(19)日本国特許庁(JP)

# (12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7625361号
(P7625361)

(45)発行日　令和7年2月3日(2025.2.3)

(24)登録日　令和7年1月24日(2025.1.24)

(51)国際特許分類

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Ｈ１０Ｄ　30/47　(2025.01)* | Ｈ０１Ｌ | 29/80 | Ｈ |
| *Ｈ１０Ｄ　30/60　(2025.01)* | Ｈ０１Ｌ | 29/78 | ３０１Ｂ |
| | Ｈ０１Ｌ | 29/78 | ３０１Ｈ |
| | Ｈ０１Ｌ | 29/78 | ３０１Ｖ |

ＦＩ

請求項の数　10　（全17頁）

(21)出願番号　特願2019-121890(P2019-121890)
(22)出願日　令和1年6月28日(2019.6.28)
(65)公開番号　特開2021-9886(P2021-9886A)
(43)公開日　令和3年1月28日(2021.1.28)
審査請求日　令和4年3月14日(2022.3.14)
審判番号　不服2023-20804(P2023-20804/J1)
審判請求日　令和5年12月7日(2023.12.7)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(73)特許権者　317011920
東芝デバイス＆ストレージ株式会社
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　110004026
弁理士法人ｉＸ
(72)発明者　加藤　大望
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内
(72)発明者　梶原　瑛祐
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内
(72)発明者　向井　章

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　半導体装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

第１電極と、

第２電極と、

$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$（$0 \leqq x1 < 1$）を含む第１窒化物領域であって、前記第１窒化物領域は、第１部分領域、第２部分領域、前記第１部分領域と前記第２部分領域との間の第３部分領域、前記第１部分領域と前記第３部分領域との間の第４部分領域、及び、前記第３部分領域と前記第２部分領域との間の第５部分領域を含み、前記第１部分領域から前記第１電極への第１方向は、前記第１電極から前記第２電極への第２方向と交差し、前記第２部分領域から前記第２電極への方向は前記第１方向に沿う、前記第１窒化物領域と、

$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$（$0 < x2 \leqq 1$、$x1 < x2$）を含む第２窒化物領域であって、前記第２窒化物領域は、第６部分領域及び第７部分領域を含み、前記第４部分領域から前記第６部分領域への方向は前記第１方向に沿い、前記第５部分領域から前記第７部分領域への方向は前記第１方向に沿う、前記第２窒化物領域と、

第３電極であって、前記第３部分領域から前記第３電極への方向は前記第１方向に沿い、前記第３電極の少なくとも一部は前記第２方向において前記第６部分領域と前記第７部分領域との間にある、前記第３電極と、

第１絶縁領域を含む第１絶縁膜であって、前記第１絶縁領域は、前記第１方向において、前記第３部分領域と前記第３電極との間にある、前記第１絶縁膜と、

ＡｌＮを含む第３窒化物領域と、

を備え、
前記第３部分領域は、前記第１絶縁領域と対向する第１面を含み、
前記第６部分領域及び前記第７部分領域は、それぞれ、前記第１電極及び前記第２電極と対向する第２面を含み、
前記第１面の前記第１方向に沿う位置と、前記第２面の前記第１方向に沿う位置と、の間の前記第１方向に沿う距離の、前記第６部分領域の前記第１方向に沿う長さに対する比は、２以上であり、
前記第３部分領域及び前記第１絶縁領域を含む積層領域は、第１位置及び第２位置を含み、前記第１方向において、前記第１位置は、前記第２位置と前記第３電極との間にあり、
前記積層領域におけるＮａの濃度は、前記第１位置でピークとなり、
前記第２位置におけるＮａの濃度は、前記第１位置におけるＮａの濃度の１／１００であり、
前記第１位置と前記第２位置との間の前記第１方向に沿う第１距離は、８ｎｍ以下であり、
前記第３窒化物領域は、第１～第７部分を含み、前記第１部分は、前記第１絶縁領域と前記第３部分領域との間にあり、前記第２部分は、前記第３電極と前記第４部分領域との間にあり、前記第３部分は、前記第３電極と前記第５部分領域との間にあり、前記第４部分は、前記第３電極と前記第６部分領域との間にあり、前記第５部分は、前記第３電極と前記第７部分領域との間にあり、前記第６部分領域は、前記第６部分と前記第４部分領域との間にあり、前記第７部分領域は、前記第７部分と前記第５部分領域との間にあり、
前記ｘ１は、０以上０．０５以下であり、
前記ｘ２は、０．１以上０．３以下であり、
前記第１窒化物領域の前記第２窒化物領域側の部分に２次元電子ガスが形成され、前記第３部分領域の前記第１部分側の部分に２次元電子ガスが形成される、半導体装置。
【請求項２】
第２絶縁領域及び第３絶縁領域を含む第２絶縁膜をさらに備え、
前記第６部分領域は、前記第４部分領域と前記第２絶縁領域との間にあり、
前記第７部分領域は、前記第５部分領域と前記第３絶縁領域との間にある、請求項１記載の半導体装置。
【請求項３】
前記第１絶縁膜は、第４～７絶縁領域を含み、
前記第４絶縁領域は、前記第４部分と前記第３電極との間にあり、
前記第５絶縁領域は、前記第５部分と前記第３電極との間にあり、
前記第６部分は、前記第６絶縁領域と前記第２絶縁領域との間にあり、
前記第７部分は、前記第７絶縁領域と前記第３絶縁領域との間にある、請求項２記載の半導体装置。
【請求項４】
前記第１絶縁膜は、第８絶縁領域及び第９絶縁領域をさらに含み、
前記第８絶縁領域は、前記第２部分と前記第３電極との間にあり、
前記第９絶縁領域は、前記第３部分と前記第３電極との間にある、請求項３記載の半導体装置。
【請求項５】
前記第１絶縁膜は、シリコンと酸素とを含み、
前記第２絶縁膜は、シリコンと窒素とを含む、請求項２～４のいずれか１つに記載の半導体装置。
【請求項６】
前記第１部分の結晶性は、前記第６部分の結晶性よりも高い、請求項２～５のいずれか１つに記載の半導体装置。
【請求項７】
前記第１部分の少なくとも一部は、結晶を含み、

