

公告本

申請日期:

類別:

89.2.10

案號:

89102572

02572

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

441123

一、發明名稱	中文	一種共振穿透異質結構雙極性電晶體
	英文	A Resonant-Tunneling Heterostructure Bipolar Transistor
二、發明人	姓名 (中文)	1. 劉文超 2. 蔡榮輝 3. 鄭岫盈
	姓名 (英文)	1. 2. 3.
	國籍	1. 中華民國 2. 中華民國 3. 中華民國
	住、居所	1. 台南市大學路1號 2. 台南市大學路1號 3. 台南市大學路1號
三、申請人	姓名 (名稱) (中文)	1. 行政院國家科學委員會
	姓名 (名稱) (英文)	1.
	國籍	1. 中華民國
	住、居所 (事務所)	1. 台北市和平東路2段106號18樓
	代表人 姓名 (中文)	1. 黃鎮台
	代表人 姓名 (英文)	1.

4 4 1 1 2 3

案號 89102572

年 月 日

修正

本案已向

國(地區)申請專利

申請日期

案號

主張優先權

無

有關微生物已寄存於

寄存日期

寄存號碼

無

五、發明說明 (1)

產業上之利用領域

本發明為一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體，可達到高電流增益、低補償電壓之電晶體特性，且由於該元件共振穿透之機制，經由適當之偏壓，可導致 N 型負微分電阻特性。此外，因其高頻效能與異質接面雙極性電晶體相似，元件之雜訊低且操作頻率可達到非常高，故於微波之應用非常顯著，如低雜訊放大器等。另一方面，利用 N 型負微分電阻多穩態之特性，除了可應用在高頻震盪器、分頻器等微波元件上，亦可應用於同位元產生器(parity generator)、多值邏輯電路等數位電路，為未來微波通訊電路及極大型積體電路的整合提供一個新的方向。

背 景

最近，新型異質結構雙極性電晶體的開發已吸引研究者高度的興趣。由於具有高速及高電流操作能力，現已廣範應用於數位及微波功率方面。然而，現今積體電路蓬勃發展，大量縮減元件數目，且增加元件功能已是時勢所趨。過去，國內外研究者已開



五、發明說明 (2)

發多種實用之功能型電晶體，在同一元件中同時具有電晶體放大及負微分電阻等功能。這些特性可實際應用於放大器電路多穩態邏輯電路及振盪器等。

5

習 知 技 藝

近年來，本發明人已成功開發多種功能型電晶體，諸如 AlGaAs/GaAs 型異質結構射極式雙極性電晶體(HEBT)，1995 年於 IEEE Trans. Electron Device, 第 42 卷第 1210-1215 頁報導 InGaP/GaAs 型 HEBT，1992 年於 IEEE Trans. Electron Devices 第 39 卷第 2214-2219 頁報導 AlGaAs/GaAs 雙異質結構射極式雙極性電晶體(DHEBT)及 AlGaAs/InGaAs/GaAs 型異質結構射極及異質結構基極式雙極性電晶體(HEHBT)等。此類異質結構射極式雙極性電晶體 (HEBT)由於具有同質射極層，因此與傳統異質接面雙載子電晶體(HBT)比較，能有效降低補償電壓(offset voltage)；
同時此類異質結構射極式雙極性電晶體具有較大能隙之少數載子侷限層，故能維持高電流增益。然此類元件皆不具備 N 型負微分

五、發明說明 (3)

電阻特性，無法運用於多功能方面應用。

本發明人首先開發完成新穎的功能型砷化鋁鎵/砷化鎵/砷化
銾鎵共振穿透異質結構雙極性電晶體。利用極薄的基極層，
5 AlGaAs/GaAs/InGaAs 異質結構射極及 InGaAs 量子井等設計，
使其在正常操作模式下具有大電流增益、低補償電壓及 N 型負微
分電阻之特性。此外，本元件製造簡單，特性穩定可於常溫下操
作，對國內外半導體工藝技術之提昇將有助益，且適用於工業生
產。

10

發明目標

本發明為研製一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電
晶體。其在順向操作模式下，電晶體於常溫時可同時呈現大電流
增益、低補償電壓及 N 型負微分電阻之特性。在射極層中加入 n
型砷化鎵，可降低集-射極間之補償電壓。使用極薄的基極層，
15 可降低中性基極區復合電流，因此可獲得高電流增益。在較大的
基-射極偏壓下，電晶體特性操作下可出現 N 型的負微分電阻現

五、發明說明 (4)

象，這些特性可應用於放大電路、振盪器及邏輯電路等。

為使更進一步了解本發明之特點及技術內容，請參閱有關本發明之附圖及詳細說明。

5

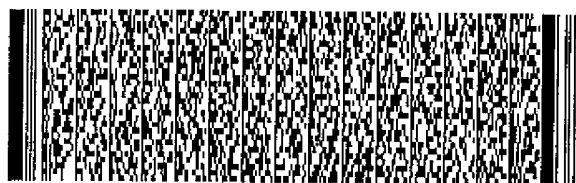
凡是熟悉該技藝的人士在閱讀下列經由不同圖解所展示之較佳實施例詳細說明後，無疑地將非常清楚本發明所揭示之目的和優點。然而所附圖示僅提供參考說明用，並非用來對本發明加以限制者。

