

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-77352
(P2011-77352A)

(43) 公開日 平成23年4月14日(2011.4.14)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
 HO 1 L 21/331 (2006.01) HO 1 L 29/72 H 5 F 0 0 3
 HO 1 L 29/737 (2006.01)

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2009-228160 (P2009-228160)
 (22) 出願日 平成21年9月30日 (2009. 9. 30)

(71) 出願人 000002130
 住友電気工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100092657
 弁理士 寺崎 史朗
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100108257
 弁理士 近藤 伊知良
 (72) 発明者 斎藤 雄
 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
 電気工業株式会社伊丹製作所内

最終頁に続く

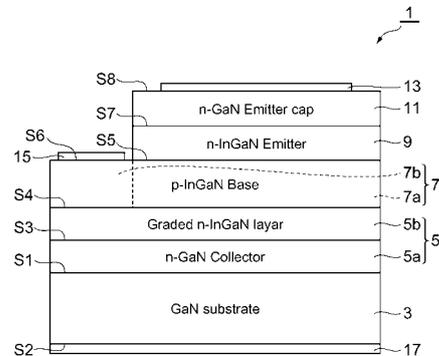
(54) 【発明の名称】 ヘテロ接合バイポーラトランジスタ、及び、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 良好な I n 組成比及び結晶性を有するヘテロ接合バイポーラトランジスタ、及び、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法を提供する。

【解決手段】 六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり n 型窒化ガリウム系半導体層 5 b を有するコレクタ層 5 と、I n を含む p 型窒化ガリウム系半導体層からなり、コレクタ層 5 の主面 S 4 に設けられたベース層 7 と、他の n 型窒化ガリウム系半導体層からなり、ベース層 7 の主面 S 5 に設けられたエミッタ層 9 と、を備えるヘテロ接合バイポーラトランジスタ 1 であって、コレクタ層 5 の主面 S 4 は、コレクタ層 5 の六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して 6 0 度以上 8 0 度以下の角度で傾斜している。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり、第 1 の n 型窒化ガリウム系半導体層を有するコレクタ層と、

インジウムを含む p 型窒化ガリウム系半導体層からなり、前記コレクタ層の主面に設けられたベース層と、

第 2 の n 型窒化ガリウム系半導体層からなり、前記ベース層の主面に設けられたエミッタ層と、

を備え、

前記コレクタ層の主面は、前記コレクタ層の六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して 60 度以上 80 度以下の角度で傾斜している、ことを特徴とするヘテロ接合バイポーラトランジスタ。

10

【請求項 2】

六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり、当該六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して 60 度以上 80 度以下の角度で傾斜した主面を有する支持基体を更に備え、

前記コレクタ層は前記支持基体の主面に設けられる、ことを特徴とする請求項 1 に記載のヘテロ接合バイポーラトランジスタ。

【請求項 3】

前記支持基体は GaN からなることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載のヘテロ接合バイポーラトランジスタ。

20

【請求項 4】

前記エミッタ層の主面に設けられたエミッタキャップ層と、

前記ベース層と前記第 1 の n 型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられた第 3 の n 型窒化ガリウム系半導体層と、

を更に備え、

前記第 2 の n 型窒化ガリウム系半導体層は、前記ベース層から前記エミッタキャップ層の方向に減少するインジウム組成の InGa_{1-x}N からなり、

前記 p 型窒化ガリウム系半導体層はマグネシウム添加 InGa_{1-x}N 層である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のうち何れか一項に記載のヘテロ接合バイポーラトランジスタ。

30

【請求項 5】

前記第 3 の n 型窒化ガリウム系半導体層は、前記ベース層から前記第 1 の n 型窒化ガリウム系半導体層の方向に減少するインジウム組成の InGa_{1-x}N からなる、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のうち何れか一項に記載のヘテロ接合バイポーラトランジスタ。

【請求項 6】

ヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法であって、

六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり当該六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して 60 度以上 80 度以下の角度で傾斜した主面を有する支持基体を用意する工程と、

