

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7689111号
(P7689111)

(45)発行日 令和7年6月5日(2025.6.5)

(24)登録日 令和7年5月28日(2025.5.28)

(51)国際特許分類

F I

H 1 0 D 30/66 (2025.01)

H 1 0 D 30/66 1 0 1 J

H 1 0 D 62/10 (2025.01)

H 1 0 D 30/66 1 0 1 F

H 1 0 D 30/01 (2025.01)

H 1 0 D 62/10 1 0 1 D

H 1 0 D 62/10 1 0 1 V

H 1 0 D 30/01 3 0 1 E

請求項の数 18 (全21頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2022-511722(P2022-511722)
 (86)(22)出願日 令和3年3月9日(2021.3.9)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2021/009151
 (87)国際公開番号 WO2021/199949
 (87)国際公開日 令和3年10月7日(2021.10.7)
 審査請求日 令和6年2月21日(2024.2.21)
 (31)優先権主張番号 特願2020-60630(P2020-60630)
 (32)優先日 令和2年3月30日(2020.3.30)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73)特許権者 000116024
 ローム株式会社
 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地
 (74)代理人 110002310
 弁理士法人あい特許事務所
 (72)発明者 長田 賢樹
 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地
 ローム株式会社内
 審査官 大橋 達也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主面を有する半導体チップと、
 前記主面の表層部に形成された第 1 導電型のドリフト領域と、
 前記ドリフト領域内に厚さ方向に延びるコラム状に形成され、下端部、中間部および上
 端部を有する第 2 導電型のコラム領域と、を含み、
 前記コラム領域は、下補償領域および補償領域、ならびに、前記中間部および前記上端
 部の間に形成された高濃度部を有し、
前記下補償領域は、前記下端部および前記中間部の間に形成され、前記高濃度部の不純
 物濃度未満の不純物濃度を有する低濃度部、ならびに、前記低濃度部および前記下端部の
 間に形成され、前記低濃度部の不純物濃度を超える不純物濃度を有する下高濃度部を含み、
前記低濃度部および前記下高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償し、
前記補償領域は、前記下補償領域および前記高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージ
 バランスを補償する、半導体装置。

【請求項 2】

前記補償領域は、前記低濃度部から前記高濃度部に向けて不純物濃度が増加するように
 形成されている、請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】

前記コラム領域の前記下端部は、前記ドリフト領域の底部から間隔を空けて形成されて
 いる、請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 4】

前記コラム領域は、前記ドリフト領域の厚さ方向にコラム状に積層された第 2 導電型の複数の不純物領域によって構成されている、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 5】

前記ドリフト領域の表層部に形成された第 2 導電型のベース領域をさらに含み、

前記コラム領域は、前記ドリフト領域において前記ベース領域の直下の領域に形成されている、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 6】

前記コラム領域の前記上端部は、前記ベース領域に接続されている、請求項 5 に記載の半導体装置。 10

【請求項 7】

前記ベース領域は、第 1 幅を有し、

前記コラム領域は、前記第 1 幅未満の第 2 幅を有している、請求項 5 または 6 に記載の半導体装置。

【請求項 8】

前記半導体チップにおいて前記ドリフト領域に対し前記主面と反対側の領域に形成された第 1 導電型のドレイン領域と、

前記ベース領域の表層部に形成され、前記ドリフト領域との間でチャンネル領域を画定する第 1 導電型のソース領域と、 20

前記チャンネル領域に対向するように前記主面の上に形成されたプレーナゲート構造と、をさらに含む、請求項 5 ~ 7 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記低濃度部は、前記下端部から前記中間部側に間隔を空けて形成されている、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 10】

前記高濃度部は、前記上端部から前記中間部側に間隔を空けて形成されている、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 11】

前記下補償領域は、前記低濃度部から前記下高濃度部に向けて不純物濃度が増加するように形成されている、請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の半導体装置。 30

【請求項 12】

前記コラム領域は、上補償領域をさらに有し、

前記上補償領域は、前記高濃度部、ならびに、前記高濃度部および前記上端部の間に形成され、前記高濃度部の不純物濃度未満の不純物濃度を有する上低濃度部を含み、前記高濃度部および前記上低濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 13】

前記上補償領域は、前記高濃度部から前記上低濃度部に向けて不純物濃度が減少するように形成されている、請求項 12 に記載の半導体装置。 40

【請求項 14】

主面を有する半導体チップと、

前記主面の表層部に形成された第 1 導電型のドリフト領域と、

前記ドリフト領域内に厚さ方向に延びるコラム状に形成され、下端部、中間部および上端部を有する第 2 導電型のコラム領域と、を含み、

前記コラム領域は、下補償領域および上補償領域を有し、

前記下補償領域は、前記下端部および前記中間部の間に形成された低濃度部、ならびに、前記低濃度部および前記下端部の間に形成され、前記低濃度部の不純物濃度を超える不純物濃度を有する下高濃度部を含み、前記低濃度部および前記下高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償し、

前記上補償領域は、前記中間部および前記上端部の間に形成された高濃度部、ならびに、前記高濃度部および前記上端部の間に形成され、前記高濃度部の不純物濃度未満の不純物濃度を有する上低濃度部を含み、前記高濃度部および前記上低濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する、半導体装置。

【請求項 15】

前記下補償領域は、前記低濃度部から前記下高濃度部に向けて不純物濃度が増加するように形成されている、請求項 14 に記載の半導体装置。

【請求項 16】

前記上補償領域は、前記高濃度部から前記上低濃度部に向けて不純物濃度が減少するように形成されている、請求項 14 または 15 に記載の半導体装置。

10

【請求項 17】

前記高濃度部の下端領域は、前記下高濃度部の下端領域よりも高濃度であり、前記上低濃度部の上端領域は、前記低濃度部の上端領域よりも高濃度である、請求項 14 ~ 16 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【請求項 18】

前記コラム領域は、補償領域をさらに有し、前記補償領域は、前記低濃度部および前記高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する、請求項 14 ~ 17 のいずれか一項に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

この出願は、2020年3月30日に日本国特許庁に提出された特願2020-060630号に対応しており、この出願の全開示はここに引用により組み込まれる。

【0002】

本発明は、半導体装置に関する。

【背景技術】

【0003】

特許文献1は、スーパージャンクション構造（以下、単に「S」構造」という。）を有する半導体装置を開示している。この半導体装置は、半導体チップ、n型のドリフト領域およびp型の柱状領域（コラム領域）を含む。ドリフト領域は、半導体チップの表層部に形成されている。柱状領域は、ドリフト領域内に形成され、ドリフト領域との間でS」構造を形成している。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】米国特許出願公開第2011-0018101号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

S」構造では、一定のp型不純物濃度を有するコラム領域がドリフト領域とチャージバランスを取ることによって、耐圧の最大化が図られる。チャージバランスが取れた状態とは、コラム領域のp型チャージ量（p型不純物濃度）がドリフト領域のn型チャージ量（n型不純物濃度）と均衡を保っている状態のことを言う。S」構造では、プロセス誤差に対するコラム領域の許容範囲（つまりプロセスマージン）が極めて狭いため、コラム領域に生じたプロセス誤差に起因して耐圧が大きく低下する。

40

【0006】

たとえば、コラム領域の幅が設計値よりも増加した場合、p型チャージ量がn型チャージ量に対して超過した状態になる。この場合、コラム領域の下端部に電界が集中し、耐圧が低下する。一方、コラム領域の幅が設計値よりも減少した場合、n型チャージ量がp型チャージ量に対して超過した状態になる。この場合、コラム領域の上端部に電界が集中し

50

、耐圧が低下する。これらのプロセス誤差は、歩留り低下の原因になる。

【0007】

そこで、本発明の一実施形態は、プロセス誤差に起因する耐圧の変動を抑制できる半導体装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一実施形態は、主面を有する半導体チップと、前記主面の表層部に形成された第1導電型のドリフト領域と、前記ドリフト領域内に厚さ方向に延びるコラム状に形成され、下端部、中間部および上端部を有する第2導電型のコラム領域と、を含み、前記コラム領域は、前記下端部および前記中間部の間に形成された低濃度部、ならびに、前記中間部および前記上端部の間に形成された高濃度部を含み、前記低濃度部および前記高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する補償領域を有している、半導体装置を提供する。

10

【0009】

この半導体装置によれば、プロセス誤差に起因してコラム領域の幅が増加したとしても、補償領域の低濃度部によってコラム領域の下端部に対する電界集中を緩和できる。一方、プロセス誤差に起因してコラム領域の幅が減少したとしても、補償領域の高濃度部によってコラム領域の上端部に対する電界集中を緩和できる。これにより、プロセス誤差に起因する耐圧の変動を抑制できる。

【0010】

20

本発明の一実施形態は、主面を有する半導体チップと、前記主面の表層部に形成された第1導電型のドリフト領域と、前記ドリフト領域内に厚さ方向に延びるコラム状に形成され、下端部、中間部および上端部を有する第2導電型のコラム領域と、を含み、前記コラム領域は、前記下端部および前記中間部の間に形成された低濃度部、ならびに、前記低濃度部および前記下端部の間に形成された下高濃度部を含み、前記低濃度部および前記下高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する下補償領域と、前記中間部および前記上端部の間に形成された高濃度部、ならびに、前記高濃度部および前記上端部の間に形成された上低濃度部を含み、前記高濃度部および前記上低濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する上補償領域と、を有している、半導体装置を提供する。

