



(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 I488991 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：098143373

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 12 月 17 日

(51)Int. Cl. : C23C16/34 (2006.01)

C23C16/27 (2006.01)

H01L21/18 (2006.01)

(30)優先權：2008/12/22 美國

12/341,115

(71)申請人：雷森公司 (美國) RAYTHEON COMPANY (US)

美國

(72)發明人：科倫斯坦 羅夫 KORENSTEIN, RALPH (US)；柏恩斯坦 史帝芬 BERNSTEIN, STEVEN D. (US)；佩雷拉 史帝芬 PEREIRA, STEPHEN J. (US)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

CN 1638149A

US 5252840

審查人員：李明達

申請專利範圍項數：21 項 圖式數：12 共 30 頁

(54)名稱

製造具有鑽石層之氮化鎵裝置

FABRICATING A GALLIUM NITRIDE DEVICE WITH A DIAMOND LAYER

(57)摘要

一方面，包括製造裝置之方法。該裝置包括氮化鎵(GaN)層、在 GaN 層上的鑽石層及與該 GaN 層和該鑽石層接觸的閘極結構。

另一方面，一裝置包括氮化鎵(GaN)層、在 GaN 層上的鑽石層及與該 GaN 層和該鑽石層接觸的閘極結構。

In one aspect, a method includes fabricating a device. The device includes a gallium nitride (GaN) layer, a diamond layer disposed on the GaN layer and a gate structure disposed in contact with the GaN layer and the diamond layer.

In another aspect, a device includes a gallium nitride (GaN) layer, a diamond layer disposed on the GaN layer and a gate structure disposed in contact with the GaN layer and the diamond layer.

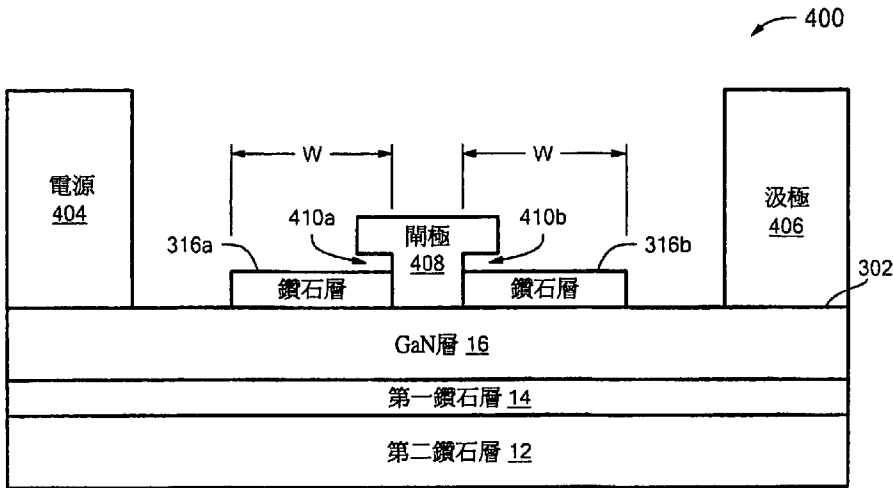


圖10

- 404 . . . 電源
- 316a、316b . . . 鑽石層
- 410a、410b . . . 間隙
- 406 . . . 汲極
- 408 . . . 閘極
- 302 . . . 第一表面
- 16 . . . 氮化鎵 (GaN)層
- 14 . . . 第一鑽石層
- 12 . . . 第二鑽石層

公告本**發明專利說明書**

(本申請書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98143373

※申請日：98年12月17日

※IPC分類：

C23C 16/34 (2010.01)

C23C 16/27 (2010.01)

H01L 21/8 (2010.01)

一、發明名稱：(中文／英文)

製造具有鑽石層之氮化鎵裝置

Fabricating a gallium nitride device with a diamond layer

二、中文發明摘要：

一方面，包括製造裝置之方法。該裝置包括氮化鎵（GaN）層、在GaN層上的鑽石層及與該GaN層和該鑽石層接觸的閘極結構。

另一方面，一裝置包括氮化鎵（GaN）層、在GaN層上的鑽石層及與該GaN層和該鑽石層接觸的閘極結構。

三、英文發明摘要：

In one aspect, a method includes fabricating a device. The device includes a gallium nitride (GaN) layer, a diamond layer disposed on the GaN layer and a gate structure disposed in contact with the GaN layer and the diamond layer.

In another aspect, a device includes a gallium nitride (GaN) layer, a diamond layer disposed on the GaN layer and a gate structure disposed in contact with the GaN layer and the diamond layer.

四、指定代表圖：

(一) 本案指定代表圖為：第(10)圖。

(二) 本代表圖之元件符號簡單說明：

404：電源

316a、316b：鑽石層

410a、410b：間隙

406：汲極

408：閘極

302：第一表面

16：氮化鎵(GaN)層

14：第一鑽石層

12：第二鑽石層

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於製造具有鑽石層之氮化鎵裝置。該裝置包括氮化鎵（GaN）層，在GaN層上的鑽石層及與該GaN層和該鑽石層接觸的閘極結構。

【先前技術】

氮化鎵（GaN）所具有的電力和物理性質使其非常適合用於高頻（HF）裝置，如微波裝置。HF裝置製造高量的熱，其須要散熱器接合於HF裝置以防止裝置失效。一個這樣的散熱器係鑽石。已使用熱絲化學氣相沉積（CVD）法形成用於GaN層上的鑽石。通常，這些鑽石層非直接沉積在GaN層上，而是沉積在最後會與GaN層配置的一些其他材料（如，矽、碳化矽..等）上。

【發明內容】

發明總論

一方面，本發明揭示一種製造一裝置之方法。該裝置包括氮化鎵（GaN）層、在GaN層上的鑽石層和與該GaN層和該鑽石層接觸的閘極結構。

另一方面，本發明揭示一種裝置，其包括氮化鎵（GaN）層、在GaN層上的鑽石層和與該GaN層和該鑽石層接觸的閘極結構。

另一方面，本發明揭示一種方法，其包括將鑽石層置

於氮化鎵（GaN）的第一表面上；移除一部分的鑽石層使得 GaN 的第一表面外露；和形成與 GaN 的第一表面及鑽石層接觸之閘極結構。

【實施方式】

熱絲化學氣相沉積（CVD）法曾被用以形成低於 1 密耳的鑽石層，該鑽石層用於氮化鎵（GaN）層上。欲有效地作為散熱器，鑽石層必須高於 2 密耳。此外，熱絲 CVD 法的本質製造呈黑色的鑽石，例如，其被熱絲 CVD 法中使用的材料（如，鎢）所污染。通常，所製得的這些“骯髒的”鑽石層的導熱性低於純鑽石。通常，使用熱絲 CVD 法的鑽石層的導熱性係約 800 至 1000 瓦／米-K。

