

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-509274

(P2005-509274A)

(43) 公表日 平成17年4月7日(2005.4.7)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/338	HO 1 L 29/80	5 F 1 0 2
HO 1 L 29/778	HO 1 L 29/80	
HO 1 L 29/812		

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2002-590421 (P2002-590421)
 (86) (22) 出願日 平成14年4月11日 (2002.4.11)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年11月11日 (2003.11.11)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/011666
 (87) 国際公開番号 W02002/093650
 (87) 国際公開日 平成14年11月21日 (2002.11.21)
 (31) 優先権主張番号 60/290,195
 (32) 優先日 平成13年5月11日 (2001.5.11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 10/102,272
 (32) 優先日 平成14年3月19日 (2002.3.19)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 592054856
 クリー インコーポレイテッド
 CREE INC.
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
 7703 ダラム シリコン ドライブ
 4600

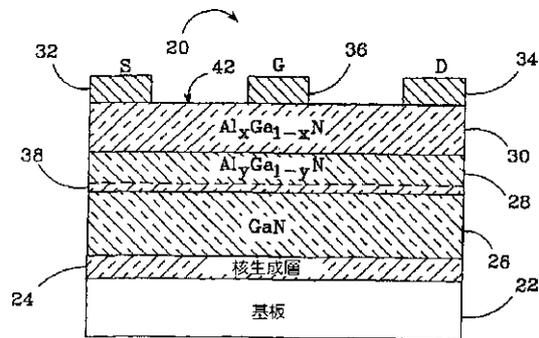
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 バリア/スペーサ層を有する III 族窒化物系の高電子移動度トランジスタ (HEMT)

(57) 【要約】

【課題】 高周波特性を改善する。

【解決手段】 III 族窒化物系高電子移動度トランジスタ (HEMT) 10 は、GaN バッファ層 26 を備えており、GaN バッファ層 26 上に $Al_y Ga_{1-y} N$ ($y = 1$ 又は 1) 層 28 がある。 $Al_x Ga_{1-x} N$ ($0 < x < 0.5$) バリア層 30 が、GaN バッファ層 26 の反対側で $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 28 上にあり、該層 28 の Al 濃度は、バリア層 30 よりも高い。GaN バッファ層 26 と $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 28 との間の界面に 2DEG 38 が形成されている。バリア層 30 上に、ソース、ドレイン、及びゲート・コンタクト 32、34、36 が形成されている。また、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 28 の反対側において、バッファ層 26 に隣接する基板 22 も含み、GaN バッファ層 26 と基板 22 との間に、核生成層 24 を含むことができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高電子移動度トランジスタ (HEMT) (20) であって、

GaN バッファ層 (26) と、

GaN バッファ層 (26) 上の $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) と、

GaN バッファ層 (26) の反対側で、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) 上にある $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層 (30) であって、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) の Al 含有量が、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層 (30) の Al 含有量よりも多い、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層 (30) と、

GaN バッファ層 (26) と $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) との間のインターフェース 10
にある 2DEG と、
からなることを特徴とする高電子移動度トランジスタ。

【請求項 2】

請求項 1 記載の HEMT において、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) は、 $Al_y Ga_{1-y} N$ ($y = 1$ 又は 1) からなることを特徴とする HEMT。

【請求項 3】

請求項 1 記載の HEMT において、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層 (30) は、 $Al_x Ga_{1-x} N$ ($0 < x < 0.5$) からなることを特徴とする HEMT。

【請求項 4】

請求項 1 記載の HEMT において、該 HEMT は更に、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層 (30) 上に、ソース、ドレイン、及びゲート・コンタクト (32、34、36) を備えていることを特徴とする HEMT。 20

【請求項 5】

請求項 1 記載の HEMT において、該 HEMT は更に、バッファ層 (26) に隣接して、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) の反対側に基板 (22) を備えており、該基板 (22) が、サファイア、炭化珪素、窒化ガリウム、及びシリコンからなる群からの材料で作られていることを特徴とする HEMT。

【請求項 6】

請求項 1 記載の HEMT において、該 HEMT は更に、GaN バッファ層 (26) と基板 (22) との間に、核生成層 (24) を備えていることを特徴とする HEMT。 30

【請求項 7】

請求項 4 記載の HEMT において、ソース及びドレイン・コンタクト (32、34、36) は、チタン、アルミニウム、及びニッケルからなる群からの合金で作られていることを特徴とする HEMT。

【請求項 8】

請求項 4 記載の HEMT において、ゲート (36) は、チタン、プラチナ、クローム、チタン及びタンゲステンの合金、並びに珪化プラチナからなる群からの材料で作られていることを特徴とする HEMT。

【請求項 9】

請求項 1 記載の HEMT において、GaN バッファ層 (26) の厚さは、約 $5 \mu m$ 未満であることを特徴とする HEMT。 40

【請求項 10】

請求項 1 記載の HEMT において、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) の厚さは、約 50 未満であることを特徴とする HEMT。

