【公報種別】特許法第１７条の２の規定による補正の掲載
【部門区分】第７部門第２区分
【発行日】令和6年4月19日(2024.4.19)

【国際公開番号】WO2023/157330
【出願番号】特願2024-500927(P2024-500927)
【国際特許分類】
H01L 29/739(2006.01)
H01L 29/12(2006.01)
H01L 29/78(2006.01)
H01L 21/336(2006.01)
H01L 29/861(2006.01)
H01L 21/322(2006.01)
H01L 21/265(2006.01)
H01L 21/8234(2006.01)
H01L 29/06(2006.01)
【FI】
H01L 29/78 655B
H01L 29/78 655C
H01L 29/78 655G
H01L 29/78 652T
H01L 29/78 653A
H01L 29/78 652J
H01L 29/78 658H
H01L 29/78 652K
H01L 29/78 657D
H01L 29/78 652Q
H01L 29/78 658A
H01L 29/78 655F
H01L 29/91 C
H01L 29/91 J
H01L 21/322 K
H01L 21/265602C
H01L 27/06 102A
H01L 27/088 E
H01L 29/06 301V
H01L 29/06 301G
H01L 29/06 301F

【手続補正書】
【提出日】令和6年1月26日(2024.1.26)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
おもて面および裏面を有する半導体基板に設けられた第１導電型のドリフト領域と、
前記半導体基板において、前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に設けられ

、前記ドリフト領域よりも原子密度が高い第１導電型または第２導電型の裏面側領域と
を備え、
前記裏面側領域の原子密度分布は、
前記半導体基板の深さ方向において、前記裏面側から前記半導体基板のおもて面側に向けてドーパントの原子密度が増加する緩勾配領域と、
前記緩勾配領域よりも前記おもて面側に設けられ、前記緩勾配領域よりも大きな原子密度勾配で前記ドーパントの原子密度が増加する急勾配領域と、
前記急勾配領域よりも前記おもて面側に設けられ、前記ドーパントの原子密度分布にピークを有するピーク領域と、
前記ピーク領域と前記ドリフト領域との間に設けられ、前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域に向けて前記ドーパントの原子密度が減少する減少領域と
を有する半導体装置。
【請求項２】
前記原子密度分布のピークの前記半導体基板の裏面からの深さは０．８μｍ以下である
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項３】
前記緩勾配領域における平均原子密度は、前記原子密度分布のピークのピーク原子密度の２０％以上、９５％以下である
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項４】
前記半導体基板のおもて面に設けられたエッジ終端構造部を備える
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項５】
前記緩勾配領域の上端は、前記裏面と、前記半導体基板の深さ方向における前記ピーク領域のピークの深さ位置との中間の位置である
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項６】
前記緩勾配領域の下端は、前記半導体基板の裏面である
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項７】
前記ピーク領域の下端は、前記ピークよりも前記半導体基板の裏面側において、前記ピークにおける前記ドーパントの原子密度の、９５％の密度となる位置であり、
前記ピーク領域の上端は、前記ピークよりも前記半導体基板のおもて面側において、前記ピークにおける前記ドーパントの原子密度の、９５％の密度となる位置である
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項８】
前記減少領域の上端は、前記ピークよりも前記半導体基板のおもて面側において、前記ピークにおける前記ドーパントの原子密度の、１０％の密度となる位置である
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項９】
前記緩勾配領域の上端は、前記急勾配領域の下端と接しており、
前記急勾配領域の上端は、前記ピーク領域の下端と接しており、
前記ピーク領域の上端は、前記減少領域の下端と接している
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項１０】
トランジスタ部を備え、
前記裏面側領域は、第２導電型のコレクタ領域を含む
請求項１に記載の半導体装置。
【請求項１１】
前記コレクタ領域の前記ドーパントは、ボロンである

