

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4660733号
(P4660733)

(45) 発行日 平成23年3月30日 (2011.3.30)

(24) 登録日 平成23年1月14日 (2011.1.14)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 21/28	(2006.01)	HO 1 L 21/28	3 O 1 B	
HO 1 L 21/265	(2006.01)	HO 1 L 21/28	3 O 1 R	
HO 1 L 33/36	(2010.01)	HO 1 L 21/265	Z	
		HO 1 L 33/00	2 O O	

請求項の数 24 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2003-541035 (P2003-541035)	(73) 特許権者	592054856
(86) (22) 出願日	平成14年10月10日 (2002.10.10)		クリー インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2005-508087 (P2005-508087A)		C R E E I N C .
(43) 公表日	平成17年3月24日 (2005.3.24)		アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/032507		7703 ダラム シリコン ドライブ
(87) 国際公開番号	W02003/038877		4600
(87) 国際公開日	平成15年5月8日 (2003.5.8)	(74) 代理人	100089705
審査請求日	平成17年10月6日 (2005.10.6)		弁理士 社本 一夫
(31) 優先権主張番号	10/003, 331	(74) 代理人	100076691
(32) 優先日	平成13年10月31日 (2001.10.31)		弁理士 増井 忠武
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 縦型デバイスのための裏面オーミックコンタクトの低温形成

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

n型炭化珪素基板の表面中に燐原子を注入し、それにより燐濃度が増加している炭化珪素基板中領域を形成する工程；

続いて、燐が注入された該炭化珪素基板をアニールする工程；

続いて、燐が注入され、アニールされた炭化珪素の表面上に金属の層を堆積させて、燐が注入された該炭化珪素と堆積させた該金属との間に、堆積させられたままの状態でもミックコンタクトが形成される工程

を含む、コンタクトアニールの必要なしに半導体デバイスのために炭化珪素に対してオーミックコンタクトを形成する方法。

【請求項 2】

室温で燐を注入する工程を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

燐が注入された炭化珪素基板のアニール工程後に、注入された表面に対して反対側にある該炭化珪素基板の表面上に少なくとも1つのエピタキシャル層を成長させる工程を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

燐が注入された炭化珪素基板を、1000 ~ 1300 の温度でアニールする工程を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

燐が注入された炭化珪素基板を、1300 以上の温度でアニールする工程を含む請求項1記載の方法。

【請求項6】

チタン、アルミニウム、ニッケル、銀及び白金から成る群より選択される金属を堆積させる工程を含む請求項1記載の方法。

【請求項7】

複数の注入エネルギーレベルで燐を注入する工程を含む請求項1記載の方法。

【請求項8】

10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 25 keV の注入エネルギーレベルにおいて燐を注入する工程を含む請求項1記載の方法。

10

【請求項9】

10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 25 keV の注入エネルギーレベルにおいて燐を注入する工程を更に含む請求項8記載の方法。

【請求項10】

10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 100 keV の注入エネルギーレベルで燐を注入する工程を更に含む請求項9記載の方法。

【請求項11】

第一表面及び第二表面を有する n 型炭化珪素基板；

該炭化珪素基板の該第一表面上にある少なくとも1つのエピタキシャル層；

該炭化珪素基板において該基板の該第二表面から該第一表面へと延びている燐濃度増加領域；及び

20

該燐濃度増加領域との界面においてオーミックコンタクトを形成する、該炭化珪素基板の該第二表面上に堆積された金属層を含む半導体デバイス。

【請求項12】

燐濃度増加領域が、少なくとも 1000 の厚さである請求項11記載の半導体デバイス。

【請求項13】

オーミックコンタクトを形成する金属を、チタン、アルミニウム、ニッケル、銀及び白金から成る群より選択する請求項11記載の半導体デバイス。

30

【請求項14】

燐濃度増加領域が、第二表面から第一表面へと漸進的に低下する燐濃度によって特徴付けられる請求項11記載の半導体デバイス。

【請求項15】

炭化珪素基板における燐濃度が、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 超である請求項14記載の半導体デバイス。

【請求項16】

燐濃度増加領域における燐濃度が、 $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である請求項11又は15記載の半導体デバイス。

【請求項17】

エピタキシャル層を、炭化珪素、III族窒化物；及び珪素、ガリウム、アルミニウム又はインジウムの酸化物から成る群より選択する請求項11又は14記載の半導体デバイス。

