

(21)申請案號：101130495

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 08 月 22 日

(51)Int. Cl. : *H01L21/324 (2006.01)*

H01L33/32 (2010.01)

(30)優先權：2011/08/24 美國

13/199,276

(71)申請人：精微超科技公司 (美國) ULTRATECH, INC. (US)

美國

(72)發明人：王原 WANG, YUN (US)；漢瑞魯克 安德魯 HAWRYLUK, ANDREW M. (US)

(74)代理人：李文賢

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：21 項 圖式數：14 共 37 頁

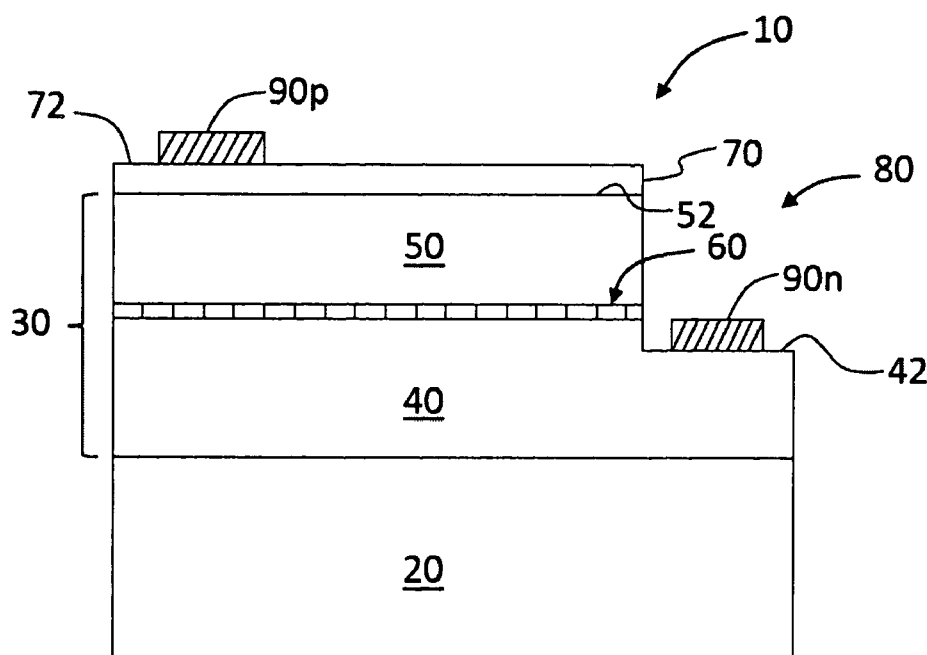
(54)名稱

氮化鎵發光二極體之快速熱退火

FAST THERMAL ANNEALING FOR GAN LEDs

(57)摘要

本發明揭示一種在形成氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)時所執行之快速熱退火之方法，以及使用所述快速熱退火方法所形成之氮化鎵發光二極體。一例示性方法包含形成一氮化鎵多層結構，其具有一 n 型氮化鎵層與一 p 型氮化鎵層，且所述 n 型氮化鎵層與 p 型氮化鎵層之間夾一主動層。該方法還包含藉由一雷射或閃光燈對 p 型氮化鎵層執行快速熱退火。該方法更包含在氮化鎵多層結構上形成一透明導電層，且將一 p 型接觸添加至透明導電層上及將一 n 型接觸添加至 n 型氮化鎵層上。所得氮化鎵發光二極體具有增強之輸出功率、更低之接通電壓及減低之串聯電阻。



10：氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)

20：基板

30：氮化鎵多層結構

40：n 型氮化鎵層

42：表面

50：p 型氮化鎵層

52：表面

60：主動層

70：透明導電層

72：表面

80：凹口

90n：n 型接觸

90p：p 型接觸

(21)申請案號：101130495

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 08 月 22 日

(51)Int. Cl. : *H01L21/324 (2006.01)*

H01L33/32 (2010.01)

(30)優先權：2011/08/24 美國

13/199,276

(71)申請人：精微超科技公司 (美國) ULTRATECH, INC. (US)

美國

(72)發明人：王原 WANG, YUN (US)；漢瑞魯克 安德魯 HAWRYLUK, ANDREW M. (US)

(74)代理人：李文賢

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：21 項 圖式數：14 共 37 頁

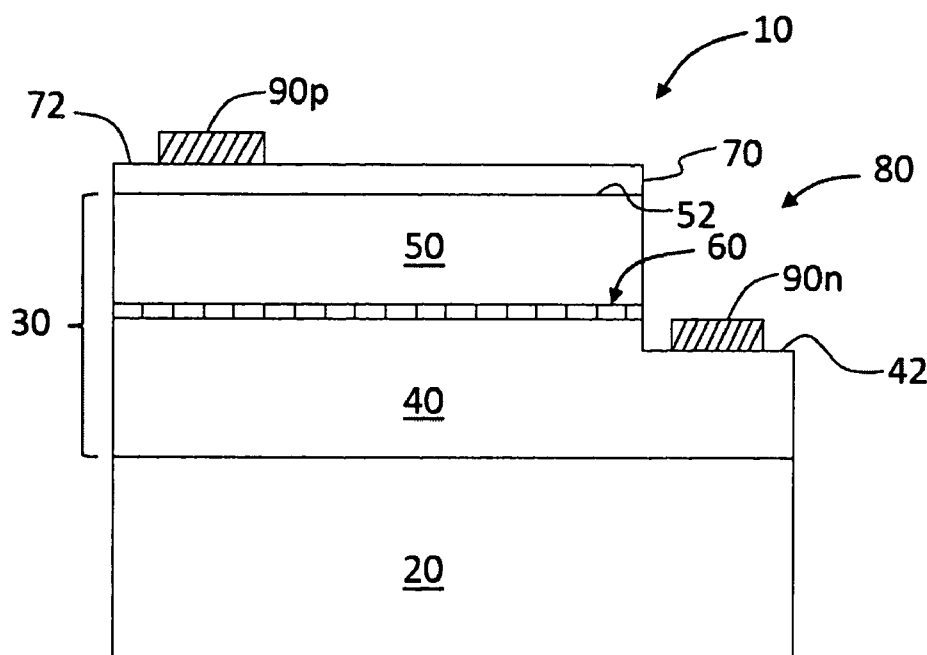
(54)名稱

氮化鎵發光二極體之快速熱退火

FAST THERMAL ANNEALING FOR GAN LEDS

(57)摘要

本發明揭示一種在形成氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)時所執行之快速熱退火之方法，以及使用所述快速熱退火方法所形成之氮化鎵發光二極體。一例示性方法包含形成一氮化鎵多層結構，其具有一 n 型氮化鎵層與一 p 型氮化鎵層，且所述 n 型氮化鎵層與 p 型氮化鎵層之間夾一主動層。該方法還包含藉由一雷射或閃光燈對 p 型氮化鎵層執行快速熱退火。該方法更包含在氮化鎵多層結構上形成一透明導電層，且將一 p 型接觸添加至透明導電層上及將一 n 型接觸添加至 n 型氮化鎵層上。所得氮化鎵發光二極體具有增強之輸出功率、更低之接通電壓及減低之串聯電阻。



10：氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)

20：基板

30：氮化鎵多層結構

40：n 型氮化鎵層

42：表面

50：p 型氮化鎵層

52：表面

60：主動層

70：透明導電層

72：表面

80：凹口

90n：n 型接觸

90p：p 型接觸

發明專利說明書

(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：101130495

※ 申請日：

※IPC 分類：H01L 21/24 (2006.01)
H01L 33/32 (2010.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

氮化鎵發光二極體之快速熱退火/Fast Thermal Annealing for GaN
LEDs

二、中文發明摘要：

本發明揭示一種在形成氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)時所執行之快速熱退火之方法，以及使用所述快速熱退火方法所形成之氮化鎵發光二極體。一例示性方法包含形成一氮化鎵多層結構，其具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，且所述n型氮化鎵層與p型氮化鎵層之間夾一主動層。該方法還包含藉由一雷射或閃光燈對p型氮化鎵層執行快速熱退火。該方法更包含在氮化鎵多層結構上形成一透明導電層，且將一p型接觸添加至透明導電層上及將一n型接觸添加至n型氮化鎵層上。所得氮化鎵發光二極體具有增強之輸出功率、更低之接通電壓及減低之串聯電阻。

三、英文發明摘要：

Methods of performing fast thermal annealing in forming GaN light-emitting diodes (LEDs) are disclosed, as are GaN LEDs formed using fast thermal annealing having a time duration of 10 seconds or faster. An exemplary method includes forming a GaN multilayer structure having a n-GaN layer and a p-GaN layer that sandwich an active layer. The method includes performing fast thermal annealing of the p-GaN layer using either a laser or a flash lamp. The method further includes forming a transparent conducting layer atop the GaN multilayer structure, and adding a p-contact to the transparent conducting layer and a n-contact to the n-GaN layer. The

resultant GaN LEDs have enhanced output power, lower turn-on voltage and reduced series resistance.

