

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7315136号
(P7315136)

(45)発行日 令和5年7月26日(2023.7.26)

(24)登録日 令和5年7月18日(2023.7.18)

(51)国際特許分類	F I	
H 0 1 L 21/365 (2006.01)	H 0 1 L 21/365	
H 0 1 L 21/368 (2006.01)	H 0 1 L 21/368	Z
H 0 1 L 29/12 (2006.01)	H 0 1 L 29/78	6 5 2 T
H 0 1 L 29/78 (2006.01)	H 0 1 L 29/78	6 5 3 A
H 0 1 L 29/739 (2006.01)	H 0 1 L 29/78	6 5 5 A
請求項の数 15 (全23頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号	特願2018-242290(P2018-242290)	(73)特許権者	511187214 株式会社 F L O S F I A 京都府京都市西京区御陵大原 1 番 2 9 号
(22)出願日	平成30年12月26日(2018.12.26)	(73)特許権者	000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地
(65)公開番号	特開2020-107635(P2020-107635 A)	(72)発明者	高 橋 勲 京都府京都市西京区御陵大原 1 番 3 6 号 京大桂ベンチャープラザ北館 株式会社 F L O S F I A 内
(43)公開日	令和2年7月9日(2020.7.9)	(72)発明者	鳥山 達矢 京都府京都市西京区御陵大原 1 番 3 6 号 京大桂ベンチャープラザ北館 株式会社 F L O S F I A 内
審査請求日	令和3年12月21日(2021.12.21)	(72)発明者	杉本 雅裕
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 結晶性酸化物半導体

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の結晶軸と第 2 の結晶軸とを少なくとも含む結晶性酸化物半導体であって、
第 1 の辺と、第 1 の辺よりも短い第 2 の辺とを少なくとも含み、
第 1 の結晶軸方向の線熱膨張係数が、第 2 の結晶軸方向の線熱膨張係数よりも小さく、
第 1 の辺方向が第 1 の結晶軸方向と平行または略平行であり、
第 2 の辺方向が第 2 の結晶軸方向と平行または略平行であり、
コランダム構造を有する金属酸化物を主成分とすることを特徴とする結晶性酸化物半導体。

【請求項 2】

ガリウムを含む金属酸化物を主成分とする請求項 1 記載の結晶性酸化物半導体。

10

【請求項 3】

前記金属酸化物が少なくともインジウム、ロジウムまたはイリジウムを含む請求項 2 記載の結晶性酸化物半導体。

【請求項 4】

前記金属酸化物が、インジウムまたは / およびアルミニウムとを含む請求項 2 記載の結晶性酸化物半導体。

【請求項 5】

第 1 の辺および第 2 の辺が、いずれも直線で表される請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の結晶性酸化物半導体。

【請求項 6】

20

膜状である請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の結晶性酸化物半導体。

【請求項 7】

膜の主面が、a 面、m 面または r 面である請求項 6 記載の結晶性酸化物半導体。

【請求項 8】

膜の主面が c 面であり、さらに 0.2° 以上のオフ角を有する請求項 6 記載の結晶性酸化物半導体。

【請求項 9】

半導体層と電極とを少なくとも備える半導体装置であって、前記半導体層が、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の結晶性酸化物半導体を含む半導体装置。

【請求項 10】

パワーデバイスである請求項 9 記載の半導体装置。

【請求項 11】

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 9 記載の半導体装置。

【請求項 12】

パワーカードである請求項 9 記載の半導体装置。

【請求項 13】

さらに、冷却器および絶縁部材を含んでおり、前記半導体層の両側に前記冷却器がそれぞれ少なくとも前記絶縁部材を介して設けられている請求項 12 記載の半導体装置。

【請求項 14】

前記半導体層の両側にそれぞれ放熱層が設けられており、放熱層の外側に少なくとも前記絶縁部材を介して前記冷却器がそれぞれ設けられている請求項 13 記載の半導体装置。

【請求項 15】

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 9 ~ 14 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、半導体装置に有用な結晶性酸化物半導体およびその半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、異種基板上に結晶成長させる際に、クラックや格子欠陥が生じる問題がある。この問題に対し、基板と膜の格子定数や熱膨張係数を整合させること等が検討されている。また、不整合が生じる場合には、ELO のような成膜手法等も検討されている。

【0003】

特許文献 1 には、異種基板上にバッファ層を形成し、前記バッファ層上に酸化亜鉛系半導体層を結晶成長させる方法が記載されている。特許文献 2 には、ナノドットのマスクを異種基板上に形成して、ついで、単結晶半導体材料層を形成することが記載されている。非特許文献 1 には、サファイア上に、GaN のナノカラムを介して、GaN を結晶成長させる手法が記載されている。非特許文献 2 には、周期的な SiN 中間層を用いて、Si(111) 上に GaN を結晶成長させて、ピット等の欠陥を減少させる手法が記載されている。

【0004】

しかしながら、いずれの技術も、成膜速度が悪かったり、基板にクラック、転位、反り等が生じたり、また、エピタキシャル膜に転位やクラック等が生じたりして、高品質なエピタキシャル膜を得ることが困難であり、基板の大口径化やエピタキシャル膜の厚膜化においても、支障が生じていた。

【0005】

また、高耐圧、低損失および高耐熱を実現できる次世代のスイッチング素子として、バンドギャップの大きな酸化ガリウム (Ga_2O_3) を用いた半導体装置が注目されており、インバータなどの電力用半導体装置への適用が期待されている。しかも、広いバンドギ

10

20

30

40

50

ャップからLEDやセンサー等の受発光装置としての応用も期待されている。当該酸化ガリウムは非特許文献3によると、インジウムやアルミニウムをそれぞれ、あるいは組み合わせて混晶することによりバンドギャップ制御することが可能であり、InAlGaO系半導体として極めて魅力的な材料系統を構成している。ここでInAlGaO系半導体とは $In_xAl_yGa_zO_3$ ($0 < x < 2$, $0 < y < 2$, $0 < z < 2$, $x + y + z = 1.5 \sim 2.5$)を示し、酸化ガリウムを内包する同一材料系統として俯瞰することができる。

【0006】

しかしながら、酸化ガリウムは、再安定相がガリア構造であるので、特殊な成膜法を用いなければ、コランダム構造の結晶膜を成膜することが困難であり、結晶品質等においてもまだまだ課題が数多く存在している。これに対し、現在、コランダム構造を有する結晶性半導体の成膜について、いくつか検討がなされている。

10

特許文献3には、ガリウム又はインジウムの臭化物又はヨウ化物を用いて、ミスTCVD法により、酸化物結晶薄膜を製造する方法が記載されている。特許文献4～6には、コランダム型結晶構造を有する下地基板上に、コランダム型結晶構造を有する半導体層と、コランダム型結晶構造を有する絶縁膜とが積層された多層構造体が記載されている。

【0007】

また、最近では、特許文献7～9および非特許文献4に記載されているように、コランダム構造の酸化ガリウム膜をELO成長等させることが検討されている。特許文献7～9に記載されている方法によれば、良質なコランダム構造の酸化ガリウム膜を得ることは可能であるが、特許文献7記載の熱膨張係数差を利用したELO成膜手法等をもってしても、実際に結晶膜を調べてみると、ファセット成長する傾向があり、このファセット成長に起因する転位やクラックなどの課題もあって、半導体装置に適用するには、まだまだ満足のものではなかった。

20

なお、特許文献3～9はいずれも本出願人による特許または特許出願に関する公報である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開2010-232623号公報

特表2010-516599号公報

特許第5397794号

特許第5343224号

特許第5397795号

特開2014-72533号公報

特開2016-98166号公報

特開2016-100592号公報

特開2016-100593号公報

【非特許文献】

【0009】

【文献】Kazuhide Kusakabe., et al., "Overgrowth of GaN layer on GaN nano-columns by RF-molecular beam epitaxy", Journal of Crystal Growth 237-239 (2002) 988-992

40

K. Y. Zang., et al., "Defect reduction by periodic SiNx interlayers in gallium nitride grown on Si (111)", Journal of Applied Physics 101, 093502 (2007)

金子健太郎、「コランダム構造酸化ガリウム系混晶薄膜の成長と物性」、京都大学博士論文、平成25年3月

高塚章夫、織田真也、金子健太郎、藤田静雄、人羅俊実、「ミスエピタキシー法による型酸化ガリウムの横方向選択成長(ELO)」, 2015年第62回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学, (2015年3月11日 - 14日) 13a-P18-12.