前記第６部分の少なくとも一部は、アモルファスである、請求項２～６のいずれか１つに記載の半導体装置。
【請求項８】
前記第２部分の結晶性は、前記第６部分の結晶性よりも高い、請求項２～７のいずれか１つに記載の半導体装置。
【請求項９】
前記第４部分の結晶性は、前記第６部分の結晶性よりも高い、請求項２～８のいずれか１つに記載の半導体装置。
【請求項１０】
前記第１絶縁膜は窒素を含まない、または、
前記第１絶縁膜に含まれる窒素の濃度は、前記第２絶縁膜に含まれる窒素の濃度よりも低い、請求項２～９のいずれか１つに記載の半導体装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明の実施形態は、半導体装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
例えば窒化物半導体を用いた半導体装置がある。半導体装置において、特性の向上が望まれる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】特開２０１８－１２５４４０号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
本発明の実施形態は、特性を向上できる半導体装置を提供する。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本発明の実施形態によれば、半導体装置は、第１電極、第２電極、第３電極、第１窒化物領域、第２窒化物領域、及び、第１絶縁膜を含む。前記第１窒化物領域は、$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$（$0 \leqq x1 < 1$）を含む。前記第１窒化物領域は、第１部分領域、第２部分領域、前記第１部分領域と前記第２部分領域との間の第３部分領域、前記第１部分領域と前記第３部分領域との間の第４部分領域、及び、前記第３部分領域と前記第２部分領域との間の第５部分領域を含む。前記第１部分領域から前記第１電極への第１方向は、前記第１電極から前記第２電極への第２方向と交差する。前記第２部分領域から前記第２電極への方向は前記第１方向に沿う。前記第２窒化物領域は、$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$（$0 < x2 \leqq 1$、$x1 < x2$）を含む。前記第２窒化物領域は、第６部分領域及び第７部分領域を含む。前記第４部分領域から前記第６部分領域への方向は前記第１方向に沿う。前記第５部分領域から前記第７部分領域への方向は前記第１方向に沿う。前記第３部分領域から前記第３電極への方向は前記第１方向に沿う。前記第３電極の少なくとも一部は前記第２方向において前記第６部分領域と前記第７部分領域との間にある。前記第１絶縁膜は、第１絶縁領域を含む。前記第１絶縁領域は、前記第１方向において、前記第３部分領域と前記第３電極との間にある。前記第３部分領域は、前記第１絶縁領域と対向する第１面を含む。前記第４部分領域は、前記第６部分領域と対向する第２面を含む。前記第１面の前記第１方向に沿う位置と、前記第２面の前記第１方向に沿う位置と、の間の前記第１方向に沿う距離の、前記第６部分領域の前記第１方向に沿う長さに対する比は、２以上である。前記第３部分領域及び前記第１絶縁領域を含む積層領域は、第１位置及び第２位置を含む。前記第１方向において、第１位置は、前記第２位置と前記第３電極との間にある。前記積層領域

におけるＮａの濃度は、前記第１位置でピークとなる。前記第２位置におけるＮａの濃度は、前記第１位置におけるＮａの濃度の１／１００である。前記第１位置と前記第２位置との間の前記第１方向に沿う第１距離は、８ｎｍ以下である。

【図面の簡単な説明】

【０００６】

【図１】図１（ａ）及び図１（ｂ）は、第１実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

【図２】図２は、半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

【図３】図３は、半導体装置におけるＳＩＭＳ分析結果を例示するグラフ図である。

【図４】図４は、半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

【図５】図５（ａ）～図５（ｄ）は、実施形態に係る半導体装置の製造方法を例示する工程順模式的断面図である。

【図６】図６（ａ）～図６（ｄ）は、実施形態に係る半導体装置の製造方法を例示する工程順模式的断面図である。

【発明を実施するための形態】

【０００７】

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚さと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものと同一とは限らない。同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【０００８】

（第１実施形態）

図１（ａ）及び図１（ｂ）は、第１実施形態に係る半導体装置を例示する模式的断面図である。

図１（ａ）に示すように、実施形態に係る半導体装置１１０は、第１電極５１、第２電極５２、第３電極５３、第１窒化物領域１０、第２窒化物領域２０、及び、第１絶縁膜４１を含む。この例では、半導体装置１１０は、第３窒化物領域３０及び第２絶縁膜４２をさらに含む。

【０００９】

第１窒化物領域１０は、$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$（０≦ｘ１＜１）を含む。Ａｌの組成比ｘ１は、例えば、０以上０．０５以下である。第１窒化物領域１０は、例えば、ＧａＮを含む。第１窒化物領域１０は、例えば、半導体領域である。第１窒化物領域１０は、例えば、結晶を含む。

【００１０】

第１窒化物領域１０は、例えば、第１～第５部分領域１１～１５を含む。第３部分領域１３は、第１部分領域１１と第２部分領域１２との間にある。第４部分領域１４は、第１部分領域１１と第３部分領域１３との間にある。第５部分領域１５は、第３部分領域１３と第２部分領域１２との間にある。第１～第５部分領域１１～１５は、例えば、互いに連続する。

【００１１】

第１部分領域１１から第１電極５１への第１方向は、第１電極５１から第２電極５２への第２方向と交差する。

【００１２】

第２方向は、例えば、Ｘ軸方向である。Ｘ軸方向に対して垂直な１つの方向をＺ軸方向とする。Ｘ軸方向及びＺ軸方向に対して垂直な方向をＹ軸方向とする。

【００１３】

第１方向は、例えば、Ｚ軸方向である。

【００１４】

第２部分領域１２から第２電極５２への方向は第１方向（例えばＺ軸方向）に沿う。

【００１５】

第２窒化物領域２０は、$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$（０＜ｘ２≦１、ｘ１＜ｘ２）を含む。第２窒化物領域２０は、ＡｌＧａＮを含む。例えば、Ａｌの組成比ｘ２は、０．１以上０．３以下である。１つの例において、第２窒化物領域２０は、例えば、$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$を含む。第２窒化物領域２０は、例えば、半導体領域である。第２窒化物領域２０は、例えば、結晶を含む。

【００１６】

第２窒化物領域２０は、第６部分領域２６及び第７部分領域２７を含む。第４部分領域１４から第６部分領域２６への方向は、第１方向（例えばＺ軸方向）に沿う。第５部分領域１５から第７部分領域２７への方向は、第１方向に沿う。

【００１７】

第３部分領域１３から第３電極５３への方向は、第１方向（例えば、Ｚ軸方向）に沿う。第３電極５３の少なくとも一部は、第２方向（Ｘ軸方向）において、第６部分領域２６と第７部分領域２７との間にある。

【００１８】

第１絶縁膜４１は、第１絶縁領域４１ａを含む。第１絶縁領域４１ａは、第１方向（Ｚ軸方向）において、第３部分領域１３と第３電極５３との間にある。

【００１９】

第３窒化物領域３０は、$Al_{x3}Ga_{1-x3}N$（０＜ｘ３≦１、ｘ１＜ｘ３）を含む。例えば、第３窒化物領域３０におけるＡｌの組成比ｘ３は、第２窒化物領域２０におけるＡｌの組成比ｘ２よりも高い。１つの例において、Ａｌの組成比ｘ３は、例えば、０．８以上１以下である。例えば、第３窒化物領域３０は、例えばＡｌＮを含む。第３窒化物領域３０は、例えば、半導体領域である。後述するように、第３窒化物領域３０の結晶性は、場所によって異なっても良い。

