

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4470454号  
(P4470454)

(45) 発行日 平成22年6月2日(2010.6.2)

(24) 登録日 平成22年3月12日(2010.3.12)

(51) Int.Cl.		F I		
<b>HO 1 L 29/78</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	29/78	6 5 2 H
<b>HO 1 L 29/739</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	29/78	6 5 2 S
		HO 1 L	29/78	6 5 3 A
		HO 1 L	29/78	6 5 5 A

請求項の数 11 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2003-374951 (P2003-374951)	(73) 特許権者	000003609
(22) 出願日	平成15年11月4日(2003.11.4)		株式会社豊田中央研究所
(65) 公開番号	特開2005-142240 (P2005-142240A)		愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1
(43) 公開日	平成17年6月2日(2005.6.2)		番地の1
審査請求日	平成17年7月13日(2005.7.13)	(74) 代理人	110000110
			特許業務法人快友国際特許事務所
		(72) 発明者	鈴木 隆司
			愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1
			番地の1 株式会社豊田中央研究所内
		審査官	恩田 春香

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置とその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ドレイン電極と、  
 そのドレイン電極上に設けられている第1導電型のドレイン領域と、  
 そのドレイン領域に接するドリフト領域と、  
 そのドリフト領域に接するとともにドレイン領域からはドリフト領域によって隔てられている第2導電型のボディ領域と、  
 そのボディ領域に接するとともにドリフト領域からはボディ領域によって隔てられている第1導電型のソース領域と、  
 そのソース領域に接するソース電極と、  
 ソース領域とドリフト領域を隔てているボディ領域に絶縁層を介して対向しているトレンチゲート電極を備え、  
 そのドリフト領域は、ドレイン電極とソース電極を結ぶ方向（電極間方向）に伸びる第1導電型の第1部分領域と、電極間方向に伸びる第2導電型の第2部分領域が、電極間方向に直交する面内で交互に繰返されており、  
トレンチゲート電極は、ボディ領域を貫通して第1部分領域に達しており、  
 第1部分領域の中心から第2部分領域の中心までの距離が1.4 μm以下であり、  
 第1部分領域と第2部分領域の界面の少なくとも一部に絶縁膜が形成されており、  
前記絶縁膜は、前記第1部分領域と第2部分領域の界面の少なくとも一部からボディ領域内にまで伸びており、ボディ領域を介してトレンチゲート電極に対向しているとともに

10

20

、その端部がボディ領域内に位置していることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】

第 1 部分領域の不純物濃度が  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  以上であり、

第 2 部分領域の不純物濃度が  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】

第 1 部分領域と第 2 部分領域のそれぞれは薄板状であり、

第 1 部分領域のコラム幅が  $1.0 \mu\text{m}$  以下であり、

第 2 部分領域のコラム幅が  $1.0 \mu\text{m}$  以下であり、

第 1 部分領域と第 2 部分領域の界面に形成されている絶縁膜の膜厚が  $0.2 \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体装置。 10

【請求項 4】

第 1 部分領域と第 2 部分領域のそれぞれは薄板状であり、

電流経路となる部分領域のコラム幅と不純物濃度の積が、電流経路とならない部分領域のコラム幅と不純物濃度の積よりも大きいことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

【請求項 5】

第 1 部分領域と第 2 部分領域のそれぞれは薄板状であり、

前記トレンチゲート電極は、第 1 部分領域が伸びている面と平行に伸びていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。 20

【請求項 6】

絶縁膜が、第 1 部分領域と第 2 部分領域の間の全界面に形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

【請求項 7】

ドレイン電極とドレイン領域の間に第 2 導電型の半導体領域が付加されていることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかの半導体装置。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の素子群が形成されている中心領域と、その周囲であって半導体スイッチング素子群が形成されていない周辺領域を備える半導体装置であり、

周辺領域では、半導体スイッチング素子群の電極間方向に伸びる第 1 導電型の第 1 部分領域と、電極間方向に伸びる第 2 導電型の第 2 部分領域が、電極間方向に直交する面内で交互に繰返され、中心領域から周辺領域に向かって連続して形成されており、 30

周辺領域の第 1 部分領域の中心から周辺領域の第 2 部分領域の中心までの距離が  $1.4 \mu\text{m}$  以下であり、

周辺領域の第 1 部分領域と周辺領域の第 2 部分領域の界面の少なくとも一部からボディ領域内にまで伸びている絶縁膜が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 9】

裏面にドレイン電極が設けられており、表面にソース電極が設けられており、そのドレイン電極とソース電極間を電流が流れる半導体装置の製造方法であり、

ドレイン電極とソース電極を結ぶ方向に伸びる第 1 導電型の第 1 部分領域を、電極間方向に直交する面内で第 1 導電型のドレイン領域上に溝を隔てて複数形成する第 1 部分領域形成段階と、 40

第 1 部分領域形成段階に次いで、前記溝に露出する第 1 部分領域群の側壁に絶縁膜を形成する絶縁膜形成段階と、

絶縁膜形成段階に次いで、前記溝内及び前記第 1 部分領域群の上面に第 2 導電型の半導体領域を成長させる第 2 半導体領域形成段階と、

第 2 半導体領域形成段階に次いで、第 1 部分領域群の上部を第 2 導電型に反転させて反転領域を形成する反転領域形成段階と、

反転領域形成段階の後に、第 2 半導体領域の表面から第 2 半導体領域及び反転領域を貫通して前記反転領域形成段階で導電型が反転しなかった第 1 部分領域に達するとともに、 50

第 2 半導体領域及び反転領域に絶縁層を介して対向する複数のトレンチゲート電極を形成するトレンチゲート形成段階と、第 2 半導体領域内のトレンチゲート電極に隣接する位置に第 3 部分領域を形成する第 3 部分領域形成段階とを備えており、

前記第 1 部分領域群の上面に形成された前記第 2 半導体領域と、前記反転領域と、前記絶縁膜を介して反転領域に対向する第 2 半導体領域の一部がボディ領域を構成し、前記絶縁膜がボディ領域内に伸びて形成されており、

第 1 部分領域の中心から前記溝内の第 2 半導体領域の中心までの距離が $1.4\mu\text{m}$ 以下である半導体装置の製造方法。

【請求項 10】

第 1 部分領域群の上部を第 2 導電型に反転する反転領域形成段階が、第 1 導電型の第 1 部分領域群と第 2 導電型の半導体領域の相互拡散であることを特徴とする請求項 9 に記載の半導体装置の製造方法。

10

【請求項 11】

第 1 部分領域群の上部を第 2 導電型に反転する反転領域形成段階が、第 1 部分領域群の上部に、第 2 導電型の不純物をイオン注入することであることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、1 対の電極を備え、その電極同士を結ぶ方向に伸びる半導体領域によって耐圧特性を向上させている半導体装置に関する。ここでいう電極は、その間を電流が流れる電極をいい、例えばカソードとアノード電極、ソースとドレイン電極、エミッタとコレクタ電極等を言い、半導体装置の抵抗ないしオン・オフを制御する制御信号を印加するためのゲート電極を含まない。

20

本発明は特に、電極間方向に伸びる第 1 導電型の第 1 部分領域と、電極間方向に伸びる第 2 導電型の第 2 部分領域が、電極間方向に直交する面内で交互に繰返されている、所謂スーパージャンクション構造を備えた半導体装置に関し、なかでも、スーパージャンクション構造を構成する第 1 部分領域と第 2 部分領域の繰返し単位が微細化された半導体装置に関する。

【背景技術】

30

【0002】

n 型不純物を含有する n 型コラム（第 1 部分領域）と p 型不純物を含有する p 型コラム（第 2 部分領域）の組合せを単位構造とし、その単位構造が繰返されている繰返し構造（所謂スーパージャンクション構造）を備えた半導体装置が知られている。その一例を図 36 に例示する。

【0003】

図 36 の半導体装置 19 は、n 型コラム 52 と p 型コラム領域 54 の互層を単位構造とし、その単位構造が繰返されている繰返し領域 56 を備えている。具体的に説明すると、ドレイン電極 D 上に n<sup>+</sup> 型のドレイン領域 51 が形成されており、そのドレイン領域 51 上に繰返し領域 56 が形成されており、その繰返し領域 56 上に p 型のボディ領域 62 が形成されており、そのボディ領域 62 内に n<sup>+</sup> 型のソース領域 64 が選択的に形成されており、ソース領域 64 はソース電極 S と接触している。図 36 の半導体装置 19 は、トレンチゲート電極 60 を備えており、トレンチゲート電極 60 は繰返し領域 56 の n 型コラム 52 とソース領域 64 との間に介在するボディ領域 62 に対して絶縁膜 61 を介して対向している。

40

繰返し領域 56 の n 型コラム 52 と p 型コラム 54 は、その間を電流が流れるソース電極 S とドレイン電極 D を結ぶ方向 A に沿って長く伸び、電極間方向 A に直交する方向 B に沿って繰返されている。n 型コラム 52 と p 型コラム 54 の繰返し方向は、トレンチゲート電極 60 が伸びる方向 C に繰返されていてもよく、電極間方向 A に直交する面内で繰返されていけばよい。

50

図36の例では、n型コラム52とp型コラム54がC方向に長く伸びているが、n型コラム52とp型コラム54が柱状であって、B方向にもC方向にも繰返されていてもよいし、柱状のn型コラム52がp型領域内に分散配置された構造であってもよいし、柱状のp型コラム54がn型領域内に分散配置された構造であってもよい。要は、第1導電型の第1部分領域と、第2導電型の第2部分領域を組合せた単位構造が、少なくとも一方向に繰返されていればよい。

【0004】

第1導電型の第1部分領域と第2導電型の第2部分領域を組合せた単位構造が繰返されると、半導体装置の1対の電極間に逆バイアス電圧が印加されたときに、第1部分領域と第2部分領域のpn接合界面から、第1部分領域と第2部分領域のそれぞれに空乏層が広がる。第1部分領域と第2部分領域の不純物濃度と繰返し方向の幅との積を適値に設定しておくこと、繰返し領域の広い範囲を完全空乏化することができる。電極間方向に伸びる第1導電型の第1部分領域と、電極間方向に伸びる第2導電型の第2部分領域が、電極間方向に直交する面内で交互に繰返されているスーパージャンクション構造を備えた半導体装置は、高い耐圧特性を実現する。

10

【0005】

スーパージャンクション構造を備えていると、半導体装置の1対の電極間に逆バイアス電圧が印加されたときに、第1部分領域と第2部分領域のpn接合界面から空乏層が広がるために、高い耐圧特性を得ることができる。この現象を利用すると、高い耐圧特性を得るために繰返し領域の不純物濃度を下げる必要がなく、不純物濃度が高い状態で高い耐圧特性を得ることができる。繰返し領域の不純物濃度が高めると、半導体装置のオン抵抗やオン電圧は低下する。

20

スーパージャンクション構造は、高い不純物濃度の半導体領域を利用して低いオン抵抗や低いオン電圧を実現し、しかも、高い耐圧特性を実現する。

スーパージャンクション構造を微細化すると、半導体領域の不純物濃度を高めても空乏化することから、高い耐圧特性を確保しながらオン抵抗やオン電圧をさらに低下することができるものと期待することができる。

第1導電型の第1部分領域と第2導電型の第2部分領域が繰返されているスーパージャンクション構造の場合、いずれか一方が電流経路となる。図36の場合、n型コラム52が電流経路となる。必要な耐圧特性を確保しながら、電流経路となる側の部分領域の不純物濃度を上げることができれば、オン抵抗やオン電圧をさらに低下することができるものと期待することができる。

30

【0006】

特許文献1に、スーパージャンクション構造を備えた半導体装置が記載されている。

【特許文献1】USP5216275

【0007】

特許文献1には、スーパージャンクション構造を構成するn型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜を形成すると、n型コラムとp型コラム間で不純物が相互拡散するのを防止することができ、各コラムの不純物濃度を意図した値に調整しやすいことが記載されている。

40

しかしながら、n型コラムとp型コラムの不純物濃度を意図した値に調整することさえできれば、n型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜が形成されている半導体装置と、界面に絶縁膜が形成されていない半導体装置の特性には大差がなく、絶縁膜の存在は半導体装置の耐圧特性やオン抵抗やオン電圧に大きな影響を及ぼさないことが報告されている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

確かに特許文献1に記載されているサイズのスーパージャンクション構造の場合、n型コラムとp型コラムの界面に形成されている絶縁膜の存在は半導体装置の耐圧特性やオン抵抗やオン電圧に影響を及ぼさない。