【0011】

30

この半導体装置によれば、プロセス誤差に起因してコラム領域の幅が増加したとしても、下補償領域の低濃度部によってコラム領域の下端部における電界集中を緩和できる。一方、プロセス誤差に起因してコラム領域の幅が減少したとしても、上補償領域の高濃度部によってコラム領域の上端部における電界集中を緩和できる。また、この半導体装置によれば、下補償領域および上補償領域によってチャージバランスを補償できる。これにより、プロセス誤差に起因する耐圧の変動を抑制できる。

【0012】

本発明における上述の、またはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照して説明される実施形態により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

40

【0013】

【図1】図1は、本発明の実施形態に係る半導体装置を示す平面図である。

【図2】図2は、図1に示す領域IIの拡大図である。

【図3】図3は、図2に示すIII-III線に沿う断面図である。

【図4】図4は、第1形態例に係るコラム領域の不純物濃度を説明するための図である。

【図5】図5は、図4に示すコラム領域が採用されたときのブレイクダウン電圧を説明するためのグラフである。

【図6】図6は、第2形態例に係るコラム領域の不純物濃度を説明するための図である。

【図7】図7は、第2形態例に係るコラム領域が採用されたときのブレイクダウン電圧の測定結果を図5に反映させたグラフである。

50

【発明を実施するための形態】

【0014】

図1は、本発明の実施形態に係る半導体装置1を示す平面図である。図2は、図1に示す領域IIの拡大図である。図3は、図2に示すIII-III線に沿う断面図である。

【0015】

図1～図3を参照して、半導体装置1は、絶縁ゲート型トランジスタの一例としてのMISFET (Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor) を含む半導体スイッチングデバイスである。半導体装置1は、直方体形状に形成された半導体チップ2を含む。半導体チップ2は、この形態 (this embodiment) では、Si (シリコン) チップからなる。

10

【0016】

半導体チップ2は、一方側の第1主面3、他方側の第2主面4、ならびに、第1主面3および第2主面4を接続する第1～第4側面5A～5Dを含む。第1主面3および第2主面4は、それらの法線方向Zから見た平面視 (以下、単に「平面視」という。) において四角形状に形成されている。第1側面5Aおよび第2側面5Bは、第1方向Xに延び、第1方向Xに直交する第2方向Yに対向している。第3側面5Cおよび第4側面5Dは、第2方向Yに延び、第1方向Xに対向している。

【0017】

半導体チップ2は、第1主面3の表層部に形成されたn型 (第1導電型) のドリフト領域6を含む。ドリフト領域6は、第1主面3および第1～第4側面5A～5Dの一部から露出している。ドリフト領域6のn型不純物濃度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。ドリフト領域6は、この形態では、n型のエピタキシャル層 (Siエピタキシャル層) によって形成されている。

20

【0018】

ドリフト領域6は、 $20 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下の厚さを有していてもよい。ドリフト領域6の厚さは、 $20 \mu\text{m}$ 以上 $40 \mu\text{m}$ 以下、 $40 \mu\text{m}$ 以上 $60 \mu\text{m}$ 以下、 $60 \mu\text{m}$ 以上 $80 \mu\text{m}$ 以下、または、 $80 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。ドリフト領域6の厚さは、 $45 \mu\text{m}$ 以上 $65 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0019】

半導体装置1は、ドリフト領域6に対して第2主面4側の領域に形成されたドレイン領域7を含む。ドレイン領域7は、第2主面4および第1～第4側面5A～5Dの一部から露出し、ドリフト領域6に電氣的に接続されている。ドレイン領域7は、ドリフト領域6のn型不純物濃度を超えるn型不純物濃度を有している。ドレイン領域7のn型不純物濃度は、略一定であってもよい。ドレイン領域7のn型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。ドレイン領域7は、この形態では、n型の半導体基板 (Si基板) によって形成されている。

30

【0020】

ドレイン領域7の厚さは、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $450 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。ドレイン領域7の厚さは、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下、 $150 \mu\text{m}$ 以上 $250 \mu\text{m}$ 以下、 $250 \mu\text{m}$ 以上 $350 \mu\text{m}$ 以下、または、 $350 \mu\text{m}$ 以上 $450 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。ドレイン領域7の厚さは、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

40

【0021】

半導体チップ2は、ドリフト領域6およびドレイン領域7の間に介在するn型のバッファ領域8をさらに含む。バッファ領域8は、第1～第4側面5A～5Dの一部から露出している。バッファ領域8は、ドリフト領域6およびドレイン領域7の間の濃度遷移領域であり、ドリフト領域6からドレイン領域7に向けてn型不純物濃度が漸増するn型不純物濃度を有している。バッファ領域8は、この形態では、n型のエピタキシャル層 (Siエピタキシャル層) によって形成されている。

【0022】

バッファ領域8は、ドリフト領域6の厚さ未満の厚さを有している。バッファ領域8の

50

厚さは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。バッファ領域8の厚さは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下、 $5\ \mu\text{m}$ 以上 $7.5\ \mu\text{m}$ 以下、または、 $7.5\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。

【0023】

半導体装置1は、第1主面3においてドリフト領域6の表層部に形成されたp型(第2導電型)の複数のベース領域9を含む。ベース領域9のp型不純物濃度(ピーク濃度)は、 $1 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以下であってもよい。複数のベース領域9は、第1主面3から露出している。複数のベース領域9は、平面視において第1方向Xに延びる帯状にそれぞれ形成され、第2方向Yに間隔を空けて形成されている。これにより、複数のベース領域9は、平面視において全体として第1方向Xに延びるストライプ状に形成されている。複数のベース領域9は、ドリフト領域6の底部から第1主面3側に間隔を空けて形成されている。

10

【0024】

複数のベース領域9は、平面視において第1幅W1(ベース幅)をそれぞれ有している。第1幅W1は、平面視においてベース領域9が延びる方向(第1方向X)に直交する方向(第2方向Y)の幅である。第1幅W1は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1幅W1は、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0025】

半導体装置1は、複数のベース領域9の表層部にそれぞれ形成されたn型の複数のソース領域10を含む。この形態では、2つのソース領域10が、複数のベース領域9の表層部にそれぞれ形成されている。複数のソース領域10は、第1主面3から露出している。複数のソース領域10は、ドリフト領域6のn型不純物濃度を超えるn型不純物濃度をそれぞれ有している。複数のソース領域10のn型不純物濃度(ピーク濃度)は、 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21}\ \text{cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

20

【0026】

複数のソース領域10は、平面視において複数のベース領域9の表層部に第1方向Xに延びる帯状にそれぞれ形成され、第2方向Yに間隔を空けて形成されている。複数のソース領域10は、ベース領域9の底部から第1主面3側に間隔を空けて形成されている。複数のソース領域10は、対応するベース領域9内において当該ベース領域9の縁部から間隔を空けて形成されている。これにより、複数のソース領域10は、対応するベース領域9の表層部においてドリフト領域6とチャンネル領域11を画定している。

30

【0027】

半導体装置1は、複数のベース領域9の表層部において複数のソース領域10とは異なる領域にそれぞれ形成されたp型の複数のコンタクト領域12を含む。この形態では、1つのコンタクト領域12が、複数のベース領域9の表層部において2つのソース領域10の間の領域にそれぞれ形成されている。複数のコンタクト領域12は、ベース領域9のp型不純物濃度を超えるp型不純物濃度を有している。複数のコンタクト領域12のp型不純物濃度(ピーク濃度)は、 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21}\ \text{cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

【0028】

複数のコンタクト領域12は、平面視において第1方向Xに延びる帯状にそれぞれ形成されている。複数のコンタクト領域12は、ベース領域9の底部から第1主面3側に間隔を空けて形成されている。各ベース領域9内におけるコンタクト領域12の個数は任意であり、複数のコンタクト領域12が各ベース領域9の表層部に間隔を空けて形成されている。

40

【0029】

半導体装置1は、ドリフト領域6内に形成されたp型の複数のコラム領域20を含む。複数のコラム領域20は、ドリフト領域6との間でpn接合部をそれぞれ形成している。これにより、複数のコラム領域20は、ドリフト領域6との間でスーパージャンクション構造(以下、単に「S」構造」という。)を形成している。

50

【0030】

複数のコラム領域20は、複数のベース領域9の直下の領域にドリフト領域6の厚さ方向（法線方向Z）に延びるコラム状にそれぞれ形成されている。複数のコラム領域20は、ドリフト領域6の厚さ方向に関して、1対1対応の関係で複数のベース領域9にそれぞれ対向している。複数のコラム領域20は、平面視において第1方向Xに延びる帯状にそれぞれ形成され、第2方向Yに間隔を空けて形成され、これにより、複数のベース領域9は、平面視において全体として第1方向Xに延びるストライプ状に形成されている。

【0031】

複数のコラム領域20は、平面視において $1\mu\text{m}$ 以上 $15\mu\text{m}$ 以下のピッチPで形成されていてもよい。ピッチPは、 $3\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。複数のコラム領域20は、厚さ方向（法線方向Z）に関して、 $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下の厚さを有していてもよい。複数のコラム領域20は、 $20\mu\text{m}$ 以上 $80\mu\text{m}$ 以下の厚さを有していることが好ましい。複数のコラム領域20は、ドリフト領域6の厚さ未満の厚さを有していることが好ましい。

