(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3658745号
(P3658745)
(45)発行日　平成17年6月8日(2005.6.8)　(24)登録日　平成17年3月25日(2005.3.25)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H01L 21/331	H01L	29/72	H
H01L 29/165	H01L	29/165	
H01L 29/737	H04B	9/00	Y
H04B 10/04			
H04B 10/06			

請求項の数 4　(全 16 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平10-232555
(22)出願日　平成10年8月19日(1998.8.19)
(65)公開番号　特開2000-68283(P2000-68283A)
(43)公開日　平成12年3月3日(2000.3.3)
審査請求日　平成15年3月26日(2003.3.26)

(73)特許権者　503121103
株式会社ルネサステクノロジ
東京都千代田区丸の内二丁目４番１号
(74)代理人　100085811
弁理士　大日方　富雄
(74)代理人　100075096
弁理士　作田　康夫
(72)発明者　近藤　将夫
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　小田　克矢
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内
最終頁に続く

(54)【発明の名称】バイポーラトランジスタ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ベースにBドープのSiとGeの混晶（SiGe）を用い、ベースコレクタ接合空乏層領域でのGe組成の最大値がベース層内平均値よりも大きくなっているバイポーラトランジスタにおいて、
コレクタ側のベース層端からコレクタにかけてのGe組成が増加している領域の組成勾配が、荷電子帯にノッジが形成されるように急峻に変化するとともに、
エミッタ側のベース層端からベース層中にかけて、Ge組成が一定となっている領域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】
ベースにBドープのSiとGeの混晶（SiGe）を用い、ベースコレクタ接合空乏層領域でのGe組成の最大値がベース層内の平均値よりも大きくなっているバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ側のベース層端からベース層中にかけて、Ge組成が一定となっている領域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】
ボロン注入されたシリコン・ゲルマニウム混晶をベース層に用いたバイポーラトランジスタであって、
前記バイポーラトランジスタは、
基板と、
該基板上に形成された第１シリコン層と、

該第１シリコン層上に形成され、前記第１シリコン層よりも導電性不純物が低濃度である第２シリコン層と、
該第２シリコン層上に形成された第１シリコンゲルマニウム膜と、
該第１シリコンゲルマニウム膜上に形成され、前記第１シリコンゲルマニウム膜とは反対の導電性を有する第２シリコンゲルマニウム膜と、
該第２シリコンゲルマニウム膜上に形成され、前記第２シリコンゲルマニウム膜とは反対の導電性を有する第３シリコンゲルマニウム膜と、
該第３シリコンゲルマニウム膜上に形成され、前記第２シリコン層よりも導電性不純物が高濃度である第３シリコン層と、
を具備して成り、
前記第１および第２シリコン層はコレクタ層を構成し、前記第２シリコンゲルマニウム膜はベース層を構成し、前記第３シリコン層はエミッタ層を構成し、
前記ベース－コレクタ接合空乏層領域におけるゲルマニウム組成の最大値は、前記ベース層内における平均値より大きく、
前記ゲルマニウム組成は、前記ベース層のコレクタ側端において、荷電子帯にノッジが形成されるようにコレクタ側に向かって急峻に増加することを特徴とするバイポーラトランジスタ。

【請求項４】
請求項３に記載のバイポーラトランジスタにおいて、
前記基板はｐ型シリコン基板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】

【０００１】

【発明の属する技術分野】
本発明はSiGe混晶ベース層を有するバイポーラトランジスタに係わり、特に、超高速デジタルＩＣ、マイクロ波、ミリ波無線送受信ＩＣに好適なバイポーラトランジスタ及びこれを応用した通信システムに関する。

【０００２】

【従来の技術】
ベースにBドープのSiとGeの混晶（SiGe混晶）を用いたバイポーラトランジスタに関連する従来技術については、テクニカル ダイジェスト オブ １９９７ インターナショナル エレクトロン デバイシズ ミーティング（アイ・イー・ディー・エム９７）第７９１頁～第７９４頁(Technical Digest of IEDM97, pp.791-794 (1997)) に記載されている。この従来のSiGeベースバイポーラトランジスタを図１７(a) (b)によって説明する。本図は、従来のSiGeベースバイポーラトランジスタの活性領域（トランジスタの主要部分の断面を示した図４参照；破線Aの部分）における、不純物濃度およびGe組成の深さ方向分布の代表的な2例を示したグラフである。本グラフにおいて深さの浅い方はエミッタ側、深い方がコレクタ側となっている。(a) に示した例では、ベース層中のBが添加された領域においてGe組成はコレクタ方向に一定の勾配で増加しベース層端で最大値となり、ベース－コレクタ接合空乏層中の一定幅の領域でその値が保たれている。(b)に示した例では、ベース層中のBが添加された領域とベース－コレクタ接合空乏層中の一定幅の領域において、Ge組成が一定値となっている。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】
バイポーラトランジスタの動作速度を向上させるためには、キャリアのベース走行時間を短くすると共に、ベース抵抗を低くする必要がある。そのためには、ベース層のBの深さ方向分布に関して、できるだけ幅を狭くしかつ濃度を高くする必要がある。しかし、上記従来例では、ベース層のBがベース層形成後の熱処理により拡散することにより、その深さ方向分布がだれて幅が広くなってしまう問題があった。また、Bの濃度が高い場合ほど拡散による分布幅の広がりは大きくなるので、分布幅を狭くすることと濃度を高くすることの両立は困難であった。

