

明 細 書

発明の名称：イオン注入処理システム

技術分野

[0001] この出願は、2023年2月9日に日本国特許庁に提出された特許出願2023-018714号に基づく優先権を主張しており、この出願の全内容はここに引用により組み込まれる。本開示は、イオン注入処理システムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1（JP2005-149944A）は、シリコンウエハの面方位をX線によって測定する面方位測定機構、および、面方位測定機構によって測定された面方位に基づいてシリコンウエハのアライメントを行い、当該シリコンウエハにイオンを注入するイオン注入機構を含むイオン注入装置を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2005-149944号公報

[0004] [概要]

本開示は、新規なイオン注入処理システムを提供する。

[0005] 本開示は、イオン注入装置を含むイオン注入処理システムであって、前記イオン注入装置は、サーバからイオン注入処理対象となるウエハのオフ角データを取得し、前記オフ角データに基づいて前記ウエハに対するイオン注入角度を制御する、イオン注入処理システムを提供する。

[0006] 上述のまたはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照する詳細な説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、第1形態に係るSiC半導体装置を示す平面図である。

[図2A]図2Aは、図1に示すIIA-IIA線に沿う断面図である。

[図2B]図2Bは、図1に示すIIB-IIB線に沿う断面図である。

[図3A]図3 Aは、チップ（第1層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図3B]図3 Bは、チップ（第2層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図4A]図4 Aは、第1形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図4B]図4 Bは、第1形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図5]図5は、装飾パターンを示す要部斜視図である。

[図6A]図6 Aは、第2形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図6B]図6 Bは、第3形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図6C]図6 Cは、第4形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図6D]図6 Dは、第5形態例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図7]図7は、コラム領域の第1基本形態を示す断面斜視図である。

[図8A]図8 Aは、第1基本形態の第1レイアウト例を示す平面図である。

[図8B]図8 Bは、第1基本形態の第2レイアウト例を示す平面図である。

[図9]図9は、コラム領域の第2基本形態を示す断面斜視図である。

[図10A]図10 Aは、第2基本形態の第1レイアウト例を示す平面図である。

[図10B]図10 Bは、第2基本形態の第2レイアウト例を示す平面図である。

[図11]図11は、コラム領域の第3基本形態を示す断面斜視図である。

[図12A]図12 Aは、第3基本形態の第1レイアウト例を示す平面図である。

[図12B]図12 Bは、第3基本形態の第2レイアウト例を示す平面図である。

[図12C]図12 Cは、第3基本形態の第3レイアウト例を示す平面図である。

[図13A]図13 Aは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13B]図13 Bは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフで

ある。

[図13C]図13Cは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13D]図13Dは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図13E]図13Eは、第2領域（第1領域）の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図14]図14は、第2領域（第1領域）の濃度勾配の比較例を示すグラフである。

[図15]図15は、第1形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図16]図16は、図15に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図17]図17は、第2形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図18]図18は、図17に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図19]図19は、第3形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図20]図20は、図19に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図21]図21は、第4形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図22]図22は、図21に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図23]図23は、第5形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図24]図24は、図23に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図25]図25は、第6形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図26]図26は、図25に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図27]図27は、第7形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図28]図28は、図27に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図29]図29は、第8形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図30]図30は、図29に示すコラム領域の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[図31]図31は、第9形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図32]図32は、第10形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図33]図33は、第11形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図34]図34は、第12形態例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図35]図35は、活性領域の一要部を示す平面図である。

[図36]図36は、第1形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図37]図37は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図38A]図38Aは、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図38B]図38Bは、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図39]図39は、第2形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図40]図40は、S i C半導体装置の製造に使用されるウエハを示す概略図である。

[図41]図41は、S i C半導体装置の製造方法例を示すフローチャートである。

[図42A]図42Aは、S i C半導体装置の製造方法例を示す断面斜視図である。

[図42B]図42Bは、図42Aの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42C]図42Cは、図42Bの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42D]図42Dは、図42Cの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42E]図42Eは、図42Dの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42F]図42Fは、図42Eの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42G]図42Gは、図42Fの後の工程を示す断面斜視図である。

[図42H]図42Hは、図42Gの後の工程を示す断面斜視図である。

[図43]図43は、第2形態に係るSiC半導体装置を示す平面図である。

[図44A]図44Aは、図43に示すXLIVA-XLIVA線に沿う断面図である。

[図44B]図44Bは、図43に示すXLIVB-XLIVB線に沿う断面図である。

[図45A]図45Aは、チップ（第1層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図45B]図45Bは、チップ（第2層）のレイアウト例を示す平面図である。

[図46]図46は、チップのレイアウト例を示す斜視図である。

[図47]図47は、活性領域の一要部を示す平面図である。

[図48]図48は、第1形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図49]図49は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図50A]図50Aは、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図50B]図50Bは、外周領域の一要部を示す断面図である。

[図51]図51は、第2形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図52]図52は、第3形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図53]図53は、第4形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図54]図54は、第5形態例に係るゲート構造を示す断面斜視図である。

[図55]図55は、第3形態に係るSiC半導体装置を示す平面図である。

[図56A]図56Aは、図55に示すLVIA-LVIA線に沿う断面図である。

[図56B]図56Bは、図55に示すLVIB-LVIB線に沿う断面図である。

[図57A]図57Aは、チップのレイアウト例を示す平面図である。

[図57B]図57Bは、チップのレイアウト例を示す平面図である。

[図58]図58は、チップのレイアウト例を示す斜視図である。

[図59]図59は、外周領域の構成を示す斜視図である。

[図60]図60は、第1形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。

。

[図61]図61は、第2形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。

。

[図62]図62は、第3形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。

。

[図63]図63は、第4形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。

[図64]図64は、第5形態例に係るダイオード構造を示す断面斜視図である。

[図65]図65は、第1変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図66]図66は、第2変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図67]図67は、第3変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図68]図68は、第4変形例に係る装飾パターンと共にチップを示す斜視図である。

[図69]図69は、変形例に係るコラム領域を示す断面斜視図である。

[図70]図70は、外周領域の一要素を示す断面図である。

[図71]図71は、第1～第3形態に係るSiC半導体装置の製造に使用されるイオン注入処理システムの構成例を示す概略図である。

[図72]図72は、図71に示すオフ角データ転送装置の構成例を示す概略図である。

[図73]図73は、図72に示すX線回折装置の構成例を示す概略図である。

[図74]図74は、オフ角データ転送装置のプロセス例を示すフローチャートである。

[図75]図75は、図73に示すX線回折装置による測定例を示す概略図である。

[図76]図76は、ロッキングカーブを示すグラフである。

[図77]図77は、図71に示すチャネリングイオン注入装置の構成例を示す概略図である。

[図78]図78は、図76に示すイオン注入装置の構成例を示す概略図である。

[図79]図79は、チャネリングイオン注入装置に係るプロセス例を示すフローチャートである。

[図80]図80は、イオン注入工程を説明するための概略図である。

[図81]図81は、イオン注入工程を説明するための概略図である。

[0008] [詳細な説明]

以下、添付図面を参照して、具体的な形態が詳細に説明される。添付図面は、いずれも模式図であり、厳密に図示されたものではなく、相対的な位置関係、縮尺、比率、角度等は必ずしも一致しない。添付図面の間で対応する構造には同一の参照符号が付され、重複する説明は省略または簡略化される。説明が省略または簡略化された構造については、省略または簡略化される前になされた説明が適用される。

[0009] この明細書において「ほぼ (substantially)」の文言が使用される場合、この文言は、比較対象の数値（形態）と等しい数値（形態）を含む他、比較対象の数値（形態）を基準とする±10%の範囲の数値誤差（形態誤差）も含む。以下の説明では「第1」、「第2」、「第3」等の文言が使用されるが、これらは説明順序を明確にするために各構造の名称に付された記号であり、各構造の名称を限定する趣旨で付されていない。

[0010] 以下の説明では、「p型」または「n型」を用いて半導体（不純物）の導電型が示されるが、「p型」が「第1導電型」と称され、「n型」が「第2導電型」と称されてもよい。むしろ、「n型」が「第1導電型」と称され、「p型」が「第2導電型」と称されてもよい。「p型」は3価元素に起因する導電型であり、「n型」は5価元素に起因する導電型である。3価元素は、特に言及されない限り、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種である。5価元素は、特に言及されない限り、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種である。

[0011] 図1は、第1形態に係るSiC半導体装置1Aを示す平面図である。図2Aは、図1に示すIIA-IIA線に沿う断面図である。図2Bは、図1に示すIIB-

IIB線に沿う断面図である。図3Aは、チップ2（第1層8）のレイアウト例を示す平面図である。図3Bは、チップ2（第2層9）のレイアウト例を示す平面図である。図4Aは、第1形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図4Bは、第1形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。

[0012] 図5は、装飾パターンPTを示す要部斜視図である。図6Aは、第2形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図6Bは、第3形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図6Cは、第4形態例に係る装飾パターンPTと共にチップ2を示す斜視図である。図7は、チップ2の一要部をコラム領域12の第1基本形態と共に示す断面斜視図である。

[0013] 図1～図7を参照して、SiC半導体装置1Aは、SiC単結晶を含むチップ2を含む。チップ2は、「SiCチップ」または「半導体チップ」と称されてもよい。チップ2は、この形態（this embodiment）では、六方晶のSiC単結晶からなり、直方体形状に形成されている。六方晶のSiC単結晶は、2H（Hexagonal）-SiC単結晶、4H-SiC単結晶、6H-SiC単結晶等を含む複数種のポリタイプを有している。この形態では、チップ2が4H-SiC単結晶からなる例が示されるが、チップ2は他のポリタイプからなってもよい。

[0014] 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を有している。第1主面3および第2主面4は、鉛直方向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。鉛直方向Zは、チップ2の厚さ方向や第1主面3（第2主面4）の法線方向でもある。第1主面3および第2主面4は、平面視において正方形形状または長方形形状に形成されていてもよい。

[0015] 第1主面3および第2主面4は、SiC単結晶のc面によって形成されていることが好ましい。この場合、第1主面3はSiC単結晶のシリコン面（

(0001) 面) によって形成され、第2主面4はSiC単結晶のカーボン面 ($000-1$) 面) によって形成されていることが好ましい。

[0016] 第1側面5Aを起点とするチップ2の周方向(図1では時計回り)に関して、第2側面5Bは第1側面5Aに接続され、第3側面5Cは第2側面5Bに接続され、第4側面5Dは第1側面5Aおよび第3側面5Cに接続されている。第1側面5Aおよび第3側面5Cは、第1主面3に沿う第1方向Xに延び、第1方向Xに交差(具体的には直交)する第2方向Yに対向している。第2側面5B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] この形態では、第1方向XがSiC単結晶のa軸方向($[11-20]$ 方向)であり、第2方向YがSiC単結晶のm軸方向($[1-100]$ 方向)である。つまり、第1側面5Aおよび第3側面5Cは、SiC単結晶のm面($(1-100)$ 面)によってそれぞれ形成されている。また、第2側面5Bおよび第4側面5Dは、SiC単結晶のa面($(11-20)$ 面)によってそれぞれ形成されている。

[0018] a面はa軸方向に直交する結晶面であり、m面はm軸方向に直交する結晶面である。むしろ、第1方向XがSiC単結晶のm軸方向であり、第2方向YがSiC単結晶のa軸方向であってもよい。第1～第4側面5A～5Dは、研削面からそれぞれなっているもよい。第1～第4側面5A～5Dは、劈開面からそれぞれなっているもよい。

[0019] 第1方向Xおよび第2方向Yを含むXY平面は、鉛直方向Zに直交する水平面を形成する。以下では、鉛直方向Zに沿って延びる軸が「鉛直軸」と表現されることがある。また、以下では、第1方向Xおよび第2方向Yが「水平方向」と表現されることがある。水平方向は、第1主面3に沿って延びる方向でもある。

[0020] 図7を参照して、チップ2(第1主面3および第2主面4)は、SiC単結晶のc面に対して所定のオフ方向 Off に所定の角度で傾斜したオフ角 θ_{off} を有している。つまり、SiC単結晶のc軸(0001 軸)は

、鉛直軸からオフ方向D o f fに向けてオフ角 θ o f f分だけ傾斜している。また、S i C単結晶のc面は、水平面に対してオフ角 θ o f f分だけ傾斜している。

[0021] オフ方向D o f fは、S i C単結晶のa軸方向（つまり第1方向X）であることが好ましい。オフ角 θ o f fは、 0° を超えて 10° 以下であってもよい。オフ角 θ o f fは、 0° を超えて 1° 以下、 1° 以上 2.5° 以下、 2.5° 以上 5° 以下、 5° 以上 7.5° 以下、および、 7.5° 以上 10° 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0022] オフ角 θ o f fは、 5° 以下であることが好ましい。オフ角 θ o f fは、 2° 以上 4.5° 以下であることが特に好ましい。オフ角 θ o f fは、典型的には、 $4^\circ \pm 0.1^\circ$ の範囲に設定される。むろん、この明細書は、オフ角 θ o f fが 0° である形態（つまり、第1主面3がc面に対してジャスト面である形態）を除外しない。

[0023] チップ2は、S i C単結晶からなるn型のベース層6を含む。ベース層6は、「ベースS i C層」、「ベース領域」等と称されてもよい。ベース層6は、水平方向に層状に延び、第2主面4および第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。ベース層6は、この形態では、S i C単結晶製の基板（つまりS i C基板）からなる。ベース層6は、前述のオフ方向D o f fおよびオフ角 θ o f fを有している。

[0024] ベース層6は、積層方向に沿うベース軸チャンネルCHBを有している。ベース軸チャンネルCHBは、ベース層6を構成するS i C単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャンネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸を構成する原子列によって取り囲まれている。

[0025] つまり、ベース軸チャンネルCHBは、原子列が疎である領域が積層方向に延在し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。ベース軸チャンネルCHBは、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。低指数結晶軸は、ミラー指数（ a_1 、 a_2 、 a_3 、 c ）に関して、「 a_1 」、「 a_2 」、

「a 3」および「c」の絶対値がいずれも2以下（好ましくは1以下）で表現される結晶軸である（以下、この明細書において同じ）。

- [0026] ベース軸チャネルCHBは、この形態では、SiC単結晶のc軸（（0001）軸）に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、ベース軸チャネルCHBは、c軸に沿って延び、前述のオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、ベース軸チャネルCHBは、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。
- [0027] ベース層6は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。ベース層6は、厚さ方向にほぼ一定のn型不純物濃度を有していることが好ましい。ベース層6のn型不純物濃度は、単一種の5価元素によって調整されていることが好ましい。ベース層6のn型不純物濃度は、リン以外の5価元素によって調整されていることが特に好ましい。ベース層6のn型不純物濃度は、この形態では、窒素によって調整されている。
- [0028] ベース層6は、ベース厚さTBを有している。ベース厚さTBは、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。ベース厚さTBは、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $50 \mu\text{m}$ 以下、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下、 $100 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下、 $150 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下、 $200 \mu\text{m}$ 以上 $250 \mu\text{m}$ 以下、および、 $250 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。ベース厚さTBは、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $250 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。
- [0029] チップ2は、ベース層6の上に積層された積層部7を含む。積層部7は、「半導体層」、「SiC層」、「SiC積層部」、「半導体積層部」等と称されてもよい。積層部7は、SiC単結晶からなる複数（2層以上）の半導体層が積層された積層構造を有している。複数の半導体層は、この形態では、スーパー Junction 構造SJの形成層として設けられている。複数の半導体層（スーパー Junction 構造SJ）の積層数は任意であり、達成すべき電気的特性に応じて適宜調節される。耐圧値（ブレイクダウン電圧）

や抵抗値等が電気的特性として例示される。

- [0030] 複数の半導体層（スーパージャンクション構造SJ）の積層数は、典型的には、2層以上5層以下（2層、3層、4層または5層）である。積層部7は、この形態では、SiC単結晶製のn型の第1層8およびSiC単結晶製のn型の第2層9を含む2層構造を有している。第1層8は「第1SiC層」、「第1半導体層」等と称されてもよい。第2層9は「第2SiC層」、「第2半導体層」等と称されてもよい。
- [0031] 第1層8は、ベース層6の上に積層されている。第1層8は、水平方向に層状に延び、チップ2の中間部および第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。第1層8は、ベース層6を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまりSiCエピタキシャル層）からなる。
- [0032] 第1層8は、下端および上端を有している。第1層8の下端は結晶成長起点であり、第1層8の上端は結晶成長終点である。第1層8はベース層6から連続的に結晶成長されているため、第1層8の下端はベース層6の上端に一致している。ベース層6および第1層8の間の境界部は必ずしも視認できるものではなく、他の構成や要素から間接的に評価および／または判定され得る。第1層8は、ベース層6のオフ方向 Doff およびオフ角 θoff にほぼ一致したオフ方向 Doff およびオフ角 θoff を有している。
- [0033] 第1層8は、積層方向に沿う第1軸チャンネルCH1を有している。第1軸チャンネルCH1は、第1層8を構成するSiC単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャンネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれている。
- [0034] つまり、第1軸チャンネルCH1は、原子列が疎である領域が積層方向に延在し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。第1軸チャンネルCH1は、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。
- [0035] 第1軸チャンネルCH1は、この形態では、SiC単結晶のc軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、第1軸チャンネルCH1は、

c軸に沿って延び、オフ方向D offおよびオフ角 θ offを有している。
換言すると、第1軸チャネルCH1は、鉛直軸からオフ方向D offに向けてオフ角 θ off分だけ傾斜している。

[0036] 第1層8のn型不純物濃度は、ベース層6のn型不純物濃度未満であることが好ましい。第1層8は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。第1層8のn型不純物濃度は、厚さ方向にほぼ一定であってもよい。むろん、第1層8のn型不純物濃度は、積層方向（結晶成長方向）に向けて漸増および／または漸減する濃度勾配を有していてもよい。

[0037] 第1層8は、少なくとも1種の5価元素によって調整されたn型不純物濃度を有している。たとえば、第1層8のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。第1層8は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0038] 第1層8のn型不純物濃度は、少なくとも窒素によって調整されていることが好ましい。第1層8が2種以上の5価元素を含む場合、第1層8は、窒素および窒素以外の5価元素を含むことが好ましい。この場合、第1層8は、リンおよび窒素以外の5価元素として、ヒ素およびアンチモンのいずれか一方または双方を含むことが好ましい。

[0039] 第1層8は、第1厚さT1を有している。第1厚さT1は、ベース厚さTB未満であることが好ましい。第1厚さT1は、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。第1厚さT1は、 $5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。第1厚さT1は、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $1.5 \mu\text{m}$ 以下、 $1.5 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下、 $2 \mu\text{m}$ 以上 $2.5 \mu\text{m}$ 以下、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上 $3 \mu\text{m}$ 以下、 $3 \mu\text{m}$ 以上 $3.5 \mu\text{m}$ 以下、 $3.5 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下、 $4 \mu\text{m}$ 以上 $4.5 \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0040] 第2層9は、第1層8の上に積層されている。第2層9は、水平方向に層状に延び、第1主面3を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。第2層9は、第1層8を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（

つまりSiCエピタキシャル層)からなる。

- [0041] 第2層9は、下端および上端を有している。第2層9の下端は結晶成長起点であり、第2層9の上端は結晶成長終点である。第2層9は第1層8から連続的に結晶成長されているため、第2層9の下端は第1層8の上端に一致している。第1層8および第2層9の間の境界部は必ずしも視認できるものではなく、他の構成や要素から間接的に評価および／または判定され得る。第2層9は、第1層8のオフ方向 $\Delta\phi$ およびオフ角 $\theta\phi$ にほぼ一致したオフ方向 $\Delta\phi$ およびオフ角 $\theta\phi$ を有している。
- [0042] 第2層9は、積層方向に沿う第2軸チャンネルCH2を有している。第2軸チャンネルCH2は、第2層9を構成するSiC単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャンネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれている。
- [0043] つまり、第2軸チャンネルCH2は、原子列が疎である領域が積層方向に延在し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。第2軸チャンネルCH2は、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。
- [0044] 第2軸チャンネルCH2は、この形態では、SiC単結晶のc軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、第2軸チャンネルCH2は、c軸に沿って延び、オフ方向 $\Delta\phi$ およびオフ角 $\theta\phi$ を有している。換言すると、第2軸チャンネルCH2は、鉛直軸からオフ方向 $\Delta\phi$ に向けてオフ角 $\theta\phi$ 分だけ傾斜している。
- [0045] 第2層9のn型不純物濃度は、ベース層6のn型不純物濃度未満であることが好ましい。第2層9は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。第2層9のn型不純物濃度は、厚さ方向にほぼ一定であってもよい。むしろ、第2層9のn型不純物濃度は、積層方向（結晶成長方向）に向けて漸増および／または漸減する濃度勾配を有していてもよい。
- [0046] 第2層9のn型不純物濃度は、第1層8のn型不純物濃度とほぼ等しいこ

とが好ましい。むろん、第2層9のn型不純物濃度は、第1層8のn型不純物濃度と異なってもよい。この場合、第2層9のn型不純物濃度（ピーク値）は、第1層8のn型不純物濃度（ピーク値）よりも高くてもよいし、第1層8のn型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。

[0047] 第2層9は、少なくとも1種の5価元素によって調整されたn型不純物濃度を有している。たとえば、第2層9のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。第2層9は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0048] 第2層9のn型不純物濃度は、少なくとも窒素によって調整されていることが好ましい。第2層9が2種以上の5価元素を含む場合、第2層9は、窒素および窒素以外の5価元素を含むことが好ましい。この場合、第2層9は、リンおよび窒素以外の5価元素として、ヒ素およびアンチモンのいずれか一方または双方を含むことが好ましい。

[0049] 第2層9は、第2厚さT2を有している。第2厚さT2は、ベース厚さTB未満であることが好ましい。第2厚さT2は、第1厚さT1とほぼ等しくてもよいし、第1厚さT1とは異なってもよい。第2厚さT2は、第1厚さT1よりも大きくてもよいし、第1厚さT1未満であってもよい。

[0050] 第2厚さT2は、1 μm 以上であることが好ましい。第2厚さT2は、5 μm 以下であることが好ましい。第2厚さT2は、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0051] SiC半導体装置1Aは、チップ2に設定された活性領域10を含む。活性領域10は、平面視においてチップ2の周縁（第1～第4側面5A～5D）から間隔を空けてチップ2の内方に設定されている。活性領域10は、平面視においてチップ2の周縁に平行な4辺を有する多角形状（この形態では四角形状）に設定されている。活性領域10の平面積は、第1主面3の平

面積の50%以上90%以下であることが好ましい。

[0052] SiC半導体装置1Aは、チップ2において活性領域10外に設定された外周領域11を含む。外周領域11は、平面視においてチップ2の周縁および活性領域10の間の領域に設けられている。外周領域11は、平面視において活性領域10に沿って帯状に延び、活性領域10を取り囲む多角環状（この形態では四角環状）に設定されている。

[0053] 図4A、図4Bおよび図5を参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第1形態例に係る装飾パターンPTを含む。装飾パターンPTは、チップ2の外観から装置内部の構成の特定や推定、自他製品の判別等を容易ならしめ、SiC半導体装置1Aの利便性を高める。たとえば、装飾パターンPTは、チップ2に対する非破壊検査（外観検査）によって特定されてもよい。

[0054] 装飾パターンPTは、この形態では、少なくとも1つ（この形態では複数）の第1マークMk1、および、少なくとも1つ（この形態では複数）の第2マークMk2を含む。装飾パターンPTは、必ずしも第1マークMk1および第2マークMk2の双方を同時に含む必要はなく、第1マークMk1および第2マークMk2のいずれか一方のみからなってもよい。

[0055] 複数の第1マークMk1は、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つの側面に形成される。複数の第1マークMk1は、この形態では、第1方向Xに延びる第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に形成されている。第3側面5C側の構成は、第1側面5A側の構成と同様であるので、以下では、第1側面5A側の構成が説明される。第3側面5C側の構成については、以下の説明において「第1側面5A」を「第3側面5C」に置き換えることによって得られる。

[0056] 複数の第1マークMk1は、この形態では、第1側面5Aから露出するp型の不純物領域からそれぞれなる。複数の第1マークMk1は、第1側面5Aのうち積層部7からなる部分にそれぞれ形成されている。具体的には、複数の第1マークMk1は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され

、第1側面5Aからベース層6を露出させている。

[0057] 複数の第1マークMk1は、第1側面5Aにおいて、積層部7の厚さ方向の上側の側範囲に対して積層部7の厚さ方向の下側の側範囲に偏在するように形成される。上側範囲が第1厚さ範囲と定義された場合、下側範囲は第2厚さ範囲と定義される。下側範囲が第1厚さ範囲と定義された場合、上側範囲は第2厚さ範囲と定義される。上側範囲は第1～第4側面5A～5Dのうち第2層9からなる部分であり、下側範囲は第1～第4側面5A～5Dのうち第1層8からなる部分である。

[0058] 複数の第1マークMk1は、この形態では、下側範囲において第1方向Xに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第1スペースSp1を区画している。つまり、複数の第1マークMk1は第1側面5Aにおいて第1層8からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第1スペースSp1は第1層8の一部からそれぞれなる。複数の第1マークMk1は、複数の第1スペースSp1とpn接合部を形成している。

[0059] 複数の第1マークMk1は、複数の第1スペースSp1の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、複数の第1マークMk1および複数の第1スペースSp1の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第1マークMk1および複数の第1スペースSp1が特定される。たとえば、複数の第1マークMk1および複数の第1スペースSp1は、SEM (Scanning Electron Microscope) やTEM (Transmission Electron Microscope) 等の電子顕微鏡やEBIC (Electron Beam Induced Current) 解析等を用いて特定されることができる。

[0060] 複数の第1マークMk1は、第2層9（上側範囲）に対して第1層8（下側範囲）側の領域に形成されている。したがって、複数の第1マークMk1は、第1側面5Aにおいて第2層9からなる部分を露出させ、第2層9を挟んで第1主面3に対向している。複数の第1マークMk1は、第1側面5Aにおいて第2層9からなる部分の全域を露出させている。つまり、複数の第

1 マークM k 1 は、第2層9には形成されていない。一方、複数の第1スペースS p 1 は、第1側面5 Aにおいて第2層9からなる部分に接続されている。

[0061] 複数の第1マークM k 1 は、積層方向に沿って縦長柱状にそれぞれ延び、第1側面5 Aにおいて複数の第1スペースS p 1 と共に積層方向に延びるストライプマークを形成している。複数の第1マークM k 1 は、第1側面5 Aの表層部において第1軸チャンネルC H 1に沿って延びている。

[0062] 複数の第1マークM k 1 は、第1層8の下端側の下端部および第1層8の上端側の上端部をそれぞれ有している。複数の第1マークM k 1 の下端部は第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の下端側の領域に位置され、複数の第1マークM k 1 の上端部は第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第1マークM k 1 は、厚さ方向に沿って第1層8の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からそれぞれなる。

[0063] 複数の第1マークM k 1 の下端部は、第1層8の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向していてもよい。つまり、複数の第1マークM k 1 は、第1側面5 Aにおいてベース層6からなる部分の全域を露出させていてもよい。複数の第1マークM k 1 の下端部は、第1層8の下端とほぼ一致し、ベース層6に接続されていてもよい。

[0064] 複数の第1マークM k 1 の下端部は、ベース層6および第1層8の境界部を横切り、ベース層6内に位置する延部を有していてもよい。この場合、複数の第1マークM k 1 の延部は、ベース層6の上端側の表層部に位置され、第1側面5 Aにおいてベース層6からなる部分のほぼ全域を露出させていることが好ましい。複数の第1マークM k 1 の延部は、ベース層6の厚さ範囲中間部よりも積層部7側に形成されていることが好ましい。

[0065] 第1マークM k 1 の上端部は、第1層8の上端（つまり第2層9）から下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで第1層8

の上端に対向していてもよい。第1マークM_k1の上端部は、第1層8の上端とほぼ一致し、第2層9に接続されていてもよい。

[0066] 複数の第2マークM_k2は、第1～第4側面5A～5Dのうち複数の第1マークM_k1とは異なる少なくとも1つの側面に形成される。複数の第2マークM_k2は、この形態では、第2方向Yに延びる第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）に形成されている。第4側面5D側の構成は、第2側面5B側の構成と同様であるので、以下では、第2側面5B側の構成が説明される。第4側面5D側の構成については、以下の説明において「第2側面5B」を「第4側面5D」に置き換えることによって得られる。

[0067] 複数の第2マークM_k2は、この形態では、第2側面5Bから露出するp型の不純物領域からそれぞれなる。複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bのうち積層部7からなる部分にそれぞれ形成されている。具体的には、複数の第2マークM_k2は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され、第2側面5Bからベース層6を露出させている。

[0068] 複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bにおいて、下側範囲に対して上側範囲に偏在するように形成される。複数の第2マークM_k2は、この形態では、上側範囲において第2方向Yに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第2スペースS_p2を区画している。つまり、複数の第2マークM_k2は第2側面5Bにおいて第2層9からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第2スペースS_p2は第2層9の一部からそれぞれなる。複数の第2マークM_k2は、複数の第2スペースS_p2とp_n接合部を形成している。

[0069] 複数の第2マークM_k2は、複数の第1マークM_k1の厚さ範囲とは異なる厚さ範囲において、複数の第1マークM_k1の配列方向とは異なる配列方向で形成されている。複数の第2スペースS_p2は、複数の第1スペースS_p1の厚さ範囲とは異なる厚さ範囲において、複数の第1スペースS_p1の配列方向とは異なる配列方向で形成されている。

- [0070] 複数の第2マークM_k2は、複数の第2スペースS_p2の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、複数の第2マークM_k2および複数の第2スペースS_p2の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第2マークM_k2および複数の第2スペースS_p2が特定される。たとえば、複数の第2マークM_k2および複数の第2スペースS_p2は、SEMやTEM等の電子顕微鏡やEBIC解析等を用いて特定されることができる。
- [0071] 複数の第2マークM_k2は、第1層8（下側範囲）に対して第2層9（上側範囲）側の領域に形成され、第1層8を挟んでベース層6に対向している。複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分を露出させている。複数の第2スペースS_p2は、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分にそれぞれ接続されている。
- [0072] 複数の第2マークM_k2は、積層方向に沿って縦長柱状にそれぞれ延び、第2側面5Bにおいて複数の第2スペースS_p2と共に積層方向に延びるストライプマークを形成している。複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bの表層部において第2軸チャネルCH2に延びている。
- [0073] 複数の第2マークM_k2は、第2層9の下端側の下端部および第2層9の上端側の上端部をそれぞれ有している。複数の第2マークM_k2の下端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の下端側の領域に位置され、複数の第2マークM_k2の上端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第2マークM_k2は、厚さ方向に沿って第2層9の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からそれぞれなる。
- [0074] 第2マークM_k2の下端部は、第2層9の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで第1層8に対向していてもよい。つまり、複数の第2マークM_k2は、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分の全域を露出させていてもよい。第2マークM_k2の下端部は、第1層8の下端とほぼ一致し、第1層8に接続されていてもよい。

- [0075] 第2マークMk 2の下端部は、第1層8および第2層9の境界部を横切り、第1層8内に位置する延部を有していてもよい。この場合、複数の第2マークMk 2の延部は、第1層8の上端側の表層部に位置され、第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分のほぼ全域を露出させていることが好ましい。
- [0076] 第2マークMk 2の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第2層9の上端に対向していてもよい。第2マークMk 2の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。
- [0077] 図6Aを参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第2形態例に係る装飾パターンPTを含んでいてもよい。第2形態例に係る装飾パターンPTは、第1形態例に係る構成に加えて、第1相異マークMd 1を含む。
- [0078] 第1相異マークMd 1は、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方において、第1マークMk 1とは異なる厚さ範囲に第1マークMk 1とは異なるレイアウトで形成される。図6Aでは、第1相異マークMd 1が第1側面5Aに形成された例が示されている。第3側面5C側の構成については、以下の説明において「第1側面5A」を「第3側面5C」に置き換えることによって得られる。
- [0079] 第1相異マークMd 1は、この形態では、第1側面5Aから露出するp型の不純物領域からなる。第1相異マークMd 1は、第1側面5Aのうち積層部7からなる部分に形成されている。具体的には、第1相異マークMd 1は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され、第1側面5Aからベース層6を露出させている。
- [0080] より具体的には、第1相異マークMd 1は、下側範囲に対して上側範囲に形成され、厚さ方向に少なくとも1つの第1マークMk 1に重なっている。第1相異マークMd 1は、この形態では、上側範囲を第1方向Xに帯状に延び、厚さ方向に複数の第1マークMk 1に重なっている。

- [0081] 第1相異マークM d 1は、この形態では、第1方向Xに関して、第1側面5 Aの一方側の角部から第1側面5 Aの他方側の角部まで延び、第1側面5 Aの一方側の角部および他方側の角部から露出している。つまり、第1相異マークM d 1は、厚さ方向に全ての第1マークM k 1に重なっている。
- [0082] 第1相異マークM d 1は、第2側面5 Bの角部および第4側面5 Dの角部から露出した部分を有している。第1相異マークM d 1は、第2側面5 B（第4側面5 D）の角部において最外の第2マークM k 2から第2方向Yに間隔を空けて形成され、第2方向Yに最外の第2マークM k 2に対向している。第1相異マークM d 1は第1側面5 Aにおいて第2層9からなる部分に形成され、複数の第1マークM k 1と共に複数の第1スペースS p 1を区画している。
- [0083] 第1相異マークM d 1は、複数の第1スペースS p 1の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、第1相異マークM d 1および複数の第1スペースS p 1の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第1相異マークM d 1および複数の第1スペースS p 1が特定される。たとえば、第1相異マークM d 1および複数の第1スペースS p 1は、SEMやTEM等の電子顕微鏡やEBIC解析等を用いて特定されることができる。
- [0084] 第1相異マークM d 1は、第2層9の下端側の下端部および第2層9の上端側の上端部を有している。第1相異マークM d 1の下端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の下端側の領域に位置され、第1相異マークM d 1の上端部は第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の上端側の領域に位置されている。つまり、第1相異マークM d 1は、厚さ方向に沿って第2層9の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からなる。
- [0085] 第1相異マークM d 1の下端部は、複数の第1マークM k 1から第2層9の上端（第1主面3）側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで複数の第1マークM k 1（複数の第1スペースS p 1）に対向し

ていてもよい。第1相異マークM d 1の下端部は、第1層8の下端とほぼ一致していてもよい。

[0086] この場合、第1相異マークM d 1の下端部は、複数の第1マークM k 1の上端部から第2層9の上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで複数の第1マークM k 1に対向していてもよい。むしろ、複数の第1相異マークM d 1の下端部は、複数の第1マークM k 1（複数の第1スペースS p 1）の上端部に接続されていてもよい。

[0087] 第1相異マークM d 1の下端部は、第1層8および第2層9の境界部を横切り、第1層8内に位置する延部を有していてもよい。この場合、第1相異マークM d 1の下端部（延部）は、第1層8内において複数の第1マークM k 1に接続されていてもよい。むしろ、第1相異マークM d 1の下端部（延部）は、複数の第1マークM k 1から第2層9の上端側に間隔を空けて形成されていてもよい。

[0088] 第1相異マークM d 1の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第2層9の上端に対向していてもよい。第1相異マークM d 1の上端部は、第2層9の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

[0089] 図6Bを参照して、S i C半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第3形態例に係る装飾パターンP Tを含んでいてもよい。第3形態例に係る装飾パターンP Tは、第1形態例に係る構成に加えて、第2相異マークM d 2を含む。

[0090] 第2相異マークM d 2は、第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方において、第2マークM k 2とは異なる厚さ範囲に第2マークM k 2とは異なるレイアウトで形成される。図6Bでは、第2相異マークM d 2が第2側面5Bに形成された例が示されている。第4側面5D側の構成については、以下の説明において「第2側面5B」を「第4側面5D」に置き換えることによって得られる。

[0091] 第2相異マークM d 2は、この形態では、第2側面5Bから露出するp型

の不純物領域からなる。第2相異マークM d 2は、第2側面5 Bのうち積層部7からなる部分に形成されている。具体的には、第2相異マークM d 2は、ベース層6に対して積層部7側の領域に形成され、第2側面5 Bからベース層6を露出させている。

[0092] より具体的には、第2相異マークM d 2は、上側範囲に対して下側範囲に形成され、厚さ方向に少なくとも1つの第2マークM k 2に重なっている。第2相異マークM d 2は、この形態では、下側範囲を第2方向Yに帯状に延び、厚さ方向に複数の第2マークM k 2に重なっている。

[0093] 第2相異マークM d 2は、この形態では、第2方向Yに関して、第2側面5 Bの一方側の角部から第2側面5 Bの他方側の角部まで延び、第2側面5 Bの一方側の角部および他方側の角部から露出している。つまり、第2相異マークM d 2は、厚さ方向に全ての第2マークM k 2に重なっている。

[0094] 第2相異マークM d 2は、第1側面5 Aの角部および第3側面5 Cの角部から露出した部分を有している。第2相異マークM d 2は、第1側面5 A（第3側面5 C）の角部において最外の第1マークM k 1から第1方向Xに間隔を空けて形成され、第1方向Xに最外の第1マークM k 1に対向している。第2相異マークM d 2は第2側面5 Bにおいて第1層8からなる部分に形成され、複数の第2マークM k 2と共に複数の第2スペースS p 2を区画している。

[0095] 第2相異マークM d 2は、複数の第2スペースS p 2の電気的特性（不純物＝5価元素）とは異なる電気的特性（不純物＝3価元素）を有している。したがって、第2相異マークM d 2および複数の第2スペースS p 2の電気的特性（不純物、濃度、抵抗値等）を測定することによって、複数の第2相異マークM d 2および複数の第2スペースS p 2が特定される。たとえば、第2相異マークM d 2および複数の第2スペースS p 2は、SEMやTEM等の電子顕微鏡やEBC解析等を用いて特定されることができる。

[0096] 第2相異マークM d 2は、第1層8の下端側の下端部および第1層8の上端側の上端部を有している。第2相異マークM d 2の下端部は第1層8の厚

さ範囲中間部に対して第1層8の下端側の領域に位置され、第2相異マークMd2の上端部は第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側の領域に位置されている。つまり、第2相異マークMd2は、第1軸チャンネルCH1に沿って第1層8の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からなる。

[0097] 第2相異マークMd2の下端部は、第1層8の下端（つまりベース層6）から第1層8の上端（第2層9）側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向していてもよい。第2相異マークMd2の下端部は、第1層8の下端とほぼ一致し、ベース層6に接続されていてもよい。第2相異マークMd2の下端部は、ベース層6および第1層8の境界部を横切り、ベース層6内に位置する延部を有していてもよい。

[0098] 第2相異マークMd2の上端部は、第1層8の上端（つまり第2層9）から下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで複数の第2マークMk2に対向していてもよい。第2相異マークMd2の上端部は、第1層8の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

[0099] この場合、第2相異マークMd2の上端部は、複数の第2マークMk2の下端部に接続されていてもよい。むしろ、第2相異マークMd2の上端部は、複数の第2マークMk2の下端部から第1層8の下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んで複数の第2マークMk2に対向していてもよい。

[0100] 図6Cを参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5Dのうちの少なくとも1つに形成された第4形態例に係る装飾パターンPTを含んでいてもよい。第4形態例に係る装飾パターンPTは、第1形態例に係る構成に加えて、第2形態例に係る第1相異マークMd1および第3形態例に係る第2相異マークMd2を含む。第2相異マークMd2は、第1相異マークMd1の厚さ範囲とは異なる厚さ範囲において、第1相異マークMd1の延在方向とは異なる延在方向に延びている。

[0101] 図6Dを参照して、SiC半導体装置1Aは、第1～第4側面5A～5D

のうちの少なくとも1つに形成された第5形態例に係る装飾パターンPTを含んでいてもよい。第5形態例に係る装飾パターンPTは、複数の第1マークMk1および複数の第2マークMk2の位置関係を入れ替えた構成を有している。

[0102] 具体的には、複数の第1マークMk1は、第2側面5Bの下側範囲において第2方向Yに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第1スペースSp1を区画している。複数の第1マークMk1は第2側面5Bにおいて第1層8からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第1スペースSp1は第1層8の一部からそれぞれなる。その他、第5形態例に係る第1マークMk1（第1スペースSp1）の構成は、第2側面5Bに形成されている点を除き、第1形態例に係る第1マークMk1（第1スペースSp1）の構成と同様である。

[0103] 一方、複数の第2マークMk2は、第1側面5Aの上側範囲において第1方向Xに間隔を空けて配列され、積層部7の一部からそれぞれなるn型の複数の第2スペースSp2を区画している。複数の第2マークMk2は第1側面5Aにおいて第2層9からなる部分にそれぞれ形成され、複数の第2スペースSp2は第2層9の一部からそれぞれなる。その他、第5形態例に係る第2マークMk2（第2スペースSp2）の構成は、第1側面5Aに形成されている点を除き、第1形態例に係る第2マークMk2（第2スペースSp2）の構成と同様である。

[0104] むろん、前述の第2～第4形態例に係る装飾パターンPTの構成は、第5形態例に係る装飾パターンPTにも適用可能である。この場合、前述の第1相異マークMd1は、第2側面5Bの上側範囲に形成される。また、前述の第2相異マークMd2は、第1側面5の下側範囲に形成される。

[0105] 図2～図7を参照して、SiC半導体装置1Aは、少なくとも活性領域10において積層部7に形成されたp型のコラム領域12を含む。コラム領域12は、「コラム層」、「ピラー層（領域）」、「p型層（領域）」、「p型ゾーン」等と称されてもよい。コラム領域12は、積層部7内において立

体格子状に形成され、積層部 7 の一部からなる立体格子状の n 型のドリフト領域 1 3 を区画している。

[0106] コラム領域 1 2 は、積層部 7 を構成する複数の半導体層のうちの少なくとも 1 つの半導体層に形成され、積層部 7 内においてドリフト領域 1 3 とスーパージャンクション構造 S J を形成している。コラム領域 1 2 は、この形態では、p 型の複数の第 1 領域 1 4 および p 型の複数の第 2 領域 1 5 を含む積層構造を有している。

[0107] 複数の第 1 領域 1 4 は、第 1 層 8 内において水平方向に間隔を空けて形成され、第 1 層 8 の一部からそれぞれなる n 型の複数の第 1 ドリフト領域 1 6 を区画している。複数の第 1 領域 1 4 は、複数の第 1 ドリフト領域 1 6 と共にチャージバランスを有する複数の第 1 p n 接合部を形成している。

[0108] つまり、複数の第 1 領域 1 4 は、複数の第 1 ドリフト領域 1 6 と第 1 スーパージャンクション構造 S J 1 を構成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣り合う複数の第 1 領域 1 4 に関して、一方の第 1 p n 接合部から拡がる空乏層、および、他方の第 1 p n 接合部から拡がる空乏層が、複数の第 1 ドリフト領域 1 6 内で接続される状態を意味する。

[0109] 複数の第 1 領域 1 4 は、第 1 層 8 内において第 1 配列方向 D a 1 に間隔を空けて配列され、第 1 延在方向 D e 1 に延びる帯状にそれぞれ形成されている。第 1 延在方向 D e 1 は、第 1 配列方向 D a 1 に交差または直交する方向である。つまり、複数の第 1 領域 1 4 は第 1 延在方向 D e 1 に延びるストライプ状に形成され、複数の第 1 ドリフト領域 1 6 は第 1 延在方向 D e 1 に延びるストライプ状に形成されている。

[0110] 複数の第 1 領域 1 4 は、この形態では、活性領域 1 0 から外周領域 1 1 に引き出されている（図 3 A 参照）。つまり、複数の第 1 領域 1 4 は、第 1 層 8 のうち活性領域 1 0 内に位置する部分から第 1 層 8 のうち外周領域 1 1 内に位置する部分に引き出されている。複数の第 1 領域 1 4 は、外周領域 1 1 においても第 1 配列方向 D a 1 に間隔を空けて配列され、第 1 延在方向 D e 1 に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

- [0111] さらに、複数の第1領域14は、外周領域11から第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。
- [0112] 複数の第1領域14のうち第1側面5Aから露出した部分は第1側面5Aにおいて複数の第1マークMk1を形成し、複数の第1領域14のうち第3側面5Cから露出した部分は第3側面5Cにおいて複数の第1マークMk1を形成している。つまり、複数の第1領域14は、第1側面5Aから露出した露出部としての複数の第1マークMk1、および、第3側面5Cから露出した露出部としての複数の第1マークMk1のいずれか一方または双方を含む。
- [0113] 換言すると、複数の第1マークMk1は、複数の第1領域14の一部（露出部）を利用してそれぞれ形成されている。第1側面5A（第3側面5C）に対する複数の第1マークMk1のレイアウト（露出箇所や配列方向）は、複数の第1領域14のレイアウト（第1配列方向Da1や第1延在方向De1）によって適宜調節される。
- [0114] 複数の第1マークMk1は、必ずしも複数の第1領域14の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の第1領域14の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第1マークMk1は、外周領域11において複数の第1領域14の本体部から分離されていることが好ましい。第1領域14に対する説明は、第1マークMk1（第1領域14のうち第1側面5A／第3側面5Cから露出した部分）にも適用される。
- [0115] 複数の第1領域14は、断面視において第1層8内で第1軸チャネルCH1に沿って延びるチャネリング領域（第1チャネリング領域）からなる。つまり、第1領域14は、第1層8内において低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域（第1軸チャネルCH1）に対して平行にまたはほぼ平行に導入された不純物領域であり、第1主面3に対して傾斜して延びてい

る。

[0116] したがって、複数の第1領域14は、第1軸チャネルCH1のオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} にほぼ一致したオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、複数の第1領域14は、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0117] 複数の第1領域14は、第1層8の下端側の第1下端部14aおよび第1層8の上端側の第1上端部14bをそれぞれ有している。第1下端部14aは第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の下端側の領域に位置され、第1上端部14bは第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第1領域14は、第1軸チャネルCH1に沿って第1層8の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からそれぞれなる。

[0118] 第1下端部14aは、第1層8の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向していてもよい。第1下端部14aは、第1層8の下端とほぼ一致し、ベース層6に接続されていてもよい。第1層8の下端および第1下端部14aの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1層8の下端および第1下端部14aの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0119] 第1下端部14aは、ベース層6および第1層8の境界部を横切り、ベース層6内に位置する延部を有していてもよい。この場合、ベース層6の上端を基準とする第1下端部14aの延部の厚さは、 $0\mu\text{m}$ を超えて $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1下端部14aの延部の厚さは、 $0\mu\text{m}$ を超えて $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0120] 第1上端部14bは、第1層8の上端（つまり第2層9）から下端側に間

隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで第1層8の上端に向向していてもよい。第1上端部14bは、第1層8の上端とほぼ一致し、第2層9に接続されていてもよい。

[0121] 第1層8の上端および第1上端部14bの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1層8の上端および第1上端部14bの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $0.25\mu\text{m}$ 以下、 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $0.75\mu\text{m}$ 以下、および、 $0.75\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0122] 複数の第1領域14は、 $1\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。第1領域14のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。第1領域14のp型不純物濃度は、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素によって調整されていることが特に好ましい。つまり、第1領域14は、ホウ素以外の3価元素（アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種）を含むことが好ましい。第1領域14のp型不純物濃度は、この形態では、アルミニウムによって調整されている。

[0123] 複数の第1領域14は、第1幅W1をそれぞれ有している。第1幅W1は、第1領域14の第1配列方向Da1に沿う幅である。第1幅W1は、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むろん、第1幅W1は、第1厚さT1以上であってもよい。第1幅W1は、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むろん、第1幅W1は、第2厚さT2以上であってもよい。

[0124] 第1幅W1は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1幅W1は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $0.25\mu\text{m}$ 以下、 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $0.75\mu\text{m}$ 以下、 $0.75\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下、 $2\mu\text{m}$ 以上 $2.5\mu\text{m}$ 以下、 $2.5\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 以下、 $3\mu\text{m}$ 以上 $3.5\mu\text{m}$ 以下、 $3.5\mu\text{m}$ 以上 $4\mu\text{m}$ 以下、 $4\mu\text{m}$ 以上 $4.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下

のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第1幅 W_1 は、 $0.5\mu m$ 以上 $1.5\mu m$ 以下であることが好ましい。

