

# 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：97 1 1 7 3 2 1

※ 申請日期：97. 5. 09

※IPC 分類：H01K33/00 (2010.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

發光二極體結構及其製造方法

Light Emitting Device and Fabrication Method Therefor

## 二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)(簽章)

國立交通大學 / National Chiao Tung University.

指定 為應受送達人

代表人：(中文/英文)(簽章) 吳重雨/Chung-Yu Wu

住居所或營業所地址：(中文/英文)

300 新竹市大學路 1001 號

1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC

國 籍：(中文/英文) 中華民國/TW

## 三、發明人：(共 2 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 張俊彥 / Chun-Yen Chang

2. 楊宗煒 / Tsung Hsi Yang

國 籍：(中文/英文)

1. 中華民國/TW

2. 中華民國/TW

#### 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.

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

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。

## 五、中文發明摘要：

本發明係提供一種發光二極體 (LED) 結構，該發光二極體係包含一四族半導體構成之基板，一 AlN 成核層，形成於該四族基板上，一 GaN 磊晶層，形成於該 AlN 成核層上，一分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構，形成於該圖型化之 GaN 磊晶層上，以及一 LED 作用層結構，形成於該 DBR 多層結構上。

## 六、英文發明摘要：

A light emitting device (LED) structure is provided. The LED structure includes a Group IV-based substrate, an AlN nucleation layer formed on the Group IV-based substrate, a GaN epitaxial layer formed on the AlN nucleation layer, a distributed Bragg reflector (DBR) multi-layer structure is formed on the pattern-GaN epitaxial layer, and an LED active layer is formed on the DBR multi-layer structure.

## 七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(3)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

12	四族基板	14	成核層
16	磊晶層	18	DBR多層結構
20	緩衝層	30	LED作用層結構
31	n型AlGaIn層	32	n型GaIn層
33	MQWs作用層	34	p型AlGaIn層
35	p型GaIn層	100	LED結構

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係與發光二極體有關，尤其是與一生長在四族半導體基板上之三族氮化物發光二極體有關。

### 【先前技術】

近年來，將三族氮化物（III nitride）發光二極體（LED）成長於四族半導體基板異質界面的技術，已逐漸受到相關產業的重視。欲將發光二極體成長於四族半導體基板（如矽基板上）上，除了係因矽基板較目前發光二極體產業所常用的藍寶石（sapphire）基板或碳化矽（SiC）基板較為便宜外，將發光二極體成長於矽基板上時更能夠與矽基板上的積體電路密切地整合，如此可改良或增加發光二極體可能的應用領域。

然而，將三族氮化物發光二極體成長於矽基板上時，通常會在矽基板與氮化物發光二極體異質界面上發生如晶格結構不匹配（mismatch）或熱膨脹係數差異等問題，因而造成發光二極體之磊晶結構品質不良，影響發光二極體發光特性。

例如，C. A. Tran 等人在 1999 年的 Applied Physics Letters 上曾公開一種利用 MOVPE 技術在矽（111）基板上成長 InGaN/GaN 之多層量子井（MQW）藍光（435 nm）LED，其於操作電壓 4V 時開始發光，惟其磊晶薄膜會因該磊晶薄膜與矽基板之間的張力而有裂痕產生。

另外，B. J. Zhang 等人在 2001 年的 Phys. Stat. Sol.

(a)上公開一種在矽(111)基板上成長 MQW LED 之技術，該技術係利用 MOCVD 技術在  $1130^{\circ}\text{C}$  下成長 n 型 AlN/AlGaN (120/380 nm) 緩衝層，接著成長  $0.2\ \mu\text{m}$  的 n-GaN，再成長厚度 3 nm 之  $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$  量子井及厚度 5 nm 之  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  電障層，接著再成長 20 nm p 型摻雜(p-doped)的  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  及  $0.2\ \mu\text{m}$  的 p-GaN 覆蓋層。雖然這樣的 LED 結構並沒有裂痕產生，但在  $1130^{\circ}\text{C}$  的製程條件下成長 n 型 AlN/AlGaN 緩衝層時，極容易形成 AlSi 合金 (Al 與 Si 的共熔點溫度約為  $577^{\circ}\text{C}$ )，進而影響後續的磊晶品質。