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は、放熱性が求められる半導体装置等に有用な、結晶品質に優れた結晶性酸化物半導体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】

【0011】

本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意検討した結果、第1の結晶軸と第2の結晶軸とを少なくとも含む結晶性酸化物半導体を形成する際に、第2の辺を第1の辺よりも短くし、第1の結晶軸方向の線熱膨張係数を第2の結晶軸方向の線熱膨張係数よりも小さく、第1の辺方向を第1の結晶軸方向と平行または略平行とし、第2の辺方向を第2の結晶軸方向と平行または略平行とすることで、クラックが激減することを知見し、さらに、このようにして得られた結晶性酸化物半導体が、結晶品質だけでなく、熱分散性にも優れ、放熱性が求められる半導体装置に有用であり、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。

10

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。

【0012】

すなわち、本発明は、以下の発明に関する。

[1] 第1の結晶軸と第2の結晶軸とを少なくとも含む結晶性酸化物半導体であって、第1の辺と、第1の辺よりも短い第2の辺とを少なくとも含み、第1の結晶軸方向の線熱膨張係数が、第2の結晶軸方向の線熱膨張係数よりも小さく、第1の辺方向が第1の結晶軸方向と平行または略平行であり、第2の辺方向が第2の結晶軸方向と平行または略平行であることを特徴とする結晶性酸化物半導体。

20

[2] ガリウムを含む金属酸化物を主成分とする前記[1]記載の結晶性酸化物半導体。

[3] コランダム構造を有する金属酸化物を主成分とする前記[1]または[2]に記載の結晶性酸化物半導体。

[4] 前記金属酸化物が少なくともガリウム、インジウム、ロジウムまたはイリジウムを含む前記[3]記載の結晶性酸化物半導体。

[5] 前記金属酸化物が、ガリウムと、インジウムまたはノボビアルミニウムとを含む前記[3]記載の結晶性酸化物半導体。

30

[6] 第1の辺および第2の辺が、いずれも直線で表される前記[1]～[5]のいずれかに記載の結晶性酸化物半導体。

[7] 膜状である前記[1]～[6]のいずれかに記載の結晶性酸化物半導体。

[8] コランダム構造を有しており、膜の主面が、a面、m面またはr面である前記[7]記載の結晶性酸化物半導体。

[9] コランダム構造を有しており、膜の主面がc面であり、さらに0.2°以上のオフ角を有する前記[7]記載の結晶性酸化物半導体。

[10] 半導体層と電極とを少なくとも備える半導体装置であって、前記半導体層が、前記[1]～[9]のいずれかに記載の結晶性酸化物半導体を含む半導体装置。

[11] パワーデバイスである前記[10]記載の半導体装置。

40

[12] 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[10]記載の半導体装置。

[13] パワーカードである前記[10]記載の半導体装置。

[14] さらに、冷却器および絶縁部材を含んでおり、前記半導体層の両側に前記冷却器がそれぞれ少なくとも前記絶縁部材を介して設けられている前記[13]記載の半導体装置。

[15] 前記半導体層の両側にそれぞれ放熱層が設けられており、放熱層の外側に少なくとも前記絶縁部材を介して前記冷却器がそれぞれ設けられている前記[14]記載の半導体装置。

[16] 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[10]

50

] ~ [1 5] 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】

【 0 0 1 3 】

本発明の結晶性酸化物半導体は、結晶品質に優れており、放熱性が求められる半導体装置等に有用である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】本発明で好適に用いられる成膜装置の概略構成図である。

【図 2】本発明で好適に用いられる図 1 とは別態様の成膜装置（ミスト C V D）の概略構成図である。

【図 3】電源システムの好適な一例を模式的に示す図である。

【図 4】システム装置の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 5】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 6】実施例における顕微鏡観察結果を示す図である。

【図 7】比較例における顕微鏡観察結果を示す図である。

【図 8】実施例で得られた結晶性酸化物半導体の半導体装置における熱分布のシミュレーションの評価結果を示す図である。なお、図中、矢印は熱の移動方向を示す。

【図 9】比較例で得られた結晶性酸化物半導体の半導体装置における熱分布のシミュレーションの評価結果を示す図である。なお、図中、矢印は熱の移動方向を示す。

【図 10】ショットキーバリアダイオード（S B D）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 11】高電子移動度トランジスタ（H E M T）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 12】金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（M O S F E T）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 13】接合電界効果トランジスタ（J F E T）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 14】絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（I G B T）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 15】発光素子（L E D）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 16】発光素子（L E D）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 17】ジャンクションバリアショットキーダイオード（J B S）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 18】ジャンクションバリアショットキーダイオード（J B S）の好適な一例を模式的に示す図である。

【図 19】パワーカードの好適な一例を模式的に示す図である。

【図 20】本発明の金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（M O S F E T）の好適な一例を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

本発明の結晶性酸化物半導体は、第 1 の結晶軸と第 2 の結晶軸とを少なくとも含む結晶性酸化物半導体であって、第 1 の辺と、第 1 の辺よりも短い第 2 の辺とを少なくとも含み、第 1 の結晶軸方向の線熱膨張係数が、第 2 の結晶軸方向の線熱膨張係数よりも小さく、第 1 の辺方向が第 1 の結晶軸方向と平行または略平行であり、第 2 の辺方向が第 2 の結晶軸方向と平行または略平行であることを特長とする。なお「結晶軸」とは、結晶面や回転に対する対称性などを系統的に示すために結晶構造から導き出される座標軸のことである。また、「第 1 の辺」は、直線であってもよいし、曲線であってもよいが、本発明においては、結晶軸との関係性をより優れたものにするため、直線であるのが好ましい。「第 2 の辺」もまた、直線であってもよいし、曲線であってもよいが、本発明においては、結晶軸との関係性をより優れたものにするため、直線であるのが好ましい。なお、「線熱膨張係数」とは、J I S R 3 1 0 2 (1 9 9 5) に従い測定される。「辺方向」とは、特定の形状を構成する辺の方向を意味する。「略平行」とは、完全に平行でなくてもよく、そ

10

20

30

40

50

れから僅かにずれた態様であってもよい（例えばそれらが成す角が 0° よりも大きくかつ 10° 以下となる態様であってもよい）ことを意味している。

【0016】

前記結晶性酸化物半導体は、ガリウムを含むのが好ましく、酸化ガリウムおよびその混晶を主成分として含むのがより好ましい。また、前記結晶性酸化物半導体の結晶構造等は特に限定されないが、本発明においては、前記結晶性酸化物半導体がコランダム構造を有する金属酸化物を主成分として含むのが好ましい。前記金属酸化物は、特に限定されないが、少なくとも周期律表第4周期～第6周期の1種または2種以上の金属を含むのが好ましく、少なくともガリウム、インジウム、ロジウムまたはイリジウムを含むのがより好ましく、ガリウムを含むのが最も好ましい。また、本発明においては、前記金属酸化物が、ガリウムと、インジウムまたは/およびアルミニウムとを含むのも好ましい。ガリウムを含む前記金属酸化物としては、例えば、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ またはその混晶などが挙げられる。このような好ましい金属酸化物を主成分として含む結晶性酸化物半導体は、結晶性や放熱性がより優れたものとなり、半導体特性もさらに優れたものになり得る。なお、前記「主成分」とは、結晶性酸化物半導体中の組成比で、前記金属酸化物を50%以上含むものをいい、好ましくは70%以上含むものであり、より好ましくは90%以上含むものである。例えば、前記金属酸化物が $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ である場合、前記結晶性酸化物半導体の金属元素中のガリウムの原子比が0.5以上の割合で $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ が含まれていればそれでよい。本発明においては、前記結晶性酸化物半導体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。なお、前記結晶性酸化物半導体は、単結晶であってもよいし、多結晶であってもよい。また、前記結晶性酸化物半導体は、通常、膜状であるが、本発明の目的を阻害しない限りは特に限定されず、板状であってもよいし、シート状であってもよい。

【0017】

前記結晶性酸化物半導体は、ドーパントが含まれていてもよい。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。n型ドーパントであってもよいし、p型ドーパントであってもよい。前記n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などが挙げられる。ドーパントの濃度は、適宜設定されるものであってよく、具体的には例えば、約 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ ～ $1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ であってもよいし、また、ドーパントの濃度を例えば約 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 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 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以上の高濃度で含有させてもよい。