10

發明之詳細說明

本發明揭示一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體(10) 如圖 1 所示包括：一基板、一緩衝層、一集極層、一基極層、一基板、一射極層丙、一射極層乙、一射極層甲及一歐姆性接觸層。其中，一基板(12)，係由砷化鎵(GaAs)材料形成；一緩衝層(14)，係由砷化鎵材料形成；一集極層(16)，係由砷化鎵材料形成；一基極層(18)，係由砷化鎵材料形成；一射極層丙(20)，

15



五、發明說明 (5)

係由砷化銦鎵($\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$)材料形成；一射極層乙(22)，係由砷化鎵(GaAs)材料形成；一射極層甲(24)，係由砷化鋁鎵($\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$)材料形成；一歐姆性接觸層(26)，係由砷化鎵(GaAs)材料形成。

其結構由下而上依次為 n^+ 型砷化鎵(GaAs)基板；砷化鎵(GaAs)緩衝層；砷化鎵(GaAs)集極層；砷化鎵(GaAs)基極層；砷化銦鎵($\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$)射極層丙；砷化鎵(GaAs)射極層乙；砷化鋁鎵($\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$)射極層甲；砷化鎵(GaAs)歐姆性接觸層。

本元件射極層包含 n 型砷化鋁鎵、 n 型砷化鎵及 n 型砷化銦鎵；基極層為極薄的 p^+ 型砷化鎵。其結構中射極為 n 砷化鋁鎵(AlGaAs)/ n 砷化鎵(GaAs)/ n 砷化銦鎵(InGaAs)異質結構，薄的砷化銦鎵(InGaAs)量子井在 n 砷化鎵(GaAs)射極及極薄的 p^+ 砷化鎵(GaAs)基極層中形成。各層厚度如下，砷化鎵(GaAs)緩衝層(14)厚 $2,000\text{\AA}$ ，濃度 $n^+=3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ；砷化鎵(GaAs)集極層(16)厚 $5,000\text{\AA}$ ，濃度 $n=5\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ ；砷化鎵(GaAs)基極層(18)厚 $100\text{\AA}$ ，濃度 $p^+=1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ ；砷化銦鎵($\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$)射極層丙(20)厚 $100\text{\AA}$ ，濃



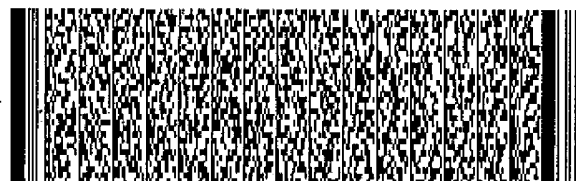
五、發明說明 (6)

度 $n^- = 5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ；砷化鎵(GaAs)射極層乙(22)厚 500 Å，濃度 $n = 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ；砷化鋁鎵($\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$)射極層甲(24)厚 1,000 Å，濃度 $n = 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ；砷化鎵(GaAs)歐姆性接觸層(26)厚 3000 Å，濃度 $n^+ = 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

5

製備本發明的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體之方法，包括：分子束磊晶法(MBE)或有機金屬氣相沈積法(MOCVD)。

- 10 圖二為係本發明之一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體之共射極電流-電壓輸出特性曲線圖；在基極電流大於 1.2mA 時，電晶體呈現明顯的 N 型負微分電阻現象。典型之電流增益在發生負微分電阻前後分別為 140 及 125，而集-射極補償電壓僅 100mV。在較小的基-射極偏壓下，本結構如同一般電晶體
- 15 操作，但基極層極薄中性基極區復合電流將降低，因此可獲得高電流增益，其近似能帶如圖三(a)所示。在射極層中加入一 n 型(N



五、發明說明 (7)

型)砷化鎵，可降低射-基極間位障尖峰，進而可減小集-射極補償電壓及不必要之功率消耗。

在較大的基-射極偏壓條件下，n 型砷化鎵射極空乏層厚度漸
5 減小，且中性 n 砷化鎵(GaAs)射極區將會出現。此時，在射極之能帶將有效提升，並且會形成共振穿透之機制，電子共振穿透從空乏的 n 砷化鎵(GaAs)位障（射極區）經砷化銦鎵(InGaAs)量子井、極薄 p⁺砷化鎵(GaAs)基極，其近似能帶如圖三 (b) 所示。

