(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2018-129500
(P2018-129500A)
(43)公開日　平成30年8月16日(2018.8.16)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01L 29/872	***(2006.01)***	H01L	29/86	301D	4M104
H01L 29/47	***(2006.01)***	H01L	29/48	D	
		H01L	29/86	301M	

審査請求 未請求　請求項の数 20　ＯＬ　（全 25 頁）

(21)出願番号　特願2017-193706(P2017-193706)
(22)出願日　平成29年10月3日(2017.10.3)
(31)優先権主張番号　特願2016-196066(P2016-196066)
(32)優先日　平成28年10月3日(2016.10.3)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願2016-196067(P2016-196067)
(32)優先日　平成28年10月3日(2016.10.3)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願2017-22692(P2017-22692)
(32)優先日　平成29年2月10日(2017.2.10)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(71)出願人　511187214
株式会社ＦＬＯＳＦＩＡ
京都府京都市西京区御陵大原１番３６号
(72)発明者　織田　真也
京都府京都市西京区御陵大原１番３６号　京大桂ベンチャープラザ北館　株式会社ＦＬＯＳＦＩＡ内
(72)発明者　徳田　梨絵
京都府京都市西京区御陵大原１番３６号　京大桂ベンチャープラザ北館　株式会社ＦＬＯＳＦＩＡ内
(72)発明者　神原　仁志
京都府京都市西京区御陵大原１番３６号　京大桂ベンチャープラザ北館　株式会社ＦＬＯＳＦＩＡ内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体装置

(57)【要約】
【課題】半導体特性およびショットキー特性に優れた半導体装置を提供する。
【解決手段】第１の半導体層と、第２の半導体層と、第１の半導体層上に設けられているショットキー電極とを少なくとも備え、第１の半導体層及び第２の半導体層が、それぞれガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を主成分として含み、第１の半導体層のキャリア密度が、第２の半導体層のキャリア密度よりも小さい半導体装置において、第１の半導体層および第２の半導体層のそれぞれの表面積が３ｍｍ^{2}以下である小型の半導体装置を製造し、得られた半導体装置をパワーデバイス等に用いる。
【選択図】なし

【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の半導体層と、第２の半導体層と、第１の半導体層上に設けられているショットキー電極とを少なくとも備え、第１の半導体層及び第２の半導体層が、それぞれガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を主成分として含み、第１の半導体層のキャリア密度が、第２の半導体層のキャリア密度よりも小さい半導体装置であって、第１の半導体層および第２の半導体層のそれぞれの表面積が３ｍｍ^{2}以下であることを特徴とする半導体装置。
【請求項２】
第１の半導体層および第２の半導体層のそれぞれの表面積が１ｍｍ^{2}以下である請求項１記載の半導体装置。
【請求項３】
第１の半導体層または第２の半導体層が、絶縁破壊電界が６ＭＶ／ｃｍ以上である半導体膜からなる請求項１または２に記載の半導体装置。
【請求項４】
絶縁破壊電界が１０ＭＶ／ｃｍ以上である請求項１～３のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項５】
前記ショットキー電極が、周期律表第４族～第９族から選ばれる少なくとも１種の金属を含む請求項１～４のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項６】
ショットキー電極の面積が１ｍｍ^{2}以下である請求項１～５のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項７】
前記結晶性酸化物半導体がコランダム構造を有する請求項１～６のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項８】
前記結晶性酸化物半導体が、α－Ga_2O_3またはその混晶である請求項１～７のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項９】
さらに、オーミック電極を備えており、前記オーミック電極が、周期律表第４族または第１１族の金属を含む請求項１～８のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項１０】
前記オーミック電極が、Ｔｉまたは／およびＡｕを含む請求項９記載の半導体装置。
【請求項１１】
１ＭＨｚで測定したときのキャパシタンスが０Ｖバイアスで１０００ｐＦ以下である請求項１～１０のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項１２】
第１の半導体層と第２の半導体層との合計厚さが４０μｍ以下である請求項１～１１のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項１３】
ショットキー電極が形成されている半導体層を含む半導体装置であって、半導体層がガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を含み、半導体層の表面積が３ｍｍ^{2}以下であることを特徴とする半導体装置。
【請求項１４】
半導体層の絶縁破壊電界が６ＭＶ／ｃｍ以上である請求項１３記載の半導体装置。
【請求項１５】
１Ａ以上の電流が流れる請求項１～１４のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項１６】
ダイオードである請求項１～１５のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項１７】

トランジスタである請求項１～１５のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項１８】
パワーデバイスである請求項１～１７のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項１９】
パワーモジュール、インバータまたはコンバータである請求項１～１５のいずれかに記載の半導体装置。
【請求項２０】
半導体装置を備える半導体システムであって、前記半導体装置が、請求項１～１９のいずれかに記載の半導体装置である半導体システム。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、特にパワーデバイスに有用な半導体装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
酸化ガリウム（Ga_2O_3）は、室温において４．８－５．３ｅＶという広いバンドギャップを持ち、可視光及び紫外光をほとんど吸収しない透明半導体である。そのため、特に、深紫外線領域で動作する光・電子デバイスや透明エレクトロニクスにおいて使用するための有望な材料であり、近年においては、酸化ガリウム（Ga_2O_3）を基にした、光検知器、発光ダイオード（ＬＥＤ）及びトランジスタの開発が行われている（非特許文献１参照）。
【０００３】
また、酸化ガリウム（Ga_2O_3）には、α、β、γ、σ、εの５つの結晶構造が存在し、一般的に最も安定な構造は、β－Ga_2O_3である。しかしながら、β－Ga_2O_3はβガリア構造であるので、一般に電子材料等で利用する結晶系とは異なり、半導体装置への利用は必ずしも好適ではない。また、β－Ga_2O_3薄膜の成長は高い基板温度や高い真空度を必要とするので、製造コストも増大するといった問題もある。また、非特許文献２にも記載されているように、β－Ga_2O_3では、高濃度（例えば$1\times10^{19}/cm^3$以上）のドーパント（Ｓｉ）でさえも、イオン注入後、８００℃～１１００℃の高温にてアニール処理を施さなければドナーとして使えなかった。
一方、α－Ga_2O_3は、既に汎用に販売されているサファイア基板と同じ結晶構造を有するため、光・電子デバイスへの利用には好適であり、さらに、β－Ga_2O_3よりも広いバンドギャップをもつため、パワーデバイスに特に有用であり、そのため、α－Ga_2O_3を半導体として用いた半導体装置が待ち望まれている状況である。
【０００４】
特許文献１および２には、β－Ga_2O_3を半導体として用い、これに適合したオーミック特性が得られる電極として、Ｔｉ層およびＡｕ層からなる２層、Ｔｉ層、Ａｌ層およびＡｕ層からなる３層、またはＴｉ層、Ａｌ層、Ｎｉ層およびＡｕ層からなる４層を用いた半導体装置が記載されている。
また、特許文献３には、β－Ga_2O_3を半導体として用い、これに適合したショットキー特性が得られる電極として、Ａｕ、Ｐｔ、あるいはＮｉおよびＡｕの積層体のいずれかを用いた半導体装置が記載されている。
しかしながら、特許文献１～３の記載の電極を用いた場合でも、ショットキー電極やオーミック電極として十分に機能しなかったり、電極が膜につかなかったり、半導体特性が損なわれたりするなどの問題があった。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】

【特許文献１】特開２００５－２６０１０１号公報
【特許文献２】特開２００９－８１４６８号公報
【特許文献３】特開２０１３－１２７６０号公報
【非特許文献】
【０００６】
【非特許文献１】Jun Liang Zhao et al, “UV and Visible Electroluminescence From a Sn:Ga2O3/n+‐Si Heterojunction by Metal‐Organic Chemical Vapor Deposition”, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 58, NO.5 MAY 2011
【非特許文献２】Kohei Sasaki et al, “Si‐Ion Implantation Doping in β‐Ga2O3 and Its Application to Fabrication of Low‐Resistance Ohmic Contacts”, Applied Physics Express 6 (2013) 086502
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
本発明は、半導体特性およびショットキー特性に優れた半導体装置を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意検討した結果、酸化ガリウム半導体を用いた半導体装置の研究開発を進めたところ、絶縁破壊電界が６ＭＶ／ｃｍ以上である酸化物半導体膜の創製に成功し、得られた半導体装置が小面積（例えば半導体膜の表面積が３ｍｍ^{2}以下）であってもパワーデバイスとして適用可能なほどに半導体特性が優れていることを知見し、このような半導体装置が、上記した従来の問題を一挙に解決できるものであることを見出した。また、本発明者らは、このような半導体装置のショットキー電極に、周期律表第４族～第９族の金属を用いたところ、驚くべきことに、作製した半導体装置が、スイッチング特性等の半導体特性に優れており、さらに、密着性にも優れ、ショットキー電極と半導体層との界面も良好であり、ショットキー特性も良好に発現できることを知見し、また、小型でも半導体特性を実現できるものであることを種々見出した。
また、本発明者らは、上記知見を得た後、さらに検討を重ねて本発明を完成させるに至った。
【０００９】
すなわち、本発明は、以下の発明に関する。
［１］　第１の半導体層と、第２の半導体層と、第１の半導体層上に設けられているショットキー電極とを少なくとも備え、第１の半導体層及び第２の半導体層が、それぞれガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を主成分として含み、第１の半導体層のキャリア密度が、第２の半導体層のキャリア密度よりも小さい半導体装置であって、第１の半導体層および第２の半導体層のそれぞれの表面積が３ｍｍ^{2}以下であることを特徴とする半導体装置。
［２］　第１の半導体層および第２の半導体層のそれぞれの表面積が１ｍｍ^{2}以下である前記［１］記載の半導体装置。
［３］　第１の半導体層または第２の半導体層が、絶縁破壊電界が６ＭＶ／ｃｍ以上である半導体膜からなる前記［１］または［２］に記載の半導体装置。
［４］　絶縁破壊電界が１０ＭＶ／ｃｍ以上である前記［１］～［３］のいずれかに記載の半導体装置。
［５］　前記ショットキー電極が、周期律表第４族～第９族から選ばれる少なくとも１種の金属を含む前記［１］～［４］のいずれかに記載の半導体装置。
［６］　ショットキー電極の面積が１ｍｍ^{2}以下である前記［１］～［５］のいずれかに記載の半導体装置。
［７］　前記結晶性酸化物半導体がコランダム構造を有する前記［１］～［６］のいずれかに記載の半導体装置。