【０００４】
また、従来型トランジスタのもう一つの課題として、コレクタ電流を増加させた場合に実効的なベース層幅が広がり動作速度が低下する問題もあった。この原因は、低濃度コレクタ領域においてコレクタ電流密度の増加による負電荷の発生を中和するために正孔の注入が起こり、図１８に示すようにベースコレクタ接合部分のエネルギーバンド構造が変化するためである。
【０００５】
【課題を解決するための手段】
図１５にSiGe混晶中のBの拡散係数のGe組成への依存性を示した。Ge組成が大きくなるほどBの拡散係数が小さくなり拡散速度が低下する。この現象を利用することにより上記のＢの深さ方向分布の増大の問題を解決するためには、以下の手段を用いればよい。
【０００６】
ベースのB添加層に隣接する領域、すなわちエミッターベース接合空乏層領域もしくはベースーコレクタ空乏層領域のGe組成を高くすれば、その部分のBの拡散速度が遅くなるので、Bの深さ方向分布の幅の広がりを抑えることができる。
【０００７】
Bの拡散低減のみを考えると、エミッターベース接合空乏層領域、ベース層、およびベースーコレクタ空乏層領域の全部のGe組成を高くすればよいのであるが、その場合にはSiGe混晶層のトータルのGe量が多くなりすぎる。そのために、SiとGeの共有結合半径の違いからSiGe混晶層に強い応力が生じ、その結果結晶欠陥が発生するという副作用が生じてしまう。
【０００８】
この副作用が生じないようにするためには、 Ge組成を、ベースのB添加層に隣接する部分で高くしてB添加層内部でできるだけ低くすればよい。この構造によりトータルのGe組成を下げることができるので、結晶欠陥の発生を抑制することができる。この場合に、B添加層内部のGe組成低減によるBの分布の広がり増大はほとんど無視できる。なぜならば、B添加層内部では元々Bの分布は均一であるためBの拡散は起こりにくく、この領域の拡散係数の大小がBの深さ方向分布の広がり方に与える影響は小さいからである。Ge組成をB添加層内部で低くしそれに隣接する部分で高く保つことによりトータルのGe組成をできるだけ小さくするためには、B添加層の両端においてGe濃度をできるだけ急峻に変化させるようにすればよい。
【０００９】
また、エミッターベース接合部分でGe組成を、B添加層内部よりも高くしないまでもB添加層内部と同じにすることによっても、上記と同じ理由により、従来例と比較してB分布の広がりを抑制する効果がある。
【００１０】
また、上記コレクタ電流増加による実効ベース層幅増大の問題も、上記の解決手段のうちでB添加層のコレクタ側の端においてGe濃度をできるだけ急峻に変化させる方法により、同時に改善することが可能となる。その理由を以下に説明する。従来型トランジスタの場合では、図１８に示すようにベース層のコレクタ側の端のバンドの勾配がコレクタ電流密度の増大により緩やかになることにより実効的なベース層幅が増大する。一方、B添加層端においてGe濃度を急峻に変化させた場合、図２に示すようにそのGe濃度が変化した位置で価電子帯にノッジが形成される。そのノッジのコレクタ側の逆Ｖ字型に尖った構造には、コレクタ電流密度が増大した場合にその部分のバンドの勾配が緩やかになろうとする作用を妨げるはたらきがある。なぜならば、その部分の勾配が小さくなってしまうとそこに大量の正孔の蓄積が起こり、その近傍の電気的中性が保てなくなるからである。このコレクタ電流密度の増大によりバンドの勾配が変化しにくくなる効果のために、コレクタ電流を増加させた場合の動作速度の低下の問題が改善される。
【００１１】
上述の議論に基づき、本発明者は次のような構造のバイポーラトランジスタ及びこれを応

用した通信システムを提供する。

【００１２】

まず、本発明によるベースにBドープのSiとGeの混晶（SiGe）を用いたバイポーラトランジスタは、エミッターベース接合空乏層領域とベースコレクタ接合空乏層領域でのGe組成の最大値が、ベース層内の平均値よりも大きくなっていることに基本的な特徴を有する。このバイポーラトランジスタにおいて、ベース層端近傍からコレクタにかけてのGe組成が増加している領域の組成勾配を、ベース層内の平均の組成勾配よりも大きくするとよい。

【００１３】

また、本発明のバイポーラトランジスタの特徴を別の観点で特徴づけると、ベースにBドープのSiとGeの混晶（SiGe）を用い、ベースコレクタ接合空乏層領域でのGe組成の最大値がベース層内平均値よりも大きく設定されたバイポーラトランジスタにおいて、ベース層端近傍からコレクタにかけてのGe組成が増加している領域の組成勾配が、ベース層内の平均の組成勾配よりも大きくなっている。

【００１４】

さらに別の観点で本発明のバイポーラトランジスタの特徴を述べると、ベースにBドープのSiとGeの混晶（SiGe）を用い、ベースコレクタ接合空乏層領域でのGe組成の最大値がベース層内の平均値よりも大きく設定したバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ側のベース層端からエミッターベース接合にかけて、Ge組成が一定となっている領域を有している。この構造において、上記ベース層端近傍からコレクタにかけてのGe組成が増加している領域の組成勾配を、ベース層内の平均の組成勾配よりも大きくすることが望ましい。

【００１５】

一方、本発明によれば、光信号を受け電気信号を出力する受光素子と、受光素子からの電気信号を受ける第１の増幅回路と、上記第１の増幅回路の出力を受ける第２の増幅回路と、所定のクロック信号に同期して、上記第２の増幅回路の出力をディジタル信号に変換する識別器と、そのディジタル信号を分離変換する回路を有する光受信システム、および、多重のディジタル信号合成する回路と、半導体レーザとそれを駆動するための半導体レーザ駆動回路を有する光送信システムのいずれかにおいて、上記第１、第2の増幅回路、識別器、ディジタル信号分離変換回路、多重ディジタル信号合成回路、および半導体レーザ駆動回路中の少なくとも1つのトランジスタが、上述のSiGeベースバイポーラトランジスタにより構成される。

【００１６】

また、本発明により、ミリ波（周波数帯域にして30GHz乃至300GHz）を送受信するアンテナと、アンテナからの受信電気信号を増幅する第１の増幅回路と、上記第１の増幅回路の出力を受け周波数を下げる受信ミキサ回路と、第１の発振回路と、送信用電気信号を受け周波数を上げる送信ミキサ回路と、第２の発振回路と、送信ミキサの出力を受け電力増幅する第２の増幅回路とを有するミリ波送受信システムにおいて、上記第１、第2の増幅回路、第１、第2の発振回路、送受信ミキサ回路の中の少なくとも1つのトランジスタが、上述のSiGeベースバイポーラトランジスタにより構成される。

【００１７】

【発明の実施の形態】

本発明によるバイポーラ・トランジスタ及びこれを応用した光通信システムの具体的な実施の形態に関し、実施形態１乃至１２及び各々の関連図面を参照して以下に説明する。

【００１８】

（実施形態１）

本発明の第１の実施形態を図１～図４に基づいて説明する。図３は本発明の第１の実施形態の、SiGe混晶層をベースに用いたバイポーラトランジスタの縦断面構造を示したものである。本発明の他の実施形態のバイポーラトランジスタの縦断面構造も基本的に本図と同じである。本図において符号１はｐ型Si基板、符号２はｎ$^+$型Si層、３は低濃度ｎ型Si層、４はSiO_2膜、５はｎ$^+$型Si層、６はSiO_2膜、７はノンドープ多結晶Si膜、８はSi3N4膜、９はｐ型多結晶Si膜、１０はSiO_2膜、１１はｎ型Si層、１２は低濃度ｎ型SiGe膜、１３は