【0018】

前記結晶性酸化物半導体は例えば次の好適な成膜方法により得ることができる。

すなわち、第1の結晶軸と第2の結晶軸とを少なくとも含む結晶基板を用いて、該結晶基板を、前記結晶性酸化物半導体において、第2の辺を第1の辺よりも短くし、第1の結晶軸方向の線熱膨張係数を第2の結晶軸方向の線熱膨張係数よりも小さく、第1の辺方向を第1の結晶軸方向と平行または略平行とし、第2の辺方向を第2の結晶軸方向と平行または略平行となるように、ミストCVD法またはミスト・エピタキシー法によりエピタキシャル結晶成長させることにより得ることができる。

【0019】

<結晶基板>

前記結晶基板は、本発明の目的を阻害しない限り特に限定されず、公知の基板であってもよい。絶縁体基板であってもよいし、導電性基板であってもよいし、半導体基板であってもよい。単結晶基板であってもよいし、多結晶基板であってもよい。前記結晶基板としては、例えば、コランダム構造を有する結晶物を主成分として含む基板が挙げられる。なお、前記「主成分」とは、基板中の組成比で、前記結晶物を50%以上含むものをいい、好ましくは70%以上含むものであり、より好ましくは90%以上含むものである。前記コランダム構造を有する結晶基板としては、例えば、サファイア基板、 α -型酸化ガリウム基板などが挙げられる。

10

20

30

40

50

【0020】

本発明においては、前記結晶基板が、サファイア基板であるのが好ましい。前記サファイア基板としては、例えば、c面サファイア基板、m面サファイア基板、a面サファイア基板、r面サファイア基板などが挙げられる。また、前記サファイア基板はオフ角を有していてもよい。前記オフ角は、特に限定されず、例えば、 0.01° 以上であるが、好ましくは 0.2° 以上であり、より好ましくは $0.2^\circ \sim 12^\circ$ である。前記サファイア基板は、結晶成長面がa面、m面またはr面であるのが好ましく、 0.2° 以上のオフ角を有するc面サファイア基板であるのも好ましい。

なお、前記結晶基板の厚さは、特に限定されないが、通常、 $10\mu\text{m} \sim 20\text{mm}$ であり、より好ましくは $10 \sim 1000\mu\text{m}$ である。

10

【0021】

また、前記結晶基板は、第1の結晶軸と第2の結晶軸とを少なくとも含む形状であるか、または第1の結晶軸および第2の結晶軸に対応する溝が形成されているのが好ましい。このような結晶基板を用いることにより、前記結晶性酸化物半導体において、第2の辺を第1の辺よりも短くし、第1の結晶軸方向の線熱膨張係数を第2の結晶軸方向の線熱膨張係数よりも小さく、第1の辺方向を第1の結晶軸方向と平行または略平行とし、第2の辺方向を第2の結晶軸方向と平行または略平行となるように容易に調節することができ、前記結晶性酸化物半導体を容易に得ることができる。

また、本発明においては、ELOマスクを用いて、前記結晶性酸化物半導体において、第2の辺を第1の辺よりも短くし、第1の結晶軸方向の線熱膨張係数を第2の結晶軸方向の線熱膨張係数よりも小さく、第1の辺方向を第1の結晶軸方向と平行または略平行とし、第2の辺方向を第2の結晶軸方向と平行または略平行となりやすいように、結晶成長の方向等を制御してもよい。

20

前記結晶基板の好適な形状としては、例えば、三角形、四角形（例えば長方形若しくは台形等）、五角形若しくは六角形等の多角形状、U字形状、逆U字形状、L字形状またはコの字形状等が挙げられる。

【0022】

なお、本発明においては、前記結晶基板上にバッファ層や応力緩和層等の他の層を設けてもよい。バッファ層としては、前記結晶基板または前記結晶性酸化物半導体の結晶構造と同一の結晶構造を有する金属酸化物からなる層などが挙げられる。また、応力緩和層としては、ELOマスク層などが挙げられる。

30

【0023】

前記エピタキシャル結晶成長の手段は、本発明の目的を阻害しない限り、特に限定されず、公知の手段であってよい。前記エピタキシャル結晶成長手段としては、例えば、CVD法、MOCVD法、MOVPE法、ミストCVD法、ミスト・エピタキシー法、MBE法、HVPE法、パルス成長法またはALD法などが挙げられる。本発明においては、前記エピタキシャル結晶成長手段が、ミストCVD法またはミスト・エピタキシー法であるのが好ましい。

【0024】

前記のミストCVD法またはミスト・エピタキシー法では、金属を含む原料溶液を霧化し（霧化工程）、液滴を浮遊させ、得られた霧化液滴をキャリアガスでもって前記結晶基板近傍まで搬送し（搬送工程）、ついで、前記霧化液滴を熱反応させること（成膜工程）により行う。

40

【0025】

（原料溶液）

原料溶液は、成膜原料として金属を含んでおり、霧化可能であれば特に限定されず、無機材料を含んでいてもよいし、有機材料を含んでいてもよい。前記金属は、金属単体であっても、金属化合物であってもよく、本発明の目的を阻害しない限り特に限定されないが、ガリウム（Ga）、イリジウム（Ir）、インジウム（In）、ロジウム（Rh）、アルミニウム（Al）、金（Au）、銀（Ag）、白金（Pt）、銅（Cu）、鉄（Fe）

50

、マンガン (Mn)、ニッケル (Ni)、パラジウム (Pd)、コバルト (Co)、ルテニウム (Ru)、クロム (Cr)、モリブデン (Mo)、タングステン (W)、タンタル (Ta)、亜鉛 (Zn)、鉛 (Pb)、レニウム (Re)、チタン (Ti)、スズ (Sn)、マグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca) およびジルコニウム (Zr) 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、前記金属が、少なくとも周期律表第 4 周期 ~ 第 6 周期の 1 種または 2 種以上の金属を含むのが好ましく、少なくともガリウム、インジウム、ロジウムまたはイリジウムを含むのがより好ましい。また、本発明においては、前記金属が、ガリウムと、インジウムまたは / およびアルミニウムとを含むのも好ましい。このような好ましい金属を用いることにより、半導体装置等に
10 より好適に用いることができる前記結晶性酸化物半導体を成膜することができる。

【0026】

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。

【0027】

前記原料溶液の溶媒は、本発明の目的を阻害しない限り特に限定されず、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い。
20

【0028】

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してもよい。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。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。

【0029】

前記原料溶液には、ドーパントが含まれていてもよい。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、バナジウムもしくはニオブ等の 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 $1 \times 10^{16} / cm^3 \sim 1 \times 10^{22} / cm^3$ であってもよいし、また、ドーパントの濃度を例えば約 $1 \times 10^{17} / cm^3$ 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 $1 \times 10^{20} / cm^3$ 以上の高濃度で含有させてもよい。
30

【0030】

(霧化工程)

前記霧化工程は、金属を含む原料溶液を調整し、前記原料溶液を霧化し、液滴を浮遊させ、霧化液滴を発生させる。前記金属の配合割合は、特に限定されないが、原料溶液全体に対して、 $0.0001 mol / L \sim 20 mol / L$ が好ましい。霧化手段は、前記原料溶液を霧化できさえすれば特に限定されず、公知の霧化手段であってもよいが、本発明においては、超音波振動を用いる霧化手段であるのが好ましい。本発明で用いられるミストは、空中に浮遊するものであり、例えば、スプレーのように吹き付けるのではなく、初速度がゼロで、空間に浮かびガスとして搬送することが可能なミストであるのがより好ましい。ミストの液滴サイズは、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 $50 \mu m$ 以下であり、より好ましくは $1 \sim 10 \mu m$ である。
40

【0031】

(搬送工程)

前記搬送工程では、前記キャリアガスによって前記霧化液滴を前記基体へ搬送する。キ
50

キャリアガスの種類としては、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、不活性ガス（例えば窒素やアルゴン等）、または還元ガス（水素ガスやフォーミングガス等）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、キャリアガス濃度を变化させた希釈ガス（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、1 L P M以下が好ましく、0.1 ~ 1 L P Mがより好ましい。

【0032】

（成膜工程）

成膜工程では、前記霧化液滴を反応させて、前記結晶基板上に成膜する。前記反応は、前記霧化液滴から膜が形成される反応であれば特に限定されないが、本発明においては、熱反応が好ましい。前記熱反応は、熱でもって前記霧化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、原料溶液の溶媒の蒸発温度以上の温度で行うが、高すぎない温度以下が好ましく、650以下がより好ましい。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く、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蒸発温度の計算がより簡単になり、設備等も簡素化できる等の点で好ましい。また、膜厚は成膜時間を調整することにより、設

