

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6052911号
(P6052911)

(45) 発行日 平成28年12月27日 (2016. 12. 27)

(24) 登録日 平成28年12月9日 (2016. 12. 9)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 L 21/336 (2006. 01)	HO 1 L 29/78	3 O 1 G
HO 1 L 29/78 (2006. 01)	HO 1 L 29/78	3 O 1 B
HO 1 L 29/12 (2006. 01)	HO 1 L 29/78	6 5 2 T
HO 1 L 21/316 (2006. 01)	HO 1 L 29/78	6 5 8 F
HO 1 L 21/22 (2006. 01)	HO 1 L 21/316	X
請求項の数 9 (全 16 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2014-523931 (P2014-523931)	(73) 特許権者	592054856
(86) (22) 出願日	平成24年6月22日 (2012. 6. 22)		クリー インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2014-527717 (P2014-527717A)		C R E E I N C .
(43) 公表日	平成26年10月16日 (2014. 10. 16)		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/US2012/043699		7 7 0 3 ダラム シリコン ドライブ
(87) 国際公開番号	W02013/019334		4 6 0 0
(87) 国際公開日	平成25年2月7日 (2013. 2. 7)	(73) 特許権者	514029337
審査請求日	平成26年4月2日 (2014. 4. 2)		オーバーン ユニヴァーシティ
(31) 優先権主張番号	13/196, 994		アメリカ合衆国 アラバマ州 3 6 8 4 9
(32) 優先日	平成23年8月3日 (2011. 8. 3)		オーバーン サンフォード ホール 3
(33) 優先権主張国	米国 (US)		0 9
前置審査		(74) 代理人	100092093
			弁理士 辻居 幸一
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 セシウムイオンで酸化物界面を処理することによって高チャネル移動度を有する Si C MOS FETの形成

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体構造を形成する方法であって、
絶縁層を半導体層上に与える段階と、
セシウムイオン源を前記絶縁層上に堆積させる段階と、
セシウムイオンを前記セシウムイオン源から前記絶縁層の中に拡散させる段階と、
を含み、
セシウムイオンを前記絶縁層の中に拡散させる段階は、該絶縁層をアニールする段階を含み、

前記セシウムイオン源を堆積させる段階は、前記絶縁層を Cs Cl 溶液中で沸騰させる段階を含み、

前記絶縁層を形成する段階は、該絶縁層を形成する段階、及び窒素を含む環境中で該絶縁層をアニールする段階を含み、前記絶縁層上に前記セシウムイオン源を堆積させる前に前記絶縁層を窒化し、

セシウムイオンを前記絶縁層の中に拡散させる段階は、セシウムイオンを前記窒化した絶縁層の中に拡散させる段階を含む、

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

セシウムイオンを前記絶縁層の中に拡散させる段階は、セシウムイオンを該絶縁層と前記半導体層の間の界面に拡散させる段階を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記絶縁層を CsCl 溶液中で沸騰させる段階は、該絶縁層を 0.1 M から 1 M の CsCl 水溶液中で 90 から 100 の温度で 1 分から 60 分にわたって沸騰させる段階を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記絶縁層をアニールする段階は、該絶縁層を 700 から 1000 の間の温度でアニールする段階を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記半導体層は、炭化珪素を含み、前記絶縁層は、二酸化珪素を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 6】

電界効果トランジスタデバイスを形成する方法であって、
半導体層を与える段階と、
前記半導体層にチャネル領域を定める離間したソース領域及びドレイン領域を該半導体層に形成する段階と、
前記チャネル領域にわたって前記半導体層上に絶縁層を与える段階と、
セシウムイオン源を前記絶縁層上に堆積させる段階と、
セシウムイオンを前記セシウムイオン源から前記絶縁層の中に拡散させる段階と、
ゲート電極を前記絶縁層上に形成する段階と、
ソース接点を前記ソース領域上に形成する段階と、
を含み、
セシウムイオンを前記絶縁層の中に拡散させる段階は、該絶縁層をアニールする段階を含み、

20

前記セシウムイオン源を堆積させる段階は、前記絶縁層を CsCl 溶液中で沸騰させる段階を含み、

前記絶縁層を形成する段階は、該絶縁層を形成する段階、及び窒素を含む環境中で該絶縁層をアニールする段階を含み、前記絶縁層上に前記セシウムイオン源を堆積させる前に前記絶縁層を窒化し、

セシウムイオンを前記絶縁層の中に拡散させる段階は、セシウムイオンを前記窒化した絶縁層の中に拡散させる段階を含む、

30

ことを特徴とする方法。

【請求項 7】

セシウムイオンを前記絶縁層の中に拡散させる段階は、セシウムイオンを該絶縁層と前記半導体層の間の界面に拡散させる段階を含むことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記絶縁層を CsCl 溶液中で沸騰させる段階は、該絶縁層を 0.1 M の CsCl 水溶液中で 95 の温度で 10 分にわたって沸騰させる段階を含むことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

前記半導体層は、炭化珪素を含み、前記絶縁層は、二酸化珪素を含むことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パワーデバイスを製作する方法及び得られるデバイス、より具体的には、炭化珪素パワーデバイス及び炭化珪素パワーデバイスを製作する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

電力半導体デバイスは、大電流を搬送し、かつ高電圧を支持するために広く使用される。最近のパワーデバイスは、一般的に単結晶シリコン半導体材料から製作される。1つの

50

広く使用されるパワーデバイスは、パワー「金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）」である。パワーMOSFETにおいて、制御信号は、二酸化珪素である場合があるがこれに限定されない介在する絶縁体により半導体表面から分離されたゲート電極に供給される。電流電導は、バイポーラトランジスタ作動に使用される少数キャリア注入の存在がなくても多数キャリアの搬送を通じて発生する。パワーMOSFETは、優れた安全作動区域を与えることができ、かつ単位セル構造体において並列化することができる。

【0003】

当業者に公知のように、パワーMOSFETは、横方向構造又は垂直構造を含むことができる。横方向構造において、ドレイン、ゲート、及びソース端子は、基板の同じ面上にある。これとは対照的に、垂直構造において、ソース及びドレインは、基板の反対面上にある。