40

【請求項18】

基板の第一表面上にあるIII族窒化物活性領域、及び該III族窒化物活性領域上にあるエピタキシャル層；及び

該エピタキシャル層の上にあるオーミックコンタクトを更に含む、請求項11記載の半導体デバイスを含む発光ダイオード。

【請求項19】

燐濃度増加領域が、第二表面から第一表面の方へと漸進的に低下する燐濃度によって特

50

徴付けられる請求項 18 記載の発光ダイオード。

【請求項 20】

活性領域が、ホモ接合、シングルヘテロ接合、ダブルヘテロ接合、超格子及び量子井戸から成る群より選択される構造を含む請求項 18 記載の発光ダイオード。

【請求項 21】

構造の一部を、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化インジウム、窒化アルミニウムガリウム、窒化インジウムガリウム、窒化アルミニウムインジウム、及び窒化アルミニウムインジウムガリウムから成る群より選択する請求項 20 記載の発光ダイオード。

【請求項 22】

活性領域を、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化インジウム、窒化アルミニウムガリウム、窒化インジウムガリウム、窒化アルミニウムインジウム、及び窒化アルミニウムインジウムガリウムから成る群より選択する請求項 18 記載の発光ダイオード。

【請求項 23】

10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 100 keV 以下の複数の注入エネルギーレベルで燐を注入する工程を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 24】

10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 25 keV の注入エネルギーレベルで燐を注入し；
続いて、 10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 25 keV の注入エネルギーレベルで燐を注入した後に、 10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 50 keV の注入エネルギーレベルで燐を注入し；

続いて、 10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 50 keV の注入エネルギーレベルで燐を注入した後に、 10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量で 100 keV の注入エネルギーレベルで燐を注入する；

工程を含む請求項 1 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の開示】

【0001】

発明の分野

本発明は、半導体材料に対するオーミックコンタクトに関するものである。特に、本発明は、複数の半導体材料を含むデバイスに対してオーミックコンタクトを形成する方法に関するものである。

【0002】

発明の背景

マイクロエレクトロニクスでは、回路は、半導体デバイスの順次接続から作製される。一般的に言えば、半導体デバイスは、特定の仕事を達成するための特定の回路内における電流の流れによって動作し、且つ前記流れを制御するために用いられる。回路において半導体デバイスを接続するために、半導体デバイスに対して適当なコンタクトが作製される。半導体デバイスが有する高い導電性及び他の化学的性質の故に、前記デバイスに対してコンタクトを作製するのに最も有用で都合の良い材料は金属である。

【0003】

半導体デバイスと回路との間の金属コンタクトは、デバイス又は回路の動作を最低限又は好ましくはまったく妨害すべきではない。更に、金属コンタクトは、作製される又は付着される半導体材料と物理的・化学的に適合性でなければならない。これらの所望の特性を示すコンタクトのタイプは「オーミックコンタクト」として公知である。

【0004】

オーミックコンタクトは、通常は、半導体の体抵抗又は広がり抵抗に比べて無視できるコンタクト抵抗を有する金属・半導体コンタクトと規定される (Sze, Physics of Semiconductor Devices, Second Edition, 1981, page 304)。前記文献で更に記載されているように、適当なオーミックコンタクトは、それが付着されるデバイスの性能を有意に変化させず、また、前記デバイスの活性領域にわたる電圧降下と比較して相応に小さい電圧降

10

20

30

40

50

下によって必要な電流を供給できる。

【0005】

オーミックコンタクト及びオーミックコンタクトを製造する方法は当業において公知である。例えば、その全文を本明細書に援用するGlassらに与えられた米国特許第5,409,859号及び第5,323,022号(Glass特許)では、白金とp型炭化珪素から作製されたオーミックコンタクト構造、及びそのオーミックコンタクトを作製する方法を考察している。オーミックコンタクト及びそれらを作製する方法は公知であるが、オーミックコンタクト、特に炭化珪素基板を用いて製造されるオーミックコンタクトを製造する公知の方法は、適当に実施したときでも難しい。

【0006】

オーミックコンタクトの作製と関連のある問題は、無数であって且つ累積的である。低いホール濃度又は電子濃度に起因して半導体の導電率が制限されると、オーミックコンタクトの形成が妨害又は阻止され得る。同様に、半導体内のホール又は電子の低い移動度も、オーミックコンタクトの形成を妨害又は阻止し得る。Glass特許で考察されているように、コンタクト金属と半導体との間の仕事関数の差は、ポテンシャル障壁を生じさせ、その結果として、印加された電圧に対して整流(非オーム)電流を示すコンタクトが生じ得る。大きく異なる電子・ホール濃度と密接にコンタクトしている2つの同じ半導体材料の間でも、オーミックコンタクトではなく整流へと誘導するポテンシャル障壁(ビルトイン・ポテンシャル)が存在しているかもしれない。Glass特許では、これらの問題は、p型SiC基板とコンタクト金属との間に別のp型ドーパントSiC層を挿入することによって対処した。

