(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4072858号
(P4072858)
(45)発行日　平成20年4月9日(2008.4.9)　(24)登録日　平成20年2月1日(2008.2.1)

(51)Int.Cl.　F I
H01L 21/338 (2006.01)　H01L 29/80　B
H01L 29/812 (2006.01)

請求項の数 3　(全 8 頁)

(21)出願番号　特願2004-44960(P2004-44960)
(22)出願日　平成16年2月20日(2004.2.20)
(62)分割の表示　特願2000-266117(P2000-266117)の分割
原出願日　平成12年9月1日(2000.9.1)
(65)公開番号　特開2004-200711(P2004-200711A)
(43)公開日　平成16年7月15日(2004.7.15)
審査請求日　平成16年2月20日(2004.2.20)

(73)特許権者　000005049
シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町２２番２２号
(74)代理人　100075557
弁理士　西教　圭一郎
(74)代理人　100072235
弁理士　杉山　毅至
(74)代理人　100101638
弁理士　廣瀬　峰太郎
(72)発明者　寺口　信明
大阪府大阪市阿倍野区長池町２２番２２号
シャープ株式会社内

審査官　宇多川　勉

最終頁に続く

(54)【発明の名称】窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ヘテロ構造を有する窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置において、
チャネル層を構成する第１の二元化合物半導体層と、
バリア層を構成し、ＡｌおよびＧａの組成比が一定であるＡｌＧａＮから成る三元混晶半導体層と、
前記第１の二元化合物半導体層と前記三元混晶半導体層との間に介在される第２の二元化合物半導体層とを含み、
前記第１の二元化合物半導体層は、ＧａＮから成り、前記第２の二元化合物半導体層は、ＡｌＮから成り、層厚が１分子層以上４分子層以下であることを特徴とする窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置。
【請求項２】
基板と、
エピタキシャルバッファ層とを含み、
前記エピタキシャルバッファ層と、前記第１の二元化合物半導体層、前記第２の二元化合物半導体層および前記三元混晶半導体層とは、前記基板に順次積層されることを特徴とする請求項１記載の窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置。
【請求項３】
前記第２の二元化合物半導体層のバンドギャップが、前記第１の二元化合物半導体層のバンドギャップよりも大きく、前記第２の二元化合物半導体層のバンドギャップが、前記

三元混晶半導体層のバンドギャップよりも大きいことを特徴とする請求項１または２記載の窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置に関し、特に、チャネル層（電子走行層）とバリア層（障壁層）のヘテロ接合の界面における組成や障壁高さのゆらぎのない窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置の構造に関する。

【背景技術】

【０００２】

ＨＦＥＴ（Hetero Field Effect Transistor）構造における材料の組合せとしては、ＧａＮをチャネル層とし、ＡｌＧａＮをバリア層として、これらをヘテロ接合したものが最も一般的に用いられている（たとえば特許文献１および特許文献２参照）。

【０００３】

【特許文献１】米国特許第５１９２９８７号明細書

【特許文献２】特開平１０－１８９９４４号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

一般に、２つの元素から成る二元化合物半導体（たとえば、ＡｌＮ、ＧａＮ、ＩｎＮなど）と、この二元化合物半導体とは異なる二元化合物半導体との接合界面は、成長条件にも依存するが、急峻な界面が得られやすい。一方、二元化合物半導体と３つの元素から成る三元混晶半導体（たとえば、ＡｌＧａＮ，ＧａＩｎＮ，ＡｌＩｎＮなど）を組合せて接合する場合において、三元混晶半導体の成分が二元化合物半導体の成分と重なっている場合（たとえば、ＧａＮとＡｌＧａＮ、あるいはＧａＮとＧａＩｎＮなど）は、急峻な界面は得られない。これは、たとえば図３に示すようなＧａＮとＡｌＧａＮとのヘテロ接合では、２つの半導体の境界にまたがって同一の元素（Ｇａ）が存在するためである。このため、チャネル層であるはずのＧａＮとバリア層であるＡｌＧａＮの中のＧａＮが急峻な界面の形成を阻害し、ヘテロ接合の特性に悪影響を与え、移動度の低下などの問題が生じる。