另外，A. Dadgar 等人亦在 2001 年的 Phys. Stat. Sol. (a)上公開一種利用在矽基板上成長一無裂痕之  $3.6\ \mu\text{m}$  厚 GaN 以作為 LED 之技術。該技術主要係利用濺鍍法沉積圖形化(patterned)之氮化矽於矽基板上，接著於預先沉積的鋁層上成長摻雜矽(Si-doped)之 AlN 層、15 對之 AlGaN/GaN 多層結構、300 nm 之 GaN:Si 結構以及三層之 InGaN/GaN 量子井結構。此一 LED 結構雖然無裂痕產生，但圖形化之氮化矽佔據矽基板上的面積，因此將會造成可使用的 LED 有效使用面積變小，降低產能。

另外，請參閱第 1 圖 (A) 及第 1 圖 (B) 所示，其係為 Johji NiShio 等人於美國專利 US 5,786,606 上所公開的一種利用 MOCVD 技術於 SiC、Si 及 SOI (silicon on insulator) 基板上形成氮化物 LED 之結構。該專利技術所揭露之主要概念係在 Si 或 SiC 基板上形成  $\text{SiO}_2$  後，接著形成 Si，再成長 LED 結構，之後再利用濕式蝕刻將氧化層去

除掉而得出如第 1 圖 (A) 或第 1 圖 (B) 所示之薄型 LED 結構。然而，此方法的製程步驟較為繁複，不易降低製作成本。

綜合以上所述，申請人鑑於習知技術中對於生長於矽基板上之氮化物發光二極體仍存在許多亟待克服的缺陷，遂經過悉心試驗與研究，並一本鍥而不捨之精神，終於構思出本案一種全新的氮化物發光二極體結構及其製造方法，以克服前述之諸多缺失。

### 【發明內容】

本發明之第一構想係提出一種發光二極體 (LED) 結構，其至少包含一四族基板；一 AlN 成核層，形成於該四族基板上；一 GaN 磊晶層，形成於該 AlN 成核層上；一分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構，形成於該圖型化之 GaN 磊晶層上；以及一 LED 作用層結構，形成於該 DBR 多層結構上。

根據上述構想，其中該 LED 結構更包含一 GaN 緩衝層，形成於該 DBR 多層結構與該 LED 作用層結構之間。

根據上述構想，其中該 DBR 多層結構係為一三族氮化物分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構。

根據上述構想，其中該 GaN 磊晶層係為一圖型化 (patterned) 之磊晶層。

根據上述構想，其中該 DBR 多層結構係為一圖型化 (patterned) 之多層結構。

根據上述構想，其中該 LED 作用層結構更包含一 n 型

AlGa<sub>N</sub> 層；一 n 型 Ga<sub>N</sub> 層，形成於該 n 型 AlGa<sub>N</sub> 層上；一多層量子井 (MQW) 作用層，形成於該 n 型 Ga<sub>N</sub> 層上；一 p 型 AlGa<sub>N</sub>，形成於該 MQW 作用層上；以及一 p 型 Ga<sub>N</sub> 層，形成於該 p 型 AlGa<sub>N</sub> 上。

根據上述構想，其中該 DBR 多層結構係具有一反射斜面與一垂直線成 64 度。

本發明之又一構想係提出一種發光二極體 (LED) 結構，其至少包含一具有分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構之基板；一 Ga<sub>N</sub> 緩衝層，形成於該基板上；以及一 LED 作用層結構，形成於該 Ga<sub>N</sub> 緩衝層上。

根據上述構想，其中，該基板係包含一四族 (Group IV-based) 基板；一成核層；形成於該四族基板上；一圖型化 (patterned) 之磊晶層；形成於該成核層上；以及一圖型化之 DBR 多層結構，形成於該圖型化之磊晶層上。

根據上述構想，其中該 DBR 多層結構係為一三族氮化物分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構。

