

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成20年1月31日(2008.1.31)

【公開番号】特開2007-88252(P2007-88252A)

【公開日】平成19年4月5日(2007.4.5)

【年通号数】公開・登録公報2007-013

【出願番号】特願2005-275897(P2005-275897)

【国際特許分類】

H 01 L 21/338 (2006.01)

H 01 L 29/778 (2006.01)

H 01 L 29/812 (2006.01)

【F I】

H 01 L 29/80 H

【手続補正書】

【提出日】平成19年12月7日(2007.12.7)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

III族窒化物系化合物半導体より成る半導体結晶層を複数層結晶成長させることにより形成される電界効果トランジスタにおいて、

上側の界面またはその近傍にチャネルが生成消滅されるチャネル層Aと、

前記界面の上に直接積層された $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ (0.45>x>0.04)から成るキャリヤ供給層Bとを有し、

前記界面の近傍において、前記キャリヤ供給層Bのバンドギャップエネルギー E_B は、前記チャネル層Aのバンドギャップエネルギー E_A よりも大きく、

前記キャリヤ供給層Bのアルミニウム組成比xは、前記界面からの距離に対して略単調に減少しており、

前記キャリヤ供給層Bは無添加の半導体結晶から形成されていることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項2】

前記チャネル層Aは、窒化ガリウム(GaN)の半導体結晶から形成されていることを特徴とする請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項3】

前記チャネル層Aは、無添加の半導体結晶から形成されていることを特徴とする請求項2に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項4】

前記キャリヤ供給層Bの前記界面におけるアルミニウム組成比x1は、0.15以上0.40以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項5】

前記キャリヤ供給層Bの前記界面とは反対側のもう一方の界面におけるアルミニウム組成比x2は、0.05以上0.20以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項6】

前記キャリヤ供給層Bのアルミニウム組成比xは、0.20から0.15に、前記距離に對して略単調に減少していることを特徴とする請求項1乃至請求項5の何れか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項7】

電極が形成される層が無添加の半導体結晶から形成されていることを特徴とする請求項1乃至請求項6の何れか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項8】

A₁Nバッファ層を形成した炭化ケイ素(SiC)基板上に形成されていることを特徴とする請求項1乃至請求項7の何れか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】電界効果トランジスタ

【技術分野】

【0001】

本発明は、III族窒化物系化合物半導体の結晶成長によって製造される電界効果トランジスタ(各種のFETやHEMT等)の構成に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の電界効果トランジスタにおいては、キャリヤ供給層またはバリア層をA_{1-x}G_xa_{1-x}Nから成る半導体結晶層で形成しているが、チャネル層に対する障壁高さを十分に確保するために、この半導体結晶層のアルミニウム組成比xは、通常、0.20~0.30の間に設定される。そして、この様な設定によって、on抵抗の小さな電界効果トランジスタが製造されている。

【0003】

また、電界効果トランジスタに生じるリーク電流の低減を図るための従来技術としては、下記の特許文献1や特許文献2などが公知である。

【特許文献1】特開2000-277536

【特許文献2】特開2005-183551

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記の設定(0.20×0.30)によってon抵抗の小さな電界効果トランジスタを製造する場合、素子(電界効果トランジスタ)の耐圧性を確保することは難しくなる。これは、A_{1-x}G_xa_{1-x}Nから成る半導体結晶層において、アルミニウム組成比xを例えば上記などの様に比較的高く設定すると、半導体結晶層の結晶性が劣化し易くなり、その結果、素子に高い電圧を印加した際にゲートリーク電流が通るリークパスが形成され易くなるためだと考えられる。

【0005】

また、上記の特許文献1や特許文献2などの従来技術においては、たとえリーク電流の低減を図ることはできても、例えばキャップ層などの様な付加的な構成要素の導入が必須となるので、素子構造や製造プロセスなどが複雑になり易い。このため、これらの従来技術は、素子の高い生産性を確保する上で必ずしも有利な技術とは言えない。

【0006】

本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、on抵抗と耐圧性の両特性に優れた電界効果トランジスタを製造することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するためには、以下の手段が有効である。