四、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	氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)
20	基板
30	氮化鎵多層結構
40	n型氮化鎵層
42	表面
50	p型氮化鎵層
52	表面
60	主動層
70	透明導電層
72	表面
80	凹口
90n	n型接觸
90p	p型接觸

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】

本發明係關於一種發光二極體，特別是關於一種氮化鎵發光二極體及其快速熱退火方法。

【先前技術】

發光二極體（特別是氮化鎵發光二極體），已被證明對各種照明應用（例如全彩顯示器、交通號誌燈等等）有用，且若可使此等LED更有效率，則可用於更多應用（例如背光LCD面板、固態照明以取代習知白熾燈及螢光燈等等）。為實現更高效率之氮化鎵發光二極體，其等需要具有增強之輸出功率、更低之接通電壓及減小之串聯電阻。氮化鎵發光二極體中之串聯電阻係與摻質活化之效率、電流散佈之均勻性及歐姆接觸形成密切相關。

對於氮化鎵而言，可容易地使用Si而使n型摻質具有高達 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 之活化濃度。p型氮化鎵可藉由使用Mg作為摻質而獲得。然而，Mg摻雜之效率由於其高熱活化能而相當低。在室溫下，僅數個百分比之併入的Mg對自由電洞濃度的有貢獻。由於在生長處理期間之氫鈍化，在MOCVD生長期間使Mg摻雜進一步複雜化。氫鈍化需要一熱退火步驟以破壞Mg-H鍵並活化摻質。典型的熱退火係在約 700°C 之一 N_2 環境中執行。到目前為止，p型氮化鎵中之實際電洞濃度仍限於約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。此低活化水準導致弱歐姆接觸及一大散佈電阻，此限制氮化鎵發光二極體之效能。

【發明內容】

本發明之其中一概念係一種氮化鎵發光二極體之形成方法。該方法包含在一基板頂部形成具有夾著一主動層之一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層的一氮化鎵多層結構。該方法亦包含對該p型氮化鎵層執行持續時間為10秒或者更短之快速熱退火。所述快速熱退火可以是一雷射尖峰退火 (laser spike annealing, LSA)，其包含對該p型氮化鎵層掃描一雷射束；或者是一閃光燈退火 (flash lamp annealing)，其包含使整個晶圓暴露在來自閃光燈之一閃光或輻射下。本方法亦包含在該氮化鎵多層結構上形成一透明導電層。本方法更包含將一p型接觸添加至透明導電層及將一n型接觸添加至n型氮化鎵層。

本方法較佳地更包含對所述透明導電層執行快速熱退火。

本方法較佳地更包含對所述p型接觸執行快速熱退火。

本方法中，p型接觸較佳地具有一p型接觸電阻，該p型接觸被執行該快速熱退火而使該p型接觸電阻在 4×10^{-4} ohm-cm²至 1×10^{-6} ohm-cm²之範圍中。

本方法較佳地更包含對所述n型接觸執行快速熱退火。

本方法較佳地更包含形成一凸緣於所述氮化鎵多層結構及所述透明導電層中，以暴露n型氮化鎵層。本方法較佳地更包含形成n型接觸於暴露之n型氮化鎵層上。

本方法中，快速熱退火較佳地具有一最大退火溫度 T_{AM} ，其係在700°C至1500°C之範圍中。

本方法中，所述快速熱退火較佳地係藉由一雷射或一

閃光燈來執行。

本方法中，所述快速熱退火較佳地係藉由一閃光燈來執行，該閃光燈對整個該p型氮化鎵層照射單一道閃光。

本方法中，所述p型氮化鎵層被執行該快速熱退火後，較佳地而具有 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 範圍中之一活化摻質濃度。

本方法較佳地更包含形成所述主動層以包含一多重量子井結構。

本發明之另一概念係形成一氮化鎵發光二極體之方法。所述方法包含形成一氮化鎵多層結構，所述氮化鎵多層結構具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，所述n型氮化鎵層與p型氮化鎵層之間夾一主動層。本方法也包含形成一p型接觸層，鄰接於該p型氮化鎵層。本方法也包含形成一n型接觸於該n型氮化鎵層上。本方法更包含對該n型接觸執行快速熱退火。所述快速熱退火的持續時間係為10秒或者更短，其可藉由雷射或閃光燈來執行。

在本方法中，快速熱退火較佳地係使用雷射或閃光燈來執行。

在本方法中，n型接觸較佳地具有一n型接觸電阻。n型接觸被施以快速熱退火，而使n型接觸電阻在 $1 \times 10^{-4} \text{ ohm-cm}^2$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}^2$ 之範圍中。

本方法較佳地更包含使該快速熱退火具有一最大退火溫度 T_{AM} ，其係在 700°C 至 1500°C 之範圍中。

本發明之另一態樣係為一氮化鎵二極體，其包含一基

板、一氮化鎵多層結構、一透明導電層、一p型接觸及一n型接觸。氮化鎵多層結構係形成於基板上。氮化鎵多層結構具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，所述n型氮化鎵層與所述p型氮化鎵層之間夾一主動層。P型氮化鎵層係被施以快速熱退火，以具有活化摻質濃度介於 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 範圍中之一快速熱退火層。透明導電層位在氮化鎵多層結構之頂部。p型接觸係形成於透明導電層之頂部。n型接觸係形成於n型氮化鎵層之一暴露部分上。快速熱退火具有10秒或更短的持續時間，其可以藉由雷射或閃光燈來執行。

在所述氮化鎵發光二極體中，p型接觸較佳地具有 $4 \times 10^{-4} \text{ ohm-cm}^2$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}^2$ 範圍中之一歐姆接觸電阻。

在所述氮化鎵發光二極體中，n型接觸具有 $1 \times 10^{-4} \text{ ohm-cm}^2$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}^2$ 範圍中之一n型接觸電阻。

本發明之另一概念係為一氮化鎵發光二極體，其包含一基板、一p型接觸層、一氮化鎵多層結構及一n型接觸。p型接觸層係形成於基板上。氮化鎵多層結構係形成於p型接觸層之頂部。所述氮化鎵多層結構具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，n型氮化鎵層與p型氮化鎵層之間夾一主動層，且p型氮化鎵層鄰接於p型接觸層。n型氮化鎵層係被施以快速熱退火，以具有活化摻質濃度 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 至 $3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 。n型接觸係形成於n型氮化鎵層之頂部。所述快速熱退火具有10秒或更短的持續時間，且可藉由一雷射或一閃

光燈來執行。

於氮化鎵發光二極體中，被快速熱退火之層較佳地係為一閃光燈快速熱退火層與一雷射快速熱退火層其中之一。

於氮化鎵發光二極體中，n型接觸較佳地具有約 1×10^{-4} ohm-cm² 至約 1×10^{-6} ohm-cm²範圍間之一n型接觸電阻。

在以下詳細描述中將闡述本發明之另外特徵及優點，且熟習此項技術者將自該描述而易於部分明白或藉由實踐如本文中所述之發明(包含以下詳細描述、技術方案以及附圖)而認識到本發明之另外特徵及優點。

應瞭解先前一般描述與以下詳細描述兩者呈現本發明之若干實施例，且意欲提供一概述或架構用於理解本發明所主張之本質及特性。附圖被包含以提供本發明之一進一步理解，並被併入至此說明書中且構成此說明書之一部分。圖式繪示本發明之各種實施例，且與描述一起用來解釋本發明之原理及操作。

【實施方式】

現詳細參考本發明之目前較佳實施例，在附圖中繪示本發明之實例。無論何時，在所有圖式中相同或相似元件符號及標記係用以意指相同或相似部件。術語「上」及「下」為用以促進描述之相對術語而非意為嚴格限制。

許多所想要的LED特性（較高的摻質濃度、較低的接觸電阻等）可透過下述實施方式之快速熱退火來得到已經被確認了。在此處所定義的退火係指持續時間約10秒或者

更短。快速熱退火可以藉由使用雷射（例如雷射尖峰退火）或閃光燈（閃光燈退火）來實現。

以下諸多討論係以雷射尖峰退火為例，但所改良之處以及請求項係可擴展至各種形式的毫秒退火。

第1圖係用於氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)10之一例示性結構之一示意橫截面圖。在美國專利案第6,455,877號、第7,259,399號及第7,436,001號中亦描述例示性GaN LED，該等專利案以引用方式併入本文中。氮化鎵發光二極體10包含一基板20，諸如藍寶石、SiC、GaN Si等等。一氮化鎵多層結構30係安置在基板20之頂部，該氮化鎵多層結構包含一n型摻雜GaN層（「n型氮化鎵層」）40及具有一表面52之一p型摻雜GaN層（「p型氮化鎵層」）50。該n型氮化鎵層40與該p型氮化鎵層50夾著一主動層60，且n型氮化鎵層40係鄰接基板20。主動層60包括（例如）一多重量子井(MQW)結構，諸如未經摻雜之GaInN/GaN超晶格。氮化鎵多層結構30因此界定一p-n接面。具有一表面72之一透明接觸層(TCL)70駐留在氮化鎵多層結構30之頂部。一例示性TCL 70包含氧化銦錫(ITO)。TCL 70用來散佈電流並充當一抗反射塗層以使光學輸出最佳化。

