



(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 I745095 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 11 月 01 日

(21)申請案號：109133152 (22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 09 月 24 日

(51)Int. Cl. : H01L21/8222(2006.01) H01L27/082 (2006.01)

(30)優先權：2019/09/30 中國大陸 201910937902.0

(71)申請人：大陸商廈門市三安集成電路有限公司(中國大陸) (CN)
中國大陸

(72)發明人：顏志泓(CN)；蔡文必(CN)；魏鴻基(CN)

(74)代理人：劉法正；尹重君

(56)參考文獻：

US 2009/0261385A1 US 2018/0240899A1
US 2019/0237566A1

審查人員：許勝宗

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：5 共 29 頁

(54)名稱

外延結構和電晶體

(57)摘要

一種外延結構和電晶體。該外延結構包含一複合基極層和一發射極層。該複合基極層包括一第一基極層和一設置在所述第一基極層上的第二基極層。所述第一基極層的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ ，其中， $0 < x < 0.2$ ， $0 < y < 0.035$ 。所述第二基極的材料包括 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ ，其中， $0.03 < m < 0.2$ 。所述發射極層材料為磷化銦鎵。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 具有低能隙的特點，能夠減少電晶體的開啟電壓並減少功耗，在靠近該發射極層的方向上，該第一基極層中 In 含量不變，該第二基極層中 In 含量逐漸增大而能夠提高電子的載子遷移率，減少器件的基極層的電阻，並保證電晶體在高頻下的良好頻率特性。

指定代表圖：

符號簡單說明：

1:複合基極層

100:外延結構

11:第一基極層

12:第二基極層

2:發射極層

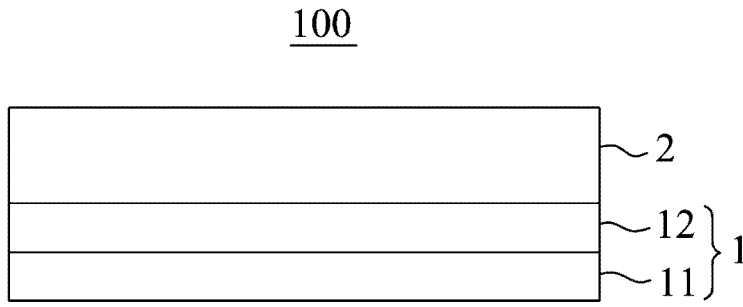


圖 1



I745095

【發明摘要】

【中文發明名稱】 外延結構和電晶體

【中文】

一種外延結構和電晶體。該外延結構包含一複合基極層和一發射極層。該複合基極層包括一第一基極層和一設置在所述第一基極層上的第二基極層。所述第一基極層的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ ，其中， $0 < x \leq 0.2$ ， $0 \leq y \leq 0.035$ 。所述第二基極層的材料包括 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ ，其中， $0.03 \leq m \leq 0.2$ 。所述發射極層材料為磷化銦鎵。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 具有低能隙的特點，能夠減少電晶體的開啟電壓並減少功耗，在靠近該發射極層的方向上，該第一基極層中In含量不變，該第二基極層中In含量逐漸增大而能夠提高電子的載子遷移率，減少器件的基極層的電阻，並保證電晶體在高頻下的良好頻率特性。

【指定代表圖】：圖（1）。

【代表圖之符號簡單說明】

1:複合基極層

100:外延結構

11:第一基極層

12:第二基極層

2:發射極層

【發明說明書】

【中文發明名稱】 外延結構和電晶體

【技術領域】

【0001】 本發明涉及半導體領域，具體涉及一種外延結構和電晶體。

【先前技術】

【0002】 現有的磷化銦鎵異質接面雙極電晶體器件（InGaP Heterojunction Bipolar Transistor，InGaP HBT）由於其具有較高的器件可靠性，因此不錯的運用前景。但是 InGaP HBT 器件開啟電壓較大，導致器件的功耗較大。較大的功耗限制了器件在低功耗產品上的應用，如在可攜式手機等設備上的應用。並且，在高頻應用領域中，比較重視降低射頻器件的附加功率效率（Power Added Efficiency，PAE），亦即附加功率的效率品質的指標，該值越大就越能夠抑制功率放大器的功率耗損。所以，需要設計一種電晶體，應用於射頻領域，能夠適用於低開啟電壓，減少功耗，不會帶來其它缺陷。

【發明內容】

【0003】 因此，本發明之目的，即在提供一種至少能夠克服先

前技術的外延結構。

【0004】 於是，本外延結構包含一複合基極層與一發射極層。該複合基極層包括一第一基極層、一設置在所述第一基極層上的第二基極層。所述第一基極層的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ ，其中， $0 < x \leq 0.2$ ， $0 \leq y \leq 0.035$ 。所述第二基極層的材料包括 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ ，其中， $0.03 \leq m \leq 0.2$ 。

【0005】 在一種可能的實現方式中，在 y 取值為 $0 < y \leq 0.035$ 的情況下， $x = 3y$ 。其中第一基極層的材料為 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ ，使得該複合基極層具有低能隙的特點，應用該外延結構的電晶體，能夠減少電晶體的開啟電壓，減少功耗。作為可選的方案， $0.001 \leq y \leq 0.02$ 。