10

【0004】

1つの広く使用されるシリコンパワーMOSFETは、二重拡散処理を用いて製作される二重拡散MOSFET（DMOSFET）である。これらのデバイスにおいて、pベース領域及びn+ソース領域は、マスク内の共通の開口部を通じて拡散される。pベース領域は、n+ソースよりも深く駆動される。pベース領域とn+ソース領域の間の横方向拡散の差により、表面チャネル領域が形成される。

【0005】

最近のパワーデバイス開発努力は、パワーデバイスのための炭化珪素（SiC）デバイスの使用の調査も含んでいる。炭化珪素（SiC）は、それを高温、高電圧、高周波数、及び高電力電子デバイスのための半導体材料に対して魅力的にする電気及び物理特性の組合せを有する。これらの特性は、3.0 eVバンドギャップ、4 mV/cm電界破壊、4.9 W/cm-K熱伝導率及び 2.0×10^7 cm/s電子ドリフト速度を含む。

20

【0006】

その結果、これらの特性は、炭化珪素パワーデバイスが、より高い温度、より高い電力レベル、及び/又は従来のシリコンベースのパワーデバイスよりも低い特定のオン抵抗で作動することを可能にすることができる。シリコンデバイスに対して炭化珪素デバイスの優位性の理論的な解析は、Bhatnagar他著「パワーデバイスのための6H-SiC、3C-SiC、及びSiの比較（Comparison of 6H-SiC, 3C-SiC and Si for Power Devices）」、IEEE電子デバイス研究論文、第40巻、1993年、645~655頁による文献に見られる。炭化珪素に製作されたパワーMOSFETは、Palmourに付与されて本発明の出願人に譲渡された「炭化珪素でのパワーMOSFET」という名称の米国特許第5,506,421号明細書に説明されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第5,506,421号明細書

【特許文献2】米国特許第6,559,068号明細書

【特許文献3】米国特許第7,727,904号明細書

【特許文献4】米国特許第5,972,801号明細書

【特許文献5】米国特許第7,067,176号明細書

【特許文献6】米国特許第6,767,843号明細書

【特許文献7】米国特許第6,610,366号明細書

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】Bhatnagar他著「パワーデバイスのための6H-SiC、3C-SiC、及びSiの比較（Comparison of 6H-SiC, 3C-SiC and Si for Power Devices）」、IEEE電子デバイス研

40

50

究論文、第40巻、1993年、645～655頁

【非特許文献2】G. Y. Chung他著、IEEE電子デバイスレター、22、76（2001年）

【非特許文献3】E. O. Sveinbjornsson他著「Si面4H-SiCのナトリウム強化酸化：界面近くのトラップを除去する方法（Sodium Enhanced Oxidation of Si-face 4H-SiC: a Method to Remove Near Interface Traps）」、材料科学フォーラム、第556-557巻、487～492頁（2007年）

【非特許文献4】Y. Wang他著「セシウム注入による4H-SiC MOS特性の最適化（Optimization of 4H-SiC MOS Properties with Cesium Implantation）」、材料化学フォーラム、第600～603巻、751～754頁（2009年）

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

4H-SiCパワーDMOSFETは、従来の高電圧Si電源スイッチに優る有意な利点を提供する可能性を有する。しかし、残念ながら、満足できるゲート酸化物をこれらのデバイスのために成長させることは困難である場合がある。多くの努力は、デバイスのチャネル移動度（ μ_{CH} ）を増大させるために、SiC/SiO₂界面での界面トラップ密度（ D_{IT} ）を低減することに着目してきた。1175 での一酸化窒素（NO）アニールにより、 μ_{CH} は、1桁から～30 cm²/Vsまで増大した。例えば、G. Y. Chung他著、IEEE電子デバイスレター、22、76（2001年）を参照されたい。研究者は、金属不純物を含む環境における酸化により、より高いチャネル移動度（～150 cm²/Vs）さえも明らかにしている。例えば、米国特許第6,559,068号明細書を参照されたい。しかし、このような処理は、有意な酸化物汚損をもたらす場合があり、無制御の酸化速度（ $t_{ox} > 1500$ ）をもたらす場合があり、及び/又はオーミック接触アニールに使用することができるような高温処理段階に適合しない場合がある。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

一部の実施形態による半導体構造を形成する方法は、絶縁層を半導体層上に与える段階と、セシウムイオンを絶縁層の外側のセシウムイオン源から絶縁層の中に拡散させる段階とを含む。

30

【0011】

セシウムイオンを絶縁層の中に拡散させる段階は、セシウムイオンを絶縁層と半導体層の間の界面に拡散させる段階を含むことができる。

【0012】

本方法は、セシウムイオンを絶縁層の中に拡散させる前にセシウムイオン源を絶縁層上に堆積させる段階を更に含むことができる。セシウムイオン源を堆積させる段階は、絶縁層をCsCl溶液中で沸騰させる段階を含むことができる。特定の実施形態において、絶縁層をCsCl溶液中で沸騰させる段階は、絶縁層を0.01Mから1MのCsCl水溶液中で約90から100の温度で1から60分にわたって沸騰させる段階を含むことができる。

40

【0013】

本方法は、絶縁層を窒化する段階を更に含むことができる。絶縁層を窒化する段階は、絶縁層を形成する段階、及び/又は窒素を含む環境中で絶縁層をアニールする段階を含むことができる。

【0014】

セシウムイオンを絶縁層の中に拡散させる段階は、絶縁層を約700を超える温度でアニールする段階を含むことができる。特に、セシウムイオンを絶縁層の中に拡散させる段階は、絶縁層を約700と約1000の間の温度でアニールする段階を含むことが

50

できる。

【0015】

絶縁層を与える段階は、半導体層を熱的に酸化させる段階を含むことができる。他の実施形態において、絶縁層を与える段階は、絶縁層を半導体層上に堆積させる段階を含むことができる。

【0016】

半導体層は、炭化珪素を含むことができ、絶縁層は、二酸化珪素を含むことができる。

【0017】

一部の実施形態による電界効果トランジスタデバイスを形成する方法は、半導体層を与える段階と、半導体層にチャネル領域を定める離間したソース及びドレイン領域を半導体層に形成する段階と、チャネル領域にわたって半導体層上に絶縁層を与える段階と、セシウムイオンを絶縁層の中に拡散させる段階と、ゲート電極を絶縁層上に形成する段階と、ソース接点をソース領域上に形成する段階とを含む。