已經知道微波電漿 CVD 法能夠以比熱絲 CVD 法快得多的速率製造 4 密耳或更高之更厚的鑽石層。此外，此鑽石層的純度高於熱絲 CVD 法製造者，且製得的鑽石層之導熱性高於 1500 瓦／米-K。一實例中，使用微波電漿 CVD 法製造的鑽石的導熱性為使用熱絲 CVD 法製造的鑽石的導熱性的兩倍。但是，對於直接沉積在 GaN 上的 CVD 法（包括微波電漿 CVD 法）所知相當有限。例如，使用熱絲 CVD 沉積鑽石基本上係在最終與 GaN 層配置的一些其他材料（如，矽、碳化矽..等）上進行。由於對於使用微波電漿 CVD 法使鑽石直接沉積在 GaN 上所知仍相當有限，所以開發和測試使鑽石直接沉積在 GaN 上之可靠和成功方法的費用相當高。估計發展使鑽石直接沉積在 GaN 上的方法之成本和費

用的一個方式係使用微波電漿CVD法將鑽石沉積在，例如，使用熱絲CVD法製造之較差的鑽石層上。

此處使用的Ga₂N層可包括純Ga₂N、摻雜的Ga₂N或與其他元素合併的Ga₂N（如AlGa₂N）或它們的任何組合。矽基板可包括純矽、經摻雜的矽、二氧化矽、碳化矽或矽與其他元素的任何組合或它們的任何組合。

參考圖1A和1B，一實例中，用以形成裝置（如，高頻裝置、高電子移動電晶體（HEMT）、微波裝置..等）的結構10包括第二鑽石層12、與第二鑽石層相鄰的第一鑽石層14及與第一鑽石層相鄰的Ga₂N層16。此構造中，Ga₂N層16製造的熱通過由第一和第二鑽石層12、14形成的散熱器。另一實例中，用以形成裝置（高頻裝置、HEMT電晶體、微波裝置..等）的結構20類似於結構10，但其包括介於第一鑽石層和Ga₂N層16之間的中間層22。中間層22為必須者，此因直接在Ga₂N上製造鑽石不易進行，因為可預期性和一致性低。中間層22可以簡單地為黏著層，其使得第一鑽石層14固定於易放置鑽石的Ga₂N層16或矽型結構。有時，該中間層22的導熱性低於鑽石層12、14，使其留住更多的熱；或換言之，Ga₂N層16的熱轉移被中間層22所防礙。因此，使結構10中的中間層22最小化或完全不具有中間層為佳。

參考圖2和3A至3D，一製造具有第一鑽石層和第二鑽石層之Ga₂N層的方法係方法100。使用熱絲CVD法將第一鑽石層14（如，5至20微米厚的層）沉積在載有矽的絕緣體

(SOI) 基板 122 上 (102) (圖 3A)。自 SOI 基板 122 移除絕緣體 (未示) (如, 二氧化矽) 留下例如矽基板 122' (104) (圖 3B)。使用微波電漿 CVD 將第二鑽石層 12 沉積在第一鑽石層 14 上 (108) (圖 3C)。GaN 層在剩餘的 SOI 基板 (矽基板 122) 上生長 (112) (圖 3D)。

參考圖 4 和 5A 至 5H, 另一製造具有第一鑽石層和第二鑽石層之 GaN 層的方法係方法 200。GaN 16 在第一基板 230 上生長 (202) (圖 5A)。一實例中, 該第一基板可為碳化矽、矽或藍寶石。矽層 232 (如, 矽、碳化矽..等) 置於 GaN 上 (204) (圖 5B)。一實例中, 矽層 232 使用黏著劑接合至 GaN 16。另一實例中, 矽層 232 在 GaN 16 上生長。其他實例中, 其他材料 (如, 玻璃) 可用以代替矽層 232。移除第一基板 230 (208), (例如, 藉由蝕刻) 留下 GaN/矽結構 250 (圖 5C)。熱絲 CVD 用以使第一鑽石層 14 沉積在第二基板 234 上 (212) (圖 5D)。例如, 第二基板 234 係 500 微米厚的矽基板。使用微波電漿 CVD 法使第二鑽石層 12 沉積在第一鑽石層 14 上 (218) (圖 5E)。移除第二基板 234 (例如, 藉由蝕刻) (218) (圖 5F)。第一和第二鑽石層 12、14 接合至 GaN/矽結構 250 (224) (圖 5G)。例如, 使用黏著劑, 第一鑽石層 14 接合至 GaN 16。移除矽層 232 (例如, 藉由蝕刻) (228) (圖 5H)。

參考圖 6 和 7A 至 7F, 製造具有鑽石層的 GaN 層的另一方法係方法 300。方法 300 類似於方法 200, 但第三鑽石層 316 置於與已有第一和第二鑽石層 14、12 的第二 GaN 表面

304（如，底面）相反的第一 GaN 表面 302（如，頂面）上（圖 7F）。例如，流程方塊 202、204 和 208 以與方法 200 相同的方式進行。特別地，GaN 16 在第一基板 230 上生長（202）（圖 7A），矽層 232 置於 GaN 16 上（204）（圖 7B）；且移除第一基板 230（208）（例如，藉由蝕刻）留下 GaN／矽結構 250（圖 7C）。

矽／GaN 結構 250 浸在溶液中並施以超音波（302）。藉由在沉積之前處理表面（如，流程方塊 314），沉積期間內在 GaN 16 上形成鑽石層 316 的機會較大。一實例中，此溶液係包括鑽石粒子（如，奈米鑽石粒子（ 10^{-9} 米））的異丙醇溶液。

第三鑽石層 316 置於矽／GaN 結構 250 上（314）（圖 7D）。例如，使用微波電漿 CVD 法使第三鑽石層 316 於溫度約 600°C 至約 650°C 沉積在 GaN 250 上。移除矽層 232（例如，藉由蝕刻）（228）（圖 7E）。

第一和第一鑽石層 14、12（例如，使用流程方塊 212、214 和 218 形成者）接合至剩餘的 GaN／形成鑽石之鑽石結構／GaN／鑽石／鑽石結構 360（334）（圖 7F）。例如，使用黏著劑，第一鑽石層 14 接合至 GaN 16。第一鑽石層 14 接合至與已佈署第三鑽石層 316 的第一表面 302 相反的第二表面 304。藉由具有鑽石層 316 置於與鑽石層 12、14 相反的表面上，熱更有效地自鑽石／GaN／鑽石／鑽石結構 360 形成的裝置排除。

參考圖 8 及 9A 至 9D，製造具有鑽石層的 GaN 層的另一

方法係方法 370。碳化矽／GaN 結構 380 包括 GaN 層 16 和置於 GaN 16 的第二表面的碳化矽層 328（圖 9A）。碳化矽／GaN 結構 380 浸在具有奈米鑽石粒子的異丙醇溶液中（如，流程方塊 312 中使用的溶液）並施以超音波（372）。第三鑽石層 316 置於 GaN 16 上（374）（圖 9B）。移除碳化矽層 382（例如，藉由蝕刻）（376）（圖 9C）。使用流程方塊 212、214 和 218（例如），形成第一和第二鑽石層 14、12。第一和第二鑽石層 14、12 接合至 GaN／鑽石 350 以形成鑽石／GaN／鑽石／鑽石結構 360（334）（圖 9D）。