50

しかしながら、本発明者の研究によって、スーパージャンクション構造の単位となる互層の微細化を進めて電流経路となるコラムの不純物濃度を上げていくと、n型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜を形成することが有用な結果をもたらすことが判明してきた。即ち、n型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜を形成しなくても、スーパージャンクション構造の単位となる互層の微細化を進めて電流経路となるコラムの不純物濃度を上げていくことによって、オン抵抗やオン電圧が低い状態を維持しながら耐压特性を向上させていくことができる。この現象を利用するために微細化を進め、n型コラムの中心からp型コラムの中心までの距離が $1.4\mu\text{m}$ 以下になるまで微細化をすすめると、n型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜を形成しない場合に比してn型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜を形成すると耐压特性が向上することが見出された。n型コラムの中心からp型コラムの中心までの距離が数 $\mu\text{m}$ の場合には、n型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜を形成しても形成しなくても耐压特性に影響しないのに、n型コラムの中心からp型コラムの中心までの距離が $1.4\mu\text{m}$ 以下の場合には、n型コラムとp型コラムの界面に絶縁膜を形成すると耐压特性がさらに向上するのである。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明に係る半導体装置は、上記の知見を活用し、スーパージャンクション構造の単位となる互層の微細化を進めることによって耐压特性が向上する以上に耐压特性を高めることに成功したものである。

本発明の半導体装置は、MOSに具現化することができる、MOSは、ドレイン電極と、そのドレイン電極上に設けられている第1導電型のドレイン領域と、そのドレイン領域に接するドリフト領域と、そのドリフト領域に接するとともにドレイン領域からはドリフト領域によって隔てられている第2導電型のボディ領域と、そのボディ領域に接するとともにドリフト領域からはボディ領域によって隔てられている第1導電型のソース領域と、そのソース領域に接するソース電極と、ソース領域とドリフト領域を隔てているボディ領域に絶縁層を介して対向しているトレンチゲート電極を備えている。本発明のMOSでは、ドリフト領域が、ドレイン電極とソース電極を結ぶ方向（電極間方向）に伸びる第1導電型の第1部分領域と、電極間方向に伸びる第2導電型の第2部分領域が、電極間方向に直交する面内で交互に繰返されており、スーパージャンクション構造を実現している。トレンチゲート電極は、ボディ領域を貫通して第1部分領域に達している。本発明のMOSは、第1部分領域の中心から第2部分領域の中心までの距離が $1.4\mu\text{m}$ 以下であり、第1部分領域と第2部分領域の界面の少なくとも一部に絶縁膜が形成されている。また、その絶縁膜は、第1部分領域と第2部分領域の界面の少なくとも一部からボディ領域内にまで伸びており、ボディ領域を介してトレンチゲート電極に対向しているとともに、その端部がボディ領域内に位置していることを特徴とする。

20

30

【0010】

スーパージャンクション構造の単位となる互層の微細化を進めると空乏化しやすくなり、電流経路となるセルの不純物濃度を高めることができる。高い耐压と低いオン抵抗ないしオン電圧を得ることができる。単位となる互層の微細化を進め、n型領域の中心からp型領域の中心までの距離（ハーフピッチという）が $1.4\mu\text{m}$ 以下になるまで微細化すると、極めて興味深い現象が生じ始める。ハーフピッチが $1.4\mu\text{m}$ 以上であるとn型領域とp型領域の界面に絶縁膜を設けても耐压を高めるのに寄与しないのに、ハーフピッチが $1.4\mu\text{m}$ 以下であるとn型領域とp型領域の界面に絶縁膜を設けると耐压が高められる。ハーフピッチが $1.4\mu\text{m}$ 以上であるとn型領域とp型領域の界面に絶縁層を設けても設けなくても耐压が変化しないのに対し、ハーフピッチが $1.4\mu\text{m}$ 以下であるとn型領域とp型領域の界面に絶縁膜を設けた場合の耐压は設けない場合の耐压よりも高められる。ハーフピッチが $1.4\mu\text{m}$ 以下となるまで微細化すると、微細化によって耐压が高くなりオン抵抗ないしオン電圧が低くなることに加え、界面に絶縁膜を設けることによってさらに耐压が高められる現象を利用することが可能となる。

40

本発明の半導体装置は、第1部分領域の中心から第2部分領域の中心までの距離が $1.4$

50

$\mu\text{m}$ 以下であり、第1部分領域と第2部分領域の間の少なくとも一部に絶縁膜が形成されていることから、微細化することによって耐圧が高くなりオン抵抗ないしオン電圧が低くなることに加え、界面に設けられた絶縁膜によってさらに耐圧が高められる。

本発明は、電流が流れる1対の電極を結ぶ方向に伸びる半導体領域を備えた半導体装置に有用であり、ソースとドレイン電極を有する縦型のMOS、エミッタとドレイン電極を有する縦型のバイポーラトランジスタ (IGBT)等に適用することができる。

第1導電型の第1部分領域と第2導電型の第2部分領域は電極間方向に伸びておればよく、柱状に伸びていてよいし、薄板状であってもよい。薄板状の場合、電極間方向に直交する面内で交互に繰返されて配置される。柱状の場合、導電型を異にする2本の柱の組合せが電極間方向に直交する面内で繰返されて配置されていてもよいし、直交面内で広く広がる半導体領域中に異なる導電型の柱群が分散配置されていてもよい。

10

#### 【0012】

MOSは、ドレイン電極とソース電極間に高い電圧が印加されても耐えられるように、ドレイン電極とソース電極を結ぶ方向に伸びるドリフト領域を備えている。そのドリフト領域のスーパージャンクション構造の微細化を進め、ハーフピッチが $1.4\mu\text{m}$ 以下にすると、微細化することによって耐圧を高めると同時にオン抵抗を低くすることができることに加え、pn接合界面に設けられた絶縁膜によってさらに耐圧を高めることができる。

本発明を適用したMOSは、従来のMOSでは得られない高耐圧と低抵抗を実現する。

#### 【0014】

第1部分領域と第2部分領域の間に絶縁膜を配置すると、第1部分領域の不純物濃度を $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上とし、第2部分領域の不純物濃度を $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上としても、ドレイン電極とソース電極間に逆バイアス電圧がかかったときにドリフト領域が完全空乏化することができる。本発明によって始めてスーパージャンクション構造のセル群の不純物濃度を上記まで高めることに成功したものであり、完全空乏化による高い耐圧と、高不純物濃度による低いオン抵抗の両者を得ることに成功している。

20

#### 【0015】

スーパージャンクション構造を構成する第1部分領域と第2部分領域のそれぞれが薄板状である場合、第1部分領域と第2部分領域は、その繰返し方向に直交する面内で伸びている。この構造の場合、第1部分領域のコラム幅が $1.0\mu\text{m}$ 以下であり、第2部分領域のコラム幅が $1.0\mu\text{m}$ 以下であり、第1部分領域と第2部分領域の間に形成されている絶縁膜の膜厚が $0.2\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

30

第1部分領域と第2部分領域のコラム幅が双方とも $1.0\mu\text{m}$ 以下であるという条件のなかでハーフピッチ幅を $1.4\mu\text{m}$ 以下にすると、本発明の作用がよく得られる。そのときの絶縁膜の膜厚は $0.2\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。

#### 【0016】

第1部分領域と第2部分領域のそれぞれが薄板状で、繰返し方向に直交する面内で伸びているスーパージャンクション構造の場合、pn界面に絶縁膜を配置すると、電流経路となる部分領域のコラム幅と不純物濃度の積を、電流経路とならない部分領域のコラム幅と不純物濃度の積よりも大きくすることができる。

スーパージャンクション構造のpn界面に絶縁膜が形成されていると、チャージバランスが崩れていても完全空乏化する現象が得られる。チャージバランスを維持するために不純物濃度を精密に制御する必要がなくなり、製造上の自由度が増す。また、電流経路となる部分領域のコラム幅と不純物濃度の積を、電流経路とならない部分領域のコラム幅と不純物濃度の積よりも大きくすることができ、一層の低抵抗化が可能となる。

40

さらに、電流経路となる部分領域に過大のキャリアが存在していると、ターンオフ時のキャリアの再結合現象を促進することができ、キャリアの引き抜きに起因するリカバリー電流の急激な変化を抑制することができ、リカバリーサージ電圧を低減し得る。

#### 【0019】

第1部分領域と第2部分領域のそれぞれが薄板状で、繰返し方向に直交する面内で伸びているスーパージャンクション構造の場合、ボディ領域を貫通してドリフト領域に達する

50

トレンチゲートを、第1部分領域が伸びている面と平行に伸ばすようにしてもよい。

この場合、スーパージャンクション構造の第1部分領域と第2部分領域と、トレンチゲート電極が平行に形成され、トレンチゲート電極が全長に亘って、電流経路となる第1部分領域に達している構造を得ることができる。トレンチゲート電極にゲートオン電圧が印加された場合に形成されるチャンネル領域と電流経路となる第1部分領域が広い範囲で接する構造が得られ、オン抵抗が一層に低減される。

【0020】

第1部分領域と第2部分領域のそれぞれが薄板状であれば、第1部分領域と第2部分領域は一方方向に繰返される。第1部分領域と第2部分領域のそれぞれの断面が長方形の柱状であれば、各柱を千鳥格子状に配置することで各部分領域が2方向に繰返されるスーパージャンクション構造が得られる。第1部分領域と第2部分領域のそれぞれの断面が正六角形の柱状であれば、交互に隙間なく配置することで各部分領域が3方向に繰返されるスーパージャンクション構造が得られる。

10

【0021】

第1部分領域と第2部分領域の間の全界面に絶縁膜が形成されていることが好ましい。

第1部分領域と第2部分領域の間の全界面に絶縁膜が形成されていると、効果的に耐圧を向上させることができる。オン抵抗の低減にも効果的である。

【0023】

ドレイン電極とドレイン領域の間に第2導電型の半導体領域が付加されていてもよい。

この構造の半導体装置は、いわゆるIGBTとして機能する。ゲート電極にオン電圧が印加されると、ドレイン領域の電流経路となる導電型の部分領域に正負のキャリアが流入し、伝導度変調現象が生じる。IGBTの場合、MOSの場合のドレイン領域はドレイン領域と称され、ドレイン電極はコレクタ電極と称され、ソース領域はエミッタ領域と称され、ソース電極はエミッタ電極と称されることが多い。

20

IGBTの場合でも、スーパージャンクション構造を実現する第1部分領域と第2部分領域の界面の少なくとも一部に絶縁膜を形成することで耐圧を向上することができる。

【0025】

本発明のスーパージャンクション構造は、ドリフト領域以外にも活用することができ、例えば、周辺領域に適用することができる。

30

この場合の半導体装置は、半導体スイッチング素子群が形成されている中心領域と、その周囲であって半導体スイッチング素子群が形成されていない周辺領域を備える。

本発明を周辺領域に適用した半導体装置の周辺領域では、半導体スイッチング素子群の電極間方向に伸びる第1導電型の第1部分領域と、電極間方向に伸びる第2導電型の第2部分領域が、電極間方向に直交する面内で交互に繰返され、中心領域から周辺領域に向かって連続して形成されており、周辺領域の第1部分領域の中心から周辺領域の第2部分領域の中心までの距離が1.4μm以下であり、周辺領域の第1部分領域と周辺領域の第2部分領域の界面の少なくとも一部からボディ領域内にまで伸びている絶縁膜が形成されていることを特徴とする。

40

半導体装置の周辺領域でも、空乏層を広げ、電界を保持して耐圧を向上させることが求められる。本発明のスーパージャンクション構造は、周辺領域の耐圧を向上させ、ひいては半導体装置の耐圧を向上させる。

本発明を周辺領域に適用するときにも、第1部分領域の不純物濃度が $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上であり、第2部分領域の不純物濃度が $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上であるのが好ましい。また、第1部分領域の幅が1.0μm以下であり、第2部分領域の幅が1.0μm以下であり、第1部分領域と第2部分領域との間に形成されている絶縁膜の膜厚が、0.2μm以下であることが好ましい。

【0026】

本発明のスーパージャンクション構造を備える半導体装置は、下記の製造方法によって製造することができる。

50

即ち、裏面にドレイン電極が設けられており、表面にソース電極が設けられており、そのドレイン電極とソース電極間を電流が流れる半導体装置を製造するにあたって、ドレイン電極とソース電極を結ぶ方向に伸びる第1導電型の第1部分領域を、電極間方向に直交する面内で第1導電型のドレイン領域上に溝を隔てて複数形成する第1部分領域形成段階と、第1部分領域形成段階に次いで、溝に露出する第1部分領域群の側壁に絶縁膜を形成する絶縁膜形成段階と、絶縁膜形成段階に次いで、溝内及び第1部分領域群の上面に第2導電型の半導体領域を成長させる第2半導体領域形成段階と、第2半導体領域形成段階に次いで、第1部分領域群の上部を第2導電型に反転させて反転領域を形成する反転領域形成段階を備えている。さらに、反転領域形成段階の後に、第2半導体領域の表面から第2半導体領域及び反転領域を貫通して反転領域形成段階で導電型が反転しなかった第1部分領域に達するとともに、第2半導体領域及び反転領域に絶縁層を介して対向する複数のトレンチゲート電極を形成するトレンチゲート形成段階と、第2半導体領域内のトレンチゲート電極に隣接する位置に第3部分領域を形成する第3部分領域形成段階とを備えている。