【０００５】

本発明の目的は、急峻な界面を有し、移動度などの特性に優れた窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明は、ヘテロ構造を有する窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置において、

チャネル層を構成する第１の二元化合物半導体層と、

バリア層を構成し、ＡｌおよびＧａの組成比が一定であるＡｌＧａＮから成る三元混晶半導体層と、

前記第１の二元化合物半導体層と前記三元混晶半導体層との間に介在される第２の二元化合物半導体層とを含み、

前記第１の二元化合物半導体層は、ＧａＮから成り、前記第２の二元化合物半導体層は、ＡｌＮから成り、層厚が１分子層以上４分子層以下であることを特徴とする窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置である。

また本発明は、基板と、

エピタキシャルバッファ層とを含み、

前記エピタキシャルバッファ層と、前記第１の二元化合物半導体層、前記第２の二元化合物半導体層および前記三元混晶半導体層とは、前記基板に順次積層されることを特徴とする。

【０００７】

本発明に従えば、二元化合物半導体同士の接合では、原子拡散がない限り界面は急峻となるため、ヘテロ構造を有する窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置において、チャネル層を構成し、ＧａＮから成る第１の二元化合物半導体層と、バリア層を構成し、ＡｌおよびＧａの組成比が一定であるＡｌＧａＮから成る三元混晶半導体層との間にＡｌＮから成り、層厚が１分子層以上４分子層以下である第２の二元化合物半導体層を介在させることにより、ヘテロ接合の界面における急峻性が改善される。

【０００８】

また、窒化物系の半導体にこのような構造を適用した場合、界面におけるピエゾ効果がさらに大きくなり、２次元電子ガスのキャリアの濃度をより大きくすることができるといったＡｌＧａＡｓ／ＧａＡｓヘテロ構造には現れない効果があり、より電気的特性を向上させることができる。

【０００９】

また本発明は、前記第２の二元化合物半導体層のバンドギャップが、前記第１の二元化合物半導体層のバンドギャップよりも大きく、前記第２の二元化合物半導体層のバンドギャップが、前記三元混晶半導体層のバンドギャップよりも大きいことを特徴とする。

【００１０】

第２の二元化合物半導体層のバンドギャップが第１の二元化合物半導体層のエネルギーギャップよりも小さいと、第２の二元化合物半導体が新たなチャネル層となってしまい、また、第２の二元化合物半導体と三元混晶半導体の接合の界面が急峻とならないが、本発明に従えば、第２の二元化合物半導体層のバンドギャップが、第１の二元化合物半導体層のバンドギャップよりも大きいので、これらの接合界面が急峻性が保たれる。

【発明の効果】

【００１５】

本発明によれば、ヘテロ構造を有する窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置において、チャネル層を構成し、ＧａＮから成る第１の二元化合物半導体層と、バリア層を構成し、ＡｌおよびＧａの組成比が一定であるＡｌＧａＮから成る三元混晶半導体層との間にＡｌＮから成り、層厚が１分子層以上４分子層以下である第２の二元化合物半導体層を介在させるので、ヘテロ接合の界面における急峻性が改善される。

【００１６】

また、接合の界面におけるピエゾ効果がさらに大きくなり、２次元電子ガスのキャリア濃度をより大きくすることができるので、より電気的特性を向上させることができる。

【００１７】

また本発明によれば、第２の二元化合物半導体層のバンドギャップが、第１の二元化合物半導体層のバンドギャップよりも大きいので、これらの接合界面が急峻性が保たれる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２０】

次に、本発明の具体的形態を実施例により説明するが、これら実施例により何ら制限を受けるものではない。

以下に、実施例を示す。

【実施例】

【００２１】

（実施例１）

図１は、本発明の実施例である窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置１０の概要を示す断面図である。窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置１０は、半絶縁性ＳｉＣ基板１の（０００１）結晶面に、ＡｌＮエピタキシャルバッファ層２、第１の二元化合物半導体層でありキャリア濃度が$1\times10^{16}cm^{-3}$のＧａＮチャネル層３、第２の二元化合物半導体層であるＡｌＮバリア特性改善層４、三元混晶半導体層でありキャリア濃度が$2\times10^{17}cm^{-3}$の$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$バリア層５、がこの順に積層され、この上にソース電極６ａ、ドレイン電極６ｂ、およびゲート電極７が形成され構成される。

