

(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2006-237155

(P2006-237155A)

(43) 公開日 平成18年9月7日(2006.9.7)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
H O 1 L 21/331 (2006.01) H O 1 L 29/72 S 5 F O O 3
H O 1 L 29/732 (2006.01)

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2005-47640 (P2005-47640)
(22) 出願日 平成17年2月23日 (2005.2.23)

(71) 出願人 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(74) 代理人 100086737
弁理士 岡田 和秀
(72) 発明者 青木 成剛
大阪府門真市大字門真1006番地 松下
電器産業株式会社内
Fターム(参考) 5F003 AP00 BA96 BB07 BE07 BH06
BP23 BS06

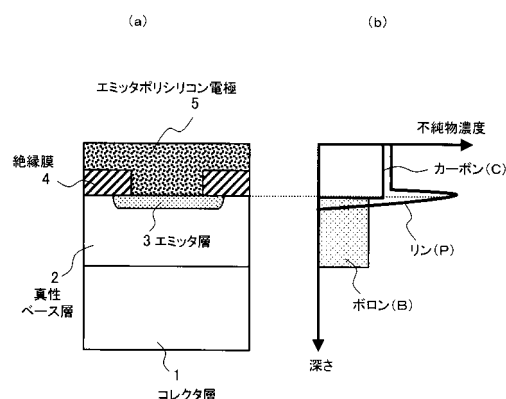
(54) 【発明の名称】 バイポーラトランジスタ

(57) 【要約】

【課題】引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタについて、高周波特性 (f_T , f_{max})、電流増幅率 h_{FE} やコレクタ - エミッタ間耐圧等のトランジスタの性能低下やバラツキを増加させることなく、寄生抵抗を効果的に低減する。

【解決手段】引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタであって、多結晶膜が $Si_{(1-y)}C_y$ ($0 < y < 1$) の組成を有している。あるいは、多結晶膜が $Si_{(1-x-y)}Ge_xC_y$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) の組成を有している。ポリシリコン/シリコン界面の界面酸化膜の破壊が促進され、エミッタ寄生抵抗が低減される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタであって、前記多結晶膜が $\text{Si}_{(1-y)}\text{C}_y$ ($0 < y < 1$) の組成を有することを特徴とするバイポーラトランジスタ。

【請求項 2】

引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタであって、前記多結晶膜が $\text{Si}_{(1-x-y)}\text{Ge}_x\text{C}_y$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$) の組成を有することを特徴とするバイポーラトランジスタ。

【請求項 3】

前記多結晶膜は、C 原子濃度の異なる 2 層膜で形成され、下地となる半導体層と接触する領域で C 原子濃度が高くされている請求項 1 または請求項 2 に記載のバイポーラトランジスタ。

【請求項 4】

前記多結晶膜は、C 原子濃度が傾斜勾配を有し、下地となる半導体層との界面で最大であり、多結晶膜中で 0 となる請求項 1 または請求項 2 に記載のバイポーラトランジスタ。

【請求項 5】

前記多結晶膜の組成における C 原子の組成割合 y が、 $0.001 < y < 0.03$ である請求項 1 から請求項 4 までのいずれかに記載のバイポーラトランジスタ。

【請求項 6】

前記多結晶膜の組成における Ge 原子の組成割合 x が、 $0.05 < x < 0.3$ である請求項 1 から請求項 5 までのいずれかに記載のバイポーラトランジスタ。

【請求項 7】

前記多結晶膜中の C 原子濃度が高い領域の膜厚が 10 nm 以上である請求項 3 に記載のバイポーラトランジスタ。

【請求項 8】

前記多結晶膜中の C 原子濃度が低い領域の膜厚が 50 nm 以上である請求項 3 に記載のバイポーラトランジスタ。

【請求項 9】

引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタであって、前記多結晶膜の主成分が Si 原子であり、前記多結晶膜中に一導電型の不純物原子とこの不純物原子よりも Si 原子に対して強い結合力を有する原子とを含んでいることを特徴とするバイポーラトランジスタ。

【請求項 10】

前記 Si 原子に対して強い結合力を有する原子が酸素原子およびフッ素原子であることを特徴とするバイポーラトランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的なポリシリコンを引き出し電極として用いるバイポーラトランジスタに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、バイポーラトランジスタの高周波化・低消費電力化の要請が高まっている。ポリシリコンを引き出し電極として用いたバイポーラトランジスタは、微細化による寄生容量の低減が容易なため、高速化に適したトランジスタ構造として高周波分野で盛んに採用されている。

【0003】

以下、一例としてポリシリコンを引き出し電極として用いた一般的なバイポーラトランジスタの構造について説明する（例えば、特許文献 1 参照）。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

図 4 は、一般的なポリシリコンを引き出し電極として用いた、エピタキシャル成長による真性ベース層を有するバイポーラトランジスタのエミッタ部およびベース部の断面構造図である。