氮化鎵發光二極體10進一步包含一凹口80，其暴露充當用於支撐一n型接觸90n之一凸緣的n型氮化鎵層40之一表面部分42。例示性n型接觸材料包含Ti/Au、Ni/Au、Ti/Al或其等之組合。一p型接觸90p係配置在TCL表面72之一部分上。例示性p型接觸材料包含Ni/Au及Cr/Au。

氮化鎵發光二極體10與先前技術之氮化鎵發光二極體之不同點在於以下方式之至少一者：a) p型氮化鎵層50中之摻質活化更大；b)使用雷射尖峰退火(LSA)來使n型接觸90n成合金；及c)使用LSA來使p型接觸90p成合金。以下詳細描述處理氮化鎵發光二極體10以實現此等不同點之方法。

雷射尖峰退火(LSA)

一短持續時間之一高退火溫度以增加p型氮化鎵層50中之活化。使用傳統退火時，可施加之最大溫度係受限於GaN材料之降解性。一降解機制為在一MOCVD生長處理期間(例如用Mg)摻雜之p型氮化鎵層50之分解。Mg需要一較高退火溫度以有效率地活化，但在高溫下之一長持續時間使GaN分解出向外擴散氮並減小p型GaN中自由電洞之濃度。傳統非快速熱退火處理使基板在700°C之氮環境中保持幾十秒至幾分鐘。

另一降解機制為在p型氮化鎵層50中之應變鬆弛及差排產生。由於晶格失配，異質磊晶結構係處於具有內建應變之一介穩狀態。傳統熱退火由於熱膨脹係數之失配而引入額外應變，且因此加速差排擴散及倍增。

本發明採用雷射尖峰退火(LSA)，其使用比習知非快速熱退火較為高之溫度以及較為短之退火時間。美國專利案第6,747,245號、第7,154,066號及第7,399,945號中描述適於實施本發明之該等方法的例示性LSA系統，該等專利案以引用方式併入本文中。在本發明之該等方法中，LSA之例

示性應用相較於習知RTA使退火時間減少3至4個數量級，從而實現更高退火溫度 T_A (例如 $T_A > 1100^\circ\text{C}$)且無有害之氮向外擴散及差排產生效應。

使用LSA來增強經摻雜GaN層中之摻質活化改良接觸電阻，因為在高摻質濃度下穿隧電流更高且障壁高度更低。在高活化摻質濃度下，特定接觸電阻 ρ_c 按以下比例確定：

$$\rho_c \propto \exp\left[\frac{4\pi\sqrt{\epsilon m^*}}{h} \frac{\phi_B - \Delta\phi_B}{\sqrt{N}}\right] \quad \text{方程式 1}$$

其中障壁高度變化 $\Delta\phi_B$ 由以下方程式給出：

$$\Delta\phi_B = \left[\frac{q^3 N}{8\pi^2 \epsilon^3} \left(V_0 - \frac{k_B T}{q} \right) \right]^{1/4} \quad \text{方程式 2}$$

在以上方程式中， h 係浦朗克常數 (Planck constant)， m^* 係電子或電洞之有效質量， ϵ 係氮化物之介電常數， N 係活化摻質濃度， q 係基本電荷， k_B 係波茲曼常數 (Boltzmann constant)， T 係絕對溫度，及 V_0 係接觸電位。

$\Delta\phi_B$ 隨活化摻質濃度 N 之增大而增大，此減小方程式1之指數中之分子，且增大 N 藉由增大方程式1之指數中之分母而減小 ρ_c 。因此，接觸電阻 ρ_c 隨摻質活化之增加而減小。本發明之該等方法之例示性實施例增大p型GaN中之活化摻質濃度，乘以高達約2.5倍之一因數(例如自約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至約 $1.25 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)，由此提供總接觸電阻(包含散佈電阻)約60%之一減少。

第2圖係一退火溫度 $T_A(^{\circ}\text{C})$ 對時間(毫秒)標繪圖並繪示對於一掃描雷射束120(諸如第3圖及第4圖中所示)之三個不同駐留時間的例示性退火溫度量變曲線(曲線)。第2圖中之曲線表示當雷射束120接近並經過點上方時在一給定層之一表面(諸如p型氮化鎵層50之表面52，如所示)上之一點P之退火溫度量變曲線。在計算中，雷射束120在表面52處具有一細長形狀(如在一選擇強度臨限值處所取得)，例如具有約10毫米之一長度 L 及約100微米之一寬度 W ，或約100:1之一縱橫比。雷射束120以一速度 V_S 掃描整個表面52。駐留時間 t_d 係取決於波束寬度 W 及掃描速度 V_S 。對於較長駐留時間，熱傳導隨雷射束120接近而預熱該點P，直至雷射束120照射該點P，由此使退火溫度達到其最大值 T_{AM} 。對於較短駐留時間，熱傳導不足以預熱矽且點P經歷最大退火溫度 T_{AM} 之持續時間更短很多。此允許調整退火溫度量變曲線。

用於GaN LED結構之例示性LSA方法

第5圖係應用於在產生氮化鎵發光二極體10之過程中所形成之一GaN LED結構100的一第一例示性LSA方法之一示意圖。GaN LED結構100包含基板20及氮化鎵多層結構30。使掃描束120入射在p型氮化鎵層50之表面52上。藉由用雷射束120掃描或藉由掃描GaN LED結構100(例如藉由掃描用在形成氮化鎵發光二極體10過程中之晶圓(圖中未示))而實現雷射束120之掃描。駐留時間 $t_d=W/V_S$ 之一例示性範圍係自約10微秒(μs)至10毫秒(ms)。最大退火溫度 T_{AM} 之

一例示性範圍係自約 700°C 至約 1500°C 。最大退火溫度 T_{AM} 係取決於GaN離解之數量及GaN LED結構100中之晶格失配應變鬆弛及差排。退火之深度取決於駐留時間及雷射束強度。一例示性雷射束強度為 $400\text{瓦}/\text{毫米}^2$ 。例示性氮化鎵多層結構30具有幾微米至約10微米之一厚度，且退火通常到達自10微米至100微米，即：大體穿過氮化鎵多層結構100且在某些情況下一直向下至基板20。因此，即使繼續增加p型氮化鎵層50之摻質活化是所要追求的，在一例示性實施例中亦存在增加其下n型氮化鎵層40中摻質活化之額外益處。

在執行GaN LED結構100之退火之後，接著將TCL 70施加於p型氮化鎵層表面52之頂部。接著形成凹口80，且施加(例如沈積)n型接觸90n及p型接觸90p以形成如第1圖中所示之氮化鎵發光二極體10。

第6圖係類似於第5圖並展示進一步包含TCL 70之GaN LED結構100。在TCL 70之沈積後執行LSA之一優點在於TCL 70可充當一罩蓋層以防止氮在退火期間除氣，由此實現更高退火溫度 T_A 且材料不降解。

第7圖係類似於第1圖並展示經由用雷射束120掃描在TCL表面72上方(包含在p型接觸90p上方)之而經受LSA之氮化鎵發光二極體10。比傳統非快速退火技術低之LSA熱預算允許使用前面所提及之高退火溫度且無p型接觸90p中之金屬擊穿p-n接面之風險。

在本文所揭示之退火方法之一例示性實施例中，LSA

係用於第7圖之GaN LED之p型接觸90p中之歐姆合金形成。通常，藉由在500℃至800℃之間之溫度下使Ni/Au成合金10分鐘至20分鐘而實現p型歐姆接點。由於穿過p-n接面之合金金屬之過度擴散，高使成合金溫度導致形態降解及洩漏。由於低p型濃度，所以接觸電阻為高，例如約 1×10^{-3} 歐姆-公分²。此不僅導致一大電壓降，且產生在高電流位準下可使氮化鎵發光二極體10之使用期限降級之局部加熱。藉由使用LSA，可施加更高退火溫度且不凝聚。此提供一新機會用於形成p型接觸90p及改良氮化鎵發光二極體10之總可靠性。在一例示性實施例中，p型接觸電阻係在自約 4×10^{-4} ohm-cm²至約 1×10^{-6} ohm-cm²之範圍內。因此，在本發明之方法之一例示性實施例中，使p型氮化鎵層50中之p型接觸成合金與增加摻質活化之組合提供一組合益處，其提供所得氮化鎵發光二極體10之效能之一額外增加。

第8圖係類似於第5圖並展示一例示性垂直氮化鎵發光二極體10，其中基板20係金屬(例如一銅合金)，且氮化鎵多層結構30具有與第5圖中所示顛倒之n型氮化鎵層40及p型氮化鎵層50，即：具有一表面42之n型氮化鎵層40係在主動層60上方且p型氮化鎵層50係在該主動層下方。一n型接觸90n駐留在n型氮化鎵層表面42之頂部且一p型接觸90p駐留在p型氮化鎵層50下方並亦充當一反射層。亦可在p型接觸90p之鄰近處添加一單獨反射層(圖中未展示)。第8圖之氮化鎵發光二極體10經由用雷射束120掃描在n型氮化鎵層表面42上方(包含在n型接觸90n上方)之而經受LSA。金屬基板20