【００２２】

このような層構造を形成するための結晶成長方法としては、有機金属気相成長法（Metalorganic Chemical Vapor Deposition－ＭＯＣＶＤ法）あるいはプラズマ励起した窒素を用いた分子線エピタキシー法（Radio Frequency－Molecular Beam Epitaxy、ＲＦ－ＭＢＥあるいはElectron Cyclotron Resonance－ＭＢＥ、ＥＣＲ－ＭＢＥ）などを用いることができる。

【００２３】

本実施例では、ＭＯＣＶＤ法により、以下のような工程で作製した。

はじめに、水素雰囲気中において基板温度１０００℃で半絶縁性ＳｉＣ基板１の表面のクリーニングを１０分間行った。次に、基板温度１１００℃で厚さ２０ｎｍのＡｌＮエピタキシャルバッファ層２を成長させ、引き続いて基板温度１０００℃で厚さ１μｍのＧａＮチャネル層３を成長させた。その後、基板温度１０００℃でＡｌＮバリア特性改善層４を成長させた。前記ＡｌＮバリア特性改善層４を形成するＡｌＮのエネルギーバンドギャップは６．２ｅＶという極めて大きなバンドギャップを有しているので、この層厚が厚くなり過ぎるとバリア層からチャネル層への電流の注入が阻害され、ヘテロ接合として機能しなくなる。つまり、界面急峻性を維持しつつ、トンネル効果によって十分なキャリア輸送を行える厚さにする必要がある。このため、ＡｌＮヘテロ特性性改善層４の膜厚は１分子層～４分子層にすることが好ましい。本実施例では、この膜厚を２分子層～５Åとしている。さらに、基板温度を１１００℃に上げて$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$バリア層５を成長させた。

【００２４】

この後、フォトリソグラフィー法を用いてソース電極６ａ、ドレイン電極６ｂおよびゲート電極７を形成して窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置１０を作製した。また、第２の二元化合物半導体層を介在させた本実施形態の窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置１０の特性を従来型の化合物半導体装置の特性と比較するためＡｌＮヘテロ特性改善層４を介在させない構造の化合物半導体装置も同様な工程で作製した。

【００２５】

デバイス特性の測定に先立ち、半導体層の電気的特性をホール測定によって調べた。ＡｌＮヘテロ特性改善層４をＧａＮチャネル層３とＡｌＧａＮバリア層５との間に介在させた場合と介在させない場合の移動度を表１に示す。

【００２６】

【表１】

測定温度	ヘテロ特性改善層有り	ヘテロ特性改善層無し
	移動度（cm^2/Vs）	移動度（cm^2/Vs）
300K（室温）	1500	1200
77K（LN_2温度）	40000	30000

【００２７】

表１から、測定温度が室温である３００Ｋでは、ＡｌＮヘテロ特性改善層４を介在させた場合は、ＡｌＮヘテロ特性改善層４を介在させない場合に比べて、移動度の改善が見られた。また、測定温度が液体窒素（$ＬＮ_2$）温度である７７Ｋにおいては、移動度の差が顕著に現れており、ＡｌＮヘテロ特性改善層４によって界面特性が改善されていることが判る。

【００２８】

次に、ゲート電極７の長さが１μｍ、ソース電極６ａおよびドレイン６ｂ電極間の距離が５μｍのＨＦＥＴを作製し、その特性を評価した結果、ＡｌＮヘテロ特性改善層４を介在させた場合、最大発振周波数f_{max}＝２５ＧＨｚ、トランスコンダクタンスg_m＝２００ｍＳ／ｍｍ、介在させない場合はf_{max}＝２０ＧＨｚ、g_m＝１５０ｍＳ／ｍｍであり、Ａ

