

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：92130249

※ 申請日期：92-10-30

※IPC 分類：H01C 21/331

壹、發明名稱：(中文/英文)

異質接面雙極電晶體

HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTOR

貳、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

日商夏普股份有限公司

SHARP KABUSHIKI KAISHA

代表人：(中文/英文)

町田 勝彦

KATSUHIKO MACHIDA

住居所或營業所地址：(中文/英文)

日本國大阪府大阪市阿倍野區長池町22番22號

22-22, NAGAIKE-CHO ABENO-KU OSAKA-SHI, OSAKA 545-8522,
JAPAN

國 籍：(中文/英文)

日本 JAPAN

參、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

矢倉 基次

MOTOJI YAGURA

住居所地址：(中文/英文)

日本國奈良縣天理市豐井町20番地E1-1

20-E1-1, TOYOICHO, TENRI-SHI, NARA-KEN, JAPAN

國 籍：(中文/英文)

日本 JAPAN

肆、聲明事項：

☐ 本案係符合專利法第二十條第一項 ☐ 第一款但書或 ☐ 第二款但書規定之期間，其日期為： 年 月 日。

☒ 本案申請前已向下列國家（地區）申請專利：

1. 日本；2002年10月30日；特願2002-316011

2. 日本；2003年09月10日；特願2003-318668

3.

4.

5.

☒ 主張國際優先權(專利法第二十四條)：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 日本；2002年10月30日；特願2002-316011

2. 日本；2003年09月10日；特願2003-318668

3.

4.

5.

☐ 主張國內優先權(專利法第二十五條之一)：

【格式請依：申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

☐ 主張專利法第二十六條微生物：

☐ 國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

☐ 國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

☐ 熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

玖、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明關於一種異質接面雙極電晶體，文後亦稱之為一"HBT"。

【先前技術】

一III-V族化合物半導體之異質接面雙極電晶體係用於通信，例如光學通信、微波或毫米波通信，且亦進而例如實用於行動通信裝置或光學通信裝置之高頻率或高功率元件中，因為此異質接面雙極電晶體係在高頻率及高電流驅動能力上比由單一材料系統組成之雙極電晶體更顯現較佳性質。

為了使HBT達到實用，特別重要的是改善其穩定性，儘管許多方法針對改善HBT之穩定性，但是HBT穩定性之改善仍未令人滿意，因為如果一用於電力裝置之大電流施加至HBT時，則裝置有時候會因HBT而老化。

此老化之主要原因考慮如下。C(碳)近年來已取代鉍做為一p型摻雜物而摻入一鋁鎵砷/鎵砷HBT之鎵砷基極層內，其原子半徑小於基極層之鎵與砷者，因此，碳造成基極層應變且其功能有如一再組合中心，而導致減小電流增益及降低穩定性，特別是在碳高度摻入之例子中。

為了避免此問題，曾有建議添加構成基極層者以外之III或V欄元素至碳摻入之鎵砷基極層，例如請參閱日本未審查專利公開案H6-37105。依此方式，添加原子半徑較大於構成基極層之元素者(即鎵與砷)之雜質做為摻雜物，即可消除

基極層之應變而改善HBT之穩定性。

另一方式，亦曾有建議使用由III或V欄元素以外元素組成之二種雜質做為鎵砷基極層之摻雜物，相較於構成基極層之原子，二種雜質之其中一者具有較大原子半徑，而另一者具有較小原子半徑，例如請參閱日本未審查專利公開案2000-323491。依此方式，添加相較於構成基極層之原子(即鎵與砷)而有較大原子半徑之其中一型雜質(例如鎂)及有較小原子半徑之另一型雜質(例如碳)即可消除基極層之應變，且不與鎵或砷形成化合物，以利改善HBT之穩定性。

後一方式之先前技術HBT範例將參考附圖說明於後(參閱日本未審查專利公開案2000-323491之圖1所示實施例)，如圖7所示，一習知HBT 600係藉由磊晶生長技術，在一半絕緣性鎵砷基板601上依序形成一i-鎵砷或i-鋁鎵砷緩衝層602、一矽摻入之n-鎵砷集極層603、一碳與鎂摻入之p-鎵砷基極層604、一矽摻入之n-鋁鎵砷或n-銦鎵磷射極層605、及一矽高度摻入之 n^+ -鎵砷射極-帽蓋層606。隨後， n^+ -鎵砷射極-帽蓋層606、n-鋁鎵砷或n-銦鎵磷射極層605及p-鎵砷基極層604適當地乾蝕刻，且一鎢矽射極609、一鎳/金鍍/金集極607及一鈦/鉑/金基極608分別形成於 n^+ -鎵砷射極-帽蓋層606、n-鎵砷集極層603及p-鎵砷基極層604上。當射極層之材料為n-鋁鎵砷時，HBT 600稱為一鋁鎵砷/鎵砷HBT，或當射極層之材料為n-銦鎵磷時，則稱為一銦鎵磷/鎵砷HBT。吾人已知銦鎵磷/鎵砷HBT具有一比鋁鎵砷/鎵砷HBT者高之壽命及穩定性。

惟，為了摻入以往使用做為摻雜物之碳以外之新元素，例如銦、銻或鎂，使用磊晶生長技術之現有裝置皆無法應用，故需以最小程度改變現有裝置，否則即建構一新裝置。

再者，除了碳外另有摻入例如銦、銻或鎂等元素之基極層具有一極低於不含銦、銻或鎂等元素之基極層者之乾蝕速率，為了蝕刻前一基極層，必須供給一或多種用於乾蝕刻之氣體且此不同於以往所使用者，及進行離子研磨。當進行離子研磨時，一蝕刻遮罩需形成以具有一較大之膜厚度，因為蝕刻遮罩之蝕刻量幾乎相同於基極層者(易言之，其難以達成高蝕刻選擇率)。惟，其難以使一大厚度之蝕刻遮罩在一均勻層上有精細圖案化。在任一例子中，其需改變使用磊晶生長技術以產生HBT之現有裝置及步驟。

本發明即針對於提供一種高穩定性之HBT，且不需要廣泛改變用於製造之現有裝置及步驟。

【發明內容】

在本發明之一項內容中，其提供一種異質接面雙極電晶體(HBT)，包含一集極層、一基極層及一射極層，其中集極層、基極層及射極層分別具有不同晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e ，且 a_b 值在 a_c 、 a_e 值之間，易言之， a_c 、 a_b 、 a_e 值滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之數值關係。

依本發明所示，其提供一種高穩定性之HBT，且不需要廣泛改變用於製造HBT之現有裝置及步驟。更明確地說，具有一較大激勵能量之HBT可以藉由適當地設定 a_c 、 a_b 、 a_e 之間之適當關係而取得，以利決定因為晶格應變所致之變

形，而不必摻入特定元素，因此HBT之壽命(MTTF)即較長於習知HBT者。

在一習知射極朝上型HBT之例子中，射極層對基極層之一晶格錯配比較佳為不大於約0.3%，且更佳為不大於約0.1%，而基極層對集極層之一晶格錯配比較佳為不大於約0.3%，且更佳為不大於約0.1%。在一集極朝上型HBT之例子中，集極層對基極層之晶格錯配比較佳為不大於約0.3%，且更佳為不大於約0.1%，而基極層對射極層之晶格錯配比較佳為不大於約0.3%，且更佳為不大於約0.1%。

依此，具有一更大激勵能量之HBT可以藉由選定一小晶格錯配比，以利限制應變程度，因此HBT之壽命可在實際使用之一溫度範圍內變大。

當具有漸減或漸增順序晶格常數之半導體層使用做為集極、基極及射極層時，HBT之預期電力性特徵無法在某些例子中取得，因為一帶狀結構無法依需要而形成。在此例子中，具有長壽命及高穩定性之HBT可以利用一具有二層式結構之射極層及/或集極層取得，以避免帶狀結構自所需者發生變化。

射極層可以由二層構成，即第一及第二射極層，第一射極層以其一側接觸於基極層，而第二射極層接觸於第一射極層之相反側，第一及第二射極層分別具有晶格常數 a_{e1} 、 a_{e2} 。在此實施例中，第二射極層對基極層之晶格錯配比可以大於0.3%，只要 a_{e2} 取代 a_e 而仍滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之關係。依此實施例所示，帶狀結構自所需者發生變

化即可避免而保有習知帶狀結構，因為第一射極層對基極層之晶格錯配比可以相當小，例如不大於0.1%。

此亦適用於集極層由二層構成之例子，即第一及第二集極層，第一集極層以其一側接觸於基極層，而第二集極層接觸於第一集極層之相反側，第一及第二集極層分別具有晶格常數 a_{c1} 、 a_{c2} 。在此實施例中，第二集極層對基極層之晶格錯配比可以大於0.3%，只要 a_{c2} 取代 a_c 而仍滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之關係。依此實施例所示，帶狀結構自所需者發生變化即可避免而保有習知帶狀結構，因為第一集極層對基極層之晶格錯配比可以相當小，例如不大於0.1%。

本發明 a_c 、 a_b 、 a_e 之間之關係在HBT之一接面溫度時得以滿足，故可達成本發明之效果。

【實施方式】

針對HBTs之穩定性試驗，一溫度加速試驗(文後簡稱為"穩定性試驗")使用一俗稱Arrhenius模型，其係反應動力模型中之一者，此Arrhenius模型已知由以下方程式(1)表示：

$$L=A \cdot \exp(Ea/kT) \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

其中 L 為壽命(h)， A 為常數(h)， Ea 為激勵能量(eV)， k 為Boltzmann常數(約 8.61×10^{-5} eV/K)， T 為溫度(K)。在本說明書中，壽命 L 相當於一MTTF，即HBT之平均失效時間(h)，及溫度 T 為一接面溫度 T_j (°C)之絕對溫度(K)減少值。請注意接面溫度係指一欲承受最高溫部分之溫度，且通常視為HBT之一集極層之溫度。本說明書中之接面溫度 T_j (°C)係由以下方程式(2)計算：

$$T_j = T_s + R \times P \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

其中 T_s 為環境溫度(或周圍溫度)($^{\circ}\text{C}$)， R 為 HBT 之熱阻($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)， P 為供給至 HBT 之功率(W)(即集極電流 I_c (A) 乘以集極-射極電壓 V_{ce} (V) 之值)。

當穩定性試驗係用不同溫度條件進行以決定 MTTF 時，所得資料之 Arrhenius 圖表(即對數 MTTF 對比於溫度倒數之圖表)大體上顯示繪出之資料幾乎在一線上，而為單一失效模式，一激勵能量 E_a 則得自該線之斜率。