請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１２】
前記コレクタ領域において、前記緩勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配は、１．０Ｅ２１［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以上、５．０Ｅ２３［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以下である
請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１３】
前記コレクタ領域において、前記急勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配は、１．０Ｅ２２［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以上、１．０Ｅ２４［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以下である
請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１４】
前記コレクタ領域において、前記減少領域の前記ドーパントの原子密度勾配は、１．０Ｅ２３［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以上、１．０Ｅ２５［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以下である
請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１５】
前記コレクタ領域において、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントの原子密度は、１．０Ｅ＋１６［ｃｍ$^{-3}$］以上、１．０Ｅ＋２０［ｃｍ$^{-3}$］以下である
請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１６】
前記コレクタ領域において、前記緩勾配領域の下端における前記ドーパントの原子密度は、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントの原子密度の１０％以上、８０％以下である
請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１７】
前記コレクタ領域において、前記急勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配に対する前記緩勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配の比率は、０．０１以上、０．８以下である
請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１８】
前記コレクタ領域において、前記減少領域の前記ドーパントの原子密度勾配に対する前記急勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配の比率は、０．００１以上、０．５以下である
請求項１０に記載の半導体装置。
【請求項１９】
ダイオード部を備え、
前記裏面側領域は、第１導電型のカソード領域を含む
請求項１から１８のいずれか一項に記載の半導体装置。
【請求項２０】
前記カソード領域の前記ドーパントは、リンである
請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２１】
前記カソード領域において、前記緩勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配は、１．０Ｅ２２［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以上、２．０Ｅ２４［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以下である
請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２２】
前記カソード領域において、前記急勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配は、１．０Ｅ２３［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以上、１．０Ｅ２５［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以下である
請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２３】
前記カソード領域において、前記減少領域の前記ドーパントの原子密度勾配は、２．０Ｅ２４［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以上、２．０Ｅ２６［ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}］以下である

請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２４】
前記カソード領域において、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントの原子密度は、１．０Ｅ１９［ｃｍ$^{-3}$］以上、１．０Ｅ２１［ｃｍ$^{-3}$］以下である
請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２５】
前記カソード領域において、前記緩勾配領域の下端における前記ドーパントの原子密度は、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントの原子密度の３０％以上、９０％以下である
請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２６】
前記カソード領域において、前記急勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配に対する前記緩勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配の比率は、０．０１以上、０．５以下である
請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２７】
前記カソード領域において、前記減少領域の前記ドーパントの原子密度勾配に対する前記急勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配の比率は、０．００１以上、０．３以下である
請求項１９に記載の半導体装置。
【請求項２８】
前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントのドーピング濃度は、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントの原子密度の１０％以上、１００％以下である
請求項１から１８のいずれか一項に記載の半導体装置。
【請求項２９】
前記裏面側領域のドーピング濃度分布は、前記ピーク領域においてドーピング濃度分布にピークを有するドーピングピーク領域を備える
請求項１から１８のいずれか一項に記載の半導体装置。
【請求項３０】
おもて面および裏面を備える半導体基板の前記裏面にドーパントをイオン注入する段階と、
前記半導体基板の前記裏面にレーザを照射する段階と、
を備え、
前記レーザを照射する段階において、前記レーザの照射により溶融する前記半導体基板の溶融深さは、前記ドーパントをイオン注入する段階後における前記ドーパントの原子密度分布のピークの深さ位置を含む
半導体装置の製造方法。
【請求項３１】
前記レーザを照射する段階は、前記レーザの照射による前記半導体基板の照射領域の溶融により、前記ドーパントの原子密度分布のピークの深さ位置を、前記イオン注入する段階における前記ドーパントの原子密度分布のピーク位置よりも、前記半導体基板のおもて面側に再分布させる再分布段階を含む
請求項３０に記載の半導体装置の製造方法。
【請求項３２】
前記再分布段階は、前記照射領域の溶融により前記ドーパントを前記おもて面側に沈殿させる段階を含む
請求項３１に記載の半導体装置の製造方法。
【請求項３３】
半導体基板において、第１導電型のドリフト領域を形成する段階と、
前記半導体基板において、前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に前記ドリフ

