(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3732857号
(P3732857)
(45)発行日　平成18年1月11日(2006.1.11)　(24)登録日　平成17年10月21日(2005.10.21)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 29/872	(2006.01)	H01L	29/48	D
H01L 29/47	(2006.01)	H01L	29/06	301D
H01L 29/06	(2006.01)	H01L	29/91	F
H01L 29/861	(2006.01)	H01L	29/91	D
H01L 21/329	(2006.01)	H01L	29/91	B

請求項の数 10　(全 9 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平7-529035
(86)(22)出願日　平成7年5月2日(1995.5.2)
(65)公表番号　特表平10-501097
(43)公表日　平成10年1月27日(1998.1.27)
(86)国際出願番号　PCT/US1995/005398
(87)国際公開番号　WO1995/031009
(87)国際公開日　平成7年11月16日(1995.11.16)
審査請求日　平成14年5月2日(2002.5.2)
(31)優先権主張番号　238,228
(32)優先日　平成6年5月4日(1994.5.4)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者
ノース・キャロライナ・ステイト・ユニヴァーシティ
アメリカ合衆国、２７６９５－７００３　ノース・キャロライナ、ローリー、ホラデイ・ホール　１０３、キャンパス・ボックス　７００３
(74)代理人
弁理士　奥山　尚男
(74)代理人
弁理士　秋山　暢利
(74)代理人
弁理士　奥山　尚一
(74)代理人
弁理士　有原　幸一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】耐電圧降伏性単結晶炭化ケイ素半導体デバイス及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ある表面を有する単結晶炭化ケイ素基板と、
該単結晶炭化ケイ素基板内にある炭化ケイ素デバイスであって、前記表面上の表面領域に達している単結晶炭化ケイ素領域を有している炭化ケイ素デバイスと、
前記単結晶炭化ケイ素領域内にある非晶質炭化ケイ素領域であって、前記表面領域に隣接するように延び、前記単結晶炭化ケイ素領域を取囲んでいる非晶質炭化ケイ素領域と
を含んでなる炭化ケイ素半導体デバイス。
【請求項２】
前記非晶質炭化ケイ素領域が、電気的に不活性なイオンをその中に含んでいる請求項１に記載の炭化ケイ素半導体デバイス。
【請求項３】
前記電気的に不活性なイオンが、水素とヘリウムとアルゴンとネオンと炭素とケイ素とからなる集合から選択される少なくとも１つの元素を含んでいる請求項１に記載の炭化ケイ素半導体デバイス。
【請求項４】
前記単結晶炭化ケイ素領域上に広がって、整流接合または非整流接合を前記単結晶炭化ケイ素領域と形成している接合部を含んでいる請求項１または２に記載の炭化ケイ素半導体デバイス。
【請求項５】

