

發明專利說明書 200537564

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：94101865

※ 申請日期：94.1.21

※IPC 分類：H01L 21/00, H01S 5/02

一、發明名稱：(中文/英文)

金剛石基板上之碳化矽及其相關之裝置及方法

SILICON CARBIDE ON DIAMOND SUBSTRATES AND RELATED
DEVICES AND METHODS

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商克立公司

CREE, INC.

代表人：(中文/英文)

查爾斯 M 史華波達

SWOBODA, CHARLES M.

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國北卡羅萊納州德罕市斯里康路4600號

4600 SILICON DRIVE, DURHAM, NC 27703, U.S.A.

國 籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

三、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

亞當 威廉 塞勒

SAXLER, ADAM WILLIAM

國 籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 美國；2004年01月22日；10/707,898

2.

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1.

2.

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於半導體裝置，該等半導體裝置係由使得其適用於高功率、高溫度，及高頻率應用之材料形成。正如熟習半導體者所已知的，已發現如矽(Si)及砷化鎵(GaAs)之材料在低功率及低頻率應用的半導體裝置中具有廣泛應用。然而，由於此等半導體材料具有相對較小帶隙(例如，室溫條件下Si為1.12 eV且GaAs為1.42 eV)及相對較小崩潰電壓，故其不能深入更高功率高頻率應用至所要程度。

【先前技術】

因此，對高功率高溫度及高頻率應用及裝置的興趣轉向寬帶隙半導體材料，諸如碳化矽(室溫下 α -SiC為2.996 eV)及III族氮化物(例如，室溫下氮化鎵為3.36 eV)。與砷化鎵及矽相比，此等材料具有更高電場崩潰強度及更高電子飽和速度。

由於其較寬及直接帶隙特徵，III族氮化物半導體為許多應用之候選材料，該等應用包含陽光盲帶光偵測器(solar blind photodetector)、發藍光及雷射二極體，以及高溫及高功率電子設備。由於氮化鎵-氮化鋁鎵(GaN/AlGaN)異質結構在以高功率及高溫度運作之高遷移率電晶體中具有潛在應用，故其引起了特殊興趣。

除其它優點以外，氮化鎵電晶體可在理論上或實際上顯示相比於砷化鎵而言幾倍的功率密度。此較高功率密度允許較小晶片處理相同數量之功率，其接著提供了降低晶片

尺寸之機會並提供了每晶圓之增加數目的晶片，且因此降低了每晶片之成本。或者，類似尺寸之裝置可處理較高功率，從而在需要或必需尺寸減小優點之處提供此等優點。

作為較高頻率、較高功率裝置之例示性驅動力，蜂巢式電話設備迅速變為半導體之巨大市場，其甚至潛在地超過了個人電腦市場。此增加正驅動著對支撐性基礎設施(infrastructure)的相應需求以提供更大能力及效能。預期變化包含使用愈來愈高之頻率以獲得適當頻譜間隔，例如900 MHz 至包含2.1 GHz之較高頻率。此等較高頻率信號因此需要較高功率位準。

引起特殊興趣的高頻率高功率裝置為高電子遷移率電晶體(HEMT)，及如調變摻雜場效電晶體(MODFET)之相關裝置，或異質接面場效電晶體(HFET)。由於二維電子氣(2DEG)形成於具有不同帶隙能量之兩半導體材料的異質接面處，且較小帶隙材料具有較高電子親和力，故此等裝置於眾多情況下提供運作優點。2DEG係未摻雜、較小帶隙材料中之累積層並可含有每平方釐米(cm^{-2}) 10^{12} 至 10^{13} 載體之極高薄片電子濃度(sheet electron concentration)。此外，源自摻雜、較寬帶隙材料中之電子轉移至2DEG，從而允許了歸因於降低之電離雜質散射的高電子遷移率。在例示性III族氮化物HEMT中，兩個二維電子氣滯留於氮化鎵/氮化鋁鎵異質結構之介面處。

高載體濃度與高載體遷移率之此組合給予HEMT極大轉導及優於用於高頻率應用之金屬半導體場效電晶體

(MESFET)之強效能。製造於氮化鎵/氮化鋁鎵(GaN/AlGaN)材料系統中之高電子遷移率電晶體具有產生大量RF功率之潛力，此係由於其獨特的材料特徵組合，該組合包含前述高崩潰場、寬帶隙、大傳導帶偏移，及高飽和電子漂移速度。

此領域之最新進展的描述包含(但不限於)第6,586,781、6,548,333，及6,316,793號美國專利以及第20020167023及20030102482號公開申請案，該等案中每一者之內容皆以引用的方式完全併入本文中。相關公開案包含Pribble等人的Applications of SiC MESFETs and GaN HEMTs in Power Amplifier Design, International Microwave Symposium Digest, 30:1819-1822 (2002年)。

此類型之高功率半導體裝置在微波頻率範圍內運作，並用於RF通信網路及雷達應用中，且如上所提及的，提供了極大減小行動電話基地台傳輸器之複雜性從而減小其成本的潛力。高功率微波半導體裝置之其它潛在應用包含：在習知微波爐中替換相對昂貴之電子管及變壓器；增加衛星傳輸器之壽命；及改良基地台傳輸器個人通信系統之效率。

當此等裝置之輸出功率及運作頻率繼續得到改良時，產生自裝置且接著產生自多裝置晶片及電路的熱已經得到增加並將繼續增加。此外，此等裝置之設計及產生市場之目標包含繼續減小此等電子組件之尺寸及重量。因此，封裝密度已得到增加並將繼續增加。結果為，必須包含一些調節以帶走(carry off)運作裝置上之過多熱或緩和其上之熱

效應。

過多熱可引起若干問題。較高溫度下傳導率減小同時最大頻率及最大功率皆減小。較高溫度亦允許降低裝置效能之更多穿隧及洩漏，且加速了降級及裝置故障。更明確言之，改良之熱管理可於額定裝置壽命期間提供較高頻率運作及較高功率密度。

由於與晶體成長相關之一些原因，出於實用之目的，III族氮化物之龐大(例如，相當大之尺寸)單晶體為不可用的。因此，III族氮化物裝置通常形成於其它塊狀基板材料上，最通常為藍寶石(Al_2O_3)及碳化矽(SiC)。藍寶石相對便宜並為廣泛可用的，但其為不良熱導體且因此不適於高功率運作。此外，在一些裝置中，傳導基板較佳且藍寶石缺乏經傳導性摻雜之能力。

碳化矽具有比藍寶石更佳之熱導率，具有與III族氮化物更佳之晶格匹配(並因此促成更高品質之磊晶層)，且可被傳導性摻雜，但其亦昂貴得多。此外，雖然在設計及顯示碳化矽上之GaN/AlGaN HEMT(例如，以上引用之專利及公開申請案)方面取得了進展，但對所要額定效能參數之持續可靠性的缺乏繼續限制了商業發展。

