



半導体基板が、半導体基板の上面に露出している第 1 導電型の第 1 半導体層と、第 1 半導体層の下側に配置されている第 2 導電型の第 2 半導体層と、第 2 半導体層の下側に配置されている第 1 導電型の第 3 半導体層を備える。半導体装置が、第 1 半導体層と第 2 半導体層を貫通して第 3 半導体層に達するトレンチと、トレンチの内面を覆うゲート酸化膜と、トレンチの内部に配置されたゲート電極と、ゲート電極の上面を覆うキャップ酸化膜とを備える。第 2 半導体層内の半導体基板の深さ方向における第 2 導電型不純物濃度分布において、第 1 の極大値と、第 1 の極大値よりも大きい第 2 の極大値が存在する。第 2 の極大値は、第 1 の極大値よりも下面側に形成されている。

明 細 書

発明の名称：半導体装置及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] (関連出願の相互参照)

本出願は、2014年7月31日に出願された日本特許出願特願2014-157059の関連出願であり、この日本特許出願に基づく優先権を主張するものであり、この日本特許出願に記載された全ての内容を、本明細書を構成するものとして援用する。

[0002] 本明細書に開示の技術は、半導体装置に関する。

背景技術

[0003] 国際公開第2013/121519号公報（以下、特許文献1という）には、トレンチゲート型のIGBTが開示されている。コレクタ-エミッタ間に電圧を印加し、ゲートに閾値以上の電位を印加すると、IGBTがオンする。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1のIGBTのようなトレンチゲート型のスイッチング用の半導体素子の特性は、ボディ領域の不純物濃度のピーク値の深さにおけるゲート酸化膜の厚みによって大きく変化する。この深さにおけるゲート酸化膜が厚いほど、ゲート閾値が高くなる。

[0005] トレンチゲートを形成する際に、ゲート電極の上面の深さ方向における位置には製造誤差が生じる。このため、ゲート電極上に、凹状のリセス部が形成される場合と、リセス部が形成されない場合がある。また、リセス部が形成される場合には、製造工程における誤差によって、リセス部の深さ方向の寸法にはばらつきが生じる。また、ゲート電極の上面にはキャップ酸化膜を形成する必要がある。ゲート電極の上面の深さ方向の位置がばらつくため、キャップ酸化膜の深さ方向の位置にもばらつきが生じる。さらに、キャップ

酸化膜を形成する際には、キャップ酸化膜の近傍のゲート酸化膜の厚みが増大する。キャップ酸化膜の深さ方向の位置がばらつくため、ゲート酸化膜の厚みが増大する範囲にもばらつきが生じる。ばらつきによってゲート酸化膜の厚みが増大する範囲がボディ領域の不純物濃度のピーク値の深さと重複すると、ゲート閾値が高くなる。このため、従来の半導体素子の構造では、ゲート電極の上面の深さ方向における位置のばらつきによって、ゲート閾値にばらつきが生じる場合があった。

[0006] したがって、本明細書では、ゲート電極の上面の深さ方向の位置のばらつきが生じてもゲート閾値のばらつきが生じ難い半導体装置に関する技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 本明細書に開示の半導体装置は、半導体基板を有する。前記半導体基板は、前記半導体基板の上面に露出している第1導電型の第1半導体層と、前記第1半導体層の下側に配置されており、前記第1半導体層に接する第2導電型の第2半導体層と、前記第2半導体層の下側に配置されており、前記第2半導体層に接しており、前記第2半導体層によって前記第1半導体層から分離されている第1導電型の第3半導体層を備えている。前記半導体装置は、前記半導体基板の前記上面に形成されており、前記第1半導体層と前記第2半導体層を貫通して前記第3半導体層に達するトレンチと、前記トレンチの内面を覆うゲート酸化膜と、前記トレンチの内部に配置されており、前記ゲート酸化膜によって前記半導体基板から絶縁されているゲート電極と、前記ゲート電極の上面を覆うキャップ酸化膜を備えている。前記第2半導体層内の前記半導体基板の深さ方向における第2導電型不純物濃度分布において、第1の極大値と、第1の極大値よりも大きい第2の極大値が存在する。前記第2の極大値が、前記第1の極大値よりも下面側に形成されている。

[0008] なお、本明細書において、「深さ」は、半導体基板の厚み方向における位置を意味する。

[0009] 上述した半導体装置について、図1に示す半導体装置を一例として説明す

る。図1においては、第1導電型をn型として示し、第2導電型をp型として示しているが、逆であってもよい。図1の半導体装置は、第1半導体層220と、第2半導体層222と、第3半導体層224と、ゲート酸化膜242と、ゲート電極244と、キャップ酸化膜246を備えている。キャップ酸化膜246を形成するときゲート電極244の上面近傍のトレンチの側面が追加的に酸化されるため、ゲート酸化膜242の厚みは、キャップ酸化膜246の近傍では厚く、下側では薄い。図1の深さ250は第1の極大値の深さであり、深さ252は第2の極大値の深さである。第2の極大値は第1の極大値よりも大きいため、この半導体装置のゲート閾値は、第2の極大値の深さ252におけるゲート酸化膜242の厚みの影響を大きく受ける。製造誤差によってゲート電極244の上面の深さ方向の位置はばらつきやすい。この半導体装置では、第2の極大値が第1の極大値の深さ250よりも下面側に位置する深さ252に形成されているので、深さ252においてゲート酸化膜242が厚くなり難い。このため、この半導体装置では、ゲート電極244の上面の深さ方向の位置にばらつきが生じてても、ゲート閾値にばらつきが生じ難い。

発明の効果

[0010] 上記の半導体装置の構造によれば、半導体装置の量産時にゲート電極の上面の位置にばらつきが生じてても、各半導体装置のゲート閾値にばらつきが生じることを抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本明細書が開示する半導体装置の一例を示す断面図。

[図2]実施形態に係るIGBT10の上面図。

[図3]図2のIII-III線におけるIGBT10の断面図。

[図4]図2のIV-IV線におけるIGBT10の断面図。

[図5]IGBT10のリセス部48付近の拡大図。

[図6]IGBT10のリセス部48付近の拡大図(図5よりリセス部48が深い場合)。

[図7]図2のX-X線の位置における不純物濃度分布を示すグラフ。

[図8]IGBT10の製造方法の説明図。

[図9]IGBT10の製造方法の説明図。

[図10]IGBT10の製造方法の説明図。

[図11]IGBT10の製造方法の説明図。

[図12]図11のリセス部48付近の拡大図。

[図13]IGBT10の製造方法の説明図。

[図14]IGBT10の製造方法の説明図。

[図15]変形例のIGBTの断面図。

[図16]リセス部48が形成されない場合のIGBT10の断面図。

発明を実施するための形態

[0012] 図2～4に示す実施形態に係るIGBT10は、半導体基板12と、半導体基板12の上面及び下面に形成された電極、絶縁体等によって構成されている。

[0013] 半導体基板12の上面には、複数のトレンチ40が凹状に形成されている。図2に示すように、各トレンチ40は、互いに平行に伸びている。各トレンチ40の内面は、ゲート酸化膜42に覆われている。各トレンチ40の内部には、ゲート電極44が配置されている。ゲート電極44は、ゲート酸化膜42によって半導体基板12から絶縁されている。ゲート電極44の上面は、キャップ酸化膜46に覆われている。また、キャップ酸化膜46上には、層間絶縁膜47が形成されている。ゲート電極44は、図示しない位置で、外部に接続可能とされている。

[0014] 半導体基板12の上面には、エミッタ電極60が形成されている。エミッタ電極60は、キャップ酸化膜46と層間絶縁膜47によってゲート電極44から絶縁されている。半導体基板12の下面には、コレクタ電極62が形成されている。

[0015] 半導体基板12の内部には、エミッタ領域20、ボディコンタクト領域21、第1ボディ領域22、キャリア蓄積領域24、第2ボディ領域26、ド

リフト領域 28、バッファ領域 30 及びコレクタ領域 32 が形成されている。

[0016] 図 3 に示すエミッタ領域 20 は、n 型領域であり、半導体基板 12 の上面に露出する範囲に形成されている。エミッタ領域 20 は、エミッタ電極 60 に接続されている。図 2 に示すように、エミッタ領域 20 は、ゲート電極 44 に直交する方向に長く伸びている。エミッタ領域 20 は、ゲート酸化膜 42 に接している。

[0017] 図 4 に示すボディコンタクト領域 21 は、高濃度の p 型不純物を含有する p 型領域である。ボディコンタクト領域 21 は、半導体基板 12 の上面に露出する範囲に形成されている。図 2 に示すように、ボディコンタクト領域 21 は、ゲート電極 44 に直交する方向に長く伸びている。ボディコンタクト領域 21 は、エミッタ領域 20 に隣接している。ボディコンタクト領域 21 は、エミッタ電極 60 に接続されている。