前記整流接合がショットキーバリアコンタクトであり、前記非整流接合がオーミックコンタクトである請求項４に記載の炭化ケイ素半導体デバイス。
【請求項６】
単結晶炭化ケイ素領域を含む炭化ケイ素半導体デバイスを、単結晶炭化ケイ素基板のある表面に隣接して形成するステップと、
前記単結晶炭化ケイ素領域の周囲に非晶質炭化ケイ素領域を形成するように、前記単結晶炭化ケイ素基板の一部分を非晶質化するステップと
を含んでなり、前記非晶質化するステップは、前記非晶質炭化ケイ素領域を焼きなまし前記非晶質炭化ケイ素領域の再結晶化するステップとに結びつくいかなるステップがそれに続くものではない、耐降伏性炭化ケイ素半導体デバイスの形成方法。
【請求項７】
前記非晶質化するステップが、前記一部分を非晶質炭化ケイ素に変換することができるエネルギー及び注入量で、電気的に不活性なイオンを前記表面へと注入するものである請求項６に記載の方法。
【請求項８】
前記電気的に不活性なイオンが、水素とヘリウムとアルゴンとネオンと炭素とケイ素とからなる集合から選択される少なくとも１つの元素を含んでいる請求項７に記載の方法。
【請求項９】
前記イオンを注入するステップが、３０ｋｅＶのエネルギーであり、少なくとも10^{15}個／cm^2の線量のアルゴンイオンを前記表面へと注入するステップを含んでいる請求項７に記載の方法。
【請求項１０】
前記単結晶炭化ケイ素基板が、第１の導電型のものであって第１の導電型のドーパント濃度を有しており、前記単結晶炭化ケイ素領域が、第２の導電型のものであって前記単結晶炭化ケイ素基板とＰ－Ｎ接合を形成しており、前記単結晶炭化ケイ素領域上にオーミックコンタクトを形成するステップが、前記非晶質化するステップに先立って行われ、前記非晶質化するステップが、前記オーミックコンタクトをマスクとして用いて、電気的に不活性なイオンを前記表面へと注入することにより、前記第２の導電型の前記単結晶炭化ケイ素領域の一部を非晶質炭化ケイ素に変換することを含んでいる請求項６に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
発明の分野
本発明は炭化ケイ素半導体デバイスに関し、とりわけ炭化ケイ素出力半導体デバイスに関する。
発明の背景
出力デバイスは、大電流を流し高電圧を支えるために広く使用されている。１９５０年代初期以来、電子出力デバイスの開発者は、彼らの出力デバイスを、半導体デバイスを基礎としてして形成することを開始した。現在、多くのタイプの出力半導体デバイスが購入可能であり、出力整流器、出力バイポーラトランジスタ、電界効果形出力トランジスタ、バイポーラ／電界効果形出力デバイス、出力サイリスタ及びその他の２つ３つの以上の端子半導体デバイス等があるが、これらに限定されない。
現在市販されている大部分の出力半導体デバイスは、単結晶ケイ素で製造されている。しかし、当業者は周知のように単結晶炭化ケイ素はとりわけ、半導体デバイスに使用するのに適しており、とりわけ出力半導体デバイスに使用するのに適する。炭化ケイ素は幅広いバンドギャップ、高い融点、低い誘電率、高い降伏電界強度、高い熱伝導率及び高い飽和電子ドリフト速度を、ケイ素に比して有する。これらの特性により炭化ケイ素出力デバイスは、従来のケイ素ベースの出力デバイスに比してより高い温度、より高い出力レベル、より低い固有抵抗で動作できる。炭化ケイ素デバイスの優越性の理論的分析は、Bhatnagar及び共同発明人Baliga著の「出力デバイスのための６Ｈ－ＳｉＣ，３Ｃ－ＳｉＣ及びＳｉの比較（Comparison of 6H-SiC, 3C-Sic and Si for Power Devices）」との題名の論文（IEEE, Transactions on Electron Devices, 第40巻, 645～655頁, 1993年）に記載さ