【００２０】

第３窒化物領域３０は、第１～第７部分ｐ１～ｐ７を含む。第１部分ｐ１は、Ｚ軸方向において、第１絶縁領域４１ａと第３部分領域１３との間にある。第２部分ｐ２は、Ｘ軸方向において第３電極５３と第４部分領域１４との間にある。第３部分ｐ３は、Ｘ軸方向において、第３電極５３と第５部分領域１５との間にある。第４部分ｐ４は、Ｘ軸方向において、第３電極５３と第６部分領域２６との間にある。第５部分ｐ５は、Ｘ軸方向において、第３電極５３と第７部分領域２７との間にある。

【００２１】

第６部分領域２６は、Ｚ軸方向において、第６部分ｐ６と第４部分領域１４との間にある。第７部分領域２７は、Ｚ軸方向において、第７部分ｐ７と第５部分領域１５との間にある。第１～第７部分ｐ１～ｐ７は、例えば、互いに連続する。

【００２２】

第２絶縁膜４２は、第２絶縁領域４２ｂ及び第３絶縁領域４２ｃを含む。第６部分領域２６は、第４部分領域１４と第２絶縁領域４２ｂとの間にある。第２絶縁領域４２ｂは、第６部分領域２６と第６部分ｐ６との間にある。第７部分領域２７は、第５部分領域１５と第３絶縁領域４２ｃとの間にある。第３絶縁領域４２ｃは、第７部分領域２７と第７部分ｐ７との間にある。

【００２３】

第１絶縁膜４１は、第４～７絶縁領域４１ｄ～４１ｇを含む。第４絶縁領域４１ｄは、第４部分ｐ４と第３電極５３との間にある。第５絶縁領域４１ｅは、第５部分ｐ５と第３電極５３との間にある。第６部分ｐ６は、第６絶縁領域４１ｆと第２絶縁領域４２ｂとの間にある。第７部分ｐ７は、第７絶縁領域４１ｇと第３絶縁領域４２ｃとの間にある。

【００２４】

第１絶縁膜４１は、第８絶縁領域４１ｈ及び第９絶縁領域４１ｉをさらに含んでも良い。第８絶縁領域４１ｈは、Ｘ軸方向において、第２部分ｐ２と第３電極５３との間にある

。第９絶縁領域４１ｉは、Ｘ軸方向において、第３部分ｐ３と第３電極５３との間にある。第４～９絶縁領域４１ｄ～４１ｉは、互いに連続する。

【００２５】

例えば、第１絶縁膜４１は、シリコンと酸素とを含む。例えば、第２絶縁膜４２は、シリコンと窒素とを含む。例えば、第１絶縁膜４１は窒素を含まない。または、第１絶縁膜４１に含まれる窒素の濃度は、第２絶縁膜４２に含まれる窒素の濃度よりも低い。第１絶縁膜４１は、例えば、$SiO_2$を含む。第２絶縁膜４２は、例えば、ＳｉＮを含む。

【００２６】

例えば、第１窒化物領域１０及び第２窒化物領域２０は、積層体１８に含まれる。例えば、基体１０ｓの上に、積層体１８が設けられる。例えば、基体１０ｓの上にバッファ層１７が形成される。バッファ層１７の上に、第１窒化物領域１０がエピタキシャル成長される。第１窒化物領域１０の上に、第２窒化物領域２０がエピタキシャル成長される。第２窒化物領域２０の上に第２絶縁膜４２が形成される。積層体１８は、第２絶縁膜４２を含んでも良い。例えば、第２絶縁膜４２開口部を介して、積層体１８の一部が除去されて、凹部（リセス、またはトレンチ）が形成される。凹部の底部は、第１窒化物領域１０中に位置する。凹部の底面（第１窒化物領域１０の一部）、凹部の側面（第１窒化物領域１０の一部及び第２窒化物領域２０の一部）、及び、積層体１８の表面（例えば上面）に、第３窒化物領域３０が設けられる。例えば、第３窒化物領域３０の少なくとも一部は、エピタキシャル成長される。第３窒化物領域３０は、例えば、再成長層である。第３窒化物領域３０の形成の後に、第１絶縁膜４１が形成される。例えば、第１～第３電極５１～５３が形成される。これにより、半導体装置１１０が得られる。

【００２７】

第１電極５１は、例えば、ソース電極として機能する。第２電極５２は、例えば、ドレイン電極として機能する。第３電極５３は、例えば、ゲート電極として機能する。第２絶縁膜４２は、例えばゲート絶縁膜として機能する。第２絶縁膜４２は、例えば、保護膜として機能する。例えば、第３電極５３の電位（例えばゲート電圧）により、第１電極５１と第２電極５２との間に流れる電流（ドレイン電流）が制御できる。ゲート電圧は、例えば、第１電極５１の電位を基準にした第３電極５３の電位である。

【００２８】

例えば、第１窒化物領域１０の第２窒化物領域２０の側の部分に、例えば、２次元電子ガス１０Ｅが生じる。２次元電子ガス１０Ｅがキャリア領域となる。半導体装置１１０は、例えば、ＨＥＭＴ（High Electron Mobility Transistor）である。

【００２９】

実施形態に係る半導体装置１１０においては、第３電極５３と第３部分領域１３との間に、第３窒化物領域３０の第１部分ｐ１が設けられる。例えば、第３部分領域１３の第１部分ｐ１の側の部分に、２次元電子ガス１０Ｆが形成される。これにより、例えば、高い移動度が得られる。

【００３０】

図１（ｂ）に示すように、第３部分領域１３は、第１面１０ｆａを含む。第１面１０ｆａは、第１絶縁領域４１ａと対向する。例えば、第１面１０ｆａは、第１部分ｐ１と対向する。第６部分領域２６及び第７部分領域２７は、それぞれ、第１電極５１及び第２電極５２と対向する第２面１０ｆｂを含む。第１面１０ｆａの第１方向（Ｚ軸方向）に沿う位置と、第２面１０ｆｂの第１方向に沿う位置と、の間の第１方向に沿う距離を距離ｔ１とする。第６部分領域２６の第１方向に沿う長さを長さｔ２とする。長さｔ２は、第６部分領域２６の厚さに対応する。距離ｔ１は、凹部深さＤｒ１に対応する。距離ｔ１の長さｔ２に対する比（ｔ１／ｔ２）を比Ｒ１とする。比Ｒ１が１のときに、第１窒化物領域１０は除去されない。比Ｒ１が２のときに、第１窒化物領域１０の除去深さは、第２窒化物領域２０の厚さ（長さｔ２）と同じである。