10

上記の製造方法によって製造される半導体装置は、第1部分領域群の上面に形成された第2半導体領域と、反転領域と、絶縁膜を介して反転領域に対向する第2半導体領域の一部がボディ領域を構成し、絶縁膜がボディ領域内に伸びて形成されている。また、その半導体装置は、第1部分領域の中心から溝内の第2半導体領域の中心までの距離が1.4 μm以下である。

上記の製造方法によれば、スーパージャンクション構造を構成する第1導電型の第1部分領域と第2導電型の第2部分領域の界面に絶縁膜が形成されており、半導体装置の表裏に1対の電極が形成されている縦型半導体装置を製造することができる。

20

【0027】

第1部分領域群の上部を第2導電型に反転する反転領域形成段階は、第1導電型の第1部分領域群と第2導電型の半導体領域の相互拡散であってもよい。あるいは、第1部分領域群の上部に、第2導電型の不純物をイオン注入することであってもよい。

第1部分領域の上部が第2導電型に変化し、絶縁膜の端部がボディ領域内に伸びている半導体装置を製造することができる。

【発明の効果】

【0028】

本発明のスーパージャンクション構造を備える半導体装置は、スーパージャンクション構造を微細化することによって得られる高耐圧化と低抵抗化に加え、スーパージャンクション構造の単位となる互層の間に絶縁膜を配置することによって一層の高耐圧化と低抵抗化が得られる。十分に高い耐圧と十分に低い抵抗をとともに実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

図1に示す斜視図は、発明を実施するための一つの最良の半導体装置1の斜視図である。これは以下に説明する複数実施例の共通構造である。図1に示す半導体装置1は縦型電界効果トランジスタであり、n型(第1導電型)の第1部分領域22とp型(第2導電型)の第2部分領域24が交互に繰返されている繰返し領域26を、キャリアがドリフトする領域に備えている。

40

第1電極(ドレイン電極D)上にn型(第1導電型)のドレイン領域21が形成されており、ドレイン領域21上に繰返し領域(ドリフト領域)26が形成されており、繰返し領域(ドリフト領域)26上にp型(第2導電型)のボディ領域32が形成されている。

【0030】

ボディ領域32内にn型(第1導電型)の第3部分領域(ソース領域)34とp<sup>+</sup>型のボディコンタクト領域38が選択的に形成されており、第3部分領域(ソース領域)34とボディコンタクト領域38はソース電極Sと接触している。

図1の半導体装置1はトレンチタイプのゲート電極Gが備えられており、トレンチゲート電極30が、第3部分領域(ソース電極)34に隣接し、ボディ領域32を貫通して繰

50



返し領域（ドリフト領域）26の第1部分領域22まで到達している。トレンチゲート電極30は、繰返し領域（ドリフト領域）26の第1部分領域22と第3部分領域（ソース領域）34との間に介在するボディ領域32に対してゲート絶縁膜31を介して対向している。

トレンチゲート電極30は、繰返し領域（ドリフト領域）26の第1部分領域22と第2部分領域24の組合せの繰返し方向に直交方向に伸びており、薄板状の第1部分領域22と平行方向に伸びている。

#### 【0031】

繰返し領域（ドリフト領域）26の第1部分領域22と第2部分領域24は、その間を電流が流れるドレイン電極Dとソース電極Sとを結ぶ方向Aに沿って長く伸び、電極間方向Aに直交する方向Bに沿って繰返されている。

第1部分領域22と第2部分領域24のそれぞれの幅は、どちらか一方の幅のみを大きく、また狭く形成するのは好ましくない。半導体装置1では、n型の第1部分領域がキャリアの流れる領域であるが、この第1部分領域22がp型の第2部分領域24に比して狭く形成されていると、繰返し領域26のうち第1部分領域22の横断面積の占める割合が減少し、オン抵抗が増大してしまう。また、どちらか一方の幅のみを狭く形成するのは製造の点からの困難であり、それぞれの部分領域（22、24）の幅はバランス良く形成されているのが好ましい。それぞれの部分領域（22、24）の幅が1.0 $\mu\text{m}$ 以下であり、ハーフピッチ幅が1.4 $\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。

#### 【0032】

第1部分領域22と第2部分領域24のそれぞれの不純物濃度と幅の積（チャージバランス）が $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \sim 5 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ の範囲内にあるのが好ましい。なお、本発明の1つの特徴は、チャージバランスが崩れた場合においても、耐圧の向上やリカバリー電流の低減に効果を奏する。

また、第1部分領域22の不純物濃度は $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上が好ましく、第2部分領域24の不純物濃度は $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上であるのが好ましい。なお、この種の繰返し領域26では、それぞれの部分領域（22、24）の不純物濃度が高くなると、それぞれの部分領域（22、24）の幅は狭くなる。他方、それぞれの部分領域（22、24）の不純物濃度が小さくなると、それぞれの部分領域（22、24）の幅は広くなる。そのため、それぞれの部分領域（22、24）の不純物濃度は、それぞれの部分領域（22、24）の幅との関係で実質的に決まってくる。したがって、それぞれの部分領域（22、24）の不純物濃度が極端に大きいということはなく、実質的な範囲内で大きいことが好ましい。

#### 【0033】

繰返し領域（ドリフト領域）26の第1部分領域22と第2部分領域24の界面には絶縁膜28が形成されており、この絶縁膜28は第1部分領域22と第2部分領域24の界面の全領域に亘って形成されており、さらにボディ領域32内にまで伸びて形成されている。ボディ領域32内に伸びて形成されている絶縁膜28は、第3部分領域（ソース領域）34に接触しない程度にボディ領域32内に伸びて形成されているのが好ましい。この場合、オン抵抗の低減に効果がある。

なお、図1に示す半導体装置1の導電型が、逆の構成であっても本形態を具現化することが可能である。

#### 【0034】

図面を参照して以下に各実施例を詳細に説明する。なお、略同一の構造には同一番号を付して説明を省略する場合がある。

（第1実施例）実施例1では酸化膜の有無による半導体装置の耐圧への影響を調べた。

図2～4のそれぞれに、実施例1の半導体装置（2～4）の単位セルが示されている。なお、図2～4に示すp型コラム124は、そのコラム幅のちょうど半分づつが、左右対称に示されている。図2の半導体装置2は、n型コラム122とp型コラム124の間に酸化膜が形成されていない半導体装置であり、図3の半導体装置3と図4の半導体装置4には酸化膜128が形成されており、またその形状が異なるものが示されている。

## 【 0 0 3 5 】

実施例 1 のそれぞれの半導体装置 ( 2 ~ 4 ) は、酸化膜 1 2 8 を除けば、その基本的な構成は同一であるので、図 2 を参照してその構成を説明する。

図 2 の半導体装置 2 は、n 型の不純物を含有する n 型コラム 1 2 2 と p 型の不純物を含有する p 型コラム 1 2 4 が交互に繰返されている繰返し領域 1 2 6 を、キャリアがドリフトする領域に備えた半導体装置 2 である。

図示 1 2 1 はドレイン領域 1 2 1 であり、その裏面側には図示しないドレイン電極が形成されており、主面側には繰返し領域 1 2 6 が形成されており、その繰返し領域 1 2 6 上に p 型のボディ領域 1 3 2 が形成されている。ボディ領域 1 3 2 内に n 型のソース領域 1 3 4 が選択的に形成されており、ソース領域 1 3 4 は図示しないソース電極と接触している。なお、ボディ領域 1 3 2 と p 型コラム 1 2 4 の不純物濃度は等しい。

10

## 【 0 0 3 6 】

繰返し領域 1 2 6 は n 型コラム 1 2 2 と p 型コラム 1 2 4 で構成され、n 型コラム 1 2 2 と p 型コラム 1 2 4 が、図示しないドレイン電極とソース電極を結ぶ方向に対して直交する面内において交互に繰返されて形成されている。

ソース領域 1 3 4 に隣接し、ボディ領域 1 3 2 を貫通して繰返し領域 1 2 6 の n 型コラム 1 2 4 まで到達するトレンチゲート電極 1 3 0 が形成されており、トレンチゲート電極 1 3 0 は繰返し領域 1 2 6 の n 型コラム 1 2 2 とソース領域 1 3 4 との間に介在するボディ領域 1 3 2 に対してゲート絶縁膜 1 3 1 を介して対向している。

トレンチゲート電極 1 3 0 にゲートオン電圧が印加されると、トレンチゲート電極 1 3 0 に対向するボディ領域 1 3 2 に n 型の反転層が形成され、ドレイン領域 1 2 1 からソース領域 1 3 4 が導通することになる。

20

## 【 0 0 3 7 】

図 2 に示す半導体装置 2 の n 型コラム 1 2 2 のコラム幅は  $0.6\mu\text{m}$  であり、p 型コラム 1 2 4 のコラム幅は  $0.8\mu\text{m}$  である。したがって n 型コラム 1 2 2 の中心から p 型コラムの中心までの距離 ( ハーフピッチという ) の幅 ( X ) は  $(0.6+0.8) / 2 = 0.7\mu\text{m}$  で形成されている。繰返し領域 1 2 6 の膜厚方向の膜厚 ( Y ) は  $12\mu\text{m}$  である。

n 型コラム 1 2 2 の不純物濃度は  $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$  であり、p 型コラム 1 2 4 の不純物濃度は  $3.70 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$  で形成されている。したがって、n 型コラム 1 2 2 のチャージバランスは  $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3} \times 0.6 / 2\mu\text{m} = 1.5 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$  であり、p 型コラム 1 2 4 のチャージバランスは  $3.70 \times 10^{16}\text{cm}^{-3} \times 0.8 / 2\mu\text{m} = 1.48 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$  である。半導体装置 2 では若干ながらチャージバランスが崩れて形成されている。なお、一般的にこの種の半導体装置ではチャージバランスを確保して形成される。チャージバランスが確保されていると、半導体装置のオフ状態において、それぞれのコラムのキャリアが結合し消滅する。したがって、それぞれのコラムが実質完全空乏化するので、耐圧を高くすることができる。

30

## 【 0 0 3 8 】

図 3 と図 4 に示す半導体装置 ( 3、4 ) も、図 2 に示す半導体装置 2 と基本的な構成は同様であり、図 3 と図 4 の半導体装置 ( 3、4 ) には酸化膜 1 2 8 が形成されている点が図 2 の半導体装置 2 とは異なる。

図 3 の半導体装置 3 の酸化膜 1 2 8 は、繰返し領域 1 2 6 の n 型コラム 1 2 2 と p 型コラム 1 2 4 の界面のほぼ全領域に亘って広く形成されている。

40

図 4 の半導体装置 4 の酸化膜 1 2 8 は、繰返し領域 1 2 6 の n 型コラム 1 2 2 と p 型コラム 1 2 4 の界面のほぼ全領域に亘って広く形成されていると同時に、ボディ領域 1 3 2 内に伸びて形成されている。図 3 と図 4 のいずれの酸化膜 1 2 8 の膜厚は  $20\text{nm}$  である。

## 【 0 0 3 9 】

トレンチゲート電極 1 3 0 と図示しないソース電極を  $0\text{V}$  とし、図示しないドレイン電極に正電圧を印加し ( オフ状態 ) たときのそれぞれの半導体装置 ( 2 ~ 4 ) の耐圧を調べた。

図 2 の半導体装置 2 の耐圧は  $232\text{V}$  であり、図 3 の半導体装置 3 の耐圧は  $263\text{V}$  であり、図 4 の半導体装置 4 の耐圧は  $264\text{V}$  であった。繰返し領域 1 2 6 の n 型コラム 1 2 2 と p

50

型コラム 1 2 4 の界面に酸化膜 1 2 8 が形成されると、耐圧が向上することが分かった。なお、半導体装置 3 と半導体装置 4 の耐圧はほとんど相違しなかった。したがって、酸化膜 1 2 8 をボディ領域 1 3 2 内に伸びて形成しても耐圧にはほとんど影響しないことが分かる。

他方、それぞれの半導体装置 ( 2 ~ 4 ) のオン抵抗を調べてみると、図 2 の半導体装置 2 のオン抵抗は  $0.0953 \text{ mm}^2$  であり、図 3 の半導体装置 3 のオン抵抗は  $0.0894 \text{ mm}^2$  であり、図 4 の半導体装置 4 のオン抵抗は  $0.0884 \text{ mm}^2$  であった。繰返し領域 1 2 6 の n 型コラム 1 2 2 と p 型コラム 1 2 4 の界面に酸化膜 1 2 8 を形成すると、オン抵抗が低減されることが分かった。さらに、図 3 の半導体装置 3 に比して図 4 の半導体装置 4 のオン抵抗はさらに低減された。したがって、酸化膜 1 2 8 をボディ領域 1 3 2 内に伸びて形成するとオン抵抗の低減には有利であることが分かった。