ｌＮヘテロ特性改善層４の効果が見られた。

【００２９】

以上のように、第１の二元化合物半導体および３元混晶半導体のヘテロ接合面に第２の二元化合物半導体を介在させることによって界面急峻性が改善でき、また、界面におけるピエゾ効果がさらに大きくなることによって、２次元電子ガスのキャリア濃度をより大きくすることができため電気的特性に優れた窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置が実現できる。

【００３０】

（実施例２）

図２は、本発明の他の実施形態である窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置２０の概要を示す断面図である。窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置２０は、半絶縁性ＳｉＣ基板１１の（０００１）結晶面に、ＡｌＮエピタキシャルバッファ層１２、キャリア濃度が$１\times１０^{16}ｃｍ^{-3}$のＧａＮ層１３、第１の二元化合物半導体層でありキャリア濃度が$５\times１０^{16}ｃｍ^{-3}$のＧａＮチャネル層１４、第２の二元化合物半導体層であるＧａＮヘテロ特性改善層１５、三元混晶半導体層でありキャリア濃度が$２\times１０^{17}ｃｍ^{-3}$の$Ａｌ_{0.2}Ｇａ_{0.8}$Ｎバリア層１６、がこの順に積層され、この上にソース電極１７ａ、ドレイン電極１７ｂ、およびゲート電極１８が形成され構成される。

【００３１】

このような層構造を形成するための結晶成長方法としては、有機金属気相成長法（Metalorganic Chemical Vapor Deposition－ＭＯＣＶＤ法）あるいはプラズマ励起した窒素を用いた分子線エピタキシ法（Radio Frequency－Molecular Beam Epitaxy、ＲＦ－ＭＢＥあるいはElectron Cyclotron Resonance－ＭＢＥ、ＥＣＲ－ＭＢＥ）などを用いることができる。

【００３２】

本実施例では、ＲＦ－ＭＢＥ法により以下の工程で作製した。

はじめに、真空中で基板温度１０００℃にて半絶縁性ＳｉＣ基板１１の表面のクリーニングを１０分間行った。次に、基板温度８００℃で厚さ２０ｎｍのＡｌＮエピタキシャルバッファ層１２を成長させ、引き続いて基板温度７００℃で厚さ１μｍのＧａＮ層１３を成長させた。その後、基板温度７００℃で厚さ３０ｎｍのＧａＮチャネル層１４、ＧａＮヘテロ特性改善層１５、$Ａｌ_{0.2}Ｇａ_{0.8}$Ｎバリア層１６を続けて成長させた。

【００３３】

この後、フォトリソグラフィーを用いてソース電極１７ａ、ドレイン電極１７ｂおよびゲート電極１８を形成して窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置２０を作製した。また、第２の二元化合物半導体層を介在させた本実施形態の窒化物系ＩＩＩ－Ｖ化合物半導体装置２０の特性を従来型の化合物半導体装置の特性と比較するためＡｌＮヘテロ特性改善層４を介在させない構造の化合物半導体装置も同様な工程で作製した。

【００３４】

デバイス特性の測定に先立ち、半導体層の電気的特性をホール測定によって調べた。ＧａＮヘテロ特性改善層１５をＧａＮチャネル層１４とＡｌＧａＮバリア層１６との間に介在させた場合と介在させない場合の移動度を表２に示す。

【００３５】

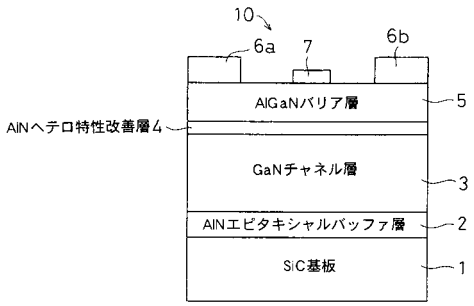
【表２】

測定温度	ヘテロ特性改善層有り	ヘテロ特性改善層無し
	移動度（cm^2/Vs）	移動度（cm^2/Vs）
300Ｋ（室温）	2000	1300
77Ｋ（LN_2温度）	50000	35000