因此，存在對基於高頻率高功率半導體之微波裝置進行繼續改良之需要。

【發明內容】

在一態樣中，本發明為一種以寬帶隙半導體材料形成高功率、高頻率裝置之方法，該高功率、高頻率裝置具有經

降低之接合溫度、運作期間之較高功率密度，或額定功率密度下之經改良可靠性，或此等優點之任意組合。在此態樣中，本發明包含：添加一金剛石層至碳化矽晶圓以增加所得之複合晶圓的熱導率；其後減小該複合晶圓之碳化矽部分的厚度，同時保持足夠碳化矽厚度以支撐其上之磊晶成長；製備該複合晶圓之碳化矽表面以用於其上之磊晶成長；及將一III族氮化物異質結構添加至所製備之晶圓碳化矽面。

在另一態樣中，本發明為一種高功率、寬帶隙裝置，其呈現了經降低之接合溫度及運作期間之較高功率密度以及額定功率密度下之經改良可靠性。在此態樣中，本發明包括：一金剛石基板，其用於提供一熱導率大於碳化矽的散熱片；一位於該金剛石基板上之單晶碳化矽層，其為寬帶隙材料結構提供更佳於金剛石晶格匹配的支撐晶格匹配；一位於該單晶碳化矽層上之III族氮化物異質結構，其用於提供裝置特徵。

在另一態樣中，本發明為一種寬帶隙高電子遷移率電晶體(HEMT)，其包括：一金剛石基板，其提供一熱導率大於等量碳化矽之熱導率的散熱片；一位於該金剛石基板上之半絕緣碳化矽單晶層，其為III族氮化物磊晶層(本文中術語磊晶層("epitaxial layer"及"epilayer")可交替使用)提供有利晶體成長表面；一位於該碳化矽基板上之第一III族氮化物之第一磊晶層；一位於該第一磊晶層上之不同III族氮化物之第二磊晶層，其與該第一磊晶層形成混雜接面，且其中

該第二磊晶層之III族氮化物具有一寬於第一磊晶層之第一III族氮化物之帶隙的帶隙以在第一磊晶層與第二磊晶層之介面處於第一磊晶層中產生二維電子氣(2DEG)；及該第二磊晶III族氮化物磊晶層之個別源極及汲極觸點，其用於該源極與該汲極之間提供一藉由施加至閘極之電壓加以控制的電子流。

在另一態樣中，本發明為半導體裝置之晶圓前軀體，其包含：直徑至少為2英吋之單晶碳化矽基板、一位於該碳化矽基板之第一面上之金剛石層、一為III族氮化物磊晶層或活性結構成長而製備之第二面。

在另一態樣中，本發明為一種半導體雷射，其包含一金剛石基板、一位於該金剛石基板上之單晶碳化矽層、位於該碳化矽層上之至少一第一覆蓋層、一III族氮化物活性部分，及位於該活性部分上之至少一第二覆蓋層。

基於結合隨附圖式進行之以下詳細描述將清晰地看出本發明之前述及其它目的及優點以及完成該等優點之方式。

【實施方式】

應瞭解，本文所述之本發明優點既非相互排斥的亦非相互累積的。因此，藉由降低接合溫度可於給定額定可靠性下達成較高功率密度，或可於先前可用之額定功率密度下增加可靠性，或可達成此等(及其它)優點之某一組合。

在第一實施例中，本發明為一種以寬帶隙材料形成高功率裝置之方法，該裝置具有降低之接合溫度、運作期間之較高功率密度，及額定功率密度下之經改良穩定性。圖1中

示意性地說明了該方法，其包含副圖(sub-figure)(A)至(E)。圖1說明了碳化矽晶圓10。在較佳實施例中及作為最適用於裝置結構的材料，碳化矽晶圓或基板10為單晶層，其提供用於III族氮化物磊晶層之極為合適之基板及為本發明之主要目的之一的所得裝置。本文中於廣泛意義上使用術語"晶圓"且並非將其侷限於普通形狀及尺寸。

圖1(C)說明本發明之方法的下一步驟，其為添加金剛石層11至碳化矽基板10。由於金剛石之熱導率(20瓦每釐米每開爾文溫度(W/cm-K))約為碳化矽之熱導率(4.9 W/cm-K)的4倍，故金剛石部分11增加了所得複合晶圓之熱導率。在較佳實施例中，藉由化學機械研磨步驟(CMP)為金剛石沈積製備碳化矽晶圓。此可有助於改良所成長之金剛石的表面形態，且最佳係於該SiC之C面上進行。

圖1(D)說明：下一步驟為減小複合晶圓之碳化矽部分的厚度，該複合晶圓現概括地以12表示。保持足夠的碳化矽厚度以支撐該碳化矽上之磊晶成長，同時保持所要之碳化矽晶格匹配特徵。較佳地，盡可能地減小厚度，意即使其最小化，同時保持其足以為氮化物磊晶層提供所要晶格匹配。如相關(普通)熟習此項技術者所認識的，碳化矽之晶格常數並非一定等於III族氮化物之晶格常數，而是比金剛石之晶格常數更接近III族氮化物之晶格常數。換言之，且如上所提及的，大尺寸III族氮化物單晶基板於實用角度而言當前為不可得的。因此，通常將某其他材料用做基板，且出於眾多原因，碳化矽為較佳的且自晶格常數匹配角度而

言確實更佳於金剛石。因此，彼等熟習碳化矽上之III族氮化物磊晶層之成長者將認識到：晶格常數不需要完全相同地匹配，而是需要有利地足夠接近以促成所要之高品質單晶成長。

圖1(B)說明用以減小碳化矽部分厚度之方法中的一個。在一較佳實施例中，碳化矽基板10於該碳化矽中預定深度處植入有氧氣以形成二氧化矽(SiO_2)層(以點線13表示)。在此技術中，其次如先前關於圖1(C)所描述的添加金剛石層11。在已沈積金剛石之後，藉由於二氧化矽層處分離碳化矽來減小碳化矽部分10之厚度。此導致圖1(D)中所說明的結構。此技術亦稱為"SIMOX"(藉由氧氣植入之分離)且可包含一加熱步驟以進一步促成自植入之氧氣產生 SiO_2 。

或者，減小碳化矽部分厚度之步驟可包括更習知之拋光及研磨步驟。然而，如熟習此項技術者所認識的，一(或多個)減小SiC之步驟需與裝置製造步驟之剩餘步驟相一致。因此，較佳地避免了將損害或阻撓金剛石層或所得裝置之目的的過度侵蝕性機械步驟。

其它元素或離子(例如， H^+)之離子植入(其後為於所植入材料處進行分離)之使用在此項技術中正變得更加利於瞭解並被稱為"智慧切割"製程，其最先為開發用以獲得絕緣體上矽材料(silicon-on-insulator material)。可獲得關於此技術之背景來源，其中最近論述係由Moriceau等人陳述於"New Layer Transfers Obtained by the Smart Cut Process," Journal Of Electronic Materials, 第32卷, 第8號, 第829至