［８］　前記結晶性酸化物半導体が、α－Ga_2O_3またはその混晶である前記［１］～［７］のいずれかに記載の半導体装置。
［９］　さらに、オーミック電極を備えており、前記オーミック電極が、周期律表第４族または第１１族の金属を含む前記［１］～［８］のいずれかに記載の半導体装置。
［１０］　前記オーミック電極が、Ｔｉまたは／およびＡｕを含む前記［９］記載の半導体装置。
［１１］　１ＭＨｚで測定したときのキャパシタンスが０Ｖバイアスで１０００ｐＦ以下である前記［１］～［１０］のいずれかに記載の半導体装置。
［１２］　第１の半導体層と第２の半導体層との合計厚さが４０μｍ以下である前記［１］～［１１］のいずれかに記載の半導体装置。
［１３］　ショットキー電極が形成されている半導体層を含む半導体装置であって、半導体層がガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を含み、半導体層の表面積が３mm^2以下であることを特徴とする半導体装置。
［１４］　半導体層の絶縁破壊電界が６ＭＶ／ｃｍ以上である前記［１３］記載の半導体装置。
［１５］　１Ａ以上の電流が流れる前記［１］～［１４］のいずれかに記載の半導体装置。
［１６］　ダイオードである前記［１］～［１５］のいずれかに記載の半導体装置。
［１７］　トランジスタである前記［１］～［１５］のいずれかに記載の半導体装置。
［１８］　パワーデバイスである前記［１］～［１７］のいずれかに記載の半導体装置。
［１９］　パワーモジュール、インバータまたはコンバータである前記［１］～［１５］のいずれかに記載の半導体装置。
［２０］　半導体装置を備える半導体システムであって、前記半導体装置が、前記［１］～［１９］のいずれかに記載の半導体装置である半導体システム。

【発明の効果】

【００１０】

本発明の半導体装置は、半導体特性およびショットキー特性に優れている。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】本発明のショットキーバリアダイオード（ＳＢＤ）の好適な一例を模式的に示す図である。
【図２】本発明のショットキーバリアダイオード（ＳＢＤ）の好適な一例を模式的に示す図である。
【図３】本発明に用いられる第１の金属層の好適な一例を模式的に示す図である。
【図４】本発明に用いられる第２の金属層の好適な一例を模式的に示す図である。
【図５】実施例で用いたミストＣＶＤ装置の概略構成図である。
【図６】実施例で用いたミストＣＶＤ装置の概略構成図である。
【図７】実施例１のＩＶ測定の結果を示す図である。
【図８】実施例２のＩＶ測定の結果を示す図である。
【図９】実施例３のＩＶ測定の結果を示す図である。
【図１０】比較例のＩＶ測定の結果を示す図である。
【図１１】実施例４のスイッチング特性測定の結果を示す図である。縦軸が電流（Ａ）であり、横軸が時間（秒）である。
【図１２】電源システムの好適な一例を模式的に示す図である。
【図１３】システム装置の好適な一例を模式的に示す図である。
【図１４】電源装置の電源回路図の好適な一例を模式的に示す図である。
【図１５】実施例６のＣＶ測定の結果を示す図である。
【図１６】実施例６及び実施例７の順方向ＪＶ測定の結果を示す図である。
【図１７】実施例６の逆方向ＪＶ測定の結果を示す図である。
【図１８】実施例７の半導体膜の過剰ドナー濃度（ドナー濃度とアクセプタ濃度との差）

と膜厚との関係を示す図である。
【図１９】実施例７の逆方向ＪＶ測定の結果を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１２】
本発明の半導体装置は、ショットキー電極が形成されている半導体層を含む半導体装置であって、半導体層がガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を含み、半導体層の表面積が３ｍｍ^{2}以下であることを特長とする。また、本発明は、第１の半導体層と、第２の半導体層と、第１の半導体層上に設けられているショットキー電極とを少なくとも備え、第１の半導体層及び第２の半導体層が、それぞれガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を主成分として含み、第１の半導体層のキャリア密度が、第２の半導体層のキャリア密度よりも小さい半導体装置であって、第１の半導体層および第２の半導体層のそれぞれの表面積が３ｍｍ^{2}以下であることを特長とする。本発明においては、前記表面積が１ｍｍ^{2}以下であるのが好ましく、１ｍｍ角以下がより好ましい。
【００１３】
前記ショットキー電極は、周期律表第４族～第９族から選ばれる少なくとも１種の金属を含むのが好ましい。なお、前記金属は、周期律表第４族～第６族から選ばれる少なくとも１種の金属であるのが好ましい。このようにして前記ショットキー電極の金属材料と、第１の半導体層および第２の半導体とを組み合わせることにより、半導体特性に優れた半導体装置を得ることができる。従来より、β－Ｇａ$_2$Ｏ$_3$を半導体として用いる場合には、Ａｕ、Ｐｔ、Ｎｉなどの周期律表第１０族以上の金属をショットキー電極に用いることが適していることが知られていたが、周期律表第１０族以上の金属を用いなくても、例えばα－Ｇａ$_2$Ｏ$_3$等の結晶性酸化物半導体を第１の半導体層および第２の半導体層にそれぞれ用いる場合には、第１の半導体層のキャリア密度を、第２の半導体層のキャリア密度よりも小さくし、さらに、前記ショットキー電極に、周期律表第４族～第９族から選ばれる少なくとも１種の金属を用いることにより、半導体特性に優れた半導体装置を得ることができる。
【００１４】
第１の半導体層及び第２の半導体層（以下、まとめて「前記半導体層」ともいう）は、それぞれガリウムを含有する結晶性酸化物半導体を主成分として含み、第１の半導体層のキャリア密度が、第２の半導体層のキャリア密度よりも小さければ特に限定されない。前記結晶性酸化物半導体の結晶構造も特に限定されないが、コランダム構造またはβガリア構造であるのが好ましく、コランダム構造であるのがより好ましい。本発明においては、前記半導体層（以下、「結晶性酸化物半導体膜」ともいう）が、ＩｎＡｌＧａＯ系半導体を主成分とするのが好ましく、ガリウムを少なくとも含むのがより好ましく、α－Ｇａ$_2$Ｏ$_3$またはその混晶であるのが最も好ましい。なお、「主成分」とは、例えば結晶性酸化物半導体がα－Ｇａ$_2$Ｏ$_3$である場合、膜中の金属元素中のガリウムの原子比が０．５以上の割合でα－Ｇａ$_2$Ｏ$_3$が含まれていればそれでよい。本発明においては、前記膜中の金属元素中のガリウムの原子比が０．７以上であることが好ましく、０．８以上であるのがより好ましい。また、第１の半導体層と第２の半導体層とは、本発明の目的を阻害しない限り、それぞれ互いに主成分が同一であってもよいし、異なっていてもよいが、本発明においては、同一であるのが好ましい。また、本発明においては、前記半導体層を構成する半導体膜の絶縁破壊電界が６ＭＶ／ｃｍ以上であるのが好ましく、１０ＭＶ／ｃｍ以上であるのがより好ましい。このような絶縁破壊特性を有することによって、小面積でも優れた半導体特性を発揮することができる。なお、前記絶縁破壊電界は、例えば、ＪＩＳ Ｃ２１１０－２に規定する絶縁破壊の強さの算出方法に準じて測定される。また、結晶性酸化物半導体膜の厚さは、特に限定されず、１μｍ以下であってもよいし、１μｍ以上であってもよいが、本発明においては、４０μｍ以下であるのが好ましく、２５μｍ以下であるのがより好ましく、１２μｍ以下であるのがさらにより好ましく、８μｍ以下であるのが最も好ましい。また、本発明の半導体装置は、下記の熱抵抗算出評価の結果からも明らかなとおり、小型化しても半導体装置として優れた性能を発揮する。例えば、結晶性酸

化物半導体膜の膜厚が１２μｍ以下で、かつ表面積が１ｍｍ^{2}以下であっても、１Ａ以上（好ましくは１０Ａ以上）の電流が流れる半導体装置が得られる。なお、前記結晶性酸化物半導体膜は、通常、単結晶であるが、多結晶であってもよい。

【００１５】

前記結晶性酸化物半導体膜は、ドーパントが含まれているのが好ましく、第２の半導体層には、通常、ドーパントが含まれている。前記ドーパントは、特に限定されず、公知のものであってよい。前記ドーパントとしては、例えば、スズ、ゲルマニウム、ケイ素、チタン、ジルコニウム、バナジウムまたはニオブ等のｎ型ドーパント、またはｐ型ドーパントなどが挙げられる。例えば、第１の半導体層に前記ドーパントが含まれる場合には、該ドーパントの含有量は、第１の半導体層の組成中、０．０００００００００１原子％以上であるのが好ましく、０．０００００００００１原子％～２０原子％であるのがより好ましく、０．０００００００００１原子％～１原子％であるのが最も好ましい。また、例えば、第２の半導体層に前記ドーパントが含まれる場合には、該ドーパントの含有量は、第２の半導体層の組成中、０．０００００００１原子％以上であるのが好ましく、０．０００００００１原子％～２０原子％であるのがより好ましく、０．０００００００１原子％～１０原子％であるのが最も好ましい。本発明においては、前記ドーパントが、ＳｎまたはＧｅであるのが好ましい。ＳｎまたはＧｅの含有量は、前記結晶性酸化物半導体膜の組成中、０．００００１原子％以上であるのが好ましく、０．００００１原子％～２０原子％であるのがより好ましく、０．００００１原子％～１０原子％であるのが最も好ましい。なお、前記結晶性酸化物半導体膜のキャリア密度は、ドーピング量を調節することにより、適宜設定することができる。

【００１６】

前記結晶性酸化物半導体膜は、例えば、原料溶液を霧化または液滴化し（霧化・液滴化工程）、得られたミストまたは液滴をキャリアガスでもって基体上まで搬送し（搬送工程）、ついで、成膜室内で前記ミストまたは液滴を熱反応させることによって、基体上に結晶性酸化物半導体を主成分として含む結晶性酸化物半導体膜を積層する（成膜工程）ことにより好適に得られる。

【００１７】

（霧化・液滴化工程）

霧化・液滴化工程は、前記原料溶液を霧化または液滴化する。前記原料溶液の霧化手段または液滴化手段は、前記原料溶液を霧化または液滴化できさえすれば特に限定されず、公知の手段であってよいが、本発明においては、超音波を用いる霧化手段または液滴化手段が好ましい。超音波を用いて得られたミストまたは液滴は、初速度がゼロであり、空中に浮遊するので好ましく、例えば、スプレーのように吹き付けるのではなく、空間に浮遊してガスとして搬送することが可能なミストであるので衝突エネルギーによる損傷がないため、非常に好適である。液滴サイズは、特に限定されず、数ｍｍ程度の液滴であってもよいが、好ましくは５０μｍ以下であり、より好ましくは１００ｎｍ～１０μｍである。