本發明人係以新的觀點針對於穩定性試驗中之激勵能量，以利改善 HBT 之穩定性。

本發明人即以一銦鎵磷/鎵砷 HBT (a) 做為 HBTs 之一範例，銦鎵磷/鎵砷 HBT (a) 具有一相似於圖 7 所示先前技術 HBT 600 者之結構，不同的是銦鎵磷/鎵砷 HBT (a) 之基極僅摻入碳，隨後其進行穩定性試驗同時在大約 270 至 290°C 範圍內改變一接面溫度，穩定性試驗之電力性條件如下：射極-集極電壓 $V_{ce} = 3.0 \text{ V}$ ；電流密度 $J_c = 50 \text{ kA}/\text{cm}^2$ 。接著，所得之 MTTF 資料(樣品數： $N=10$)繪成 Arrhenius 圖表，且一回歸線(a)係以最小平方方法計算，結果如圖 8 所示，由線(a)之斜率計算出來之一激勵能量約為 0.7 eV 。

此外，目前已有許多取自穩定性試驗之 HBTs 激勵能量報告，例如，報告指出一具有結構相似於在基極層摻入碳之銦鎵磷/鎵砷 HBT(a) 者之銦鎵磷/鎵砷 HBT 具有約 0.7 激勵能量，例如參閱 Sandeep R. Bahl et al., "Reliability Investigation of InGaP/GaAs Heterojunction Bipolar

Transistor", International Electron Device Meeting Digest, 1995, pp. 815-818。

做為 HBTs 之另一範例，本發明人亦藉由相關於一銦鎵磷/鎵砷 HBT (b) 而推論取得一線 (b)，銦鎵磷/鎵砷 HBT (b) 具有一相似於圖 7 所示在基極層摻入碳與鎂之 HBT 600 者之結構，更明確地說，本發明人推論出銦鎵磷/鎵砷 HBT (b) 之一穩定性試驗結果，且根據日本未審查專利公開案 2000-323491 及 H. Sugahara et al., "IMPROVED RELIABILITY OF AlGaAs/GaAs HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTORS WITH A STRAIN-RELAXED BASE" ,IEEE GaAs IC Symposium Technical Digest, 1993, pp. 115-118，以取得線 (b)，其結果亦揭示於圖 8 內。請參閱圖 8，在基極層摻入碳與鎂之 HBT (b) 之線 (b) 係向上移，且其相關於在基極層僅摻入碳之 HBT (a) 之線 (a) 而在任意溫度下皆顯示出一較大之 MTTF。易言之，可以瞭解的是相較於在基極層僅摻入碳之 HBT，當一基極層在碳以外另摻入鎂時，HBT 之壽命即變長。惟，由線 (b) 之斜率計算得到之 HBT (b) 之激勵能量約為 0.7 eV，此相似於 HBT (a) 者，且其激勵能量之間實質上並無差異。

再者，在碳以外，目前已有一在基極層摻入銦或銻之 HBT 穩定性試驗報告，此例子亦顯示一相似於在基極層摻入碳與鎂之 HBT (b) 者之結果。例如，報告指出如同在 HBT (b) 之例子中者，一在基極層摻入碳與銦之鋁鎵砷/鎵砷 HBT 具有一較長於在基極層僅摻入碳之 HBT 者之壽命。惟，報告

亦指出鋁鎵砷/鎵砷 HBT 亦具有一小激勵能量 0.45 eV。例如，請參閱 H. Sugahara et al., "IMPROVED RELIABILITY OF AlGaAs/GaAs HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTORS WITH A STRAIN-RELAXED BASE", IEEE GaAs IC Symposium Technical Digest, 1993, pp. 115-118。

再者，目前已有一在基極層僅摻入碳之銦鎵磷/鎵砷 HBT(c) 穩定性試驗報告 (電力性條件：射極-集極電壓 $V_{ce}=2.4-2.5$ V；電流密度 $J_c=60$ kA/cm²)，例如，請參閱 A. Kawano et al., "Reliability of C-doped base InGaP/ GaAs HBTs", 1997 General Conference of IEICE (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers), SA-8-1, pp. 474-475, Fig.4，此結果亦揭示於圖 8 之線 (c)。在 HBT(c) 中，基極層僅摻入碳且未摻入可減少內部應變之其他元素，惟，相較於本發明人援引用於比較之 HBT(a)，HBT(c) 在特定溫度下不僅具有一較大之 MTTF，亦有一大約 2.0 eV 之較大激勵能量，較大激勵能量係指較大之線 (c) 斜率，因此在較低溫度下壽命 (MTTF) 變長 (即圖 8 之圖表右側)。儘管在具有大約 0.7 eV 激勵能量之 HBT (b) 之接面溫度 T_j 處之壽命 (MTTF) 為大約 3×10^3 小時，然而具有大約 2.0 eV 激勵能量之 HBT (c) 者係大約 4×10^4 小時，大約 10 倍於 HBT (b) 者。

在 HBT (c) 與其他 HBTs 之穩定性試驗結果中之比較基礎上，特別是 HBT (a)，本發明人已發現特別是在一低溫下可使 HBT 之壽命較長，因而可藉由增加一激勵能量且不摻入

以往使用做為基極層摻雜物之碳(或鉍)以外其他元素下，改善HBT之穩定性。

惟，激勵能量僅針對銦鎵磷/鎵砷HBT而有所不同，吾人並不知道為什麼HBT (c)顯示出比HBT (a)、HBT (b)及已報導之其他HBTs大之激勵能量(造成低溫下較長之壽命)(特別是請參閱 Sandeep R. Bahl et al., "Reliability Investigation of InGaP/GaAs Heterojunction Bipolar Transistor", International Electron Device Meeting Digest, 1995, pp. 815-818)。

發明人謹慎考量一影響激勵能量之因素而完成本發明。

依本發明所示，提供一種含有一集極層、一基極層及一射極層之異質接面雙極電晶體(HBT)，其中集極層、基極層及射極層分別具有不同之晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e ，且 a_b 值係在 a_c 與 a_e 值之間。請注意 a_c 可以較大於或較小於 a_b 、 a_e ，易言之， a_c 、 a_b 、 a_e 係依漸小或漸大順序，亦即， a_c 、 a_b 、 a_e 滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之數字關係。

在本發明中，晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e 可以決定如下。首先，一實質上相同於基極層之層(文後稱為一"假基極層")係在相同於HBT製造過程中之基極層生長條件下(典型上為磊晶生長)，生長於一具有(001)表面之基板上，因此，可取得一含有假基極層之樣品，假基極層之厚度設定為3000埃。隨後，在樣品之一(004)平面處之Bragg反射搖擺曲線係藉由自 θ 掃描至 2θ 而量測之，因此，基板及其上方假基極層之尖峰角度即經量測，量測到之尖峰角度大體上含有極小偏

差，因此假基極層之量測尖峰角度無法採用。對比之下，這些量測到之尖峰角度之間之差異則較可靠。再者，基板之尖峰角度之內值係已知，因此，假基極層之尖峰角度可藉由補償量測值而決定。隨後，假基極層之一晶格常數" d "係利用依上述方式決定之假基極層之尖峰角度 θ ，而從Bragg方程式中計算得到($2d \cdot \sin\theta = n\lambda$ ，其中 d 為晶格常數， λ 為欲使用之X射線波長， n 為自然數(1, 2, 3...))，計算得到之假基極層之晶格常數" d "實際上可以視為基極層之晶格常數 a_b 、集極層之晶格常數 a_c 及射極層之晶格常數 a_e 可依相同方式決定。請注意，具有4晶體單色光鏡之Philips X射線繞射儀，型號：MPD1880HR(入射之X射線：銅鉀 α -射線)，可以使用做為X射線裝置。

依本發明所示， a_c 、 a_b 、 a_e 之間關係可藉由依漸小或漸大順序設定 a_c 、 a_b 、 a_e 而適當地選擇，以利決定因晶格應變所致之變形，結果即可取得具有較大於習知激勵能量之HBT，因而可以比習知者更延長HBT之壽命(特別是MTTF)。本發明HBT之壽命係在低溫下特別延長，亦即在實際使用上之溫度或接近於此溫度時。

儘管不欲以任何理論侷限，但是本發明為什麼可以延長HBT壽命之原因仍將考量於後。一裝置老化之一項肇因係假設為差排之移動，更明確地說，因為晶格內部應變所致之力係作用於差排上，且以往差排皆由此力移動而最終到達例如基極層與射極層之間之一界面，致使裝置老化。為了移動差排，差排需受到一較大於防止差排移動之激勵能

量之力(或能量)影響。反之，本發明適當地選擇 a_c 、 a_b 、 a_e 之間關係以決定因晶格所致之變形，使其可減小影響差排之力且令差排難以移動。結果，依本發明所示，HBT之壽命得以延長。

再者，本發明不需要如先前圖7所示之習知HBT利用額外摻雜物摻入基極層以釋除應變。因此，不需要改變使用磊晶生長技術與蝕刻技術之現有裝置及步驟。

簡而言之，依本發明所示，其提供具有延長壽命之HBT，易言之，即高穩定性，不需要改變使用磊晶生長技術與蝕刻技術之現有裝置及步驟。

在本發明之一實施例中，在集極層、基極層及射極層中之相鄰二層之間之一晶格錯配比，具體而言，即射極層與基極層之間之一晶格錯配比以及基極層與集極層之間之一晶格錯配比其中一者且較佳為二者，其不大於0.3%且較佳為不大於0.1%。"晶格錯配比"一詞係指將二層之晶格常數間之一絕對值差除以下層之晶格常數所得之百分比值，可以瞭解的是晶格錯配比之理論最小值係根據上述晶格錯配之定義而為零。

具體而言，本發明之HBT可為一射極朝上型或一集極朝上型。在射極朝上型HBT之例子中，射極層對基極層之一晶格錯配比(亦即 $|a_e - a_b| / a_b \times 100$)(%)不大於約0.3%且較佳為不大於0.1%。換言之， a_e 、 a_b 滿足 $|a_e - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.3$ (%)之關係，且較佳為滿足 $|a_e - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.1$ (%)之關係。同樣在射極朝上型HBT之例子中，基極層對集極層

之一晶格錯配比(亦即 $|a_b - a_c| / a_c \times 100$)(%)不大於約0.3%且較佳為不大於0.1%。換言之， a_b 、 a_c 滿足 $|a_b - a_c| / a_c \times 100 \leq 0.3$ (%)之關係，且較佳為滿足 $|a_b - a_c| / a_c \times 100 \leq 0.1$ (%)之關係。