係黏合至氮化鎵多層結構30並具有用來有效率散熱之良好導熱性。此外應注意因為退火向下到達p型氮化鎵層位，所以在一例示性實施例中此層亦經歷進一步增強所得氮化鎵發光二極體10之效能的一增加摻質活化。需特別說明的是，第8圖之垂直的氮化鎵發光二極體10可藉由覆晶（flip-chip）製程來形成。

由於此層中之大體高摻質濃度，建立n型接觸90n至n型氮化鎵層40之歐姆接觸通常不是問題。可實現在 1×10^{-6} ohm-cm²以下之特定接觸電阻 ρ_c 。然而，在進階覆晶LED中，在黏合至一不同基板之後執行n型接觸形成。在此情況下，需要限制熱預算(定義為熱活化 $\exp\{-E_a/k_B T_A\}$ 與退火持續時間之乘積，其中 E_a 係熱活化能， k_B 係波茲曼常數，及 T_A 係退火溫度)以避免由氮化鎵多層結構30與(金屬)基板20之間之熱膨脹係數之失配產生之應力及差排。在此情況下，在300°C下之低溫退火已用以形成歐姆接觸並已導致一接觸電阻 $\rho_c = 7 \times 10^{-4}$ ohm-cm²，其比可使用與LSA相關聯之更高退火溫度及超低熱預算而實現之接觸電阻高很多。在一例示性實施例中，使用LSA退火來在n型GaN中實現低至 1×10^{-6} ohm-cm²之一接觸電阻 ρ_c ，從而導致相較於無雷射退火之LED的在350 mA驅動電流下高達8%之GaN LED效能改良。

減小氮化鎵發光二極體10之接觸電阻導致改良之效能。隨著二極體電流增大，由 $(nk_B T/qI)$ 給出之固有電阻(其中n係理想因數， k_B 係波茲曼常數，T係接面溫度，q係基本

電荷，及I係二極體電流)減至串聯電阻 R_s 控制氮化鎵發光二極體10之效率的點位。

第9圖繪製模型化電流I(毫安培(mA))對電壓(V)之曲線，其等繪示藉由使用LSA之氮化鎵發光二極體10之效能增益以降低操作電壓上之串聯電阻。該等標繪圖係用於具有不同串聯電阻 R_s 之氮化鎵發光二極體10，且「菱形」曲線(◆)使習知GaN LED模型化及「方形」曲線(■)使使用本發明之基於LSA之方法在p型GaN中具有2.5倍高之摻質活化的一氮化鎵發光二極體10模型化。應注意電壓變化 ΔV 係經由關係式 $\Delta V = I\Delta R_s$ 而與串聯電阻之變化相關。

在一電流 $I=350$ mA時，串聯電阻 R_s 之一40%減小(接觸電阻之60%下降)導致操作電壓V之約10%下降且因此導致以流明/瓦表示之LED效率之一約10%增大。串聯電阻之主要部分係由於接觸電阻。

將來若主要LED製造商採用預期更高之驅動電流，則改良甚至可更大。第9圖中之兩條曲線分岔使得驅動電流越高，電壓降越大。因此，在一驅動電流為700 mA時，預期使用本發明之方法所形成之氮化鎵發光二極體10比一習知經摻雜之GaN LED更高效15%至20%。此使具有100流明/瓦GaN LED之一習知輸出的一GaN LED改良以具有約120流明/瓦之一輸出。

閃光燈退火

本發明一例示性之實施例包含使用來自閃光燈之閃光

來執行快速熱退火。第10圖係為一例示LED晶圓200，其具有一表面202。LED晶圓200被一晶圓載台206所支撐。LED晶圓200包含如第11圖與第12圖所示之氮化鎵發光二極體10，或者包含如第13圖與第14圖所示之於製造氮化鎵發光二極體10過程中所形成之GaN LED結構100。LED晶圓200以及晶圓載台206係被密封於一腔體220之腔體內部210。閃光燈250可包含一個以上之閃光燈元件252。閃光燈250係用以發出持續時間為毫秒等級，例如介於0.1毫秒至100毫秒之間之一閃光260。於實現閃光燈快速熱退火時，閃光260係曝照整個晶圓表面202。一例示閃光燈快速熱退火系統與方法係揭露於US7015422之美國專利以及US2008/0008460之美國專利公開案，前述二專利均被本申請案所引用。

第11圖係類似於第7圖，繪示一例示實施例中的氮化鎵二極體10係被在TCL表面72上方以及在p型接觸90p上方之一閃光260所照射，而被施以快速熱退火。第12圖係類似於第8圖，繪示一例示實施例中的垂直氮化鎵發光二極體10，其中基板20係為金屬（例如銅合金），且GaN多層結構30具有相反於第5圖所示之n型氮化鎵層40以及p型氮化鎵層50，亦即具有表面42之n型氮化鎵層40係位在主動層60之上，p型氮化鎵層50係位在主動層60之下。n型接觸90n位在n型氮化鎵層之表面42的頂部，p型接觸90p係位在p型氮化鎵層50之下方且同時作為反射層之用。第12圖之氮化鎵發光二極體10係被在n型氮化鎵層之表面42上方以及在n型接

觸90nm上方之一閃光260所照射而被施以快速熱退火。

第13圖係類似於第5圖，其繪示一例示實施例中的GaN LED結構100在製造氮化鎵二極體10的製程中係被一閃光260所照射而被施以快速熱退火。

第14圖係類似於第6圖，其繪示一例示實施例中之包含TCL 70之GaN LED結構100在製造GaN LED的製程中係被一閃光260所照射而被施以快速熱退火。

熟習此項技術者將明白可在不背離本發明之精神及範圍之情況下對本發明作出各種修改及變動。因此，意欲本發明涵蓋本發明之該等修改及變動，只要其等在隨附申請專利範圍及其等之等效物之範圍內。

【圖式簡單說明】

第1圖係用於GaN LED之一例示結構之剖面示意圖；

第2圖係一退火溫度 $T_A(^{\circ}\text{C})$ 對時間(毫秒(ms))之標繪圖並繪示當執行雷射尖峰退火(LSA)時對於用雷射束掃描之三個不同駐留時間的例示性退火溫度量變曲線；

第3圖係繪示使用一掃描雷射束之LSA處理之一p型氮化鎵層之特寫側視圖；

第4圖係一例示線型掃描雷射束形狀之一示意圖；

第5圖係應用於在本發明之GaN LED(如第1圖所示)之產生過程中所形成之一GaN LED結構的第一例示性LSA方法之一示意圖；

第6圖係類似於第5圖並展示進一步包含一透明導電層之GaN LED多層結構；

第7圖係類似於第1圖並展示經由用一雷射束掃描在透明導電層表面上方以及在形成於該透明導電層上之p型接觸上方而經受LSA之GaN LED；

第8圖係類似於第5圖並展示一例示GaN LED，其中該GaN LED多層結構係被顛倒以使n型氮化鎵層在頂部並包含一n型接觸，且經由用一雷射束掃描n型氮化鎵層之表面上方而使該GaN LED被施以LSA；

第9圖係模型化電流(毫安培(mA))對電壓(V)之曲線標繪

圖，其等繪示本發明之GaN LED效能(■)相較於先前技術效能(◆)之增益(如使用LSA所實現)以降低操作電壓上之串聯電阻；

第10圖係為一例示LED晶圓被一閃光燈退火系統照射以實現快速熱退火之一示意圖；

第11圖係類似於第7圖，繪示一例示實施例中的GaN LED係被一閃光燈之一閃光所照射而被施以快速熱退火；

第12圖係類似於第8圖，繪示一例示實施例中的GaN LED係被一閃光燈之一閃光所照射而被施以快速熱退火；

第13圖係類似於第5圖，繪示一例示實施例中的GaN LED結構在製造GaN LED的製程中係被一閃光燈之一閃光所照射而被施以快速熱退火；

第14圖係類似於第6圖，繪示一例示實施例中的GaN LED結構在製造GaN LED的製程中係被一閃光燈之一閃光所照射而被施以快速熱退火。

【主要元件符號說明】

- 10 氮化鎵(GaN)發光二極體(LED)
- 20 基板
- 30 氮化鎵多層結構
- 40 n型氮化鎵層
- 42 表面
- 50 p型氮化鎵層

52	表 面
60	主 動 層
70	透 明 導 電 層
72	表 面
80	凹 口
90n	n型 接 觸
90p	p型 接 觸
100	GaN LED結 構
120	雷 射 束

七、申請專利範圍：

1. 一種形成氮化鎵發光二極體之方法，包含：

形成一氮化鎵多層結構於一基板上，該氮化鎵多層結構具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，該n型氮化鎵層與該p型氮化鎵層之間夾一主動層；