前記支持基体の前記主面に、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり第 1 の n 型窒化ガリウム系半導体層を有するコレクタ層をエピタキシャル成長させる工程と、

40

前記コレクタ層をエピタキシャル成長させた後に、インジウムを含む p 型窒化ガリウム系半導体層からなるベース層を、前記コレクタ層の主面にエピタキシャル成長させる工程と、

前記ベース層をエピタキシャル成長させた後に、第 2 の n 型窒化ガリウム系半導体層からなるエミッタ層を前記ベース層の主面にエピタキシャル成長させる工程と、

を備える、ことを特徴とするヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ、及び、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献1に記載のヘテロ接合バイポーラトランジスタは、絶縁性基板（サファイア、SiC）にバッファ層、 n^+ GaNサブコレクタ層、 n^- GaNコレクタ層、 n^- InGaN組成傾斜層、 p^- InGaNベース層、 n^+ InGaN組成傾斜エミッタ層、 n^+ GaNエミッタ層を順次積層し、次に、 n^+ GaNエミッタ層の表面にNi/Tiマスクを形成した後にRIEによって p^- InGaNベース層を一部表出させ、次に、Ni/Tiマスクを形成しRIEによって下部の n^+ GaNサブコレクタ層を一部表出させ、次に、Ni/Auオーミック電極を p^- InGaNベース層に形成し、Ti/Alオーミック電極を n^+ GaNエミッタ層と n^+ GaNサブコレクタ層とに形成することによって作成されたものとなっている。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】D.M.Keogh, P.M.Asbeck, T.Chung, J.Limb, D.Yoo, J.-H.Ryou, W.Lee, S.-C.Shen and R.D.Dupuis, "High current gain InGaN/GaN HBTs with 300 operating temperature", ELECTRONICS LETTERS, 25th May 2006, Vol.42, No.11.

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

非特許文献1の場合、異種基板（サファイアやSiCの絶縁性基板）上にエピ層が形成されるので、エピ層に発生する応力を緩和するために p^- InGaNベース層から貫通転位が発生し、エピ層の結晶性が低下する。さらにこの場合、この貫通転位周囲のホールが補償され、エミッタ-コレクタ間の電流リークが誘起されるので、トランジスタ動作が劣化する虞がある。また、非特許文献1の場合、ベース層の抵抗を下げるためにホール密度を増加させる目的でGaNではなくバンドギャップの小さいInGaNをベース層に用いているが、成長面にc面方位を用いる場合には、Inの取り込みを向上させるためにエピ層を低温成長させるとIn凝集の発生が増大するので、比較的の高いIn組成比及び結晶性を有するInGaNを成長させることが困難となる。そこで、本発明は、上記の事項を鑑みてなされたものであり、良好なIn組成比及び結晶性を有するヘテロ接合バイポーラトランジスタ、及び、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法を提供することを目的としている。

30

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタは、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり、第1のn型窒化ガリウム系半導体層を有するコレクタ層と、インジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層からなり、前記コレクタ層の主面に設けられたベース層と、第2のn型窒化ガリウム系半導体層からなり、前記ベース層の主面に設けられたエミッタ層と、を備え、前記コレクタ層の主面は、前記コレクタ層の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対して60度以上80度以下の角度で傾斜している、ことを特徴とする。

40

【0006】

本発明のヘテロ接合バイポーラトランジスタによれば、コレクタ層の主面は、コレクタ層の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対して60度以上80度以下の角度で傾斜しているので、In組成比が比較的高く、In凝集（液滴）の発生が低減されている。In凝集の発生が低減されていることによって、In凝集を起点として導入される転位も低減されるので、エミッタ-コレクタ間のリーク電流が抑制できる。

【0007】

本発明に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタでは、六方晶系窒化ガリウム系半導体

50

からなり、当該六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対して60度以上80度以下の角度で傾斜した主面を有する支持基体を更に備え、前記コレクタ層は前記支持基体の主面に設けられ、また、支持基体はGaNからなるのが好ましい。このように、支持基体が、コレクタ層、ベース層及びエミッタ層と同種の窒化ガリウム系半導体からなるので、格子定数差に起因する応力を緩和するために生じる貫通転位が低減される。更に、支持基体の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対して60度以上80度以下の角度で傾斜した支持基体の主面にコレクタ層及びベース層が形成されるので、ベース層の主面の面方位も60度以上80度以下の角度で傾斜したものとなっている。