10

【0018】

本発明の更なる理解を提供するために含められ、かつ本出願に組み込まれてその一部を形成する添付図面は、本発明のある一定の実施形態を例示するものである。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の一部の実施形態による横方向MOSFETの断面図である。

【図2】本発明の一部の実施形態による垂直パワーMOSFETの断面図である。

20

【図3A】本発明の一部の実施形態による酸化物/半導体界面の処理を概略的に示すバンド図である。

【図3B】本発明の一部の実施形態による酸化物/半導体界面の処理を概略的に示すバンド図である。

【図4】一部の実施形態によって処理されたSiC/SiO₂サンプルのラザフォード後方散乱スペクトルのグラフである。

【図5】本発明の一部の実施形態によって形成された横方向MOSFETデバイス並びに従来の技術によって形成されたMOSFETデバイスに対して室温で測定されたチャネル移動度とゲート電圧のグラフである。

【図6】本発明の一部の実施形態によって形成されたMOSFETデバイスの電流 - 電圧伝達特性のグラフである。

30

【図7】一部の実施形態による方法を示す流れ図である。

【図8】一部の実施形態による方法を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本発明を本発明の好ましい実施形態を示す添付図面を参照して以下でより完全に説明する。本発明は、多くの異なる形態に実施することができるので本明細書に説明する実施形態に限定されないと解釈しなければならない。むしろ、これらの実施形態は、本発明の開示が徹底的かつ完全であり、かつ本発明の範囲を当業者に完全に伝達するように示されている。図面では、層及び領域の厚みは、明瞭さを期すために誇張されている。同じ数字は、全体を通して同様の部分を指す。

40

【0021】

本明細書で使用する時の「及び/又は」という用語は、関連の記載品目の1つ又はそれよりも多くの全ての組合せを含む。第1、第2、第3のような用語を本明細書で使用して様々な要素、構成要素、領域、材料、層、及び/又は部分を説明することができるが、これらの要素、構成要素、領域、層、及び/又は部分は、これらの用語により制限されないことは理解されるであろう。これらの用語は、1つの要素、構成要素、領域、層、材料、又は部分を別の要素、構成要素、領域、層、材料、又は部分と区別するのに使用されるに過ぎない。従って、以下に説明する第1の要素、構成要素、領域、層、材料、又は部分は、本発明の教示から逸脱することなく第2の要素、構成要素、領域、層、材料、又は部分

50

と呼ぶことができる。

【0022】

本明細書で用いる用語は、特定の実施形態を説明することだけを目的したものであり、本発明を制限しないことを意図している。本明細書で使用する時の単数形「a」、「an」、及び「the」は、その語が明示的に他の場合を示さない限り、複数形も含むことを意図とする。「includes」、「including」、「comprises」、及び/又は「comprising」という用語は、本明細書に使用する時に定まった特徴、整数、段階、作動、要素、及び/又は構成要素の存在を指定するが、1つ又はそれよりも多くの他の特徴、整数、段階、作動、要素、構成要素、及び/又はその群の存在又は追加を排除しないことは更に理解されるであろう。

10

【0023】

本発明の実施形態は、本発明の理想化された実施形態（及び中間構造体）の概略図である断面図を参照して本明細書に説明する。層の厚み及び図面内の領域は、明瞭さを期すために誇張される場合がある。更に、例えば、製造技術及び/又は公差の結果として、図の形状からの変形を予想することができる。従って、本発明の実施形態は、本明細書に示す領域の特定の形状に限定されないものと解釈しなければならない。例えば、製造から生じる形状の偏りを含むべきである。例えば、矩形であるように示す注入された領域は、典型的に、注入された領域から注入されていない領域への個別の変化ではなく、丸いか又は湾曲した特徴及び/又は縁部でのインプラント濃度の勾配を有することになる。同様に、注入によって形成された埋込み領域は、埋込み領域と注入が行われる面との間の領域に何らかの注入をもたらす場合がある。従って、図に示す領域は、本質的には概略的であり、領域の形状は、デバイスの領域の実際の形状を示すことを目的としておらず、かつ本発明の範囲を制限することを目的としていない。

20

【0024】

層、領域、又は基板のような要素が別の要素「上に」あるか又は別の要素「の上に」延びるといふ時に、それは、他の要素のすぐ上にあるか又は他の要素のすぐ上に延びることができ、又は介在要素も存在することができることは理解されるであろう。これとは対照的に、要素が別の要素の「すぐ上に」あり、又は別の要素の「すぐ上に延びる」といふ時は、介在する要素は存在しない。要素が別の要素に「接続された」又は「結合された」といふ時に、他の要素に直接に接続又は結合することができ、又は介在する要素が存在する場合があることも理解されるであろう。これとは対照的に、要素が別の要素に「直接に接続された」又は「直接に結合された」といふ時は、介在する要素は存在しない。

30

【0025】

別段の定義がない限り、本明細書で使用する全ての専門用語及び科学用語は、本明細書が属する技術分野の当業者により一般的に理解されるものと同じ意味を有する。用語は、一般的に用いられる辞書で定義されるように、本明細書及び関連技術との関連における意味と合致する意味を有すると解釈しなければならない。かつ明示的に本明細書で定義されない限り、理想化したか又は過度に格式ばった意味で解釈しないこととするは更に理解されるであろう。

【0026】

上述したように、高電圧SiC MOSFETデバイスの開発を制限する1つのファクタは、SiC/SiO₂界面に沿った界面トラップという問題である。しかし、界面トラップという問題は、SiC/SiO₂界面に限定されない。界面トラップは、ポリシリコン、非晶質シリコン、窒化ガリウムなどで形成されたMOSFETのように他のタイプの材料システムで形成されたMOSFETにおいて移動度を低減する可能性がある。

40

【0027】

開示内容が引用により本明細書に組み込まれている本出願と同一の本出願人に譲渡された2010年6月1日に付与された「高い反転層移動度を有するSiC Mosfetを形成する方法」という名称の米国特許第7,727,904号明細書に開示されるような金属により容易にされる酸化は、界面トラップの密度を低減し、従って、チャンネル移動度