參考圖 10，鑽石／GaN／鑽石／鑽石結構 360 可以用製造裝置，如，高頻裝置、高電子移動電晶體（HEMT）、微波裝置..等。例如，鑽石層 316 可以直接與裝置整體化且不僅用以移除熱，同時作為介電物，例如，用於電容器。例如，鑽石的介電常數約 5.7，此接近常用於 GaN 裝置之氮化矽膜之約 7 的介電常數；但是，鑽石膜的導熱性高於氮化矽膜。一些實例中，移除鑽石層 316 的一部分（例如，使用氧電漿）且 GaN 16 表面 302 外露。

一實例中，包括電源 404、汲極 406 和閘極 408（如，T-閘極）之裝置 400（如，HEMT 裝置）在金屬化步驟中沉積在 GaN 層 16 表面 302 上。在移除一部分的鑽石層之後，閘極 408 形成於鑽石層 316 中，藉此而使得 GaN 外露。此實例中，移除一部分的鑽石層 316，將鑽石層分成各具有寬度 W 的兩個鑽石層 316a、316b。此構造中，鑽石層 316a、316b 可作為介電層及藉由自閘極 408 移除熱而作為散熱器

。一些實例中，鑽石層 316a、316b 的寬度可以不相等。一實例中，閘極 408 的一部分與鑽石層 316a、316b 相鄰並接觸且閘極 408 的其他部分形成介於閘極和鑽石層 316a、316b 之間間隙 410a、410b（如，氣隙）。一實例中，閘極 408、間隙 410a、410b、鑽石層 316a、316b 形成電容器構造。嫻於此技術者將瞭解形成這些間隙 410a、410b 的數種方法。例如，在金屬化而形成閘極 408 之前，可以使材料（如，光阻物）位於鑽石層 316 表面上。形成閘極 408 之後，移除材料而形成間隙 410a、410b。其他實例中，裝置 400 不包括間隙 410a、410b，因此，閘極 408 直接位於鑽石層 316a、316b 的表面上。又其他實例中，其他材料可填滿間隙 410a、410b，其可作為或不作為電容器。

參考圖 11 和 12，裝置 400' 類似於裝置 400，其 GaN 層 16 包括 AlGaIn 層 412 和純 GaN 層 416。AlGaIn 412 以外的其他 GaN 型材料可加至 GaN 層 416 中。GaN 層 416 亦可以摻雜的 GaN 或其他 GaN 型材料代替。藉由散佈來自閘極的熱，第三鑽石層 316a、316b 可用以顯著降低閘極 408 的溫度。圖 500 描繪出使用裝置 400'，熱效應與鑽石層 316a 或 316b 的寬度（W）之間的關係。介於閘極 408 和電源 404 之間的距離（D）是 1.875 微米而介於鑽石層 316a、316b 之間的距離（G）是 0.25 微米。曲線 502 代表 0.05 微米鑽石層而曲線 504 代表 0.25 微米鑽石層。相較於不具有鑽石層 316a、316b 者，0.25 微米鑽石層使得輸出功率提高 20% 並使得耐熱性降低 15%（於 5 瓦／毫米， $>25^{\circ}\text{C}$ ）。相較於不具有鑽

石層 316a、316b 者，0.05 微米鑽石層使得耐熱性降低 10%（於 5 瓦／毫米， $>25^{\circ}\text{C}$ ）。

此處所述方法不限於此處描述的特定體系。例如，方法不限於圖 2、4、6 和 8 中的方法步驟之特定程序順序。反而，視須要地，圖 2、4、6 和 8 的方法步驟中之任何者可經重排、合併或移除，同時或先後進行，以達到前述結果。

已出示本發明並以具有已給定順序的某些組件之具有例示產物之特別的體系描述本發明，瞭解涵蓋具有更多或較少組件、具有不同類型的組件及以各種排列整合的其他體系屬於本發明之範圍內。這樣的體系為嫻於此技藝之人士顯見者。此處未特定描述的其他體系亦屬下列申請專利範圍之範圍內。

【圖式簡單說明】

圖 1A 係具有第一鑽石層和第二鑽石層之氮化鎵（GaN）層的一個實例的示意圖。

圖 1B 係具有第一鑽石層和第二鑽石層之 GaN 層的另一實例的示意圖。

圖 2 係製造係具有第一鑽石層和第二鑽石層之 GaN 層之方法例的流程圖。

圖 3A 至 3D 係對應於圖 2 之方法的示意圖。

圖 4 係製造係具有第一鑽石層和第二鑽石層之 GaN 層之另一方法例的流程圖。

圖 5A 至 5H 係對應於圖 4 之方法的示意圖。

圖 6 係使鑽石沉積在另一表面上之方法例的流程圖。

圖 7A 至 7F 係對應於圖 6 之方法的示意圖。

圖 8 係使鑽石沉積在另一表面上之另一方法例的流程圖。

圖 9A 至 9D 係對應於圖 6 之方法的示意圖。

圖 10 係具有鑽石層的裝置例。

圖 11 係具有鑽石層的另一裝置例。

圖 12 係具鑽石層者之熱效能的描繪圖。

【主要元件符號說明】

10：結構

12：第二鑽石層

14：第一鑽石層

16：氮化鎵（GaN）層

20：結構

22：中間層

100：方法

102：第一鑽石層沉積在載有矽的絕緣體（SOI）基板上

104：自 SOI 基板移除絕緣體

108：第二鑽石層沉積在第一鑽石層上

112：GaN 層在剩餘的矽基板上生長

122：載有矽的絕緣體

122'：矽

- 200：方法
- 202：在第一基板上生長 GaN
- 204：矽層置於 GaN 上
- 208：移除第一基板
- 212：第一鑽石層沉積在第二基板上
- 214：第二鑽石層沉積在第一鑽石層上
- 218：移除第二基板
- 224：第一和第二鑽石層接合至 GaN / 矽
- 228：移除矽層
- 230：第一基板
- 232：矽
- 234：第二基板
- 250：GaN / 矽結構
- 300：方法
- 302：第一表面
- 304：第二表面
- 312：對矽 / GaN 施以超音波處理
- 314：第三鑽石層置於矽 / GaN 上
- 316：第三鑽石層
- 316a：鑽石層
- 316b：鑽石層
- 334：第一和第二鑽石層接合至 GaN / 鑽石
- 360：矽 / GaN / 鑽石結構
- 370：方法

- 372 : 對碳化矽 / GaN施以超音波處理
- 374 : 將第三鑽石層放置於碳化矽 / GaN上
- 376 : 移除碳化矽
- 380 : 碳化矽 / GaN結構
- 382 : 碳化矽
- 400 : 裝置
- 400' : 裝置
- 404 : 電源
- 406 : 汲極
- 408 : 閘極
- 410a : 間隙
- 410b : 間隙
- 412 : AlGaIn層
- 416 : 純 GaN層
- W : 寬度
- D : 距離
- G : 距離
- 500 : 圖
- 502 : 曲線
- 504 : 曲線

七、申請專利範圍：

1.一種方法，其包含：

製造一裝置，其包含：

氮化鎵（GaN）層；

在 GaN 層上的第一鑽石層；和

與該 GaN 層和該第一鑽石層接觸的閘極結構，

其中該製造包含：

沉積第一鑽石層進一步包含使第一鑽石層沉積在 GaN 的第一表面上；和

使第二鑽石層沉積在 GaN 層的第一表面反面之 GaN 層的第二表面上。

2.如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該沉積包含使用微波電漿化學氣相沉積法（CVD）使該鑽石層沉積在 GaN 層上。