835 頁 (2003 年) 及由 Celler 等人陳述於 "Frontiers of Silicon-on-Insulator, "Journal of Applied Physics, 第 93 卷, 第 9 號, 第 4955ff 頁 (2003 年) 中。應瞭解, 此等參考係包含用以例示性目的而非限制目的。

或者, 可使用熱應力技術進行分離, 其中以一定速率冷卻已經植入並跟隨金剛石成長之晶圓, 該速率足以於所植入部分處分離晶圓, 但小於將使晶圓碎裂之冷卻速率。亦可視須要或需要在金剛石成長步驟之間進行分離。

在較佳實施例中, 將金剛石層添加至碳化矽晶圓之碳面並保留該矽面以用於為磊晶成長而製備複合晶圓 12 之碳化矽表面, 隨後為添加 III 族氮化物異質結構以製備晶圓碳化矽面之步驟。因此, 將異質結構添加至複合晶圓之矽面。圖 1(E) 中說明了該步驟, 其中在圖 1(D) 與 1(E) 之間翻轉金剛石部分 11 與厚度經減小之碳化矽 10 的定向以致金剛石 11 變為其上具有碳化矽層 10 的基板。圖 1(E) 亦說明了一由兩個不同 III 族氮化物所形成之異質結構, 其頂部指示於 14 處且較低部分指示於 15 處。圖 1 亦說明: 在大多數實施例中, 將在碳化矽層 10 與異質結構層 14 及 15 之間包含一緩衝層 16。作為典型但並非排他性實例, 異質結構層係由氮化鋁鎵(頂層 14) 及氮化鎵(中間層 15) 形成, 其中選擇氮化鋁用於緩衝層 16。適當緩衝層、異質結構、成長方法及其它相關資訊係陳述於(例如) 先前所提及之專利以及第 5,393,993 號、第 5,210,051 號及第 5,523,589 號美國專利中, 通常與本發明一起指派該等專利案, 且其所有內容皆以引用的方式完全併

入本文中。

然而，作為額外之考量，應將各種CVD源氣體及用以產生緩衝(若有的話)之設備及異質結構層選擇成與金剛石相容。不同地言之，應將源氣體、設備及相關物件(item)選擇成避免與金剛石發生不當反應或對金剛石產生不當影響。

若須要，可對金剛石進行退火以增加其絕緣特徵。可於III族氮化物磊晶層成長之前在熔爐或金剛石沈積室裏，或可於磊晶層成長之前在磊晶層反應器裏，或於磊晶層成長期間進行退火。已於在退火期間將氨氣(NH_3)、氫氣(H_2)及氮氣(N_2)用作環境氣體時觀察到改良之結果。此改良原因仍未經確定，且因此發明人不希望被關於此點之任意特定理論所束縛。

在一些實施例中，可將金剛石層黏合至碳化矽，且在此項技術中通常較好地瞭解了此等技術。簡而言之，黏合通常包括置放所要材料使其相互接觸，同時施加壓力及熱。然而，在更佳實施例中，藉由化學氣相沈積將金剛石沈積至碳化矽上。近年來金剛石化學氣相沈積已變得更廣泛地市售，且可自諸如California之Santa Clara之P1 Diamond Inc.或Delaware之Wilmington之Delaware Diamond Knives ("DDK")購得例示性服務及設備。由於因金剛石之熱性質而將其包括在內，且由於碳化矽提供晶格匹配，故可以多晶形態沈積金剛石。雖然單晶金剛石將提供稍微更佳之熱管理益處，但如所有單晶一樣，其之產生通常比多晶材料更困難或更複雜。因此，進行多晶金剛石之使用稍顯便利。

如熟習此項技術者所瞭解的，通常藉由在沈積反應器中使用熱能或電能來給氫氣及烴類氣體之混合物供能(energize)來產生金剛石化學氣相沈積。能量、源材料及相關參數皆可以合適或所要方式得以調節，該方式例如 www.pldiamond.com 及 www.ddk.com。只要可能，同位素純金剛石(意即，所有¹²C)較之自然出現之同位素分佈(其含有約1%的¹³C)而言亦為較佳的。

此外，金剛石/SiC介面應具有最小熱抗性，且因此在使用如黏合之處應最小化或消除金剛石與SiC之間的任意空隙。

沈積金剛石至足以支撐所添加之異質結構的厚度，同時避免不能提供進一步功能益處之額外材料。不同言之，一旦包含足量金剛石以提供所要求或所要之熱特徵及用於特定晶圓或裝置之機械支撐，僅添加另外之金剛石便不提供額外優點或功能益處。在較佳實施例中，對於本發明尤其適用的III族氮化物裝置異質結構之類型而言，適當金剛石層具有約100至300微米(B5m)之厚度。

然而，由於通常以多步製程製造裝置，故本發明可進一步包括沈積彼此性質不同之兩(或更多)金剛石層(或一金剛石層及另一第二材料層)。添加一(或多個)額外層之目的在於為最終裝置提供具有熱導率特徵之一層，同時使隨後可被移除之額外層(即使為臨時的)存在以用於製造目的。因此，在此態樣中該方法包括於半絕緣碳化矽上沈積一半絕緣金剛石層以提供用於高頻率裝置之半絕緣基板。其後將

第二金剛石(或其它材料)層沈積於半絕緣層上以提供晶圓製程期間之額外機械穩定性。由於在此態樣中該方法包含進一步處理具有第二金剛石(或其它材料)層之晶圓(例如，任意適當或通用步驟)，且其後在裝置完成時將該第二層之部分(或全部)移除，故因機械穩定性而添加之額外部分並非一定為半絕緣的。舉例而言，可在處理導致異質接面裝置之眾多磊晶成長步驟期間添加該第二層以提供機械穩定性，但隨後可於經由穿過晶圓或裝置之孔打開之前將其移除。

所沈積之第二層亦可包括一選擇用於補充目的之另一材料。舉例而言，可選擇更便宜之材料，其限制條件為該材料不另外干擾其它方法步驟或所得之裝置的運作。或者，可選擇稍微較易移除之材料，例如二氧化矽、氮化矽、多晶氮化鋁，或碳化矽。

在金剛石層處於適當位置的情況下，該方法接著包括製備複合晶圓之相反碳化矽表面以用於其上之磊晶成長，且隨後將III族氮化物磊晶層且通常為包含異質接面之若干層添加至所製備之面(當金剛石已沈積於C面上時，其將為Si面)。較佳地，藉由另一CMP步驟來製備SiC表面。

圖2及3說明了有利地併入本發明之裝置。只要可能之處，圖2及3中之相應元件攜帶與圖1中參考號相同的參考號。因此，圖2說明了概括地表示於20處之高功率、高頻率寬帶隙裝置，其呈現經減小之接合溫度及運作期間之較高功率密度，及額定功率密度下之經改良可靠性。在此態樣