【0007】

より新しい世代のガリウム及びインジウムに基づく半導体デバイス用にオーミックコンタクトを形成するときには更なる困難な問題が生じた。半導体と金属との間にオーミックコンタクトを形成する場合には、それらの界面において半導体とコンタクト金属とを正確に合金化する必要がある。オーミックコンタクト金属が堆積される半導体表面におけるホール/電子濃度を選択的に増加させることは、オーミックコンタクトを達成するためのコンタクトプロセスを向上させる有効な手段として公知である。そのプロセスは、典型的には、珪素及び炭化珪素の技術における選択的ドーピング法として十分に認識されているイオン注入によって達成される。しかしながら、炭化珪素の場合では、イオン注入は、通常は、炭化珪素結晶格子に対する損傷を最少にするために高温(典型的には >600)で行なう。注入された原子を「活性化」して所望の高いキャリア濃度を達成する場合には、しばしば珪素過剰圧力下で 1600 を超えるアニール温度がしばしば要求される。このイオン注入法のために必要とされる装置は特殊なものであり、高価である。

【0008】

高温イオン注入及びその後のアニールの後に、注入された基板表面にコンタクト金属を堆積させ、 900 を超える温度アニールする。窒化ガリウム又は窒化インジウムガリウムを含む半導体デバイス上にコンタクトを形成する方法は、それらの化合物が高温で解離するので、実現不可能である。

【0009】

この問題に対する一つの理論的解答は、半導体デバイスを完成させるのに必要な脆弱なエピタキシャル層(例えば、窒化ガリウム層)を成長させる前に、基板上にオーミックコンタクトを形成することであると考えられる。しかしながら、このアプローチは、望ましくない汚染物、すなわちコンタクト金属が、エピタキシャル成長システム中に挿入されるので、望ましくない。汚染金属は、格子成長、ドーピング、反応速度又はこれらの因子のすべてを妨害することによって、エピタキシャル成長に影響を及ぼすことがある。更に、金属不純物は、エピタキシャル層の光学的性質及び電気的性質を劣化させることがある。

【0010】

同様に、金属・酸化物・半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)のような多くの半導体デバイスでは、半導体酸化物(例えば、二酸化珪素)の層が必要である。従来の

10

20

30

40

50

イオン注入法及び注入アニーリングプロセス又はコンタクト金属アニーリングプロセスと関連のある高温によって、酸化物層上に高い応力が掛かり、それにより酸化物層、半導体・酸化物界面及びデバイス自体が損傷することがある。又は、酸化物層を創出する前にオーミックコンタクトを形成するのは、酸化物層を形成するために用いられる酸化環境がオーミックコンタクトに悪影響を及ぼすので、実用的ではない。

【0011】

炭化珪素上に感温エピタキシャル層（例えば、ある種のIII族窒化物）の任意の層が劣化するのを防止するのに十分に低い温度において、オーミックコンタクトを形成しようとする表面近傍のキャリア濃度を増加させ、炭化珪素をアニールし、金属コンタクトを加え、そしてそのコンタクトをアニールすることによって、オーミックコンタクトを、炭化珪素上にうまく形成できることを発見した。

10

【0012】

しかしながら、前記技術では、エピタキシャル層に影響を及ぼす可能性がある第二のアニールが依然として必要である。

而して、上記した製造問題を示さない半導体デバイスと共に用いるためのオーミックコンタクトを形成する実用的で経済的な方法に関するニーズが存在する。また、オーミックコンタクトを含むが、製造するのがより経済的である半導体デバイスのタイプに関するニーズも存在する。

【0013】

発明の目的及び概要

オーミックコンタクトを含み、炭化珪素を含むことができ、経済的に製造され、そして選択の幅が増した金属から形成されるオーミックコンタクトを含むことができる半導体デバイスを提供することは本発明の目的である。

20

【0014】

本発明は、半導体デバイスのための金属・半導体オーミックコンタクトを形成する方法によって上記の目的を達成する。本発明方法は、初期導電型を有する半導体基板の表面中に選択されたドーパント材料を注入する工程を含む。注入されたドーパントは、半導体基板と同じ導電型を提供する。ドーパントの注入後には、注入されたドーパント原子を活性化させるのに且つ有効キャリア濃度を増加させるのに十分な温度及び時間で、注入された半導体基板をアニールする。次に、半導体材料の注入された表面上に金属を堆積させた後、アニールする。本発明では、適当なドーパント及び金属を選択すると、更なるアニールを行わずともオーミックコンタクトが形成されるので、構造の残りの部分にアニールによる悪影響が及ぼされない。