3.如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該沉積包含沉積高於 1,000 埃的鑽石層。

4.如申請專利範圍第 1 項之方法，其中使第二鑽石層沈積於 GaN 層的第一表面反面之 GaN 層的第二表面上包含使 GaN 層的第二表面與具有第一導熱性的第二鑽石層及置於其上的具有高於第一導熱性之第二導熱性的第三鑽石層接合。

5.如申請專利範圍第 1 項之方法，其中製造包含 GaN 層之裝置包含製造包含含有未摻合的 GaN、摻合的 GaN 或與另一元素合併的 GaN 中之至少一者之 GaN 層之裝置。

6.如申請專利範圍第1項之方法，其中製造裝置包含製造高頻裝置、高電子移動電晶體（HEMT）或微波裝置中之一者。

7.一種方法，其包含：

將第一鑽石層置於氮化鎵（GaN）的第一表面上；

移除一部分的該第一鑽石層使得 GaN 的第一表面外露；

形成與 GaN 的第一表面及該第一鑽石層接觸之閘極結構；和

使第二鑽石層與 GaN 層的第一表面反面之 GaN 層的第二表面接合。

8.如申請專利範圍第7項之方法，其中進一步包含自鑽石／GaN結構製造高頻裝置、高電子移動電晶體（HEMT）或微波裝置中之至少一者。