即ち、本発明の第1の手段は、III族窒化物系化合物半導体より成る半導体結晶層を複数層結晶成長させることにより形成される電界効果トランジスタにおいて、上側の界面またはその近傍にチャネルが生成消滅されるチャネル層Aと、その界面の上に直接積層された $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.45 > x > 0.04$)から成るキャリヤ供給層Bとを設け、その界面の近傍において、キャリヤ供給層Bのバンドギャップエネルギー E_B を、チャネル層Aのバンドギャップエネルギー E_A よりも大きくし、キャリヤ供給層Bのアルミニウム組成比 x を、上記の界面からの距離に対して略単調に減少させ、キャリヤ供給層Bは無添加の半導体結晶から形成されていることである。

【0008】

ただし、界面からの距離に対してアルミニウム組成比 x を略単調減少させる設定は、界面からの距離の増大に対して段階的に行っても連続的に行っても良い。また、その変動には意図しない若干の揺らぎ(微小振動など)が含まれていても良い。また、上記のチャネルの生成消滅は、ゲート電圧によって制御可能なものである。

なお、上記のチャネル層Aは、 GaN 、または InGaN などから形成することができる。

【0009】

また、本発明の第2の手段は、上記の第1の手段において、上記のチャネル層Aを窒化ガリウム(GaN)の半導体結晶から形成することである。

また、本発明の第3の手段は、上記の第2の手段において、上記のチャネル層Aを無添加の半導体結晶から形成することである。

【0010】

また、本発明の第4の手段は、上記の第1乃至第3の何れか1つの手段において、キャリヤ供給層Bの上記の界面におけるアルミニウム組成比 x_1 を 0.15 以上 0.40 以下にすることである。

ただし、より望ましくは、上記のアルミニウム組成比 x_1 は、 0.19 以上 0.25 以下が良い。

【0011】

また、本発明の第5の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、キャリヤ供給層Bの上記の界面とは反対側のもう一方の界面におけるアルミニウム組成比 x_2 を 0.05 以上 0.20 以下にすることである。

ただし、より望ましくは、上記のアルミニウム組成比 x_2 は、 0.13 以上 0.17 以下が良い。

【0012】

また、本発明の第6の手段は、上記の第1乃至第5の何れか1つの手段において、キャリヤ供給層Bのアルミニウム組成比 x を 0.20 から 0.15 に、上記の距離に対して略単調に減少させることである。

また、本発明の第7の手段は、上記の第1乃至第6の何れか1つの手段において、電極が形成される層が無添加の半導体結晶から形成されていることである。

また、本発明の第8の手段は、上記の第1乃至第7の何れか1つの手段において、 AlN バッファ層を形成した炭化ケイ素(SiC)基板上に形成されていることである。

以上の本発明の手段により、前記の課題を効果的、或いは合理的に解決することができる。

【発明の効果】

【0013】

以上の本発明の手段によって得られる効果は以下の通りである。

即ち、本発明の第1の手段によれば、キャリヤ供給層Bのアルミニウム組成比 x がチャネル層Aとの界面から遠ざかるにつれて単調に低下するので、チャネル層Aに対するキャリヤ供給層Bの障壁高さを一定以上に確保しつつ、しかもキャリヤ供給層Bのもう一方の

界面付近においては、アルミニウム組成比 x の低減作用によって、キャリヤ供給層Bの結晶性をも一定以上に高く確保することができる。

したがって、本発明の第1の手段によれば、 on 抵抗と耐圧性の両特性に優れた電界効果トランジスタを製造することができる。

【0014】

また、本発明の第2の手段によれば、チャネル層Aが窒化ガリウム(GaN)結晶から形成されるので、チャネル層Aがキャリヤ供給層Bに対して供する結晶成長面は良質かつ平坦になり易い。このため、本発明の第2の手段によれば、素子の on 抵抗を低く抑制することができる。

【0015】

また、本発明の第3の手段によれば、チャネル層Aが無添加の窒化ガリウム(GaN)結晶から形成されるので、チャネル層Aがキャリヤ供給層Bに対して供する結晶成長面は、更により良質かつ平坦になり易い。このため、本発明の第3の手段によれば、更に、素子の on 抵抗を低く抑制することができる。