【００１８】

（原料溶液）

前記原料溶液は、霧化または液滴化が可能な材料を含んでおり、重水素を含有していれば特に限定されず、無機材料であっても、有機材料であってもよいが、本発明においては、金属または金属化合物であるのが好ましく、ガリウム、鉄、インジウム、アルミニウム、バナジウム、チタン、クロム、ロジウム、ニッケル、コバルト、亜鉛、マグネシウム、カルシウム、シリコン、イットリウム、ストロンチウムおよびバリウムから選ばれる１種または２種以上の金属を含むのがより好ましい。

【００１９】

本発明においては、前記原料溶液として、前記金属を錯体または塩の形態で有機溶媒または水に溶解または分散させたものを好適に用いることができる。錯体の形態としては、例えば、アセチルアセトナート錯体、カルボニル錯体、アンミン錯体、ヒドリド錯体などが挙げられる。塩の形態としては、例えば、有機金属塩（例えば金属酢酸塩、金属シュウ

酸塩、金属クエン酸塩等）、硫化金属塩、硝化金属塩、リン酸化金属塩、ハロゲン化金属塩（例えば塩化金属塩、臭化金属塩、ヨウ化金属塩等）などが挙げられる。

【００２０】

また、前記原料溶液には、ハロゲン化水素酸や酸化剤等の添加剤を混合するのが好ましい。前記ハロゲン化水素酸としては、例えば、臭化水素酸、塩酸、ヨウ化水素酸などが挙げられるが、中でも、より良質な膜が得られるとの理由から、臭化水素酸またはヨウ化水素酸が好ましい。前記酸化剤としては、例えば、過酸化水素（H_2O_2）、過酸化ナトリウム（Na_2O_2）、過酸化バリウム（BaO_2）、過酸化ベンゾイル（$(C_6H_5CO)_2O_2$等の過酸化物、次亜塩素酸（ＨＣｌＯ）、過塩素酸、硝酸、オゾン水、過酢酸やニトロベンゼン等の有機過酸化物などが挙げられる。

【００２１】

前記原料溶液には、ドーパントが含まれていてもよい。原料溶液にドーパントを含ませることで、ドーピングを良好に行うことができる。前記ドーパントは、本発明の目的を阻害しない限り、特に限定されない。前記ドーパントとしては、例えば、スズ、ゲルマニウム、ケイ素、チタン、ジルコニウム、バナジウムまたはニオブ等のｎ型ドーパント、またはｐ型ドーパントなどが挙げられる。ドーパントの濃度は、通常、約1×10^{16}／ｃｍ^3～1×10^{22}／ｃｍ^{3}であってもよいし、また、ドーパントの濃度を例えば約1×10^{17}／ｃｍ^{3}以下の低濃度にしてもよい。また、さらに、本発明によれば、ドーパントを約1×10^{20}／ｃｍ^{3}以上の高濃度で含有させてもよい。本発明においては、1×10^{17}／ｃｍ^{3}以上のキャリア濃度で含有させるのが好ましい。

【００２２】

原料溶液の溶媒は、特に限定されず、水等の無機溶媒であってもよいし、アルコール等の有機溶媒であってもよいし、無機溶媒と有機溶媒との混合溶媒であってもよい。本発明においては、前記溶媒が水を含むのが好ましく、水または水とアルコールとの混合溶媒であるのがより好ましい。

【００２３】

（搬送工程）

搬送工程では、キャリアガスでもって前記ミストまたは前記液滴を成膜室内に搬送する。前記キャリアガスとしては、本発明の目的を阻害しない限り特に限定されず、例えば、酸素、オゾン、窒素やアルゴン等の不活性ガス、または水素ガスやフォーミングガス等の還元ガスなどが好適な例として挙げられる。また、キャリアガスの種類は１種類であってよいが、２種類以上であってもよく、流量を下げた希釈ガス（例えば１０倍希釈ガス等）などを、第２のキャリアガスとしてさらに用いてもよい。また、キャリアガスの供給箇所も１箇所だけでなく、２箇所以上あってもよい。キャリアガスの流量は、特に限定されないが、０．０１～２０Ｌ／分であるのが好ましく、１～１０Ｌ／分であるのがより好ましい。希釈ガスの場合には、希釈ガスの流量が、０．００１～２Ｌ／分であるのが好ましく、０．１～１Ｌ／分であるのがより好ましい。

【００２４】

（成膜工程）

成膜工程では、成膜室内で前記ミストまたは液滴を熱反応させることによって、基体上に、結晶性酸化物半導体膜を成膜する。熱反応は、熱でもって前記ミストまたは液滴が反応すればそれでよく、反応条件等も本発明の目的を阻害しない限り特に限定されない。本工程においては、前記熱反応を、通常、溶媒の蒸発温度以上の温度で行うが、高すぎない温度（例えば１０００℃）以下が好ましく、６５０℃以下がより好ましく、３００℃～６５０℃が最も好ましい。また、熱反応は、本発明の目的を阻害しない限り、真空下、非酸素雰囲気下、還元ガス雰囲気下および酸素雰囲気下のいずれの雰囲気下で行われてもよいが、非酸素雰囲気下または酸素雰囲気下で行われるのが好ましい。また、大気圧下、加圧下および減圧下のいずれの条件下で行われてもよいが、本発明においては、大気圧下で行われるのが好ましい。なお、膜厚は、成膜時間を調整することにより、設定することができる。

【００２５】
（基体）
前記基体は、前記結晶性酸化物半導体膜を支持できるものであれば特に限定されない。前記基体の材料も、本発明の目的を阻害しない限り特に限定されず、公知の基体であってよく、有機化合物であってもよいし、無機化合物であってもよい。前記基体の形状としては、どのような形状のものであってもよく、あらゆる形状に対して有効であり、例えば、平板や円板等の板状、繊維状、棒状、円柱状、角柱状、筒状、螺旋状、球状、リング状などが挙げられるが、本発明においては、基板が好ましい。基板の厚さは、本発明においては特に限定されない。
【００２６】
前記基板は、板状であって、前記結晶性酸化物半導体膜の支持体となるものであれば特に限定されない。絶縁体基板であってもよいし、半導体基板であってもよいし、金属基板や導電性基板であってもよいが、前記基板が、絶縁体基板であるのが好ましく、また、表面に金属膜を有する基板であるのも好ましい。なお、前記金属膜は多層膜が好ましい。前記基板としては、例えば、コランダム構造を有する基板材料を主成分として含む下地基板、またはβ－ガリア構造を有する基板材料を主成分として含む下地基板、六方晶構造を有する基板材料を主成分として含む下地基板などが挙げられる。ここで、「主成分」とは、前記特定の結晶構造を有する基板材料が、原子比で、基板材料の全成分に対し、好ましくは５０％以上、より好ましくは７０％以上、更に好ましくは９０％以上含まれることを意味し、１００％であってもよい。
【００２７】
基板材料は、本発明の目的を阻害しない限り、特に限定されず、公知のものであってよい。前記のコランダム構造を有する基板材料としては、例えば、α－Al_2O_3（サファイア基板）またはα－Ga_2O_3が好適に挙げられ、ａ面サファイア基板、ｍ面サファイア基板、ｒ面サファイア基板、ｃ面サファイア基板や、α型酸化ガリウム基板（ａ面、ｍ面またはｒ面）などがより好適な例として挙げられる。β－ガリア構造を有する基板材料を主成分とする下地基板としては、例えばβ－Ga_2O_3基板、又はGa_2O_3とAl_2O_3とを含みAl_2O_3が０ｗｔ％より多くかつ６０ｗｔ％以下である混晶体基板などが挙げられる。また、六方晶構造を有する基板材料を主成分とする下地基板としては、例えば、ＳｉＣ基板、ＺｎＯ基板、ＧａＮ基板などが挙げられる。基板材料に用いられる金属としては、特に限定されないが、第１の金属層または第２の金属層に用いられる金属が好ましい。
【００２８】
本発明においては、前記基体が、表面の一部または全部に、金属またはコランダム構造を有するのが好ましい。また、基体がコランダム構造を有する場合には、コランダム構造を有する基板材料を主成分とする下地基板であるのがより好ましく、サファイア基板またはα型酸化ガリウム基板であるのが最も好ましい。また、前記基体は、アルミニウムを含んでいてもよく、この場合、コランダム構造を有するアルミニウム含有基板材料を主成分とする下地基板であるのが好ましく、サファイア基板（好ましくはｃ面サファイア基板、ａ面サファイア基板、ｍ面サファイア基板、ｒ面サファイア基板）であるのがより好ましい。また、前記基体は、酸化物を含むのも好ましく、前記酸化物としては、例えば、ＹＳＺ基板、$MgAl_2O_4$基板、ＺｎＯ基板、ＭｇＯ基板、$SrTiO_3$基板、Al_2O_3基板、石英基板、ガラス基板、β型酸化ガリウム基板、チタン酸バリウム基板、チタン酸ストロンチウム基板、酸化コバルト基板、酸化銅基板、酸化クロム基板、酸化鉄基板、$Gd_3Ga_5O_{12}$基板、タンタル酸カリウム基板、アルミン酸ランタン基板、ランタンストロンチウムアルミネート基板、ランタンストロンチウムガレート基板、ニオブ酸リチウム基板、タンタル酸リチウム基板、アルミニウムタンタル酸ランタンストロンチウム、酸化マンガン基板、ネオジウムガレード基板、酸化ニッケル基板、スカンジウムマグネシウムアルミネート基板、酸化ストロンチウム、チタン酸ストロンチウム基板、酸化スズ基板、酸化テルル基板、酸化チタン基板、ＹＡＧ基板、イットリウム・アルミネート基板、リ

チウム・アルミネート基板、リチウム・ガレート基板、ＬＡＳＴ基板、ネオジムガレート基板、イットリウム・オルトバナデイト基板などが挙げられる。

本発明においては、前記基板が３ｍｍ^{2}以下のピッチ間隔で所定の形状に溝入れ加工されたものを用いるのが好ましい。このような基板を用いることによって、前記半導体層の表面積を３ｍｍ^{2}以下にすることがより容易になるだけでなく、結晶成長においてより優れた応力の緩和も実現することができ、より高品質でかつ小面積でもより優れた半導体特性を実現することが可能な酸化ガリウム結晶またはその混晶を得ることができる。

【００２９】

本発明においては、前記成膜工程の後、アニール処理を行ってもよい。アニールの処理温度は、本発明の目的を阻害しない限り特に限定されず、通常、３００℃～６５０℃であり、好ましくは３５０℃～５５０℃である。また、アニールの処理時間は、通常、１分間～４８時間であり、好ましくは１０分間～２４時間であり、より好ましくは３０分間～１２時間である。なお、アニール処理は、本発明の目的を阻害しない限り、どのような雰囲気下で行われてもよいが、好ましくは非酸素雰囲気下であり、より好ましくは窒素雰囲気下である。