ト領域よりも原子密度が高い第１導電型または第２導電型の裏面側領域を形成する段階と、
を備え、
前記裏面側領域を形成する段階は、
前記半導体基板の裏面にドーパントをイオン注入する段階と、
前記半導体基板の深さ方向において、前記裏面側から前記半導体基板のおもて面側に向けて、前記ドーパントの原子密度が増加する緩勾配領域を形成する段階と、
前記緩勾配領域よりも前記おもて面側に、前記緩勾配領域よりも大きな原子密度勾配で前記ドーパントの原子密度が増加する急勾配領域を形成する段階と、
前記急勾配領域よりも前記おもて面側に、原子密度分布にピークを有するピーク領域を形成する段階と、
前記ピーク領域と前記ドリフト領域との間に、前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域に向けて前記ドーパントの原子密度が減少する減少領域を形成する段階と
を有する半導体装置の製造方法。
【請求項３４】
前記裏面側領域を形成する段階は、前記半導体基板の裏面側から前記半導体基板をレーザアニールする段階を含む
請求項３３に記載の半導体装置の製造方法。
【請求項３５】
前記レーザアニールする段階は、レーザの照射により溶融する前記半導体基板の溶融深さが、イオン注入後の前記ドーパントの原子密度分布のピーク位置か、前記ピーク位置よりも深い
請求項３４に記載の半導体装置の製造方法。
【請求項３６】
前記レーザアニールする段階は、前記レーザアニールによる前記半導体基板の照射領域の溶融により、イオン注入後の前記ドーパントの原子密度分布のピーク位置よりも、前記半導体基板のおもて面側の位置に前記ドーパントの原子密度分布のピークを再分布させる段階を含む
請求項３５に記載の半導体装置の製造方法。
【請求項３７】
前記原子密度分布のピークを再分布させる段階は、前記照射領域の溶融により前記ドーパントを前記おもて面側に沈殿させる段階を含む
請求項３６に記載の半導体装置の製造方法。
【請求項３８】
前記裏面側領域を形成する段階は、前記裏面側領域を形成するための熱アニールを含まない
請求項３３から３７のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
【手続補正２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００２０
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００２０】
前記コレクタ領域において、前記急勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配に対する前記緩勾配領域の前記ドーパントの原子密度勾配の比率は、０．０１以上、０．８以下であってよい。
【手続補正３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００２７
【補正方法】変更

【補正の内容】
【００２７】
上記いずれかの前記半導体装置の前記カソード領域において、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントの原子密度は、１．０Ｅ１９［ｃｍ－３］以上、１．０Ｅ２１［ｃｍ－３］以下であってよい。
【手続補正４】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００３１
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００３１】
上記いずれかの前記半導体装置において、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントのドーピング濃度は、前記ピーク領域のピークにおける前記ドーパントの原子密度の１０％以上、１００％以下であってよい。
【手続補正５】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００３３
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００３３】
本発明の第２の態様においては、おもて面および裏面を備える半導体基板の前記裏面にドーパントをイオン注入する段階と、前記半導体基板の前記裏面にレーザを照射する段階と、を備える半導体装置の製造方法を提供する。前記レーザを照射する段階において、前記レーザの照射により溶融する前記半導体基板の溶融深さは、前記ドーパントをイオン注入する段階後における前記ドーパントの原子密度分布のピークの深さ位置を含んでよい。
【手続補正６】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００３６
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００３６】
本発明の第３の態様においては、半導体基板において、第１導電型のドリフト領域を形成する段階と、前記半導体基板において、前記ドリフト領域よりも前記半導体基板の裏面側に前記ドリフト領域よりも原子密度が高い第１導電型または第２導電型の裏面側領域を形成する段階と、を備える半導体装置の製造方法を提供する。前記裏面側領域を形成する段階は、前記半導体基板の裏面にドーパントをイオン注入する段階と、前記半導体基板の深さ方向において、前記裏面側から前記半導体基板のおもて面側に向けて、前記ドーパントの原子密度が増加する緩勾配領域を形成する段階と、前記緩勾配領域よりも前記おもて面側に、前記緩勾配領域よりも大きな原子密度勾配で前記ドーパントの原子密度が増加する急勾配領域を形成する段階と、前記急勾配領域よりも前記おもて面側に、原子密度分布にピークを有するピーク領域を形成する段階と、前記ピーク領域と前記ドリフト領域との間に、前記半導体基板の深さ方向において、前記ドリフト領域に向けて前記ドーパントの原子密度が減少する減少領域を形成する段階とを有してよい。
【手続補正７】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００３８
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００３８】
上記いずれかの前記半導体装置の製造方法において、前記レーザアニールする段階は、