根據上述構想，其中該成核層係為一 AlN 擴散阻障層。

根據上述構想，其中該磊晶層係為一圖型化 (patterned) 之 Ga<sub>N</sub> 磊晶層。

根據上述構想，其中該 LED 作用層結構更包含一 n 型 AlGa<sub>N</sub> 層，形成於該 Ga<sub>N</sub> 緩衝層上；一 n 型 Ga<sub>N</sub> 層，形成於該 n 型 AlGa<sub>N</sub> 層上；一多層量子井 (MQW) 作用層，形成於該 n 型 Ga<sub>N</sub> 層上；一 p 型 AlGa<sub>N</sub>，形成於該 MQW 作用層上；以及一 p 型 Ga<sub>N</sub> 層，形成於該 p 型 AlGa<sub>N</sub> 上。



根據上述構想，其中該 DBR 多層結構係具有一反射斜面與一垂直線成 64 度。

本發明之又一構想係提出一種發光二極體 (LED) 結構之製造方法，其至少包含下列步驟：(1) 提供一具有分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構之基板；(2) 提供一 GaN 緩衝層，形成於該具有 DBR 多層結構之基板上；以及 (3) 提供一 LED 作用層結構，形成於該 GaN 緩衝層上，其中該 GaN 緩衝層係利用側向成長形成於該具有 DBR 多層結構之基板上。

根據上述構想，其中，製作該具有 DBR 多層結構之基板係包含下列步驟：(A) 提供一四族 (Group IV-based) 基板；(B) 透過低溫成長技術，將一 AlN 擴散阻障層成於該四族基板上；(C) 成長一經過圖形化 (patterned) 之 GaN 磊晶層於該 AlN 擴散阻障層上；以及 (D) 成長一圖型化之 DBR 多層結構於該圖型化之 GaN 磊晶層上。

本發明得藉由下列之圖式及具體實施例的詳細說明，俾得一更深入之了解：

### 【實施方式】

請參閱第 2 圖，其係表示根據本發明之一具有圖型化三族氮化物分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構之基板結構。如該第 2 圖中所示，該基板 10 係由一四族 (Group IV-based) 基板 12 所構成，而於該四族基板 12 上，可透過低溫成長技術，將一成核層 14 形成於該四族基板上，其中，該成核層 14 通常係為一 AlN 層。而透過低溫成長技

術，可以盡量避免該 AlN 層中的 Al 與四族基板中的 Si 的共熔而產生 AlSi 合金，而影響後續磊晶結構的品質。另外，該 AlN 成核層 14 亦可作為一擴散阻障層阻擋四族基板中的 Si 擴散。在該 AlN 成核層 14 生長完成後，將一經過圖型化 (patterned) 之 GaN 磊晶層 16 生長於該 AlN 成核層 14 上，接著再按照該磊晶層 16 之圖案繼續形成一圖型化之分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構 18 於該 GaN 磊晶層 16 上。

請繼續參閱第 3 圖，在該具有 DBR 多層結構之基板 10 (如第 2 圖所示) 完成後，接著利用側向成長之方式將一 GaN 緩衝層 20 形成於該具有 DBR 多層結構之基板 10 上，接著再於該 GaN 緩衝層 20 上，形成一 LED 作用層結構 30，以在一具有 DBR 多層結構之基板上形成 LED 結構 100。

在本發明之一較佳具體實施例中，該分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構 18 係由一三族氮化物材料所構成。該 DBR 多層結構除了可以反射該 LED 作用層結構 30 所發出的光線，以降低基板 10 吸收光線外，亦具有阻擋缺陷向上傳遞及增加 LED 作用層得到高光線取出效率等優勢。在另一較佳實施例中，該 DBR 多層結構 18 (如第 2 圖所示) 係具有一反射斜面 181，該反射斜面 181 之傾斜角度對於 LED 結構 100 之光取出效率有很大之影響，其中，該反射斜面與垂直線呈 5 至 75 度時，該 LED 結構 100 具有相對較大之光取出效率，尤其是，當該反射斜面與垂直線呈 64 度時，光之取出效率為最高。