[0018] 第 1 ボディ領域 22 は、ボディコンタクト領域 21 よりも p 型不純物濃度が低い p 型領域である。図 3、4 に示すように、第 1 ボディ領域 22 は、エミッタ領域 20 とボディコンタクト領域 21 の下側に形成されている。第 1 ボディ領域 22 は、エミッタ領域 20 の下側において、ゲート酸化膜 42 に接している。図 7 は、図 3 の X 線の位置における不純物濃度分布を示している。すなわち、図 7 は、第 1 ボディ領域 22、キャリア蓄積領域 24 及び第 2 ボディ領域 26 内の不純物濃度の深さ方向（半導体基板 12 の厚み方向）に沿った分布を示している。図 7 の実線のグラフは p 型不純物濃度分布を示し、破線のグラフは n 型不純物濃度分布を示す。半導体基板 12 の何れの位置においても、図 7 と同様の深さ方向の p 型不純物濃度分布が観測される。図 7 に示すように、第 1 ボディ領域 22 内には、p 型不純物濃度の極大値 PH1 と、極小値 PL と、極大値 PH2 が形成されている。極大値 PH2 は、図 7 のグラフにおいて p 型不純物濃度の最大値である。極大値 PH1 は、極大値 PH2 よりも小さい。極小値 PL は、極大値 PH1 及び PH2 の何れよりも小さい。極大値 PH1 は、深さ 101 に形成されている。極小値 PL は

、極大値PH1よりも下側に位置する深さ103に形成されている。極大値PH2は、深さ103よりも下側に位置する深さ102に形成されている。以下では、極小値PLを有する深さ103よりも上側の第1ボディ領域22を上層22aと呼び、深さ103よりも下側の第1ボディ領域22を下層22bと呼ぶ。上層22aは、極大値PH1を有する層であり、半導体基板12の上面に沿って層状に広く分布している。また、下層22bは、極大値PH2を有する層であり、半導体基板12の上面に沿って層状に広く分布している。

[0019] キャリア蓄積領域24は、n型領域であり、第1ボディ領域22の下側に形成されている。キャリア蓄積領域24は、第1ボディ領域22によってエミッタ領域20から分離されている。キャリア蓄積領域24は、第2ボディ領域26によってドリフト領域28から分離されている。キャリア蓄積領域24は、第1ボディ領域22の下側においてゲート酸化膜42に接している。キャリア蓄積領域24は、第1ボディ領域22と第2ボディ領域26とを分離する中間領域である。

[0020] 第2ボディ領域26は、p型領域であり、キャリア蓄積領域24の下側に形成されている。図7に示すように、第2ボディ領域26のp型不純物濃度は、第1ボディ領域22のp型不純物濃度よりも低い。第2ボディ領域26は、キャリア蓄積領域24によって第1ボディ領域22から分離されている。第2ボディ領域26は、キャリア蓄積領域24の下側においてゲート酸化膜42と接している。

[0021] ドリフト領域28は、低濃度のn型不純物を含有するn型領域である。ドリフト領域28は、第2ボディ領域26の下側に形成されている。ドリフト領域28は、第2ボディ領域26によってキャリア蓄積領域24から分離されている。ドリフト領域28は、トレンチ40の下端に位置するゲート酸化膜42と接している。

[0022] バッファ領域30は、高濃度のn型不純物を含有するn型領域である。バッファ領域30は、ドリフト領域28の下側に形成されている。

[0023] コレクタ領域 32 は、高濃度の p 型不純物を含有する p 型領域である。コレクタ領域 32 は、バッファ領域 30 の下側に形成されている。コレクタ領域 32 は、半導体基板 12 の下面に臨む範囲の全面に形成されている。コレクタ領域 32 は、コレクタ電極 62 に接続されている。

[0024] 図 5、6 は、ゲート電極 44 近傍の拡大断面図を示している。なお、図 5、6 では、図の見易さのため、層間絶縁膜 47 のハッチングを省略している。図 5 に示すように、ゲート電極 44 の上面は、半導体基板 12 の上面よりも下側に位置している。したがって、キャップ酸化膜 46 の上面も、半導体基板 12 の上面よりも下側に位置している。このため、ゲート電極 44 上には、半導体基板 12 の上面に対して凹んだリセス部 48 が形成されている。リセス部 48 の側面に形成されているゲート酸化膜 42 の厚みは、キャップ酸化膜 46 よりも下側に形成されているゲート酸化膜 42（すなわち、ゲート電極 44 の側方のゲート酸化膜 42）の厚みよりも厚い。以下では、リセス部 48 の側面に形成されている厚いゲート酸化膜 42 を、厚膜部 42a という。また、ゲート電極 44 の側方のゲート酸化膜 42 のうちのゲート電極 44 の上端近傍（すなわち、キャップ酸化膜 46 近傍）のゲート酸化膜 42 は、その上端から下側に向かうにしたがって連続して厚みが減少する減少部分 42b となっている。減少部分 42b のゲート電極 44 側の側面は、ゲート電極 44 側に傾いている。他方、減少部分 42b の半導体層側の側面は、半導体基板 12 の厚み方向と略平行となっている。このため、減少部分 42b の厚みは、下側ほど薄くなっている。減少部分 42b の上端部（最も厚い部分）の厚みは、厚膜部 42a の厚みよりも薄い。減少部分 42b の上端は、キャップ酸化膜 46 と繋がっている。また、以下では、減少部分 42b の下側のゲート酸化膜 42 を薄膜部 42c という。薄膜部 42c は、略一定の厚みを有している。薄膜部 42c の厚みは、減少部分 42b の厚みよりも薄い。後に詳述するが、厚膜部 42a、減少部分 42b 及び薄膜部 42c のように厚みが異なるゲート酸化膜 42 が形成される理由は、キャップ酸化膜 46 を形成する際にゲート酸化膜 42 が部分的に成長するためである。

[0025] 図5では、厚膜部42aと減少部分42bの全体がエミッタ領域20の深さ範囲内に存在する。第1ボディ領域22は、薄膜部42cとのみ接している。しかしながら、図5に示すリセス部48の深さ方向の寸法D1（すなわち、半導体基板12の上面とキャップ酸化膜46の間の厚み方向における距離）には、製造誤差が生じる。製造誤差により寸法D1が大きくなった場合には、図6に示すように、厚膜部42aが第1ボディ領域22と接する場合がある。図6の例では、極大値PH1を有する深さ101に厚膜部42aが形成されている。また、極大値PH2を有する深さ102に薄膜部42cが形成されている。減少部分42bは、深さ101と深さ102の間に配置されている。本実施形態のIGBT10では、リセス部48の寸法D1が製造誤差の範囲内で最も大きくなった場合でも、減少部分42bが深さ102よりも上側に位置する。言い換えると、リセス部48の深さD1に係らず、深さ102には薄膜部42cが形成される。

[0026] 次に、IGBT10の動作について説明する。IGBT動作時には、エミッタ電極60とコレクタ電極62との間にコレクタ電極62がプラスになる電圧が印加される。この状態で、ゲート電極44にゲート閾値(IGBT10をオンさせるのに必要最小限のゲート電圧)以上の電圧が印加されると、IGBT10がオンする。すなわち、ゲート電極44への電圧の印加によって、第1ボディ領域22のゲート酸化膜42と接する範囲にチャンネルが形成され、第2ボディ領域26のゲート酸化膜42と接する範囲にチャンネルが形成される。これによって、電子が、エミッタ領域20から、第1ボディ領域22のチャンネル、キャリア蓄積領域24、第2ボディ領域26のチャンネル、ドリフト領域28、及びバッファ領域30を介して、コレクタ領域32へ流れる。また、ホールが、コレクタ領域32からバッファ領域30、ドリフト領域28、第2ボディ領域26、キャリア蓄積領域24、及び、第1ボディ領域22を介して、ボディコンタクト領域21へ流れる。これによって、IGBT10に電流が流れる。

[0027] ここで、IGBT10のゲート閾値は、チャンネルが形成される領域のp型

不純物濃度と、チャネルが形成される領域に接するゲート酸化膜42の厚みによって大きく変化する。チャネルが形成される領域のp型不純物濃度が高いと、その領域がn型に反転し難くなるので、チャネルが形成され難くなる。IGBT10では、チャネルが形成される第1ボディ領域22及び第2ボディ領域26の中で、極大値PH2を有する深さ102で最もp型不純物濃度が高い。したがって、深さ102では最もチャネルが形成され難い。また、ゲート絶縁膜42の厚みが厚いと、ゲート電極44からチャネルが形成される領域に電界が加わり難くなるので、チャネルが形成され難くなる。IGBT10では、チャネルが形成され難い深さ102におけるゲート酸化膜42の厚みが、ゲート閾値に極めて大きく影響する。

[0028] ここで、IGBT10では、第1ボディ領域22内に2つの極大値PH1、PH2が形成されている。極大値PH2の深さ102は、極大値PH1の深さ101よりも下側に位置する。したがって、製造誤差によって図6に示すようにリセス部48が深くなった場合でも、厚膜部42a及び減少部分42bが深さ102まで到達し難い。すなわち、深さ102に薄膜部42cが確実に形成される。このため、IGBT10では、リセス部48の寸法D1のばらつきに係らず、深さ102におけるゲート酸化膜42の厚みにばらつきが生じ難い。したがって、この構造のIGBT10は、量産時にゲート閾値にばらつきが生じ難い。なお、極大値PH1の深さ101には、図6に示すように厚膜部42aが形成されても、ゲート閾値にはほとんど影響しない。これは、極大値PH1が極大値PH2よりも小さいためである。

[0029] また、IGBT10の第1ボディ領域22は、極大値PH2に加えて極大値PH1を有している。このため、第1ボディ領域22のp型不純物濃度を深さ方向に積分した値（すなわち、図7のグラフの第1ボディ領域22内での積分値）が高い。この積分値が高いと、IGBT10がオフしたときに、第1ボディ領域22とキャリア蓄積領域24の境界から第1ボディ領域22側に伸びる空乏層がエミッタ領域20まで到達することを防止することができる。したがって、このIGBT10は、耐圧特性が高い。また、このよう