【請求項 11】

請求項 1 記載の HEMT において、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層 (30) の厚さは、約 $100 \sim 1000$ であることを特徴とする HEMT。

【請求項 12】

請求項 4 記載の HEMT において、ゲート・コンタクト (36) の下の抵抗は、ソース及びドレイン・コンタクト (32、34) の下の抵抗よりも大きいことを特徴とする HEMT 50

T。

【請求項 13】

請求項 4 記載の HEMT において、バリア層 (26) は、ゲート・コンタクト (36) の下では薄くなっていることを特徴とする HEMT。

【請求項 14】

請求項 1 記載の HEMT において、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層 (30) 及び $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 (28) は、デジタル的に製作されることを特徴とする HEMT。

【請求項 15】

III 族窒化物系の高電子移動度トランジスタ (HEMT) (10) であって、

半導体バッファ層 (26) と、

半導体バッファ層 (26) 上の高分極半導体層 (28) と、

高分極半導体層 (28) 上にある半導体バリア層 (30) であって、半導体バッファ層 (26) との間で高分極半導体層を挟持するようにしており、層の各々が、同じ方向を向いた全体としてゼロではない分極を有し、高分極半導体層 (28) における分極の大きさが、半導体バッファ及び半導体バリア層 (26、30) の分極よりも大きい、半導体バリア層 (30) と、

半導体バッファ層 (26) と高分極半導体層 (28) との間の界面にある二次元電子ガス (38) と

からなることを特徴とする HEMT。

【請求項 16】

請求項 15 記載の HEMT において、該 HEMT は更に、半導体バリア層 (30) と接触する、ソース、ドレイン、及びゲート・コンタクト (32、34、36) を備えていることを特徴とする HEMT。

【請求項 17】

請求項 15 記載の HEMT において、該 HEMT は更に、半導体バッファ層 (26) に隣接して、高分極半導体層 (28) の反対側に基板 (22) を備えており、該基板 (22) が、サファイア、炭化珪素、窒化ガリウム、及びシリコンからなる群からの材料で作られていることを特徴とする HEMT。

【請求項 18】

請求項 15 記載の HEMT において、該 HEMT は更に、 GaN バッファ層 (26) と基板 (22) との間に、核生成層 (24) を備えていることを特徴とする HEMT。

【請求項 19】

請求項 15 記載の HEMT において、半導体バッファ層 (26) は GaN で作られていることを特徴とする HEMT。

【請求項 20】

請求項 15 記載の HEMT において、半導体バッファ層 (26) の厚さは、 $5\ \mu m$ 未満であることを特徴とする HEMT。

【請求項 21】

請求項 15 記載の HEMT において、高分極半導体層 (28) は、 $Al_y Ga_{1-y} N$ ($y = 1$ 、又は 1) で作られていることを特徴とする HEMT。

【請求項 22】

請求項 15 記載の HEMT において、高分極半導体層 (28) の厚さは、 50 未満であることを特徴とする HEMT。

【請求項 23】

請求項 15 記載の HEMT において、バリア層 (30) は、 $Al_x Ga_{1-x} N$ ($0 < x < 0.5$) で作られていることを特徴とする HEMT。

【請求項 24】

請求項 15 記載の HEMT において、バリア層 (30) の厚さは、 $100 \sim 1000$ であることを特徴とする HEMT。

【請求項 25】

10

20

30

40

50

高電子移動度トランジスタ (HEMT) (10) であって、

III族窒化物からなる半導体材料の最下層 (26) と、

最下層 (26) 上にある、III族窒化物からなる半導体材料の中間層 (28) と、

最下層 (26) の反対側で、中間層 (28) 上にあるIII族窒化物からなる半導体材料の最上層 (30) であって、中間層 (28) のIII族材料の濃度が、最下層及び最上層 (26、30) よりも高い、最上層 (30) と、

中間及び最下層 (28、26) 間の界面にある2DEG (38) と

を備えていることを特徴とするHEMT。

【請求項26】

請求項25記載のHEMTにおいて、該HEMTは更に、最上層 (30) と接触するソース、ドレイン、及びゲート・コンタクト (32、34、36) を備えていることを特徴とするHEMT。

10

【請求項27】

請求項25記載のHEMTにおいて、該HEMTは更に、中間層の反対側に、最下層 (26) に隣接する基板 (22) を備えていることを特徴とするHEMT。

【請求項28】

請求項25記載のHEMTにおいて、該HEMTは更に、最下層 (26) と基板 (22) との間に核生成層 (24) を備えていることを特徴とするHEMT。

【請求項29】

請求項25記載のHEMTにおいて、最下層 (26) は、厚さが5 μm 未満のGaNで作られていることを特徴とするHEMT。

20

【請求項30】

請求項25記載のHEMTにおいて、中間層 (28) は、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($y = 1$ 、又は 1) で作られており、厚さが50 μm 未満であることを特徴とするHEMT。