對該p型氮化鎵層執行一快速熱退火，其中該快速熱退火具有10秒或更短之一持續時間；

於該氮化鎵多層結構上形成一透明導電層；及

設置一p型接觸至該透明導電層，且設置一n型接觸至該n型氮化鎵層。

2. 如請求項1所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，更包含對該透明導電層執行該快速熱退火。

3. 如請求項1或2所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，更包含對該p型接觸執行該快速熱退火。

4. 如請求項3所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，其中該p型接觸具有一p型接觸電阻，該p型接觸被執行該快速熱退火而使該p型接觸電阻在 $4 \times 10^{-4} \text{ ohm-cm}^2$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}^2$ 之範圍中。

5. 如請求項3所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，更包含對該n型接觸執行該快速熱退火。

6. 如請求項5所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，更包含：

形成一凸緣於該氮化鎵多層結構及該透明導電層中，以暴露該n型氮化鎵層；及

形成該n型接觸於暴露之該n型氮化鎵層上。

7. 如請求項1所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，其中該快速熱退火具有一最大退火溫度 T_{AM} ，其係在 700°C 至 1500°C 之範圍中。
8. 如請求項7所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，其中該快速熱退火係藉由一雷射或一閃光燈來執行。
9. 如請求項8所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，其中該快速熱退火係藉由一閃光燈來執行，該閃光燈對整個該p型氮化鎵層照射單一道閃光。
10. 如請求項1所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，其中該p型氮化鎵層被執行該快速熱退火後，而具有 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 範圍中之一活化摻質濃度。
11. 如請求項1所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，更包含形成該主動層以包含一多重量子井結構。
12. 一種形成氮化鎵發光二極體之方法，包含：
 - 形成一氮化鎵多層結構，該氮化鎵多層結構具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，該n型氮化鎵層與該p型氮化鎵層之間夾一主動層；
 - 形成一p型接觸層，鄰接於該p型氮化鎵層；
 - 形成一n型接觸於該n型氮化鎵層上；及
 - 對該n型接觸執行一快速熱退火，其中該快速熱退火具有10秒或更短之一持續時間。
13. 如請求項12所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，其中該快速雷射退火的執行係藉由一雷射或一閃光燈。
14. 如請求項13所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，其中該n型接觸

具有一n型接觸電阻，該n型接觸被施以該快速熱退火，而使該n型接觸電阻在 1×10^{-4} ohm-cm²至 1×10^{-6} ohm-cm²之範圍中。

15. 如請求項12所述之形成氮化鎵發光二極體之方法，更包含進行該快速熱退火，該快速熱退火具有一最大退火溫度 T_{AM} ，其係在700°C至1500°C之範圍中。

16. 一種氮化鎵發光二極體，包含：

一基板；

一氮化鎵多層結構，形成於該基板上，具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，該n型氮化鎵層與該p型氮化鎵層之間夾一主動層，其中該p型氮化鎵層包含一快速熱退火層，該快速熱退火層具有 5×10^{17} cm⁻³至 5×10^{19} cm⁻³範圍中之一活化摻質濃度；

一透明導電層，其位在該氮化鎵多層結構之頂部；

一p型接觸，其形成於該透明導電層上；及

一n型接觸，其形成於該n型氮化鎵層之一暴露部分上；

其中該快速熱退火層係被以10秒或更短之一持續時間進行快速熱退火。

17. 如請求項16所述之氮化鎵發光二極體，其中該p型接觸具有 4×10^{-4} ohm-cm²至 1×10^{-6} ohm-cm²範圍中之一歐姆接觸電阻。

18. 如請求項15或16所述之氮化鎵發光二極體，其中該n型接觸具有 4×10^{-4} ohm-cm²至 1×10^{-6} ohm-cm²範圍中之一n型接觸電阻。

19. 一種氮化鎵發光二極體，包含：

一基板；

一p型接觸層，形成於該基板上；

一氮化鎵多層結構，形成於該p型接觸層上，具有一n型氮化鎵層與一p型氮化鎵層，該n型氮化鎵層與該p型氮化鎵層之間夾一主動層，該p型氮化鎵層鄰接於該p型接觸層，且該n型氮化鎵層包含一快速熱退火層，該快速熱退火層具有 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 至 $3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 之一活化摻質濃度；及

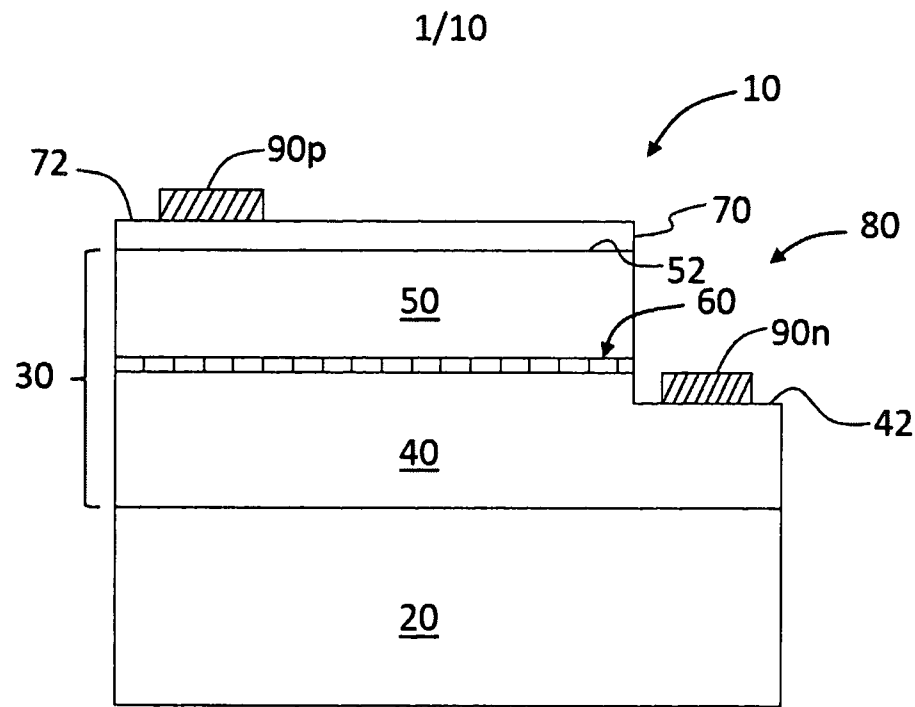
一n型接觸，形成於該n型氮化鎵層上；

其中該快速熱退火層係被以10秒或更短之一持續時間進行快速熱退火。

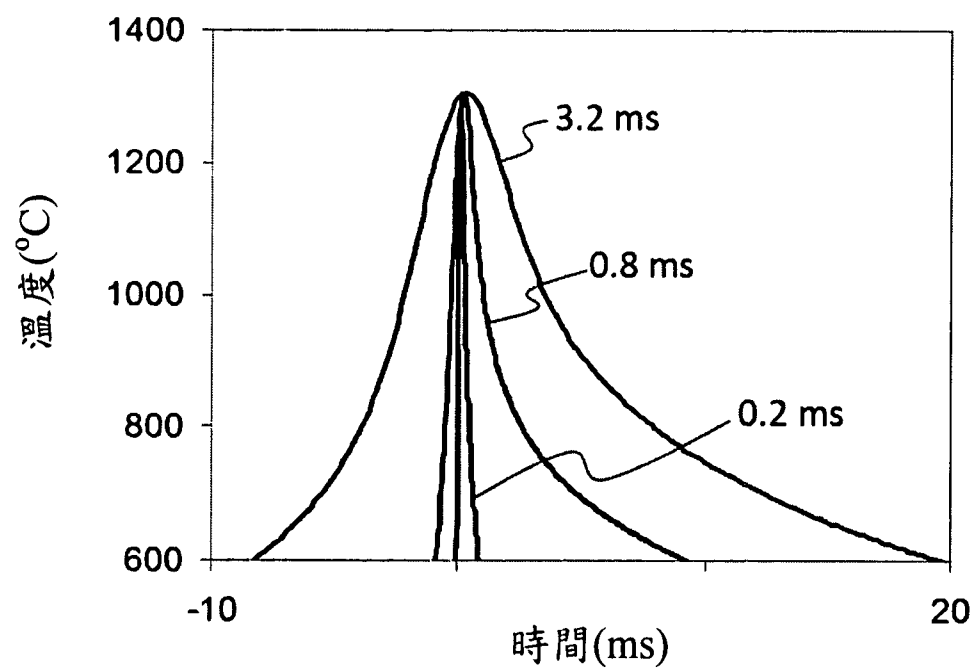
20. 如請求項19所述之氮化鎵發光二極體，其中該快速熱退火層係為一閃光燈快速熱退火層與一雷射快速熱退火層之其中一者。

21. 如請求項19或20所述之氮化鎵發光二極體，其中該n型接觸具有 $1 \times 10^{-4} \text{ ohm-cm}^2$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}^2$ 之範圍內之一n型接觸電阻。