【 0 0 0 5 】

S i 基板中にコレクタ層 1 1 が形成され、コレクタ層 1 1 の周辺にはシャロートレンチなどの素子分離領域 1 2 が形成されている。さらにコレクタ層 1 1 上に、選択 S i エピタキシャル成長法により B (ボロン) などの P 型不純物がドーピングされた真性ベース層 1 3 と、真性ベース層 1 3 と金属電極 2 0 とを接続するための B 原子などの P 型不純物がドーピングされたベースポリシリコン電極 (引き出し電極) 1 4 が形成されている。

10

【 0 0 0 6 】

さらに、真性ベース層 1 3 中にエミッタ層 1 5 が形成され、さらに、エミッタ層 1 5 を金属電極 2 0 と接続するために P (リン) 原子などの N 型不純物がドーピングされたエミッタポリシリコン電極 (引き出し電極) 1 7 が形成されている。ここで、エミッタ層 1 5 は、エミッタポリシリコン電極 1 7 を形成した後、熱処理を行うことによりエミッタポリシリコン電極 1 7 から真性ベース層 1 3 へ不純物を拡散させることにより形成される。

【 0 0 0 7 】

さらに、エミッタポリシリコン電極 1 7 とベースポリシリコン電極 1 4 間を電氣的に絶縁するために、酸化膜や窒化膜等の絶縁膜 1 6 がエミッタポリシリコン電極 1 7 とベースポリシリコン電極 1 4 の間に形成されている。さらに、エミッタポリシリコン電極 1 7 およびベースポリシリコン電極 1 4 の上部には金属電極 2 0 とのコンタクト抵抗を低減するために C o (コバルト) シリサイドなどのシリサイド層 1 8 が形成されており、W (タングステン) 等で埋め込まれたコンタクトホール 1 9 を通じて金属電極 2 0 と接続されている。

20

【 0 0 0 8 】

上記のポリシリコンを引き出し電極として用いたバイポーラトランジスタは、微細化による寄生容量の低減が容易であり、電気特性向上の観点から有望な技術である。しかし、一方で以下のように寄生抵抗が大きくなりやすいという課題も有している。以下、本課題について説明する前に、まず図 4 を用いて、ポリシリコンを引き出し電極として用いるバイポーラトランジスタにおけるエミッタ寄生抵抗 R_e の構成成分について説明する。

30

【 0 0 0 9 】

R_{e1} は金属電極 2 0 との接続のために形成されたコンタクトホール 1 9 とエミッタポリシリコン電極 1 7 とのコンタクト抵抗、 R_{e2} はエミッタポリシリコン電極 1 7 の抵抗、 R_{e3} はエミッタポリシリコン電極 1 7 とエミッタ層 1 5 とのコンタクト抵抗、 R_{e4} はエミッタ層 1 5 の抵抗である。エミッタ寄生抵抗 R_e は、一般にこれらの抵抗の和として、次式のように表される。

【 0 0 1 0 】

$$R_e = R_{e1} + R_{e2} + R_{e3} + R_{e4}$$

エミッタポリシリコン電極 1 7 は、減圧の化学気相成長法である L P - C V D 法を用いて形成される。L P - C V D 法は 5 0 0 ~ 7 0 0 程度の熱処理を伴うため、図 5 に示すように、ポリシリコンと下地のシリコン層との界面に、数 n m 程度の酸化膜 (界面酸化膜) 2 1 が形成されてしまう。この界面酸化膜 2 1 はポリシリコン成長前の温度安定時にロードロック室および反応炉内の残留酸素との化学反応により形成されるため、取り除くことは技術的に困難である。

40

【 0 0 1 1 】

界面酸化膜 2 1 は電子あるいはホール伝導のバリアとして作用するため、界面酸化膜 2 1 が存在する分だけエミッタコンタクト抵抗 R_{e3} が上昇してしまう。エミッタコンタクト抵抗 R_{e3} 以外の各成分は、不純物濃度を十分高める等の手法により十分に低減することができる。このため、エミッタ寄生抵抗 R_e の構成成分のうち、エミッタコンタクト抵抗 R_{e3} の占める割合が特に大きい。したがって、エミッタコンタクト抵抗 R_{e3} を低減す

50

ること、つまり界面酸化膜 2 1 による抵抗上昇を抑制することがエミッタ寄生抵抗 R_e を低減するためには効果的である。

【0012】

ポリシリコン電極を有するバイポーラトランジスタでは、界面酸化膜によるコンタクト抵抗上昇を抑制する手法として、例えば以下のような手法が用いられている。

【0013】

[手法1] 不純物拡散時のアニール処理の高温度化

[手法2] ポリシリコン電極の不純物濃度の高濃度化

一般的に、ポリシリコン電極を有するバイポーラトランジスタでは、エミッタポリシリコン電極 1 7 の形成後に 800 以上のアニール処理（活性化アニール）を行うことにより、エミッタポリシリコン電極 1 7 中の不純物を活性化させると同時にエミッタポリシリコン電極 1 7 からベース層 1 3 側へ不純物を拡散させ（固相拡散）、エミッタ層 1 5 を形成する。 10