【請求項31】

請求項25記載のHEMTにおいて、最上層 (30) は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.5$) で作られており、厚さが100 ~ 1000 \AA であることを特徴とするHEMT。

【請求項32】

請求項26記載のHEMTにおいて、ゲート・コンタクト (36) の下の抵抗は、ソース及びドレイン・コンタクト (32、34) の下の抵抗よりも大きいことを特徴とするHEMT。

30

【請求項33】

請求項26記載のHEMTにおいて、最上層 (30) は、ゲート・コンタクト (36) の下では薄くなっていることを特徴とするHEMT。

【請求項34】

請求項25記載のHEMTにおいて、中間及び最上層 (28、30) は、デジタル的に製作されていることを特徴とするHEMT。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高周波ソリッド・ステート・トランジスタに関し、更に特定すれば、III族窒化物系の高電子移動度トランジスタ (HEMT) に関する。

40

【背景技術】

【0002】

HEMTは、通常、シリコン (Si) 又はガリウム砒素 (GaAs) のような半導体材料で製作される、一般的なソリッド・ステート・トランジスタの一種である。Siの欠点の1つに、電子移動度が低く (約 $1450 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$)、ソース抵抗が高くなることあげられる。この抵抗は、Si系HEMTの高性能利得を低下させる虞れがある。[CRC Press, The Electrical Engineering Handbook (電気設計ハンドブック, 第2版, Dorf, p.994 (1997))]

50

G a A s を基礎とする H E M T は、民生用及び軍需用レーダ、セルラ用送受機、及び衛星通信における信号増幅の標準となっている。G a A s は、S i よりも高い電子移動度（約 $6000 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ）及び低いソース抵抗を有するので、G a A s 系デバイスは、より高い周波数で機能することができる。しかしながら、G a A s のバンドギャップは比較的小さく（常温において 1.42 eV ）、降伏電圧も比較的低いいため、G a A s 系 H E M T は高周波数において高い電力を発生することができない。

【0003】

A l G a N / G a N 半導体材料の製造における改良は、高周波、高温及び高電力用途用の A l G a N / G a N の開発に関心が集中している。A l G a N / G a N は、大きなバンドギャップ、高いピーク及び飽和電子速度値を有する [B. Belmont, K. Kim 及び M. Shur, J. Appl. Phys. 74, 1818 (1993)]。A l G a N / G a N H E M T は、 $1013 / \text{cm}^2$ 超において 2 D E G の面密度、及び比較的高い電子移動度（ $2018 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ まで）を有することができる [R. Gaska, J.W. Yang, A. Osinsky, Q. Chen, M.A. Khan, A.O. Orlov, G.L. Snider 及び M.S. Shur, Appl. Phys. Lett., 72, 707 (1998)]。これらの特性により、A l G a N / G a N H E M T は、高周波数において高い電力を得ることができる。

10

【0004】

A l G a N / G a N H E M T は、サファイア基板上に成長され、 $4.6 \text{ W} / \text{mm}$ の電力密度、及び 7.6 W の総電力を示している [Y.F. Wu et al., IEICE Trans. Electronics, E-82-C, 1895 (1999)]。更に最近になって、S i C 上に成長させた A l G a N / G a N H E M T が、 8 GHz において $9.8 \text{ W} / \text{mm}$ の電力密度を示しており [Y.F. Wu, D. Kaplnek, J.P. Ibbetson, P. Parikh, B.P. Keller 及び U.K. Mishra, IEEE Trans. Electron. Dev., 48, 586 (2001)]、更に 9 GHz において 22.9 の総出力電力を示している [M. Micovic, A. Kurdoghlian, P. Janke, P. Hashimoto, D.W.S. Wong, J.S. Moon, L. Mc Cray 及び C. Nguyen, IEEE Trans. Electron. Dev., 48, 591 (2001)]。

20

【0005】

Khan 他のも米国特許第 5,192,987 号は、バッファ及び基板上に成長させた G a N / A l G a N 系 H E M T を開示している。その他の A l G a N / G a N H E M T 及び電界効果トランジスタ (F E T) も、Gaska et al. "High-Temperature Performance of Al GaN/GaN HFET's on SiC Substrate" (S i C 基板上の A l G a N / G a N H F E T の高温特性) IEEE Electron Device Letters, Vol. 18, No. 10, 1997 年 10 月、492 頁、"DC and Microwave Performance of High Current AlGaIn Heterostructure Field Effect Transistors Grown on P-type SiC Substrates" (P 型 S i C 基板上に成長させた高電流 A l G a N ヘテロ構造電界効果トランジスタの DC 及びマイクロ波特性) IEEE Electron Devices Letters, Vol. 19, No. 2, 1998 年 2 月、54 頁に開示されている。これらのデバイスの一部は、78 ギガヘルツもの高さの利得帯域幅生成物 (gain-bandwidth product) (f_T) [K. Chu et al. WOSCEMAD, Monterey, CA (1998 年 2 月)]、及び 10 GHz において $2.84 \text{ W} / \text{mm}$ までの高い電力密度を示している [G Sullivan et al., "High Power 10-GHz Operation of AlGaIn HFET's in Insulating SiC" (絶縁性 S i C における A l G a N H F E T の高電力 10 - GHz 動作) IEEE Electron Device Letters, Vol. 19, No. 6, Page 198 (1998 年 6 月)、及び Wu et al., IEEE Electron Device Letters Volume 19, No. 2, 50 頁 (1998 年 2 月)]。