【0006】 在一種可能的實現方式中， y 取值為 0，即該第一基極層和該第二基極層均為砷化銦鎵材料構成， $0.07 \leq m \leq 0.12$ ， $0.07 \leq x \leq 0.12$ 。需要說明的是， x 、 m 取值可以不同，當然為了工藝簡單 x 、 m 取值也可以相同。作為可選的方案， $x < m$ 。

【0007】 在一種可能的實現方式中，所述複合基極層的厚度範圍為 12~50nm。所述複合基極層的厚度設置與所述第一基極層和所述第二基極層的材料有關，同時還跟其銦元素濃度有關。作為可選的方案，所述第一基極層的厚度範圍為 0.1nm~30nm，所述第二基極層的厚度範圍為 0.1nm~30nm。可以設計該第一基極層的

厚度大於或等於該第二基極層的厚度，也可以設計該第一基極層的厚度小於該第二基極層的厚度。

【0008】 在一種可能的實現方式中，該第一基極層和該第二基極層的材料銻元素組分可以為固定，也可以不為固定，具體為，該第一基極層銻元素組分固定，在靠近所述發射極層的方向上，所述第一基極層中 In 含量不變，所述第二基極層中銻元素含量逐漸增大。

【0009】 將靠近該第一基極層處且占該第二基極層之總厚度約 5% 的該第二基極層部分區域的磷化銻鎵記為 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ，靠近該發射極層處且占該第二基極層之總厚度約 5% 的該第二基極層部分區域的磷化銻鎵記為 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$ ，其中， $0.9z \leq x \leq 1.1z$ ， $z < w$ 且 $x < w$ 。

【0010】 在一種可能的實現方式中，所述複合基極層不以設置該第二基極層為必要，可以只包括該第一基極層。

【0011】 在一種可能的實現方式中，所述發射極層可以由單層磷化銻鎵構成，也可以由多層磷化銻鎵構成。

【0012】 在一種可能的實現方式中，所述發射極層由單層磷化銻鎵構成，標記為 $\text{Ga}_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ，即所述發射極層為單層 $\text{Ga}_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 材料構成，其中 $0.48 \leq \beta \leq 0.52$ 。進一步的，所述發射極層的厚度範圍為 30nm~50nm。

【0013】 在一種可能的實現方式中，所述發射極層由多層磷化銦鎵構成。具體為，所述發射極層包含一第一發射極層、一設置在所述第一發射極層上的第二發射極層，及一設置所述第二發射極層上的第三發射極層。所述第一發射極層、所述第二發射極層、所述第三發射極層的鎵元素莫耳含量取值範圍均為 0.3~0.7。定義從該第一發射極層至該第三發射極層為一第一方向，沿著該第一方向，所述第一發射極層中的鎵元素含量逐漸減少，所述第二發射極層中鎵元素含量固定，所述第三發射極層中的鎵元素含量逐漸增加。

【0014】 在一種可能的實現方式中，將靠近該複合基極層處且占該第一發射極層之總厚度約 5% 的該第一發射極層部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\gamma \text{In}_{1-\gamma} \text{P}$ ，靠近該第二發射極層處且占該第一發射極層之總厚度約 5% 的該第一發射極層部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\delta \text{In}_{1-\delta} \text{P}$ ，所述第二發射極層的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\varepsilon \text{In}_{1-\varepsilon} \text{P}$ ，靠近第二發射極層處且占該第二發射極層之總厚度約 5% 的該第三發射極層部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\eta \text{In}_{1-\eta} \text{P}$ ，遠離該第二發射極層最遠處且占該第三發射極層之總厚度約 5% 的該第三發射極層部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\theta \text{In}_{1-\theta} \text{P}$ 。

【0015】 其中， $\gamma > \delta$ ， $\theta > \eta$ ， γ 取值範圍為 0.6~0.8， δ 取值範圍為 0.27~0.33， ε 取值範圍為 0.27~0.33， η 取值範圍為 0.27~0.33， θ 取值範圍為 0.46~0.56。

【0016】 在一種可能的實現方式中，其中， $\gamma > \theta > \delta = \varepsilon = \eta$ ，例如， $\gamma = 0.7$ ， $\delta = 0.3$ ， $\varepsilon = 0.3$ ， $\eta = 0.3$ ， $\theta = 0.51$ 。

【0017】 當該發射極層為依次層疊的該第一發射極層、該第二發射極層及該第三發射極層構成，可選的，所述發射極層的厚度範圍為 21nm~40nm。進一步的，所述第一發射極層的厚度範圍為 1nm~5nm，所述第二發射極層的厚度範圍為 15nm~25nm，所述第三發射極層的厚度範圍為 5nm~10nm。

【0018】 在一種可能的實現方式中，該第一基極層的銦元素莫耳百分比小於第二基極層的銦元素莫耳百分比。需要說明的是，若該第一基極層的銦元素含量固定，該第二基極層的銦元素含量固定，則該第一基極層的銦元素莫耳百分比小於第二基極層的銦元素莫耳百分比。若該第一基極層的銦元素含量固定，該第二基極層的銦元素含量是變化的，該第一基極層的銦元素小於該第二基極層的銦元素平均含量。

【0019】 本發明之另一目的，在於提供一種電晶體，包含上述外延結構。

【0020】 本發明之功效在於：

【0021】 1.設計出該複合基極層，該複合基極層包含依次層疊的該第一基極層和該第二基極層。該第一基極層的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 或 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ，該第二基極層的材料包括