50

が増大することが見出されている。

【0028】

ごく最近では、形成中の酸化物層の意図的な汚損によるSiC/SiO₂界面へのナトリウムの組み込みが調査され、E. O. Sveinbjornsson他著「Si面4H-SiCのナトリウム強化酸化：界面近くのトラップを除去する方法(Sodium Enhanced Oxidation of Si-face 4H-SiC: a Method to Remove Near Interface Traps)」、材料科学フォーラム、第556-557巻、487~492頁(2007年)に説明されているように界面トラップを低減することが見出されている。しかし、ナトリウムは、SiO₂中では移動度が高く、それによってMOSFETデバイス内に温度不安定をもたらす場合がある。特に、ナトリウムは、ゲート不安定性を100 から200 の作動温度でデバイスに引き起こす場合がある。

10

【0029】

堆積された酸化物へのCs⁺イオンの注入によるSiC/SiO₂界面へのセシウムの組み込みが調査され、Y. Wang他著「セシウム注入による4H-SiC MOS特性の最適化(Optimization of 4H-SiC MOS Properties with Cesium Implantation)」、材料化学フォーラム、第600~603巻、751~754頁(2009年)に説明されているように界面トラップの密度が低減されることが見出されている。セシウムは、SiO₂中ではナトリウムほど移動度がない。しかし、Cs⁺イオンの注入は、MOSFETゲート酸化物には望ましくないと考えられる注入損傷を酸化物層において誘発する可能性がある。Wangは、MOSコンデンサに関するものであることに注意しなければならない。Cs⁺イオンの注入により引き起こされる格子損傷は、酸化物下のキャリアの移動度に悪影響を与える可能性があり、従って、このような処理は、MOSFETデバイスに潜在的に不適切になる。Cs⁺イオンの注入は、酸化物が酸化物中でのインプラント損傷のために信頼性を欠くものになる恐れもある。

20

【0030】

本発明の実施形態は、改善した酸化物/半導体界面を有するMOSFETデバイスを含むMOSデバイスを提供する。特に、酸化物/半導体界面は、Cs⁺イオンを酸化物層形成後に界面に拡散することによって改善することができる。得られるデバイスは、デバイスをパワーMOSFET製作に適切にすることができる高い反転層移動度を示すことができる。特定の実施形態において、得られるデバイスは、ポリシリコン、非晶質シリコン、窒化ガリウムなどのような他の材料を使用して形成される4H-SiCパワーMOSFET及び/又はMOSFETを含むことができる。更に、Cs⁺イオンが比較的移動度がないので、酸化物/半導体界面を処理するためにCs⁺イオンを使用して、ナトリウムイオンの組み込みと比較して様々な利点を得ることができる。

30

【0031】

特に、一部の実施形態において、ゲート酸化物は、CsCl水溶液で処理され、その後、高温拡散が実行され、それによってCs⁺イオンの拡散により酸化物を通じてかつゲート絶縁物/半導体界面まで酸化物の面が形成される。正に帯電したCs⁺イオンは、負に帯電したトラップをゲート絶縁体/半導体界面で相殺することができ、それによってチャネル移動度を改善することができる。Cs⁺イオンは、例えば、ナトリウムイオンと比較すると、SiO₂のように絶縁体において比較的移動度がないので、Cs⁺イオンで処理されるデバイスのゲート電圧は、作動温度でより安定することができる。更に、拡散によるCs⁺イオンの組み込みは、Cs⁺イオン注入中に発生する可能性があるインプラント損傷を回避することができる。

40

【0032】

本発明の実施形態は、4H-SiCデバイスのチャネル移動度を約20 cm²/V·sから約100 cm²/V·sに増大させることができる。

【0033】

50

図1をここで参照すると、本発明の一部の実施形態による横方向MOSFETの実施形態が示されている。

【0034】

図1に示すように、Nチャネル横方向MOSFET10は、8°軸外(0001)導電4Hp型SiC結晶とすることができる基板12上で成長させたp型エピタキシャル層14を含む。炭化珪素の他のポリタイプ及び/又は軸外角度を基板12に使用することができる。他の実施形態において、基板12は、ポリシリコン、非晶質シリコン、及び/又は窒化ガリウムのような材料を含むことができる。

【0035】

一部の実施形態において、エピタキシャル層14は、約5µm又はそれよりも大きい厚みを有することができ、例えば、MOCVD処理を使用して構成することができ、かつ約 $5 \times 10^{15} - 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でホウ素及び/又はアルミニウムのようなp型不純物でドーピングすることができる。エピタキシャル層14は、一部の場合に5µm未満の厚みを有することができる。特定の実施形態において、エピタキシャル層14は、約5µmの厚みを有することができ、かつ約 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度を有することができる。一部の実施形態において、エピタキシャル層14のチャンネル領域は、イオン注入を通じてドーピングすることができ、かつ約 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度を有することができる。

【0036】

窒素及び/又はリンイオンは、n+ソース/ドレイン領域が約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 又はそれよりも大きいドーパント濃度を有するようにエピタキシャル層14に注入してn+ソース/ドレイン領域16を構成することができる。しかし、ソース/ドレイン領域16のドーパント濃度が 1×10^{20} よりも小さい場合に、熱的アニールが、オーム接触をこの領域上に形成するのに要求される場合がある。特定の実施形態において、n+ソース/ドレイン領域16は、約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度のリンでドーピングすることができる。インプラントは、例えば、Si超過圧力が存在する場合は1650 Arアニールにより活性化することができる。0.5µm厚の堆積酸化物層は、フィールド酸化膜(図示せず)として機能することができる。

【0037】

ソース/ドレイン領域16間のかつこの領域上へ延びるゲート絶縁層18が、エピタキシャル層14上に形成される。ゲート絶縁層18の厚みは、デバイスの望ましい作動パラメータに依存する場合がある。例えば、酸化物厚みを3MV/cmの最大電界に基づいて選択することが適切である場合がある。特に、ゲート絶縁層18は、約300の厚みを有することができる。

【0038】

ゲート絶縁層は、一部の実施形態においてSiO₂を含むことができる。しかし、他の実施形態において、ゲート絶縁層18は、窒化珪素のような異なる絶縁材料を含むことができる。