30

40

【0006】

図 1 は、サファイア又は炭化珪素基板 12 に隣接する G a N バッファ層 11 と、基板 12 の反対側で G a N バッファ層 11 に隣接する $A l_x G a_{1-x} N$ ($x = 0.1 \sim 0.5$) 層 13 を備えている典型的な A l G a N / G a N H E M T 10 を示す。核生成層 14 を、基板 12 及び G a N バッファ層 11 の間に含ませると、これら 2 つの層間の格子不整合を低減することができる。また、H E M T 10 は、ソース、ゲート、及びドレイン・コンタクト 15、16、17 も含む。A l_x G a_{1-x} N における A l 含有量が、圧電電荷 (piezoelectric charge) を生じ、G a N 層との界面に蓄積して、二次元電子ガス (2 D E

50

G)を形成する。 $Al_x Ga_{1-x}N$ 層におけるAl含有量が増大すると、圧電電荷も増大し、その結果HEMTの2DEG及びトランスコンダクタンスも増大するという効果がある。

【0007】

しかしながら、2DEGの移動度は一般に、界面の粗さ、ならびにGaN及び $Al_x Ga_{1-x}N$ 層11、13間の界面における圧電散乱によって限定される。これは、界面付近の $Al_x Ga_{1-x}N$ 層13における局在化ランダム性の結果である。

【0008】

$Al_y Ga_{1-y}N$ ($y = 1$ 又は 1)層を $Al_x Ga_{1-x}N$ 層 ($x = 0.1 \sim 0.5$)層13の代わりに用いることによって、ある種の利点を得ることができる。 AlN ($y = 1$ とした場合 $Al_y Ga_{1-y}N$)とGaNとの間の2.4%の格子不整合の結果、2つの層間の界面において最大可能圧電電荷が得られる。また、 AlN 層を用いると、2DEG移動度を限定する可能性がある、これらの層間の圧電散乱が低減する。

10

【0009】

しかしながら、 AlN 及びGaN間に大きな格子不整合があると、 AlN 層の厚さを50未満にしなければならない。これよりも層が厚いと、デバイスには、そのオーミック・コンタクトに伴う問題が生じる可能性があり、層における材料品質が低下し始め、デバイスの信頼性が低下し、物質の成長が一層困難となる。しかしながら、50以下の AlN 層を有するHEMTは、ゲート漏れを生ずる虞れが大きい。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、 AlN 及びGaN間に大きな格子不整合があると、 AlN 層の厚さを50未満にしなければならない。これよりも層が厚いと、デバイスには、そのオーミック・コンタクトに伴う問題が生じる可能性があり、層における材料品質が低下し初め、デバイスの信頼性が低下し、物質の成長が一層困難となる。しかしながら、50以下の AlN 層を有するHEMTは、ゲート漏れを生ずる虞れが大きいという問題がある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、好ましくは $AlGaN/GaN$ で形成し、2DEGを改善したIII族窒化物系HEMTの改良型を提供する。本発明にしたがって構成されたHEMTは、GaNバッファ層を備えており、GaNバッファ層上に $Al_y Ga_{1-y}N$ 層がある。GaNバッファ層の反対側において、 $Al_x Ga_{1-x}N$ バリア層が $Al_y Ga_{1-y}N$ 層内に含まれており、 $Al_y Ga_{1-y}N$ 層のAl含有量は、 $Al_x Ga_{1-x}N$ バリア層よりも多い。GaNバッファ層と $Al_y Ga_{1-y}N$ 層との間の界面に2DEGが形成されている。好適な $Al_y Ga_{1-y}N$ 層では、 $y = 1$ 又は $y = 1$ であり、好適な $Al_x Ga_{1-x}N$ バリア層では、 $0 < x < 0.5$ である。

30

【0012】

また、HEMTは、 $Al_x Ga_{1-x}N$ バリア層に接触するソース、ドレイン、及びゲート・コンタクトも有する。更に、HEMTは、サファイア、炭化珪素、窒化ガリウム、及びシリコンからなる群からの材料で作られた基板上に形成することができる。この基板は、 $Al_y Ga_{1-y}N$ 層の反対側において、バッファ層に隣接して配置される。また、HEMTは、そのGaN層と基板との間に核形成層も有することができる。

