



LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,  
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

## 明 細 書

発明の名称：半導体装置および半導体システム

### 技術分野

[0001] 本発明は、パワーデバイス等として有用な半導体装置およびそれを備える半導体システムに関する。

### 背景技術

[0002] 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 ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) 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1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、 $\text{InAlGaO}$ 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 $\text{InAlGaO}$ 系半導体とは $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{O}_3$  ( $0 \leq x \leq 2$ 、 $0 \leq y \leq 2$ 、 $0 \leq z \leq 2$ 、 $x + y + z = 1.5 \sim 2.5$ ) 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。

[0003] そして、近年においては、酸化ガリウム系のp型半導体が検討されており、例えば、特許文献1には、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系結晶を、 $\text{MgO}$  (p型ドーパント源) を用いてFZ法により形成したりすると、p型導電性を示す基板が得られることが記載されている。また、特許文献2には、MBE法により形成した $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ 単結晶膜にp型ドーパントをイオン注入してp型半導体を形成することが記載されている。しかしながら、これらの方法では、p型半導体の作製は実現困難であり (非特許文献2)、実際に、これらの方法でp型半導体の作製に成功したとの報告はなされていない。そのため、実現可能なp型酸化物半導体及びその製造方法が待ち望まれていた。

[0004] また、非特許文献3や非特許文献4に記載されているように、例えば $\text{Rh}_2$

$\text{O}_3$ や $\text{ZnRh}_2\text{O}_4$ 等をp型半導体に用いることも検討されているが、 $\text{Rh}_2\text{O}_3$ は、成膜時に特に原料濃度が薄くなってしまい、成膜に影響する問題があり、有機溶媒を用いても、 $\text{Rh}_2\text{O}_3$ 単結晶が作製困難であった。また、ホール効果測定を実施してもp型とは判定されることがなく、測定自体もできていない問題もあり、また、測定値についても、例えばホール係数が測定限界 ( $0.2 \text{ cm}^3/\text{C}$ ) 以下しかなく、実用上の問題となった。また、 $\text{ZnRh}_2\text{O}_4$ は移動度が低く、バンドギャップも狭いため、LEDやパワーデバイスに用いることができない問題があり、これらは必ずしも満足のいくものではなかった。

[0005] ワイドバンドギャップ半導体として、 $\text{Rh}_2\text{O}_3$ や $\text{ZnRh}_2\text{O}_4$ 等以外にも、p型の酸化物半導体が種々検討されている。特許文献3には、デラフォサイトやオキシカルコゲナイド等をp型半導体として用いることが記載されている。しかしながら、これらの半導体は、移動度が  $1 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  程度かまたはそれ以下であり、電気特性が悪く、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 等のn型の次世代酸化物半導体とのpn接合がうまくできない問題もあった。

[0006] なお、従来より、 $\text{Ir}_2\text{O}_3$ は知られている。例えば、特許文献4には、イリジウム触媒として $\text{Ir}_2\text{O}_3$ を用いることが記載されている。また、特許文献5には、 $\text{Ir}_2\text{O}_3$ を誘電体に用いることが記載されている。また、特許文献6には、電極に $\text{Ir}_2\text{O}_3$ を用いることが記載されている。しかしながら、 $\text{Ir}_2\text{O}_3$ をp型半導体に用いることは知られていなかったが、最近、本出願人らにより、p型半導体として、 $\text{Ir}_2\text{O}_3$ を用いることが検討され、研究開発が進められている。

ところで、トランジスタ等のパワーデバイスにおいては、低いオン抵抗と高い耐圧とが求められるが、リーク電流等の電気特性においてなお課題があった。特に、バンドギャップ4.5 eV以上の酸化ガリウム ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) では、例えば、絶縁破壊電界強度が10程度あり、オン抵抗も低く、優れた半導体特性を有しているが、電気特性に課題があることにより、これら半導体特性を十分に発揮できないといった問題があった。具体的には、イオン注入

で生じやすくなる接合リーク電流が、酸化物半導体にとって電気特性に悪影響を与える問題等があり、そのため、このような電気特性等の問題を解決して、酸化ガリウム ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) 等の優れた半導体材料を効果的に用いた、高耐圧、低損失および高耐熱を実現できる半導体装置が待ち望まれていた。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0007] 特許文献1：特開2005-340308号公報

特許文献2：特開2013-58637号公報

特許文献3：特開2016-25256号公報

特許文献4：特開平9-25255号公報

特許文献5：特開平8-227793号公報

特許文献6：特開平11-21687号公報

### 非特許文献

[0008] 非特許文献1：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

非特許文献2：竹本達哉、EE Times Japan “パワー半導体 酸化ガリウム” 熱伝導率、P型……課題を克服して実用化へ、[online]、2014年2月27日、アイティメディア株式会社、[平成28年6月21日検索]、インターネット〈URL：[http://eetimes.jp/ee/articles/1402/27/news028\\_2.html](http://eetimes.jp/ee/articles/1402/27/news028_2.html)〉