中，本發明包括用於提供一具有比碳化矽之熱導率更大之熱導率之散熱片的金剛石基板11，且該散熱片將比等量SiC帶走更多熱。單晶碳化矽層10係位於金剛石基板11上以為寬帶隙材料結構提供更佳於金剛石晶體匹配之晶格匹配。藉由方括弧21指示的III族氮化物異質結構係位於單晶碳化矽層上以提供裝置特徵。圖2亦說明了較佳併入本發明結構中的氮化鋁緩衝層16。因此應瞭解，當稱層"位於"彼此之"上"時，該術語既可包括直接接觸之層，亦可包括位於彼此之上方其中彼此之間具有中間層的層。

以類似於圖1(E)之方式，異質結構21之最基本形式係由諸如氮化鋁鎵層14及氮化鎵層15之兩不同III族氮化物層而形成。然而，相關熟習此項技術者應瞭解，圖2及3本質上為示意性的，且可視須要或需要併入更複雜之結構，包含雙異質接面、障壁HEMT、多量子阱(MQW)，及超晶格結構。同樣應瞭解，當使用單一術語"層"來描述III族氮化物裝置之部分時，其可包含通常出於製造與運作目的而包含於此等裝置中的多個層。

此外，熟悉III族氮化物者將認識到，可將諸如AlGaIn之三元化合物更加描述性地表達為 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_y\text{N}$ ，其中 $0 < x < 1$ ，且其中可調整鋁及鎵之個別莫耳分數(如藉由x及1-x表示的)以提供所要或必要之性質。可以相同方式表達第三族III氮化物，例如 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ，其中 $0 < x+y < 1$ 。由任意此等材料形成之層、接面及裝置可利用本發明所提供之益處。當目標為表達更大範圍之可能性，亦可將此等公式寫成"大於

或等於"形式($0 \leq x \leq 1$)，例如， $\text{Al}_x\text{Ga}_{x-1}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)可視 x 之值而表示 AlN 或 GaN 或 AlGaIn 。

在較佳實施例中，金剛石基板11可為多晶的，其係因為此通常提供較不複雜及較少需求之製造且因此有助於增加製造效率並降低製造成本。

由於眾多高頻率裝置需要半絕緣基板，故在此實施例中碳化矽層10為半絕緣的，且若需要視總特徵而定金剛石基板11亦可為半絕緣的。半絕緣碳化矽之本質及用途係以例示性(但非限制性的)方式陳述於通常所指定之第6,218,680、6,403,982、6,396,080、6,639,247及6,507,046號美國專利中，該等案中每一者之內容皆以引用的方式完全併入本文中。

碳化矽通常具有一選自3C、4H、6H及15R碳化矽多型中的多型，此係因為此等多型為最廣泛可用的且最適用於電子裝置。合適基板可自Durham, NC的Cree, Inc. (www.cree.com)購得。

藉由添加歐姆觸點24及26以及肖特基觸點(Schottky contact)25至異質結構21(圖2)，可產生一場效電晶體。詳言之，藉由控制形成異質結構21之磊晶層的組合物及摻雜，可產生高頻率高電子遷移率電晶體(HEMT)。

由於裝置20之金剛石基板11提供高熱導率，故可將該裝置有利地封裝於(意即，在其中或鄰近)高熱導率材料中。如本文所使用的，術語"封裝"在其通常意義中係用於指容器或結構，出於將一個別半導體裝置併入更大電路或最終用

途之裝置的目的而將該個別半導體裝置包含於該容器或結構中。確實，由於裝置之熱膨脹係藉由金剛石之熱膨脹係數加以控制，故封裝可如所需要或所必要的進一步包含金剛石或由金剛石形成以最小化或消除來自與其自身熱膨脹不相匹配之材料的應力，及充分利用裝置之熱導率。

在此方面，HEMT及相關裝置之通道傾向於在運作期間產生最多熱，尤其於閘極區域中。因此本發明尤其有助於自通道散熱與亦充當散熱片。

圖3稍微更詳細地說明了高電子遷移率電晶體，並將其概括地表示於30處。電晶體30係由金剛石基板11形成以提供如上所述之散熱片(或散熱器)。碳化矽半絕緣層10係位於金剛石基板11上以提供III族氮化物磊晶層之有利晶體成長表面。通常或較佳地由另一諸如氮化鋁之III族氮化物形成之緩衝層16係位於碳化矽層10上，並提供自碳化矽向異質結構之晶體轉變。異質結構係由緩衝層16上之第一磊晶層15及一(多個)位於該第一磊晶層15上以於磊晶層15與31之間形成異質接面的藉由方括弧31指示之第二磊晶層形成。在此實施例中，第二磊晶層31之III族氮化物具有一寬於第一磊晶層15之III族氮化物之帶隙的帶隙以在第一磊晶層15與第二磊晶層31之介面處於第一磊晶層中產生二維電子氣(2DEG)。個別源極34、閘極35及汲極36觸點於源極34與汲極36之間提供一藉由施加至閘極觸點35之電壓加以控制的電子流。

在某些實施例中，第一磊晶層15包括氮化鎵且第二磊晶

層31包括氮化鋁鎵。更佳地，氮化鎵層15未經摻雜，且氮化鋁鎵層31係藉由矽(Si)進行n型摻雜。如圖3中進一步說明的，第二磊晶層31包含兩層，較佳包含三層氮化鋁鎵，其分別說明於40、41及42處。因此，在更佳之實施例中，第二磊晶層31包括一氮化鋁鎵摻雜層41及一氮化鋁鎵未經摻雜層40，其中未經摻雜層40與氮化鎵未經摻雜層15相鄰。在另一進一步實施例中，另一氮化鋁鎵AlGaIn未經摻雜層42係提供於摻雜氮化鋁鎵AlGaIn層41之頂部。此結構係陳述及描述於第6,583,454號美國專利中，通常與本發明一起指派該專利案，且其以引用的方式完全併入本文中。在氮化鎵層與摻雜氮化鋁鎵層之間使用未經摻雜氮化鋁鎵層係稱為調變摻雜異質結構，且其藉由自未經摻雜氮化鎵層物理地分離氮化鋁鎵層中之摻雜劑來增加二維電子氣中之電子遷移率。

如第6,583,454號美國專利中所陳述的，亦已發現，當藉由層15及31形成之異質結構上包括一鈍化層43時，電晶體30運作更有效。如該"454專利"中進一步陳述的，鈍化材料可為二氧化矽(SiO_2)或氮化矽(Si_3N_4)，其限制條件為該鈍化材料具有相關鈍化特性。

如先前併入之公開申請案第20020167023號所陳述的，電晶體亦可併入一障壁層以減小所得裝置中之閘極洩漏；或出於所要目的而併入其它層(例如改良接觸p型材料之效能的層)，同時皆利用本發明。