れている。
炭化ケイ素の高い降伏電界強度を利用するために、理想的平行平面降伏電圧に近い降伏電圧を有するデバイスエッジ終端（edge terminal）を形成することが重要である。とりわけ、当業者にとっては周知であるように実際の出力デバイスにおいては、理想的設計を得るためにはエッジ効果を考慮することが必要である。エッジ終端は実際のデバイスの降伏電圧を、半無限デバイス解析による理論限界値より小さい値に制限する。デバイスの終端が劣悪であるとデバイスの降伏電圧は、理論的場合の１０～２０％程に低くなることもある。降伏電圧のこのような大幅な下落はデバイス設計を大幅に劣化し、定格電流の低減も招く。従って、半導体出力デバイスのデバイス領域の適切な終端の達成に集中的に努力が払われてきた。
特定の半導体材料で製造されたデバイスの終端方法は、別の半導体材料で形成されたデバイスを終端するためには使用できない。例えばケイ素では多数の出力デバイスエッジ終端が提案された。これらの出力デバイスエッジ終端は、共同発明人Baliga著の教科書「最新の出力デバイス（Modern Power Devices）」（John Wiley & Sons, 1987年, 79～129頁）に詳細に説明されている。前述のように、プレーナ拡散を基礎とする終端（terminal）は、これらの処理工程が容易であることに起因して最も広く使用されている。しかし残念ながらこれらの終端は、炭化ケイ素での製造では困難である、何故ならば炭化ケイ素でのＰ－Ｎ接合は、従来のイオン注入及び拡散法では困難であるからである。別のよく知られているケイ素デバイス終端技術は、ベベルエッジ又はメサエッジを形成することによりデバイスエッジを物理的に変化させる。しかし、炭化ケイ素でこれらの幾何学的形状を形成することは困難である、何故ならばケイ素をエッチングすることは困難であり、更に、エッチング処理により発生する損傷を除去すことも困難であるからである。
ヒ化ガリウム接合の降伏電圧を改善する技術は、Shimamoto et al.著の論文「イオン注入の損傷形成によるＧａＡｓ接合の降伏電圧特性の改善（Improvement of Breakdown Voltage Characteristics of GaAs Junction by Damage-Creation of Ion-Implantation）」（Institute of Physics Conference Series, No. 120, 第４章, 199～202頁, 1992年）に説明されている。この論文によるとイオン注入が、注入損傷を形成するために接合エッジの周りに行われる。次いで適切な焼きなましステップが行われる。
炭化ケイ素デバイスを終端するいくつかの技術も提案された。Bhatnagar et al.著の「高圧ＳｉＣショットキーバリヤ整流器のためのエッジ終端（Edge Terminations for High Voltage SiC Schottky Barrier Rectifiers）」（International Symposium on Power Semiconductor Devices, 1993年会報, 要約4.2, 89～94頁, 1993年）によると、例えばフローティングメタルフィールドプレート終端は、降伏電圧を２１０Ｖから４００Ｖに改善することが分かり、抵抗性フィードプレート終端は、降伏電圧を５００Ｖに改善することが分かった。炭化ケイ素のための理想的な平行プレート降伏電圧は約９００Ｖであるのでこれらのエッジ終端技術は、理想値の約６０％の降伏電圧を達成している。炭化ケイ素出力ＭＯＳＦＥＴのためのフローティングフィールドリング及びフローティングフィードプレート終端が、共同発明人Baligaの米国特許第5,233,215号明細書に開示されている。
前述の説明を考慮すると、炭化ケイ素にとりわけ適切であり、デバイス降伏電圧を理想値に近づけるデバイス終端及び製造法の不断の必要性が存在する。
発明の要約
本発明の課題は、改善された炭化ケイ素出力デバイスを提供することにある。
本発明の別の１つの課題は、炭化ケイ素出力デバイスのための改善された終端を提供することにある。
本発明の更に別の１つの課題は、従来の炭化ケイ素処理ステップを使用して製造できる炭化ケイ素出力デバイスのためのエッジ終端を提供することにある。
これらの及びその他の課題は本発明により、単結晶炭化ケイ素基板の面の単結晶炭化ケイ素基板面の中に炭化ケイ素出力デバイスに隣接しかつこれを取囲んで形成されている無定形（非晶質）炭化ケイ素領域により解決される。無定形炭化ケイ素領域は有利には、イオンを、炭化ケイ素デバイスを取巻く炭化ケイ素基板面の個所で無定形領域を形成するエネ

ルギー及び注入量で注入することにより形成される。いかなる理論にも拘束されることを望まないが、しかし、炭化ケイ素の大きいバンドギャップに起因して、無定形層は電圧を基板面に沿って分散する高い抵抗値を有すると思われる。基板面に沿っての改善された電圧分布は、デバイスエッジにおける電界を低減し、これにより降伏電圧を改善する。

本発明では炭化ケイ素半導体デバイスは、単結晶炭化ケイ素基板と、単結晶炭化ケイ素基板の中に形成され単結晶炭化ケイ素基板面に延在して到達している炭化ケイ素デバイスとを有する。無定形炭化ケイ素領域は単結晶炭化ケイ素基板の中に、炭化ケイ素デバイスに前記面の個所で隣接炭化ケイ素デバイスを前記面の個所で取巻く前記面の個所で形成される。炭化ケイ素デバイスが、単結晶炭化ケイ素基板の面に形成されているコンタクト（contact）領域を含む場合、無定形領域は有利には、コンタクト領域に隣接しこのコンタクト領域を取巻く面の個所で形成される。無定形炭化ケイ素領域は有利には、電気的に不活性のイオンを収容する。例えばアルゴンイオンがその中に含まれている。

