



(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 I772715 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 08 月 01 日

(21)申請案號：108142106

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 11 月 20 日

(51)Int. Cl. : **H01L21/02 (2006.01)**

(71)申請人：環球晶圓股份有限公司 (中華民國) GLOBALWAFERS CO., LTD. (TW)

新竹市科學工業園區工業東二路 8 號

(72)發明人：劉嘉哲 LIU, JIA-ZHE (TW) ; 林子堯 LIN, TZU-YAO (TW) ; 施英汝 SHIH, YING-RU (TW)

(74)代理人：葉璟宗；卓俊傑

(56)參考文獻：

US 9680056B1

US 2018/0277363A1

審查人員：陳志遠

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：8 共 24 頁

(54)名稱

磊晶結構與半導體裝置

(57)摘要

一種磊晶結構與半導體裝置，所述磊晶結構至少包括：碳化矽基板、成核層以及氮化鎵層。成核層形成於碳化矽基板上，成核層的材料為摻雜有摻質的氮化鋁鎵，所述成核層的鋁含量沿厚度方向由高變低，成核層的晶格常數在 3.08 \AA ~ 3.21 \AA 之間，且成核層的摻雜濃度沿厚度方向由高變低。氮化鎵層則形成於所述成核層上。

An epitaxial structure and a semiconductor device are provided in which the epitaxial structure includes at least a SiC substrate, a nucleation layer, and a GaN layer. The nucleation layer is formed on the SiC substrate. The material of the nucleation layer is aluminum gallium nitride doped with a dopant, the Al content in the nucleation layer changes from high to low in the thickness direction, the lattice constant of the nucleation layer is between 3.08 \AA and 3.21 \AA , and the doping concentration of the nucleation layer changes from high to low in the thickness direction. The GaN layer is formed on the nucleation layer.

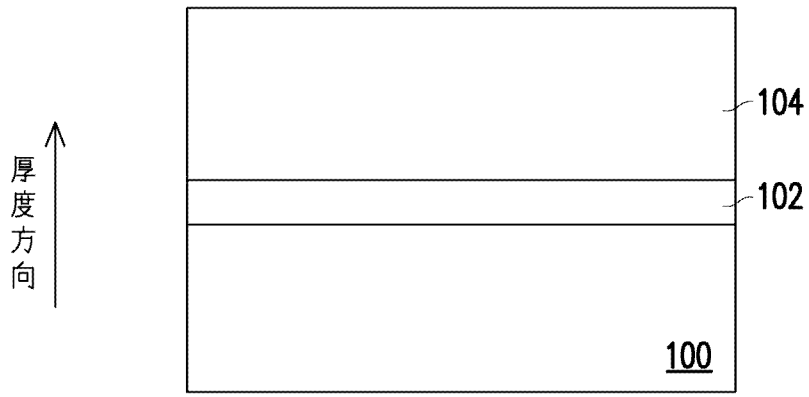
指定代表圖：

符號簡單說明：

100:碳化矽基板

102:成核層

104:氮化鎵層



【圖1】



I772715

【發明摘要】

【中文發明名稱】磊晶結構與半導體裝置

【英文發明名稱】EPITAXIAL STRUCTURE AND

SEMICONDUCTOR DEVICE

【中文】一種磊晶結構與半導體裝置，所述磊晶結構至少包括：碳化矽基板、成核層以及氮化鎵層。成核層形成於碳化矽基板上，成核層的材料為摻雜有摻質的氮化鋁鎵，所述成核層的鋁含量沿厚度方向由高變低，成核層的晶格常數在 3.08 \AA ~ 3.21 \AA 之間，且成核層的摻雜濃度沿厚度方向由高變低。氮化鎵層則形成於所述成核層上。

【英文】An epitaxial structure and a semiconductor device are provided in which the epitaxial structure includes at least a SiC substrate, a nucleation layer, and a GaN layer. The nucleation layer is formed on the SiC substrate. The material of the nucleation layer is aluminum gallium nitride doped with a dopant, the Al content in the nucleation layer changes from high to low in the thickness direction, the lattice constant of the nucleation layer is between 3.08 \AA and 3.21 \AA , and the doping concentration of the nucleation layer changes from high to low in the thickness direction. The GaN layer is formed on the nucleation layer.

【指定代表圖】圖1。

【代表圖之符號簡單說明】

100：碳化矽基板

102：成核層

104：氮化鎵層

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 磊晶結構與半導體裝置

【英文發明名稱】 EPITAXIAL STRUCTURE AND

SEMICONDUCTOR DEVICE

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種半導體結構，且特別是有關於一種磊晶結構與半導體裝置。

【先前技術】

【0002】 由於環保意識抬頭，車用充電器已成為重要發展事項。而且因為氮化鎵（GaN）與碳化矽（SiC）具有較高之耐壓、頻率與輸出功率等優點，所以目前最有可能取代傳統的矽功率元件。

【0003】 然而，因為氮化鎵與碳化矽的晶格不匹配較大以及能階差（ ΔE_g 較大），故容易導致元件缺陷密度增加與順向電壓 V_f 增加，並不利於傳導性。

【發明內容】

【0004】 本發明提供一種磊晶結構，可改善傳統異質接面的問題，以提升磊晶特性與元件電性。

【0005】 本發明另提供一種半導體裝置，能提升元件電性。

【0006】 本發明的磊晶結構包括碳化矽基板、成核層以及氮化鎵

層。成核層形成於碳化矽基板上，成核層的材料為摻雜有摻質的氮化鋁鎵，成核層的晶格常數在 $3.08 \text{ \AA} \sim 3.21 \text{ \AA}$ 之間，成核層的鋁含量沿厚度方向由高變低，且成核層的摻雜濃度沿厚度方向由高變低，所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 1E20 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $1E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ 。氮化鎵層則形成於所述成核層上。