在集極朝上型HBT之例子中，集極層對基極層之一晶格錯配比(亦即 $|a_c - a_b| / a_b \times 100$)(%)不大於約0.3%且較佳為不大於0.1%。換言之， a_c 、 a_b 滿足 $|a_c - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.3$ (%)之關係，且較佳為滿足 $|a_c - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.1$ (%)之關係。同樣在集極朝上型HBT之例子中，基極層對射極層之一晶格錯配比(亦即 $|a_b - a_e| / a_e \times 100$)(%)不大於約0.3%且較佳為不大於0.1%。換言之， a_b 、 a_e 滿足 $|a_b - a_e| / a_e \times 100 \leq 0.3$ (%)之關係，且較佳為滿足 $|a_b - a_e| / a_e \times 100 \leq 0.1$ (%)之關係。

藉由設定集極層中二相鄰層之間之晶格錯配比，即可取得顯示出較大激勵能量之HBT，例如激勵能量不小於約2.0 eV且較佳為不小於約3.0 eV，基極層及射極層不大於約0.3%且較佳為不大於約0.1%，以適當地選定一特定之應變度。此HBT可在實際使用之溫度下顯現延長之壽命，且有利地提供一高穩定性之HBT，其壽命大約為習知者之10倍大以上。

在本發明之一較佳實施例中，在射極朝上型HBT例子中，射極層對基極層之晶格錯配比及基極層對集極層之晶格錯配比皆不大於約0.3%且較佳為不大於約0.1%。在集極朝上型HBT例子中，集極層對基極層之晶格錯配比及基極層對射極層之晶格錯配比皆不大於約0.3%且較佳為不大於

約0.1%，此可在實際使用之溫度下提供更大之激勵能量及更長之壽命。

在本發明中，一較小之晶格錯配比係較佳在一大於0%且不大於0.3%範圍內，因為較小之晶格錯配比提供較大之激勵能量。惟，實際上當考量於諸層之材料成分變化以及在一磊晶生長厚度上與一晶圓平面上之摻雜物濃度變化時，晶格錯配比係較佳為大約0.01%至0.3%，且最較佳為大約0.01%至0.1%。

集極層、基極層及射極層之晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e 係分別藉由例如調整摻入各層之摻雜物濃度而變化，特別是在該層係由一三元化合物半導體晶體構成之例子中，其晶格常數係藉由調整化合物半導體內之混合比而變化，摻雜物濃度及/或混合比之調整較易由習於此技者藉由例如適當地控制一摻雜材料之流動率、源氣體之流動率、等等而實施。儘管其他事項未予以詳述，本發明之HBT可利用射極朝上型HBT或集極朝上型HBT任一例子領域內之現有製造方法製造。

吾人已知此半導體層之晶格常數通常隨著溫度上昇而增大，具體而言，晶格常數大致上可由以下方程式(3)表示：

$$\alpha = \alpha_0 \times (1 + \beta \times (T_1 - T_0)) \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

其中 T_0 為標準溫度(K)($T_0=300K$)， α_0 為在標準溫度 T_0 時之晶格常數(埃)， T_1 為特定溫度(K)， α 為在特定溫度 T_1 時之晶格常數(埃)，及 β 為膨脹係數(K^{-1})。請注意， β 係依據半導體層之材料而變化。

在本發明中，上述晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e 之間之關係(以及由此計算得到之晶格錯配比範圍)並不需要在所有溫度時皆滿足之，可以接受的是該關係在接面溫度 T_j 為最小值時滿足。藉由在接面溫度時確定上述關係，壽命延長及HBT穩定性改善之效應即可取得。

在本發明之一實施例中，射極層可由分別具有晶格常數 a_{e1} 、 a_{e2} 之第一及第二射極層組成，且第一射極層夾置於第二射極層與基極層之間。在此例子中，第二射極層之晶格常數 a_{e2} 使用做為 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 關係中之晶格常數 a_e ，亦即， a_c 、 a_b 、 a_{e2} 滿足於 $a_c > a_b > a_{e2}$ 或 $a_c < a_b < a_{e2}$ 之關係。第二射極層之晶格常數 a_{e2} 可以大幅錯配於基極層之晶格常數 a_b ，且 a_{e2} 及 a_b 可滿足於 $|a_{e2} - a_b| / a_b \times 100 > 0.3(\%)$ 之關係。另方面，第一射極層之晶格常數 a_{e1} 可為一接近於基極層之晶格常數 a_b 之值，且第一射極層與基極層之間之晶格錯配比可以例如不大於0.1%。再者， a_{e1} 及 a_b 可以實質上相等且彼此晶格匹配。

先前技術之一HBTs係設計使射極層與基極層具有實質上相同之晶格常數且彼此晶格匹配，惟，為了滿足 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 關係，用於射極層與基極層之材料係經選定，以令射極層與基極層彼此晶格錯配，結果，其帶隙變得不同於習知HBTs，此即造成HBTs之特徵改變，因為射極-基極之帶狀結構並不需要形成。射極-基極之帶狀結構變化有時候是不必要的，因為其導致HBT之高頻率特徵及導通電壓等等之改變。

在此例子中，較佳為不使用單一射極層，而是將射極層分割成上述第一射極層及第二射極層等二層，第一射極層之晶格常數 a_{e1} 可經控制以形成所需之帶狀結構(更明確地說，即射極-基極之所需帶隙)，且第二射極層之晶格常數 a_{e2} 可經控制以相關於基極層之晶格常數 a_b 而顯著地應變。結果，因為第二射極層對基極層之晶格錯配所致之應變影響到第一射極層與基極層，而降低了作用於基極層與射極層之間一接面部分內之差排上之力，及因此可提供一具有長壽命及高穩定性之HBTs，且不改變HBTs之特徵。

在本發明之另一實施例中，集極層可由分別具有晶格常數 a_{c1} 、 a_{c2} 之第一及第二集極層組成，且第一集極層夾置於第二集極層與基極層之間。在此例子中，第二集極層之晶格常數 a_{c2} 使用做為 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 關係中之晶格常數 a_c ，亦即， a_{c2} 、 a_b 、 a_e 滿足於 $a_{c2} > a_b > a_e$ 或 $a_{c2} < a_b < a_e$ 之關係。第二集極層之晶格常數 a_{c2} 可以大幅錯配於基極層之晶格常數 a_b ，且 a_{c2} 及 a_b 可滿足於 $|a_{c2} - a_b| / a_b \times 100 > 0.3(\%)$ 之關係。另方面，第一集極層之晶格常數 a_{c1} 可為一接近於基極層之晶格常數 a_b 之值，且第一集極層與基極層之間之晶格錯配比可以例如不大於0.1%。再者， a_{c1} 及 a_b 可以實質上相等且彼此晶格匹配。此實施例之優點在於當集極-基極之一帶狀結構並不需要形成，且因此發生HBTs之特徵改變時。依此實施例所示，相似於上述之效應可以藉由控制第一集極層之晶格常數 a_{c1} 以形成所需之帶狀結構(更明確地說，即集極-基極之所需帶隙)，且控制第二集極層之晶格常

數 a_{c2} 以相關於基極層之晶格常數 a_b 而顯著地應變。

在射極層及/或集極層係由二層組成之實施例中，另請注意各晶格常數之間之關係並不需要在所有溫度時皆滿足之，可以接受的是該關係在接面溫度 T_j 為最小值時滿足。

再者，請注意不僅是射極層或集極層任一者，其二者亦可皆由二層組成，在本發明實施例中具有二層式射極層及/或集極層之 HBT 可為一射極朝上型或一集極朝上型。

本發明之 HBT 可為 III-V 或 II-VI 族 HBT，III-V 族 HBT 係使用含有至少一元素選自 III 族例如銦、鎵、鋁及至少一元素選自 V 族例如磷、砷、銻、氮之材料層構成，例如，III-V 族 HBT 可以含有一銦鎵磷/鎵砷異質接面、一銦磷/銦鎵砷異質接面或類此者。II-VI 族 HBT 係使用含有至少一元素選自 II 族例如鋅及至少一元素選自 VI 族例如硒之材料層構成，例如，II-VI 族 HBT 可以含有一鋅/硒異質接面或類此者。

請注意 HBT 可以具有射極層與基極層之間之一異質接面或基極層與集極層之間之一異質接面任一者，且亦可具有其二者，如同此技藝中所習知者。

本發明之 HBT 可為一 npn 型或一 pnp 型。

實施例

文後，本發明之實施例將參考圖式而詳細說明於後。

實施例 1

此實施例相關於一射極朝上型銦鎵磷/鎵砷 HBT 及其製造方法，圖 1A 至 1C 係一製程圖，其簡示一沿著厚度方向之截面圖，以說明製造此實施例 HBT 100 之方法。

請參閱圖1C，此實施例之HBT 100具有一結構，其含有一基板101(半絕緣之鎵砷基板，厚度大約600 μm)，及依序疊層於基板上之一緩衝層102(i-鎵砷層，厚度大約250 μm)、一子集極層103(n-鎵砷層，矽摻入，摻雜物濃度大約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約500 nm)、一集極層104(n-鎵砷層，矽摻入，摻雜物濃度大約 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約700 nm)、一基極層105(p-鎵砷層，碳摻入，摻雜物濃度(即碳濃度)係依文後所述控制，厚度大約80 nm)、一射極層106(n-銦_y鎵_{1-y}磷層，其中y係依文後所述設定，矽摻入，摻雜物濃度大約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約25 nm)、一接觸層107(n-鎵砷層，矽摻入，摻雜物濃度大約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約50 nm)、一分級層108(n-銦_x鎵_{1-x}砷層，其中x係0至0.5且隨著其在生長方向之高度而逐漸改變，矽摻入，摻雜物濃度大約 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約50 nm)及一帽蓋層109(n-銦_z鎵_{1-z}砷層，其中z=0.5，矽摻入，摻雜物濃度大約 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約50 nm)。在HBT 100中，一射極110(鎢氮/鉑/鈦/鉑/金或鎢矽/鉑/鈦/鉑/金，總厚度大約300 nm)、一基極111(鉑/鈦/鉑/金，總厚度大約200 nm)及一集極112(金鍍/鎳/金，總厚度大約215 nm)係分別形成於帽蓋層109、射極層106及子集極層103上，如圖1C所示。