30

【0015】

また、本発明は、表面と第一導電型とを有する半導体基板を含む半導体デバイスによって上記の目的も達成する。半導体基板は、表面から離れて延びている基板においてキャリア濃度増加領域を含む。更に、前記デバイスは、金属とキャリア濃度増加領域との界面においてオーミックコンタクトを形成するために、基板の表面上に堆積された金属層も含む。

【0016】

本発明の上記及び他の目的、利点及び特徴、及び等価物が達成される方法は、例示的態様を説明している添付の図面と共に本発明の以下の詳細な説明を考慮すれば更に容易に理解される。

40

【0017】

詳細な説明

本発明は、オーミックコンタクトを含む半導体デバイス、及び前記オーミックコンタクトを形成する方法である。

【0018】

炭化珪素のようなワイドバンドギャップ半導体及びそれらから形成される半導体デバイスを熟知している当業者には、本発明が、n型炭化珪素(SiC)を用いる半導体デバイ

50

スとオーミックコンタクトとを作製する場合に最も有用であることが理解される。而して、説明を容易にするために、本発明及び実施例に関する以下の説明は、SiCを用いている本発明の態様に関するものである。しかしながら、当業者は、本発明は、III族窒化物（例えば、窒化ガリウム、窒化アルミニウムガリウム、及び窒化インジウムガリウム）のような他のワイドバンドギャップ半導体材料と共に用いられるように容易に適合させ得ることを直ちに認識するだろう。

【0019】

広範な面において、本発明は、初期導電性を付与するドーパントの初期濃度を有する半導体基板を含む半導体デバイスである。好ましい態様では、半導体基板はn型炭化珪素である。

10

【0020】

クレームされる半導体デバイスは、エピタキシャル層と反対側にある半導体基板の表面から、エピタキシャル層に隣接している表面の方へと延びているキャリア濃度増加領域によって半導体基板が画定されることを更に特徴としている。キャリア濃度増加領域における基板に金属層を堆積させて、金属と基板との界面にオーミックコンタクトを形成する。好ましい態様では、金属は、銀(Ag)、アルミニウム(Al)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、及び白金(Pt)から成る群より選択する。

【0021】

図1には、本発明による半導体デバイス10の概略図が示してある。デバイス10は、説明用にSiCであると考えられる半導体基板12を含む。しかしながら、本発明の実施において、基板として他のワイドバンドギャップ半導体材料を用い得ることを理解すべきである。

20

【0022】

半導体デバイスを完成させるのに要する追加の成分14がSiC基板12に隣接している。例えば及び図1で代表されているように、半導体デバイスは、p型及びn型の半導体材料から成る連続エピタキシャル層14a, 14b, 及び14cを有する発光ダイオード(LED)であることができる。好ましい態様では、本発明は、その上に電氣的コンタクトが形成される導電性半導体基板に対して隣接しているいくつかのエピタキシャル層から成るLED、金属酸化物・半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)、レーザー、又はショットキー整流器のような半導体デバイスである。以下で考察しているように、本発明によるデバイスは、低融点又は低解離温度を有する材料を含むか又は感温構造を含む半導体デバイスに特に適する。そのような材料としては、窒化ガリウム、窒化インジウムガリウム及び窒化アルミニウムガリウムのようなIII族窒化物を含み、又はSiC-SiO₂界面のような感受性のある界面を含むデバイスが挙げられる。

30

【0023】

クレームされるデバイスは、半導体基板の裏面上にキャリア濃度増加領域16を有することを更に特徴としている。言い換えれば、このSiCの場合における半導体基板では、エピタキシャル層と反対側にある半導体基板の表面近くのキャリア濃度は、半導体基板の残りの部分で示されるキャリア濃度に比べて高い。

【0024】

キャリア濃度増加領域16に対する境界として機能するラインは、基板12におけるキャリア濃度が突然変化する鋭い境界が存在しないという事実を表現するために点線で示してある。キャリア濃度が初期キャリア濃度に等しくなるまで、基板の裏面からの距離が離れるにつれてキャリア濃度は低下する。以下で考察しているように、キャリア濃度増加領域は、半導体材料と通常関連のあるドーパントを用いる室温イオン注入法によって形成される。

40

【0025】

例えば、図1において、10で広範に示してあるクレームされるデバイスの好ましい態様は、窒素でドーパされたn型SiC基板を含む。SiC基板12は、好ましくはわずな程度から高度までドーパされており、約 1×10^{15} ~ 約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の初期

50

キャリア濃度を有する。「わずかな程度」及び「高度」という用語は、不正確であり、初期キャリア濃度が著しく変化し得ることを示すために意図的に用いている。エピタキシャル層14に対して反対側にある表面における選択されたドーパント材料のイオン注入によって、基板12の残部に比べてより高いキャリア濃度を含む領域16が創出される。燐(P)は好ましい注入ドーパントであり、好ましくは、イオン注入は、約 $1 \times 10^{19} \sim$ 約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を示し且つ初期キャリア濃度に比べて常に高い、基板の裏面上におけるキャリア濃度増加領域16を創出するレベルで行なわれる。