【0007】 在本發明的一實施例中，上述成核層中的摻質包括矽、鐵、鎂或碳。

【0008】 在本發明的一實施例中，上述成核層的鋁含量沿厚度方向為漸變式降低，上述摻雜濃度沿厚度方向為漸變式降低，上述成核層的晶格常數沿厚度方向為漸變式增加，且鋁含量的起始值為 80 原子%~100 原子%，鋁含量的結束值為 0~20 原子%，鋁含量的漸變斜率為 $-0.1 \text{ 原子\%/nm} \sim -20 \text{ 原子\%/nm}$ 。摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，摻雜濃度的結束值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。晶格常數的起始值為 $3.11 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，晶格常數的結束值為 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ 。成核層的能隙則沿厚度方向從 $6.13 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低。

【0009】 在本發明的一實施例中，上述成核層的鋁含量沿厚度方向為漸變式降低，上述摻雜濃度沿厚度方向為漸變式降低，上述成核層的晶格常數沿厚度方向為漸變式增加，且鋁含量的起始值為 10 原子%~60 原子%，鋁含量的結束值為 0~20 原子%，鋁含量的漸變斜率為 $-0.1 \text{ 原子\%/nm} \sim -20 \text{ 原子\%/nm}$ 。所述摻雜濃度的起始

值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。晶格常數的起始值為 $3.151 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，晶格常數的結束值為 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ 。成核層的能隙則沿厚度方向從 $4.78 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低。

【0010】 在本發明的一實施例中，上述成核層的鋁含量沿厚度方向為步階式降低，上述摻雜濃度沿厚度方向為步階式降低，上述成核層的晶格常數沿厚度方向為步階式增加，且鋁含量的起始值為 80 原子%~100 原子%，鋁含量的結束值為 0~20 原子%，鋁含量的步階斜率為 -0.1 原子%/步階~-50 原子%/步階。所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。晶格常數的起始值為 $3.11 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，晶格常數的結束值為 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ 。成核層的能隙則沿厚度方向從 $6.13 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低。

【0011】 在本發明的一實施例中，上述成核層的鋁含量沿厚度方向為步階式降低，上述摻雜濃度沿厚度方向為步階式降低，上述成核層的晶格常數沿厚度方向為步階式增加，且鋁含量的起始值為 10 原子%~60 原子%，鋁含量的結束值為 0~20 原子%，鋁含量的步階斜率為 -0.1 原子%/步階~-50 原子%/步階。所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。晶格常數的起始值為 $3.151 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，晶格常數的結束值為 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ 。成核層的能隙則沿厚度方向從 $4.78 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低。

【0012】 在本發明的一實施例中，上述成核層的鋁含量沿厚度方向為步階漸變式降低，上述摻雜濃度沿厚度方向為步階漸變式降低，上述成核層的晶格常數沿厚度方向為步階漸變式增加，且鋁含量的起始值為 80 原子%~100 原子%，鋁含量的結束值為 0~20 原子%，鋁含量的漸變斜率為-0.1 原子%/nm~-50 原子%/nm，鋁含量的步階斜率為-0.1 原子%/步階~-50 原子%/步階。所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。晶格常數的起始值為 $3.11\pm 0.03 \text{ \AA}$ ，晶格常數的結束值為 $3.18\pm 0.03 \text{ \AA}$ 。成核層的能隙則沿厚度方向從 $6.13\pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42\pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低。

【0013】 在本發明的一實施例中，上述成核層的鋁含量沿厚度方向為步階漸變式降低，上述摻雜濃度沿厚度方向為步階漸變式降低，上述成核層的晶格常數沿厚度方向為步階漸變式增加，且鋁含量的起始值為 10 原子%~60 原子%，鋁含量的結束值為 0~20 原子%，鋁含量的漸變斜率為-0.1 原子%/nm~-50 原子%/nm，鋁含量的步階斜率為-0.1 原子%/步階~-50 原子%/步階。所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。晶格常數的起始值為 $3.151\pm 0.03 \text{ \AA}$ ，晶格常數的結束值為 $3.18\pm 0.03 \text{ \AA}$ 。成核層的能隙則沿厚度方向從 $4.78\pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42\pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低。

【0014】 在本發明的一實施例中，上述成核層是由 2 至 50 層的薄膜層所構成。

【0015】 本發明的半導體裝置包括上述的磊晶結構。

【0016】 基於上述，本發明藉由設置於碳化矽基板與氮化鎵層之間具有特定摻雜濃度變化之氮化鋁鎵作為成核層，來提升氮化鎵與碳化矽之間的晶格匹配性，並藉此降低元件缺陷密度與順向電壓，進而提升元件電性。

【0017】 為讓本發明的上述特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式作詳細說明如下。

【圖式簡單說明】

【0018】

圖 1 是依照本發明的一實施例的一種磊晶結構的剖面示意圖。

圖 2 是上述實施例的部分磊晶結構沿厚度方向的摻雜濃度、能階及晶格常數的曲線圖。

圖 3 是上述實施例的部分磊晶結構沿厚度方向的摻雜濃度、能階及晶格常數的曲線圖。

圖 4 是上述實施例的部分磊晶結構沿厚度方向的摻雜濃度、能階及晶格常數的曲線圖。

圖 5 是上述實施例的部分磊晶結構沿厚度方向的摻雜濃度、能階及晶格常數的曲線圖。

圖 6 是上述實施例的部分磊晶結構沿厚度方向的摻雜濃度、能階及晶格常數的曲線圖。

圖 7 是上述實施例的部分磊晶結構沿厚度方向的摻雜濃度、能階及晶格常數的曲線圖。

圖 8 是依照本發明的另一實施例的一種半導體裝置的剖面示意圖。

【實施方式】

【0019】 下文列舉一些實施例並配合所附圖式來進行詳細地說明，但所提供的實施例並非用以限制本發明所涵蓋的範圍。此外，圖式僅以說明為目的，並未依照原尺寸作圖。為了方便理解，下述說明中相同的元件將以相同之符號標示來說明。

【0020】 圖 1 是依照本發明的一實施例的一種磊晶結構的剖面示意圖。

【0021】 請參照圖 1，本實施例的磊晶結構包括碳化矽基板 100、成核層 102 以及氮化鎵層 104。成核層 102 形成於碳化矽基板 100 上，成核層 102 的材料為摻雜有摻質的氮化鋁鎵 ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ， x 小於 1)，成核層 102 的晶格常數在 3.08 \AA ~ 3.21 \AA 之間，成核層 102 的鋁含量沿厚度方向由高變低，且成核層 102 的摻雜濃度沿厚度方向由高變低。在一實施例中，所述摻雜濃度的起始值在 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $1\text{E}20 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $1\text{E}18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $5\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ 。氮化鎵層 104 則形成於成核層 102 上，且碳化矽基板 100、成核層 102 以及氮化鎵層 104 的導電態均可為 n+型，但本發明並不限於此。在本實施例中，成核層的厚度例如在 1 nm ~ 1000 nm 之間，較