【0039】

ゲート絶縁層18は、例えば、米国特許第5,972,801号明細書に説明されるように、例えば、乾燥O₂での酸化段階、次に、湿潤O₂での再酸化(ReOx)を含む多段酸化工程を使用して成長させるSiO₂層とすることができ、この特許の開示内容は、全体が引用により本明細書に組み込まれている。

【0040】

ゲート絶縁層8は、例えば、約900から約1300又はそれよりも高い温度で約3時間から約6時間にわたるエピタキシャル層14の熱酸化によって構成することができる。特定の実施形態において、ゲート絶縁層18は、例えば、1175の温度で3.5時間にわたるエピタキシャル層14の熱酸化によって構成することができる。

【0041】

他の実施形態において、ゲート絶縁層18は、乾燥O₂でのバルク酸化物の成長、次に

10

20

30

40

50

、湿潤 O_2 でのバルク酸化物のアニールを含む湿潤乾燥酸化工程により成長させることができる。本明細書で使用する時の湿潤 O_2 での酸化物のアニールは、 O_2 及び気化 H_2O の両方を含む環境における酸化物のアニールを指す。不活性大気中の付加的なアニールを乾燥酸化物成長と湿潤酸化物アニールの間に行うことができる。乾燥 O_2 酸化物の成長は、例えば、石英管内で約1200 までの温度で乾燥 O_2 で少なくとも約2.5時間にわたって行うことができる。乾燥酸化物の成長は、望ましい厚みにバルク酸化物層を成長させるために行われる。乾燥酸化物の成長の温度は、酸化物成長速度に影響を与える場合がある。例えば、処理温度が高いほど、高い酸化物成長速度を生成することができる。最大成長温度は、使用されるシステムに依存する場合がある。

【0042】

一部の実施形態において、乾燥 O_2 酸化物成長は、約1200 の温度で約2.5時間にわたって乾燥 O_2 で行うことができる。得られる酸化物層は、不活性大気中で約1200 までの温度でアニールすることができる。特に、得られる酸化物層は、約1175 の温度でArを用いて約1時間にわたってアニールすることができる。湿潤 O_2 酸化物アニール(Rex)は、約950 又はそれ未満の温度で少なくとも約1時間にわたって行うことができる。湿潤 O_2 アニールの温度は、付加的な界面状態を招く可能性があるSiC/SiO₂界面での更に別の熱的酸化物成長を阻止するために制限することができる。特に、湿潤 O_2 アニールは、約950 の温度で約3時間にわたって湿潤 O_2 を用いて行うことができる。

【0043】

更に別の実施形態において、ゲート絶縁層18は、熱的に成長させるのではなく堆積させることができる。例えば、ゲート酸化物は、化学気相堆積(CVD)処理を使用して堆積させることができる。

【0044】

ゲート酸化物形成後に、ウェーハは、約95 の温度で10分間にわたって0.1M CsCl溶液中で沸騰させることができる。CsCl溶液は、0.01M CsCl溶液から1M CsCl溶液の範囲とすることができる。溶液の温度は、室温から100 までの範囲とすることができる。ウェーハは、1分から1時間までの時間にCsCl溶液中で沸騰させることができる。それによって酸化物の表面上でCsClの吸収及び/又は堆積を発生させることができる。CsCl溶液の濃度は、酸化物面でCsの望ましい濃度を得るように変更することができる。

【0045】

ゲート絶縁層18表面上のCsCl堆積後に、拡散(ドライブ-イン)アニールを行って、Cs+をゲート絶縁層18に拡散させることができる。拡散アニールを700 から1000 の温度で行って、SiC/SiO₂界面に拡散するCs+イオンの量を制御することができる。拡散アニールは、SiC/SiO₂界面に拡散するCs+イオンの望ましい濃度に引き起こすのに十分な時間を掛けて行うことができ、一部の実施形態において、約0.5時間から約3時間にわたって行うことができる。ドライブイン温度及び時間は、ゲート酸化物厚みに依存する。一般的に、同じレベルのCs組み込みを酸化物/半導体界面で達成するためには、処理される酸化物が肉厚であるほど温度が高くなり、から時間が長くなる。界面に拡散されるCsの量は、SiC/SiO₂界面で存在するか又は存在すると予想される固定電荷(界面電荷)の量に基づいて選択することができる。特定の実施形態において、拡散アニールは、800 の温度で1時間にわたって行うことができる。

【0046】

ゲート絶縁物/半導体界面をCs+イオンで処理する前又は後に、界面電荷は、例えば、2006年6月27日に付与された「アニールを水素環境に利用して酸化物層を炭化珪素層上に製作する方法」という名称の本出願と同一の本出願人に譲渡された米国特許第7,067,176号明細書、「炭化珪素層上での酸化物層の成長の方法」という名称の2004年7月27日に付与された米国特許第6,767,843号明細書、及び2003

10

20

30

40

50

年8月26日に付与された「酸化物層を炭化珪素層上でNOアニールする方法」という名称の米国特許第6,610,366号明細書に説明されているように、例えば、ゲート酸化物をNO、NO₂、N₂O、及び/又は水素でアニールすることによって低減することができ、これらの特許の開示内容は、引用により本明細書に組み込まれている。

【0047】

ゲート接点20が、ゲート絶縁層18上に形成される。ゲート接点20は、例えば、モリブデン、ホウ素ドープポリシリコン、及び/又は蒸発アルミニウムを含むことができる。ホウ素でドープされたポリシリコンは、デバイスの閾値電圧を望ましいレベルに調節するのに補助するために使用することができる。n型不純物を含む他の不純物を有するドープされたポリシリコンは、ゲート接点20として使用することができる。一部の実施形態において、処理の熱収支は、懸念事項になる場合がある。このような場合に、蒸発アルミニウムの使用は、熱収支を低減するのに補助することができる。ニッケルソース/ドレイン接点22、24をソース/ドレイン領域16上に構成することができる。特に、n+ソース/ドレイン領域16上に形成されたニッケル接点22、24は、焼結なしにオーミック挙動を示すことができる。