【0026】

出願人は特定の理論によって束縛されたくないが、事実は、キャリア濃度増加領域16を形成すると、特にイオン注入によって該領域を形成すると、オーミック特性を示す金属コンタクトを創出できることを示唆している。好ましい態様では、すべての半導体デバイスと一緒に用いるのに適する融点、蒸気圧及び物理的・化学的性質を有する選択されたコンタクト金属18を、キャリア濃度増加領域16におけるSiC基板の表面に堆積させて、該金属と該基板との間に界面20を形成する。好ましい金属としては、銀、チタン、アルミニウム、ニッケル、及び白金が挙げられる。好ましくは、選択される金属は、白金を下回るか又は等しい仕事関数を有する。好ましくは、金属は、デバイスの意図される用途にしたがって選択する。例えば、コンタクトの反射率が重要である用途では、好ましくは、アルミニウム又は銀を選択することができる。極めて安定で非反応性のコンタクト金属が必要とされる用途(例えば、極端な温度を要する用途)では、好ましくは、コンタクト金属用に白金を選択することができる。本発明の方法は、III族窒化物(例えば、Ga, Al及びInの窒化物、及びそれらの3成分及び4成分の組合せ)から発光ダイオード(LEDs)を形成する場合に特に有利である。第一に、コンタクトアニール工程を除くと、コンタクト金属を加える前に、SiC基板にIII族窒化物エピタキシャル層を加える技術が向上する。更に、加えられるドーパントとして燐を用いると、オーミックコンタクトのための金属に関する選択の幅がより広くなる。特に、銀(Ag)又はアルミニウム(Al)のような反射金属をオーミックコンタクトとして用いることが可能なので、本方法で形成されるLEDの光出力を実質的に増強できる。

【0027】

また、出願人は、特定の理論に束縛されたくないが、キャリア濃度増加領域を創出させて、コンタクト金属のための受容体として機能させることは有用であると考えられる。而して、別の態様では、本発明は、既に説明した半導体デバイスで用いられるオーミックコンタクトを形成する方法を含む。

【0028】

広範な面では、本発明は、半導体デバイスのための金属・半導体コンタクトを形成する方法である。好ましい態様では、本方法は、n型炭化珪素基板の中に燐を注入する工程を含む。しかしながら、当業者は、本発明が、他の半導体材料と一緒に用いられるように容易に適合し得ることを直ちに認識するだろう。アニール工程の後に、選択されたドーパント材料を注入する。このアニール工程では、注入されたSiC基板を、注入された燐原子を活性化させてSiC基板における注入ドーパント原子のキャリア濃度を効率的に増加させるのに十分な温度及び時間でアニールする。次に、SiC基板の注入された表面上にコンタクト金属を堆積させる。

【0029】

最も広範な態様では、半導体基板は、わずかな、中程度の、又は高度の初期ドーパント濃度を有することができるn型又はp型の基板を含むことができる。例えば、n型SiCが基板である場合、SiC基板は、約 1×10^{15} (わずかにドーブされた)~ 約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (高度にドーブされた)の初期ドーパント濃度を有することができる。「わずかに」、「中程度に」及び「高度に」という用語は、不正確であり、基板材料におけるドーパントの初期濃度が変化し得ることを示すために用いている。試験からは、中程度から高度にドーブされた基板が、本発明では最良の結果を達成することが分かった。

【0030】

10

20

30

40

50

次に、燐をn型炭化珪素基板に注入し、アニールした。好ましくは、燐の注入は、室温で行い、その後のアニールは、約1000 を超える温度で、最も好ましくは約1300 を超える温度行なう。好ましい態様では、n型SiC基板は、はじめに窒素でドーブする。

【0031】

当業者には、ドーパント材料の注入は、高温で達成できることは容易に認識される。実際に、SiC格子構造に対する損傷を減少させるために、SiCの場合では、高温注入が典型的に好ましい。しかしながら、SiCを用いる場合、高温イオン注入は、本発明の商業的な使用に関して制約がある。注入中にSiC基板を加熱する能力を有するイオン注入装置は、特殊で高価であるので、低いコストで大量生産の用途のためではなく、研究開発用に意図されている。更に、SiC基板を高温まで加熱するときには、SiC基板は、破壊しないような速度で加熱及び冷却しなければならない。それにより生産プロセスの速度は低下する。