レーザの照射により溶融する前記半導体基板の溶融深さが、イオン注入後の前記ドーパントの原子密度分布のピーク位置か、前記ピーク位置よりも深くてよい。

【手続補正８】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００９３
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００９３】
ゲート導電部４４は、半導体基板１０の深さ方向において、ゲート絶縁膜４２を挟んでメサ部７１側でゲート導電部４４と隣接するベース領域１４と対向する領域を含む。ゲート導電部４４に所定の電圧が印加されると、ベース領域１４のうちゲートトレンチに接する界面の表層に、電子の反転層によるチャネルが形成される。

【手続補正９】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１１０
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１１０】
減少領域６４の下端は、半導体基板１０の深さ方向において、ピーク領域６３の上端と同一の位置であってよい。即ち、減少領域６４の下端は、ピーク６５よりもおもて面２１側において、原子密度が０．９５Ｎｐとなる位置であってよい。減少領域６４の上端は、ピーク６５よりも半導体基板１０のおもて面２１側において、ピーク６５における原子密度の１０％の密度となる位置であってよい。即ち、ピーク領域６３の上端は、ピーク６５よりもおもて面２１側において、原子密度が０．１Ｎｐとなる位置であってよい。

【手続補正１０】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１１２
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１１２】
裏面２３と、半導体基板１０の深さ方向におけるピーク領域６３のピーク６５の深さ位置との中間の位置を含み、半導体基板１０の裏面２３からピーク６５の深さ位置までの距離の３０％から７０％までの領域を中間領域６８とする。緩勾配領域６１の上端は、中間領域６８のいずれの位置に位置してもよい。

【手続補正１１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１１４
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１１４】
本例の裏面側領域６０は、コレクタ領域２２として機能する。ピーク６５の位置を裏面２３から離し、裏面２３とピーク領域６３の間に緩勾配領域６１と急勾配領域６２を設ける。これにより、ピーク領域６３および減少領域６４を、裏面２３から０．２μｍ以上の深さに形成することができる。電荷キャリアの注入効率（本例では正孔）は、ピーク６５の原子密度の大きさおよび減少領域６４の勾配の大きさで決まってよい。ここで、ドーピング濃度が原子密度と同じオーダーであるとしてよい。例えば半導体装置の製造プロセスあるいはモジュールなどのアセンブリプロセスにおいて裏面２３に傷が生じた場合であっても、傷の深さがピーク領域６３の下端まで（たとえば０．３μｍ程度）の範囲であれば、電荷キャリアの注入効率は傷の深さに影響を受けにくくできる。これにより、裏面２３の傷によるオン電圧の増大を抑制することができる。裏面側領域６０と裏面２３に形成さ

れる電極（本例ではコレクタ電極２４）とのコンタクト抵抗は、裏面２３におけるドーパントの原子密度が１×１０^{18}（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}）以上であればよい。一方、裏面側領域６０を、裏面２３から例えば０．３μｍ以上に深く形成する場合に、裏面２３におけるドーパントの原子密度を最大にすることがある。この場合、原子密度の勾配が比較的に緩くなり、電荷キャリアの注入効率を高くできないことがある。これに対して裏面側領域６０が緩勾配領域６１および急勾配領域６２を備えることで、裏面２３から離れた深さ位置にピーク領域６３および減少領域６４を形成でき、減少領域６４における原子密度の勾配を急峻にできる。その結果、電荷キャリアの注入効率を高くできるだけでなく、裏面２３に形成された傷の影響も低減できる。このように、本例の裏面側領域６０は、ピーク領域６３および減少領域６４を有することにより、キャリアの注入を促進することができるだけでなく、緩勾配領域６１と急勾配領域６２を備えることで裏面２３の傷の影響も受けにくくすることができる。

