基板包括矽且該雷射能量具有約 800 奈米或更短的波長。
10. 如請求項 1 所述之方法，其中該基板包括氮化鎵且該雷射能量具有約 365 奈米或更短的波長。
11. 如請求項 1 所述之方法，其中該基板包括氮化銦鎵且該雷射能量具有約 460 奈米或更短的波長。
12. 如請求項 1 所述之方法，其中該基板包括氮化鎵且是以鎂摻雜到約 1×10^{19} 原子/cm³ 或更高的濃度。
13. 一種處理基板的方法，包括以下步驟：

於一熱佈植製程期間將一摻雜劑佈植至一基板中，其中在該熱佈植製程期間，該基板維持在低於約攝氏 500 度的溫度；以及

於一奈秒退火製程期間退火該基板，以活化該摻雜劑且修復該基板中的結晶缺陷，其中在該奈秒退火製程期間，該基板暴露至一或多個脈衝的雷射能量，該等脈衝的雷射能量每一個具有低於約 10 微秒的持續期間，且該基板維持固態。

14. 如請求項 13 所述之方法，其中該基板包括矽且該雷射能量具有約 800 奈米或更短的波長。

15. 如請求項 13 所述之方法，其中該基板包括氮化鎵且該雷射能量具有約 365 奈米或更短的波長。

16. 如請求項 13 所述之方法，其中該基板包括氮化銦鎵且該雷射能量具有約 460 奈米或更短的波長。

17. 如請求項 13 所述之方法，其中該基板被摻雜到約 1×10^{20} 原子/cm³ 或更高的濃度。

18. 如請求項 13 所述之方法，其中於該將一摻雜劑佈植的步驟期間，該基板維持在約攝氏 300 度至約攝氏 400 度之間的溫度。

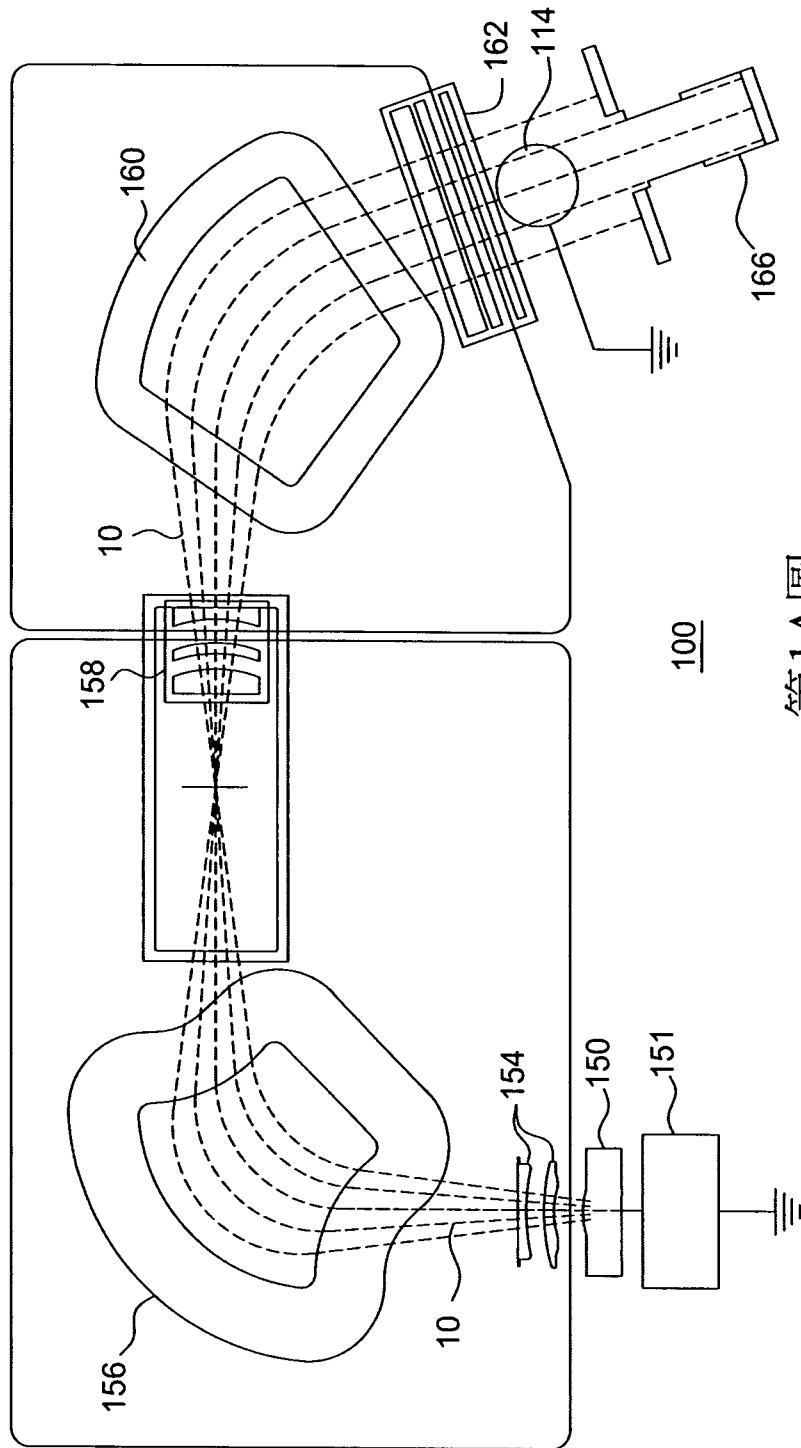
19. 如請求項 13 所述之方法，其中每一脈衝的持續時間介於約 1 奈秒至約 10 奈秒之間。