10

【0048】

図2をここで参照すると、本発明の一部の実施形態による垂直パワーMOSFET30が示されている。垂直炭化珪素MOSFETは、通常は単位セルにおいて反復される。例示しやすいように、単一の単位セル垂直MOSFETを説明する。

【0049】

図2で分るように、本発明の実施形態によるMOSFET30は、n+単結晶炭化珪素基板32を含むことができる。n炭化珪素ドリフト層34が、基板32の第1の面上に与えられる。ドリフト層34のドーピング及び厚みは、デバイスの望ましい遮断電圧を考慮することによって判断することができる。例えば、高電圧デバイスに関して、ドリフト層34は、約5µmから約100µmの厚みと、約8×10¹⁵から1×10¹⁶cm⁻³のドーピング濃度を有することができる。第1及び第2の注入されたpウェル36が、n型層34内に形成される。pウェル36は、注入されたアルミニウムを使用して構成することができ、従って、約1×10¹⁷から1×10¹⁹cm⁻³のドーパント濃度になる。特定の実施形態において、pウェル36は、約1×10¹⁸cm⁻³のドーパント濃度を有することができる。p+炭化珪素の注入された接点領域38も、pウェル36内に与えることができる。注入された接点領域38は、例えば、約1×10²⁰cm⁻³のドーパント密度を有する領域38を生成するために、ホウ素及び/又はアルミニウムのような受容体イオンの注入によって構成することができる。特に、注入されたアルミニウムは、SiC内のアルミニウムのより低い拡散係数のために、接点領域38により適切とすることができる。

20

30

【0050】

第1及び第2のn+ソース領域40が、接点領域38の近くのpウェル36内に与えられる。注入されたソース領域40は、例えば、約1×10¹⁹cm⁻³又はそれよりも大きいドーパント密度を有する領域40を生成するためにドナーイオンの注入によって構成することができる。

【0051】

n型炭化珪素JFET領域41が、n+ソース領域40に隣接している。JFET領域41は、p型ウェル36内のチャネル領域43によりソース領域40から離間している。n型層34まで延びるJFET領域41は、ドリフト層34と類似のドーパント濃度を有することができる。しかし、一部の実施形態において、JFET領域41は、ドリフト層34よりも高いドーパント濃度を有するようにn型不純物と共に注入することができる。例えば、JFET領域41は、約1×10¹⁶から約1×10¹⁷cm⁻³のドーパント密度を有するようにドナーイオンと共に注入することができる。選択される実際のドーパント濃度は、デバイスの望ましい作動特性に依存する場合がある。

40

【0052】

SiO₂のような適切な誘電体のゲート酸化物42が、n+ソース領域40までJFE

50

T領域41及びチャネル領域43上に延びる。ゲート酸化物42は、約250オングストロームから約1000オングストロームの厚みを有することができる。特に、ゲート酸化物42は、約300の厚みを有することができる。ゲート酸化物42は、上述したようにCs⁺イオンで処理することができる。

【0053】

ゲート接点46が、チャネル領域43の反対側でゲート酸化物42上に与えられる。ソース接点44が、n⁺ソース領域40上に形成される。ソース接点44は、n⁺ソース領域をpウェル領域36に短絡させるためにp⁺接触領域38上にも形成される。pウェル領域36は、ソース領域40、ウェル領域36、及びドリフト層34によって形成された寄生的なnpnトランジスタを低減し及び/又はトランジスタをオンにすることを防止するために比較的高度にドープすることができる。例えば、pウェル領域36は、約 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ から約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 又はそれよりも大きいドーパント濃度を有することができる。ドレイン接点48が、p型ウェル36の反対側の基板32の面上に与えられる。ドレイン接点48は、例えば、ニッケルを使用して構成することができる。

【0054】

図3A及び図3Bは、本発明の一部の実施形態による酸化物/半導体界面の処理を概略的に示すバンド図である。図3Aを参照すると、複数の負の固定電荷52が、炭化珪素層14とSiO₂層18の間の界面50で存在する。図3Bを参照すると、上述したようにCs⁺イオンによるSiC/SiO₂界面50の処理後に、複数のCs⁺イオンが、界面50の近くの酸化物層18に存在する。Cs⁺イオン54は、負の固定電荷52から延びる力線を終端させ、従って、炭化珪素層14内に形成された反転層内の移動電荷キャリアに及ぼす負の固定電荷の影響が減少する。

【0055】

図4は、一部の実施形態によって処理されたSiC/SiO₂サンプルのラザフォード後方散乱スペクトル(RB)信号60のグラフである。模擬RB信号61も示されている。図4のグラフにおいて解析したサンプルは、Cs⁺イオンを800の温度で0.5時間掛けて350の厚みの二酸化珪素層に拡散させることによって形成された。差込図は、Cs⁺ピークを示している。RBS解析により、約 $3.6 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 個のCs原子の総量が酸化物に組み込まれたことを見ることができる。これらのCs原子の何らかの部分が正に帯電したイオンであったと考えられる。図4のグラフの下のx軸は、エネルギーチャンネル数(単位を有していない)であるが、エネルギーに変換することができる(上側のx軸)。ピークが含むエネルギーは、要素の原子質量及びサンプルにおける深さに依存する。この場合に、0面ピークは、酸素がセシウムより軽いのでCs⁺ピークより低いエネルギーで出現する。ピーク下の領域は、サンプル内の要素の量に対応する。

【0056】

図5は、本発明の一部の実施形態によって形成された横方向MOSFETデバイスに対して室温で測定されたチャネル移動度とゲート電圧のグラフ62、並びにNOアニールを使用して従来の技術によって形成されたMOSFETデバイスのチャネル移動度とゲート電圧のグラフ64である。3MV/cmの代表的な作動電界で、本明細書に説明する方法で形成されたデバイスの移動度は、従来のデバイスの約2倍である。特に、一部の実施形態によって形成されたデバイスは、 $40 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ を超えるチャネル移動度を示すことができる。

【0057】

図6は、本発明の一部の実施形態によって形成されたMOSFETデバイスの電流-電圧伝達特性のグラフである。移動度が高くなると、典型的に、閾値電圧が低くなり、好ましくない場合があるMOSFETデバイスの常時オフの挙動の傾向が生じる。しかし、図6に示すように、本発明の一部の実施形態によって形成されたデバイスは、正の閾値電圧を有することができる。