【００３１】

実施形態においては、凹部深さＤｒ１を一般的な深さよりも深くする。実施形態におい

て、比Ｒ１は、２以上である。比Ｒ１は、３以上でも良い。比Ｒ１は、３．５以上でも良い。後述するように、高い移動度が得られる。

【００３２】

発明者の実験により、凹部深さＤｒ１を深くする（比Ｒ１を高くする）ことで、高い移動度が得られることが分かった。以下、実験結果について説明する。

【００３３】

実験の試料において、第１窒化物領域１０は、ＧａＮである。第２窒化物領域２０は、$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$である。第２窒化物領域２０の厚さ（Ｚ軸方向の長さ）は、３０ｎｍである。第６部分領域２６の厚さ（長さｔ２）は、３０ｎｍである。第３窒化物領域３０は、ＡｌＮである。第３窒化物領域３０の厚さ（例えば、第１部分ｐ１のＺ軸方向の長さ）は、３ｎｍである。第２絶縁膜４２は、ＳｉＮである。第２絶縁膜４２の厚さ（Ｚ軸方向の長さ）は、１０ｎｍである。第１絶縁膜４１は、$SiO_2$である。第１絶縁膜４１の厚さ（例えば、第１絶縁領域４１ａのＺ軸方向の長さ）は、３０ｎｍである。第１～第３電極５１～５３は、ＴｉＮを含む。

【００３４】

凹部深さＤｒ１が変更され、比Ｒ１が変更された複数の試料が作製される。凹部は、$BCl_4$を含むガスを用いたＲＩＥ（Reactive Ion Etching）により形成される。実験においては、凹部の形成時間を変更することで、凹部深さＤｒ１（比Ｒ１）が変更される。凹部の形成の後に、アンモニアガスを含む雰囲気での熱処理が行われ、エッチングガスに含まれる元素（Ｂ及びＣｌなど）が除去される。この後、第３窒化物領域３０及び第１絶縁膜４１が形成され、熱処理後に、第１～第３電極５１～５３が形成される。これにより、半導体装置の試料が得られる。凹部深さＤｒ１が深い（比Ｒ１が高い）試料においては、凹部の形成における処理時間が長い。これらの試料の移動度が評価される。

【００３５】

図２は、半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

図２の横軸は、比Ｒ１（ｎｍ、凹部の深さ）である。図２の縦軸は、移動度μ（$cm^2$／Ｖｓ、電界移動度）である。比Ｒ１が１．８６の試料において、凹部深さＤｒ１は５６ｎｍである。比Ｒ１が３．５の試料において、凹部深さＤｒ１は１０５ｎｍである。比Ｒ１が４．１の試料において、凹部深さＤｒ１は１２３ｎｍである。比Ｒ１が５．５３の試料において、凹部深さＤｒ１は１６６ｎｍである。

【００３６】

図２から分かるように、比Ｒ１が低く、凹部が浅いと、移動度μは低い。比Ｒ１が３．５以上のように高く、凹部が深いと、移動度μが高くなる。

【００３７】

移動度μは、キャリア領域（例えば、２次元電子ガス１０Ｅ及び２次元電子ガス１０Ｆ）におけるキャリアの移動のし易さに関係があると考えられる。凹部を形成する際に、凹部の底部（第３部分領域１３）に不純物などが導入され、結晶品質が低くなり、移動度μが低くなると考えられる。この発想の場合、凹部の形成による不純物の導入を抑制するために、凹部を浅くすることが好ましいと考えるのが自然である。

【００３８】

しかしながら、図２に示す実験結果においては、凹部が深く、比Ｒ１が高いと、高い移動度μが得られることが分かった。このような新たな知見に関して、試料の分析が行われる。

【００３９】

図３は、半導体装置におけるＳＩＭＳ分析結果を例示するグラフ図である。

図３は、第３部分領域１３及び第１絶縁領域４１ａを含む積層領域ｒｇ１（図１（ｂ）参照）におけるＳＩＭＳ分析結果を示す。図３の横軸は、Ｚ軸方向に沿う位置ｐＺ（ｎｍ）である。縦軸は、Ｎａの濃度Ｃ（Ｎａ）（atoms／$cm^3$）である。図３には、比Ｒ１が、１．８６、３．５、または、４．１の試料の結果が例示されている。

【００４０】

図３から分かるように、Ｎａの濃度Ｃ（Ｎａ）のピーク値は、比Ｒ１が１．８６、３．５または４．１のいずれの場合において、ほぼ同じである。しかしながら、Ｎａの濃度Ｃ（Ｎａ）の低下に関する特性は、比Ｒ１により異なる。比Ｒ１が１．８６の場合は、Ｎａの濃度Ｃ（Ｎａ）は低下し難い。これに対して、比Ｒ１が３．５または４．１の場合、Ｎａの濃度Ｃ（Ｎａ）は、急峻に低下する。

【００４１】

例えば、第３部分領域１３及び第１絶縁領域４１ａを含む積層領域ｒｇ１は、第１位置ｐＺ１を含む。この積層領域ｒｇ１におけるＮａの濃度は、第１位置ｐＺ１でピークとなる。比Ｒ１が１．８６、３．５または４．１のいずれの場合も、第１位置ｐＺ１のＺ軸方向における位置は、実質的に同じ（位置ｐＺ＝３１ｎｍの位置）である。

【００４２】

第１位置ｐＺ１＋４ｎｍの位置から、第１位置ｐＺ１＋１４ｎｍの位置までの範囲（ｐＺ＝３５～４５ｎｍの範囲）における、Ｎａの濃度Ｃ（Ｎａ）の積分値（図３の斜線部Ｃｓ１の面積）をパラメータＣ１（Ｎａ）とする。パラメータＣ１（Ｎａ）が小さいと、この領域におけるＮａの量が少ないことに対応する。

【００４３】

図４は、半導体装置の特性を例示するグラフ図である。

図４の横軸は、比Ｒ１である。縦軸は、パラメータＣ１（Ｎａ）（atoms ×$10^{10}$／$cm^2$）である。図４からわかるように、比Ｒ１が１．８６のときに、パラメータＣ１（Ｎａ）は高い。これに対して、比Ｒ１が３．５または４．１のときに、パラメータＣ１（Ｎａ）は、著しく低い。このように、比Ｒ１が高いと、パラメータＣ１（Ｎａ）は小さくなり、Ｎａの量が著しく減少することが分かった。