ｐ型SiGe層、１４は低濃度ｎ型SiGe層、１５はノンドープ単結晶Si層、１６はｐ型多結晶SiGe層、１７はSiO_2膜、１８はSi_3N_4膜、１９はn^+型多結晶Si膜、２０はn^+型Si層、２１,２２はSiO_2膜、２３はｎ型多結晶Si膜、２４～２６が金属電極となっている。金属電極のうち、２４がエミッタ電極、２５がベース電極、２６がコレクタ電極としてはたらく。

【００１９】

図４は図３におけるSiGeベーストランジスタの主要部分の詳細な縦断面構造を示したものである。本図の各符号で図１に含まれるものは図１の場合と同じものを指している。ここで、n^+型Si層２がコレクタ、ｐ型多結晶Si膜９がベース引き出し電極、n^+型多結晶Si膜１９およびn^+型Si層２０がエミッタとしてはたらく。

【００２０】

図１は、図３、図４に示した第１の実施形態のSiGeベーストランジスタにおける、図４の破線Aの部分での不純物濃度およびGe組成の深さ方向分布を示したグラフである。ベース層におけるBのピーク濃度は$1\times10^{20}cm^{-3}$となっている。Ge組成は、B添加領域で約２０％と均一になっており、それに隣接するエミッタ-ベース接合領域とベース-コレクタ接合領域で、最大値が約３０％のほぼ台形状の分布となっている。

【００２１】

図２に、本第１の実施形態のトランジスタの活性領域のエネルギーバンド構造を示した。本図から明らかなように、ベース層のコレクタ側の端において価電子帯にノッジが形成されている。一方、伝導帯には電子の走行を妨げるポテンシャル障壁は存在しない。

【００２２】

次に、図１～図４で説明した第１の実施形態のSiGeベーストランジスタの製造方法を、図５、図６により説明する。これらの図はトランジスタの製造主要工程での主要部分の縦断面構造を示している。まず通常の方法により、ｐ型Si基板１上に埋込み層であるn^+型Si層２、低濃度ｎ型Si層３、素子分離のためのSiO_2膜４を形成したのち、さらにSiO_2膜６、ノンドープ多結晶Si膜７、Si_3N_4膜８、ｐ型多結晶Si膜９、SiO_2膜10を通常の化学気相成長（ＣＶＤ）法により堆積する（図５(a)）。次に、通常のホトリソグラフィとエッチングにより素子形成領域上の一部分のSiO_2膜10、ｐ型多結晶Si膜９を除去し、Si_3N_4膜８に達する開口を形成する。その後、ＣＶＤ法によりSiO_2膜２７を堆積し、さらに異方性ドライエッチングにより上記開口部の側壁以外の部分のSiO_2膜２７を除去する。その後ＣＶＤ法によりSi_3N_4膜２８を堆積し、さらに異方性ドライエッチングにより上記開口部の側壁以外の部分のSi_3N_4膜２８とSi_3N_4膜８を除去する（図５(b)）。次に開口部底面に露出したノンドープ多結晶Si膜７をウエットエッチングにより除去し、さらにそれによって開口部底面に露出したSiO_2膜６をウエットエッチングにより除去し低濃度ｎ型Si層３を露出させる。（図５(c)）。次に、開口部底面の低濃度ｎ型Si層３上に超高真空ＣＶＤ法により、低濃度ｎ型SiGe膜１２、ｐ型SiGe膜１３、低濃度ｎ型SiGe膜１４、ノンドープ単結晶Si層１５を順次選択的にエピタキシャル成長させる。また、それと同時にｐ型多結晶Si膜９が露出した部分からｐ型多結晶SiGe層16成長させ、上記選択エピタキシャル層と接合させる（図６(d)）。次にＰをイオン打ち込み紙加熱することによりｎ型Si層１１形成した後、通常のＣＶＤ法によりをSiO_2膜１７、Si_3N_4膜１８を堆積し、さらに異方性ドライエッチングとウエットエッチングにより開口部側壁以外の部分のSi_3N_4膜１８、 SiO_2膜１７を除去する。次に通常のＣＶＤ法によりＰドープのn^+型多結晶Si層１９を堆積し加熱することにより、Ｐをノンドープ単結晶Si層１５中に拡散しn^+型Si層２０を形成する。さらに、通常のホトリソグラフィとエッチングにより、開口部上とその周辺以外の部分のn^+型多結晶Si層１９を選択的に除去する（図６(e)）。これ以降の工程では通常の配線、層間膜形成工程を経て、図１～図４に示すトランジスタが完成する。

【００２３】

本発明の他の実施形態のバイポーラトランジスタの製造方法も、選択エピタキシャル成長においてBとGeの分布を異なるようにする以外は上記と基本的に同じである。

【００２４】

本実施形態によると、Ｂ添加層からそれに接する領域へのＢの拡散を抑制することができる。そのため、例えばエピタキシャル成長直後のベースのB添加層幅が２０nm、ピーク濃度が１×$10^{20}cm^{-3}$である場合、エミッタアニール後のB添加領域の幅は約２８nmとなり、従来例の約４０nmの約７０％に縮小できる。その結果、電子のベース走行時間を約１／２にできる効果がある。

【００２５】

さらに、本実施形態によると、ベース層のコレクタ側の端において価電子帯にノッジが形成されるために、コレクタ電流の増大による実効的なベース幅の増大が起こりにくくなる。そのため、トランジスタの遮断周波数が最大となるコレクタ電流が５０％増大する。その結果、ベース走行時間の低減効果と合わせて、最大遮断周波数が４０％向上する効果がある。図１６に本実施形態のトランジスタと従来型トランジスタについて、最大遮断周波数のコレクタ電流依存性を比較した。

【００２６】

（実施形態２）

図７のグラフに、本発明の第３の実施形態のSiGeベーストランジスタにおける、図４の破線Aの部分での不純物濃度およびGe組成の深さ方向分布を示す。ベース層におけるBのピーク濃度は１×$10^{20}cm^{-3}$となっている。Ge組成は、B添加領域からそれに隣接するベース－コレクタ接合領域にかけて約１５％から約３０％に増加している。 一方、B添加領域に隣接するエミッタ-ベース接合領域では、最大値が約３０％のほぼ台形状の分布となっている。