【００３０】

また、本発明においては、前記基体上に、直接、結晶性酸化物半導体膜を設けてもよいし、バッファ層（緩衝層）や応力緩和層等の他の層を介して結晶性酸化物半導体膜を設けてもよい。各層の形成手段は、特に限定されず、公知の手段であってよいが、本発明においては、ミストＣＶＤ法が好ましい。

【００３１】

本発明においては、前記結晶性酸化物半導体膜を、前記基体等から剥離する等の公知の手段を用いた後に、半導体層として半導体装置に用いてもよいし、そのまま半導体層として半導体装置に用いてもよい。

【００３２】

前記半導体装置は、前記半導体層と、前記半導体層（第１の半導体層）上にショットキー電極とを少なくとも備える。前記ショットキー電極は、周期律表第４族～第９族から選ばれる少なくとも１種の金属を含んでいるのが好ましい。周期律表第４族の金属としては、例えば、チタン（Ｔｉ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、ハフニウム（Ｈｆ）などが挙げられるが、中でもＴｉが好ましい。周期律表第５族の金属としては、例えば、バナジウム（Ｖ）、ジルコニウム）Ｚｒ）、ハフニウム（Ｈｆ）などが挙げられる。周期律表第６族の金属としては、例えば、クロム（Ｃｒ）、モリブデン（Ｍｏ）およびタングステン（Ｗ）等から選ばれる１種または２種以上の金属などが挙げられるが、本発明においては、よりスイッチング特性等の半導体特性を良好なものとなるのでＣｒが好ましい。周期律表第７族の金属としては、例えば、マンガン（Ｍｎ）、テクネチウム（Ｔｃ）、レニウム（Ｒｅ）などが挙げられる。周期律表第８族の金属としては、例えば、鉄（Ｆｅ）、ルテニウム（Ｒｕ）、オスミウム（Ｏｓ）などが挙げられる。周期律表第９族の金属としては、例えば、コバルト（Ｃｏ）、ロジウム（Ｒｈ）、イリジウム（Ｉｒ）などが挙げられる。また、本発明においては、前記ショットキー電極が、本発明の目的を阻害しない限り、さらに周期律表第１０族または第１１族の金属を含んでいてもよい。周期律表第１０族の金属としては、例えば、ニッケル（Ｎｉ）、パラジウム（Ｐｄ）、白金（Ｐｔ）などが挙げられるが、中でもＰｔが好ましい。周期律表第１１族の金属としては、例えば、銅（Ｃｕ）、銀（Ａｇ）、金（Ａｕ）などが挙げられるが、中でもＡｕが好ましい。

本発明においては、スイッチング特性等の半導体特性をさらにより良好なものとするため、前記ショットキー電極が周期律表第４族～第６族から選ばれる少なくとも１種の金属または周期律表第４族～第９族から選ばれる少なくとも１種の金属であって、周期律表第４周期の遷移金属を含むのが好ましく、周期律表第４族もしくは第６族の金属または周期律表第４族～第６族から選ばれる少なくとも１種の金属であって、周期律表第４周期の遷移金属を含むのがより好ましい。

【００３３】

また、ショットキー電極は単層の金属層であってもよいし、２以上の金属膜を含んでいてもよい。前記金属層や金属膜の積層手段としては、特に限定されず、例えば、真空蒸着法、スパッタリング法などの公知の手段などが挙げられる。また、ショットキー電極を構成する金属は、合金であってもよい。本発明においては、第１の金属層が、Ｔｉを含むのが好ましく、さらに、Ａｕまたは／およびＰｔを含むのが最も好ましい。このような好ましい金属を用いることで、コランダム構造を有する半導体の半導体特性（例えば、耐久性、絶縁破壊電圧、耐圧、オン抵抗、安定性など）をより良好なものとすることができ、ショットキー特性も良好に発揮することができる。

また、本発明においては、ショットキー電極の面積が１ｍｍ^{2}以下であるのが好ましく、０．８ｍｍ^{2}以下であるのがより好ましい。

【００３４】

また、本発明の半導体装置は、通常、オーミック電極を備える。オーミック電極は、周期律表第４族または第１１族の金属を含むのが好ましい。オーミック電極に用いられる好適な周期律表第４族または第１１族の金属は、前記ショットキー電極に含まれる金属と同様であってよい。また、オーミック電極は単層の金属層であってもよいし、２以上の金属層を含んでいてもよい。金属層の積層手段としては、特に限定されず、例えば、真空蒸着法、スパッタリング法などの公知の手段などが挙げられる。また、オーミック電極を構成する金属は、合金であってもよい。本発明においては、オーミック電極が、Ｔｉまたは／およびＡｕを含むのが好ましく、ＴｉおよびＡｕを含むのがより好ましい。

【００３５】

前記半導体装置は、とりわけ、パワーデバイスに有用である。前記半導体装置としては、例えば、半導体レーザ、ダイオードまたはトランジスタ（例えば、ＭＥＳＦＥＴ等）などが挙げられるが、中でもダイオードが好ましく、ショットキーバリアダイオードがより好ましい。

【００３６】

（ＳＢＤ）

図１は、本発明に係るショットキーバリアダイオード（ＳＢＤ）の好適な一例を示している。図１のＳＢＤは、ｎ－型半導体層１０１ａ、ｎ＋型半導体層１０１ｂ、ショットキー電極１０５ａおよびオーミック電極１０５ｂを備えている。

ショットキー電極およびオーミック電極の形成は、例えば、真空蒸着法またはスパッタリング法などの公知の手段により行うことができる。より具体的に例えば、ショットキー電極を形成する場合、第１の金属層を積層させ、第１の金属層に対して、フォトリソグラフィの手法を利用したパターニングを施すことにより行うことができる。

以下、ショットキー電極１０５ａとして第１の金属層を用い、オーミック電極１０５ｂとして、第２の金属層を用いる場合のそれぞれの態様について説明する。

【００３７】

図３は、本発明に用いられる好ましい第１の金属層の一例を示している。第１の金属層５０ａは、Ａｕ層５１、Ｔｉ層５２およびＰｔ層５３からなる。各層の金属膜の膜厚は特に限定されないが、Ａｕ層は、０．１ｎｍ～１０μｍが好ましく、５ｎｍ～２００ｎｍがより好ましく、１０ｎｍ～１００ｎｍが最も好ましい。周期律表第４族の金属（例えばＴｉ等）層は１ｎｍ～５００μｍが好ましく、１ｎｍ～１００μｍがより好ましく、５ｎｍ～２０ｎｍもしくは１μｍ～１００μｍが最も好ましい。周期律表第１０族の金属（例えばＰｔ等）層は、例えば、１ｎｍ～１０μｍが好ましい。なお、周期律表第１１族の金属として、Ａｇを用いる場合には、Ａｇ膜の膜厚が、５μｍ～１００μｍが好ましく、１０μｍ～８０μｍがより好ましく、２０μｍ～６０μｍが最も好ましい。なお、周期律表第１１族の金属として、Ｃｕを用いる場合には、Ｃｕ膜の膜厚が、１ｎｍ～５００μｍが好ましく、１ｎｍ～～１００μｍがより好ましく、０．５μｍ～５μｍが最も好ましい。

【００３８】

図４は、本発明に用いられる好ましい第２の金属層の一例を示している。第２の金属層５０ｂは、Ｔｉ層５４およびＡｕ層５５からなる。各層の金属膜の膜厚は特に限定されな

いが、Ｔｉ層５４の場合は、１ｎｍ～５００μｍが好ましく、１ｎｍ～１００μｍがより好ましく、５ｎｍ～２０ｎｍもしくは１μｍ～１００μｍが最も好ましい。Ａｕ層５５の場合は、０．１ｎｍ～１０μｍが好ましく、５ｎｍ～２００ｎｍがより好ましく、１０ｎｍ～１００ｎｍが最も好ましい。

【００３９】

図１のＳＢＤに逆バイアスが印加された場合には、空乏層（図示せず）がｎ型半導体層１０１ａの中に広がるため、高耐圧のＳＢＤとなる。また、順バイアスが印加された場合には、オーミック電極１０５ｂからショットキー電極１０５ａへ電子が流れる。このようなＳＢＤは、高耐圧・大電流用に優れており、ショットキー特性も良好で、スイッチング速度も速く、耐圧性・信頼性にも優れている。

【００４０】

図２は、本発明に係るショットキーバリアダイオード（ＳＢＤ）の好適な他の一例を示している。図２のＳＢＤは、図１のＳＢＤの構成に加え、さらに絶縁体層１０４を備えている。より具体的には、ｎ－型半導体層１０１ａ、ｎ＋型半導体層１０１ｂ、ショットキー電極１０５ａ、オーミック電極１０５ｂおよび絶縁体層１０４を備えている。

【００４１】

絶縁体層１０４の材料としては、例えば、ＧａＯ、ＡｌＧａＯ、ＩｎＡｌＧａＯ、ＡｌＩｎＺｎＧａO_4、ＡｌＮ、Hf_2O_3、ＳｉＮ、ＳｉＯＮ、Al_2O_3、ＭｇＯ、ＧｄＯ、SiO_2またはSi_3N_4などが挙げられるが、本発明においては、コランダム構造を有するものであるのが好ましい。コランダム構造を有する絶縁体を絶縁体層に用いることで、界面における半導体特性の機能を良好に発現させることができる。絶縁体層１０４は、ｎ－型半導体層１０１とショットキー電極１０５ａとの間に設けられている。絶縁体層の形成は、例えば、スパッタリング法、真空蒸着法またはＣＶＤ法などの公知の手段により行うことができる。

その他の構成等については、上記図１のＳＢＤの場合と同様である。

図２のＳＢＤは、図１のＳＢＤに比べ、さらに絶縁特性に優れており、より高い電流制御性を有する。

【００４２】

上記のようにして得られた半導体装置は、通常、１ＭＨｚで測定したときのキャパシタンスが０Ｖバイアスで１０００ｐＦ以下となり、好ましくは５００ｐＦ以下となり、より好ましくは１５０ｐＦ以下となり、このような半導体装置も本発明に含まれる。

【００４３】

本発明の半導体装置は、上記した事項に加え、さらに公知の手段を用いて、パワーモジュール、インバータまたはコンバータとして好適に用いられ、さらには、例えば電源装置を用いた半導体システム等に好適に用いられる。前記電源装置は、公知の手段を用いて、配線パターン等に接続するなどすることにより、前記半導体装置からまたは前記半導体装置として作製することができる。図１２に電源システムの例を示す。図１２は、複数の前記電源装置と制御回路を用いて電源システムを構成している。前記電源システムは、図１３に示すように、電子回路と組み合わせてシステム装置に用いることができる。なお、電源装置の電源回路図の一例を図１４に示す。図１４は、パワー回路と制御回路からなる電源装置の電源回路を示しており、インバータ（ＭＯＳＦＥＴＡ～Ｄで構成）によりＤＣ電圧を高周波でスイッチングしＡＣへ変換後、トランスで絶縁及び変圧を実施し、整流ＭＯＳＦＥＴ（Ａ～Ｂ’）で整流後、ＤＣＬ（平滑用コイルＬ１，Ｌ２）とコンデンサにて平滑し、直流電圧を出力する。この時に電圧比較器で出力電圧を基準電圧と比較し、所望の出力電圧となるようＰＷＭ制御回路でインバータ及び整流ＭＯＳＦＥＴを制御する。