【0032】

而して、室温注入は、本発明において使用するには、好ましい注入法である。燐を室温で注入した後に、基板ウエハーを1300 にし且つ100以上保つことができる単純排気炉 (simple vented furnace) において基板ウエハーをアニールする工程によって、満足の行く結果が得られ、且つ処理量も大幅に増加することを発見した。

【0033】

ドーパントの室温注入は、好ましくは、半導体基板の注入表面近傍にドーパント濃度増加領域が創出されるように行なう。図2は、本発明による注入プロセスの概略図である。この実施例では、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の初期ドーパント濃度を有するn型SiC基板22に対して、 10^{15} cm^{-2} 以上のドーズ量、25 ~ 100 keVのエネルギーで、燐原子24を注入する。いくつかの場合では、2つ以上の注入エネルギーを用いて、ブロックドーパント分布又は段階状ドーパント分布を創出する。「ブロック分布」とは、ドーパント原子の濃度が所定の厚さにわたって実質的に等しいままであるドーパント分布を意味している。ブロック分布は、複数の注入エネルギーを用いることによって近似することができる。一つの態様では、注入プロセスによって、該注入された表面からの距離が大きくなるにしたがい減少する注入されたドーパントの濃度を有する、約 $10^{20} \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ の該注入された表面近傍の全化学ドーパント濃度を有する、SiC基板の注入表面近傍の領域26が約1000オングストロームの深さで生成される。ドーパント濃度増加領域26の外部のドーパント濃度は、初期ドーパント濃度と実質的に同じままである。キャリア濃度増加領域26の境界は、領域26と基板の残部との間のキャリア濃度変化は明確ではなく段階的であることを示すために破線で示してある。当業者は、所望の濃度及び厚さを達成するために注入エネルギー又はドーズ量を容易に変化させ得ることを認識すべきである。例えば、複数回の注入を行なって、たとえいくらかの材料がその後の加工工程中に除去されてもオーミックコンタクトを作製できるように、ドーパント濃度増加領域をより厚く創出できる。

【0034】

上記したように、注入された基板をアニールする必要がある。注入されたドーパントイオンのいくらかは注入直後は「活性」ではないので、アニーリングが必要である。「活性」という用語は、注入された基板の総キャリア濃度に寄与する注入イオンの有用性 (availability) を説明するために用いている。

【0035】

注入中、ドーパントイオンによってSiC基板の結晶格子は実質的に衝撃される。これらのイオンは、結晶格子中へと衝突し、保持される。この衝撃によって、ドーパントイオンが、存在する結晶格子中へ完全には挿入されない。それ自体は衝撃によって損傷を受け得る結晶格子において、ドーパントイオンの多くの初期配置は、イオンが「活性化」する妨げとなり得る。注入されたSiC基板をアニール (すなわち、加熱) すると、注入イオン及び基板の結晶格子が、より規則的に再配置され、ドーパント注入中に受けた損傷から

10

20

30

40

50

回復できるメカニズムが提供される。

【 0 0 3 6 】

説明のために概算数を用いると、注入プロセスは次のように考えることができる。100個の燐イオンを、初期濃度がx個の燐原子であるn型SiC基板中に注入する場合、注入直後に、前記基板は、「x+10」個の燐イオンを有する基板に対応する特性を示すことができるのみである。しかし、次に、その基板をアニールして、注入されたイオンを結晶格子中の位置に定着させると、基板は、「x+90」個の燐イオンを有する基板に対応する特性を示すことができる。而して、アニール工程は、注入された燐イオンの約80個を活性化させた。

【 0 0 3 7 】

試験を行なうと、室温で注入されたSiC基板を、約1000 超の温度で、また特に約1300 超の温度で、約2時間以下アニールすると、満足の行く結果が得られることが分かる。温度及び時間は、注入されたドーズ量の更に完全な活性化を達成するために、容易に調節することができる。

【 0 0 3 8 】

上記注入基板を含む半導体デバイスは、少なくとも1つのエピタキシャル層を有する。エピタキシャル層は、当業者に公知の任意の方法によって成長させることができる。しかしながら、所望のエピタキシャル層又はその後に加工されたデバイスは、注入基板の高温アニールに耐えることができない材料（例えば、窒化ガリウム又は酸化珪素）から成っているかもしれないか又は前記材料を含んでいるかもしれない。その場合は、エピタキシャル層は、ドーパント注入後に形成してもよい。エピタキシャル層が高温アニールに耐えることができる材料から成っている場合（例えば、炭化珪素エピタキシャル層）、エピタキシャル層は、ドーパント注入及び活性化の前に形成することができる。