単結晶炭化ケイ素デバイスのための前述のエッジ終端領域は有利には、炭化ケイ素半導体デバイスに隣接しこれを取巻く単結晶炭化ケイ素基板の面を無定形化して形成する。無定形化は有利には、電気的に不活性のイオンを、炭化ケイ素半導体デバイスに隣接する面に向け注入することにより行われる。終端領域は、イオン注入のためのマスクとして炭化ケイ素デバイスのための端子領域それ自体を使用することも可能である。

例えば耐降伏性炭化ケイ素ショットキーバリヤ整流器を形成する際、ショットキーコンタクトは、単結晶炭化ケイ素基板の面に形成される。この場合、アルゴンイオンは、炭化ケイ素基板の面の中に注入され、ショットキーコンタクトを取巻く薄い無定形炭化ケイ素領域を形成するように、有利には約３０ｋｅＶのエネルギーかつ少なくとも10^{15}／cm^2の注入量で注入される。ショットキーコンタクトは有利にはイオンが、コンタクトの下の炭化ケイ素基板の中に侵入することを阻止するのに充分な厚さを有する。注入の後、炭化ケイ素基板は焼きなましされず、従って無定形化された領域は無定形のままであり、注入損傷は修理されない。

本発明の炭化ケイ素半導体デバイスは、理想値に近い高い降伏電圧を有し、炭化ケイ素のための従来のイオン注入ステップを使用して製造できる。これにより、高い性能のデバイスが得られる。

【図面の簡単な説明】

図１Ａ～１Ｄは本発明による炭化ケイ素ショットキーバリヤ整流器の中間の製造ステップにおける横断面、図２Ａ～２Ｄは本発明による炭化ケイ素Ｐ－Ｎ接合整流器の中間の製造ステップにおける横断面、図３は本発明によるアルゴン原子の注入調量を対正規化降伏電圧に対して示す線図、図４は本発明による逆バイアス電圧の関数として漏洩電流を示す線図である。

有利な実施の形態の詳細な説明

次に本発明を、本発明の有利な実施の形態が示されている添付図面を参照して詳細に説明する。しかし本発明は多くの異なる形で実施でき、本明細書に記載の実施の形態に制限されない。すなわち、これらの実施の形態は本明細書の開示内容が完璧かつ完全となり、当業者に本発明の範囲を完全に伝えるために提供される。図面において層及び領域の厚さは、明瞭のために誇張されて示されている。すべての図において同一の参照番号が同一のエレメントに付与されている。

図１Ａ～１Ｄにおいて本発明による高圧形耐降伏性単結晶炭化ケイ素半導体デバイスが示されている。図１Ａ～１Ｄは耐降伏性ショットキーバリヤ整流器の形成工程を示す。しかし当業者には本発明が、任意の炭化ケイ素出力デバイスのための耐圧性エッジ終端領域を形成するのに利用できることは自明である。

図１Ａにおいて単結晶炭化ケイ素基板１１は、比較的強くドープされており、図１ＡにおいてＮ＋により示されている第１の部分１２を有する。比較的軽くドープされている第２の部分１３は、図１ＡにおいてＮ－により示されている。領域１３は典型的には「ドリフト」領域と呼称される。例えばチタン等から成るショットキーバリヤコンタクト１４が、炭化ケイ素基板１１の面２２に形成されている。図１Ａはショットキーバリヤ整流器を示

すので、ショットキーバリヤコンタクト１４のエッジは炭化ケイ素デバイスのエッジ２１の境界を定める。当業者には、例えば電界効果形出力トランジスタ等のその他のデバイスにおいてはデバイスエッジは複数のコンタクトを取囲む境界線となることは自明である。炭化ケイ素ショットキーバリヤ及びその他の炭化ケイ素デバイスの設計及び形成工程は当業者には周知であり、本明細書で説明する必要はない。