10 圖四為中性 n⁺砷化鎵(GaAs)射極層費米能階對齊 n⁻ 砷化銦鎵導電帶時，穿透係數對砷化銦鎵(InGaAs)量子井能量關係圖。由圖可知，在砷化銦鎵量子井內出現二個次能帶(subband)(30 及 120mV)。由於 120mV 次能帶較不明顯及常溫下熱效應之關係，
15 因此在實驗中僅觀察一次明顯的 N 型負微分電阻現象 (negative-differential resistance)。本發明元件基極區域採用一層非常薄的 p-型材料，因此於室溫之下操作，即發生共振穿透現象 (resonant-



五、發明說明 (8)

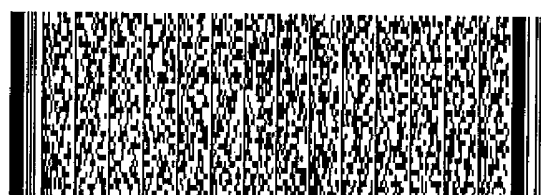
tunneling effect, RT)。而共振穿透現象由於具有非常快速的負微分電阻 (negative-differential resistance) 之本質響應時間 (小於 0.1ps)，故此優異之高速特性在微波、豪微米波之相關電路具有極佳之發展潛力。

5

電子從空乏的砷化鎳射極層(三角位障)共振穿透經砷化銦鎳量子井極薄的基極層至集極層，其集極電流出現高的峰對谷值 (PVCR)5.3，如圖 2 及 3(b)所示。因此，本發明元件具有優異的電晶體及負微分電阻特性，可增加元件應用範疇。

10

本發明該新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體，可達到高電流增益、低補償電壓之電晶體特性，且由於該元件共振穿透之機制，經由適當之偏壓，可導致 N 型負微分電阻特性。此外，因其高頻效能與異質接面雙極性電晶體相似，元件之雜訊低
15 且操作頻率可達到非常高，故於微波之應用非常顯著，如低雜訊放大器等。另一方面，利用 N 型負微分電阻多穩態之特性，除了



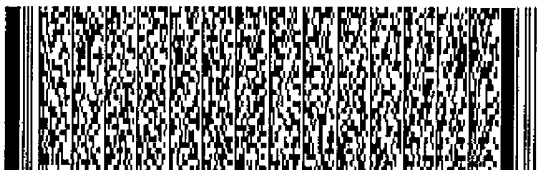
五、發明說明 (9)

可應用在高頻震盪器、分頻器等微波元件上，亦可應用於同位元產生器(parity generator)、多值邏輯電路等數位電路，為未來微波通訊電路及極大型積體電路的整合提供一個新的方向。

5

10

15



圖式簡單說明

圖示說明

圖一 係本發明之一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電
晶體結構圖。

圖二 係本發明之一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電
5 晶體之共射極電流-電壓輸出特性曲線圖。

圖三 係本發明之一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電
晶體於較小的基-射極偏壓與較大的基-射極偏壓之能帶
圖。

(a) 高電流增益近似能帶

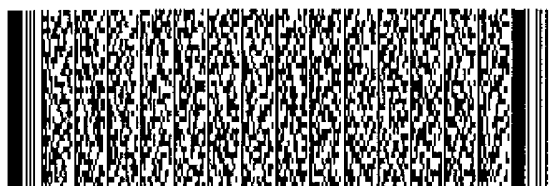
10 (b) n 型砷化鎵空乏層厚度漸減小

n^+GaAs $E_g=1.42eV$ $N-AlGaAs$ $E_g=1.96eV$

$n-GaAs$ $E_g=1.42eV$ $n-AlGaAs$ $E_g=1.13eV$

p^+-GaAs $E_g=1.42eV$ n^-GaAs $E_g=1.42eV$

圖四 係本發明之一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電
15 晶體其穿透係數與 InGaAs 量子井能量關係圖。



圖式簡單說明

圖號說明

10...本發明之一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體。

12...砷化鎵(GaAs)材料形成之基板。

5 14...砷化鎵(GaAs)材料形成之緩衝層。

16...砷化鎵(GaAs)材料形成之集極層。

18....砷化鎵(GaAs)材料形成之基極層。

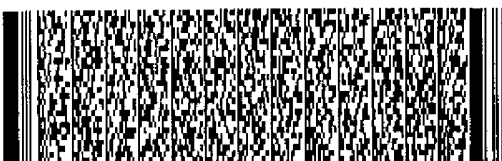
20....砷化銦鎵($\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$)材料形成之射極層丙。

22....砷化鎵(GaAs)材料形成之射極層乙。

10 24....砷化鋁鎵材料形成之射極層甲。

26....砷化鎵材料形成之歐姆性接觸層。

E. 射極層 B. 基極層 C. 集極層.



四、中文發明摘要 (發明之名稱：一種共振穿透異質結構雙極性電晶體)