八、圖式

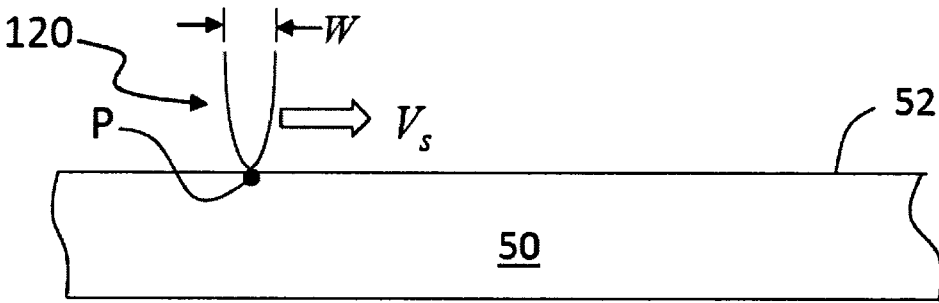


第 1 圖

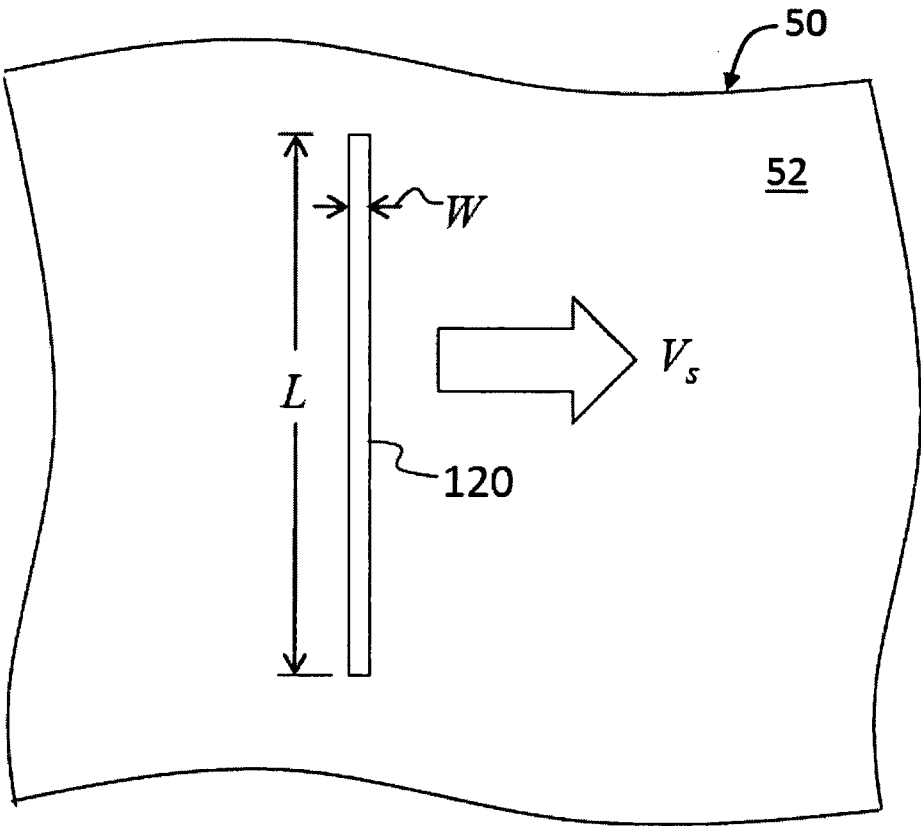


第 2 圖

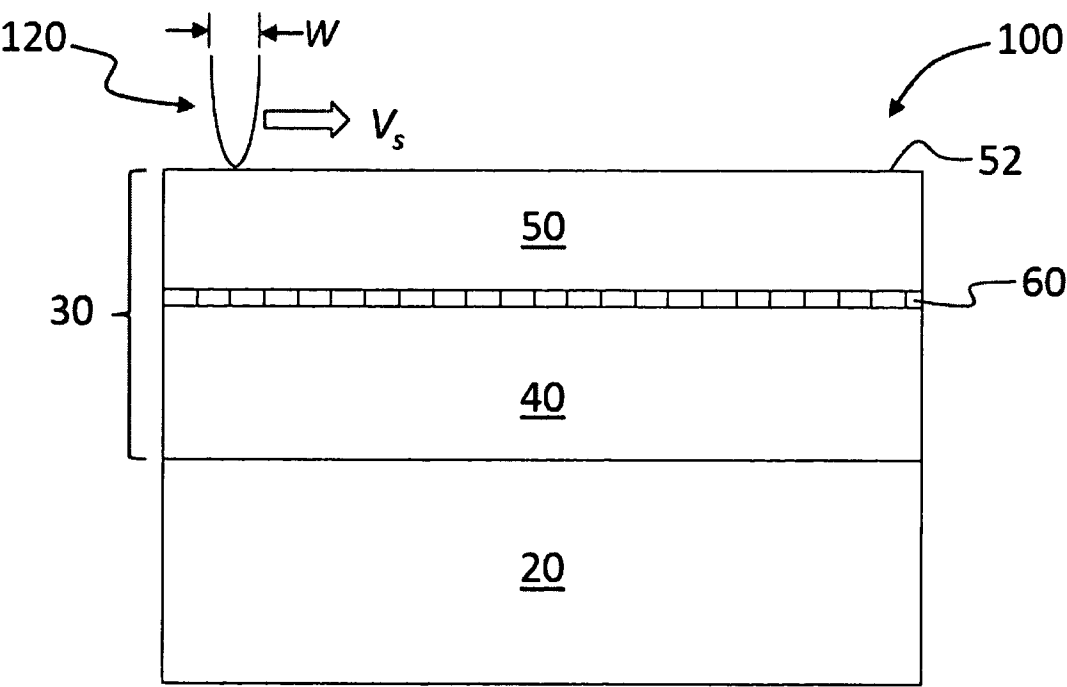




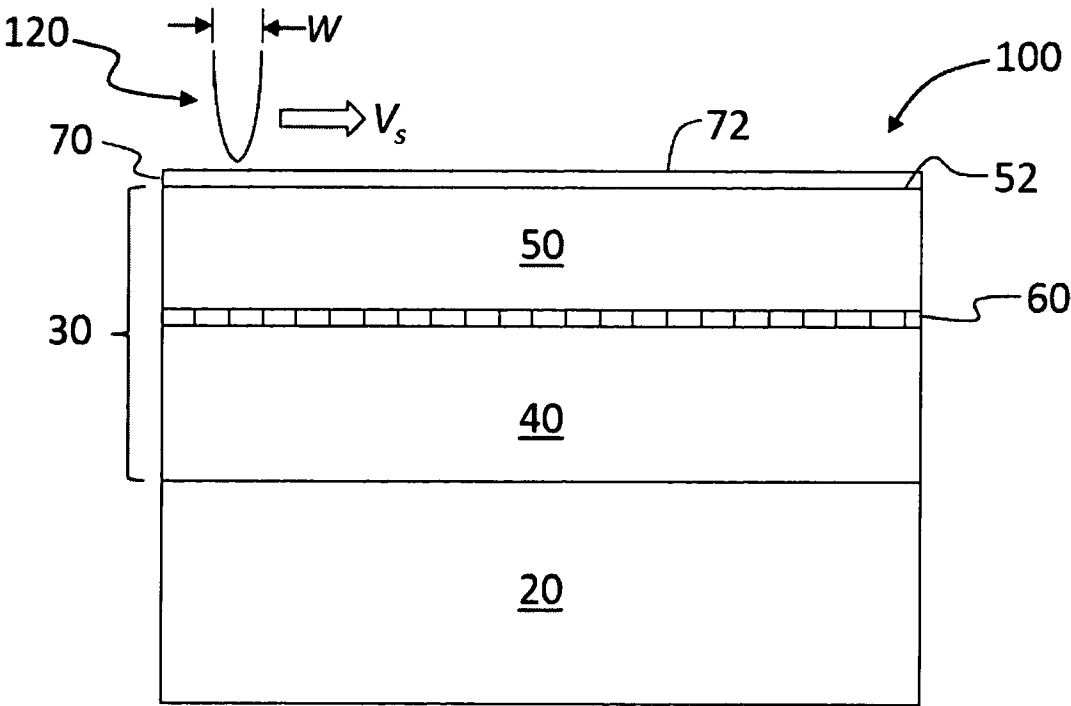