如上所述，在此實施例中射極層106之厚度設定為約25 nm，射極層之厚度較佳為小於30 nm，因為一激勵能量Ea係預期隨著射極層106之厚度變大而變小。

HBT 100係依以下方式製成。請參閱圖1A，緩衝層102、

子集極層 103、集極層 104、基極層 105、射極層 106、接觸層 107、分級層 108及帽蓋層 109例如使用MOCVD(有機金屬化學氣體沉積)、MBE(分子束磊晶)、CBE(化學束磊晶)等等方法依序磊晶生長成基板 101上之膜。

利用磊晶生長之諸層形成可以分別使用用於鎵砷層之TEG(三乙基鎵)及 AsH_3 (胂)、用於銦鎵磷層之 TmIn (三甲基銦)及 PH_3 (膦)、用於銦鎵砷層之TEG、 TmIn 及 AsH_3 源氣體進行，TBA(特丁基膦)可用於替代 AsH_3 。此外，在此實施例中一p型層係摻入碳，以做為p型摻雜物，且例如TMG(三甲基鎵)可以使用做為一形成碳摻入層之摻入材料。此外，在此實施例中一n型層係摻入矽，以做為n型摻雜物，且例如 SiH_4 (單矽烷)及/或 Si_2H_6 (二矽烷)可以使用做為一形成矽摻入層之摻入材料。除了矽以外，一n型層例如可摻入錫、硒或碲做為一n型摻雜物，且例如 TESn (三乙基錫)、 DESe (二乙基硒)、 DeTe (二乙基碲)可以分別針對此目的而使用做為一摻入材料。源氣體以及摻入時之摻入材料等之流動率、磊晶生長裝置內之壓力及溫度等等可由習於此技者依據欲形成層之成分及摻入時之摻雜物濃度而選定。

依上述取得疊層後，一欲成為射極下層之障壁層 110a(鎢氮或鎢矽層，厚度大約 100 nm)係利用濺鍍形成於疊層之帽蓋層 109之整個表面上，接著，一光阻遮罩(圖中未示)形成於障壁層 110a上，障壁層經過蝕刻以具有一 1 μm 寬 $\times$ 20 μm 長，如圖 1A所示。隨後，將用過之光阻遮罩去除。

其次請參閱圖 1B，帽蓋層 109、分級層 108及接觸層 107

係以先前形成之障壁層 110a 之遮罩，利用濕蝕刻去除，因而形成一射極突塊。

隨後，一光罩(圖中未示)形成於欲形成射極與基極之預定區域以外之曝露表面上，鉑、鈦、鉑及金依序沉積於疊層上，接著去除光罩(此過程稱之為消除法)。藉此，一射極上層 110b 及基極 111(鉑/鈦/鉑/金，每層金屬厚度大約 50 nm)同時分別形成於障壁層 110a 之整個表面及射極層 106 之一預定區域上，結果，障壁層(射極下層)110a 及射極上層 110b 堆疊以產生射極 110。

其次請參閱圖 1C，一光阻遮罩(圖中未示)形成於射極 110 及基極 111 上，射極層 106、基極層 105 及集極層 104 障壁層利用蝕刻而局部去除，以曝露子集極層 103，因此形成基極突塊。隨後，將用過之光阻遮罩去除。

隨後，集極 112(金鍍/鎳/金，厚度分別約 100 nm、15 nm 及 100 nm)利用相似於上述之消除法形成於子集極層 103 之一預定區域上，所取得之基板進行熱處理，使集極 112 與基極 111 成為合金。藉由基極之合金層貫穿通過射極層 106，此不僅可以確保集極 112 與子集極層 103 之間之一歐姆式接觸，亦確保基極 111 與基極層 105 之間之一歐姆式接觸。

其次，一光阻遮罩形成於一集極突塊之蝕刻區域以外之一曝露表面上，且自子集極層 103 進行濕蝕刻，以曝露緩衝層 102，使一集極突塊如圖 1C 所示地形成。隨後，將用過之光阻遮罩去除。

如上所述，圖 1C 所示此實施例之 HBT 100 即製成。

相關於此 HBT 100，做為基極層 105 之 p-鎵砷層內之碳濃度(摻雜物濃度)及做為射極層 106 之 n-銦_y鎵_{1-y}磷層之混合比 y 可以適當地選定，使集極層 104 之晶格常數 a_c 及射極層 106 之晶格常數 a_e 滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之關係。

相關於此實施例，多種 HBTs 得以製成同時 a_b 係藉由將做為基極層 105 之 p-鎵砷層內之碳濃度設定為大約 $4 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 或大約 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ (此將參考圖 2 說明於後) 而改變之，且 a_e 係藉由將做為射極層 106 之 n-銦_y鎵_{1-y}磷層之混合比 y 在大約 0.44 至 0.52 範圍內變化而改變之，如表 1 所示，及 a_c 藉由使用相同於鎵砷層之材料做為集極層 104 而固定之。

表 1

基極層及射極層之材料

編號	基極層 鎵砷	射極層 銦 _y 鎵 _{1-y} 磷
	碳濃度(cm^{-3})	y
1	4×10^{19}	0.44
2	4×10^{19}	0.46
3	4×10^{19}	0.49
4	4×10^{19}	0.52
5	1×10^{20}	0.44
6	1×10^{20}	0.46
7	1×10^{20}	0.49

鎵砷層之晶格常數隨著其碳濃度變高而變小之事實已屬習知技術，本發明人在進行本發明之前藉由依據上述鎵砷層內碳濃度變化之過程而在室溫時(RT，大約 20 至 30℃)量測晶格常數，以取得晶格常數與碳濃度之間之相互關係，結果揭示於圖 2 內以供參考。圖 2 內之"晶格錯配比(ppm)"係

取自 $(a_1 - a_0)/a_0 \times 10^6$ ，其中 a_0 為一未摻入之鎵砷層之晶格常數而 a_1 為一碳摻入之 p-鎵砷層之晶格常數，未摻入之鎵砷層之晶格常數 a_0 在標準溫度 T_0 時 (300 K = 大約 27°C) 為大約 5.654 埃。因此，習於此技者可以根據由本發明人取得之圖 2 內之相互關係而形成一具有所需晶格常數之鎵砷層。

對於依上述製成之此實施例 HBTs 而言，晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e 係利用一 X 射線繞射儀而依據上述過程預先量測或決定，結果揭示於表 2 內。表 2 內之晶格常數係在室溫時 (RT，大約 20 至 30°C) 之值，且在標準溫度 T_0 = 大約 27°C (請見上述方程式 (3)) 時可視為晶格常數 a_0 。假設接面溫度 T_j 為 90°C ，藉由將 90°C 替代於方程式 (3) 內之特定溫度 T_1 ，在 90°C 接面溫度 T_j 時之晶格常數 α 係針對表 2 內之標準溫度 T_0 時之各晶格常數 α_0 而計算，結果揭示於表 3 內。請注意 β 針對鎵砷層時為大約 $6.86 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ，及針對銦鎵磷層時為大約 $5.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。在表 2、3 中，基極層對集極層之一晶格錯配比 (即 $|a_b - a_c| / a_c \times 100(\%)$) 及射極層對基極層之一晶格錯配比 (即 $|a_e - a_b| / a_b \times 100(\%)$) 亦分別以括號附於 a_b 、 a_e 之後 (同樣情形應用於以下表 6、7)。

表 2

晶 格 常 數 (RT:20 至 30℃ , 典 型 為 27℃)

編號	集極層 鎳砷	基極層 鎳砷	射極層 鎳 _y 鎳 _{1-y} 磷
	a _c (埃)	a _b (埃)	a _c (埃)
1	5.654	5.650(0.07%)	5.635(0.27%)
2	5.654	5.650(0.07%)	5.645(0.09%)
3	5.654	5.650(0.07%)	5.654(0.07%)
4	5.654	5.650(0.07%)	5.670(0.35%)
5	5.654	5.648(0.11%)	5.635(0.23%)
6	5.654	5.648(0.11%)	5.644(0.07%)
7	5.654	5.648(0.11%)	5.654(0.11%)

表 3

晶 格 常 數 (T_j:90℃)

編號	集極層 鎳砷	基極層 鎳砷	射極層 鎳 _y 鎳 _{1-y} 磷
	a _c (埃)	a _b (埃)	a _c (埃)
1	5.656	5.652(0.07%)	5.637(0.27%)
2	5.656	5.652(0.07%)	5.647(0.09%)
3	5.656	5.652(0.07%)	5.656(0.07%)
4	5.656	5.652(0.07%)	5.672(0.35%)
5	5.656	5.650(0.11%)	5.637(0.23%)
6	5.656	5.650(0.11%)	5.646(0.07%)
7	5.656	5.650(0.11%)	5.656(0.11%)

所取得之 HBTs 進行一穩定性試驗，穩定性試驗之電力性條件如下：射極-集極電壓 $V_{ce}=3.0\text{ V}$ ；電流密度 $J_c=100\text{ kA/cm}^2$ 。當改變一環境溫度(即接面溫度)做為一參數時，MTTF(即平均失效時間)係針對各溫度而量測。HBTs 之失效係在一電流增益 h_{fe} 降低至初始值之 80% 或更小時斷定，且 MTTF 為一自開始試驗至其失效時之時間。

一回歸線係自測得之 MTTFs 之 Arrhenius 圖表取用於各 HBT，回歸線揭示於圖 3A、3B 內。圖 3A 揭示樣品編號 1 至

4(其在鎵砷基極層內之碳濃度約為 $4 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)之回歸線，及圖3B揭示樣品編號5至7(其在鎵砷基極層內之碳濃度約為 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$)之回歸線(樣品編號係在附圖中以箭頭表示)。此外，各HBT之激勵能量 E_a 係取自其回歸線，結果揭示於表4內。

表 4

激勵能量 E_a

編號	$E_a(\text{eV})$
1	2.2
2	3.2
3	1.1
4	0.9
5	2.0
6	3.0
7	0.7

請參閱表2、3，在樣品編號1至7之中，樣品編號1、2、5及6之HBTs係本發明之範例，因為這些HBTs滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 之關係。另一方面，樣品編號3、4及7之HBTs係比較性範例。

從表2至4可以瞭解的是，當 $a_c > a_b > a_e$ 之關係獲得滿足時即可得到一較高之 E_a (樣品編號1、2、5及6)。當 a_e 之值變得過小於 a_b 之值時， E_a 將有變小趨勢，儘管 $a_c > a_b > a_e$ 之關係仍獲得滿足(將樣品編號1、5分別比較於編號2、6)。惟，當射極層對基極層之晶格錯配比較佳為不大於0.3%同時滿足上述關係時(樣品編號1、2、5及6)，所得之 E_a 值即不小於2.0 eV，且HBTs在低溫時之壽命(MTTF)延展性可獲確定。特別是，樣品編號2、6之 E_a 值不小於3.0 eV，因此，當射