【0014】

図 5 に示すように、活性化アニール処理時にポリシリコン/シリコン界面の界面酸化膜 2 1 が破壊され、ボールアップによりシリコン酸化物 2 2 が形成される。そして、ポリシリコン/シリコン界面においてシリコン側からポリシリコン側に数 nm 程度の薄いエピタキシャル層 2 3 が部分的に形成される（ボールアップ現象）。

【0015】

このボールアップ現象が生じると、ポリシリコンとシリコンとのコンタクト性が改善されるため、コンタクト抵抗を下げるができる。ボールアップ現象による界面酸化膜の破壊を促進させるほど、コンタクト抵抗低減の効果は大きくなる。上記の [手法1] や [手法2] はこのボールアップ現象の促進するものである。 20

【特許文献1】特開平 6 - 69225 号公報（第 6 頁、第 1 図）

【特許文献2】特開 2004 - 221195 号公報（第 5 - 7 頁、第 2 - 5 図）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

しかしながら、上記の [手法1] あるいは [手法2] はエミッタコンタクト抵抗 R_{e3} を低減するためには有望な手法であるものの、一方で、以下のような課題も有している。 30

【0017】

上記の [手法1] や [手法2] では、コンタクト抵抗低減のために、活性化アニール温度を上げるか、あるいはポリシリコン電極 1 7 中の不純物濃度を高めるが、これらに従って、図 6 に示すように、下地となるベース層 1 3 側への不純物拡散が促進される。その結果、エミッタ拡散深さは増加し、またバラツキも増加してしまう。

【0018】

このように [手法1] や [手法2] のような従来技術では、高周波特性の低下や電流増幅率 h_{FE} のバラツキの増加、コレクタ - エミッタ間の耐圧低下等のバイポーラトランジスタの電気特性の低下を招いてしまう。従来技術では、トランジスタの性能を犠牲にすることなく、コンタクト抵抗を十分に低減することは不可能である。 40

【0019】

さらに、エミッタ不純物として P（リン）原子が一般的に用いられることが多い。特に P 原子は、活性化アニール時にポリシリコン/シリコン基板界面付近やポリシリコン膜中で発生する格子間 Si とペア（格子間 Si - P ペア）を形成しやすい。このペアが形成されると P 原子の拡散が促進され（異常拡散）、エミッタ拡散増加およびバラツキ増加によるトランジスタの性能低下が顕著となる。

【0020】

本発明は、引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタについて、高周波特性（ f_T , f_{max} ）、電流増幅率 h_{FE} やコレクタ - エミッタ間耐圧等のトランジスタの性能低下やバラツキを増加させることなく、寄生抵抗を効果的に低減することを 50

目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0021】

上記目的を達成するために本発明によるバイポーラトランジスタは、引き出し電極が多結晶膜で形成されており、前記多結晶膜が $\text{Si}_{(1-y)}\text{C}_y$ ($0 < y < 1$) の組成を有することを特徴とするものである。

【0022】

多結晶膜電極中に導入されたC原子は、活性化アニール時に発生する格子間Si原子の捕獲において、P(リン)原子よりも作用が大きい。C原子による格子間Si原子の捕獲によって、P原子の異常拡散を抑制し、不純物の深さプロファイルを浅く、かつポリシリコン/シリコン界面に急峻にする。これにより、活性化アニールの高温化が可能となり、さらにP原子の偏析(平衡状態にある組成の異なる液相において、降温に伴って析出固化部分の組成が時間経過によって異なる現象)が増加するため、界面酸化膜の破壊(ボールアップ現象)を促進させ、エミッタコンタクト抵抗を低減できる。すなわち、トランジスタの特性低下やバラツキ増加を招くことなく、寄生抵抗を低減することができる。

10

【0023】

また、本発明によるバイポーラトランジスタは、引き出し電極が多結晶膜で形成されており、前記多結晶膜が $\text{Si}_{(1-x-y)}\text{Ge}_x\text{C}_y$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$) の組成を有することを特徴とするものである。

【0024】

Ge原子の混在により移動度が増加し、またGe原子は格子間Si原子やP原子と作用せずペアを作らないため、C原子とともにGe原子を添加することにより、さらにエミッタ抵抗を低減できる。また、Ge原子とC原子はソースとなるガスが異なるため、添加量を独立に制御することが可能である。Si表面に付着したGe原子が反応サイトとなり膜の成長速度が上昇するので、C原子の取り込みが促進され、成膜プロセスの低温化も図れる。

20

【0025】

上記の構成において、前記多結晶膜については、C原子濃度の異なる2層膜で形成され、下地となる半導体層と接触する領域でC原子濃度が高くされているという構成も好ましいものである。