20. 一種處理基板的方法，包括以下步驟：

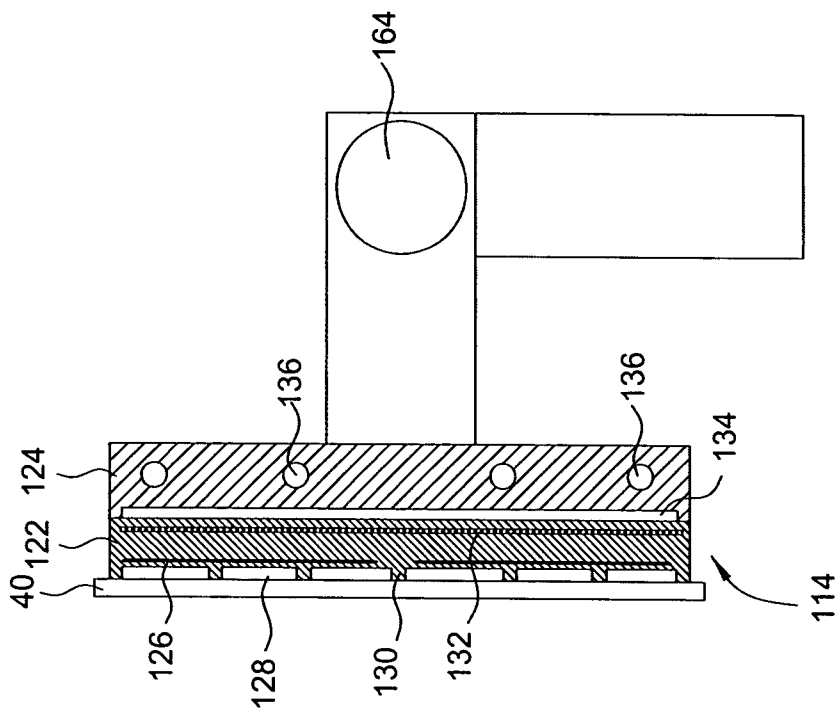
於一熱佈植製程期間將一摻雜劑佈植至一基板中，其中在該熱佈植製程期間，該基板維持於約攝氏 300 度至約攝氏 400 度之間的溫度；以及

於一奈秒退火製程期間退火該基板，以活化該摻雜劑且修復該基板中的結晶缺陷，其中在該奈秒退火製程期間，該基板暴露至一或多個脈衝的雷射能量，該等脈衝的雷射能量每一個具有約 1 奈秒至約 10 奈秒之間的持續期間，且該基板維持固態。