本發明為研製一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體。本元件射極層包含 n 型砷化鋁鎵、n 型砷化鎵及 n⁻砷化銦鎵；基極層為極薄的 p⁺型砷化鎵。其在順向操作模式下，電晶體於常溫時可同時呈現大電流增益、低補償電壓及 N 型負微分電阻之特性。在射極層中加入 n 型砷化鎵，是為了降低射-基極間位障尖峰，進而降低集-射極間之補償電壓。此外，所使用的基極層極薄，中性基極區復合電流將可降低，因此可獲得高電流增益。在較大的基-射極偏壓下，電晶體特性操作下可出現 N 型的負微

英文發明摘要 (發明之名稱：A Resonant-Tunneling Heterostructure Bipolar Transistor)

In this invention, we fabricate a new functional resonant-tunneling heterostructure bipolar transistor. In this device, N-AlGaAs, n⁻GaAs, and n⁻InGaAs materials are employed as emitter layers. The base layer is grown by an ultrathin p⁺-GaAs layer. Under normal operation mode, the device can exhibit excellent transistor performances including high current gain, low offset voltage, and N-shaped negative-differential-resistance (NDR) phenomenon simultaneously at room temperature. Due to the insertion of n-GaAs at emitter layer, the potential spike at emitter-base (E-B) junction could be decreased. Thus, the collector-emitter (C-E) offset voltage can be substantially efficiency reduced. In addition, a high current gain is achieved attributed to the use of ultrathin base layer and the reduction of neutral base recombination current. Significantly, the transistor performances incorporating an interesting N-shaped

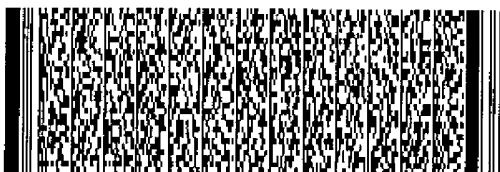


四、中文發明摘要 (發明之名稱：一種共振穿透異質結構雙極性電晶體)

分電阻現象，這主要是電子共振穿透從空乏的砷化鎵射極層(三角位障)經砷化銦鎵量子井和極薄的基極層至集極層。這些特性可應用於放大電路、振盪器及邏輯電路等。

英文發明摘要 (發明之名稱：A Resonant-Tunneling Heterostructure Bipolar Transistor)

NDR phenomenon are observed under large forward E-B bias at room temperature. That is mainly due to the resonant tunneling of electrons from depleted GaAs emitter (triangular barriers) to collector through the InGaAs quantum well (QW) and ultrathin base layer. Consequently, these properties make the device have a good potential for amplifier, oscillation and logic circuit applications.



六、申請專利範圍

1.一種共振穿透異質結構雙極性電晶體，係包括：一基板、一緩衝層、一集極層、一基極層、一基板、一射極層丙、一射極層乙、一射極層甲及一歐姆性接觸層。其中，一基板，係由砷化鎵(GaAs)材料形成；

5 一緩衝層，係由砷化鎵(GaAs)材料形成；

一集極層，係由砷化鎵(GaAs)材料形成；

一基極層，係由砷化鎵(GaAs)材料形成；

一射極層丙，係由砷化銦鎵($\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$)材料形成；一射極層乙，係由砷化鎵(GaAs)材料形成；

10 一射極層甲，係由砷化鋁鎵($\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$)材料形成；

一歐姆性接觸層，係由砷化鎵(GaAs)材料形成。

2.如申請專利範圍第1項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，該基板係由 n^+ 型砷化鎵(GaAs)形成。

3.如申請專利範圍第1項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，該緩衝層，係由 n^+ 型砷化鎵(GaAs)材料形成。