30

【0026】

C原子添加量が多くなるほど多結晶膜電極自身の抵抗が上昇する傾向があり、結果的にC原子添加による界面酸化膜の破壊(ボールアップ現象)を利用する抵抗低減効果を十分に得られない場合が生じる。また、コンタクトホールと多結晶膜電極とのコンタクト抵抗を低減するシリサイド膜の形成に対して、C原子添加はシリサイド化反応の阻害要因となり、シリサイド膜の薄膜化や膜質低下が生じるおそれもある。そこで、2層膜構造をとることにより、C原子添加量を必要最小限として抵抗低減効果を確保しながら、シリサイド化反応の性状も良好化することができる。

【0027】

また、上記の構成において、前記多結晶膜については、C原子濃度が傾斜勾配を有し、下地となる半導体層との界面で最大であり、多結晶膜中で0となるという構成も好ましいものである。

40

【0028】

多結晶膜とシリコンとの界面付近にC原子濃度のピークを持たせることにより、界面近傍で選択的にP-Siペアを乖離させ、界面近傍のP原子の偏析を増加させることで、ボールアップによる界面酸化膜破壊効果をさらに促進できる。

【0029】

また、上記の構成において、前記多結晶膜の組成におけるC原子の組成割合yについては、 $0.001 < y < 0.03$ とするのが好ましい。C原子の添加は、活性化アニール時に発生する格子間Si原子を捕獲するためである。したがって、C原子の添加量は、0

50

1 atom% 以上であれば十分である。また、ポリシリコン膜質の低下や従来の成膜プロセスとの整合性の観点から、C 原子添加量は 3 atom% 以下であることが望ましい。

【0030】

また、上記の構成において、前記多結晶膜の組成における Ge 原子の組成割合 x については、 $0.05 < x < 0.3$ とするのが好ましい。Ge 原子の添加は、多結晶膜電極の抵抗率を低減すること、および C 原子の導入を容易化するためである。したがって、Ge 原子添加量は 5 atom% 以上であることが望ましい。また、Ge 原子添加量が増加するに従い、ポリシリコンの膜質低下、成長速度の低下等、成膜プロセスに対して困難が生じる。そこで、この不具合を避けつつ本発明の効果を得るために、Ge 原子添加量は 30 atom% 以下であることが望ましい。

10

【0031】

また、上記の構成において、前記多結晶膜中の C 原子濃度が高い領域の膜厚を 10 nm 以上とすることが望ましい。C 原子が添加されている多結晶膜電極の膜厚の下限は、格子間 Si の捕獲による異常拡散抑制効果を得るために必要な厚みであり、10 nm 以上であることが望ましい。

【0032】

また、上記の構成において、前記多結晶膜中の C 原子濃度が低い領域の膜厚を 50 nm 以上とすることが望ましい。C 原子が添加されていない多結晶膜電極の膜厚は、C 原子によるシリサイド化反応阻害を抑制するために必要な厚みであり、熱処理による C 原子の拡散やシリサイド化反応時の反応種の拡散を考慮し、50 nm 以上であることが望ましい。

20

【0033】

また、本発明によるバイポーラトランジスタは、引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタであって、前記多結晶膜の主成分が Si 原子であり、前記多結晶膜中に一導電型の不純物原子とこの不純物原子よりも Si 原子に対して強い結合力を有する原子とを含んでいることを特徴とするものである。

【0034】

上記の構成において、前記 Si 原子に対して強い結合力を有する原子が酸素原子およびフッ素原子であることが好ましい。

【0035】

P 原子の拡散を抑制するための原子については、本発明の効果は C 原子に限定されるものではない。格子間 Si - P ペアよりも格子間 Si との結合エネルギーが強い原子、例えば酸素原子やフッ素原子等であれば、同様の効果が得られる。

30

【発明の効果】

【0036】

本発明によると、引き出し電極が多結晶膜で形成されているバイポーラトランジスタにおいて、トランジスタ特性 (f_T や f_{max} 、 h_{FE} など) を低下させることなく、寄生抵抗低減を容易に実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

以下、本発明にかかわるバイポーラトランジスタの実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。ここでは、NPN 型のバイポーラトランジスタを基本に説明する。

40

【0038】

(実施の形態 1)

図 1 (a) は本発明の実施の形態 1 におけるバイポーラトランジスタのエミッタ部の断面構造図、図 1 (b) は不純物濃度プロファイルを示す図である。図 1 において、1 は Si 基板中に形成されたコレクタ層、2 はコレクタ層 1 上でエピタキシャル成長法によりボロン (B) などの P 型不純物がドーピングされた真性ベース層、3 は真性ベース層 2 内に形成されたエミッタ層、4 は絶縁膜、5 はエミッタポリシリコン電極である。エミッタ層 3 は、エミッタポリシリコン電極 5 を形成した後、熱処理を行うことによりエミッタポリシリコン電極 5 から真性ベース層 2 へ不純物を拡散させることにより形成されたものであ

50

る。その他の構成については、従来の技術の図 4 に示す構成が援用されるものとする。

【0039】

本実施形態は、引き出し電極として用いるポリシリコン電極 5 中に微量の C (カーボン) 原子が添加されていることを特徴とする。C 原子の添加により、以下のような効果を得る。