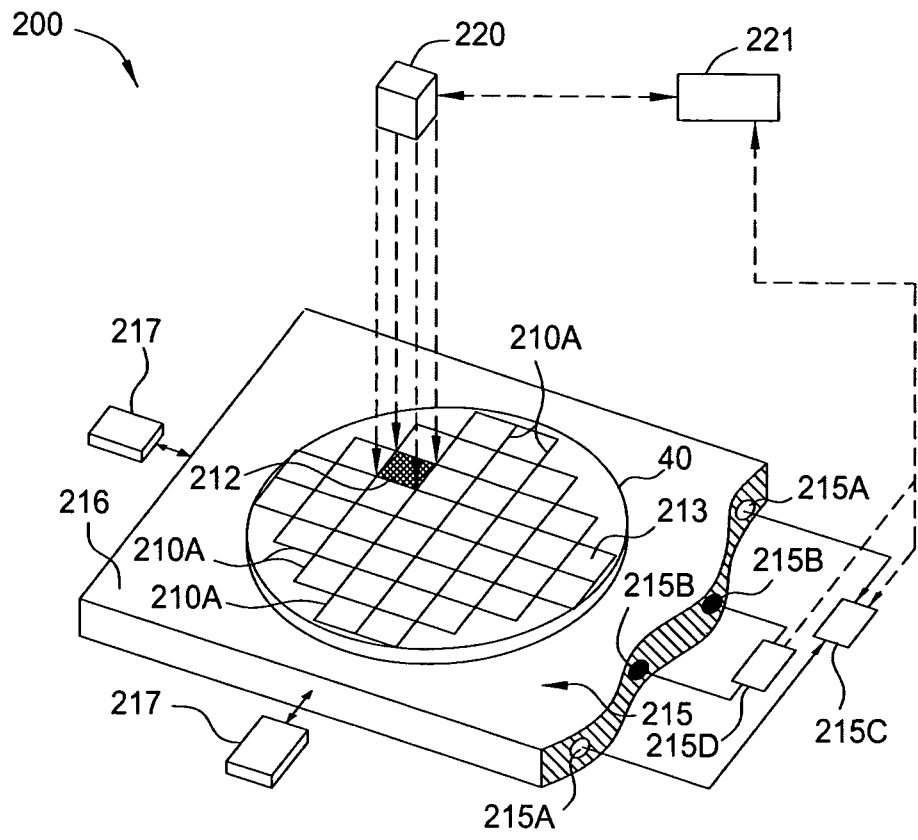
圖式



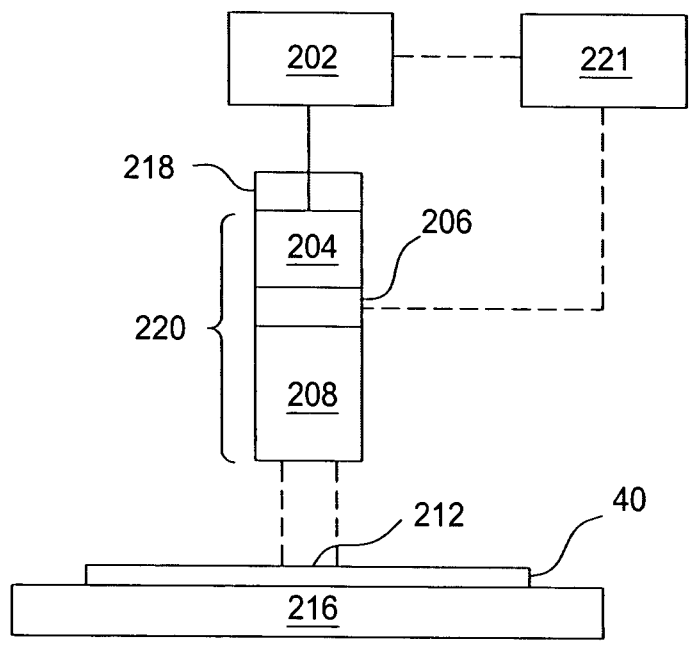
第1A圖