9.如申請專利範圍第7項之方法，其中移除一部分的鑽石層使得 GaN 表面外露包含使用氧電漿移除一部分的鑽石層。

10.如申請專利範圍第7項之方法，其中設置鑽石層包含沉積鑽石層。

11.如申請專利範圍第10項之方法，其中進一步包含在沉積鑽石層之前，對浸在包含奈米鑽石粒子的溶液中之 GaN 施以超音波。

12.如申請專利範圍第7項之方法，進一步包含：

在第一基板上生長 GaN；

將材料層置於 GaN 上；和

移除第一基板。

13. 如申請專利範圍第 12 項之方法，其中在第一基板上生長 GaN 包含在碳化矽、矽或藍寶石之一上生長 GaN。

14. 如申請專利範圍第 12 項之方法，其中將材料層置於 GaN 上包含設置矽層或玻璃層之一。

15. 如申請專利範圍第 12 項之方法，進一步包含移除材料層以形成鑽石／GaN 結構。

16. 一種裝置，包含：

氮化鎵（GaN）層；

在 GaN 層上的第一鑽石層；

與該 GaN 層和該第一鑽石層接觸的閘極結構，

其中該閘極和該第一鑽石層置於 GaN 層的第一表面上；和

具有第一導熱性的第二鑽石層且其置於 GaN 層的第一表面反面之 GaN 層的第二表面上。

17. 如申請專利範圍第 16 項之裝置，進一步包含所具有的第二導熱性比第一導熱性為高且位於第二鑽石層上的第三鑽石層。