$\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{S}$ ， $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 材料具有低能隙的特點，能夠減少電晶體的開啟電壓，減少功耗。

【0022】 2.上述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 材料具有電子的載子遷移率偏低的問題，直接運用會導致阻值過高，限制電晶體的頻率特性。對此，設計出：在靠近該發射極層的方向上，該第一基極層中 In 含量不變，該第二基極層中 In 含量逐漸增大，In 含量逐漸增大能夠提高電子的載子遷移率，減少器件的複合基極層的電阻，保證電晶體的頻率特性良好。同時，該第二基極層與上述發射極層之間的導電帶尖峰效應，隨著 In 含量逐漸增大而減少，進一步減少電晶體的開啟電壓。

【0023】 3.在製備工藝上，無需增加額外的工序，不會增加額外的製備成本。

【0024】 4.進一步的，該發射極層由多層磷化銦鎵構成，通過晶格應變的調變讓應力釋放，並改善可能衍生的器件信賴性失效風險。

【0025】 5.該複合基極層設計藉由低能隙材料搭配高載子移動率材料以維持該複合基極層的優越性能，但該發射極層的多層設計也同時克服因該複合基極層在晶格略有應力下但尚未達失配情形下的輔助設計，平衡材料晶格的穩定使器件性能優化。HBT 結構設計中該複合基極層與發射極層的介面與濃度厚度等具最關鍵影

響，匹配不佳下電流增益下降，導通電壓 V_{on} 上升，且影響發射極層與複合基極層接面的操作穩定性。

【圖式簡單說明】

【0026】 本發明之其他的特徵及功效，將於參照圖式的實施方式中清楚地呈現，其中：

圖 1 為本發明之第一實施例提供的一種外延結構的示意圖；

圖 2 為本發明之第二實施例提供的一種外延結構的製備流程；

圖 3 為本發明之第三實施例提供的一種電晶體的示意圖；

圖 4 為本發明之第五實施例提供的一種外延結構的示意圖；及

圖 5 為本發明之第六實施例提供的一種電晶體的示意圖。

【實施方式】

【0027】 在本發明被詳細描述之前，應當注意在以下的說明內容中，類似的元件是以相同的編號來表示。

【0028】 對於異質接面磷化銦鎵電晶體器件（InGaP HBT），減少發射極層（Emitter）與基極層（Base）之間的導電帶尖峰效應，能夠使其開啟導通電壓（ $V_{be, on}$ ）值減低。減少基極層的材料的能隙，可達到改善發射極層（Emitter）與基極層（Base）之

間的導電帶尖峰效應的目的。

【0029】 在砷化鎵基異質結電晶體器件中，使用 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 或 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 製備基極層，能夠減少基極層的材料能隙，從而達到減少發射極層 (Emitter) 與基極層 (Base) 之間的導電帶尖峰效應的目的。但是， $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 具有電子的載子遷移率偏低的問題，直接運用會導致基極層的阻值過高，限制電晶體的頻率特性。

【0030】 在本發明提供的方案中，複合基極層的具體實施方法是 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料外延成長過程，藉由流量調整，改變各元素莫耳比，達成不同組份材料的目的。

【0031】 一方面 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 In 組份逐步提高時，其材料能隙 E_g 逐步降低，有利於降低器件的導通電壓，能隙 E_g 越小，導通電壓越低。另一方面，當 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 In 組份逐步提高，其第一基極層 11 的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的載子遷移率提高，載子遷移率提高有利於器件的高頻操作。

【0032】 然而，隨著 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 In 組份逐步提高，其材料的晶格常數也增大，基極層之材料 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 晶格常數變大與其相鄰的集極層和發射極層之材料 $\text{Ga}_n\text{In}_{1-n}\text{P}$ 的晶格匹配有一定會影響， $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 晶格常數變大會導致其晶格應力變大，影響器件的穩定性和可靠性，在器件長期使用會提升器件失效的概率。

另外，隨著 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 In 組份逐步提高其臨界厚度降低，導致可以設置的基極層 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的厚度降低，導致基極層電阻率增大，會導致器件高頻特性變差。

【0033】 綜合考慮不同 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 In 組份下第一基極層的臨界厚度、能隙 E_g 大小、晶格常數 a 大小以及與第一基極層相鄰的材料，可選的，本發明中 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 In 組份範圍為 0.05~0.2。作為一種可能的實現方式，本發明提供的複合基極層 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 可以為 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$ 、 $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{As}$ 、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 、 $\text{In}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ 、 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 等具體如表一所示。需要說明的是，本發明所要保護的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 In 組份值，不限於本發明所列舉的取值。

【0034】 表一

【0035】

In 的莫耳分率 (mole ratio)	$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 組份	臨界厚度 L_c (nm)	能隙 E_g (eV)	晶格常數 a (Å)
0.05	$\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$	72.47	1.35104	5.67363
0.07	$\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{As}$	47.62	1.32207	5.68173
0.1	$\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$	30.2	1.27926	5.69388
0.12	$\text{In}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$	23.8	1.25116	5.70198
0.15	$\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$	17.7	1.20966	5.71413
0.2	$\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	11.95	1.14224	5.73438