關於圖2所示之實施例，可將圖3之電晶體30封裝於高熱

導率材料中，該高熱導率材料潛在地包含一金剛石或含有金剛石之封裝。

儘管在本文中就高電子遷移率電晶體而言進行了特定論述，但本發明在其它裝置中提供了優點，其中經改良熱管理為該等裝置提供優點。此等其它裝置可包含雷射，圖5中於45處示意性說明了該等雷射中的一個。半導體雷射之通用理論及運作為適當("普通")熟習此項技術者所較佳地瞭解，且本文中除了指出雷射通常由活性層46(與覆蓋層47及50毗連)形成之外，無需對其進行詳細論述。較佳地選擇覆蓋層材料之本質(尤其為其帶隙及折射率)使得活性層於覆蓋層之間形成勢阱(potential well)。此外，較佳選擇覆蓋層47及50之折射率使得其促使光保持限制於活性層中以用於共振之目的。如在先前實施例中，於11處說明金剛石基板，且於10處說明碳化矽層，其中視需要包含適當緩衝層16。通常，但無需為排他性的，雷射與發光二極體(LED)更可能包含諸如多量子阱及超晶格結構之更複雜結構。

圖4為根據本發明之晶圓前軀體之示意圖。晶圓前軀體係概括地表示於52處且包含於本文中，此係由於大單晶基板晶圓(亦即2英吋、3英吋或100毫米直徑(或均等公制尺寸)之彼等單晶基板晶圓)在碳化矽中之可用性同樣提供先前不可用之機率以使用本發明之方法獲得此尺寸之金剛石層從而用於散熱片之目的。在此態樣中，本發明為至少具有2英吋直徑之單晶碳化矽53基板。金剛石層54係位於碳化矽基板53之一面上，且藉由方括弧55加以表示的III族氮化物

活性結構係位於晶圓53之相反面上。基板碳化矽晶圓53之直徑較佳為約2英吋(5釐米(cm))，更佳地為至少3英吋(7.5 cm)，且最佳地為至少4英吋(10 cm)。如關於本發明之其它實施例所陳述的，III族氮化物活性結構55包含至少一異質結構，且晶圓前軀體52亦可在碳化矽基板與異質結構55之間及基板與異質結構55之間包含一適當緩衝層。出於簡明之目的，未在圖4中獨立說明緩衝層。如在先前實施例中，碳化矽可具有一選自由3C、4H、6H及15R之碳化矽多型組成之群的多型。

在最佳之實施例中，晶圓於碳化矽基板上包含複數個個別活性結構。

本文已關於將金剛石用作散熱片材料及將碳化矽用作基板材料主要描述了本發明。然而，可在一更廣泛態樣中瞭解本發明，在該態樣中將較高熱導率材料層與具有與III族氮化物之更佳晶格匹配的較低熱導率材料層相結合使用以產生所得之複合晶圓。在此態樣中，較高熱導率材料可包括金屬及半導體，諸如氮化硼(BN)，尤其立體氮化硼("cBN")，同時更佳晶體基板材料可選自由以下材料組成之群：矽、氮化鎵、氮化鋁、氮化鋁鎵、氧化鎂(MgO)、鋁酸鎂(MgAl₂O₄)、鎵酸鋰(LiGaO₂)、鋁酸鋰(LiAlO₂)、氧化鋅(ZnO)、鋁酸鎳(NiAl₂O₄)，及藍寶石，其中AlGaN更佳。如在先前所述之實施例中，較高熱導率材料作為基板晶圓部分之存在有利地增加了所得複合晶圓之熱導率。

吾人期望立體氮化硼("cBN")在用以被製成半絕緣的，及

為本發明之目的以類似於金剛石之方式用於處理方面具有優點。氮化硼亦具有高於碳化矽之熱導率的熱導率(13 W/cm-K)。

對於諸如雷射及LED之裝置而言，金屬散熱片可有利於反射及光提取之目的。合適候選金屬可包含Ni、Cr、Mn、W、Pt，及此等金屬之相關合金。如以上關於金剛石散熱片所提及的，對此等金屬或合金之任意一或多者之使用應與所得裝置之總製造、結構及運作相一致。

如在先前實施例中，在此複合晶圓中形成裝置之方法包括減小複合晶圓之較低熱導率部分的厚度，同時保持該較低熱導率部分之足夠厚度以支撐其上之所要磊晶成長。較低熱導率表面亦係製備用於磊晶成長，其後將一適當III族氮化物磊晶層(且通常為異質結構)添加至晶圓之較低熱導率部分的所製備之面。

在圖式及說明書中已陳述了本發明之較佳實施例，且儘管採用了特定術語，但僅在一般及描述之意義上採用該等術語，且並非將其用於限制之目的，在申請專利範圍中界定了本發明之範疇。

【圖式簡單說明】

圖1為說明本發明之方法之步驟序列的示意性橫截面圖。

圖2為根據本發明之方法之裝置結構的橫截面示意性圖。

圖3為根據本發明之方法之另一裝置的另一橫截面圖。

圖4為根據本發明之方法之晶圓前驅體的橫截面圖。

圖5為根據本發明之方法之雷射結構主要部分的示意性

橫截面圖。

【主要元件符號說明】

- 10 碳化矽基板/碳化矽晶圓
- 11 金剛石基板
- 12 複合晶圓
- 13 二氧化矽層
- 14 氮化鋁鎵層
- 15 氮化鎵層
- 16 緩衝層
- 20 高功率、高頻率寬帶隙裝置
- 21 異質結構
- 24 歐姆觸點
- 25 肖特基觸點
- 26 歐姆觸點
- 30 電晶體
- 31 第二磊晶層
- 34 源極
- 35 閘極
- 36 汲極
- 40 氮化鋁鎵未經摻雜層
- 41 氮化鋁鎵摻雜層
- 42 氮化鋁鎵 AlGa_N 未經摻雜層
- 43 鈍化層
- 46 活性層

45	雷射結構
47	覆蓋層
50	覆蓋層
52	晶圓前軀體
53	基板碳化矽晶圓
54	金剛石層
55	III族氮化物活性結構/異質結構

五、中文發明摘要：

本發明揭示一種以寬帶隙半導體材料形成一高功率、高頻率裝置之方法，及以此方法所得之半導體結構及裝置，其中該高功率、高頻率裝置具有較低之接合溫度、運作期間之較高功率密度及在額定功率密度下經改良之可靠性。該方法包含：添加一金剛石層至一碳化矽晶圓上以增加所得複合晶圓之熱導率；其後減小該複合晶圓之該碳化矽部分的厚度，同時保持足夠碳化矽厚度以支撐其上之磊晶成長；製備該複合晶圓之碳化矽表面以利其上之磊晶成長；及添加一III族氮化物異質結構至該晶圓之所製備之碳化矽面。

六、英文發明摘要：

94/01865

-291

SILICON CARBIDE ON DIAMOND SUBSTRATES AND RELATED DEVICES AND METHODS

Abstract

A method of forming a high-power, high-frequency device in wide bandgap semiconductor materials with reduced junction temperature, higher power density during operation and improved reliability at a rated power density is disclosed, along with resulting semiconductor structures and devices. The method includes adding a layer of diamond to a silicon carbide wafer to increase the thermal conductivity of the resulting composite wafer, thereafter reducing the thickness of the silicon carbide portion of the composite wafer while retaining sufficient thickness of silicon carbide to support epitaxial growth thereon, preparing the silicon carbide surface of the composite wafer for epitaxial growth thereon, and adding a Group III nitride heterostructure to the prepared silicon carbide face of the wafer.