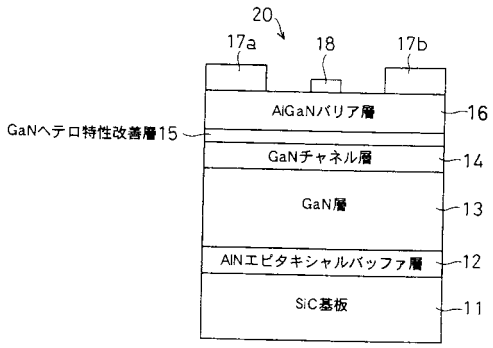
【００３６】
表２から、測定温度が室温である３００Ｋでは、ＧａＮヘテロ特性改善層１５を介在された場合は、ＧａＮヘテロ特性改善層１５を介在させない場合に比べて、移動度の改善が見られた。また、測定温度が液体窒素（LN_2）温度である７７Ｋにおいては、移動度の差が顕著に現れており、ＧａＮヘテロ特性改善層１５によって界面特性が改善されていることが判る。
【００３７】
次に、ゲート電極１８の長さを１μｍ、ソース電極１７ａおよびドレイ電極１７ｂの間の距離が５μｍのＨＦＥＴを作製し、その特性を評価した結果、ＧａＮヘテロ特性改善層１５を介在させた場合、最大発振周波数f_{max}＝３０ＧＨｚ、トランスコンダクタンスg_m＝２５０ｍＳ／ｍｍ、介在させない場合はf_{max}＝２２ＧＨｚ、g_m＝１８０ｍＳ／ｍｍであり、ＧａＮヘテロ特性改善層１５の効果が見られた。
【００３８】
以上のように、第１の二元化合物半導体および３元混晶半導体のヘテロ接合面に第２の二元化合物半導体を介在させることによって界面急峻性が改善でき、また、界面におけるピエゾ効果がさらに大きくなることによって、２次元電子ガスのキャリア濃度をより大きくすることができため電気的特性に優れた窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置が実現できる。
【００４０】
本発明は、次の実施の形態が可能である。
前記第２の二元化合物半導体層は、層厚が１分子層以上４分子層以下のＡｌＮであることを特徴とする窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置。
【００４１】
第２の二元化合物半導体層にＡｌＮを用いる場合、ＡｌＮは６．２ｅＶという極めて大きなバンドギャップを有しており、その層厚が厚くなり過ぎるとバリア層からチャネル層への電流注入が阻害され、ヘテロ構造として機能しなくなる。膜厚が１分子層以上４分子層以下のＡｌＮを第２の二元化合物半導体層に用いることによって、接合界面の急峻性を維持しつつ、トンネル効果によって充分なキャリア輸送が行える。よって、電気的特性に優れた窒化物ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置が得られる。
【図面の簡単な説明】
【００４２】
【図１】本発明の実施例１における窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族半導体装置１０の構造を示す断面図である。
【図２】本発明の実施例２における窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族半導体装置２０の構造を示す断面図である。
【図３】二元化合物半導体とこの二元化合物半導体の成分を含む三元混晶半導体の接合界面を示す図である。
【符号の説明】
【００４３】
１，１１　半絶縁性ＳｉＣ基板

２，１２　ＡｌＮエピタキシャルバッファ層
３，１４　ＧａＮチャネル層
４　ＡｌＮヘテロ特性改善層
５，１６　ＡｌＧａＮバリア層
６ａ，１７ａ　ソース電極
６ｂ，１７ｂ　ドレイン電極
７，１８　ゲート電極
１０，２０　窒化物系ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体装置
１３　ＧａＮ層
１５　ＧａＮヘテロ特性改善層

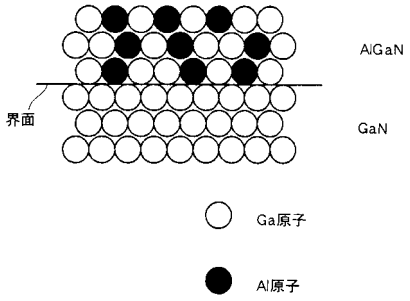
【図１】



【図２】



【図３】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平１１－２６１０５１（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－２９４７６８（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２５２１７５（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－２４２４５１（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－２５１５７５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２１／３３８
Ｈ０１Ｌ　２９／８１２