佳為 1 nm~200 nm。此外，圖 1 雖然顯示的是一整層的成核層 102，但應知成核層 102 於厚度方向上可由多個薄膜層組成，且在本文中所敘述的一個「薄膜層」的定義為氮化鋁鎵 ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$) 中 x 值的一種變化，其中成核層 102 例如是由 2 至 50 層的薄膜層所構成。成核層 102 的鋁含量還可沿厚度方向為漸變式降低、步階式降低或步階漸變式降低。關於上述鋁含量變化將於下文詳述。

【0022】 請繼續參照圖 1，成核層 102 中的摻質例如矽、鐵、鎂或碳；若是以碳化矽基板 100 與氮化鎵層 104 之間的晶格匹配來看，摻質較佳是矽。而且，成核層 102 的摻雜濃度可沿厚度方向為漸變式降低、步階式降低或步階漸變式降低。關於上述摻雜濃度變化將於下文詳述。

【0023】 本實施例設置於碳化矽基板 100 與氮化鎵層 104 之間的成核層 102，因為其中特定摻雜濃度變化，可改善磊晶結構的晶格匹配性，並藉此降低元件缺陷密度與順向電壓，進而提升元件電性。

【0024】 圖 2 至圖 7 是上述實施例的不同示例性磊晶結構沿厚度方向的摻雜濃度、能階及晶格常數的曲線圖。

【0025】 在圖 2 的成核層 102 中，摻雜濃度沿厚度方向為漸變式降低，晶格常數沿厚度方向為漸變式增加，文中的「漸變式降低或增加」是指沿厚度方向連續降低或增加。在以矽為摻質的一實施例中，所述摻雜濃度的起始值在 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3}\sim 1\text{E}20 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3}\sim 5\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ ；所述摻雜濃度的結束值在 $1\text{E}18 \text{ cm}^{-3}\sim 5\text{E}19$

cm^{-3} ，較佳為 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 2\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ 。成核層 102 的晶格常數的起始值例如 $3.11 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.11 \pm 0.01 \text{ \AA}$ ；晶格常數的結束值例如 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.18 \pm 0.01 \text{ \AA}$ 。成核層 102 的能隙 (E_g) 例如沿厚度方向從 $6.13 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低，較佳為從 $6.13 \pm 0.5 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 0.5 \text{ eV}$ 漸變式降低。此外，圖 2 雖未顯示成核層 102 的鋁含量，但在此條件下，鋁含量沿厚度方向是漸變式降低，且鋁含量的起始值例如 80 原子%~100 原子%，較佳為 90 原子%~100 原子%；鋁含量的結束值例如 0~20 原子%，較佳為 0~10 原子%；鋁含量的漸變斜率例如 $-0.1 \text{ 原子\%/nm} \sim -20 \text{ 原子\%/nm}$ ，較佳為 $-0.1 \text{ 原子\%/nm} \sim -10 \text{ 原子\%/nm}$ 。

【0026】 在圖 3 的成核層 102 中，摻雜濃度沿厚度方向為漸變式降低，晶格常數沿厚度方向為漸變式增加。在以矽為摻質的一實施例中，所述摻雜濃度的起始值在 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 1\text{E}20 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 5\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ ；摻雜濃度的結束值在 $1\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 5\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 2\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ 。成核層 102 的晶格常數的起始值例如 $3.151 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.151 \pm 0.01 \text{ \AA}$ ；晶格常數的結束值例如 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.18 \pm 0.01 \text{ \AA}$ 。成核層 102 的能隙則沿厚度方向從 $4.78 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 漸變式降低，較佳為從 $4.78 \pm 0.5 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 0.5 \text{ eV}$ 漸變式降低。此外，圖 3 雖未顯示成核層 102 的鋁含量，但在此條件下，鋁含量沿厚度方向是漸變式降低，且鋁含量的起始值例如 10 原子%~60 原子%，較佳為 40 原子%~60 原子%；鋁含量的結束值例如 0~20 原子%，較佳為 0~10 原子%；鋁含

量的漸變斜率例如-0.1 原子%/nm~-20 原子%/nm，較佳為-0.1 原子%/nm~-10 原子%/nm。

【0027】 在圖 4 的成核層 102 中，摻雜濃度沿厚度方向為步階式降低，晶格常數沿厚度方向為步階式增加，文中的「步階式降低或增加」是指沿厚度方向逐步降低或增加，例如圖中有多個步階式區段，每個步階式區段內的數值不變。在以矽為摻質的一實施例中，所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 1E20 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ；摻雜濃度的結束值在 $1E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。成核層 102 的晶格常數的起始值例如 $3.11 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.11 \pm 0.01 \text{ \AA}$ ；晶格常數的結束值例如 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.18 \pm 0.01 \text{ \AA}$ 。成核層 102 的能隙例如沿厚度方向從 $6.13 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 步階式降低，較佳為從 $6.13 \pm 0.5 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 0.5 \text{ eV}$ 步階式降低。此外，圖 4 雖未顯示成核層 102 的鋁含量，但在此條件下，鋁含量沿厚度方向是步階式降低，且鋁含量的起始值例如 80 原子%~100 原子%，較佳為 90 原子%~100 原子%；鋁含量的結束值例如 0~20 原子%，較佳為 0~10 原子%；鋁含量的步階斜率例如-0.1 原子%/步階~-50 原子%/步階，較佳為-0.1 原子%/步階~-10 原子%/步階。

【0028】 在圖 5 的成核層 102 中，摻雜濃度沿厚度方向為步階式降低，晶格常數沿厚度方向為步階式增加。在以矽為摻質的一實施例中，所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 1E20 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ；摻雜濃度的結束值在 $1E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，