【００２７】

本実施形態によると、ベース層でGe組成が勾配を持つために電子をエミッタからコレクタに加速する電界が生じる。そのために、電子のベース走行時間を第１の実施形態のトランジスタと比較してさらに約２０％低減することができる効果がある。しかし、第１の実施形態の場合と比較するとトータルのGe組成が多くなるので、結晶欠陥の発生確率がより高くなる副作用がある。

【００２８】

（実施形態３）

図８のグラフに、本発明の第３の実施形態のSiGeベーストランジスタにおける、図４の破線Aの部分での不純物濃度およびGe組成の深さ方向分布を示す。ベース層におけるBのピーク濃度は１×$10^{20}cm^{-3}$となっている。Ge組成は、B添加領域においてエミッタからコレクタに向かう方向に約１５％から約２５％に増加している。 一方、B添加領域に隣接するエミッタ-ベース接合領域とベース-コレクタ接合領域では、最大値が約３０％のほぼ台形状の分布となっている。B添加領域両端でのGe組成の勾配は、B添加領域中における勾配よりも大きくなっている。

【００２９】

本実施形態によると、第２の実施形態と同様にベース層でGe組成が勾配を持つために、電子のベース走行時間を第２の実施形態のトランジスタと同じにすることができる。さらに、第２の実施形態の場合よりもトータルのGe組成が少ないので、結晶欠陥の発生確率を第１の実施例と同程度まで低減することができる効果がある。

【００３０】

さらに、本実施形態によると、第１の実施形態と同様にベース層のコレクタ側の端において価電子帯にノッジが形成されるために、コレクタ電流の増大による実効的なベース幅の増大が起こりにくくなる。そのため、第２の実形態と比較して、トランジスタの遮断周波数が最大となるコレクタ電流が２５％増加し、その結果最大遮断周波数が８％向上する効果がある。

【００３１】

（実施形態４）

本発明の第４の実施形態を図９、図１０により説明する。図９は、本発明の第４の実施形態のSiGeベーストランジスタにおける、図４の破線Aの部分での不純物濃度およびGe組成

の深さ方向分布を示したグラフである。ベース層におけるBのピーク濃度は１×$10^{20}cm^{-3}$となっている。Ge組成は、B添加領域とそれに隣接するエミッターベース接合領域で約２０％と均一になっている。 一方、B添加領域に隣接するベースーコレクタ接合領域では、最大値が約３５％のほぼ台形状の分布となっている。図１０に、本第４の実施形態のトランジスタの活性領域のエネルギーバンド構造を示す。本図から明らかなように、ベース層のコレクタ側の端において価電子帯にノッジが形成されている。また、本トランジスタの伝導帯には電子の走行を妨げるポテンシャル障壁は存在しない。

【００３２】

本実施形態によると、第１の実施形態のトランジスタと比較して、エミッターベース接合領域のGe組成を少なくした代わりに、ベース-コレクタ接合のGe組成を多くしている。そのため、トータルのGe組成を増加させることなく、Bがより広がりやすいベースーコレクタ接合でのBの拡散速度を小さくできる。その結果、第１の実施形態の場合と比較してB添加領域の幅を約２６nmと約７％縮小できる。その結果、電子のベース走行時間を約１４％低減できる効果がある。

【００３３】

（実施形態５）

図１１のグラフに、本発明の第５の実施形態のSiGeベーストランジスタにおける、図４の破線Aの部分での不純物濃度およびGe組成の深さ方向分布を示す。ベース層におけるBのピーク濃度は１×$10^{20}cm^{-3}$となっている。Ge組成は、B添加領域においてエミッタからコレクタに向かう方向に約２０％から約２８％に増加している。 一方、B添加領域に隣接するエミッタ-ベース接合領域では約２０％と均一になっている領域が存在する。またベース-コレクタ接合領域では、最大値が約３５％のほぼ台形状の分布となっている。コレクタ側のB添加領域端でのGe組成の勾配は、B添加領域中における勾配よりも大きくなっている。

【００３４】

本実施形態によると、ベース層でGe組成が勾配を持つために電子をエミッタからコレクタに加速する電界が生じる。そのために、電子のベース走行時間を第４の実施形態のトランジスタと比較してさらに約２０％低減することができる効果がある。

【００３５】

（実施形態６）

本発明の第６の実施形態を図１２、図１３により説明する。図１２は、本発明の第６の実施形態のSiGeベーストランジスタにおける、図４の破線Aの部分での不純物濃度およびGe組成の深さ方向分布を示したグラフである。ベース層におけるBのピーク濃度は１×$10^{20}cm^{-3}$となっている。Ge組成は、B添加領域で約２０％と均一になっており、B添加領域端からそれに隣接するエミッターコレクタ接合領域にかけて急激に減少している。一方、B添加領域に隣接するベースーコレクタ接合領域では、最大値が約４０％のほぼ台形状の分布となっている。図１３に、本第６の実施形態のトランジスタの活性領域のエネルギーバンド構造を示す。本図から明らかなように、ベース層のコレクタ側の端において価電子帯にノッジが形成されている。また、本トランジスタの伝導帯には電子の走行を妨げるポテンシャル障壁は存在しない。

【００３６】

本実施形態によると、第４の実施形態のトランジスタと比較して、エミッターベース接合領域のGe組成を０にした代わりに、ベース-コレクタ接合のGe組成をさらに多くしている。そのため、トータルのGe組成を増加させることなく、ベースーコレクタ接合でのBの拡散速度をより小さくできる。その結果、B添加領域の幅と電子のベース走行時間を第４の実施形態の場合とほぼ同じにできる効果がある。

【００３７】

（実施形態７）

図１４のグラフに、本発明の第７の実施形態のSiGeベーストランジスタにおける、図４の破線Aの部分での不純物濃度およびGe組成の深さ方向分布を示す。ベース層におけるBのピーク濃度は１×$10^{20}cm^{-3}$となっている。Ge組成は、B添加領域においてエミッタからコレ

クタに向かう方向に０％から約２８％に増加している。 一方、ベース-コレクタ接合領域では、最大値が約４０％のほぼ台形状の分布となっている。コレクタ側のB添加領域端でのGe組成の勾配は、B添加領域中における勾配よりも大きくなっている。

【００３８】

本実施形態によると、ベース層でGe組成が勾配を持つために電子をエミッタからコレクタに加速する電界が生じる。そのために、電子のベース走行時間を第６の実施形態のトランジスタと比較してさらに約２０％低減することができる効果がある。