【0036】 對此，本發明提供一種外延結構和電晶體，不僅能夠

適用於低開啟電壓，減少功耗，還能夠提高電子的載子遷移率，減少器件的基極層的電阻，運用於電晶體中，能夠保證電晶體的頻率特性良好。

【0037】 請參閱圖 1，本發明之第一實施例提供一種外延結構 100，包含一複合基極層 1 和一發射極層 2。

【0038】 其中，該複合基極層 1 為雙層材料結構，該複合基極層 1 包含一第一基極層 11 和一第二基極層 12，該第二基極層 12 製備在該第一基極層 11 上。該第一基極層 11 的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 或 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ，該第二基極層 12 的材料包括 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ 。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 材料具有低能隙的特點，改善基極層與發射極層之間的導電帶尖峰效應，能夠減少電晶體的開啟電壓，減少功耗。

【0039】 在靠近該發射極層 2 的方向上，相當於說，圖 1 中由下至上的方向上，該第一基極層 11 中 In 含量不變，該第二基極層 12 中 In 含量逐漸增大。

【0040】 該第二基極層 12 中，In 含量隨著高度的增大逐漸增大，增大的速度可以與高度保持線性關係，也可以按照性能需要靈活設計大小關係，只要使 In 含量隨著高度的增大有增大的趨勢，都應該屬於本發明要求保護的範圍。

【0041】 In 含量逐漸增大能夠提高電子的載子遷移率，減少該

複合基極層 1 的電阻，能夠保證電晶體的頻率特性良好。同時，該第二基極層 12 與上述發射極層 2 之間的導電帶尖峰效應，隨著 In 含量逐漸增大而減少，進一步減少電晶體的開啟電壓。

【0042】 該發射極層 2 為單層材料結構。該發射極層 2 的材料包含 $\text{Ga}_n\text{In}_{1-n}\text{P}$ 。該發射極層 2 中 In 含量分佈均勻、保持相等。

【0043】 請參閱圖 2，本發明之第二實施例提供一種上述外延結構 100 的製備方法，包含以下步驟：

【0044】 步驟 S1：製作該第一基極層 11。

【0045】 該第一基極層 11 的材料可以使用 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 或 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 。以 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 為例，可以設計 $x=0.03$ ， $x=3y$ ，該第一基極層 11 的材料中，In 的莫耳分率可以為 3%~20% 中任一固定值，依材料成長需求以合適的莫耳分率 (mole ratio) 成長該層。

【0046】 以 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 為例，可以設計 $x=0.03$ ，該第一基極層 11 的材料中，In 的組分可以為 7%~20% 中任一固定值。從而按比例調整 In 的莫耳分率 (mole ratio)、Ga 的莫耳分率 (mole ratio) 及 N 的莫耳分率 (mole ratio)，逐漸堆積形成該第一基極層 11，並保持從下至上 In 含量分佈均勻、保持相等。

【0047】 步驟 S2：製作該第二基極層 12。

【0048】 該第二基極層 12 的材料可以使用 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ 。其

中，在靠近該發射極層 2 的方向上，也就是從下至上的方向上， m 的取值從 0.05 逐漸增至 0.15。在其他可能的實現方式中， m 的取值也可以是從 0.03 逐漸增至 0.2。

【0049】 按比例調整 In 的莫耳分率 (mole ratio)、Ga 的莫耳分率 (mole ratio)，在該第一基極層 11 上逐漸堆積形成該第二基極層 12，並保持從下至上 In 含量逐漸增大。In 含量逐漸增大，提高以 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ 形成該第二基極層 12 時電子的載子遷移率，該第二基極層 12 與該發射極層 2 之間的導電帶尖峰效應減少，進而減少器件的開啟電壓，減少能耗。

【0050】 在步驟 S2 中，可以控制該第二基極層 12 的厚度範圍為：單原子層的厚度至 30nm。

【0051】 步驟 S3：製作該發射極層 2。

【0052】 發射極層 2 設計為單層材料結構，該發射極層 2 的材料可以使用 $\text{Ga}_n\text{In}_{1-n}\text{P}$ ，該發射極層 2 的材料中，Ga 的莫耳分率範圍為 30%~70%。

【0053】 按比例調整 In 的莫耳分率 (mole ratio)、Ga 的莫耳分率 (mole ratio)，在該第二基極層 12 上逐漸堆積形成該發射極層 2。

【0054】 本第一實施例提供的外延結構 100 及本第二實施例提供之製備方法的有益效果：

【0055】 1.使用低能隙材料，能夠減少電晶體的開啟電壓，減少功耗。

【0056】 2.能夠提高電子的載子遷移率，保持基極層的阻值在較低的水準，能夠保證電晶體的頻率特性良好。

【0057】 3.製備方法上只需對應調整原料的莫耳分率（mole ratio）即可，不需要增加額外的工序，不會造成額外的成本。

【0058】 請參閱圖 3，本發明之第三實施例，提供一種電晶體，該電晶體包含一外延結構 100，本第三實施例之該外延結構 100 與該第一實施例之該外延結構 100 的差異在於：該外延結構 100 還可以包括一基板 3、一次集電極層 4、一集電極層 5、和一帽蓋層 6。該外延結構 100 被設計成適用於 HBT（異質接面雙極電晶體）的外延結構 100。