【0040】

ポリシリコン電極 5 中に導入された C 原子は、P (リン) 原子よりも活性化アニール時にポリシリコン/シリコン界面付近やポリシリコン膜中で発生する格子間 Si 原子とペア (Si-C ペア) を形成しやすい (C 原子による格子間 Si の捕獲)。このため、ポリシリコン/シリコン界面での格子間 Si 濃度を従来よりも低下させ、P 原子の異常拡散を抑制することができる。図 1 (b) に示すように、C 原子添加により、従来よりも不純物の深さプロファイルを浅く、かつポリシリコン/シリコン界面に急峻にできる。 10

【0041】

この P 原子の異常拡散抑制効果により、エミッタ拡散長を従来レベルに維持したまま活性化アニールの高温化が可能となり、界面酸化膜の破壊 (ボールアップ現象) を促進させ、エミッタコンタクト抵抗 R_{e3} を低減することができる。

【0042】

さらに、P 原子の異常拡散抑制効果により、ポリシリコン/シリコン界面への P 原子の偏析が増加 (界面での P 原子濃度が増加) するため、この効果によっても界面酸化膜の破壊は促進され、エミッタコンタクト抵抗 R_{e3} をさらに低減することができる。 20

【0043】

C 原子の添加は、活性化アニール時に発生する格子間 Si 原子を捕獲することが目的である。したがって、ヘテロエミッタ層として作用させるために用いられる化学量論比 1 : 1 のシリコンカーバイド膜 (SiC 膜) の組成である必要はない。C 原子の添加量は、0.1 atom% 以上であれば十分その効果が得られる。また、ポリシリコン膜質の低下や従来の成膜プロセスとの整合性の観点から、C 原子添加量は 3 atom% 以下であることが望ましい。

【0044】

このように、本発明の効果を得るための C 原子添加量は微量で十分なため、ポリシリコン電極 5 中への C 原子の添加は、メチルシラン等の C 原子を含むプロセスガスをポリシリコン電極 5 の形成時に同時に添加することにより、従来の成膜技術の範囲内で容易に実現することができる。また、成膜温度の上昇等の成膜プロセス変更も伴わないため、成膜プロセスが変わることによるトランジスタ特性低下の懸念もなく、一般的なシリコン LSI プロセスへ容易に適用することが可能である。 30

【0045】

なお、上記ではエミッタポリシリコン電極 5 についての説明であったが、ベースポリシリコン電極でも同様である。

【0046】

以上の効果により、ポリシリコン電極中へ微量の C 原子を添加することにより、トランジスタの特性低下やバラツキ増加を招くことなく、寄生抵抗のみを低減することができる。 40

【0047】

(実施の形態 2)

本発明の実施の形態 2 は、引き出し電極となるポリシリコン電極 5 に C 原子と同時に Ge (ゲルマニウム) 原子を添加することを特徴とするものである。C 原子と同時に Ge 原子を添加することにより、さらにエミッタ抵抗 R_e を低減することができる。さらに実施の形態 1 よりも、C 原子の添加を容易な成膜プロセス条件で行うことが可能となる。

【0048】

一般に Si 半導体よりも Ge 半導体の方が移動度が大きい。SiGe 混晶半導体においては、Ge 組成が大きくなるに伴い移動度が大きくなることが知られている。多結晶膜に 50

においても、結晶粒内では同様の現象が生じる。不純物のドーピング量が同一であれば、通常のポリシリコン電極もゲルマニウムが添加されたポリシリコンゲルマニウム電極の方が膜の抵抗率は小さくなる。ポリシリコン電極 5 に Ge 原子を添加してポリシリコンゲルマニウム電極 4 とすることで、エミッタ寄生抵抗の構成成分のうち、ポリシリコン電極抵抗 R_{e2} を低減することができる。ポリシリコン電極 5 中に Ge 原子を添加しても、Ge 原子は格子間 Si 原子や P 原子等と作用せずペアを作らないため、実施の形態 1 における効果を維持しつつ、上記の効果が得られる。結果的に実施の形態 1 よりさらにエミッタ抵抗 R_e を低減することが可能となる。

【0049】

ポリシリコン電極 5 への Ge 原子の添加については、ゲルマン (Ge_nH_{2n+2}) 等の Ge 原子を含むプロセスガスをポリシリコン電極形成時に同時に添加することにより、従来の成膜技術を用いて低抵抗化を容易に実現することができる。また、Ge 原子と C 原子とはソースとなるガスが異なるため、添加量をほぼ独立に制御することが可能である。

【0050】

さらに、ポリシリコン電極 5 の形成中の C 原子の取り込み効率は低いため、C 原子単独では C 原子添加の制御は困難である。しかし、Ge 原子を同時に添加した場合、Si 表面に付着した Ge 原子が反応サイトとして作用するため膜の成長速度が上昇する。その結果、C 原子の取り込みが促進されるとともに、通常のポリシリコン成長よりも成膜プロセスを低温化できるという効果も得る。