【 0 0 3 9 】

半導体基板が注入され、そして十分にアニールされたドーパント濃度増加領域が確立された後に、オーミックコンタクトを形成させるために選択された金属を、キャリア濃度増加領域における基板の表面に対して施用する。金属は、適当に高い融点及び蒸気圧を有する電気的コンタクトを形成するとき典型的に用いられるほとんど任意の金属をであることができ、また基板材料と互いに悪影響を及ぼさない。好ましい金属としては、銀、アルミニウム、ニッケル、チタン及び白金が挙げられる。好ましくは、金属の仕事関数は、白金の仕事関数以下である。

【 0 0 4 0 】

好ましくは、コンタクト金属は、基板表面上に堆積させて、オーミックコンタクト層を形成させる。上記したように、また原出願の方法による改良では、注入ドーパントとして燐を用いると、コンタクト金属がより広範囲で選択されることによってオーミックコンタクトが提供され、その結果として、更なるアニール工程を行わずにオーミックコンタクトが得られる。

【 0 0 4 1 】

本発明の更に特定の態様では、本発明によるオーミックコンタクトは、最初は、燐原子を 10^{15} cm^{-2} のドーズ量で25 keVのエネルギーで注入され、続いて第二の注入は、 10^{15} cm^{-2} のドーズ量で50 keVのエネルギーで注入され、続いて第三の注入では、 10^{15} cm^{-2} のドーズ量で100 keVのエネルギーで注入されたn型SiC基板を用いて創出した。注入後には、炉中において、アルゴン雰囲気下で、75分間1300 で活性化アニールを行なった。その後、150オングストロームの厚さで、注入表面上にコンタクト金属としてチタンを堆積させた。得られたコンタクトは、更にアニールを行なわなくても、満足の行くオーミック特性を示した。

【 0 0 4 2 】

本発明は、縦型デバイス、例えば光検出器、発光ダイオード(LED)、レーザー、パワーデバイス、例えば金属・酸化膜・半導体電界効果トランジスタ(MOSFETs)、絶縁ゲートバイポーラートランジスタ(IGBTs)、pn接合及びショットキー整流器

10

20

30

40

50

、及びマイクロ波装置、例えばSIT（静電誘導トランジスタ）のために実質的な利点を提供する。検出器、LEDs及びレーザーの場合は、エピタキシャル成長されたIII族窒化物の層、すなわち窒化ガリウム及び窒化インジウムガリウムの層は、当該層にひどい損傷を与えると考えられる温度でアニールしない。窒化インジウムガリウムの場合は、高温における時間は、合金のインジウム成分が増すにつれて更に重要となる。裏面コンタクトアニール温度を排除すると、SiC基板上で成長された歪ヘテロエピタキシャル膜における割れの可能性又は当該層におけるインジウム又はガリウムの成分の解離の可能性も低下する。

【0043】

SiCのホモエピタキシャル膜が基板上で成長され、且つ熱的に成長されるか又は熱的に再成長される（再酸化又はアニールされる）パワーデバイスの場合は、酸化物はデバイス性能において統合的な役割を有し、またより低いアニール温度が有利である。裏面金属コンタクトは、SiC・二酸化珪素界面を成長させるのに必要な酸化雰囲気には曝すことができない。而して、裏面オーミックコンタクトは、二酸化珪素を成長させた（再酸化又は再成長させた）後に、堆積させ、そしてアニールしなければならない。不都合なことに、その後で基板の裏側にコンタクトを形成するために、従来技術の約850以上（更に典型的には900～1050）のアニール温度が必要であるが、熱膨張の速度の組合せが悪いので、SiC・二酸化珪素界面において欠陥が生じる。それは、MOSFETs及びIGBTsにとっては特に悪い。而して、コンタクトアニールを排除することによって、本発明は、これらのタイプのデバイスの製造及び性能に関して有意な利点を提供する。

【0044】

別の面では、本発明は、本発明の注入及びオーミックコンタクトの面を含む発光ダイオードである。図3は、全体を30で示してある上記発光ダイオードの例示的該略図である。この態様では、発光ダイオード30は、第一表面32及び第二表面33をそれぞれ有するn型炭化珪素31を含む。該ダイオードは、基板31の第一表面32上にIII族窒化物活性層34を含む。上記態様で説明したように、該ダイオードは、基板31においてキャリア濃度が増加していて、且つ基板31の第二表面33から第一表面32の方へと延びていて、且つ第二表面33から第一表面32の方へと濃度が徐々に低下していることを特徴とする領域35を更に含む。

【0045】

オーミックコンタクト36は、基板の第二表面上に存在し、もう1つのオーミックコンタクト37は、デバイス30のもう一方の側に作製される。図示してある態様では、ダイオード30は、活性領域34とオーミックコンタクト37との間にある導電部分を提供する追加のp型コンタクト層40を含む。