10

20

【0033】

以下、図面を用いて、本発明に好適に用いられる成膜装置19を説明する。図1の成膜装置19は、キャリアガスを供給するキャリアガス源22aと、キャリアガス源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）源22bと、キャリアガス（希釈）源22b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、成膜室30と、ミスト発生源24から成膜室30までをつなぐ石英製の供給管27と、成膜室30内に設置されたホットプレート（ヒーター）28とを備えている。ホットプレート28上には、基板20が設置されている。

30

【0034】

そして、図1に記載のとおり、原料溶液24aをミスト発生源24内に収容する。次に、基板20を用いて、ホットプレート28上に設置し、ホットプレート28を作動させて成膜室30内の温度を昇温させる。次に、流量調節弁23（23a、23b）を開いてキャリアガス源22（22a、22b）からキャリアガスを成膜室30内に供給し、成膜室30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と、キャリアガス（希釈）の流量とをそれぞれ調節する。次に、超音波振動子26を振動させ、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を微粒化させて霧化液滴24bを生成する。この霧化液滴24bが、キャリアガスによって成膜室30内に導入され、基板20まで搬送され、そして、大気圧下、成膜室30内で霧化液滴24bが熱反応して、基板20上に膜が形成する。

40

【0035】

また、図2に示すミストCVD装置（成膜装置）19を用いるのも好ましい。図2のミスト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

50

るミス発生源 24 と、水 25 a 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 40 mm 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、熱反応後のミス、液滴および排気ガスを排出する排気口 29 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。このミス CVD 装置 19 は、前記の成膜装置 19 と同様に扱うことができる。

【0036】

前記の好適な成膜装置を用いれば、前記結晶基板の結晶成長面上に、より容易に前記結晶酸化物半導体を形成することができる。なお、前記結晶酸化物半導体は、通常、エピタキシャル結晶成長により形成される。

10

【0037】

前記結晶性酸化物半導体は半導体装置、特にパワーデバイスに有用である。前記結晶性酸化物半導体を用いて形成される半導体装置としては、MIS や HEMT 等のトランジスタや TFT、半導体 金属接合を利用したショットキーバリアダイオード、JBS、他の P 層と組み合わせた PN 又は PIN ダイオード、受発光素子などが挙げられる。本発明においては、前記結晶性酸化物半導体を、所望により前記結晶基板と剥離等して、半導体装置に用いることができる。

【0038】

また、前記半導体装置は、電極が半導体層の片面側に形成された横型の素子（横型デバイス）と、半導体層の表裏両面側にそれぞれ電極を有する縦型の素子（縦型デバイス）のいずれにも好適に用いられるが、本発明においては、中でも、縦型デバイスに用いることが好ましい。前記半導体装置の好適な例としては、例えば、ショットキーバリアダイオード（SBD）、ジャンクションバリアショットキーダイオード（JBS）、金属半導体電界効果トランジスタ（MESFET）、高電子移動度トランジスタ（HEMT）、金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）、静電誘導トランジスタ（SIT）、接合電界効果トランジスタ（JFET）、絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（IGBT）または発光ダイオード（LED）などが挙げられる。

20

【0039】

以下、本発明の結晶性酸化物半導体を n 型半導体層（n+ 型半導体や n- 半導体層等）に適用した場合の前記半導体装置の好適な例を、図面を用いて説明するが、本発明は、これらの例に限定されるものではない。

30

【0040】

図 10 は、本発明に係るショットキーバリアダイオード（SBD）の一例を示している。図 10 の SBD は、n- 型半導体層 101 a、n+ 型半導体層 101 b、ショットキー電極 105 a およびオーミック電極 105 b を備えている。

【0041】

ショットキー電極およびオーミック電極の材料は、公知の電極材料であってもよく、前記電極材料としては、例えば、Al、Mo、Co、Zr、Sn、Nb、Fe、Cr、Ta、Ti、Au、Pt、V、Mn、Ni、Cu、Hf、W、Ir、Zn、In、Pd、Nd もしくは Ag 等の金属またはこれらの合金、酸化錫、酸化亜鉛、酸化レニウム、酸化インジウム、酸化インジウム錫（ITO）、酸化亜鉛インジウム（IZO）等の金属酸化物導電膜、ポリアニリン、ポリチオフェン又はポリピロ-ルなどの有機導電性化合物、またはこれらの混合物並びに積層体などが挙げられる。

40

【0042】

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、前記金属のうち 2 種類の第 1 の金属と第 2 の金属とを用いてショットキー電極を形成する場合、第 1 の金属からなる層と第 2 の金属からなる層を積層させ、第 1 の金属からなる層および第 2 の金属からなる層に対して、フォトリソグラフィの手法を利用したパターンニングを施すこと

50

により行うことができる。

【0043】

図10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。このようにして前記半導体構造を用いたSBDは、高耐圧・大電流用に優れており、スイッチング速度も速く、耐圧性・信頼性にも優れている。

【0044】

(HEMT)

図11は、本発明に係る高電子移動度トランジスタ(HEMT)の一例を示している。図11のHEMTは、バンドギャップの広いn型半導体層121a、バンドギャップの狭いn型半導体層121b、n+型半導体層121c、半絶縁体層124、緩衝層128、ゲート電極125a、ソース電極125bおよびドレイン電極125cを備えている。

10

【0045】

(MOSFET)

本発明の半導体装置がMOSFETである場合の一例を図12に示す。図12のMOSFETは、トレンチ型のMOSFETであり、n-型半導体層131a、n+型半導体層131b及び131c、ゲート絶縁膜134、ゲート電極135a、ソース電極135bおよびドレイン電極135cを備えている。

【0046】

(JFET)

図13は、n-型半導体層141a、第1のn+型半導体層141b、第2のn+型半導体層141c、ゲート電極145a、ソース電極145bおよびドレイン電極145cを備えている接合電界効果トランジスタ(JFET)の好適な一例を示す。

20

【0047】

(IGBT)

図14は、n型半導体層151、n-型半導体層151a、n+型半導体層151b、p型半導体層152、ゲート絶縁膜154、ゲート電極155a、エミッタ電極155bおよびコレクタ電極155cを備えている絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ(IGBT)の好適な一例を示す。

30

【0048】

(LED)

本発明の半導体装置が発光ダイオード(LED)である場合の一例を図15に示す。図15の半導体発光素子は、第2の電極165b上にn型半導体層161を備えており、n型半導体層161上には、発光層163が積層されている。そして、発光層163上には、p型半導体層162が積層されている。p型半導体層162上には、発光層163が発生する光を透過する透光性電極167を備えており、透光性電極167上には、第1の電極165aが積層されている。なお、図15の半導体発光素子は、電極部分を除いて保護層で覆われていてもよい。

【0049】

透光性電極の材料としては、インジウム(In)またはチタン(Ti)を含む酸化物の導電性材料などが挙げられる。より具体的には、例えば、 In_2O_3 、 ZnO 、 SnO_2 、 Ga_2O_3 、 TiO_2 、 CeO_2 またはこれらの2以上の混晶またはこれらにドーピングされたものなどが挙げられる。これらの材料を、スパッタリング等の公知の手段で設けることによって、透光性電極を形成できる。また、透光性電極を形成した後に、透光性電極の透明化を目的とした熱アニールを施してもよい。

40

【0050】

図15の半導体発光素子によれば、第1の電極165aを正極、第2の電極165bを負極とし、両者を介してp型半導体層162、発光層163およびn型半導体層161に電流を流すことで、発光層163が発光するようになっている。

50

【0051】

第1の電極165a及び第2の電極165bの材料としては、例えば、Al、Mo、Co、Zr、Sn、Nb、Fe、Cr、Ta、Ti、Au、Pt、V、Mn、Ni、Cu、Hf、W、Ir、Zn、In、Pd、NdもしくはAg等の金属またはこれらの合金、酸化錫、酸化亜鉛、酸化レニウム、酸化インジウム、酸化インジウム錫(ITO)、酸化亜鉛インジウム(IZO)等の金属酸化物導電膜、ポリアニリン、ポリチオフェン又はポリピロ-ルなどの有機導電性化合物、またはこれらの混合物などが挙げられる。電極の製膜法は特に限定されることはなく、印刷方式、スプレー法、コ-ティング方式等の湿式方式、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレ-ティング法等の物理的方式、CVD、プラズマCVD法等の化学的方式、などの中から前記材料との適性を考慮して適宜選択した方法に従って前記基板上に形成することができる。