【0051】

Ge 原子の添加は、ポリシリコン電極 5 の抵抗率を低減すること、および C 原子の導入を容易化することが目的である。したがって、Ge 原子添加量は 5 atom% 以上であることが望ましい。

【0052】

また、Ge 原子添加量が増加するに従い、ポリシリコンの膜質低下、成長速度の低下等、成膜プロセスに対して困難が生じてしまう。そこで、この不具合を避けつつ本発明の効果を得るために、Ge 原子添加量は 30 atom% 以下であることが望ましい。

【0053】

なお、上記ではエミッタポリシリコン電極についての説明であったが、ベースポリシリコン電極でも同様である。

【0054】

以上のように実施の形態 2 によれば、C 原子と同時に Ge 原子をポリシリコン電極に添加することにより、C 原子単独の場合よりもさらにバイポーラトランジスタの寄生抵抗を低減することが可能となる。

【0055】

(実施の形態 3)

一般に、ポリシリコンに C 原子を添加するに従い、膜の抵抗率が上昇することが知られている。このため、C 原子添加量が多くなるほどポリシリコン電極 5 の抵抗 R_{e2} が上昇してしまい、結果的に C 原子添加によるエミッタ抵抗低減効果を十分に得られない場合が生じる。

【0056】

また、従来の技術の図 4 に示したようにコンタクトホール 19 とエミッタポリシリコン電極 17 とのコンタクト抵抗 R_{e1} を低減するために、エミッタポリシリコン電極 17 上にシリサイド膜 18 を形成する。しかし、C 原子添加によりシリサイド化反応が阻害され、シリサイド膜 18 の薄膜化や膜質低下が生じてしまうという不具合が発生するおそれもある。

【0057】

本発明の実施の形態 3 は、実施の形態 1, 2 において生じる可能性のある上記のような不具合点を解消し、本発明の効果をさらに際立たせるためのものである。本実施の形態は、ポリシリコン電極が C 原子および Ge 原子の濃度の異なる 2 層膜で形成されていること

10

20

30

40

50

を特徴とするものである。

【0058】

図2(a)は本発明の実施の形態3におけるバイポーラトランジスタのエミッタ部の断面構造図、図2(b)は不純物濃度プロファイルを示す図である。図2において、実施の形態1の図1におけるのと同じ符号は同一構成要素を指しているため、詳しい説明は省略する。

【0059】

実施の形態3では、引き出し電極としてC原子およびGe原子が添加されたポリシリコン電極5a上に、C原子が添加されていないGe原子のみが添加されたポリシリコン電極5bが形成されている。つまりポリシリコン電極中のC原子添加領域をポリシリコン/シリコン界面付近のみとする構造である。

10

【0060】

図2の構造を用いることにより、ポリシリコン/シリコン界面付近で実施の形態1,2の効果によるコンタクト抵抗低減効果を維持しつつ、ポリシリコン膜表面のシリサイド化反応は従来のC原子を添加しない場合と同様に行えるため、コンタクトホールとエミッタポリシリコン電極とのコンタクト抵抗 R_{e1} の上昇という不具合を発生させることはない。

【0061】

また、C原子の添加領域をポリシリコン電極全体とするのではなく必要最小限に抑えることにより、ポリシリコン電極の抵抗率上昇を実用上問題ないレベルに抑制することができる。

20

【0062】

以上のように図2の構造により、C原子添加によって不具合を生じさせることなく、C原子添加によるエミッタ抵抗低減効果が得られる。

【0063】

なお、C原子が添加されているポリシリコン電極5aの膜厚の下限は、格子間Siの捕獲による異常拡散抑制効果を得るために必要な厚みであり、10nm以上であることが望ましい。一方、上記膜厚の上限は、エミッタコンタクト抵抗 R_{e2} の増加を抑制するために100nm以下にすることが望ましい。

【0064】

30

また、C原子が添加されていないポリシリコン電極5bの膜厚は、C原子によるシリサイド化反応阻害を抑制するために必要な厚みであり、熱処理によるC原子の拡散やシリサイド化反応時の反応種の拡散を考慮し、50nm以上であることが望ましい。一方、上記膜厚の上限は、エミッタ引き出し電極の加工上の制約から300nm以下にすることが望ましい。

【0065】

また、C原子の濃度の異なる領域は、成膜プロセス中にC原子のソースガスの流量を変更する等の手法を用いて容易に形成することが可能である。

【0066】

また、C原子が添加されていないポリシリコン電極5bは、必ずしもGe原子が添加されている必要はないが、実施の形態2における効果を得るためにもGe原子は添加されている方が望ましい。

40

【0067】

なお、上記ではエミッタポリシリコン電極についての説明であったが、ベースポリシリコン電極でも同様である。

【0068】

(実施の形態4)