【００３９】

（実施形態８）

図19は本発明の第８の実施形態を示す光伝送システム中の前置増幅回路図である。本実施形態は前記実施例のSiGeベースバイポーラトランジスタを増幅トランジスタ301、バッファ回路のトランジスタ302および303に用いた例である。フォトダイオード306から入力を増幅し、トランジスタ301,302,303と抵抗304,305からなる増幅回路を経て、出力バッファ307から出力を行う回路である。前記実施例のSiGeベースバイポーラトランジスタを用いることにより本回路は40GHz以上の帯域を有する。

【００４０】

SiGeベースバイポーラトランジスタの代わりに、GaAs等の化合物半導体よりなるトランジスタを用いることによっても本回路の帯域を４０GHz以上とすることは可能である。しかし、SiGeベースバイポーラトランジスタを用いた本実施形態では、化合物半導体デバイスを用いた場合と比較して、基板材料が安価であるために低コストであり、成熟したSi系製造工程を用いて製造されデバイスの微細化が容易であるために低消費電力であり、また、Si系デバイスであるため信頼度が高いという特長がある。

【００４１】

（実施形態９）

図２０は本発明の第９の実施形態を示す光受信モジュール中のフォトダイオードと前置増幅器を含むフロントエンドモジュールである。本実施形態は、前記実施例のSiGeベースバイポーラトランジスタからなる前置増幅回路をフロントエンドモジュールに適用した例である。光ファイバー401から入力した光信号はレンズ402により集光されフォトダイオードIC403で電気信号に変換される。電気信号は基板407上の配線405を通して前置増幅器IC404で増幅され出力端子406から出力される。

【００４２】

（実施形態１０）

図２１は本発明の第１０の実施形態を示す光伝送システム構成図である。本実施形態は、前記実施形態のSiGeベースバイポーラトランジスタを、データを超高速で送信する光送信モジュール513、および受信する光受信モジュール514の両伝送システム中の回路に適用した例である。

【００４３】

本モジュールは、送信側電気信号510を処理する多重変換デジタル回路501、半導体レーザ503、および半導体レーザ503を駆動するための半導体レーザ駆動アナログ回路502、更には送信された光信号511をフォトダイオード504により変換した受信側電気信号512を増幅する前置増幅器505、および自動利得制御増幅器506、クロック抽出回路507、識別回路508の各アナログ回路、およびデジタル回路である分離変換回路509よりなっている。本実施形態において、多重変換デジタル回路501、半導体レーザ駆動アナログ回路502、前置増幅器505、自動利得制御増幅器506、クロック抽出回路507、識別回路508、および分離変換回路509の中のトランジスタが前記実施形態のSiGeベースバイポーラトランジスタとなっている。このSiGeベースバイポーラトランジスタの遮断周波数、および最大遮断周波数が200Ghzと高いため、本伝送システムは1秒当たり40Gビット以上の大容量の信号を超高速で送受信することができる。本実施形態においても、前記第５の実施例と同様な特長がある。

【００４４】

（実施形態１１）

図２２は本発明の第１１の実施形態を示すミリ波送受信システム中の発振回路図である。本回路は、トランジスタ601、バラクタダイオード602、1/4波長スタブ603、604、帰還用スタブ607、608、整合回路としての伝送線路609、610よりなっている。本実施形態は前記実施例のSiGeベースバイポーラトランジスタをトランジスタ601に用いた例である。本回路は送信用、受信用ミキサにミリ波帯周波数信号を供給する回路である。前記実施例のSiGeベースバイポーラトランジスタを用いることで本回路は60GHz以上の帯域を有する。

【００４５】

SiGeベースバイポーラトランジスタの代わりに、GaAs等の化合物半導体よりなるトランジスタを用いることによっても本回路の帯域を６０GHz以上とすることは可能である。しかし、SiGeベースバイポーラトランジスタを用いた本実施形態では、化合物半導体デバイスを用いた場合と比較して、基板材料が安価であるために低コストであり、成熟したSi系製造工程を用いて製造されデバイスの微細化が容易であるために低消費電力であり、また、Si系デバイスであるため信頼度が高いという特長がある。

【００４６】

（実施形態１２）

図２３は本発明の第１２の実施形態を示すミリ波送受信システムの構成図である。本実施形態は、前記実施形態のSiGeベースバイポーラトランジスタを、ミリ波送受信システム中の回路に適用した例である。

【００４７】

本ミリ波送受信システムは、送信用発振回路701と、送信用電気信号を受け周波数を上げる送信ミキサ回路702と、フィルタ703、710と、送信ミキサの出力を受ける電力増幅回路704と、送受信切り替えスイッチ回路705と、ミリ波送受信用アンテナ706と、アンテナからの受信電気信号を増幅する低雑音増幅回路707と、受信用発振回路708と、低雑音増幅回路の出力を受け周波数を下げる受信ミキサ回路709よりなっている。本実施形態において、送信用発振回路701、送信ミキサ回702、電力増幅回路704、低雑音増幅回路707、受信用発振回路708、受信ミキサ回路709中のトランジスタが前記実施形態のSiGeベースバイポーラトランジスタとなっている。このトランジスタの遮断周波数、および最大遮断周波数が200Ghzと高いため、本送受信システムは６０GHz以上の周波数のミリ波信号をを送受信することができる。本実施形態においても、前記第８の実施例と同様な特長がある。

【００４８】

【発明の効果】

本発明によると、ベースのB添加層に隣接するエミッター－ベース接合領域とベース－コレクタ接合領域のベース拡散速度を小さくすることができる。その結果、エピタキシャル成長直後のベースのB添加層幅が２０nm、ピーク濃度が$1\times10^{20}cm^{-3}$である場合、エミッタアニール後のB添加領域の幅は約２６nm～２８nmとなり、従来例の約４０nmの約６５％～７０％に縮小できる。その結果、電子のベース走行時間を約４２％～５０％に低減できる効果がある。

【００４９】

さらに、本発明によると、ベース層のコレクタ側の端において価電子帯にノッジが形成されるために、コレクタ電流の増大による実効的なベース幅の増大が起こりにくくなる。そのため、トランジスタの遮断周波数が最大となるコレクタ電流が従来例と比較して５０％増加する。その結果、ベース走行時間の低減効果と合わせて、最大遮断周波数が４０％～７０％向上する効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施形態のSiGe混晶をベースに用いたバイポーラトランジスタの不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布を示すグラフである。