15

4.如申請專利範圍第1項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，



六、申請專利範圍

該集極層係由 n 型砷化鎵(GaAs)材料形成。

5.如申請專利範圍第 1 項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，

該基極層係由極薄的 p⁺型砷化鎵(GaAs)材料形成。

6.如申請專利範圍第 1 項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，

5 該射極層丙係由 n 型砷化銦鎵(In_{0.2}Ga_{0.8}As)材料形成。

7.如申請專利範圍第 1 項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，

該射極層乙係由 n 型砷化鎵(GaAs)材料形成。

8.如申請專利範圍第 1 項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，

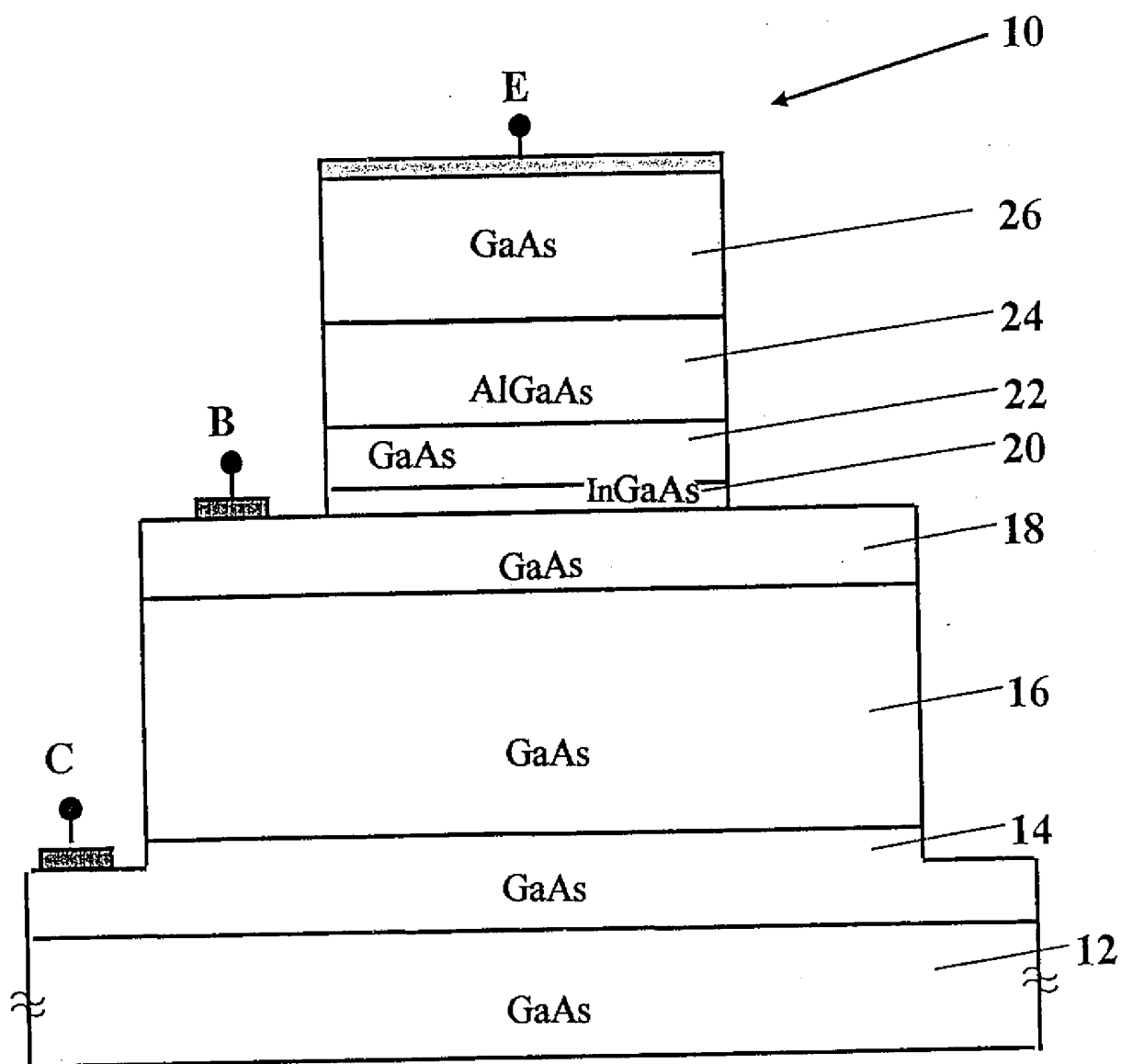
該射極層甲係由 n 型砷化鋁鎵(Al_{0.45}Ga_{0.55}As)材料形成。