10

【0052】

なお、発光素子の別の態様を図16に示す。図16の発光素子では、基板169上にn型半導体層161が積層されており、p型半導体層162、発光層163およびn型半導体層161の一部を切り欠くことによって露出したn型半導体層161の半導体層露出面の一部に第2の電極165bが積層されている。

【0053】

図17は、本発明の好適な実施態様の一つであるジャンクションバリアショットキーダイオード(JBS)を示す。図17の半導体装置は、半導体領域(半導体層)3と、前記半導体領域上に設けられておりかつ前記半導体領域との間にショットキーバリアを形成可能なバリア電極2と、バリア電極2と半導体領域3との間に設けられておりかつ前記半導体領域3との間にバリア電極2のショットキーバリアのバリアハイトよりも大きなバリアハイトのショットキーバリアを形成可能なバリアハイト調整層とを含んでいる。なお、バリアハイト調整層1は半導体領域3に埋め込まれている。本発明においては、バリアハイト調整層が一定間隔ごとに設けられているのが好ましく、前記バリア電極の両端と前記半導体領域との間に、前記バリアハイト調整領域がそれぞれ設けられているのがより好ましい。このような好ましい態様により、熱安定性および密着性により優れ、リーク電流がより軽減され、さらに、より耐圧等の半導体特性に優れるようにJBSが構成されている。なお、図17の半導体装置は、半導体領域3上にオーミック電極4を備えている。

20

【0054】

図17の半導体装置の各層の形成手段は、本発明の目的を阻害しない限り特に限定されず、公知の手段であってよい。例えば、真空蒸着法やCVD法、スパッタ法、各種コーティング技術等により成膜した後、フォトリソグラフィ法によりパターンニングする手段、または印刷技術などを用いて直接パターンニングを行う手段などが挙げられる。

30

【0055】

図18は、本発明の好適な実施態様の一つであるジャンクションバリアショットキーダイオード(JBS)を示す。図18の半導体装置は、図17の半導体装置とは、バリア電極の外周辺部にガードリング5が設けられている点において異なる。このように構成することによって、より耐圧等の半導体特性に優れた半導体装置を得ることができる。なお、本発明においては、ガードリング5の一部を半導体領域(半導体層)3表面にそれぞれ埋め込むことにより、耐圧をより効果的により良好なものとすることができる。またさらに、ガードリングにバリアハイトの高い金属を用いることにより、バリア電極の形成とあわせてガードリングを工業的に設けることができ、半導体領域にあまり影響を与えずに形成することができる。

40

【0056】

前記ガードリングには、通常、バリアハイトの高い材料が用いられる。前記ガードリングに用いられる材料としては、例えば、バリアハイトが1eV以上の導電性材料などが挙げられ、前記電極材料と同じものであってもよい。本発明においては、前記ガードリングに用いられる材料が、耐圧構造の設計自由度が高く、ガードリングを多く設けることもでき、柔軟に耐圧をより良好なものとするので、前記金属であるのが好ましい

50

。また、ガードリングの形状としては、特に限定されず、例えば、口の字形状、円状、コ字形状、L字形状または帯状などが挙げられる。ガードリングの本数も特に限定されないが、好ましくは3本以上、より好ましくは6本以上である。

【0057】

(MOSFET)

図20は、n型半導体層131a、第1のn型半導体層131b、第2のn型半導体層131c、p型半導体層132、p型半導体層132a、ゲート絶縁膜134、ゲート電極135a、ソース電極135bおよびドレイン電極135cを備えている金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)の好適な一例を示す。なお、p型半導体層132aは、p型半導体層であってもよく、p型半導体層132と同じであってもよい。なお、p型半導体は、n型半導体と同じ材料であっても、p型ドーパントを含むものであってもよいし、異なるp型半導体であってもよい。

10

【0058】

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3に電源システムの例を示す。図3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4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5に示す。図5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。

20

【0059】

本発明においては前記半導体装置が、パワーカードであるのが好ましく、冷却器および絶縁部材を含んでおり、前記半導体層の両側に前記冷却器がそれぞれ少なくとも前記絶縁部材を介して設けられているのがより好ましく、前記半導体層の両側にそれぞれ放熱層が設けられており、放熱層の外側に少なくとも前記絶縁部材を介して前記冷却器がそれぞれ設けられているのが最も好ましい。図19は、本発明の好適な実施態様の一つであるパワーカードを示す。図19のパワーカードは、両面冷却型パワーカード201となっており、冷媒チューブ202、スペーサ203、絶縁板(絶縁スペーサ)208、封止樹脂部209、半導体チップ301a、金属伝熱板(突出端子部)302b、ヒートシンク及び電極303、金属伝熱板(突出端子部)303b、はんだ層304、制御電極端子305、ボンディングワイヤ308を備える。冷媒チューブ202の厚さ方向断面は、互いに所定間隔を隔てて流路方向に延在する多数の隔壁221で区画された流路222を多数有している。このような好適なパワーカードによればより高い放熱性を実現することができ、より高い信頼性を満たすことができる。

30

40

【0060】

半導体チップ301aは、金属伝熱板302bの内側の主面上にはんだ層104で接合され、半導体チップ301aの残余の主面には、金属伝熱板(突出端子部)302bがはんだ層304で接合され、これによりIGBTのコレクタ電極面及びエミッタ電極面にフライホイールダイオードのアノード電極面及びカソード電極面がいわゆる逆並列に接続されている。金属伝熱板(突出端子部)302bおよび303bの材料としては、例えば、MoまたはW等が挙げられる。金属伝熱板(突出端子部)302および303bは、半導体チップ101a、101bの厚さの差を吸収する厚さの差をもち、これにより金属伝熱板102の外表面は平面となっている。

【0061】

50

樹脂封止部 209 は例えばエポキシ樹脂からなり、これら金属伝熱板 302b および 303b の側面を覆ってモールドされており、半導体チップ 301a は樹脂封止部 209 でモールドされている。但し、金属伝熱板 302b および 303b の外主面すなわち接触受熱面は完全に露出している。金属伝熱板（突出端子部）302b および 303b は樹脂封止部 209 から図 19 中、右方に突出し、いわゆるリードフレーム端子である制御電極端子 305 は、例えば IGBT が形成された半導体チップ 301a のゲート（制御）電極面と制御電極端子 305 とを接続している。

【0062】

絶縁スペーサである絶縁板 208 は、例えば、窒化アルミニウムフィルムで構成されているが、他の絶縁フィルムであってもよい。絶縁板 208 は金属伝熱板 302b および 303b を完全に覆って密着しているが、絶縁板 208 と金属伝熱板 302b および 303b とは、単に接触するだけでもよいし、シリコングリスなどの良熱伝熱材を塗布してもよいし、それらを種々の方法で接合させてもよい。また、セラミック溶射などで絶縁層を形成してもよく、絶縁板 208 を金属伝熱板上に接合してもよく、冷媒チューブ上に接合または形成してもよい。

【0063】

冷媒チューブ 202 は、アルミニウム合金を引き抜き成形法あるいは押し出し成形法で成形された板材を必要な長さに切断して作製されている。冷媒チューブ 202 の厚さ方向断面は、互いに所定間隔を隔てて流路方向に延在する多数の隔壁 221 で区画された流路 222 を多数有している。スペーサ 203 は、例えば、はんだ合金などの軟質の金属板であってよいが、金属伝熱板 302b および 303b の接触面に塗布等によって形成したフィルム（膜）としてもよい。この軟質のスペーサ 3 の表面は、容易に変形して、絶縁板 208 の微小凹凸や反り、冷媒チューブ 202 の微小凹凸や反りになじんで熱抵抗を低減する。なお、スペーサ 203 の表面等に公知の良熱伝導性グリスなどを塗布してもよく、スペーサ 203 を省略してもよい。

【0064】

（実施例 1）

1. 成膜装置

本実施例では図 1 に示す成膜装置 19 を用いた。

【0065】

2. 原料溶液の作製

臭化ガリウム (GaBr_3) 0.1 M の水溶液に、臭化水素酸 (HBr) 20 体積% を加え、これを原料溶液とした。

【0066】

3. 成膜準備

上記 2. で得られた原料溶液 24a をミスト発生源 24 内に收容した。次に、基板 20 として、a 軸方向を長辺方向とする長方形 (1 mm × 2.25 mm) の m 面サファイア基板を用いて、ホットプレート 28 上に設置し、ホットプレート 28 を作動させて基板温度を 550 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 30 内に供給し、成膜室 30 の雰囲気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 1 L / 分に調節した。キャリアガスとして窒素を用いた。