【図２】本発明の第１の実施形態のSiバイポーラトランジスタの、活性領域のエネルギーバンド構造を示したものである。

【図３】本発明の第１～第７の実施形態のバイポーラトランジスタの縦断面構造である。

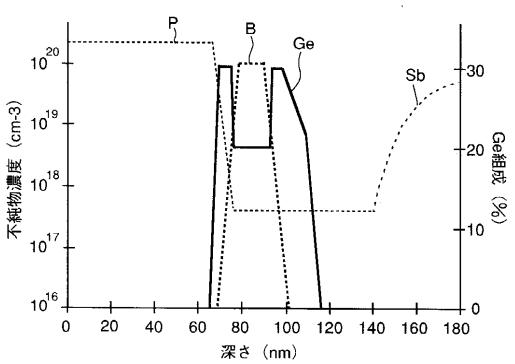
【図４】本発明の第１～第７の実施形態のバイポーラトランジスタの主要部分の縦断面構

造である。
【図５】本発明の第１～第７の実施形態のバイポーラトランジスタの製造方法における主要な工程での主要部分の縦断面構造である。
【図６】本発明の第１～７の実施形態におけるバイポーラトランジスタの製造方法における主要な工程での主要部分の縦断面構造である。
【図７】本発明の第２の実施形態のバイポーラトランジスタの不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布を示すグラフである。
【図８】本発明の第３の実施形態のバイポーラトランジスタの不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布を示すグラフである。
【図９】本発明の第４の実施形態のバイポーラトランジスタの不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布を示すグラフである。
【図１０】本発明の第４の実施形態のバイポーラトランジスタの、活性領域のエネルギーバンド構造を示したものである。
【図１１】本発明の第５の実施形態のバイポーラトランジスタの不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布を示すグラフである。
【図１２】本発明の第６の実施形態のバイポーラトランジスタの不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布を示すグラフである。
【図１３】本発明の第６の実施形態のバイポーラトランジスタの、活性領域のエネルギーバンド構造を示したものである。
【図１４】本発明の第７の実施形態のバイポーラトランジスタの不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布を示すグラフである。
【図１５】　SiGe混晶層における、Ge組成とBの拡散係数の関係を示すグラフである。
【図１６】本発明の第１の実施形態のトランジスタと従来型トランジスタについて、最大遮断周波数のコレクタ電流密度依存性を比較したグラフである。
【図１７】従来型の選択エピタキシャル成長SiGeベースを用いたバイポーラトランジスタにおける、不純物濃度、Ge組成の深さ方向分布の例を示すグラフである。
【図１８】従来型の選択エピタキシャル成長SiGeベースを用いたバイポーラトランジスタの、活性領域のエネルギーバンド構造を示したものである。
【図１９】本発明の第5の実施例の光伝送システムの前置増幅器である。
【図２０】本発明の第6の実施例の光伝送システムのフロントエンドモジュールの構成図である。
【図２１】本発明の第7の実施例の光伝送システムの構成図である。
【図２２】本発明の第5の実施例のミリ波送受信システムの発振回路である。
【図２３】本発明の第6の実施例のミリ波送受信システムの構成図である。
【符号の説明】
１…ｐ型Si基板、２…n^+型Si層、３…低濃度ｎ型Si層、４…SiO_2膜、５…n^+型Si層、６…SiO_2膜、７…ノンドープ多結晶Si膜、８…Si_3N_4膜、９…ｐ型多結晶Si膜、10…SiO_2膜、11…ｎ型Si層、12…低濃度ｎ型SiGe層、13…ｐ型SiGe層、14…低濃度ｎ型SiGe層、15…ノンドープｎ型Si層、16…ｐ型多結晶SiGe層、17…SiO_2膜、18…Si_3N_4膜、19…n^+型多結晶Si膜、20…n^+型Si層、21…SiO_2膜、22…SiO_2膜、23…n^+型多結晶Si膜、24…金属膜、25…金属膜、26…金属膜、27…SiO_2膜、28…Si_3N_4膜、301,302,303…SiGeベースバイポーラトランジスタ、304,305…抵抗、306…フォトダイオード、307…出力バッファ、401…光ファイバー、402…レンズ、403…フォトダイオード、404…前置増幅器IC、405…配線、406…出力端子、407…基板、408…パッケージ、501…多重変換デジタル回路、502…半導体レーザ駆動アナログ回路、503…半導体レーザ、504…フォトダイオード、505…前置増幅器、506…自動利得制御増幅器、507…クロック抽出回路、508…識別回路、509…分離変換回路、510…送信側電気信号、511…送信された光信号、512…受信側電気信号、513…光送信モジュール、514…光受信モジュール、601…SiGeベースバイポーラトランジスタ、602…バラクタダイオード、603,604…1/4波長スタブ、608…帰還用スタブ、610…伝送線路、701…送信用発振回路、702…送信ミキサ回路、703…フィルタ、704…電力増幅回路、705