【0058】

一部の実施形態による方法が図7に示されている。図7に示すように、ブロック100

10

20

30

40

50

において、絶縁層を半導体層上に与える。半導体層は、2H、4H、6H、15R、又は3Cポリタイプを有する炭化珪素層、アモルファスシリコン層、ポリシリコン層、又は窒化ガリウム層とすることができる。絶縁層は、例えば、上述したように、乾燥 O_2 での酸化段階、次に、湿潤 O_2 での再酸化(ReO_x)を含む多段酸化工程を使用して成長させる酸化物層とすることができる。一部の実施形態において、酸化物層は、炭化珪素層の熱酸化によって構成することができる。更に別の実施形態において、酸化物層は、熱成長ではなく堆積させることができる。例えば、酸化物層は、化学気相堆積(CVD)処理を使用して堆積させることができる。

【0059】

絶縁層形成後に、セシウム拡散ソースを酸化物層上に堆積させることができる(ブロック102)。例えば、絶縁層を含む半導体層は、約95の温度で10分間にわたって0.1M CsCl溶液中で沸騰させることができ、CsClを酸化物層上に堆積させる。

10

【0060】

最後に、セシウムイオンを絶縁層の中に拡散させることができ、特に、半導体層を高温でアニールすることによって絶縁体/半導体界面に拡散させることができる(ブロック104)。特に、拡散アニールは、700から1000の温度で約0.5時間から約3時間にわたって行うことができる。特定の実施形態において、拡散アニールは、800の温度で1時間にわたって行うことができる。

【0061】

更に別の実施形態による方法が図8に示されている。図8に示すように、ブロック200において、絶縁層を半導体層上に与える。半導体層は、2H、4H、6H、15R、又は3Cポリタイプを有する炭化珪素層、アモルファスシリコン層、ポリシリコン層、又は窒化ガリウム層とすることができる。絶縁層は、例えば、上述したように、乾燥 O_2 での酸化段階、次に、湿潤 O_2 での再酸化(ReO_x)を含む多段酸化工程を使用して成長させる酸化物層とすることができる。一部の実施形態において、絶縁層は、半導体層の熱酸化によって構成することができる。更に別の実施形態において、酸化物層は、熱成長ではなく堆積させることができる。例えば、酸化物層は、化学気相堆積(CVD)処理を使用して堆積させることができる。

20

【0062】

絶縁層を窒化して窒素を酸化物層に導入することができる(ブロック202)。窒化は、絶縁層の形成中又はその後に行うことができ、かつ例えば窒素を含む環境中で絶縁を形成し及び/又は絶縁層を窒素を含む環境中でアニールすることによって行うことができる。例えば、絶縁層は、例えば、先に参照した米国特許第7,067,176号明細書、米国特許第6,767,843号明細書、及び/又は米国特許第6,610,366号明細書に説明されているように、NO、 NO_2 、及び/又は N_2O を含む環境中でアニールすることができる。

30

【0063】

絶縁層形成後に、セシウム拡散ソースを酸化物層上に堆積させることができる(ブロック204)。例えば、絶縁層を含む半導体層は、約95の温度で10分間にわたって0.1M CsCl溶液中で沸騰させることができ、CsClを酸化物層上に堆積させる。

40

【0064】

最後に、セシウムイオンを絶縁層の中に拡散させることができ、特に、半導体層を高温でアニールすることによって絶縁体/半導体界面に拡散させることができる(ブロック206)。特に、拡散アニールは、700から1000の温度で約0.5時間から約3時間にわたって行うことができる。特定の実施形態において、拡散アニールは、800の温度で1時間にわたって行うことができる。

【0065】

絶縁層の窒化は、絶縁層内へのセシウムイオンの拡散前又は後に行うことができることは認められるであろう。

【0066】

50

図面及び本明細書において本発明の典型的な実施形態を開示し、特定の用語を使用した
が、一般的かつ説明的な意味においてのみ使用しており、限定を目的としたものではなく
、本発明の範囲は、以下に特許請求の範囲で定められる。