較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。成核層 102 的晶格常數的起始值例如 $3.151 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.151 \pm 0.01 \text{ \AA}$ ；晶格常數的結束值例如 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.18 \pm 0.01 \text{ \AA}$ 。成核層 102 的能隙則沿厚度方向從 $4.78 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 步階式降低，較佳為從 $4.78 \pm 0.5 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 0.5 \text{ eV}$ 步階式降低。此外，圖 5 雖未顯示成核層 102 的鋁含量，但在此條件下，鋁含量沿厚度方向是步階式降低，且鋁含量的起始值例如 10 原子%~60 原子%，較佳為 40 原子%~60 原子%；鋁含量的結束值例如 0~20 原子%，較佳為 0~10 原子%；鋁含量的步階斜率例如 $-0.1 \text{ 原子\%/步階} \sim -50 \text{ 原子\%/步階}$ ，較佳為 $-0.1 \text{ 原子\%/步階} \sim -10 \text{ 原子\%/步階}$ 。

【0029】在圖 6 的成核層 102 中，摻雜濃度沿厚度方向為步階漸變式降低，晶格常數沿厚度方向為步階漸變式增加，且文中的「步階漸變式降低或增加」是指沿厚度方向由一段步階區域 106a 與一段漸變區域 106b 降低或增加的變化。在以矽為摻質的一實施例中，所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 1E20 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ；摻雜濃度的結束值在 $1E18 \text{ cm}^{-3} \sim 5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3} \sim 2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。成核層 102 的晶格常數的起始值例如 $3.11 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.11 \pm 0.01 \text{ \AA}$ ；晶格常數的結束值例如 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.18 \pm 0.01 \text{ \AA}$ 。成核層 102 的能隙例如沿厚度方向從 $6.13 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 步階漸變式降低，較佳為從 $6.13 \pm 0.5 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 0.5 \text{ eV}$ 步階漸變式降低。此外，圖 6 雖未顯示成核層 102 的鋁含量，但在此條件下，鋁含量沿厚度方向是步階漸變式降

低，且鋁含量的起始值例如 80 原子%~100 原子%，較佳為 90 原子%~100 原子%；鋁含量的結束值例如 0~20 原子%，較佳為 0~10 原子%；鋁含量的漸變斜率例如 -0.1 原子%/nm~-50 原子%/nm，較佳為 -0.1 原子%/nm~-20 原子%/nm；鋁含量的步階斜率例如 -0.1 原子%/步階~-50 原子%/步階，較佳為 -0.1 原子%/步階~-10 原子%/步階。

【0030】在圖 7 的成核層 102 中，摻雜濃度沿厚度方向為步階漸變式降低，晶格常數沿厚度方向為步階漸變式增加。在以矽為摻質的一實施例中，所述摻雜濃度的起始值在 $5E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $1E20 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $5E19 \text{ cm}^{-3}$ ；摻雜濃度的結束值在 $1E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $5E19 \text{ cm}^{-3}$ ，較佳為 $5E18 \text{ cm}^{-3}$ ~ $2E19 \text{ cm}^{-3}$ 。成核層 102 的晶格常數的起始值為 $3.151 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.151 \pm 0.01 \text{ \AA}$ ；晶格常數的結束值例如 $3.18 \pm 0.03 \text{ \AA}$ ，較佳為 $3.18 \pm 0.01 \text{ \AA}$ 。成核層 102 的能隙則沿厚度方向從 $4.78 \pm 1 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 1 \text{ eV}$ 步階漸變式降低，較佳為從 $4.78 \pm 0.5 \text{ eV}$ 至 $3.42 \pm 0.5 \text{ eV}$ 步階漸變式降低。此外，圖 7 雖未顯示成核層 102 的鋁含量，但在此條件下，鋁含量沿厚度方向為步階漸變式降低，且鋁含量的起始值例如 10 原子%~60 原子%，較佳為 40 原子%~60 原子%；鋁含量的結束值例如 0~20 原子%，較佳為 0~10 原子%；鋁含量的漸變斜率例如 -0.1 原子%/nm~-50 原子%/nm，較佳為 -0.1 原子%/nm~-20 原子%/nm；鋁含量的步階斜率例如 -0.1 原子%/步階~-50 原子%/步階，較佳為 -0.1 原子%/步階~-10 原子%/步階。

【0031】圖 8 是依照本發明的另一實施例的一種半導體裝置的剖面示意圖，其中使用與上一實施例相同或相似的元件符號表示相同或相似的構件，且相同的構件的說明可參照上一實施例，於此不再贅述。

【0032】請參照圖 8，第二實施例之半導體裝置是以半導體功率元件為例，其中可包含圖 1 的磊晶結構（碳化矽基板 100、成核層 102 以及氮化鎵層 104）與阻障層 108、閘極 110、源極 112、汲極 114 以及閘極絕緣層 116。氮化鎵層 104 可作為通道層而在接近阻障層 108 之界面處，因極化效應而產生二維電子氣（2DEG）。此外，如有其他需求還可於圖 8 的裝置中增設其他功能性膜層。然而，本發明並不限於此，凡是半導體裝置中包含上一實施例之磊晶結構，均為本發明的專利保護範圍。

【0033】綜上所述，本發明藉由具有特定摻雜濃度變化之氮化鋁鎵作為成核層，並將其設置於碳化矽基板與氮化鎵層之間，使氮化鎵與碳化矽之間的晶格不匹配降低，並藉此降低元件缺陷密度與順向電壓，進而提升半導體元件電性。

【0034】雖然本發明已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明的精神和範圍內，當可作些許的更動與潤飾，故本發明的保護範圍當視後附的申請專利範圍所界定者為準。

【符號說明】

【0035】

100：碳化矽基板

102：成核層

104：氮化鎵層

106a：步階區域

106b：漸變區域

108：阻障層

110：閘極

112：源極

114：汲極

116：閘極絕緣層

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種磊晶結構，包括：

碳化矽基板；

成核層，形成於所述基板上並與所述基板直接接觸，所述成核層的材料為摻雜有摻質的氮化鋁鎵，所述成核層的晶格常數在 $3.08 \text{ \AA} \sim 3.21 \text{ \AA}$ 之間，所述成核層的鋁含量沿厚度方向為漸變式降低或步階漸變式降低，所述鋁含量的漸變斜率為 $-0.1 \text{ 原子\%/nm} \sim -50 \text{ 原子\%/nm}$ ，且所述成核層的摻雜濃度沿厚度方向由高變低，所述摻雜濃度的起始值在 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 1\text{E}20 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $1\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 5\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ ；以及