10

#### 【 0 0 4 0 】

次に、図 2 に示す半導体装置 2 ( 酸化膜が形成されていない場合 ) と、図 4 に示す半導体装置 4 ( 酸化膜 1 2 8 がボディ領域 1 3 2 内に伸びて形成されている場合 ) において、それぞれの p 型コラム 1 2 4 の不純物濃度を変化させた場合の耐圧に与える影響を調べた。同時に図 4 の半導体装置 4 においては、酸化膜 1 2 8 の膜厚を変化させた場合の耐圧への影響を調べた。

#### 【 0 0 4 1 】

図 5 にその結果が示されており、横軸は酸化膜 1 2 8 の膜厚であり、縦軸は半導体装置の耐圧である。図中 i は p 型コラム 1 2 4 の不純物濃度が  $3.75 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  であり、チャージバランスが取れている場合の結果である。なお、n 型コラム 1 2 2 の不純物濃度は  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  で一定である。図中の j、k、l は、それぞれ p 型コラム 1 2 4 の不純物濃度が  $3.70 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、 $3.625 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、 $3.50 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  の結果である。酸化膜厚がゼロの場合が図 2 の半導体装置 2 の構成に対応することになる。

20

なお、図中 h ( 破線で表示 ) はハーフピッチ幅が  $2.0 \mu\text{m}$  ( 従来の半導体装置に相当する ) で、チャージバランスが取れている状態の結果である。

#### 【 0 0 4 2 】

まず、図中 h のハーフピッチ幅が  $2.0 \mu\text{m}$  の結果をみてみると、酸化膜が形成された場合であっても耐圧が向上しておらず、むしろ若干ながら耐圧が劣化していることが分かる。つまり、ハーフピッチ幅が  $2.0 \mu\text{m}$  の大きさの半導体装置では、酸化膜を形成しても耐圧を向上させる効果がないことが分かる。

30

一方、図中 i ~ l の結果 ( ハーフピッチ幅が  $0.7 \mu\text{m}$  ) をみてみると、酸化膜が形成されることで、いずれも耐圧が向上していることが分かる。特にチャージバランスが崩れている場合 ( j、k、l ) ほど、酸化膜による耐圧の向上効果がより顕著に現れていることがわかる。

また、酸化膜厚が  $20 \text{ nm}$  のときの、図中 h と i の結果を比較してみると、図中 i の場合の方が耐圧は高いことが分かる。つまり、ハーフピッチ幅が  $0.7 \mu\text{m}$  以下まで微細化された半導体装置では、酸化膜を形成すると酸化膜を形成しない場合に比して耐圧が向上するのみならず、従来 ( ハーフピッチ幅が  $2.0 \mu\text{m}$  ) に比して耐圧を向上し得ることが分かる。また、この場合のコラム幅は従来よりも狭いので、不純物濃度が高く、したがってオン抵抗も低減することができる。

40

#### 【 0 0 4 3 】

図 6 は、図 5 に示す結果を、横軸に p 型コラムの不純物濃度とし、縦軸に半導体装置の耐圧とした結果である。図中 m は酸化膜厚が  $60 \text{ nm}$  の結果であり、図中 n は酸化膜厚が  $20 \text{ nm}$  の結果であり、図中 o は酸化膜が形成されていない場合に対応している。なお、n 型コラム 1 2 2 の不純物濃度は  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  で一定である。いずれの結果もハーフピッチ幅は  $0.7 \mu\text{m}$  の場合 ( 図 2 の半導体装置 2 又は図 4 の半導体装置 4 ) である。なお、p 型コラムの不純物濃度が  $3.75 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  のときの結果が、チャージバランスが取れている場合に対応している。

図 6 から、チャージバランスが取れている場合、また崩れている場合のいずれの場合で

50

も酸化膜を形成することで耐圧が向上する。さらにチャージバランスの崩れが大きいほど酸化膜の効果が顕著に現れてくることが分かる。また、酸化膜が形成されていない場合（図中o）をみると、チャージバランスの崩れによって耐圧が直線的に劣化する。一方、酸化膜が形成されている場合（図中m、n）では、多少のチャージバランスの崩れでは耐圧が著しく劣化しない。したがって、製造の観点からは、チャージバランスを維持するために不純物濃度を精密に制御する必要がなくなり、製造上の自由度が増す。

また、酸化膜の膜厚の大きさは、チャージバランスの崩れる大きさによって、酸化膜厚を大きくした方が有利であったり、小さくしたほうが有利であったりする。したがって、酸化膜厚の大きさは、その構成に合わせて適宜調整するのが好適である。なお、pn接合界面から空乏層を広げるには酸化膜厚0.2 $\mu\text{m}$ 以下が好ましい。また半導体装置の微細化の点と絶縁破壊電界を高くする点で、より薄い方が好ましく、それぞれのコラム幅が0.1 $\mu\text{m}$ 以下であって、上記の効果を奏する範囲で酸化膜を薄くするのが好ましい。

#### 【0044】

図7と図8にはハーフピッチ幅を変えた場合の半導体装置の耐圧に及ぼす影響を調べた結果が示されている。なお、酸化膜がない場合の基本的な構成は図2の半導体装置2であり、酸化膜を形成している場合の基本的な構成は図4の半導体装置4である。

図7中pとqは、n型コラムとp型コラムの不純物濃度が同じで、チャージバランスしている場合である。図中pは酸化膜が形成されていない場合の結果であり、図中qは膜厚が20nmの酸化膜が形成されている場合の結果である。

図7中rとsは、p型コラムの不純物総量が $1.4 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ で崩れており、図中rは酸化膜が形成されていない場合の結果であり、図中sは膜厚が20nmの酸化膜が形成されている場合の結果である。p型コラムの不純物濃度は少なく、オフ状態ではn型コラムにキャリアが残存する状態である。

図7に示すように、チャージバランスが取れている場合（p、q）であっても、またチャージバランスが取れていない場合（r、s）であっても、ハーフピッチ幅が狭くなるほど酸化膜を形成することによって耐圧向上の効果が顕著に現れてくる。特にチャージバランスが崩れている場合（r、s）には、絶縁膜による耐圧向上効果とともに、その絶縁膜を形成したことによる寄生MOSの効果により耐圧向上はより顕著になる。

図7より、具体的には、ハーフピッチ幅が1.4 $\mu\text{m}$ 以下になると耐圧向上の効果が顕著であることが分かる。

#### 【0045】

図8中tとuは、n型コラムとp型コラムの不純物濃度が同じで、チャージバランスしている場合である。図中tは酸化膜が形成されていない場合の結果であり、図中uは膜厚が20nmの酸化膜が形成されている場合の結果である。

図8中vとwは、n型コラムの不純物総量が $1.575 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ で崩れており、図中vは酸化膜が形成されていない場合の結果であり、図中wは膜厚が20nmの酸化膜が形成されている場合の結果である。n型コラムの不純物濃度は高く、オフ状態ではn型コラムにキャリアが残存する状態である。

図8に示すように、チャージバランスが取れている場合（t、u）であっても、またチャージバランスが取れていない場合（v、w）であっても、ハーフピッチ幅が狭くなるほど酸化膜を形成することによる耐圧向上の効果が顕著に現れてくることが分かる。特に、チャージバランスが崩れている場合には、絶縁膜による耐圧向上効果とともに、その絶縁膜を形成したことによる寄生MOSの効果により耐圧向上はより顕著になる。

図8より、具体的には、ハーフピッチ幅が1.4 $\mu\text{m}$ 以下になるとその効果が顕著であることが分かる。

#### 【0046】

図9は、n型コラムとp型コラムがチャージバランスしている場合において、チャージバランスの設定値を変えたときの半導体装置の耐圧を検討した結果である。図示72と図示74の半導体装置は、酸化膜が形成されている場合（図4の半導体装置4に相当する）であり、そのハーフピッチ幅は図示72が0.7 $\mu\text{m}$ であり、図示74が2.0 $\mu\text{m}$ である。一方

10

20

30

40

50

、図示76と図示78の半導体装置は、酸化膜が形成されていない場合（図2の半導体装置2に相当する）であり、そのハーフピッチ幅は図示76が $0.7\mu\text{m}$ であり、図示78が $2.0\mu\text{m}$ である。なお、チャージバランスの設定値が $2.0 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ が従来からの一般的な設定値である。

図9から、ハーフピッチ幅が狭くなると半導体装置の耐圧が向上する。また、同じハーフピッチ幅（図示72と76、あるいは図示74と78を比較）であっても、酸化膜を形成することによって半導体装置の耐圧が向上する。このことから、所望の耐圧を確保しつつ、チャージバランスの設定値を高くできることがわかる。とくに従来のチャージバランス設定値（ $2.0 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ ）よりも高い場合において、酸化膜を形成することによる半導体装置の耐圧の向上効果が顕著である。なお、酸化膜を形成する場合、所望する半導体装置の耐圧が約100Vであれば、チャージバランス設定値は $4.5 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ 以下とすることができる。オン抵抗の低い半導体装置を実現できる。

#### 【0047】

（第2実施例）第2実施例では、繰返し領域のn型コラムとp型コラムとの間の界面に形成する絶縁膜の形成する位置によって、半導体装置の耐圧及びオン抵抗への影響を調べた結果である。

図10～図15に示すように、繰返し領域326のn型コラム322とp型コラム324との間の界面に形成する位置等を変えて形成している。なお、図10の半導体装置5は酸化膜が形成されていない場合である。実施例2のそれぞれの半導体装置（5～10）は、酸化膜328を除けば、その基本的な構成は同一であるので、図10を参照してその構成を説明する。

#### 【0048】

図10に示す半導体装置5は、実施例1の半導体装置（2～4）とドレイン領域321と繰返し領域326は同一構成であり、トレンチゲート電極330とソース領域334が異なっている。トレンチゲート電極330がn型コラム322だけでなく、p型コラム324にも到達して形成されている。したがって、トレンチゲート電極330にゲートオン電圧が印加されると、トレンチゲート電極330に対向するボディ領域332のうち、ソース領域334とn型コラム324に介在するボディ領域322側のみにn型の反転層が形成され、ドレイン領域121からソース領域134が導通することになる。p型コラム324の上方のボディ領域332には反転層が形成されていない。

#### 【0049】

次に図11～図15の酸化膜328の構成を順に説明すると、図11の半導体装置6は酸化膜328がソース領域334側のn型コラム322とp型コラム324の界面に形成されている。図12の半導体装置7は酸化膜328がソース領域334側とは逆のn型コラム322とp型コラム324の界面の上半分に形成されている。図13に示す半導体装置8は、酸化膜328がソース領域334側とは逆のn型コラム322とp型コラム324の界面の下半分に形成されている。図14の半導体装置9は、酸化膜328がソース領域334側とは逆のn型コラム322とp型コラム324の界面に形成されている。図15に示す半導体装置10は、酸化膜328がn型コラム322とp型コラム324の界面に広く形成されている。

なお、n型コラム322の不純物濃度は $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ であり、p型コラム324の不純物濃度は $3.70 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ で形成されている。

#### 【0050】

図示しないソース電極と、トレンチゲート電極330を0Vとし、図示しないドレイン電極に正電圧を印加した場合（オフ状態）、それぞれの半導体装置（5～10）の耐圧は、図10の半導体装置5は230Vであり、図11の半導体装置6は243Vであり、図12の半導体装置7は250Vであり、図13の半導体装置8は258Vであり、図14の半導体装置9は265Vであり、図15の半導体装置10は265Vであった。

この結果から、半導体装置の耐圧向上に効果のある順に説明すると、絶縁膜が形成されない場合（半導体装置5）に比して、チャネルの形成される側のn型コラムとp型コラム

10

20

30

40

50

の界面に酸化膜を形成するのが好ましく（半導体装置 6）、それよりもチャネルの形成される側とは離れた側の n 型コラムと p 型コラムの界面の上半分に形成するのが好ましく（半導体装置 7）、それよりもチャネルの形成される側とは離れた側の n 型コラムと p 型コラムの界面の下半分に形成するのが好ましく（半導体装置 8）、それよりもチャネルの形成される側とは離れた側の n 型コラムと p 型コラムの界面に形成するのが好ましく（半導体装置 9）、それよりも n 型コラムと p 型コラムの界面の全領域に形成するのが好ましい（半導体装置 10）。