極層對基極層之晶格錯配比不大於0.1%時，即可取得具有特別高穩定性之HBTs。

當分別在相同 a_c 值及不同 a_b 值之條件下比較樣品編號1、2與編號5、6時，其 a_b 接近於 a_c 之樣品編號1、2之 E_a 值係較高於樣品編號5、6者，此係因基極層對集極層之較小晶格錯配比所致。因此，基極層對集極層之晶格錯配比較佳為不大於約0.3%，且更佳為不大於約0.1%。

相關於樣品編號2、6之HBTs，可以取得一不小於3.0 eV之高激勵能量 E_a 。樣品編號2、6之HBTs之MTTF大約分別為1.5百萬小時及1.3百萬小時(圖中未示)，假設接面溫度 T_j 為230°C。HBT(c)在先前技術之HBTs中有最高激勵能量，且其MTTF在230°C接面溫度 T_j 時大約為0.12百萬小時(參閱圖8之線(c))。此實施例之MTTF大約比HBT(c)者長10倍，即使HBT(c)穩定性試驗中之電力性條件比此實施例者緩和。再者，已確認的是在低接面溫度時，例如200°C，此實施例之MTTF係比HBT(c)者長100倍或更多。

在上述中，裝置特徵之改善係根據室溫及接面溫度時 a_c 、 a_b 、 a_e (及晶格錯配比)之間之關係而考量。其次，晶格常數之溫度依存性亦應考量，一晶格常數對於溫度幾乎呈線性增加，從上述方程式(3)內即可以瞭解。例如，一顯示出相關於樣品編號2之HBT內所用各層之晶格常數依存性之線係揭示於圖4中，線(a)對應於鎵砷層(未摻入，集極層)之晶格常數 a_c ，線(b)對應於碳摻入之鎵砷層(碳濃度 $4 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，基極層)之晶格常數 a_b ，線(c)對應於 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ 磷層

($y=0.46$ ，射極層)之晶格常數 a_e 。此外，一線(d)亦揭示於圖4中，其對應於一銦 y 鎵 $1-y$ 磷層($y=0.48$ ，射極層)之晶格常數 a_e ，其揭示於圖4中以供比較。

從線(a)至(c)可知，樣品編號2之HBT在圖內所示之全部溫度範圍內皆滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 之關係。因此，可確實取得具有長壽命與高穩定性之HBT。

其次，一含有線(d)之銦 y 鎵 $1-y$ 磷層($y=0.48$)以取代樣品編號2之HBT內線(c)之銦 y 鎵 $1-y$ 磷層($y=0.46$)之HBT將探討於後。在此例子中，在低於 120°C 之溫度範圍內，線(d)係位於線(b)上方，因此， a_c 、 a_b 、 a_e 呈現 $a_c > a_b$ 且 $a_b < a_e$ ， $a_c > a_b > a_e$ 之關係在此範圍內並未滿足。對比之下，在不低於 120°C 之溫度範圍內，線(d)係位於線(b)下方，且 $a_c > a_b > a_e$ 之關係獲得滿足。因此，只要其接面溫度不低於 120°C ，即可取得具有長壽命與高穩定性之HBT。

如上所述，本發明可實施以利 $a_c > a_b > a_e$ 之關係至少在HBT之接面溫度時獲得滿足，同時考量溫度對於晶格常數之影響。例如，在熱阻 $R=60^\circ\text{C}/\text{W}$ 、集極-射極電壓 $V_{ce}=3\text{ V}$ 、及集極電流 $I_c=300\text{ mA}$ 之例子中，此將造成接面溫度 T_j =大約 80°C ，因此有必要選擇 a_c 、 a_b 、 a_e 以利至少在此溫度時滿足預定關係。

實施例2

此實施例相關於一射極朝上型銦磷/銦鎵砷HBT及其製造方法，圖5簡示此實施例HBT 400之截面圖。

請參閱圖5，此實施例之HBT 400具有一結構，其含有一

基板401(半絕緣之銦磷基板，厚度大約625 μm)，及依序疊層於基板上之一子集極層402(n-銦_w鎵_{1-w}砷層，其中w為0.53，矽摻入，摻雜物濃度大約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約400 nm)、一集極層403(i-銦_y鎵_{1-y}砷層，其中y係如文後所述設定，未摻入，厚度大約300 nm)、一基極層404(p-銦_x鎵_{1-x}砷層，其中x係如文後所述設定，碳摻入，摻雜物濃度大約 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約50 nm)、一射極層405(n-銦磷層，矽摻入，摻雜物濃度大約 $3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約25 nm)、一接觸層406(n-銦磷層，矽摻入，摻雜物濃度大約 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約20 nm)、及一帽蓋層407(n-銦_z鎵_{1-z}砷層，其中z=0.53，矽摻入，摻雜物濃度大約 $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約100 nm)。在HBT 400中，一射極408、一基極409及一集極410(鈦/鉑/金，各金屬層厚度大約50 nm、50 nm及100 nm，總厚度大約200 nm)係分別形成於帽蓋層407、基極層404及子集極層402上，如圖5所示。

此實施例之HBT 400可由習於此技者參考於實施例1內HBT 100之製造方法說明而製成。

相關於此HBT 400，做為集極層403之銦_y鎵_{1-y}砷層之混合比y及做為基極層404之銦_x鎵_{1-x}砷層之混合比x可以適當地選定，使集極層403之晶格常數 a_c 、基極層404之晶格常數 a_b 及射極層405之晶格常數 a_e 滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之關係。

相關於此實施例，多種HBTs得以製成同時 a_b 係藉由將做為基極層404之銦_x鎵_{1-x}砷層之混合比x設定為大約0.52或大

約 0.54，且 a_c 係藉由將做為集極層 403 之 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 層之混合比 y 在大約 0.48 至 0.56 範圍內變化而改變之，如表 5 所示，及 a_e 藉由使用相同於 InP 層之材料做為射極層 405 而固定之。

表 5

集極層及基極層之材料

編號	集極層 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$	基極層 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$
	Y	X
8	0.53	0.52
9	0.51	0.52
10	0.48	0.52
11	0.56	0.54
12	0.55	0.54
13	0.53	0.54

對於依上述製成之此實施例 HBTs 而言，晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e 係相似於實施例 1 而預先量測或決定，結果揭示於表 6 內。表 6 內之晶格常數係在室溫時 (RT，大約 20 至 30°C) 之值，且在標準溫度 T_0 = 大約 27°C (請見上述方程式 (3)) 時可視為晶格常數 α_0 。假設接面溫度 T_j 為 150°C，藉由相似於實施例 1 之方程式 (3) 者，在 150°C 接面溫度 T_j 時之晶格常數係針對表 6 內之標準溫度 T_0 時之各晶格常數而計算，結果揭示於表 7 內。請注意 β 針對 InGaAs 層時為大約 $5.69 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ，及針對 InP 層時為大約 $4.75 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。

表 6

晶格常數 (RT: 20 至 30°C, 典型為 27°C)

編號	集極層 銦 _y 鎵 _{1-y} 砷	基極層 銦 _x 鎵 _{1-x} 砷	射極層 銦磷
	a _c (埃)	a _b (埃)	a _e (埃)
8	5.869	5.863(0.10%)	5.869(0.10%)
9	5.858	5.863(0.09%)	5.869(0.10%)
10	5.847	5.863(0.27%)	5.869(0.10%)
11	5.882	5.873(0.15%)	5.869(0.07%)
12	5.878	5.873(0.09%)	5.869(0.07%)
13	5.869	5.873(0.07%)	5.869(0.07%)

表 7

晶格常數 (T_j: 150°C)

編號	集極層 銦 _y 鎵 _{1-y} 砷	基極層 銦 _x 鎵 _{1-x} 砷	射極層 銦磷
	a _c (埃)	a _b (埃)	a _e (埃)
8	5.873	5.867(0.10%)	5.872(0.09%)
9	5.862	5.867(0.09%)	5.872(0.09%)
10	5.851	5.867(0.27%)	5.872(0.09%)
11	5.886	5.877(0.15%)	5.872(0.09%)
12	5.882	5.877(0.09%)	5.872(0.09%)
13	5.873	5.877(0.07%)	5.872(0.09%)

所取得之 HBTs 相似於實施例 1 而進行一穩定性試驗，一回歸線係自測得之 MTTFs 之 Arrhenius 圖表取用於各 HBT，回歸線揭示於圖 6A、6B 內。圖 6A 揭示樣品編號 8 至 10 (其銦_x鎵_{1-x}砷層之混合比 x 約為 0.52) 之回歸線，及圖 6B 揭示樣品編號 11 至 13 (其銦_x鎵_{1-x}砷層之混合比 x 約為 0.54) 之回歸線。此外，各 HBT 之激勵能量 E_a 係取自其回歸線，結果揭示於表 8 內。

表 8

激勵能量 E_a

編號	$E_a(\text{eV})$
8	0.8
9	3.1
10	2.0
11	2.1
12	3.2
13	0.9

請參閱表 6、7，在樣品編號 8 至 13 之中，樣品編號 9 至 12 之 HBTs 係本發明之範例，因為樣品編號 9、10 之 HBTs 滿足於 $a_c < a_b < a_e$ 之關係，而樣品編號 11、12 之 HBTs 滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 之關係。另一方面，樣品編號 8、13 之 HBTs 係比較性範例。

從表 6 至 8 可以瞭解的是，當 $a_c < a_b < a_e$ 之關係(樣品編號 9、10)或 $a_c > a_b > a_e$ 之關係(樣品編號 11、12)獲得滿足時即可得到一較高之 E_a ，而當 a_c 之值遠小於 a_b 之值時， E_a 將有變小趨勢，儘管 $a_c < a_b < a_e$ 之關係仍獲得滿足(將樣品編號 9 比較於編號 10)。此外，當 a_c 之值遠大於 a_b 之值時， E_a 亦有變小趨勢，儘管 $a_c > a_b > a_e$ 之關係仍獲得滿足(將樣品編號 11 比較於編號 12)。惟，當基極層對集極層之晶格錯配比較佳為不大於 0.3% 同時滿足上述關係時(樣品編號 9、10、11 及 12)，所得之 E_a 值即不小於 2.0 eV，且 HBTs 在低溫時之壽命(MTTF)延展性可獲確定。特別是，樣品編號 9、12 之 E_a 值不小於 3.0 eV，因此，當基極層對集極層之晶格錯配比不大於 0.1% 時，即可取得具有特別高穩定性之 HBTs。