図１Ｂにおいて、電気的に不活性のイオン１５が炭化ケイ素基板の面２に向けられている。有利にはコンタクト１４の厚さ及び／又はその他の特性は、コンタクト１４がイオン１５を阻止し、イオンが炭化ケイ素基板１１の中に侵入するのを防止するように選ばれる。図１Ｃに示されているように、イオン１５は炭化ケイ素基板２２のコンタクト１４が隣接し、かつコンタクト１４を部分的に取囲む個所で侵入し、無定形（非晶質）炭化ケイ素終端領域１６を形成する。イオン１５の注入量及びエネルギーは注入された個所２２の炭化ケイ素１１を無定形化するように選択される。イオンを炭化ケイ素基板の中に注入して、この炭化ケイ素基板の中に無定形領域を形成することは、共同発明人Baligaの米国特許第５２７０２４４号明細書に説明されており、この明細書の開示内容は本明細書により引用により本明細書の中に組込まれている。異なるエネルギーで注入を複数回行って、所望の深さの無定形領域を得ることも可能である。炭素、ヘリウム、ケイ素、水素、ネオン及びその他のイオンを使用できる。１回又は複数回の注入の後に焼きなましを行わず、従って無定形化された領域１６は無定形のままである。

最後に、図１Ｄにおいてショットキーバリヤ整流器１０は、第１の基板部分１２に隣接するオーミックコンタクト（オーム接触）１８を形成し、陽極電極１７及び陰極電極１９を形成し、これによりショットキーバリヤコンタクト１４とオーミックコンタクト１８とをそれぞれ電気的にコンタクトすることにより完成される。

図２Ａ～２Ｄは本発明による耐降伏性Ｐ－Ｎ接合整流器の形成工程を示す。図２Ａに示されているようにＰ－Ｎ接合整流器はＰ＋炭化ケイ素領域３０を面２２の個所に有する。Ｐ＋領域３０は、拡散又は注入を使用して形成できる。Ｐ－Ｎ接合を炭化ケイ素の中に形成する１つのとりわけ有益な方法は、本発明人及びBhatnagarにより「炭化ケイ素の中にＰ－Ｎ接合を形成する方法（Method for Forming a P-N Junction in Silicon Carbide）」の題名で１９９３年１月２５日に出願された米国特許出願第08／008,203号に説明され、この出願は、１９９４年６月７日発行の米国特許第5,318,915号となり、この明細書の開示内容は本明細書の中に引用により組込まれている。図２Ａにおいてコンタクト１４は、Ｐ＋炭化ケイ素領域１０を有するオーミックコンタクトを形成する。チタンを使用して、領域３０へのオーミックコンタクトを形成することもできる。図２Ａ～２Ｄに示されている残りの処理工程は、図１Ａ～１Ｄに関連して説明した処理工程と同一であり、再度の説明は省略する。

例

本発明による無定形炭化ケイ素エッジ終端領域の効果を示すために、終端されているチタンショットキーバリヤダイオードの性能と終端されていないチタンショットキーバリヤダイオードの性能とを比較した。チタンショットキーバリヤダイオードは強度にドープされているＮ形６Ｈ炭化ケイ素基板１２の上に$2\times10^{16}cm^{-3}$のドーピング密度と１０μｍの厚さでＮ形６ＨＳｉＣ蒸着層１３をエピタキシャル蒸着して形成された。ショットキーバリヤダイオードを形成する前に炭化ケイ素ウェーハはフアンクリーン（Huang clean）を施された。円形ショットキーバリヤダイオード（３００μｍの直径）は、シャドーマスクを装着し、次いでＴｉ（２０００オングストローム）及びＡｌ（１００００オングストローム）を蒸着して層１４を形成することにより形成された。Ｔｉ／Ａｌ層は、強度にドーピングされている基板に蒸着されているブランケットでもよく、これにより広い領域の背面オーミックコンタクト１８が形成される。