[0125] 複数の第1領域14は、第1領域厚さ TR_1 （第1領域深さ）をそれぞれ有している。第1領域厚さ TR_1 は、第1層8の第1厚さ T_1 未満であってもよい。第1領域厚さ TR_1 は、第1厚さ T_1 よりも大きくてもよい。第1領域厚さ TR_1 は、第1厚さ T_1 とほぼ等しくてもよい。第1領域厚さ TR_1 は、第2層9の第2厚さ T_2 未満であってもよい。第1領域厚さ TR_1 は、第2厚さ T_2 よりも大きくてもよい。第1領域厚さ TR_1 は、第2厚さ T_2 とほぼ等しくてもよい。

[0126] 第1領域厚さ TR_1 は、 $1\mu m$ 以上であることが好ましい。第1領域厚さ TR_1 は、 $5\mu m$ 以下であることが好ましい。第1領域厚さ TR_1 は、 $1\mu m$ 以上 $1.5\mu m$ 以下、 $1.5\mu m$ 以上 $2\mu m$ 以下、 $2\mu m$ 以上 $2.5\mu m$ 以下、 $2.5\mu m$ 以上 $3\mu m$ 以下、 $3\mu m$ 以上 $3.5\mu m$ 以下、 $3.5\mu m$ 以上 $4\mu m$ 以下、 $4\mu m$ 以上 $4.5\mu m$ 以下、および、 $4.5\mu m$ 以上 $5\mu m$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0127] 第1幅 W_1 が第1層8の第1厚さ T_1 未満であり、第1領域厚さ TR_1 が第1幅 W_1 よりも大きいことが好ましい。つまり、複数の第1領域14は、第1軸チャネル CH_1 に沿って縦長柱状に延びる第1アスペクト比 TR_1/W_1 をそれぞれ有していることが好ましい。第1アスペクト比 TR_1/W_1 は、第1幅 W_1 に対する第1領域厚さ TR_1 の比である。この場合、第1領域厚さ TR_1 は、第1厚さ T_1 よりも大きいことが特に好ましい。たとえば、第1アスペクト比 TR_1/W_1 は、1を超えて100以下であってもよい。

[0128] 複数の第1領域14は、第1配列方向 Da_1 に第1ピッチ P_1 の間隔を空けて形成されている。第1ピッチ P_1 は、第1層8の第1厚さ T_1 未満であることが好ましい。むしろ、第1ピッチ P_1 は、第1厚さ T_1 以上であってもよい。第1ピッチ P_1 は、第2層9の第2厚さ T_2 未満であることが好ましい。むしろ、第1ピッチ P_1 は、第2厚さ T_2 以上であってもよい。

- [0129] 第1ピッチP1は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第1ピッチP1は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第1ピッチP1は、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。
- [0130] 複数の第2領域15は、第2層9内において水平方向に間隔を空けて形成され、第2層9の一部からそれぞれなるn型の複数の第2ドリフト領域17を区画している。複数の第2領域15は、複数の第2ドリフト領域17と共にチャージバランスを有する複数の第2pn接合部を形成している。
- [0131] つまり、複数の第2領域15は、第2層9と第2スーパージャンクション構造SJ2を構成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣合う複数の第2領域15に関して、一方の第2pn接合部から拡がる空乏層、および、他方の第2pn接合部から拡がる空乏層が、複数の第2ドリフト領域17内で接続される状態を意味する。
- [0132] 複数の第2領域15は、積層方向に複数の第1領域14に重なるように第2層9内に形成されている。具体的には、複数の第2領域15は、第2層9内において第1配列方向Da1とは異なる第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第1延在方向De1とは異なる第2延在方向De2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。
- [0133] 第2配列方向Da2は第1配列方向Da1に交差する方向であり、第2延在方向De2は第1延在方向De1に交差する方向である。第2延在方向De2は、第2配列方向Da2に交差または直交する方向である。つまり、複数の第2領域15は第2延在方向De2に延びるストライプ状に形成され、複数の第2ドリフト領域17は第2延在方向De2に延びるストライプ状に形成されている。

- [0134] 複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に交差している。つまり、複数の第2ドリフト領域17は、第1層8および第2層9の境界部において複数の第1ドリフト領域16に格子状に接続され、複数の第1ドリフト領域16と共に1つの立体格子状のドリフト領域13を形成している。複数の第2ドリフト領域17は、複数の第1ドリフト領域16と共に立体格子状の電流経路を形成する。
- [0135] 複数の第2領域15は、この形態では、活性領域10から外周領域11に引き出されている（図3B参照）。つまり、複数の第2領域15は、第2層9のうち活性領域10内に位置する部分から第2層9のうち外周領域11内に位置する部分に引き出されている。複数の第2領域15は、外周領域11においても第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第2延在方向De2に伸びる帯状にそれぞれ形成されている。つまり、複数の第2領域15は、外周領域11においても複数の第1領域14に交差している。
- [0136] さらに、複数の第2領域15は、外周領域11から第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。
- [0137] 複数の第2領域15のうち第2側面5Bから露出した部分は第2側面5Bにおいて複数の第2マークMk2を形成し、複数の第2領域15のうち第4側面5Dから露出した部分は第4側面5Dにおいて複数の第2マークMk2を形成している。つまり、複数の第2領域15は、第2側面5Bから露出した露出部としての複数の第2マークMk2、および、第4側面5Dから露出した露出部としての複数の第2マークMk2のいずれか一方または双方を含む。
- [0138] 換言すると、複数の第2マークMk2は、複数の第2領域15の一部（露出部）を利用してそれぞれ形成されている。第2側面5B（第4側面5D）に対する複数の第2マークMk2のレイアウト（露出箇所や配列方向）は、複数の第2領域15のレイアウト（第2配列方向Da2や第2延在方向De

2) によって適宜調節される。

[0139] 複数の第2マークMk 2は、必ずしも複数の第2領域15の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の第2領域15の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第2マークMk 2は、外周領域11において複数の第2領域15の本体部から分離されていることが好ましい。第2領域15に対する説明は、第2マークMk 2（第2領域15のうち第2側面5B／第4側面5Dから露出した部分）にも適用される。

[0140] 複数の第2領域15は、断面視において第2層9内で第2軸チャネルCH 2に沿って延びるチャネリング領域（第2チャネリング領域）からなる。つまり、第2領域15は、第2層9内において低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域（第2軸チャネルCH 2）に対して平行にまたはほぼ平行に導入された不純物領域であり、第1主面3に対して傾斜して延びている。

[0141] したがって、複数の第2領域15は、第2軸チャネルCH 2のオフ方向D offおよびオフ角 θ offにほぼ一致したオフ方向D offおよびオフ角 θ offを有している。換言すると、複数の第2領域15は、鉛直軸からオフ方向D offに向けてオフ角 θ off分だけ傾斜している。

[0142] 複数の第2領域15は、第2層9の下端側の第2下端部15aおよび第2層9の上端側の第2上端部15bをそれぞれ有している。第2下端部15aは第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の下端側の領域に位置され、第2上端部15bは第2層9の厚さ範囲中間部に対して第2層9の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第2領域15は、第2軸チャネルCH 2に沿って第2層9の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からそれぞれなる。

[0143] 第2下端部15aは、第2層9の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで第1層8（複数の第1領域14）に対向していてもよい。第2下端部15aは、第2層9の下端とほぼ一致し、第

1層8に接続されていてもよい。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0144] 第2下端部15aは、第1層8および第2層9の境界部を横切り、第1層8内に位置する延部を有していてもよい。この場合、第1層8の上端を基準とする第2下端部15aの延部の厚さは、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $2\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2下端部15aの延部の厚さは、 $0\ \mu\text{m}$ を超えて $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0145] 第2上端部15bは、第2層9の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第2層9の上端に対向していてもよい。この場合、第2層9における第1主面3および第2上端部15bの間のスペースは、デバイス構造（他の不純物領域等）を形成するための領域として使用されてもよい。むしろ、第2上端部15bは、第2層9の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。

[0146] 第2層9の上端および第2上端部15bの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2層9の上端および第2上端部15bの間の距離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0147] 複数の第2領域15は、 $1 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。第2領域15のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）以上であってもよい。第2領域15のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。第2領域15のp型

不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）とほぼ等しくてもよい。

[0148] 第2領域15のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。第2領域15のp型不純物濃度は、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素によって調整されていることが特に好ましい。つまり、第2領域15は、ホウ素以外の3価元素（アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種）を含むことが好ましい。第2領域15のp型不純物濃度は、この形態では、アルミニウムによって調整されている。

[0149] 複数の第2領域15は、第2幅W2をそれぞれ有している。第2幅W2は、第2領域15の第2配列方向Da2に沿う幅である。第2幅W2は、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むろん、第2幅W2は、第2厚さT2以上であってもよい。

[0150] 第2幅W2は、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むろん、第2幅W2は、第1厚さT1以上であってもよい。第2幅W2は、第1領域14の第1幅W1とほぼ等しいことが好ましい。むろん、第2幅W2は、第1幅W1以上であってもよいし、第1幅W1未満であってもよい。

[0151] 第2幅W2は、0.1 μm 以上5 μm 以下であってもよい。第2幅W2は、0.1 μm 以上0.25 μm 以下、0.25 μm 以上0.5 μm 以下、0.5 μm 以上0.75 μm 以下、0.75 μm 以上1 μm 以下、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第2幅W2は、0.5 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。

[0152] 複数の第2領域15は、第2領域厚さTR2（領域深さ）をそれぞれ有している。第2領域厚さTR2は、第2層9の第2厚さT2未満であってもよい。第2領域厚さTR2は、第2厚さT2よりも大きくてもよい。第2領域

厚さ $T R 2$ は、第2厚さ $T 2$ とほぼ等しくてもよい。

[0153] 第2領域厚さ $T R 2$ は、第1層8の第1厚さ $T 1$ 未満であってもよい。第2領域厚さ $T R 2$ は、第1厚さ $T 1$ よりも大きいくともよい。第2領域厚さ $T R 2$ は、第1厚さ $T 1$ とほぼ等しくてもよい。第2領域厚さ $T R 2$ は、第1領域14の第1領域厚さ $T R 1$ 未満であってもよい。第2領域厚さ $T R 2$ は、第1領域厚さ $T R 1$ よりも大きいくともよい。第2領域厚さ $T R 2$ は、第1領域厚さ $T R 1$ とほぼ等しくてもよい。

[0154] 第2領域厚さ $T R 2$ は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。第2領域厚さ $T R 2$ は、 $5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。第2領域厚さ $T R 2$ は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0155] 第2幅 $W 2$ が第2層9の第2厚さ $T 2$ 未満であり、第2領域厚さ $T R 2$ が第2幅 $W 2$ よりも大きいことが好ましい。つまり、複数の第2領域15は、第2軸チャネル $C H 2$ に沿って縦長柱状に延びる第2アスペクト比 $T R 2 / W 2$ をそれぞれ有していることが好ましい。第2アスペクト比 $T R 2 / W 2$ は、第2幅 $W 2$ に対する第2領域厚さ $T R 2$ の比である。この場合、第2領域厚さ $T R 2$ は、第2厚さ $T 2$ よりも大きいことが特に好ましい。たとえば、第2アスペクト比 $T R 2 / W 2$ は、1を超えて100以下であってもよい。

[0156] 複数の第2領域15は、第2配列方向 $D a 2$ に第2ピッチ $P 2$ の間隔を空けて形成されている。第2ピッチ $P 2$ は、第2層9の第2厚さ $T 2$ 未満であることが好ましい。むしろ、第2ピッチ $P 2$ は、第2層9の第2厚さ $T 2$ 以上であってもよい。第2ピッチ $P 2$ は、第1層8の第1厚さ $T 1$ 未満であることが好ましい。むしろ、第2ピッチ $P 2$ は、第1厚さ $T 1$ 以上であってもよい。

[0157] 第2ピッチ $P 2$ は、第1ピッチ $P 1$ とほぼ等しくてもよいし、第1ピッチ

P 1とは異なってもよい。第2ピッチP 2は、第1ピッチP 1よりも大きくてもよいし、第1ピッチP 1よりも小さくてもよい。

[0158] 第2ピッチP 2は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第2ピッチP 2は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第2ピッチP 2は、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0159] この形態では、2層構造を有するスーパージャンクション構造S Jが示された。しかし、3層以上の積層構造を有するスーパージャンクション構造S Jが採用されてもよい。つまり、3層以上の積層構造を有する積層部7が形成され、3層以上の積層構造を有するコラム領域1 2が形成されてもよい。

[0160] この場合、積層部7において3層目以降の半導体層は、第2層9と同様の構成で形成される。一方、コラム領域1 2において奇数($2n+1$: n は1以上自然数)層の半導体層に形成される領域は第1領域1 4(第1マークM k 1)と同様の構成で形成され、偶数($2n+2$)層の半導体層に形成される領域は第2領域1 5(第2マークM k 2)と同様の構成で形成される。コラム領域1 2のうちの第($n+2$)層目の領域は、第 n 層目の領域に対する第($n+1$)層目の領域の関係と同様の関係で、第($n+2$)層目の半導体層に形成される。

[0161] 以下、図7、図8 Aおよび図8 Bを参照して、第1領域1 4および第2領域1 5のレイアウト例が説明される。装飾パターンP T(複数の第1マークM k 1および複数の第2マークM k 2)は、以下に示される第1領域1 4および第2領域1 5のレイアウト例に応じたレイアウトで形成される。

[0162] 図8 Aは、第1基本形態に係るコラム領域1 2の第1レイアウト例を示す平面図である。図8 Bは、第1基本形態に係るコラム領域1 2の第2レイア

ウト例を示す平面図である。図8Aおよび図8Bでは、第1領域14が破線によって示され、第2領域15がハッチングによって示されている。

[0163] 図7、図8Aおよび図8Bを参照して、第1領域14の第1配列方向Da1はa軸方向（第1方向X）であり、第1領域14の第1延在方向De1はm軸方向（第2方向Y）であってもよい。この場合、第1延在方向De1が第1層8のオフ方向Doffに交差（具体的には直交）するため、複数の第1領域14はSiC単結晶のm面（ $(1-100)$ 面）から見た断面視において鉛直軸からオフ方向Doffに向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜する。SiC単結晶のm面は、m軸方向に直交する結晶面である。

[0164] 一方、図7および図8Aを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に直交していてもよい。つまり、第2領域15の第2配列方向Da2はm軸方向（第2方向Y）であり、第2領域15の第2延在方向De2はa軸方向（第1方向X）であってもよい。この場合、第2配列方向Da2は、第1延在方向De1に一致し、第1配列方向Da1に直交する。また、第2延在方向De2は、第1配列方向Da1に一致し、第1延在方向De1に直交する。

[0165] この場合、第2延在方向De2が第2層9のオフ方向Doffに一致するため、複数の第2領域15はSiC単結晶のa面（ $(11-20)$ 面）から見た断面視においてほぼ鉛直方向Zに延びている。SiC単結晶のa面は、a軸方向に直交する方向である。複数の第2領域15は、SiC単結晶のm面から見た断面視において鉛直軸からオフ方向Doffに向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0166] むろん、図8Bを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に非直交に交差していてもよい。つまり、第2領域15の第2配列方向Da2はm軸方向およびa軸方向以外の方向であり、第2領域15の第2延在方向De2はm軸方向およびa軸方向以外の方向であってもよい。この場合、第2配列方向Da2は第1配列方向Da1および第1延在方向De1の双方に交差し、第2延在方向De2は第1配列方向Da1および

第1延在方向D e 1の双方に交差する。また、第2延在方向D e 2は、第2層9のオフ方向D o f fに交差する。

[0167] 第2延在方向D e 2は、平面視においてa軸からm軸の一方側（紙面左側）または他方側（紙面右側）に向けて傾斜していてもよい。複数の第2領域15は、a軸を基準（0°）としたとき、a軸と延在角 θa を形成する第2延在方向D e 2を有している。

[0168] 延在角 θa の絶対値は、0°を超えて90°未満であってもよい。延在角 θa は、0°を超えて18°以下、18°以上36°以下、36°以上54°以下、54°以上72°以下、および、72°以上90°未満のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。延在角 θa の絶対値は、典型的には、30°±5°、45°±5°、および、60°±5°のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定される。

[0169] コラム領域12は、図9、図10Aおよび図10Bに示される形態を有していてもよい。図9は、コラム領域12の第2基本形態を示す断面斜視図である。図10Aおよび図10Bは、第2基本形態に係るコラム領域12の第1レイアウト例および第2レイアウト例を示す平面図である。図10Aおよび図10Bでは、第1領域14が破線によって示され、第2領域15がハッチングによって示されている。

[0170] 図9、図10Aおよび図10Bを参照して、第1領域14の第1配列方向D a 1はm軸方向（第1方向X）であり、第1領域14の第1延在方向D e 1はa軸方向（第2方向Y）であってもよい。この場合、第1延在方向D e 1が第1層8のオフ方向D o f fに一致するため、複数の第1領域14はSiC単結晶のa面から見た断面視においてほぼ鉛直方向Zに延びている。複数の第1領域14は、SiC単結晶のm面から見た断面視において鉛直軸からオフ方向D o f fに向けてほぼオフ角 $\theta o f f$ 分だけ傾斜した端部を有している。

[0171] 一方、図9および図10Aを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に直交していてもよい。つまり、第2領域15の

第2配列方向D a 2はa軸方向（第2方向Y）であり、第2領域15の第2延在方向D e 2はm軸方向（第1方向X）であってもよい。この場合、第2配列方向D a 2は、第1延在方向D e 1に一致し、第1配列方向D a 1に直交する。また、第2延在方向D e 2は、第1配列方向D a 1に一致し、第1延在方向D e 1に直交する。

[0172] この場合、第2延在方向D e 2が第2層9のオフ方向D o f fに交差（具体的には直交）するため、複数の第2領域15はS i C単結晶のm面から見た断面視において鉛直軸からオフ方向D o f fに向けてほぼオフ角 θ o f f分だけ傾斜する。

[0173] むろん、図10Bを参照して、複数の第2領域15は、平面視において複数の第1領域14に非直交に交差していてもよい。つまり、第2領域15の第2配列方向D a 2はa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、第2領域15の第2延在方向D e 2はa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。この場合、第2配列方向D a 2は第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1の双方に交差し、第2延在方向D e 2は第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1の双方に交差する。また、第2延在方向D e 2は、第2層9のオフ方向D o f fに交差する。

[0174] 第2延在方向D e 2は、平面視においてa軸からm軸の一方側（紙面左側）または他方側（紙面右側）に向けて傾斜していてもよい。複数の第2領域15は、a軸を基準（0°）としたとき、a軸と延在角 θ aを形成する第2延在方向D e 2を有している。

[0175] 延在角 θ aの絶対値は、0°を超えて90°未満であってもよい。延在角 θ aは、0°を超えて18°以下、18°以上36°以下、36°以上54°以下、54°以上72°以下、および、72°以上90°未満のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。延在角 θ aの絶対値は、典型的には、30°±5°、45°±5°、および、60°±5°のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定される。

[0176] コラム領域12は、図11、図12A、図12Bおよび図12Cに示され

る形態を有していてもよい。図11は、コラム領域12の第3基本形態を示す断面斜視図である。図12A、図12Bおよび図12Cは、第3基本形態に係るコラム領域12の第1レイアウト例、第2レイアウト例および第3レイアウト例を示す平面図である。図12A～図12Cでは、第1領域14が破線によって示され、第2領域15がハッチングによって示されている。

[0177] 図11および図12A～図12Cを参照して、第1領域14の第1配列方向Da1はa軸方向（第1方向X）およびm軸方向（第2方向Y）以外の方向であり、第1領域14の第1延在方向De1はa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。つまり、複数の第1領域14は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差していてもよい。図12A～図12Cでは、第1領域14がa軸を基準にm軸の一方側（紙面左側）に向けて傾斜した例が示されている。

[0178] この場合、第1延在方向De1がオフ方向Doffに交差するため、複数の第1領域14はSiC単結晶のa面から見た断面視およびSiC単結晶のm面から見た断面視において鉛直軸からオフ方向Doffに向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜する。

[0179] 第1延在方向De1は、a軸を基準（ 0° ）としたとき、a軸と第1延在角 θ_1 を形成する。第1延在角 θ_1 の絶対値は、 0° を超えて 90° 未満であってもよい。第1延在角 θ_1 は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 未満のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0180] 第1延在角 θ_1 の絶対値は、典型的には、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定される。図12Aでは第1延在角 θ_1 の絶対値がほぼ 45° であるレイアウト例が示され、図12Bでは第1延在角 θ_1 の絶対値がほぼ 30° であるレイアウト例が示され、図12Cでは第1延在角 θ_1 の絶対値がほぼ 60° であるレイアウト例が示されている。

- [0181] 一方、図11および図12A～図12Cを参照して、第2領域15の第1配列方向Da1はa軸方向（第1方向X）およびm軸方向（第2方向Y）以外の方向であり、第2領域15の第1延在方向De1はa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。つまり、複数の第2領域15は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差していてもよい。第2領域15は、この例では、a軸を基準にm軸の他方側（紙面右側）に向けて傾斜している。
- [0182] この場合、第2延在方向De2がオフ方向Doffに交差するため、複数の第2領域15はSiC単結晶のa面から見た断面視およびm面から見た断面視において鉛直軸からオフ方向Doffに向けてほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜する。
- [0183] 第2延在方向De2は、a軸を基準（ 0° ）としたとき、a軸と第2延在角 θ_2 を形成する。第1延在角 θ_1 が「正值」であると定義された場合、第2延在角 θ_2 は「負値」である。一方、第1延在角 θ_1 が「負値」であると定義された場合、第2延在角 θ_2 は「正值」である。
- [0184] 第2延在角 θ_2 の絶対値は、 0° を超えて 90° 未満であってもよい。第2延在角 θ_2 は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 未満のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0185] 第2延在角 θ_2 の絶対値は、典型的には、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定される。第2延在角 θ_2 の絶対値は、第1延在角 θ_1 の絶対値とほぼ等しいことが好ましい。つまり、複数の第2領域15は、単位面積当たりの平面視（つまり部分的な平面視）においてa軸を基準に複数の第1領域14とほぼ線対称となるレイアウトを有していることが好ましい。換言すると、複数の第2領域15は、単位面積当たりの平面視（つまり部分的な平面視）において鉛直軸を基準に複数の第1領域14とほぼ点対象となるレイアウトを有していることが好ましい。
- [0186] 図12Aでは第2延在角 θ_2 の絶対値がほぼ 45° （ $\div \theta_1$ ）であるレイ

アウト例が示され、図 1 2 B では第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値がほぼ 30° ($\cong \theta 1$) であるレイアウト例が示され、図 1 2 C では第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値がほぼ 60° ($\cong \theta 1$) であるレイアウト例が示されている。

[0187] つまり、図 1 2 A のレイアウト例では、複数の第 2 領域 1 5 は、a 軸方向および m 軸方向の双方に交差する方向に延び、かつ、複数の第 1 領域 1 4 に直交している。第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値および第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値の和は、ほぼ直角 (ほぼ 90°) である。

[0188] 一方、図 1 2 B のレイアウト例では、複数の第 2 領域 1 5 は、a 軸方向および m 軸方向の双方に交差する方向に延び、かつ、複数の第 1 領域 1 4 に非直交に交差している。第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値および第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値の和は鋭角 (ほぼ 60°) である。他方、図 1 2 C のレイアウト例では、複数の第 2 領域 1 5 は、a 軸方向および m 軸方向の双方に交差する方向に延び、かつ、複数の第 1 領域 1 4 に非直交に交差している。第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値および第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値の和は鈍角 (ほぼ 120°) である。

[0189] むろん、第 2 延在角 $\theta 2$ の絶対値は、第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値よりも大きくてもよいし、第 1 延在角 $\theta 1$ の絶対値未満であってもよい。つまり、複数の第 2 領域 1 5 は、単位面積当たりの平面視 (つまり部分的な平面視) において a 軸を基準に複数の第 1 領域 1 4 と非線対称となるレイアウトを有していてもよい。換言すると、複数の第 2 領域 1 5 は、単位面積当たりの平面視 (つまり部分的な平面視) において鉛直軸を基準に複数の第 1 領域 1 4 と非点対象となるレイアウトを有していてもよい。

[0190] 以下、第 1 領域 1 4 の p 型不純物濃度の濃度勾配および第 2 領域 1 5 の p 型不純物濃度の濃度勾配が具体的に説明される。第 1 領域 1 4 の濃度勾配および第 2 領域 1 5 の濃度勾配はほぼ同様であるため、以下では、第 2 領域 1 5 の濃度勾配が例示される。

[0191] 第 1 領域 1 4 の濃度勾配の説明は、以下の説明において、必要に応じて、「第 1 層 8」を「ベース層 6」に置き換え、「第 2 層 9」を「第 1 層 8」に置き換え、「第 2 領域 1 5 (第 2 下端部 1 5 a および第 2 上端部 1 5 b)」

を「第1領域14（第1下端部14aおよび第1上端部14b）」に置き換え、「第2軸チャンネルCH2」を「第1軸チャンネルCH1」に置き換えることによって得られる。つまり、第1層8および第2層9に対する第2領域15の相対的または絶対的な位置関係は、ベース層6および第1層8に対する第1領域14の相対的または絶対的な位置関係に準用される。

[0192] 図13A～図13Eは、第2領域15（第1領域14）の濃度勾配の一例を示すグラフである。図14は、第2領域15（第1領域14）の濃度勾配の比較例を示すグラフである。図13および図14において、縦軸は第2領域15のp型不純物濃度を示し、横軸は第2層9の上端（第1主面3）を基準（ゼロ地点）とする第2軸チャンネルCH2に沿う深さを示している。

[0193] 図13A～図13Eおよび図14では、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上のp型不純物濃度を有する領域が第2領域15と定義され、グラフとして図示されている。以下に示される不純物濃度や厚さ等の数値は、第2領域15の基本的な構成を濃度勾配に基づいて説明するための例示であり、第2領域15の構成を一義的に限定する趣旨で示されていない。不純物濃度や厚さ等は、3価元素の注入条件（ドーズ量、注入温度、注入エネルギー等）等に応じて種々の値に調節される。

[0194] 図13A～図13Eは、それぞれ、チャネリング注入法によって第2領域15を形成した場合のグラフである。図13A～図13Eは、190KeV（図13A）、380KeV（図13B）、650KeV（図13C）、960KeV（図13D）、または、2000KeV（図13E）の注入エネルギーによって、第2軸チャンネルCH2に対して平行にまたはほぼ平行に所定の3価元素（ここではアルミニウム）を第2層9に導入したときの第2領域15の濃度勾配を示している。第2層9の第2厚さT2は3 μm 程度であり、3価元素のドーズ量は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ である。

[0195] 一方、図14は、ランダム注入法によって第2領域15を形成した場合のグラフである。図14は、190KeV、380KeV、650KeV、960KeV、または、2000KeVの注入エネルギーによって、ランダム方

向に所定の3価元素（ここではアルミニウム）を第2層9に導入したときの第2領域15の濃度勾配を示している。ランダム方向は、第2軸チャネルCH2に平行（ほぼ平行）ではない方向（たとえば鉛直方向Z）である。第2層9の第2厚さT2は3 μm 程度であり、3価元素のドーズ量は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ である。

[0196] 図13Aを参照して、第2領域15（190KeV）は、1.5 μm 以上1.8 μm 以下の第2領域厚さTR2を有し、第2層9の下端から上端側に離間した第2下端部15a、および、第2層9の上端（第1主面3）から露出した第2上端部15bを有している。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、1.2 μm 以上1.5 μm 以下である。

[0197] 第2領域15のp型不純物濃度は、第2層9の上端から下端に向けて、漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を含む濃度勾配を有している。漸増部20は、第2領域15の第2上端部15bを形成する部分であり、第2上端部15bから第2層9の下端側に向けて比較的急峻な増加率でピーク部21までp型不純物濃度が漸増する部分である。

[0198] ピーク部21は、p型不純物濃度のピーク値P（最大値）を有する部分である。ピーク部21は、p型不純物濃度が増加（増加傾向）から低下（低下傾向）に転じる一連の濃度変化（変曲点）を含む凸状の主たる濃度遷移部でもある。ピーク部21の深さ位置は、0.1 μm 以上0.5 μm 以下である。

[0199] 緩慢部22は、ピーク部21よりも第2下端部15a側の領域に形成され、比較的緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する部分である。つまり、緩慢部22は、一定の深さ範囲において一定のp型不純物濃度を維持する部分であり、第2領域15の本体部を形成している。緩慢部22のp型不純物濃度は、ピーク部21のp型不純物濃度未満の濃度範囲において漸減している。

[0200] 緩慢部22は、少なくとも0.5 μm の厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有する部分によって定義される。緩慢部22は、この例では、0.7 μm 以上0.8 μm 以下の厚さを有し、当該厚さ範囲において50%以

下の濃度低下率を有している。緩慢部22のp型不純物濃度は、この例では、 $4.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。

[0201] 漸減部23は、第2領域15の第2下端部15aを形成する部分である。漸減部23は、緩慢部22における濃度低下率よりも大きい濃度低下率を有し、緩慢部22から第2層9の下端に向けてp型不純物濃度が漸減する部分である。漸減部23の単位厚さ当たりの濃度低下率は、緩慢部22の単位厚さ当たりの濃度低下率よりも大きい。漸減部23のp型不純物濃度は、緩慢部22から $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0202] 図13Bを参照して、第2領域15（380KeV）は、 $2.2 \mu\text{m}$ 以上 $2.4 \mu\text{m}$ 以下の第2領域厚さTR2を有し、第2層9の下端から上端側に離間した第2下端部15a、および、第2層9の上端（第1主面3）から下端側（第1層8側）に離間した第2上端部15bを有している。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $0.8 \mu\text{m}$ 以下である。第2層9の上端および第2領域15の第2上端部15bの間の距離は、 $0.01 \mu\text{m}$ 以上 $0.2 \mu\text{m}$ 以下である。

[0203] 第2領域15のp型不純物濃度は、図13Aの例と同様、第2層9の上端から下端に向けて、漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を含む濃度勾配を有している。漸増部20は、この例においても、第2上端部15bから第2層9の下端側に向けて比較的急峻な増加率でピーク部21まで漸増している。ピーク部21の深さ位置は、 $0.3 \mu\text{m}$ 以上 $0.7 \mu\text{m}$ 以下である。

[0204] 緩慢部22は、 $0.8 \mu\text{m}$ 以上 $1.1 \mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、当該厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有している。緩慢部22のp型不純物濃度は、この例では、 $3.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部23のp型不純物濃度は、緩慢部22から $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0205] 図13Cを参照して、第2領域15（650KeV）は、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上

2. $8\ \mu\text{m}$ 以下の第2領域厚さ $\text{TR}2$ を有し、第2層9の下端から上端側に離間した第2下端部15a、および、第2層9の上端（第1主面3）から下端側（第1層8側）に離間した第2上端部15bを有している。第2層9の下端および第2下端部15aの間の距離は、 $0.01\ \mu\text{m}$ 以上 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下である。第2層9の上端および第2領域15の第2上端部15bの間の距離は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $0.4\ \mu\text{m}$ 以下である。

[0206] 第2領域15のp型不純物濃度は、図13Aの例と同様、第2上端部15bから第2下端部15aに向けて、漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を含む濃度勾配を有している。漸増部20は、この例においても、第2領域15の第2上端部15bから比較的急峻な増加率でピーク部21まで漸増している。ピーク部21の深さ位置は、 $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下である。

[0207] 緩慢部22は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.3\ \mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、当該厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有している。緩慢部22のp型不純物濃度は、この例では、 $3 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $6 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部23のp型不純物濃度は、緩慢部22から $1 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ まで漸減している。

[0208] 図13Dを参照して、第2領域15（960KeV）は、 $3.1\ \mu\text{m}$ 以上 $3.3\ \mu\text{m}$ 以下の第2領域厚さ $\text{TR}2$ を有し、第2層9の上端（第1主面3）から下端側（第1層8側）に離間した第2上端部15b、および、第1層8内に位置する第2下端部15aを有している。つまり、第2領域15は、第2層9の第2厚さ $\text{T}2$ （ $=3\ \mu\text{m}$ ）よりも大きい第2領域厚さ $\text{TR}2$ を有している。

[0209] また、第2下端部15aは、第1層8および第2層9の境界を横切り、第1層8内に延在した延部を有している。第2下端部15aの延部は、第1層8の上端を基準に $0.4\ \mu\text{m}$ 以上 $0.7\ \mu\text{m}$ 以下の厚さを有している。第2層9の上端および第2領域15の第2上端部15bの間の距離は、 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上 $0.6\ \mu\text{m}$ 以下である。

- [0210] 第2領域15のp型不純物濃度は、図13Aの例と同様、第2上端部15bから第2下端部15aに向けて、漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を含む濃度勾配を有している。漸増部20は、この例においても、第2領域15の第2上端部15bから比較的急峻な増加率でピーク部21まで漸増している。ピーク部21の深さ位置は、 $0.7\mu\text{m}$ 以上 $1.3\mu\text{m}$ 以下である。
- [0211] 緩慢部22は、 $1.3\mu\text{m}$ 以上 $1.7\mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、当該厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有している。緩慢部22のp型不純物濃度は、この例では、 $2.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $4.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部23のp型不純物濃度は、緩慢部22から $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ まで漸減している。
- [0212] 図13Eを参照して、第2領域15 (2000 KeV) は、 $3.5\mu\text{m}$ 以上 $3.8\mu\text{m}$ 以下の第2領域厚さTR2を有し、第2層9の上端(第1主面3)から下端側(第1層8側)に離間した第2上端部15b、および、第1層8内に位置する第2下端部15aを有している。つまり、第2領域15は、第2層9の第2厚さT2 ($=3\mu\text{m}$) よりも大きい第2領域厚さTR2を有している。
- [0213] また、第2下端部15aは、第1層8および第2層9の境界を横切り、第1層8内に延在した延部を有している。第2下端部15aの延部は、第1層8の上端を基準に $1.4\mu\text{m}$ 以上 $1.8\mu\text{m}$ 以下の厚さを有している。第2層9の上端および第2領域15の第2上端部15bの間の距離は、 $0.7\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下である。
- [0214] 第2領域15のp型不純物濃度は、図13Aの例と同様、第2上端部15bから第2下端部15aに向けて、漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を含む濃度勾配を有している。漸増部20は、この例においても、第2領域15の第2上端部15bから比較的急峻な増加率でピーク部21まで漸増している。ピーク部21の深さ位置は、 $1.3\mu\text{m}$ 以上 $1.9\mu\text{m}$ 以下である。

- [0215] 緩慢部22は、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $1.8\mu\text{m}$ 以下の厚さを有し、当該厚さ範囲において50%以下の濃度低下率を有している。緩慢部22は、この例では、第1層8および第2層9の境界を横切り、第1層8内に位置されている。つまり、第2領域15の延部は、緩慢部22の一部を含む。緩慢部22のp型不純物濃度は、この例では、 $2 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以上 $4 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下の濃度範囲に収まっている。漸減部23のp型不純物濃度は、緩慢部22から $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ まで漸減している。
- [0216] 図13A～図13Eを参照して、第2領域15のp型不純物濃度は、いずれの注入エネルギーにおいても漸増部20、ピーク部21、緩慢部22および漸減部23を有している。また、第2領域15の第2領域厚さTR2（深さ）は、注入エネルギーの増加に伴って大きくなっている。また、第2層9の上端に対する第2領域15の第2上端部15bの深さ位置は、注入エネルギーの増加に伴って大きくなっている。
- [0217] 漸増部20の厚さ、ピーク部21の厚さ、緩慢部22の厚さおよび漸減部23の厚さは、いずれも注入エネルギーの増加に伴って大きくなっている。一方、第2領域15のピーク値Pは、注入エネルギーの増加に伴って低下している。これは、注入エネルギーの増加に伴って深い領域まで3価元素が導入され、当該深い領域のp型不純物濃度が増加したことに起因している。
- [0218] 緩慢部22は、第2領域15（第2領域厚さTR2）のうちの $1/4$ 以上の厚さ範囲を占め、第2層9内に位置されている。具体的には、第2領域15に占める緩慢部22の割合は、 $1/3$ 以上である。第2領域15に占める緩慢部22の割合は、典型的には、 $1/2$ 以下（ $1/2$ 未満）である。第2領域15に占める緩慢部22の割合は、 $1/2$ 以上であってもよい。
- [0219] 一方、図14を参照して、ランダム注入法の場合、第2領域15は $0.5\mu\text{m}$ の範囲に漸増部20、ピーク部21（ピーク値P）および漸減部23を有する一方、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部22を有することはなかった。また、ランダム注入法の場合、注入エネルギーの増加に伴って第2層9の上端に対するピーク部21（ピーク値P）の深さ位置は大きくなったが、

第2領域15の第2領域厚さTR2はいずれの注入エネルギーにおいても2 μ m未満であった。つまり、注入エネルギーを増加させたとしても、第2領域厚さTR2は大きく変動しなかった。

[0220] このことから、ランダム注入法の場合、比較的大きい第2厚さT2（たとえば1 μ m以上の第2厚さT2）を有する第2層9に対して、単一の不純物領域からなる第2領域15によってチャージバランスの精度を高めることが困難であると理解される。SiC単結晶は、Si単結晶とは異なり、不純物が拡散し難い物性を有している。したがって、前記問題は、一般的に、マルチエピタキシャル成長法や多段階ランダム注入法によって解消される。

[0221] マルチエピタキシャル成長法では、比較的小さい厚さ（たとえば1 μ m未満の厚さ）を有するエピタキシャル層に3価元素をランダム注入法によって導入する工程が複数回繰り返される。この工程の場合、エピタキシャル成長の工程数およびランダム注入法の工程数が増加するため、製造工程が煩雑化する。

[0222] 多段階ランダム注入法では、複数の注入エネルギーで3価元素を異なる深さ位置に多段階的に導入する工程が実施される。たとえば、図14の例を取り上げると、1 μ mの第2層9が形成された場合、5段階（190 KeV、380 KeV、650 KeVおよび960 KeV）の注入エネルギーで3価元素が第2層9に導入される。この工程の場合、目的の深さ位置に3価元素を導入できるが、3価元素を導入できる深さ位置は浅い。そのため、エピタキシャル成長の工程数およびランダム注入法の工程数を増加せざるを得ず、マルチエピタキシャル成長法と同様の問題が生じる。

[0223] これに対して、チャネリング注入法の場合、比較的大きい厚さ（たとえば1 μ m以上5 μ m以下の厚さ）を有する第2層9に対して0.5 μ m以上2 μ mの厚さの緩慢部22を有する第2領域15が形成される。したがって、ランダム注入法を採用した場合の工数よりも少ない工数によってチャージバランスを有する第2領域15が形成される。

[0224] むろん、この明細書は、複数の注入エネルギーを利用したチャネリング注入

法によって異なる深さ位置に多段階的に複数の第2領域15を導入し、1つの第2領域15を形成する技術的思想を除外しない。この場合、各第2領域15は、第2層9の中間部を横切るように第2軸チャンネルCH2に沿って第2層9にそれぞれ形成された複数の不純物領域（第2領域15）の一体化領域からなる。

[0225] この場合、各第2領域15のp型不純物濃度（濃度勾配）は、複数の不純物領域（第2領域15）のp型不純物濃度（濃度勾配）の加算値になる。たとえば、各第2領域15のp型不純物濃度は、図13A～図13Eに示された5つのグラフのうちの少なくとも2つを重ね合わせた濃度勾配（加算した濃度勾配）を有する。

[0226] 図13A～図13Eの例では、チャネリング注入法の注入エネルギーの上限が2000KeVであったが、第2領域15は2000KeVよりも大きい注入エネルギーによって形成されることもできる。この場合、図13Eに示された濃度勾配よりも深い位置に、比較的厚い第2領域15が形成される。

[0227] ただし、2000KeVよりも大きい注入エネルギーを実現する場合、第2層9の上端部を通過する3価元素量が増加し、当該上端部側の空き領域の範囲（つまり第1主面3および第2領域15の間の距離）が拡大するため、コラム領域12の設計難度が高まる。また、2000KeVよりも大きい注入エネルギーを実現する場合、イオン加速器のサイズが数十メートルに及ぶ事態にもなり得るため、費用対効果（設置個所や設備投資）の観点から現実的ではないことが想定される。

[0228] したがって、チャネリング注入法によって比較的厚いコラム領域12を形成する場合、注入エネルギーを2000KeV以下に制限し、積層部7の積層数（スーパージャンクション構造SJの積層数）を増加させることが好ましい。

[0229] 以下、図15～図35を参照して、コラム領域12の第1～第12形態例が示される。第1～第3基本形態に係るコラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよ

い。第1～第3基本形態に係るコラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数（2つ以上）の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0230] 以下では、第1領域14の「漸増部20」、「ピーク部21（ピーク値P）」、「緩慢部22」および「漸減部23」が「第1漸増部20A」、「第1ピーク部21A（第1ピーク値PA）」、「第1緩慢部22A」および「第1漸減部23A」と称される。また、以下では、第2領域15の「漸増部20」、「ピーク部21（ピーク値P）」、「緩慢部22」および「漸減部23」が「第2漸増部20B」、「第2ピーク部21B（第2ピーク値PB）」、「第2緩慢部22B」および「第2漸減部23B」と称される。

[0231] 図15は、第1形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図16は、図15に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。

[0232] 図15および図16を参照して、第1領域14は、第1層8の第1厚さT1未満の第1領域厚さTR1を有し、第1層8の下端および上端の双方から間隔を空けて第1層8内に形成されている。具体的には、第1領域14の第1下端部14aは、第1層8の下端（ベース層6）から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでベース層6に対向している。

[0233] 一方、第1領域14の第1上端部14bは、第1層8の上端（第2層9）から下端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（上端部）を挟んで第2層9に対向している。第1領域14の第1漸増部20A、第1ピーク部21A、第1緩慢部22Aおよび第1漸減部23Aは、第1層8内に位置されている。

[0234] 図16では、第1層8が3 μ mの第1厚さT1を有し、第1領域14が650KeVの注入エネルギーによって第1層8内に形成された例が示されている。むろん、第1領域14は、650KeV以下の注入エネルギーによって形成されていてもよい。

[0235] 第2領域15は、第2層9の第2厚さT2未満の第2領域厚さTR2を有

し、第2層9の下端および上端の双方から間隔を空けて第2層9内に形成されている。具体的には、第2領域15の第2下端部15aは、第2層9の下端（第1層8）から上端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（下端部）を挟んで第1層8に対向している。

[0236] 一方、第2領域15の第2上端部15bは、第2層9の上端（第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第2層9の一部（上端部）を挟んで第1主面3に対向している。第2領域15の第2漸増部20B、第2ピーク部21B、第2緩慢部22Bおよび第2漸減部23Bは、第2層9内に位置されている。

[0237] 図16では、第2層9が3 μ mの第2厚さT2を有し、第2領域15が650KeVの注入エネルギーによって第2層9内に形成された例が示されている。むろん、第2領域15は、650KeV以下の注入エネルギーによって形成されていてもよい。また、第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギーとは異なってもよい。

[0238] つまり、第2領域15の第2領域厚さTR2は、第1領域14の第1領域厚さTR1とは異なってもよい。第2領域厚さTR2は、第1領域厚さTR1未満であってもよいし、第1領域厚さTR1よりも大きくてもよい。

[0239] 図17は、第2形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図18は、図17に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図17および図18を参照して、第2形態例に係るコラム領域12は、第1形態例に係る第2領域15を変形させた形態を有している。第2形態例に係る第1領域14の形態は、第1形態例に係る第1領域14と同様である。

[0240] 第2領域15は、第2層9の上端から下端側に間隔を空けて第2層9内に形成され、第1層8および第2層9の境界を横切って第1層8内に位置する部分を有している。つまり、第2領域15の第2下端部15aは、第1層8および第2層9の境界部を横切って第1層8内に位置する延部を有している。

[0241] 第2軸チャネルCH2は第1軸チャネルCH1とほぼ一致しているため、

第2下端部15aの延部は第1層8内において第1軸チャンネルCH1に沿って形成されている。第2下端部15aの延部は、第1層8の厚さ範囲中間部に対して第1層8の上端側に位置されていることが好ましい。第2下端部15aの延部は、第1層8内において第1領域14（第1上端部14b）に接続されている。

[0242] この構成では、第1層8の上端および第1領域14の第1上端部14bの間のスペースに第2領域15の一部（延部）が設けられ、第1領域14および第2領域15によって連続的に立体格子状に延びる1つのコラム領域12が形成される。したがって、チャージバランスの精度が向上される。

[0243] 第2領域15は、この例では、第2層9の第2厚さT2よりも大きい第2領域厚さTR2を有している。また、第2領域厚さTR2は、第1層8の第1厚さT1よりも大きい。また、第2領域厚さTR2は、第1領域14の第1領域厚さTR1よりも大きい。むろん、第2領域厚さTR2は、第2厚さT2未満であってもよい。また、第2領域厚さTR2は、第1領域厚さTR1未満であってもよい。また、第2領域厚さTR2は、第1領域厚さTR1未満であってもよい。

[0244] 第2領域15の第2漸増部20B、第2ピーク部21B、第2緩慢部22Bおよび第2漸減部23Bは、第2層9内に位置されている。第2漸減部23Bの少なくとも一部は、第1層8内に位置されている。つまり、第2下端部15aの延部は、第2漸減部23Bを含む。むろん、第2緩慢部22Bの一部が第1層8内に位置されていてもよい（図13E参照）。つまり、第2下端部15aの延部は、第2緩慢部22Bの一部および第2漸減部23Bを含んでいてもよい。

[0245] 図18では、第2層9が3 μ mの第1厚さT1を有し、第2領域15が960KeVの注入エネルギーによって第2層9内に形成された例が示されている。むろん、第2領域15は、960KeV以上の注入エネルギーによって形成されていてもよい。たとえば、第2厚さT2は、3 μ mよりも大きく5 μ m以下であってもよい。この場合、960KeV以上の注入エネルギーによ

て、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成される（図13F～図13Eも併せて参照）。

[0246] 図19は、第3形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図20は、図19に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図19および図20を参照して、第3形態例に係るコラム領域12は、第2形態例に係る第2領域15を変形させた形態を有している。第3形態例に係る第1領域14は、第1形態例に係る第1領域14と同様の形態を有している。

[0247] 第2形態例に係る第2領域15は、第1層8の第1厚さ T_1 とほぼ等しい第2厚さ T_2 を有する第2層9に形成されていた。これに対して、第3形態例に係る第2領域15は、第1層8の第1厚さ T_1 未満の第2厚さ T_2 を有する第2層9に形成されている。第2領域15は、この例では、第2層9の第2厚さ T_2 よりも大きい第2領域厚さ TR_2 を有している。

[0248] 図19では、第2層9が $3\mu\text{m}$ 未満（ここでは $2\mu\text{m}$ ）の第2厚さ T_2 を有し、第2領域15が 650KeV の注入エネルギーによって第2層9内に形成された例が示されている。むろん、第2領域15は、 650KeV 以下の注入エネルギーによって形成されていてもよい。

[0249] たとえば、第2厚さ T_2 は、 $1\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、 190KeV 以上の注入エネルギーによって、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成される（図13A～図13Eも併せて参照）。たとえば、第2厚さ T_2 は、 $2\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 未満であってもよい。この場合、 380KeV 以上の注入エネルギーによって、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成される（図13B～図13Eも併せて参照）。

[0250] この構成では、第1領域14および第2領域15の接続部に形成される濃度勾配が緩和され、チャージバランスの精度が向上される。また、比較的小さい第2厚さ T_2 を有する第2層9によれば、比較的小さい注入エネルギーによって第1領域14に接続される第2領域15が形成されることができる。

したがって、製造コストが削減される。

- [0251] たとえば、比較的小さい第2厚さT2によれば、第1領域14の第1領域厚さTR1（注入エネルギー）および第2領域15の第2領域厚さTR2（注入エネルギー）が同一に設定される一方で、第1層8内で第1領域14に接続される第2領域15が形成されることもできる。この場合、製造工程の工程管理が容易になる。これらの場合において、第2層9の第2厚さT2が第1層8の第1厚さT1未満に設定され、第2厚さT2よりも大きい第2領域厚さTR2を有する第2領域15が形成されてもよい。
- [0252] 図21は、第4形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図22は、図21に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図21および図22を参照して、第4形態例に係るコラム領域12は、第2形態例に係る第1領域14を変形させた形態を有している。第4形態例に係る第2領域15は、第2形態例に係る第2領域15の形態と同様の形態を有している。むしろ、第4形態例に係る第2領域15は、第3形態例に係る第2領域15の形態と同様の形態を有していてもよい。
- [0253] 第1領域14は、第1層8の上端から下端側に間隔を空けて第1層8内に形成され、ベース層6および第1層8の境界を横切ってベース層6内に位置する部分を有している。つまり、第1領域14の第1下端部14aは、ベース層6および第1層8の境界部を横切ってベース層6内に位置する延部を有している。
- [0254] 第1軸チャンネルCH1はベース軸チャンネルCHBにほぼ一致しているため、第1下端部14aの延部はベース層6内においてベース軸チャンネルCHBに沿って形成されている。第1下端部14aの延部は、ベース層6の厚さ範囲中間部に対してベース層6の上端側に位置されていることが好ましい。第1下端部14aの延部は、ベース層6内において当該ベース層6に接続されている。
- [0255] 第1領域14は、この例では、第1層8の第1厚さT1よりも大きい第1領域厚さTR1を有している。また、第1領域厚さTR1は、第2層9の第