氮化鎵層，形成於所述成核層上。

【第2項】 如申請專利範圍第1項所述的磊晶結構，其中所述成核層中的所述摻質包括矽、鐵、鎂或碳。

【第3項】 如申請專利範圍第1項所述的磊晶結構，其中所述成核層的鋁含量沿所述厚度方向為漸變式降低，所述摻雜濃度沿所述厚度方向為漸變式降低，所述成核層的所述晶格常數沿所述厚度方向為漸變式增加，且

所述鋁含量的起始值為 $80 \text{ 原子\%} \sim 100 \text{ 原子\%}$ ，所述鋁含量的結束值為 $0 \sim 20 \text{ 原子\%}$ ，所述鋁含量的漸變斜率為 $-0.1 \text{ 原子\%/nm} \sim -20 \text{ 原子\%/nm}$ ，

所述摻雜濃度的起始值在 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 5\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5\text{E}18 \text{ cm}^{-3} \sim 2\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ ，

所述晶格常數的起始值為 $3.11\pm 0.03\text{\AA}$ ，所述晶格常數的結束值為 $3.18\pm 0.03\text{\AA}$ ，以及

所述成核層的能隙沿所述厚度方向從 $6.13\pm 1\text{ eV}$ 至 $3.42\pm 1\text{ eV}$ 漸變式降低。

【第4項】如申請專利範圍第1項所述的磊晶結構，其中所述成核層的鋁含量沿所述厚度方向為漸變式降低，所述摻雜濃度沿所述厚度方向為漸變式降低，所述成核層的所述晶格常數沿所述厚度方向為漸變式增加，且

所述鋁含量的起始值為10原子%~60原子%，所述鋁含量的結束值為0~20原子%，所述鋁含量的漸變斜率為 -0.1 原子\%/nm ~ -20 原子\%/nm ，

所述摻雜濃度的起始值在 $5\text{E}18\text{ cm}^{-3}$ ~ $5\text{E}19\text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5\text{E}18\text{ cm}^{-3}$ ~ $2\text{E}19\text{ cm}^{-3}$ ，

所述晶格常數的起始值為 $3.151\pm 0.03\text{\AA}$ ，所述晶格常數的結束值為 $3.18\pm 0.03\text{\AA}$ ，以及

所述成核層的能隙沿所述厚度方向從 $4.78\pm 1\text{ eV}$ 至 $3.42\pm 1\text{ eV}$ 漸變式降低。

【第5項】如申請專利範圍第1項所述的磊晶結構，其中所述成核層的鋁含量沿所述厚度方向為步階漸變式降低，所述摻雜濃度沿所述厚度方向為步階漸變式降低，所述成核層的所述晶格常數沿所述厚度方向為步階漸變式增加，且

所述鋁含量的起始值為80原子%~100原子%，所述鋁含量的結束值為0~20原子%，所述鋁含量的步階斜率為-0.1原子%/步階~-50原子%/步階，

所述摻雜濃度的起始值在 $5E18\text{ cm}^{-3}$ ~ $5E19\text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5E18\text{ cm}^{-3}$ ~ $2E19\text{ cm}^{-3}$ ，

所述晶格常數的起始值為 $3.11\pm 0.03\text{Å}$ ，所述晶格常數的結束值為 $3.18\pm 0.03\text{Å}$ ，以及

所述成核層的能隙沿所述厚度方向從 $6.13\pm 1\text{ eV}$ 至 $3.42\pm 1\text{ eV}$ 步階漸變式降低。

【第6項】 如申請專利範圍第1項所述的磊晶結構，其中所述成核層的鋁含量沿所述厚度方向為步階漸變式降低，所述摻雜濃度沿所述厚度方向為步階漸變式降低，所述成核層的所述晶格常數沿所述厚度方向為步階漸變式增加，且

所述鋁含量的起始值為10原子%~60原子%，所述鋁含量的結束值為0~20原子%，所述鋁含量的步階斜率為-0.1原子%/步階~-50原子%/步階，

所述摻雜濃度的起始值在 $5E18\text{ cm}^{-3}$ ~ $5E19\text{ cm}^{-3}$ ，所述摻雜濃度的結束值在 $5E18\text{ cm}^{-3}$ ~ $2E19\text{ cm}^{-3}$ ，

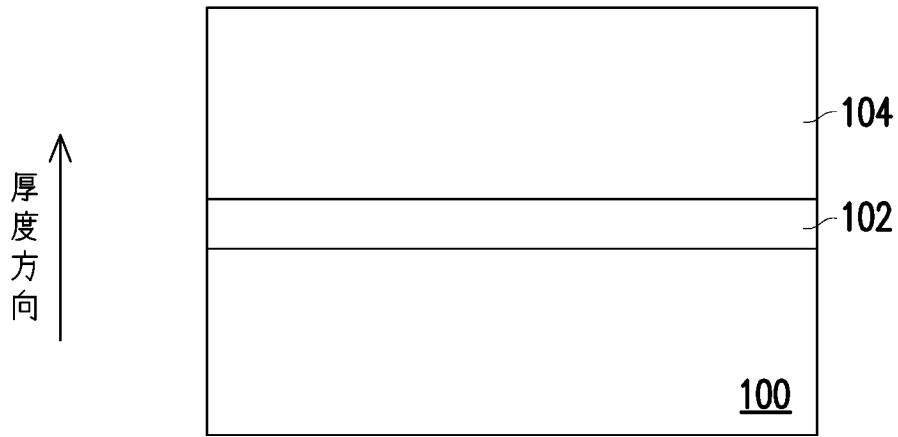
所述晶格常數的起始值為 $3.151\pm 0.03\text{Å}$ ，所述晶格常數的結束值為 $3.18\pm 0.03\text{Å}$ ，以及