【0067】

4. 成膜

次に、超音波振動子 26 を 2.4 MHz 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（霧化液滴）24b を生成させた。このミスト 24b が、キャリアガスによって、供給管 27 内を通過して、成膜室 30 内に導入され、大気圧下、550 にて、基板 20 上でミストが熱反応して、基板 20 上に成膜した。成膜時間は 2 時間であった。得られた膜は、X 線回折装置を用いて同定したところ、 Ga_2O_3 単結晶膜であった。また、得られた膜を顕微鏡

10

20

30

40

50

にてクラックの有無を観察した。顕微鏡像を図6に示す。図6からも明らかなように、クラックのない結晶品質に優れた結晶性酸化物半導体を得ることができた。

【0068】

(比較例1)

正方形(1.5mm×1.5mm)のm面サファイア基板を用いたこと以外、実施例1と同様にして結晶性酸化物半導体を得た。得られた結晶性酸化物半導体につき、実施例1と同様に顕微鏡にてクラックの有無を観察した。顕微鏡像を図7に示す。図7から明らかなように、クラックが所々に発生した。なお、クラック発生率を調べたところ、5.6%であった。

【0069】

(評価)

実施例品および比較例品の熱分散性につき、それぞれ半導体装置に用いた場合の熱分布のシミュレーションを実施した。実施例品の評価結果を図8に示し、比較例品の評価結果を図9に示す。図8および図9の熱的分布および熱の移動方向を示す矢印から明らかなように、本発明の結晶性酸化物半導体は、熱分散性に優れており、放熱性を必要とする半導体装置に有用であることがわかる。

【産業上の利用可能性】

【0070】

本発明の結晶性酸化物半導体は、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、特に、半導体装置およびその部材等に有用である。

【符号の説明】

【0071】

- 1 バリアハイト調整層
- 2 バリア電極
- 3 半導体領域(半導体層)
- 4 オーミック電極
- 5 ガードリング
- 19 ミスト装置(成膜装置)
- 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
- 30 成膜室
- 101a n-型半導体層
- 101b n+型半導体層
- 102 p型半導体層
- 103 半絶縁体層
- 104 絶縁体層
- 105a ショットキー電極

10

20

30

40

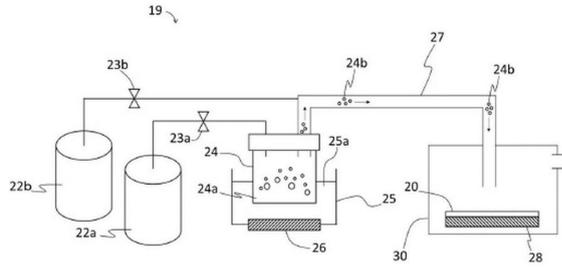
50

1 0 5 b	オーミック電極	
1 2 1 a	バンドギャップの広いn型半導体層	
1 2 1 b	バンドギャップの狭いn型半導体層	
1 2 1 c	n + 型半導体層	
1 2 3	p型半導体層	
1 2 4	半絶縁体層	
1 2 5 a	ゲート電極	
1 2 5 b	ソース電極	
1 2 5 c	ドレイン電極	
1 2 8	緩衝層	10
1 3 1 a	n - 型半導体層	
1 3 1 b	第1のn + 型半導体層	
1 3 1 c	第2のn + 型半導体層	
1 3 2	p型半導体層	
1 3 2 a	p + 型半導体層	
1 3 4	ゲート絶縁膜	
1 3 5 a	ゲート電極	
1 3 5 b	ソース電極	
1 3 5 c	ドレイン電極	
1 4 1 a	n - 型半導体層	20
1 4 1 b	第1のn + 型半導体層	
1 4 1 c	第2のn + 型半導体層	
1 4 5 a	ゲート電極	
1 4 5 b	ソース電極	
1 4 5 c	ドレイン電極	
1 5 1	n型半導体層	
1 5 1 a	n - 型半導体層	
1 5 1 b	n + 型半導体層	
1 5 2	p型半導体層	
1 5 4	ゲート絶縁膜	30
1 5 5 a	ゲート電極	
1 5 5 b	エミッタ電極	
1 5 5 c	コレクタ電極	
1 6 1	n型半導体層	
1 6 2	p型半導体層	
1 6 3	発光層	
1 6 5 a	第1の電極	
1 6 5 b	第2の電極	
1 6 7	透光性電極	
1 6 9	基板	40
2 0 1	両面冷却型パワーカード	
2 0 2	冷媒チューブ	
2 0 3	スペーサ	
2 0 8	絶縁板 (絶縁スペーサ)	
2 0 9	封止樹脂部	
2 2 1	隔壁	
2 2 2	流路	
3 0 1 a	半導体チップ	
3 0 2 b	金属伝熱板 (突出端子部)	
3 0 3	ヒートシンク及び電極	50

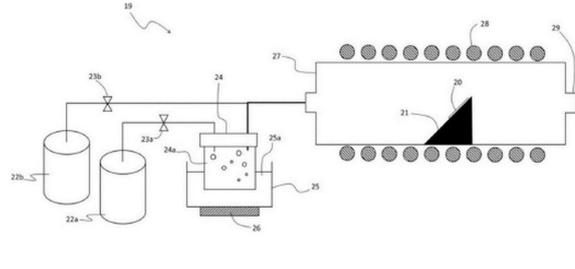
- 3 0 3 b 金属伝熱板（突出端子部）
- 3 0 4 はんだ層
- 3 0 5 制御電極端子
- 3 0 8 ボンディングワイヤ