【００４４】

例えば、凹部の形成の際に、まず、第２窒化物領域２０が除去され、その後に、第１窒化物領域１０の除去が始まる。第２窒化物領域２０におけるＡｌの組成比ｘ２は、第１窒化物領域１０におけるＡｌの組成比ｘ１よりも高い。Ａｌの組成比が高いと、エッチングレートが低い。第２窒化物領域２０（例えばＡｌＧａＮ）のエッチングレートは、第１窒化物領域１０（例えばＧａＮ）のエッチングレートよりも低い。例えば、第２窒化物領域２０の除去に、長いエッチング時間を要する。この長いエッチング時間の間に、第１窒化物領域１０（ＧａＮ）にダメージが生じると考えられる。第２窒化物領域２０（例えばＡｌＧａＮ）のエッチングが終了し、第１窒化物領域１０（ＧａＮ）のエッチングが開始すると、ダメージが生じ難い状態で、ＧａＮが除去されると考えられる。

【００４５】

凹部が浅く、比Ｒ１が低い場合、ダメージが生じた第１窒化物領域１０（ＧａＮ）が残りやすいと考えられる。これに対して、凹部が深く、比Ｒ１が高い場合は、ダメージが生じた第１窒化物領域１０（ＧａＮ）も除去され、残ったＧａＮにおいて、ダメージが抑制されると考えられる。上記のようなダメージに、Ｎａがトラップされ易いと考えられる。Ｎａは、例えば、原料ガス中の不純物、装置に付着した不純物、または、周囲の環境に含まれる不純物などに由来すると考えられる。

【００４６】

例えば上記のようなメカニズムにより、図４に例示したような現象が生じると考えられる。このように、凹部が深く、比Ｒ１が高いと、ダメージが抑制され、たとえば、凹部の底部において、Ｎａの量が少なくなる。これにより、図２に関して説明したように、比Ｒ１が高いと、高い移動度μが得られると考えられる。

【００４７】

実施形態においては、上記のような新たに見出された知見に基づいている。すなわち、比Ｒ１を高くする。そして、Ｎａの濃度を急峻に低下させる。例えば、図３に示すように、比Ｒ１が高い場合、Ｎａの濃度Ｃ（Ｎａ）がピークの値の１／１００になるまでの厚さは比Ｒ１が低い場合のそれに比べて薄い。

【００４８】

図３に示すように、例えば、第３部分領域１３及び第１絶縁領域４１ａを含む積層領域ｒｇ１（図１（ｂ）参照）は、第１位置ｐＺ１及び第２位置ｐＺ２を含む。第１方向（Ｚ軸方向）において、第１位置ｐＺ１は、第２位置ｐＺ２と第３電極５３との間にある。例えば、第１方向（Ｚ軸方向）において、第１位置ｐＺ１は、第２位置ｐＺ２と第１絶縁領域４１ａとの間にある。

【００４９】

積層領域ｒｇ１におけるＮａの濃度は、第１位置ｐＺ１でピークとなる。第１位置ｐＺ１におけるＮａの濃度（ピーク濃度）を、第１濃度Ｃｐ１とする。第２位置ｐＺ２におけるＮａの濃度を第２濃度Ｃｐ２とする。第２濃度Ｃｐ２は、第１位置ｐＺ１におけるＮａの濃度（第１濃度Ｃｐ１）の１／１００である。第２位置ｐＺ２は、Ｎａ濃度Ｃ（Ｎａ）がピーク濃度の１／１００になる位置である。

【００５０】

実施形態においては、第１位置ｐＺ１と第２位置ｐＺ２との間の第１方向（Ｚ軸方向）に沿う第１距離ｄ１は、８ｎｍ以下である。このように、実施形態においては、Ｎａの濃度が急峻に低下する。これにより、例えば、高い移動度μが得られる。実施形態によれば、特性を向上できる半導体装置を提供できる。

【００５１】

実施形態において、第１距離ｄ１は、５ｎｍ以下でも良い。Ｎａの量がさらに低減できる。

【００５２】

実施形態において、上記のパラメータＣ１（Ｎａ）（図４参照）は、$10\times10^{10}$／$cm^2$以下であることが好ましい。パラメータＣ１（Ｎａ）は、$5\times10^{10}$／$cm^2$以下でも良い。Ｎａの量が少ないことで、例えば、高い移動度μが得られる。

【００５３】

実施形態において、第３窒化物領域３０は、第３部分領域１３（例えば、ＧａＮ）の上の第１部分ｐ１に加えて、凹部の側面部分（例えば、第２～第５部分ｐ２～ｐ５）、及び、第２窒化物領域２０の上の部分（第６部分ｐ６及び第７部分ｐ７）を含む。これらの部分は、連続的である。このような第３窒化物領域３０を設けることで、例えば、第１部分ｐ１において良好な結晶性が得やすくなる。これにより、例えば、２次元電子ガス１０Ｆが安定して形成できる。これにより、より高い移動度が安定して得られる。実施形態によれば、安定して特性を向上できる半導体装置を提供できる。

【００５４】

実施形態においては、第２絶縁膜４２が設けられる。第２絶縁膜４２により、凹部の形成時に、第２窒化物領域２０の上面は保護される。第２窒化物領域２０の劣化が抑制できる。

【００５５】

実施形態において、第３窒化物領域３０の第１部分ｐ１は、第１窒化物領域１０の第３部分領域１３の上に設けられる。これにより、例えば、第１部分ｐ１において、良好な結晶性が得やすい。

【００５６】

一方、第３窒化物領域３０の第６部分ｐ６は、第２絶縁膜４２の第２絶縁領域４２ｂの上に設けられる。第３窒化物領域３０の第７部分ｐ７は、第２絶縁膜４２の第３絶縁領域４２ｃの上に設けられる。このように、第１部分ｐ１と第６部分ｐ６とで、下地が異なる。第１部分ｐ１と第７部分ｐ７とで、下地が異なる。このため、これらの部分において、結晶性などが異なっても良い。

【００５７】

例えば、第１部分ｐ１の結晶性は、第６部分ｐ６の結晶性よりも高い。第１部分ｐ１の結晶性は、第７部分ｐ７の結晶性よりも高い。第１部分ｐ１の結晶性が高いことで、例えば、高い移動度が得やすい。

【００５８】

例えば、第１部分ｐ１の少なくとも一部は、結晶を含む。第６部分ｐ６の少なくとも一部は、アモルファスでも良い。第７部分ｐ７の少なくとも一部は、アモルファスでも良い。

【００５９】

第３窒化物領域３０の側面部分（例えば、第２部分ｐ２）は、窒化物半導体の上に形成される。このため、側面部分における結晶性は、比較的高い。例えば、第２部分ｐ２の結晶性は、第６部分ｐ６の結晶性よりも高い。例えば、第３部分ｐ３の結晶性は、第７部分ｐ７の結晶性よりも高い。