所述成核層的能隙沿所述厚度方向從 $4.78\pm 1\text{ eV}$ 至 $3.42\pm 1\text{ eV}$ 步階漸變式降低。

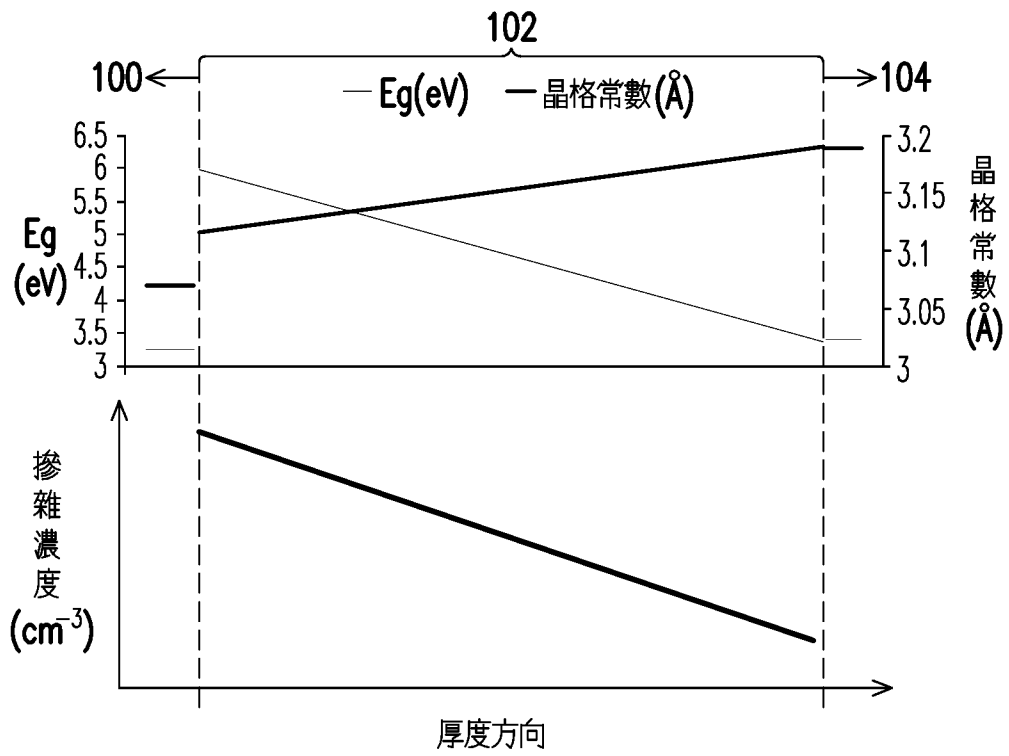
【第7項】 如申請專利範圍第5項或第6項所述的磊晶結構，其中所述成核層是由2至50層的薄膜層所構成。