【0016】

また、本発明の第4の手段によれば、チャネル層Aに対するキャリヤ供給層Bの障壁高さを大きく確保することができるので、素子の on 抵抗をより低く減少させることができる。

【0017】

また、本発明の第5の手段によれば、キャリヤ供給層Bの結晶品質を高く確保することができるので、これによってリーク電流をより低く減少させることができる。

【0018】

また、本発明の第6の手段によれば、チャネル層Aに対するキャリヤ供給層Bの障壁高さを大きく確保することができると同時に、キャリヤ供給層Bの結晶品質を高く確保することができるので、素子の on 抵抗とリーク電流を同時に非常に効果的に低減させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

ただし、本発明の実施形態は、以下に示す個々の実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0020】

図1は、本実施例1の電界効果トランジスタ100の断面図である。この電界効果トランジスタ100は、結晶成長によってIII族窒化物系化合物半導体を順次積層することにより形成した半導体素子であり、その結晶成長基板101は、厚さ約400μmの炭化シリコン(SiC)から形成されている。この結晶成長基板101の上には、厚さ約200nmのAlNから成るバッファ層102が形成されている。

【0021】

そして、このバッファ層102の上には厚さ約2μmのアンドープのGaNから成る半導体結晶層103が形成されている。そして、この半導体結晶層103が本発明のチャネル層Aに相当する。また、この半導体結晶層103(チャネル層A)の上には、本発明のキャリヤ供給層Bに相当する厚さ約400のアンドープの Al_xGaN (0.15< x <0.20)から成る半導体結晶層104が積層されている。

このアルミニウム組成比 x は、半導体結晶層103との界面からの距離の増大に対して、0.20から0.15まで単調に減少させる。

【0022】

この半導体結晶層104(本発明のキャリヤ供給層B)の膜厚(約400)は、ゲートON時に両半導体結晶層A,Bの界面近傍に生成されるチャネル層と、下記の個々のオームミック電極(105,107)との間ににおけるキャリア(電子)のトンネル効果が、それぞれ確実かつ良好に発現する様に設定されている。

【0023】

また、符号105, 106, 107はそれぞれ、ソース電極（オーミック電極）、ゲート電極（ショットキー電極）、ドレイン電極（オーミック電極）を示している。各オーミック電極（ソース電極105とドレイン電極107）は、何れもチタン（Ti）から成る膜厚約100の薄い金属層を蒸着によって積層し、その上にアルミニウム（Al）から成る膜厚約3000の金属層を更に蒸着にて積層したものである。これらのオーミック電極は、1秒未満のフラッシュアーニール処理による約700～900の熱処理によって、良好に密着及び合金化されている。他方、ゲート電極106は、約100のニッケル（Ni）から成る金属層を蒸着によって積層し、その上に、金（Au）から成る金属層を更に約3000蒸着して形成したショットキー電極である。

【0024】

以下、上記の電界効果トランジスタ100の製造方法を、本発明の特徴部分である半導体結晶層104（キャリヤ供給層B）を中心に説明する。

上記の電界効果トランジスタ100の各半導体結晶層（半導体結晶層102, 103, 104）は何れも、有機金属化合物気相成長法（MOVPE）による気相成長により結晶成長されたものである。ここで用いられたガスは、キャリアガス（H₂又はN₂）と、アンモニアガス（NH₃）と、トリメチルガリウム（Ga(CH₃)₃）と、トリメチルアルミニウム（Al(CH₃)₃）などである。

ただし、これらの半導体結晶層を結晶成長させる方法としては、上記の有機金属化合物気相成長法（MOVPE）の他にも、分子線気相成長法（MBE）、ハイドライド気相成長法（HVPE）等が有効である。

【0025】

なお、各半導体結晶層は、以下の結晶成長条件に基づいて結晶成長させた。

1. バッファ層102

(1) 結晶成長温度T₀ : 1140 []

(2) 積層構成 : 単層（膜厚約200nmのAlN）

【0026】

2. チャネル層A（半導体結晶層103）

(1) 結晶成長温度T_A : 1140 []