【0008】

本発明に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタでは、前記エミッタ層の主面に設けられたエミッタキャップ層と、前記ベース層と前記第1のn型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられた第3のn型窒化ガリウム系半導体層と、を更に備え、前記第2のn型窒化ガリウム系半導体層は、前記ベース層から前記エミッタキャップ層の方向に減少するインジウム組成のInGaNからなり、前記p型窒化ガリウム系半導体層はマグネシウム添加InGaN層である。このように、第2のn型窒化ガリウム系半導体層のIn組成が、前記ベース層から前記エミッタキャップ層の方向に減少しているため、エミッタ層が低転位となっている。また、ベース層のIn組成が比較的高いので、ベース層に添加されるマグネシウムが比較的少なく、よってベース層からエミッタ層に拡散されるマグネシウムも低減されているので、エミッタ層は、マグネシウムによるキャリア補償の低減された高品質な半導体となっている。

10

20

【0009】

本発明に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタでは、前記第3のn型窒化ガリウム系半導体層は、前記ベース層から前記第1のn型窒化ガリウム系半導体層の方向に減少するインジウム組成のInGaNからなる。このように、第3のn型窒化ガリウム系半導体層のIn組成が、前記ベース層から前記第1のn型窒化ガリウム系半導体層の方向に減少しているため、第3のn型窒化ガリウム系半導体層が低転位となっている。

【0010】

本発明に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法は、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり当該六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対して60度以上80度以下の角度で傾斜した主面を有する支持基体を用意する工程と、前記支持基体の前記主面に、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり第1のn型窒化ガリウム系半導体層を有するコレクタ層をエピタキシャル成長させる工程と、前記コレクタ層をエピタキシャル成長させた後に、インジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層からなるベース層を、前記コレクタ層の主面にエピタキシャル成長させる工程と、前記ベース層をエピタキシャル成長させた後に、第2のn型窒化ガリウム系半導体層からなるエミッタ層を前記ベース層の主面にエピタキシャル成長させる工程と、を備える、ことを特徴とする。

30

【0011】

本発明に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法によれば、コレクタ層の主面は、コレクタ層の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対して60度以上80度以下の角度で傾斜しているため、In組成比が比較的高く、In凝集(液滴)の発生が低減されている。In凝集の発生が低減されていることにより、In凝集を起点として導入される転位も低減されるので、エミッタ-コレクタ間のリーク電流が抑制できる。更に、支持基体が、コレクタ層、ベース層及びエミッタ層と同種の窒化ガリウム系半導体からなるので、格子定数差に起因する応力を緩和するために生じる貫通転位が低減される。更に、支持基体の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対して60度以上80度以下の角度で傾斜した主面にコレクタ層が形成されるので、このコレクタ層上に形成されるベース層の主面も60度以上80度以下の角度で傾斜したものとなっている。

40

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、良好なIn組成比及び結晶性を有するヘテロ接合バイポーラトランジ

50

スタ、及び、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施形態に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタの構成を示す図である。

【図2】実施形態に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタの効果を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を参照して、本発明に係る好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において、可能な場合には、同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。図1は、実施形態に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタ1の構成を説明するための図である。ヘテロ接合バイポーラトランジスタ1は、支持基体3、コレクタ層5、ベース層7、エミッタ層9、エミッタキャップ層11、エミッタ電極13、ベース電極15及びコレクタ電極17を備える。コレクタ層5は、n型窒化ガリウム系半導体層5a及びn型窒化ガリウム系半導体層5bを有する。ベース層7は、第1の領域7a及び第2の領域7bを有する。支持基体3、n型窒化ガリウム系半導体層5a、n型窒化ガリウム系半導体層5b、ベース層7、エミッタ層9及びエミッタキャップ層11は、この順に積層されている。n型窒化ガリウム系半導体層5a、n型窒化ガリウム系半導体層5b、ベース層7、エミッタ層9及びエミッタキャップ層11は、支持基体3上においてエピタキシャル成長によって形成されたものである。