に2つの極大値PH1及びPH2を設けることで、極大値PH2の値をそれほど大きくすることなく、前記積分値を大きくすることができる。このように、極大値PH2の値を比較的低くすることで、ゲート閾値をさらに低減することが実現されている。

[0030] (製造工程)

次に、IGBTの製造方法を説明する。IGBT10は、ドリフト領域28と略同じn型不純物濃度を有するn型の半導体基板(シリコン基板)から製造される。最初に、半導体基板の上面に、エッチングによって、トレンチ40を形成する。次に、酸化またはCVD法などによって、図8に示すように、トレンチ40の内面にゲート酸化膜42を形成する。また、ゲート酸化膜42は、半導体基板の上面にも形成される。次に、酸化またはCVD法などによって、図9に示すように、半導体基板の上面とトレンチ40の内部に、ポリシリコンからなる電極層52を形成する。次に、研削、研磨、エッチング、CMP等によって、電極層52の上面を平坦化する。

[0031] 次に、不要な電極層52をエッチングする。このとき、図10に示すように、トレンチ40内に電極層52を残存させる。トレンチ40内に残存した電極層52が、ゲート電極44となる。エッチングは、トレンチ40内の電極層52が部分的にエッチングされるように実施される。したがって、ゲート電極44の上にリセス部48が形成される。エッチング量にばらつきが生じるため、リセス部48の深さ方向の寸法にはばらつきが生じる。

[0032] 次に、酸化雰囲気下で半導体基板12を熱処理することで、ゲート電極44の上面を酸化させる。これによって、図11に示すように、キャップ酸化膜46を形成する。

[0033] キャップ酸化膜46を形成する際には、酸化ガスがリセス部48の側面のゲート酸化膜42を透過し、半導体層に到達する。その結果、この側面の半導体層が酸化され、リセス部48の側面を覆っているゲート酸化膜42の厚みが増大する。このため、図12に示すように、厚膜部42aが形成される。

[0034] また、キャップ酸化膜 4 6 を形成する際には、酸化ガスがゲート電極 4 4 の上端近傍のゲート電極 4 4 の側面にも到達する。これによって、当該側面が酸化され、ゲート電極 4 4 の上端近傍のゲート酸化膜 4 2 の厚みが増大する。ゲート電極 4 4 は、その上端に近い位置ほど酸化され易い。このため、ゲート電極 4 4 の上端近傍では、当該上端に近い位置ほどゲート酸化膜 4 2 の厚みが厚くなる。その結果、ゲート電極 4 4 の上端から下側に向かうに従って厚みが減少する減少部分 4 2 b が形成される。また、減少部分 4 2 b よりも下側のゲート酸化膜 4 2 は酸化されないので、元の厚みを維持する。このため、減少部分 4 2 b よりも下側のゲート酸化膜 4 2 は、薄膜部 4 2 c となる。

[0035] 次に、半導体基板の上面側から、半導体基板に、不純物イオンを注入する。ここでは、エミッタ領域 2 0 に対する n 型不純物の注入、ボディコンタクト領域 2 1 に対する p 型不純物の注入、第 1 ボディ領域 2 2 に対する p 型不純物の注入、キャリア蓄積領域 2 4 に対する n 型不純物の注入、及び、第 2 ボディ領域 2 6 に対する p 型不純物の注入をそれぞれ行う。

[0036] 図 1 3 の参照番号 2 0 a、2 2 a 1、2 2 a 2、2 4 a 及び 2 6 a は、不純物が注入される位置を示している。参照番号 2 0 a は、エミッタ領域 2 0 に対するイオン注入で n 型不純物が注入される位置を示しており、参照番号 2 2 a 1、2 2 a 2 は、第 1 ボディ領域 2 2 に対するイオン注入で p 型不純物が注入される位置を示しており、参照番号 2 4 a は、キャリア蓄積領域 2 4 に対するイオン注入で n 型不純物が注入される位置を示しており、参照番号 2 6 a は、第 2 ボディ領域 2 6 に対するイオン注入で p 型不純物が注入される位置を示している。また、図示していないが、ボディコンタクト領域 2 1 に対する p 型不純物の注入も実施される。ここで、第 1 ボディ領域 2 2 に対しては、位置 2 2 a 1 に対するイオン注入と、位置 2 2 a 2 に対するイオン注入との少なくとも 2 回のイオン注入が実施される。位置 2 2 a 2 は、位置 2 2 a 1 よりも下側に位置する。位置 2 2 a 2 に対しては、位置 2 2 a 1 よりも高濃度に p 型不純物が注入される。その後、半導体基板を熱処理することで、

図14に示すように、エミッタ領域20、ボディコンタクト領域21、第1ボディ領域22、キャリア蓄積領域24及び第2ボディ領域26が形成される。第1ボディ領域22には2回のイオン注入が行われているため、第1ボディ領域22には異なる深さに2つの極大値PH1、PH2が形成される。また、より深い位置22a2に高濃度にp型不純物濃度を注入しているので、図7で説明したように、極大値PH2は、極大値PH1の深さ101よりも下面側に形成される。

[0037] 上述したように、リセス部48の深さ方向の寸法のばらつきは大きい。しかしながら、この製造方法では、第1ボディ領域22内のp型不純物濃度の最大値（すなわち、極大値PH2）の深さ102が下面に近い側に位置するので、深さ102に厚膜部42a及び減少部分42bが形成されることを防止することができる。このため、深さ102におけるゲート酸化膜42の厚みにばらつきが生じ難い。したがって、この製造方法によれば、製造するIGBTのゲート閾値にばらつきが生じ難い。

[0038] その後、その他の必要な領域を半導体基板内に形成し、必要な電極、絶縁膜等を半導体基板に表面に形成することで、IGBT10が形成される。

[0039] 以上に説明したように、本実施形態のIGBT10の構造および製造方法を採用することで、リセス部48の深さ方向の寸法にばらつきがある場合であっても、IGBTの閾値電圧のばらつきを抑えることが可能である。

[0040] なお、上記の実施形態のIGBT10の各構成要素は、請求項の各構成要素に対して以下の関係を有する。実施形態のエミッタ領域20は、請求項の第1半導体層の一例である。実施形態の第1ボディ領域22は、請求項の第2半導体層の一例である。実施形態のキャリア蓄積領域24は、請求項の第3半導体層の一例である。実施形態の第2ボディ領域26は、請求項の第5半導体層の一例である。実施形態のドリフト領域28及びバッファ領域30は、請求項の第6半導体層の一例である。実施形態のコレクタ領域32は、請求項の第4半導体層の一例である。

[0041] なお、上記の実施形態ではキャリア蓄積領域24を有するIGBTについて

て説明したが、キャリア蓄積領域 24 を有さない IGBT に上記の実施形態の技術を適用してもよい。例えば、図 15 に示すように、キャリア蓄積領域 24 を有さず、1 つのボディ領域 22 のみを有する IGBT であってもよい。図 15 の IGBT では、ボディ領域 22 内の深さ 101 に極大値 PH1 が形成されており、深さ 101 よりも下側の深さ 102 に極大値 PH2 が形成されている。極大値 PH2 は極大値 PH1 よりも大きい。図 15 の構造でも、ゲート閾値のばらつきを抑制することができる。

[0042] また、上記の実施形態では、リセス部 48 を有する場合について説明したが、リセス部 48 は必ずしも形成されていなくてもよい。例えば、上述した電極層 52 をエッチングする工程においてエッチング量が少ない場合や、電極層 52 を CMP など平坦化する場合には、図 16 に示すように、キャップ絶縁膜 46 の上面と半導体基板 12 の上面が同一平面となる場合がある。すなわち、この場合、リセス部 48 は形成されない。

[0043] なお、図 15 の IGBT においては、エミッタ領域 20 が請求項の第 1 半導体層の一例であり、ボディ領域 22 が請求項の第 2 半導体層の一例であり、ドリフト領域 28 及びバッファ領域 30 が請求項の第 3 半導体層の一例である。また、図 15 のコレクタ領域 32 は請求項の第 4 半導体層の一例である。

[0044] また、図 2 及び図 15 に示す半導体装置は、コレクタ領域 32 が省略されており、下面電極 62 が n 型領域 30 に接続されている MOSFET であってもよい。

[0045] 上述した実施形態の半導体装置は、以下のように表すことができる。半導体基板が、第 3 半導体層によって第 2 半導体層から分離されている第 2 導電型の第 4 半導体層をさらに有していてもよい。なお、第 4 半導体層が第 3 半導体層に接していてもよいし、第 4 半導体層と第 3 半導体層の間に他の層が介在していてもよい。

[0046] 半導体基板が、第 3 半導体層の下側に配置されており、第 3 半導体層に接しており、第 3 半導体層によって第 2 半導体層から分離されている第 2 導電

型の第5半導体層と、第5半導体層の下側に配置されており、第5半導体層に接しており、第5半導体層によって第3半導体層から分離されている第1導電型の第6半導体層をさらに有していてもよい。トレンチが、第3半導体層と第5半導体層を貫通して第6半導体層に達していてもよい。

[0047] このように第3半導体層の下側に第5半導体層及び第6半導体層が存在する場合でも、ゲート電極の上面の位置のばらつきに起因する閾値電圧のばらつきを抑えることが可能である。