10

【0032】

複数のコラム領域20は、平面視においてベース領域9の第1幅W1未満の第2幅W2（コラム幅）をそれぞれ有している。第2幅W2は、平面視においてコラム領域20が延びる方向（第1方向X）に直交する方向（第2方向Y）の幅（最も広い部分の幅である。）である。第2幅W2は、 $1\mu\text{m}$ 以上 $8\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1幅W1は、 $1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

20

【0033】

複数のコラム領域20は、法線方向Zに関して、下端部21、中間部22および上端部23をそれぞれ有している。コラム領域20の下端部21は、ドリフト領域6の底部から第1主面3側（上端部23側）に間隔を空けて形成されている。下端部21は、ドリフト領域6の一部を挟んでドレイン領域7（バッファ領域8）に対向している。コラム領域20の上端部23は、ベース領域9に接続されている。コラム領域20は、ベース領域9の一部を挟んでコンタクト領域12に対向している。

【0034】

複数のコラム領域20は、ドリフト領域6の厚さ方向（法線方向Z）にコラム状に積層された複数の（この形態では10個）の不純物領域24を含む積層構造をそれぞれ有している。以下、10個の不純物領域24を第1～第10不純物領域24A～24Jという。第1～第10不純物領域24A～24Jは、ドリフト領域6側からベース領域9側に向けてこの順に積層されている。複数の第1～第10不純物領域24A～24Jは、互いに接続されるように積層され、全体として1つのコラム領域20を形成している。

30

【0035】

複数のコラム領域20の下端部21は、最下の第1不純物領域24Aによってそれぞれ形成されている。複数のコラム領域20の上端部23は、最上の第10不純物領域24Jによってそれぞれ形成されている。複数のコラム領域20の中間部22は、最下の第1不純物領域24Aおよび最上の第10不純物領域24Jの中間に位置する1つまたは2つの不純物領域24（この形態では第5～第6不純物領域24E～24F）によってそれぞれ形成されている。

40

【0036】

複数の第1～第10不純物領域24A～24Jのp型不純物濃度（ピーク濃度）は、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下であってもよい。つまり、複数のコラム領域20は、厚さ方向に関して、複数の第1～第10不純物領域24A～24Jによって形成された複数のピーク濃度をそれぞれ有している。第1～第10不純物領域24A～24Jは、厚さ方向（法線方向Z）に関して、 $2\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下の厚さをそれぞれ有していることが好ましい。

【0037】

不純物領域24の個数は、コラム領域20の厚さに応じて調整される。不純物領域24

50

の個数は任意であるが、5個以上20個以下であることが好ましい。複数の不純物領域24は、p型不純物の導入工程およびエピタキシャル成長工程を交互に行うマルチエピタキシャル成長法によって形成されていてもよい。

【0038】

半導体装置1は、第1主面3の上に形成された複数のプレーナゲート構造25（ゲート構造）を含む。複数のプレーナゲート構造25は、第1方向Xに延びる帯状にそれぞれ形成され、第2方向Yに間隔を空けて形成されている。これにより、複数のプレーナゲート構造25は、平面視において全体として第1方向Xに延びるストライプ状に形成されている。

【0039】

複数のプレーナゲート構造25は、第1主面3の上においてチャンネル領域11を被覆するように、近接する2つのベース領域9の周縁部にそれぞれ跨っている。複数のプレーナゲート構造25は、平面視において複数のコラム領域20から間隔を空けて形成されている。複数のプレーナゲート構造25は、平面視において複数のコラム領域20に重なっていないことが好ましい。

【0040】

複数のプレーナゲート構造25は、ゲート絶縁膜26およびゲート電極27を含む積層構造をそれぞれ有している。各ゲート絶縁膜26は、近接する2つのベース領域9の周縁部に跨がり、ドリフト領域6、チャンネル領域11およびソース領域10を被覆している。ゲート絶縁膜26は、酸化シリコン、窒化シリコンおよび酸化アルミニウムのうちの少なくとも1つを含んでいてもよい。ゲート絶縁膜26は、この形態では、酸化シリコン膜からなる単層構造を有している。

【0041】

各ゲート電極27は、近接する2つのベース領域9の周縁部に跨るようにゲート絶縁膜26の上に形成され、ゲート絶縁膜26を挟んでドリフト領域6、チャンネル領域11およびソース領域10に対向している。ゲート電極27は、導電性ポリシリコン、タングステン、アルミニウム、銅、アルミニウム合金および銅合金のうちの少なくとも1つを含んでいてもよい。ゲート電極27は、この形態では、導電性ポリシリコンを含む。導電性ポリシリコンは、n型ポリシリコンまたはp型ポリシリコンであってもよい。

【0042】

半導体装置1は、第1主面3の上において複数のプレーナゲート構造25を被覆する層間絶縁膜30を含む。層間絶縁膜30は、酸化シリコンを含んでいてもよい。層間絶縁膜30は、複数のコンタクト孔31を有している。複数のコンタクト孔31は、ソース領域10およびコンタクト領域12を露出させる複数のソースコンタクト孔を含む。また、複数のコンタクト孔31は、図示しない領域において、複数のプレーナゲート構造25のゲート電極27を露出させる複数のゲートコンタクト孔を含む。

【0043】

図1および図3を参照して、半導体装置1は、層間絶縁膜30の上に形成されたゲート端子32およびソース端子33を含む。ゲート端子32は、この形態では、本体部32Aおよびフィンガー部32Bを含む。本体部32Aは、層間絶縁膜30の上において第1側面5Aの中央部側に配置されている。本体部32Aは、平面視において四角形状に形成されていてもよい。本体部32Aの配置は任意であり、平面視において半導体チップ2の任意の角部側に配置されていてもよい。

【0044】

フィンガー部32Bは、ゲート端子32から任意の領域に向けて帯状に引き出されている。フィンガー部32Bは、この形態では、平面視においてゲート端子32から第1側面5A、第3側面5Cおよび第4側面5Dに沿って帯状に延び、半導体チップ2の内方領域を3方向から区画している。フィンガー部32Bは、層間絶縁膜30の上から複数のコンタクト孔31に入り込み、複数のゲート電極27に電氣的に接続されている。

【0045】

10

20

30

40

50

ソース端子 33 は、層間絶縁膜 30 の上においてゲート端子 32 から間隔を空けてゲート端子 32 によって区画された領域に配置されている。ソース端子 33 は、層間絶縁膜 30 の上から複数のコンタクト孔 31 に入り込み、複数のソース領域 10 および複数のコンタクト領域 12 に電氣的に接続されている。

【0046】

ゲート端子 32 およびソース端子 33 は、半導体チップ 2 側からこの順に積層されたバリア電極膜 34 および主電極膜 35 を含む積層構造をそれぞれ有していてもよい。バリア電極膜 34 は、Ti 膜および TiN 膜のうちの少なくとも 1 つを含んでいてもよい。主電極膜 35 は、純 Al 膜、純 Cu 膜、AlSi 合金膜、AlCu 合金膜および AlSiCu 合金膜のうちの少なくとも 1 つをそれぞれ含んでいてもよい。ゲート端子 32 およびソース端子 33 の外面には、めっき膜がそれぞれ形成されていてもよい。めっき膜は、Ni 膜、Pd 膜および Au 膜のうちの少なくとも 1 つを含んでいてもよい。

10

【0047】

半導体装置 1 は、第 2 主面 4 の上に形成されたドレイン端子 36 を含む。ドレイン端子 36 は、ドレイン領域 7 に電氣的に接続されている。ドレイン端子 36 は、Ti 膜、Ni 膜、Au 膜、Ag 膜および Al 膜のうちの少なくとも 1 つを含んでいてもよい。

【0048】

次に、図 4 を参照して、複数のコラム領域 20 の p 型不純物濃度が具体的に説明される。複数のコラム領域 20 は同様の構造を有しているため、以下では 1 つのコラム領域 20 の構造の例が説明される。図 4 において、紙面左側には 1 つのコラム領域 20 を含む領域が示され、紙面右側にはコラム領域 20 の p 型不純物濃度の濃度勾配が示されている。コラム領域 20 の濃度勾配は、具体的には、複数の第 1 ~ 第 10 不純物領域 24A ~ 24J のピーク濃度によって形成されている。

20

【0049】

図 4 には、一定値からなるチャージバランス濃度 I_{cb} が 2 点鎖線によって示されている。チャージバランス濃度 I_{cb} とは、コラム領域 20 が理想的な形態でドリフト領域 6 とチャージバランスを取る濃度である。チャージバランスは、ドリフト領域 6 の n 型チャージ量 (n 型不純物濃度) およびコラム領域 20 の p 型チャージ量 (p 型不純物濃度) のバランスである。チャージバランスが取れた状態とは、ドリフト領域 6 の n 型チャージ量およびコラム領域 20 の p 型チャージ量のバランスが保たれている状態のことを言う。コラム領域 20 をチャージバランス濃度 I_{cb} で形成した場合、半導体装置 1 の耐圧 (具体的にはブレークダウン電圧 BV_{DSS}) が理論上の最大値になる。