10

20

【0015】

支持基体3は、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる導電性自立GaN基板である。支持基体3は、主面S1と、主面S1の反対側の裏面S2とを有する。主面S1は、支持基体3の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対してm軸方向に60度以上80度以下の角度で傾斜している。

【0016】

コレクタ層5は、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる。n型窒化ガリウム系半導体層5aは、支持基体3の主面S1に設けられており、支持基体3に接している。n型窒化ガリウム系半導体層5bは、n型窒化ガリウム系半導体層5aの主面S3に設けられており、n型窒化ガリウム系半導体層5aとベース層7との間に設けられている。n型窒化ガリウム系半導体層5bは、n型窒化ガリウム系半導体層5a及びベース層7に接している。n型窒化ガリウム系半導体層5bの主面S4(n型窒化ガリウム系半導体層5aの主面S3も同様)は、コレクタ層5の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対してm軸方向に60度以上80度以下の角度で傾斜している。

30

【0017】

ベース層7は、インジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層からなる。ベース層7は、n型窒化ガリウム系半導体層5bの主面S4(すなわち、コレクタ層5の主面)に設けられており、n型窒化ガリウム系半導体層5bに接している。第1の領域7a及び第2の領域7bは、n型窒化ガリウム系半導体層5bの主面S4に沿って並んで配置されており、互いに接している。第1の領域7a及び第2の領域7bは、何れも、n型窒化ガリウム系半導体層5bに接している。

40

【0018】

エミッタ層9は、n型窒化ガリウム系半導体からなる層である。エミッタ層9は、ベース層7の第1の領域7aの主面S5に設けられている。なお、ベース層7の主面は、第1の領域7aの主面S5と第2の領域7bの主面S6とからなる。エミッタキャップ層11は、エミッタ層9の主面S7に設けられており、エミッタ層9に接している。

【0019】

エミッタ電極13は、エミッタキャップ層11の主面S8に設けられ、ベース電極15は、ベース層7の第2の領域7bの主面S6に設けられ、コレクタ電極17は、支持基体3の裏面S2に設けられている。

50

【0020】

支持基体3はGaNからなり、n型窒化ガリウム系半導体層5aはn型GaNからなり、n型窒化ガリウム系半導体層5bはn型InGaNからなり、ベース層7の第1の領域7a及び第2の領域7bは何れもMgドープされたp型InGaNからなり、エミッタ層9はn型InGaNからなり、エミッタキャップ層11はn型InGaNからなる。n型窒化ガリウム系半導体層5bは、ベース層7からn型窒化ガリウム系半導体層5aの方向に減少するインジウム組成のInGaNからなる。エミッタ層9は、第1の領域7aからエミッタキャップ層11の方向に減少するインジウム組成のInGaNからなる。ベース電極15は、Ni/Auオーミック電極であり、第2の領域7bの主面S6に設けられている。エミッタ電極13は、Ti/Alオーミック電極であり、エミッタキャップ層11の表面S8に設けられている。コレクタ電極17は、Ti/Alオーミック電極であり、支持基体3の裏面S2に設けられている。

10

【0021】

次に、実施形態に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタ1の製造方法(実施例)について説明する。Ga原料として、トリメチルガリウムを用いた。In原料として、トリメチルインジウムを用いた。N原料としては、高純度アンモニアを用いた。キャリアガスとしては、純化した水素を用いた。高純度アンモニアの純度は、99.999%以上であり、純化水素の純度は99.999995%以上であった。n型ドーパントとして水素ベースのシランを用い、p型ドーパントとしてビスシクロペンタジエニルマグネシウムを用いた。