請繼續參閱第 3 圖所示，本發明之 LED 結構 100 主要係由一具有分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構之基板 10 以及形成於該基板 10 之上的 LED 作用層結構 30 所形成，其中一 GaN 緩衝層 20 係形成於該具有 DBR 多層結構之基板 10 與該 LED 作用層結構 30 之間。如前所述，該 GaN 緩衝層 20 係利用側向成長之方式形成，以使該緩衝層 20 中的應力得已完全釋放而呈現鬆弛狀態，如此可確保 LED 結構的磊晶品質。

請繼續參閱第 4 圖，其係表示第 3 圖之 LED 結構之 XRD 繞射圖譜。如該第 4 圖中所示，該 GaN 緩衝層 20 之峰值係為  $34.57^\circ$ ，由圖中可以看出其應力已經完全釋放。

在本發明之又一較佳具體實施例中，本發明之 LED 結構 100 係為一三族氮化物 LED 結構，其中該 LED 作用層結構 30 係包含一 n 型 AlGaIn 層 31，形成於該 GaN 緩衝層 20 上；一 n 型 GaN 層 32，形成於該 n 型 AlGaIn 層 31 上；一多層量子井 (MQW) 作用層 33，形成於該 n 型 GaN 層 32 上；一 p 型 AlGaIn 層 34，形成於該 MQW 作用層 33 上；以及一 p 型 GaN 層 35，形成於該 p 型 AlGaIn 層 34 上。

請進一步參閱第 5 圖，其係表示根據如本發明之第 3 圖所示之 LED 結構 100 於 13K 下的光激螢光分析圖。從該分析圖中可以看出，該中性施子束縛激子的半高寬為 38meV；另根據蝕刻方式可知其缺陷密度約為  $1 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ ，亦可說名本發明之 LED 結構 100 之磊晶結構品質良好。

本發明雖以上述數個較佳實施例揭露如上，然其並非

用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作些許之更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

### 【圖式簡單說明】

第 1 圖 (A) 及 (B) 係表示習知技術中的一種成長於矽、碳化矽基板上之氮化物發光二極體結構。

第 2 圖係表示本發明之一具有圖型化三族氮化物分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構之四族基板。

第 3 圖係表示根據本發明之一較佳具體實施例的發光二極體結構示意圖。

第 4 圖係表示根據第 3 圖之 LED 結構的 XRD 繞射圖譜。

第 5 圖係表示根據第 3 圖之 LED 結構於 13K 下的光激螢光分析圖。

### 【主要元件符號說明】

12	四族基板	14	成核層
16	磊晶層	18	DBR 多層結構
20	緩衝層	30	LED 作用層結構
31	n 型 AlGaIn 層	32	n 型 GaN 層
33	MQWs 作用層	34	p 型 AlGaIn 層
35	p 型 GaN 層	100	LED 結構
10	基板	181	反射斜面

## 十、申請專利範圍：

1. 一種發光二極體 (LED) 結構，包含：
  - 一四族基板；
  - 一 AlN 成核層，形成於該四族基板上；
  - 一 GaN 磊晶層，形成於該 AlN 成核層上；
  - 一分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構，形成於該 GaN 磊晶層上，其中該 DBR 多層結構係具有一反射斜面與一垂直線呈 5 至 75 度；以及
  - 一 LED 作用層結構，形成於該 DBR 多層結構上。
2. 如申請專利範圍第 1 項之 LED 結構，其中更包含一 GaN 緩衝層，形成於該 DBR 多層結構與該 LED 作用層結構之間。
3. 如申請專利範圍第 1 項之 LED 結構，其中該 DBR 多層結構係為一三族氮化物分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構。
4. 如申請專利範圍第 1 項之 LED 結構，其中該 GaN 磊晶層係為一圖型化 (patterned) 之磊晶層。
5. 如申請專利範圍第 1 項之 LED 結構，其中該 DBR 多層結構係為一圖型化 (patterned) 之多層結構。
6. 如申請專利範圍第 1 項之 LED 結構，其中該 LED 作用層結構更包含：
  - 一 n 型 AlGaIn 層；
  - 一 n 型 GaN 層，形成於該 n 型 AlGaIn 層上；
  - 一多層量子井 (MQW) 作用層，形成於該 n 型 GaN