30

【0050】

図 4 を参照して、コラム領域 20 は、下端部 21 および上端部 23 の間に形成された補償領域 40 を含む。補償領域 40 は、具体的には、下端部 21 側の低濃度部 41、および、上端部 23 側の高濃度部 42 を含む。低濃度部 41 は、下端部 21 および中間部 22 の間で比較的低い p 型不純物濃度を有する領域である。高濃度部 42 は、中間部 22 および上端部 23 の間で比較的高い p 型不純物濃度を有する領域である。高濃度部 42 は、低濃度部 41 の p 型不純物濃度を超える p 型不純物濃度を有している。補償領域 40 は、低濃度部 41 および高濃度部 42 の間の p 型不純物濃度範囲においてチャージバランスを補償する。

40

【0051】

低濃度部 41 は、この形態では、チャージバランス濃度 I_{cb} 未満の p 型不純物濃度を有している。低濃度部 41 は、コラム領域 20 の平均濃度 I_{av} 未満の p 型不純物濃度を有していてもよい。平均濃度 I_{av} は、チャージバランス濃度 I_{cb} の $\pm 5\%$ の範囲内に設定されることが好ましい。平均濃度 I_{av} は、チャージバランス濃度 I_{cb} と等しくてもよい。低濃度部 41 の p 型不純物濃度は、チャージバランス濃度 I_{cb} (または平均濃度 I_{av}) の 85% 以上 100% 未満の範囲 (好ましくは 95% 以上 100% 未満) に設定されてもよい。

【0052】

50

低濃度部 4 1 は、この形態では、下端部 2 1 および中間部 2 2 の間の全域に形成されている。つまり、低濃度部 4 1 は、第 1 ~ 第 5 不純物領域 2 4 A ~ 2 4 E によって形成されている。第 1 ~ 第 5 不純物領域 2 4 A ~ 2 4 E のピーク濃度は、下端部 2 1 から中間部 2 2 に向けて漸増している。

【 0 0 5 3 】

したがって、低濃度部 4 1 は、下端部 2 1 から中間部 2 2 に向けて p 型不純物濃度が増加（具体的には漸増）する濃度勾配を有している。中間部 2 2 側の p 型不純物濃度が下端部 2 1 側の p 型不純物濃度を超えているという条件を具備する限り、第 1 ~ 第 5 不純物領域 2 4 B ~ 2 4 E のうちの少なくとも 2 つが等しい p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有していてもよい。

10

【 0 0 5 4 】

高濃度部 4 2 は、この形態では、チャージバランス濃度 I_{cb} を超える p 型不純物濃度を有している。高濃度部 4 2 は、平均濃度 I_{av} を超える値に設定されていてもよい。高濃度部 4 2 の p 型不純物濃度は、チャージバランス濃度 I_{cb} （または平均濃度 I_{av} ）の 100% を超えて 115% 以下の範囲（好ましくは 100% を超えて 105% 以下の範囲）に設定されてもよい。

【 0 0 5 5 】

高濃度部 4 2 は、この形態では、中間部 2 2 および上端部 2 3 の間の全域に形成されている。つまり、高濃度部 4 2 は、第 6 ~ 第 10 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 J によって形成されている。第 6 ~ 第 10 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 J のピーク濃度は、中間部 2 2 から上端部 2 3 に向けて漸増している。したがって、高濃度部 4 2 は、中間部 2 2 から上端部 2 3 に向けて p 型不純物濃度が増加（具体的には漸増）する濃度勾配を有している。

20

【 0 0 5 6 】

第 6 ~ 第 10 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 J のピーク濃度は、この形態では、第 1 ~ 第 5 不純物領域 2 4 A ~ 2 4 E（つまり、低濃度部 4 1）から連続的に漸増している。したがって、高濃度部 4 2 は、低濃度部 4 1 から連続的に p 型不純物濃度が増加する濃度勾配を有している。上端部 2 3 側の p 型不純物濃度が中間部 2 2 側の p 型不純物濃度を超えているという条件を具備する限り、第 6 ~ 第 10 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 J のうちの少なくとも 2 つが等しい p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有していてもよい。

【 0 0 5 7 】

このように、補償領域 4 0 は、この形態では、下端部 2 1 から上端部 2 3 に向けて p 型不純物濃度が増加（具体的には漸増）する濃度勾配を有している。また、補償領域 4 0 の濃度勾配は、低濃度部 4 1 からチャージバランス濃度 I_{cb} を横切って高濃度部 4 2 に至っている。つまり、第 1 形態例に係るコラム領域 2 0 には、補償領域 4 0 によって下端部 2 1 および上端部 2 3 の間にチャージバランス濃度 I_{cb} からずれた濃度勾配が導入されている。

30

【 0 0 5 8 】

図 5 は、図 4 に示すコラム領域 2 0 が採用されたときのブレイクダウン電圧 $BVDSS$ （実測）を説明するためのグラフである。図 5 において、縦軸はブレイクダウン電圧 $BVDSS [V]$ を示し、横軸はコラム領域 2 0 の第 2 幅 $W2 [\mu m]$ を示している。ブレイクダウン電圧 $BVDSS$ および第 2 幅 $W2$ の関係は、コラム領域 2 0 に生じるプロセス誤差を示している。図 5 には、第 1 折れ線 $L1$ （2 点鎖線）および第 2 折れ線 $L2$ （実線）が示されている。

40

【 0 0 5 9 】

第 1 折れ線 $L1$ は、一定のチャージバランス濃度 I_{cb} を有するコラム領域 2 0（以下、単に「比較例に係るコラム領域 2 0」という。）を形成した場合の結果を示している。比較例に係るコラム領域 2 0 において、ブレイクダウン電圧 $BVDSS$ が最大化される第 2 幅 $W2$ の設計値は $1.5 \mu m$ 程度である。第 2 折れ線 $L2$ は、補償領域 4 0 を有するコラム領域 2 0（第 1 形態例に係るコラム領域 2 0）を形成した場合の結果を示している。第 1 形態例に係るコラム領域 2 0 において、ブレイクダウン電圧 $BVDSS$ が最大化され

50

る第2幅W2の設計値は1.42 μm 程度である。

【0060】

第1折れ線L1を参照して、比較例に係るコラム領域20の場合、設計値通りに第2幅W2が形成された場合、比較的高いブレイクダウン電圧BVDS Sを実現できた。しかし、第2幅W2が設計値からずれると、ブレイクダウン電圧BVDS Sは急激に低下した。この結果から、比較例に係るコラム領域20によれば、比較的高いブレイクダウン電圧BVDS Sを実現できる一方、第2幅W2のプロセス誤差に対するブレイクダウン電圧BVDS Sの変化量が極めて大きいことが分かった。

【0061】

一方、第2折れ線L2を参照して、第1形態例に係るコラム領域20の場合、ブレイクダウン電圧BVDS Sの上昇量は小さくなったが、プロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧BVDS Sの急激な低下は抑制された。つまり、第1形態例に係るコラム領域20によれば、比較例に係るコラム領域20と比較して、ブレイクダウン電圧BVDS Sは低下するが、プロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧BVDS Sの変化量は緩慢になることが分かった。

10

【0062】

比較例に係るコラム領域20では、第2幅W2が設計値よりも増加した場合、コラム領域20のp型チャージ量がドリフト領域6のn型チャージ量に対して超過した状態になる。この場合、コラム領域20の下端部21に電界が集中し、ブレイクダウン電圧BVDS Sが低下する。一方、第2幅W2が設計値よりも減少した場合、ドリフト領域6のn型チャージ量がコラム領域20のp型チャージ量に対して超過した状態になる。この場合、コラム領域20の上端部23に電界が集中し、ブレイクダウン電圧BVDS Sが低下する。

20

【0063】

これに対して、第1形態例に係るコラム領域20は、下端部21および上端部23の間の領域に、チャージバランス濃度Icbからずれた濃度勾配を有する補償領域40を含む。補償領域40は、具体的には、下端部21側の低濃度部41および上端部23側の高濃度部42を含み、低濃度部41および高濃度部42の間のp型不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する。

【0064】

第1形態例に係るコラム領域20の場合、厚さ方向全域でチャージバランスを取る構造ではないため、比較例に係るコラム領域20と比較すると、ブレイクダウン電圧BVDS Sは低下する。しかし、補償領域40の低濃度部41は、電界が集中し易い下端部21および中間部22の間の領域に形成され、比較的低いp型不純物濃度を有している。一方、補償領域40の高濃度部42は、電界が集中し易い中間部22および下端部21の間の領域に形成され、比較的高いp型不純物濃度を有している。

30

【0065】

したがって、プロセス誤差に起因して第2幅W2が設計値よりも増加したとしても、低濃度部41によって下端部21に対する電界集中を緩和できる。また、プロセス誤差に起因して第2幅W2が設計値よりも減少したとしても、高濃度部42によって上端部23に対する電界集中を緩和できる。その結果、第2幅W2のプロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧BVDS Sの変動を抑制できる。よって、一定値以上のブレイクダウン電圧BVDS Sを有する半導体装置1を安定して製造できる。