40

【0013】

GaN層上のHEMTの $Al_y Ga_{1-y}N$ 層は、2つの層の間の界面において、高い圧電電荷を生成し、圧電散乱を低減する。 $Al_y Ga_{1-y}N$ 層は、 AlN 及びGaN間の高い格子不整合性のために、比較的薄くしなければならない。この薄い $Al_y Ga_{1-y}N$ 層上の $Al_x Ga_{1-x}N$ 層が、HEMTのゲート漏れを少なく抑える。

【0014】

本発明のこれらならびにその他の更なる特徴及び利点は、添付図面と共に以下の詳細な

50

説明を読むことによって、当業者には明白となるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

図2は、本発明にしたがって構成したHEMT20の一実施形態を示す。これは、サファイア(Al_2O_3)、炭化珪素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)、又はシリコン(Si)のような、異なる材料で作ることができる基板22を備えている。好適な基板は、炭化珪素の4Hプロトタイプである。3C、6H及び15Rプロトタイプを含むその他の炭化珪素プロトタイプも仕様可能である。

【0016】

炭化珪素は、サファイアよりも、III族に対して結晶格子整合が遥かに密接であり、その結果、III族窒化物膜の方が高品質である。また、炭化珪素の熱電導率は非常に高いので、炭化珪素上のIII族窒化物デバイスの総出力電力は、基板の熱消散によって制限されない(サファイア上に形成されるデバイスでは、場合によっては生ずることもある)。また、炭化珪素基板が使用可能であると、デバイス分離及び寄生容量の低減がもたらされ、デバイスの製品化が可能となる。SiC基板は、ノースカロライナ、DurhamのCree Research, Inc.,から入手可能であり、これらの生産方法は、米国特許第Re34,861号、第4,946,547号、及び第5,200,022号のような科学的文献に明記されている。

10

【0017】

新規なHEMT20は、多くの異なる材料系を用いて製作することができるが、III族窒化物系の材料系を用いて製作することが好ましい。III族窒化物とは、窒素と周期表のIII族にある元素、多くの場合、アルミニウム(Al)、ガリウム(Ga)、及びインディウム(In)との間で形成される半導体化合物のことを言う。この用語は、AlGaNやAlInGaNのような三元化合物や三元性化合物も意味する。ウルツ鉱III族窒化物における圧電分極(piezoelectric polarization)は、従来のIII-V族及びIII-VI半導体化合物におけるよりも約10倍大きいことがわかっている。

20

【0018】

核生成層24を基板22上に含ませれば、基板22とHEMT20における次の層との間の格子不整合を低減することができる。核生成層24の厚さは、約1000オングストローム()とするとよいが、他の厚さも用いることができる。これは、異なる半導体材料で作ることができ、相応しい材料の1つに $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 1$)がある。これは、AlN ($z = 1$ とした場合の $Al_zGa_{1-z}N$)が好ましい。

30

【0019】

GaN層26が、基板22の反対側において、核生成層24上に含まれている。GaN層26の厚さは、約0~5 μm の範囲とするとよいが、他の厚さも用いることができる。HEMT20の好適な実施形態の1つでは、GaN層26の厚さは2 μm である。あるいは、GaN層26を $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 < w < 1$)で作ることもできる。

【0020】

$Al_yGa_{1-y}N$ ($y = 1$ 又は $y < 1$)層28が、核生成層24の反対側において、GaN層26上に含まれている。層28の厚さは50 μm 未満とするとよいが、異なる構成では、他の厚さも用いることができる。好適な厚さは約20 μm である。($y = 1$ とした場合の $Al_yGa_{1-y}N$)層28は、多数のAlN単一層で形成することができ、各単一層の厚さは、約5から20 μm の範囲である。例えば、4層の厚さ5 μm の単一層で形成される層28の場合、厚さは20 μm となる。

40

【0021】

$Al_xGa_{1-x}N$ バリア層30が、GaN層26の反対側において、 $Al_yGa_{1-y}N$ 層28上に形成されている。層30の好適な組成は、 $0 < x < 0.5$ であるが、組成は変更可能であり、 x は0及び1の間である。層30の厚さは、約100~1000 μm の範囲とするとよいが、他の厚さも用いることができる。層30の厚さは、層のAl配合量(composition)によって異なり、Al配合量が多い程、層30を薄くすることができる。

50

HEMT 20の一実施形態では、層30の厚さは約300 であり、 $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.33$)の組成を有する。バリア層が薄すぎると(約100 未満)、層30はHEMT 20において有効な2DEGを生成しない。

【0022】

HEMT 20は、ソース、ドレイン、及びゲート・コンタクト32、34、26を含む。ソース・コンタクト32及びドレイン・コンタクト34は、異なる材料で作ることができ、タンタル、アルミニウム、又はニッケルの合金を含み、なおもこれらに限定される訳ではない。ゲート・コンタクト36も異なる材料で作ることができ、タンタル、プラチナ、クロム、タンタル及びタングステンの合金、又は珪化プラチナを含み、なおもこれらに限定される訳ではない。