【００６０】

第４部分ｐ４は、窒化物半導体の上に形成される。このため、第４部分ｐ４の結晶性は、比較的高い。例えば、第４部分ｐ４の結晶性は、第６部分ｐ６の結晶性よりも高い。例えば、第５部分ｐ５の結晶性は、第７部分ｐ７の結晶性よりも高い。

【００６１】

実施形態において、第３電極５３は、Ｘ軸方向において、第１窒化物領域１０の一部と対向し、第２窒化物領域２０と対向する。第３電極５３は、例えば、リセス型のゲート電極である。例えば、第２窒化物領域２０の下の２次元電子ガス１０Ｅは、第３電極５３及び第１絶縁膜４１（ゲート絶縁膜）により分断される。これにより、しきい値電圧が高くでき、ノーマリオフ特性が安定して得やすくなる。

【００６２】

以下、実施形態に係る半導体装置１１０の製造方法の例について説明する。

図５（ａ）～図５（ｄ）、及び、図６（ａ）～図６（ｄ）は、実施形態に係る半導体装置の製造方法を例示する工程順模式的断面図である。

これらの図において、バッファ層１７は省略されている。

【００６３】

図５（ａ）に示すように、基体１０ｓの上に、第１窒化物領域１０が設けられる。第１窒化物領域１０の上に第２窒化物領域２０が設けられる。基体１０ｓは、例えば、シリコン基板である。

【００６４】

図５（ｂ）に示すように、第２窒化物領域２０の上に第２絶縁膜４２が設けられる。積層体１８が得られる。

【００６５】

図５（ｃ）に示すように、第２絶縁膜４２の上に、所定の開口を有するマスク膜４５が形成される。

【００６６】

図５（ｄ）に示すように、マスク膜４５をマスクとして用いて、第２絶縁膜４２の一部を除去する。これにより、第２絶縁膜４２に開口部４２ｏが形成される。

【００６７】

図６（ａ）に示すように、第２絶縁膜４２をマスクとして用い、積層体１８の一部を除去する。積層体１８に凹部１８ｒが形成される。凹部１８ｒの底部１８ｂにおいて、第１窒化物領域１０の一部が露出される。

【００６８】

このとき、凹部深さＤｒ１は、第２窒化物領域２０の上面と底部１８ｂとの間のＺ軸方向における距離に対応する。凹部深さＤｒ１は、例えば、第２窒化物領域２０の厚さ（長さｔ２）の３倍以上であることが好ましい。

【００６９】

図６（ｂ）に示すように、第３窒化物領域３０を形成する。第３窒化物領域３０は、凹部１８ｒの底部１８ｂで露出する第１窒化物領域１０、第２窒化物領域２０の側面２０ｓ、及び、第２絶縁膜４２の上面に形成される。

【００７０】

図６（ｃ）に示すように、第１絶縁膜４１を形成する。

【００７１】

図６（ｄ）に示すように、第１～第３電極５１～５３を形成する。第１電極５１から第２電極５２への第２方向（Ｘ軸方向）は、第１窒化物領域１０から第２窒化物領域２０への第１方向（Ｚ軸方向）と交差する。第３電極５３の第２方向における位置は、第１電極５１の第２方向における位置と、第２電極５２の第２方向における位置と、の間にある。第３電極５３の少なくとも一部は、凹部１８ｒの残余の空間にある。第２方向（Ｘ軸方向）において、第３電極５３は、第１窒化物領域１０と対向して良い。

【００７２】

上記の製造方法においては、第３窒化物領域３０が、凹部１８ｒの底部１８ｂで露出する第１窒化物領域１０、第２窒化物領域２０の側面２０ｓ、及び、第１絶縁膜４１の上面に形成される。第３窒化物領域３０の第１部分ｐ１（図１（ａ）参照）において、良好な結晶性が得られる。第２絶縁膜４２を用いて凹部１８ｒを形成することで、第２窒化物領域２０のダメージが少ない。第３窒化物領域３０を覆うように第１絶縁膜４１が形成されることで、第３窒化物領域３０が保護される。

【００７３】

このように、上記の製造方法においては、積層体１８を準備する。積層体１８は、$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$（$0 \leqq x1 < 1$）を含む第１窒化物領域１０と、$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$（$0 < x2 \leqq 1$、$x1 < x2$）を含む第２窒化物領域２０と、第２絶縁膜４２と、を含む。第１窒化物領域１０と第２絶縁膜４２との間に第２窒化物領域２０が設けられる。

【００７４】

第２絶縁膜４２の側から積層体１８の一部を除去して積層体１８に凹部を形成する。そして、凹部の底部において第１窒化物領域１０の一部を露出させる。

【００７５】

$Al_{x3}Ga_{1-x3}N$（$0 < x3 \leqq 1$、$x1 < x3$）を含む第３窒化物領域３０を形成する。第３窒化物領域３０は、凹部の底部で露出する第１窒化物領域１０、第２窒化物領域２０の側面、及び、第２絶縁膜４２に形成される。

【００７６】

第３窒化物領域３０の形成の後に、第１絶縁膜４１を形成する。電極（第１～第３電極５１～５３）を形成する。電極の形成は、例えば、第１絶縁膜４１の形成の後に実施される。

【００７７】

実施形態は、以下の構成（例えば技術案）を含んでも良い。

（構成１）

第１電極と、

第２電極と、

$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$（$0 \leqq x1 < 1$）を含む第１窒化物領域であって、前記第１窒化物領域は、第１部分領域、第２部分領域、前記第１部分領域と前記第２部分領域との間の第３部分領域、前記第１部分領域と前記第３部分領域との間の第４部分領域、及び、前記第３部分領域と前記第２部分領域との間の第５部分領域を含み、前記第１部分領域から前記第１電極への第１方向は、前記第１電極から前記第２電極への第２方向と交差し、前記第２部分領域から前記第２電極への方向は前記第１方向に沿う、前記第１窒化物領域と、

$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$（$0 < x2 \leqq 1$、$x1 < x2$）を含む第２窒化物領域であって、前記第２窒化物領域は、第６部分領域及び第７部分領域を含み、前記第４部分領域から前記第６部分領域への方向は前記第１方向に沿い、前記第５部分領域から前記第７部分領域への方向は前記第１方向に沿う、前記第２窒化物領域と、

第３電極であって、前記第３部分領域から前記第３電極への方向は前記第１方向に沿い、前記第３電極の少なくとも一部は前記第２方向において前記第６部分領域と前記第７部分領域との間にある、前記第３電極と、