【手続補正１２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１１６
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１１６】
図２Ｂは、緩勾配領域６１の原子密度勾配を示すグラフの一例である。本例の原子密度勾配の単位は、（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}）である。原子密度勾配の単位は、（ｃｍ$^{-4}$）と簡略して表示してもよい。本明細書における原子密度勾配について、単位の記載が省略されている場合は、原子密度勾配の単位は（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}）である。他の例として、原子密度の常用対数を用いて原子密度勾配を算出してよい。原子密度の常用対数を用いる場合の原子密度勾配の単位は、（／ｃｍ）であってよい。本明細書において、原子密度勾配の値について単位の記載を省略することがある。この場合の原子密度勾配の単位は（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{4}）である。本図は、図２Ａの緩勾配領域６１の原子密度勾配ａ１を示す。コレクタ領域２２において、緩勾配領域６１の原子密度勾配ａ１は、１．０Ｅ２１以上であってよく、５．０Ｅ２１以上であってよく、１．０Ｅ２２以上であってよく、２．０Ｅ２２以上であってよい。コレクタ領域２２において、緩勾配領域６１の原子密度勾配ａ１は、５．０Ｅ２３以下であってよく、２．０Ｅ２３以下であってよく、１．０Ｅ２３以下であってよく、８．０Ｅ２２以下でよく、５．０Ｅ２２以下であってよい。本例の原子密度勾配ａ１は、４．０７９Ｅ＋２２である。原子密度勾配は、測定により得られた原子密度分布のフィッティングによって任意の接線を引くことで算出してもよいし、その他の方法によって算出してもよい。なお、本明細書において、原子密度勾配を絶対値で表示する。

【手続補正１３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１５６
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１５６】
図４Ｂは、緩勾配領域６１の原子密度勾配を示すグラフの一例である。本図は、図４Ａの緩勾配領域６１の原子密度勾配ａ１を示す。カソード領域８２において、緩勾配領域６１の原子密度勾配ａ１は、１．０Ｅ２２以上であってよく、３．０Ｅ２２以上であってよく、５．０Ｅ２２以上であってよく、８．０Ｅ２２以上であってよい。カソード領域８２において、緩勾配領域６１の原子密度勾配ａ１は、２．０Ｅ２４以下であってよく、１．０Ｅ２４以下であってよく、８．０Ｅ２３以下であってよく、５．０Ｅ２３以下であってよい。本例の原子密度勾配ａ１は、１．８１９Ｅ＋２３である。

【手続補正１４】
【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】０１５８
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１５８】
図４Ｃは、急勾配領域６２の原子密度勾配を示すグラフの一例である。本図は、図４Ａの急勾配領域６２の原子密度勾配ａ２を示す。急勾配領域６２の原子密度勾配ａ２は、緩勾配領域６１の原子密度勾配ａ１よりも大きい。カソード領域８２において、急勾配領域６２の原子密度勾配ａ２は、１．０Ｅ２３以上であってよく、２．０Ｅ２３以上であってよく、５．０Ｅ２３以上であってよく、８．０Ｅ２３以上であってよい。カソード領域８２において、急勾配領域６２の原子密度勾配ａ２は、１．０Ｅ２５以下であってよく、８．０Ｅ２４以下であってよく、５．０Ｅ２４以下であってよく、３．０Ｅ２４以下であってよい。本例の原子密度勾配ａ２は、１．９７０Ｅ＋２４である。
【手続補正１５】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１５９
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１５９】
図４Ｄは、減少領域６４の原子密度勾配を示すグラフの一例である。本図は、図４Ａの減少領域６４の原子密度勾配ａ３を示す。原子密度勾配ａ３は、減少領域６４の原子密度分布のグラフの勾配の絶対値であるので正の値を取る。カソード領域８２において、減少領域６４の原子密度勾配ａ３は、２．０Ｅ２４以上であってよく、５．０Ｅ２４以上であってよく、８．０Ｅ２４以上であってよく、１．０Ｅ２５以上であってよい。カソード領域８２において、減少領域６４の原子密度勾配ａ３は、２．０Ｅ２６以下であってよく、１．０Ｅ２６以下であってよく、８．０Ｅ２５以下であってよく、５．０Ｅ２５以下であってよい。本例の原子密度勾配ａ３は、２．５７０Ｅ＋２５である。
【手続補正１６】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１６３
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１６３】
本例の裏面側領域６０は、カソード領域８２として機能する。ピーク６５の位置を裏面２３から離し、裏面２３とピーク領域６３の間に緩勾配領域６１と急勾配領域６２を設ける。これにより、ピーク領域６３および減少領域６４を、裏面２３から０．１μｍ以上の深さに形成することができる。電荷キャリアの注入効率（本例では電子）は、ピーク６５の原子密度の大きさおよび減少領域６４の勾配の大きさで決まってよい。ここで、ドーピング濃度が原子密度と同じオーダーであるとしてよい。例えば半導体装置の製造プロセスあるいはモジュールなどのアセンブリプロセスにおいて裏面２３に傷が生じた場合であっても、傷の深さが裏面２３からピーク領域６３の下端まで（たとえば０．２μｍ程度）の範囲であれば、電荷キャリアの注入効率は傷の深さに影響を受けにくくできる。これにより、裏面２３の傷による順電圧降下の増大を抑制することができる。裏面側領域６０と裏面２３に形成される裏面電極（本例ではコレクタ電極２４）とのコンタクト抵抗は、裏面２３におけるドーパントの原子密度が1×10^{18}（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3）以上であればよい。一方、裏面側領域６０を、裏面２３から例えば０．２μｍ以上に深く形成する場合に、裏面２３におけるドーパントの原子密度を最大にすることがある。この場合、原子密度の勾配が比較的に緩くなり、電荷キャリアの注入効率を高くできないことがある。これに対して裏面側領域６０が緩勾配領域６１および急勾配領域６２を備えることで、裏面２３から離れた深さ位置にピーク領域６３および減少領域６４を形成でき、減少領域６４における原子密度の勾配を急峻にできる。その結果、電荷キャリアの注入効率を高くできる