10

【0023】

2DEG 28は、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層28とGaN層26との間の接合部に形成する。前述のように、 AlN ($y = 1$ とした場合の $Al_y Ga_{1-y} N$)層28とGaN層26との間に2.4%の格子不整合があると、これら2つの層の間の界面において、最大可能圧電電荷が得られる。また、 AlN ($y = 1$ とした場合の $Al_y Ga_{1-y} N$)層28は、2DEGの移動度を制限する可能性がある、これらの層間の圧電散乱を低減することができる。

【0024】

GaN層26上に AlN ($y = 1$ とした場合の $Al_y Ga_{1-y} N$)層28を有することによって、HEMTの2DEG 38は、その移動度が増大する。 AlN ($y = 1$ とした場合の $Al_y Ga_{1-y} N$)層28上の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層30を厚くすることによって、HEMT 20には大きなゲート漏れが生ずることがなくなる。これは、 AlN ($y = 1$ とした場合の $Al_y Ga_{1-y} N$)層28のみを有する場合には、生ずる可能性がある。

20

【0025】

本発明によるHEMT 20は、20 の $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 ($y = 1$)と、その上にある200 の $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.25$)層を有する場合、 $7.45 \times 10^{12} / cm^2$ の2DEG密度、及び $2195 cm^2 / Vs$ の移動度を得ることができる。HEMT 20が、20 の $Al_y Ga_{1-y} N$ 層 ($y = 1$)と、その上にある230 の $Al_x Ga_{1-x} N$ ($x = 0.33$)層を有する場合、 $1.10 \times 10^{13} / cm^2$ の2DEG密度、及び $2082 cm^2 / Vs$ の移動度を得ることができる。2DEG面密度は、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層のアルミニウム配合量が増加するに連れて高くなる。

30

【0026】

図3は、図2のHEMTについて、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層30、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層28、2DEG 32、及びGaN層26全体にわたって、点42において調べたバンド図40を示す。層26、28及び30の各々は、同じ方向に向いたそれぞれの非ゼロの全分極(non-zero total polarization) P_1 、 P_2 及び P_3 を有する。 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層28はAl含有量が多くなっているため、その中における全分極の大きさは、周囲の層26及び30よりも大きい。この分極の傾斜により、3つの層間の界面A及びBにおいて、分極によって面電荷が誘発される。正の分極面電荷は、GaN層26及び $Al_y Ga_{1-y} N$ 層28の間の界面Aに位置する。負の分極面電荷は、 $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層30及び $Al_y Ga_{1-y} N$ 層28の間の界面に位置する。この結果、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層28には、非ゼロ電界が得られる。その結果、 $Al_y Ga_{1-y} N$ 層28との界面Bにおける $Al_x Ga_{1-x} N$ バリア層30の伝導帯縁部は、GaN層26の導電帯縁部よりも上に位置する。中央の層28は、比較的薄く、前述の層間の伝導帯不連続が比較的大きくても、電子にとってはほぼ透過的である。その結果、電子は、最上層から最下層まで転移し、層26及び28間の界面Aにおいて2DEGチャンネルを形成する。この食い違いバンドギャップ(staggered bandgap)は、これらの層内における元素組成を変化させることによって、同じ半導体材料の層の間で得ることができる。

40

【0027】

50

図4は、本発明にしたがって製作したHEMT50の第2実施形態を示し、同様にIII族窒化物からなる半導体材料で作られている。サファイア基板54上に、無作為にドーブした、即ち、半絶縁性のGaNバッファ層52を形成する。比較的薄い(～1nm)AlN層56をGaNバッファ層52の表面上に形成し、次いでSiドーブGaN層58で覆う。AlN層56の表面は、GaN60で終端されているので、全ての層における自発的分極は、基板54に向かう。加えて、これらの層における圧電分極は、自発的分極と同じ方向に向かう。自発的及び圧電分極の大きさは、層のAl濃度と共に増大し、AlN層56のAl濃度は最も高く、全分極も最も高い。図3に示した食い違いバンドギャップ形状は、HEMTの層間に得られ、AlN層及びGaN層の間の界面に2DEG59が形成される。また、HEMT50は、ソース、ドレイン、及びゲート・コンタクト62、64、66も含む。

10

【0028】

本発明によるHEMT構造は、あらゆるIII族窒化物を用いて製作することができ、それらのP、As及びSbとの合金も用いることができる。一連の層は、分極の傾斜によって中央の非常に薄い層に強い電界が生ずるようになっていなければならない。HEMTは、金属有機化学蒸着(MOCVD)、分子ビーム・エピタキシ(MBE)、又は気相エピタキシ(VPE)を含み、これらには限定されない異なるプロセスを用いても製作可能である。Al_xGa_{1-x}Nバリア層30及びAl_yGa_{1-y}N層28は、水素、窒素、又はアンモニア・キャリア・ガス内で成長させることができる。