第１絶縁領域を含む第１絶縁膜であって、前記第１絶縁領域は、前記第１方向において、前記第３部分領域と前記第３電極との間にある、前記第１絶縁膜と、

を備え、

前記第３部分領域は、前記第１絶縁領域と対向する第１面を含み、
前記第４部分領域は、前記第６部分領域と対向する第２面を含み、
前記第１面の前記第１方向に沿う位置と、前記第２面の前記第１方向に沿う位置と、の間の前記第１方向に沿う距離の、前記第６部分領域の前記第１方向に沿う長さに対する比は、２以上であり、
前記第３部分領域及び前記第１絶縁領域を含む積層領域は、第１位置及び第２位置を含み、前記第１方向において、第１位置は、前記第２位置と前記第３電極との間にあり、
前記積層領域におけるＮａの濃度は、前記第１位置でピークとなり、
前記第２位置におけるＮａの濃度は、前記第１位置におけるＮａの濃度の１／１００であり、
前記第１位置と前記第２位置との間の前記第１方向に沿う第１距離は、８ｎｍ以下である、半導体装置。

【００７８】
（構成２）
前記第１距離は、５ｎｍ以下である、構成１記載の半導体装置。

【００７９】
（構成３）
前記比は、３以上である、構成１または２に記載の半導体装置。

【００８０】
（構成４）
前記比は、３．５以上である、構成１または２に記載の半導体装置。

【００８１】
（構成５）
$Al_{x3}Ga_{1-x3}N$（$0<x3\leqq 1$、$x1<x3$）を含む第３窒化物領域をさらに備え、
前記第３窒化物領域は、第１～第７部分を含み、前記第１部分は、前記第１絶縁領域と前記第３部分領域との間にあり、前記第２部分は、前記第３電極と前記第４部分領域との間にあり、前記第３部分は、前記第３電極と前記第５部分領域との間にあり、前記第４部分は、前記第３電極と前記第６部分領域との間にあり、前記第５部分は、前記第３電極と前記第７部分領域との間にあり、前記第６部分領域は、前記第６部分と前記第４部分領域との間にあり、前記第７部分領域は、前記第７部分と前記第５部分領域との間にある、構成１～４のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００８２】
（構成６）
第２絶縁領域及び第３絶縁領域を含む第２絶縁膜をさらに備え、
前記第６部分領域は、前記第４部分領域と前記第２絶縁領域との間にあり、
前記第７部分領域は、前記第５部分領域と前記第３絶縁領域との間にある、構成５記載の半導体装置。

【００８３】
（構成７）
前記第１絶縁膜は、第４～７絶縁領域を含み、
前記第４絶縁領域は、前記第４部分と前記第３電極との間にあり、
前記第５絶縁領域は、前記第５部分と前記第３電極との間にあり、
前記第６部分は、前記第６絶縁領域と前記第２絶縁領域との間にあり、
前記第７部分は、前記第７絶縁領域と前記第３絶縁領域との間にある、構成６記載の半導体装置。

【００８４】
（構成８）
前記第１絶縁膜は、第８絶縁領域及び第９絶縁領域をさらに含み、
前記第８絶縁領域は、前記第２部分と前記第３電極との間にあり、

前記第９絶縁領域は、前記第３部分と前記第３電極との間にある、構成７記載の半導体装置。

【００８５】

（構成９）

前記第１絶縁膜は、シリコンと酸素とを含み、

前記第２絶縁膜は、シリコンと窒素とを含む、構成６～８のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００８６】

（構成１０）

前記第１部分の結晶性は、前記第６部分の結晶性よりも高い、構成６～９のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００８７】

（構成１１）

前記第１部分の少なくとも一部は、結晶を含み、

前記第６部分の少なくとも一部は、アモルファスである、構成６～１０のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００８８】

（構成１２）

前記第２部分の結晶性は、前記第６部分の結晶性よりも高い、構成６～１１のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００８９】

（構成１３）

前記第４部分の結晶性は、前記第６部分の結晶性よりも高い、構成６～１２いずれか１つに記載の半導体装置。

【００９０】

（構成１４）

前記第１絶縁膜は窒素を含まない、または、

前記第１絶縁膜に含まれる窒素の濃度は、前記第２絶縁膜に含まれる窒素の濃度よりも低い、構成６～１３のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００９１】

（構成１５）

前記ｘ３は、前記ｘ２よりも高い、構成５～１４のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００９２】

（構成１６）

前記ｘ１は、０以上０．０５以下であり、

前記ｘ２は、０．１以上０．３以下であり、

前記ｘ３は、０．８以上１以下である、構成５～１５のいずれか１つに記載の半導体装置。

【００９３】

実施形態によれば、特性を向上できる半導体装置が提供できる。

【００９４】

本願明細書において、「垂直」及び「平行」は、厳密な垂直及び厳密な平行だけではなく、例えば製造工程におけるばらつきなどを含むものであり、実質的に垂直及び実質的に平行であれば良い。

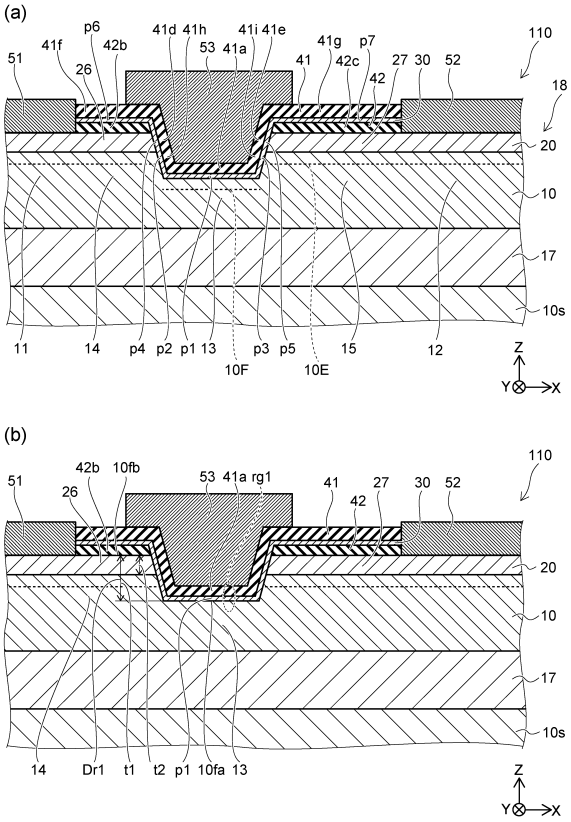
【００９５】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、半導体装置に含まれる窒化物領域、電極及び絶縁膜などの各要素の具体的な構成に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