20

【0022】

まず、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなり当該六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に対してm軸方向に60度以上80度以下の角度で傾斜した主面S1を有する支持基体3を用意した。この支持基体3は、HVPE法により得られた導電性自立GaN基板であった。支持基体3の厚みは400μm程度であり、n型ドーパントの濃度は、 $5.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度であった。次に、支持基体3上に、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ構造の窒化物半導体膜(支持基体3、コレクタ層5、ベース層7、エミッタ層9及びエミッタキャップ層11に対応)を、MOCVD法を用いてエピタキシャル成長させた。まず、アンモニアと水素の高温雰囲気中において支持基体3をクリーニングした。

30

【0023】

このクリーニング後の支持基体3の主面S1に、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなるn型GaN層(n型窒化ガリウム系半導体層5aに対応)を形成した。これによって、n型窒化ガリウム系半導体層5aに対応するn型GaN層が形成された。このn型窒化ガリウム系半導体層5aに対応するn型GaN層の厚みは200nm程度であり、n型ドーパントの濃度は、 $2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度であった。

【0024】

そしてこのn型GaN層の主面に、n型窒化ガリウム系半導体層5bに対応するn型InGaN層を形成した。このn型窒化ガリウム系半導体層5bに対応するn型InGaN層の形成の場合、形成時間の経過にともなってトリメチルガリウムとトリメチルインジウムの供給比を徐々に変えつつ成長温度を変化させることによってIn組成を増加させた。このn型窒化ガリウム系半導体層5bに対応するn型InGaN層の厚みは30nm程度であり、n型ドーパントの濃度は $2.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度であり、In組成比は3%以下であった。以上のようにして、コレクタ層5に対応する半導体層を形成した。

40

【0025】

次に、上記のようにして形成したコレクタ層5に対応する半導体層の主面(n型窒化ガリウム系半導体層5bに対応するn型InGaN層)に、ベース層7に対応したp型InGaN層を形成した。このベース層7に対応するp型InGaN層の厚みは100nm程度であり、p型ドーパントの濃度は $2.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度であり、In組成比は3%~4%の範囲内であった。

【0026】

50

次に、上記のようにして形成したベース層 7 に対応する p 型 InGa_N 層の主面に、エミッタ層 9 に対応する他の n 型 InGa_N 層を形成した。このエミッタ層 9 に対応する n 型 InGa_N 層の形成の場合、形成時間の経過にともなってトリメチルガリウムとトリメチルインジウムの供給比を徐々に変えつつ成長温度を変化させることによって In 組成を減少させた。このエミッタ層 9 に対応する n 型 InGa_N 層の厚みは 30 nm 程度であり、n 型ドーパントの濃度は $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であり、In 組成比は 4 % 以下であった。

【0027】

次に、上記のようにして形成したエミッタ層 9 に対応する n 型 InGa_N 層の主面に、エミッタキャップ層 11 に対応する他の n 型 Ga_N 層を形成した。このエミッタキャップ層 11 に対応する n 型 Ga_N 層の厚みは 70 nm 程度であり、n 型ドーパントの濃度は、 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であった。

10

【0028】

次に、エミッタキャップ層 11 に対応する n 型 Ga_N 層の主面に Ni/Ti マスクを形成して RIE を施すことによって、p 型 InGa_N 層の主面の一部（第 2 の領域 7 b の主面 S 6 に対応）を表出させた。これによって、エミッタ層 9 及びエミッタキャップ層 11 が形成された。次に、p 型 InGa_N 層のうち表出された第 2 の領域 7 b の主面 S 6 に Ni/Au オーミック電極であるベース電極 15 を形成し、エミッタキャップ層 11 の表面 S 8 に Ti/Al オーミック電極であるエミッタ電極 13 を形成し、更に、支持基体 3 の裏面 S 2 に Ti/Al オーミック電極であるコレクタ電極 17 を形成した。以上によって、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ 1 を製造した。