【0059】 具體地，該外延結構 100 包含從下至上依次生長的該基板 3、該次集電極層 4、該集電極層 5、該複合基極層 1、該發射極層 2 和該帽蓋層 6。

【0060】 此外，所述電晶體之該發射極層 2 的上方設置有一發射極金屬接觸層 7，該發射極金屬接觸層 7 與該帽蓋層 6 形成歐姆接觸，該複合基極層 1 上設置有一基電極金屬接觸層 8，該基電極金屬接觸層 8 與該複合基極層 1 形成歐姆接觸。該次集電極層 4 上設置有一集電極金屬接觸層 9，該集電極金屬接觸層 9 與該次集電

極層 4 形成歐姆接觸。

【0061】 其中，該基板 3、該次集電極層 4、該集電極層 5 和該帽蓋層 6 的材料可以使用 GaAs。

【0062】 本發明之第四實施例提供另一種外延結構，請再次參見圖 1，該外延結構可以包含：一複合基極層 1 和一發射極層 2。

【0063】 該複合基極層 1 包含該第一基極層 11 和設置在所述第一基極層 11 上的該第二基極層 12。所述第一基極層 11 的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ ，其中 $0 < x \leq 0.2$ ， $0 \leq y \leq 0.035$ ，所述第二基極層 12 的材料包括 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ ，其中 $0.03 \leq m \leq 0.2$ 。

【0064】 該發射極層 2 設置在所述第二基極層 12 上，所述發射極層 2 材料為磷化銦鎵。

【0065】 需要說明的是，在本第四實施例中，該複合基極層 1 中的該第一基極層 11 可以由砷化銦鎵材料構成，也可以由砷化銦鎵氮構成。

【0066】 進一步地，上述外延結構 100 中，該複合基極層 1 中的該第一基極層 11 由砷化銦鎵氮構成，稱為該第一基極層 11 的第一方案。在 y 取值為 $0 < y \leq 0.035$ 的情況下， $x = 3y$ 。其中，該第一基極層 11 的材料為 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ ，使得該複合基極層 1 具有低能隙的特點，應用該外延結構 100 的電晶體，能夠減少電晶體的開啟電壓，減少功耗。

【0067】 作為可選的方案， $0.001 \leq y \leq 0.02$ ， $0.003 \leq x \leq 0.06$ 。

【0068】 以 y 取值為 0.01 為例， x 取值為 0.03，即該第一基極層 11 的材料為 $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ ，所述第二基極層 12 的材料包括 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ ，其中 $0.03 \leq m \leq 0.2$

【0069】 進一步地，作為一種可能的實現方式，上述外延結構 100 中， y 取值可以為 0，稱為該第一基極層 11 的第二方案，即該第一基極層 11 和該第二基極層 12 均為砷化銦鎵材料構成， $0.07 \leq m \leq 0.12$ ， $0.07 \leq x \leq 0.12$ 。需要說明的是， x 、 m 取值可以不同，當然為了工藝簡單 x 、 m 取值也可以相同。

【0070】 作為一種可能的實現方式， $x < m$ 。以 x 取值為 0.07、 m 取值為 0.12 為例，即該第一基極層 11 的材料為 $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{As}$ ，所述第二基極層的 12 材料為 $\text{In}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ 。在此啟發下，該複合基極層 1 可以由多個第一基極層 11 和多個第二基極層 12 構成，也可由多個該第一基極層 11 與該第二基極層 12 交替層疊構成。

【0071】 進一步的，在本第四實施例中，所述複合基極層 1 的厚度範圍為 12~50nm。所述複合基極層 1 的厚度設置與該第一基極層 11 和該第二基極層 12 的材料有關，同時還跟其銦元素組分有關。作為一種可能的實現方式，所述第一基極層 11 的厚度範圍為 0.1nm~30nm。所述第二基極層 12 的厚度範圍為 0.1nm~30nm。

可以設計該第一基極層 11 的厚度大於或等於該第二基極層 12 的厚度，也可以設計該第一基極層 11 的厚度小於該第二基極層 12 的厚度。

【0072】 進一步地，上述外延結構 100 中，該第一基極層 11 和該第二基極層 12 的材料銟元素莫耳分率可以為固定，也可以不為固定。具體為，在一種可能的實現方式中，該第一基極層 11 銟元素組分固定，可以採用該第一基極層 11 的第一方案或該第一基極層 11 的第二方案，在靠近所述發射極層 2 的方向上，所述第一基極層 11 中 In 含量不變，所述第二基極層 12 中銟元素含量逐漸增大。

【0073】 將靠近該第一基極層 11 處且占該第二基極層 12 之總厚度約 5% 的該第二基極層 12 部分區域的砷化銟鎵記為 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ，靠近該發射極層 2 處且占該第二基極層 12 之總厚度約 5% 的該第二基極層 12 部分區域的砷化銟鎵記為 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$ ，其中， $0.9z \leq x \leq 1.1z$ ， $z < w$ 且 $x < w$ ， $0.03 \leq w \leq 0.2$ ， $0.03 \leq z \leq 0.2$ 。

【0074】 例如， $y=0.01$ 、 $x=0.03$ 為例，該第一基極層 11 為 $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ ，該第二基極層 12 中銟元素含量由 0.03 逐漸增大。