【0046】

活性領域34は、ホモ結合、シングルヘテロ接合、ダブルヘテロ接合、超格子、及び量子井戸構造を典型的に含むことができる多くの構造のうちの1つ以上の構造であることができることも、これらのデバイスに精通している者及び当業者によって理解される。活性層のこれらの構造は、当業において十分に理解され、例示的デバイス及び構造は、通常に譲渡された且つ同時継続の出願第60/294,308号（2001年5月30日に出願された）及び第60/294,378号（2001年5月30日に出願された）において記載されている。これらの双方の内容は、その全文を本明細書に援用する。

【0047】

同様に、活性領域34及び活性領域34を形成する構造は、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化インジウム、窒化アルミニウムガリウム、窒化インジウムガリウム、窒化アルミニウムインジウム、及び窒化アルミニウムインジウムガリウムから成ると一般的に理解されるIII族窒化物化合物の1種類以上から典型的に形成される。また、前記化合物は、しばしば、 $In_xGa_yAl_{(1-x-y)}N$ のように略記され、それらの略語及びそれらの意味は、当業において十分に理解されており、本明細書では特に詳細に考察しな

10

20

30

40

50

い。

【0048】

更に好ましい態様では、基板31に対するオーミックコンタクト36は、アルミニウム、チタン、ニッケル、銀及び白金から成る群より選択される。いくつかの用途では、銀は、多くの利点を提供する。利点としては、貴金属としてのその高い加工性及びコンタクト用途のためのその優れた電氣的性質が挙げられる。銀及びアルミニウムは、LED30のような光デバイスの効率及び出力を向上させる高い反射特性の故に、発光ダイオードにとって特に有利である。他の金属は、他の用途により適し得る。例えば、チタン及びニッケルは、優れた電気特性を提供するが、屈折率は高くない。

【0049】

S i C技術は、まだ緒についたばかりであり、多くの提案されているデバイス及び材料構造は、試験又は開発されなければならない。このプロセスを更に開発すれば、アニール温度はより低くなり、究極的には、金属と半導体との間に堆積としてオーミックコンタクトが生成する(すなわち、アニールを要しない)。

【0050】

不要な実験を行わずに本発明を実行できるように、ある種の好ましい態様を参照しながら本発明を詳細に説明してきた。しかしながら、成分及びパラメーターの多くは、本発明の範囲及び精神から逸脱せずに、ある程度まで変化又は変更させてもよいことは当業者には容易に認識される。更に、表題又は見出しなどは、本明細書の読者の理解を助けるために提供しているのであって、本発明の範囲を限定するものであると考えるべきではない。而して、上記の請求の範囲及び合理的な拡張と等価物のみが、本発明の知的財産権を規定する。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】本発明による半導体デバイスの概略横断面図である。

【図2】本発明による方法で用いられるドーパント注入の概略横断面図である。

【図3】本発明による発光ダイオードの概略横断面図である。

10

20

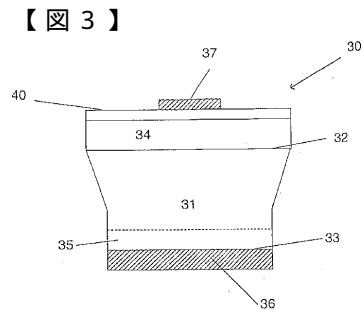
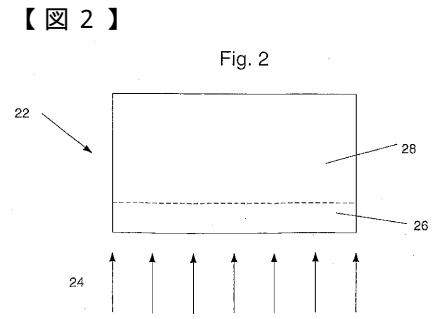
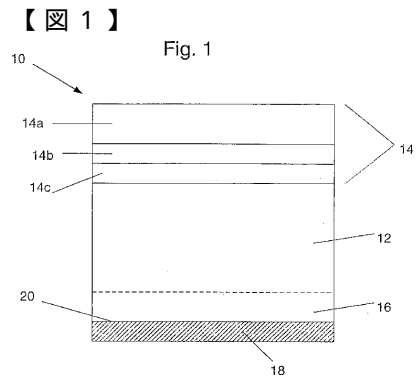


Fig. 3

フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100094008

弁理士 沖本 一暁

(72)発明者 スレイター, デーヴィッド・ビー, ジュニア

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州27613, ローリ, ジャーラット・コーヴ 6304

(72)発明者 スヴォロフ, アレクサンダー

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州27713, ダーラム, ウィンドコート・プレース 5

審査官 長谷山 健

(56)参考文献 国際公開第00/016382(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/28

H01L 21/265

H01L 33/36