S:\FIRM DOCS\5000\387-1\PO387WO_Spec.doc

原文說明書電子檔名：	
P:\Foreign Spec\	-filing
存檔人：	

P:\pub.p\mail-in\PO387TW_Spec.pdf

十、申請專利範圍：

1. 一種以寬帶隙材料形成一具有較低之接合溫度、運作期間之較高功率密度及在額定功率密度下經改良之可靠性的高功率裝置之方法，該方法包括：

將一較高熱導率材料之一層添加至一較低熱導率材料之晶圓，其中與該較高熱導率材料相比，該較低熱導率材料具有一與III族氮化物更佳之晶格匹配以藉此增加所得複合晶圓之熱導率；

其後減小該複合晶圓之該較低熱導率部分之厚度，同時保持該較低熱導率部分之足夠厚度以支撐其上之磊晶成長；

製備該複合晶圓之該較低熱導率表面以利其上之磊晶成長；及

將至少一III族氮化物磊晶層添加至該晶圓之該已製備之較低熱導率面。

2. 如請求項1之方法，其包括添加來自由金屬、氮化硼及金剛石組成之群的該較高熱導率材料。
3. 如請求項1之方法，其中該較低熱導率材料係選自由以下材料組成之群：矽、氮化鎵、氮化鋁、氮化鋁鎵、氧化鋅、鋁酸鋰、鎵酸鋰、氧化鎂、鋁酸鎂、鋁酸鎳及藍寶石。
4. 如請求項1之方法，其中添加該至少一III族氮化物磊晶層之該步驟包括添加至少一III族氮化物異質結構。
5. 如請求項2之方法，其包括添加一厚度在約100微米與300

微米之間的金剛石層。

6. 如請求項1之方法，其中減小該較低熱導率部分之該厚度的該步驟包括研磨及拋光該較低熱導率部分。

7. 如請求項1之方法，其中減小該較低熱導率部分之該厚度的該步驟包括：

在該較低熱導率部分中之一預定深度處植入該較低熱導率部分以在沈積該金剛石之該步驟之前在該較低熱導率部分內形成一植入層；

其後沈積該金剛石；及

其後藉由於該植入層處分離該較低熱導率部分來減小該較低熱導率部分之該厚度。

8. 如請求項7之方法，其包括將氧或氫植入該較低熱導率部分以形成一植入層，且其後於該植入層處分離該較低熱導率部分。

9. 如請求項1之方法，其包括藉由化學氣相沈積將該金剛石沈積於該較低熱導率部分上。

10. 如請求項1之方法，其中添加一較高熱導率材料之該步驟包括添加一選自由鎳、鎢、鉬及其合金組成之群的金屬。

11. 如請求項1之方法，其包括：

將一金剛石層添加至一碳化矽晶圓以增加該所得複合晶圓之該熱導率；

其後減小該複合晶圓之該碳化矽部分之該厚度，同時保持足夠碳化矽厚度以支撐其上之磊晶成長；

製備該複合晶圓之該碳化矽表面以用於其上之磊晶成

長；及

將一 III 族氮化物磊晶層添加至該晶圓之該已製備之碳化矽面。

12. 如請求項 11 之方法，其包括使該金剛石層成長於該碳化矽晶圓之該 C 面上，及將該異質結構添加至該晶圓之該 Si 面。

13. 如請求項 4 之方法，其中製備該 SiC 表面之該步驟包括研磨該 SiC 表面。

14. 如請求項 11 之方法，其中減小該 SiC 部分之該厚度的該步驟包括研磨及拋光該 SiC 部分。

15. 如請求項 11 之方法，其包括：

於一半絕緣碳化矽層上沈積一半絕緣金剛石層以提供一用於各種高頻率裝置之半絕緣基板；

其後於該半絕緣層上沈積一第二金剛石層以於晶圓處理期間提供額外機械穩定性。

16. 如請求項 11 之方法，其包括將一非金剛石之一第二材料層添加至與該碳化矽相對之該金剛石層。

17. 一種以寬帶隙材料形成之具有較低之接合溫度、運作期間之較高功率密度及在額定功率密度下經改良之可靠性的高功率裝置，該裝置包括：

一位於一較低熱導率材料晶圓之一面上的一較高熱導率材料之層，其中與該較高熱導率材料相比，該較低熱導率材料具有一與 III 族氮化物更佳之晶格匹配，以藉此增加所得複合晶圓之熱導率；及

至少一III族氮化物磊晶層，其位於該晶圓之與該具有該較高熱導率材料之面相對之面上。

18. 如請求項17之裝置，其中該較高熱導率材料係選自由金屬、氮化硼及金剛石組成之群。

19. 如請求項17之裝置，其中該較低熱導率材料係選自由由以下材料組成之群：矽、氮化鎵、氮化鋁、氮化鋁鎵、氧化鋅、鋁酸鋰、鎵酸鋰、氧化鎂、鋁酸鎂及鋁酸鎳及藍寶石。

20. 如請求項17之裝置，其包括至少一III族氮化物異質結構。

21. 一種寬帶隙高電子遷移率電晶體(HEMT)，其包括：

一金剛石基板，其用於提供一具有一大於碳化矽之熱導率的熱導率之散熱片；

一位於該金剛石基板上之半絕緣單晶碳化矽層，其為III族氮化物磊晶層提供一有利晶體成長表面；

一位於該碳化矽層上之緩衝層，其用於在碳化矽與一III族氮化物之間提供一增強之晶體轉變；

一第一III族氮化物之一第一磊晶層，其位於該緩衝層上；

一不同之III族氮化物之一第二磊晶層，其位於該第一磊晶層上以與該第一磊晶層形成一異質接面，且其中該第二磊晶層之該III族氮化物具有一寬於該第一磊晶層之該第一III族氮化物之帶隙的帶隙，以在該第一磊晶層與該第二磊晶層之介面處於該第一磊晶層中產生一二維電子氣；及

對該第二磊晶III族氮化物層之個別源極、閘極，及汲極觸點，其用以在該源極與該汲極之間提供一藉由施加至該閘極之電壓加以控制的電子流。

22. 如請求項21之HEMT，其中該第一磊晶層包括氮化鎵，且該第二磊晶層包括一摻雜氮化鋁鎵層及一未經摻雜氮化鋁鎵層，其中該未經摻雜氮化鋁鎵層與該未經摻雜氮化鎵層相鄰。