第 3 圖



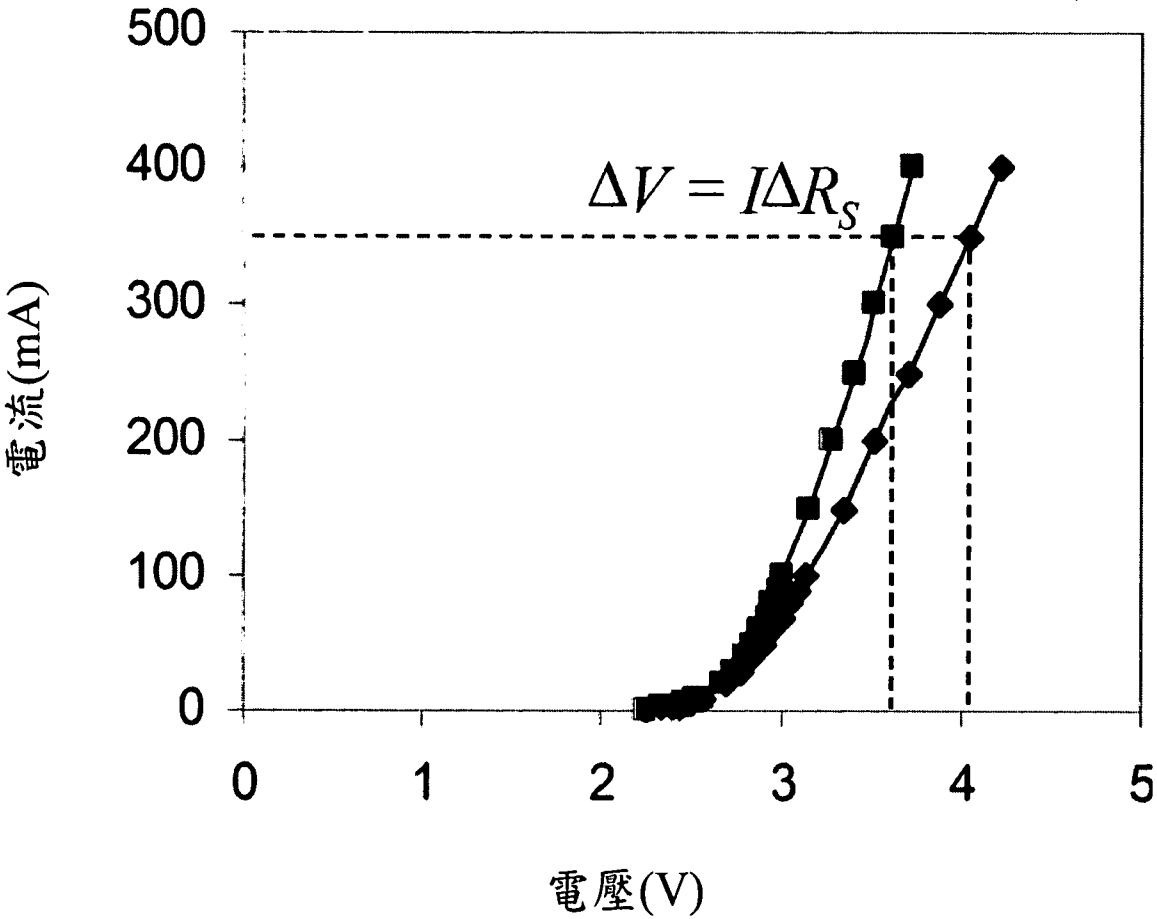
第 4 圖



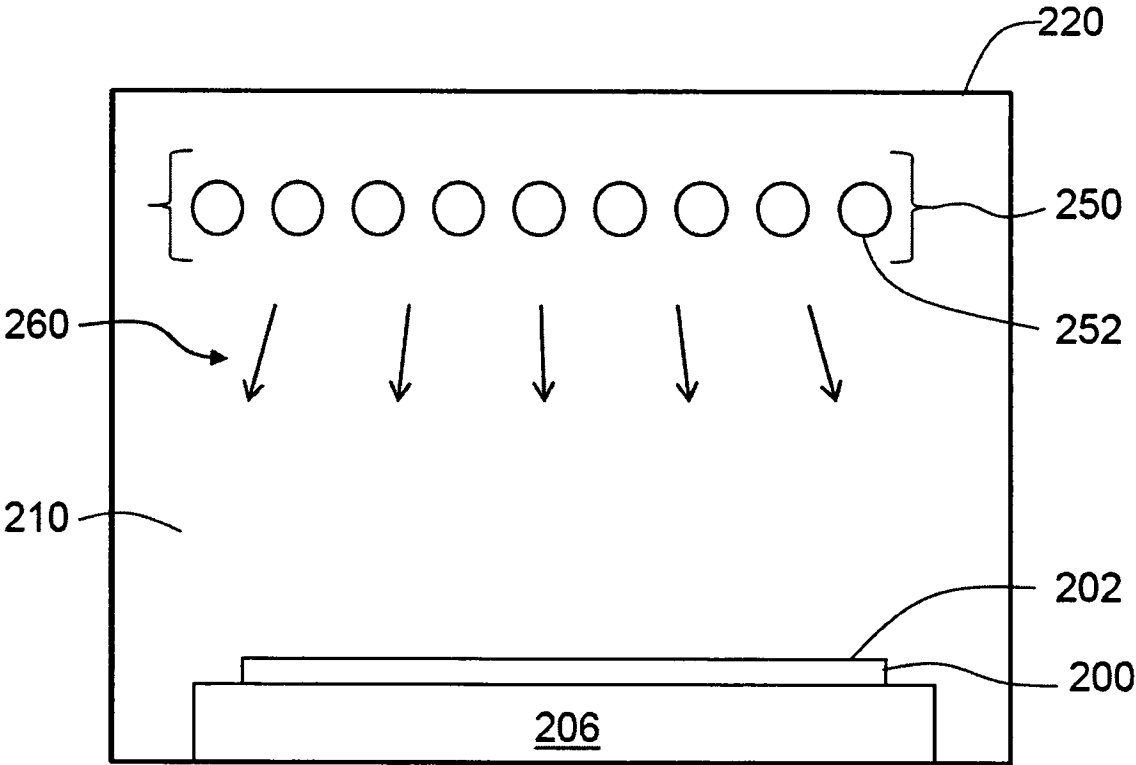
第 5 圖



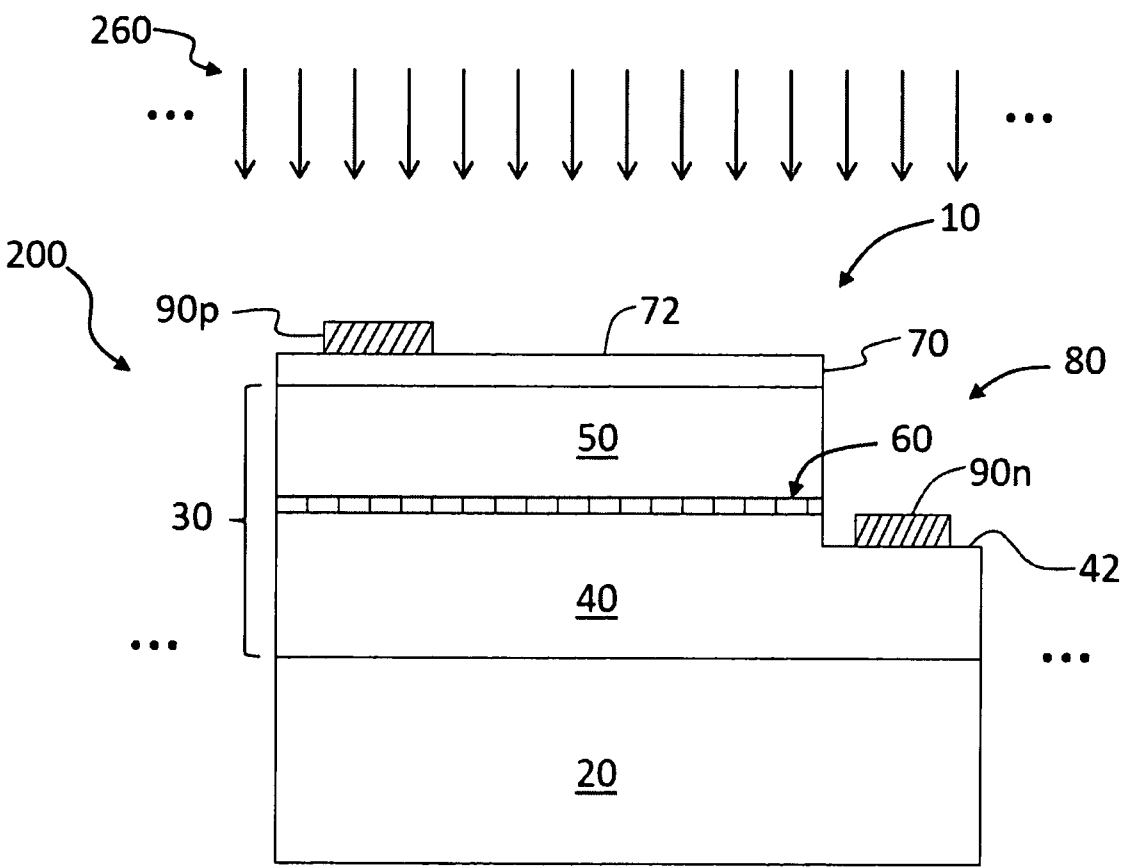
第 6 圖