【図面】

【図 1】

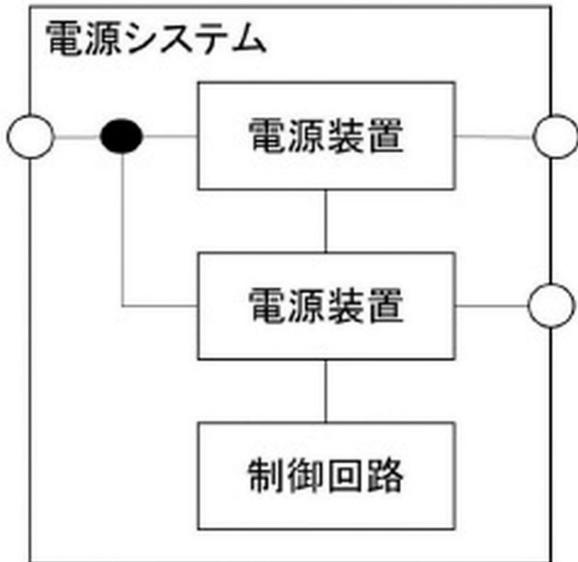


【図 2】

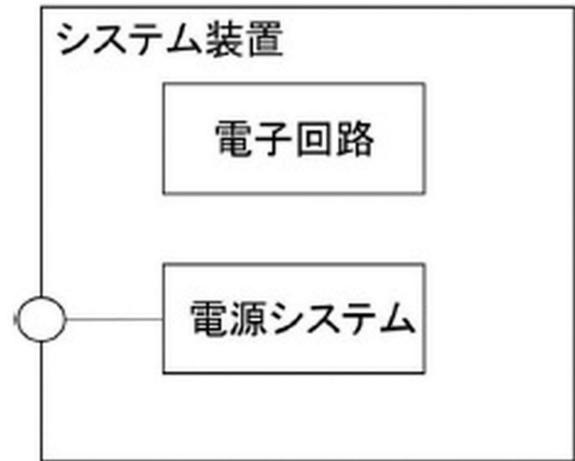


10

【図 3】



【図 4】



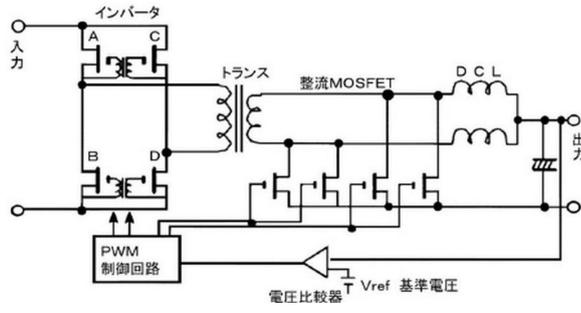
20

30

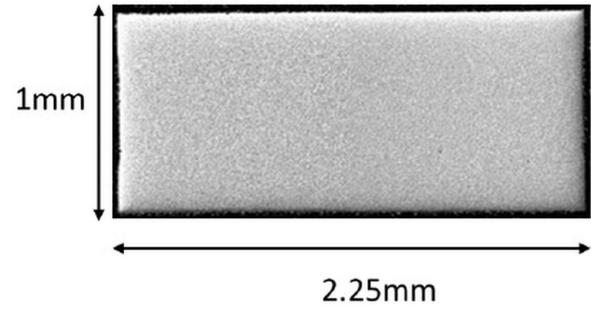
40

50

【図5】

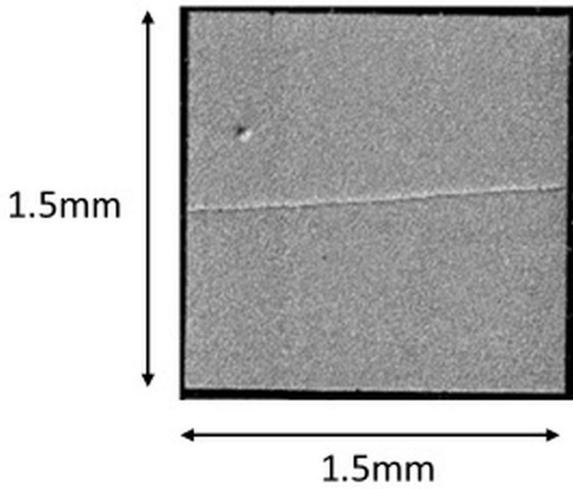


【図6】

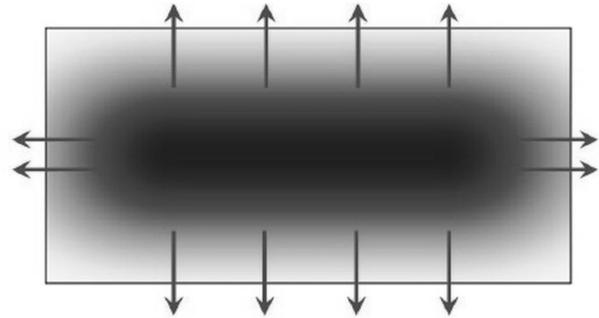


10

【図7】



【図8】



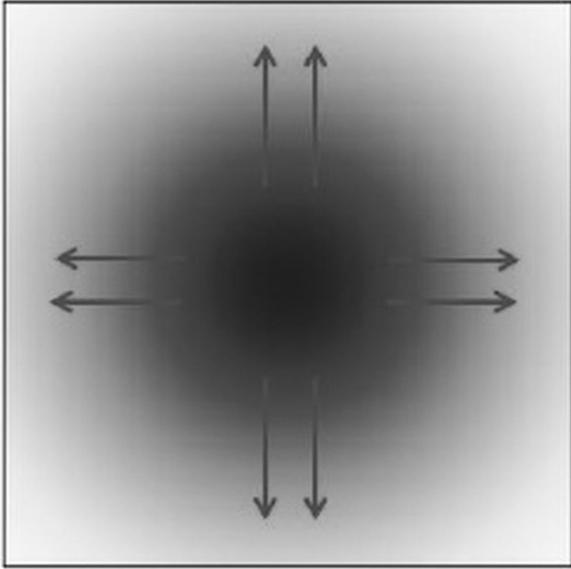
20

30

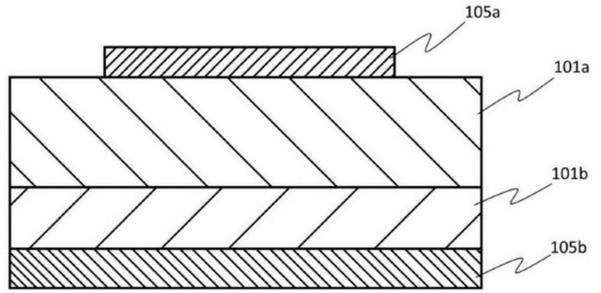
40

50

【図 9】

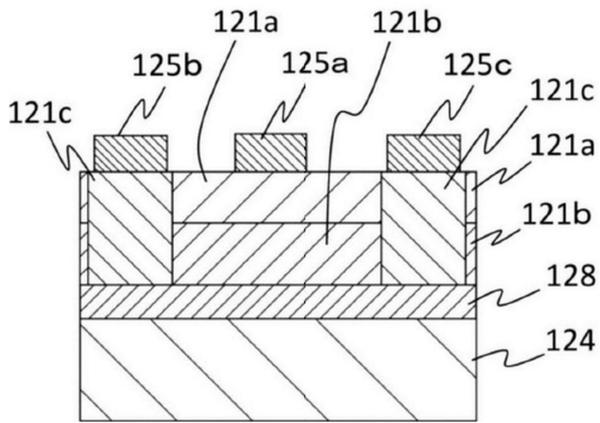


【図 10】

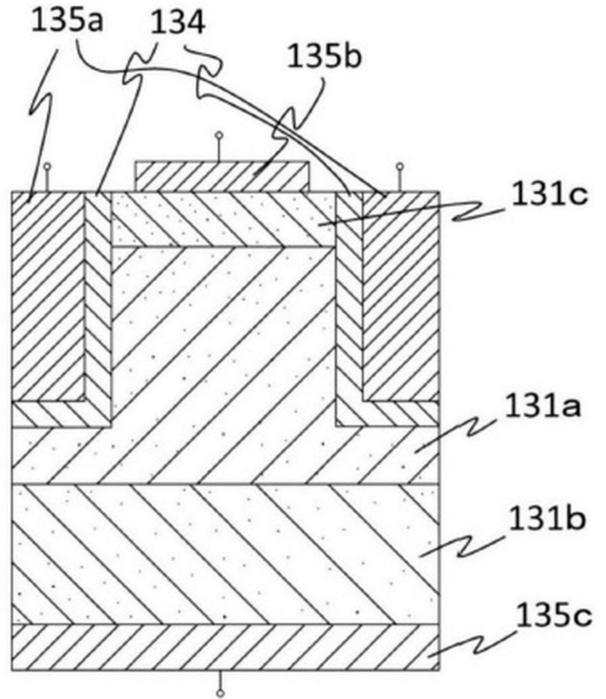


10

【図 11】



【図 12】



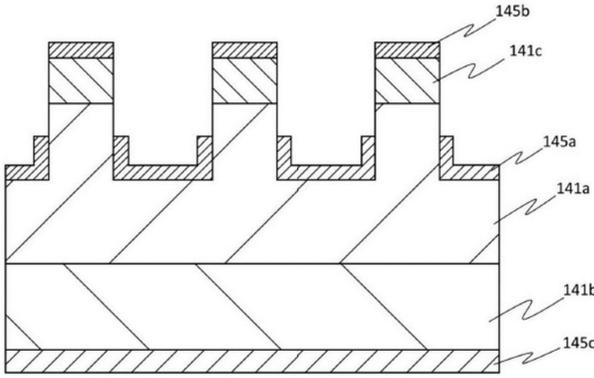
20

30

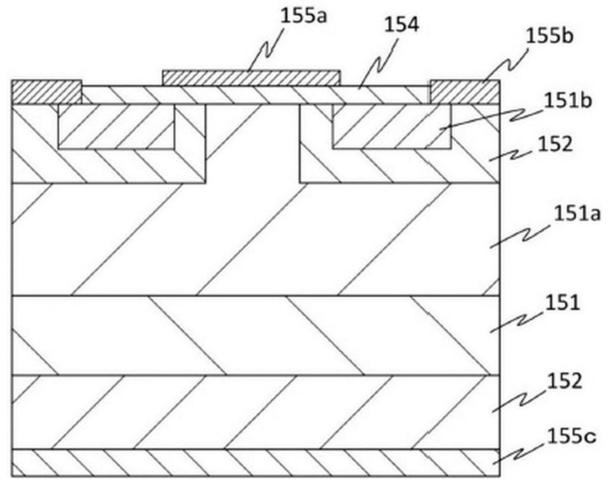
40

50

【図 13】

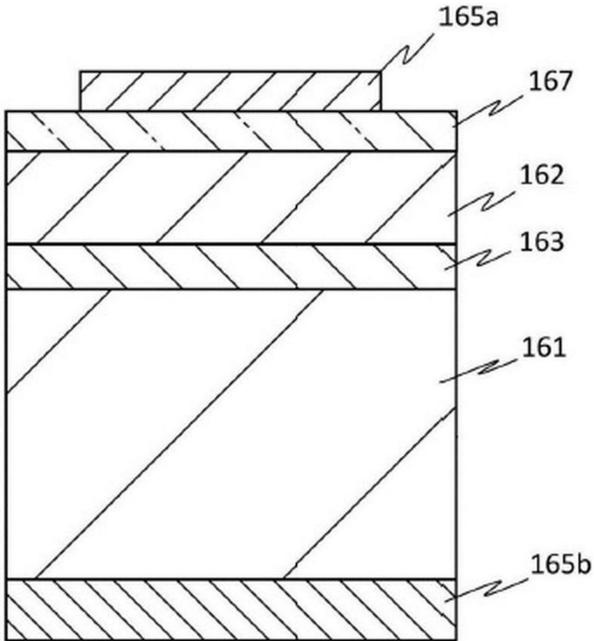


【図 14】

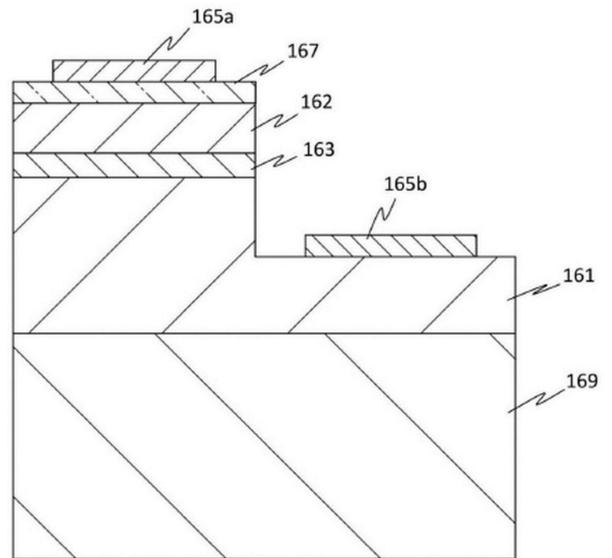


10

【図 15】



【図 16】



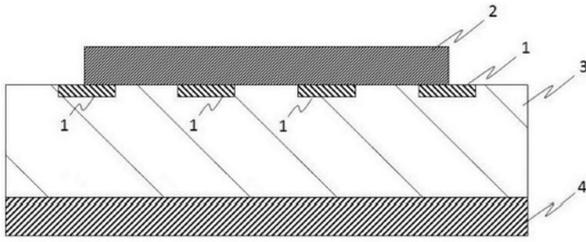
20

30

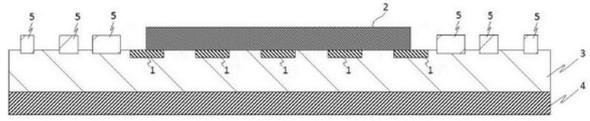
40

50

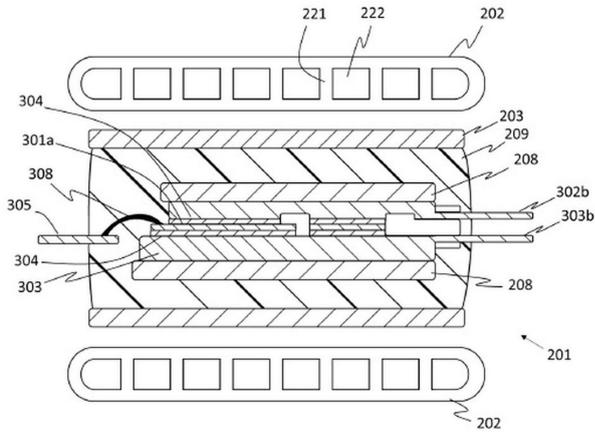
【図 17】



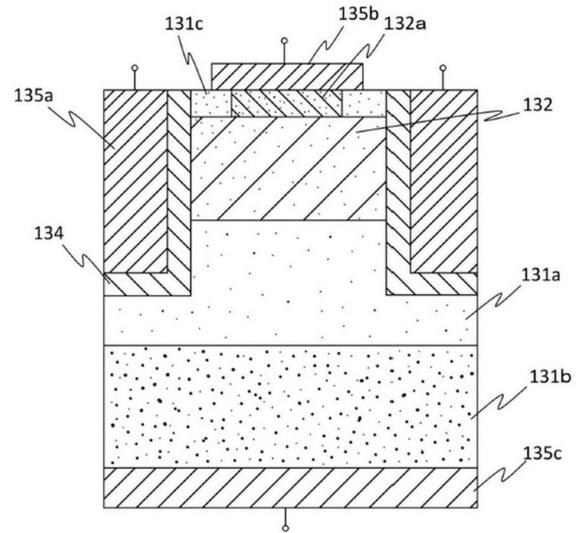
【図 18】



【図 19】



【図 20】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類		F I		
H 0 1 L	29/872 (2006.01)	H 0 1 L	29/86	3 0 1 D
H 0 1 L	21/329 (2006.01)	H 0 1 L	29/86	3 0 1 P
H 0 1 L	29/861 (2006.01)	H 0 1 L	29/91	K
H 0 1 L	29/868 (2006.01)	H 0 1 L	29/91	F
H 0 1 L	29/06 (2006.01)	H 0 1 L	29/86	3 0 1 E
H 0 1 L	29/24 (2006.01)	H 0 1 L	29/06	3 0 1 G
H 0 1 L	21/338 (2006.01)	H 0 1 L	29/06	3 0 1 V
H 0 1 L	29/778 (2006.01)	H 0 1 L	29/24	