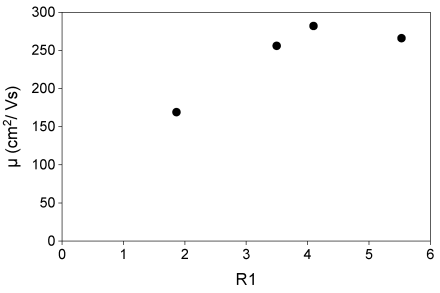
【００９６】
　また、各具体例のいずれか２つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。
【００９７】
　その他、本発明の実施の形態として上述した半導体装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての半導体装置も、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。
【００９８】
　その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと解される。
【００９９】
　本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。
【符号の説明】
【０１００】
　１０…窒化物領域、　１０Ｅ、１０Ｆ…２次元電子ガス、　１０ｆａ…第１面、　１０ｆｂ…第２面、　１０ｓ…基体、　１１～１５…第１～第５部分領域、　１７…バッファ層、　１８…積層体、　１８ｂ…底部、　１８ｒ…凹部、　２０…第２窒化物領域、　２０ｓ…側面、　２６…第６部分領域、　２７…第７部分領域、　３０…第３窒化物領域、　４１…第１絶縁膜、　４１ａ…第１絶縁領域、　４１ｄ～４１ｉ…第４～第９絶縁領域、　４２…第２絶縁膜、　４２ｂ、４２ｃ…第２、第３絶縁領域、　４２ｏ…開口部、　４５…マスク膜、　５１～５３…第１～第３電極、　μ…移動度、　１１０…半導体装置、　Ｃ（Ｎａ）…濃度、　Ｃ１（Ｎａ）…パラメータ、　Ｃｐ１、Ｃｐ２…第１、第２濃度、　Ｃｓ１…斜線部、　Ｄｒ１…凹部深さ、　Ｒ１…比、　ｄ１…第１距離、　ｐ１～ｐ７…第１～第７部分、　ｐＺ…位置、　ｐＺ１、ｐＺ２…第１、第２位置、　ｒｇ１…積層領域、　ｔ１…距離、　ｔ２…長さ

【図面】

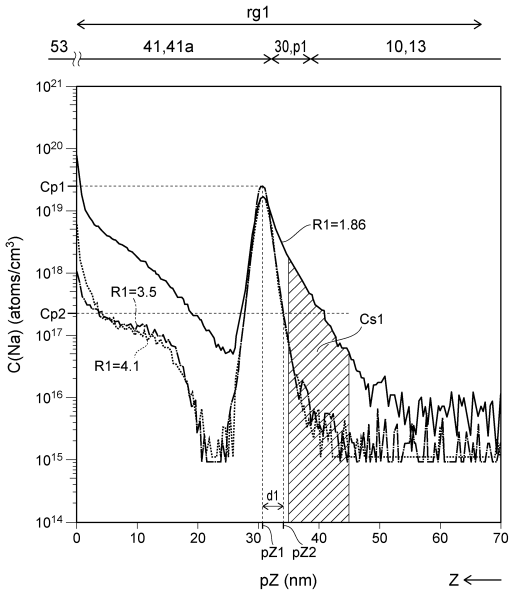
【図１】


(a)
51
41f
p6
26
42b
41d
41h
53
41a
41i
41e
41
41g
p7
42c
42
27
30
52
110
18
20
10
17
10s
11
14
p4
p2
p1
13
10F
p3
p5
10E
15
12
Z
Y
X
(b)
51
42b
10fb
26
53
41a
rg1
41
42
27
30
52
110
20
10
17
10s
14
Dr1
t1
t2
p1
10fa
13
Z
Y
X

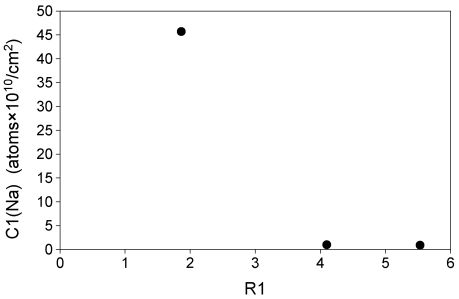
【図２】


μ (cm²/ Vs)
R1

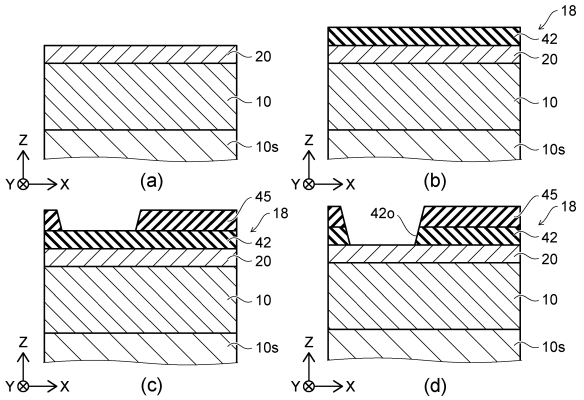
【図３】


rg1
53
41,41a
30,p1
10,13
C(Na) (atoms/cm³)
Cp1
Cp2
R1=1.86
R1=3.5
R1=4.1
Cs1
d1
pZ1
pZ2
pZ (nm)
Z

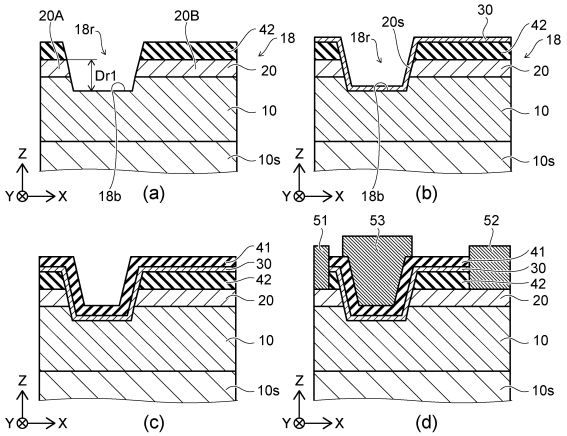
【図４】


C1(Na) (atoms×10¹⁰/cm²)
R1

【図５】


18
42
20
10
10s
45
42o
Z
Y
X
(a)
(b)
(c)
(d)

【図６】


20A
18r
20B
Dr1
18b
20s
30
51
53
52
41
42
18
20
10
10s
Z
Y
X
(a)
(b)
(c)
(d)

フロントページの続き

東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内
(72)発明者 新留 彩
東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内
(72)発明者 大野 浩志
東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内
(72)発明者 蔵口 雅彦
東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社東芝内

合議体
審判長 河本 充雄
審判官 恩田 春香
審判官 大橋 達也

(56)参考文献 特表２０１１－５２９６３９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L29/778
H01L29/812
H01L21/338
H01L29/78
H01L21/336