【実施例】

【００４４】

（実施例１）

１．ｎ＋型半導体層の形成

１－１．成膜装置

図５を用いて、本実施例で用いたミストＣＶＤ装置１を説明する。ミストＣＶＤ装置１は、キャリアガスを供給するキャリアガス源２ａと、キャリアガス源２ａから送り出されるキャリアガスの流量を調節するための流量調節弁３ａと、キャリアガス（希釈）を供給するキャリアガス（希釈）源２ｂと、キャリアガス（希釈）源２ｂから送り出されるキャリアガス（希釈）の流量を調節するための流量調節弁３ｂと、原料溶液４ａが収容されるミスト発生源４と、水５ａが入れられる容器５と、容器５の底面に取り付けられた超音波振動子６と、成膜室７と、ミスト発生源４から成膜室７までをつなぐ供給管９と、成膜室７内に設置されたホットプレート８と、熱反応後のミスト、液滴および排気ガスを排出する排気口１１とを備えている。なお、ホットプレート８上には、基板１０が設置されている。

【００４５】

１－２．原料溶液の作製

０．１Ｍ臭化ガリウム水溶液に臭化スズを混合し、ガリウムに対するスズの原子比が１：０．０８となるように水溶液を調整し、この際、臭化重水素酸を体積比で１０％を含有させ、これを原料溶液とした。

【００４６】

１－３．成膜準備

上記１－２．で得られた原料溶液４ａをミスト発生源４内に収容した。次に、基板１０として、サファイア基板をホットプレート８上に設置し、ホットプレート８を作動させて成膜室７内の温度を４７０℃にまで昇温させた。次に、流量調節弁３ａ、３ｂを開いて、キャリアガス源であるキャリアガス供給手段２ａ、２ｂからキャリアガスを成膜室７内に供給し、成膜室７の雰囲気をキャリアガスで十分に置換した後、キャリアガスの流量を５．０Ｌ／分に、キャリアガス（希釈）の流量を０．５Ｌ／分にそれぞれ調節した。なお、キャリアガスとして窒素を用いた。

【００４７】

１－４．結晶性酸化物半導体膜の形成

次に、超音波振動子６を２．４ＭＨｚで振動させ、その振動を、水５ａを通じて原料溶液４ａに伝播させることによって、原料溶液４ａを霧化させてミスト４ｂを生成させた。このミスト４ｂが、キャリアガスによって、供給管９内を通って、成膜室７内に導入され、大気圧下、４７０℃にて、成膜室７内でミストが熱反応して、基板１０上に膜が形成された。なお、膜厚は７．５μｍであり、成膜時間は１８０分間であった。

【００４８】

１－５．評価

ＸＲＤ回折装置を用いて、上記１－４．にて得られた膜の相の同定を行ったところ、得られた膜はα－Ga_2O_3であった。

【００４９】

２．ｎ－型半導体層の形成

２－１．成膜装置

図６を用いて、実施例で用いたミストＣＶＤ装置１９を説明する。ミストＣＶＤ装置１９は、基板２０を載置するサセプタ２１と、キャリアガスを供給するキャリアガス供給手段２２ａと、キャリアガス供給手段２２ａから送り出されるキャリアガスの流量を調節するための流量調節弁２３ａと、キャリアガス（希釈）を供給するキャリアガス（希釈）供給手段２２ｂと、キャリアガス（希釈）供給手段２２ｂから送り出されるキャリアガスの流量を調節するための流量調節弁２３ｂと、原料溶液２４ａが収容されるミスト発生源２４と、水２５ａが入れられる容器２５と、容器２５の底面に取り付けられた超音波振動子２６と、内径４０ｍｍの石英管からなる供給管２７と、供給管２７の周辺部に設置されたヒーター２８とを備えている。サセプタ２１は、石英からなり、基板２０を載置する面が水平面から傾斜している。成膜室となる供給管２７とサセプタ２１をどちらも石英で作製することにより、基板２０上に形成される膜内に装置由来の不純物が混入することを抑制している。

【００５０】
２－２．原料溶液の作製
０．１Ｍ臭化ガリウム水溶液に臭化重水素酸を体積比で２０％を含有させ、これを原料溶液とした。
【００５１】
２－３．成膜準備
上記２－２．で得られた原料溶液２４ａをミスト発生源２４内に収容した。次に、基板２０として、サファイア基板から剥離したｎ＋型半導体膜をサセプタ２１上に設置し、ヒーター２８を作動させて成膜室２７内の温度を５１０℃にまで昇温させた。次に、流量調節弁２３ａ、２３ｂを開いて、キャリアガス源であるキャリアガス供給手段２２ａ、２２ｂからキャリアガスを成膜室２７内に供給し、成膜室２７の雰囲気をキャリアガスで十分に置換した後、キャリアガスの流量を５Ｌ／分に、キャリアガス（希釈）の流量を０．５Ｌ／分にそれぞれ調節した。なお、キャリアガスとして酸素を用いた。
【００５２】
２－４．半導体膜形成
次に、超音波振動子２６を２．４ＭＨｚで振動させ、その振動を、水２５ａを通じて原料溶液２４ａに伝播させることによって、原料溶液２４ａを霧化させてミストを生成した。このミストが、キャリアガスによって成膜室２７内に導入され、大気圧下、５１０℃にて、成膜室２７内でミストが反応して、基板２０上に半導体膜が形成された。なお、膜厚は３．６μｍであり、成膜時間は１２０分間であった。
【００５３】
２－５．評価
ＸＲＤ回折装置を用いて、上記２－４．にて得られた膜の相の同定を行ったところ、得られた膜はα－Ga_2O_3であった。
【００５４】
３．第１の金属層（ショットキー電極）の形成
図３に示されるように、ｎ－型半導体層上に、Ｐｔ層、Ｔｉ層およびＡｕ層をそれぞれ電子ビーム蒸着にて積層した。なお、Ｐｔ層の厚さは１０ｎｍであり、Ｔｉ層の厚さは４ｎｍであり、Ａｕ層の厚さは１７５ｎｍであった。
【００５５】
４．第２の金属層（オーミック電極）の形成
図４に示されるように、ｎ＋型半導体層上に、Ｔｉ層およびＡｕ層をそれぞれ電子ビーム蒸着にて積層した。なお、Ｔｉ層の厚さは３５ｎｍであり、Ａｕ層の厚さは１７５ｎｍであった。
【００５６】
５．ＩＶ測定
以上のようにして表面積が１ｍｍ角の半導体装置を得て、得られた半導体装置につき、ＩＶ測定を実施した。結果を図７に示す。また、耐圧を調べたところ、８５５Ｖであった。これらの結果から、実施例１の半導体装置が半導体特性およびショットキー特性に優れていることがわかる。
【００５７】
（実施例２）
ｎ－型半導体層の形成において、成膜温度を５２５℃とし、成膜時間を２０分間としたこと以外は、実施例１と同様にして表面積が１ｍｍ角の半導体装置を得た。なお、ｎ－型半導体層の厚さは、０．５μｍであった。得られた半導体装置につき、ＩＶ測定を実施した。結果を図８に示す。また、オン抵抗（微分抵抗）を調べたところ、０．１１ｍΩｃｍ^{2}であった。
【００５８】
（実施例３）
（１）ｎ＋型半導体層の形成の際に、原料溶液の臭化重水素酸を体積比で１５％を含有

させたこと、および成膜時間を８時間としたこと、（２）ｎ－型半導体層の形成の際に、成膜温度を５００℃としたこと、および成膜時間を１１０分としたこと、ならびに（３）第１の金属層（ショットキー電極）の形成の際に、ｎ－型半導体層上に、Ｔｉ層およびＡｕ層をそれぞれ電子ビーム蒸着にて積層したこと以外は、実施例１と同様にして表面積が１ｍｍ角の半導体装置を得た。得られた半導体装置につき、ＩＶ測定を実施例した。結果を図９に示す。図９からも明らかなとおり、良好な半導体特性およびショットキー特性を示していることがわかる。

【００５９】

（比較例）

参考までに、ショットキー電極にＰｔを用いた場合のＩＶ測定結果を図１０に示す。図１０からも明らかなとおり、半導体特性やショットキー特性が大幅に損なわれることがわかる。

【００６０】

（実施例４）

１．ｎ－型半導体層の形成

１－１．成膜装置

図５を用いて、本実施例で用いたミストＣＶＤ装置１を説明する。ミストＣＶＤ装置１は、キャリアガスを供給するキャリアガス源２ａと、キャリアガス源２ａから送り出されるキャリアガスの流量を調節するための流量調節弁３ａと、キャリアガス（希釈）を供給するキャリアガス（希釈）源２ｂと、キャリアガス（希釈）源２ｂから送り出されるキャリアガス（希釈）の流量を調節するための流量調節弁３ｂと、原料溶液４ａが収容されるミスト発生源４と、水５ａが入れられる容器５と、容器５の底面に取り付けられた超音波振動子６と、成膜室７と、ミスト発生源４から成膜室７までをつなぐ供給管９と、成膜室７内に設置されたホットプレート８と、熱反応後のミスト、液滴および排気ガスを排出する排気口１１とを備えている。なお、ホットプレート８上には、基板１０が設置されており、本実施例においては、基板１０として、Ｓｎがドーピングされているα－Ga_2O_3膜がバッファ層として表面に形成されているサファイア基板を用いた。なお、サファイア基板はＹＶＯ４レーザ（波長５３２ｎｍ、平均出力４Ｗ）のレーザ加工機を用いて、１ｍｍのピッチ間隔で正方形格子状に溝入れ加工（溝の深さ３０μｍ）されたものを用いた。

【００６１】

１－２．原料溶液の作製

０．１Ｍ臭化ガリウム水溶液に臭化水素酸を体積比で１０％を含有させ、これを原料溶液とした。

【００６２】

１－３．成膜準備

上記１－２．で得られた原料溶液４ａをミスト発生源４内に収容した。次に、基板１０として、バッファ層付きサファイア基板をホットプレート８上に設置し、ホットプレート８を作動させて成膜室７内の温度を４７０℃にまで昇温させた。次に、流量調節弁３ａ、３ｂを開いて、キャリアガス源であるキャリアガス供給手段２ａ、２ｂからキャリアガスを成膜室７内に供給し、成膜室７の雰囲気をキャリアガスで十分に置換した後、キャリアガスの流量を２．０Ｌ／分に、キャリアガス（希釈）の流量を０．５Ｌ／分にそれぞれ調節した。なお、キャリアガスとして酸素を用いた。