H 0 1 L	29/812 (2006.01)	H 0 1 L	29/80	H
H 0 1 L	21/337 (2006.01)	H 0 1 L	29/80	V
H 0 1 L	29/808 (2006.01)	H 0 1 L	23/34	A
H 0 1 L	23/34 (2006.01)	H 0 1 L	23/36	A
H 0 1 L	23/29 (2006.01)	C 3 0 B	29/16	
C 3 0 B	29/16 (2006.01)	C 3 0 B	25/18	
C 3 0 B	25/18 (2006.01)	C 2 3 C	16/40	
C 2 3 C	16/40 (2006.01)	H 0 1 L	33/26	
H 0 1 L	33/26 (2010.01)			

京都府京都市西京区御陵大原 1 番 3 6 号 京大桂ベンチャープラザ北館 株式会社 F L O S F I A 内

(72)発明者 四戸 孝

京都府京都市西京区御陵大原 1 番 3 6 号 京大桂ベンチャープラザ北館 株式会社 F L O S F I A 内

(72)発明者 上東 秀幸

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 大原 淳士

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 廣瀬 富佐雄

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 松木 英夫

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

審査官 加藤 芳健

(56)参考文献

特開 2 0 1 6 - 0 9 8 1 6 6 (J P , A)

再公表特許第 2 0 1 1 / 1 4 5 3 0 9 (J P , A 1)

特開 2 0 1 5 - 1 9 9 6 4 8 (J P , A)

特開 2 0 1 8 - 1 7 0 5 0 9 (J P , A)

国際公開第 2 0 1 8 / 0 4 3 5 0 3 (W O , A 1)

特開 2 0 1 8 - 0 8 2 1 4 4 (J P , A)

特開 2 0 1 8 - 0 8 2 0 0 6 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 3 6 5

H 0 1 L 2 1 / 3 6 8

H 0 1 L 2 9 / 1 2

H 0 1 L 2 9 / 7 8

H 0 1 L 2 9 / 7 3 9

H 0 1 L 2 9 / 8 7 2

H 0 1 L 2 1 / 3 2 9

H 0 1 L 2 9 / 8 6 1

H 0 1 L 2 9 / 0 6

H 0 1 L 2 9 / 2 4

H 0 1 L 2 1 / 3 3 8

H 0 1 L 2 1 / 3 3 7

H 0 1 L 2 3 / 3 4

H 0 1 L 2 3 / 2 9
C 3 0 B 2 9 / 1 6
C 3 0 B 2 5 / 1 8
C 2 3 C 1 6 / 4 0
H 0 1 L 3 3 / 2 6
H 0 1 L 2 9 / 8 6 8
H 0 1 L 2 9 / 7 7 8
H 0 1 L 2 9 / 8 1 2