23. 如請求項21之HEMT，其中該第一磊晶層包括氮化鎵，且該第二磊晶層包括一氮化鋁鎵層及一未經摻雜氮化鋁層，其中該未經摻雜氮化鋁層與該未經摻雜氮化鎵層相鄰。

24. 如請求項21之HEMT，且其進一步包括一用於該金剛石基板之機械基板以為該HEMT提供額外機械支撐。

25. 如請求項21之HEMT，其中該金剛石基板係由彼此性質不同之至少兩個離散金剛石層形成。

26. 如請求項27之寬帶隙高電子遷移率電晶體(HEMT)，其中該緩衝層為一位於該碳化矽基板上之III族氮化物緩衝層；

該第一磊晶層為一位於該緩衝層上之氮化鎵磊晶層；
且

該第二磊晶層為一氮化鋁鎵磊晶層，其位於該氮化鎵磊晶層上以與該氮化鎵磊晶層形成一異質接面，其中該氮化鋁鎵具有一寬於該氮化鎵磊晶層之帶隙的帶隙，以在該氮化鎵磊晶層與該氮化鋁鎵磊晶層之介面處於該氮

化鎵磊晶層中產生一二維電子氣。

27. 如請求項26之HEMT，其中該氮化鎵層係未經摻雜，且該氮化鋁鎵層係經n摻雜。
28. 如請求項26之HEMT，其中該緩衝層包括氮化鋁。
29. 如請求項26之HEMT，其中該氮化鋁鎵層係由一摻雜層及一未經摻雜層形成，且該未經摻雜氮化鋁鎵層與該未經摻雜氮化鎵層相鄰，且該等歐姆觸點係加至該摻雜層。
30. 如請求項26之HEMT，其中該氮化鋁鎵層係由一摻雜層位於兩個未經摻雜層之間而形成，其中該等未經摻雜層中的一未經摻雜層與該未經摻雜氮化鎵層相鄰，且該等未經摻雜層中的另一未經摻雜層與該等個別歐姆觸點相接觸。
31. 如請求項26之HEMT，且其進一步包括一位於該異質接面之上的鈍化層。
32. 如請求項21或請求項26之HEMT，其係封裝於一高熱導率材料中。
33. 一種用於半導體裝置之晶圓前驅體，其包括：
 - 一單晶碳化矽基板，其直徑為至少2英吋；及
 - 一金剛石層，其係位於該碳化矽基板之一第一面上；
 - 其中該碳化矽基板之相對面係製備用於其上之III族氮化物磊晶成長。
34. 如請求項33之晶圓前驅體，其中該碳化矽基板之直徑為至少3英吋。
35. 如請求項33之晶圓前驅體，其中該碳化矽基板之直徑為

至少100毫米。

36. 如請求項33之晶圓前驅體，其中該III族氮化物活性結構包含至少一異質結構。
37. 如請求項50之晶圓前驅體，其包括一位於該碳化矽基板上及位於該基板與異質結構之間之緩衝層。
38. 一種半導體雷射，其包括：
 - 一金剛石基板；
 - 一單晶碳化矽層，其位於該金剛石基板上；
 - 至少一第一覆蓋層，其位於該碳化矽層上；
 - 一III族氮化物活性部分，其位於該至少一覆蓋層上；及
 - 至少一第二覆蓋層，其位於該活性部分上。
39. 如請求項38之半導體雷射，其進一步包括一緩衝層，該緩衝層係位於該碳化矽層與該第一覆蓋層之間。
40. 如請求項38之半導體雷射，其包括一多晶金剛石基板。