(2) 積層構成 : 単層（膜厚約2μmのGaN）

【0027】

3. キャリヤ供給層B（半導体結晶層104）

(1) 結晶成長温度T_B : 1000 []

(2) 積層構成 : 複層（6層）

第1層 : 膜厚約70, アルミニウム組成比x = 0.20

第2層 : 膜厚約70, アルミニウム組成比x = 0.19

第3層 : 膜厚約60, アルミニウム組成比x = 0.18

第4層 : 膜厚約60, アルミニウム組成比x = 0.17

第5層 : 膜厚約70, アルミニウム組成比x = 0.16

第6層 : 膜厚約70, アルミニウム組成比x = 0.15

【0028】

図2にこの電界効果トランジスタ100のゲートリーク電流の特性を示す。この図2では、一番下のグラフ(i)が、上記の電界効果トランジスタ100のゲートリーク電流の特性を示しており、その上のグラフ(ii)は、キャリヤ供給層Bを単層の膜厚約400のAl_{0.15}Ga_{0.85}Nから成る半導体結晶層から形成した別のサンプルS2の特性を示している。また、グラフ(iii)は、キャリヤ供給層Bを単層の膜厚約400のAl_{0.20}Ga_{0.80}Nから成る半導体結晶層から形成した他のサンプルS3の特性を示している。勿論、他の構成要件については、S2, S3の何れのサンプルにおいても、上記の電界効果トランジスタ100と同等にした。

【0029】

このリーク電流の測定結果より、上記の電界効果トランジスタ100では、キャリヤ供給層Bを膜厚約400のAl_{0.15}Ga_{0.85}Nから成る単層の半導体結晶層から形成したサンプルS2の場合と比較して、同等以上にリーク電流の抑制効果が得られていることが分かる。また、上記の電界効果トランジスタ100では、キャリヤ供給層Bを膜厚約400のAl_{0.20}Ga_{0.80}Nから成る単層の半導体結晶層から形成した上記のサンプルS3の場合と比較して、リーク電流が1/100以下と極めて効果的に抑制されていることが分かる。

【0030】

また、上記の電界効果トランジスタ100とサンプルS2, S3について、チャネル層Aとキャリヤ供給層Bの界面におけるシート抵抗を測定したところ、以下の測定結果を得た。

(シート抵抗)

電界効果トランジスタ100	：	約600 [/]
サンプルS2	：	約700 [/]
サンプルS3	：	約500 [/]

【0031】

以上の実験結果より、電界効果トランジスタ100においては、良好に抑制されたリーク電流値に基づく高い耐圧性と、良好に抑制されたシート抵抗(ohm抵抗)に基づく高い電気伝導性とが、従来にない非常に良い兼ね合いで、とても合理的に両立されていることが分かる。言い換えれば、図2のグラフi)の様にリーク電流が低く抑制された電界効果トランジスタにおいて、約600[/]程度のシート抵抗を達成することは、従来は必ずしも容易ではなかった。

【0032】

また、上記のキャリヤ供給層Bにおける複層構造は、上記の6層(第1層～第6層)の結晶成長時におけるアルミニウム供給ガス(トリメチルアルミニウム(Al(CH₃)₃))の供給量を僅かに調整するだけで実現することができるものであるから、例えばこの様にして電界効果トランジスタ100を製造する場合には、従来と同等以上の生産性を確保することも容易である。

【産業上の利用可能性】

【0033】

本発明は、III族窒化物系化合物半導体の結晶成長によって製造可能な電界効果トランジスタ(各種のFETやHEMT等)の設計や製造に大いに有用なものである。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】実施例1の電界効果トランジスタ100の断面図

【図2】電界効果トランジスタ100のリーク電流特性を示すグラフ

【符号の説明】

【0035】

100	：	電界効果トランジスタ
101	：	結晶成長基板(SiC)
102	：	バッファ層(AlN)
103	：	チャネル層A(GaNから成る半導体結晶層)
104	：	キャリヤ供給層B(AlGaNから成る半導体結晶層)
105	：	ソース電極(オームик電極)
106	：	ゲート電極(ショットキー電極)
107	：	ドレイン電極(オームик電極)