層上；

- 一 p 型 AlGaIn 層，形成於該 MQW 作用層上；以及
- 一 p 型 GaN 層，形成於該 p 型 AlGaIn 層上。

7. 如申請專利範圍第 1 項之 LED 結構，其中該反射斜面與該垂直線呈 64 度。

8. 一種發光二極體 (LED) 結構，包含：

一具有分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構之基板，其中該 DBR 多層結構係具有一反射斜面與一垂直線呈 5 至 75 度；

- 一 GaN 緩衝層，形成於該基板上；以及
- 一 LED 作用層結構，形成於該 GaN 緩衝層上。

9. 如申請專利範圍第 8 項之 LED 結構，其中，該基板係包含：

- 一四族 (Group IV-based) 基板；
- 一成核層；形成於該四族基板上；
- 一圖型化 (patterned) 之磊晶層；形成於該成核層上；以及

一圖型化之 DBR 多層結構，形成於該圖型化之磊晶層上。

10. 如申請專利範圍第 9 項之 LED 結構，其中該 DBR 多層結構係為一三族氮化物分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構。

11. 如申請專利範圍第 9 項之 LED 結構，其中該成核層係為一 AlN 擴散阻障層。

12. 如申請專利範圍第 9 項之 LED 結構，其中該磊晶層係為一圖型化 (patterned) 之 GaN 磊晶層。
13. 如申請專利範圍第 8 項之 LED 結構，其中該 LED 作用層結構更包含：
  - 一 n 型 AlGaIn 層，形成於該 GaN 緩衝層上；
  - 一 n 型 GaN 層，形成於該 n 型 AlGaIn 層上；
  - 一多層量子井 (MQW) 作用層，形成於該 n 型 GaN 層上；
  - 一 p 型 AlGaIn 層，形成於該 MQW 作用層上；以及
  - 一 p 型 GaN 層，形成於該 p 型 AlGaIn 層上。
14. 如申請專利範圍第 9 項之 LED 結構，其中該反射斜面與該垂直線呈 64 度。
15. 一種發光二極體 (LED) 結構之製造方法，包含：
  - 提供一具有分散式布拉格反射鏡 (DBR) 多層結構之基板，其中該 DBR 多層結構係具有一反射斜面與一垂直線呈 5 至 75 度；
  - 提供一 GaN 緩衝層，形成於該具有 DBR 多層結構之基板上；以及
  - 提供一 LED 作用層結構，形成於該 GaN 緩衝層上，其中該 GaN 緩衝層係利用側向成長形成於該具有 DBR 多層結構之基板上。
16. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中，製作該具有 DBR 多層結構之基板係包含下列步驟：
  - 提供一四族 (Group IV-based) 基板；

透過低溫成長技術，將一 AlN 擴散阻障層成長於該四族基板上；

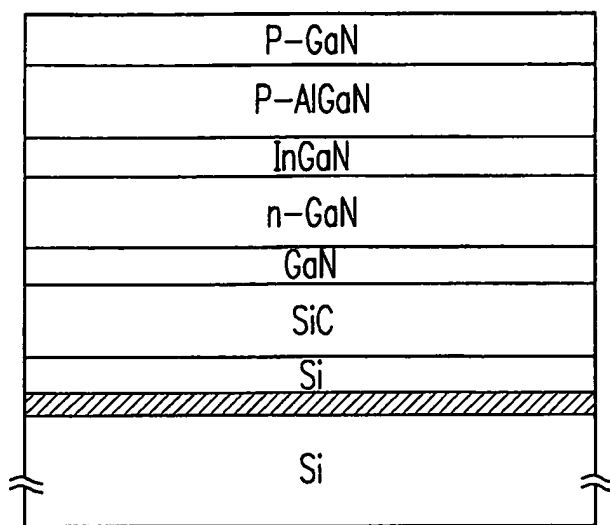
成長一經過圖形化 (patterned) 之 GaN 磊晶層於該 AlN 擴散阻障層上；以及