20

【0029】

以上説明した構成のヘテロ接合バイポーラトランジスタ 1 によれば、コレクタ層 5 の n 型窒化ガリウム系半導体層 5 b の主面 S 4 は、コレクタ層 5 の六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して 60 度以上 80 度以下の角度で m 軸方向に傾斜しているため、In 組成比が比較的高く、In 凝集（液滴）の発生が低減されている。In 凝集の発生が低減されていることによって、In 凝集を起点として導入される転位も低減されるため、エミッタ - コレクタ間のリーク電流が抑制できる。なお、支持基体 3 の六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して 60 度以上 80 度以下の角度で m 軸方向に傾斜した主面 S 1 にコレクタ層 5 の n 型窒化ガリウム系半導体層 5 a 及び n 型窒化ガリウム系半導体層 5 b とベース層 7 とが形成されるため、ベース層 7 の主面の面方位も 60 度以上 80 度以下の角度で m 軸方向に傾斜したものとなっている。

30

【0030】

一般に、InGa_N 層をエピタキシャル成長させる場合には c 面からわずかにオフした面においてエピタキシャル成長させるが、エピタキシャル成長が高温の場合には、安定面付近のステップ間隔の広いテラスに吸着した In は脱離を引き起こすため In 組成が上がらない。一方、In 取り込み率を上げるために低温でエピタキシャル成長させた場合、In 凝集が生じるとともに Ga のマイグレーションも阻害されるため結晶性が低下する。しかしながら、c 軸から m 軸方向へ 60 度以上 80 度以下の角度でオフした自立 Ga_N 基板である支持基体 3 を用いたヘテロ接合バイポーラトランジスタ 1 の場合であって、特に支持基体 3 の主面 1 のオフ角が例えば 75 度の場合には、{10 - 11} 面方向にステップが稠密に形成されているため、テラスに吸着した活性種が即座にステップに取り込まれる。このため、比較的低温で行う InGa_N 成長でも高い結晶性を得る事ができ、更に、結晶性を向上させるために成長温度を上げる余地も生じる。ステップ端では Ga と In の原子半径の差から In が取り込まれにくい、ステップが m 面方向に進行することで原子半径差が緩和され、比較的容易に In が取り込まれるため、高組成の InGa_N 膜を形成することができる。

40

【0031】

ここで、実施形態に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタ 1 において、支持基体 3 の主面 S 1（及び、n 型窒化ガリウム系半導体層 5 b の主面 S 4）の特徴と、ベース層 7 に

50

おける In 取り込み及び In 偏析との関係を示す実験結果を図 2 に示す。図 2 において、二重丸のシンボルは特に良好な特性を示し、一重丸のシンボルは良好な特性を示し、三角のシンボルは特に通常の特性を示し、クロスのシンボルは劣る特性を示す。特徴的な角度として、c 軸から m 軸の方向への傾斜角 63 度、70 度、71 度、72 度、78 度、79 度、80 度が示される。なお、上記の説明において、例えば面方位 (20 - 21) や (10 - 11) のような記法を用いている。本実施形態に説明を考慮するとき、結晶学的に等価な面において、当業者は、本実施形態に記載された発明の効果が得られると考える。したがって、例えば「(20 - 21)」という面方位は、等価な (2 - 201)、(-2201)、(20 - 21)、(-2021)、(02 - 21)、(0 - 221) を含むと考えることができる。

10

【0032】

更に、支持基板 3 が、コレクタ層 5、ベース層 7 及びエミッタ層 9 と同種の窒化ガリウム系半導体からなるので、格子定数差に起因する応力を緩和するために生じる貫通転位が低減される。一般に、窒化物半導体の成膜には下地にサファイア、SiC 等の異種基板が用いられるが、下地基板とエピタキシャル膜の格子定数差に起因する応力が成長界面に発生し、これを緩和する形でエピタキシャル膜に貫通転位が生じる。この貫通転位はバイポーラトランジスタのベース層においてホールキャリアの補償中心として働くため、転位周囲の領域は n 型のエミッタ層から導入される電子に対して障壁として働かず、トランジスタ動作においてエミッタ - コレクタ間のリーク電流が生じ、性能を低下させる。これに対し、実施形態に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタ 1 の場合、導電性自立 GaN 基板である支持基板 3 を下地に用いることによってエピタキシャル膜に発生する貫通転位を低減することができる。実際、異種基板としてサファイア基板を用いた場合、サファイア基板上のパuffers 層の貫通転位密度が例えば $1.0 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 程度であるのに対し、支持基板 3 のような GaN 基板を用いた場合には、GaN 基板上的エピタキシャル層の貫通転位密度が例えば $1.0 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 程度となっており、サファイア基板を用いた場合よりも GaN の支持基板 3 を基板に用いた場合のほうが、基板上に形成するエピタキシャル層 (特にベース層 7) への転位の導入が低減される。