2 厚さ T_2 よりも大きい。また、第 1 領域厚さ TR_1 は、第 2 領域 15 の第 2 領域厚さ TR_2 よりも大きい。むろん、第 1 領域厚さ TR_1 は、第 1 厚さ T_1 未満であってもよい。また、第 1 領域厚さ TR_1 は、第 2 厚さ T_2 未満であってもよい。また、第 1 領域厚さ TR_1 は、第 2 領域厚さ TR_2 未満であってもよい。

[0256] 第 1 領域 14 の第 1 漸増部 20A、第 1 ピーク部 21A、第 1 緩慢部 22A および第 1 漸減部 23A は、第 1 層 8 内に位置されている。第 1 漸減部 23A の少なくとも一部は、ベース層 6 内に位置されている。つまり、第 1 下端部 14a の延部は、第 1 漸減部 23A を含む。むろん、第 1 緩慢部 22A の一部がベース層 6 内に位置されていてもよい（図 13E 参照）。つまり、第 1 下端部 14a の延部は、第 1 緩慢部 22A の一部および第 1 漸減部 23A を含んでいてもよい。

[0257] 図 22 では、第 1 層 8 が $3\mu\text{m}$ の第 1 厚さ T_1 を有し、第 1 領域 14 が 960KeV の注入エネルギーによって第 1 層 8 内に形成された例が示されている。むろん、第 1 領域 14 は、 960KeV 以上の注入エネルギーによって形成されていてもよい。たとえば、第 1 厚さ T_1 は、 $3\mu\text{m}$ よりも大きく $5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、 960KeV 以上の注入エネルギーによって、ベース層 6 内に部分的に位置される第 1 領域 14 が形成される（図 13F～図 13E も併せて参照）。

[0258] 図 23 は、第 5 形態例に係るコラム領域 12 を示す断面斜視図である。図 24 は、図 23 に示すコラム領域 12 の濃度勾配の一例を示すグラフである。図 23 および図 24 を参照して、第 5 形態例に係るコラム領域 12 は、第 4 形態例に係る第 1 領域 14 を変形させた形態を有している。第 5 形態例に係る第 2 領域 15 は、第 2 形態例に係る第 2 領域 15 の形態と同様の形態を有している。むろん、第 5 形態例に係る第 2 領域 15 は、第 3 形態例に係る第 2 領域 15 の形態と同様の形態を有していてもよい。

[0259] 第 4 形態例では、第 1 層 8 が $3\mu\text{m}$ の第 1 厚さ T_1 を有し、第 1 領域 14 が 960KeV 以上の注入エネルギーによって第 1 層 8 内に形成されていた。

これに対して、第5形態例では、第1層8が $3\mu\text{m}$ 未満の第1厚さ T_1 を有し、第1領域14が 650KeV 以上の注入エネルギーによって第1層8内に形成されている。第1領域14は、この例では、第1厚さ T_1 よりも大きい第1領域厚さ T_{R1} を有している。第1厚さ T_1 は、この例では、第2層9の第2厚さ T_2 未満である。

[0260] たとえば、第1厚さ T_1 は、 $1\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、 190KeV 以上の注入エネルギーによって、ベース層6内に部分的に位置される第1領域14が形成される（図13A～図13Eも併せて参照）。たとえば、第1厚さ T_1 は、 $2\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 未満であってもよい。この場合、 380KeV 以上の注入エネルギーによって、ベース層6内に部分的に位置される第1領域14が形成される（図13B～図13Eも併せて参照）。

[0261] 図25は、第6形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図26は、図25に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図25および図26を参照して、コラム領域12は、第1領域14および第2領域15に加えて、第1領域14および第2領域15の間に介在されたp型の間領域25を含む。

[0262] 第1領域14は、第1～第5形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有していてもよい。第1領域14は、この例では、第4形態例に係る第1領域14の形態と同様の形態を有している。第2領域15は、第1～第5形態例に係る第2領域15の形態のいずれか1つと同様の形態を有していてもよい。第2領域15は、この例では、第4形態例（第2形態例）に係る第2領域15の形態と同様の形態を有している。

[0263] 複数の中間領域25は、少なくとも複数の第1領域14および複数の第2領域15の間の複数の交差部に位置されるように第1層8の上端側の表層部に形成され、積層方向に対応する第1領域14および第2領域15にそれぞれ重なっている。複数の中間領域25は、この形態では、積層方向に複数の第1領域14に1対1の対応関係で重なるように第1配列方向 D_{a1} に間隔

を空けて配列され、第1延在方向D e 1に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

- [0264] この例では、第1配列方向D a 1がa軸方向（第1方向X）であり、第1延在方向D e 1がm軸方向（第2方向Y）である。むろん、複数の中間領域25の配列方向および延在方向は、複数の第1領域14の第1配列方向D a 1および第1延在方向D e 1に応じて変更される。したがって、第1配列方向D a 1がm軸方向であり、第1延在方向D e 1がa軸方向であってもよい。また、第1配列方向D a 1がa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、第1延在方向D e 1がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。
- [0265] 複数の中間領域25は、複数の第1領域14と共に活性領域10から外周領域11に引き出されている。つまり、複数の中間領域25は、第1層8のうち活性領域10内に位置する部分から第1層8のうち外周領域11内に位置する部分に引き出されている。複数の中間領域25は、外周領域11においても第1配列方向D a 1に間隔を空けて配列され、第1延在方向D e 1に延びる帯状にそれぞれ形成されている。
- [0266] 複数の中間領域25は、外周領域11から第1側面5 Aおよび第3側面5 Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第1側面5 Aおよび第3側面5 Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。
- [0267] 複数の中間領域25のうち第1側面5 Aから露出した部分は第1側面5 Aにおいて複数の第1マークM k 1の一部（上端部）を形成し、複数の中間領域25のうち第3側面5 Cから露出した部分は第3側面5 Cにおいて複数の第1マークM k 1の一部（上端部）を形成している。
- [0268] つまり、複数の中間領域25は、第1側面5 Aから露出した露出部としての複数の第1マークM k 1の一部（上端部）、および、第3側面5 Cから露出した露出部としての複数の第1マークM k 1の一部（上端部）のいずれか一方または双方を含む。
- [0269] 換言すると、複数の第1マークM k 1は、複数の第1領域14および複数

の中間領域 2 5 を利用してそれぞれ形成されている。つまり、第 1 側面 5 A (第 3 側面 5 C) に対する複数の第 1 マーク M k 1 のレイアウト (露出箇所や配列方向) は、複数の第 1 領域 1 4 および複数の中間領域 2 5 のレイアウト (第 1 配列方向 D a 1 や第 1 延在方向 D e 1) によっても適宜調節される。

[0270] 複数の第 1 マーク M k 1 は、必ずしも複数の中間領域 2 5 の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の中間領域 2 5 の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第 1 マーク M k 1 は、外周領域 1 1 において複数の中間領域 2 5 の本体部から分離されていることが好ましい。

[0271] むろん、複数の中間領域 2 5 は、必ずしも複数の第 1 マーク M k 1 の一部 (上端部) を形成している必要はない。つまり、複数の中間領域 2 5 は、平面視において第 1 ～第 4 側面 5 A ～5 D から間隔を空けて第 1 層 8 の内方部に形成されていてもよい。中間領域 2 5 に対する説明は、第 1 マーク M k 1 (中間領域 2 5 のうち第 1 側面 5 A / 第 3 側面 5 C から露出した部分) にも適用される。

[0272] 複数の中間領域 2 5 は、第 1 層 8 内において第 1 層 8 の上端および第 1 領域 1 4 の第 1 上端部 1 4 b の間の領域に形成されている。複数の中間領域 2 5 は、第 1 層 8 の厚さ範囲中間部に対して第 1 層 8 の上端側に位置されていることが好ましい。複数の中間領域 2 5 は、第 1 層 8 の上端から露出しているもよいし、第 1 層 8 の上端から下端側に間隔を空けて形成されていてもよい。各中間領域 2 5 は、断面視において水平方向に延びる横長柱状に形成されていてもよい。むろん、各中間領域 2 5 は、鉛直方向 Z に延びる縦長柱状に形成されていてもよい。

[0273] 複数の中間領域 2 5 は、第 1 層 8 と共にチャージバランスを有する複数の中間 p n 接合部を形成している。つまり、複数の中間領域 2 5 は、複数の第 1 ドリフト領域 1 6 と第 1 スーパー Junction 構造 S J 1 の一部を構成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣り合う複数の中間領

域 2 5 に関して、一方の中間 p n 接合部から拡がる空乏層、および、他方の中間 p n 接合部から拡がる空乏層が、複数の第 1 ドリフト領域 1 6 内で接続される状態を意味する。

[0274] 図 2 6 を参照して、各中間領域 2 5 は、単一または複数の領域要素 2 5 a を含んでいてもよい。図 2 6 では、各中間領域 2 5 が複数（2 つ）の領域要素 2 5 a を含む例が示されている。各中間領域 2 5 が単一の領域要素 2 5 a によって構成される場合、単一の領域要素 2 5 a は第 1 層 8 の上端および第 1 領域 1 4 の第 1 上端部 1 4 b の間の領域に形成され、第 1 領域 1 4 の第 1 上端部 1 4 b に接続される。

[0275] 各中間領域 2 5 が複数の領域要素 2 5 a によって構成される場合、複数の領域要素 2 5 a は第 1 層 8 の上端および第 1 領域 1 4 の第 1 上端部 1 4 b の間の領域において異なる深さ位置にそれぞれ形成される。この場合、複数の領域要素 2 5 a は、積層方向に互いに接続されるようにそれぞれ形成される。また、少なくとも最下の領域要素 2 5 a は、第 1 領域 1 4 の第 1 上端部 1 4 b に接続される。

[0276] 領域要素 2 5 a は、第 1 層 8 に対するランダム注入法によって第 1 層 8 の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図 1 4 も併せて参照）。つまり、領域要素 2 5 a は、第 2 層 9 に形成されていない。また、領域要素 2 5 a は、第 1 軸チャネル C H 1 に沿う方向に関して第 1 領域 1 4 の第 1 領域厚さ T R 1 未満の厚さを有している。また、領域要素 2 5 a の厚さは、第 2 領域 1 5 の第 2 領域厚さ T R 2 未満である。

[0277] 領域要素 2 5 a は、第 1 領域 1 4 等とは異なり、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部 2 2 を有さず、 $0.5 \mu\text{m}$ の範囲に漸増部 2 0、ピーク部 2 1 および漸減部 2 3 を含む濃度勾配を有している。各中間領域 2 5 が複数の領域要素 2 5 a を含む場合、各中間領域 2 5 は第 1 層 8 の厚さ方向に複数の領域要素 2 5 a の個数に応じた複数のピーク部 2 1（ピーク値 P）を有する。

[0278] 領域要素 2 5 a は、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下の p 型不純物濃度をピーク値 P として有していてもよい。図 2 6 では、領域要素 2 5

aのp型不純物濃度のピーク値Pが $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である例が示されている。

- [0279] 中間領域25のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。中間領域25の3価元素は、第1領域14等の3価元素と同一種であってもよいし、第1領域14等の3価元素と異なる種であってもよい。中間領域25の3価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種であってもよい。
- [0280] 複数の中間領域25は、中間幅WMをそれぞれ有している。中間幅WMは、第1配列方向Da1に沿う幅である。中間幅WMは、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むろん、中間幅WMは、第1厚さT1以上であってもよい。中間幅WMは、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むろん、中間幅WMは、第2厚さT2以上であってもよい。
- [0281] 中間幅WMは、第1領域14の第1幅W1とほぼ等しいことが好ましい。むろん、中間幅WMは、第1幅W1以上であってもよいし、第1幅W1未満であってもよい。中間幅WMは、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。中間幅WMは、 $5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。
- [0282] 中間幅WMは、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $1.5 \mu\text{m}$ 以下、 $1.5 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下、 $2 \mu\text{m}$ 以上 $2.5 \mu\text{m}$ 以下、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上 $3 \mu\text{m}$ 以下、 $3 \mu\text{m}$ 以上 $3.5 \mu\text{m}$ 以下、 $3.5 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下、 $4 \mu\text{m}$ 以上 $4.5 \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0283] 複数の中間領域25は、中間厚さTMをそれぞれ有している。中間厚さTMは、第1層8の上端および第1領域14の第1上端部14bの間の距離以上であることが好ましい。中間厚さTMは、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。中間厚さTMは、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $0.5 \mu\text{m}$ 以下、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $1 \mu\text{m}$ 以下、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $1.5 \mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0284] 複数の中間領域25は、第1配列方向Da1に中間ピッチPMの間隔を空

けて形成されている。中間ピッチPMは、第1領域14の第1ピッチP1とほぼ等しいことが好ましい。むろん、中間ピッチPMは、第1ピッチP1以上であってもよいし、第1ピッチP1未満であってもよい。図25では、明瞭化のため、第1ピッチP1よりも大きい中間ピッチPMが示されている。

[0285] 中間ピッチPMは、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。中間ピッチPMは、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。中間ピッチPMは、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0286] このような構成において、第2領域15は、第1層8内に位置する延部を有し、第1層8内において中間領域25に接続されていることが好ましい。つまり、第2領域15は、第1層8内において中間領域25を介して第1領域14に電氣的に接続されていることが好ましい。この場合、第2領域15は、第1領域14および中間領域25と共に積層方向に連続的に延びる1つのドリフト領域13を形成する。

[0287] むろん、第2領域15の延部は、第1層8内において中間領域25および第1領域14の双方に接続されていてもよい。中間領域25を有する構成では、第1領域14および第2領域15の間の領域の濃度勾配が中間領域25によって緩和され、チャージバランスの精度が向上される。

[0288] 図27は、第7形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図28は、図27に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図27および図28を参照して、第7形態例に係るコラム領域12は、第1～第6形態例に係る第1領域14を変形させた形態を有している。第7形態例に係る第2領域15は、第1～第6形態例に係る第2領域15の形態のいずれか1つと同様の形態を有していてもよい。

- [0289] 第1領域14は、この例では、第1層8の上端から露出している。第1領域14は、第1漸増部20Aの一部または全部を有さない。図28では、第1領域14が第1漸増部20Aの全部および第1ピーク部21Aを有さない例が示されている。つまり、第1上端部14bは、この例では、第1層8の上端から露出した第1緩慢部22Aを含む。
- [0290] 第1領域14は、第1層8の上端に第1ピーク値PAを有し、第1層8の下端側に向けて漸減する濃度勾配を有している。むろん、第1上端部14bは第1漸増部20Aの一部または第1ピーク部21Aの一部を含み、第1漸増部20Aの一部または第1ピーク部21Aの一部が第1層8の上端から露出していてもよい。
- [0291] この構成において、第2領域15は、第1層8内に位置する延部を有し、第1層8内において第1領域14に接続されていることが好ましい。第1層8の上端から第1領域14が露出する構成では、第1領域14および第2領域15の間の領域に形成される濃度勾配が第1領域14の露出部によって緩和され、チャージバランスの精度が向上される。
- [0292] このような構成は、第1領域14の形成後、第1領域14の第1漸増部20Aの一部または全部が消失するまで第1層8の上端を部分的に除去することによって得られる。たとえば、第1層8の上端は、研削法によって部分的に除去されてもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。この場合、第1層8の上端は研削面からなり、第1領域14は当該研削面から露出する。第2層9は、第1層8の研削面の上に積層される。
- [0293] たとえば、第1層8の上端は、エッチング法によって部分的に除去されてもよい。エッチング法は、ウエットエッチング法および／またはドライエッチング法であってもよい。この場合、第1層8の上端はエッチング面からなり、第1領域14は当該エッチング面から露出する。第2層9は、第1層8のエッチング面の上に積層される。
- [0294] 図29は、第8形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図

30は、図29に示すコラム領域12の濃度勾配の一例を示すグラフである。図29および図30を参照して、第8形態例に係るコラム領域12は、第1～第7形態例に係る第2領域15を変形させた形態を有している。第8形態例に係る第1領域14は、第1～第7形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有していてもよい。図29および図30では、第7形態例に係る第1領域14が示されている。

[0295] 第2領域15は、この例では、第2層9の上端（第1主面3）から露出している。第2領域15は、第2漸増部20Bの一部または全部を有さない。図30では、第2領域15が第2漸増部20Bの全部および第2ピーク部21Bを有さない例が示されている。つまり、第2上端部15bは、この例では、第2層9の上端から露出した第2緩慢部22Bを含む。

[0296] 第2領域15は、第2層9の上端に第2ピーク値PBを有し、第2層9の下端側に向けて漸減する濃度勾配を有している。むろん、第2上端部15bは、第2漸増部20Bの一部または第2ピーク部21Bの一部を含み、第2漸増部20Bの一部または第2ピーク部21Bの一部が第2層9の上端から露出していてもよい。

[0297] 第2層9の上端から第2領域15が露出する構成は、第2層9（第1主面3）を利用してデバイス構造物が形成される場合において、第2領域15を用いてデバイス構造物の電気的特性を調整する場合に有効である。

[0298] このような構成は、第2領域15の形成後、第2領域15の第2漸増部20Bの一部または全部が消失するまで第2層9の上端を部分的に除去することによって得られる。たとえば、第2層9の上端（第1主面3）は、研削法によって部分的に除去されてもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。この場合、第2層9の上端は研削面からなり、第2領域15は当該研削面から露出する。

[0299] たとえば、第2層9の上端（第1主面3）は、エッチング法によって部分的に除去されてもよい。エッチング法は、ウエットエッチング法および／またはドライエッチング法であってもよい。この場合、第2層9の上端はエッ

チング面からなり、第2領域15は当該エッチング面から露出する。

[0300] 図31は、第9形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図32は、第10形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。図31および図32を参照して、積層部7は、ベース層6側からこの順に積層されたバッファ層26、第1層8および第2層9を含む積層構造を有しているもよい。バッファ層26は、「バッファSiC層」、「バッファ領域」等と称されてもよい。

[0301] バッファ層26は、SiC単結晶を含み、n型の導電性を有している。バッファ層26は、ベース層6の上に積層されている。バッファ層26は、水平方向に層状に延び、チップ2の中間部を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。バッファ層26は、ベース層6を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまりSiCエピタキシャル層）からなる。

[0302] バッファ層26は、下端および上端を有している。バッファ層26の下端は結晶成長起点であり、バッファ層26の上端は結晶成長終点である。バッファ層26はベース層6から連続的に結晶成長されているため、バッファ層26の下端はベース層6の上端に一致している。ベース層6およびバッファ層26の間の境界部は必ずしも視認できるものではなく、他の構成や要素から間接的に評価および／または判定され得る。バッファ層26は、ベース層6のオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ にほぼ一致したオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。

[0303] バッファ層26は、積層方向に沿うバッファ軸チャネルCHBuを有している。バッファ軸チャネルCHBuは、バッファ層26を構成するSiC単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれている。

[0304] つまり、バッファ軸チャネルCHBuは、原子列が疎である領域が積層方向に延在し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。バッファ軸チャネルCHBuは、結晶軸のうち低指数

結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。

- [0305] バッファ軸チャンネルCHBuは、この形態では、SiC単結晶のc軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、バッファ軸チャンネルCHBuは、c軸に沿って延び、オフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、バッファ軸チャンネルCHBuは、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。
- [0306] バッファ層26のn型不純物濃度は、ベース層6のn型不純物濃度未満であることが好ましい。バッファ層26は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。バッファ層26のn型不純物濃度は、厚さ方向にほぼ一定であってもよい。むしろ、バッファ層26のn型不純物濃度は、積層方向（結晶成長方向）に向けて漸増および／または漸減する濃度勾配を有していてもよい。
- [0307] バッファ層26は、少なくとも1種の5価元素によって調整されたn型不純物濃度を有している。たとえば、バッファ層26のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。バッファ層26は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。
- [0308] バッファ層26のn型不純物濃度は、少なくとも窒素によって調整されていることが好ましい。バッファ層26が2種以上の5価元素を含む場合、バッファ層26は、窒素および窒素以外の5価元素を含むことが好ましい。この場合、バッファ層26は、リンおよび窒素以外の5価元素として、ヒ素およびアンチモンのいずれか一方または双方を含むことが好ましい。
- [0309] バッファ層26は、バッファ厚さTBuを有している。バッファ厚さTBuは、ベース厚さTB未満であることが好ましい。バッファ厚さTBuは、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。バッファ厚さTBuは、 $5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。バッファ厚さTBuは、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $1.5 \mu\text{m}$ 以下、 $1.5 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下、 $2 \mu\text{m}$ 以上 $2.5 \mu\text{m}$ 以下、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上 $3 \mu\text{m}$ 以下、 $3 \mu\text{m}$ 以上 $3.5 \mu\text{m}$ 以下、 $3.5 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下、 $4 \mu\text{m}$ 以

上 $4.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0310] 第1層8は、この形態では、バッファ層26の上に積層され、第2層9は第1層8の上に積層されている。第1層8は、バッファ層26を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまりSiCエピタキシャル層）からなり、n型の導電性を有している。したがって、第1層8は、バッファ層26のオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} にほぼ一致したオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。また、第1軸チャネルCH1は、バッファ軸チャネルCHBuにほぼ一致している。

[0311] 第1層8の第1厚さT1は、バッファ厚さTBuよりも大きいことが好ましい。むろん、第1厚さT1は、バッファ厚さTBu未満であってもよい。また、第1厚さT1は、バッファ厚さTBuとほぼ等しくてもよい。第2層9の第2厚さT2は、バッファ厚さTBuよりも大きいことが好ましい。むろん、第2厚さT2は、バッファ厚さTBu未満であってもよい。また、第2厚さT2は、バッファ厚さTBuとほぼ等しくてもよい。

[0312] 第1領域14は、第1～第8形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有し、第1層8内に形成されている。第2領域15は、第1～第8形態例に係る第1領域14の形態のいずれか1つと同様の形態を有し、第2層9内に形成されている。

[0313] 図31を参照して、第1領域14の第1下端部14aは、第1層8の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第1層8の一部（下端部）を挟んでバッファ層26に対向していてもよい。つまり、第1領域14の全域（第1漸増部20A、第1ピーク部21A、第1緩慢部22Aおよび第1漸減部23A）は、第1層8内に位置されていてもよい。むろん、第1下端部14aは、第1層8の下端とほぼ一致し、バッファ層26に接続されていてもよい。

[0314] 図32を参照して、第1下端部14aは、バッファ層26および第1層8の境界部を横切り、バッファ層26内に位置する延部を有していてもよい。第1軸チャネルCH1はバッファ軸チャネルCHBuとほぼ一致しているた

め、第1下端部14aの延部はバッファ層26内においてバッファ軸チャンネルCHBuに沿って形成されている。

[0315] 第1下端部14aの延部は、バッファ層26の厚さ範囲中間部に対してバッファ層26の上端側に位置されていることが好ましい。第1下端部14aの延部は、第1漸減部23Aを含む。むろん、第1下端部14aの延部は、第1緩慢部22Aの一部および第1漸減部23Aを含んでいてもよい。

[0316] 図33は、第1形態例に係るコラム領域12を示す断面斜視図である。前述の形態では、3層以上の積層構造を有するスーパージャンクション構造SJが採用され得る趣旨の説明がなされた。図33では、この一例として、3層構造を有する積層部7、および、3層構造を有するコラム領域12が示されている。

[0317] 具体的には、積層部7は、第2層9の上に積層されたSiC単結晶製のn型の第3層27を含む。第3層27は「第3SiC層」、「第3半導体層」等と称されてもよい。第2層9は、この例では、チップ2の中間部を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。第3層27は、水平方向に層状に延び、第1主面3を形成し、第1～第4側面5A～5Dの一部を形成している。第3層27は、第2層9を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまりSiCエピタキシャル層）からなる。

[0318] 第3層27は、下端および上端を有している。第3層27の下端は結晶成長起点であり、第3層27の上端は結晶成長終点である。第3層27は第2層9から連続的に結晶成長されているため、第3層27の下端は第2層9の上端に一致している。第2層9および第3層27の間の境界部は必ずしも視認できるものではなく、他の構成や要素から間接的に評価および／または判定され得る。第3層27は、第2層9のオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} にほぼ一致したオフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。

[0319] 第3層27は、積層方向に沿う第3軸チャンネルCH3を有している。第3軸チャンネルCH3は、第3層27を構成するSiC単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャンネル）であり、積層方向（結晶成長

方向)に延びる結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれている。

[0320] つまり、第3軸チャンネルCH3は、原子列が疎である領域が積層方向に延在し、平面視において水平方向の原子列(原子間距離/原子密度)が疎である領域である。第3軸チャンネルCH3は、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。

[0321] 第3軸チャンネルCH3は、この形態では、SiC単結晶のc軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、第3軸チャンネルCH3は、c軸に沿って延び、オフ方向Doffおよびオフ角 θ_{off} を有している。換言すると、第3軸チャンネルCH3は、鉛直軸からオフ方向Doffに向けてオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜している。

[0322] 第3層27のn型不純物濃度は、ベース層6のn型不純物濃度未満であることが好ましい。第3層27は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。第3層27のn型不純物濃度は、厚さ方向にほぼ一定であってもよい。むろん、第3層27のn型不純物濃度は、積層方向(結晶成長方向)に向けて漸増および/または漸減する濃度勾配を有していてもよい。

[0323] 第3層27は、少なくとも1種の5価元素によって調整されたn型不純物濃度を有している。たとえば、第3層27のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。第3層27は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0324] 第3層27のn型不純物濃度は、少なくとも窒素によって調整されていることが好ましい。第3層27が2種以上の5価元素を含む場合、第3層27は、窒素および窒素以外の5価元素を含むことが好ましい。この場合、第3層27は、リンおよび窒素以外の5価元素として、ヒ素およびアンチモンのいずれか一方または双方を含むことが好ましい。

[0325] 第3層27は、第3厚さT3を有している。第3厚さT3は、ベース厚さTB未満であることが好ましい。第3厚さT3は、第2厚さT2とほぼ等し

くてもよいし、第2厚さ T_2 以上であってもよいし、第2厚さ T_2 未満であってもよい。第3厚さ T_3 は、第1厚さ T_1 とほぼ等しくてもよいし、第1厚さ T_1 以上であってもよいし、第1厚さ T_1 未満であってもよい。

[0326] 第3厚さ T_3 は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。第3厚さ T_3 は、 $5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。第3厚さ T_3 は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0327] コラム領域12は、第3層27内に形成された第3領域28を含む。複数の第3領域28は、第3層27内において水平方向に間隔を空けて形成され、第3層27の一部からそれぞれなる n 型の複数の第3ドリフト領域29を区画している。複数の第3領域28は、複数の第3ドリフト領域29と共にチャージバランスを有する複数の第3 p n 接合部を形成している。

[0328] つまり、複数の第3領域28は、第3層27と第3スーパージャンクション構造SJ3を構成している。チャージバランスを有する状態は、互いに隣り合う複数の第3領域28に関して、一方の第3 p n 接合部から拡がる空乏層、および、他方の第3 p n 接合部から拡がる空乏層が、複数の第3ドリフト領域29内で接続される状態を意味する。

[0329] 複数の第3領域28は、積層方向に複数の第2領域15に重なるように第3層27内に形成されている。具体的には、複数の第3領域28は、第3層27内において第2配列方向 D_{a2} とは異なる第3配列方向 D_{a3} に間隔を空けて配列され、第2延在方向 D_{e2} とは異なる第3延在方向 D_{e3} に延びる帯状にそれぞれ形成されている。つまり、複数の第3領域28は第3延在方向 D_{e3} に延びるストライプ状に形成され、複数の第3ドリフト領域29は第3延在方向 D_{e3} に延びるストライプ状に形成されている。

[0330] 複数の第3領域28は、平面視において複数の第2領域15に交差している。したがって、複数の第3ドリフト領域29は、第2層9および第3層2

7の境界部において複数の第2ドリフト領域17に接続され、複数の第1ドリフト領域16および複数の第2ドリフト領域17と共に1つの立体格子状のドリフト領域13を形成している。複数の第3ドリフト領域29は、複数の第1ドリフト領域16および複数の第2ドリフト領域17と共に積層方向に延びる立体格子状の電流経路を形成する。

[0331] 第3配列方向Da3は、第1配列方向Da1と一致していてもよい。また、第3延在方向De3は、第1延在方向De1と一致していてもよい。つまり、複数の第3領域28は、平面視において複数の第1領域14と同一方向に延びていてもよい。この場合、複数の第3領域28は、積層方向に複数の第1領域14に1対1対応の関係で対向していてもよい。

[0332] むろん、複数の第3領域28は、複数の第1領域14から第1配列方向Da1にずれて配列され、積層方向に第1領域14および第1ドリフト領域16のいずれか一方または双方に対向していてもよい。むろん、第3配列方向Da3は、第1配列方向Da1と異なってもよい。また、第3延在方向De3は、第1延在方向De1と異なってもよい。つまり、複数の第3領域28は、平面視において複数の第1領域14に交差（たとえば直交）していてもよい。

[0333] 具体的な図示は省略されるが、複数の第3領域28は、この形態では、活性領域10から外周領域11に引き出されている。つまり、複数の第3領域28は、第3層27のうち活性領域10内に位置する部分から第3層27のうち外周領域11内に位置する部分に引き出されている。複数の第3領域28は、外周領域11においても第3配列方向Da3に間隔を空けて配列され、第3延在方向De3に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0334] さらに、複数の第3領域28は、外周領域11から第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。

[0335] 複数の第3領域28のうち第1側面5Aから露出した部分は第1側面5A

において複数の第3マーク（図示せず）を形成し、複数の第3領域28のうち第3側面5Cから露出した部分は第3側面5Cにおいて複数の第3マークを形成している。つまり、複数の第3領域28は、第1側面5Aから露出した露出部としての複数の第3マーク、および、第3側面5Cから露出した露出部としての複数の第3マークのいずれか一方または双方を含む。

[0336] 換言すると、複数の第3マークは、複数の第3領域28の一部（露出部）を利用してそれぞれ形成されている。複数の第3マークは、第1側面5A（第3側面5C）において複数の第3スペースを区画している。複数の第3マークおよび複数の第3スペースは、複数の第1マークM_{k1}および複数の第1スペースS_{p1}と同様のレイアウトで第1側面5A（第3側面5C）に形成される。

[0337] したがって、複数の第1マークM_{k1}（複数の第1スペースS_{p1}）の説明は、複数の第3マーク（複数の第3スペース）の説明に適用される。第1側面5A（第3側面5C）に対する複数の第3マークのレイアウト（露出箇所や配列方向）は、複数の第3領域28のレイアウト（第3配列方向D_{a3}や第3延在方向D_{e3}）によって適宜調節される。

[0338] 複数の第3マークは、必ずしも複数の第3領域28の本体部から連続して形成されている必要はなく、複数の第3領域28の本体部から分離された分離部として形成されていてもよい。この場合、複数の第3マークは、外周領域11において複数の第3領域28の本体部から分離されていることが好ましい。第3領域28に対する説明は、第3マーク（第3領域28のうち第1側面5A／第3側面5Cから露出した部分）にも適用される。

[0339] 複数の第3領域28は、断面視において第3層27内において第3軸チャネルCH₃に沿って延びるチャネリング領域（第3チャネリング領域）からなる。つまり、第3領域28は、第3層27内において低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域（第3軸チャネルCH₃）に対して平行にまたはほぼ平行に導入された不純物領域であり、第1主面3に対して傾斜して延びている。

- [0340] 複数の第3領域28は、第3層27の下端側の第3下端部28aおよび第3層27の上端側の第3上端部28bをそれぞれ有している。第3下端部28aは第3層27の厚さ範囲中間部に対して第3層27の下端側の領域に位置され、第3上端部28bは第3層27の厚さ範囲中間部に対して第3層27の上端側の領域に位置されている。つまり、複数の第3領域28は、第3軸チャネルCH3に沿って第3層27の中間部を横切る厚さ（深さ）を有する単一の不純物領域からそれぞれなる。
- [0341] 第3下端部28aは、第3層27の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第3層27の一部（下端部）を挟んで第2層9に対向していてもよい。第3下端部28aは、第3層27の下端とほぼ一致し、第2層9に接続されていてもよい。第3層27の下端および第3下端部28aの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第3層27の下端および第3下端部28aの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0342] 第3下端部28aは、第2層9および第3層27の境界部を横切り、第2層9内に位置する延部を有していてもよい。この場合、第2層9の上端を基準とする第3下端部28aの延部の厚さは、 $0\mu\text{m}$ を超えて $2\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第3下端部28aの延部の厚さは、 $0\mu\text{m}$ を超えて $0.5\mu\text{m}$ 以下、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下、および、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0343] 第3上端部28bは、第3層27の上端（つまり第1主面3）から下端側に間隔を空けて形成され、第3層27の一部（上端部）を挟んで第3層27の上端に対向していてもよい。第3上端部28bは、第3層27の上端（つまり第1主面3）から露出していてもよい。
- [0344] 第3層27の上端および第3上端部28bの間の距離は、 $0\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下であってもよい。第3層27の上端および第3上端部28bの間の距離

離は、 $0\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0345] 複数の第3領域28は、 $1 \times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。第3領域28のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）以上であってもよい。第3領域28のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）未満であってもよい。第3領域28のp型不純物濃度（ピーク値）は、第1領域14のp型不純物濃度（ピーク値）とほぼ等しいことが好ましい。

[0346] 第3領域28のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。第3領域28のp型不純物濃度は、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素によって調整されていることが特に好ましい。つまり、第3領域28は、ホウ素以外の3価元素（アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種）を含むことが好ましい。第3領域28のp型不純物濃度は、この形態では、アルミニウムによって調整されている。

[0347] 複数の第3領域28は、第3幅W3をそれぞれ有している。第3幅W3は、第3配列方向Da3に沿う幅である。第3幅W3は、第3層27の第3厚さT3未満であることが好ましい。むろん、第3幅W3は、第3厚さT3以上であってもよい。第3幅W3は、第1層8の第1厚さT1未満であることが好ましい。むろん、第3幅W3は、第1厚さT1以上であってもよい。第3幅W3は、第2層9の第2厚さT2未満であることが好ましい。むろん、第3幅W3は、第2厚さT2以上であってもよい。

[0348] 第3幅W3は、第1領域14の第1幅W1以上であってもよいし、第1幅W1未満であってもよい。第3幅W3は、第1幅W1とほぼ等しいことが好ましい。第3幅W3は、第2領域15の第2幅W2以上であってもよいし、第2幅W2未満であってもよい。第3幅W3は、第2幅W2とほぼ等しいこ

とが好ましい。

- [0349] 第3幅W3は、0.1 μm 以上5 μm 以下であってもよい。第3幅W3は、0.1 μm 以上0.25 μm 以下、0.25 μm 以上0.5 μm 以下、0.5 μm 以上0.75 μm 以下、0.75 μm 以上1 μm 以下、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第3幅W3は、0.5 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。
- [0350] 複数の第3領域28は、第3領域厚さTR3をそれぞれ有している。第3領域厚さTR3は、第3層27の第3厚さT3未満であってもよい。第3領域厚さTR3は、第3厚さT3よりも大きくてもよい。第3領域厚さTR3は、第3厚さT3とほぼ等しくてもよい。
- [0351] 第3領域厚さTR3は、第1層8の第1厚さT1未満であってもよい。第3領域厚さTR3は、第1厚さT1よりも大きくてもよい。第3領域厚さTR3は、第1厚さT1とほぼ等しくてもよい。第3領域厚さTR3は、第2層9の第2厚さT2未満であってもよい。第3領域厚さTR3は、第2厚さT2よりも大きくてもよい。第3領域厚さTR3は、第2厚さT2とほぼ等しくてもよい。
- [0352] 第3領域厚さTR3は、1 μm 以上であることが好ましい。第3領域厚さTR3は、5 μm 以下であることが好ましい。第3領域厚さTR3は、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0353] 第3幅W3が第3層27の第3厚さT3未満であり、第3領域厚さTR3が第3幅W3よりも大きいことが好ましい。つまり、複数の第3領域28は、第3軸チャネルCH3に沿って縦長柱状に延びる第3アスペクト比TR3

／ W_3 をそれぞれ有していることが好ましい。第3アスペクト比 TR_3/W_3 は、第3幅 W_3 に対する第3領域厚さ TR_3 の比である。この場合、第3領域厚さ TR_3 は、第3厚さ T_3 よりも大きいことが特に好ましい。たとえば、第3アスペクト比 TR_3/W_3 は、1を超えて100以下であってもよい。

[0354] 複数の第3領域28は、第3配列方向 Da_3 に第3ピッチ P_3 の間隔を空けて形成されている。第3ピッチ P_3 は、第3層27の第3厚さ T_3 未満であることが好ましい。むろん、第3ピッチ P_3 は、第3厚さ T_3 以上であってもよい。第3ピッチ P_3 は、第1層8の第1厚さ T_1 未満であることが好ましい。また、第3ピッチ P_3 は、第2層9の第2厚さ T_2 未満であることが好ましい。むろん、第3ピッチ P_3 は、第1厚さ T_1 以上であってもよい。また、第3ピッチ P_3 は、第2厚さ T_2 以上であってもよい。

[0355] 第3ピッチ P_3 は、第1ピッチ P_1 とほぼ等しくてもよいし、第1ピッチ P_1 とは異なってもよい。第3ピッチ P_3 は、第1ピッチ P_1 よりも大きくてもよいし、第1ピッチ P_1 よりも小さくてもよい。第3ピッチ P_3 は、第2ピッチ P_2 とほぼ等しくてもよいし、第2ピッチ P_2 とは異なってもよい。第3ピッチ P_3 は、第2ピッチ P_2 よりも大きくてもよいし、第2ピッチ P_2 よりも小さくてもよい。

[0356] 第3ピッチ P_3 は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。第3ピッチ P_3 は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。第3ピッチ P_3 は、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0357] その他、図13A～図13Eに示された濃度勾配の説明は、第3領域28の濃度勾配の説明に適用される。また、第1～第12形態例に示された第1

領域 1 4（第 1 層 8）や第 2 領域 1 5（第 2 層 9）の構成は、第 3 領域 2 8（第 3 層 2 7）の構成に適用される。

[0358] 図 3 4 は、第 1 2 形態例に係るコラム領域 1 2 を示す断面斜視図である。図 3 4 を参照して、積層部 7 は、この例では、第 2 層 9 の上に積層された S i C 単結晶性の n 型のトップ層 3 0 を含む。トップ層 3 0 は、コラム領域 1 2 から第 1 主面 3 を離間させるために形成されている。つまり、トップ層 3 0 は、第 1 主面 3 および複数の第 2 領域 1 5 の第 2 上端部 1 5 b の間の領域の少なくとも一部を形成する部分でもある。トップ層 3 0 は、第 2 層 9 の上端部を形成する部分であると見做されてもよい。

[0359] この例では、トップ層 3 0 が n 型の導電型を有しているが、トップ層 3 0 の導電型は第 1 主面 3 に形成されるデバイス構造物の性質に応じて適宜調整されることもできる。したがって、トップ層 3 0 の導電型は、必ずしも n 型に制限される必要はなく、p 型であってもよい。

[0360] トップ層 3 0 は、第 2 層 9 の上に積層されている。トップ層 3 0 は、水平方向に層状に延び、第 1 主面 3 を形成し、第 1 ～第 4 側面 5 A ～5 D の一部を形成している。トップ層 3 0 は、第 2 層 9 を起点に結晶成長されたエピタキシャル層（つまり S i C エピタキシャル層）からなる。

[0361] トップ層 3 0 は第 2 層 9 から連続的に結晶成長されているため、トップ層 3 0 の下端は第 2 層 9 の上端に一致している。トップ層 3 0 および第 2 層 9 の間の境界部は必ずしも視認できるものではなく、他の構成や要素から間接的に評価および／または判定され得る。トップ層 3 0 は、第 2 層 9 のオフ方向 θ_{off} およびオフ角 θ_{off} にほぼ一致したオフ方向 θ_{off} およびオフ角 θ_{off} を有している。

[0362] トップ層 3 0 は、積層方向に沿うトップ軸チャネル C H T を有している。トップ軸チャネル C H T は、トップ層 3 0 を構成する S i C 単結晶に関して原子間距離（原子間隔）が比較的広い領域（チャネル）であり、積層方向（結晶成長方向）に延びる結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれている。

[0363] つまり、トップ軸チャネル C H T は、原子列が疎である領域が積層方向に

延在し、平面視において水平方向の原子列（原子間距離／原子密度）が疎である領域である。トップ軸チャンネルC H Tは、結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域であることが好ましい。

[0364] トップ軸チャンネルC H Tは、この形態では、S i C単結晶のc軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域からなる。つまり、トップ軸チャンネルC H Tは、c軸に沿って延び、オフ方向D o f fおよびオフ角 θ o f fを有している。換言すると、トップ軸チャンネルC H Tは、鉛直軸からオフ方向D o f fに向けてオフ角 θ o f f分だけ傾斜している。

[0365] トップ層30のn型不純物濃度は、ベース層6のn型不純物濃度未満であることが好ましい。トップ層30は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。トップ層30のn型不純物濃度は、第1層8（第2層9）のn型不純物濃度とほぼ等しくてもよい。トップ層30のn型不純物濃度は、厚さ方向にほぼ一定であってもよい。むろん、トップ層30のn型不純物濃度は、積層方向（結晶成長方向）に向けて漸増および／または漸減する濃度勾配を有していてもよい。

[0366] トップ層30は、少なくとも1種の5価元素によって調整されたn型不純物濃度を有している。たとえば、トップ層30のn型不純物濃度は、窒素、リン、ヒ素、アンチモンおよびビスマスのうちの少なくとも1種によって調節されていてもよい。トップ層30は、リン以外の5価元素を含むことが好ましい。

[0367] トップ層30のn型不純物濃度は、少なくとも窒素によって調整されていることが好ましい。トップ層30が2種以上の5価元素を含む場合、トップ層30は、窒素および窒素以外の5価元素を含むことが好ましい。この場合、トップ層30は、リンおよび窒素以外の5価元素として、ヒ素およびアンチモンのいずれか一方または双方を含むことが好ましい。

[0368] トップ層30は、トップ厚さT Tを有している。トップ厚さT Tは、ベース厚さT B未満であることが好ましい。トップ厚さT Tは、第1厚さT 1（第2厚さT 2）未満であることが好ましい。むろん、トップ厚さT Tは、第

1 厚さ T_1 (第2 厚さ T_2) 以上であってもよい。

[0369] トップ厚さ T_T は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。トップ厚さ T_T は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $0.25\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.25\ \mu\text{m}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $0.75\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.75\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $3.5\ \mu\text{m}$ 以下、 $3.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下、および、 $4.5\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0370] 以下、活性領域 10 内に形成されるデバイス構造物の形態例が示される。図 35 は、活性領域 10 の一要部を示す平面図である。図 36 は、第1 形態例に係るゲート構造 35 を示す断面斜視図である。図 36 では、第1 基本形態に係るコラム領域 12 に第2 形態例に係るコラム領域 12 が適用された構成が例示されている。むろん、図 36 では、第1～第3 基本形態に係るコラム領域 12 のいずれか1つに第1～第12 形態例に係るコラム領域 12 のいずれか1つまたは複数が適用された構成が適用されてもよい。

[0371] 図 35 および図 36 を参照して、SiC 半導体装置 1A は、この形態では、活性領域 10 に形成されたデバイス構造物の一例としての M I S 構造 31 (Metal Insulator Semiconductor structure) を含む。M I S 構造 31 は、「電界効果トランジスタ構造」と称されてもよい。

[0372] ここでは、M I S 構造 31 が第2 層 9 (第1 主面 3) に形成された例が示される。前述のトップ層 30 が形成される場合、M I S 構造 31 はトップ層 30 (第1 主面 3) に形成される。この場合の形態は、以下の説明において必要に応じて「第2 層 9」を「トップ層 30」に置き換えることによって得られる。以下の構成は、SiC 半導体装置 1A の構成要素として説明されるが、M I S 構造 31 の構成要素でもある。

[0373] SiC 半導体装置 1A は、活性領域 10 に形成された p 型の複数のボディ領域 32 を含む。複数のボディ領域 32 は、積層方向に複数の第2 領域 15 に重なるように第1 主面 3 の表層部に形成されている。複数のボディ領域 3

2は、この形態では、積層方向に複数の第2領域15に1対1の対応関係で重なるように第2配列方向D a 2に間隔を空けて配列され、第2延在方向D e 2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。

[0374] この例では、第2配列方向D a 2がm軸方向（第2方向Y）であり、第2延在方向D e 2がa軸方向（第1方向X）である。むろん、複数のボディ領域32の配列方向および延在方向は、複数の第2領域15の第2配列方向D a 2および第2延在方向D e 2に応じて変更される。したがって、第2配列方向D a 2がa軸方向であり、第2延在方向D e 2がm軸方向であってもよい。また、第2配列方向D a 2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、第2延在方向D e 2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。

[0375] 複数の第2領域15が第1主面3から間隔を空けて形成されている場合、複数のボディ領域32は第1主面3および複数の第2領域15の第2上端部15 bの間の領域にそれぞれ形成される。複数のボディ領域32は、第2層9の厚さ範囲中間部に対して第1主面3側に形成され、第1主面3から露出していることが好ましい。複数のボディ領域32は、対応する第2領域15（第2上端部15 b）に接続されていることが好ましい。

[0376] 複数のボディ領域32は、直下の第2領域15よりも幅広にそれぞれ形成され、隣り合う複数の第2領域15から直下の第2領域15側に間隔を空けて形成されている。複数のボディ領域32は、第1主面3のうち隣り合う複数の第2領域15の間の領域から第2ドリフト領域17の一部を露出させている。

[0377] 複数のボディ領域32は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、複数のボディ領域32は、第2軸チャネルCH2に沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。複数のボディ領域32の厚さは、第1領域14の第1領域厚さTR1未満である。

- [0378] 複数のボディ領域 32 は、第 2 領域 15 等とは異なり、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部 22 を有さず、 $0.5\ \mu\text{m}$ の範囲に漸増部 20、ピーク部 21 および漸減部 23 を含む濃度勾配を有している。複数のボディ領域 32 は、 $1 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の p 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。
- [0379] 複数のボディ領域 32 の p 型不純物濃度は、少なくとも 1 種の 3 価元素によって調整されていることが好ましい。ボディ領域 32 の 3 価元素は、第 2 領域 15 等の 3 価元素と同一種であってもよいし、第 2 領域 15 等の 3 価元素と異なる種であってもよい。ボディ領域 32 の 3 価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも 1 種であってもよい。
- [0380] SiC 半導体装置 1A は、活性領域 10 において複数のボディ領域 32 の表層部にそれぞれ形成された n 型の 1 つまたは複数のソース領域 33 を含む。この形態では、各ボディ領域 32 の表層部に複数（この形態では 2 つ）のソース領域 33 が間隔を空けて形成されている。複数のソース領域 33 は、第 2 層 9（複数の第 2 ドリフト領域 17）の n 型不純物濃度よりも高い n 型不純物濃度を有している。複数のソース領域 33 は、 $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の n 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。
- [0381] 複数のソース領域 33 は、対応するボディ領域 32 の延在方向に沿って帯状にそれぞれ延びていてもよい。むろん、複数のソース領域 33 は、対応するボディ領域 32 の延在方向に沿って間隔を空けて形成されていてもよい。複数のソース領域 33 は、対応するボディ領域 32 の底部から第 1 主面 3 側に間隔を空けて形成され、対応するボディ領域 32 の周縁から内方に間隔を空けて形成されている。複数のソース領域 33 は、ボディ領域 32 の周縁部において複数の第 2 ドリフト領域 17 と共に第 1 主面 3 に沿うチャネル（電流経路）を区画している。
- [0382] SiC 半導体装置 1A は、活性領域 10 において複数のボディ領域 32 の

表層部にそれぞれ形成された p 型の 1 つまたは複数のコンタクト領域 3 4 を含む。コンタクト領域 3 4 は、「バックゲート領域」と称されてもよい。この形態では、各ボディ領域 3 2 の表層部において互いに隣り合う複数のソース領域 3 3 の間の領域に 1 つのコンタクト領域 3 4 が形成されている。