[0048] ゲート酸化膜が、キャップ酸化膜の深さから下側に向かうに従って厚みが減少する減少部分と、減少部分よりも下側に位置する下側部分を有していてもよい。第2の極大値が、下側部分の深さに位置していてもよい。

[0049] このような構成をとることによって、キャップ酸化膜を形成する際の条件が変化することによって減少部分の位置や範囲が変動しても、閾値電圧のばらつきを抑えることが可能である。

[0050] 半導体装置の製造方法は、第2半導体層の深さ範囲内に、第2導電型不純物を注入する第1工程と、第2半導体層の深さ範囲内の第1工程の注入深さよりも下側の深さに第1工程よりも多くの第2導電型不純物を注入する第2工程を有していてもよい。

[0051] このような製造方法をとることによって、半導体装置の閾値電圧のばらつきを抑えることが可能である。

[0052] 以上、実施形態について詳細に説明したが、これらは例示にすぎず、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さまざまに変形、変更したものが含まれる。

本明細書または図面に説明した技術要素は、単独あるいは各種の組み合わせによって技術有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組み合わ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するものであり、そのうちの1つの目的を達成すること自体で技術有用性を持つものである。

請求の範囲

[請求項1]

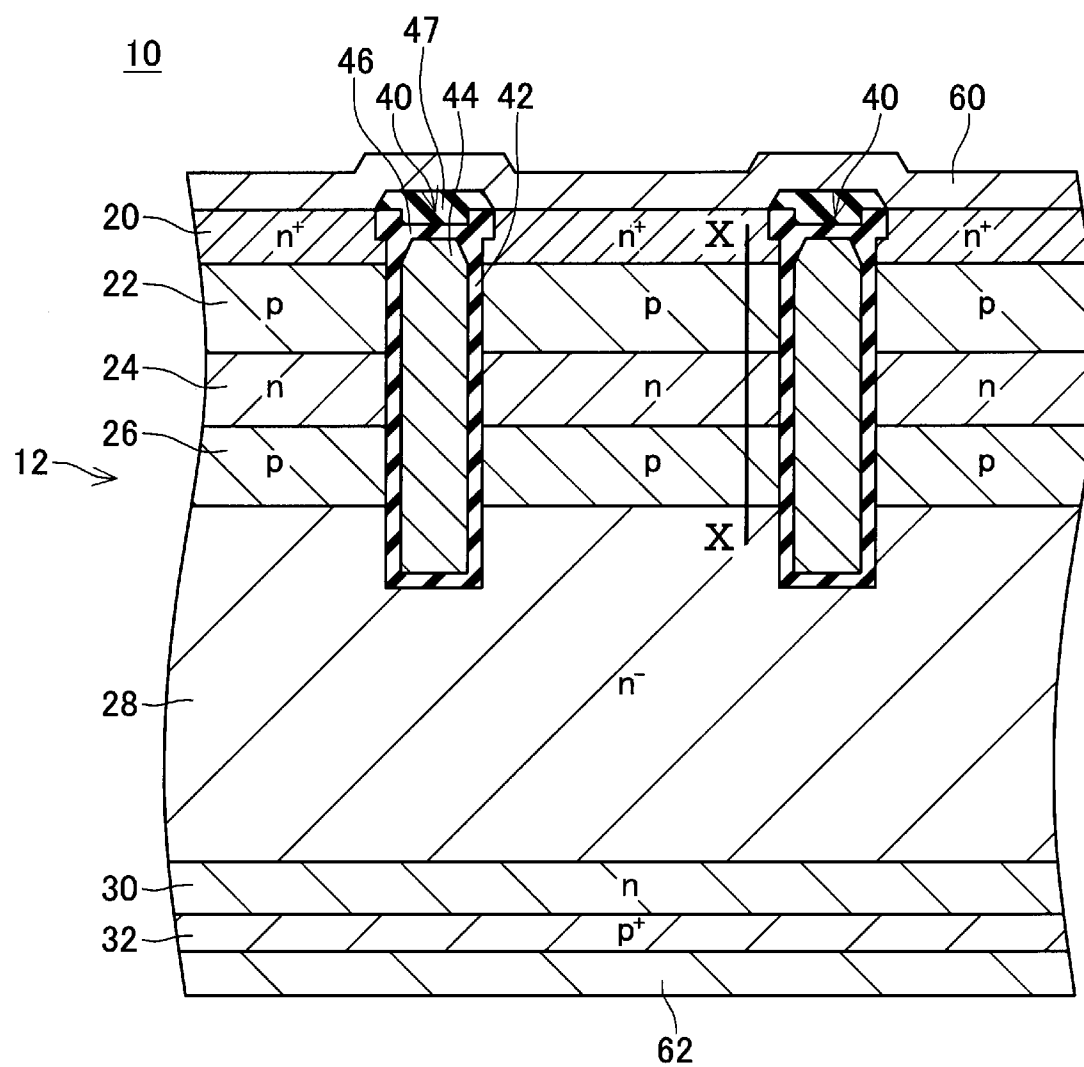
半導体基板を有する半導体装置であって、
前記半導体基板が、
前記半導体基板の上面に露出している第1導電型の第1半導体層と、
、
前記第1半導体層の下側に配置されており、前記第1半導体層に接する第2導電型の第2半導体層と、
前記第2半導体層の下側に配置されており、前記第2半導体層に接しており、前記第2半導体層によって前記第1半導体層から分離されている第1導電型の第3半導体層、
を備え、
前記半導体装置が、
前記半導体基板の前記上面に形成されており、前記第1半導体層と前記第2半導体層を貫通して前記第3半導体層に達するトレンチと、
前記トレンチの内面を覆うゲート酸化膜と、
前記トレンチの内部に配置されており、前記ゲート酸化膜によって前記半導体基板から絶縁されているゲート電極と、
前記ゲート電極の上面を覆うキャップ酸化膜と、
を備え、
前記第2半導体層内の前記半導体基板の深さ方向における第2導電型不純物濃度分布において、第1の極大値と、第1の極大値よりも大きい第2の極大値が存在し、
前記第2の極大値は、前記第1の極大値よりも下面側に形成されている、
ことを特徴とする半導体装置。

[請求項2]

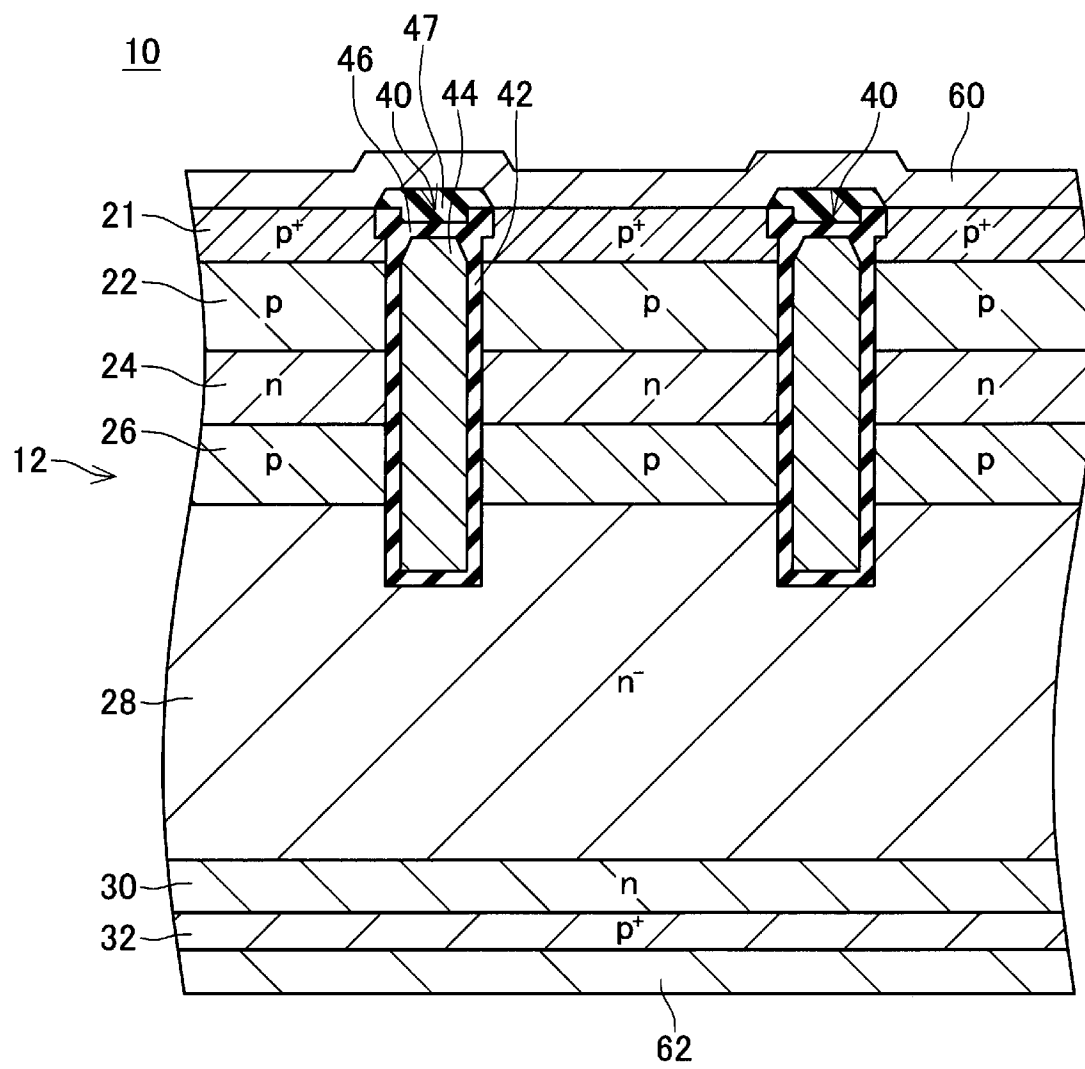
前記半導体基板が、前記第3半導体層によって前記第2半導体層から分離されている第2導電型の第4半導体層をさらに有する請求項1に記載の半導体装置。