20

【0033】

更に、絶縁性の異種基板を用いた場合、トランジスタ形成プロセスにおいて n 型のコレクタ層にオーミック電極を形成する際には RIE により n 型のコレクタ層を表出する必要があるが、実施形態に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタ 1 の場合、導電性自立 GaN 基板である支持基板 3 が用いられているので、エピ成長面とは反対側の面 (支持基板 3 の裏面 S2) にオーミック電極 (コレクタ電極 17) を形成することで n 型のコレクタ層 5 への電氣的接触を得ることができる。

30

【0034】

更に、エミッタ層 9 の In 組成が、ベース層 7 からエミッタキャップ層 11 の方向に減少しているため、エミッタ層 9 が低転位となっている。更に、コレクタ層 5 の n 型窒化ガリウム系半導体層 5b の In 組成が、ベース層 7 から n 型窒化ガリウム系半導体層 5a の方向に減少しているため、n 型窒化ガリウム系半導体層 5b が低転位となっている。更に、ベース層 7 の In 組成が比較的高いので、ベース層 7 に添加される Mg が比較的少なくすることができ、よってベース層 7 からエミッタ層 9 に拡散される Mg も低減されているため、エミッタ層 9 は、Mg によるキャリア補償の低減された高品質な半導体となっている。

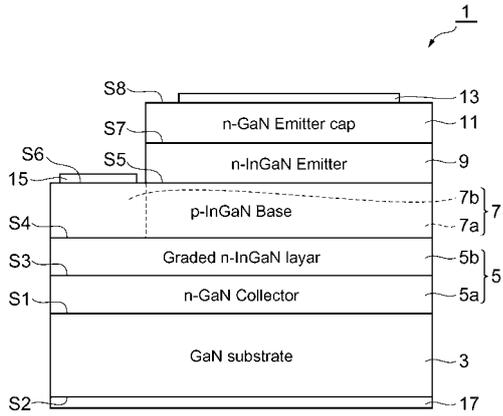
40

【符号の説明】

【0035】

1 ... ヘテロ接合バイポーラトランジスタ、11 ... エミッタキャップ層、13 ... エミッタ電極、15 ... ベース電極、17 ... コレクタ電極、3 ... 支持基板、5 ... コレクタ層、5a, 5b ... n 型窒化ガリウム系半導体層、7 ... ベース層、9 ... エミッタ層、7a ... 第 1 の領域、7b ... 第 2 の領域。

【 図 1 】



【 図 2 】

面	In取り込み	In偏析
c面近傍	○	x In取り込みは良いが、In偏析が大きい。
c面と(10-11)面の間	x	△ Inを入れるために成長温度を下げて結晶品質が低下。
(10-11)面近傍	○	x In取り込みは良いが、In偏析が大きい。
m方向63度以上、80度未満の面	○~◎	◎~◎ ステップ端成長でもIn取り込みが良い。In偏析が小さく、高品質で均質なInGaN膜。
m方向80度以上、90度未満の面	△	△ Inを入れるために成長温度を下げて結晶品質が低下。テラ上成長成分が大きく、In偏析も大きい。
m面近傍	○	x In取り込みは良いが、In偏析が大きい。

フロントページの続き

(72)発明者 塩谷 陽平

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 中村 孝夫

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 5F003 BA92 BB01 BB90 BC01 BC90 BE01 BE90 BM02 BM03 BP01
BP32