メタライゼーションの後、ウェーハの４つのサンプル群が、異なる注入量のアルゴン注入１５により処理された。第１群の中には注入は行われなかった。この群１の中のダイオードは「終端されていない」ダイオードと呼称される。群２，３及び４の中の注入調量はそれぞれ$1\times10^{12}cm^{-2}$、$3.1\times10^{13}cm^{-2}$、及び$1\times10^{15}cm^{-2}$である。これら

すべての場合の注入エネルギーは約３０ｋｅＶである。注入エネルギーは、イオンが完全にＴｉ／Ａｌ層１４により阻止され、これによりショットキーバリヤダイオードのオン状態特性の劣化を効果的に防止する値として選ばれた。
ショットキーバリヤダイオードの特性は、順方向及バイアス及び逆方向バイアスの双方で評価された。電流・電圧（ＩＶ）測定は、ケイスレーモデル（Keithley model）２５１ＩＶテストシステムを使用して行われた。ＩＶ測定の前にＮ形蒸着層１３のドーピング密度が、容量電圧（ＣＶ）分析を用いて実験的に測定された。その結果、１．９×10^{16}ｃｍ$^{-3}$と２．１×10^{16}ｃｍ$^{-3}$との間で変動することが分かり、平均値は２×10^{16}ｃｍ$^{-3}$であった。蒸着層ドーピングのこのレンジに対応する理想的な平行平面降伏電圧は９５０～１０２０Ｖである。理想的平行平面降伏電圧の計算は、メサ終端されているデバイスの公表されている降伏電圧を基礎にした。
これらのショットキーバリヤダイオードの降伏電圧での終端効果を調べるために逆ＩＶ測定が行われた。降伏電圧は、複数のダイオードに対してそれぞれのサンプル群において測定された。降伏電圧は注入調量の増加とともに漸進的に改善された。終端されていないショットキーバリヤダイオードは最小の降伏電圧（３５８±１１Ｖ）であった。降伏電圧は、図３に示されているように調量の増加とともに増加した。理想的降伏電圧は、ドーピング変動に起因して帯となる。図示のようにサンプル群４では理想的平行平面降伏電圧が達成された。
図示のように10^{14}ｃｍ^{2}より大きいアルゴン注入量は理想的電圧の少なくとも６５％の降伏電圧を達成する。この調量は、前述の島本の論文に記載のヒ化ガリウムデバイスの中へのイオン注入のための記載されている注入量より大幅に大きく、この島本の文書によるとヒ化ガリウムの中へのイオン注入の後の最大降伏電圧は、５×10^{12}／ｃｍ^{2}の注入量において得られている。５×10^{13}／ｃｍ^{2}の調量において降伏電圧は、イオン注入無しの降伏電圧に低下して到達することが分かった。これらの注入量は、無定形層の形成に必要な値より小さかった。更に、Shimamotoの文書にはダイオードは３００～５００℃で焼きなましし、これにより鋭い降伏を有する小さい漏洩電流を得ることが記載されている。この付加的な処理は、炭化ケイ素の中の良好なショットキーバリヤインターフェースを保持するのに有害である。
図４は、逆バイアスでの４つのサンプル群のＩＶ曲線を示す。高い逆バイアス電圧では、終端されているショットキーバリヤダイオードの漏洩電流は、終端されていないショットキーバリヤダイオードの漏洩電流より小さかった。しかし、小さい逆バイアス電圧では、終端されていないショットキーバリヤダイオードの漏洩電流は、終端されているショットキーバリヤダイオードの漏洩電流より小かった。順方向ＩＶ測定も４つのサンプル群の方向で行われた。ＩＶ特性はすべてのサンプル群において同一であり、これは注入がダイオードのオン状態特性に何等の影響も有しないことを示す。
無定形炭化ケイ素終端領域１６の寸法は、炭化ケイ素デバイスの寸法、ドーピングの程度、作動パラメータ等の関数として変わる。通常、デバイスの降伏電圧が増加すると終端領域の幅も増加する。終端領域は通常は、デバイスの中の欠乏領域幅に比して大幅に広い。例えば１０００Ｖデバイスにおいて１００μｍのオーダの終端幅が予期され、欠乏領域幅１０μｍより小さい。
非晶質炭化ケイ素終端領域は、Beligaとの共同発明である米国特許第５，３９９，８８３号公報の「High Voltage Silicon Carbide MESFETs and Methods of Fabricating Same」という題名の炭化ケイ素横方向ＭＥＳＦＥＴにおいて図示されており、これを引用することにより本明細書の一部をなすものとする。結論として、プロセスの複雑性を僅かしか高めず、その他の望ましいデバイス特性を大幅に変化させずに、無定形炭化ケイ素終端領域により炭化ケイ素半導体デバイスの降伏特性を理想値に接近できる。無定形炭化ケイ素終端領域は、高抵抗の薄層を表面の個所に、デバイスエッジを越えて形成するものと思われる。この層は、表面に沿っての電位の変化を少なくし、これによりエッジ電界が低減される。
図面及び明細書において本発明の典型的な有利な実施の形態が開示され、特定の用語が使