18. 如申請專利範圍第 16 項之裝置，進一步包含介於該第二鑽石層和該 GaN 層之間的中間層。

19. 如申請專利範圍第 16 項之裝置，其中該第二鑽石層高於 2 密耳且該第一鑽石層低於 1 密耳。

20. 如申請專利範圍第 16 項之裝置，其中該裝置係高

頻裝置、高電子移動電晶體（HEMT）或微波裝置之一。

21.如申請專利範圍第16項之裝置，其中該Ga₂N層包含未摻合的Ga₂N、摻合的Ga₂N或與另一元素合併的Ga₂N中之至少一者。

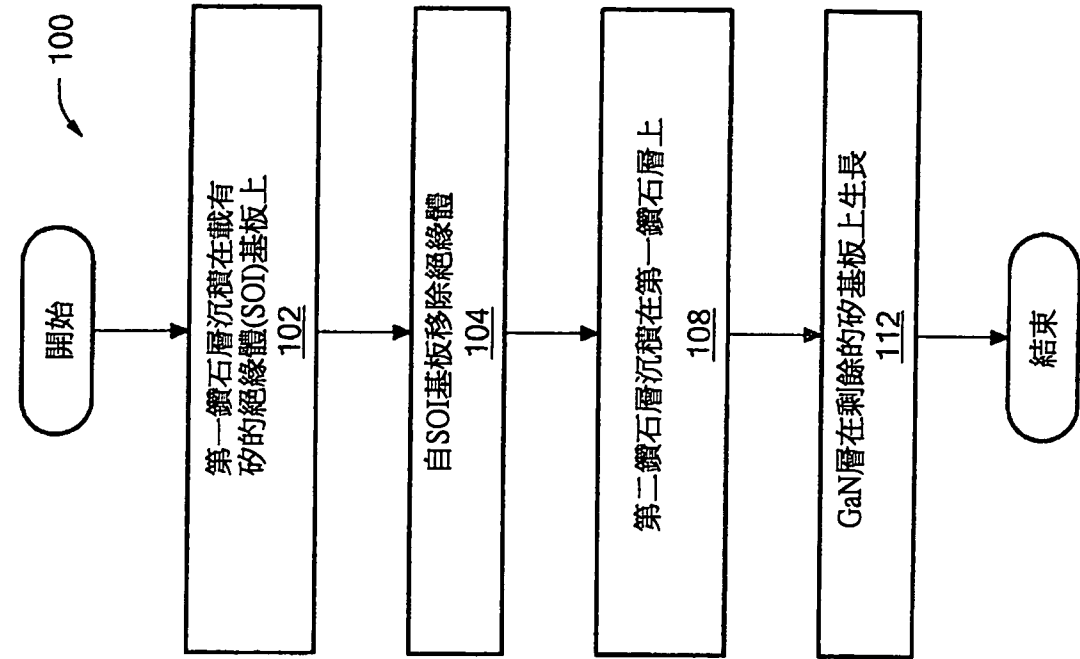


圖2

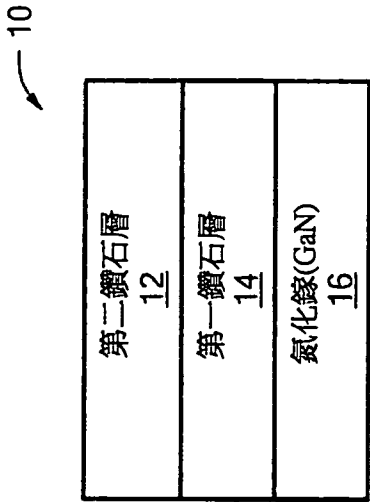


圖1A

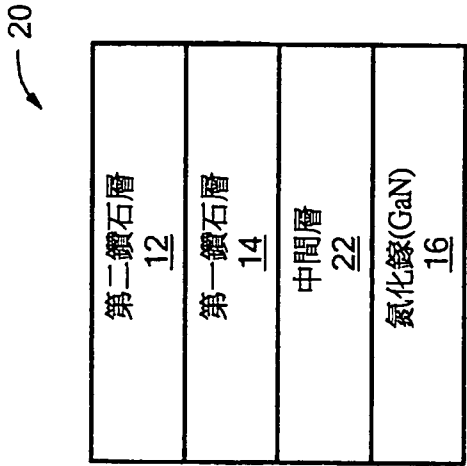


圖1B

第一鑽石層 <u>14</u>
載有矽的絕緣體 <u>122</u>

圖 3A

第一鑽石層 <u>14</u>
矽 <u>122'</u>

圖 3B

第二鑽石層 <u>12</u>
第一鑽石層 <u>14</u>
矽 <u>122'</u>

圖 3C

第二鑽石層 <u>12</u>
第一鑽石層 <u>14</u>
矽 <u>122'</u>
GaN <u>16</u>

圖 3D