10 9.如申請專利範圍第 1 項之共振穿透異質結構雙極性電晶體，

該歐姆性接觸層係由 n⁺型砷化鎵(GaAs)材料形成。

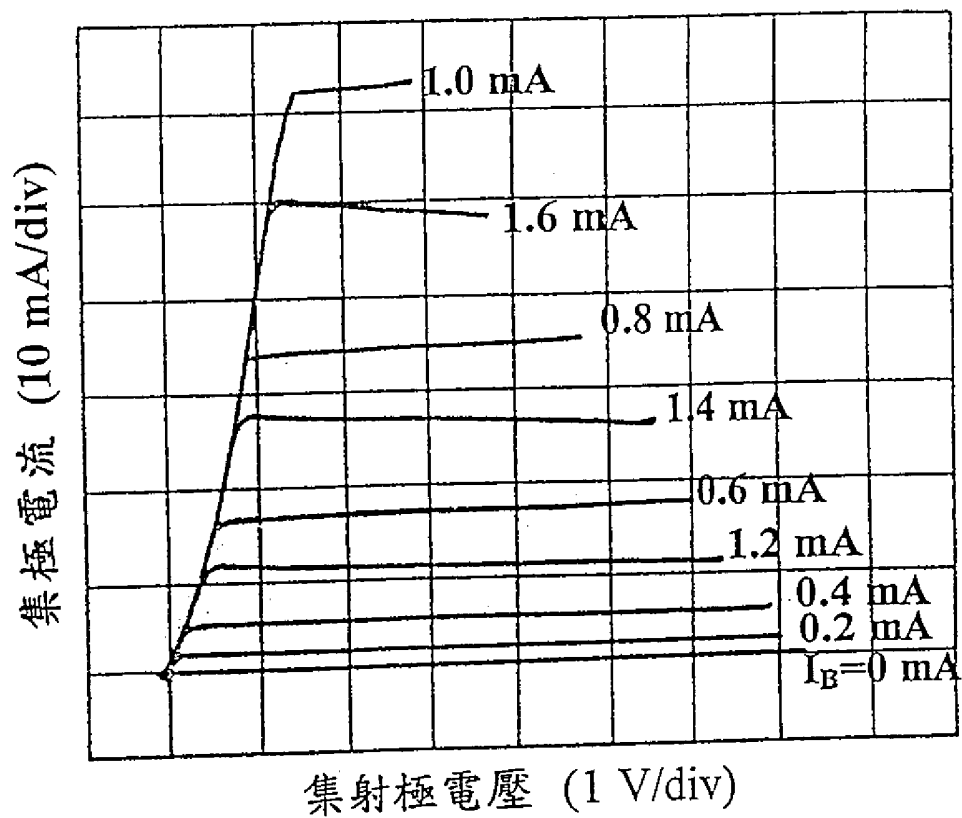


圖式



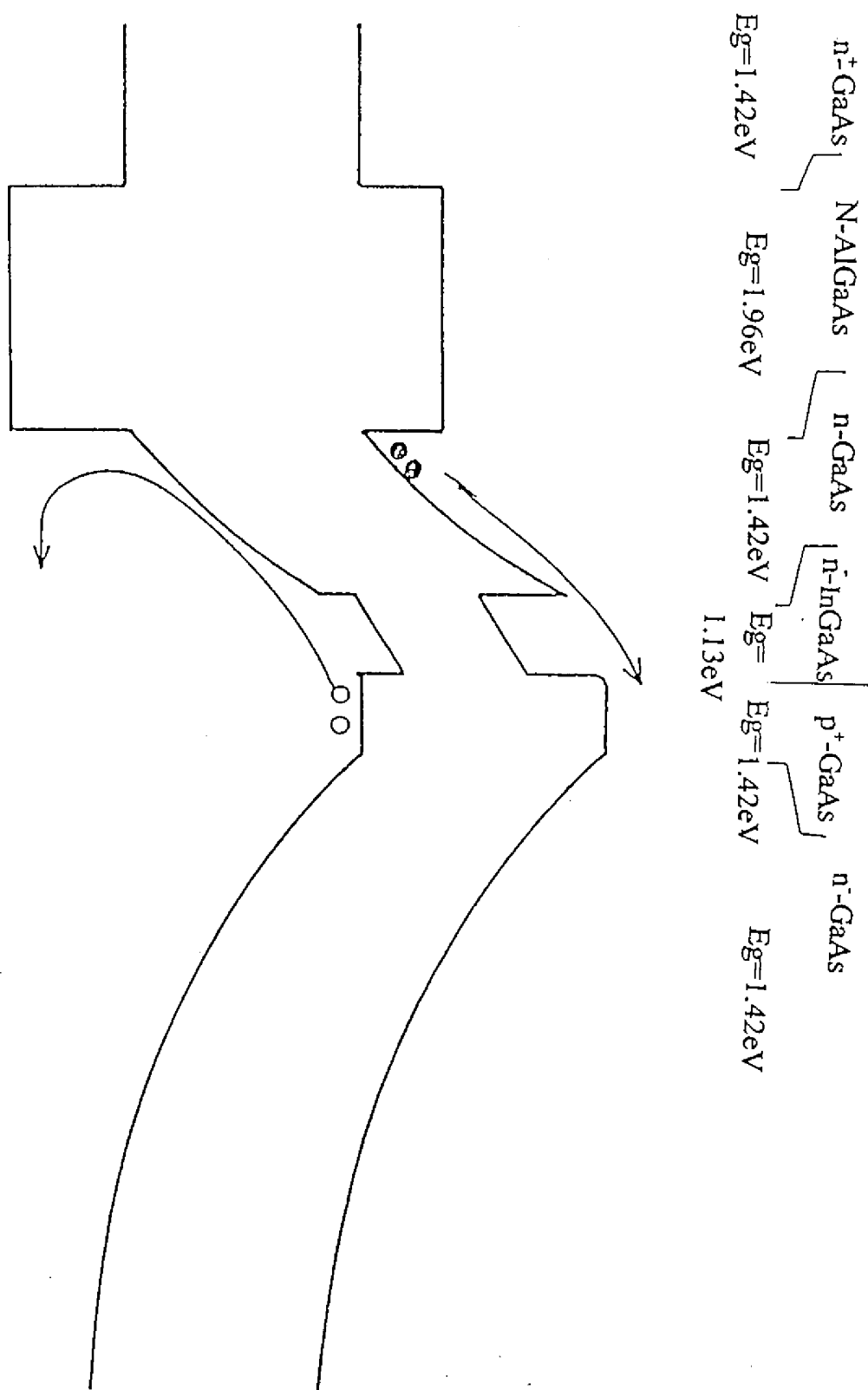
圖一

圖式



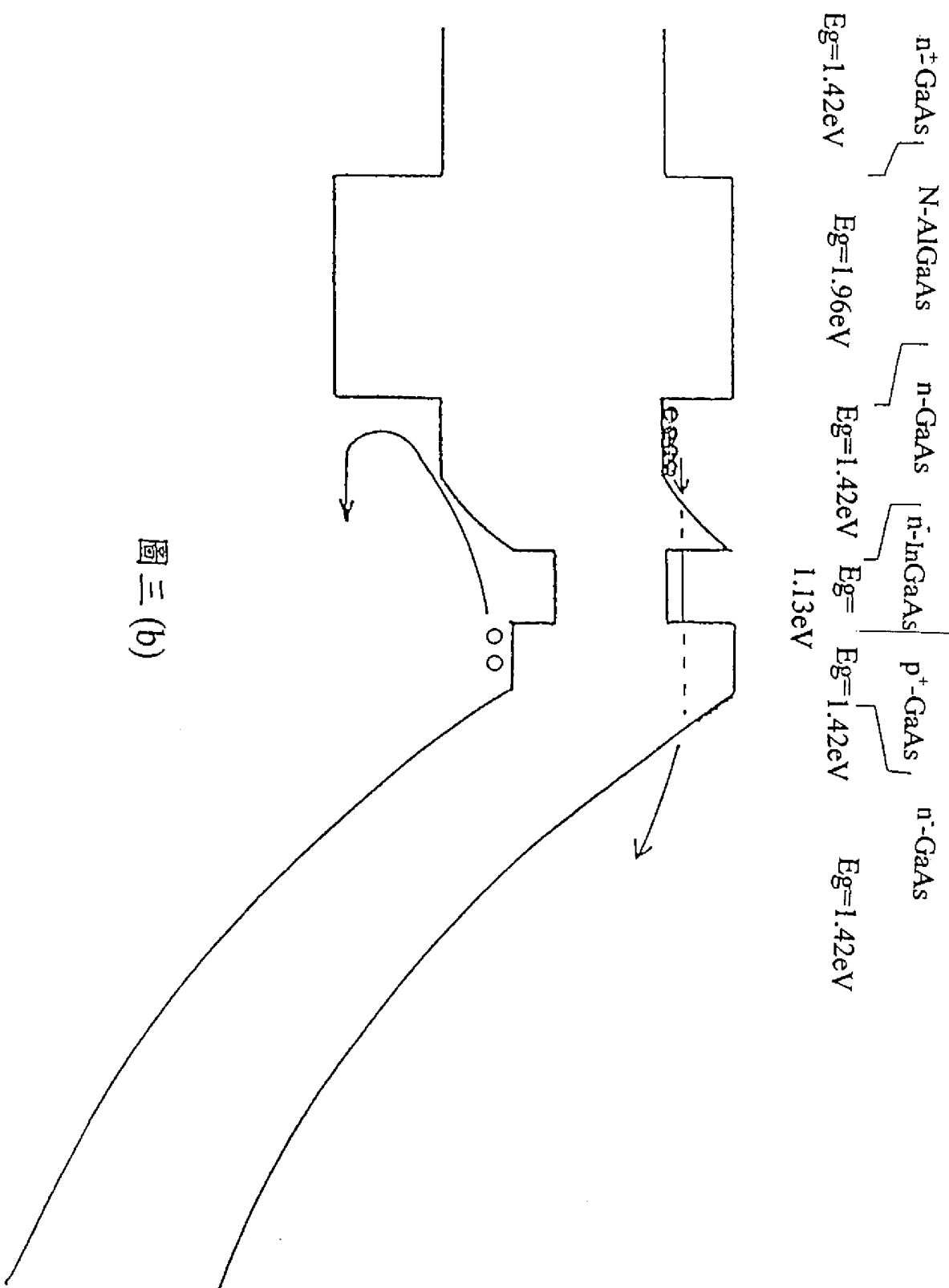
圖二

圖式



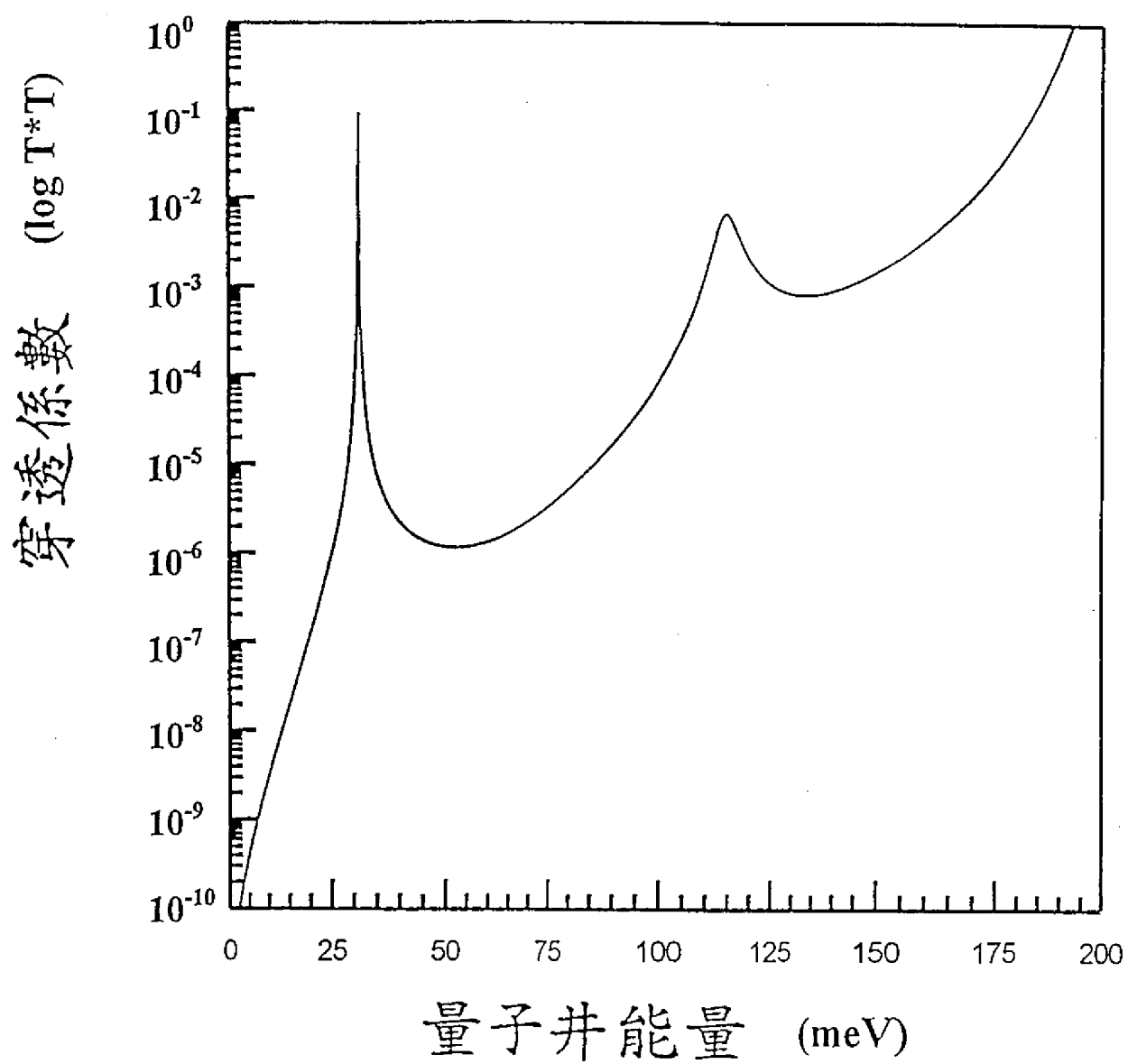
圖三 (a)

圖式



圖三 (b)

圖式



圖四

四、中文發明摘要 (發明之名稱：一種共振穿透異質結構雙極性電晶體)

本發明為研製一種新型的功能型共振穿透異質結構雙極性電晶體。本元件射極層包含 n 型砷化鋁鎵、n 型砷化鎵及 n⁻砷化銦鎵；基極層為極薄的 p⁺型砷化鎵。其在順向操作模式下，電晶體於常溫時可同時呈現大電流增益、低補償電壓及 N 型負微分電阻之特性。在射極層中加入 n 型砷化鎵，是為了降低射-基極間位障尖峰，進而降低集-射極間之補償電壓。此外，所使用的基極層極薄，中性基極區復合電流將可降低，因此可獲得高電流增益。在較大的基-射極偏壓下，電晶體特性操作下可出現 N 型的負微

英文發明摘要 (發明之名稱：A Resonant-Tunneling Heterostructure Bipolar Transistor)

In this invention, we fabricate a new functional resonant-tunneling heterostructure bipolar transistor. In this device, N-AlGaAs, n⁻GaAs, and n⁻InGaAs materials are employed as emitter layers. The base layer is grown by an ultrathin p⁺-GaAs layer. Under normal operation mode, the device can exhibit excellent transistor performances including high current gain, low offset voltage, and N-shaped negative-differential-resistance (NDR) phenomenon simultaneously at room temperature. Due to the insertion of n-GaAs at emitter layer, the potential spike at emitter-base (E-B) junction could be decreased. Thus, the collector-emitter (C-E) offset voltage can be substantially efficiency reduced. In addition, a high current gain is achieved attributed to the use of ultrathin base layer and the reduction of neutral base recombination current. Significantly, the transistor performances incorporating an interesting N-shaped