…送受信切り替えスイッチ回路、706…ミリ波送受信用アンテナ、707…低雑音増幅回路、708…受信用発振回路、709…受信ミキサ回路、710…フィルタ。

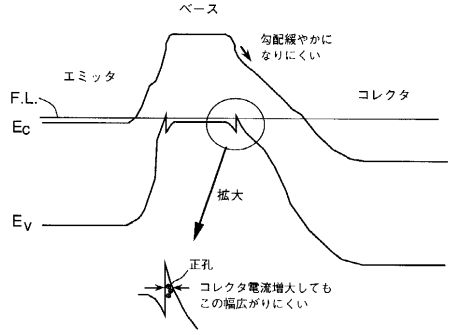
【図１】

図1



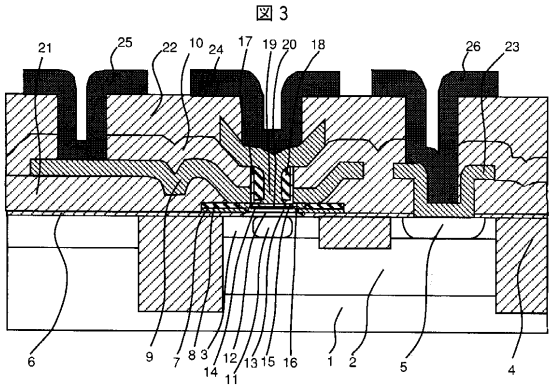
【図２】

図2



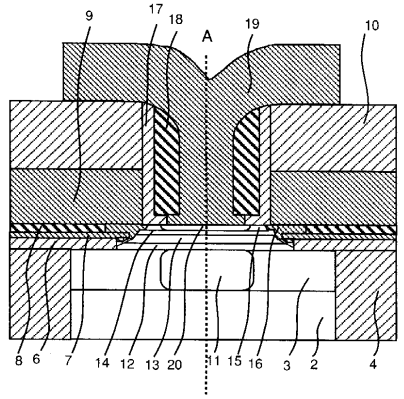
【図３】

図3



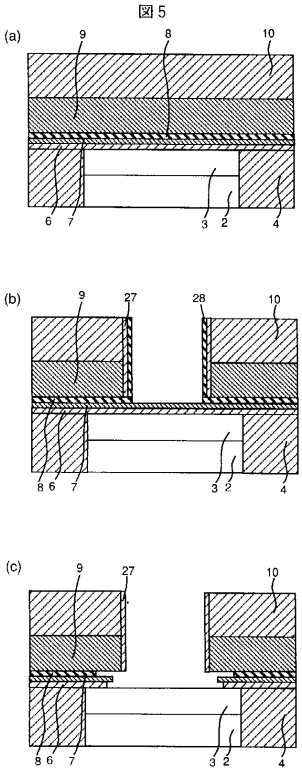
【図４】

図４



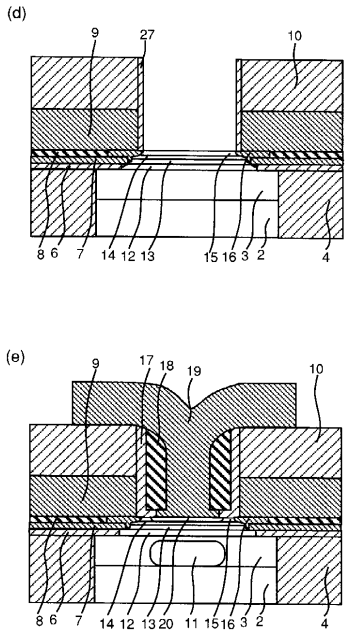
【図５】

図５



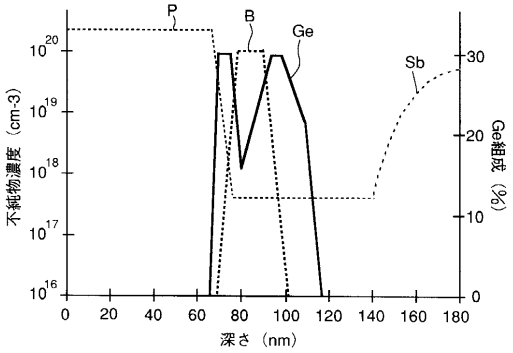
【図６】

図６



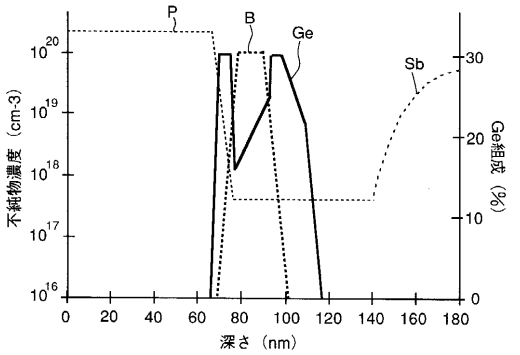
【図７】

図７



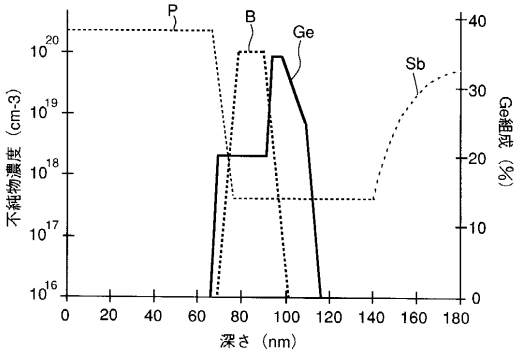
【図８】

図8



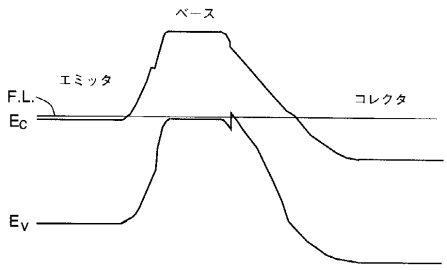
【図９】

図9



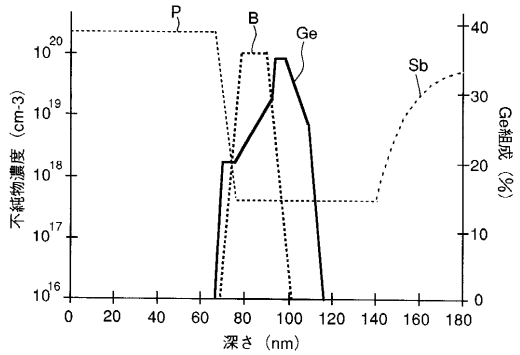
【図１０】

図10



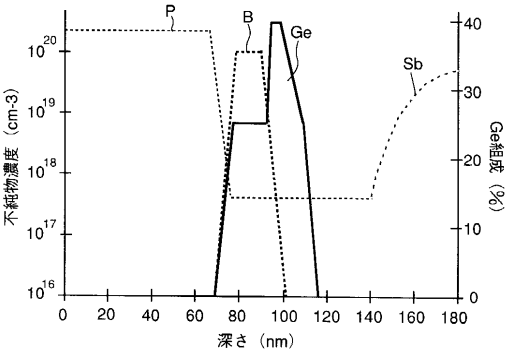
【図１１】

図11



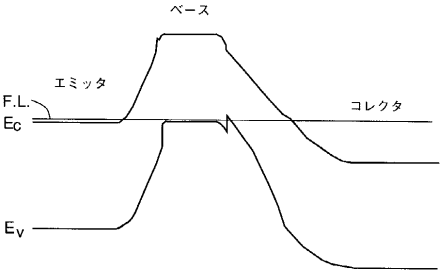
【図１２】

図12



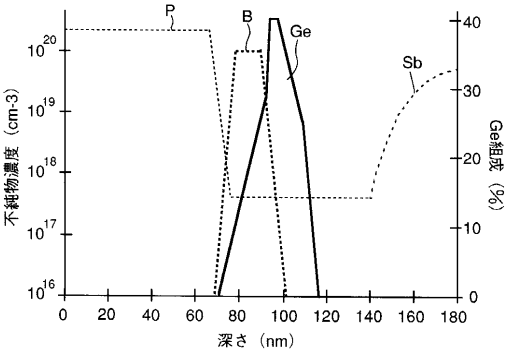
【図１３】

図13



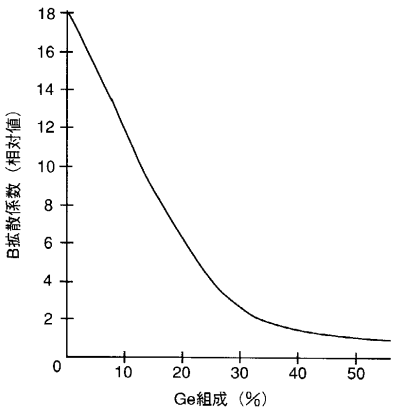
【図１４】

図１４



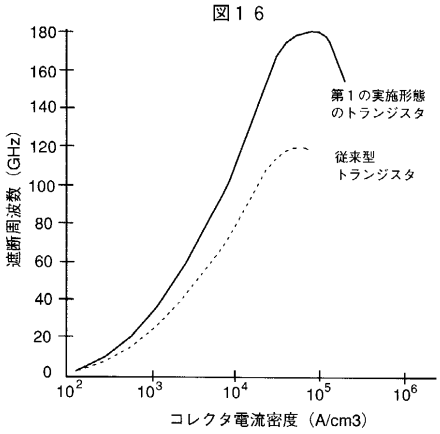
【図１５】

図１５



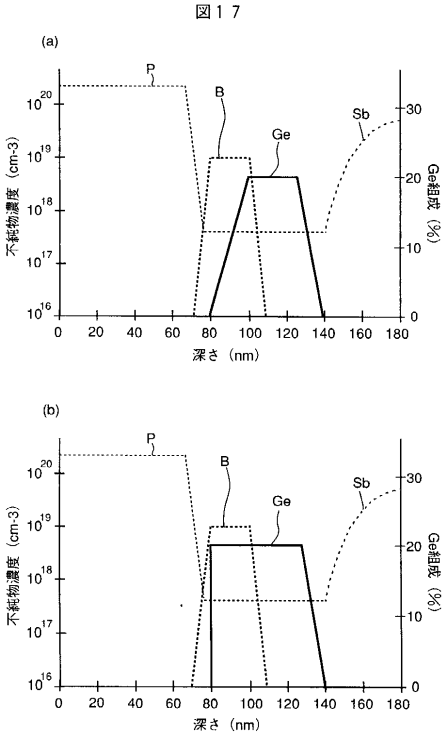
【図１６】