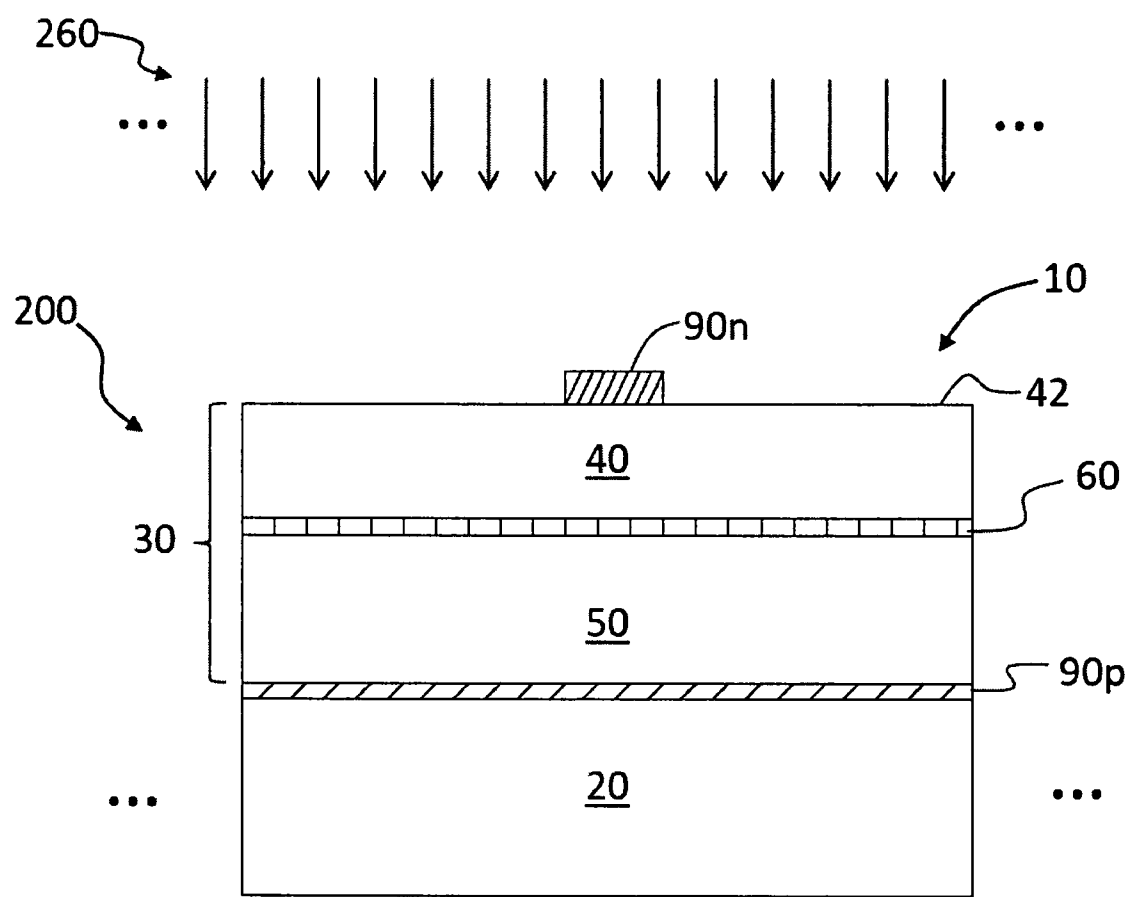
第 9 圖



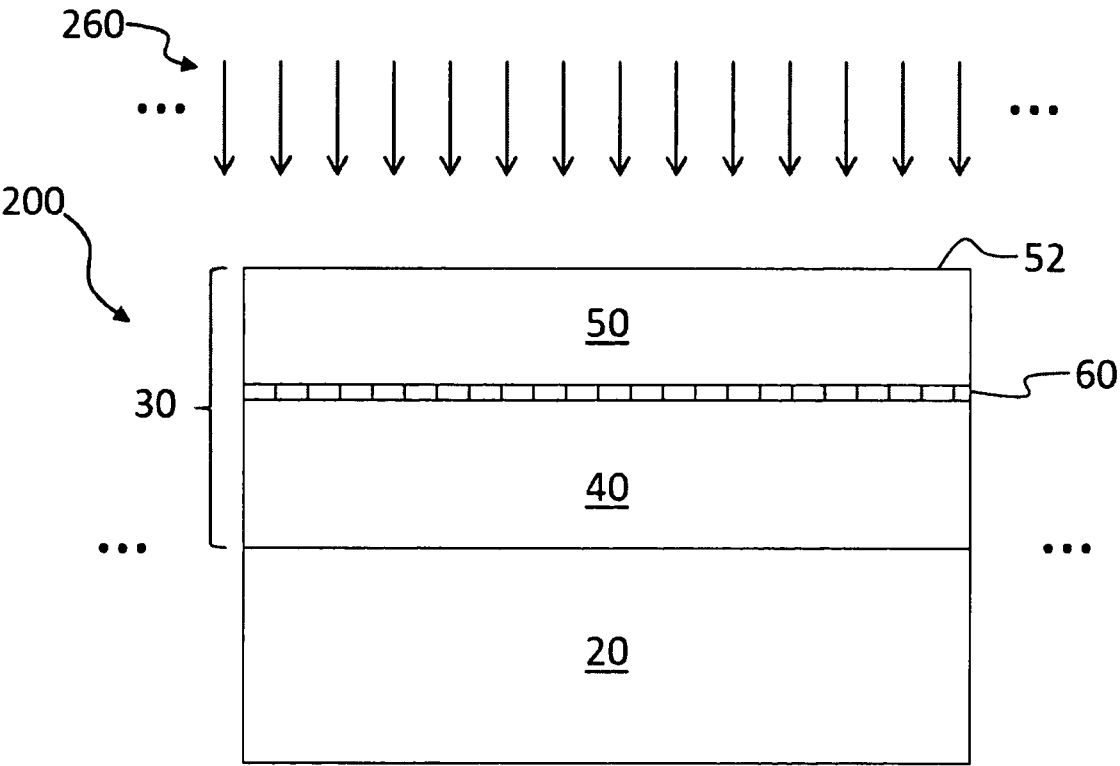
第 10 圖



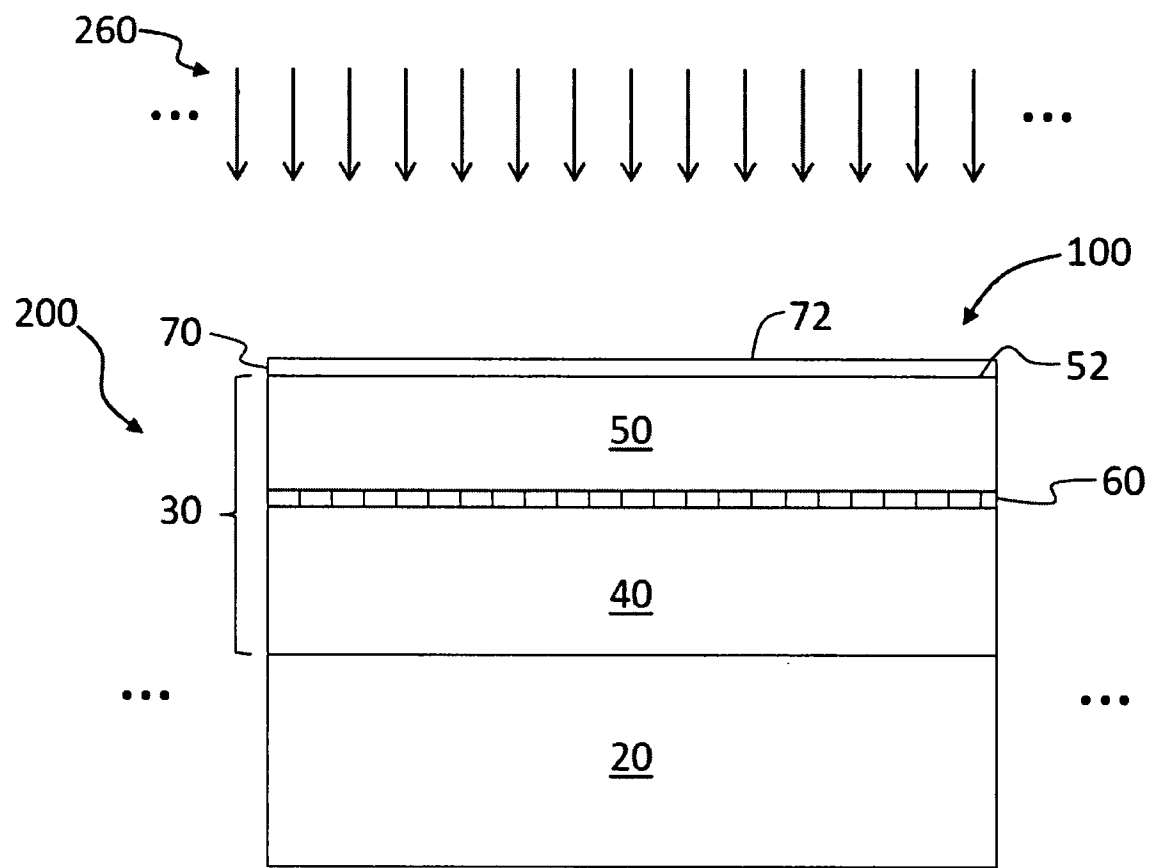
第 11 圖



第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