- [請求項3] 前記半導体基板が、
- 前記第3半導体層の下側に配置されており、前記第3半導体層に接しており、前記第3半導体層によって前記第2半導体層から分離されている第2導電型の第5半導体層と、
- 前記第5半導体層の下側に配置されており、前記第5半導体層に接しており、前記第5半導体層によって前記第3半導体層から分離されている第1導電型の第6半導体層、
- をさらに有しており、
- 前記トレンチが、前記第3半導体層と前記第5半導体層を貫通して前記第6半導体層に達している、
- ことを特徴とする請求項1または2に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記ゲート酸化膜が、前記キャップ酸化膜の深さから下側に向かうに従って厚みが減少する減少部分と、前記減少部分よりも下側に位置する下側部分を有しており、
- 前記第2の極大値が、前記下側部分の深さに位置している、
- ことを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項5] 請求項1～4のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法であって、
- 前記第2半導体層の深さ範囲内に、第2導電型不純物を注入する第1工程と、
- 前記第2半導体層の深さ範囲内の前記第1工程の注入深さよりも下側の深さに前記第1工程よりも多くの第2導電型不純物を注入する第2工程、
- を備える製造方法。

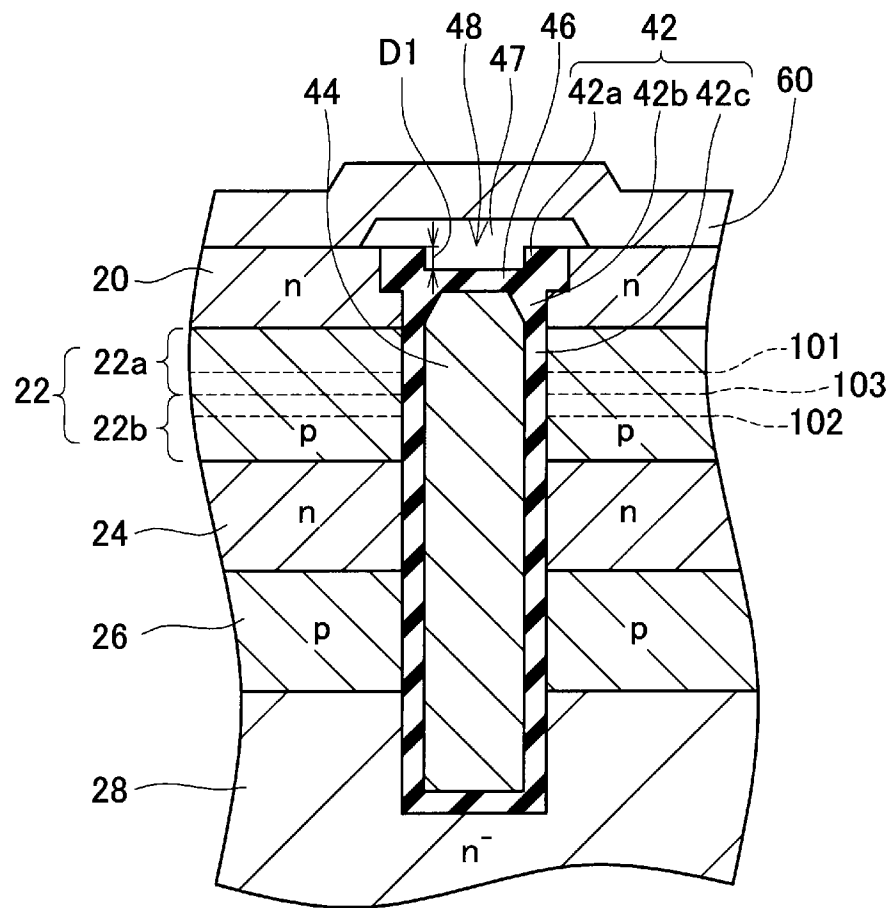
[図3]



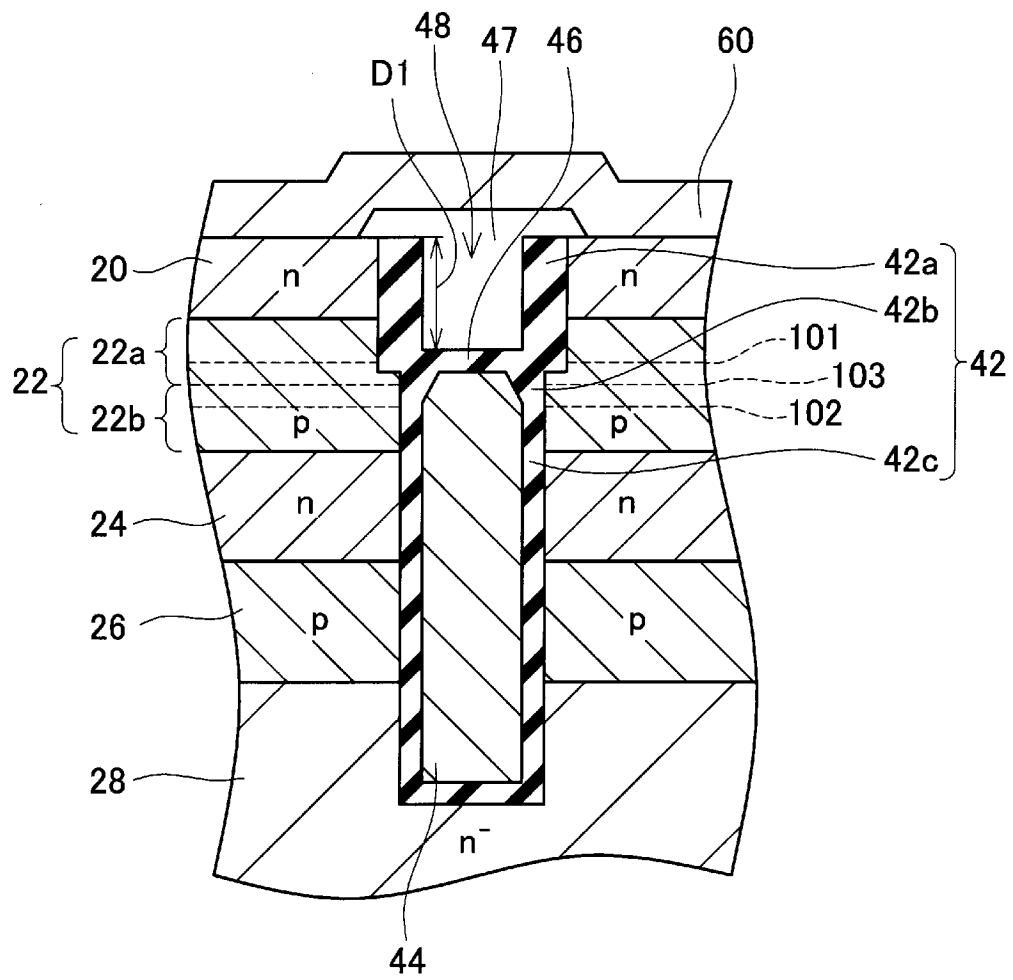
[図4]



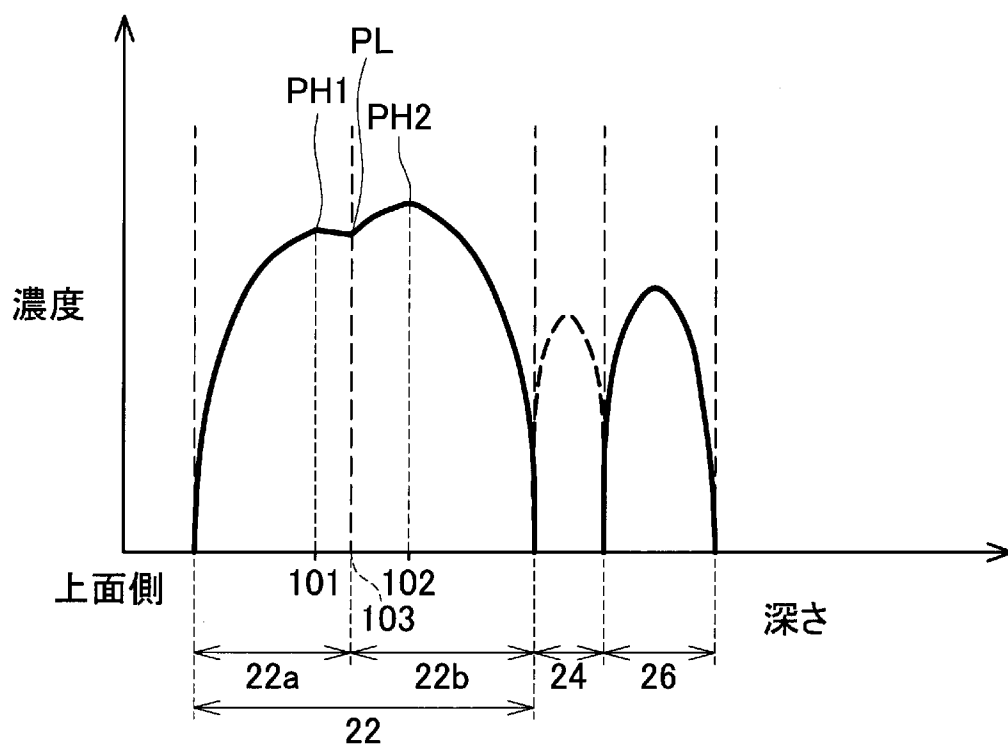
[図5]