[0383] 複数のコンタクト領域 3 4 は、複数のボディ領域 3 2 の p 型不純物濃度（ピーク値）よりも高い p 型不純物濃度（ピーク値）を有している。複数のコンタクト領域 3 4 の p 型不純物濃度（ピーク値）は、複数の第 2 領域 1 5 の p 型不純物濃度（ピーク値）よりも高い。複数のコンタクト領域 3 4 は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下の p 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。

[0384] 複数のコンタクト領域 3 4 は、対応するボディ領域 3 2 の延在方向に沿って帯状にそれぞれ延びていてもよい。むろん、複数のコンタクト領域 3 4 は、対応するボディ領域 3 2 の延在方向に沿って間隔を空けて形成されていてもよい。複数のコンタクト領域 3 4 は、対応するボディ領域 3 2 の底部から第 1 主面 3 側に間隔を空けて形成され、対応するボディ領域 3 2 の周縁部から内方に間隔を空けて形成されている。

[0385] SiC 半導体装置 1 A は、活性領域 1 0 において第 1 主面 3 の上に配置されたプレーナ電極型の複数のゲート構造 3 5 を含む。ゲート構造 3 5 は、「プレーナゲート構造」と称されてもよい。複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に少なくとも 1 つのボディ領域 3 2（チャンネル）に重なるように第 1 主面 3 の上に間隔を空けて配列されている。複数のゲート構造 3 5 には、制御電位としてのゲート電位が付与される。複数のゲート構造 3 5 は、ゲート電位に応答してボディ領域 3 2 内におけるチャンネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。

[0386] 複数のゲート構造 3 5 は、この形態では、第 2 配列方向 D a 2 に間隔を空けて配列され、第 2 延在方向 D e 2 に延びる帯状にそれぞれ形成されている。この例では、第 2 配列方向 D a 2 が m 軸方向（第 2 方向 Y）であり、第 2 延在方向 D e 2 が a 軸方向（第 1 方向 X）である。

- [0387] むろん、複数のゲート構造 3 5 の配列方向および延在方向は、複数の第 2 領域 1 5（ボディ領域 3 2）の第 2 配列方向 D a 2 および第 2 延在方向 D e 2 に応じて変更される。したがって、第 2 配列方向 D a 2 が a 軸方向であり、第 2 延在方向 D e 2 が m 軸方向であってもよい。また、第 2 配列方向 D a 2 が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であり、第 2 延在方向 D e 2 が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。
- [0388] 複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 2 領域 1 5 から複数の第 2 ドリフト領域 1 7 側にずれて配置され、積層方向に複数の第 2 ドリフト領域 1 7 に 1 対 1 の対応関係で重なっている。複数のゲート構造 3 5 は、この形態では、隣り合う 2 つのボディ領域 3 2 に跨るようにそれぞれ配置され、一方および他方のボディ領域 3 2 内に位置された複数のソース領域 3 3 をそれぞれ被覆している。
- [0389] 複数のゲート構造 3 5 は、第 1 主面 3 の上に配置されたゲート絶縁膜 3 6、および、ゲート絶縁膜 3 6 の上に配置されたゲート電極 3 7 を含む積層構造をそれぞれ有している。ゲート絶縁膜 3 6 は、酸化シリコン膜を含んでもよい。ゲート電極 3 7 は、導電性ポリシリコンを含んでもよい。
- [0390] ゲート絶縁膜 3 6 およびゲート電極 3 7 のいずれか一方または双方は、積層方向に第 2 領域 1 5 に部分的に重なるように配置されていてもよい。むろん、ゲート絶縁膜 3 6 およびゲート電極 3 7 のいずれか一方または双方は、積層方向に第 2 領域 1 5 に部分的に重ならないように配置されていてもよい。
- [0391] 以下、外周領域 1 1 側の構成が示される。図 3 7 は、外周領域 1 1 の構成を示す斜視図である。図 3 8 A は、外周領域 1 1 の一要部を示す第 1 方向 X の断面図である。図 3 8 B は、外周領域 1 1 の一要部を示す第 2 方向 Y の断面図である。図 3 7 では、コラム領域 1 2 の図示が省略されている。
- [0392] S i C 半導体装置 1 A は、外周領域 1 1 において第 1 主面 3 の表層部に形成された少なくとも 1 つ（好ましくは 2 個以上 2 0 個以下）の p 型のフィールド領域 3 8 を含む。複数のフィールド領域 3 8 の個数は、典型的には、4

個以上8個以下である。複数のフィールド領域38は、電氣的に浮遊状態に形成され、第1主面3の周縁部においてチップ2内の電界を緩和する。フィールド領域38の個数、幅、深さ、p型不純物濃度等は任意であり、緩和すべき電界に応じて種々の値を取り得る。

[0393] 複数のフィールド領域38は、チップ2の周縁および活性領域10の間の領域に間隔を空けて形成されている。複数のフィールド領域38は、平面視において活性領域10に沿って延びる帯状に形成されている。複数のフィールド領域38は、第1方向Xに帯状に延びる部分、および、第2方向Yに帯状に延びる部分をそれぞれ有している。複数のフィールド領域38は、この形態では、平面視において活性領域10を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。

[0394] 複数のフィールド領域38は、外周領域11において積層方向にコラム領域12に重なっている。つまり、複数のフィールド領域38は、複数の第1領域14および複数の第2領域15の複数の交差部の上方の領域に形成されている。複数のフィールド領域38は、平面視において第1延在方向De1に延びる部分において複数の第2領域15に交差し、第2延在方向De2に延びる部分において複数の第1領域14に交差している。

[0395] 複数のフィールド領域38は、第2層9の下端から第1主面3側に間隔を空けて第2層9内に形成され、第2層9とpn接合部をそれぞれ形成している。複数のフィールド領域38は、第2層9の厚さ範囲中間部に対して第1主面3側に位置する底部を有していることが好ましい。複数のフィールド領域38の底部は、第2領域15の厚さ範囲中間部に対して第1主面3側に位置されていることが特に好ましい。

[0396] 複数のフィールド領域38の底部は、第2領域15の第2上端部15bの深さ位置よりも第2領域15の第2下端部15a側に位置されていてもよい。この場合、複数のフィールド領域38は、第2延在方向De2に沿って延びる部分において複数の第2領域15に接続されていてもよい。むろん、複数のフィールド領域38は、第2延在方向De2に沿って延びる部分におい

て複数の第2領域15から水平方向に間隔を空けて形成され、複数の第2領域15に接続されていなくてもよい。

[0397] たとえば、第1主面3および第2上端部15bの間の距離が十分に広い場合、複数のフィールド領域38の底部は第2領域15の第2上端部15bの深さ位置よりも第1主面3側に位置されていてもよい。むしろ、トップ層30が形成されている場合、複数のフィールド領域38の底部は第2領域15の第2上端部15bの深さ位置よりも第1主面3側に位置されていてもよい。

[0398] 複数のフィールド領域38は、複数のボディ領域32の厚さとほぼ等しい厚さを有していてもよい。この場合、複数のフィールド領域38は、複数のボディ領域32と同時に形成されることができる。むしろ、複数のフィールド領域38の厚さは、複数のボディ領域32の厚さよりも大きくてもよい。また、複数のフィールド領域38の厚さは、複数のボディ領域32の厚さよりも小さくてもよい。

[0399] 複数のフィールド領域38は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、複数のフィールド領域38は、第2軸チャネルCH2に沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。複数のフィールド領域38の厚さは、第1領域14の第1領域厚さTR1未満である。

[0400] 複数のフィールド領域38は、第2領域15等とは異なり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部22を有さず、 $0.5\mu\text{m}$ の範囲に漸増部20、ピーク部21および漸減部23を含む濃度勾配を有している。複数のフィールド領域38は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。

[0401] フィールド領域38のp型不純物濃度は、ボディ領域32のp型不純物濃度とほぼ等しくてもよい。むしろ、複数のフィールド領域38のp型不純物濃度は、複数のボディ領域32のp型不純物濃度も高くてもよい。また、複

数のフィールド領域 38 の p 型不純物濃度は、複数のボディ領域 32 の p 型不純物濃度よりも低くてもよい。

[0402] 複数のフィールド領域 38 の p 型不純物濃度は、少なくとも 1 種の 3 価元素によって調整されていることが好ましい。フィールド領域 38 の 3 価元素は、第 2 領域 15 等の 3 価元素と同一種であってもよいし、第 2 領域 15 等の 3 価元素と異なる種であってもよい。フィールド領域 38 の 3 価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも 1 種であってもよい。

[0403] 複数のフィールド領域 38 は、第 2 領域 15 の第 2 幅 W2（第 1 領域 14 の第 1 幅 W1）とは異なる幅を有していることが好ましい。つまり、複数のフィールド領域 38 による電界緩和効果は、コラム領域 12 から切り離して調節されることが好ましい。

[0404] 複数のフィールド領域 38 の幅は、第 2 領域 15 の第 2 幅 W2（第 1 幅 W1）よりも大きいことが特に好ましい。むしろ、複数のフィールド領域 38 の幅は、第 2 幅 W2（第 1 幅 W1）よりも小さくてもよい。また、コラム領域 12 の幅は、第 2 幅 W2（第 1 幅 W1）とほぼ等しくてもよい。

[0405] 複数のフィールド領域 38 は、第 2 領域 15 の第 2 ピッチ P2（第 1 領域 14 の第 1 ピッチ P1）とは異なるピッチで形成されていることが好ましい。複数のフィールド領域 38 のピッチは、第 2 ピッチ P2（第 1 ピッチ P1）よりも大きいことが特に好ましい。むしろ、複数のフィールド領域 38 のピッチは、第 2 ピッチ P2（第 1 ピッチ P1）よりも小さくてもよい。また、複数のフィールド領域 38 のピッチは、第 2 ピッチ P2（第 1 ピッチ P1）とほぼ等しくてもよい。

[0406] SiC 半導体装置 1A は、第 1 主面 3 を被覆する層間絶縁膜 40 を含む。層間絶縁膜 40 は、「絶縁膜」、「層間膜」、「中間絶縁膜」等と称されてもよい。層間絶縁膜 40 は、この形態では、第 1 絶縁膜 41 および第 2 絶縁膜 42 を含む積層構造を有している。第 1 絶縁膜 41 は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも 1 つを含んでい

てもよい。第1絶縁膜41は、チップ2（第2層9）の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが特に好ましい。

[0407] 第1絶縁膜41は、活性領域10および外周領域11において第1主面3を選択的に被覆している。第1絶縁膜41は、活性領域10においてゲート絶縁膜36外の領域を被覆し、ゲート絶縁膜36に接続されている。第1絶縁膜41は、外周領域11において複数のフィールド領域38を被覆している。

[0408] 第1絶縁膜41は、この形態では、第1主面3の周縁（第1～第4側面5A～5D）に連なっている。したがって、第1絶縁膜41は、第1主面3の周縁において複数の第2マークMk2（複数の第2領域15）に重なっている。むろん、第1絶縁膜41は、第1主面3の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第1主面3の周縁部から第2層9を露出させていてもよい。

[0409] 第2絶縁膜42は、第1絶縁膜41の上に積層されている。第2絶縁膜42は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも1つを含んでいてもよい。層間絶縁膜40は、酸化シリコン膜を含むことが好ましい。第2絶縁膜42は、活性領域10および外周領域11において第1絶縁膜41を挟んで第1主面3を被覆している。

[0410] 第2絶縁膜42は、活性領域10において複数のゲート構造35を被覆している。第2絶縁膜42は、外周領域11において第1絶縁膜41を挟んで複数のフィールド領域38を被覆している。第2絶縁膜42は、この形態では、第1主面3の周縁に連なっている。第2絶縁膜42は、第1主面3の周縁において第1絶縁膜41を挟んで複数の第2マークMk2（複数の第2領域15）に重なっていてもよい。むろん、第2絶縁膜42は、第1主面3の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第1絶縁膜41と共に第1主面3の周縁部を露出させていてもよい。

[0411] SiC半導体装置1Aは、層間絶縁膜40に形成された複数のコンタクト開口43を含む。複数のコンタクト開口43は、複数のゲート構造35（ゲート電極37）を露出させる複数のコンタクト開口43（図示略）、および

、複数のソース領域 33 を露出させる複数のコンタクト開口 43 を含む。ソース領域 33 用の複数のコンタクト開口 43 は、隣り合う複数のゲート構造 35 の間の領域に形成され、複数のソース領域 33 および複数のコンタクト領域 34 を露出させている。

[0412] 図 1 を参照して、SiC 半導体装置 1A は、層間絶縁膜 40 の上に配置されたゲートパッド 45 を含む。ゲートパッド 45 は、外部からゲート電位が付与される電極である。ゲートパッド 45 は、「ゲートパッド電極」、「第 1 パッド電極」等と称されてもよい。ゲートパッド 45 は、層間絶縁膜 40 側からこの順に積層された Ti 系金属膜および Al 系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。

[0413] ゲートパッド 45 は、この形態では、層間絶縁膜 40 のうち活性領域 10 を被覆する部分の上に配置されている。ゲートパッド 45 は、外周領域 11 から活性領域 10 側に間隔を空けて配置されていてもよい。ゲートパッド 45 は、この形態では、平面視において活性領域 10 の周縁部に配置されている。

[0414] 図 1 では、ゲートパッド 45 が活性領域 10 の周縁部において第 1 側面 5A の中央部に沿う領域に配置された例が示されている。むろん、ゲートパッド 45 は、第 1 ～第 4 側面 5A ～5D の中央部のいずれかに沿う領域に配置されていてもよい。むろん、ゲートパッド 45 は、平面視において活性領域 10 の任意の角部に配置されていてもよい。また、ゲートパッド 45 は、平面視において活性領域 10 の中央部に配置されていてもよい。ゲートパッド 45 は、この形態では、平面視において四角形状に形成されている。

[0415] SiC 半導体装置 1A は、ゲートパッド 45 から層間絶縁膜 40 の上に引き出された少なくとも 1 つ（この形態では複数）のゲート配線 46 を含む。ゲート配線 46 は、「配線」、「配線電極」等と称されてもよい。複数のゲート配線 46 は、層間絶縁膜 40 側からこの順に積層された Ti 系金属膜および Al 系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。複数のゲート配線 46 は、この形態では、第 1 ゲート配線 46A および第 2 ゲート配線 46B を

含む。

- [0416] 第1ゲート配線46Aは、ゲートパッド45から第2側面5B側に向けて引き出され、複数のゲート構造35の一部（具体的には一端部）に交差（具体的には直交）するように活性領域10の周縁に沿ってライン状に延びている。第1ゲート配線46Aは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35の一端部に電氣的に接続されている。
- [0417] 第2ゲート配線46Bは、ゲートパッド45から第4側面5D側に向けて引き出され、複数のゲート構造35の一部（具体的には他端部）に交差（具体的には直交）するように活性領域10の周縁に沿ってライン状に延びている。第2ゲート配線46Bは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35の他端部に電氣的に接続されている。
- [0418] SiC半導体装置1Aは、ゲートパッド45およびゲート配線46から間隔を空けて層間絶縁膜40の上に配置されたソースパッド47を含む。ソースパッド47は、外部からソース電位が付与される電極である。ソースパッド47は、「ソースパッド電極」、「第2パッド電極」等と称されてもよい。ソースパッド47は、層間絶縁膜40側からこの順に積層されたTi系金属膜およびAl系金属膜を含む積層構造を有していてもよい。
- [0419] ソースパッド47は、層間絶縁膜40のうち活性領域10を被覆する部分の上に配置されている。ソースパッド47は、外周領域11から活性領域10側に間隔を空けて配置されていてもよい。ソースパッド47は、この形態では、平面視においてゲートパッド45に沿って窪んだ凹部を有する多角形状に形成されている。むろん、ソースパッド47は、平面視において四角形状に形成されていてもよい。
- [0420] ソースパッド47は、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のボディ領域32、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34に電氣的に接続されている。つまり、ソースパッド47は、

複数のボディ領域 3 2 を介してコラム領域 1 2 に電氣的に接続されている。

[0421] SiC 半導体装置 1 A は、第 2 主面 4 を被覆するドレインパッド 4 8 を含む。ドレインパッド 4 8 は、外部からドレイン電位が付与される電極である。ドレインパッド 4 8 は、「ドレインパッド電極」、「第 3 パッド電極」と称されてもよい。ドレインパッド 4 8 は、第 2 主面 4 から露出したベース層 6 とオーミック接触を形成している。つまり、ドレインパッド 4 8 は、ベース層 6 を介して第 1 層 8（複数の第 1 ドリフト領域 1 6）および第 2 層 9（複数の第 2 ドリフト領域 1 7）に電氣的に接続されている。

[0422] ドレインパッド 4 8 は、チップ 2 の周縁（第 1 ～第 4 側面 5 A ～ 5 D）に連なるように第 2 主面 4 の全域を被覆していてもよい。ドレインパッド 4 8 は、チップ 2 の周縁部を露出させるように、チップ 2 の周縁から内方に間隔を空けて第 2 主面 4 を被覆していてもよい。

[0423] ソースパッド 4 7 およびドレインパッド 4 8 の間（第 1 主面 3 および第 2 主面 4 の間）に印加可能なブレイクダウン電圧は、500V 以上 3000V 以下であってもよい。ブレイクダウン電圧は、500V 以上 1000V 以下、1000V 以上 1500V 以下、1500V 以上 2000V 以下、2000V 以上 2500V 以下、および、2500V 以上 3000V 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0424] 2 層構造を有する積層部 7 が採用される場合、ブレイクダウン電圧は 500V 以上 1000V 以下、1000V 以上 1500V 以下、および、1500V 以上 2000V 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されることが好ましい。3 層構造を有する積層部 7 が採用される場合、ブレイクダウン電圧は 1000V 以上 1500V 以下、1500V 以上 2000V 以下、2000V 以上 2500V 以下、および、2500V 以上 3000V 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されることが好ましい。

[0425] 図 3 9 は、第 2 形態例に係るゲート構造 3 5 を示す断面斜視図である。第 1 形態例に係る複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 2 領域 1 5 の第 2 延在方向 D e 2 に沿って延びていた。これに対して、第 2 形態例に係る複数のゲー

ト構造 3 5 は、複数の第 2 領域 1 5 に交差するように第 2 延在方向 D_{e2} 以外の方向に延びている。

[0426] 前述の複数のボディ領域 3 2 は、この形態では、積層方向に複数の第 2 領域 1 5 に交差するように第 2 延在方向 D_{e2} 以外の方向に延びている。複数のボディ領域 3 2 は、この形態では、第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 D_{a1} に間隔を空けて配列され、第 1 領域 1 4 の第 1 延在方向 D_{e1} に延びている。つまり、複数のボディ領域 3 2 は、複数の第 2 領域 1 5 に直交している。この例では、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向（第 1 方向 X ）であり、第 1 延在方向 D_{e1} が m 軸方向（第 2 方向 Y ）である。

[0427] 複数のボディ領域 3 2 は、積層方向に複数の第 1 領域 1 4 に 1 対 1 対応の関係で対向していてもよい。むしろ、各ボディ領域 3 2 は、積層方向に複数の第 1 領域 1 4 に対向していてもよい。複数のボディ領域 3 2 は、積層方向に複数の第 1 ドリフト領域 1 6 に 1 対 1 対応の関係で対向していてもよい。

[0428] むろん、各ボディ領域 3 2 は、積層方向に複数の第 1 ドリフト領域 1 6 に対向していてもよい。複数のボディ領域 3 2 は、複数の第 1 領域 1 4 から第 1 配列方向 D_{a1} にずれて配列され、積層方向に第 1 領域 1 4 および第 1 ドリフト領域 1 6 のいずれか一方または双方に対向していてもよい。

[0429] むろん、複数のボディ領域 3 2 の配列方向および延在方向は、複数の第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 D_{a1} および第 1 延在方向 D_{e1} に応じて変更される。したがって、第 1 配列方向 D_{a1} が m 軸方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向であってもよい。また、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。

[0430] むろん、複数のボディ領域 3 2 の配列方向は、第 1 配列方向 D_{a1} および第 2 配列方向 D_2 以外の方向であってもよい。また、複数のボディ領域 3 2 の延在方向は、第 1 延在方向 D_{e1} および第 2 延在方向 D_{e2} 以外の方向であってもよい。つまり、複数のボディ領域 3 2 は、平面視において複数の第 1 領域 1 4 および複数の第 2 領域 1 5 の双方に交差していてもよい。この場

合、複数のボディ領域 3 2 の配列方向が a 軸方向および m 軸方向の一方であり、複数のボディ領域 3 2 の延在方向が a 軸方向および m 軸方向の他方である形態は妨げられない。

[0431] たとえば、ボディ領域 3 2 の延在方向および第 2 延在方向 D_{e2} の間の角度（絶対値）は、 0° を超えて 90° 以下であってもよい。ボディ領域 3 2 の角度（絶対値）は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 以下のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。ボディ領域 3 2 の角度（絶対値）は、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されてもよい。

[0432] 前述の複数のソース領域 3 3 および複数のコンタクト領域 3 4 は、対応するボディ領域 3 2 の延在方向に沿って形成され、積層方向に対応するボディ領域 3 2 の一部を挟んで複数の第 2 領域 1 5 および複数の第 2 ドリフト領域 1 7 にそれぞれ対向している。

[0433] 複数のゲート構造 3 5 は、この形態では、第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 D_{a1} に間隔を空けて配列され、第 1 領域 1 4 の第 1 延在方向 D_{e1} に延びている。つまり、複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 2 領域 1 5 に直交している。この例では、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向（第 1 方向 X）であり、第 1 延在方向 D_{e1} が m 軸方向（第 2 方向 Y）である。

[0434] 複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 領域 1 4 に 1 対 1 対応の関係で対向していてもよい。むろん、各ゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 領域 1 4 に対向していてもよい。複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 ドリフト領域 1 6 に 1 対 1 対応の関係で対向していてもよい。

[0435] むろん、各ゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 1 ドリフト領域 1 6 に対向していてもよい。複数のゲート構造 3 5 は、複数の第 1 領域 1 4 から第 1 配列方向 D_{a1} にずれて配列され、積層方向に第 1 領域 1 4 および第 1 ドリフト領域 1 6 のいずれか一方または双方に対向していてもよい。

[0436] むろん、複数のゲート構造 3 5 の配列方向および延在方向は、複数の第 1

領域 1 4（ボディ領域 3 2）の第 1 配列方向 D_{a1} および第 1 延在方向 D_{e1} に応じて変更される。したがって、第 1 配列方向 D_{a1} が m 軸方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向であってもよい。また、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。

[0437] むろん、複数のゲート構造 3 5 の配列方向は、第 1 配列方向 D_{a1} および第 2 配列方向 D_2 以外の方向であってもよい。また、複数のゲート構造 3 5 の延在方向は、第 1 延在方向 D_{e1} および第 2 延在方向 D_{e2} 以外の方向であってもよい。つまり、複数のゲート構造 3 5 は、平面視において複数の第 1 領域 1 4 および複数の第 2 領域 1 5 の双方に交差していてもよい。この場合、複数のゲート構造 3 5 の配列方向が a 軸方向および m 軸方向の一方であり、複数のゲート構造 3 5 の延在方向が a 軸方向および m 軸方向の他方である形態は妨げられない。

[0438] たとえば、ゲート構造 3 5 の延在方向および第 2 延在方向 D_{e2} の間の角度（絶対値）は、 0° を超えて 90° 以下であってもよい。ゲート構造 3 5 の角度（絶対値）は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 以下のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。ゲート構造 3 5 の角度（絶対値）は、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されてもよい。

[0439] 複数のゲート構造 3 5 は、この形態では、隣り合う 2 つのボディ領域 3 2 に跨るようにそれぞれ配置され、一方および他方のボディ領域 3 2 内に位置された複数のソース領域 3 3 をそれぞれ被覆している。また、複数のゲート構造 3 5 は、積層方向に複数の第 2 領域 1 5（第 2 領域 1 5）および複数の第 2 ドリフト領域 1 7 にそれぞれ対向している。

[0440] 図 4 0 は、SiC 半導体装置 1 A の製造に使用されるウエハ 5 0 を示す概略図である。ウエハ 5 0 は、ベース層 6 の基材であり、SiC 単結晶を含む。ウエハ 5 0 は、扁平な円盤状に形成されている。むろん、ウエハ 5 0 は、

扁平な直方体形状に形成されていてもよい。ウエハ50は、一方側の第1ウエハ主面51、他方側の第2ウエハ主面52、ならびに、第1ウエハ主面51および第2ウエハ主面52を接続するウエハ側面53を有している。

[0441] 第1ウエハ主面51はベース層6の上端に対応し、第2ウエハ主面52はベース層6の下端に対応している。第1ウエハ主面51および第2ウエハ主面52は、SiC単結晶のc面によって形成されている。第1ウエハ主面51はSiC単結晶のシリコン面によって形成され、第2ウエハ主面52はSiC単結晶のカーボン面によって形成されている。ウエハ50（第1ウエハ主面51および第2ウエハ主面52）は、前述のオフ方向 $\Delta\theta$ およびオフ角 θ を有している。

[0442] ウエハ50は、ウエハ側面53においてSiC単結晶の結晶方位を示す目印54を有している。目印54は、オリエンテーションフラットおよびオリエンテーションノッチのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。オリエンテーションフラットは、平面視において直線状に切り欠かれた切り欠き部からなる。オリエンテーションノッチは、平面視において第1ウエハ主面51の中央部に向けて凹形状（たとえば先細り形状）に切り欠かれた切り欠き部からなる。

[0443] 目印54は、m軸方向に延びる第1のオリエンテーションフラット、および、a軸方向に延びる第2のオリエンテーションフラットのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。目印54は、m軸方向に窪んだオリエンテーションノッチ、および、a軸方向に窪んだオリエンテーションノッチのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。図40では、平面視においてa軸方向に延びるオリエンテーションフラットが示されている。

[0444] ウエハ50は、第1ウエハ主面51に付されたウエハID57を含む。ウエハID57は、プロセス管理のためにウエハ50毎に付された識別標識（型番）である。ウエハID57は、バーコード、QRコード（登録商標）、文字、数字および記号のうちの少なくとも1つを含む。図40では、ウエハID57が、アルファベット（ABC）、数字（1245）、ならびに、ア

ルファベットおよび数字を接続する記号（ハイフン）を含む例が示されている。

[0445] むろん、ウエハ 1 D 5 7 は、図形、ロゴマーク、絵等を含んでいてもよい。むろん、ウエハ 1 D 5 7 は、ウエハ 5 0 に関する任意の情報を含んでいてもよい。たとえば、ウエハ 1 D 5 7 は、ウエハ 5 0 のサイズ、形状、製造年月日等のウエハ 5 0 の仕様に関する種々の情報を含んでいてもよい。むろん、ウエハ 5 0 に関する種々の情報は、バーコードや QR コード（登録商標）等に含まれていてもよい。

[0446] ウエハ 1 D 5 7 は、第 1 ウエハ主面 5 1 に形成された複数の刻印によって構成されていてもよい。たとえば、ウエハ 1 D 5 7 は、ドット状に配列された複数の刻印の集合体によって構成されていてもよい。複数の刻印は、レーザ光を第 1 ウエハ主面 5 1 に照射することによって形成されたレーザ照射痕であってもよい。

[0447] 複数の刻印は、ニードル等によって第 1 ウエハ主面 5 1 を溝状に切り欠いた切り欠き痕であってもよい。複数の刻印は、第 1 ウエハ主面 5 1 を溝状にエッチングすることによって形成されたエッチング加工痕であってもよい。ウエハ 1 D 5 7 は、インク等によって第 1 ウエハ主面 5 1 にプリントされていてもよい。

[0448] ウエハ 1 D 5 7 は、第 1 ウエハ主面 5 1 の周縁部に設けられている。ウエハ 1 D 5 7 は、この形態では、第 1 ウエハ主面 5 1 の周縁部において目印 5 4 から間隔を空けて目印 5 4 の近傍に配置されている。ウエハ 1 D 5 7 の少なくとも一部は、水平方向に目印 5 4 に対向していることが好ましい。

[0449] たとえば、目印 5 4 がオリエンテーションフラットを含む場合、ウエハ 1 D 5 7 はオリエンテーションフラットを下線として当該オリエンテーションフラットに沿って形成されていてもよい。たとえば、目印 5 4 がオリエンテーションノッチを含む場合、ウエハ 1 D 5 7 は第 1 方向 X または第 2 方向 Y にオリエンテーションノッチに対向していてもよい。むろん、ウエハ 1 D 5 7 はオリエンテーションノッチから第 1 方向 X および第 2 方向 Y の双方に交

差する方向に間隔を空けて形成され、第1方向Xおよび第2方向Yの双方に交差する方向にオリエンテーションノッチに対向していてもよい。

[0450] たとえば、ウエハ50には、アライメントマーク等によって複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56が設定される。各デバイス領域55は、SiC半導体装置1Aに対応する領域である。複数のデバイス領域55は、平面視において四角形状にそれぞれ設定されている。

[0451] 複数のデバイス領域55は、この形態では、平面視において第1方向Xおよび第2方向Yに沿って行列状に設定される。複数のデバイス領域55は、平面視において第1ウエハ主面51の周縁から内方に間隔を空けてそれぞれ設定されている。複数のデバイス領域55は、ウエハID57外の領域に設定され、水平方向にウエハID57を挟んで目印54に対向している。複数の切断予定ライン56は、複数のデバイス領域55を区画するように第1方向Xおよび第2方向Yに沿って延びる格子状に設定されている。

[0452] 図41は、SiC半導体装置1Aの製造方法例を示すフローチャートである。図42A～図42Hは、SiC半導体装置1Aの製造方法例を示す断面斜視図である。図42A～図42Hは、1つのデバイス領域55の活性領域10の一部の断面斜視図を示している。

[0453] まず、図42Aを参照して、前述のウエハ50の用意工程が実施される（図41のステップS1）。次に、n型のバッファ層26（図31および図32参照）の形成工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS2）。バッファ層26が形成される場合（図41のステップS2：YES）、バッファ層26が、エピタキシャル成長法によって第1ウエハ主面51（ウエハ50）を起点に形成される（図41のステップS3）。バッファ層26の形成工程が実施されない場合（図41のステップS2：NO）、この工程は省略される。

[0454] 次に、図42Bを参照して、n型の第1層8の形成工程が実施される（図41のステップS4）。バッファ層26の形成工程が省略された場合、第1層8は、エピタキシャル成長法によって第1ウエハ主面51（ウエハ50）

を起点に形成される。これにより、ウエハ50およびエピタキシャル層としての第1層8を含むエピタキシャルウエハが形成される。

[0455] バッファ層26が形成された場合、第1層8は、エピタキシャル成長法によってバッファ層26を起点に形成される。これにより、ウエハ50、エピタキシャル層としてのバッファ層26、および、エピタキシャル層としての第1層8を含むエピタキシャルウエハが形成される。この場合、第1層8は、バッファ層26の形成工程後、バッファ層26の形成工程を利用してバッファ層26から連続的に結晶成長されることによって形成されてもよい。

[0456] 次に、第1層8の結晶方位の測定工程が実施される（図41のステップS5）。第1層8の結晶方位は、第1層8のオフ角 θ_{off} を測定する工程を含む。つまり、この工程は、第1層8の第1軸チャンネルCH1の結晶方位を測定する工程を含む。

[0457] ウエハ50は結晶塊であるインゴット（SiCインゴット）から切り出されるが、プロセス誤差に起因してオフ角 θ_{off} に誤差が生じるリスクがある。ウエハ50のオフ角 θ_{off} に誤差が生じた場合、第1層8のオフ角 θ_{off} にもプロセス誤差が生じ、チャネリング注入工程時の障害になる。したがって、チャネリング注入工程に先立ってオフ角 θ_{off} のデータ（情報）が取得され、当該オフ角 θ_{off} のデータ（情報）に基づいてチャネリング注入工程が実施されることが好ましい。

[0458] 第1層8のオフ角 θ_{off} は、ウエハ50のオフ角 θ_{off} およびバッファ層26のオフ角 θ_{off} にほぼ一致している。したがって、結晶方位の測定工程は、第1層8の形成工程に先立ってウエハ50またはバッファ層26に対して実施されてもよい。ただし、正確を期す観点から、結晶方位の測定工程は第1層8に対して実施されることが好ましい。

[0459] 次に、図42Cを参照して、所定パターンを有する第1マスク60の形成工程が実施される（図41のステップS6）。第1マスク60は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第1マスク60は、第1層8の上端の上に配置され、第1層8において複数の第1領域14を形成すべき

領域を露出させる複数の第1開口61を有している。

- [0460] 具体的には、複数の第1開口61は、第1層8の上端の全面において、第1配列方向Da1に間隔を空けて形成され、第1延在方向De1に延びる帯状にそれぞれ区画される。つまり、複数の第1開口61は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向De1に横切り、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56をストライプ状に露出させている。複数の第1開口61は、各デバイス領域55において、第1層8の上端うち活性領域10内に位置する部分および外周領域11内に位置する部分の双方を露出させている。
- [0461] 次に、図42Dを参照して、複数の第1領域14の形成工程が実施される（図41のステップS7）。複数の第1領域14の形成工程は、第1層8に対する3価元素（p型不純物）のチャネリング注入工程を含む。第1層8（ウエハ50）は、第1ウエハ主面51に対して所定のオフ方向Doffに所定の角度で傾斜したオフ角 θ_{off} を有している。チャネリング注入工程は、オフ角 θ_{off} のデータ（情報）に基づいて実施される。
- [0462] ランダム注入法では、第1軸チャンネルCH1（オフ角 θ_{off} ）に交差する方向に3価元素が所定の注入エネルギーで第1層8に導入される（図14も併せて参照）。たとえば、ランダム注入法では、第1層8の上端（第1ウエハ主面51）に垂直な鉛直方向Zに沿って3価元素が注入される。
- [0463] ランダム注入法の場合、平面視において原子列が比較的密である方向に沿って3価元素が導入されるため、3価元素は比較的浅い深さ位置において原子列に衝突する。そのため、第1層8の比較的深い深さ位置に対する3価元素の導入が原子列によって阻害される。その結果、緩慢部22を有さない第1領域14が形成される（図14も併せて参照）。
- [0464] 一方、チャネリング注入法では、第1層8に対する3価元素の注入角度が制御され、第1軸チャンネルCH1（この形態ではSiC単結晶のc軸）に沿って3価元素が所定の注入エネルギーで第1層8に導入される（図13A～図13Eも併せて参照）。この場合、第1層8に対する3価元素の注入角度、

および、3価元素の注入角度に対する第1層8の傾斜角度のいずれか一方または双方が調節される。

[0465] たとえば、ウエハ50が水平に支持され、3価元素が第1軸チャンネルCH1に沿って第1層8に導入されてもよい。むしろ、ウエハ50が水平に対してオフ角 θ off分だけ傾斜した状態で支持され、3価元素が第1軸チャンネルCH1に沿って第1層8に導入されてもよい。3価元素の注入エネルギーおよび3価元素の注入温度（ウエハ50の温度）の任意の組み合わせによって、所定の厚さを有する複数の第1領域14が所定の深さ位置に形成される（図13A～図13Eも併せて参照）。

[0466] 3価元素の注入エネルギーは、100KeV以上2000KeV以下であってもよい。注入エネルギーは、100KeV以上250KeV以下、250KeV以上500KeV以下、500KeV以上750KeV以下、750KeV以上1000KeV以下、1000KeV以上1250KeV以下、1250KeV以上1500KeV以下、1500KeV以上1750KeV以下、および、1750KeV以上2000KeV以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0467] 3価元素の注入温度は、0℃以上1500℃以下の範囲で調整されてもよい。注入温度は、0℃以上25℃以下、25℃以上50℃以下、50℃以上100℃以下、100℃以上250℃以下、250℃以上500℃以下、500℃以上750℃以下、750℃以上1000℃以下、1000℃以上1250℃以下、および、1250℃以上1500℃以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0468] 3価元素の注入角度は、第1軸チャンネルCH1に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（0°）として±2°の範囲内に設定されることが好ましい。3価元素の注入角度は、第1軸チャンネルCH1に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（0°）として±1°の範囲内に設定されることが特に好ましい。

[0469] チャネリング注入法の場合、3価元素が平面視において原子列が比較的疎

である第1軸チャネルCH1に沿って導入される。3価元素は、チャネリング効果によって小角散乱を繰り返しながら第1軸チャネルCH1内を進行し、第1層8の比較的深い深さ位置まで到達する。つまり、チャネリング注入法の場合、SiC単結晶の原子列に対する3価元素の衝突確率が低減される。

[0470] この場合、炭素よりも重たい重元素に属する3価元素が第1層8に導入されることが好ましい。つまり、3価元素は、ホウ素以外の3価元素（アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種）であることが好ましい。3価元素は、この形態では、アルミニウムである。

[0471] 第1延在方向De1は、a軸方向またはm軸方向であってもよい。第1延在方向De1は、a軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。第1延在方向De1がm軸方向に一致している場合（図8A等も併せて参照）、3価元素は第1配列方向Da1に沿う断面視において複数の第1開口61を介して第1層8の上端に対してほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜して第1層8内に導入される。

[0472] 第1延在方向De1がa軸方向（オフ方向Doff）に一致している場合（図10A等も併せて参照）、3価元素は第1配列方向Da1に沿う断面視において複数の第1開口61を介して第1層8の上端に対してほぼ垂直に第1層8内に導入される。したがって、複数の第1領域14が傾斜した姿勢で第1層8内に形成されることが抑制される。また、複数の第1開口61の壁面が3価元素の入射経路に対する遮蔽物となることが抑制される。

[0473] 第1延在方向De1がa軸方向およびm軸方向以外の方向である場合（図12A～図12C等も併せて参照）、SiC単結晶の結晶方位に対する複数の第1領域14のアライメントずれを厳密に制御する必要がなくなる。

[0474] 3価元素の注入工程後、アニール法によって、3価元素が電気的に活性化されると同時に、第1層8に生じた格子欠陥等が修復されてもよい。第1層8に対するアニール温度は、500℃以上2000℃以下であってもよい。これにより、複数の第1領域14が形成されると同時に、第1スーパーチャ

ンクション構造S J 1 が形成される。

- [0475] 複数の第1領域14は、第1層8の全域に渡って第1配列方向D a 1に間隔を空けて配列され、かつ、第1延在方向D e 1に帯状に延びるようにそれぞれ形成される。つまり、複数の第1領域14は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向D e 1に横切るようにストライプ状に形成される。複数の第1領域14の形成工程後、第1マスク60は除去される。
- [0476] 次に、第1層8の厚さ調節工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS8）。第1層8の厚さが調節される場合（図41のステップS8：YES）、第1層8が上端側から薄化される（図41のステップS9）。
- [0477] 厚さ調節工程（薄化工程）は、研削法によって第1層8の上端部を部分的に除去する工程を含んでもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。厚さ調節工程は、エッチング法によって第1層8の上端部を部分的に除去する工程を含んでもよい。エッチング法は、ウエットエッチング法および／またはドライエッチング法であってもよい。
- [0478] 厚さ調節工程は、第1層8の上端から複数の第1領域14を露出させる工程を含んでもよい（図27～図30等も併せて参照）。つまり、厚さ調節工程は、複数の第1領域14の第1漸増部20Aの一部または全部を取り除く工程を含んでもよい。厚さ調節工程が実施されない場合（図41のステップS8：NO）、この工程は省略される。
- [0479] 次に、複数の中間領域25（図25および図26も併せて参照）の形成工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS10）。複数の中間領域25が形成される場合（図41のステップS10：YES）、第1層8の表層部に複数の中間領域25が形成される（図41のステップS11）。
- [0480] 複数の中間領域25の形成工程は、所定パターンを有するマスク（図示せ

ず)を第1層8の上端の上に配置する工程を含む。マスク(図示せず)は、有機マスク(レジストマスク)であることが好ましい。マスク(図示せず)は、第1層8において複数の第1領域14が形成された領域をそれぞれ露出させる複数の開口を有している。

[0481] 具体的には、複数の開口は、第1層8の上端の全面において、第1配列方向D a 1に間隔を空けて形成され、第1延在方向D e 1に延びる帯状にそれぞれ区画される。つまり、複数の開口は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向D e 1に横切り、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56をストライプ状に露出させている。複数の開口は、各デバイス領域55において、第1層8の上端うち活性領域10内に位置する部分および外周領域11内に位置する部分の双方を露出させている。

[0482] 複数の中間領域25の形成工程は、マスク(図示せず)を介するランダム注入法によって、第1軸チャネルC H 1(オフ角 θ o f f)に交差する方向に3価元素を所定の注入エネルギーで第1層8に導入する工程を含む(図14も併せて参照)。3価元素は、第1層8内に1回または複数回導入されてもよい。3価元素が複数回導入される場合、3価元素は複数の注入エネルギーで第1層8の異なる深さ位置に多段階的に導入されてもよい。

[0483] 複数の中間領域25は、第1層8の全域に渡って第1配列方向D a 1に間隔を空けて配列され、かつ、第1延在方向D e 1に帯状に延びるようにそれぞれ形成される。つまり、複数の中間領域25は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第1延在方向D e 1に横切るようにストライプ状に形成される。複数の中間領域25の形成工程後、マスク(図示せず)は除去される。

[0484] 前述の第1層8の厚さ調節工程が実施されない場合、複数の中間領域25の形成工程は、複数の第1領域14の形成工程から連続的に実施されてもよい。この場合、前述の第1マスク60を利用して複数の中間領域25が形成されてもよい。

- [0485] 次に、図4 2 Eを参照して、第2層9の形成工程が実施される（図4 1のステップS 1 2）。第2層9は、エピタキシャル成長法によって第1層8を起点に形成される。この後、図4 1のステップS 4と同様の方法によって、第2層9の結晶方位（オフ角 θ o f f）の測定工程が実施されてもよい。
- [0486] 次に、図4 2 Fを参照して、所定パターンを有する第2マスク6 2の形成工程が実施される（図4 1のステップS 1 3）。第2マスク6 2は、有機マスク（レジストマスク）であることが好ましい。第2マスク6 2は、第2層9の上端の上に配置され、第2層9において複数の第2領域1 5を形成すべき領域を露出させる複数の第2開口6 3を有している。
- [0487] 具体的には、複数の第2開口6 3は、第2層9の上端の全面において、第1配列方向D a 1とは異なる第2配列方向D a 2に間隔を空けて形成され、第1延在方向D e 1とは異なる第2延在方向D e 2に延びる帯状にそれぞれ区画される。つまり、複数の第2開口6 3は、複数のデバイス領域5 5および複数の切断予定ライン5 6を第2延在方向D e 2に横切り、複数のデバイス領域5 5および複数の切断予定ライン5 6をストライプ状に露出させている。複数の第2開口6 3は、各デバイス領域5 5において、第2層9の上端うち活性領域1 0内に位置する部分および外周領域1 1内に位置する部分の双方を露出させている。
- [0488] 次に、図4 2 Gを参照して、複数の第2領域1 5の形成工程が実施される（図4 1のステップS 1 4）。複数の第2領域1 5の形成工程は、第2層9に対する3価元素（p型不純物）のチャネリング注入工程を含む。チャネリング注入工程は、前述のオフ角 θ o f fのデータ（情報）に基づいて実施される。
- [0489] チャネリング注入法では、第2層9に対する3価元素の注入角度が制御され、第2軸チャネルC H 2（この形態ではS i C単結晶のc軸）に沿って3価元素が所定の注入エネルギーで第2層9に導入される（図1 3 A～図1 3 Eも併せて参照）。この場合、第2層9に対する3価元素の注入角度、および、3価元素の注入角度に対する第2層9の傾斜角度のいずれか一方または双

方が調節される。

- [0490] たとえば、ウエハ50が水平に支持され、3価元素が第2軸チャンネルCH2に沿って第2層9に導入されてもよい。むしろ、ウエハ50が水平に対してオフ角 θ off分だけ傾斜した状態で支持され、3価元素が第2軸チャンネルCH2に沿って第2層9に導入されてもよい。3価元素の注入エネルギーおよび3価元素の注入温度の任意の組み合わせによって、所定の厚さを有する複数の第2領域15が所定の深さ位置に形成される（図13A～図13Eも併せて参照）。
- [0491] 3価元素の注入エネルギーは、100KeV以上2000KeV以下であってもよい。注入エネルギーは、100KeV以上250KeV以下、250KeV以上500KeV以下、500KeV以上750KeV以下、750KeV以上1000KeV以下、1000KeV以上1250KeV以下、1250KeV以上1500KeV以下、1500KeV以上1750KeV以下、および、1750KeV以上2000KeV以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0492] 第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギーとほぼ等しくてもよいし、第1領域14に係る注入エネルギーと異なってもよい。第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギー以上であってもよい。また、第2領域15に係る注入エネルギーは、第1領域14に係る注入エネルギー未満であってもよい。
- [0493] 3価元素の注入温度は、0℃以上1500℃以下の範囲で調整されてもよい。注入温度は、0℃以上25℃以下、25℃以上50℃以下、50℃以上100℃以下、100℃以上250℃以下、250℃以上500℃以下、500℃以上750℃以下、750℃以上1000℃以下、1000℃以上1250℃以下、および、1250℃以上1500℃以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0494] 第2領域15に係る注入温度は、第1領域14に係る注入温度とほぼ等しくてもよいし、第1領域14に係る注入温度と異なってもよい。第2領域

域 1 5 に係る注入温度は、第 1 領域 1 4 に係る注入温度以上であってもよい。また、第 2 領域 1 5 に係る注入温度は、第 1 領域 1 4 に係る注入温度未満であってもよい。

[0495] 3 価元素の注入角度は、第 2 軸チャネル C H 2 に沿う軸（この形態では S i C 単結晶の c 軸）を基準（ 0° ）として $\pm 2^{\circ}$ の範囲内に設定されることが好ましい。3 価元素の注入角度は、第 2 軸チャネル C H 2 に沿う軸（この形態では S i C 単結晶の c 軸）を基準（ 0° ）として $\pm 1^{\circ}$ の範囲内に設定されることが特に好ましい。

[0496] チャネリング注入法の場合、3 価元素が平面視において原子列が比較的疎である第 2 軸チャネル C H 2 に沿って導入される。3 価元素は、チャネリング効果によって小角散乱を繰り返しながら第 2 軸チャネル C H 2 内を進行し、第 2 層 9 の比較的深い深さ位置まで到達する。つまり、チャネリング注入法の場合、S i C 単結晶の原子列に対する 3 価元素の衝突確率が低減される。

[0497] この場合、炭素よりも重たい重元素に属する 3 価元素が第 2 層 9 に導入されることが好ましい。つまり、3 価元素は、ホウ素以外の 3 価元素（アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも 1 種）であることが好ましい。3 価元素は、この形態では、アルミニウムである。

[0498] 第 2 延在方向 D e 2 は、a 軸方向または m 軸方向であってもよい。第 2 延在方向 D e 2 は、a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。第 2 延在方向 D e 2 が a 軸方向（オフ方向 D o f f）に一致している場合（図 8 A 等も併せて参照）、3 価元素は第 2 配列方向 D a 2 に沿う断面視において複数の第 2 開口 6 3 を介して第 2 層 9 の上端に対してほぼ垂直に第 2 層 9 内に導入される。したがって、複数の第 2 領域 1 5 が傾斜した姿勢で第 2 層 9 内に形成されることが抑制される。また、複数の第 2 開口 6 3 の壁面が 3 価元素の入射経路に対する遮蔽物となることが抑制される。

[0499] 第 2 延在方向 D e 2 が m 軸方向に一致している場合（図 1 0 A 等も併せて参照）、3 価元素は第 2 配列方向 D a 2 に沿う断面視において複数の第 2 開