【００６３】

１－４．結晶性酸化物半導体膜の形成

次に、超音波振動子６を２．４ＭＨｚで振動させ、その振動を、水５ａを通じて原料溶液４ａに伝播させることによって、原料溶液４ａを霧化させてミスト４ｂを生成させた。このミスト４ｂが、キャリアガスによって、供給管９内を通って、成膜室７内に導入され、大気圧下、４７０℃にて、成膜室７内でミストが熱反応して、基板１０上に膜が形成された。なお、膜厚は約５μｍであり、成膜時間は１３５分間であった。

【００６４】

１－５．評価
ＸＲＤ回折装置を用いて、上記１－４．にて得られた膜の相の同定を行ったところ、得られた膜はα－Ga_2O_3であった。
【００６５】
２．ｎ＋型半導体層の形成
２－１．成膜装置
上記１－１で用いた成膜装置と同じものを用いた。なお、基板１０として、上記１－４で得られた積層体を用いて、ｎ－型半導体層上にｎ＋型半導体層を積層した。
【００６６】
２－２．原料溶液の作製
０．１Ｍ臭化ガリウム水溶液に臭化スズを混合し、ガリウムに対するスズの原子比が１：０．０８となるように水溶液を調整し、この際、臭化水素酸を体積比で１０％を含有させ、これを原料溶液とした。
【００６７】
２－３．成膜準備
上記２－２．で得られた原料溶液４ａをミスト発生源４内に収容した。次に、基板１０として、バッファ層付きサファイア基板をホットプレート８上に設置し、ホットプレート８を作動させて成膜室７内の温度を４５０℃にまで昇温させた。次に、流量調節弁３ａ、３ｂを開いて、キャリアガス源であるキャリアガス供給手段２ａ、２ｂからキャリアガスを成膜室７内に供給し、成膜室７の雰囲気をキャリアガスで十分に置換した後、キャリアガスの流量を２．０Ｌ／分に、キャリアガス（希釈）の流量を０．５Ｌ／分にそれぞれ調節した。なお、キャリアガスとして窒素を用いた。
【００６８】
２－４．結晶性酸化物半導体膜の形成
次に、超音波振動子６を２．４ＭＨｚで振動させ、その振動を、水５ａを通じて原料溶液４ａに伝播させることによって、原料溶液４ａを霧化させてミスト４ｂを生成させた。このミスト４ｂが、キャリアガスによって、供給管９内を通って、成膜室７内に導入され、大気圧下、４５０℃にて、成膜室７内でミストが熱反応して、基板１０上に膜が形成された。なお、膜厚は約２．９μｍであり、成膜時間は１２０分間であった。
【００６９】
２－５．評価
ＸＲＤ回折装置を用いて、上記２－４．にて得られた膜の相の同定を行ったところ、得られた膜はα－Ga_2O_3であった。
【００７０】
３．オーミック電極の形成
上記２－４．で得られた積層体のｎ＋型半導体層上に、スパッタにより、Ｔｉ膜（厚さ７０ｎｍ）及びＡｕ膜（厚さ３０ｎｍ）をそれぞれ形成し、オーミック電極とした。
【００７１】
４．基板除去
上記３．で得られた積層体のオーミック電極上に、仮ウエハーを一時的に接合し、ついで、グラインダーおよびＣＭＰ装置を用いて、基板１０を研磨し、上記サファイア基板と上記バッファ層とを除去した。
【００７２】
５．ショットキー電極の形成
上記４．で得られた積層体のｎ－型半導体層上に、ＥＢ蒸着により、Ｃｒ膜（厚さ５０ｎｍ）およびＡｌ膜（厚さ５０００ｎｍ）をそれぞれ形成し、ショットキー電極（直径３００μｍ）とした。その後、表面積を１ｍｍ角にダイシングし、ついで、ＴＯ２２０にパッケージングし、実装済みのＳＢＤを得た。
【００７３】
６．半導体特性の評価

（スイッチング特性評価）
上記５．で得られたＳＢＤのスイッチング特性を評価した。結果を図１１に示す。また、ＳｉＣを半導体として用いた場合と、Ｓｉを半導体として用いた場合のスイッチング特性もあわせて図１１に示す。図１１から明らかなとおり、本発明品は、他のものに比べ、波形が良好であり、スイッチング特性に優れていることがわかる。

【００７４】
（熱抵抗特性評価）
上記５．で得られたＳＢＤにつき、熱抵抗測定を実施した。その結果、本発明品のＲｊＣは１３．９℃／Ｗであり、ＳｉＣを半導体として用いたもの（ＲｊＣ＝１２．５℃／Ｗ）と同等以上の性能であった。また、単位面積の熱抵抗を考慮すると、ＳｉＣを半導体として用いたものに比べ、チップサイズが６割程度の小さいもので同等の性能を発揮できることがわかった。

【００７５】
（キャパシタンス測定）
上記５．で得られたＳＢＤにつき、ＣＶ測定（１ＭＨｚ、５０ｍＶ）を実施した。その結果、０Ｖバイアスで１３０ｐＦであった。このことから、ＳｉＣを半導体として用いたものよりもキャパシタンスが小さいので、本発明品はスイッチング特性が良好であることがわかる。

【００７６】
（熱抵抗算出評価）
上記５．で得られたＳＢＤにつき、パッケージ（エポキシ）部分の熱抵抗を理論的に概算したところ、１５．６（Ｋ／Ｗ）程度と評価された。そして、半導体層にβ－Ga_2O_3を用いた場合（比較例２）やＳｉＣを用いた場合（比較例３）と、本発明の場合（実施例４）について半導体層の熱抵抗を理論的に概算したところ。比較例２については１．５（Ｋ／Ｗ）以上となるが、比較例３と実施例４については１．５（Ｋ／Ｗ）未満となり、パッケージ部分の熱抵抗より十分小さいことがわかった。結果を表１に示す。表１から明らかなとおり、本発明品は、比較例品に比べ半導体層の表面積が小さくても、パッケージ部分より十分小さい熱抵抗を示しており、半導体装置の小型化ができることがわかる。

【００７７】
【表１】

	半導体層		
	半導体の種類	半導体層の厚み（ｍｍ）	サイズ（ｍｍ角）
実施例４	α－Ga_2O_3	０．０１	０．８
比較例２	β－Ga_2O_3	０．２	０．８
比較例３	ＳｉＣ	０．３	１．６

【００７８】
（実施例５）
ショットキー電極を直径３００μｍのものに代えて直径５００μｍのものを用いたこと以外、実施例４と同様にして、表面積が１ｍｍ角のＳＢＤを得た。得られたＳＢＤのスイッチング特性を評価したところ、実施例４と同様の波形が確認され、良好なスイッチング特性であることがわかった。

【００７９】
（実施例６）
１．ｎ＋型半導体層の形成
１－１．成膜装置
図５を用いて、本実施例で用いたミストＣＶＤ装置１を説明する。ミストＣＶＤ装置１

は、キャリアガスを供給するキャリアガス源２ａと、キャリアガス源２ａから送り出されるキャリアガスの流量を調節するための流量調節弁３ａと、キャリアガス（希釈）を供給するキャリアガス（希釈）源２ｂと、キャリアガス（希釈）源２ｂから送り出されるキャリアガス（希釈）の流量を調節するための流量調節弁３ｂと、原料溶液４ａが収容されるミスト発生源４と、水５ａが入れられる容器５と、容器５の底面に取り付けられた超音波振動子６と、成膜室７と、ミスト発生源４から成膜室７までをつなぐ供給管９と、成膜室７内に設置されたホットプレート８と、熱反応後のミスト、液滴および排気ガスを排出する排気口１１とを備えている。なお、ホットプレート８上には、基板１０が設置されている。

【００８０】

１－２．原料溶液の作製

０．１Ｍ臭化ガリウム水溶液に臭化スズを混合し、ガリウムに対するスズの原子比が１：０．０８となるように水溶液を調整し、この際、臭化重水素酸を体積比で１０％を含有させ、これを原料溶液とした。

【００８１】

１－３．成膜準備

上記１－２．で得られた原料溶液４ａをミスト発生源４内に収容した。次に、基板１０として、サファイア基板をホットプレート８上に設置し、ホットプレート８を作動させて成膜室７内の温度を５２５℃にまで昇温させた。次に、流量調節弁３ａ、３ｂを開いて、キャリアガス源であるキャリアガス供給手段２ａ、２ｂからキャリアガスを成膜室７内に供給し、成膜室７の雰囲気をキャリアガスで十分に置換した後、キャリアガスの流量を５．０Ｌ／分に、キャリアガス（希釈）の流量を０．５Ｌ／分にそれぞれ調節した。なお、キャリアガスとして窒素を用いた。

【００８２】

１－４．結晶性酸化物半導体膜の形成

次に、超音波振動子６を２．４ＭＨｚで振動させ、その振動を、水５ａを通じて原料溶液４ａに伝播させることによって、原料溶液４ａを霧化させてミスト４ｂを生成させた。このミスト４ｂが、キャリアガスによって、供給管９内を通って、成膜室７内に導入され、大気圧下、５２５℃にて、成膜室７内でミストが熱反応して、基板１０上に膜が形成された。なお、膜厚は０．５μｍであり、成膜時間は２０分間であった。

【００８３】

１－５．評価

ＸＲＤ回折装置を用いて、上記１－４．にて得られた膜の相の同定を行ったところ、得られた膜はα－Ga_2O_3であった。

【００８４】

２．ｎ－型半導体層の形成

２－１．成膜装置

図６を用いて、実施例で用いたミストＣＶＤ装置１９を説明する。ミストＣＶＤ装置１９は、基板２０を載置するサセプタ２１と、キャリアガスを供給するキャリアガス供給手段２２ａと、キャリアガス供給手段２２ａから送り出されるキャリアガスの流量を調節するための流量調節弁２３ａと、キャリアガス（希釈）を供給するキャリアガス（希釈）供給手段２２ｂと、キャリアガス（希釈）供給手段２２ｂから送り出されるキャリアガスの流量を調節するための流量調節弁２３ｂと、原料溶液２４ａが収容されるミスト発生源２４と、水２５ａが入れられる容器２５と、容器２５の底面に取り付けられた超音波振動子２６と、内径４０ｍｍの石英管からなる供給管２７と、供給管２７の周辺部に設置されたヒーター２８とを備えている。サセプタ２１は、石英からなり、基板２０を載置する面が水平面から傾斜している。成膜室となる供給管２７とサセプタ２１をどちらも石英で作製することにより、基板２０上に形成される膜内に装置由来の不純物が混入することを抑制している。