#### 【0051】

次に、それぞれの半導体装置（5～10）のオン抵抗を計測した結果が図 16 に示されており、図中の番号はそれぞれの半導体装置（5～10）に対応している。それぞれの半導体装置（5～10）のオン抵抗は、図 10 の半導体装置 5 は  $0.1059 \text{ mm}^2$  であり、図 11 の半導体装置 6 は  $0.1022 \text{ mm}^2$  であり、図 12 の半導体装置 7 は  $0.1055 \text{ mm}^2$  であり、図 13 の半導体装置 8 は  $0.1052 \text{ mm}^2$  であり、図 14 の半導体装置 9 は  $0.1045 \text{ mm}^2$  であり、図 15 の半導体装置 10 は  $0.101 \text{ mm}^2$  であった。

この結果から、半導体装置のオン抵抗の低減に効果のある順に説明すると、絶縁膜が形成されない場合（半導体装置 5）に比して、チャネルの形成される側とは離れた側の n 型コラムと p 型コラムの界面の上半分に形成するのが好ましく（半導体装置 7）、それよりもチャネルの形成される側とは離れた側の n 型コラムと p 型コラムの界面の下半分に形成するのが好ましく（半導体装置 8）、それよりもチャネルの形成される側とは離れた側の n 型コラムと p 型コラムの界面に形成するのが好ましく（半導体装置 9）、それよりもチャネルの形成される側の n 型コラムと p 型コラムの界面に酸化膜を形成するのが好ましく（半導体装置 6）、それよりも n 型コラムと p 型コラムの界面の全領域に形成するのが好ましい（半導体装置 10）。

#### 【0052】

（第 3 実施例）第 3 実施例では、高耐圧系の半導体装置において、酸化膜を形成することによる半導体装置の耐圧への効果を調べた。図 17 は酸化膜が形成されていない半導体装置 11 のハーフ単位セルが示されており、図 18 には酸化膜が形成されている半導体装置 12 のハーフ単位セルが示されている。実施例 3 のそれぞれの半導体装置（11、12）は、酸化膜 428 を除けば、その基本的な構成は同一であるので、図 17 を参照してその構成を説明する。

#### 【0053】

図 17 に示す半導体装置 11 は、 $p^+$  型のコレクタ領域 421 上に n 型のバッファ領域 427 が形成されている。コレクタ領域 421 の裏面側には図示しないドレイン電極が形成されている。バッファ領域 427 上には繰返し領域 426 が形成されており、その繰返し領域 426 上にボディ領域 437 が形成されている。ボディ領域 437 内には選択的にエミッタ領域 438 が形成されており、そのエミッタ領域 438 は図示しないエミッタ電極に接触している。

繰返し領域 426 は n 型の不純物を含む n 型コラム 422 と、p 型の不純物を含む p 型コラム 424 を備えている。n 型コラム 422 と p 型コラム 424 とは、図示しないドレイン電極とエミッタ電極とを結ぶ方向に垂直直交する面内で交互に繰返して形成されている。

エミッタ領域 438 に隣接し、ボディ領域 437 を貫通して繰返し領域 426 の n 型コラム 422 にまで到達するトレンチゲート電極 435 が形成されている。トレンチゲート電極 435 は、n 型コラム 422 とエミッタ領域 438 に介在するボディ領域 437 に対して、ゲート絶縁膜 436 を介して対向して形成されている。

n 型コラム 422 のコラム幅は  $0.6 \mu\text{m}$  であり、p 型コラム 425 のコラム幅は  $0.8 \mu\text{m}$  である。したがってハーフピッチ幅は  $0.7 \mu\text{m}$  で形成されている。

n 型コラム 423 の不純物濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  であり、p 型コラム 425 の不純物濃度は  $2.25 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  である。この場合、チャージバランスが  $0.9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  で設定されている。繰返し領域 426 の膜厚方向の距離は、 $110 \mu\text{m}$  で形成されている。バッファ領域 4

10

20

30

40

50

27の不純物濃度は $3 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ である。

【0054】

図18に示す半導体装置12には、図17に示す半導体装置11に加えて酸化膜428が繰返し領域426のn型コラム422とp型コラム424との間の界面の広い領域に亘って形成されており、さらにボディ領域437内にまで伸びて形成されている。

それぞれの半導体装置(11、12)の動作を説明すると、トレンチゲート電極435に正電圧を印加すると、トレンチゲート電極435に対向するボディ領域437にn型の反転層が形成され、エミッタ領域438から繰返し領域426へ向けて電子キャリアが供給される。他方、図示しないドレイン電極に正電圧が印加されている場合には、コレクタ領域421から繰返し領域426へ向けて正孔キャリアが供給される。この結果、それぞれの半導体装置(11、12)はオン状態となり動作する。

10

【0055】

図示しないエミッタ電極とゲート電極を0Vとし、図示しないドレイン電極に正電圧を印加した場合(オフ状態)のドレイン電圧とドレイン電流の関係が図19と図20に示されており、図19は図17に示す半導体装置11の結果であり、図20は図18に示す半導体装置12の結果である。

図19に示すように、酸化膜を形成していない半導体装置11では、ドレイン電圧が357Vの箇所で半導体装置11が絶縁破壊されていることが分かる。他方、酸化膜428を形成している半導体装置12では、1000Vを超えても絶縁破壊がまだ生じていないことが分かる。特に半導体装置12の等電位線分布は、繰返し領域426の全領域に亘って略等間隔に分布するようになり、電界の集中は緩和される。このように高耐圧系の半導体装置では、酸化膜428を形成することで、繰返し領域426の全領域に亘って電界を保持し、耐圧が向上する効果が極めて高いことが分かった。

20

また、トレンチゲート電極435がn型部分領域423に浸入しているこの種の半導体装置では、トレンチゲート電極435が浸入している領域近傍において、チャージバランスが崩れ易い。高耐圧系では、そのチャージバランスの崩れによって、電界強度が繰返し領域426の上部に偏って集中してしまう。そのチャージバランスの崩れに対して、酸化膜428を形成することで、その影響を緩和することができ、繰返し領域426の広い領域に亘って電界を保持できる。このように高耐圧系では耐圧を向上する効果が極めて大きく現れると推察される。

30

なお、それぞれの半導体装置(11、12)において、p<sup>+</sup>型のコレクタ領域421のない構成(いわゆる電界効果トランジスタに相当する)としても、同様の作用効果によって耐圧を向上する効果がある。

【0056】

図21には、高耐圧系のそれぞれの半導体装置(11、12)において、n型コラムとp型コラムのチャージバランスの設定値を変化させた場合の半導体装置の耐圧への影響を調べた結果が示されている。

図21には、横軸にチャージバランスの設定値とし、縦軸に半導体装置の耐圧としている。図中の各番号(11、12)は各半導体装置(11、12)に対応している。

なお、高耐圧系の半導体装置においては、チャージバランスの設定値は典型的には $1 \times 10^{12} \sim 2 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ の範囲で設定される。

40

【0057】

図21に示すように、典型的なチャージバランスの設定値の範囲内において、酸化膜を形成することで半導体装置12の耐圧は優位に向上している。高耐圧系の半導体装置では、酸化膜による耐圧向上の効果が極めて大きく、酸化膜の形成は有効な手段であることが分かる。

【0058】

(第4実施例)第4実施例は、周辺領域Nにおいて繰返し領域526を構成し、その繰返し領域526に酸化膜528を形成した場合の耐圧への効果を調べた。周辺領域Nとは半導体装置において、半導体スイッチング素子が形成されている中心領域Mの周囲であっ

50

て、半導体スイッチング素子が形成されていない終端領域のことをいう。通常は、中心領域Mの繰返し領域526が周辺領域Nに向かって連続して形成されている。

図22と図23の(a)には、周辺領域Nと、その周辺領域Nと接する中心領域Mの要部断面図が模式的に示されている。

図22と図23の(b)には、それぞれの半導体装置にブレークダウン電圧を印加したときの等電位線分布のうち、周辺領域N側のみが図に重ねて描かれている。なお、図22と図23の(b)は、図22と図23の(a)の周辺領域Nと対応しているが、図22と図23の(a)はデフォルメして描かれているため、n型コラム522などの数は一致していない。

図22は繰返し領域526のn型コラム522とp型コラム524との間に酸化膜528が形成されていない場合であり、図23は酸化膜528が形成された場合である。

#### 【0059】

図22(a)を参照して周辺領域Nの構成を説明する。図22(a)の半導体装置13は、半導体スイッチング素子が形成される中心領域Mと、その周囲であって半導体スイッチング素子が形成されていない周辺領域Nを備える半導体装置13である。

まず中心領域Mと周辺領域Nの共通部分に関して説明すると、n型のドレイン領域521上に繰返し領域526が形成されており、繰返し領域526上にボディ領域532が形成されている。中心領域M側から周辺領域N側をみたときに、繰返し領域526のさらに周辺には、n型の終端部529が形成されている。

周辺領域N側を説明すると、ボディ領域532上には、オフ状態においてより効果的にボディ領域532に空乏層を広げるために、n型のトップ領域543が形成されている。トップ領域543上は二酸化シリコンからなる選択酸化膜540で覆われている。

中心領域M側を説明すると、中心領域M側のボディ領域532内には、n<sup>+</sup>型のソース領域534とp<sup>+</sup>型のボディコンタクト領域538が選択的に形成されており、そのソース領域534と繰返し領域526を隔てるボディ領域532に、ゲート絶縁膜531を介してトレンチゲート電極530が対向している。ソース領域534とボディコンタクト領域538はコンタクトホール542を介してソース電極541と接続している。トレンチゲート電極530とソース電極541は選択酸化膜540によって分離されている。ドレイン領域521の裏面側には図示しないドレイン電極が形成されている。繰返し領域526には、中心領域Mのドレイン電極とソース電極541を結ぶ方向に伸びるn型のn型コラム522と、その電極間方向に伸びるp型のp型コラム524が、その電極間方向に直交する面内で交互に繰り返して形成されている。

n型コラム522のコラム幅は0.6 $\mu\text{m}$ であり、p型コラム524のコラム幅は0.8 $\mu\text{m}$ である。したがってn型コラム522とp型コラム524との組み合わせのハーフピッチ幅が0.7 $\mu\text{m}$ である。n型コラム522の不純物濃度は $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ であり、p型コラム524の不純物濃度は、 $3.70 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ である。また、周辺領域Nのボディ領域532とトップ領域543のそれぞれの不純物濃度や膜厚(紙面上下方向の厚み)は、例えばn型コラム522やp型コラム524と同じ設計としてもよい。好ましくは、ボディ領域532とトップ領域543の不純物濃度を下げながら不純物総量が $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 以下となるように設計するのがよく、不純物分布としては均一または濃度勾配を有してもよい。

なお、図23の半導体装置14には第1部分領域522と第2部分領域524との間の界面の全領域に亘って酸化膜528が形成されている。

#### 【0060】

図22と図23の(b)にはブレークダウン電圧における等電位線分布が重ねて描かれており、等電位分布は10Vステップである。

図22と図23(b)の等電位線分布を比較してみると、図23(b)の半導体装置14は、図22(b)の半導体装置13に比して等電位線分布が繰返し領域526において広い領域に亘って略等間隔に並んでおり、電界集中が緩和されていることが分かる。これにより広い範囲に亘って電界を保持することができる。この結果、図22(b)の半導体装置13の耐圧は185Vであるのに比して、図23(b)の半導体装置14の耐圧は2

10

20

30

40

50



45Vであり、大きく向上している。

【0061】

(第5実施例)第5実施例では、繰返し領域を備えた半導体装置において、酸化膜が形成された場合の逆回復電流への効果を調べた。逆回復電流とは、半導体装置の内蔵ダイオードに印加する準バイアス電圧をターンオフしたときに、過渡的な瞬間に逆方向へ流れる電流のことをいう。この逆方向へ流れる電流の絶対値は、始めは増大し、その後はゼロに向かって収束して流れる。このとき逆方向へ流れる電流の最大値や、電流が逆方向へ流れ続けている時間を低減することは損失の低減にとって重要である。また、逆方向へ流れる電流がゼロへ収束していくときの電流の変化率が大きいとサージ電圧が発生する原因となる。したがってこの逆回復電流の変化率を低減することも重要である。

10

【0062】

図24に示す半導体装置15は縦型電界効果トランジスタであり、そのハーフセル単位が示されている。図24の半導体装置15の特徴は、n型コラム622の幅が0.3 $\mu\text{m}$ であり、p型コラム624の幅が0.9 $\mu\text{m}$ である。不純物濃度は、n型コラム622が $1.44 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ であり、p型コラム624が $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ である。したがって、n型コラム622のチャージバランスが高く崩れており、オフ状態ではn型コラム622にキャリアが残存する構成となっている。また、n型コラム622とp型コラム624との界面の全領域に亘って酸化膜628が形成されており、その膜厚は20nmである。なお、酸化膜628はボディ領域632内の伸びて形成されている。

【0063】

20

この半導体装置15の内蔵ダイオードに流れる電流を示したのが図25であり、この内蔵ダイオードをターンオフしたときの過渡的な瞬間に流れる逆回復電流が示されている。図25中82は酸化膜が形成されていない場合の電流であり、図25中84は酸化膜が形成されている場合(図24の半導体装置15)の電流である。