口63を介して第2層9の上端に対してほぼオフ角 θ_{off} 分だけ傾斜して第2層9内に導入される。

- [0500] 第2延在方向De2がa軸方向およびm軸方向以外の方向である場合（図12A～図12C等も併せて参照）、SiC単結晶の結晶方位に対する複数の第2領域15のアライメントずれを厳密に制御する必要がなくなる。
- [0501] 第1領域14の第1延在方向De1がa軸方向およびm軸方向以外の方向である場合、第2延在方向De2もa軸方向およびm軸方向以外の方向であることが好ましい。この場合、複数の第1領域14はa軸に対してm軸の一方側に傾斜した第1延在角 θ_1 を有し、複数の第2領域15はa軸に対してm軸の他方側に第2延在角 θ_2 を有している。
- [0502] 第2延在角 θ_2 の絶対値は第1延在角 θ_1 の絶対値と異なってもよい。ただし、この場合、第2領域15の形成工程における3価元素の相対的な注入角度の条件が、第1領域14の形成工程における3価元素の相対的な注入角度の条件と異なる。そのため、3価元素の入射経路に対する複数の第2開口63の遮蔽面積が、3価元素の入射経路に対する複数の第1開口61の遮蔽面積と異なる。
- [0503] つまり、複数の第2開口63のシャドウイングに起因する複数の第2領域15のプロセス誤差が、複数の第1開口61のシャドウイングに起因する複数の第1領域14のプロセス誤差と異なる。したがって、第2延在角 θ_2 の絶対値は第1延在角 θ_1 の絶対値とほぼ等しいことが好ましい。この場合、複数の第2領域15のプロセス誤差が、複数の第1領域14のプロセス誤差とほぼ同じになる。したがって、チャージバランスの精度が向上される。
- [0504] 一例として、第1延在角 θ_1 が $+45^\circ \pm 5^\circ$ であり、第2延在角 θ_2 が $-45^\circ \pm 5^\circ$ であってもよい（図12A参照）。一例として、第1延在角 θ_1 が $+30^\circ \pm 5^\circ$ であり、第2延在角 θ_2 が $-30^\circ \pm 5^\circ$ であってもよい（図12B参照）。一例として、第1延在角 θ_1 が $+60^\circ \pm 5^\circ$ であり、第2延在角 θ_2 が $-60^\circ \pm 5^\circ$ であってもよい（図12C参照）。
- [0505] 3価元素の注入工程後、アニール法によって、3価元素が電氣的に活性化

されると同時に、第2層9に生じた格子欠陥等が修復されてもよい。第2層9に対するアニール温度は、500℃以上2000℃以下であってもよい。これにより、複数の第2領域15が形成されると同時に、第2スーパージャクション構造SJ2が形成される。

[0506] 複数の第2領域15は、第2層9の全域に渡って第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、かつ、第2延在方向De2に帯状に延びるようにそれぞれ形成される。つまり、複数の第2領域15は、複数のデバイス領域55および複数の切断予定ライン56を第2延在方向De2に横切るようにストライプ状に形成される。

[0507] 複数の第2領域15に係るアニール法は、前述の複数の第1領域14に係るアニール法を兼ねていてもよい。この場合、第2領域15の形成工程前における複数の第1領域14に係るアニール法は省略されてもよい。

[0508] 次に、第2層9の厚さ調節工程が実施されるか否かの判定工程が実施される(図41のステップS15)。第2層9の厚さが調節される場合(図41のステップS15: YES)、第2層9が上端側から薄化される(図41のステップS16)。

[0509] 厚さ調節工程(薄化工程)は、研削法によって第2層9の上端部を部分的に除去する工程を含んでいてもよい。研削法は、機械研磨法および／または化学機械研磨法であってもよい。第2層9の薄化工程は、エッチング法によって第2層9の上端部を部分的に除去する工程を含んでいてもよい。エッチング法は、ウェットエッチング法および／またはドライエッチング法であってもよい。

[0510] 厚さ調節工程は、第2層9の上端から複数の第2領域15を露出させる工程を含んでいてもよい(図27～図30等も併せて参照)。つまり、厚さ調節工程は、複数の第2領域15の第2漸増部20Bの一部または全部を取り除く工程を含んでいてもよい。厚さ調節工程が実施されない場合(図41のステップS15: NO)、この工程は省略される。

[0511] 次に、第2層9の上に更なるスーパージャクション構造SJの形成工程

が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS17）。たとえば、第3スーパージャンクション構造SJ3（図33も併せて参照）の形成工程が実施される場合（図41のステップS17：YES）、図41のステップS12～S14と同様の工程を経て、第2層9の上に第3層27が形成され、第3層27内に複数の第3領域28が形成される（図41のステップS18）。

[0512] むろん、更なるスーパージャンクション構造SJの形成工程に先立って、図41のステップS11と同様の工程を経て、第2層9の表層部に複数の中間領域25が形成されてもよい（図25および図26も併せて参照）。更なるスーパージャンクション構造SJの形成工程が実施されない場合（図41のステップS17：NO）、この工程は省略される。

[0513] 次に、トップ層30（図34も併せて参照）の形成工程が実施されるか否かの判定工程が実施される（図41のステップS19）。トップ層30の形成工程が実施される場合（図41のステップS19：YES）、トップ層30が、エピタキシャル成長法によって第2層9を起点に形成される（図41のステップS20）。トップ層30の形成工程が実施されない場合（図41のステップS19：NO）、この工程は省略される。

[0514] その後、MIS構造31、複数のフィールド領域38、層間絶縁膜40、ゲートパッド45、ゲート配線46、ソースパッド47、ドレインパッド48等が形成される（図41のステップS21）。

[0515] そして、ウエハ50が複数の切断予定ライン56に沿って切断される。複数の第1領域14のうち複数の切断予定ライン56上に位置する部分は、複数の第1マークMk1として第1側面5A（第3側面5C）から露出する。複数の中間領域25が形成された場合、複数の中間領域25のうち複数の切断予定ライン56上に位置する部分は、複数の第1マークMk1の一部（上端部）として第1側面5A（第3側面5C）から露出する。複数の第2領域15のうち複数の切断予定ライン56上に位置する部分は、複数の第2マークMk2として第2側面5B（第4側面5D）から露出する。

- [0516] また、第2領域15の中間部が第2延在方向D_e2に沿って切断された場合、第2領域15の一部は第1相異マークM_d1として第1側面5A（第3側面5C）から露出する。また、第1領域14の中間部が第1延在方向D_e1に沿って切断された場合、第1領域14の一部は第2相異マークM_d2として第2側面5B（第4側面5D）から露出する。
- [0517] ウエハ50の切断工程は、ウエハ50の切削工程を含んでもよい。この場合、ウエハ50は、ダイシングブレードによって複数の切断予定ライン56に沿って切断される。これにより、研削面からそれぞれなる第1～第4側面5A～5Dを有するチップ2が形成される。
- [0518] ウエハ50の切断工程は、ウエハ50の劈開工程を含んでもよい。この場合、レーザ照射法によって複数の切断予定ライン56に沿う複数の改質層（ダメージ層）がウエハ50の内部に形成され、複数の改質層を起点にウエハ50が複数の切断予定ライン56に沿って劈開される。これにより、劈開面からそれぞれなる第1～第4側面5A～5Dを有するチップ2が形成される。
- [0519] ウエハ50の劈開工程の場合、複数の改質層は、積層部7の厚さ範囲に対してウエハ50（ベース層6）の厚さ範囲に形成されることが好ましい。具体的には、複数の改質層は、積層部7の厚さ範囲からウエハ50の第2ウエハ主面52側に間隔を空けてウエハ50（ベース層6）に形成されることが好ましい。
- [0520] この製法によれば、劈開後の第1～第4側面5A～5Dのうちベース層6からなる部分に複数の改質層が形成（残存）される。したがって、複数の改質層が、装飾パターンPT（複数の第1マークM_k1および複数の第2マークM_k2）に重複することを回避できる。これにより、装飾パターンPTの視認性が向上される。また、複数の改質層が装飾パターンPTを介して複数の第1領域14および複数の第2領域15に与える電氣的な影響が低減される。
- [0521] 劈開工程が実施される場合、第1～第4側面5A～5Dは劈開面からそれ

それなり、複数の改質層をそれぞれ有する。したがって、複数の改質層は、S i C半導体装置1 A（チップ2）の一構成要素と見做されてもよい。

[0522] 前述の各種判定工程（図4 1のステップS 2、S 8、S 1 0、S 1 5、S 1 7およびS 1 9）は、ウエハ5 0の用意工程（図4 1のステップS 1）の段階において予め決定されていてもよい。つまり、S i C半導体装置1 Aは、予め定められた製造ラインに沿って製造されてもよい。以上を含む工程を経て、1枚のウエハ5 0から複数のS i C半導体装置1 Aが製造される。

[0523] 図4 3は、第2形態に係るS i C半導体装置1 Bを示す平面図である。図4 4 Aは、図4 3に示すXLIVA-XLIVA線に沿う断面図である。図4 4 Bは、図4 3に示すXLIVB-XLIVB線に沿う断面図である。図4 5 Aは、チップ2（第1層8）のレイアウト例を示す平面図である。図4 5 Bは、チップ2（第2層9）のレイアウト例を示す平面図である。図4 6は、チップ2のレイアウト例を示す斜視図である。

[0524] 図4 3～図4 6を参照して、S i C半導体装置1 Bは、S i C半導体装置1 Aの場合と同様、チップ2、ベース層6、積層部7（第1層8および第2層9）、活性領域1 0および外周領域1 1を含む。

[0525] S i C半導体装置1 Bは、この形態では、第1主面3に形成された活性面7 1（active surface）、外周面7 2（outer surface）および第1～第4接続面7 3 A～7 3 D（connecting surface）を含む。活性面7 1、外周面7 2および第1～第4接続面7 3 A～7 3 Dは、第1主面3において活性台地7 4を区画している。

[0526] 活性面7 1が「第1面部」と称され、外周面7 2が「第2面部」と称され、第1～第4接続面7 3 A～7 3 Dが「接続面部」と称され、活性台地7 4が「メサ部」と称されてもよい。活性面7 1、外周面7 2および第1～第4接続面7 3 A～7 3 D（つまり活性台地7 4）は、チップ2（第1主面3）の構成要素と見なされてもよい。

[0527] 活性面7 1は、活性領域1 0に形成されている。つまり、活性面7 1は、第1主面3の周縁（第1～第4側面5 A～5 D）から内方に間隔を空けて形

成されている。活性面 7 1 は、第 1 方向 X および第 2 方向 Y に延びる平坦面を有している。活性面 7 1 は、この形態では、c 面 (S i 面) によって形成されている。活性面 7 1 は、この形態では、平面視において第 1 ～第 4 側面 5 A ～5 D に平行な 4 辺を有する四角形状に形成されている。

[0528] 外周面 7 2 は、外周領域 1 1 に形成されている。つまり、外周面 7 2 は、活性面 7 1 外に形成されている。外周面 7 2 は、活性面 7 1 に対してチップ 2 の厚さ方向 (第 2 主面 4 側) に窪んでいる。具体的には、外周面 7 2 は、この形態では、第 2 層 9 を露出させるように第 2 層 9 の厚さ未満の深さで窪んでいる。外周面 7 2 は、平面視において活性面 7 1 に沿って帯状に延び、活性面 7 1 を取り囲む環状 (具体的には四角環状) に形成されている。

[0529] 外周面 7 2 は、第 1 方向 X および第 2 方向 Y に延びる平坦面を有し、活性面 7 1 に対してほぼ平行に形成されている。外周面 7 2 は、この形態では、c 面 (S i 面) によって形成されている。外周面 7 2 は、第 1 ～第 4 側面 5 A ～5 D に連なっている。外周面 7 2 は、外周深さ D O を有している。

[0530] 外周深さ D O は、0. 1 μm 以上 2 μm 以下であってもよい。外周深さ D O は、0. 1 μm 以上 0. 25 μm 以下、0. 25 μm 以上 0. 5 μm 以下、0. 5 μm 以上 0. 75 μm 以下、0. 75 μm 以上 1 μm 以下、1 μm 以上 1. 5 μm 以下、および、1. 5 μm 以上 2 μm 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。外周深さ D O は、0. 1 μm 以上 1. 5 μm 以下であることが好ましい。

[0531] 第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～7 3 D は、鉛直方向 Z に延び、活性面 7 1 および外周面 7 2 を接続している。第 1 接続面 7 3 A は第 1 側面 5 A 側に位置され、第 2 接続面 7 3 B は第 2 側面 5 B 側に位置され、第 3 接続面 7 3 C は第 3 側面 5 C 側に位置され、第 4 接続面 7 3 D は第 4 側面 5 D 側に位置されている。第 1 接続面 7 3 A および第 3 接続面 7 3 C は、第 1 方向 X に延び、第 2 方向 Y に対向している。第 2 接続面 7 3 B および第 4 接続面 7 3 D は、第 2 方向 Y に延び、第 1 方向 X に対向している。

[0532] 第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～7 3 D は、四角柱状の活性台地 7 4 が区画され

るように活性面 7 1 および外周面 7 2 の間をほぼ垂直に延びていてもよい。第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D は、四角錐台状の活性台地 7 4 が区画されるように活性面 7 1 から外周面 7 2 に向かって斜め下り傾斜していてもよい。このように、活性台地 7 4 は、第 1 主面 3 において第 2 層 9 に突状に区画されている。活性台地 7 4 は、第 2 層 9 のみに形成され、第 1 層 8 には形成されていない。

[0533] S i C 半導体装置 1 B は、S i C 半導体装置 1 A の場合と同様、第 1 ～第 4 側面 5 A ～ 5 D において第 1 形態例に係る装飾パターン P T を含む。装飾パターン P T は、複数の第 1 マーク M k 1 および複数の第 2 マーク M k 2 を含む。

[0534] 複数の第 1 マーク M k 1 および複数の第 2 マーク M k 2 は、S i C 半導体装置 1 A の場合と同様の態様でそれぞれ形成されている。複数の第 1 マーク M k 1 は、外周面 7 2 から第 1 層 8 の下端側に間隔を空けて形成されていることが好ましい。一方、複数の第 2 マーク M k 2 は、外周面 7 2 の上端から露出していることが好ましい。複数の第 2 マーク M k 2 は、複数の第 1 マーク M k 1 の厚さ未満の厚さを有していてもよい。むろん、複数の第 2 マーク M k 2 は、複数の第 1 マーク M k 1 の厚さ以上の厚さを有していてもよい。

[0535] むろん、S i C 半導体装置 1 B は、第 2 ～第 5 形態例に係る装飾パターン P T を含んでもよい。装飾パターン P T が第 1 相異マーク M d 1 を含む場合（図 6 A や図 6 C 等参照）、第 1 相異マーク M d 1 は外周面 7 2 および複数の第 1 マーク M k 1 の間の領域に介在され、外周面 7 2 から露出していることが好ましい。

[0536] 装飾パターン P T が第 2 相異マーク M d 2 を含む場合（図 6 B や図 6 C 等参照）、第 2 相異マーク M d 2 は、外周面 7 2 から第 1 層 8 の下端側に間隔を空けて形成され、複数の第 2 マーク M k 2 を挟んで外周面 7 2 に対向していることが好ましい。

[0537] S i C 半導体装置 1 B は、活性領域 1 0 において積層部 7 に形成された p 型のコラム領域 1 2 を含む。コラム領域 1 2 は、S i C 半導体装置 1 A の場

合と同様のレイアウトで形成されている。つまり、複数の第1領域14は、SiC半導体装置1Aに係る複数の第1領域14と同様のレイアウトで第1層8に形成され、複数の第1ドリフト領域16を区画している。また、複数の第2領域15は、SiC半導体装置1Aに係る複数の第2領域15と同様のレイアウトで第2層9に形成され、複数の第2ドリフト領域17を区画している。

[0538] コラム領域12は、第1～第12形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。コラム領域12は、前述の第1～第12形態例に示された複数（2つ以上）の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0539] 複数の第1領域14は、平面視において少なくとも活性面71の周縁（第1～第4接続面73A～73D）によって取り囲まれた領域内にそれぞれ形成されている。複数の第1領域14は、この形態では、活性領域10から第1～第4接続面73A～73Dの直下の領域を横切って外周領域11に引き出されている（図45A参照）。

[0540] つまり、複数の第1領域14は、第1層8のうち活性面71に対向する部分から第1層8のうち外周面72に対向する部分に引き出されている。複数の第1領域14は、外周領域11においても第1配列方向Da1に間隔を空けて配列され、第1延在方向De1に延びる帯状にそれぞれ形成されている。複数の第1領域14は、外周領域11において外周面72から第1層8の下端側に間隔を空けて形成され、第2層9を挟んで外周面72に対向している。

[0541] さらに、複数の第1領域14は、外周領域11から第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第1側面5Aおよび第3側面5Cのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。複数の第1領域14のうち第1側面5Aから露出した部分は第1側面5Aにおいて複数の第1マークMk1を形成し、複数の第1領域14のうち第3側面5Cから露出した部分は

第3側面5Cにおいて複数の第1マークMk1を形成している。

- [0542] 複数の第2領域15は、平面視において少なくとも活性面71の周縁（第1～第4接続面73A～73D）によって取り囲まれた領域内にそれぞれ形成されている。複数の第2領域15は、この形態では、第2層9のうち活性領域10内に位置する部分から、第2層9のうち外周領域11に位置する部分に引き出されている。
- [0543] 複数の第2領域15のうち外周領域11に位置する部分は、複数の第1領域14の厚さ未満の厚さを有していてもよい。むしろ、複数の第2領域15のうち外周領域11に位置する部分は、複数の第1領域14の厚さ以上の厚さを有していてもよい。複数の第2領域15の第2下端部15aは、第2層9の厚さ方向に関して、外周面72の深さ位置よりも第2層9の下端側の領域に位置されている。また、複数の第2領域15の第2上端部15bは、第2層9の厚さ方向に関して、外周面72よりも活性面71側の領域に位置されている。
- [0544] したがって、複数の第2領域15は、第1～第4接続面73A～73Dのうち第2延在方向De2に直交する少なくとも1つの接続面から露出している。複数の第2領域15は、この形態では、第2接続面73Bおよび第4接続面73Dの双方から露出している。
- [0545] むろん、第2領域15の中間部から第2延在方向De2に沿って第1接続面73Aが形成された場合、第2領域15は第1接続面73Aの全域から露出してもよい。また、第2領域15の中間部から第2延在方向De2に沿って第3接続面73Cが形成された場合、第2領域15は第3接続面73Cの全域から露出してもよい。
- [0546] また、第2延在方向De2が第1接続面73Aおよび第3接続面73Cに直交している場合、複数の第2領域15は第1接続面73Aおよび第3接続面73Cのいずれか一方または双方から露出してもよい。また、これらの場合、第2領域15は第2接続面73Bおよび第4接続面73Dのいずれか一方または双方の全域から露出してもよい。

- [0547] 複数の第2領域15は、外周領域11においても第2配列方向D_a2に間隔を空けて配列され、第2延在方向D_e2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。複数の第2領域15は、外周領域11において外周面72から露出している。
- [0548] さらに、複数の第2領域15は、外周領域11から第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）に向けて延び、第2側面5Bおよび第4側面5Dのいずれか一方または双方（この形態では双方）から露出した部分をそれぞれ有している。複数の第2領域15のうち第2側面5Bから露出した部分は第2側面5Bにおいて複数の第2マークM_k2を形成し、複数の第2領域15のうち第4側面5Dから露出した部分は第4側面5Dにおいて複数の第2マークM_k2を形成している。
- [0549] 図47は、活性領域10の一要素を示す平面図である。図48は、第1形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。図47および図48を参照して、SiC半導体装置1Bは、活性領域10に形成されたMIS構造31を含む。以下の構成は、SiC半導体装置1Bの構成要素として説明されるが、MIS構造31の構成要素でもある。
- [0550] SiC半導体装置1Bは、第1主面3（活性面71）の表層部に形成されたp型のボディ領域32を含む。ボディ領域32は、この形態では、活性面71に沿って延びる層状に形成されている。ボディ領域32は、活性面71の全域に形成され、第1～第4接続面73A～73Dから露出しているもよい。
- [0551] ボディ領域32は、第2層9の下端から活性面71側に間隔を空けて形成され、積層方向にコラム領域12（複数の第2領域15）に重なっている。ボディ領域32は、外周面72の深さ位置から活性面71側に間隔を空けて形成され、第1主面3から露出していることが好ましい。複数の第2領域15が第1主面3から間隔を空けて形成されている場合、ボディ領域32は活性面71および複数の第2領域15の第2上端部15bの間の領域に形成される。ボディ領域32は、複数の第2領域15（第2上端部15b）に接続

されていることが好ましい。

- [0552] ボディ領域32は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、ボディ領域32は、第2軸チャンネルCH2に沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。ボディ領域32の厚さは、第1領域14の第1領域厚さTR1未満である。
- [0553] ボディ領域32は、第2領域15等とは異なり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部22を有さず、 $0.5\mu\text{m}$ の範囲に漸増部20、ピーク部21および漸減部23を含む濃度勾配を有している。ボディ領域32は、 $1\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。
- [0554] ボディ領域32のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。ボディ領域32の3価元素は、第2領域15等の3価元素と同一種であってもよいし、第2領域15等の3価元素と異なる種であってもよい。ボディ領域32の3価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種であってもよい。むしろ、ボディ領域32は、p型のトップ層30の一部を利用して形成されていてもよい。
- [0555] SiC半導体装置1Bは、活性領域10において第1主面3（活性面71）に形成されたトレンチ電極型の複数のゲート構造35を含む。ゲート構造35は、「トレンチゲート構造」と称されてもよい。複数のゲート構造35には、制御電位としてのゲート電位が付与される。複数のゲート構造35は、ゲート電位に応答してボディ領域32内におけるチャンネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。
- [0556] 複数のゲート構造35は、活性領域10において活性面71の周縁（第1～第4接続面73A～73D）から内方に間隔を空けて配置されている。複数のゲート構造35は、この形態では、第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第2延在方向De2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。つ

まり、複数のゲート構造35は、この形態では、複数の第2領域15に沿って延びるストライプ状に配列され、積層方向に複数の第1領域14および複数の第1ドリフト領域16に交差している。

[0557] この例では、第2配列方向Da2がm軸方向（第2方向Y）であり、第2延在方向De2がa軸方向（第1方向X）である。むろん、複数のゲート構造35の配列方向および延在方向は、複数の第2領域15の第2配列方向Da2および第2延在方向De2に応じて変更される。したがって、第2配列方向Da2がa軸方向であり、第2延在方向De2がm軸方向であってもよい。また、第2配列方向Da2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、第2延在方向De2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。

[0558] 複数のゲート構造35は、この形態では、複数の第2領域15から複数の第2ドリフト領域17側にずれて配置されている。具体的には、複数のゲート構造35は、複数の第2領域15から間隔を空けてボディ領域32を貫通し、複数の第2ドリフト領域17内に1対1の対応関係で配置されている。つまり、複数のゲート構造35は、第2配列方向Da2に沿って複数の第2領域15と交互に配列され、水平方向に複数の第2領域15に対向している。

[0559] 複数のゲート構造35は、複数の第2ドリフト領域17の下端から活性面71側に間隔を空けて形成され、複数の第2ドリフト領域17の一部を挟んで複数の第1領域14および複数の第1ドリフト領域16に対向している。複数のゲート構造35は、複数の第2領域15の厚さ範囲中間部から活性面71側に間隔を形成されていることが好ましい。むろん、複数のゲート構造35は、複数の第2領域15の厚さ範囲中間部を横切る深さ位置に形成されていてもよい。

[0560] 各ゲート構造35は、配列方向（この形態では第2方向Y）にトレンチ幅WTを有し、鉛直方向Zにトレンチ深さDTを有している。トレンチ幅WTは、第2ピッチP2（第1ピッチP1）未満である。トレンチ深さDTは、

第2層9の第2厚さT2未満である。トレンチ深さDTは、前述の外周深さDOとほぼ等しいことが好ましい。むろん、トレンチ深さDTは、外周深さDO以上であってもよいし、外周深さDO未満であってもよい。

[0561] トレンチ幅WTは、0.1 μm 以上5 μm 以下であってもよい。トレンチ幅WTは、0.1 μm 以上0.25 μm 以下、0.25 μm 以上0.5 μm 以下、0.5 μm 以上0.75 μm 以下、0.75 μm 以上1 μm 以下、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上2.5 μm 以下、2.5 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上3.5 μm 以下、3.5 μm 以上4 μm 以下、4 μm 以上4.5 μm 以下、および、4.5 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0562] トレンチ深さDTは、0.1 μm 以上5 μm 以下であってもよい。トレンチ深さDTは、0.1 μm 以上0.25 μm 以下、0.25 μm 以上0.5 μm 以下、0.5 μm 以上1 μm 以下、1 μm 以上1.5 μm 以下、1.5 μm 以上2 μm 以下、2 μm 以上3 μm 以下、3 μm 以上4 μm 以下、および、4 μm 以上5 μm 以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。トレンチ深さDTは、0.1 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましい。

[0563] 各ゲート構造35は、トレンチ75、絶縁膜76および埋設電極77を含む。トレンチ75は、活性面71に形成され、ゲート構造35の壁面を区画している。絶縁膜76は、トレンチ75の壁面を被覆している。絶縁膜76は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも1つを含んでいてもよい。

[0564] 絶縁膜76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。絶縁膜76は、チップ2の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが特に好ましい。埋設電極77は、絶縁膜76を挟んでトレンチ75に埋設され、絶縁膜76を挟んでチャネルに対向している。埋設電極77は、p型またはn型の導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0565] SiC半導体装置1Bは、第1主面3（活性面71）の表層部において複

数のゲート構造 3 5 の両サイドに形成された複数のソース領域 3 3 を含む。複数のソース領域 3 3 は、ボディ領域 3 2 の表層部に形成されている。複数のソース領域 3 3 は、第 2 層 9 (第 2 ドリフト領域 1 7) よりも高い n 型不純物濃度 (ピーク値) を有している。複数のソース領域 3 3 は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下の n 型不純物濃度をピーク値として有しているてもよい。

[0566] 複数のソース領域 3 3 は、平面視において対応するゲート構造 3 5 に沿って帯状に延びている。複数のソース領域 3 3 は、ボディ領域 3 2 の底部から活性面 7 1 側に間隔を空けて形成され、積層方向にボディ領域 3 2 の一部を挟んで第 2 ドリフト領域 1 7 に対向している。複数のソース領域 3 3 は、直下に位置された複数の第 2 ドリフト領域 1 7 と共に対応するゲート構造 3 5 の壁面に沿って延びるチャネル (電流経路) を区画する。

[0567] 複数のソース領域 3 3 は、積層方向にボディ領域 3 2 の一部を挟んで第 2 領域 1 5 に対向しているてもよい。むろん、複数のソース領域 3 3 は、積層方向に第 2 領域 1 5 に対向しないように第 2 領域 1 5 から第 2 ドリフト領域 1 7 側 (ゲート構造 3 5 側) に間隔を空けて形成されているてもよい。

[0568] SiC 半導体装置 1 A は、第 1 主面 3 (活性面 7 1) の表層部において複数のゲート構造 3 5 の間の領域に形成された複数のコンタクト領域 3 4 を含む。複数のコンタクト領域 3 4 は、ボディ領域 3 2 の表層部に形成されている。

[0569] 複数のコンタクト領域 3 4 は、複数のボディ領域 3 2 の p 型不純物濃度 (ピーク値) よりも高い p 型不純物濃度 (ピーク値) を有している。複数のコンタクト領域 3 4 の p 型不純物濃度 (ピーク値) は、複数の第 2 領域 1 5 の p 型不純物濃度 (ピーク値) よりも高い。複数のコンタクト領域 3 4 は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下の p 型不純物濃度をピーク値として有しているてもよい。

[0570] 複数のコンタクト領域 3 4 は、互いに隣り合う複数のソース領域 3 3 の間の領域に介在され、複数のゲート構造 3 5 に沿って帯状に延びている。複数の

のコンタクト領域 3 4 は、ボディ領域 3 2 の底部から活性面 7 1 側に間隔を空けて形成され、積層方向にボディ領域 3 2 の一部を挟んで複数の第 2 領域 1 5 に対向している。

[0571] 複数のコンタクト領域 3 4 は、積層方向にボディ領域 3 2 の一部を挟んで第 2 ドリフト領域 1 7 に対向していてもよい。むしろ、複数のコンタクト領域 3 4 は、積層方向に第 2 ドリフト領域 1 7 に対向しないように第 2 ドリフト領域 1 7 から第 2 領域 1 5 側に間隔を空けて形成されていてもよい。

[0572] 以下、外周領域 1 1 側の構成が示される。図 4 9 は、外周領域 1 1 の構成を示す斜視図である。図 5 0 A は、外周領域 1 1 の一要部を示す第 1 方向 X の断面図である。図 5 0 B は、外周領域 1 1 の一要部を示す第 2 方向 Y の断面図である。図 4 9 では、コラム領域 1 2 の図示が省略されている。

[0573] SiC 半導体装置 1 B は、外周面 7 2 の表層部に形成された p 型のウェル領域 7 8 を含む。ウェル領域 7 8 は、平面視において外周面 7 2 の周縁（第 1 ～第 4 側面 5 A ～ 5 D）から活性面 7 1 側に間隔を空けて形成され、活性面 7 1 に沿って帯状に延びている。ウェル領域 7 8 は、この形態では、平面視において活性面 7 1 を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。ウェル領域 7 8 は、外周面 7 2 の表層部から第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D 側に引き出され、第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D の表層部に沿って延びている。

[0574] ウェル領域 7 8 は、活性面 7 1 の表層部においてボディ領域 3 2 に電氣的に接続され、第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D において複数の第 2 領域 1 5 に電氣的に接続されている。ウェル領域 7 8 は、第 2 層 9 の下端から外周面 7 2 側に間隔を空けて形成され、第 2 層 9 の一部を挟んで第 1 層 8 に対向している。

[0575] ウェル領域 7 8 の底部は、ゲート構造 3 5 の底壁よりも第 2 層 9 の下端側に位置されている。ウェル領域 7 8 の底部は、複数の第 2 領域 1 5 の第 2 下端部 1 5 a に対して外周面 7 2 側に位置されていることが好ましい。ウェル領域 7 8 の底部は、複数の第 2 領域 1 5 の厚さ範囲中間部に対して外周面 7

2側に位置されていることが特に好ましい。

- [0576] ウェル領域78は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、ウェル領域78は、第2軸チャネルCH2に沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。ウェル領域78の厚さは、第1領域14の第1領域厚さTR1未満である。
- [0577] ウェル領域78は、第2領域15等とは異なり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚さを有する緩慢部22を有さず、 $0.5\mu\text{m}$ の範囲に漸増部20、ピーク部21および漸減部23を含む濃度勾配を有している。ウェル領域78は、 $1\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。
- [0578] ウェル領域78は、コンタクト領域34のp型不純物濃度よりも低いp型不純物濃度を有している。ウェル領域78のp型不純物濃度は、ボディ領域32のp型不純物濃度よりも高い。むしろ、ウェル領域78のp型不純物濃度は、ボディ領域32よりも低くてもよい。ウェル領域78は、第2層9とpn接合部を形成している。
- [0579] ウェル領域78のp型不純物濃度は、少なくとも1種の3価元素によって調整されていることが好ましい。ウェル領域78の3価元素は、第2領域15等の3価元素と同一種であってもよいし、第2領域15等の3価元素と異なる種であってもよい。ウェル領域78の3価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも1種であってもよい。
- [0580] SiC半導体装置1Bは、外周領域11において外周面72の表層部に形成された少なくとも1つ（好ましくは2個以上20個以下）のp型のフィールド領域38を含む。複数のフィールド領域38は、SiC半導体装置1Aの場合と同様の態様で、外周面72の表層部に形成されている。
- [0581] 複数のフィールド領域38は、この形態では、活性面71の周縁（第1～第4接続面73A～73D）およびチップ2の周縁（第1～第4側面5A～5D）から間隔を空けて配列されている。具体的には、複数のフィールド領

域 3 8 は、ウェル領域 7 8 から外周面 7 2 の周縁側に間隔を空けて配列されている。複数のフィールド領域 3 8 は、平面視において活性面 7 1 に沿って帯状に延び、活性面 7 1 を取り囲む環状（具体的には四角環状）に形成されている。

[0582] 複数のフィールド領域 3 8 は、この形態では、外周面 7 2 において積層方向にコラム領域 1 2 に重なっている。つまり、複数のフィールド領域 3 8 は、複数の第 1 領域 1 4 および複数の第 2 領域 1 5 の複数の交差部の上方の領域に形成されている。複数のフィールド領域 3 8 は、平面視において第 1 延在方向 D e 1 に延びる部分において複数の第 2 領域 1 5 に交差し、第 2 延在方向 D e 2 に延びる部分において複数の第 1 領域 1 4 に交差している。

[0583] 複数のフィールド領域 3 8 は、第 2 層 9 の底部から外周面 7 2 側に間隔を空けて形成され、第 2 層 9 の一部を挟んで第 1 層 8 に対向している。複数のフィールド領域 3 8 は、ゲート構造 3 5 の底部よりも第 2 層 9 の下端側に位置されている。

[0584] 複数のフィールド領域 3 8 の底部は、第 2 領域 1 5 の厚さ範囲中間部に対して外周面 7 2 側に位置されていることが好ましい。複数のフィールド領域 3 8 は、第 2 延在方向 D e 2 に沿って延びる部分において複数の第 2 領域 1 5 に接続されていてもよい。むしろ、複数のフィールド領域 3 8 は、第 2 延在方向 D e 2 に沿って延びる部分において複数の第 2 領域 1 5 から水平方向に間隔を空けて形成され、複数の第 2 領域 1 5 に接続されていなくてもよい。

[0585] S i C 半導体装置 1 B は、第 1 主面 3 を被覆する前述の層間絶縁膜 4 0 を含む。層間絶縁膜 4 0 は、第 1 絶縁膜 4 1 および第 2 絶縁膜 4 2 を含む積層構造を有している。第 1 絶縁膜 4 1 は、この形態では、活性面 7 1、外周面 7 2 および第 1 ～第 4 接続面 7 3 A ～ 7 3 D を選択的に被覆している。第 1 絶縁膜 4 1 は、活性面 7 1 において絶縁膜 7 6 に接続され、埋設電極 7 7 を露出させている。

[0586] 第 1 絶縁膜 4 1 は、外周面 7 2 においてウェル領域 7 8 および複数のフィ

ールド領域 38 を被覆している。第 1 絶縁膜 41 は、この形態では、第 1 ～第 4 側面 5A ～ 5D に連なっている。したがって、第 1 絶縁膜 41 は、外周面 72 の周縁において複数の第 2 マーク Mk2（複数の第 2 領域 15）を被覆している。

[0587] むろん、第 1 絶縁膜 41 は、外周面 72 の周縁から内方に間隔を空けて形成され、外周面 72 の周縁部から第 2 層 9 を露出させていてもよい。この場合、第 1 絶縁膜 41 は、外周面 72 の周縁から複数の第 2 マーク Mk2（複数の第 2 領域 15）を露出させる。第 1 絶縁膜 41 は、第 1 ～第 4 接続面 73A ～ 73D においてウェル領域 78 を被覆している。

[0588] 第 2 絶縁膜 42 は、この形態では、第 1 絶縁膜 41 を挟んで活性面 71、外周面 72 および第 1 ～第 4 接続面 73A ～ 73D を選択的に被覆している。第 2 絶縁膜 42 は、活性領域 10 において複数のゲート構造 35 を被覆している。第 2 絶縁膜 42 は、外周領域 11 において第 1 絶縁膜 41 を挟んで複数のフィールド領域 38 およびウェル領域 78 を被覆している。

[0589] 第 2 絶縁膜 42 は、この形態では、第 1 ～第 4 側面 5A ～ 5D に連なっている。第 2 絶縁膜 42 は、外周面 72 の周縁において第 1 絶縁膜 41 を挟んで複数の第 2 マーク Mk2（複数の第 2 領域 15）を被覆させていてもよい。むろん、第 2 絶縁膜 42 は、外周面 72 の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第 1 絶縁膜 41 と共に外周面 72 の周縁から複数の第 2 マーク Mk2（複数の第 2 領域 15）を露出させていてもよい。

[0590] SiC 半導体装置 1A は、層間絶縁膜 40 に形成された複数のコンタクト開口 43 を含む。複数のコンタクト開口 43 は、複数のゲート構造 35（埋設電極 77）を露出させる複数のコンタクト開口 43（図示略）、および、複数のソース領域 33 を露出させる複数のコンタクト開口 43 を含む。ソース領域 33 用の複数のコンタクト開口 43 は、隣り合う複数のゲート構造 35 の間の領域に形成され、複数のソース領域 33 および複数のコンタクト領域 34 を露出させている。

[0591] SiC 半導体装置 1B は、第 1 ～第 4 接続面 73A ～ 73D のうちの少な

くとも1つを被覆するように層間絶縁膜40内に配置されたサイドウォール構造79を含む。サイドウォール構造79は、第1絶縁膜41の上に配置され、第2絶縁膜42によって被覆されている。サイドウォール構造79は、活性面71および外周面72の間に形成された段差を緩和する。

[0592] サイドウォール構造79は、第1～第4接続面73A～73Dのうちの少なくとも1つに沿って延びる帯状に形成されている。サイドウォール構造79は、この形態では、平面視において活性面71を取り囲むように第1～第4接続面73A～73Dに沿って延びる環状（具体的には四角環状）に形成されている。

[0593] サイドウォール構造79は、外周面72に沿って膜状に延びる部分、および、第1～第4接続面73A～73Dに沿って膜状に延びる部分を有していてもよい。サイドウォール構造79は、この形態では、最内のフィールド領域38から活性面71側に間隔を空けて形成され、水平方向および積層方向に第1絶縁膜41を挟んで複数の第2領域15およびウェル領域78に対向している。サイドウォール構造79は、第1絶縁膜41を挟んでボディ領域32に対向していてもよい。

[0594] SiC半導体装置1Bは、SiC半導体装置1Aの場合と同様、ゲートパッド45、複数のゲート配線46、ソースパッド47およびドレインパッド48を含む。ドレインパッド48は、第1形態例の場合と同様の形態で形成されている。

[0595] ゲートパッド45は、この形態では、平面視において外周面72から間隔を空けて活性面71の上に配置されている。ゲートパッド45は、平面視において活性面71の一辺（この形態では第2接続面73B）の中央部に近接する領域に配置されている。むしろ、ゲートパッド45は、平面視において活性面71の角部や活性面71の中央部に配置されていてもよい。

[0596] 複数のゲート配線46は、この形態では、平面視において外周面72から間隔を空けて活性面71の上に配置されている。複数のゲート配線46は、第1ゲート配線46Aおよび第2ゲート配線46Bを含む。

- [0597] 第1ゲート配線46Aは、ゲートパッド45から第2接続面73B側に向けて引き出され、複数のゲート構造35の一部（具体的には一端部）に交差（具体的には直交）するように活性面71の周縁に沿ってライン状に延びている。第1ゲート配線46Aは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35（埋設電極77）の一端部に電氣的に接続されている。
- [0598] 第2ゲート配線46Bは、ゲートパッド45から第4接続面73D側に向けて引き出され、複数のゲート構造35の一部（具体的には他端部）に交差（具体的には直交）するように活性面71の周縁に沿ってライン状に延びている。第2ゲート配線46Bは、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数のゲート構造35（埋設電極77）の他端部に電氣的に接続されている。
- [0599] ソースパッド47は、この形態では、平面視において外周面72から間隔を空けて活性面71の上に配置されている。ソースパッド47は、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、ボディ領域32、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34に電氣的に接続されている。つまり、ソースパッド47は、ボディ領域32を介してコラム領域12に電氣的に接続されている。
- [0600] 図51は、第2形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。前述の第1形態例に係る複数のゲート構造35は、コラム領域12（複数の第2領域15）から複数の第2ドリフト領域17側にずれて配列されていた。これに対して、図51を参照して、第2形態例に係る複数のゲート構造35は、積層方向に複数の第2領域15に重なるように配列されている。複数のゲート構造35は、積層方向に複数の第2領域15に1対1の対応関係で重なっている。
- [0601] 複数のゲート構造35は、対応する第2領域15に接続された底壁をそれぞれ有している。具体的には、複数のゲート構造35は、対応する第2領域15よりも幅広に形成され、対応する第2領域15に接続された底壁、およ

び、対応する第2ドリフト領域17に接続された側壁をそれぞれ有している。

[0602] つまり、埋設電極77は、積層方向に絶縁膜76を挟んで対応する第2領域15に対向し、水平方向に絶縁膜76を挟んで対応する第2ドリフト領域17に対向している。前述の複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34は、積層方向にボディ領域32の一部を挟んで対応する第2ドリフト領域17にそれぞれ対向している。

[0603] 図52は、第3形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。第3形態例に係る複数のゲート構造35は、複数の第2領域15に対する位置ずれを考慮しなくて済むレイアウトをそれぞれ有している。

[0604] 具体的には、図52を参照して、複数のゲート構造35は、複数の第2領域15に交差するように第2延在方向De2以外の方向に延びている。複数のゲート構造35は、この形態では、第1領域14の第1配列方向Da1に間隔を空けて配列され、第1領域14の第1延在方向De1に延びている。この例では、第1配列方向Da1がa軸方向（第1方向X）であり、第1延在方向De1がm軸方向（第2方向Y）である。

[0605] 複数のゲート構造35は、積層方向に複数の第1領域14に1対1対応の関係で対向していてもよい。むしろ、各ゲート構造35は、積層方向に複数の第1領域14に対向していてもよい。複数のゲート構造35は、積層方向に複数の第1ドリフト領域16に1対1対応の関係で対向していてもよい。

[0606] むろん、各ゲート構造35は、積層方向に複数の第1ドリフト領域16に対向していてもよい。複数のゲート構造35は、複数の第1領域14から第1配列方向Da1にずれて配列され、積層方向に第1領域14および第1ドリフト領域16のいずれか一方または双方に対向していてもよい。

[0607] むろん、複数のゲート構造35の配列方向および延在方向は、複数の第1領域14の第1配列方向Da1および第1延在方向De1に応じて変更される。したがって、第1配列方向Da1がm軸方向であり、第1延在方向De1がa軸方向であってもよい。また、第1配列方向Da1がa軸方向および

m軸方向以外の方向であり、第1延在方向D e 1がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。

[0608] むろん、複数のゲート構造35の配列方向は、第1配列方向D a 1および第2配列方向D 2以外の方向であってもよい。また、複数のゲート構造35の延在方向は、第1延在方向D e 1および第2延在方向D e 2以外の方向であってもよい。つまり、複数のゲート構造35は、平面視において複数の第1領域14および複数の第2領域15の双方に交差していてもよい。

[0609] たとえば、ゲート構造35の延在方向および第2延在方向D e 2の間の角度（絶対値）は、 0° を超えて 90° 以下であってもよい。ゲート構造35の角度（絶対値）は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 以下のうちのいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。ゲート構造35の角度（絶対値）は、 $30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 、 $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 、および、 $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$ のうちのいずれか1つの範囲に属する値に設定されてもよい。

[0610] 埋設電極77は、この形態では、積層方向および水平方向に絶縁膜76を挟んで複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17に対向している。前述の複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34は、この形態では、積層方向にボディ領域32の一部を挟んで複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17に対向している。

[0611] 図53は、第4形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。図53を参照して、第4形態例に係る複数のゲート構造35は、狭ピッチ化に寄与する構成をそれぞれ有している。第4形態例に係る複数のゲート構造35は、コラム領域12（複数の第2領域15）の狭ピッチ化を実現する上で特に有効である。図53では、前述の第1形態例に係るゲート構造35が第4形態例に係るゲート構造35に置き換えられた例が示されているが、第4形態例に係るゲート構造35の構成は第2～第3形態例に係るゲート構造35の構成にも適用可能である。

[0612] 複数のゲート構造35は、トレンチ75、絶縁膜76、埋設電極77、お

よび、埋設絶縁体 80 をそれぞれ含む。トレンチ 75 は、第 1 形態例の場合と同様の形態を有している。絶縁膜 76 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 71）からトレンチ 75 の底壁側に間隔を空けて形成され、トレンチ 75 の開口端において第 1 主面 3（活性面 71）の表層部を露出させている。絶縁膜 76 の上端部は、トレンチ 75 の深さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に位置されていることが好ましい。

[0613] 埋設電極 77 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 71）からトレンチ 75 の底壁側に間隔を空けてトレンチ 75 に埋設され、トレンチ 75 の開口端においてトレンチ 75 の底壁に向けて窪んだ開口リセスを区画している。埋設電極 77 は、トレンチ 75 の開口端において第 1 主面 3（活性面 71）の表層部および絶縁膜 76 の上端部を露出させている。埋設電極 77 の上端部は、トレンチ 75 の深さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に位置されていることが好ましい。

[0614] 埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3（活性面 71）を露出させるようにトレンチ 75（開口リセス）に埋設され、トレンチ 75 内において絶縁膜 76 および埋設電極 77 を被覆している。埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3（活性面 71）から埋設電極 77 側に間隔を空けてトレンチ 75 に埋設され、トレンチ 75 の開口端において第 1 主面 3（活性面 71）の表層部を露出させている。

[0615] 埋設絶縁体 80 の上端部は、トレンチ 75 の深さ範囲中間部に対して第 1 主面 3 側に位置されていることが好ましい。埋設絶縁体 80 は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも 1 つを含んでいてもよい。埋設絶縁体 80 は、酸化シリコン膜を含むことが好ましい。

[0616] 前述の複数のソース領域 33 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 71）の表層部において互いに隣り合う複数のゲート構造 35 の間の領域にそれぞれ形成されている。複数のソース領域 33 は、両サイドに位置された複数のゲート構造 35 に接続されるように複数のゲート構造 35 に沿って間隔を

空けて配列されている。

[0617] 具体的には、ゲート構造 3 5 の一方側の側壁に沿って配列された一方側の複数のソース領域 3 3 は、ゲート構造 3 5 の他方側の側壁に沿って配列されて他方側の複数のソース領域 3 3 に 1 対 1 の対応関係で対向している。つまり、複数のソース領域 3 3 は、平面視において行列状に配列されている。

[0618] むろん、一方側の複数のソース領域 3 3 は、他方側の複数のソース領域 3 3 の間の領域に 1 対 1 の対応関係で対向していてもよい。つまり、複数のソース領域 3 3 は、平面視において千鳥状に配列されていてもよい。複数のソース領域 3 3 は、トレンチ 7 5 の開口端においてトレンチ 7 5 の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜 7 6 を挟んで埋設電極 7 7 および埋設絶縁体 8 0 に対向している。

[0619] 前述の複数のコンタクト領域 3 4 は、この形態では、第 1 主面 3 (活性面 7 1) の表層部において互いに隣り合う複数のゲート構造 3 5 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 3 4 は、両サイドに位置された複数のゲート構造 3 5 に接続されるように複数のゲート構造 3 5 に沿って間隔を空けて配列されている。

[0620] 具体的には、複数のコンタクト領域 3 4 は、複数のゲート構造 3 5 に沿って複数のソース領域 3 3 と交互に配列されている。さらに具体的には、ゲート構造 3 5 の一方側の側壁に沿って配列された一方側の複数のコンタクト領域 3 4 は、ゲート構造 3 5 の他方側の側壁に沿って配列されて他方側の複数のコンタクト領域 3 4 に 1 対 1 の対応関係で対向している。また、複数のソース領域 3 3 は、平面視において行列状に配列されている。

[0621] むろん、一方側の複数のコンタクト領域 3 4 は、他方側の複数のソース領域 3 3 の間の領域 (つまり、複数のソース領域 3 3) に 1 対 1 の対応関係で対向していてもよい。つまり、複数のコンタクト領域 3 4 は、平面視において千鳥状に配列されていてもよい。複数のコンタクト領域 3 4 は、トレンチ 7 5 の開口端においてトレンチ 7 5 の側壁から露出した部分を有し、絶縁膜 7 6 を挟んで埋設電極 7 7 および埋設絶縁体 8 0 に対向している。

- [0622] 具体的な図示は省略されるが、前述の層間絶縁膜40は、第1絶縁膜41および第2絶縁膜42を含む積層構造を有している。第1絶縁膜41は、第1形態例に係る場合と同様、活性面71、外周面72および第1～第4接続面73A～73Dを選択的に被覆している。
- [0623] 第1絶縁膜41は、この形態では、活性面71の周縁部を被覆し、活性面71の内方部において複数のゲート構造35を一括して露出させている。具体的には、第1絶縁膜41は、複数のゲート構造35の両端部において絶縁膜76に接続され、埋設電極77を露出させている。また、第1絶縁膜41は、第1形態例に係る場合と同様の態様で外周面72および第1～第4接続面73A～73Dを被覆している。
- [0624] 第2絶縁膜42は、第1形態例に係る場合と同様、第1絶縁膜41を挟んで活性面71、外周面72および第1～第4接続面73A～73Dを選択的に被覆している。第2絶縁膜42は、この形態では、活性面71の周縁部を被覆し、活性面71の内方部において複数のゲート構造35を一括して露出させている。具体的には、第2絶縁膜42は、複数のゲート構造35の両端部において第1主面3（活性面71）の上からトレンチ75内に入り込み、トレンチ75内において埋設絶縁体80に接続されている。
- [0625] 層間絶縁膜40は、この形態では、複数のゲート構造35の両端部（埋設電極77）を露出させる複数のコンタクト開口43（図示略）、および、複数のゲート構造35の内方部（埋設絶縁体80）、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34を一括して露出させる単一のコンタクト開口43を含む。
- [0626] 前述のゲートパッド45、前述の複数のゲート配線46および前述のドレインパッド48は、第1形態例の場合と同様の形態を有している。前述のソースパッド47は、層間絶縁膜40の上から単一のコンタクト開口43に入り込み、単一のコンタクト開口43内において複数のゲート構造35の内方部（埋設絶縁体80）、複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34を一括して被覆している。