【００８５】

２－２．原料溶液の作製
０．１Ｍ臭化ガリウム水溶液に臭化重水素酸を体積比で２０％を含有させ、これを原料溶液とした。
【００８６】
２－３．成膜準備
上記２－２．で得られた原料溶液２４ａをミスト発生源２４内に収容した。次に、基板２０として、サファイア基板から剥離したｎ＋型半導体膜をサセプタ２１上に設置し、ヒーター２８を作動させて成膜室２７内の温度を５１０℃にまで昇温させた。次に、流量調節弁２３ａ、２３ｂを開いて、キャリアガス源であるキャリアガス供給手段２２ａ、２２ｂからキャリアガスを成膜室２７内に供給し、成膜室２７の雰囲気をキャリアガスで十分に置換した後、キャリアガスの流量を５Ｌ／分に、キャリアガス（希釈）の流量を０．５Ｌ／分にそれぞれ調節した。なお、キャリアガスとして酸素を用いた。
【００８７】
２－４．半導体膜形成
次に、超音波振動子２６を２．４ＭＨｚで振動させ、その振動を、水２５ａを通じて原料溶液２４ａに伝播させることによって、原料溶液２４ａを霧化させてミストを生成した。このミストが、キャリアガスによって成膜室２７内に導入され、大気圧下、５１０℃にて、成膜室２７内でミストが反応して、基板２０上に半導体膜が形成された。なお、膜厚は０．４μｍであり、成膜時間は２０分間であった。
【００８８】
２－５．評価
ＸＲＤ回折装置を用いて、上記２－４．にて得られた膜の相の同定を行ったところ、得られた膜はα－Ga_2O_3であった。
【００８９】
３．ショットキー電極の形成
ｎ－型半導体層上に、Ｐｔ層、Ｔｉ層およびＡｕ層をそれぞれ電子ビーム蒸着にて積層した。なお、Ｐｔ層の厚さは１０ｎｍであり、Ｔｉ層の厚さは４ｎｍであり、Ａｕ層の厚さは１７５ｎｍであった。
【００９０】
４．オーミック電極の形成
ｎ＋型半導体層上に、Ｔｉ層およびＡｕ層をそれぞれ電子ビーム蒸着にて積層した。なお、Ｔｉ層の厚さは３５ｎｍであり、Ａｕ層の厚さは１７５ｎｍであった。
【００９１】
５．評価
以上のようにして表面積が１ｍｍ角の半導体装置を得て、得られた半導体装置につき、ＣＶ測定を実施した。結果を図１５に示す。測定値から算出された過剰ドナー濃度（ドナー濃度とアクセプタ濃度の差）は、3×10^{17}／cm^3であった。また、順方向ＪＶ測定を実施した。結果を図１６に示す。立ち上がり電圧は１．５Ｖであり、また、オン抵抗（微分抵抗）を調べたところ、０．１$m\Omega cm^2$であり、非常に低い値であった。また。逆方向ＪＶ測定も実施し、その結果を図１７に示す。図１７から明らかなように、５３１Ｖまで絶縁破壊が発生しなかった。上記にて得られた過剰ドナー濃度と絶縁破壊電圧から半導体膜の絶縁破壊電界は、１１．０ＭＶ／ｃｍと算出された。これらの結果から、実施例１の半導体装置が半導体特性およびショットキー特性に優れていることがわかる。
【００９２】
（実施例７）
ｎ‐型半導体層において、成膜時間を１２０分間としたこと以外は、実施例６と同様にして表面積が１ｍｍ角の半導体装置を得た。なお、ｎ‐型半導体層の厚さは３．６μｍであった。得られた半導体装置につき、実施例６と同様にして、ＣＶ測定を実施したところ、過剰ドナー濃度は$4\sim5\times10^{17}$／cm^3と算出された。参考までに、算出された過剰ドナー濃度の深さ方向分布を図１８に示す。また、順方向ＪＶ測定を実施した。結果を

図１６に示す。オン抵抗は０．４ｍΩｃｍ^{2}であった。また、逆方向ＪＶ測定の結果については、図１９に示す。図１９から明らかなように、８５５Ｖまで絶縁破壊しなかった。また、実施例６と同様にして、半導体膜の絶縁破壊電界を評価したところ、１１．１ＭＶ／ｃｍ以上と算出された。

【００９３】

以上のとおり、本発明の半導体装置は、半導体特性およびショットキー特性に優れていることがわかる。

【産業上の利用可能性】

【００９４】

本発明の半導体装置は、半導体（例えば化合物半導体電子デバイス等）、電子部品・電気機器部品、光学・電子写真関連装置、工業部材などあらゆる分野に用いることができるが、とりわけ、パワーデバイスに有用である。

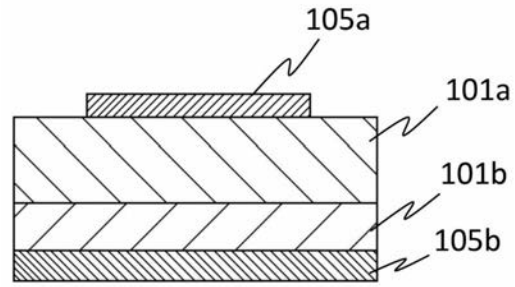
【符号の説明】

【００９５】

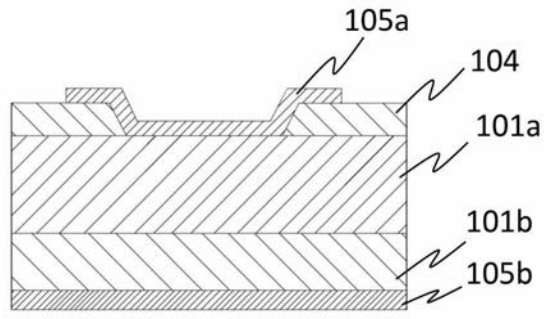
１　ミストＣＶＤ装置
２ａ　キャリアガス源
２ｂ　キャリアガス（希釈）源
３ａ　流量調節弁
３ｂ　流量調節弁
４　ミスト発生源
４ａ　原料溶液
４ｂ　ミスト
５　容器
５ａ　水
６　超音波振動子
７　成膜室
８　ホットプレート
９　供給管
１０　基板
１１　排気口
１９　ミストＣＶＤ装置
２０　基板
２１　サセプタ
２２ａ　キャリアガス供給手段
２２ｂ　キャリアガス（希釈）供給手段
２３ａ　流量調節弁
２３ｂ　流量調節弁
２４　ミスト発生源
２４ａ　原料溶液
２５　容器
２５ａ　水
２６　超音波振動子
２７　供給管
２８　ヒーター
２９　排気口
５０ａ　第１の金属層
５０ｂ　第２の金属層
５１　Ａｕ層
５２　Ｔｉ層
５３　Ｐｔ層