【符号の説明】

【0067】

- 12 基板
- 14 エピタキシャル層
- 16 ソース/ドレイン領域
- 20 ゲート接点
- 22、24 ニッケル接点

【図1】

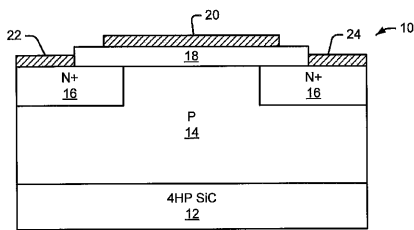


FIG. 1

【図2】

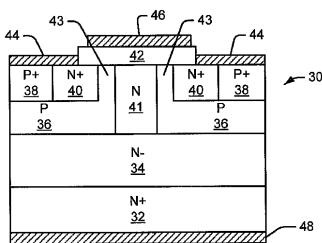


FIG. 2

【図3A】

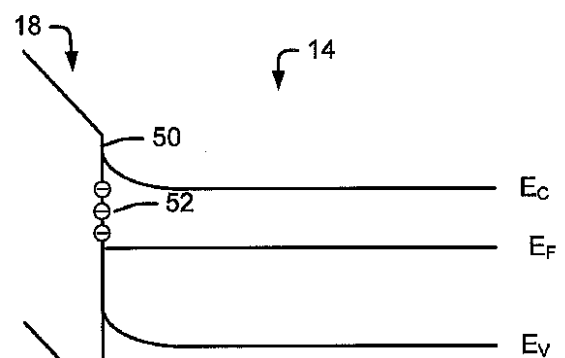


FIG. 3A

【図3B】

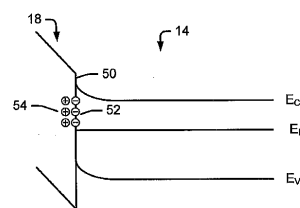


FIG. 3B

【 図 4 】

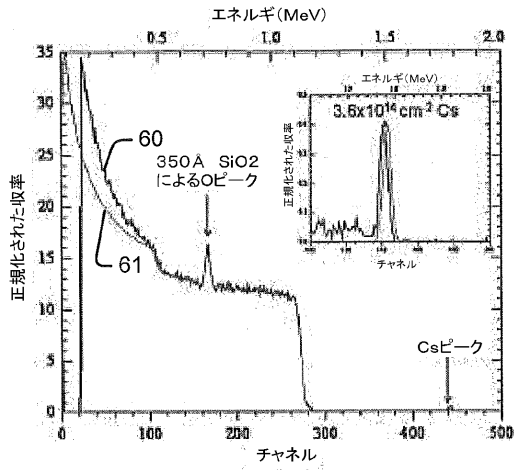


FIG. 4

【 図 5 】

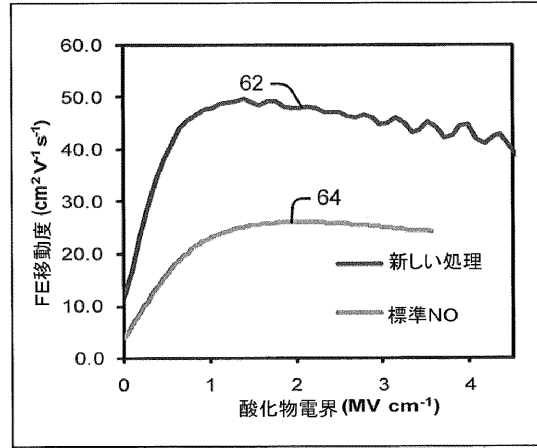


FIG. 5

【 図 6 】

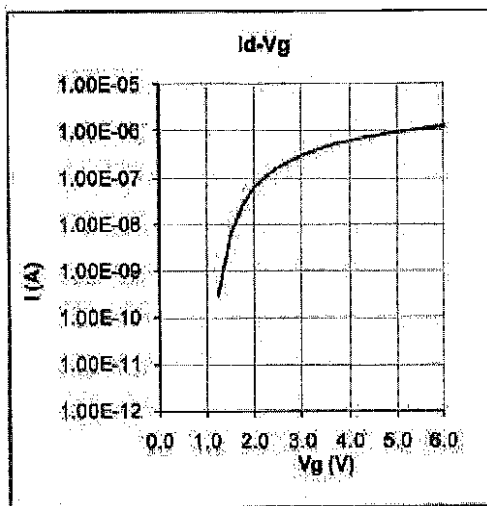


FIG. 6

【 図 7 】

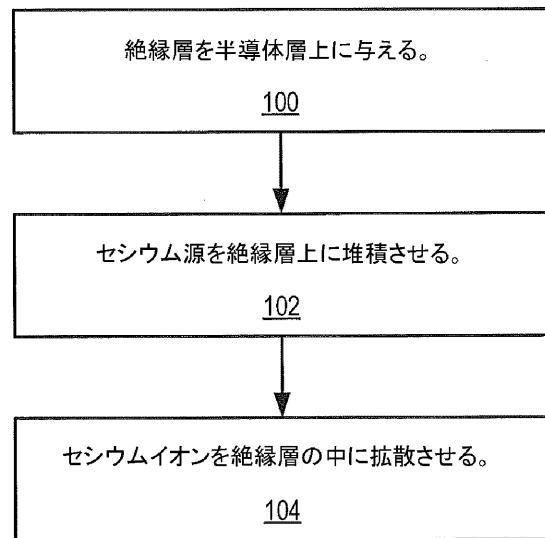


FIG. 7

【 図 8 】

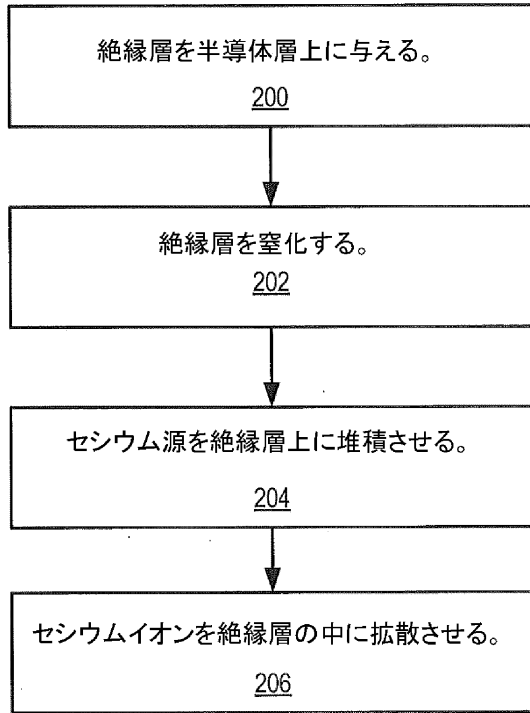


FIG. 8

フロントページの続き

- (51)Int.Cl. F I
 H 0 1 L 21/228 (2006.01) H 0 1 L 21/316 S
 H 0 1 L 21/322 (2006.01) H 0 1 L 21/22 P
 H 0 1 L 21/228
 H 0 1 L 21/322 Z
- (74)代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
- (74)代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100109070
 弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100109335
 弁理士 上杉 浩
- (74)代理人 100120525
 弁理士 近藤 直樹
- (72)発明者 ダハール サリット
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 27513 ケーリー ウェスト キャノピー オーク
 コート 100 2ディー
- (72)発明者 リュウ セイ-ヒュン
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 27513 ケーリー タウニー リッジ レーン 10
 2
- (72)発明者 アガルワル アナント
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 275414 チャペル ヒル ブラック タイ レーン
 208
- (72)発明者 ウィリアムズ ジョン ロバート
 アメリカ合衆国 アラバマ州 36804 オペライカ リー ロード 54

審査官 小堺 行彦

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0123140(US,A1)
 特開昭52-038892(JP,A)
 特表2005-537677(JP,A)
 特開2004-296528(JP,A)
 特開昭55-030888(JP,A)
 特開2005-175378(JP,A)
 特開2006-351583(JP,A)
 国際公開第2011/074237(WO,A1)
 米国特許第05523603(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 21/336
 H 0 1 L 21/22
 H 0 1 L 21/228
 H 0 1 L 21/316
 H 0 1 L 21/322
 H 0 1 L 29/12
 H 0 1 L 29/78