相似於前述者，射極層對基極層之晶格錯配比較佳為不

大於約0.3%，且更佳為不大於約0.1%。

本發明之二實施例已說明於上，惟，本發明不應侷限於諸實施例且可有多種變化方式。本發明之HBT可有任意適當之結構及可由任意適當之材料構成，只要能滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之關係。

以上實施例1、2說明射極朝上型HBTs，其中集極層、基極層及射極層依序疊層於基板上，使得射極層相關於基板而位於集極層與基極層上。惟，本發明並不限於此，而是可應用於集極朝上型HBTs，其中射極層、基極層及集極層依序疊層於基板上，使得集極層相關於基板而位於射極層與基極層上。在後一例子中，集極層對基極層之晶格錯配比及基極層對射極層之晶格錯配比其中至少一者且較佳為二者係不大於約0.3%，且更佳為不大於約0.1%。

再者，實施例1、2之HBTs屬於單一HBTs，其中一寬帶隙僅形成於射極層內。惟，本發明亦可應用於雙HBTs，其中一寬帶隙形成於集極層以及射極層內。例如在實施例1中，集極層可為其他層，例如銦鎵磷層，在此例子中，其可藉由適當地控制各層之晶格常數而取得改善穩定性之HBT，以滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之關係。

實施例1之HBT具有緩衝層、子集極層、接觸層、分級層及帽蓋層，而實施例2之HBT具有子集極層、接觸層及帽蓋層。惟，請注意諸層並非實施本發明所必要者。

實施例3

此實施例為實施例1之變換型式且相關於一包括二層式

射極在內之HBT，請參閱圖1C之HBT 100，此實施例之HBT具有一實質上相同於HBT 100者之結構，不同的是射極層106係由沉積於基極層105上之第一射極層106a(n-銦_y鎵_{1-y}磷層，其中 $y=0.46$ ，矽摻入，摻雜物濃度大約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約25 nm)及沉積於第一射極層106a上之第二射極層106b(n-銦_{y'}鎵_{1-y'}磷層，其中 $y'=0.43$ ，矽摻入，摻雜物濃度大約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，厚度大約25 nm)構成。在此實施例中，做為基極層105之p-鎵砷層內之碳濃度約為 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ ，此實施例之HBT可由習於此技者參考於上述實施例1之HBT而製成。

對於依上述製成之此實施例HBTs而言，晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e 係相似於實施例1而預先量測或決定，結果揭示於表9內。表9內之晶格常數係在室溫時(RT，大約20至30°C)之值，且在標準溫度 T_0 =大約27°C(請見上述方程式(3))時可視為晶格常數 α_0 。假設接面溫度 T_j 為85°C，藉由相似於實施例1之方程式(3)者，在85°C接面溫度 T_j 時之晶格常數係針對表9內之標準溫度 T_0 時之各晶格常數而計算，結果揭示於表10內。在表9、10中，基極層對集極層之一晶格錯配比(即 $|a_b - a_c| / a_c \times 100(\%)$)、第一射極層對基極層之一晶格錯配比(即 $|a_{e1} - a_b| / a_b \times 100(\%)$)及第二射極層對基極層之一晶格錯配比(即 $|a_{e2} - a_b| / a_b \times 100(\%)$)亦分別以括號附於 a_b 、 a_{e1} 、 a_{e2} 之後。

表 9

晶格常數(RT:20至30°C，典型為27°C)

編號	集極層 鎵砷	基極層 鎵砷	第一射極層 銦 _y 鎵 _{1-y} 磷	第二射極層 銦 _{y'} 鎵 _{1-y'} 磷
	a_c (埃)	a_b (埃)	a_{e1} (埃)	a_{e2} (埃)
14	5.654	5.648(0.11%)	5.645(0.05%)	5.630(0.32%)

表 10

晶格常數($T_j: 85^\circ\text{C}$)

編號	集極層 鎵砷	基極層 鎵砷	第一射極層 銦 _y 鎵 _{1-y} 磷	第二射極層 銦 _{y'} 鎵 _{1-y'} 磷
	a_c (埃)	a_b (埃)	a_{e1} (埃)	a_{e2} (埃)
14	5.656	5.650(0.11%)	5.647(0.05%)	5.632(0.32%)

從表 9、10 可以瞭解的是，集極層之晶格常數 a_c 、基極層之晶格常數 a_b 及第二射極層之晶格常數 a_{e2} 滿足於 $a_c > a_b > a_{e2}$ 之關係。第二射極層對基極層之晶格錯配比為 0.32%，此大於 0.3%。反之，第一射極層對基極層之晶格錯配比為 0.05%，此小於 0.1%。

依此實施例所示，第一射極層有助於 HBT 之特徵(更明確地說是射極-基極之一帶隙)，使其可取得所需之帶狀結構，及藉由適當地選擇第一射極層之材料而維持 HBT 之特徵。此外，依此實施例所示，由於第二射極層與基極層之晶格常數相互錯配，以致於第二射極層相對於基極層而具有一大於 0.3% 之應變，第二射極層之應變即影響到第一射極層與基極層取得具有高穩定性之 HBT。

儘管在此實施例中第一射極層具有 25 nm 厚度，第一射極層較佳為具有一較小厚度，例如 10 nm 或更小。此薄第一射極層之優點在於 HBT 之特徵容易控制，同時取得高穩定性，因為第一射極層易受到第二射極層影響。

再者，儘管在此實施例 3 中射極係由二層構成，當集極-

基極之帶狀結構變化有問題時，集極層可以改由二層構成。此外，射極層與集極層二者皆可由二層構成。

儘管本發明已參考實施例1至3說明於前，可以瞭解的是本發明不限於諸實施例，且在不脫離本發明之精神及範疇下，仍可達成多種變化。

本申請案聲明分別於2002年10月30日及2003年9月10日提出之2002-316011及2003-318668號日本專利申請案之優先權，二案皆名為"HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTOR"，諸申請案之內文在此納入供作參考。

【圖式簡單說明】

本發明之較完整認識及其多項優點可參考以上詳細說明得知，特別是配合於附圖考量時，其中：

圖1A至1C係一製程圖，其簡示一沿著厚度方向之本發明實施例HBT之截面圖，以說明製造HBT 100之方法；

圖2係一圖表，揭示一鎳砷層之晶格常數對於鎳砷層內碳濃度之依存性；

圖3A、3B係圖表，分別揭示本發明實施例之樣品編號1至4及5至7之HBTs之穩定性試驗結果；

圖4係一圖表，揭示一晶格常數對於一(a)鎳砷層、(b)碳摻入之鎳砷層(碳濃度 $4 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)、(c)銻_y鎳_{1-y}磷層($y=0.46$)、及(d)銻_y鎳_{1-y}磷層($y=0.48$)之溫度之依存性；

圖5簡示本發明另一實施例之HBT之截面圖；

圖6A、6B係圖表，分別揭示本發明另一實施例之樣品編號8至10及11至13之HBTs之穩定性試驗結果；

圖7簡示先前技術之一HBT範例之截面圖；及

圖8係一圖表，揭示先前技術HBTs之穩定性試驗結果。

【圖式代表符號說明】

100、400、600	HBT
101、401、601	基板
102、602	緩衝層
103、402	子集極層
104、403、603	集極層
105、404、604	基極層
106、405、605	射極層
107、406	接觸層
108	分級層
109、407	帽蓋層
110、408、609	射極
110a	障壁層
110b	射極上層
111、409、608	基極
112、410、607	集極
606	射極-帽蓋層

伍、中文發明摘要：

本發明建構一種異質接面雙極電晶體(100)，HBT，其包含一集極層(104)、一基極層(105)及一射極層(106)，使集極層(104)、基極層(105)及射極層(106)分別具有不同晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e ，且 a_b 值在 a_c 、 a_e 值之間(易言之， a_c 、 a_b 、 a_e 值滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 或 $a_c < a_b < a_e$ 之關係)。依本發明所示，可取得具有一高穩定性之HBT，且不改變現有裝置及步驟，以利廣泛製造HBT。

陸、英文發明摘要：

A Heterojunction Bipolar Transistor, HBT, (100) containing a collector layer (104), a base layer (105) and an emitter layer (106) is constructed such that the collector layer (104), the base layer (105) and the emitter layer (106) have different lattice constants of a_c , a_b and a_e respectively, and a value of a_b between values of a_c and a_e (in other words, the values of a_c , a_b and a_e satisfy a relationship of $a_c > a_b > a_e$ or $a_c < a_b < a_e$). According to the present invention, the HBT having a high reliability can be realized without altering the existing apparatus and steps for producing the HBT extensively.

柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1C) 圖。

(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

- 100 HBT
- 101 基板
- 102 緩衝層
- 103 子集極層
- 104 集極層
- 105 基極層
- 106 射極層
- 107 接觸層
- 108 分級層
- 109 帽蓋層
- 110 射極
- 110a 障壁層
- 110b 射極上層
- 111 基極
- 112 集極

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

拾、申請專利範圍：

1. 一種異質接面雙極電晶體，包含一集極層、一基極層及一射極層，其中集極層、基極層及射極層分別具有不同晶格常數 a_c 、 a_b 、 a_e ，且 a_b 值在 a_c 、 a_e 值之間。
2. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中 a_c 、 a_b 、 a_e 值滿足於 $a_c > a_b > a_e$ 之關係。
3. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中 a_c 、 a_b 、 a_e 值滿足於 $a_c < a_b < a_e$ 之關係。
4. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中異質接面雙極電晶體係一射極朝上型，且 a_e 、 a_b 值滿足於 $|a_e - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.3(\%)$ 之關係。
5. 如申請專利範圍第4項之異質接面雙極電晶體，其中 a_e 、 a_b 值滿足於 $|a_e - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.1(\%)$ 之關係。
6. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中異質接面雙極電晶體係一射極朝上型，且 a_b 、 a_c 值滿足於 $|a_b - a_c| / a_c \times 100 \leq 0.3(\%)$ 之關係。
7. 如申請專利範圍第6項之異質接面雙極電晶體，其中 a_b 、 a_c 值滿足於 $|a_b - a_c| / a_c \times 100 \leq 0.1(\%)$ 之關係。
8. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中異質接面雙極電晶體係一集極朝上型，且 a_c 、 a_b 值滿足於 $|a_c - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.3(\%)$ 之關係。
9. 如申請專利範圍第8項之異質接面雙極電晶體，其中 a_c 、 a_b 值滿足於 $|a_c - a_b| / a_b \times 100 \leq 0.1(\%)$ 之關係。
10. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中異質