【第8項】 一種半導體裝置，包括申請專利範圍第1~7項中任一項所述的磊晶結構。

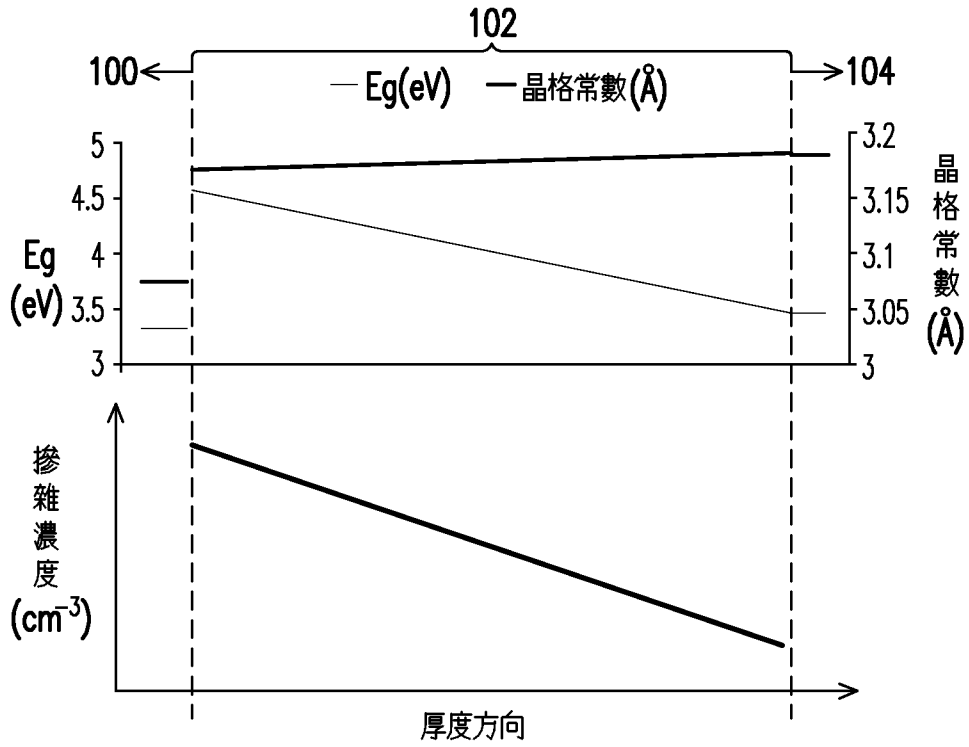
【發明圖式】



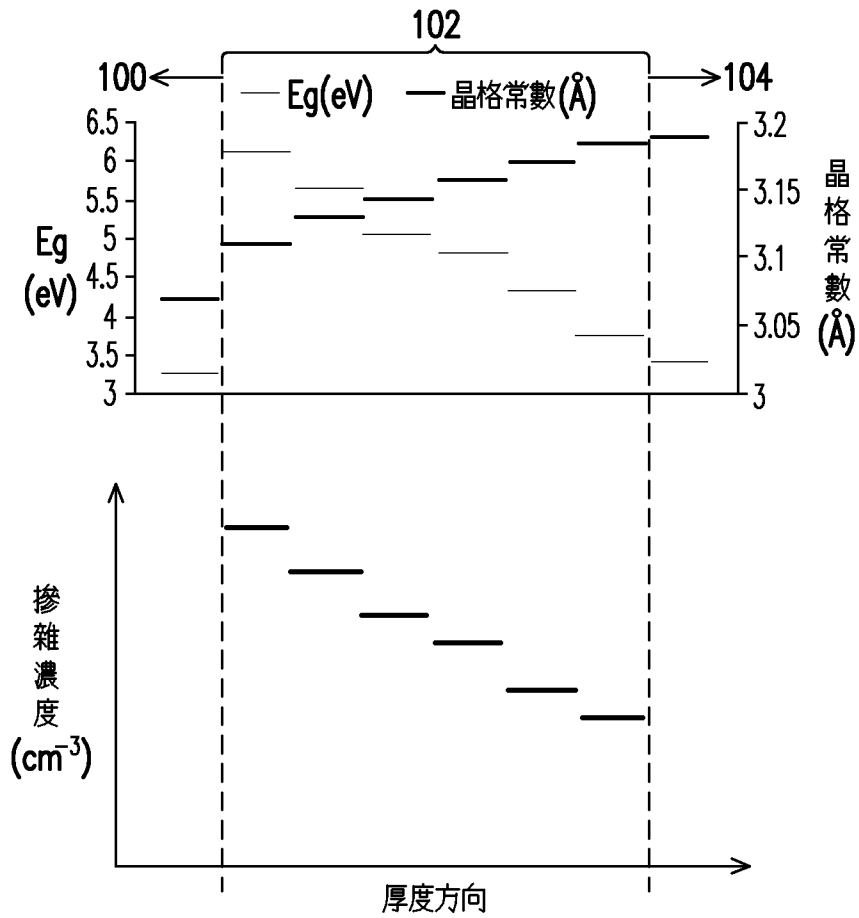
【圖1】



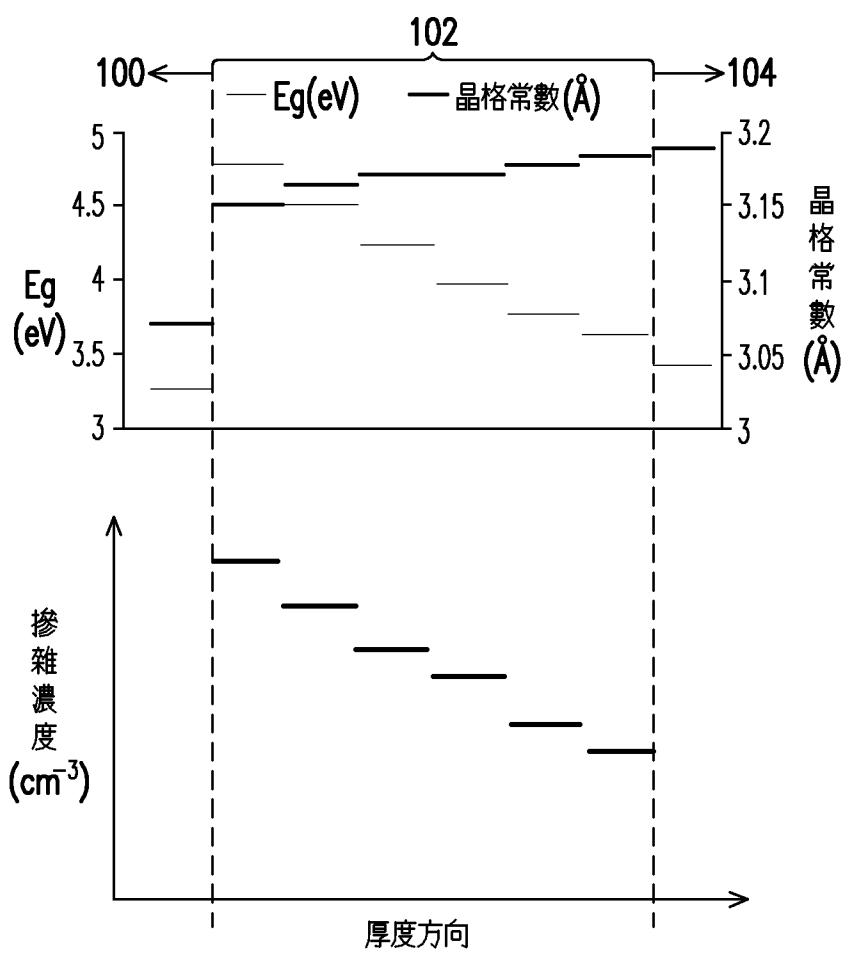