成長一圖形化之 DBR 多層結構於該圖形化之 GaN 磊晶層上。

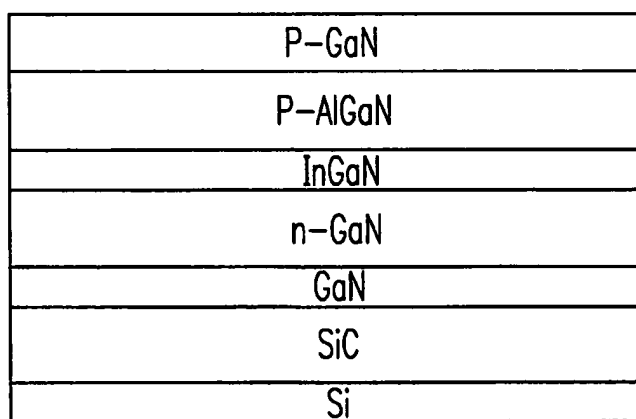
17. 如申請專利範圍第 15 項之製造方法，其中該反射斜面與該垂直線呈 64 度。



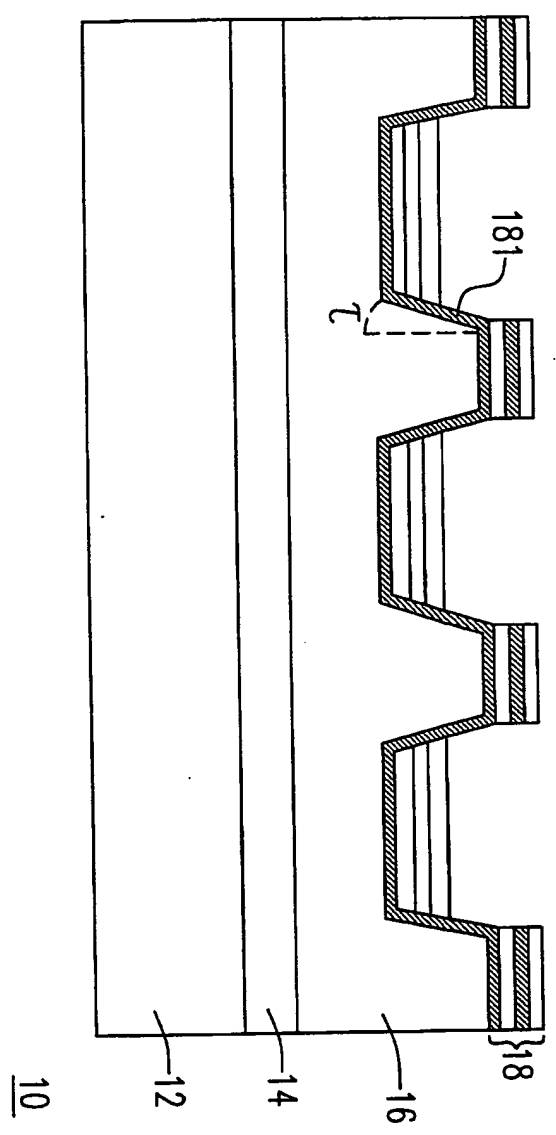
十一、圖式：



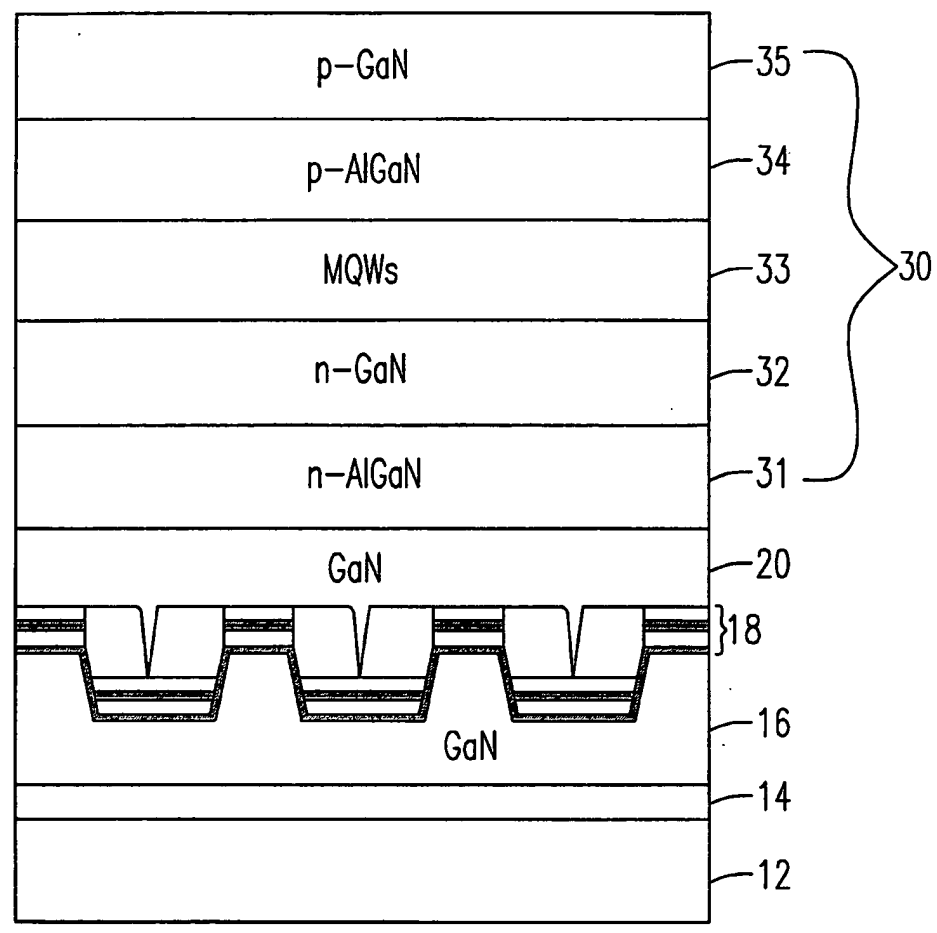
第1圖(A)



第1圖(B)