- [0627] ソースパッド47は、埋設絶縁体80によって複数のゲート構造35（埋設電極77）から電氣的に絶縁され、第1主面3（活性面71）において複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34に電氣的に接続されている。ソースパッド47は、トレンチ75に埋設された埋設部を有している。ソースパッド47の埋設部は、トレンチ75内において埋設絶縁体80を挟んで埋設電極77に対向し、トレンチ75の開口端において複数のソース領域33および複数のコンタクト領域34に電氣的に接続されている。
- [0628] 図54は、第5形態例に係るゲート構造35を示す断面斜視図である。図54を参照して、第5形態例に係る複数のゲート構造35は、第4形態例に係る複数のゲート構造35を変形させた構成をそれぞれ有している。第5形態例に係るゲート構造35の構成は第1～第3形態例に係るゲート構造35の構成にも適用可能である。
- [0629] 複数のゲート構造35は、トレンチ75、絶縁膜76、埋設電極77、および、埋設絶縁体80をそれぞれ含む。トレンチ75は、第1形態例の場合と同様の形態を有している。絶縁膜76は、この形態では、上絶縁膜81および下絶縁膜82を含む。
- [0630] 上絶縁膜81は、チャネル制御用の絶縁膜として形成され、ボディ領域32の底部に対してトレンチ75の開口側の壁面を被覆している。上絶縁膜81は、第2ドリフト領域17およびボディ領域32の境界部を横切って第2ドリフト領域17を被覆する部分を有している。この場合、ボディ領域32に対する上絶縁膜81の被覆面積は、第2ドリフト領域17に対する上絶縁膜81の被覆面積よりも大きいことが好ましい。
- [0631] 上絶縁膜81は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。上絶縁膜81は、チップ2の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが好ましい。上絶縁膜81は、1nm以上100nm以下の厚さを有していてもよい。上絶縁膜81の厚さは、1nm以上25nm以下、25nm以上50nm以下、50nm以上75nm以下、および、75nm以上100nm以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

- [0632] 下絶縁膜 8 2 は、ボディ領域 3 2 の底部に対してトレンチ 7 5 の底壁側の壁面を被覆している。下絶縁膜 8 2 は、第 2 ドリフト領域 1 7 を被覆している。第 2 ドリフト領域 1 7 に対する下絶縁膜 8 2 の被覆面積は、ボディ領域 3 2 に対する上絶縁膜 8 1 の被覆面積よりも大きい。
- [0633] 下絶縁膜 8 2 は、酸化シリコン膜を含んでいてもよい。下絶縁膜 8 2 は、チップ 2 の酸化物からなる酸化シリコン膜を含んでいてもよいし、CVD 法によって形成された酸化シリコン膜を含んでいてもよい。下絶縁膜 8 2 は、上絶縁膜 8 1 の厚さよりも大きい厚さを有している。下絶縁膜 8 2 の厚さは、上絶縁膜 8 1 の厚さの 10 倍以上 50 倍以下であることが好ましい。
- [0634] 下絶縁膜 8 2 は、100 nm 以上 500 nm 以下の厚さを有していてもよい。下絶縁膜 8 2 の厚さは、100 nm 以上 150 nm 以下、150 nm 以上 200 nm 以下、200 nm 以上 250 nm 以下、250 nm 以上 300 nm 以下、300 nm 以上 350 nm 以下、350 nm 以上 400 nm 以下、400 nm 以上 450 nm 以下、および、450 nm 以上 500 nm 以下のいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。
- [0635] 埋設電極 7 7 は、この形態では、上電極 8 3、下電極 8 4 および中間絶縁膜 8 5 を含むマルチ電極構造（ダブル電極構造）を有している。上電極 8 3 は、絶縁膜 7 6 を挟んでトレンチ 7 5 の開口側に埋設されている。具体的には、上電極 8 3 は、上絶縁膜 8 1 を挟んでトレンチ 7 5 の開口側に埋設され、上絶縁膜 8 1 を挟んでボディ領域 3 2 に対向している。
- [0636] ボディ領域 3 2 に対する上電極 8 3 の対向面積は、第 2 ドリフト領域 1 7 に対する上電極 8 3 の対向面積よりも大きい。上電極 8 3 は、この形態では、第 1 主面 3（活性面 7 1）からトレンチ 7 5 の底壁側に間隔を空けてトレンチ 7 5 に埋設され、トレンチ 7 5 の開口端においてトレンチ 7 5 の底壁に向けて窪んだ開口リセスを区画している。上電極 8 3 は、トレンチ 7 5 の開口端において第 1 主面 3（活性面 7 1）の表層部および上絶縁膜 8 1 の上端部を露出させている。
- [0637] 上電極 8 3 には、制御電位としてのゲート電位が付与される。上電極 8 3

は、ゲート電位に応答してボディ領域 32 内におけるチャネル（電流経路）の反転および非反転を制御する。上電極 83 は、p 型または n 型の導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0638] 下電極 84 は、絶縁膜 76 を挟んでトレンチ 75 の底壁側に埋設されている。具体的には、下電極 84 は、下絶縁膜 82 を挟んでトレンチ 75 の底壁側に埋設され、下絶縁膜 82 を挟んで第 2 ドリフト領域 17 に対向している。つまり、下電極 84 は、ボディ領域 32 の底部に対してトレンチ 75 の底壁側に埋設されている。具体的な図示は省略されるが、下電極 84 は、トレンチ 75 の一部（この形態では両端部）においてトレンチ 75 の開口側に引き出されている。

[0639] 第 2 ドリフト領域 17 に対する下電極 84 の対向面積は、ボディ領域 32 に対する上電極 83 の対向面積よりも大きい。下電極 84 は、トレンチ 75 の深さ方向に沿って壁状に延びている。下電極 84 は、下絶縁膜 82 から上電極 83 側に突出した上端部を有し、上電極 83 の下端部に系合している。下電極 84 の上端部は、水平方向に上電極 83 の下端部を挟んで上絶縁膜 81（ボディ領域 32）に対向している。

[0640] 下電極 84 には、ゲート電位またはソース電位が付与されてもよい。下電極 84 にゲート電位が付与される場合、下電極 84 は上電極 83 と同電位になる。したがって、上電極 83 および下電極 84 の間の電圧降下が抑制される。これにより、ゲート構造 35 に対する電界集中が抑制される。

[0641] 一方、下電極 84 にソース電位が付与される場合、下電極 84 をフィールド電極として機能させることができる。したがって、下電極 84（フィールド電極）および第 2 層 9（ドリフト領域 13）の間の寄生容量が低下される。これにより、寄生容量に起因するスイッチング速度の低下が抑制される。下電極 84 は、p 型または n 型の導電性ポリシリコンを含んでいてもよい。

[0642] 中間絶縁膜 85 は、上電極 83 および下電極 84 の間に介在され、トレンチ 75 内において上電極 83 および下電極 84 を電氣的に絶縁させている。中間絶縁膜 85 は、上絶縁膜 81 および下絶縁膜 82 に連なっている。中間

絶縁膜 85 は、下絶縁膜 82 の厚さよりも小さい厚さを有している。中間絶縁膜 85 の厚さは、上絶縁膜 81 の厚さよりも大きいことが好ましい。中間絶縁膜 85 は、酸化シリコン膜を含んでもよい。中間絶縁膜 85 は、下電極 84 の酸化物からなる酸化シリコン膜を含むことが好ましい。

[0643] 埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3（活性面 71）を露出させるようにトレンチ 75（開口リセス）に埋設され、リセス内において上絶縁膜 81 および上電極 83 を被覆している。埋設絶縁体 80 は、第 1 主面 3（活性面 71）から上電極 83 側に間隔を空けてトレンチ 75 に埋設され、トレンチ 75 の開口端において第 1 主面 3（活性面 71）の表層部を露出させている。

[0644] 前述の複数のソース領域 33 は、この形態では、トレンチ 75 の開口端においてトレンチ 75 の側壁から露出した部分を有し、上絶縁膜 81 を挟んで上電極 83 および埋設絶縁体 80 に対向している。前述の複数のコンタクト領域 34 は、この形態では、トレンチ 75 の開口端においてトレンチ 75 の側壁から露出した部分を有し、上絶縁膜 81 を挟んで上電極 83 および埋設絶縁体 80 に対向している。

[0645] 前述の複数のフィールド領域 38、層間絶縁膜 40、ゲートパッド 45、前述の複数のゲート配線 46、前述のソースパッド 47 および前述のドレインパッド 48 は、第 2 形態例の場合と同様の形態を有している。複数のゲート配線 46 は、この形態では、複数のコンタクト開口 43 を介して層間絶縁膜 40 を貫通し、複数の上電極 83 に電氣的に接続される。下電極 84 にゲート電位が付与される場合、複数のゲート配線 46 は、複数のコンタクト開口 43 を介して層間絶縁膜 40 を貫通し、複数の上電極 83 および複数の下電極 84 に電氣的に接続される。

[0646] 下電極 84 にソース電位が付与される場合、ソースパッド 47 は、複数の下電極 84 に電氣的に接続される。この場合、SiC 半導体装置 1B は、ソースパッド 47 から層間絶縁膜 40 の上に引き出されたソース配線を含んでもよい。この場合、ソース配線は、複数のゲート配線 46 よりも外側の領域において複数のゲート構造 35 の一部（一端部または両端部）に交差（

具体的には直交)するように活性面71の周縁に沿って延びるライン状に形成される。ソース配線は、複数のコンタクト開口43を介して層間絶縁膜40を貫通し、複数の下電極84に電氣的に接続される。

[0647] 図55は、第3形態に係るSiC半導体装置1Cを示す平面図である。図56Aは、図55に示すLVIA-LVIA線に沿う断面図である。図56Bは、図55に示すLVIB-LVIB線に沿う断面図である。図57Aは、チップ2(第1層8)のレイアウト例を示す平面図である。図57Bは、チップ2(第2層9)のレイアウト例を示す平面図である。図58は、チップ2のレイアウト例を示す斜視図である。図59は、外周領域11の構成を示す斜視図である。図59では、コラム領域12の図示が省略されている。

[0648] 図55～図59を参照して、SiC半導体装置1Cは、SiC半導体装置1Aの場合と同様、チップ2、ベース層6、積層部7(第1層8および第2層9)、活性領域10、外周領域11、コラム領域12、複数のフィールド領域38および装飾パターンPTを含む。

[0649] 装飾パターンPTは、第1～第5形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。コラム領域12は、前述の第1～第12形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。コラム領域12は、前述の第1～第12形態例に示された複数(2つ以上)の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0650] SiC半導体装置1Cは、第1主面3を選択的に被覆する層間絶縁膜90を含む。層間絶縁膜90は、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜および酸窒化シリコン膜のうちの少なくとも1つを含む単層構造または積層構造を有していてもよい。層間絶縁膜90は、この形態では、酸化シリコン膜を含む単層構造を有している。

[0651] 層間絶縁膜90は、外周領域11において複数のフィールド領域38を被覆している。層間絶縁膜90は、この形態では、第1主面3の周縁(第1～第4側面5A～5D)に連なっている。むしろ、層間絶縁膜90は、第1主面3の周縁から内方に間隔を空けて形成され、第1主面3の周縁部から第2

層 9 を露出させていてもよい。

- [0652] 層間絶縁膜 90 は、活性領域 10 を露出させるコンタクト開口 91 を有している。コンタクト開口 91 は、この形態では、最内のフィールド領域 38 の上に位置された開口壁面を有し、活性領域 10 の全域および最内のフィールド領域 38 の内縁部を露出させている。
- [0653] SiC 半導体装置 1C は、活性領域 10 において第 1 主面 3 を被覆する第 1 パッド電極 92 を含む。第 1 パッド電極 92 は、アノードパッドとして形成されている。第 1 パッド電極 92 は、チップ 2 の周縁から内方に間隔を空けて配置されている。第 1 パッド電極 92 は、平面視においてチップ 2 の周縁に沿う多角形状（この形態では四角形状）に形成されている。
- [0654] 第 1 パッド電極 92 は、層間絶縁膜 90 の上からコンタクト開口 91 に入り込み、コンタクト開口 91 内において第 1 主面 3 および最内のフィールド領域 38 に電氣的に接続されている。第 1 パッド電極 92 は、第 1 主面 3（第 2 層 9）とショットキー接合を形成している。これにより、ダイオード構造（デバイス構造物）としての SBD 構造 93（Schottky Barrier Diode structure）が活性領域 10 に形成されている。
- [0655] SiC 半導体装置 1C は、第 2 主面 4 を被覆する第 2 パッド電極 94 を含む。第 2 パッド電極 94 は、カソードパッドとして形成されている。第 2 パッド電極 94 は、第 2 主面 4 から露出したベース層 6 とオーミック接触を形成している。つまり、第 2 パッド電極 94 は、ベース層 6 を介して第 1 層 8（複数の第 1 ドリフト領域 16）および第 2 層 9（複数の第 2 ドリフト領域 17）に電氣的に接続されている。
- [0656] 第 2 パッド電極 94 は、チップ 2 の周縁（第 1 ～第 4 側面 5A ～5D）に連なるように第 2 主面 4 の全域を被覆していてもよい。第 2 パッド電極 94 は、チップ 2 の周縁部を露出させるように、チップ 2 の周縁から内方に間隔を空けて第 2 主面 4 を被覆していてもよい。
- [0657] 第 1 パッド電極 92 および第 2 パッド電極 94 の間（第 1 主面 3 および第 2 主面 4 の間）に印加可能なブレークダウン電圧は、500V3000V以

下であってもよい。ブレイクダウン電圧は、500V1000V以下、1000V以上1500V以下、1500V以上2000V以下、2000V以上2500V以下、および、2500V以上3000V以下のいずれか1つの範囲に属する値を有していてもよい。

[0658] 2層構造を有する積層部7が採用される場合、ブレイクダウン電圧は500V以上1000V以下、1000V以上1500V以下、および、1500V以上2000V以下のいずれか1つの範囲に属する値に設定されることが好ましい。3層構造を有する積層部7が採用される場合、ブレイクダウン電圧は1000V以上1500V以下、1500V以上2000V以下、2000V以上2500V以下、および、2500V以上3000V以下のいずれか1つの範囲に属する値に設定されることが好ましい。

[0659] 以下、図60～図64を参照して、SBD構造93の第1～第5形態例が示される。図60は、第1形態例に係るSBD構造93を示す断面斜視図である。図60を参照して、複数の第2領域15の第2上端部15bが第1主面3から第2層9の下端側に間隔を空けて形成されている場合（たとえば図20～図27等も併せて参照）、第1パッド電極92は第2層9のうち第1主面3および第2上端部15bの間に介在された部分とショットキー接合を形成する。

[0660] 図61は、第2形態例に係るSBD構造93を示す断面斜視図である。図61を参照して、複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17が第1主面3から露出している場合（たとえば図29等も併せて参照）、第1パッド電極92は第1主面3において複数の第2領域15および複数の第2ドリフト領域17に機械的および電氣的に接続される。この場合、第1パッド電極92は、複数の第2領域15とJBS構造（Junction Barrier Controlled Schottky structure）を形成し、複数の第2ドリフト領域17とショットキー接合を形成する。

[0661] 図62は、第3形態例に係るSBD構造93を示す断面斜視図である。図62を参照して、積層部7がトップ層30を含む場合（図34等も併せて参

照)、第1パッド電極92はトップ層30(第1主面3)とショットキー接合を形成する。むろん、トップ層30が形成されていない状態において、第2層9において第1主面3およびコラム領域12の間に十分なスペースが形成されている場合、トップ層30は省略されてもよい。

[0662] 図63は、第4形態例に係るSBD構造93を示す断面斜視図である。図63を参照して、積層部7がトップ層30を含む場合(図34等も併せて参照)、SiC半導体装置1Cは、活性領域10のトップ層30内において第1主面3の表層部に形成されたp型の複数の表層領域95(不純物領域)を含んでいてもよい。

[0663] 複数の表層領域95は、この形態では、第2配列方向Da2に間隔を空けて配列され、第2延在方向De2に延びる帯状にそれぞれ形成されている。つまり、複数の表層領域95は、この形態では、複数の第2領域15の第2延在方向De2に沿って延びるストライプ状に配列されている。

[0664] この例では、第2配列方向Da2がm軸方向であり、第2延在方向De2がa軸方向である。むろん、複数の表層領域95の配列方向および延在方向は、複数の第2領域15の第2配列方向Da2および第2延在方向De2に応じて変更される。したがって、第2配列方向Da2がa軸方向であり、第2延在方向De2がm軸方向であってもよい。また、第2配列方向Da2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であり、第2延在方向De2がa軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。

[0665] 複数の表層領域95は、複数の第1領域14の幅とは異なる幅をそれぞれ有し、複数の第1領域14のピッチとは異なるピッチで配列されていることが好ましい。表層領域95の幅は複数の第1領域14の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチ未満であってもよい。表層領域95の幅は複数の第1領域14の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチよりも大きくてもよい。

[0666] 表層領域95の幅は複数の第1領域14の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチ未満であってもよい。表層領域95

の幅は複数の第1領域14の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第1領域14のピッチよりも大きくてもよい。むろん、複数の表層領域95の幅は、複数の第1領域14の幅とほぼ等しくてもよい。また、複数の表層領域95のピッチは、複数の第1領域14のピッチとほぼ等しくてもよい。

[0667] 複数の表層領域95は、複数の第2領域15の幅とは異なる幅をそれぞれ有し、複数の第2領域15のピッチとは異なるピッチで配列されていることが好ましい。表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチ未満であってもよい。表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅未満であり、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチよりも大きくてもよい。

[0668] 表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチ未満であってもよい。表層領域95の幅は複数の第2領域15の幅よりも大きく、表層領域95のピッチは複数の第2領域15のピッチよりも大きくてもよい。むろん、複数の表層領域95の幅は、複数の第2領域15の幅とほぼ等しくてもよい。また、複数の表層領域95のピッチは、複数の第2領域15のピッチとほぼ等しくてもよい。

[0669] 複数の表層領域95は、複数の第2領域15から第1主面3側に間隔を空けて形成されている。複数の表層領域95は、トップ層30の下端（第2層9）から第1主面3側に間隔を空けて形成され、少なくともトップ層30の一部を挟んで複数の第2層9に対向していることが好ましい。複数の表層領域95は、積層方向に第2領域15および第2ドリフト領域17のいずれか一方または双方に対向していてもよい。

[0670] 複数の表層領域95は、第2層9に対するランダム注入法によって第2層9の表層部に導入されたランダム不純物領域からなる（図14も併せて参照）。したがって、複数の表層領域95は、トップ軸チャネルCHTに沿う方向に関して第2領域15の第2領域厚さTR2未満の厚さを有している。複

数の表層領域 9 5 の厚さは、第 1 領域 1 4 の第 1 領域厚さ $T R 1$ 未満である。

- [0671] 複数の表層領域 9 5 は、第 2 領域 1 5 等とは異なり、 $0.5 \mu m$ 以上の厚さを有する緩慢部 2 2 を有さず、 $0.5 \mu m$ の範囲に漸増部 2 0、ピーク部 2 1 および漸減部 2 3 を含む濃度勾配を有している。複数の表層領域 9 5 は、 $1 \times 10^{15} cm^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} cm^{-3}$ 以下の p 型不純物濃度をピーク値として有していてもよい。
- [0672] 複数の表層領域 9 5 の p 型不純物濃度は、少なくとも 1 種の 3 価元素によって調整されていることが好ましい。表層領域 9 5 の 3 価元素は、第 2 領域 1 5 等の 3 価元素と同一種であってもよいし、第 2 領域 1 5 等の 3 価元素と異なる種であってもよい。表層領域 9 5 の 3 価元素は、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちの少なくとも 1 種であってもよい。
- [0673] 第 1 パッド電極 9 2 は、第 1 主面 3 においてトップ層 3 0 に機械的および電氣的に接続されている。この場合、第 1 パッド電極 9 2 は、第 1 主面 3 において複数の表層領域 9 5 と J B S 構造を形成し、第 1 主面 3 において複数の表層領域 9 5 の間の領域とショットキー接合を形成する。つまり、第 4 形態例に係る S B D 構造 9 3 では、スーパージャンクション構造 S J（第 2 スーパージャンクション構造 S J 2）のレイアウトに起因する J B S 構造のレイアウトの制限および電氣的特性の制限が緩和される。
- [0674] この例では、複数の表層領域 9 5 がトップ層 3 0 に形成されていた。しかし、トップ層 3 0 が形成されていない状態において、第 2 層 9 において第 1 主面 3 およびコラム領域 1 2 の間に十分なスペースが形成されている場合、トップ層 3 0 は省略されてもよい。
- [0675] 図 6 4 は、第 5 形態例に係る S B D 構造 9 3 を示す断面斜視図である。第 5 形態例に係る S B D 構造 9 3 は、第 4 形態例に係る複数の表層領域 9 5 のレイアウトを変形させたレイアウトを有している。具体的には、複数の表層領域 9 5 は、活性領域 1 0 において複数の第 2 領域 1 5 の第 2 延在方向 $D e 2$ に交差する方向に延びるストライプ状に配列されている。

- [0676] 複数の表層領域 95 は、この形態では、第 1 領域 14 の第 1 配列方向 D_{a1} に間隔を空けて配列され、第 1 領域 14 の第 1 延在方向 D_{e1} に延びている。この例では、第 1 配列方向 D_{a1} が m 軸方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向である。むろん、複数の表層領域 95 の配列方向および延在方向は、複数の第 1 領域 14 の第 1 配列方向 D_{a1} および第 1 延在方向 D_{e1} に応じて変更される。したがって、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が m 軸方向であってもよい。また、第 1 配列方向 D_{a1} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であり、第 1 延在方向 D_{e1} が a 軸方向および m 軸方向以外の方向であってもよい。
- [0677] むろん、複数の表層領域 95 の配列方向は、第 1 配列方向 D_{a1} および第 2 配列方向 D_2 以外の方向であってもよい。また、複数の表層領域 95 の延在方向は、第 1 延在方向 D_{e1} および第 2 延在方向 D_{e2} 以外の方向であってもよい。つまり、複数の表層領域 95 は、平面視において複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 の双方に交差していてもよい。
- [0678] たとえば、表層領域 95 の延在方向および第 2 延在方向 D_{e2} の間の角度（絶対値）は、 0° を超えて 90° 以下であってもよい。表層領域 95 の角度（絶対値）は、 0° を超えて 18° 以下、 18° 以上 36° 以下、 36° 以上 54° 以下、 54° 以上 72° 以下、および、 72° 以上 90° 以下のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値を有していてもよい。表層領域 95 の角度（絶対値）は、 $30^\circ \pm 5^\circ$ 、 $45^\circ \pm 5^\circ$ 、および、 $60^\circ \pm 5^\circ$ のうちのいずれか 1 つの範囲に属する値に設定されてもよい。
- [0679] 以下、装飾パターン P_T の変形例が示される。以下では、変形例に係る装飾パターン P_T が第 1 形態に係る SiC 半導体装置 1 に採用された例が示されるが、変形例に係る装飾パターン P_T は第 2 形態に係る SiC 半導体装置 1B および第 3 形態に係る SiC 半導体装置 1C にも適用可能である。
- [0680] 図 65 は、第 1 変形例に係る装飾パターン P_T と共にチップ 2 を示す斜視図である。前述の各形態では、複数の第 1 マーク M_{k1} が、複数の第 2 マーク M_{k2} とは異なる側面に形成された例が示された。しかし、図 65 を参照

して、複数の第1マークM_k1は、複数の第2マークM_k2と同じ側面に形成されていてもよい。図65では、複数の第1マークM_k1が、第1側面5Aおよび第2側面5Bの双方に形成された例が示されている。

[0681] 複数の第1マークM_k1は、第2側面5Bにおいて複数の第2マークM_k2の幅(第2幅W₂)とは異なる幅(第1幅W₁)を有していてもよい。複数の第1マークM_k1は、第2側面5Bにおいて複数の第2マークM_k2のピッチ(第2ピッチP₂)とは異なるピッチ(第1ピッチP₁)を有していてもよい。複数の第1マークM_k1は、第2側面5Bにおいて、厚さ方向に複数の第2マークM_k2および複数の第2スペースS_p2のいずれか一方または双方に重なっていてもよい。

[0682] 第1変形例に係る装飾パターンP_Tは、第1側面5Aおよび第2側面5Bの双方に交差する方向に延びる複数の第1領域14を形成することによって実現される。たとえば、複数の第1領域14の第1延在方向D_e1は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差する方向である。複数の第1マークM_k1が第2側面5Bに形成される場合、第2側面5Bに第2相異マークM_d2は形成されない。

[0683] 図66は、第2変形例に係る装飾パターンP_Tと共にチップ2を示す斜視図である。前述の各形態では、複数の第2マークM_k2が、複数の第1マークM_k1とは異なる側面に形成された例が示された。しかし、図66を参照して、複数の第2マークM_k2は、複数の第1マークM_k1と同じ側面に形成されていてもよい。図66では、複数の第2マークM_k2が、第1側面5Aおよび第2側面5Bの双方に形成された例が示されている。

[0684] 複数の第2マークM_k2は、第1側面5Aにおいて複数の第1マークM_k1の幅(第1幅W₁)とは異なる幅(第2幅W₂)を有していてもよい。複数の第2マークM_k2は、第1側面5Aにおいて複数の第1マークM_k1のピッチ(第1ピッチP₁)とは異なるピッチ(第2ピッチP₂)を有していてもよい。複数の第2マークM_k2は、第1側面5Aにおいて、厚さ方向に複数の第1マークM_k1および複数の第1スペースS_p1のいずれか一方ま

たは双方に重なっていてもよい。

[0685] 第2変形例に係る装飾パターンP Tは、第1側面5 Aおよび第2側面5 Bの双方に交差する方向に延びる複数の第2領域1 5を形成することによって実現される。たとえば、複数の第2領域1 5の第2延在方向D e 2は、a軸方向およびm軸方向の双方に交差する方向である。複数の第2マークM k 2が第1側面5 Aに形成される場合、第1側面5 Aに第1相異マークM d 1は形成されない。

[0686] 図6 7は、第3変形例に係る装飾パターンP Tと共にチップ2を示す斜視図である。第3変形例に係る装飾パターンP Tは、第1変形例に係る装飾パターンP Tおよび第2変形例に係る装飾パターンP Tを組み合わせた形態を有している。つまり、複数の第1マークM k 1は第1側面5 Aおよび第2側面5 Bの双方から露出し、複数の第2マークM k 2は第1側面5 Aおよび第2側面5 Bの双方から露出している。

[0687] この場合、第1側面5 Aおよび第2側面5 Bに交差する方向に延びる複数の第1領域1 4が形成され、第1側面5 Aおよび第2側面5 Bに交差する方向に延びる複数の第2領域1 5が形成される。複数の第2領域1 5は、複数の第1領域1 4に交差または直交している。

[0688] 図6 8は、第4変形例に係る装飾パターンP Tと共にチップ2を示す斜視図である。図6 9は、変形例に係るコラム領域1 2を示す断面斜視図である。図7 0は、変形例に係るコラム領域1 2と共に外周領域1 1の一要素を示す断面図である。図6 9では、第1基本形態に係るコラム領域1 2の変形例が示されている。

[0689] むろん、変形例に係るコラム領域1 2は、第1～第1 2形態例に示される複数の特徴のうちの少なくとも1つの特徴を有していてもよい。変形例に係るコラム領域1 2は、第1～第1 2形態例に示される複数（2つ以上）の特徴が組み合わされた特徴を有していてもよい。

[0690] 前述の各形態では、第1側面5 A（第3側面5 C）に複数の第1マークM k 1が形成され、かつ、第2側面5 B（第4側面5 D）に複数の第2マーク

M k 2 が形成された例が示された。

- [0691] しかし、図 6 8 に示されるように、複数の第 1 マーク M k 1 および複数の第 2 マーク M k 2 は、第 1 方向 X に延びる第 1 側面 5 A (第 3 側面 5 C) および第 2 方向 Y に延びる第 2 側面 5 B (第 4 側面 5 D) のいずれか一方のみに形成されていてもよい。図 6 8 では、複数の第 1 マーク M k 1 および複数の第 2 マーク M k 2 の双方が第 2 側面 5 B (第 4 側面 5 D) に形成された例が示されている。複数の第 1 マーク M k 1 は、前述の形態の場合と同様の態様、第 2 側面 5 B において積層部 7 の下側範囲に形成されている。
- [0692] 一方、複数の第 2 マーク M k 2 は、第 2 側面 5 B において積層部 7 の上側範囲に形成されている。複数の第 2 マーク M k 2 は、積層方向に複数の第 1 マーク M k 1 に重なるように上側範囲において第 1 方向 X に間隔を空けて配列され、積層部 7 (第 2 層 9) の一部からそれぞれなる複数の第 2 スペース S p 2 を区画している。具体的には、複数の第 2 マーク M k 2 は積層方向に複数の第 1 マーク M k 1 と 1 対 1 の対応関係で重なり、複数の第 2 スペース S p 2 は積層方向に複数の第 1 スペース S p 1 と 1 対 1 の対応関係で重なっている。
- [0693] 第 2 マーク M k 2 の下端部は、第 2 層 9 の下端から上端側に間隔を空けて形成され、第 2 層 9 の一部 (下端部) を挟んで第 1 マーク M k 1 に対向していてもよい。第 2 マーク M k 2 の下端部は、第 1 層 8 および第 2 層 9 の境界部を横切り、第 1 層 8 内に位置する延部を有していてもよい。この場合、複数の第 2 マーク M k 2 の延部は、複数の第 1 マーク M k 1 に 1 対 1 の対応関係で接続されていることが好ましい。つまり、複数の第 2 マーク M k 2 は、複数の第 1 マーク M k 1 と一体化したストライプパターンを形成していることが好ましい。
- [0694] 図 6 9 を参照して、第 4 変形例に係る装飾パターン P T は、複数の第 2 領域 1 5 の第 2 配列方向 D a 2 および第 2 延在方向 D e 2 の双方を、複数の第 1 領域 1 4 の第 1 配列方向 D a 1 および第 1 延在方向 D e 1 の双方に一致させることによって実現される。この場合、複数の第 2 領域 1 5 は、活性領域

10および外周領域11の双方において、積層方向に複数の第1領域14に1対1の対応関係で重なるように第2層9に形成される。

[0695] つまり、複数の第1領域14は、第1層8内において第1延在方向De1（第2延在方向De2）にストライプ状に延びている。複数の第1領域14は、第1層8内において第1延在方向De1（第2延在方向De2）にストライプ状に延びる複数の第1ドリフト領域16を区画している。

[0696] 一方、複数の第2領域15は、第2層9内において第1延在方向De1（第2延在方向De2）にストライプ状に延びている。複数の第2領域15は、第2層9内において第1延在方向De1（第2延在方向De2）にストライプ状に延びる複数の第2ドリフト領域17を区画している。

[0697] 複数の第2領域15は、積層部7内において、第1延在方向De1（第2延在方向De2）にストライプ状に延びる複数のコラム領域12を複数の第1領域14と共に形成している。複数のコラム領域12は、積層部7内において第1延在方向De1（第2延在方向De2）にストライプ状に延びる複数のドリフト領域13を区画している。

[0698] この例では、第1配列方向Da1および第2配列方向Da2がa軸方向であり、第1延在方向De1および第2延在方向De2がm軸方向である。むしろ、第1配列方向Da1および第2配列方向Da2がm軸方向であり、第1延在方向De1および第2延在方向De2がa軸方向であってもよい。

[0699] むろん、第1延在方向De1および第2延在方向De2は、a軸方向およびm軸方向以外の方向であってもよい。この場合、ストライプ状に延びる複数のコラム領域12によって、第3変形例に係る装飾パターンPTと同様の装飾パターンPTが形成される。

[0700] 図70を参照して、複数のフィールド領域38は、ストライプ状の複数のコラム領域12に対して第1主面3側の領域に形成されている。複数のフィールド領域38は、第1延在方向De1（第2延在方向De2）に延びる部分において複数の第1領域14および複数の第2領域15に沿って延びている。

- [0701] 複数のフィールド領域 38 は、第 1 延在方向 D e 1（第 2 延在方向 D e 2）に交差する方向に延びる部分において複数の第 1 領域 14 および複数の第 2 領域 15 に同一箇所では交差している。複数のフィールド領域 38 は、複数の第 2 領域 15 に接続されていてもよいし、複数の第 2 領域 15 から間隔を空けて形成されていてもよい。
- [0702] 次に、前述の第 1 ～第 3 形態に係る S i C 半導体装置 1 A ～ 1 C の製造に使用されるイオン注入処理システム 100 が示される。図 71 は、第 1 ～第 3 形態に係る S i C 半導体装置 1 A ～ 1 C の製造に使用されるイオン注入処理システム 100 の構成例を示す概略図である。
- [0703] イオン注入処理システム 100 は、前述のウエハ 50（図 40 参照）に対して実行される種々のプロセス（図 41 および図 42 A ～ 図 42 H）の一部のプロセスを実行するシステムである。以下では、必要に応じて、図 40、図 41 および図 42 A ～ 図 42 H が参照される。
- [0704] 図 71 を参照して、イオン注入処理システム 100 は、1 つまたは複数のサーバ装置 101（サーバ）、1 つまたは複数のオフ角データ転送装置 102（転送装置）、および、1 つまたは複数のチャネリングイオン注入装置 103（イオン注入装置）を含む。サーバ装置 101 は、S i C 半導体装置 1 A ～ 1 C の製造に使用される種々のデータの送受信を実行し、当該データを格納する装置である。サーバ装置 101 は、物理サーバ装置であってもよいし、仮想サーバ装置であってもよい。
- [0705] オフ角データ転送装置 102 は、S i C 半導体装置 1 A ～ 1 C の製造に使用される種々のデータをサーバ装置 101 に転送（アップロード）する装置である。具体的には、オフ角データ転送装置 102 は、ウエハ 50 のオフ角 $\theta o f f$ に対応したオフ角データ 104 をサーバ装置 101 に転送する。
- [0706] チャネリングイオン注入装置 103 は、S i C 半導体装置 1 A ～ 1 C の製造に使用される種々のデータをサーバ装置 101 から取得（ダウンロード）し、当該データに基づいてウエハ 50 に対してイオン注入処理を実行する装置である。具体的には、チャネリングイオン注入装置 103 は、サーバ装置

101からオフ角データ104を取得し、当該オフ角データ104に基づいてイオン注入角度を制御し、ウエハ50に対するイオン注入処理工程を実行する。

[0707] イオン注入処理工程は、チャネリングイオン注入工程である。チャネリングイオン注入工程では、オフ角データ104に基づいてウエハ50に対するイオン注入角度が調節され、ウエハ50のベース軸チャネルCHB（第1層8の第1軸チャネルCH1）に沿ってウエハ50の内部（第1層8の内部）にイオンが注入される（図42A～図42Hも併せて参照）。

[0708] サーバ装置101の個数、オフ角データ転送装置102の個数およびチャネリングイオン注入装置103の個数は、いずれも任意である。ただし、オフ角データ転送装置102の個数およびチャネリングイオン注入装置103の個数を増加させることによって製造効率が向上される。したがって、イオン注入処理システム100は、複数のオフ角データ転送装置102を含むことが好ましい。また、イオン注入処理システム100は、複数のチャネリングイオン注入装置103を含むことが好ましい。

[0709] たとえば、イオン注入処理システム100は、第1個数（第1台数、1台以上）のオフ角データ転送装置102および第1個数とは異なる第2個数（第2台数、1台以上）のチャネリングイオン注入装置103を含んでもよい。チャネリングイオン注入装置103の第2個数は、オフ角データ転送装置102の第1個数よりも多くてもよい。チャネリングイオン注入装置103の第2個数は、オフ角データ転送装置102の第1個数よりも少なくてもよい。

[0710] むろん、チャネリングイオン注入装置103の第2個数は、オフ角データ転送装置102の第1個数と等しくてもよい。オフ角データ転送装置102の処理能力およびチャネリングイオン注入装置103の処理能力を鑑みると、第2個数は第1個数よりも少ないことが好ましい。つまり、第1個数は2台以上であり、第2個数は1台以上であることが好ましい。

[0711] 図71では、複数のオフ角データ転送装置102が1つのサーバ装置10

1 に接続された例が示されている。むろん、複数のオフ角データ転送装置 102 が複数のサーバ装置 101 に接続されていてもよい。また、1 つのオフ角データ転送装置 102 が 1 つまたは複数のサーバ装置 101 に接続されていてもよい。

[0712] 複数のオフ角データ転送装置 102 は、サーバ装置 101 から独立して設置されていてもよい。むろん、1 つまたは複数のサーバ装置 101 が 1 つまたは複数のオフ角データ転送装置 102 に組み込まれていてもよい。つまり、1 つまたは複数のオフ角データ転送装置 102 は、1 つまたは複数のサーバ装置 101 を含んでいてもよい。

[0713] 複数のオフ角データ転送装置 102 は、有線または無線によってサーバ装置 101 に接続される。複数のオフ角データ転送装置 102 は、この形態では、通信ネットワークを介してサーバ装置 101 に接続されている。通信ネットワークは、双方向ネットワークである。通信ネットワークは、この形態では、インターネットである。通信ネットワークは、組織内ネットワーク等の通信範囲が制限されたネットワーク（イントラネット）であってもよい。

[0714] たとえば、通信ネットワークは、伝送制御プロトコル／インターネット・プロトコル（TCP／IP）、GSM（登録商標）、CDMA、LTE、Bluetooth（登録商標）、wifi（登録商標）、Z-WAVE、Insteon、EnOcean、ZigBee（登録商標）、HomePlug（登録商標）、MQTT、XMPP、CoAP 等であってもよい。むろん、通信ネットワークは、これらのうちの少なくとも 2 つを組み合わせたネットワークであってもよい。

[0715] 図 71 では、複数のチャネリングイオン注入装置 103 が 1 つのサーバ装置 101 に接続された例が示されている。むろん、複数のチャネリングイオン注入装置 103 が複数のサーバ装置 101 に接続されていてもよい。また、1 つのチャネリングイオン注入装置 103 が 1 つまたは複数のサーバ装置 101 に接続されていてもよい。

[0716] 複数のチャネリングイオン注入装置 103 は、複数のオフ角データ転送装

置 1 0 2 から独立して設置される。複数のチャネリングイオン注入装置 1 0 3 は、サーバ装置 1 0 1 から独立して設置されていてもよい。

[0717] オフ角データ転送装置 1 0 2 がサーバ装置 1 0 1 から独立して設置されている場合、1 つまたは複数のサーバ装置 1 0 1 は 1 つまたは複数のチャネリングイオン注入装置 1 0 3 に組み込まれていてもよい。つまり、チャネリングイオン注入装置 1 0 3 は、サーバ装置 1 0 1 を含んでいてもよい。むしろ、オフ角データ転送装置 1 0 2 およびチャネリングイオン注入装置 1 0 3 の双方がサーバ装置 1 0 1 をそれぞれ含んでいてもよい。

[0718] 複数のチャネリングイオン注入装置 1 0 3 は、有線または無線によってサーバ装置 1 0 1 に接続されている。複数のチャネリングイオン注入装置 1 0 3 は、この形態では、通信ネットワークを介してサーバ装置 1 0 1 に接続されている。したがって、チャネリングイオン注入装置 1 0 3 の設置個所はオフ角データ転送装置 1 0 2 の設置個所の制限を受けない。たとえば、チャネリングイオン注入装置 1 0 3 は、オフ角データ転送装置 1 0 2 の設置個所に対して遠方に設置されることができる。

[0719] 以下、サーバ装置 1 0 1 の構成例が説明される。サーバ装置 1 0 1 は、サーバ制御装置 1 1 0 を含む。サーバ制御装置 1 1 0 は、第 1 処理装置 1 1 1、第 1 補助記憶装置 1 1 2 および第 1 通信部 1 1 3 を含む。第 1 処理装置 1 1 1 は、第 1 中央処理装置 1 1 4 および第 1 主記憶装置 1 1 5 を含む。第 1 主記憶装置 1 1 5 は、半導体記憶装置であってもよい。半導体記憶装置は、R A M (Random Access Memory) 等の揮発性メモリや、R O M (Read Only Memory) 等の不揮発性メモリを含んでいてもよい。

[0720] 第 1 補助記憶装置 1 1 2 は、第 1 処理装置 1 1 1 に所定のステップを実行させるプログラムが記憶された記憶媒体（具体的には不揮発性記憶媒体）である。第 1 補助記憶装置 1 1 2 は、単一の記憶媒体によって構成されていてもよいし、複数の記憶媒体によって構成されていてもよい。

[0721] たとえば、第 1 補助記憶装置 1 1 2 は、磁気ディスク、光ディスク、フラッシュメモリ等を含んでいてもよい。第 1 補助記憶装置 1 1 2 は、第 1 デー

タ格納部 116 を含む。第 1 データ格納部 116 は、S i C 半導体装置 1 A ~ 1 C の製造に使用される種々のデータ（オフ角データ 104 等）が保存される領域である。

[0722] 第 1 通信部 113 は、有線または無線によって他のデバイスに接続され、他のデバイスとの間で種々のデータの送受信を実行するインターフェイスである。第 1 通信部 113 は、この形態では、通信ネットワークを介して他のデバイスに接続されるインターフェイスである。第 1 通信部 113 は、無線 LAN インターフェイス、有線 LAN インターフェイス、無線 WAN、有線 WAN 等であってもよい。

[0723] サーバ装置 101 がオフ角データ転送装置 102 に組み込まれる場合、サーバ装置 101 はオフ角データ転送装置 102 の一部の機能を利用して実現されてもよい。サーバ装置 101 がチャネリングイオン注入装置 103 に組み込まれる場合、サーバ装置 101 はチャネリングイオン注入装置 103 の一部の機能を利用して実現されてもよい。

[0724] サーバ装置 101 がオフ角データ転送装置 102 およびチャネリングイオン注入装置 103 の双方に組み込まれる場合、サーバ装置 101 はオフ角データ転送装置 102 の一部の機能およびチャネリングイオン注入装置 103 の一部の機能を利用して実現されてもよい。

[0725] 以下、オフ角データ転送装置 102 の構成例が示される。図 7 2 は、図 7 1 に示すオフ角データ転送装置 102 の構成例を示す概略図である。図 7 3 は、図 7 2 に示す X 線回折装置 123 の構成例を示す概略図である。図 7 2 では、1 つのオフ角データ転送装置 102 の構成例が示されている。

[0726] 図 7 2 を参照して、オフ角データ転送装置 102 は、1 つまたは複数の第 1 I D 読取り装置 120、1 つまたは複数のエピタキシャル成長装置 121、1 つまたは複数の検査装置 122、1 つまたは複数の X 線回折装置 123 および転送側制御装置 124 を含む。

[0727] 第 1 I D 読取り装置 120 は「第 1 I D 読取りユニット」と称されてもよい。エピタキシャル成長装置 121 は「エピタキシャル成長処理ユニット」

と称されてもよい。検査装置 122 は「検査ユニット」と称されてもよい。

X線回折装置 123 は「XRD (X-ray Diffraction) 装置」、「X線回折処理ユニット」、「X線装置」、「X線測定装置」等と称されてもよい。

[0728] 図 72 では、1 つの第 1 ID 読取り装置 120、複数 (図 72 では 3 個) のエピタキシャル成長装置 121、1 つの検査装置 122、および、1 つ X 線回折装置 123 が設けられた例が示されている。第 1 ID 読取り装置 120 の個数、エピタキシャル成長装置 121 の個数、検査装置 122 の個数および X 線回折装置 123 の個数は任意である。ただし、X 線回折装置 123 の単位時間当たりのウエハ 50 の処理枚数は、エピタキシャル成長装置 121 の単位時間当たりのウエハ 50 の処理枚数よりも多い。

[0729] したがって、複数のエピタキシャル成長装置 121 を設け、複数のエピタキシャル成長装置 121 から 1 つまたは複数の X 線回折装置 123 にエピタキシャル成長工程後の複数のウエハ 50 が順次搬送されるように構成されていることが好ましい。この構成によれば、エピタキシャル成長工程および X 線回折工程の間のプロセス停滞が抑制される。この場合、X 線回折装置 123 の個数は、エピタキシャル成長装置 121 の個数未満であることが好ましい。

[0730] 第 1 ID 読取り装置 120 は、ウエハ 50 のウエハ ID 57 (図 40 参照) を読み取る装置である。たとえば、第 1 ID 読取り装置 120 は、ウエハ 50 を撮像する撮像装置を含み、ウエハ 50 の画像データからウエハ ID 57 を読み取るスキャナである。

[0731] 撮像装置は、CCD (Charge Coupled Device) 型のイメージセンサおよび CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 型のイメージセンサのいずれか一方または双方を含んでいてもよい。たとえば、第 1 ID 読取り装置 120 は、処理チャンバ (図示せず) を含み、当該処理チャンバ内でウエハ ID 57 を取得するように構成されていてもよい。むろん、第 1 ID 読取り装置 120 は、ハンディスキャナであってもよい。

[0732] 各エピタキシャル成長装置 121 は、処理チャンバ (図示せず) を含み、

当該処理チャンバ内においてウエハ50（第1ウエハ主面51）の上にエピタキシャル層を積層させる装置である。つまり、各エピタキシャル成長装置121は、第1層8および第2層9のいずれか一方または双方を形成する装置である。

[0733] 検査装置122は、処理チャンバ（図示せず）を含み、当該処理チャンバ内においてエピタキシャル層を検査する装置である。つまり、検査装置122は、エピタキシャル層としての第1層8（第2層9）を検査する。第1層8（第2層9）の検査は、光学系の非接触検査であってもよいし、電極等を用いた接触検査であってもよい。

[0734] たとえば、検査装置122は、第1層8（第2層9）の厚さ、第1層8（第2層9）の抵抗値、第1層8（第2層9）のシート抵抗値、第1層8（第2層9）の抵抗率、第1層8（第2層9）の不純物濃度、および、第1層8（第2層9）のキャリア密度のうちの少なくとも1つを測定する。検査装置122は、少なくとも、第1層8（第2層9）の厚さおよび第1層8（第2層9）の不純物濃度のうちの少なくとも1つを測定することが好ましい。

[0735] X線回折装置123は、ウエハ50の結晶方位を測定する装置である。ウエハ50の結晶方位は、ウエハ50のオフ角 θ offである。X線回折装置123は、この形態では、第1層8（第2層9）の形成工程後に、ウエハ50のオフ角 θ offとしての第1層8（第2層9）のオフ角 θ offを測定する。

[0736] 前述のように、第1層8（エピタキシャル層）のオフ角 θ offおよび第2層9（エピタキシャル層）のオフ角 θ offは、ウエハ50のオフ角 θ offにほぼ一致している。したがって、X線回折装置123は、第1層8（第2層9）の形成工程前に、ウエハ50のオフ角 θ offを測定するようにプログラムされていてもよい。ただし、正確を期す観点から、結晶方位の測定工程は第1層8（第2層9）対して実施されることが好ましい。

[0737] 以下では、エピタキシャル層としての第1層8の結晶方位が測定される例が示される。むろん、以下の説明は、第1層8に代えてウエハ50および第

第2層9にも適用される。ウエハ50が適用される場合、以下の説明において第1層8（第1層8の上端）がウエハ50（ウエハ50の第1ウエハ主面51）に置き換えられる。第2層9が適用される場合、以下の説明において第1層8が第2層9に置き換えられる。

[0738] X線回折装置123は、X線回折法（所謂 ω - 2θ 測定法）によって第1層8の結晶方位を測定する。具体的には、図73を参照して、X線回折装置123は、処理チャンバ125、支持ユニット126、変位ユニット127、入射ユニット128および検出ユニット129を含み、ロッキングカーブ測定法を実行する。処理チャンバ125は、内部空間を区画する箱型の隔壁を有し、ウエハ50を搬出入可能な開閉シャッタ125aを有している。

[0739] 支持ユニット126は、処理チャンバ125内に設けられ、処理チャンバ125内でウエハ50を第2ウエハ主面52側から支持する。支持ユニット126は、静電気によってウエハ50を支持する静電チャックであってもよいし、吸引力によってウエハ50を支持するバキュームチャックであってもよい。