【0029】

20

図5は、Al_xGa_{1-x}Nバリア層78及びAl_yGa_{1-y}N層79を備えたHEMT70を示し、これらは、図2のHEMTにおける同じ層30及び28と同様である。しかしながら、この実施形態では、バリア層78は、デジタル的に製作され、所望のAl及びGaの濃度が得られる。バリア層78は、1組当たり4層からなる、多数の層の組を有することができ、その内の1つはAlN層75であり、3つはGaN層76a～76cである。4組の層群を備えたバリア層72は、4つのAl層75と、12のGaN層76a～76cを有する。その結果、バリア層全体では、Alの濃度は25%、GaNの濃度は75%となる。同様に、1つのAl層と2つのGaN層からなる3層を有する各層を用いると、Alの濃度を33%、GaNの濃度を67%とすることができる。

【0030】

30

この方法を用いてバリア層72を製作することによって、所望のAl及びGaN濃度を得るために、異なるガスの流量を精細に調節する必要がなくなる。また、このプロセスによって、バリア層72の材料の濃度が一層正確となり、バリア層71全体にわたって材料の濃度の均一性が得られる。バリア層72は、GaN又はAlN層のいずれかによって終端することができる。また、このプロセスは、他のHEMT層を製作する際にも用いることができる。

【0031】

図6は、本発明にしたがって構成したHEMT80の別の実施形態を示す。これは、基板82、GaNバッファ層84、Al_yGa_{1-y}N(x=1、又はx=1)層86、2DEG88、ソース・コンタクト90、ドレイン・コンタクト92、及びゲート・コンタクト94を有し、これらは全て、図2に示したHEMT20におけるものと同様である。しかしながら、この実施形態では、バリア層96は、GaN(x=0とした場合のAl_xGa_{1-x}N)からなる。バリア層96は、均一又はデルタ・ドーブ方式のいずれかのn型とすることができる。この組成では、バリア層96を厚く(500～1000)作ることができ、これによって、凹陷ゲート構造が可能となる。標準的な平面(プレナ)HEMT構造では、ゲート、ドレイン、及びソース・コンタクトの下では、抵抗は同等である。バリア層96をより厚くすることによって、それぞれの下における抵抗は減少する。しかしながら、ゲート・コンタクト94の下では抵抗を増大させつつも、ソース及びドレイン・コンタクト90及び92の下では低い抵抗を維持することが望ましい。厚いバリア層96をエッチングして、ゲート・コンタクト94の下では薄くすることができる。これに

50

よって、ゲート・コンタクト 9 4 の下における抵抗を増大させながらも、ソース及びドレイン・コンタクト 9 0 及び 9 2 の下における抵抗を最小に維持する。

【 0 0 3 2 】

以上、好適な構成を参照しながら詳細に本発明について説明したが、その他の変形も可能である。HEMTの他の層も、デジタル積層方法を用いて製作することができる。したがって、特許請求の範囲では、その技術的思想及び範囲は、明細書に記載した好適な形態に限定される訳ではない。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 3 】

【 図 1 】 従来技術による AlGa_xN / GaN HEMT の断面図である。

10

【 図 2 】 本発明による AlGa_xN / GaN HEMT の一実施形態の断面図である。

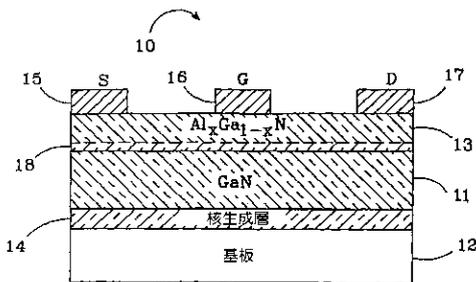
【 図 3 】 AlGa_xN / GaN HEMT のバンド図である。

【 図 4 】 本発明による AlGa_xN / GaN HEMT の第 2 実施形態の断面図である。

【 図 5 】 デジタル方法を用いて製作した、図 2 の HEMT におけるバリア層の断面図である。

【 図 6 】 凹陷ゲート構造を有するバリア層を備えた、本発明による HEMT の第 3 実施形態の断面図である。

【 図 1 】



【 図 3 】

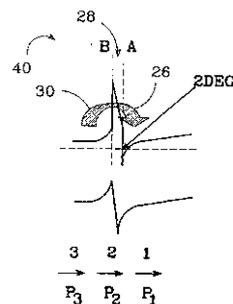
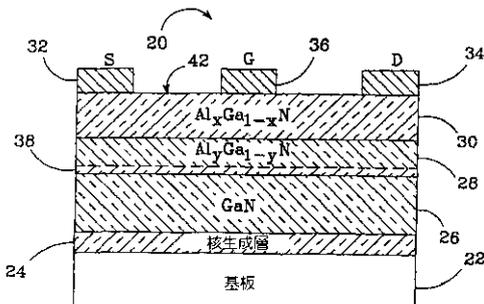
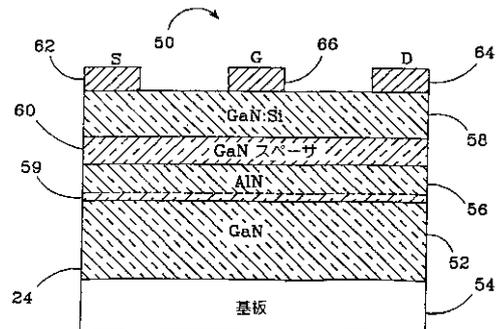