５４　　Ｔｉ層
５５　　Ａｕ層
１０１ａ　ｎ－型半導体層
１０１ｂ　ｎ＋型半導体層
１０４　　絶縁体層
１０５ａ　ショットキー電極
１０５ｂ　オーミック電極

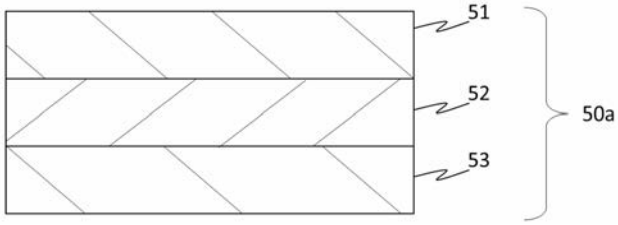
【図１】



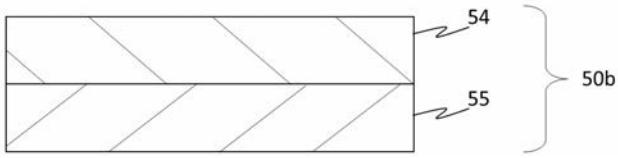
【図２】



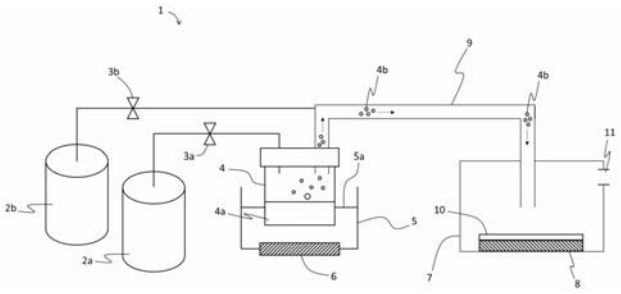
【図３】



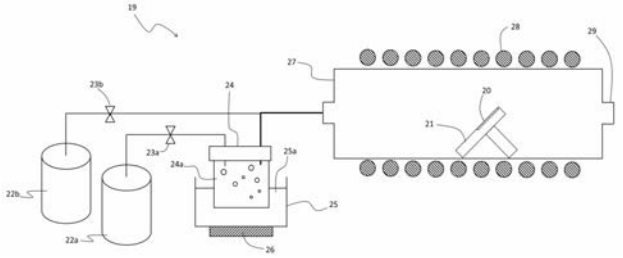
【図４】



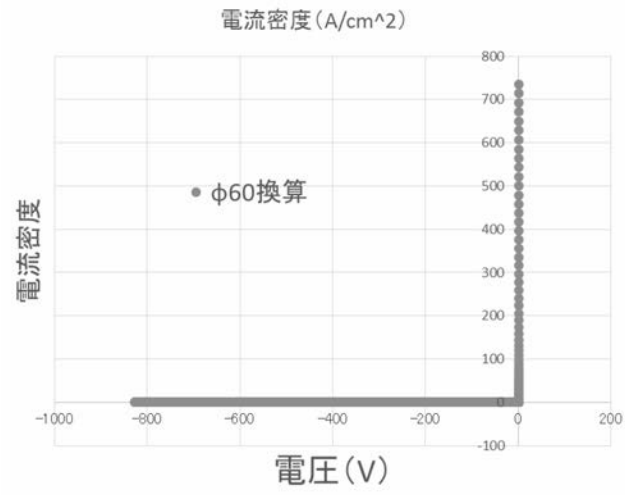
【図５】



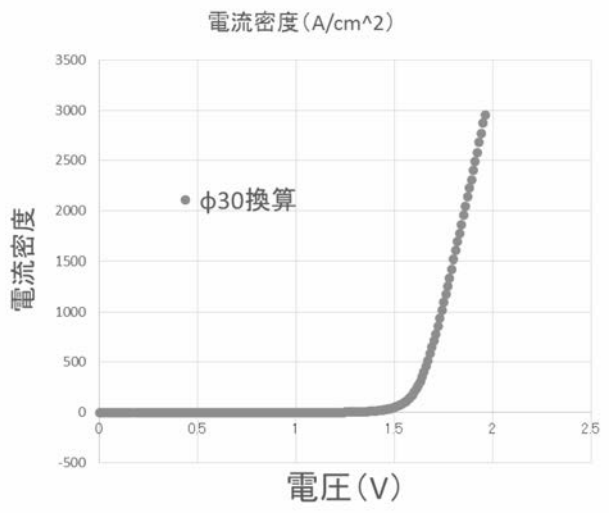
【図６】



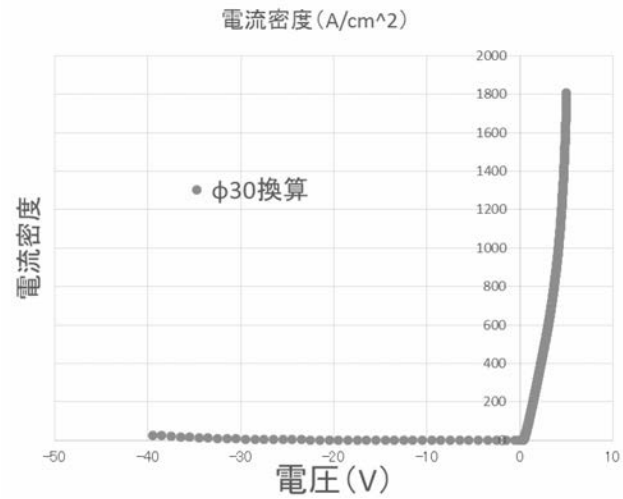
【図７】



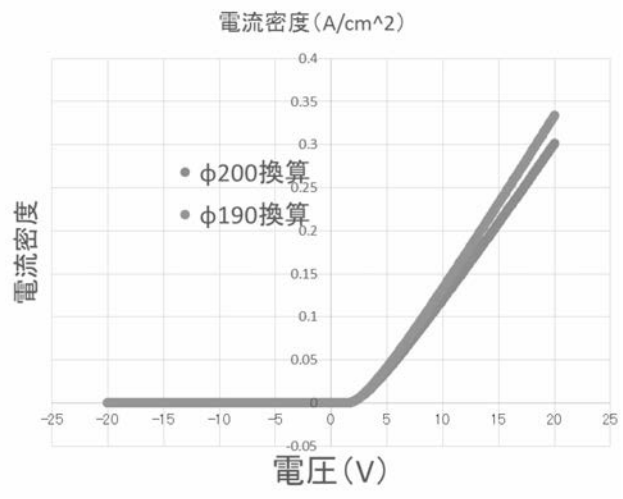
【図８】



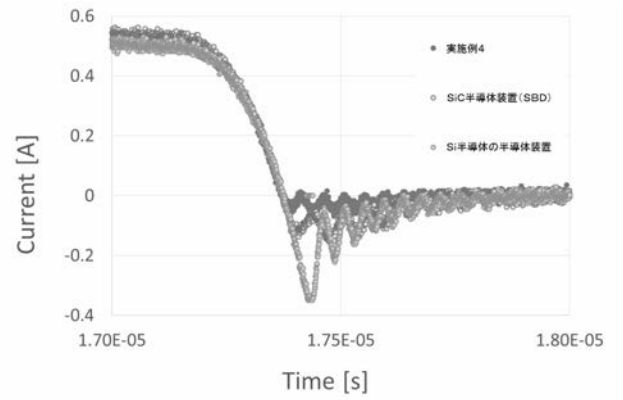
【図９】



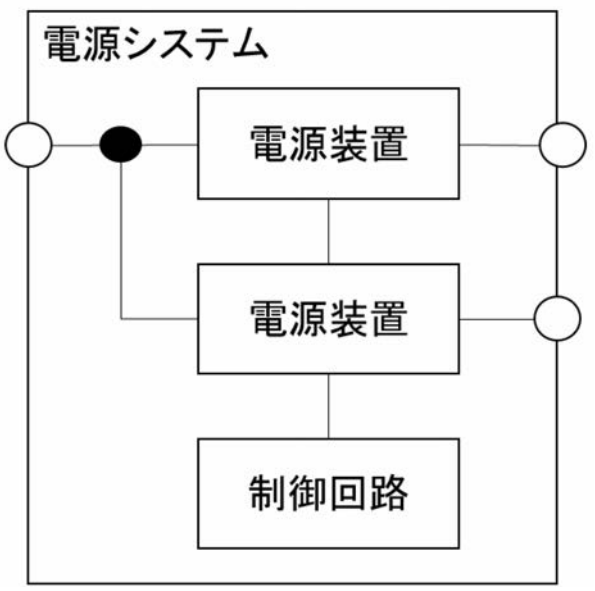
【図１０】



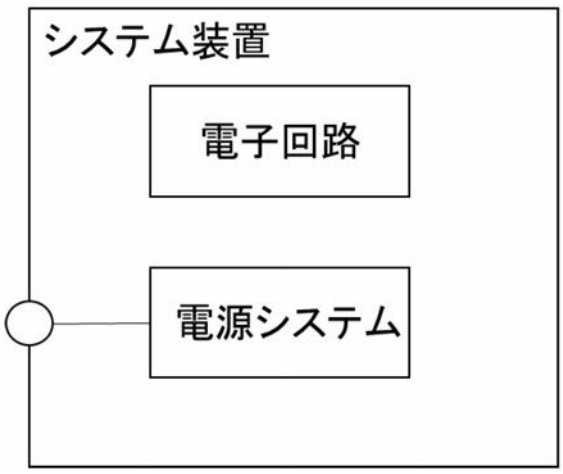
【図１１】



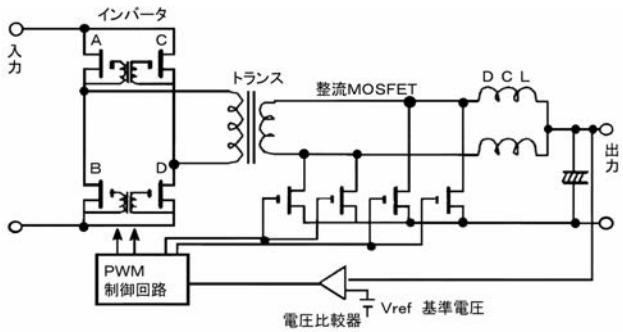
【図１２】



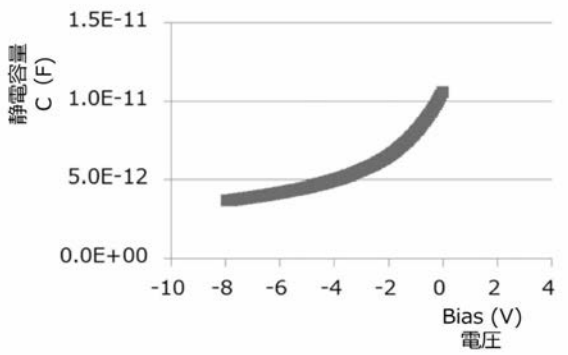
【図１３】



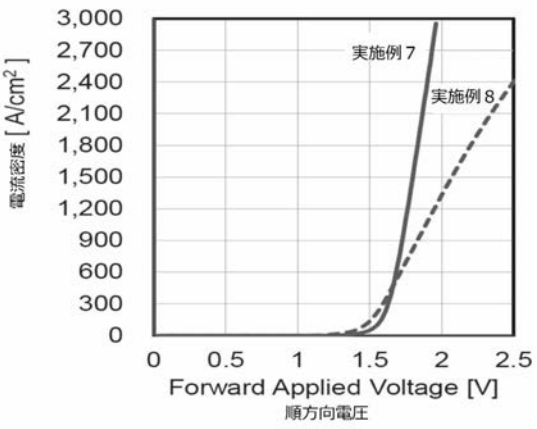
【図１４】



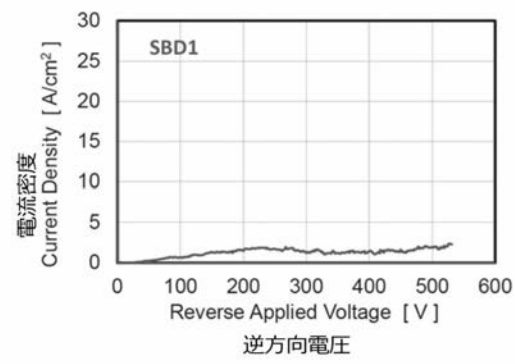
【図１５】



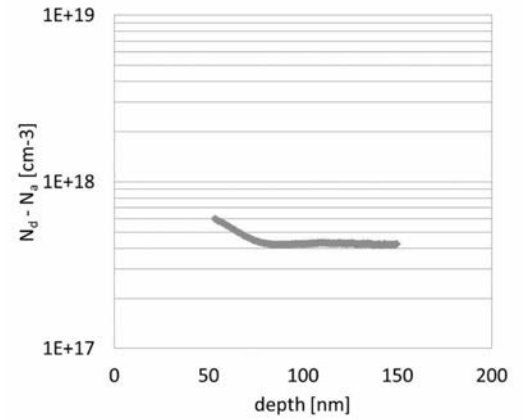
【図１６】



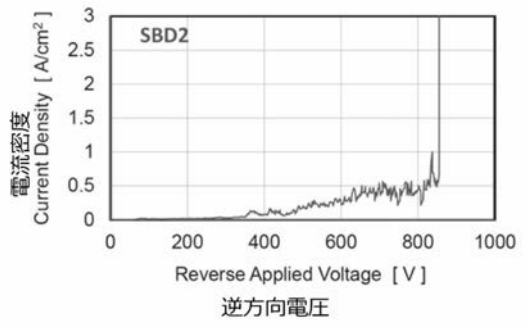
【図１７】


SBD1
電流密度 Current Density [A/cm²]
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
600
Reverse Applied Voltage [V]
逆方向電圧

【図１８】


1E+19
1E+18
1E+17
$N_d - N_a$ [cm-3]
0
50
100
150
200
depth [nm]

【図１９】


SBD2
電流密度 Current Density [A/cm²]
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
200
400
600
800
1000
Reverse Applied Voltage [V]
逆方向電圧

フロントページの続き

(72)発明者　河原　克明
京都府京都市西京区御陵大原１番３６号　京大桂ベンチャープラザ北館　株式会社ＦＬＯＳＦＩＡ内
(72)発明者　人羅　俊実
京都府京都市西京区御陵大原１番３６号　京大桂ベンチャープラザ北館　株式会社ＦＬＯＳＦＩＡ内

Ｆターム(参考) 4M104 AA03 BB04 BB05 BB06 BB07 BB08 BB09 BB13 BB14 CC01
CC03 EE06 EE14 EE16 EE17 FF13 GG03