本発明の実施の形態4は、実施の形態3における効果をより効果的に得るためのものである。

【0069】

50

図 3 (a) は本発明の実施の形態 4 におけるバイポーラトランジスタのエミッタ部の断面構造図、図 3 (b) は不純物濃度プロファイルを示す図である。図 3 において、実施の形態 1 の図 1 におけるのと同じ符号は同一構成要素を指しているため、詳しい説明は省略する。

【 0 0 7 0 】

実施の形態 4 では、C 原子が添加された領域における C 原子濃度がポリシリコン界面で最大であり、界面からポリシリコン電極表面に向かうにつれ徐々に C 原子濃度が低下する傾斜構造を有することを特徴とするものである。C 原子濃度に傾斜を持たせることにより以下のような効果が得られる。

【 0 0 7 1 】

活性化アニール時にポリシリコン / シリコン界面付近やポリシリコン電極中で発生する格子間 Si 原子は、ポリシリコン電極中の P 原子などの不純物とペアを作り、下地のシリコン膜中へ拡散していく。本実施形態のようにポリシリコン / シリコン基板界面付近に C 原子濃度のピークを持たせることにより、界面近傍で選択的に P - Si ペアを乖離させることができる。このことにより、界面近傍の P 原子の偏析を増加させ、ボールアップによる界面酸化膜破壊効果をさらに促進できる。

【 0 0 7 2 】

さらに、C 原子添加によるポリシリコン電極の抵抗率上昇という不具合点も最小限に抑えることができ、実施の形態 1 ~ 3 よりも効果的にエミッタ寄生抵抗 R_e を低減する効果が得られる。

【 0 0 7 3 】

C 原子の濃度傾斜は、図 3 のように必ずしも連続的に変化している必要はなく、濃度の異なる膜の積層構造でも同様の効果が得られる。

【 0 0 7 4 】

さらに、C 原子の濃度傾斜は、成膜プロセス中に段階的にガス流量を変化させる等の手法で容易に実現可能である。また、C 原子濃度に傾斜構造を持たせても、トランジスタ特性低下等の不具合を生じることはない。

【 0 0 7 5 】

なお、上記ではエミッタポリシリコン電極についての説明であったが、ベースポリシリコン電極でも同様である。

【 0 0 7 6 】

また、実施の形態 1 ~ 4 では、ポリシリコン電極形成中に C 原子および Ge 原子を添加する方法 (in-Situ doping) で説明を行ったが、ポリシリコン膜形成後にイオン注入等を用いて C 原子を導入しても同様の効果が得られる。

【 0 0 7 7 】

また、実施の形態 1 ~ 4 では、NPN トランジスタを用いて説明を行ったが、B (ボロン) 等の P 型不純物においても同様の効果が得られる。そのため、B 原子をドーブしたポリシリコン膜をエミッタ引き出し電極として用いる PNP トランジスタや、B 原子をドーブしたポリシリコン膜をベース引き出し電極に用いる NPN トランジスタにおいても同様の効果が得られる。

【 0 0 7 8 】

さらに、実施の形態 1 ~ 4 では、P 原子あるいは B 原子の拡散を抑制するための原子として C 原子を用いて説明を行ったが、本発明の効果は C 原子に限定されるものではなく、格子間 Si - P ペアあるいは格子間 Si - B ペアよりも格子間 Si との結合エネルギーが強い原子、例えば酸素原子やフッ素原子等であれば、同様の効果が得られる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 7 9 】