FIG.3

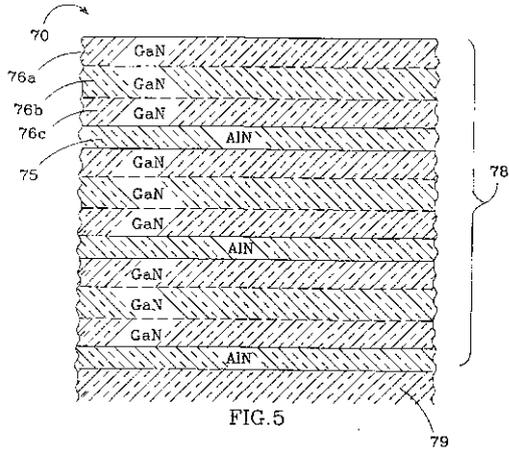
【 図 2 】



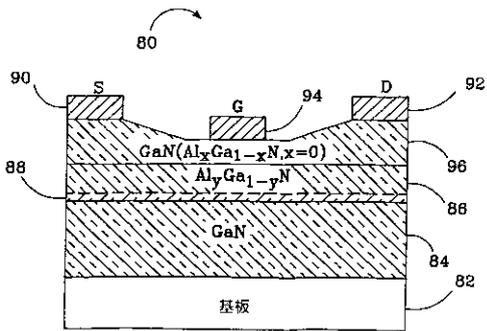
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No PCT/US 02/11666
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01L29/778		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 064 082 A (KAWAI ET AL.) 16 May 2000 (2000-05-16) the whole document	1, 3-9, 15-20, 25-29
A	US 5 192 987 A (KHAN ET AL.) 9 March 1993 (1993-03-09) column 4, line 13 - line 33	1, 15, 26
A	EASTMAN L F ET AL: "UNDOPED ALGAN/GAN HEMTS FOR MICROWAVE POWER AMPLIFICATION" IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 48, no. 3, March 2001 (2001-03), pages 479-485, XP001038991 ISSN: 0018-9383 page 481, paragraph IV	1, 15, 26
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents :		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 20 August 2002		Date of mailing of the international search report 26/08/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Bailet, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern	Application No
	PCT/US 02/11666

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>WU Y-F ET AL: "HIGH AL-CONTENT ALGAN/GAN MODFET'S FOR ULTRAHIGH PERFORMANCE" IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 19, no. 2, 1 February 1998 (1998-02-01), pages 50-53, XP000727958 ISSN: 0741-3106 cited in the application -----</p>	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

Intern: il Application No
PCT/US 02/11666

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6064082	A 16-05-2000	JP 10335637 A	18-12-1998
US 5192987	A 09-03-1993	US 5296395 A	22-03-1994

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW

(71) 出願人 501276728

ザ・リージェンツ・オブ・ザ・ユニバーシティー・オブ・カリフォルニア

THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9 4 6 0 7 - 5 2 0 0、オークランド、フランクリン・ストリート 1 1 1 1、トゥエルブス・フロア

(74) 代理人 100089705

弁理士 社本 一夫

(74) 代理人 100076691

弁理士 増井 忠式

(74) 代理人 100075270

弁理士 小林 泰

(74) 代理人 100080137

弁理士 千葉 昭男

(74) 代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74) 代理人 100096068

弁理士 大塚 住江

(72) 発明者 ヴァルキーヴィチュ, ヴラディスロウ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 7 0 8, ケンジントン, ケニヨン・アベニュー 2 2 7

(72) 発明者 シャヴァーカー, プラシャント

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 3 1 1 7, ゴリータ, キャノン・グリーン・ドライブ 3 7 5
ディー

(72) 発明者 ウー, イーフェン

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 3 1 1 7, ゴリータ, ファイアーサイド・レイン 5 2 8

(72) 発明者 スモルキコヴァ, イオウリア・ピー

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 0 2 7 7, レドンド・ビーチ, アベニュー・ジー 4 2 0, ナンバー 1 1

(72) 発明者 ケラー, スタシア

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 3 1 1 2, ゴリータ, サンタ・マルゲリータ・ウェイ 6 1 7
4

(72) 発明者 ミシュラ, ウメシュ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 3 1 0 8, サンタ・バーバラ, シカモア・キャニオン・ロード
1 4 3 5

F ターム(参考) 5F102 GB01 GC01 GD01 GJ02 GJ03 GJ04 GJ10 GK04 GK09 GL04

GL08 GL09 GL20 GM04 GM07 GM08 GN04 GQ01 GR04 GT03

HC01 HC04 HC15