40

【0066】

図6は、第2形態例に係るコラム領域20のp型不純物濃度を説明するための図である。図6において、紙面左側には1つのコラム領域20を含む領域が示され、紙面右側にはコラム領域20のp型不純物濃度の勾配が示されている。コラム領域20の濃度勾配は、具体的には、複数の第1～第10不純物領域24A～24Jのピーク濃度によって形成されている。図6には、チャージバランス濃度Icbが2点鎖線によって示されている。

【0067】

コラム領域20は、下端部21側の下補償領域50、および、上端部23側の上補償領

50

域 5 1 を含む。コラム領域 2 0 は、さらに、下補償領域 5 0 および上補償領域 5 1 の間に形成された補償領域 5 2 を含む。以下、下補償領域 5 0、上補償領域 5 1 および補償領域 5 2 の説明が順になされる。

【 0 0 6 8 】

下補償領域 5 0 は、下端部 2 1 および中間部 2 2 の間の領域に形成されている。下補償領域 5 0 は、具体的には、中間部 2 2 から下端部 2 1 側に間隔を空けて下端部 2 1 側の領域に形成されている。下補償領域 5 0 は、この形態では、第 1 ~ 第 3 不純物領域 2 4 A ~ 2 4 C によって形成されている。

【 0 0 6 9 】

下補償領域 5 0 は、下端部 2 1 および中間部 2 2 の間に形成された低濃度部 5 3、なら
びに、低濃度部 5 3 および下端部 2 1 の間に形成された下高濃度部 5 4 を含む。下高濃度
部 5 4 は、低濃度部 5 3 よりも下端部 2 1 側で低濃度部 5 3 の p 型不純物濃度を
超える p 型不純物濃度を有する領域である。つまり、下補償領域 5 0 は、
コラム領域 2 0 の下端部 2 1 側の領域に形成された濃度増加領域からなる。下補償領域 5 0 は、
低濃度部 5 3 および下高濃度部 5 4 の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する。

10

【 0 0 7 0 】

低濃度部 5 3 は、少なくとも下端部 2 1 から中間部 2 2 側に間隔を空けて形成されてい
る。低濃度部 5 3 は、この形態では、中間部 2 2 から下端部 2 1 側に間隔を空けて形成さ
れている。低濃度部 5 3 は、中間部 2 2 に重なっていてもよい。低濃度部 5 3 は、この形
態では、第 2 ~ 第 3 不純物領域 2 4 B ~ 2 4 C の p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有して
いる。

20

【 0 0 7 1 】

第 2 ~ 第 3 不純物領域 2 4 B ~ 2 4 C の p 型不純物濃度（ピーク濃度）は、この形態で
は、チャージバランス濃度 I_{cb} 未満である。したがって、低濃度部 5 3 は、この形態で
は、チャージバランス濃度 I_{cb} 未満の p 型不純物濃度を有している。低濃度部 5 3 は、
コラム領域 2 0 の平均濃度 I_{av} 未満の値に設定されていてもよい。平均濃度 I_{av} は、
チャージバランス濃度 I_{cb} の $\pm 5\%$ の範囲内に設定されることが好ましい。平均濃度 I_{av} は、
チャージバランス濃度 I_{cb} と等しくてもよい。

【 0 0 7 2 】

低濃度部 5 3 の p 型不純物濃度は、たとえば、チャージバランス濃度 I_{cb} （または平
均濃度 I_{av} ）の 85% 以上 100% 未満の範囲（好ましくは 95% 以上 100% 未満の
範囲）に設定されてもよい。低濃度部 5 3 は、コラム領域 2 0 の濃度勾配において、最小
値となる p 型不純物濃度を有していることが好ましい。この構造によれば、下端部 2 1 に
対する電界集中を適切に抑制できる。

30

【 0 0 7 3 】

下高濃度部 5 4 は、コラム領域 2 0 の最下端に形成されている。下高濃度部 5 4 は、こ
の形態では、第 1 ~ 第 2 不純物領域 2 4 A ~ 2 4 B の p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有
している。第 1 不純物領域 2 4 A の p 型不純物濃度（ピーク濃度）は、この形態では、
チャージバランス濃度 I_{cb} を超えている。したがって、下高濃度部 5 4 は、この形態では
、チャージバランス濃度 I_{cb} を超える p 型不純物濃度を有している。下高濃度部 5 4 は
、平均濃度 I_{av} を超える値に設定されていてもよい。

40

【 0 0 7 4 】

下高濃度部 5 4 の p 型不純物濃度は、チャージバランス濃度 I_{cb} （または平均濃度 I_{av} ）
の 100% を超えて 115% 以下の範囲（好ましくは 100% を超えて 105% 以下
の範囲）に設定されてもよい。下高濃度部 5 4 は、コラム領域 2 0 の濃度勾配において
、最大値未満の p 型不純物濃度を有していることが好ましい。この構造によれば、下端部
2 1 に対する電界集中を適切に抑制できる。

【 0 0 7 5 】

第 2 不純物領域 2 4 B は、この形態では、第 1 不純物領域 2 4 A の p 型不純物濃度（ピ
ーク濃度）および第 3 不純物領域 2 4 C の p 型不純物濃度（ピーク濃度）の間の p 型不純

50

物濃度（ピーク濃度）を有している。これにより、下補償領域 5 0 は、低濃度部 5 3 から下高濃度部 5 4 に向けて p 型不純物濃度が増加（具体的には漸増）する濃度勾配を有している。また、下補償領域 5 0 は、低濃度部 5 3 からチャージバランス濃度 I c b を横切って下高濃度部 5 4 に至る濃度勾配を有している。

【 0 0 7 6 】

下補償領域 5 0 を構成する不純物領域 2 4 の個数は、コラム領域 2 0 を構成する不純物領域 2 4 の個数によっても異なるが、2 個以上 5 個以下であることが好ましい。下補償領域 5 0 が 3 個以上の不純物領域 2 4 を含む場合、下高濃度部 5 4 の p 型不純物濃度が低濃度部 5 3 の p 型不純物濃度を超過しているという条件を具備する限り、3 個以上の不純物領域 2 4 のうちの少なくとも 2 つは、等しい p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有していてもよい。たとえば、第 2 不純物領域 2 4 B は、第 1 不純物領域 2 4 A および第 3 不純物領域 2 4 C のいずれか一方の p 型不純物濃度と等しい p 型不純物濃度を有していてもよい。

10

【 0 0 7 7 】

上補償領域 5 1 は、中間部 2 2 および上端部 2 3 の間の領域に形成されている。上補償領域 5 1 は、具体的には、中間部 2 2 から上端部 2 3 側に間隔を空けて上端部 2 3 側の領域に形成されている。上補償領域 5 1 は、この形態では、第 6 ~ 第 1 0 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 J によって形成されている。

【 0 0 7 8 】

上補償領域 5 1 は、具体的には、中間部 2 2 および上端部 2 3 の間に形成された高濃度部 5 5、ならびに、高濃度部 5 5 および上端部 2 3 の間に形成された上低濃度部 5 6 を含む。上低濃度部 5 6 は、高濃度部 5 5 よりも上端部 2 3 側で高濃度部 5 5 の p 型不純物濃度未満の p 型不純物濃度を有する領域である。つまり、上補償領域 5 1 は、コラム領域 2 0 の上端部 2 3 側の領域に形成された濃度減少領域からなる。上補償領域 5 1 は、高濃度部 5 5 および上低濃度部 5 6 の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する。

20

【 0 0 7 9 】

高濃度部 5 5 は、少なくとも上端部 2 3 から中間部 2 2 側に間隔を空けて形成されている。高濃度部 5 5 は、中間部 2 2 から上端部 2 3 側に間隔を空けて形成されていてもよい。低濃度部 5 3 が中間部 2 2 から下端部 2 1 に間隔を空けて形成されている場合、高濃度部 5 5 は、中間部 2 2 に重なっていてもよい。高濃度部 5 5 は、この形態では、第 6 ~ 第 9 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 I の p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有している。

30

【 0 0 8 0 】

高濃度部 5 5 は、この形態では、チャージバランス濃度 I c b を超える p 型不純物濃度を有している。高濃度部 5 5 は、平均濃度 I a v を超える値に設定されていてもよい。高濃度部 5 5 の p 型不純物濃度は、たとえば、チャージバランス濃度 I c b（または平均濃度 I a v）の 100% を超えて 115% 以下の範囲（好ましくは 100% を超えて 105% 以下の範囲）に設定されてもよい。

【 0 0 8 1 】

高濃度部 5 5 は、コラム領域 2 0 の濃度勾配において、最大値となる p 型不純物濃度を有していることが好ましい。つまり、高濃度部 5 5 は、下高濃度部 5 4 の p 型不純物濃度を超える p 型不純物濃度を有していることが好ましい。この構造によれば、上端部 2 3 に対する電界集中を適切に抑制できる。高濃度部 5 5 は、p 型不純物濃度（ピーク濃度）が最大値に設定された複数（この形態では 3 個）の第 6 ~ 第 8 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 H を含む。高濃度部 5 5 において、最大値に設定される不純物領域 2 4 の個数は任意であり、1 個以上であればよい。