接面雙極電晶體係一集極朝上型，且 a_b 、 a_e 值滿足於
 $|a_b - a_e| / a_e \times 100 \leq 0.3(\%)$ 之關係。

11. 如申請專利範圍第10項之異質接面雙極電晶體，其中 a_b 、 a_e 值滿足於
 $|a_b - a_e| / a_e \times 100 \leq 0.1(\%)$ 之關係。

12. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中施加一銦鎵磷/鎵砷異質接面。

13. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中施加一銦磷/銦鎵砷異質接面。

14. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中射極層包含一第一射極層及一第二射極層，第一射極層夾置於基極層與第二射極層之間，第一及第二射極層分別具有晶格常數 a_{e1} 、 a_{e2} ， a_{e2} 值相當於 a_e 值，且 a_{e2} 、 a_b 值滿足於
 $|a_{e2} - a_b| / a_b \times 100 > 0.3(\%)$ 之關係。

15. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中集極層包含一第一集極層及一第二集極層，第一集極層夾置於基極層與第二集極層之間，第一及第二集極層分別具有晶格常數 a_{c1} 、 a_{c2} ， a_{c2} 值相當於 a_c 值，且 a_{c2} 、 a_b 值滿足於
 $|a_{c2} - a_b| / a_b \times 100 > 0.3(\%)$ 之關係。