【圖2】



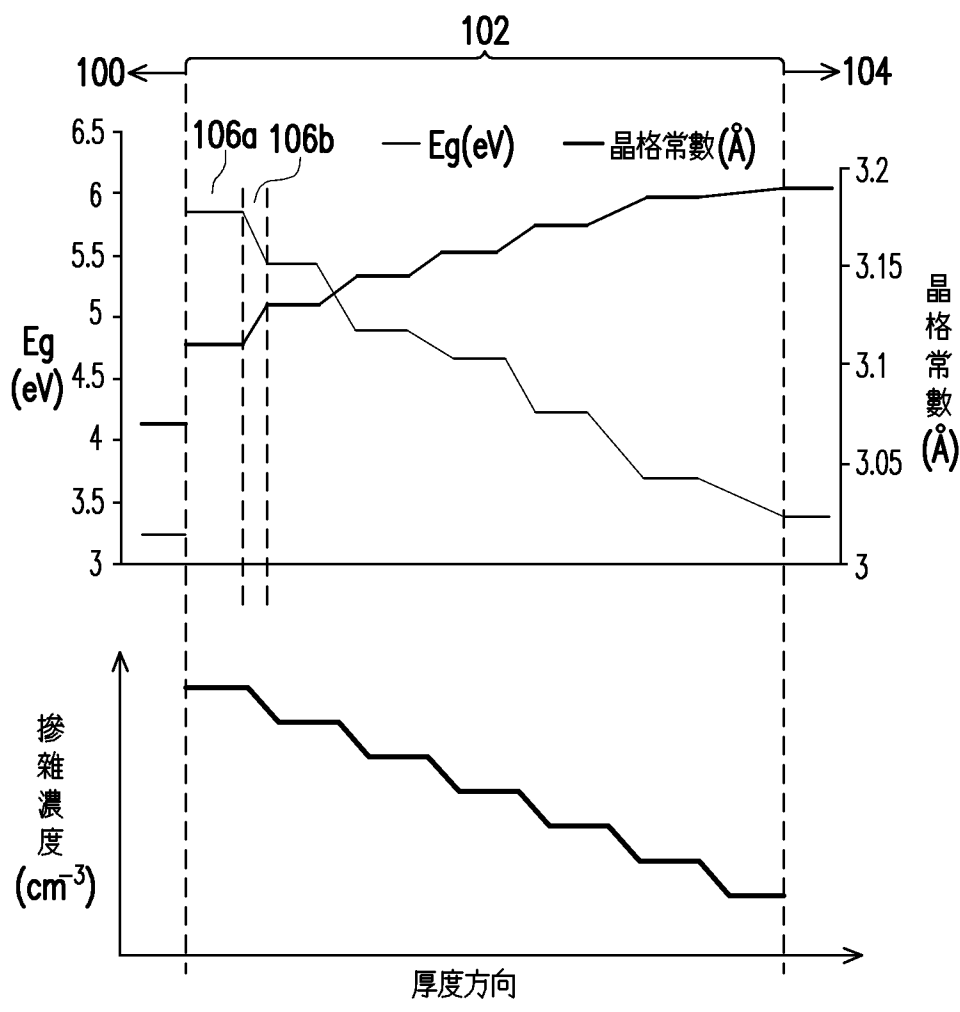
【圖3】



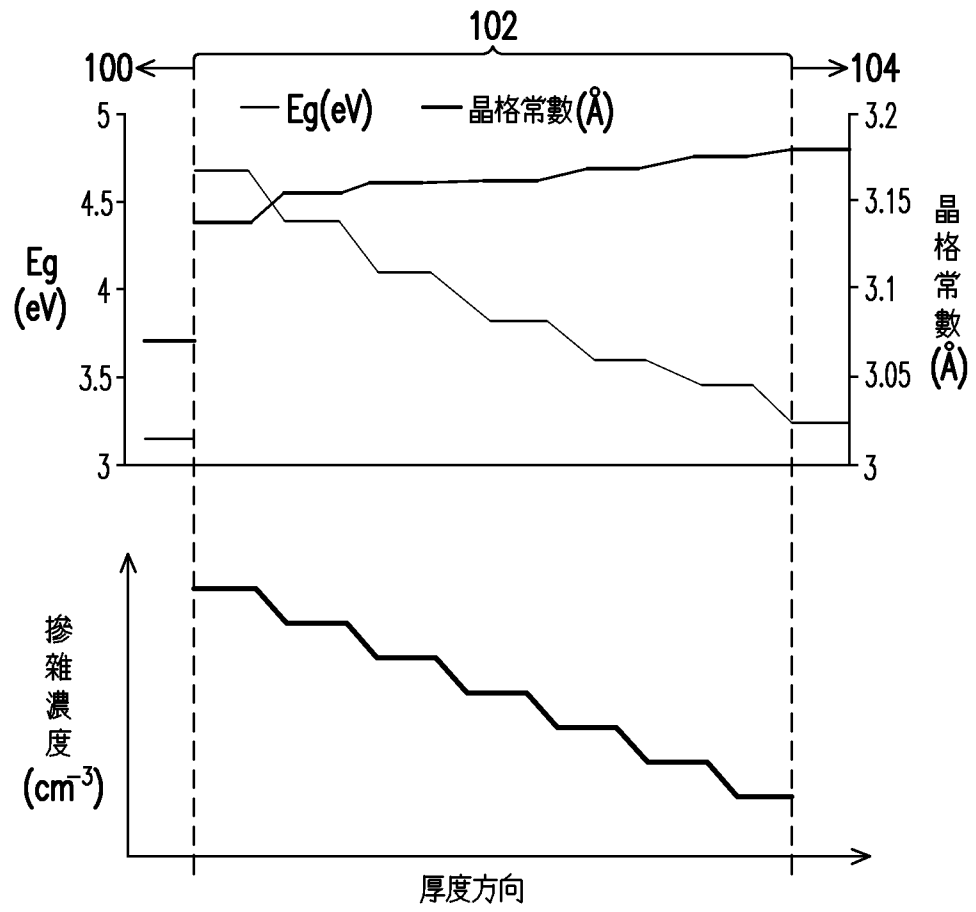
【圖4】



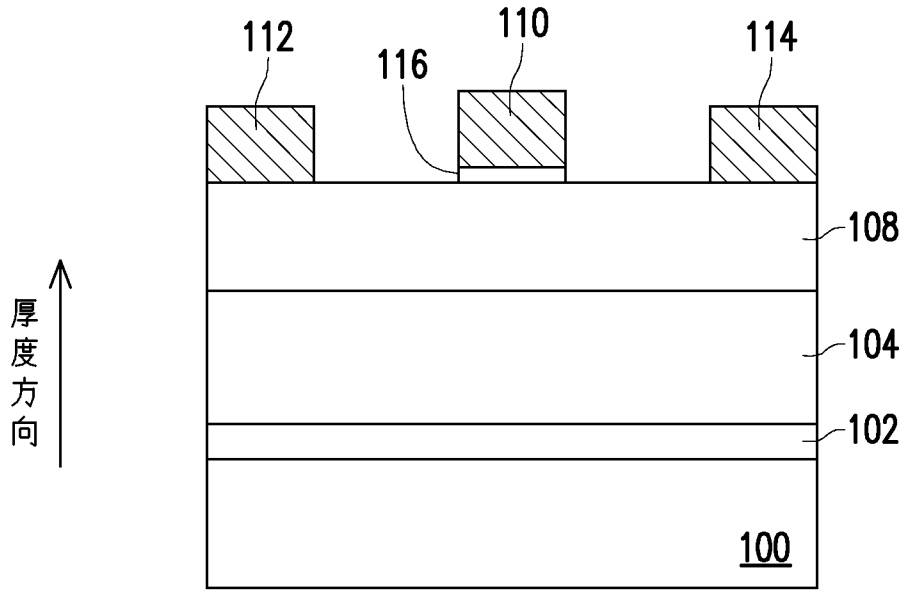
【圖5】



【圖6】



【圖7】



【圖8】