用されたにもかかわらず、これらの実施の形態は全般的なかつ説明的な意味でのみ使用されており、制限を目的に使用されているのではなく、発明の範囲は請求の範囲に記載されているものである。

【図１Ａ】

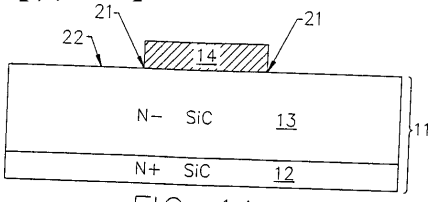

FIG. 1A.

【図１Ｂ】

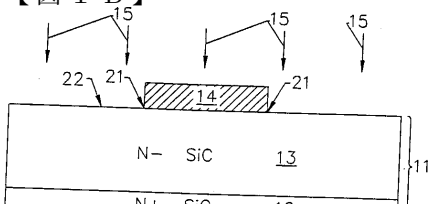

FIG. 1B.

【図１Ｃ】

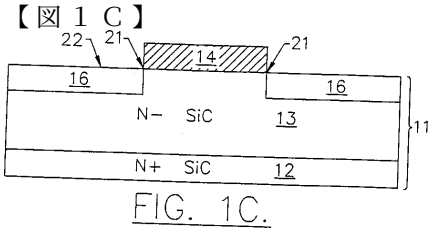

FIG. 1C.

【図１Ｄ】

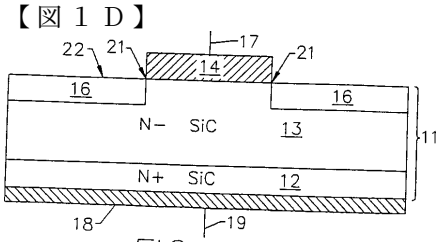

FIG. 1D.

【図２Ａ】

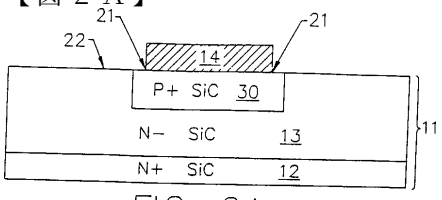

FIG. 2A.

【図２Ｂ】

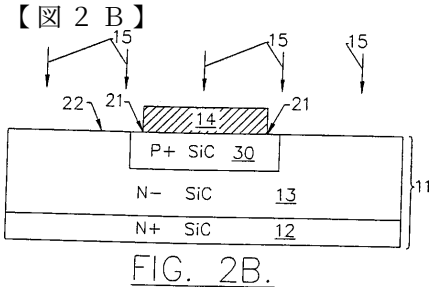

FIG. 2B.

【図２Ｃ】

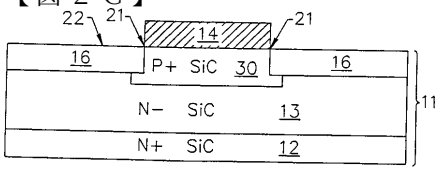

FIG. 2C.