【0075】 在一種可能的實現方式中，所述複合基極層 1 不以設置該第二基極層 12 為必要，可以只包括該第一基極層 11。

【0076】 進一步地，上述外延結構 100 中，所述發射極層 2 可以由單層磷化銦鎵構成，也可以由多層磷化銦鎵構成。

【0077】 其中，在一種可能的實現方式中，所述發射極層 2 由單層磷化銦鎵，標記為 $\text{Ga}_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ，即所述發射極層 2 為單層 $\text{Ga}_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 材料構成，其中 $0.48 \leq \beta \leq 0.52$ 。進一步的，所述發射極層 2 的厚度範圍為 30nm~50nm。

【0078】 參閱圖 4，本發明之第五實施例，該第五實施例與該第一實施例的不同之處在於：所述發射極層 2 由多層磷化銦鎵構成。所述發射極層 2 包含一第一發射極層 21、一設置在所述第一發射極層 21 上的第二發射極層 22 及一設置在所述第二發射極層 22 上的第三發射極層 23。

【0079】 所述第一發射極層 21、所述第二發射極層 22 及所述第三發射極層 23 的鎵元素莫耳分率取值範圍均為 0.3~0.7。定義從該第一發射極層 21 至該第三發射極層 23 為一第一方向，其中，沿著該第一方向，所述第一發射極層 21 中的鎵元素含量逐漸減少，所述第二發射極層 22 中鎵元素含量固定，所述第三發射極層 23 中的鎵元素含量逐漸增加。該發射極層 2 由多層磷化銦鎵構成，通過晶格應變(Lattice Strain)的調變讓應力釋放，並改善可能衍生的器件信賴性失效風險。

【0080】 進一步的，將靠近複合基極層 1 處且占該第一發射極

層 21 之總厚度約 5% 的該第一發射極層 21 部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}$ ，靠近該第二發射極層 22 處且占該第一發射極層 21 之總厚度約 5% 的第一發射極層 21 部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\delta\text{In}_{1-\delta}\text{P}$ ，所述第二發射極層 22 的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\varepsilon\text{In}_{1-\varepsilon}\text{P}$ ，靠近該第二發射極層 22 處且占該第三發射極層 21 之總厚度約 5% 的該第三發射極層 23 部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\eta\text{In}_{1-\eta}\text{P}$ ，遠離該第二發射極層 22 最遠處且占該第三發射極層 21 之總厚度約 5% 的該第三發射極層 23 部分區域的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\theta\text{In}_{1-\theta}\text{P}$ 。

【0081】 其中， $\gamma > \delta$ ， $\theta > \eta$ ， γ 取值範圍為 0.6~0.8， δ 取值範圍為 0.27~0.33， ε 取值範圍為 0.27~0.33， η 取值範圍為 0.27~0.33， θ 取值範圍為 0.46~0.56。

【0082】 作為一種可能的實現方式， $\gamma > \theta > \delta = \varepsilon = \eta$ ，例如， $\gamma = 0.7$ ， $\delta = 0.3$ ， $\varepsilon = 0.3$ ， $\eta = 0.3$ ， $\theta = 0.51$ 。

【0083】 當該發射極層 2 為該第一發射極層 21、該第二發射極層 22、及該第三發射極層 23 依次疊層構成，可選地，所述發射極層 2 的厚度範圍為 21nm~40nm。進一步的，所述第一發射極層 21 的厚度範圍為 1nm~5nm，所述第二發射極層 22 的厚度範圍為 15nm~25nm，所述第三發射極層 23 的厚度範圍為 5nm~10nm。

【0084】 作為一種可能的實現方式，該第一基極層 11 的銦元素莫耳百分比小於該第二基極層 12 的銦元素莫耳百分比。需要說明

的是，若該第一基極層 11 的銦元素含量固定，該第二基極層 12 的銦元素含量固定，則該第一基極層 11 的銦元素莫耳百分比小於該第二基極層 12 的銦元素莫耳百分比。若該第一基極層 11 的銦元素含量固定，該第二基極層 12 的銦元素含量是變化的，該第一基極層 11 的銦元素小於該第二基極層 12 的銦元素平均含量。

【0085】 請參閱圖 5，本發明的第六實施例，提供一種電晶體，該第六實施例與該第三實施例的不同之處在於：所述發射極層 2 由該第五實施例所述之該第一發射極層 21、該第二發射極層 22 及該第三發射極層 23 構成，這裡不再詳細贅述。需要強調的是，本發明的外延結構 100 具有較廣的運用場景，例如各種電晶體中，進一步地，還能夠運用於功率放大器或其它電器中，只要運用了本發明中提供的複合基極層 1，都應該屬於本發明要求保護的範圍。

【0086】 在本發明所提供的第一至第六實施例中，該複合基極層 1 為雙層材料結構，該發射極層 2 為單層材料結構或三層材料結構，但在實施時，在本發明的其他實施態樣中，不以此為限，該複合基極層 1 還可以設計更多數量的層結構，該發射極層 2 還可以設計為雙層材料結構或更多數量的層結構。也就是說，在其他可能的實現方式中，複合基極層 1 和發射極層 2 也可以具有其他不同數量的層結構。

【0087】 本實施例提供的外延結構 100 和電晶體的有益效果包

括：

【0088】 1.設計出該複合基極層 1，使該複合基極層 1 包括該第一基極層 11 和該第二基極層 12，該第一基極層 11 的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 或 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ，該第二基極層 12 的材料包括 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{S}$ ， $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 材料具有低能隙的特點，能夠減少電晶體的開啟電壓，減少功耗。