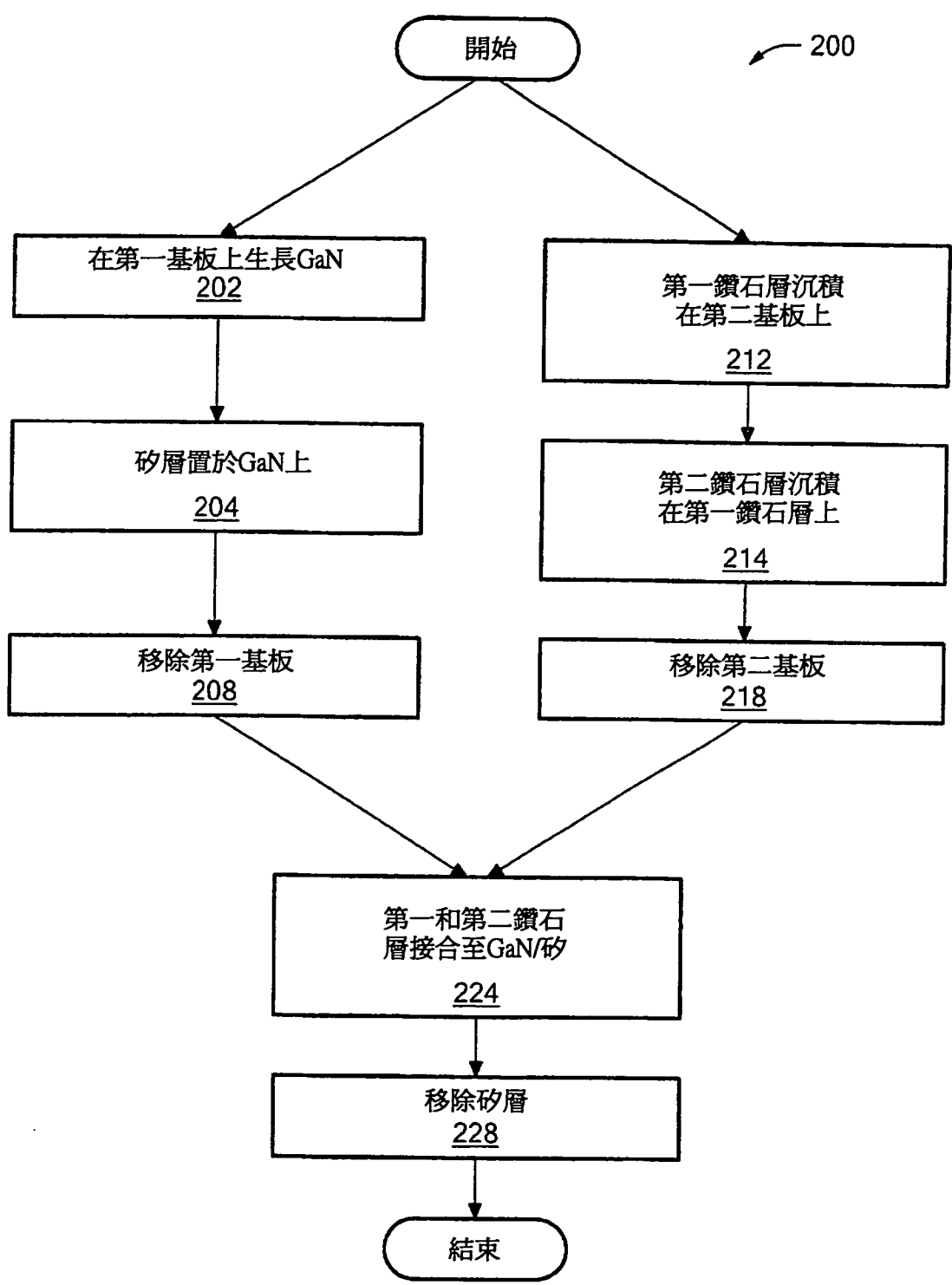


圖 4



圖 5A

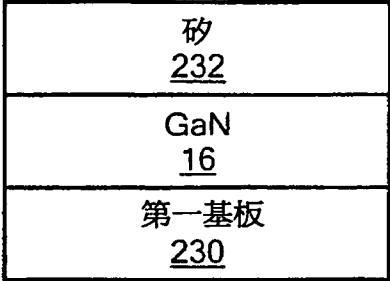


圖 5B

250 ↙

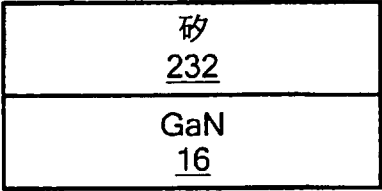


圖 5C

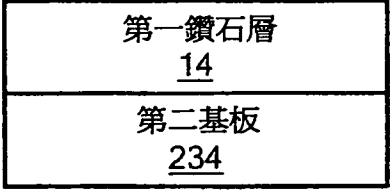


圖 5D

第二鑽石層 <u>12</u>
第一鑽石層 <u>14</u>
第二基板 <u>234</u>

圖 5E

第二鑽石層 <u>12</u>
第一鑽石層 <u>14</u>

圖 5F

第二鑽石層 <u>12</u>
第一鑽石層 <u>14</u>
GaN <u>16</u>
矽 <u>232</u>

圖 5G

第二鑽石層 <u>12</u>
第一鑽石層 <u>14</u>
GaN <u>16</u>

圖 5H

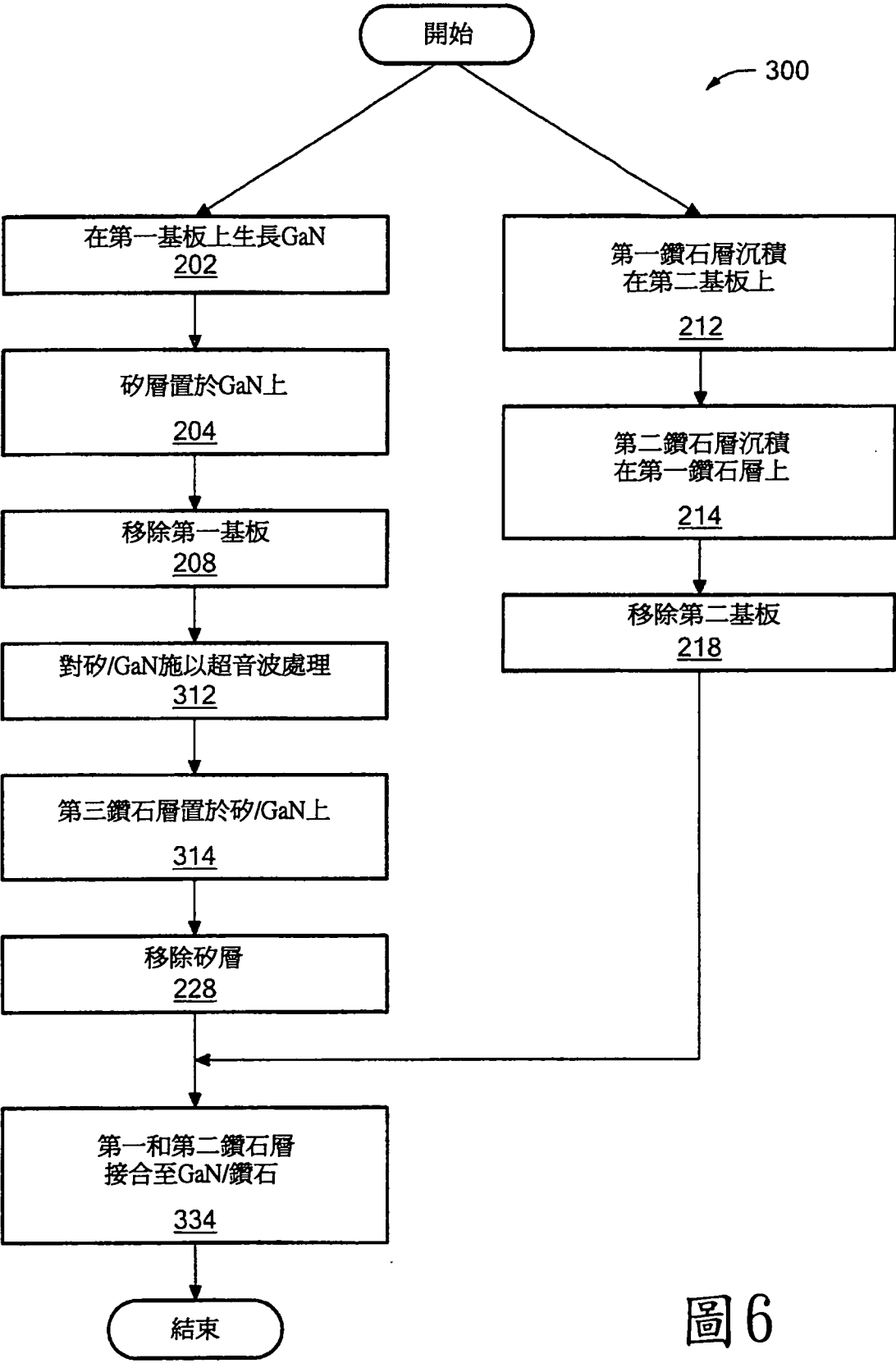


圖6

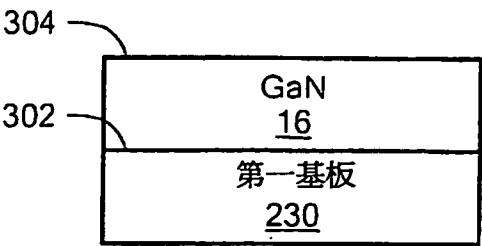


圖 7A

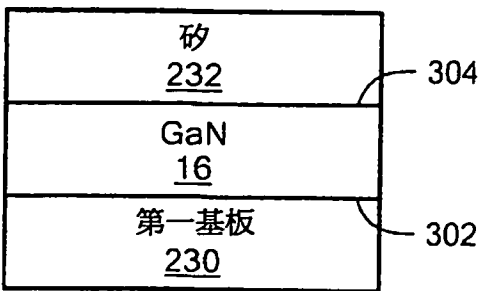


圖 7B