図中82の過渡的な瞬間に流れる逆方向電流の最大値に比して、図中84の逆方向電流の最大値が減少していることが分かる。また、その逆方向電流の流れる時間も減少していることが分かる。具体的には、酸化膜が形成されていない場合(図中82)の過渡的な期間に流れる逆回復電流の最大値は-1.95Aであり、電流が流れる時間は30nsecであった。他方、酸化膜を形成した場合(図中84)の過渡的な期間に流れる逆回復電流の最大値は-1.57Aであり、電流が流れる時間は21nsecであった。したがって低損失化が可能となっている。

30

さらに、酸化膜が形成されない場合(図中82)では、逆回復電流が瞬間的に急激に変化しているが(図中の破線に囲まれた箇所83)、酸化膜が形成された場合(図中84)では、このような急激な電流変化が観察されない。したがってサージ電圧を低減するにも効果的である。

【0064】

(第6実施例)図26と図27では、繰返し領域を備えた半導体装置(16、17)の斜視図が示されている。このような半導体装置(16、17)においても、酸化膜を形成することで、耐圧を向上することができる。

図26に示す半導体装置16は、横方向にキャリアがドリフトする電界効果トランジスタが示されている。ドレイン電極Dとソース電極がS半導体装置の同一平面側に形成されており、したがって、キャリアは半導体装置16の膜厚方向に対して横方向にドリフトする。この場合、繰返し領域726のn型部分領域722とp型部分領域724は、ドレイン電極Dとソース電極Sを結ぶ方向(半導体装置16に対して横方向)に対して直交する面内において交互に繰返されて形成されている。n型部分領域722とp型部分領域724のハーフピッチ幅は1.4 $\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。

40

【0065】

図27にダイオードの半導体装置17が示されている。カソード電極Cと接触するn<sup>+</sup>型の第1導電型領域921上に繰返し領域926が形成されており、その繰返し領域926上にp<sup>+</sup>型の第2導電型領域932が形成されており、その第2導電型領域932はア

50

ノード電極 A と接触している。

繰返し領域 9 2 6 に n 型部分領域 9 2 2 と p 型部分領域 9 2 4 とを単位互層とする組み合わせがカソード電極 C とアノード電極 A とを結ぶ方向に対して直行する面内で交互に繰返されている。n 型部分領域 9 2 2 と p 型部分領域 9 2 4 のハーフピッチ幅が  $1.4\mu\text{m}$  以下であるのが好ましい。n 型部分領域 9 2 2 と p 型部分領域 9 2 4 の間の界面には酸化膜 9 2 8 が形成されている。

上記の半導体装置 1 7 が逆バイアス状態のとき、酸化膜 9 2 8 が無い構成の半導体装置に比して、繰返し領域 9 2 6 の広い範囲に亘って空乏層が広がり、電界を保持することができるため、高い耐圧を確保することができる。

#### 【 0 0 6 6 】

(比較例) 次に、ハーフピッチ幅が  $2.0\mu\text{m}$  の場合を比較例として、酸化膜を形成した場合の耐圧への影響を調べた。

図 2 8 に示す半導体装置 1 8 は縦型電界効果トランジスタであり、そのハーフセル単位が示されている。図 2 8 の半導体装置 1 8 の特徴は、n 型コラム 2 2 2 の幅が  $1.0\mu\text{m}$  であり、p 型コラム 2 2 4 の幅が  $3.0\mu\text{m}$  である。不純物濃度は、n 型コラム 2 2 2 が  $3.0 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$  であり、p 型コラム 2 2 4 が  $1.0 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$  である。したがって、n 型コラム 2 2 2 と p 型コラム 2 2 4 のチャージバランスは確保されている。n 型コラム 2 2 2 と p 型コラム 2 2 4 との界面のほぼ全領域に亘って酸化膜 2 2 8 が形成されており、その膜厚は  $20\text{nm}$  である。

#### 【 0 0 6 7 】

図示しないソース電極とゲート電極 2 3 0 を  $0\text{V}$  とし、図示しないドレイン電極に正電圧を印加したとき(オフ状態)、酸化膜が形成されていない場合の耐圧が  $263\text{V}$  であるのに対し、酸化膜を形成した場合の耐圧は  $262\text{V}$  であった。耐圧の差はほとんど計測されなかった。したがって、ハーフピッチ幅が  $2.0\mu\text{m}$  まで大きい場合には、酸化膜を形成することの効果はほとんどみられない。

また、p 型コラム 2 2 4 のチャージバランスが崩れた場合において、酸化膜 2 2 8 の有無による影響も調べた。

p 型コラム 2 2 4 の不純物濃度を  $9.34 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$  で形成した場合、酸化膜 2 2 8 が形成されていないときの耐圧が  $249\text{V}$  であるのに対し、酸化膜 2 2 8 を形成したときの耐圧は  $239\text{V}$  であった。

p 型コラム 2 2 4 の不純物濃度を  $8.0 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$  で形成した場合、酸化膜 2 2 8 が形成されていないときの耐圧が  $162\text{V}$  であるのに対し、酸化膜 2 2 8 を形成したときの耐圧は  $159\text{V}$  であった。

いずれの場合でも、ハーフピッチ幅が  $2.0\mu\text{m}$  まで大きい場合には、p 型コラム 2 2 4 のチャージバランスが崩れているときに酸化膜を形成しても、耐圧向上の効果はみられないことが分かった。

#### 【 0 0 6 8 】

(第 7 実施例) 第 7 実施例では繰返し領域を備え、その繰返し領域に酸化膜が形成された半導体装置の製造方法の主要な工程を、図 2 9 ~ 図 3 5 を用いて説明する。

図 2 9 に示すように、 $n^+$  型の単結晶シリコンからなるドレイン領域 2 1 の上に離間して存在する n 型コラム 2 2 を準備する。具体的には、 $n^+$  型のドレイン領域 2 2 の上に、n 型のシリコン結晶をエピタキシャル成長させ、次に R I E 等のドライエッチング(異方性エッチング)によって溝を形成することによって離間して存在する n 型コラム 2 2 を準備することができる。

次に、図 3 0 に示すように、離間して存在する n 型コラム 2 2 とドレイン領域 2 1 とを熱酸化して酸化膜 2 8 を形成する。

次に図 3 1 に示すように異方性エッチングを実施して、ドレイン領域 2 1 の上面と、離間して存在する n 型コラム 2 2 の上面の酸化膜 2 8 をエッチング除去する。

次に図 3 2 に示すように、露出するドレイン領域 2 1 の上面から n 型コラム 2 2 を囲繞するまで p 型のシリコン結晶を埋め込みエピタキシャル成長させて、p 型コラム 2 4 と n

10

20

30

40

50

型コラム 2 6 が交互に繰返された繰返し領域 2 6 を形成する。なお、この繰返し領域 2 6 の製造方法としてはエピタキシャル成長に限定されず、例えば、斜めイオン注入法、マルチエピタキシャル法、埋め込みエピタキシャル法によって形成することができる。

【 0 0 6 9 】

このとき、p 型コラム 2 4 の p 型の不純物と n 型コラム 2 2 の n 型の不純物が、n 型コラム 2 2 の上面の界面において相互拡散する。そのため n 型コラム 2 2 の上面は実質的にカウンタードーピングされ、p 型に反転される場合がある。なお、n 型コラム 2 2 の上部（図 3 2 に示す破線より上）を積極的に p 型に反転させるため、その位置に対して p 型の不純物をイオン注入してもよい。その結果、図 3 3 に示すように、n 型コラム 2 2 の上面は p 型に反転される。これにより、繰返し領域 2 6 の n 型コラム 2 2 と p 型コラムの 2 4 との間の界面に形成されている酸化膜 2 8 が繰返し領域 2 6 から上部へ伸びて形成された状態を形成することができる。

10

次に図 3 4 に示すように、繰返し領域 2 6 の繰返し方向（紙面左右）と直交方向（紙面垂直）に異方性エッチングによりトレンチを形成する。トレンチは n 型コラム 2 2 の形成位置に対応して形成される。

次に、トレンチの壁面を熱酸化してゲート絶縁膜 3 1 を形成する。

次に、図 3 5 に示すようにトレンチ内にポリシリコン等を充填しトレンチゲート電極 3 0 を形成する。この後に、トレンチゲート電極 3 0 に隣接する位置にソース領域形成するなどすると、n 型コラム 2 2 と p 型コラム 2 4 の界面に絶縁膜 2 8 が形成された繰返し領域 2 6 を備えた半導体装置を形成することができる。

20

【 0 0 7 0 】

以上、本発明の具体例を詳細に説明したが、これらは例示に過ぎず、特許請求の範囲を限定するものではない。特許請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例を様々に変形、変更したものが含まれる。

本発明の半導体は、単結晶のシリコンに限られず、例えば GaN、SiC、ダイヤモンド、ZnO などのワイドバンドギャップの半導体材料、また単結晶に限られずアモルファスや多結晶によって構成してもよい。同様の作用効果を奏し得る。また、絶縁膜は酸化膜に限定することなく、窒化シリコンなどの高誘電体膜でもよい。

また、本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成し得るものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 1 】