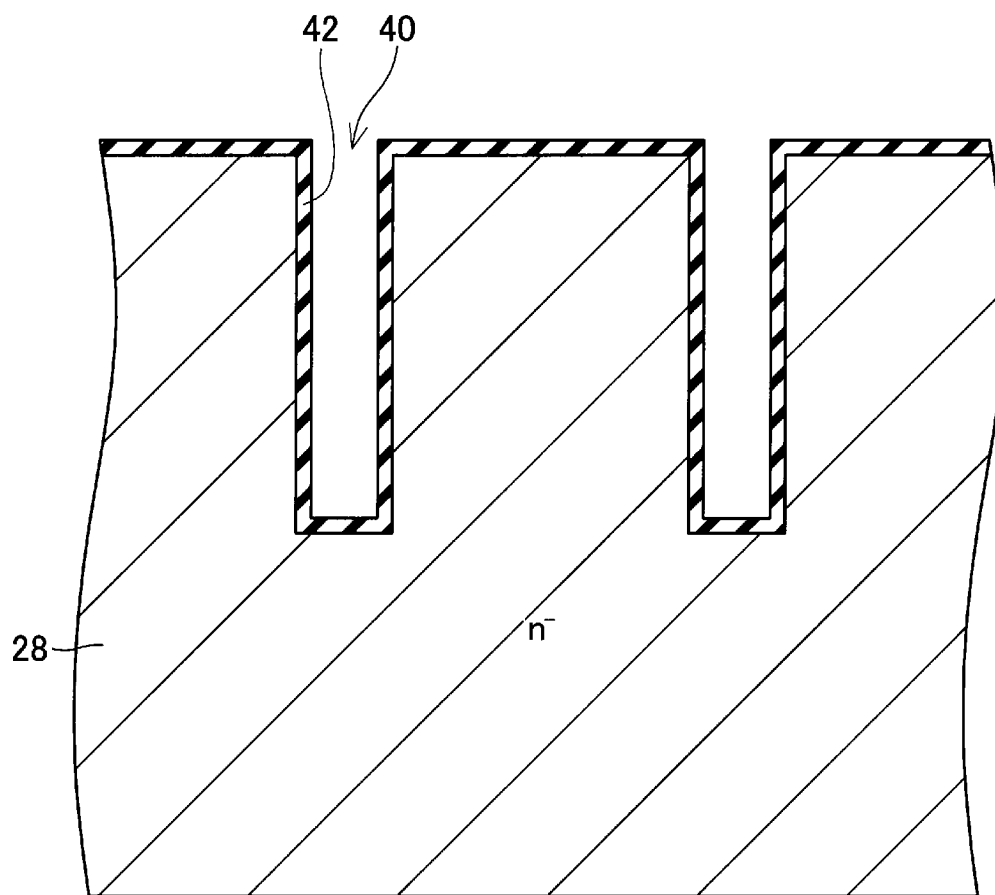
[図6]



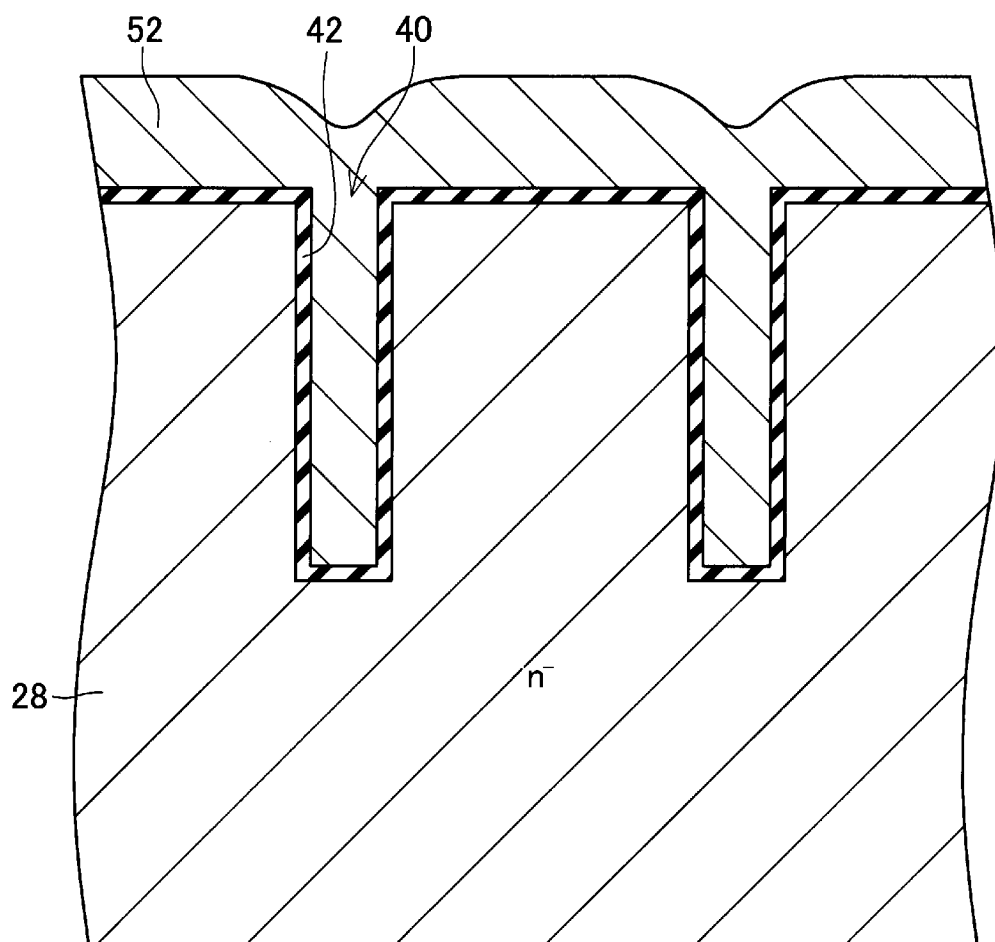
[図7]



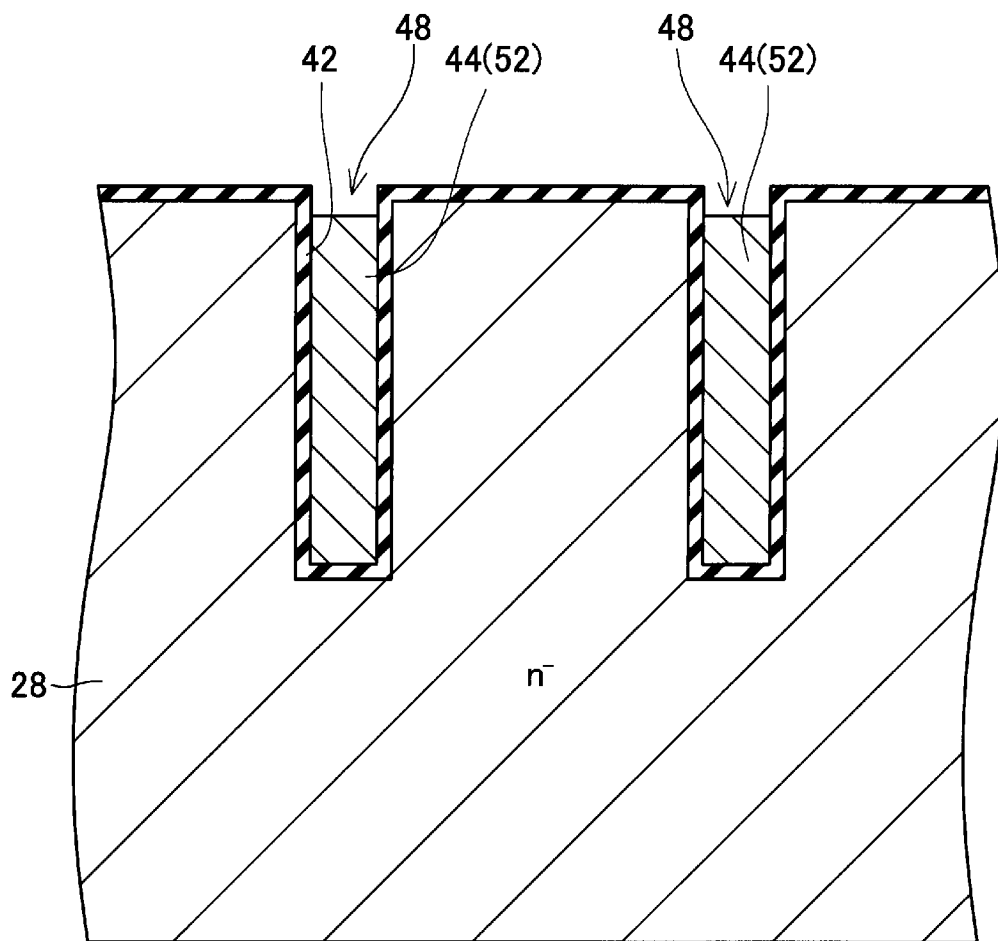
[図8]