十一、圖式：

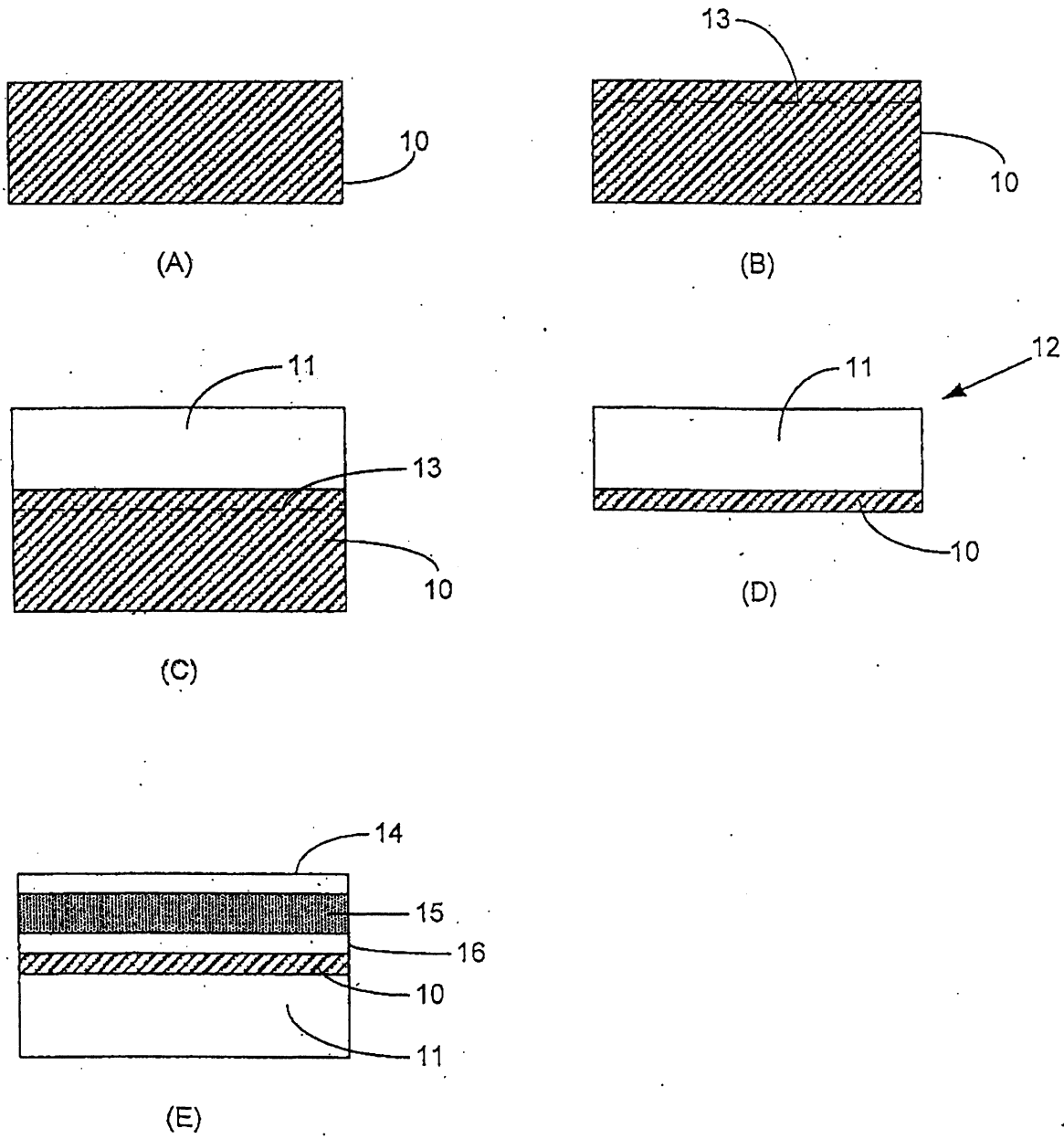


圖 1

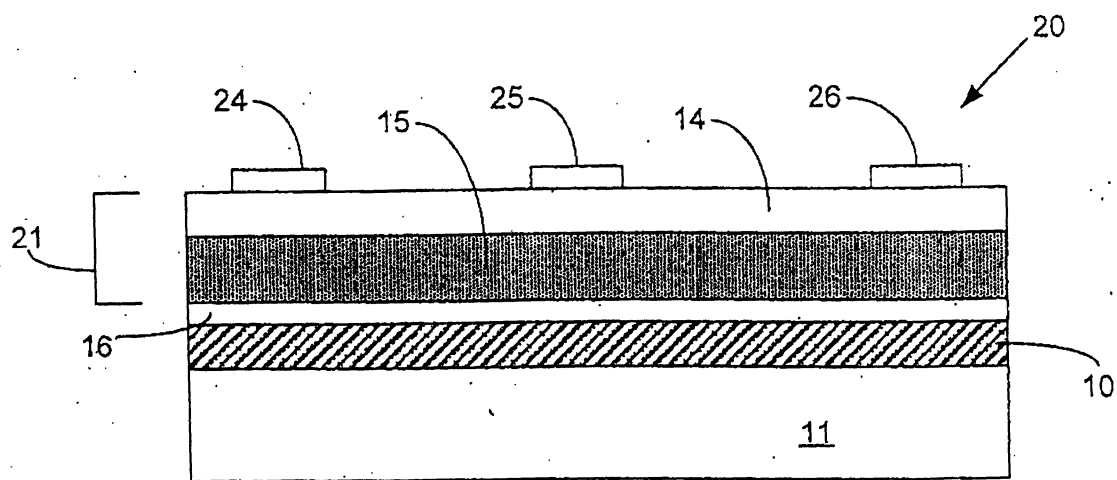


圖 2

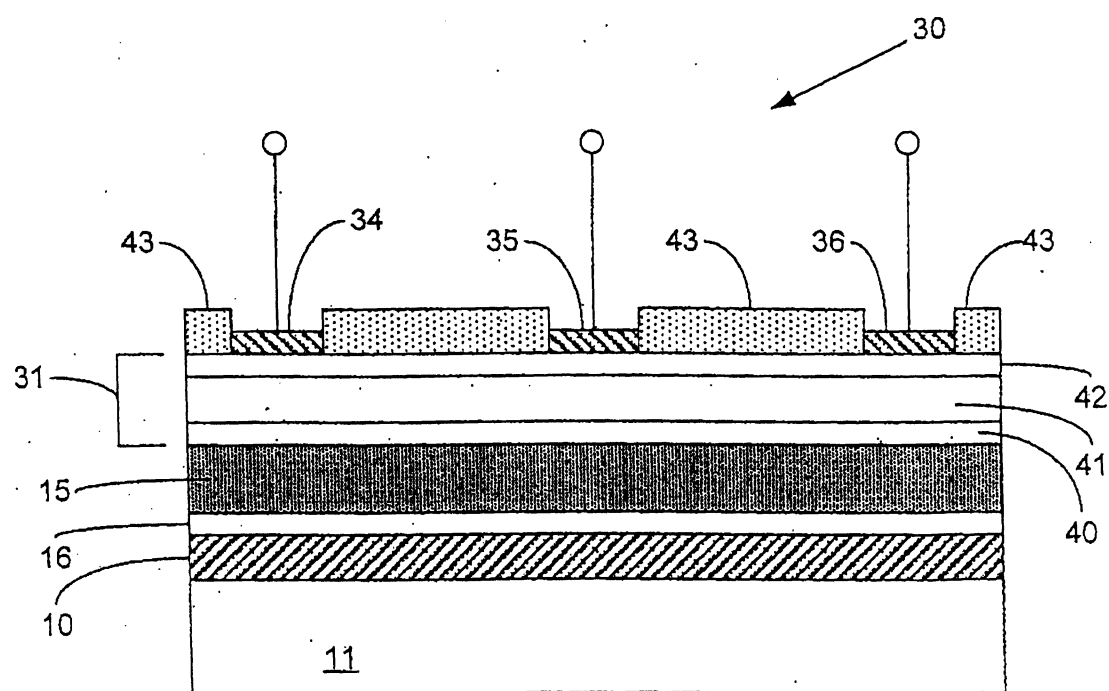


圖 3

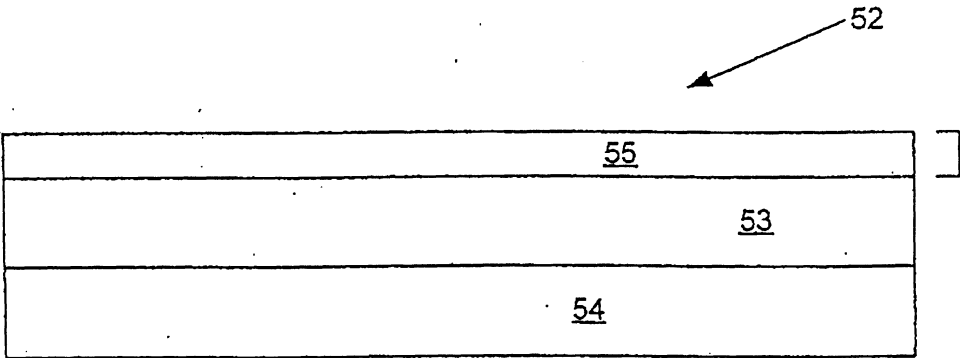


圖 4

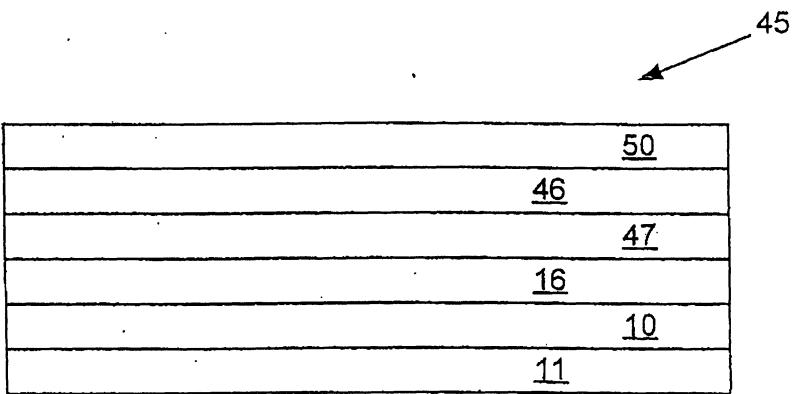


圖 5

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 10 碳化矽基板/碳化矽晶圓
- 11 金剛石基板
- 12 複合晶圓
- 13 二氧化矽層
- 14 氮化鋁鎵層
- 15 氮化鎵層
- 16 緩衝層

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)