【図 1】本発明に係る半導体装置 1 の最良の形態の斜視図を示す。

【図 2】実施例 1 の半導体装置 2 の単位セルを示す。

【図 3】実施例 1 の半導体装置 3 の単位セルを示す。

【図 4】実施例 1 の半導体装置 4 の単位セルを示す。

【図 5】実施例 1 の半導体装置の酸化膜厚と耐圧の関係を示す。

【図 6】実施例 1 の半導体装置の p 型コラム濃度と耐圧の関係を示す。

40

【図 7】ハーフピッチ幅と耐圧の関係を示す（1）。

【図 8】ハーフピッチ幅と耐圧の関係を示す（2）。

【図 9】チャージバランス設定値と耐圧の関係を示す。

【図 10】実施例 2 の半導体装置 5 の単位セルを示す。

【図 11】実施例 2 の半導体装置 6 の単位セルを示す。

【図 12】実施例 2 の半導体装置 7 の単位セルを示す。

【図 13】実施例 2 の半導体装置 8 の単位セルを示す。

【図 14】実施例 2 の半導体装置 9 の単位セルを示す。

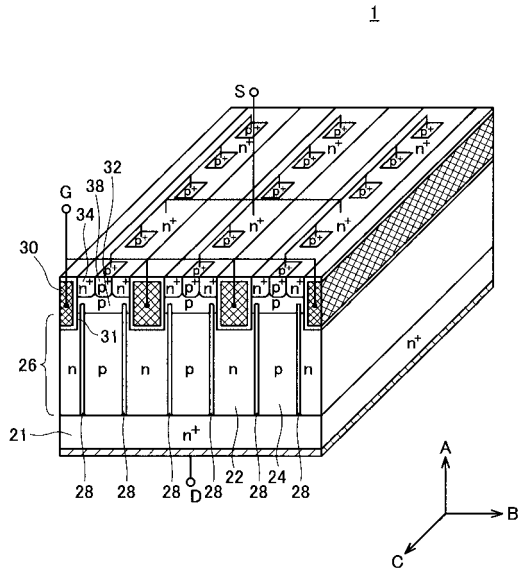
【図 15】実施例 2 の半導体装置 10 の単位セルを示す。

【図 16】実施例 2 の半導体装置のそれぞれのオン抵抗を示す。

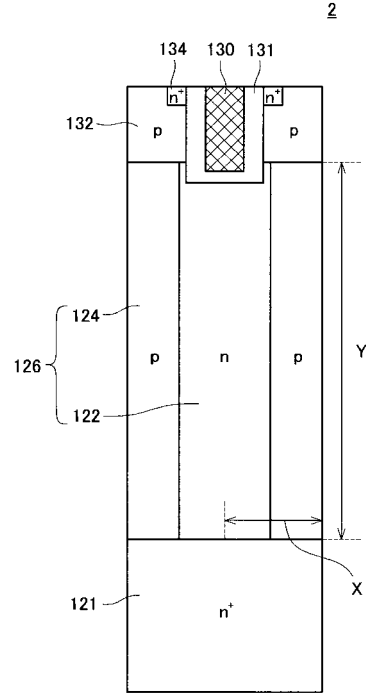
50

- 【図 17】実施例 3 の半導体装置 11 のハーフ単位セルを示す。
- 【図 18】実施例 3 の半導体装置 12 のハーフ単位セルを示す。
- 【図 19】実施例 3 の半導体装置 11 のドレイン電圧とドレイン電流の関係を示す。
- 【図 20】実施例 3 の半導体装置 12 のドレイン電圧とドレイン電流の関係を示す。
- 【図 21】実施例 3 の半導体装置のチャージバランス設定値と耐圧の関係を示す。
- 【図 22】( a ) 実施例 4 の半導体装置 13 の中心領域と周辺領域の要部断面図の模式図を示す。( b ) 周辺領域のブレークダウン電圧での等電位線分布を示す。
- 【図 23】( a ) 実施例 4 の半導体装置 14 の中心領域と周辺領域の要部断面図の模式図を示す。( b ) 周辺領域のブレークダウン電圧での等電位線分布を示す。
- 【図 24】実施例 5 の半導体装置 15 のハーフ単位セルを示す。 10
- 【図 25】実施例 5 の半導体装置のターンオフ時の電流変化を示す。
- 【図 26】実施例 6 の半導体装置 16 の斜視図を示す。
- 【図 27】実施例 6 の半導体装置 17 の斜視図を示す。
- 【図 28】比較例の半導体装置 18 のハーフ単位セルを示す。
- 【図 29】実施例 7 の半導体装置の製造方法を示す ( 1 ) 。
- 【図 30】実施例 7 の半導体装置の製造方法を示す ( 2 ) 。
- 【図 31】実施例 7 の半導体装置の製造方法を示す ( 3 ) 。
- 【図 32】実施例 7 の半導体装置の製造方法を示す ( 4 ) 。
- 【図 33】実施例 7 の半導体装置の製造方法を示す ( 5 ) 。
- 【図 34】実施例 7 の半導体装置の製造方法を示す ( 6 ) 。
- 【図 35】実施例 7 の半導体装置の製造方法を示す ( 7 ) 。
- 【図 36】従来 of 半導体装置 19 の斜視図を示す。
- 【符号の説明】
- 【 0072 】
- 21 : ドレイン領域
- 22 : n 型コラム ( 第 1 部分領域 )
- 24 : p 型コラム ( 第 2 部分領域 )
- 26 : 繰返し領域
- 28 : 絶縁膜
- 30 : トレンチゲート電極 30
- 31 : ゲート絶縁膜
- 32 : ボディ領域
- 34 : ソース領域 ( 第 3 部分領域 )