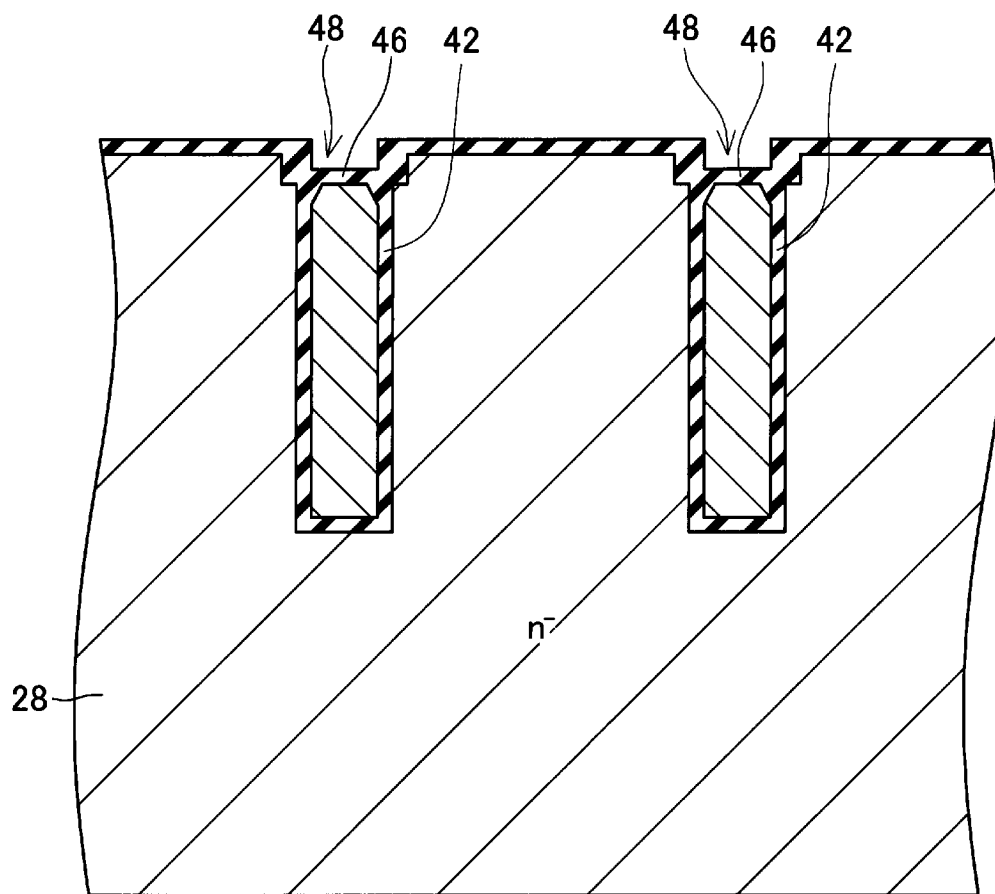
[図9]



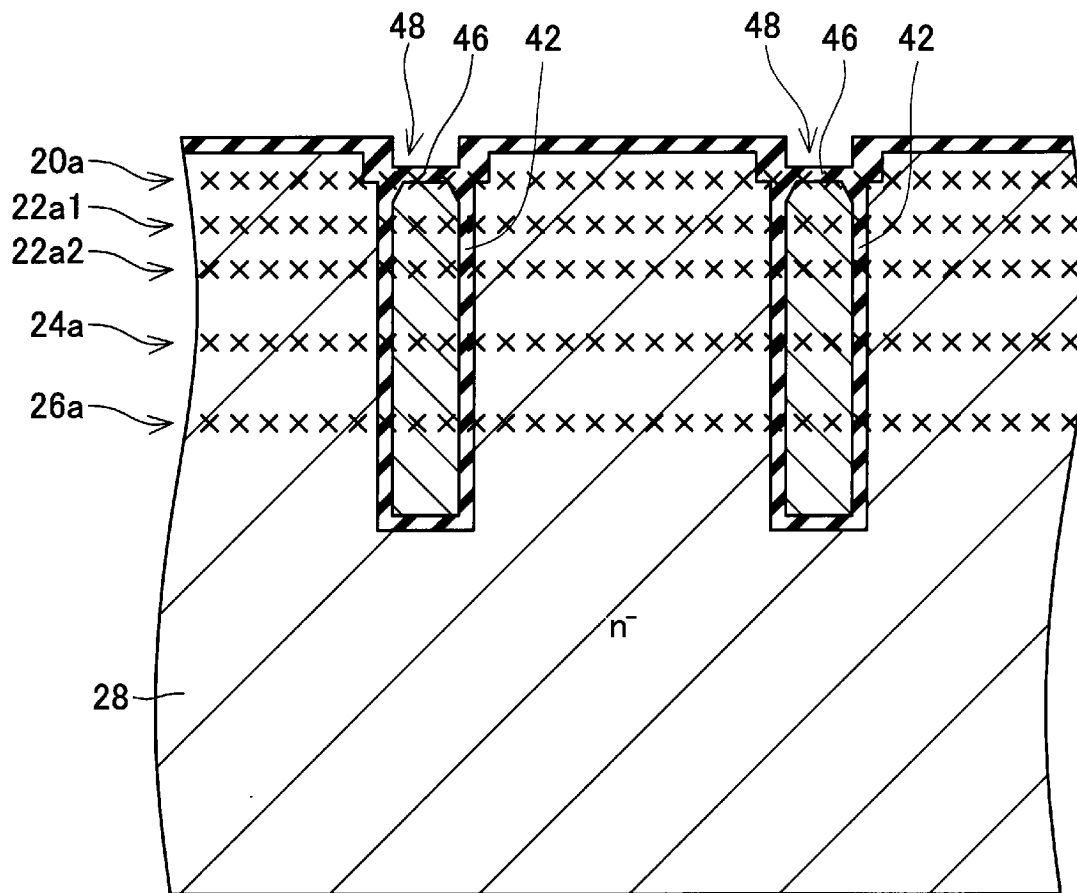
[図10]



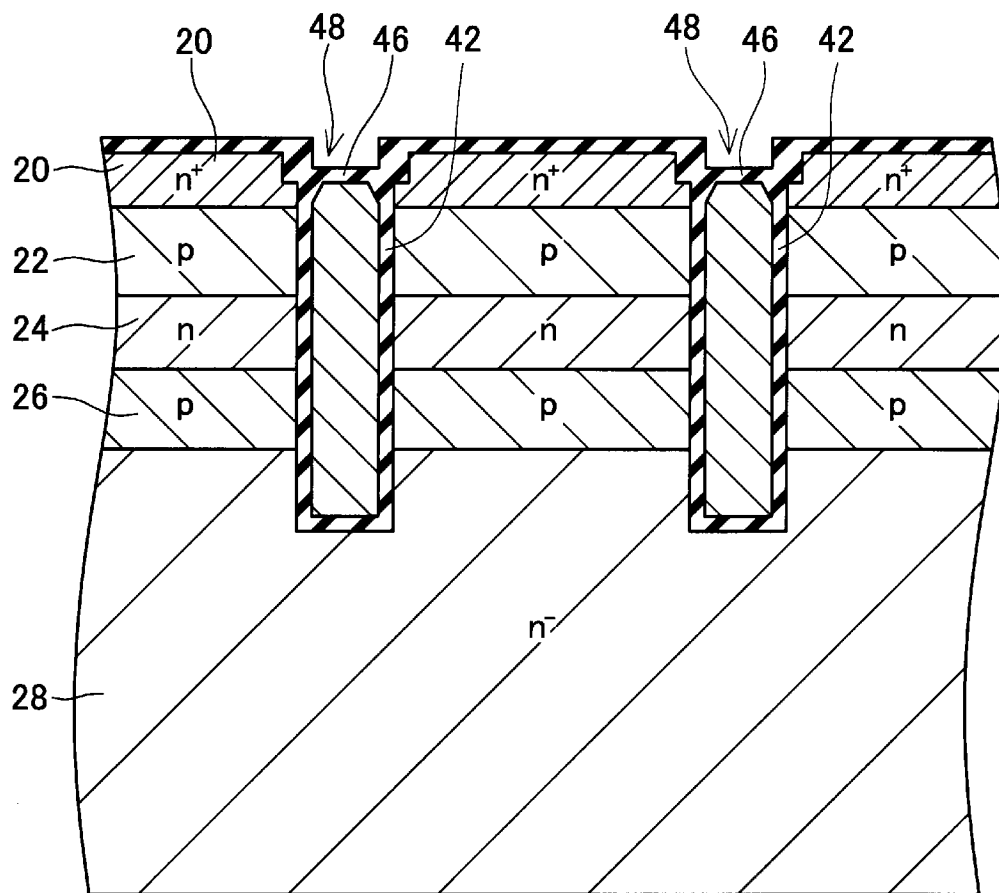
[図11]