40

【 0 0 8 2 】

上低濃度部 5 6 は、コラム領域 2 0 の最上端に形成されている。上低濃度部 5 6 は、この形態では、第 9 ~ 第 1 0 不純物領域 2 4 I ~ 2 4 J の p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有している。第 1 0 不純物領域 2 4 J は、この形態では、チャージバランス濃度 I c b 未満の p 型不純物濃度を有している。したがって、上低濃度部 5 6 は、この形態では、チャージバランス濃度 I c b 未満の p 型不純物濃度を有している。上低濃度部 5 6 は、平均濃

50

度 I a v 未満の値に設定されていてもよい。

【 0 0 8 3 】

上低濃度部 5 6 の p 型不純物濃度は、たとえば、チャージバランス濃度 I c b (または平均濃度 I a v) の 8 5 % 以上 1 0 0 % 未満の範囲 (好ましくは 9 5 % 以上 1 0 0 % 未満の範囲) に設定されてもよい。上低濃度部 5 6 は、コラム領域 2 0 の濃度勾配において、最小値を超えて最大値未満の p 型不純物濃度を有していることが好ましい。つまり、上低濃度部 5 6 は、低濃度部 5 3 の p 型不純物濃度を超えて、高濃度部 5 5 の p 型不純物濃度未満の p 型不純物濃度を有していることが好ましい。この構造によれば、上端部 2 3 に対する電界集中を適切に抑制できる。

【 0 0 8 4 】

コラム領域 2 0 の上端部 2 3 は、電流の流入路になるため、電流密度 (つまり電界) が特に高まり易い。したがって、上低濃度部 5 6 は、高濃度部 5 5 の厚さ未満の厚さを有していることが好ましい。つまり、上低濃度部 5 6 が上補償領域 5 1 に占める割合は、高濃度部 5 5 が上補償領域 5 1 に占める割合未満であることが好ましい。この構造によれば、上低濃度部 5 6 の導入に伴って減少した p 型不純物濃度が高濃度部 5 5 によって補完される。これにより、上端部 2 3 における電界集中を適切に緩和できる。

【 0 0 8 5 】

第 9 不純物領域 2 4 I は、この形態では、第 8 不純物領域 2 4 I の p 型不純物濃度 (ピーク濃度) および第 1 0 不純物領域 2 4 J の p 型不純物濃度 (ピーク濃度) の間の p 型不純物濃度 (ピーク濃度) を有している。これにより、上補償領域 5 1 は、高濃度部 5 5 から上低濃度部 5 6 に向けて p 型不純物濃度が減少 (具体的には漸減) する濃度勾配を有している。

【 0 0 8 6 】

また、上補償領域 5 1 は、高濃度部 5 5 からチャージバランス濃度 I c b を横切って上低濃度部 5 6 に至る濃度勾配を有している。つまり、上補償領域 5 1 は、上端部 2 3 側において下補償領域 5 0 の p 型不純物濃度範囲 (濃度勾配) に重複した p 型不純物濃度範囲 (濃度勾配) を有している。

【 0 0 8 7 】

上補償領域 5 1 を構成する不純物領域 2 4 の個数は、コラム領域 2 0 を構成する不純物領域 2 4 の個数によっても異なるが、2 個以上 5 個以下であることが好ましい。上補償領域 5 1 が 3 個以上の不純物領域 2 4 を含む場合、上低濃度部 5 6 の p 型不純物濃度が高濃度部 5 5 の p 型不純物濃度未満であるという条件を具備する限り、3 個以上の不純物領域 2 4 のうちの少なくとも 2 つは、等しい p 型不純物濃度 (ピーク濃度) を有していてもよい。たとえば、第 9 不純物領域 2 4 I は、第 8 不純物領域 2 4 H および第 1 0 不純物領域 2 4 J のいずれか一方の p 型不純物濃度と等しい p 型不純物濃度を有していてもよい。

【 0 0 8 8 】

補償領域 5 2 は、低濃度部 5 3 および高濃度部 5 5 を含む。つまり、補償領域 5 2 は、コラム領域 2 0 の中間領域に形成された濃度増加領域からなる。補償領域 5 2 は、低濃度部 5 3 (下補償領域 5 0) および高濃度部 5 5 (上補償領域 5 1) の間でチャージバランスを補償する。

【 0 0 8 9 】

補償領域 5 2 は、この形態では、第 3 ~ 第 6 不純物領域 2 4 C ~ 2 4 F の p 型不純物濃度 (ピーク濃度) を有している。この形態では、第 6 ~ 第 8 不純物領域 2 4 F ~ 2 4 H が等しい不純物濃度を有しているため、補償領域 5 2 は、第 7 ~ 第 8 不純物領域 2 4 G ~ 2 4 H を含んでいてもよい。第 4 ~ 第 5 不純物領域 2 4 D ~ 2 4 E の p 型不純物濃度 (ピーク濃度) は、低濃度部 5 3 から高濃度部 5 5 に向けて増加 (具体的には漸増) している。これにより、補償領域 5 2 は、低濃度部 5 3 から高濃度部 5 5 に向けて p 型不純物濃度が増加 (具体的には漸増) するように形成されている。

【 0 0 9 0 】

補償領域 5 2 は、低濃度部 5 3 からチャージバランス濃度 I c b を横切って高濃度部 5

10

20

30

40

50

5 に至る濃度勾配を有している。つまり、補償領域 5 2 は、下補償領域 5 0 の p 型不純物濃度範囲（濃度勾配）および上補償領域 5 1 の p 型不純物濃度範囲（濃度勾配）に重複した p 型不純物濃度範囲（濃度勾配）を有している。

【 0 0 9 1 】

補償領域 5 2 内の不純物領域 2 4 の個数は、不純物領域 2 4 の個数によっても異なるが、2 個以上 1 0 個以下であることが好ましい。補償領域 5 2 が 3 個以上の不純物領域 2 4 を含む場合、高濃度部 5 5 の p 型不純物濃度が低濃度部 5 3 の p 型不純物濃度を超過しているという条件を具備する限り、3 個以上の不純物領域 2 4 のうちの少なくとも 2 つは、等しい p 型不純物濃度（ピーク濃度）を有していてもよい。たとえば、第 4 ~ 第 5 不純物領域 2 4 D ~ 2 4 E は、等しい p 型不純物濃度を有していてもよい。

10

【 0 0 9 2 】

このように、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 には、下補償領域 5 0、補償領域 5 2 および上補償領域 5 1 によって下端部 2 1 および上端部 2 3 の間にチャージバランス濃度 I_{cb} からずれた濃度勾配が導入されている。したがって、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 では、厚さ方向の全域においてチャージバランスが取れた状態にはならない。第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 では、ドリフト領域 6 とのチャージバランスが、下補償領域 5 0、補償領域 5 2 および上補償領域 5 1 の 3 箇所によって補償される。

【 0 0 9 3 】

図 7 は、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 が採用されたときのブレイクダウン電圧 BV_{DSS} （実測）の測定結果を図 5 に反映させたグラフである。図 7 において、縦軸はブレイクダウン電圧 BV_{DSS} を示し、横軸はコラム領域 2 0 の第 2 幅 W_2 を示している。図 7 は、コラム領域 2 0 に生じるプロセス誤差を示している。

20

【 0 0 9 4 】

図 7 には、前述の第 1 折れ線 L_1 （2 点鎖線）および第 2 折れ線 L_2 （実線）に加え、第 3 折れ線 L_3 （太線）が示されている。第 3 折れ線 L_3 は、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 を形成した場合の結果を示している。第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 において、ブレイクダウン電圧 BV_{DSS} が最大化される第 2 幅 W_2 の設計値は $1.42 \mu m$ 程度である。

【 0 0 9 5 】

第 3 折れ線 L_3 を参照して、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 の場合、比較例に係るコラム領域 2 0 と比較して、ブレイクダウン電圧 BV_{DSS} が低下したが、プロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧 BV_{DSS} の変化量は緩慢になった。

30

【 0 0 9 6 】

一方、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 の場合、第 1 形態例に係るコラム領域 2 0 と比較して、プロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧 BV_{DSS} の変化量が急峻になったが、ブレイクダウン電圧 BV_{DSS} は向上した。このように、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 によれば、ブレイクダウン電圧 BV_{DSS} の低下を抑制しながら、プロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧 BV_{DSS} の変動を抑制できることが分かった。

【 0 0 9 7 】

第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 は、下端部 2 1 側の下補償領域 5 0、および、上端部 2 3 側の上補償領域 5 1 を含む。下補償領域 5 0 は、下端部 2 1 および中間部 2 2 の間に形成された低濃度部 5 3、ならびに、低濃度部 5 3 および下端部 2 1 の間に形成された下高濃度部 5 4 を含む。一方、上補償領域 5 1 は、中間部 2 2 および上端部 2 3 の間に形成された高濃度部 5 5、ならびに、高濃度部 5 5 および上端部 2 3 の間に形成された上低濃度部 5 6 を含む。

40

【 0 0 9 8 】

下補償領域 5 0 は、電界が集中し易い下端部 2 1 および中間部 2 2 の間に比較的低い p 型不純物濃度を有する低濃度部 5 3 を含む。したがって、プロセス誤差に起因して第 2 幅 W_2 が設計値よりも増加したとしても、低濃度部 5 3 によって下端部 2 1 に対する電界集中を緩和できる。