図１６



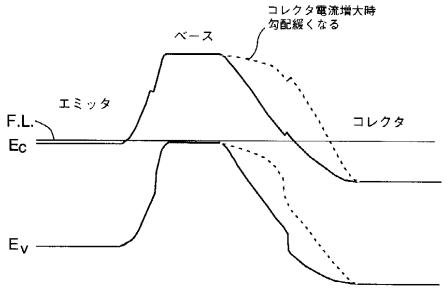
【図１７】

図１７



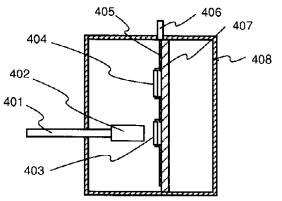
【図１８】

図１８



【図２０】

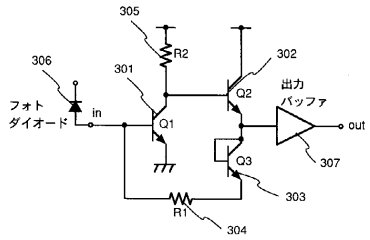
図20



401:光ファイバー
402:レンズ
403:フォトダイオードIC
404:前置増幅器IC
405:配線
406:出力端子
407:基板
408:パッケージ

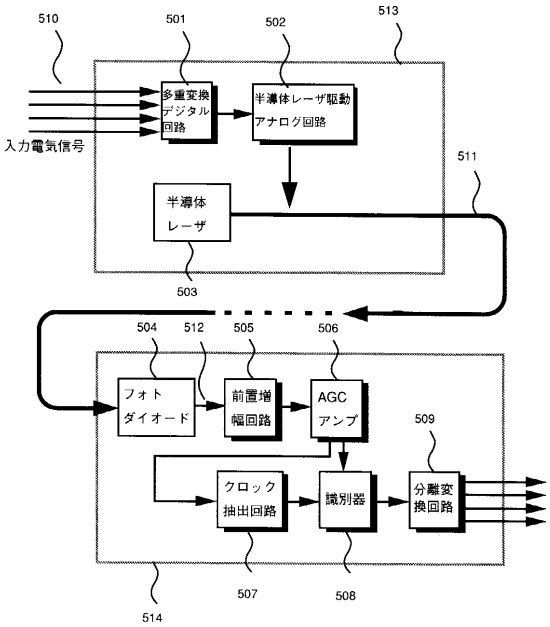
【図１９】

図19



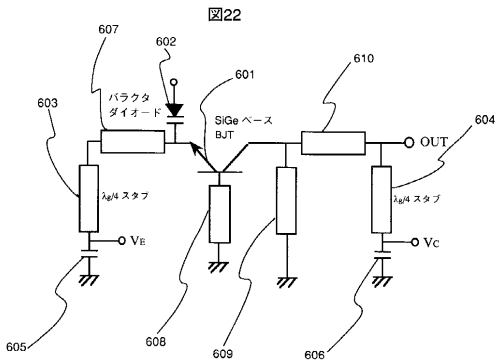
【図２１】

図21



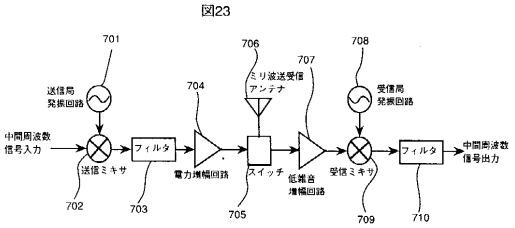
【図２２】

図22



【図２３】

図23



フロントページの続き

(51)Int.Cl.[7] FI
H04B 10/14
H04B 10/26
H04B 10/28

(72)発明者 鷲尾 勝由
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地 株式会社日立製作所中央研究所内

審査官 棚田 一也

(56)参考文献 特開平０４－１９６４３６（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３４７３１３（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２６７３１１（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－１０６９８０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01L 21/331
H01L 29/165
H01L 29/737
H04B 10/04
H04B 10/06
H04B 10/14
H04B 10/26
H04B 10/28