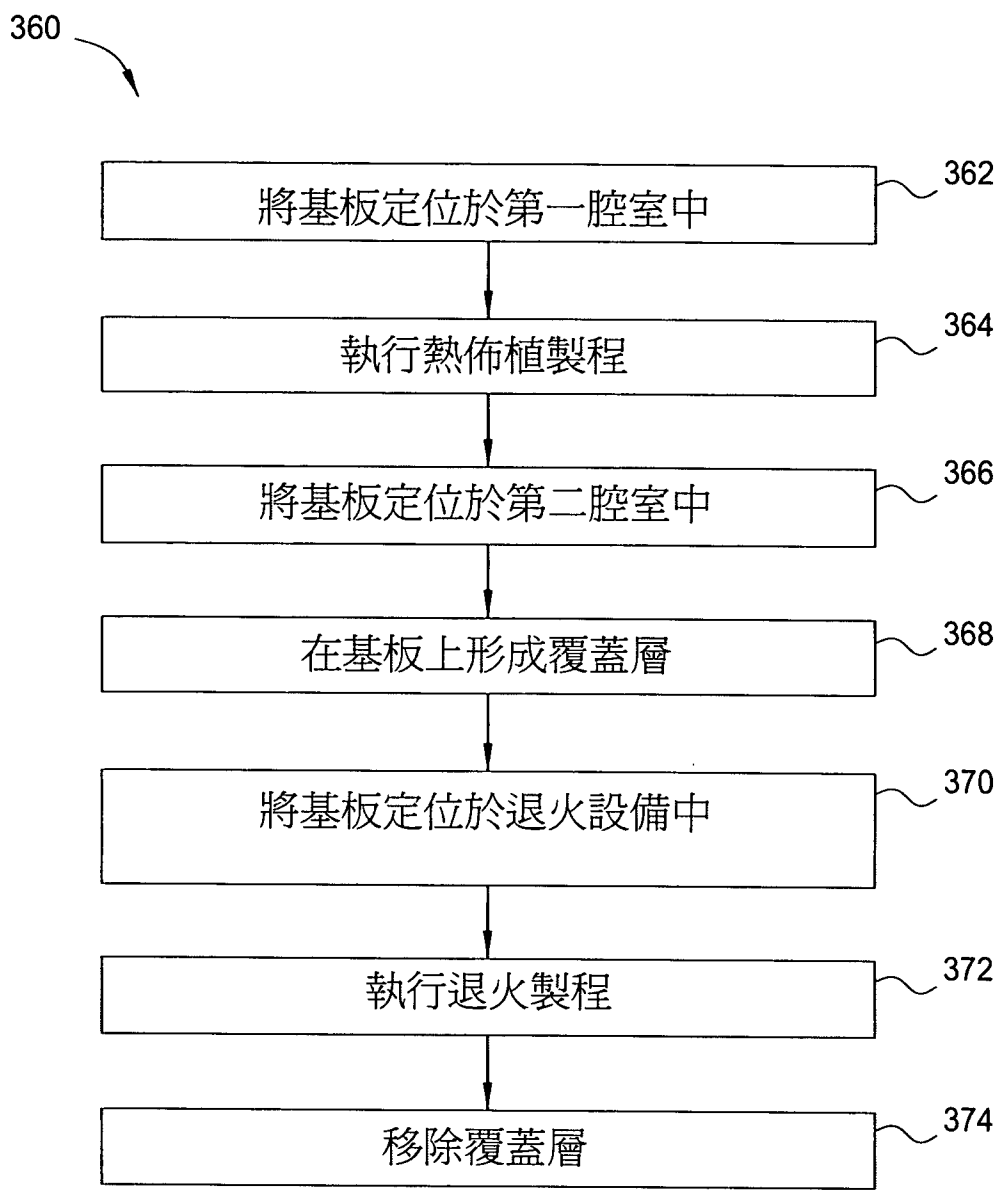
第1B圖



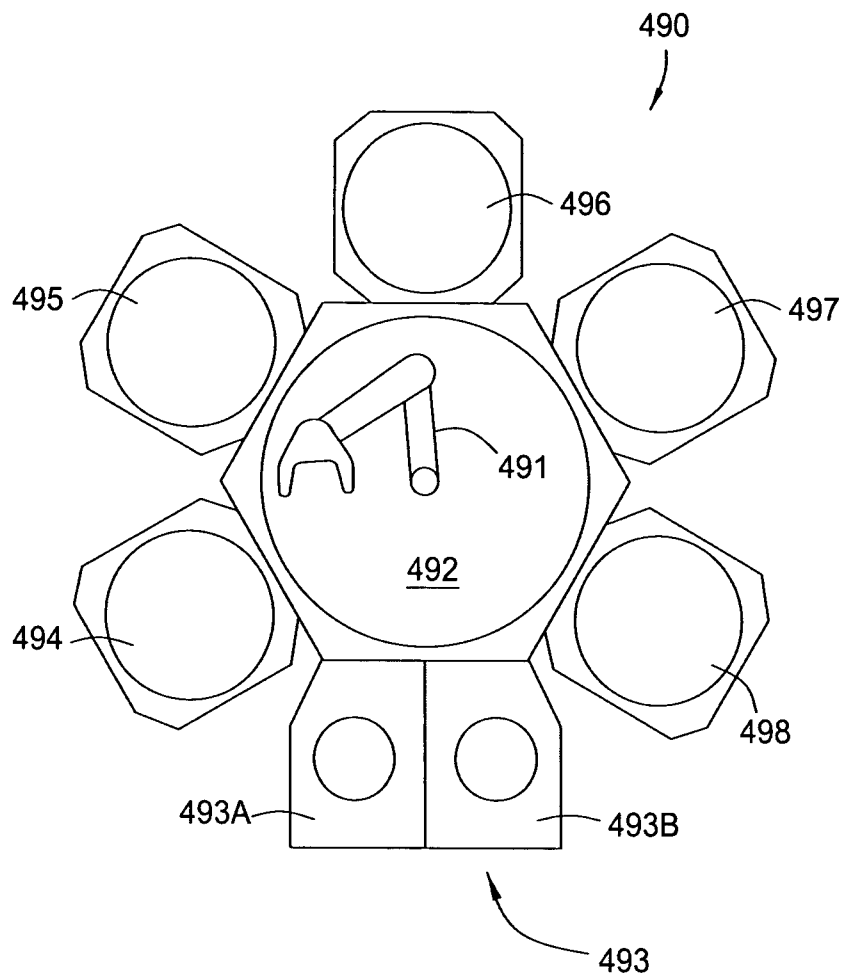
第2A圖



第2B圖



第3圖



第4圖