【図２Ｄ】

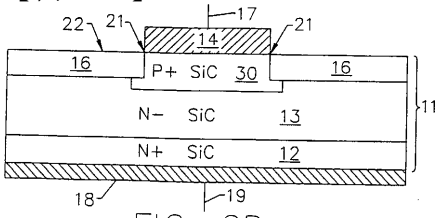

FIG. 2D.

【図３】

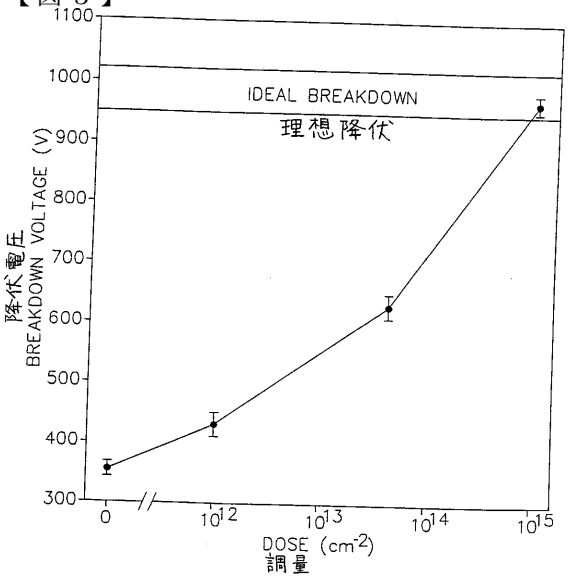

FIG. 3.

【図４】

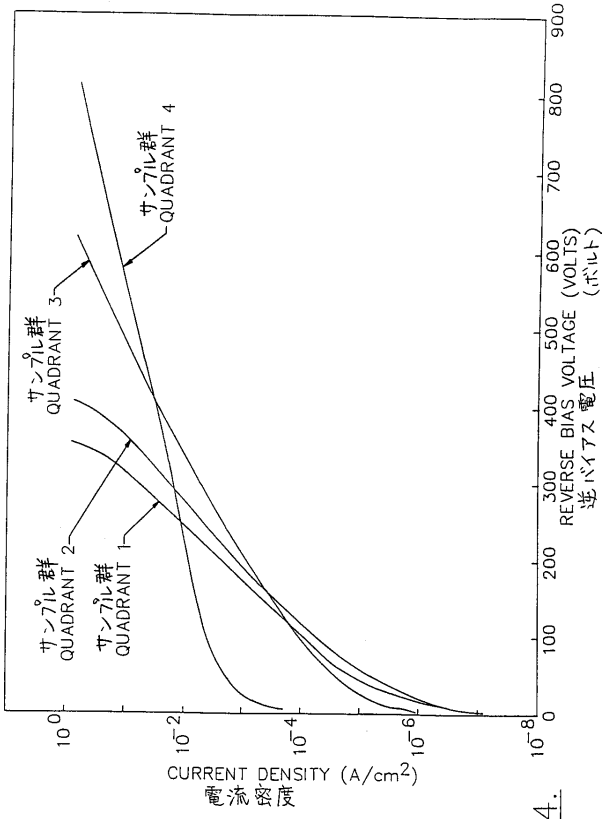

FIG. 4.

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H01L 21/265 (2006.01) H01L 21/265 Q

(72)発明者 バリガ，バントヴァル・ジェヤン
アメリカ合衆国、２７６１３ ノース・キャロライナ、ローリー、ベンブリッジ・ドライヴ ２６１２
(72)発明者 アロク，デヴ
アメリカ合衆国、２７６０６ ノース・キャロライナ、ローリー、アヴェント・フェリー・ロード ２５００－２０４

審査官 國島 明弘

(56)参考文献 特開平０１－０９８２６８（ＪＰ，Ａ）
米国特許第５２７０２４４（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５３９９８８３（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５４５９０８９（ＵＳ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 29/47
H01L 21/265
H01L 21/329
H01L 29/06
H01L 29/861
H01L 29/872