【0089】 2.上述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ 材料具有電子的載子遷移率偏低的問題，直接運用會導致阻值過高，限制電晶體的頻率特性。對此，設計出在靠近該發射極層 2 的方向上，該第一基極層 11 中 In 含量不變，該第二基極層 12 中 In 含量逐漸增大，In 含量逐漸增大能夠提高電子的載子遷移率，減少器件的該複合基極層 1 的電阻，保證電晶體的頻率特性良好。同時，該第二基極層 12 與上述發射極層 2 之間的導電帶尖峰效應，隨著 In 含量逐漸增大而減少，進一步減少電晶體的開啟電壓。

【0090】 3.在製備工藝上，無需增加額外的工序，不會增加額外的製備成本。

【0091】 4.進一步的，該發射極層 2 由多層磷化銦鎵構成，通過晶格應變的調變讓應力釋放，並改善可能衍生的器件信賴性失效風險。

【0092】 5.該複合基極層 1 設計藉由低能隙材料搭配高載子移

動率材料以維持基極層的優越性能，且該發射極層的多層設計也同時調控該複合基極層 1 的晶格應力，以避免晶格失配的情形產生，並平衡材料晶格的穩定使器件性能優化。HBT 結構設計中複合基極層與發射極層的介面與濃度厚度等具最關鍵影響，匹配不佳下電流增益下降，導通電壓 V_{on} 上升，且影響發射極層 2 與複合基極層 1 接面的操作穩定性。

【0093】 惟以上所述者，僅為本發明之實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍，凡是依本發明申請專利範圍及專利說明書內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【符號說明】

【0094】

1: 複合基極層

100: 外延結構

11: 第一基極層

12: 第二基極層

2: 發射極層

21: 第一發射極層

22: 第二發射極層

23: 第三發射集層

3: 基板

4: 次集電極層

5: 集電極層

6: 帽蓋層

7: 發射極金屬接觸層

8: 基電極金屬接觸層

9: 集電極金屬接觸層

S1~S3: 步驟

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種外延結構，包含：

一複合基極層，包括一第一基極層和一設置在所述第一基極層上的第二基極層，

所述第一基極層的材料包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ ，其中 $0 < x \leq 0.2$ ， $0 \leq y \leq 0.035$ ，在 y 取值為 $0 < y \leq 0.035$ 的情況下， $x = 3y$ ，所述第二基極層的材料包含 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{As}$ ，其中 $0.03 \leq m \leq 0.2$ ；及

一設置在所述第二基極層上的發射極層，所述發射極層材料為磷化銦鎵。

【請求項2】如請求項 1 所述的外延結構，其中， $0.001 \leq y \leq 0.02$ 。

【請求項3】如請求項 1 所述的外延結構，其中， y 取值為 0， $0.07 \leq m \leq 0.12$ ， $0.07 \leq x \leq 0.12$ 。

【請求項4】如請求項 1 所述的外延結構，其中，所述複合基極層的厚度範圍為 12~50nm。

【請求項5】如請求項 4 所述的外延結構，其中，所述第一基極層的厚度範圍為 0.1nm~30nm，所述第二基極層的厚度範圍為 0.1nm~30nm。

【請求項6】如請求項 1 所述的外延結構，其中，在沿所述第一基極層往所述第二基極層的方向上，所述第一基極層中 In 含量不變，所述第二基極層中銦元素含量逐漸增大。

【請求項7】如請求項 1 所述的外延結構，其中，靠近所述第一基極層處的所述第二基極層的砷化銦鎵記為 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ，靠近發射極層處第二基極的砷化銦鎵記為 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$ ，

$$0.9z \leq x \leq 1.1z, z < w \text{ 且 } x < w。$$

【請求項8】如請求項 1 所述的外延結構，其中，所述發射極層之材料為 $\text{Ga}_\beta \text{In}_{1-\beta} \text{P}$ ， $0.48 \leq \beta \leq 0.52$ 。

【請求項9】如請求項 8 所述的外延結構，其中，所述發射極層的厚度範圍為 30nm~50nm。

【請求項10】如請求項 1 所述的外延結構，其中，所述發射極層包含依次層疊的一第一發射極層、一第二發射極層及一第三發射極層，所述第一發射極層、所述第二發射極層及所述第三發射極層的材料皆為磷化銦鎵，且鎵元素莫耳含量取值範圍均為 0.27~0.8。

【請求項11】如請求項 10 所述的外延結構，其中所述第一發射極層、所述第二發射極層及所述第三發射極層的材料皆為磷化銦鎵，且鎵元素莫耳含量取值範圍均為 0.3~0.7。

【請求項12】如請求項 10 所述的外延結構，定義從該第一發射極層至該第三發射極層為一第一方向，其中，沿著該第一方向，所述第一發射極層中的鎵元素含量逐漸減少，所述第二發射極層中鎵元素含量固定，所述第三發射極層中的鎵元素含量逐漸增加。

【請求項13】如請求項 12 所述的外延結構，其中，靠近複合基極層處的第一發射極層的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\gamma \text{In}_{1-\gamma} \text{P}$ ，靠近第二發射極層處的第一發射極層的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\delta \text{In}_{1-\delta} \text{P}$ ，所述第二發射極層的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\varepsilon \text{In}_{1-\varepsilon} \text{P}$ ，靠近第二發射極層處第三發射極層的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\eta \text{In}_{1-\eta} \text{P}$ ，遠離第二發射極層最遠處的第三發射