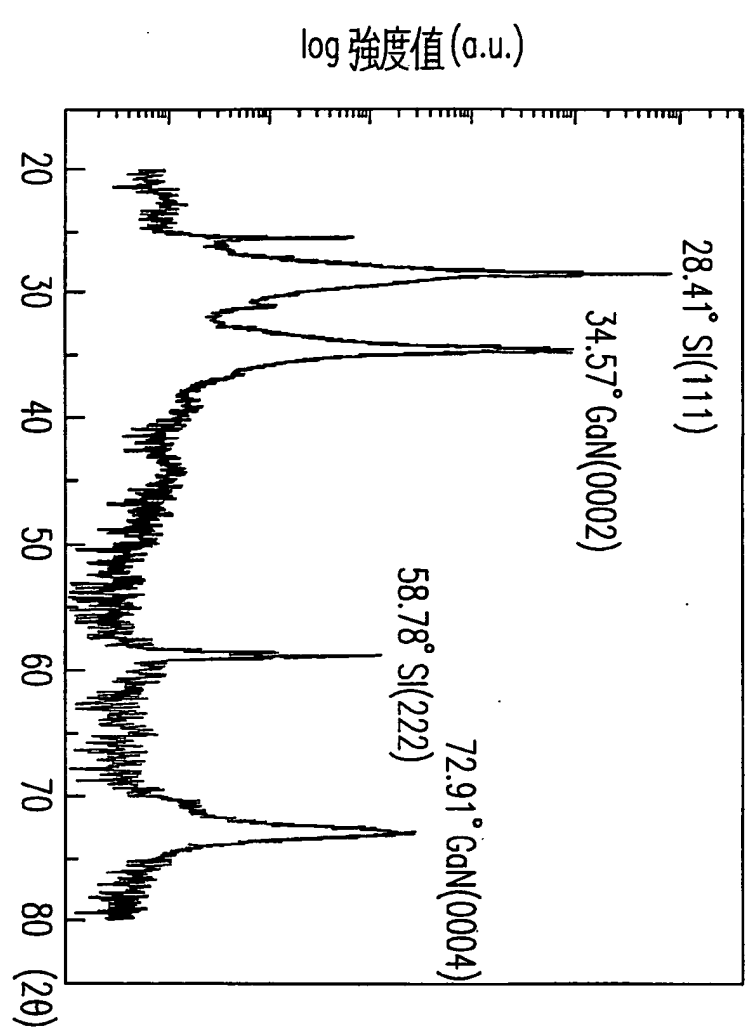


第2圖

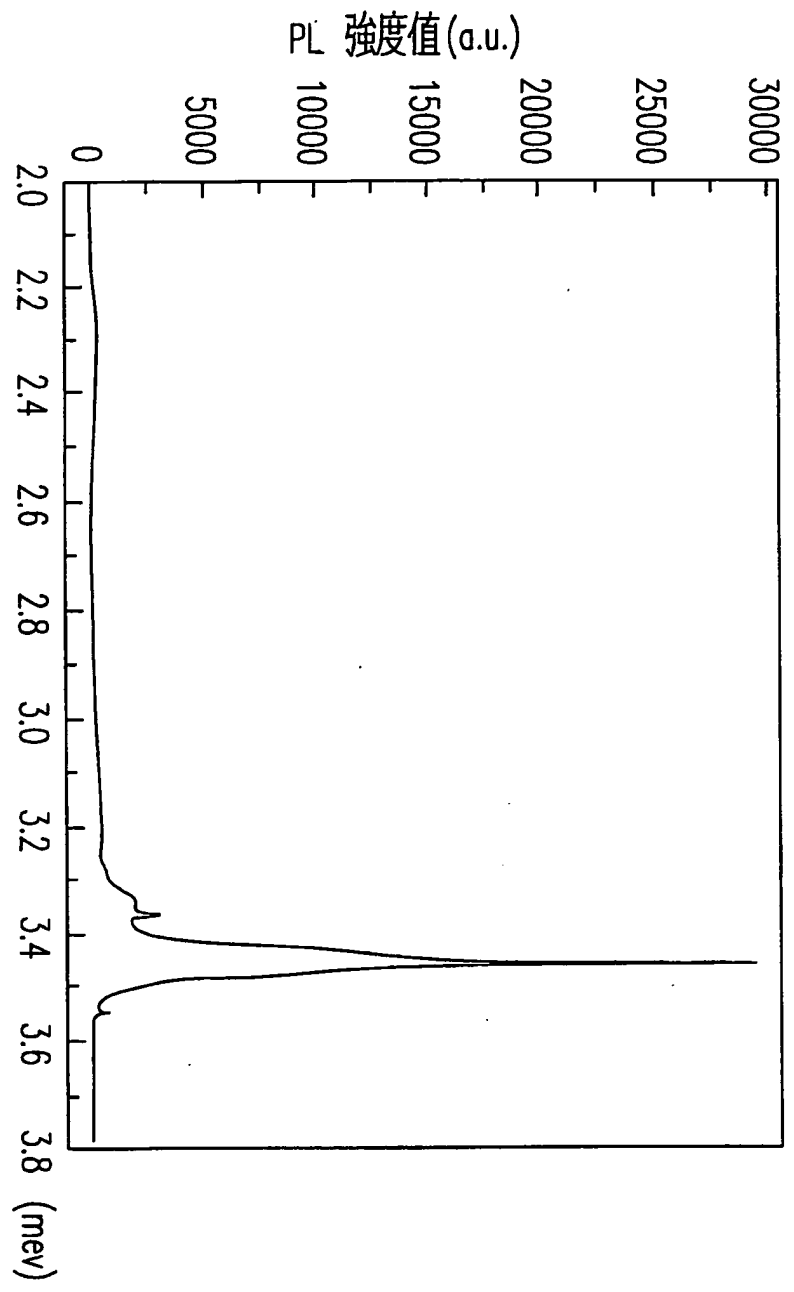


100

第3圖



第4圖



第5圖