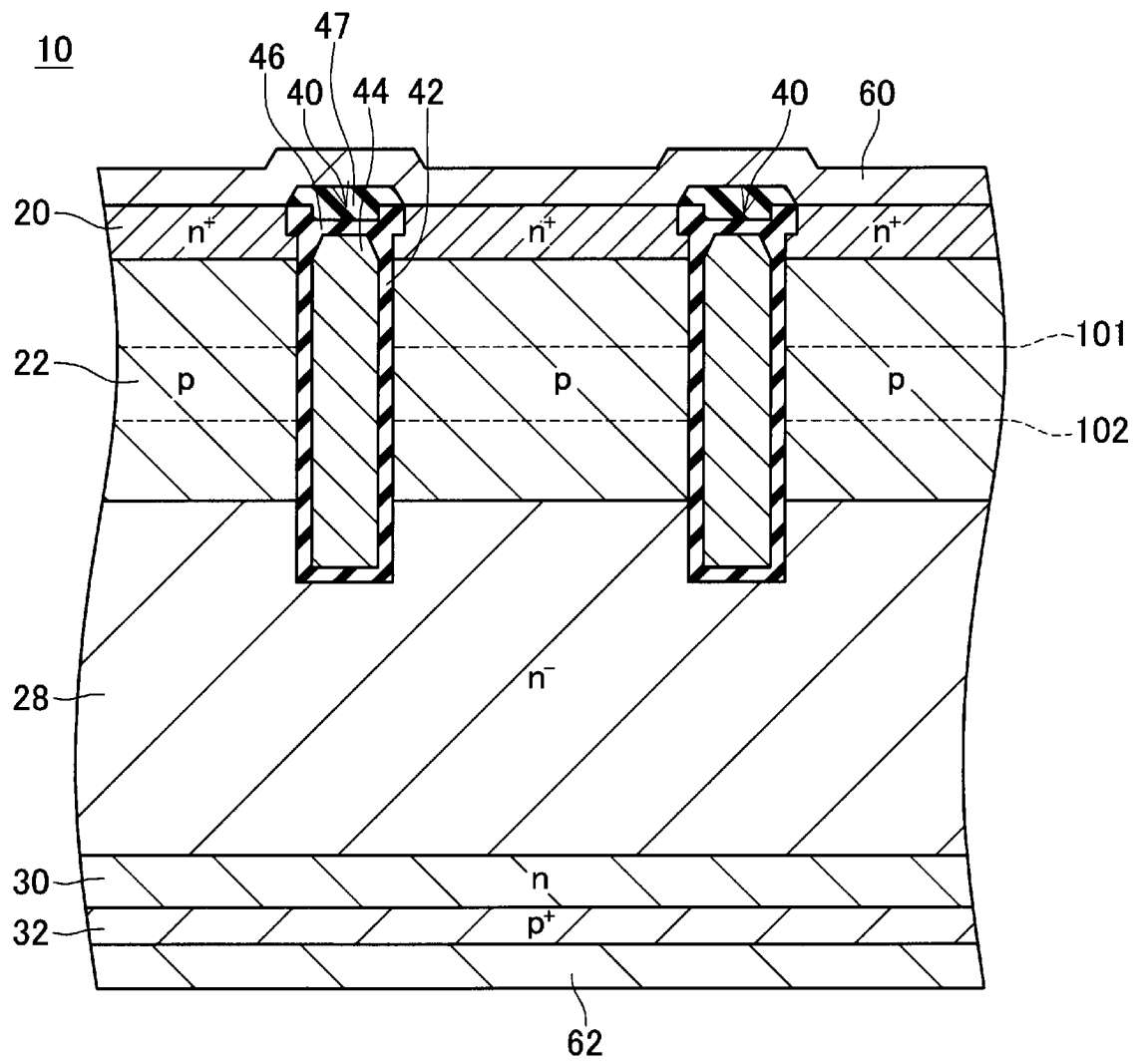
[図13]



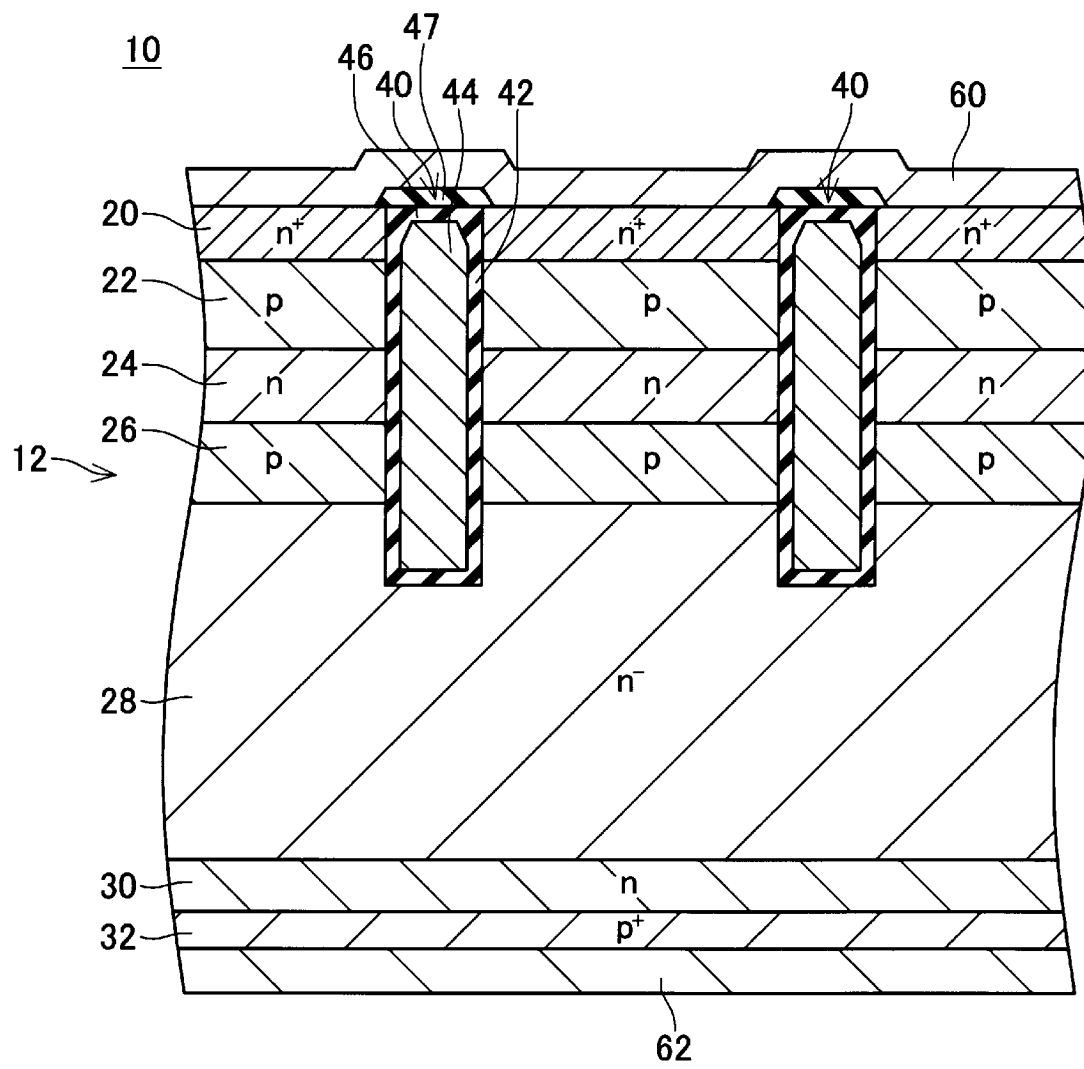
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/066112

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L29/78(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/739(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L29/78, H01L21/336, H01L29/739

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2001-250947 A (Toshiba Corp.), 14 September 2001 (14.09.2001), paragraphs [0037] to [0086], [0135] to [0214]; fig. 1 to 11, 16 to 62 & US 2001/0026977 A1 & EP 1132970 A2	1, 2, 5 3, 4
X A	JP 2007-294759 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 08 November 2007 (08.11.2007), paragraphs [0029] to [0098]; fig. 1 to 16 (Family: none)	1, 2 3, 4, 5
Y A	JP 2010-103326 A (Toyota Motor Corp.), 06 May 2010 (06.05.2010), paragraphs [0018] to [0031]; fig. 1 to 5 & US 2011/0201187 A1 & WO 2010/047267 A1 & EP 2341545 A1 & CN 102197487 A	3, 4 1, 2, 5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 July 2015 (28.07.15)

Date of mailing of the international search report

11 August 2015 (11.08.15)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/066112

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 9-153613 A (Denso Corp.), 10 June 1997 (10.06.1997), paragraphs [0019] to [0050]; fig. 1 to 23 & US 5747851 A & DE 19639035 A1	4 1-3, 5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H01L29/78(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/739(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H01L29/78, H01L21/336, H01L29/739			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
X Y	JP 2001-250947 A（株式会社東芝）2001.09.14, 段落[0037]-[0086], [0135]-[0214], [図1]-[図11], [図16]-[図62] & US 2001/0026977 A1 & EP 1132970 A2	1, 2, 5 3, 4	
X A	JP 2007-294759 A（三洋電機株式会社）2007.11.08, 段落[0029]-[0098], [図1]-[図16]（ファミリーなし）	1, 2 3, 4, 5	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 28.07.2015		国際調査報告の発送日 11.08.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 棚田 一也 電話番号 03-3581-1101 内線 3516	5 F 5896

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2010-103326 A (トヨタ自動車株式会社) 2010.05.06, 段落[0018]-[0031], [図 1]-[図 5] & US 2011/0201187 A1 & WO 2010/047267 A1 & EP 2341545 A1 & CN 102197487 A	3, 4 1, 2, 5
Y A	JP 9-153613 A (株式会社デンソー) 1997.06.10, 段落[0019]-[0050], [図 1]-[図 23] & US 5747851 A & DE 19639035 A1	4 1-3, 5