[0740] 変位ユニット127は、支持ユニット126に接続され、支持ユニット126と共にウエハ50の姿勢を変位させる。たとえば、変位ユニット127は、ウエハ50を鉛直軸周りに回転させてもよい。たとえば、変位ユニット127は、支持ユニット126と共にウエハ50を鉛直軸に直交する水平軸周りに回転させ、ウエハ50を水平面に対して傾斜させてもよい。たとえば、変位ユニット127は、1つまたは複数の電動モータを含んでもよい。

[0741] 入射ユニット128は、処理チャンバ125内に設けられ、第1層8の上端（ウエハ50の第1ウエハ主面51）に対して所定の入射角 ω を有する入射X線L1を照射する。入射角 ω は、入射X線L1および第1層8の上端の間の角度によって定義される。入射角 ω は、この形態では、入射X線L1に対する第1層8の上端の傾斜角度を変更することによって調節される。むしろ、入射角 ω は、第1層8の上端に対する入射X線L1の入射方向を変更す

ることによって調節されてもよい。

- [0742] 検出ユニット 129 は、処理チャンバ 125 内に設けられ、第 1 層 8 の上端に対する入射 X 線 L1 の照射位置に対して回折角 2θ (θ はブラッグ角) の角度位置に配置され、回折 X 線 L2 を検出する。回折角 2θ は、入射 X 線 L1 の入射方向および回折 X 線 L2 の回折方向の間の角度である。ロッキングカーブ測定法では、回折角 2θ が固定された状態で、入射角 ω が微小な角度範囲で変移させられ、回折 X 線 L2 の強度 (回折 X 線 L2 の強度プロファイル) を表すロッキングカーブが測定される。
- [0743] 転送側制御装置 124 は、第 1 ID 読取り装置 120、複数のエピタキシャル成長装置 121、検査装置 122 および X 線回折装置 123 に接続され、第 1 ID 読取り装置 120 によって取得されたウエハ ID 57 を取り込み、エピタキシャル成長装置 121、検査装置 122 および X 線回折装置 123 を所定の処理レシピに基づいて制御する。
- [0744] 転送側制御装置 124 は、第 2 処理装置 130、第 2 補助記憶装置 131 および第 2 通信装置 132 を含む。第 2 処理装置 130 は、第 2 中央処理装置 133 および第 2 主記憶装置 134 を含む。第 2 主記憶装置 134 は、半導体記憶装置であってもよい。半導体記憶装置は、RAM 等の揮発性メモリや、ROM 等の不揮発性メモリを含んでいてもよい。
- [0745] 第 2 補助記憶装置 131 は、第 2 処理装置 130 に所定のステップを実行させるプログラムが記憶された記憶媒体 (具体的には不揮発性記憶媒体) である。第 2 補助記憶装置 131 は、単一の記憶媒体によって構成されていてもよいし、複数の記憶媒体によって構成されていてもよい。たとえば、第 2 補助記憶装置 131 は、磁気ディスク、光ディスク、フラッシュメモリ等を含んでいてもよい。
- [0746] 第 2 補助記憶装置 131 は、第 2 データ格納部 135、仕様データ生成部 136 およびオフ角データ生成部 137 を含む。第 2 データ格納部 135 は、1 つまたは複数の記憶装置によって構成され、SiC 半導体装置 1A~1C の製造に使用される種々のデータが保存される領域である。

- [0747] 第2データ格納部135は、エピタキシャル成長装置121を制御するための処理レシピ、検査装置122を制御するための処理レシピ、X線回折装置123を制御するための処理レシピ等を含む。また、第2データ格納部135は、第1ID読取り装置120によって取得されたウエハID57を保存する領域、検査装置122の検査結果を保存する領域、X線回折装置123による測定結果を保存する領域等を含む。
- [0748] 仕様データ生成部136は、検査装置122によって取得された検査結果に基づいて第1層8（エピタキシャル層）の仕様データ138を生成する部分である。仕様データ生成部136は、ウエハID57に1対1の対応関係で関連付けられた仕様データ138を生成する。ウエハID57は特定の第1層8の積層対象となるウエハ50のウエハID57であり、仕様データ138は当該積層対象のウエハ50の上に積層された特定の第1層8の仕様データ138である。
- [0749] 仕様データ138は、第1層8（第2層9）の厚さデータ、第1層8（第2層9）の抵抗値データ、第1層8（第2層9）のシート抵抗値データ、第1層8（第2層9）の低効率データ、第1層8（第2層9）の不純物濃度データ、および、第1層8（第2層9）のキャリア密度データのうちの少なくとも1つを含む。仕様データ138は、少なくとも、第1層8（第2層9）の厚さデータおよび第1層8（第2層9）の不純物濃度データのうちの少なくとも1つを含むことが好ましい。
- [0750] オフ角データ生成部137は、X線回折装置123によって取得されたオフ角 θ offに基づいてウエハ50のオフ角データ104を生成する部分である。オフ角データ生成部137は、この形態では、ウエハ50のオフ角データ104としての第1層8のオフ角データ104を生成する。
- [0751] オフ角データ生成部137は、ウエハID57に1対1の対応関係で関連付けられたオフ角データ104を生成する。ウエハID57は特定の第1層8の積層対象となるウエハ50のウエハID57であり、オフ角データ104は当該積層対象のウエハ50の上に積層された特定の第1層8のオフ角デ

ータ 104 である。

- [0752] 第2通信装置132は、有線または無線によってサーバ装置101に接続され、サーバ装置101との間で種々のデータの送受信を実行するインターフェイスである。第2通信装置132は、この形態では、通信ネットワークを介してサーバ装置101と通信するインターフェイスである。第2通信装置132は、無線LANインターフェイス、有線LANインターフェイス、無線WAN、有線WAN等であってもよい。
- [0753] 転送側制御装置124は、第2通信装置132を介してウエハID57、当該ウエハID57に関連付けられたオフ角データ104および当該ウエハID57に関連付けられた仕様データ138を含むデータセットをサーバ装置101に転送（アップロード）する。むろん、転送側制御装置124は、オフ角データ104および仕様データ138を異なるタイミングでサーバ装置101に転送するように構成されていてもよい。
- [0754] 転送側制御装置124は、第1入力装置139および第1表示装置140を含んでいてもよい。第1入力装置139は、外部からの操作（たとえばユーザの操作）によって転送側制御装置124（第2処理装置130や第2補助記憶装置131等）にデータを取り込むための装置である。
- [0755] たとえば、第1入力装置139は、キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル等を含んでいてもよい。第1表示装置140は、転送側制御装置124内の処理内容を外部に出力する装置である。たとえば、第1表示装置140は、タッチパネルやディスプレイ等を含んでいてもよい。
- [0756] 図74は、オフ角データ転送装置102のプロセス例を示すフローチャートである。図75は、図73に示すX線回折装置123による測定例を示す概略図である。図76は、ロッキングカーブを示すグラフである。
- [0757] 図74を参照して、まず、前述のウエハ50（図40参照）の用意工程が実施される（図74のステップS31）。ウエハ50の用意工程は、SiC単結晶塊（半導体単結晶塊）からなるインゴットからウエハ50を切り出す工程を含んでいてもよい。インゴットは、柱状（円柱状または角柱状）や球

状等に成形されていてもよい。ウエハ50の切り出し工程は、予め定められたオフ角 θ offでウエハ50を切り出す工程を含む。

[0758] ウエハ50の切り出し工程は、切削部材を利用した切削工程、レーザ照射を利用した分離工程（劈開工程）および軽イオン照射を利用した分離工程のうちの少なくとも1つを含んでいてもよい。切削工程は、切削部材によってインゴットからオフ角 θ offを有するウエハ50を切り出す工程を含む。切削部材は、ワイヤソーであってもよい。

[0759] 劈開工程は、複数の改質層の形成工程および外力付与工程を含む。複数の改質層の形成工程では、インゴットの所定の深さ位置に焦点（集光部）を有するレーザ光がオフ角 θ offに沿う所定の面方向に沿って照射され、インゴットの内部に所定の面方向に沿う複数の改質層が形成される。複数の改質層は、インゴットの結晶構造の一部が別の性質に改質された部分（レーザ照射痕）であり、他の領域と比較して脆弱な物性を有している。

[0760] 外力付与工程では、インゴットに対して外力（応力）が付与され、複数の改質層を起点にインゴットが分離（劈開）される。これにより、インゴットからオフ角 θ offを有するウエハ50が切り出される。たとえば、インゴットに対する外力（応力）は、切削部材に起因する応力、押圧部材に起因する応力、超音波振動に起因する応力、および、加熱冷却に起因する熱応力のうちの少なくとも1つを含んでいてもよい。

[0761] 分離工程は、軽イオンの導入工程および熱処理工程を含む。軽イオンの導入工程では、イオン注入法（イオンビーム）によって、インゴットの所定の深さ位置に軽イオンがオフ角 θ offに沿う所定の面方向に沿って導入され、インゴットの内部に所定の面方向に沿うイオン脆化部（イオン脆化領域）が形成される。

[0762] 軽イオンは、炭素よりも軽い元素のイオン（つまり、水素イオン、ヘリウムイオン、リチウムイオン、ベリリウムイオンおよびホウ素イオンのうちの少なくとも1種）である。軽イオンは、水素イオンおよびヘリウムイオンのいずれか一方または双方であることが好ましい。軽イオンは、水素イオンで

あることが特に好ましい。この場合、脆化部は水素脆化現象を利用して形成される。熱処理工程では、熱処理によってイオン脆化部に熱負荷が付与され、イオン脆化部を起点にインゴットからオフ角 θ of f を有するウエハ 50 が分離される。

[0763] ウエハ 50 の用意工程の後、ウエハ 1 D 5 7 がウエハ 1 D 5 7 (第 1 ウエハ主面 5 1) の所定箇所に付される。ウエハ 1 D 5 7 は、レーザ光を第 1 ウエハ主面 5 1 に照射することによって形成されてもよい。ウエハ 1 D 5 7 は、ニードル等によって第 1 ウエハ主面 5 1 を溝状に切り欠くことによって形成されてもよい。ウエハ 1 D 5 7 は、インク等によって第 1 ウエハ主面 5 1 にプリントされていてもよい。ウエハ 1 D 5 7 は、エッチング法によって第 1 ウエハ主面 5 1 を掘り下げることによって形成されてもよい。

[0764] ウエハ 1 D 5 7 が付された後、第 1 1 D 読取り装置 1 2 0 によってウエハ 1 D 5 7 の取得工程が実施される (図 7 4 のステップ S 3 2)。第 1 1 D 読取り装置 1 2 0 によって取得されたウエハ 1 D 5 7 は転送側制御装置 1 2 4 に格納される。

[0765] 次に、エピタキシャル成長装置 1 2 1 によってエピタキシャル層としての第 1 層 8 の形成工程が実施される (図 7 4 のステップ S 3 3)。この工程では、ウエハ 50 がエピタキシャル成長装置 1 2 1 に搬入され、エピタキシャル成長法によって第 1 層 8 がウエハ 50 の第 1 ウエハ主面 5 1 を起点に形成される (図 4 1 のステップ S 4 : 図 4 2 B も併せて参照)。

[0766] これにより、ウエハ 50 および第 1 層 8 を含むエピタキシャルウエハが形成される。第 1 層 8 の形成工程後、ウエハ 50 がエピタキシャル成長装置 1 2 1 から搬出される。この工程では、複数のエピタキシャル成長装置 1 2 1 によって、複数のウエハ 50 に対してエピタキシャル成長工程が並列して実行される。

[0767] 次に、検査装置 1 2 2 によって第 1 層 8 (エピタキシャル層) の検査工程が実施される (図 7 4 のステップ S 3 4)。この工程では、ウエハ 50 が検査装置 1 2 2 に搬入され、第 1 層 8 の仕様が検査される。この工程では、複

数のエピタキシャル成長装置 1 2 1 からエピタキシャル成長工程を終えた複数のウエハ 5 0 が検査装置 1 2 2 に順次搬入され、検査装置 1 2 2 によって複数のウエハ 5 0 の第 1 層 8 の仕様が順次検査される。第 1 層 8 の検査結果は転送側制御装置 1 2 4 に格納され、仕様データ 1 3 8 が生成される。第 1 層 8 の検査工程後、ウエハ 5 0 が検査装置 1 2 2 から搬出される。

[0768] 次に、X線回折装置 1 2 3 によってウエハ 5 0 の結晶方位の測定工程が実施される（図 7 4 のステップ S 3 5）。結晶方位の測定工程（図 7 4 のステップ S 3 5）は、検査工程（図 7 4 のステップ S 3 4）の前に実行されてもよい。この工程では、ウエハ 5 0 の結晶方位としての第 1 層 8（エピタキシャル層）の結晶方位が検査される（図 4 1 のステップ S 5 も併せて参照）。第 1 層 8 の結晶方位は、第 1 層 8 のオフ角 θ_{off} である。

[0769] この工程では、複数の検査装置 1 2 2 から検査工程を終えた複数のウエハ 5 0 が X 線回折装置 1 2 3 に順次搬入され、X 線回折装置 1 2 3 によって複数のウエハ 5 0 の結晶方位が順次測定される。X 線回折装置 1 2 3 は、ロッキングカーブ測定法（所謂 ω - 2θ 測定法）によって第 1 層 8 のオフ角 θ_{off} の測定工程を実行する。

[0770] X 線回折装置 1 2 3 は、第 1 層 8 の上端の一箇所（たとえば中央部）についてのみ、ロッキングカーブ測定法を実施するようにプログラムされていてもよい。オフ角 θ_{off} の面内ばらつきが想定される場合、X 線回折装置 1 2 3 は、第 1 層 8 の上端の複数箇所（たとえば中央部および周縁部）について実施するようにプログラムされていてもよい。

[0771] 図 7 5 では、第 1 層 8 の上端の複数箇所（ここでは 5 か所）についてロッキングカーブ測定法を実施した場合の測定箇所を示している。第 1 層 8 のオフ角 θ_{off} は、ここでは、約 4° に設定されている。図 7 5 では、第 1 ～ 第 5 測定点 P 0 1 ～ P 0 5 が示されている。

[0772] 第 1 測定点 P 0 1 は、第 1 層 8 の中央部に設定されている。第 2 測定点 P 0 2 は、第 1 測定点 P 0 1 から第 2 方向 Y の一方側（目印 5 4 とは反対側）に間隔を空けて第 1 層 8 の周縁部に設定されている。第 3 測定点 P 0 3 は、

第1測定点P○1から第1方向Xの一方側（目印54に対して右側）に間隔を空けて第1層8の周縁部に設定されている。

[0773] 第4測定点P○4は、第1測定点P○1から第2方向Yの他方側（目印54側）に間隔を空けて第1層8の周縁部に設定されている。第5測定点P○5は、第1測定点P○1から第1方向Xの他方側（目印54に対して左側）に間隔を空けて第1層8の周縁部に設定されている。

[0774] 第1～第5測定点P○1～P○5における入射角 ω 、回折角 2θ およびオフ角 θ_{off} の測定結果は、図76のグラフの通りである。図76において、縦軸は回折X線L2の強度を示し、横軸は入射角 ω を示している。図76の測定結果は以下の表1（Table 1）に示される。オフ角 θ_{off} は、入射角 ω および回折角 2θ を用いて「 $\omega - (2\theta \times 1/2)$ 」の計算式によって求められる。

[表1]

Table 1

Measuring point	$\omega (^{\circ})$	$2\theta (^{\circ})$	$\theta_{off} (^{\circ})$
Po1	21.836	35.606	4.033
Po2	21.830	35.609	4.025
Po3	21.841	35.611	4.035
Po4	21.837	35.609	4.033
Po5	21.856	35.606	4.053
Average			4.036
Standard deviation			0.009

[0775] 表1に示される通り、第1～第5測定点P○1～P○5のオフ角 θ_{off} の平均値は4.036°であり、これらのオフ角 θ_{off} の標準偏差は0.009°（±0.01°）であった。このことから、第1層8の上端に生じるオフ角 θ_{off} の面内ばらつきは極めて小さく、チャネリング注入工程に支障を来たさない程度であることが理解される。

[0776] したがって、第1層8の上端に対する測定箇所は少なくとも一箇所で問題

ないことが理解される。たとえば、測定箇所は、第1～第5測定点P○1～P○5のいずれか1つまたは複数（全部）であってもよい。たとえば、測定箇所は、第1測定点P○1のみであってもよい。測定箇所（測定回数）の削減によって製造工数（製造コスト）が削減される。

[0777] むろん、第1層8の上端の複数個所についてオフ角 θ_{off} を測定し、チャネリング注入工程においてオフ角 θ_{off} の面内ばらつきに応じた注入角度が設定されてもよい。この場合、製造工数（製造コスト）が増大するが、第1層8に形成される第1領域14の面内誤差が適切に抑制される。X線回折装置123による測定結果（第1層8のオフ角 θ_{off} ）は転送側制御装置124に格納され、オフ角データ104が生成される。オフ角測定工程後、ウエハ50がX線回折装置123から搬出される。

[0778] 次に、第2通信装置132を介するオフ角データ104の転送工程が実行される（図74のステップS36）。この工程では、仕様データ138も転送される。具体的には、転送側制御装置124は、第2通信装置132を介してサーバ装置101にアクセスし、ウエハID57、当該ウエハID57に関連付けられたオフ角データ104および当該ウエハID57に関連付けられた仕様データ138を含むデータセットをサーバ装置101に転送（アップロード）する。サーバ装置101に転送されたデータセットは、サーバ装置101のサーバ制御装置110に格納される。

[0779] オフ角データ転送装置102は、必ずしもオフ角データ104および仕様データ138の双方を同時にサーバ装置101に転送する必要はない。たとえば、オフ角データ転送装置102は、オフ角データ104および仕様データ138を異なるタイミングでサーバ装置101に転送してもよい。むろん、オフ角データ転送装置102は、オフ角データ104のみをサーバ装置101に転送してもよい。

[0780] 以下、チャネリングイオン注入装置103の構成例が示される。図77は、図71に示すチャネリングイオン注入装置103の構成例を示す概略図である。図78は、図77に示すイオン注入処理ユニット151の構成を示す

概略図である。図77では、1つのチャネリングイオン注入装置103の構成が示されている。

- [0781] チャネリングイオン注入装置103は、1つまたは複数の第2ID読取り装置150、1つまたは複数のイオン注入処理ユニット151および制御装置152を含む。第2ID読取り装置150は「第2ID読取りユニット」と称されてもよい。イオン注入処理ユニット151は「イオン注入ユニット」、「イオン注入装置」等と称されてもよい。
- [0782] 第2ID読取り装置150の個数およびイオン注入処理ユニット151の個数は任意である。製造効率を鑑みると、チャネリングイオン注入装置103は、複数のイオン注入処理ユニット151を含むことが好ましい。図77では、1つの第2ID読取り装置150および複数のイオン注入処理ユニット151が設けられた例が示されている。
- [0783] 第2ID読取り装置150は、ウエハ50のウエハID57を読み取る装置である。たとえば、第2ID読取り装置150は、ウエハ50を撮像する撮像装置を含み、ウエハ50の画像データからウエハID57を読み取るスキャナである。
- [0784] 撮像装置は、CCD型のイメージセンサおよびCMOS型のイメージセンサのいずれか一方または双方を含んでもよい。たとえば、第2ID読取り装置150は、処理チャンバ（図示せず）を含み、当該処理チャンバ内でウエハID57を取得するように構成されていてもよい。むしろ、第2ID読取り装置150は、ハンディスキャナであってもよい。
- [0785] 複数のイオン注入処理ユニット151は、チャネリングイオン注入法によって第1層8の内部（ウエハ50の内部）にイオンを注入する装置である。つまり、複数のイオン注入処理ユニット151は、チャネリングイオン注入装置103の本体部をそれぞれ構成している。図78を参照して、イオン注入処理ユニット151は、処理チャンバ153、支持ユニット154、変位ユニット155、加熱ユニット156およびイオンビーム生成ユニット157を含む。

- [0786] たとえば、処理チャンバ153は、内部空間を区画する箱型の隔壁を有し、ウエハ50を搬出入可能な開閉シャッタ153aを有している。支持ユニット154は、処理チャンバ153内に設けられ、ウエハ50を第2ウエハ主面52側から支持する。支持ユニット154は、静電気によってウエハ50を支持する静電チャックであってもよいし、吸引力によってウエハ50を支持するバキュームチャックであってもよい。
- [0787] 変位ユニット155は、支持ユニット154に接続され、支持ユニット154と共にウエハ50の姿勢を変位させる。たとえば、変位ユニット155は、ウエハ50を鉛直軸周りに回転させてもよい。たとえば、変位ユニット155は、支持ユニット154と共にウエハ50を鉛直軸に直交する水平軸周りに回転させ、ウエハ50を水平面に対して傾斜させてもよい。たとえば、変位ユニット155は、1つまたは複数の電動モータを含んでもよい。加熱ユニット156は、処理チャンバ153内に配置され、ウエハ50を加熱する。
- [0788] イオンビーム生成ユニット157は、ウエハ50に対して3価元素または5価元素を含むイオンビームを照射するユニットである。この形態では、第1層8に複数の第1領域14（第2層9に複数の第2領域15）が形成されるため、3価元素が選択される。むしろ、エピタキシャル層にn型のチャネリングインプラ領域が形成される場合は、5価元素が選択される。
- [0789] イオンビーム生成ユニット157は、イオン源ユニット148およびビームラインユニット149を含む。イオン源ユニット148は、処理チャンバ153外に設けられ、3価元素または5価元素からなる不純物ガスをイオン化する。ビームラインユニット149は、処理チャンバ153およびイオン源ユニット148に連結されている。ビームラインユニット149は、加速器およびレンズを含み、イオン源ユニット148で生成されたイオンを加速し、ビーム形状に成形する。
- [0790] 制御装置152は、第2ID読取り装置150および複数のイオン注入処理ユニット151に接続され、第2ID読取り装置150からのウエハID

57を取り込み、イオン注入処理ユニット151を所定の処理レシピに基づいて制御する。

[0791] 制御装置152は、第3処理装置160、第3補助記憶装置161および第3通信装置162を含む。第3処理装置160は、第3中央処理装置163および第3主記憶装置164を含む。第3主記憶装置164は、半導体記憶装置であってもよい。半導体記憶装置は、RAM等の揮発性メモリや、ROM等の不揮発性メモリを含んでいてもよい。

[0792] 第3補助記憶装置161は、第3処理装置160に所定のステップを実行させるプログラムが記憶された記憶媒体（具体的には不揮発性記憶媒体）である。第3補助記憶装置161は、単一の記憶媒体によって構成されていてもよいし、複数の記憶媒体によって構成されていてもよい。たとえば、第3補助記憶装置161は、磁気ディスク、光ディスク、フラッシュメモリ等を含んでいてもよい。

[0793] 第3補助記憶装置161は、第3データ格納部165を含む。第3データ格納部165は、1つまたは複数の記憶装置によって構成され、SiC半導体装置1A～1Cの製造に使用される種々のデータが保存される領域である。第3データ格納部165は、イオン注入処理ユニット151を制御するための処理レシピ等を含む。また、第3データ格納部165は、ウエハID57を保存する領域、オフ角データ104を保存する領域、仕様データ138を保存する領域等を含む。

[0794] 第3通信装置162は、有線または無線によってサーバ装置101に接続され、サーバ装置101との間で種々のデータの送受信を実行するインターフェイスである。第3通信装置162は、この形態では、通信ネットワークを介してサーバ装置101と通信するインターフェイスである。第3通信装置162は、無線LANインターフェイス、有線LANインターフェイス、無線WAN、有線WAN等であってもよい。

[0795] 制御装置152は、第3通信装置162を介してサーバ装置101にアクセスし、サーバ装置101からオフ角データ104および仕様データ138

を含むデータセットを取得（ダウンロード）する。むろん、制御装置１５２は、オフ角データ１０４および仕様データ１３８を異なるタイミングでサーバ装置１０１から取得するように構成されていてもよい。

[0796] 具体的には、制御装置１５２は、第２ＩＤ読取り装置１５０によって取得されたウエハＩＤ５７に基づいて、当該ウエハＩＤ５７に関連付けられたオフ角データ１０４および当該ウエハＩＤ５７に関連付けられた仕様データ１３８を含むデータセットを取得する。第３通信装置１６２を介して取得されたオフ角データ１０４および仕様データ１３８は、第３データ格納部１６５に格納され、イオン注入処理ユニット１５１の処理レシピに組み込まれる。

[0797] 制御装置１５２は、第２入力装置１６６および第２表示装置１６７を含んでいてもよい。第２入力装置１６６は、外部からの操作（たとえばユーザの操作）によって制御装置１５２（第３処理装置１６０や第３補助記憶装置１６１等）にデータを取り込むための装置である。

[0798] たとえば、第２入力装置１６６は、キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル等を含んでいてもよい。第２表示装置１６７は、制御装置１５２内の処理内容を外部に出力する装置である。たとえば、第２表示装置１６７は、タッチパネルやディスプレイ等の表示部を含んでいてもよい。

[0799] 図７９は、チャネリングイオン注入装置１０３に係るプロセス例を示すフローチャートである。図８０は、イオン注入工程を説明するための概略図である。図８１は、イオン注入工程を説明するための概略図である。

[0800] 図７９を参照して、まず、前述のウエハ５０（図４０参照）の用意工程が実施される（図７９のステップＳ４１）。ウエハ５０は、オフ角データ転送装置１０２による一連の処理工程を経て、第１マスク６０が第１層８の上に形成されたウエハ５０である（図４１のステップＳ６：図４２Ｃも併せて参照）。つまり、ウエハ５０は、第１層８を有するエピタキシャルウエハである。

[0801] 次に、第２ＩＤ読取り装置１５０によってウエハＩＤ５７の取得工程が実施される（図７９のステップＳ４２）。第２ＩＤ読取り装置１５０によって

取得されたウエハ 1057 は制御装置 152 に格納される。

[0802] 次に、第3通信装置 162 を介するオフ角データ 104 の取得工程が実行される（図79のステップS43）。具体的には、制御装置 152 は、第3通信装置 162 を介してサーバ装置 101 にアクセスし、第2ID読取り装置 150 によって取得されたウエハ 1057 に基づいて、当該ウエハ 1057 に関連付けられたオフ角データ 104 および当該ウエハ 1057 に関連付けられた仕様データ 138 を含むデータセットを取得（ダウンロード）する。オフ角データ 104 および仕様データ 138 を含むデータセットは、制御装置 152 に格納される。

[0803] チャネリングイオン注入装置 103 は、必ずしもオフ角データ 104 および仕様データ 138 の双方を同時にサーバ装置 101 から取得する必要はない。たとえば、チャネリングイオン注入装置 103 は、オフ角データ 104 および仕様データ 138 を異なるタイミングでサーバ装置 101 から取得してもよい。むしろ、チャネリングイオン注入装置 103 は、オフ角データ 104 のみをサーバ装置 101 から取得してもよい。

[0804] 次に、オフ角データ 104 がイオン注入処理ユニット 151 の処理レシピに設定される（図79のステップS43）。この工程では、仕様データ 138 もイオン注入処理ユニット 151 の処理レシピに設定される。イオン注入処理ユニット 151 は、オフ角データ 104 および仕様データ 138 が組み込まれた処理レシピに基づいて制御される。具体的には、イオン注入処理ユニット 151 では、オフ角データ 104 に基づいて変位ユニット 127 が制御され、イオンビーム（3価元素）のイオン注入角度に対する第1層8の傾斜角度が調節される。

[0805] また、イオン注入処理ユニット 151 では、仕様データ 138 に基づいてイオンビーム（3価元素）の注入エネルギーおよびイオンビーム（3価元素）の注入温度（ウエハ50の温度）が調節される。つまり、この工程では、第1層8に形成されるべき第1領域14の濃度プロファイルや第1領域14の厚さ（深さ）等がオフ角データ 104 および仕様データ 138 に基づいて調

節される（図13A～図13Eも併せて参照）。

- [0806] 次に、イオン注入処理ユニット151によって第1層8に対するチャネリング注入工程が実施される（図79のステップS44）。この工程では、イオンビーム（3価元素）が第1軸チャンネルCH1に沿って第1層8内に導入される（図41のステップS7：図42Dも併せて参照）。
- [0807] イオンビーム（3価元素）の注入角度は、第1軸チャンネルCH1に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（0°）として±2°の範囲内に設定されることが好ましい。注入角度は、第1軸チャンネルCH1に沿う軸（この形態ではSiC単結晶のc軸）を基準（0°）として±1°の範囲内に設定されることが特に好ましい。
- [0808] 換言すると、注入角度は、オフ角 θ_{off} の±2°の範囲内に設定されることが好ましい。注入角度は、オフ角 θ_{off} の±1°の範囲内に設定されることが特に好ましい。注入角度は、オフ角 θ_{off} とほぼ等しいことが好ましい。
- [0809] 図80を参照して、ランダム注入法では、第1軸チャンネルCH1に交差する方向に3価元素が所定の注入エネルギーで第1層8に導入される（図14も併せて参照）。たとえば、ランダム注入法では、第1層8の上端（第1ウエハ主面51）に垂直な鉛直方向Zに沿って3価元素が注入される。
- [0810] ランダム注入法の場合、平面視において原子列が比較的密である方向に沿って3価元素が導入されるため、3価元素は比較的浅い深さ位置において原子列に衝突する。そのため、第1層8の比較的深い深さ位置に対する3価元素の導入が原子列によって阻害される。その結果、緩慢部22を有さない第1領域14が形成される（図14も併せて参照）。
- [0811] 一方、図81を参照して、チャネリング注入法では、第1層8に対する3価元素の注入角度が制御され、第1軸チャンネルCH1（この形態ではSiC単結晶のc軸）に沿って3価元素が所定の注入エネルギーで第1層8に導入される（図13A～図13Eも併せて参照）。
- [0812] チャネリング注入法の場合、3価元素が平面視において原子列が比較的疎

である第1軸チャネルCH1に沿って導入される。3価元素は、チャネリング効果によって小角散乱を繰り返しながら第1軸チャネルCH1内を進行し、第1層8の比較的深い深さ位置まで到達する。

[0813] つまり、チャネリング注入法の場合、SiC単結晶の原子列に対する3価元素の衝突確率が低減される。これにより、目的の濃度プロファイルおよび目的の厚さを有する第1領域14が形成される。第1領域14の形成工程後、ウエハ50がイオン注入処理ユニット151から搬出される。その後、図41のステップS8～ステップS21（図42E～図42H参照）が順次実施される。

[0814] 第2層9の形成工程（図41のステップS12、図42E参照）および第2領域15の形成工程（図41のステップS14、図42G参照）は、第1層8の形成工程（図74のステップS33）および第1領域14の形成工程（図79のステップS45）の場合と同様、前述のイオン注入処理システム100を用いて実行される。この場合の具体的な説明は、前述の説明において「第1層8」を「第2層9」に置き換え、「第1領域14」を「第2領域15」に置き換えることによって得られる。

[0815] 第2層9のオフ角データ104が第1層8のオフ角データ104とほぼ等しい場合には、第2層9のオフ角データ104として第1層8のオフ角データ104が使用されてもよい。第2層9の仕様データ138が第1層8の仕様データ138とほぼ等しい場合には、第2層9の仕様データ138として第1層8の仕様データ138が使用されてもよい。

[0816] たとえば、チャネリングイオン注入装置103にX線回折装置123が組み込まれた装置では、X線回折装置123によるオフ角測定工程、および、チャネリングイオン注入装置103によるイオン注入工程が1つの装置内で完結されるため利便性は高い。

[0817] しかし、チャネリングイオン注入装置103の単位時間当たりのウエハ50の処理枚数は、X線回折装置123の単位時間当たりのウエハ50の処理枚数とは異なる。具体的には、チャネリングイオン注入装置103に係る処

理枚数は、X線回折装置123に係る処理枚数未満である。つまり、X線回折装置123はチャネリングイオン注入装置103の処理能力よりも高い処理能力を有し、1つのイオン注入工程が終了する前にオフ角測定工程を複数回実行できる。

[0818] そのため、オフ角測定工程およびイオン注入工程が複数のウエハ50に対して順次実行される場合、オフ角測定工程はイオン注入工程の終了を待って実行される必要があるため、オフ角測定工程およびイオン注入工程の間にプロセス停滞が生じる。したがって、チャネリングイオン注入装置103にX線回折装置123が組み込まれた装置では、X線回折装置123の処理能力を十分に活用できない。

[0819] これに対して、イオン注入処理システム100は、サーバ装置101（サーバ）からイオン注入処理対象となるウエハ50のオフ角データ104を取得し、当該オフ角データ104に基づいてウエハ50に対するイオン注入角度を制御するチャネリングイオン注入装置103（イオン注入装置）を含む。

[0820] この構成によれば、チャネリングイオン注入装置103がサーバ装置101に予め格納されたオフ角データ104をサーバ装置101から取得する。したがって、オフ角測定工程がイオン注入工程から切り離されるため、オフ角測定工程はイオン注入工程の終了を待つ必要がなくなる。これにより、オフ角測定工程およびイオン注入工程の間のプロセス停滞が抑制される。

[0821] イオン注入処理システム100は、複数のチャネリングイオン注入装置103を含むことが好ましい。この構成によれば、製造効率を向上できる。チャネリングイオン注入装置103は、ウエハID57に関連付けられたオフ角データ104が格納されたサーバ装置101から、ウエハID57に基づいてオフ角データ104を取得することが好ましい。この構成によれば、ウエハID57に基づいてウエハ50毎にイオン注入工程が管理されるため、プロセスの精確性が向上される。

[0822] ウエハ50は、ウエハID57が付された第1ウエハ主面51を有してい

てもよい。チャネリングイオン注入装置103は、第1ウエハ主面51からウエハID57を読み取る第2ID読取り装置150（ID読取り装置）を含んでいてもよい。この場合、チャネリングイオン注入装置103は、第2ID読取り装置150によって取得されたウエハID57に基づいて、サーバ装置101から当該ウエハID57に関連付けられたオフ角データ104を取得する。

[0823] ウエハ50は、第1層8（エピタキシャル層）を含むエピタキシャルウエハであってもよい。この場合、オフ角データ104は、第1層8のオフ角 θ_{off} に対応していてもよい。チャネリングイオン注入装置103は、オフ角データ104に基づいて第1層8に対するイオン注入角度を制御してもよい。この構成によれば、第1層8に対するイオン注入工程を精確に実施できる。

[0824] むろん、ウエハ50は、第2層9（エピタキシャル層）を含むエピタキシャルウエハであってもよい。この場合、オフ角データ104は、第2層9のオフ角 θ_{off} に対応していてもよい。チャネリングイオン注入装置103は、オフ角データ104に基づいて第2層9に対するイオン注入角度を制御してもよい。この構成によれば、第2層9に対するイオン注入工程を精確に実施できる。

[0825] チャネリングイオン注入装置103は、第1層8（第2層9）のオフ角データ104および第1層8（第2層9）の仕様データ138が格納されたサーバ装置101からオフ角データ104および仕様データ138を取得してもよい。この場合、チャネリングイオン注入装置103は、オフ角データ104および仕様データ138に基づいて第1層8（第2層9）に対するイオン注入処理条件を調節してもよい。この構成によれば、第1層8（第2層9）の仕様に応じて第1領域14（第2領域15）を適切に形成できる。

[0826] イオン注入処理システム100は、イオン注入処理前のウエハ50のオフ角データ104をサーバ装置101に転送するオフ角データ転送装置102を含むことが好ましい。この構成によれば、オフ角データ転送装置102は

チャネリングイオン注入装置103から独立してオフ角データ104をサーバ装置101に転送できる。したがって、オフ角データ転送装置102はチャネリングイオン注入装置103のイオン注入処理工程の終了を待つ必要がなくなる。

[0827] 一方で、チャネリングイオン注入装置103は、オフ角データ転送装置102から独立してサーバ装置101からオフ角データ104を取得し、イオン注入工程を実施できる。つまり、チャネリングイオン注入装置103は、予めサーバ装置101に格納されたオフ角データ104に基づいてウエハ50を順次処理できる。これにより、オフ角データ転送装置102およびチャネリングイオン注入装置103の間のプロセス停滞が抑制される。

[0828] この場合、チャネリングイオン注入装置103は、オフ角データ転送装置102から独立して設置される。イオン注入処理システム100は、複数のオフ角データ転送装置102を含むことが好ましい。この構成によれば、製造効率を向上できる。

[0829] オフ角データ転送装置102は、ウエハ50のオフ角データ104をウエハID57に関連付けてサーバ装置101に転送することが好ましい。この場合、チャネリングイオン注入装置103は、サーバ装置101からウエハID57に対応したオフ角データ104を取得することが好ましい。この構成によれば、ウエハID57に基づいてウエハ50毎にオフ角データ104が管理され、ウエハID57に基づいてウエハ50毎にイオン注入工程が管理されるため、プロセスの精確性が向上される。

[0830] ウエハ50は、第1層8（エピタキシャル層）を含むエピタキシャルウエハであってもよい。この場合、オフ角データ転送装置102は、第1層8のオフ角 θ_{off} をウエハ50のオフ角データ104としてサーバ装置101に転送してもよい。チャネリングイオン注入装置103は、オフ角データ104に基づいて第1層8に対するイオン注入角度を制御してもよい。この構成によれば、第1層8に対するイオン注入工程を精確に実施できる。

[0831] むろん、ウエハ50は、第2層9（エピタキシャル層）を含むエピタキシ

ャルウエハであってもよい。この場合、オフ角データ転送装置102は、第2層9のオフ角 θ_{off} をウエハ50のオフ角データ104としてサーバ装置101に転送してもよい。チャネリングイオン注入装置103は、オフ角データ104に基づいて第2層9に対するイオン注入角度を制御してもよい。この構成によれば、第2層9に対するイオン注入工程を精確に実施できる。

[0832] オフ角データ転送装置102は、ウエハ50のオフ角 θ_{off} をX線によって測定するX線回折装置123を含むことができる。ウエハ50のオフ角 θ_{off} は、第1層8（第2層9）のオフ角 θ_{off} であってもよい。この場合、オフ角データ転送装置102は、X線回折装置123による測定結果に基づいてオフ角データ104を生成し、当該オフ角データ104をサーバ装置101に転送する。

[0833] この構成によれば、X線回折装置123によるオフ角測定工程は、チャネリングイオン注入装置103によるイオン注入工程の終了を待つ必要がなくなる。したがって、X線回折装置123によるオフ角測定工程およびチャネリングイオン注入装置103によるイオン注入工程の間にプロセス停滞が生じることを抑制できる。よって、X線回折装置123の処理能力を適切に活用できる。

[0834] オフ角データ転送装置102は、ウエハ50の上に第1層8（第2層9）を積層し、エピタキシャルウエハを形成するエピタキシャル成長装置121を含んでいてもよい。この場合、オフ角データ転送装置102は、第1層8（第2層9）の仕様データ138を生成し、オフ角データ104と共に仕様データ138をサーバ装置101に転送してもよい。

[0835] 一方、チャネリングイオン注入装置103は、サーバ装置101からオフ角データ104および仕様データ138を取得してもよい。この構成によれば、第1層8（第2層9）の仕様に応じて第1領域14（第2領域15）を適切に形成できる。この場合、オフ角データ転送装置102は、第1層8（第2層9）を検査する検査装置122を含み、当該検査装置122の検査結

果に基づいて仕様データ 138 を生成してもよい。

- [0836] X線回折装置 123 は、一般的に、エピタキシャル成長装置 121 の処理能力よりも高い処理能力を有している。したがって、オフ角データ転送装置 102 は、X線回折装置 123 に加えて、複数のエピタキシャル成長装置 121 を含むことができる。
- [0837] この構成によれば、複数のエピタキシャル成長装置 121 から複数のウエハ 50 が X線回折装置 123 に順次搬送され、X線回折装置 123 によって複数のウエハ 50 に対するオフ角測定工程が順次実行される。したがって、X線回折装置 123 の停止時間を短縮できるため、X線回折装置 123 の処理能力を適切に活用できる。
- [0838] オフ角データ転送装置 102 は、オフ角データ 104（好ましくはウエハ ID 57 および当該ウエハ ID 57 に関連付けられたオフ角データ 104）をサーバ装置 101 に転送（アップロード）する機能を有していればよく、第 1 ID 読取り装置 120 の有無、X線回折装置 123 の有無、検査装置 122 の有無およびエピタキシャル成長装置 121 の有無はいずれも任意である。
- [0839] したがって、第 1 ID 読取り装置 120、X線回折装置 123、検査装置 122 およびエピタキシャル成長装置 121 のうちの少なくとも 1 つまたは全部を有さないオフ角データ転送装置 102 が採用されてもよい。
- [0840] オフ角データ転送装置 102 は必ずしも第 1 ID 読取り装置 120 を含む必要はなく、イオン注入処理システム 100 はオフ角データ転送装置 102 から独立して設置された第 1 ID 読取り装置 120 を含んでいてもよい。
- [0841] たとえば、ウエハ ID 57 が予め取得されている場合等には、オフ角データ転送装置 102 は、第 1 入力装置 139 を介する外部からの入力操作によってウエハ ID 57 を転送側制御装置 124 に取り込むように構成されてもよい。ここに言う「入力操作」は、ユーザによるウエハ ID 57 の手入力を含む他、通信ネットワーク（第 2 通信装置 132）を介するウエハ ID 57 のダウンロード操作も含む。

- [0842] オフ角データ転送装置 102 は必ずしも X 線回折装置 123 を含む必要はなく、イオン注入処理システム 100 はオフ角データ転送装置 102 から独立して設置された X 線回折装置 123 を含んでもよい。
- [0843] たとえば、オフ角データ 104 が予め取得されている場合等には、オフ角データ転送装置 102 は、第 1 入力装置 139 を介する外部からの入力操作によってオフ角データ 104 を転送側制御装置 124 に取り込むように構成されてもよい。ここに言う「入力操作」は、ユーザによるオフ角データ 104 の手入力を含む他、通信ネットワーク（第 2 通信装置 132）を介するオフ角データ 104 のダウンロード操作も含む。
- [0844] オフ角データ転送装置 102 は、必ずしも検査装置 122 を含む必要はなく、イオン注入処理システム 100 はオフ角データ転送装置 102 から独立して設置された検査装置 122 を含んでもよい。
- [0845] たとえば、仕様データ 138 が予め取得されている場合等には、オフ角データ転送装置 102 は、第 1 入力装置 139 を介する外部からの入力操作によって仕様データ 138 を転送側制御装置 124 に取り込むように構成されてもよい。ここに言う「入力操作」は、ユーザによる仕様データ 138 の手入力を含む他、通信ネットワーク（第 2 通信装置 132）を介する仕様データ 138 のダウンロード操作も含む。
- [0846] むろん、検査装置 122 を含まないイオン注入処理システム 100 が採用されてもよい。たとえば、第 1 層 8（第 2 層 9）の仕様がある程度定まっている場合や、第 1 層 8（第 2 層 9）の仕様を厳密に管理しない場合等は、全てのウエハ 50（ウエハ ID 57）に適用される共通の仕様データ 138 が転送側制御装置 124（第 2 データ格納部 135）に予め格納されていてもよい。むろん、共通の仕様データ 138 は、サーバ装置 101 に予め格納されていてもよい。
- [0847] オフ角データ転送装置 102 は、必ずしもエピタキシャル成長装置 121 を含む必要はなく、イオン注入処理システム 100 はオフ角データ転送装置 102 から独立して設置されたエピタキシャル成長装置 121 を含んでもよい。

もよい。

[0848] チャネリングイオン注入装置103は必ずしも第2ID読取り装置150を含む必要はなく、イオン注入処理システム100はチャネリングイオン注入装置103から独立して設置された第2ID読取り装置150を含んでいてもよい。

[0849] たとえば、ウエハID57が予め取得されている場合等には、チャネリングイオン注入装置103は、第2入力装置166を介する外部からの入力操作によってウエハID57を制御装置152に取り込むように構成されていてもよい。ここに言う「入力操作」は、ユーザによるウエハID57の手入力を含む他、通信ネットワーク（第3通信装置162）を介するウエハID57のダウンロード操作も含む。

[0850] 前述の形態はさらに他の形態で実施できる。前述の各形態では、装飾パターンPTが第1～第4側面5A～5Dに形成されていた。しかし、装飾パターンPTを有さない構造が採用されてもよい。この場合、複数の第1領域14および複数の第2領域15は、第1～第4側面5A～5Dから内方に間隔を空けて積層部7内に形成される。

[0851] たとえば、複数の第1領域14および複数の第2領域15は、外周領域11から内方に間隔を空けて活性領域10に形成されてもよい。むしろ、複数の第1領域14および複数の第2領域15の一方が第1～第4側面5A～5Dから露出し、複数の第1領域14および複数の第2領域15の他方が第1～第4側面5A～5Dから内方に間隔を空けて形成されてもよい。

[0852] 前述の各形態では、SiC単結晶をそれぞれ含むベース層6、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30が採用された。しかし、ベース層6、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30の少なくとも1つまたは全部は、SiC単結晶以外のワイドバンドギャップ半導体の単結晶を含んでいてもよい。

[0853] ワイドバンドギャップ半導体は、シリコンのバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する半導体である。ワイドバンドギャップ半導体の単結

晶として、炭化シリコン（SiC）、窒化ガリウム（GaN）、ダイヤモンド（C）、酸化ガリウム（Ga₂O₃）等が例示される。ベース層6、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30は、同一種類の単結晶によって構成されていてもよいし、異なる種類の単結晶によって構成されていてもよい。

[0854] 前述のチャネリング注入工程（原子列が疎な領域に不純物を注入する工程）は立方晶を構成する単結晶にも適用可能である。したがって、ワイドバンドギャップ半導体の単結晶は、立方晶または六方晶であってもよい。ベース層6、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30のうちの少なくとも1つまたは全部に対して立方晶の単結晶が適用される場合、これらの軸チャネルは、立方晶の結晶軸のうち低指数結晶軸に沿う原子列によって取り囲まれた領域によって形成される。

[0855] 立方晶に係る低指数結晶軸は、ミラー指数（h、k、l）に関して、「h」、「k」および「l」の絶対値がいずれも2以下（好ましくは1以下）で表現される結晶軸である。むろん、ベース層6、第1層8、第2層9、バッファ層26およびトップ層30のうちの少なくとも1つまたは全部は、シリコン単結晶を含んでいてもよい。

[0856] 前述の各形態では、MIS構造31およびSBD構造93が異なるチップ2に個別的に形成された例が示された。しかし、MIS構造31およびSBD構造93は1つのチップ2に形成されてもよい。この場合、SBD構造93は、MIS構造31に対する還流ダイオードとしてソースパッド47（アノードパッド）およびドレインパッド48（カソードパッド）の間に電氣的に介装されてもよい。

[0857] 前述の各形態では、n型のベース層6が示された。しかし、p型のベース層6が採用されてもよい。この場合、MISFET構造に代えてIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）構造が形成される。この場合、前述の説明において、MISFET構造の「ソース」がIGBT構造の「エミッタ」に置き換えられ、MISFET構造の「ドレイン」がIGBT構造の「コ

レクタ」に置き換えられる。p型のベース層6はイオン注入法によってチップ2の第2主面4の表層部に導入された3価元素を含むp型領域であってもよい。

[0858] 以下、この明細書および図面から抽出される特徴例が示される。以下、括弧内の英数字等は前述の各形態における対応構成要素等を表すが、各項目（Clause）の範囲を前述の各形態に限定する趣旨ではない。以下の項目に係る「半導体装置」は、必要に応じて「SiC半導体装置」、「ワイドバンドギャップ半導体装置」、「半導体スイッチング装置」、「半導体整流装置」、「MISFET装置」、「IGBT装置」、「ダイオード装置」等に置き換えられてもよい。

[0859] [A1] 半導体単結晶を含み、積層方向に沿う第1軸チャンネル（CH1）を有する第1導電型（n型）の第1層（8）と、半導体単結晶を含み、前記積層方向に沿う第2軸チャンネル（CH2）を有し、前記第1層（8）の上に積層された第1導電型（n型）の第2層（9）と、断面視において前記第1層（8）内で前記第1軸チャンネル（CH1）に沿って延び、平面視において第1延在方向（De1）に延びる第2導電型（p型）の第1領域（14）と、断面視において前記第2層（9）内で前記第2軸チャンネル（CH2）に沿って延び、平面視において前記第1領域（14）に交差するように前記第1延在方向（De1）に交差する第2延在方向（De2）に延びる第2導電型（p型）の第2領域（15）と、を含む、半導体装置（1A、1B、1C）。