50

【 0 0 9 9 】

一方、上補償領域 5 1 は、電界が集中し易い中間部 2 2 および下端部 2 1 の間に比較的高い p 型不純物濃度を有する高濃度部 5 5 を含む。したがって、プロセス誤差に起因して第 2 幅 W 2 が設計値よりも減少したとしても、高濃度部 5 5 によって上端部 2 3 に対する電界集中を緩和できる。その結果、第 2 幅 W 2 のプロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧 $BVDSS$ の変動を抑制できる。

【 0 1 0 0 】

また、下補償領域 5 0 は、低濃度部 5 3 に対して下端部 2 1 側に位置する下高濃度部 5 4 を有している。下補償領域 5 0 は、低濃度部 5 3 および下高濃度部 5 4 の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する。一方、上補償領域 5 1 は、高濃度部 5 5 に対して上端部 2 3 側に位置する上低濃度部 5 6 を有している。上補償領域 5 1 は、高濃度部 5 5 および上低濃度部 5 6 の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する。

10

【 0 1 0 1 】

したがって、第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 によれば、下端部 2 1 側の下補償領域 5 0、および、上端部 2 3 側の上補償領域 5 1 によってチャージバランスを取ることができる。その結果、ブレイクダウン電圧 $BVDSS$ の低下を抑制しながら、第 2 幅 W 2 のプロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧 $BVDSS$ の変動を抑制できる。よって、一定値以上のブレイクダウン電圧 $BVDSS$ を有する半導体装置 1 を安定して製造できる。

【 0 1 0 2 】

第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 は、さらに、下補償領域 5 0 および上補償領域 5 1 の間に介在する補償領域 5 2 を含む。補償領域 5 2 は、下補償領域 5 0 および上補償領域 5 1 の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する。これにより、下補償領域 5 0、上補償領域 5 1 および補償領域 5 2 の 3 箇所チャージバランスを補償できる。よって、ブレイクダウン電圧 $BVDSS$ の低下を適切に抑制しながら、第 2 幅 W 2 のプロセス誤差に起因するブレイクダウン電圧 $BVDSS$ の変動を適切に抑制できる。

20

【 0 1 0 3 】

本発明は、さらに他の形態で実施できる。たとえば、前述の実施形態では、S J 構造を有する M I S F E T が形成された例が説明された。しかし、第 1 ~ 第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 は、M I S F E T に限らず、S j 構造を有する種々のデバイスに適用できる。第 1 ~ 第 2 形態例に係るコラム領域 2 0 は、たとえば、S J 構造を有する S B D (Schottky Barrier Diode) に適用されてもよい。

30

【 0 1 0 4 】

前述の実施形態では、半導体チップ 2 が S i チップからなる例が説明された。しかし、半導体チップ 2 は、ワイドバンドギャップ半導体チップからなってもよい。この場合、半導体チップ 2 は、S i C (炭化シリコン) チップからなってもよい。

【 0 1 0 5 】

前述の実施形態では、複数のコラム領域 2 0 が平面視においてストライプ状に形成された例が説明された。しかし、複数のコラム領域 2 0 は、平面視において円形状または多角形状にそれぞれ形成されていてもよい。この場合、複数のコラム領域 2 0 は、平面視において第 1 方向 X および第 2 方向 Y に間隔を空けて形成されていてもよい。複数のコラム領域 2 0 は、たとえば、平面視において行列状に配列されていてもよいし、千鳥状に配列されていてもよい。

40

【 0 1 0 6 】

以下、この明細書および図面から抽出される特徴の例が示される。以下の [A 1] ~ [A 1 8] は、プロセス誤差に起因する耐圧の変動を抑制できる半導体装置を提供する。

【 0 1 0 7 】

[A 1] 主面を有する半導体チップと、前記主面の表層部に形成された第 1 導電型のドリフト領域と、前記ドリフト領域内に厚さ方向に延びるコラム状に形成され、下端部、中間部および上端部を有する第 2 導電型のコラム領域と、を含み、前記コラム領域は、前記下端部および前記中間部の間に形成された低濃度部、ならびに、前記中間部および前記上

50

端部の間に形成された高濃度部を含み、前記低濃度部および前記高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する補償領域を有している、半導体装置。

【0108】

[A2] 前記補償領域は、前記低濃度部から前記高濃度部に向けて不純物濃度が増加するように形成されている、A1に記載の半導体装置。

【0109】

[A3] 前記下端部は、前記ドリフト領域の底部から間隔を空けて形成されている、A1またはA2に記載の半導体装置。

【0110】

[A4] 前記コラム領域は、前記ドリフト領域の厚さ方向にコラム状に積層された第2導電型の複数の不純物領域によって構成されている、A1～A3のいずれか一つに記載の半導体装置。

10

【0111】

[A5] 前記ドリフト領域の表層部に形成された第2導電型のベース領域をさらに含み、前記コラム領域は、前記ドリフト領域において前記ベース領域の直下の領域に形成されている、A1～A4のいずれか一つに記載の半導体装置。

【0112】

[A6] 前記上端部は、前記ベース領域に接続されている、A5に記載の半導体装置。

【0113】

[A7] 前記ベース領域は、第1幅を有し、前記コラム領域は、前記第1幅未満の第2幅を有している、A5またはA6に記載の半導体装置。

20

【0114】

[A8] 前記半導体チップにおいて前記ドリフト領域の直下の領域に形成された第1導電型のドレイン領域と、前記ベース領域の表層部に形成され、前記ドリフト領域との間でチャンネル領域を画定する第1導電型のソース領域と、前記チャンネル領域に対向するように前記主面の上に形成されたプレーナゲート構造と、をさらに含む、A5～A7のいずれか一つに記載の半導体装置。

【0115】

[A9] 前記低濃度部は、前記下端部から前記中間部側に間隔を空けて形成されている、A1～A8のいずれか一つに記載の半導体装置。

30

【0116】

[A10] 前記高濃度部は、前記上端部から前記中間部側に間隔を空けて形成されている、A1～A9のいずれか一つに記載の半導体装置。

【0117】

[A11] 前記コラム領域は、前記低濃度部、ならびに、前記低濃度部および前記下端部の間に形成された下高濃度部を含み、前記低濃度部および前記下高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する下補償領域を有している、A1～A10のいずれか一つに記載の半導体装置。

【0118】

[A12] 前記下補償領域は、前記低濃度部から前記下高濃度部に向けて不純物濃度が増加するように形成されている、A11に記載の半導体装置。

40

【0119】

[A13] 前記コラム領域は、前記高濃度部、ならびに、前記高濃度部および前記上端部の間に形成された上低濃度部を含み、前記高濃度部および前記上低濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する上補償領域を有している、A1～A12のいずれか一つに記載の半導体装置。

【0120】

[A14] 前記上補償領域は、前記高濃度部から前記上低濃度部に向けて不純物濃度が減少するように形成されている、A13に記載の半導体装置。

【0121】

50

[A 1 5] 主面を有する半導体チップと、前記主面の表層部に形成された第 1 導電型のドリフト領域と、前記ドリフト領域内に厚さ方向に延びるコラム状に形成され、下端部、中間部および上端部を有する第 2 導電型のコラム領域と、を含み、前記コラム領域は、前記下端部および前記中間部の間に形成された低濃度部、ならびに、前記低濃度部および前記下端部の間に形成された下高濃度部を含み、前記低濃度部および前記下高濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する下補償領域と、前記中間部および前記上端部の間に形成された高濃度部、ならびに、前記高濃度部および前記上端部の間に形成された上低濃度部を含み、前記高濃度部および前記上低濃度部の間の不純物濃度範囲でチャージバランスを補償する上補償領域と、を有している、半導体装置。

【 0 1 2 2 】

10

[A 1 6] 前記下補償領域は、前記低濃度部から前記下高濃度部に向けて不純物濃度が増加するように形成されている、A 1 5 に記載の半導体装置。

【 0 1 2 3 】

[A 1 7] 前記上補償領域は、前記高濃度部から前記上低濃度部に向けて不純物濃度が減少するように形成されている、A 1 5 または A 1 6 に記載の半導体装置。

【 0 1 2 4 】

[A 1 8] 前記高濃度部は、前記下高濃度部よりも高濃度であり、前記上低濃度部は、前記低濃度部よりも高濃度である、A 1 5 ~ A 1 7 のいずれか一つに記載の半導体装置。

【 0 1 2 5 】

本発明の実施形態について詳細に説明してきたが、これらは本発明の技術的内容を明らかにするために用いられた具体例に過ぎず、本発明はこれらの具体例に限定して解釈されるべきではなく、本発明の範囲は添付の請求の範囲によって限定される。

20

【 符号の説明 】

【 0 1 2 6 】

- 1 半導体装置
- 2 半導体チップ
- 3 第 1 主面
- 6 ドリフト領域
- 7 ドレイン領域
- 9 ベース領域
- 1 0 ソース領域
- 1 1 チャネル領域
- 2 0 コラム領域
- 2 1 下端部
- 2 2 中間部
- 2 3 上端部
- 2 5 プレーナゲート構造
- 4 0 補償領域
- 4 1 低濃度部
- 4 2 高濃度部
- 5 0 上補償領域
- 5 1 下補償領域
- 5 2 補償領域
- 5 3 低濃度部
- 5 5 高濃度部
- W 1 第 1 幅
- W 2 第 2 幅