16. 如申請專利範圍第1項之異質接面雙極電晶體，其中在一接面溫度時 a_b 值係在 a_c 、 a_e 值之間。

拾壹、圖式：

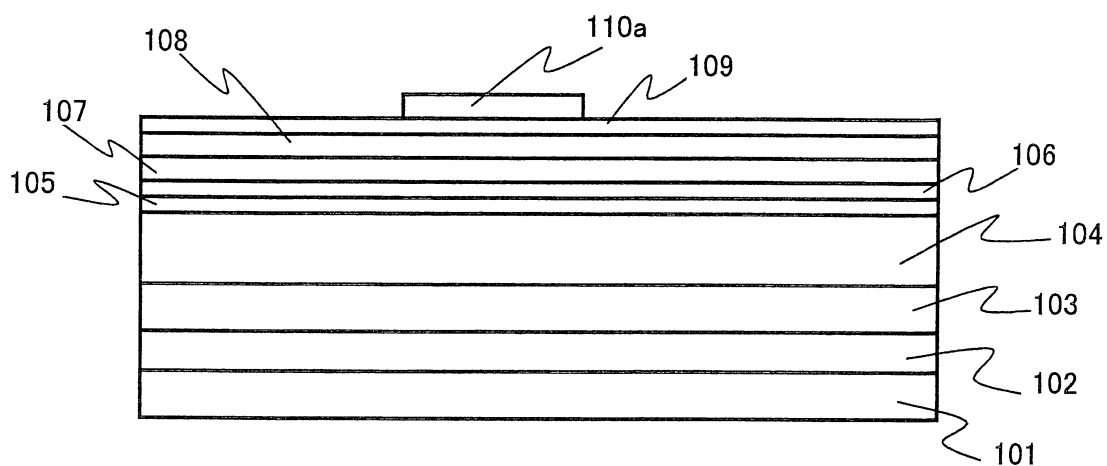


圖 1A

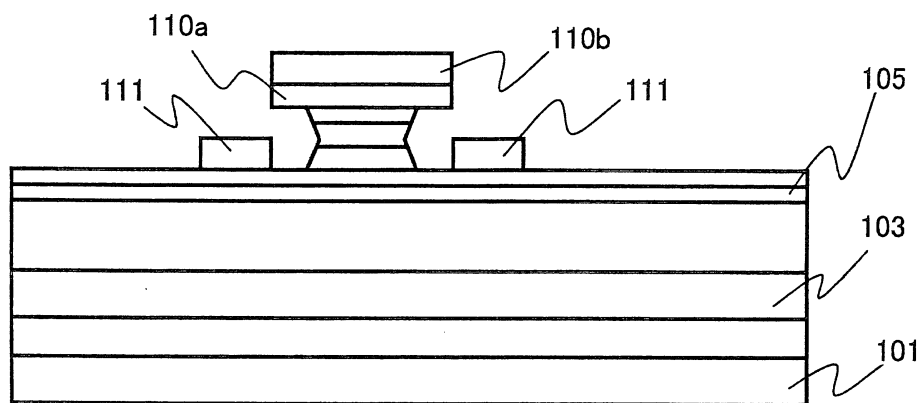


圖 1B

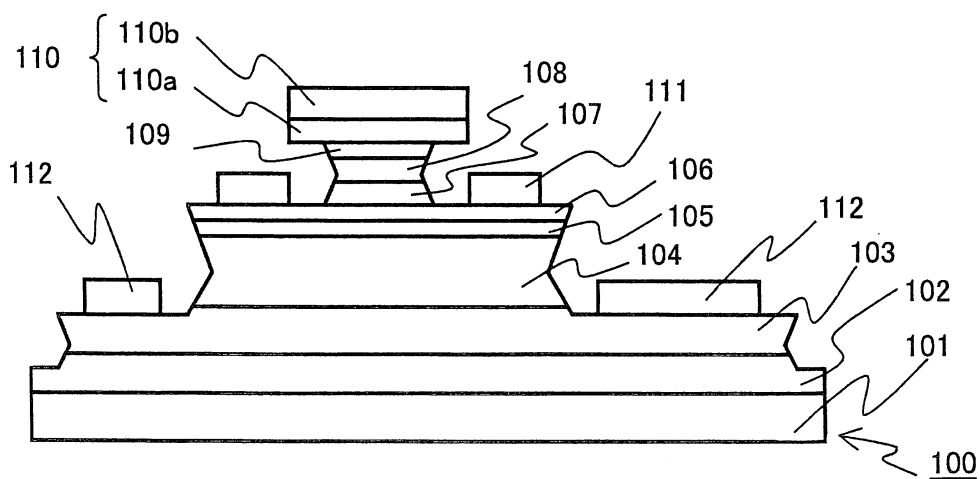


圖 1C

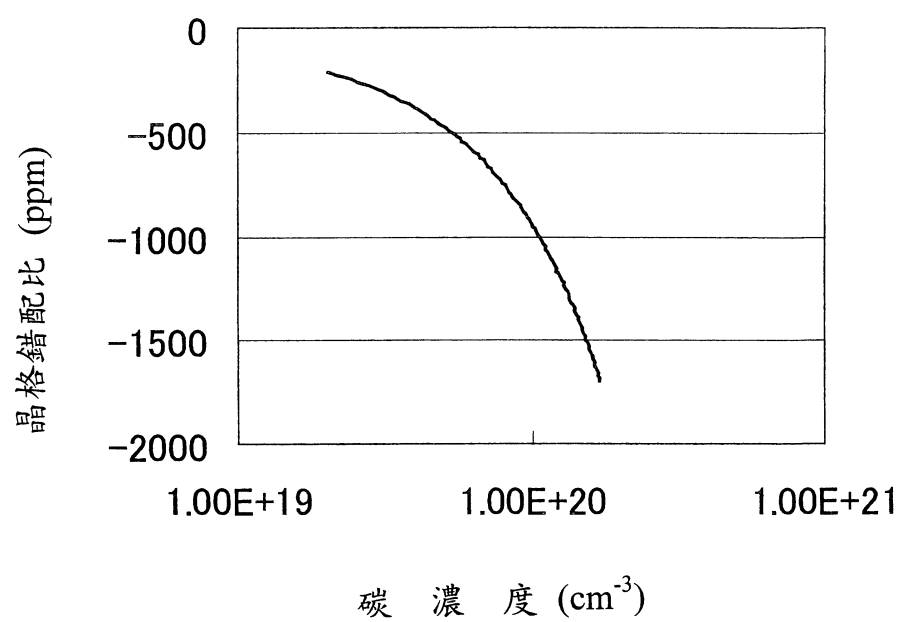


圖 2

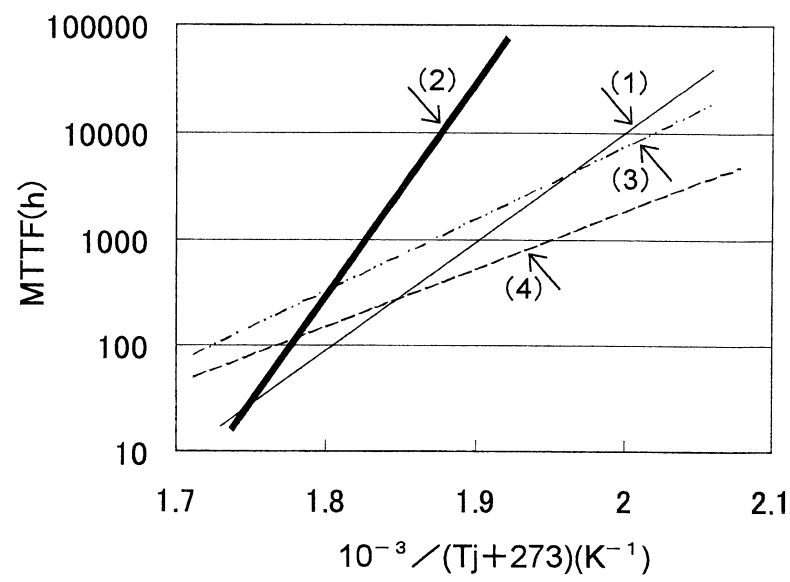


圖 3A

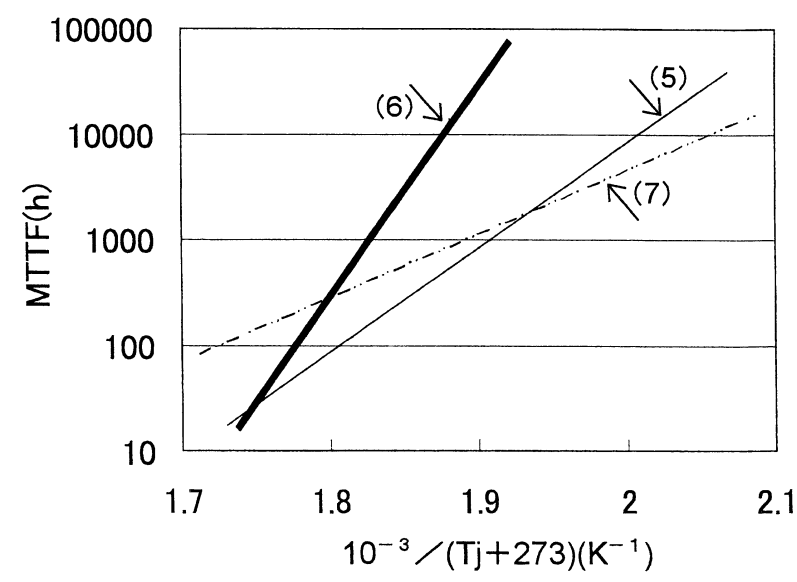


圖 3B

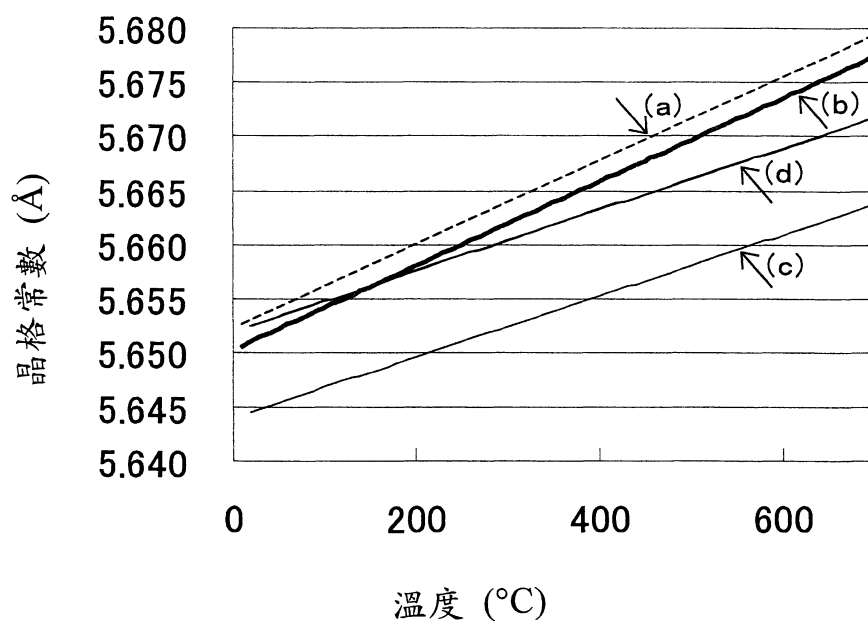


圖 4

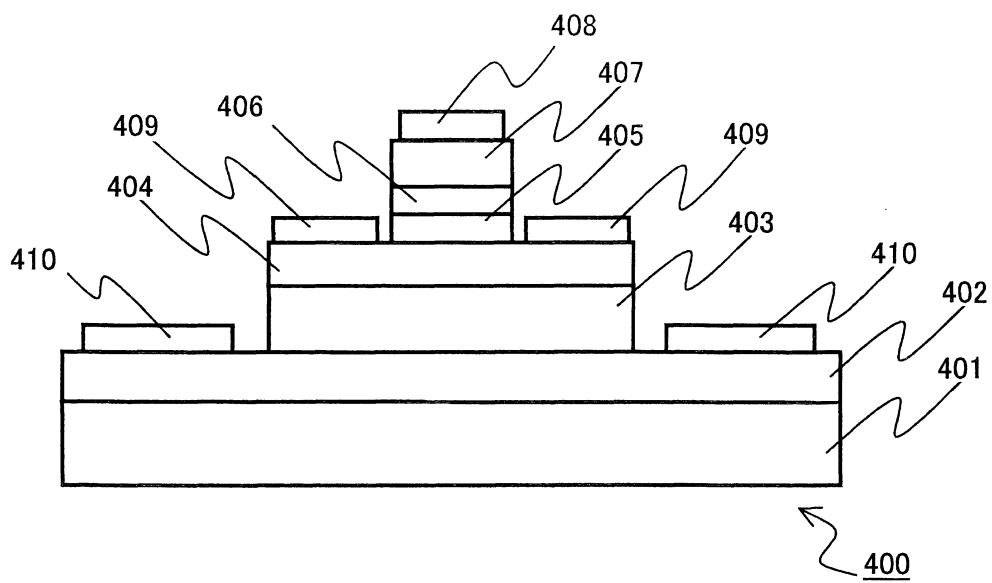


圖 5

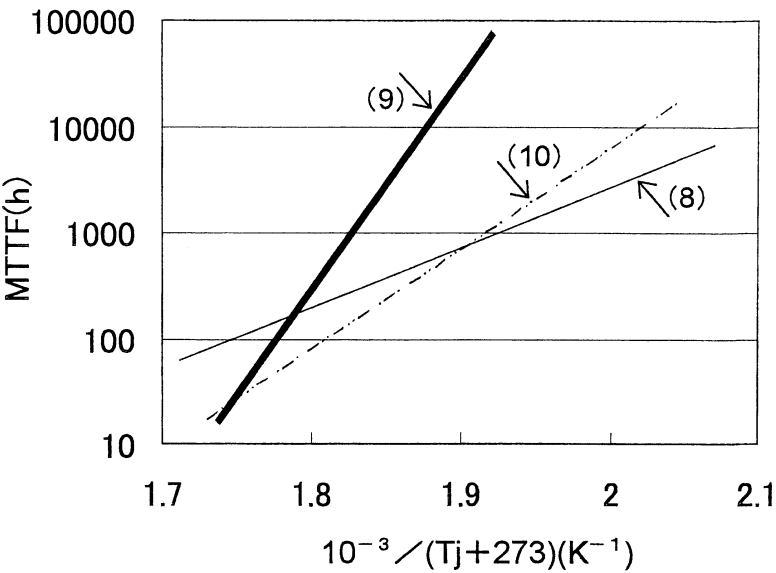


圖 6A

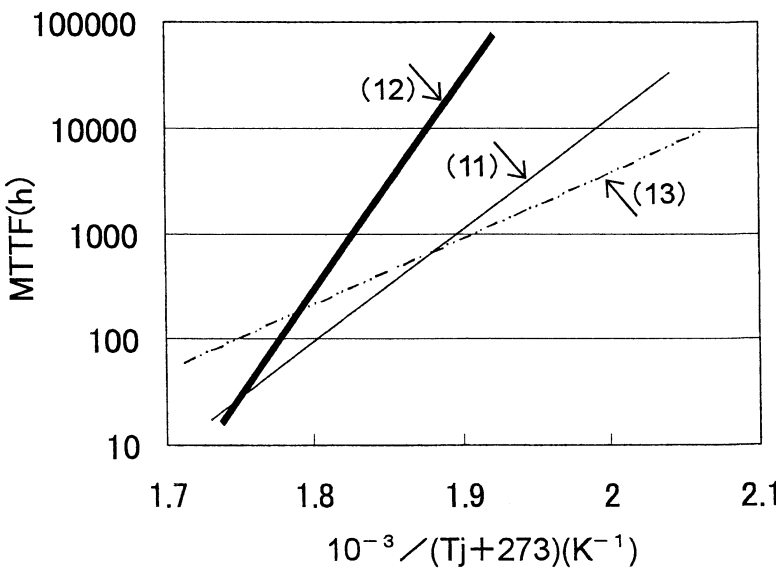


圖 6B

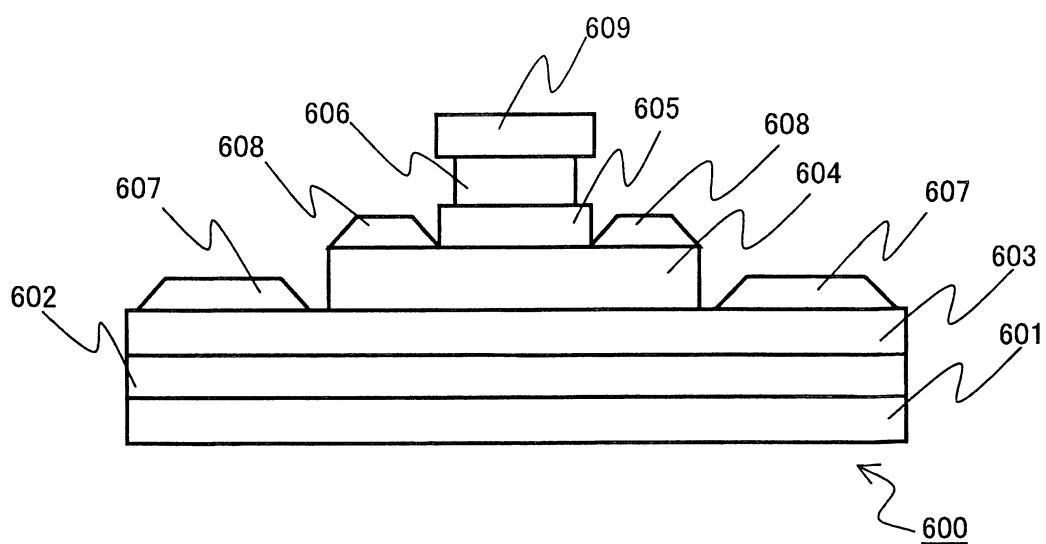


圖 7

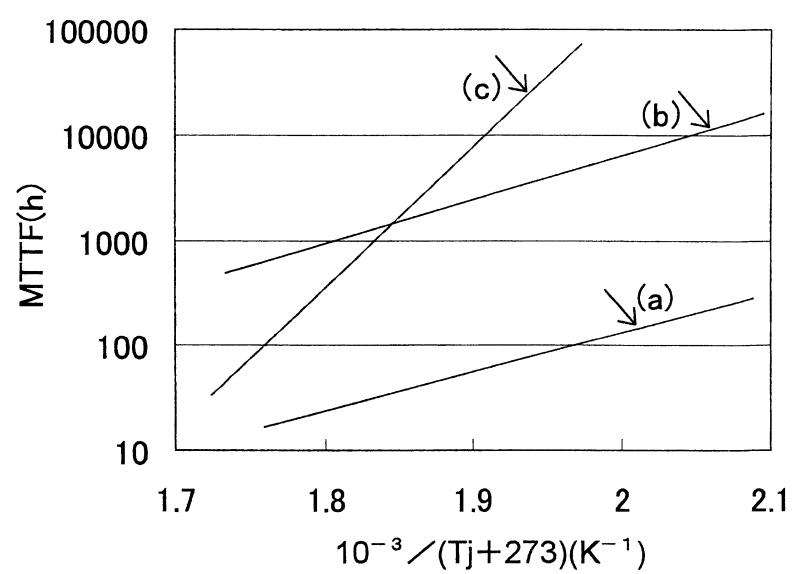


圖 8