[0860] [A2] 前記第1延在方向（De1）は、結晶方位のうちのm軸方向またはa軸方向である、A1に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0861] [A3] 前記第2延在方向（De2）は、前記第1延在方向（De1）に直交している、A2に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0862] [A4] 前記第2延在方向（De2）は、前記第1延在方向（De1）に直交していない、A2に記載の半導体装置（1A、1B、1C）。

[0863] [A5] 前記第1延在方向（De1）は、結晶方位のうちのm軸方向およ

びa軸方向以外の方向である、A1に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0864] [A6] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交している、A5に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0865] [A7] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交していない、A5に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0866] [A8] 前記第2延在方向(D e 2)は、結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向以外の方向である、A1～A7のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0867] [A9] 前記第2領域(15)は、前記第1層(8)および前記第2層(9)の間の境界部を横切り、前記第1層(8)内に位置する延部を有している、A1～A8のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0868] [A10] 前記第2領域(15)の前記延部は、前記第1層(8)内で前記第1領域(14)に接続されている、A9に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0869] [A11] 前記第1領域(14)は、前記第1層(8)の上端から下端側に間隔を空けて形成されている、A9またはA10に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0870] [A12] 前記第1領域(14)および前記第2領域(15)の間の領域に介在された第2導電型(p型)の中間領域(25)をさらに含む、A1～A11のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0871] [A13] 前記中間領域(25)は、前記第1領域(14)および前記第2領域(15)の間の領域において前記第1層(8)に形成されている、A12に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0872] [A14] 前記第1領域(14)は、前記第1軸チャネル(CH1)に沿って前記第1層(8)の中間部を横切る単一の不純物領域からなり、前記第2領域(15)は、前記第2軸チャネル(CH2)に沿って前記第2層(9)の中間部を横切る単一の不純物領域からなる、A1～A13のいずれか一

つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0873] [A 1 5] 前記第1領域（1 4）は、前記第1層（8）の下端側の第1下端部（1 4 a）、および、前記第1層（8）の上端側の第1上端部（1 4 b）を有し、前記第1上端部（1 4 b）から前記第1下端部（1 4 a）に向けて漸減する第1濃度勾配を有している、A 1～A 1 4のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0874] [A 1 6] 前記第1濃度勾配は、前記第1上端部（1 4 b）側の第1ピーク値（P A、2 1 A）、および、前記第1ピーク値（P A、2 1 A）よりも前記第1下端部（1 4 a）側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する第1緩慢部（2 2 A）を含む、A 1 5に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0875] [A 1 7] 前記第1緩慢部（2 2 A）は、前記第1領域（1 4）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占めている、A 1 6に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0876] [A 1 8] 前記第2領域（1 5）は、前記第2層（9）の下端側の第2下端部（1 5 a）、および、前記第2層（9）の上端側の第2上端部（1 5 b）を有し、前記第2上端部（1 5 b）から前記第2下端部（1 5 a）に向けて漸減する第2濃度勾配を有している、A 1～A 1 7のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0877] [A 1 9] 前記第2濃度勾配は、前記第2上端部（1 5 b）側の第2ピーク値（P B、2 1 B）、および、前記第2ピーク値（P B、2 1 B）よりも前記第2下端部（1 5 a）側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する第2緩慢部（2 2 B）を含む、A 1 8に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0878] [A 2 0] 前記第2緩慢部（2 2 B）は、前記第2領域（1 5）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占めている、A 1 9に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0879] [A 2 1] 前記第1層（8）は、S i C単結晶を含む第1S i C層（8）

であり、前記第2層(9)は、SiC単結晶を含む第2SiC層(9)である、A1～A20のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

。

[0880] [B1] 主面(3)を有する第1導電型(n型)の半導体層(7)と、前記主面(3)の内方部に設定された活性領域(10)と、前記主面(3)の周縁部に設定された外周領域(11)と、前記主面(3)に沿う水平方向に間隔を空けて前記半導体層(7)内に形成され、前記活性領域(10)および前記外周領域(11)の双方に位置された複数の不純物領域(14、15)を含む第2導電型(p型)のコラム領域(12)と、を含む、半導体装置(1A、1B、1C)。

[0881] [B2] 前記半導体層(7)は、第1導電型(n型)の第1層(8)、および、前記第1層(8)の上に積層された第1導電型(n型)の第2層(9)を含む積層構造を有し、前記コラム領域(12)は、前記水平方向に間隔を空けて前記第1層(8)内に形成され、前記活性領域(10)および前記外周領域(11)の双方に位置された前記不純物領域(14、15)としての複数の第1領域(14)と、前記水平方向に間隔を空けて前記第2層(9)内に形成され、前記活性領域(10)および前記外周領域(11)の双方に位置された前記不純物領域(14、15)としての複数の第2領域(15)と、を含む、B1に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0882] [B3] 前記第1層(8)は、積層方向に沿う第1軸チャネル(CH1)を有し、前記第2層(9)は、前記積層方向に沿う第2軸チャネル(CH2)を有し、前記第1領域(14)は、前記第1層(8)内で前記第1軸チャネル(CH1)に沿って延び、前記第2領域(15)は、前記第2層(9)内で前記第2軸チャネル(CH2)に沿って延びている、B2に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0883] [B4] 前記第1領域(14)は、前記第1軸チャネル(CH1)に沿って前記第1層(8)の中間部を横切る単一の前記不純物領域(14)からなり、前記第2領域(15)は、前記第2軸チャネル(CH2)に沿って前記

第2層(9)の中間部を横切る単一の前記不純物領域(15)からなる、B3に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0884] [B5] 前記第2領域(15)は、前記第1層(8)および前記第2層(9)の間の境界部を横切り、前記第1層(8)内に位置する延部を有している、B2～B4のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0885] [B6] 前記第1領域(14)は、前記第1層(8)の上端から下端側に間隔を空けて形成されている、B2～B5のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0886] [B7] 前記第1領域(14)は、前記第1層(8)の上端側の第1ピーク値(PA、21A)、および、前記第1ピーク値(PA、21A)よりも前記第1層(8)の下端側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する第1緩慢部(22A)を含み、前記第2領域(15)は、前記第2層(9)の上端側の第2ピーク値(PB、21B)、および、前記第2ピーク値(PB、21B)よりも前記第2層(9)の下端側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する第2緩慢部(22B)を含む、B2～B6のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0887] [B8] 前記第1緩慢部(22A)は、前記第1領域(14)のうちの1/4以上の厚さ範囲を占め、前記第2緩慢部(22B)は、前記第2領域(15)のうちの1/4以上の厚さ範囲を占めている、B7に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0888] [B9] 複数の前記第1領域(14)は、第1延在方向(D e 1)に延び、複数の前記第2領域(15)は、前記第1延在方向(D e 1)とは異なる第2延在方向(D e 2)に延び、複数の前記第1領域(14)に交差している、B2～B8のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0889] [B10] 前記第1延在方向(D e 1)は、結晶方位のうちのm軸方向またはa軸方向である、B9に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0890] [B11] 前記第1延在方向(D e 1)は、結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向以外の方向である、B9に記載の半導体装置(1A、1B、1

C)。

- [0891] [B 1 2] 前記第2延在方向(D e 2)は、結晶方位のうちのm軸方向およびa軸方向以外の方向である、B 1 1に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0892] [B 1 3] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交している、B 9に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0893] [B 1 4] 前記第2延在方向(D e 2)は、前記第1延在方向(D e 1)に直交していない、B 9に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0894] [B 1 5] 複数の前記第1領域(1 4)は、第1延在方向(D e 1)に延び、複数の前記第2領域(1 5)は、前記第1延在方向(D e 1)に一致した第2延在方向(D e 2)に延び、前記半導体層(7)の厚さ方向に複数の前記第1領域(1 4)に重なっている、B 2～B 8のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0895] [B 1 6] 前記外周領域(1 1)において前記主面(3)の表層部に形成され、前記半導体層(7)の厚さ方向に前記コラム領域(1 2)に重なる少なくとも1つのフィールド領域(3 8)をさらに含む、B 1～B 1 5のいずれか一つに記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0896] [B 1 7] 立体格子状の前記コラム領域(1 2)が複数の前記不純物領域(1 4、1 5)によって形成され、前記フィールド領域(3 8)は、前記外周領域(1 1)において立体格子状の前記コラム領域(1 2)に対して前記主面(3)側の領域に形成されている、B 1 6に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0897] [B 1 8] ストライプ状の複数の前記コラム領域(1 2)が複数の前記不純物領域(1 4、1 5)によって形成され、前記フィールド領域(3 8)は、前記外周領域(1 1)においてストライプ状の複数の前記コラム領域(1 2)に対して前記主面(3)側の領域に形成されている、B 1 6に記載の半導体装置(1 A、1 B、1 C)。
- [0898] [B 1 9] 前記フィールド領域(3 8)は、平面視で複数の前記不純物領

域（１４、１５）に交差する部分、および、平面視で複数の前記不純物領域（１４、１５）に沿って延びる部分を有している、Ｂ１６～Ｂ１８のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0899] 〔Ｂ２０〕複数の前記フィールド領域（３８）が、間隔を空けて形成されている、Ｂ１６～Ｂ１９のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0900] 〔Ｂ２１〕前記半導体層（７）は、ＳｉＣ単結晶を含むＳｉＣ層（７）である、Ｂ１～Ｂ２０のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0901] 〔Ｃ１〕側面（５Ａ～５Ｄ）を有するチップ（２）と、前記側面（５Ａ～５Ｄ）に形成された装飾パターン（ＰＴ）と、を含む、半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0902] 〔Ｃ２〕前記チップ（２）は、第１導電型（ｎ型）の半導体層（７）を含み、前記装飾パターン（ＰＴ）は、前記側面（５Ａ～５Ｄ）において前記半導体層（７）からなる部分に形成された第２導電型（ｐ型）のマーク（Ｍｋ１、Ｍｋ２）を含む、Ｃ１に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0903] 〔Ｃ３〕前記装飾パターン（ＰＴ）は、複数の前記マーク（Ｍｋ１、Ｍｋ２）を含む、Ｃ２に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0904] 〔Ｃ４〕前記側面（５Ａ～５Ｄ）は、平面視で第１方向（Ｘ）に延びる第１側面（５Ａ、５Ｃ）、および、平面視で前記第１方向（Ｘ）に交差する第２方向（Ｙ）に延びる第２側面（５Ｂ、５Ｄ）を含み、前記装飾パターン（ＰＴ）は、前記第１側面（５Ａ、５Ｃ）および前記第２側面（５Ｂ、５Ｄ）のいずれか一方または双方に形成された少なくとも１つの前記マーク（Ｍｋ１、Ｍｋ２）を含む、Ｃ２またはＣ３に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

[0905] 〔Ｃ５〕前記半導体層（７）は、六方晶からなり、前記第１方向（Ｘ）は、前記半導体層（７）の結晶方位のうちのｍ軸方向およびａ軸方向の一方であり、前記第２方向（Ｙ）は、前記結晶方位のうちのｍ軸方向およびａ軸方

向の他方である、C 4 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0906] [C 6] 複数の前記マーク（M k 1、M k 2）は、前記第 1 側面（5 A、5 C）に形成された第 1 マーク（M k 1）、および、前記第 2 側面（5 B、5 D）に形成された第 2 マーク（M k 2）を含む、C 4 または C 5 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0907] [C 7] 前記第 1 マーク（M k 1）は、前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）に縦長柱状に延び、前記第 2 マーク（M k 2）は、前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）に縦長柱状に延びている、C 6 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0908] [C 8] 前記第 1 マーク（M k 1）は、前記第 1 側面（5 A、5 C）において前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）の一方側の第 1 厚さ範囲に形成され、前記第 2 マーク（M k 2）は、前記第 2 側面（5 B、5 D）において前記半導体層（7）の厚さ方向（Z）の他方側の第 2 厚さ範囲に形成されている、C 6 または C 7 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0909] [C 9] 複数の前記第 1 マーク（M k 1）が、前記第 1 方向（X）に間隔を空けて一列に配列され、複数の前記第 2 マーク（M k 2）が、前記第 2 方向（Y）に間隔を空けて一列に配列されている、C 6～C 8 のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0910] [C 1 0] 前記半導体層（7）は、第 1 導電型（n 型）の第 1 層（8）、および、前記第 1 層（8）の上に積層された第 1 導電型（n 型）の第 2 層（9）を含む積層構造を有し、前記第 1 マーク（M k 1）は、前記第 1 層（8）に形成され、前記第 2 マーク（M k 2）は、前記第 2 層（9）に形成されている、C 6～C 9 のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0911] [C 1 1] 前記第 2 マーク（M k 2）は、前記第 1 層（8）および前記第 2 層（9）の間の境界部を横切り、前記第 1 層（8）内に位置する延部を有している、C 1 0 に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0912] [C 1 2] 前記第 1 マーク（M k 1）は、前記第 1 層（8）の上端から下

端側に間隔を空けて形成されている、C 1 0またはC 1 1に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0913] [C 1 3] 前記第1層（8）は、積層方向に沿う第1軸チャネル（CH 1）を有し、前記第2層（9）は、前記積層方向に沿う第2軸チャネル（CH 2）を有し、前記第1マーク（Mk 1）は、前記第1側面（5 A、5 C）の表層部において前記第1軸チャネル（CH 1）に沿って延び、前記第2マーク（Mk 2）は、前記第2側面（5 B、5 D）の表層部において前記第2軸チャネル（CH 2）に沿って延びている、C 1 0～C 1 2のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0914] [C 1 4] 前記第1マーク（Mk 1）は、前記第1軸チャネル（CH 1）に沿って前記第1層（8）の中間部を横切り、前記第2マーク（Mk 2）は、前記第2軸チャネル（CH 2）に沿って前記第2層（9）の中間部を横切っている、C 1 3に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0915] [C 1 5] 前記第1マーク（Mk 1）は、前記第1層（8）の上端側の第1ピーク値（PA、2 1 A）、および、前記第1ピーク値（PA、2 1 A）よりも前記第1層（8）の下端側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する第1緩慢部（2 2 A）を含み、前記第2マーク（Mk 2）は、前記第2層（9）の上端側の第2ピーク値（PB、2 1 B）、および、前記第2ピーク値（PB、2 1 B）よりも前記第2層（9）の下端側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する第2緩慢部（2 2 B）を含む、C 1 0～C 1 4のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0916] [C 1 6] 前記第1緩慢部（2 2 A）は、前記第1マーク（Mk 1）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占め、前記第2緩慢部（2 2 B）は、前記第2マーク（Mk 2）のうちの1／4以上の厚さ範囲を占めている、C 1 5に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）。

[0917] [C 1 7] 前記装飾パターン（PT）は、前記第1マーク（Mk 1）とは異なるレイアウトで前記第1側面（5 A、5 C）に形成された第2導電型（p型）の第1相異マーク（Md 1）を含む、C 6～C 1 6のいずれか一つに

記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

- [0918] [C 1 8] 前記第１相異マーク（M d 1）は、前記第１方向（X）に沿って帯状に延び、前記半導体層（７）の厚さ方向（Z）に前記第１マーク（M k 1）に重なっている、C 1 7に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。
- [0919] [C 1 9] 前記装飾パターン（P T）は、前記第２マーク（M k 2）とは異なるレイアウトで前記第２側面（５Ｂ、５Ｄ）に形成された第２導電型（p型）の第２相異マーク（M d 2）を含む、C 6～C 1 8のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。
- [0920] [C 2 0] 前記第２相異マーク（M d 2）は、前記第２方向（Y）に沿って帯状に延び、前記半導体層（７）の厚さ方向（Z）に前記第１マーク（M k 1）に重なっている、C 1 9に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。
- [0921] [C 2 1] 前記チップ（２）は、S i C単結晶を含むS i Cチップ（２）である、C 1～C 2 0のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。
- [0922] [D 1] 主面（３）を含み、厚さ方向（Z）に沿う軸チャネル（C H 2）を有する第１導電型（n型）の半導体層（９）と、前記半導体層（９）内で前記軸チャネル（C H 2）に沿って延びる第２導電型（p型）の不純物領域（１５）と、前記不純物領域（１５）に対して前記主面（３）側の領域に形成された第２導電型（p型）のボディ領域（３２）と、前記主面（３）において前記ボディ領域（３２）を貫通するトレンチ（７５）、前記主面（３）よりも前記トレンチ（７５）の底壁側に配置された埋設電極（７７）、および、前記主面（３）よりも前記トレンチ（７５）の底壁側に配置され、前記埋設電極（７７）を被覆する埋設絶縁体（８０）を有するゲート構造（３５）と、を含む、半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。
- [0923] [D 2] 前記不純物領域（１５）は、前記軸チャネル（C H 2）に沿って前記半導体層（９）の中間部を横切る単一の領域からなり、前記ゲート構造（３５）は、前記不純物領域（１５）よりも浅い、D 1に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）。

- [0924] [D 3] 前記不純物領域 (1 5) は、前記半導体層 (9) の上端側のピーク値 (P B、2 1 B)、および、前記ピーク値 (P B、2 1 B) よりも前記半導体層 (9) の下端側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する緩慢部 (2 2 B) を含む、D 1 または D 2 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0925] [D 4] 前記緩慢部 (2 2 B) は、前記不純物領域 (1 5) のうちの $1/4$ 以上の厚さ範囲を占めている、D 3 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0926] [D 5] 前記ゲート構造 (3 5) は、平面視で帯状に延びている、D 1 ～D 4 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0927] [D 6] 前記ゲート構造 (3 5) は、結晶方位のうちの a 軸方向に延びている、D 5 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0928] [D 7] 前記不純物領域 (1 5) は、平面視で帯状に延び、前記ゲート構造 (3 5) は、前記不純物領域 (1 5) の延在方向に延び、前記不純物領域 (1 5) から間隔を空けて形成されている、D 5 または D 6 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0929] [D 8] 前記不純物領域 (1 5) は、平面視で帯状に延び、前記ゲート構造 (3 5) は、前記不純物領域 (1 5) の延在方向に延び、前記半導体層 (9) の厚さ方向 (Z) に前記不純物領域 (1 5) に重なっている、D 5 または D 6 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0930] [D 9] 前記不純物領域 (1 5) は、平面視で帯状に延び、前記ゲート構造 (3 5) は、前記不純物領域 (1 5) の延在方向以外の方向に延び、前記不純物領域 (1 5) に交差している、D 5 または D 6 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0931] [D 1 0] 前記埋設電極 (7 7) は、前記トレンチ (7 5) の深さ方向に間隔を空けて配置された複数の電極 (8 3、8 4) を含むマルチ電極構造を有している、D 1 ～D 9 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。

- [0932] [D 1 1] 厚さ方向 (Z) に沿う下側軸チャネル (C H 1) を有する下側半導体層 (8) と、前記下側半導体層 (8) 内で前記下側軸チャネル (C H 1) に沿って延びる第2導電型 (p型) の下側不純物領域 (1 4) と、をさらに含み、前記半導体層 (9) は、前記下側半導体層 (8) の上に積層され、前記不純物領域 (1 5) は、積層方向に前記下側不純物領域 (1 4) に重なるように前記半導体層 (9) 内に形成されている、D 1 ~ D 1 0 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0933] [D 1 2] 前記下側不純物領域 (1 4) は、前記下側軸チャネル (C H 1) に沿って前記下側半導体層 (8) の中間部を横切る単一の領域からなる、D 1 1 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0934] [D 1 3] 前記下側不純物領域 (1 4) は、前記下側半導体層 (8) の上端側の下側ピーク値 (P A、2 1 A)、および、前記下側ピーク値 (P A、2 1 A) よりも前記下側半導体層 (8) の下端側の領域において緩慢な低下率で不純物濃度が漸減する下側緩慢部 (2 2 A) を含む、D 1 1 または D 1 2 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0935] [D 1 4] 前記下側緩慢部 (2 2 A) は、前記不純物領域 (1 5) のうちの1/4以上の厚さ範囲を占めている、D 1 3 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0936] [D 1 5] 前記下側不純物領域 (1 4) は、平面視で第1延在方向 (D e 1) に延び、前記不純物領域 (1 5) は、平面視で前記第1延在方向 (D e 1) に一致した第2延在方向 (D e 2) に延びている、D 1 1 ~ D 1 4 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0937] [D 1 6] 前記下側不純物領域 (1 4) は、平面視で第1延在方向 (D e 1) に延び、前記不純物領域 (1 5) は、平面視で前記第1延在方向 (D e 1) 以外の第2延在方向 (D e 2) に延び、前記下側不純物領域 (1 4) に交差している、D 1 1 ~ D 1 5 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C)。
- [0938] [D 1 7] 前記ボディ領域 (3 2) の表層部において前記ゲート構造 (3

5) に沿って形成された第1導電型(n型)のソース領域(33)と、前記主面(3)の上で前記ソース領域(33)に電氣的に接続され、前記トレンチ(75)内で前記埋設絶縁体(80)によって前記埋設電極(77)から電氣的に絶縁されたソースパッド(47)と、をさらに含む、D1~D16のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0939] [D18] 前記ソース領域(33)は、前記トレンチ(75)の側壁から露出した部分を有し、前記ソースパッド(47)は、前記トレンチ(75)内において前記ソース領域(33)のうち前記トレンチ(75)の側壁から露出した部分に電氣的に接続されている、D17に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0940] [D19] 複数の前記ゲート構造(35)が間隔を空けて前記主面(3)に形成され、前記ソース領域(33)は、互いに隣り合う2つの前記ゲート構造(35)に接続されている、D17またはD18に記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0941] [D20] 前記ボディ領域(32)の表層部において前記ゲート構造(35)に沿って前記ソース領域(33)とは異なる領域に形成された第2導電型(p型)のコンタクト領域(34)をさらに含み、前記ソースパッド(47)は、前記主面(3)の上で前記コンタクト領域(34)に電氣的に接続されている、D17~D19のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0942] [D21] 前記半導体層(9)は、SiC単結晶を含むSiC層(9)である、D1~D20のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)。

[0943] [E1] イオン注入装置(103)を含むイオン注入処理システム(100)であって、前記イオン注入装置(103)は、サーバ(101)からイオン注入処理対象となるウエハ(50)のオフ角データ(104)を取得し、前記オフ角データ(104)に基づいて前記ウエハ(50)に対するイオン注入角度を制御する、イオン注入処理システム(100)。

- [0944] [E 2] 前記ウエハ (50) は、ワイドバンドギャップ半導体である、E 1 に記載のイオン注入処理システム (100)。
- [0945] [E 3] 前記ウエハ (50) は、六方晶である、E 1 または E 2 に記載のイオン注入処理システム (100)。
- [0946] [E 4] 前記イオン注入装置 (103) は、前記ウエハ (50) の軸チャネル (CHB、CH1、CH2) に沿って前記ウエハ (50) の内部にイオンを注入するチャネリングイオン注入装置 (103) である、E 1～E 3 のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム (100)。
- [0947] [E 5] 複数の前記イオン注入装置 (103) が設けられている、E 1～E 4 のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム (100)。
- [0948] [E 6] 前記イオン注入装置 (103) は、前記ウエハ (50) のID (57) に関連付けられた前記オフ角データ (104) が格納された前記サーバ (101) から、前記ウエハ (50) の前記ID (57) に基づいて前記オフ角データ (104) を取得する、E 1～E 5 のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム (100)。
- [0949] [E 7] 前記ウエハ (50) は、前記ID (57) が付された主面 (51) を有し、前記イオン注入装置 (103) は、前記ウエハ (50) の前記主面 (51) から前記ID (57) を読み取るID読取り装置 (150) を含む、E 6 に記載のイオン注入処理システム (100)。
- [0950] [E 8] 前記ウエハ (50) は、エピタキシャル層 (8、9) を含むエピタキシャルウエハであり、前記オフ角データ (104) は、前記エピタキシャル層 (8、9) のオフ角 (θ_{off}) に対応し、前記イオン注入装置 (103) は、前記オフ角データ (104) に基づいて前記エピタキシャル層 (8、9) に対する前記イオン注入角度を制御する、E 1～E 7 のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム (100)。
- [0951] [E 9] 前記イオン注入装置 (103) は、前記エピタキシャル層 (8、9) の前記オフ角データ (104) および前記エピタキシャル層 (8、9) の仕様データ (136) が格納された前記サーバ (101) から前記オフ角

データ（１０４）および前記仕様データ（１３６）を取得する、Ｅ８に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0952] [E１０] 前記イオン注入装置（１０３）は、前記オフ角データ（１０４）および前記仕様データ（１３６）に基づいて前記エピタキシャル層（８、９）に対するイオン注入処理条件を調節する、Ｅ９に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0953] [E１１] 前記仕様データ（１３６）は、少なくとも、前記エピタキシャル層（８、９）の厚さデータおよび前記エピタキシャル層（８、９）の不純物濃度データのいずれか一方または双方を含む、Ｅ９またはＥ１０に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0954] [E１２] オフ角データ転送装置（１０２）をさらに含み、前記オフ角データ転送装置（１０２）は、イオン注入処理前の前記ウエハ（５０）の前記オフ角データ（１０４）を前記サーバ（１０１）に転送する、Ｅ１～Ｅ１１のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0955] [E１３] 前記イオン注入装置（１０３）は、前記オフ角データ転送装置（１０２）から独立して設けられている、Ｅ１２に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0956] [E１４] 複数の前記オフ角データ転送装置（１０２）が設けられている、Ｅ１２またはＥ１３に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0957] [E１５] 前記オフ角データ転送装置（１０２）は、前記ウエハ（５０）の前記オフ角データ（１０４）を前記ウエハ（５０）のＩＤ（５７）に関連付けて前記サーバ（１０１）に転送し、前記イオン注入装置（１０３）は、前記ウエハ（５０）の前記ＩＤ（５７）に基づいて前記サーバ（１０１）から前記オフ角データ（１０４）を取得する、Ｅ１２～Ｅ１４のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0958] [E１６] 前記ウエハ（５０）は、エピタキシャル層（８、９）を含むエピタキシャルウエハであり、前記オフ角データ転送装置（１０２）は、前記エピタキシャル層（８、９）のオフ角（*theta* off）を前記ウエハ（５０）の

前記オフ角データ（１０４）として前記サーバ（１０１）に転送し、前記イオン注入装置（１０３）は、前記オフ角データ（１０４）に基づいて前記エピタキシャル層（８、９）に対する前記イオン注入角度を制御する、Ｅ１２～Ｅ１５のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0959] [E １ ７] 前記オフ角データ転送装置（１０２）は、前記ウエハ（５０）の上に前記エピタキシャル層（８、９）を積層し、前記エピタキシャルウエハを形成するエピタキシャル成長装置（１２１）を含む、Ｅ１６に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0960] [E １ ８] 前記オフ角データ転送装置（１０２）は、前記エピタキシャル層（８、９）の仕様データ（１３６）を生成し、前記仕様データ（１３６）を前記サーバ（１０１）に転送し、前記イオン注入装置（１０３）は、前記サーバ（１０１）から前記仕様データ（１３６）を取得する、Ｅ１７に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0961] [E １ ９] 前記オフ角データ転送装置（１０２）は、前記ウエハ（５０）のオフ角（ $\theta \circ f f$ ）をＸ線によって測定するＸ線回折装置（１２３）を含み、前記Ｘ線回折装置（１２３）による測定結果に基づいて前記ウエハ（５０）の前記オフ角データ（１０４）を生成し、前記オフ角データ（１０４）を前記サーバ（１０１）に転送する、Ｅ１２～Ｅ１８のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0962] [E ２ ０] 前記Ｘ線回折装置（１２３）は、前記ウエハ（５０）にＸ線を照射する照射部（１２８）、および、前記ウエハ（５０）からの回折Ｘ線を検出する検出部（１２９）を含み、ロッキングカーブ測定法によって前記ウエハ（５０）の前記オフ角（ $\theta \circ f f$ ）を測定する、Ｅ１９に記載のイオン注入処理システム（１００）。

[0963] [E １] ～ [E ２ ０] のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム（１００）は、[A １] ～ [A ２ １] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造に供されるシステムであってもよい。[E １] ～ [E ２ ０] のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム（１００）は、[

B 1] ~ [B 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造に供されるシステムであってもよい。

[0964] [E 1] ~ [E 2 0] のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム (1 0 0) は、[C 1] ~ [C 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造に供されるシステムであってもよい。[E 1] ~ [E 2 0] のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム (1 0 0) は、[D 1] ~ [D 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造に供されるシステムであってもよい。

[0965] [F 1] イオン注入処理対象のウエハ (5 0) のオフ角データ (1 0 4) をサーバ (1 0 1) から取得するデータ取得工程 (S 4 3) と、イオン注入装置 (1 0 3、1 5 1) を用いて、前記オフ角データ (1 0 4) に基づいて前記ウエハ (5 0) に対するイオン注入角度を制御し、前記ウエハ (5 0) の内部にイオンを注入するイオン注入工程 (S 4 4、S 4 5) と、を含む、半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[0966] [F 2] 前記データ取得工程 (S 4 3) は、前記イオン注入装置 (1 0 3、1 5 1) を用いて実施される、F 1 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[0967] [F 3] 前記ウエハ (5 0) は、ワイドバンドギャップ半導体ウエハ (5 0) である、F 1 または F 2 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[0968] [F 4] 前記ウエハ (5 0) は、六方晶からなる、F 1 ~ F 3 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[0969] [F 5] 前記イオン注入工程 (S 4 4、S 4 5) は、チャネリングイオン注入法によって前記ウエハ (5 0) の軸チャネル (C H B、C H 1、C H 2) に沿って前記ウエハ (5 0) の内部に前記イオンを注入するチャネリングイオン注入工程 (S 4 4、S 4 5) である、F 1 ~ F 4 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[0970] [F 6] 前記データ取得工程 (S 4 3) が、複数の前記イオン注入装置 (

103、151)を用いて実施され、前記イオン注入工程(S44、S45)が、複数の前記イオン注入装置(103、151)を用いて実施される、F1～F5のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)の製造方法。

[0971] [F7] 前記データ取得工程(S43)は、前記ウエハ(50)のID(57)に基づいて前記オフ角データ(104)を前記サーバ(101)から取得する工程を含む、F1～F6のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)の製造方法。

[0972] [F8] 前記ID(57)が付された主面(51)を有する前記ウエハ(50)を用意する工程(S41)と、前記ウエハ(50)の前記主面(51)から前記ID(57)を読み取る工程(S42)と、をさらに含み、前記データ取得工程(S43)は、前記ID(57)の読み取り工程(S42)の後に実施される、F7に記載の半導体装置(1A、1B、1C)の製造方法。

[0973] [F9] 前記ウエハ(50)は、エピタキシャル層(8、9)を含むエピタキシャルウエハ(50)であり、前記オフ角データ(104)は、前記エピタキシャル層(8、9)のオフ角(θ_{off})に対応し、前記イオン注入工程(S44、S45)は、前記オフ角データ(104)に基づいて前記エピタキシャル層(8、9)に対するイオン注入角度を制御し、前記エピタキシャル層(8、9)の内部に前記イオンを注入する工程を含む、F1～F8のいずれか一つに記載の半導体装置(1A、1B、1C)の製造方法。

[0974] [F10] 前記データ取得工程(S43)は、前記サーバ(101)から前記エピタキシャル層(8、9)の仕様データ(136)を取得する工程を含む、F9に記載の半導体装置(1A、1B、1C)の製造方法。

[0975] [F11] 前記イオン注入工程(S44、S45)は、前記オフ角データ(104)および前記仕様データ(136)に基づいて前記エピタキシャル層(8、9)に対する処理条件を調節する工程を含む、F10に記載の半導体装置(1A、1B、1C)の製造方法。

- [0976] [F 1 2] 前記仕様データ (1 3 6) は、少なくとも、前記エピタキシャル層 (8、9) の厚さデータおよび前記エピタキシャル層 (8、9) の不純物濃度データのいずれか一方または双方を含む、F 1 0 または F 1 1 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。
- [0977] [F 1 3] 前記データ取得工程 (S 4 3) の前に、オフ角データ転送装置 (1 0 2) を用いて前記ウエハ (5 0) の前記オフ角データ (1 0 4) を前記サーバ (1 0 1) に転送するデータ転送工程 (S 3 6) をさらに含む、F 1 1 ~ F 1 2 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。
- [0978] [F 1 4] 前記イオン注入装置 (1 0 3、1 5 1) は、前記オフ角データ転送装置 (1 0 2) から独立して設けられている、F 1 3 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。
- [0979] [F 1 5] 前記データ転送工程 (S 3 6) は、複数の前記オフ角データ転送装置 (1 0 2) を用いて複数のウエハ (5 0) のオフ角データ (1 0 4) を前記サーバ (1 0 1) に転送する工程を含む、F 1 3 または F 1 4 に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。
- [0980] [F 1 6] 前記データ転送工程 (S 3 6) は、前記ウエハ (5 0) の I D (5 7) に関連付けて前記ウエハ (5 0) の前記オフ角データ (1 0 4) を前記サーバ (1 0 1) に転送する工程を含み、前記データ取得工程 (S 4 3) は、前記ウエハ (5 0) の前記 I D (5 7) に基づいて前記オフ角データ (1 0 4) を前記サーバ (1 0 1) から取得する工程を含む、F 1 3 ~ F 1 5 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。
- [0981] [F 1 7] 前記データ転送工程 (S 3 6) の前に、エピタキシャル成長装置 (1 2 1) を用いて前記ウエハ (5 0) の上にエピタキシャル層 (8、9) を形成する工程をさらに含み、前記データ転送工程 (S 3 6) は、前記エピタキシャル層 (8、9) のオフ角 (o f f) を前記ウエハ (5 0) の前記オフ角データ (1 0 4) として前記サーバ (1 0 1) に転送する工程を含み、前記イオン注入工程 (S 4 4、S 4 5) は、前記オフ角データ (1 0 4

）に基づいて前記エピタキシャル層（８、９）に対する前記イオン注入角度を制御し、前記エピタキシャル層（８、９）の内部に前記イオンを注入する工程を含む、Ｆ１３～Ｆ１６のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。

[0982] [F 1 8] 前記オフ角データ転送装置（１０２）は、前記エピタキシャル成長装置（１２１）を含む、Ｆ１７に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。

[0983] [F 1 9] 前記データ転送工程（Ｓ３６）は、前記エピタキシャル層（８、９）の仕様データ（１３６）を前記サーバ（１０１）に転送する工程を含み、前記データ取得工程（Ｓ４３）は、前記オフ角データ（１０４）と同じタイミングまたは異なるタイミングで前記仕様データ（１３６）を前記サーバ（１０１）から取得する工程を含む、Ｆ１７またはＦ１８に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。

[0984] [F 2 0] 前記データ転送工程（Ｓ３６）の前に、Ｘ線回折装置（１２３）を用いて前記ウエハ（５０）のオフ角（ θ o f f）をＸ線によって測定する工程をさらに含む、Ｆ１３～Ｆ１９のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。

[0985] [F 2 1] 前記オフ角（ θ o f f）の測定工程は、前記Ｘ線回折装置（１２３）を用いたロッキングカーブ測定法によって実施される、Ｆ２０に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。

[0986] [F 2 2] 前記オフ角データ転送装置（１０２）は、前記Ｘ線回折装置（１２３）を含む、Ｆ２０またはＦ２１に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。

[0987] [F 2 3] 前記イオンは、３価元素のイオンおよび５価元素のイオンのいずれか一方または双方である、Ｆ１～Ｆ２２のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。

[0988] [F 1] ～ [F 2 3] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法は、[E 1] ～ [E 2 0] のいずれか一つに記載のイオン

注入処理システム（１００）で実行される製造方法であってもよい。

- [0989] [F 1] ～ [F 2 3] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法は、[A 1] ～ [A 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法であってもよい。[F 1] ～ [F 2 3] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法は、[B 1] ～ [B 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法であってもよい。
- [0990] [F 1] ～ [F 2 3] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法は、[C 1] ～ [C 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法であってもよい。[F 1] ～ [F 2 3] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法は、[D 1] ～ [D 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法であってもよい。
- [0991] [G 1] ウエハ（５０）のオフ角（ θ o f f、１０４）を取得するオフ角取得工程（Ｓ３５）と、前記オフ角（ θ o f f、１０４）に基づいて前記ウエハ（５０）に対するイオン注入角度を制御し、前記ウエハ（５０）の内部にイオンを注入するイオン注入工程（Ｓ４４、Ｓ４５）と、を含む、半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。
- [0992] [G 2] 前記ウエハ（５０）は、ワイドバンドギャップ半導体ウエハ（５０）である、G 1 に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。
- [0993] [G 3] 前記ウエハ（５０）は、六方晶からなる、G 1 または G 2 に記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。
- [0994] [G 4] 前記イオン注入角度は、前記オフ角（ θ o f f、１０４）の $\pm 2^{\circ}$ の範囲内に制御される、G 1 ～ G 3 のいずれか一つに記載の半導体装置（１Ａ、１Ｂ、１Ｃ）の製造方法。
- [0995] [G 5] 前記イオン注入工程（Ｓ４４、Ｓ４５）は、チャネリングイオン注入法によって前記ウエハ（５０）の軸チャネル（ＣＨＢ、ＣＨ１、ＣＨ２）に沿って前記ウエハ（５０）の内部に前記イオンを注入するチャネリング

イオン注入工程（S 4 4、S 4 5）である、G 1～G 4のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）の製造方法。

[0996] [G 6] インゴットから前記ウエハ（5 0）を切り出す工程（S 3 1）をさらに含み、前記オフ角取得工程（S 3 5）は、前記ウエハ（5 0）の切り出し工程（S 3 1）の後に実施される、G 1～G 5のいずれか一つに記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）の製造方法。

[0997] [G 7] 前記ウエハ（5 0）の切り出し工程（S 3 1）は、前記オフ角（ θ o f f、1 0 4）を有する前記ウエハ（5 0）を切り出す工程を含む、G 6に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）の製造方法。

[0998] [G 8] 前記ウエハ（5 0）の切り出し工程（S 3 1）は、切削部材によって前記インゴットを切断し、前記ウエハ（5 0）を切り出す工程を含む、G 6またはG 7に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）の製造方法。

[0999] [G 9] 前記ウエハ（5 0）の切り出し工程（S 3 1）は、前記インゴットの所定の深さ位置にレーザ光を選択的に照射し、前記インゴットの内部に所定の面方向に沿う複数の改質層を形成する工程と、複数の前記改質層に応力を付与し、複数の前記改質層を起点に前記インゴットから前記ウエハ（5 0）を分離する工程と、を含む、G 6またはG 7に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）の製造方法。

[1000] [G 1 0] 複数の前記改質層に対する応力は、切削部材に起因する応力、押圧部材に起因する応力、超音波振動に起因する応力、および、加熱冷却に起因する応力のうちの少なくとも1つを含む、G 9に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）の製造方法。

[1001] [G 1 1] 前記ウエハ（5 0）の切り出し工程（S 3 1）は、軽イオン照射法を利用して前記インゴットから前記ウエハ（5 0）を切り出す工程を含む、G 6またはG 7に記載の半導体装置（1 A、1 B、1 C）の製造方法。

[1002] [G 1 2] 前記ウエハ（5 0）の切り出し工程（S 3 1）は、前記インゴットの所定の深さ位置に軽イオンを選択的に導入し、前記インゴットの内部に所定の面方向に沿うイオン脆化部を形成する工程と、前記イオン脆化部に

熱負荷を付与し、前記イオン脆化部を起点に前記インゴットから前記ウエハ（50）を分離する工程を含む、G11に記載の半導体装置（1A、1B、1C）の製造方法。

[1003] [G13] ID（57）が付された主面を有する前記ウエハ（50）を用意する工程と、前記ウエハ（50）の前記主面から前記ID（57）を読み取る工程（S32）と、をさらに含み、前記オフ角取得工程（S35）は、前記ID（57）の読み取り工程（S32）の後に実施される、G1～G12のいずれか一つに記載の半導体装置（1A、1B、1C）の製造方法。

[1004] [G14] 前記オフ角取得工程（S35）の前に、エピタキシャル層（8、9）を含むエピタキシャルウエハからなる前記ウエハ（50）を用意する工程（S33）をさらに含み、前記オフ角取得工程（S35）は、前記ウエハ（50）の前記オフ角（ θ_{off} 、104）としての前記エピタキシャル層（8、9）のオフ角（ θ_{off} 、104）を取得し、前記イオン注入工程（S44、S45）は、前記オフ角（ θ_{off} 、104）に基づいて前記エピタキシャル層（8、9）に対するイオン注入角度を制御し、前記エピタキシャル層（8、9）の内部に前記イオンを注入する工程を含む、G1～G13のいずれか一つに記載の半導体装置（1A、1B、1C）の製造方法。

[1005] [G15] 前記オフ角取得工程（S35）は、前記オフ角（ θ_{off} 、104）に加えて前記エピタキシャル層（8、9）の仕様（136）を取得する工程を含む、G14に記載の半導体装置（1A、1B、1C）の製造方法。

[1006] [G16] 前記イオン注入工程（S44、S45）は、前記オフ角（ θ_{off} 、104）および前記仕様（136）に基づいて前記エピタキシャル層（8、9）に対する処理条件を調節する工程を含む、G15に記載の半導体装置（1A、1B、1C）の製造方法。

[1007] [G17] 前記仕様（136）は、少なくとも、前記エピタキシャル層（8、9）の厚さおよび前記エピタキシャル層（8、9）の不純物濃度のいずれか一方または双方を含む、G15またはG16に記載の半導体装置（1A

、1 B、1 C) の製造方法。

[1008] [G 1 8] 前記オフ角取得工程 (S 3 5) は、前記オフ角 (θ o f f、1 0 4) をX線によって測定する工程をさらに含む、G 1 ~ G 1 7 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[1009] [G 1 9] 前記オフ角取得工程 (S 3 5) は、ロッキングカーブ測定法を利用して実施される、G 1 8に記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[1010] [G 2 0] 前記イオンは、3価元素のイオンおよび5価元素のイオンのいずれか一方または双方である、G 1 ~ G 1 9 のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法。

[1011] [G 1] ~ [G 2 0] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法は、[E 1] ~ [E 2 0] のいずれか一つに記載のイオン注入処理システム (1 0 0) で実行される製造方法であってもよい。

[1012] [G 1] ~ [G 2 0] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法は、[A 1] ~ [A 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法であってもよい。[G 1] ~ [G 2 0] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法は、[B 1] ~ [B 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法であってもよい。

[1013] [G 1] ~ [G 2 0] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法は、[C 1] ~ [C 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法であってもよい。[G 1] ~ [G 2 0] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法は、[D 1] ~ [D 2 1] のいずれか一つに記載の半導体装置 (1 A、1 B、1 C) の製造方法であってもよい。

[1014] 以上、具体的な形態が詳細に説明されたが、これらは技術的内容を明示する具体例に過ぎない。この明細書から抽出される種々の技術的思想は、明細書内の説明順序、形態例の順序、変形例の順序等に制限されずにそれらの間

で適宜組み合わせ可能である。

符号の説明

[1015]	1 A	S i C半導体装置
	1 B	S i C半導体装置
	1 C	S i C半導体装置
	8	第1層（エピタキシャル層）
	9	第2層（エピタキシャル層）
	5 0	ウエハ
	5 1	第1ウエハ主面
	5 7	ウエハ I D
	1 0 0	イオン注入処理システム
	1 0 1	サーバ装置
	1 0 2	オフ角データ転送装置
	1 0 3	チャネリングイオン注入装置
	1 0 4	オフ角データ
	1 2 1	エピタキシャル成長装置
	1 2 3	X線回折装置
	1 2 8	照射ユニット
	1 2 9	検出ユニット
	1 3 6	仕様データ
	1 5 0	第2 I D読取り装置
	C H 1	第1軸チャネル
	C H 2	第2軸チャネル
	C H B	ベース軸チャネル
	θ o f f	オフ角

請求の範囲

- [請求項1] イオン注入装置を含むイオン注入処理システムであって、
前記イオン注入装置は、
サーバからイオン注入処理対象となるウエハのオフ角データを取得し、前記オフ角データに基づいて前記ウエハに対するイオン注入角度を制御する、イオン注入処理システム。
- [請求項2] 前記ウエハは、ワイドバンドギャップ半導体ウエハである、請求項1に記載のイオン注入処理システム。
- [請求項3] 前記ウエハは、六方晶からなる、請求項1または2に記載のイオン注入処理システム。
- [請求項4] 前記イオン注入装置は、前記ウエハの軸チャンネルに沿って前記ウエハの内部にイオンを注入するチャネリングイオン注入装置である、請求項1～3のいずれか一項に記載のイオン注入処理システム。
- [請求項5] 複数の前記イオン注入装置が設けられている、請求項1～4のいずれか一項に記載のイオン注入処理システム。
- [請求項6] 前記イオン注入装置は、前記ウエハのIDに関連付けられた前記オフ角データが格納された前記サーバから、前記ウエハの前記IDに基づいて前記オフ角データを取得する、請求項1～5のいずれか一項に記載のイオン注入処理システム。
- [請求項7] 前記ウエハは、前記IDが付された主面を有し、
前記イオン注入装置は、前記ウエハの前記主面から前記IDを読み取るID読取り装置を含む、請求項6に記載のイオン注入処理システム。
- [請求項8] 前記ウエハは、エピタキシャル層を含むエピタキシャルウエハであり、
前記オフ角データは、前記エピタキシャル層のオフ角に対応し、
前記イオン注入装置は、前記オフ角データに基づいて前記エピタキシャル層に対する前記イオン注入角度を制御する、請求項1～7のい

ずれか一項に記載のイオン注入処理システム。

[請求項9] 前記イオン注入装置は、前記エピタキシャル層の前記オフ角データおよび前記エピタキシャル層の仕様データが格納された前記サーバから前記オフ角データおよび前記仕様データを取得する、請求項8に記載のイオン注入処理システム。

[請求項10] 前記イオン注入装置は、前記オフ角データおよび前記仕様データに基づいて前記エピタキシャル層に対するイオン注入処理条件を調節する、請求項9に記載のイオン注入処理システム。

[請求項11] 前記仕様データは、少なくとも、前記エピタキシャル層の厚さデータおよび前記エピタキシャル層の不純物濃度データのいずれか一方または双方を含む、請求項9または10に記載のイオン注入処理システム。

[請求項12] オフ角データ転送装置をさらに含み、
前記オフ角データ転送装置は、
イオン注入処理前の前記ウエハの前記オフ角データを前記サーバに転送する、請求項1～11のいずれか一項に記載のイオン注入処理システム。

[請求項13] 前記イオン注入装置は、前記オフ角データ転送装置から独立して設けられている、請求項12に記載のイオン注入処理システム。

[請求項14] 複数の前記オフ角データ転送装置が設けられている、請求項12または13に記載のイオン注入処理システム。

[請求項15] 前記オフ角データ転送装置は、前記ウエハの前記オフ角データを前記ウエハのIDに関連付けて前記サーバに転送し、
前記イオン注入装置は、前記ウエハの前記IDに基づいて前記サーバから前記オフ角データを取得する、請求項12～14のいずれか一項に記載のイオン注入処理システム。

[請求項16] 前記ウエハは、エピタキシャル層を含むエピタキシャルウエハであり、

前記オフ角データ転送装置は、前記エピタキシャル層のオフ角を前記ウエハの前記オフ角データとして前記サーバに転送し、

前記イオン注入装置は、前記オフ角データに基づいて前記エピタキシャル層に対する前記イオン注入角度を制御する、請求項 12～15 のいずれか一項に記載のイオン注入処理システム。

[請求項17] 前記オフ角データ転送装置は、前記ウエハの上に前記エピタキシャル層を積層し、前記エピタキシャルウエハを形成するエピタキシャル成長装置を含む、請求項 16 に記載のイオン注入処理システム。

[請求項18] 前記オフ角データ転送装置は、前記エピタキシャル層の仕様データを生成し、前記仕様データを前記サーバに転送し、
前記イオン注入装置は、前記サーバから前記仕様データを取得する、請求項 17 に記載のイオン注入処理システム。

[請求項19] 前記オフ角データ転送装置は、
前記ウエハのオフ角をX線によって測定するX線回折装置を含み、前記X線回折装置による測定結果に基づいて前記ウエハの前記オフ角データを生成し、前記オフ角データを前記サーバに転送する、請求項 12～18 のいずれか一項に記載のイオン注入処理システム。

[請求項20] 前記X線回折装置は、前記ウエハにX線を照射する照射部、および、前記ウエハからの回折X線を検出する検出部を含み、ロックングカーブ測定法によって前記ウエハの前記オフ角を測定する、請求項 19 に記載のイオン注入処理システム。