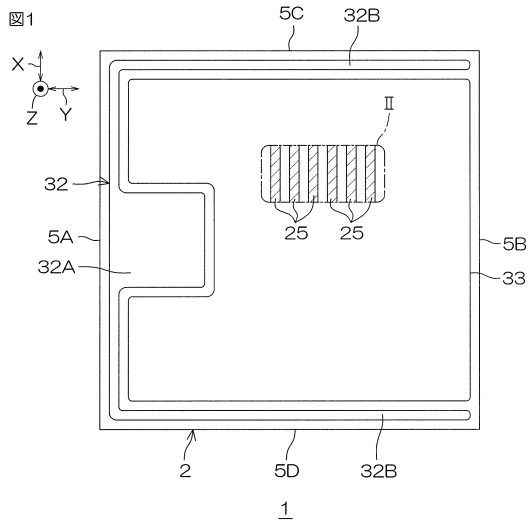
30

40

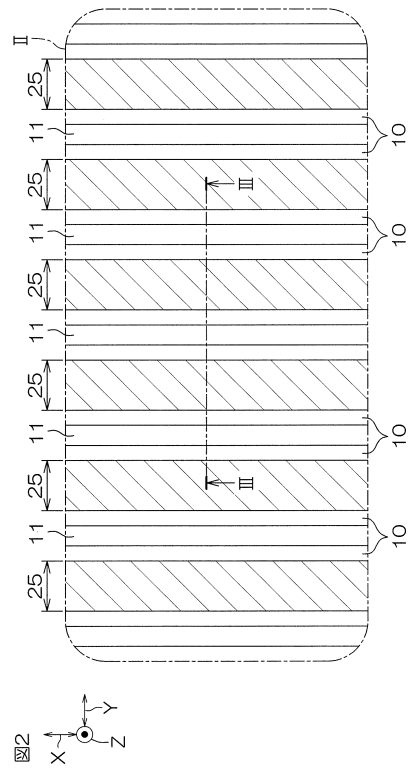
50

【図面】

【図 1】



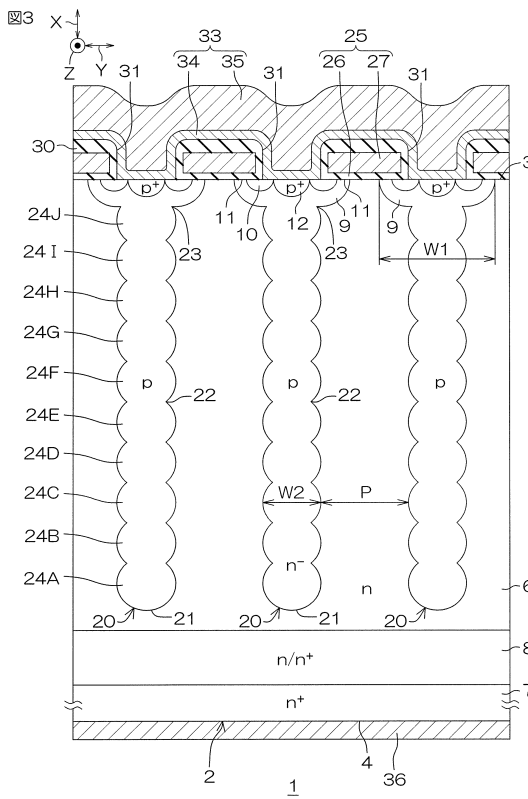
【図 2】



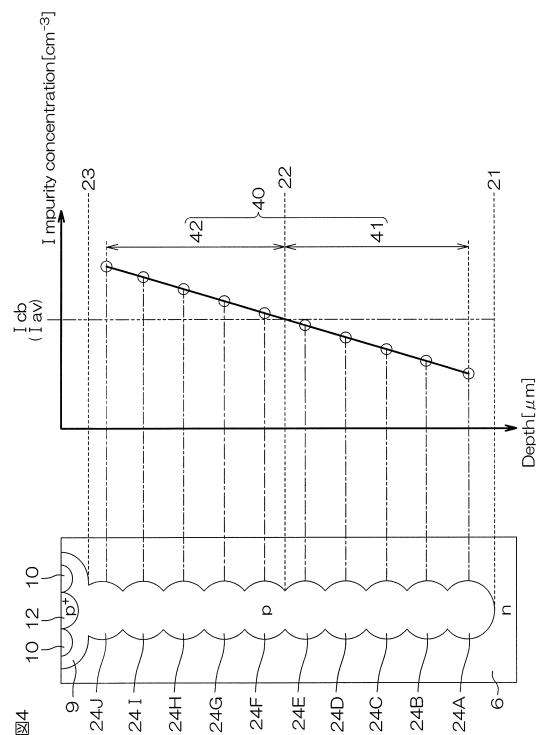
10

20

【図 3】



【図 4】

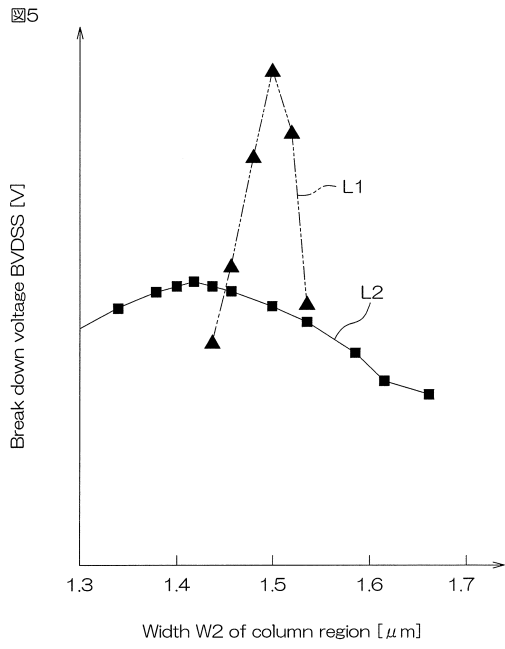


30

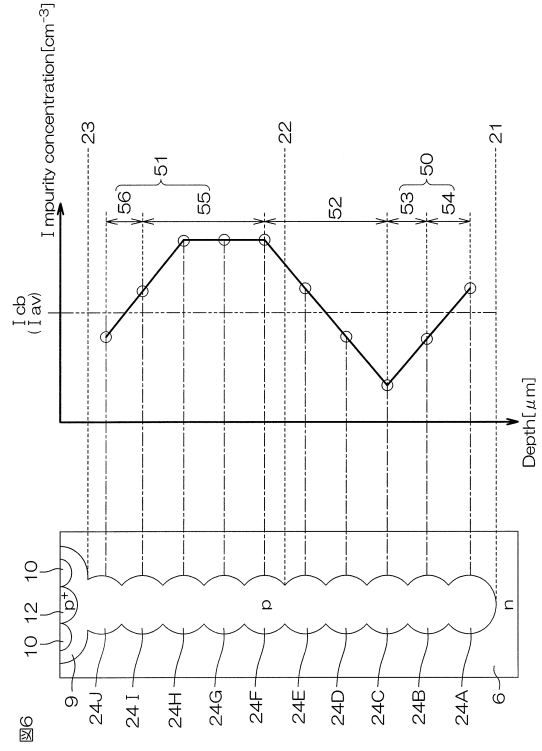
40

50

【図5】



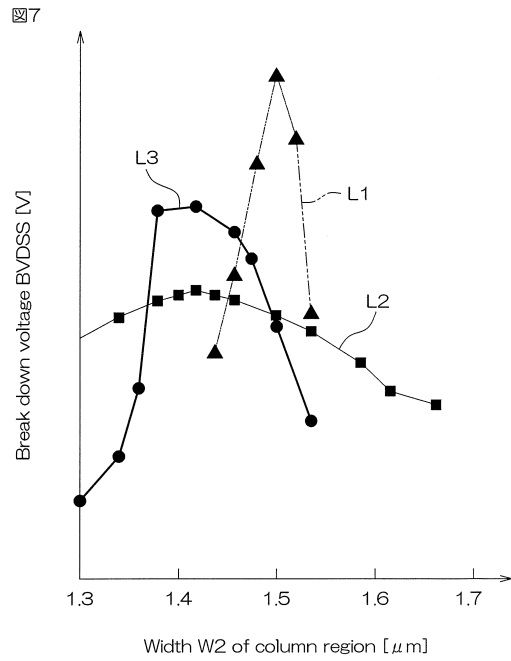
【図6】



10

20

【図7】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 1 0 D	30/01	3 0 1 A
H 1 0 D	30/66	1 0 3 Q
H 1 0 D	30/66	1 0 2 S
H 1 0 D	30/66	1 0 1 T

(56)参考文献

特開 2 0 0 8 - 2 5 8 4 4 2 (J P , A)

特開 2 0 0 9 - 2 7 2 3 9 7 (J P , A)

特開 2 0 1 2 - 0 7 4 4 4 1 (J P , A)

特開 2 0 0 6 - 2 1 0 8 6 1 (J P , A)

特開 2 0 1 1 - 2 0 4 7 9 6 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)

H 1 0 D 3 0 / 6 6

H 1 0 D 6 2 / 1 0

H 1 0 D 3 0 / 0 1