だけでなく、裏面２３に形成された傷の影響も低減できる。このように、本例の裏面側領域６０は、ピーク領域６３および減少領域６４を有することにより、キャリアの注入を促進することができるだけでなく、緩勾配領域６１と急勾配領域６２を備えることで裏面２３の傷の影響も受けにくくすることができる。

【手続補正１７】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１６５
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１６５】
このように、裏面側領域６０の各領域の原子密度勾配を適切に設定することにより、裏面側領域６０からのキャリア注入を促進して、良好な電気特性を有する半導体装置１００を提供することができる。また、本例の裏面側領域６０は、カソード領域８２として機能し、裏面２３から離れたピーク６５で空乏層を止めることができるので、裏面２３に傷が生じた場合であっても、傷の深さが裏面２３から例えば緩勾配領域６１と急勾配領域６２までの範囲であれば、裏面２３の傷による漏れ電流の増大を抑制することができる。

【手続補正１８】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１７５
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１７５】
実線は、イオン注入時とレーザアニール後の裏面側領域６０の原子密度の分布を示す。本例の裏面側領域６０のドーパントはボロンである。裏面側領域６０のイオン注入時においては、深さが飛程Ｒｐの位置に原子密度分布のピークを有する。イオン注入時とは、裏面側領域６０のアニール前の段階であってよい。レーザアニール後のピーク６５の深さ位置Ｘｐは、イオン注入時のピークの飛程Ｒｐよりも大きくなる。本例では、レーザアニールによる半導体基板１０の照射領域の溶融により、イオン注入後の原子密度分布のピーク位置よりも、半導体基板１０のおもて面２１側の位置に原子密度分布のピークを再分布させている。

【手続補正１９】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１８７
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１８７】
ドーピング減少領域１６４の下端は、半導体基板１０の深さ方向において、ドーピングピーク領域１６３の上端と同一の位置であってよい。即ち、ドーピング減少領域１６４の下端は、ドーピングピーク１６５よりもおもて面２１側において、ドーピング濃度が０．９５Ｎｐとなる位置であってよい。ドーピング減少領域１６４の上端は、ドーピングピーク１６５よりも半導体基板１０のおもて面２１側において、ドーピングピーク１６５におけるドーピング濃度の１０％の濃度となる位置であってよい。即ち、ドーピングピーク領域１６３の上端は、ドーピングピーク１６５よりもおもて面２１側において、ドーピング濃度が０．１Ｎｐとなる位置であってよい。あるいは、ドーピング減少領域１６４の深さ範囲は、減少領域６４と同じ深さ範囲であってもよい。