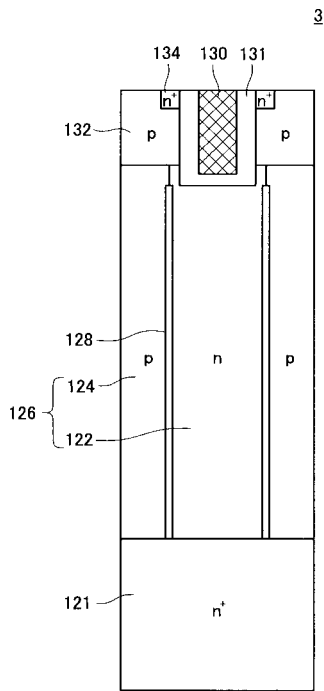
【図1】



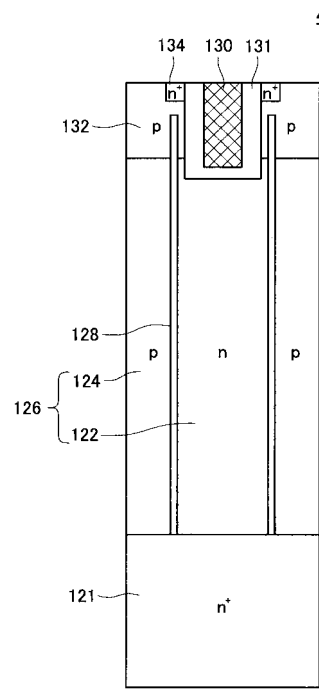
【図2】



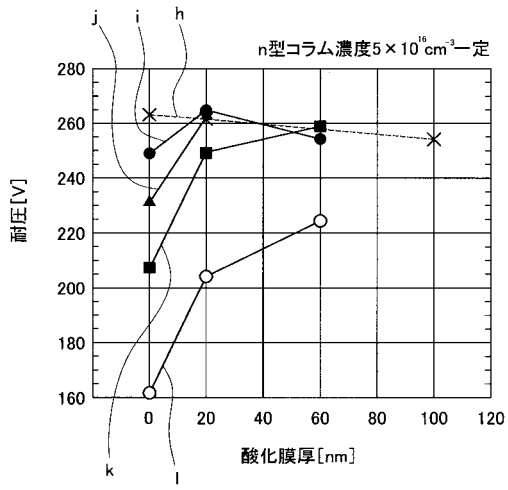
【図3】



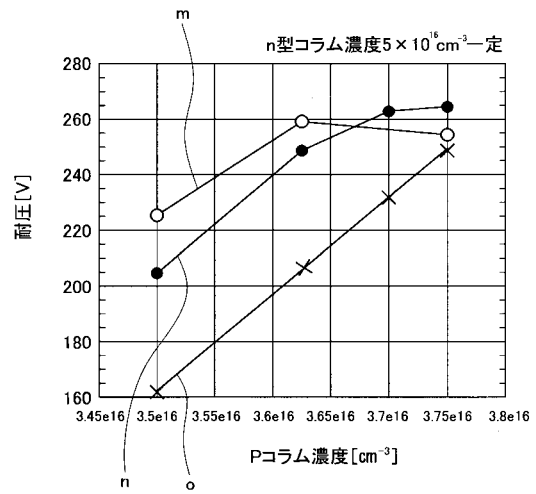
【図4】



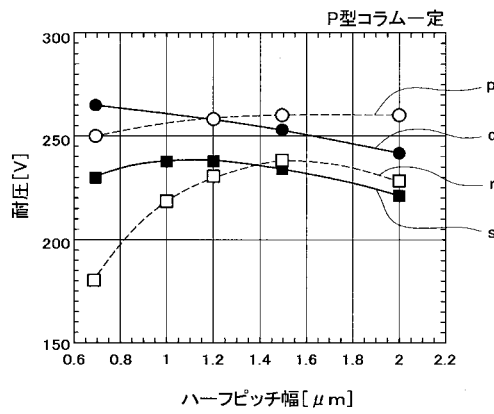
【図5】



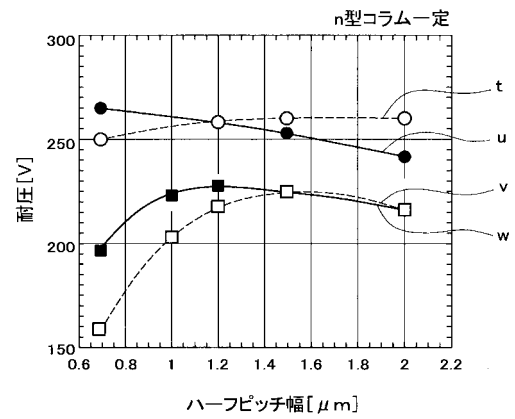
【図6】



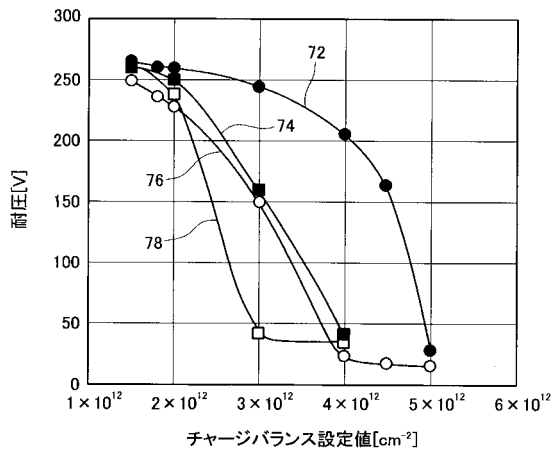
【図7】



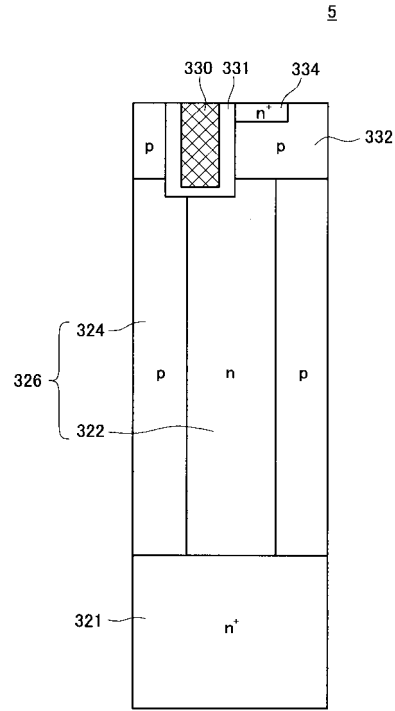
【図8】



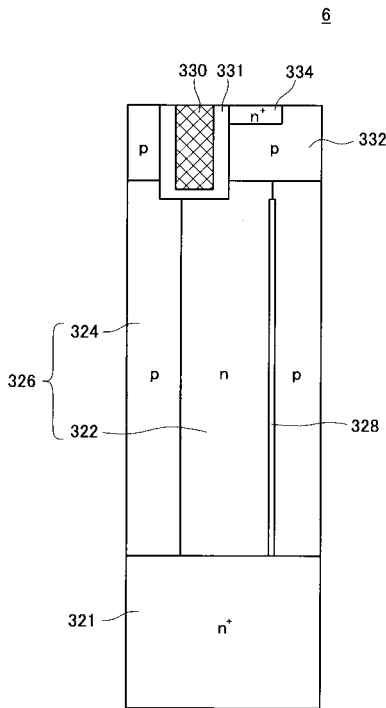
【図9】



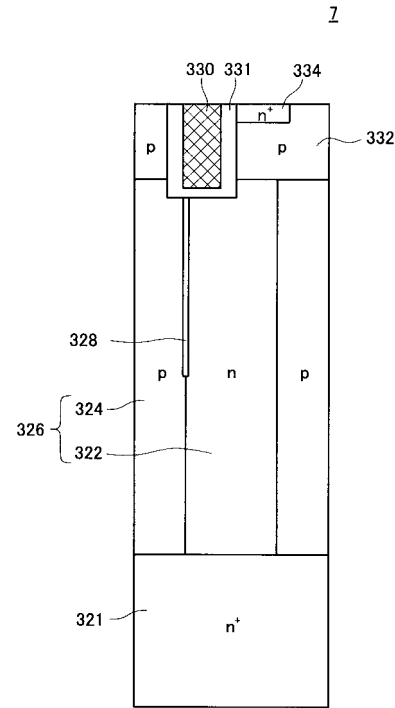
【図10】



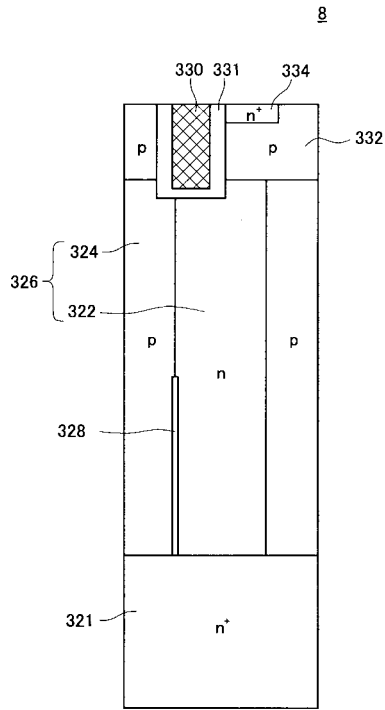
【図11】



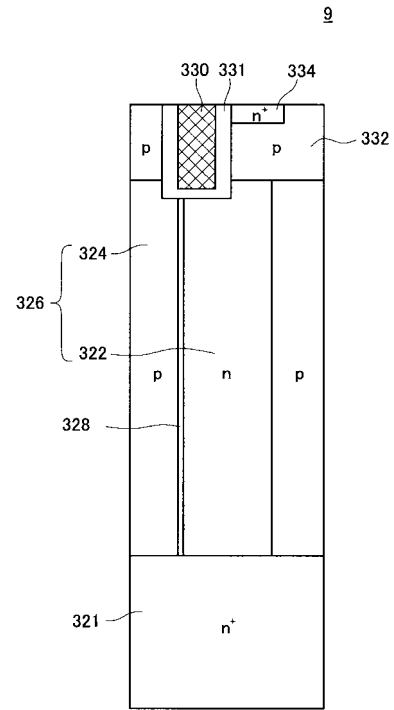
【図12】



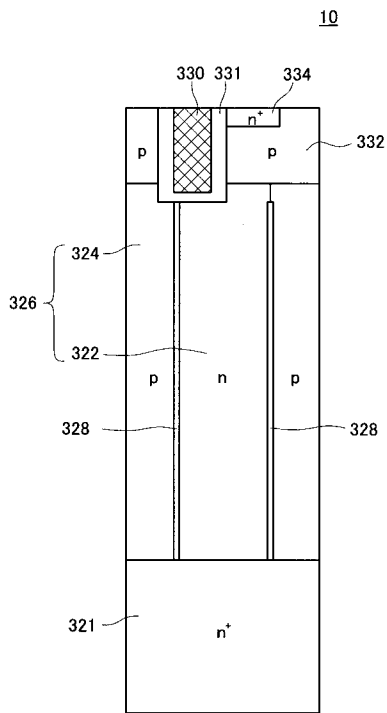
【図13】



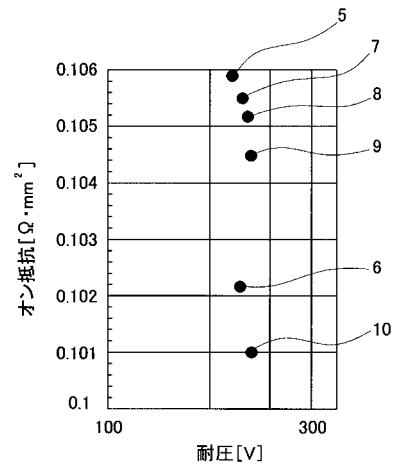
【図14】



【図15】

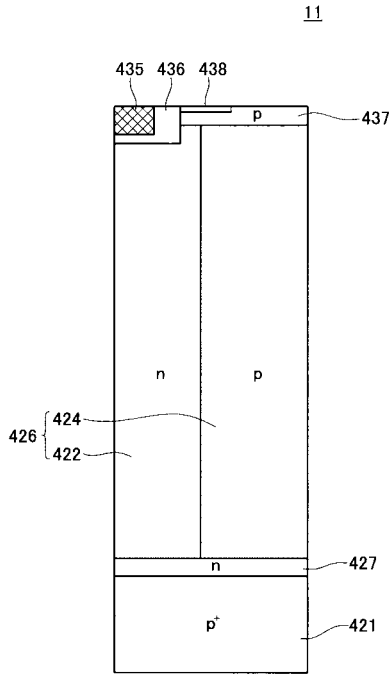


【図16】

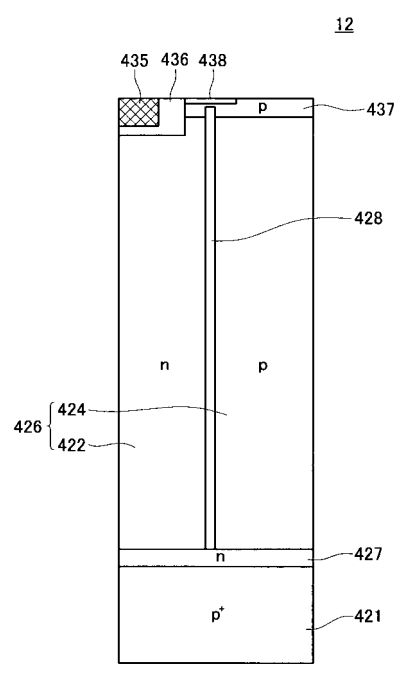




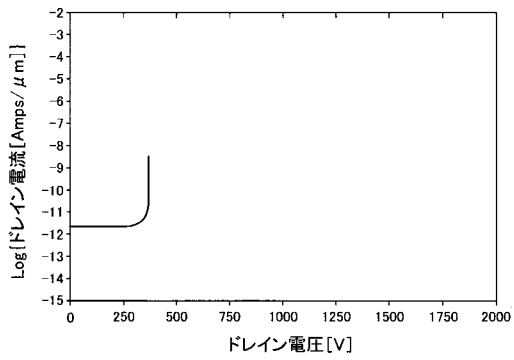
【図17】



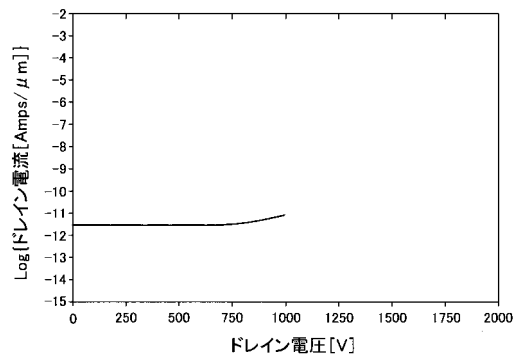
【図18】



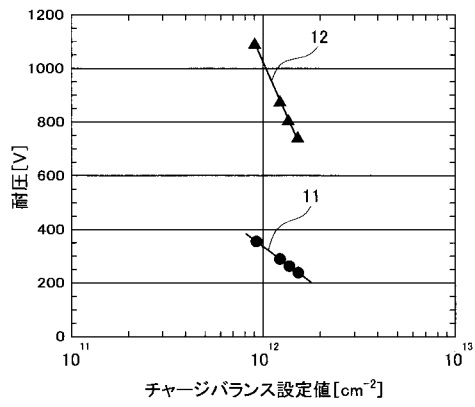
【図19】



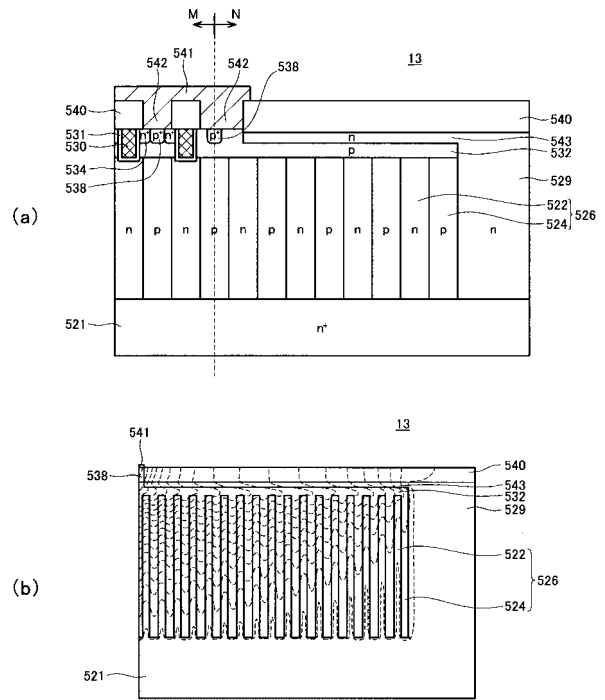
【図20】



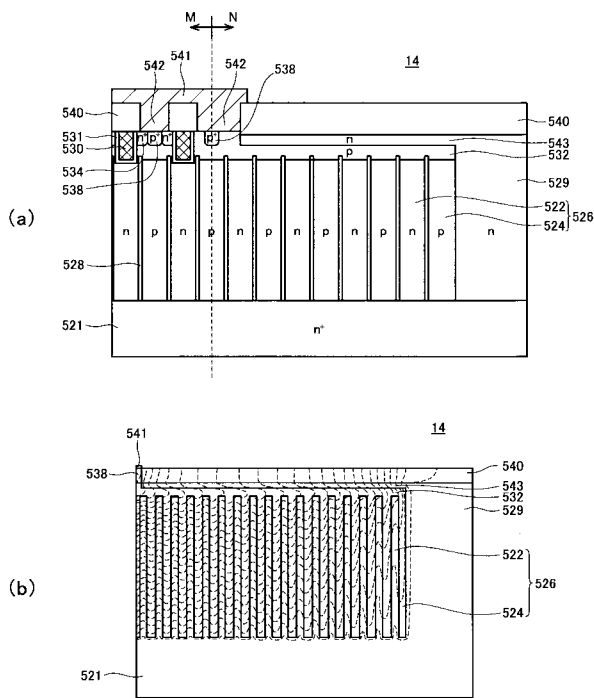
【図 2 1】



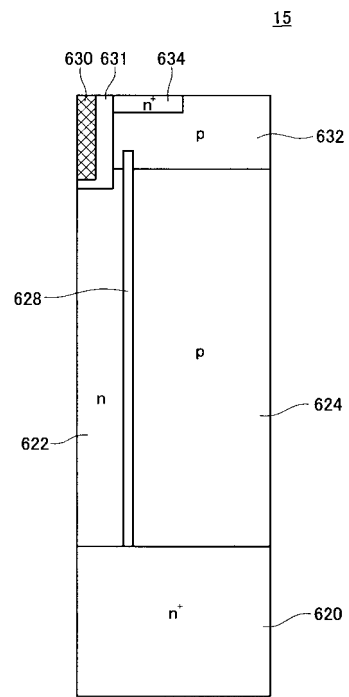
【図 2 2】



【図 2 3】

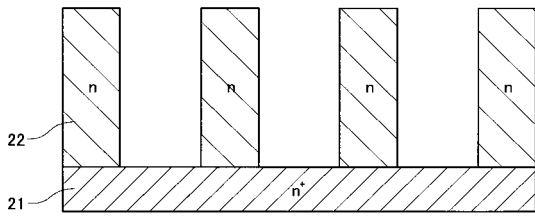


【図 2 4】

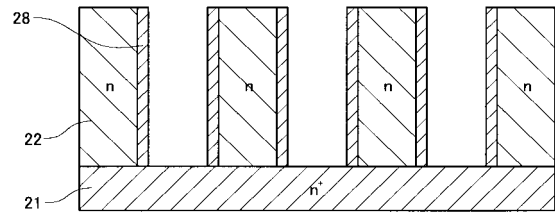




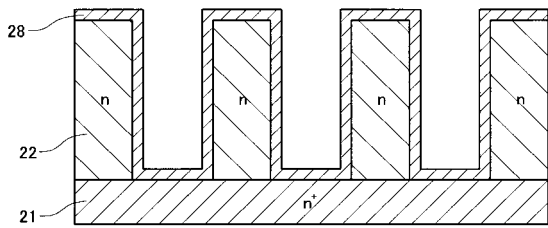
【図 29】



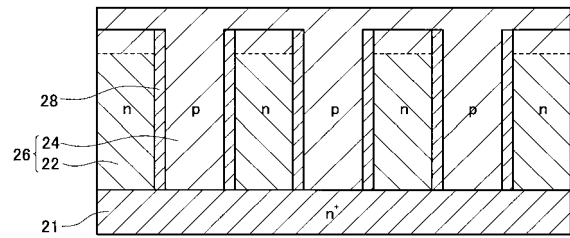
【図 31】



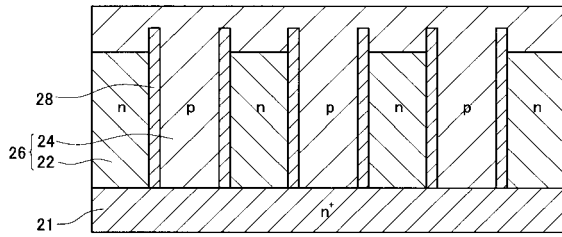
【図 30】



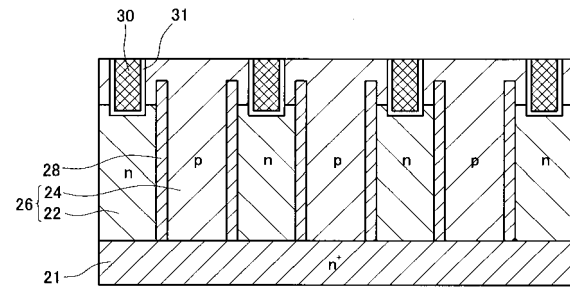
【図 32】



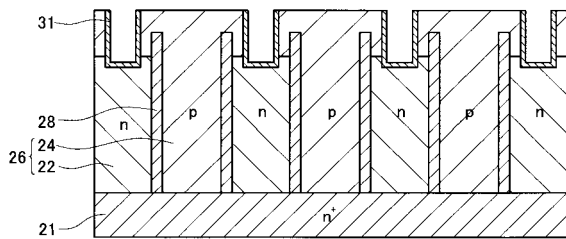
【図 33】



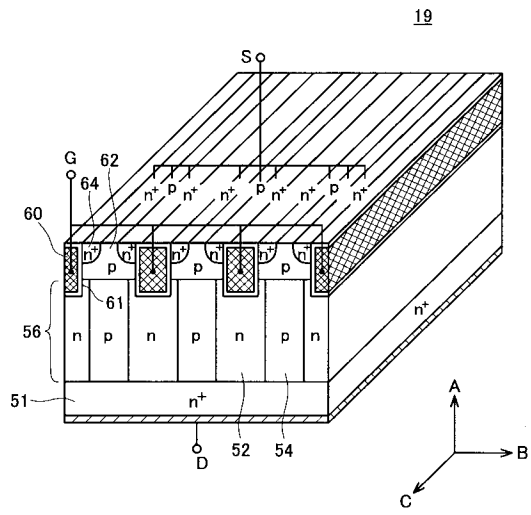
【図 35】



【図 34】



【 36 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-298053(JP,A)  
特開平09-266311(JP,A)  
特開2001-127289(JP,A)  
特開平10-223896(JP,A)  
特表2002-531952(JP,A)  
特開2001-135819(JP,A)  
特開2001-298190(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/78  
H01L 29/739  
H01L 21/336