極層的磷化銦鎵記為 $\text{Ga}_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}$ ，其中， $\gamma > \delta$ ， $\theta > \eta$ ， γ 取值範圍為 0.6~0.8， δ 取值範圍為 0.27~0.33， ε 取值範圍為 0.27~0.33， η 取值範圍為 0.27~0.33， θ 取值範圍為 0.46~0.56。

【請求項14】如請求項 13 所述的外延結構，其中， $\gamma > \theta > \delta = \varepsilon = \eta$ 。

【請求項15】如請求項 13 所述的外延結構，其中， $\gamma = 0.7$ ， $\delta = 0.3$ ， $\varepsilon = 0.3$ ， $\eta = 0.3$ ， $\theta = 0.51$ 。

【請求項16】如請求項 13 所述的外延結構，其中，所述發射極層的厚度範圍為 21nm~40nm。

【請求項17】如請求項 16 所述的外延結構，其中，所述第一發射極層的厚度範圍為 1nm~5nm，所述第二發射極層的厚度範圍為 15nm~25nm，所述第三發射極層的厚度範圍為 5nm~10nm。

【請求項18】一種電晶體，包含請求項 1~17 任一項所述的外延結構。

【發明圖式】

100



圖1



圖2

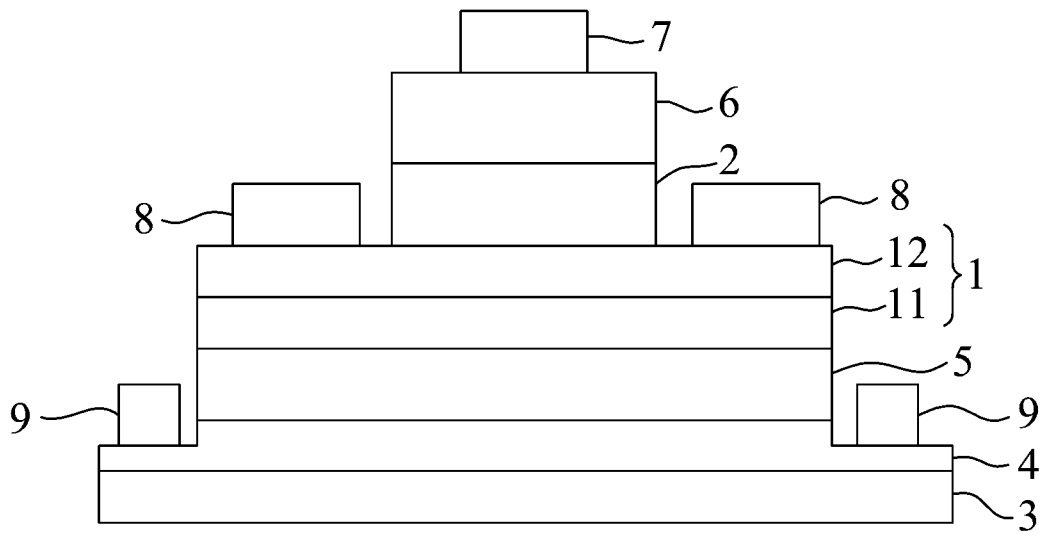


圖3

100



圖4

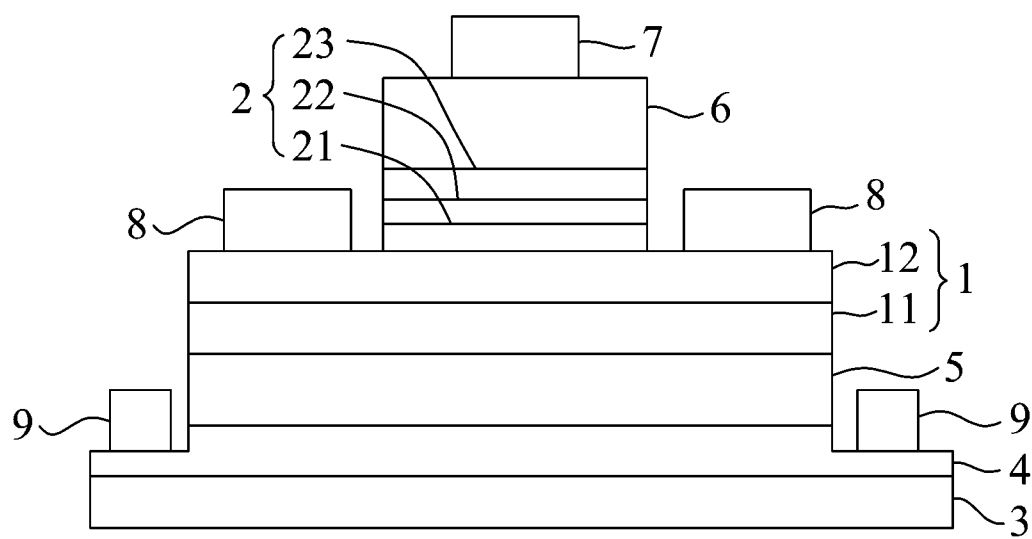


圖5