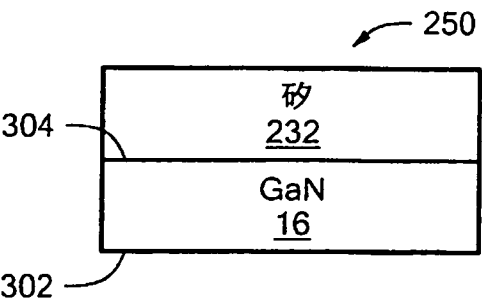


圖 7C

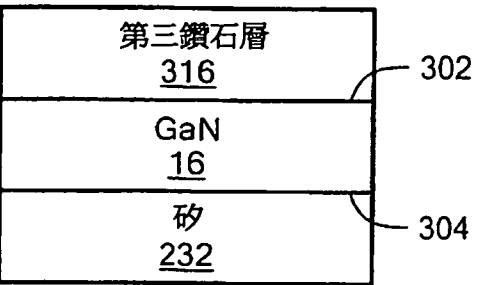


圖 7D

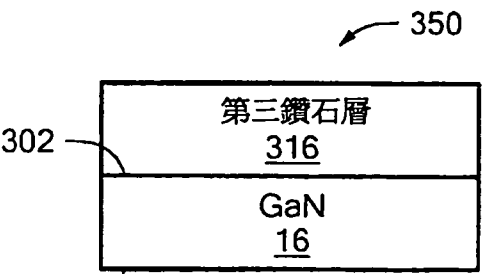


圖 7E

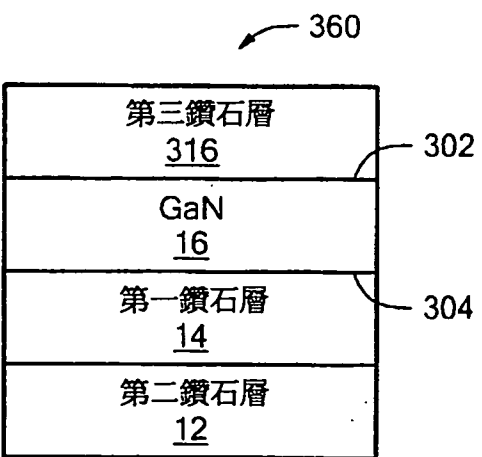


圖 7F

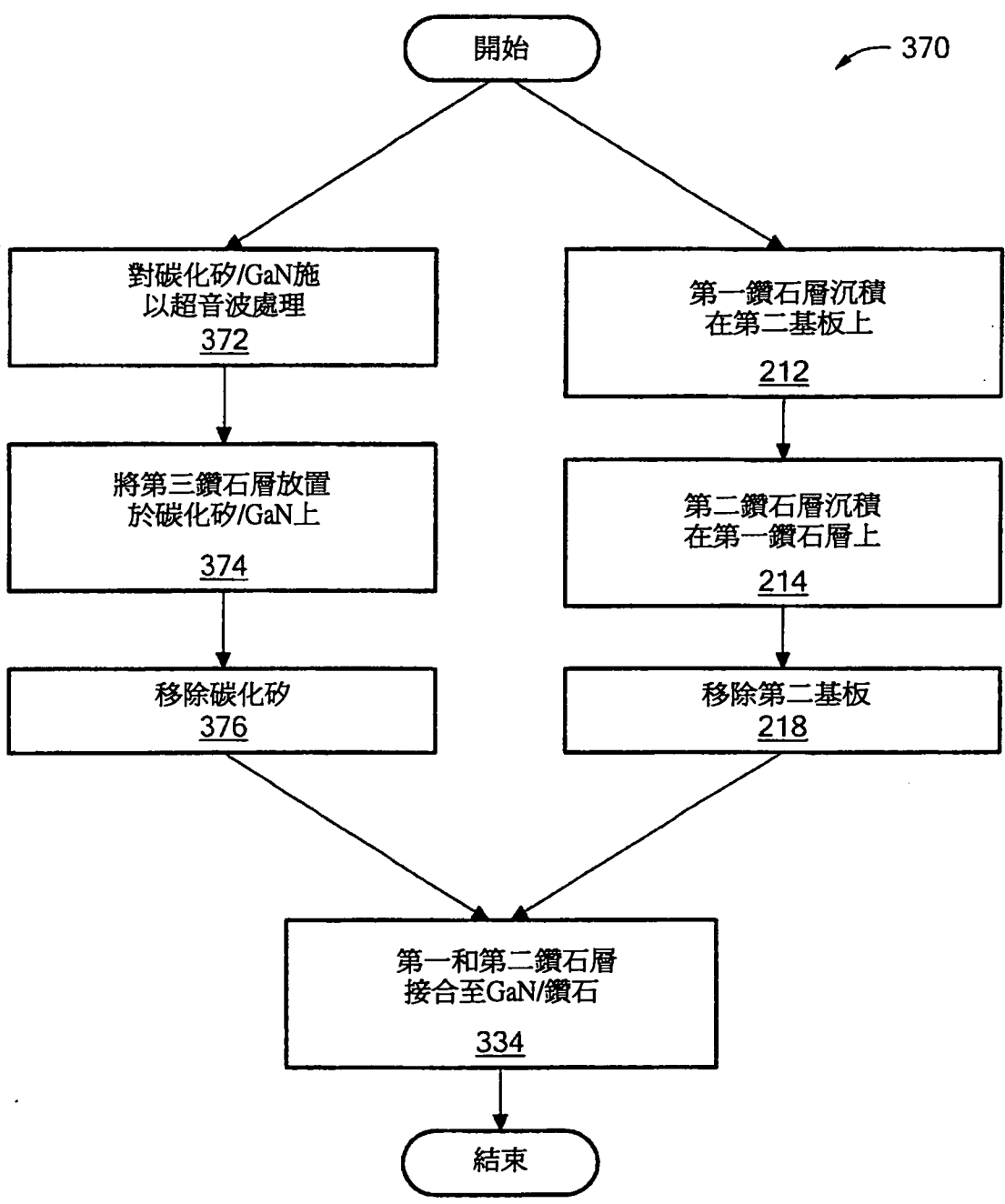


圖 8

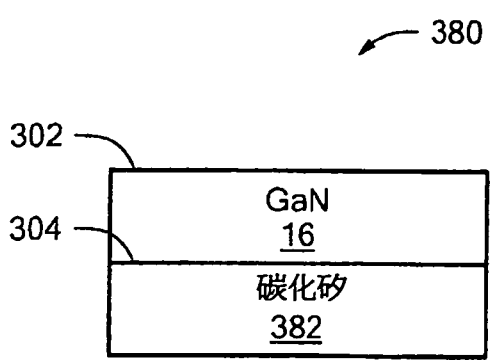


圖 9A

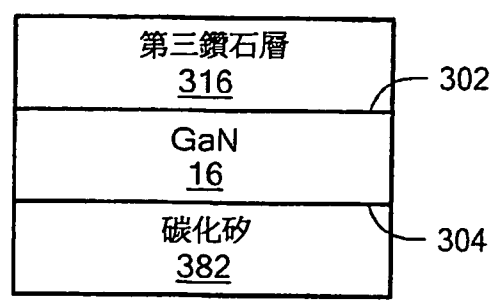


圖 9B

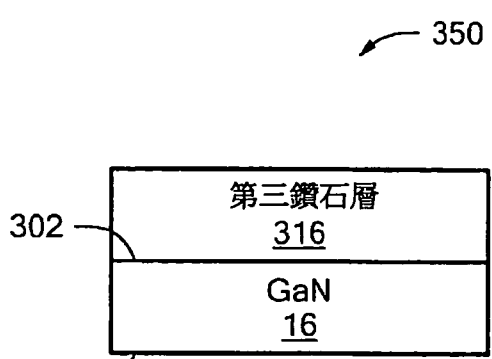


圖 9C

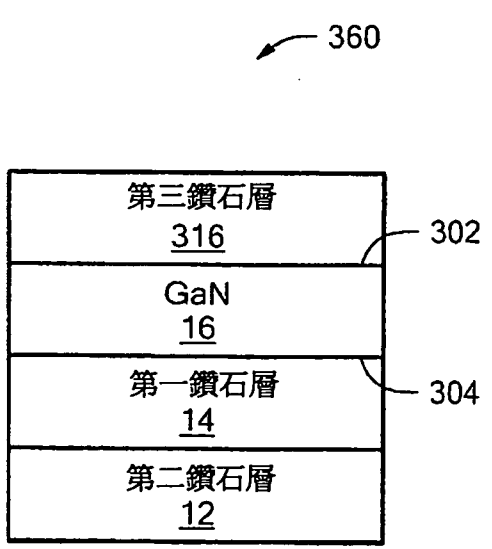


圖 9D

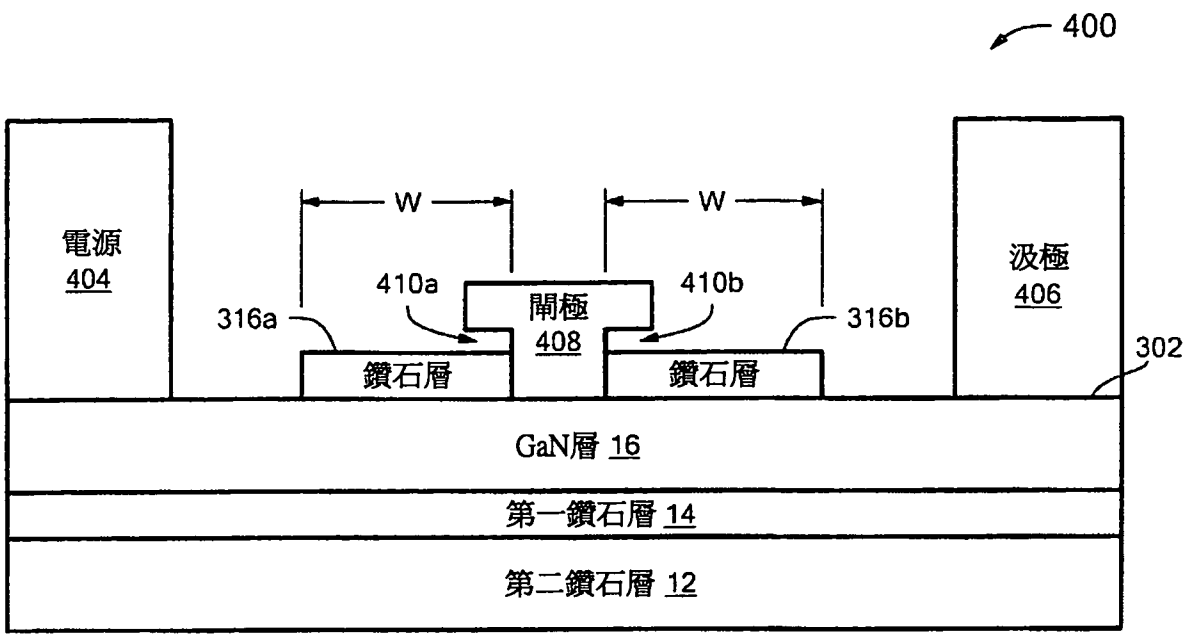


圖 10

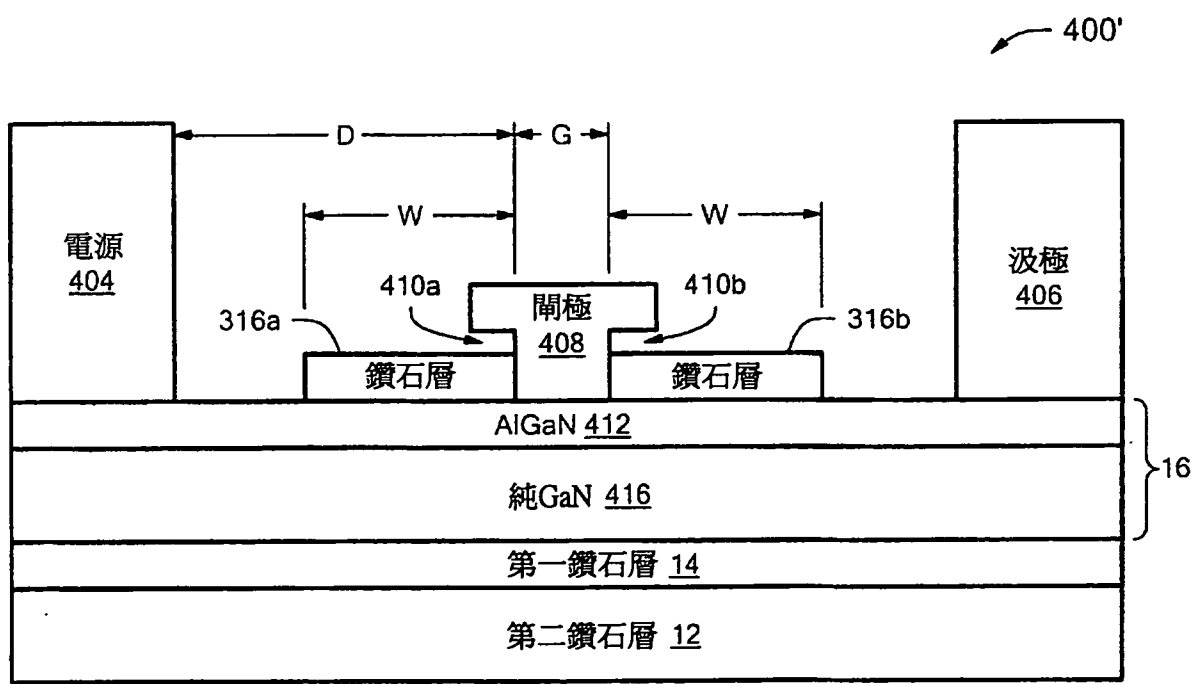


圖 11

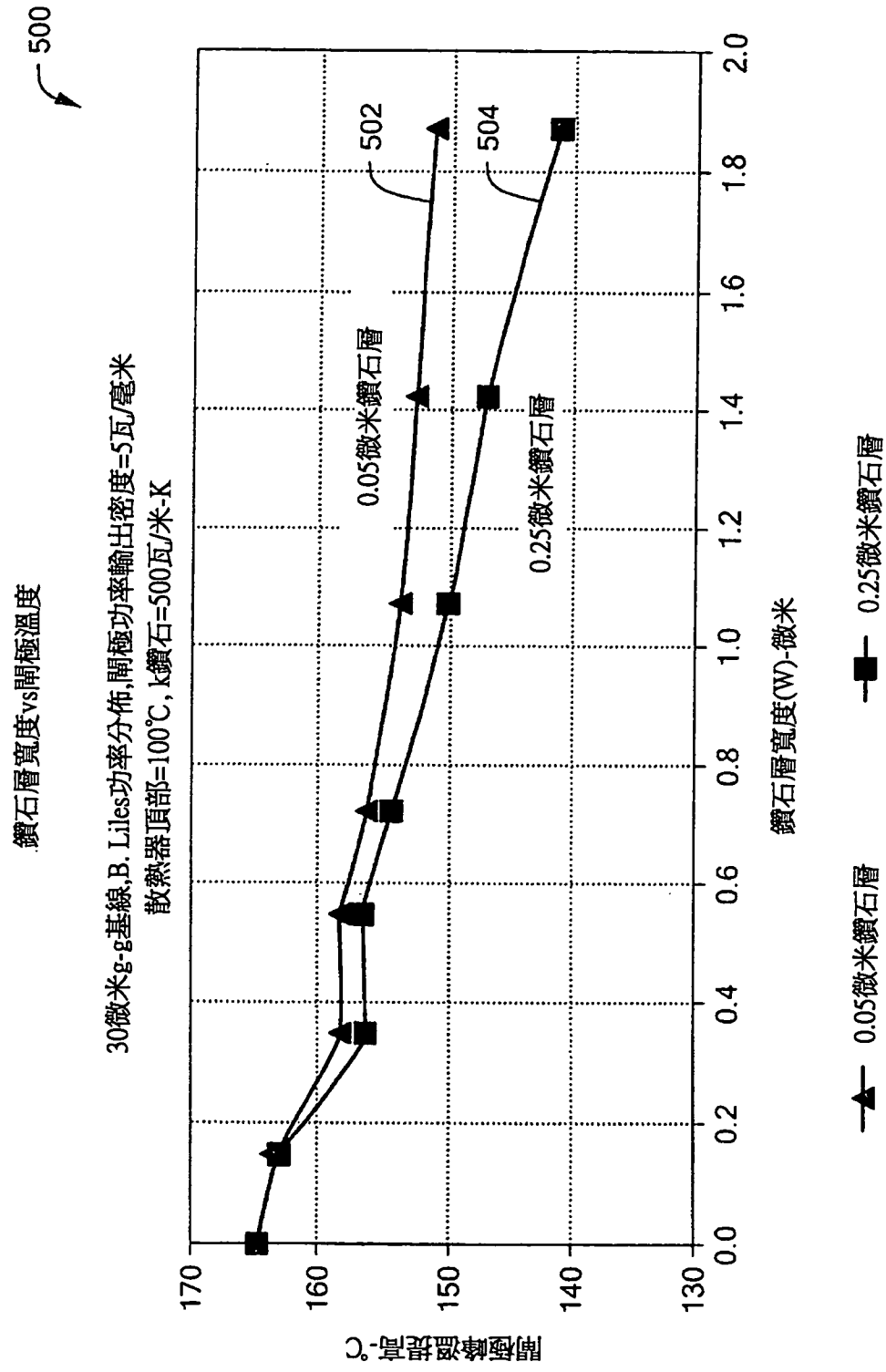


圖12