以上説明したように、本発明は、ポリシリコン膜を引き出し電極として用いるバイポーラトランジスタ等に有用である。

【 図面の簡単な説明 】

10

20

30

40

50

【 0 0 8 0 】

【図 1】本発明の実施の形態 1, 2 におけるバイポーラトランジスタのエミッタ部（ベース部）の断面構造と不純物濃度プロファイルを示す図

【図 2】本発明の実施の形態 3 におけるバイポーラトランジスタのエミッタ部（ベース部）の断面構造と不純物濃度プロファイルを示す図

【図 3】本発明の実施の形態 4 におけるバイポーラトランジスタのエミッタ部（ベース部）の断面構造と不純物濃度プロファイルを示す図

【図 4】従来のポリシリコンを引き出し電極として用いたバイポーラトランジスタのエミッタ部、ベース部の断面構造およびエミッタ寄生抵抗の構成成分を示す図

【図 5】ポリシリコン/シリコン界面におけるボールアップ現象による界面酸化膜の破壊を示す図 10

【図 6】従来のバイポーラトランジスタのエミッタ部、ベース部の断面構造と不純物濃度プロファイルを示す図

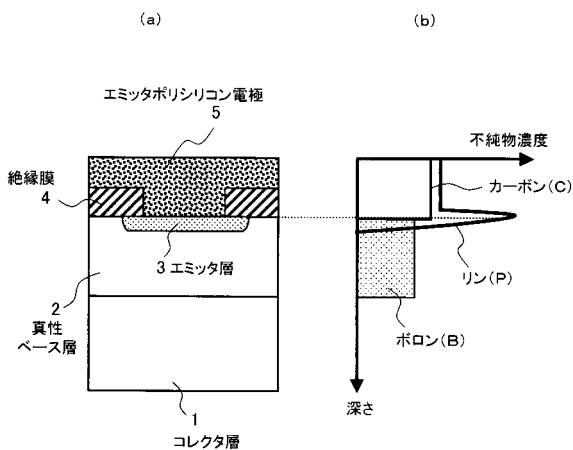
【符号の説明】

【 0 0 8 1 】

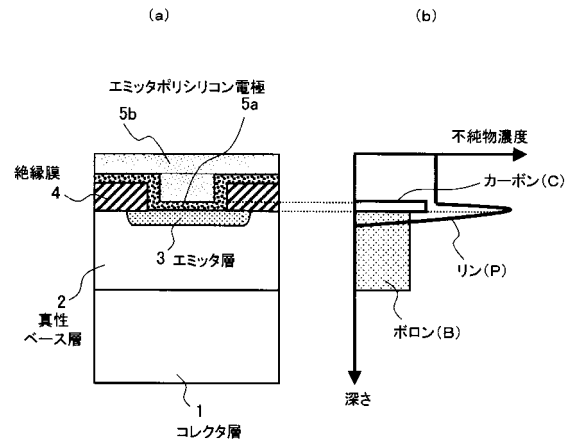
- 1 コレクタ層
- 2 真性ベース層（エピタキシャル層）
- 3 エミッタ層
- 4 絶縁膜
- 5, 5 a, 5 b エミッタポリシリコン電極

20

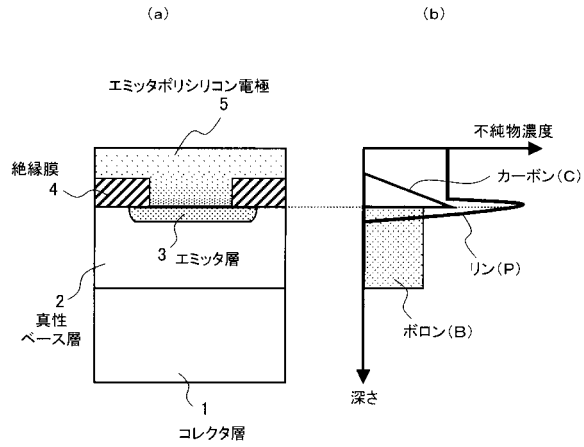
【図 1】



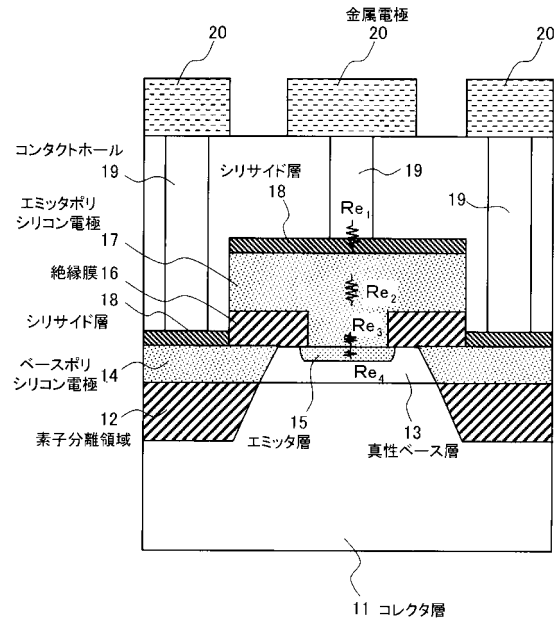
【図 2】



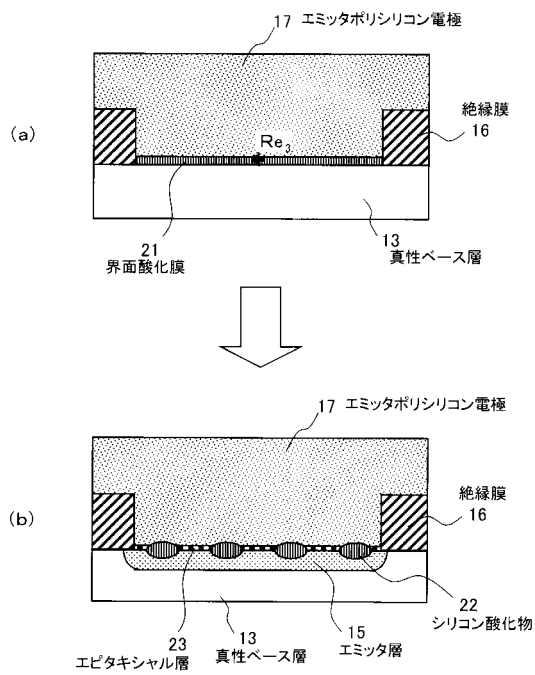
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