非特許文献3：F.P.KOFFYBERG et al., "optical bandgaps and electron affinities of semiconducting  $\text{Rh}_2\text{O}_3(\text{I})$  and  $\text{Rh}_2\text{O}_3(\text{III})$ ", J. Phys. Chem. Solids Vol.53, No.10, pp.1285-1288, 1992

非特許文献4：細野秀雄、”酸化物半導体の機能開拓”、物性研究・電子版 Vol.3、No.1、031211 (2013年11月・2014年2月合併号)

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、パワーデバイス等として有用な半導体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

[0010] 本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意検討した結果、電流の流れる方向に沿って  $1.0 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  以上の高抵抗酸化物膜を配置すると、驚くべきことに、作製した半導体装置の電気特性が格段に向上することを見出し、さらに検討を重ね、高移動度の酸化ガリウム半導体のトランジスタの創製に成功し、得られたトランジスタが、上記した従来の問題を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、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。

[0011] すなわち、本発明は、以下の発明に関する。

[1] 結晶性酸化物半導体層を少なくとも有する半導体装置であって、前記結晶性酸化物半導体層のバンドギャップが  $4.5 \text{ eV}$  以上であり、電界効果移動度が  $10 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  以上であることを特徴とする半導体装置。

[2] 前記電界効果移動度が  $30 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  以上である前記 [1] 記載の半導体装置。

[3] 前記結晶性酸化物半導体層が、p型ドーパントを含む前記 [1] または [2] に記載の半導体装置。

[4] 前記結晶性酸化物半導体層に、さらに高抵抗酸化物膜が配置されており、前記高抵抗酸化物膜の抵抗が  $1.0 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  以上である前記 [1] ～ [3] のいずれかに記載の半導体装置。

[5] 前記高抵抗酸化物膜の抵抗が  $1.0 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$  以上である前記 [4] 記載の半導体装置。

[6] さらに、チャネル形成領域を含んでおり、前記チャネル形成領域下に、前記高抵抗酸化物膜が配置されている前記 [4] または [5] に記載の半導体装置。

[7] 前記高抵抗酸化物膜が電流ブロック層である前記 [4] ～ [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層がコランダム構造を有する前記 [ 1 ] ～ [ 7 ] のいずれかに記載の半導体装置。

[ 9 ] 前記結晶性酸化物半導体層が  $Ga_2O_3$  を含む、前記 [ 1 ] ～ [ 8 ] のいずれかに記載の半導体装置。

[ 1 0 ] 縦型デバイスである前記 [ 1 ] ～ [ 9 ] のいずれかに記載の半導体装置。

[ 1 1 ] パワーデバイスである、前記 [ 1 ] ～ [ 1 0 ] のいずれかに記載の半導体装置。

[ 1 2 ] MOSFET である前記 [ 1 ] ～ [ 1 1 ] のいずれかに記載の半導体装置。

[ 1 3 ] オン／オフ比が 1 0 0 0 以上である前記 [ 1 ] ～ [ 1 2 ] のいずれかに記載の半導体装置。

[ 1 4 ] ノーマリーオフである前記 [ 1 ] ～ [ 1 3 ] のいずれかに記載の半導体装置。

[ 1 5 ] 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 ] ～ [ 1 4 ] 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

[0012] 本発明の半導体装置は、パワーデバイス等として有用であり、半導体特性に優れている。

## 図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明において好適に用いられる成膜装置（ミストCVD装置）の概略構成図である。

[図2]実施例1のMOSFETを模式的に示す図であり、（a）がMOSFETの上面を模式的に示し、（b）が（a）のA－A'間の断面を模式的に示す。

[図3]本発明のMOSFETの好適な一態様を一例として模式的に示す図であり、（a）がMOSFETの上面を模式的に示し、（b）が（a）の断面を

模式的に示す。

[図4]本発明のM O S F E Tの好適な一態様を一例として模式的に示す図である。

[図5]本発明のM O S F E Tの好適な一態様を一例として模式的に示す図であり、(a)がM O S F E Tの上面を模式的に示し、(b)が(a)のB-B'間の断面を模式的に示す。

[図6]本発明のM O S F E Tの好適な一態様を一例として模式的に示す図である。

[図7]実施例におけるI V測定結果を示す図である。

[図8]電源システムの好適な一例を模式的に示す図である。

[図9]システム装置の好適な一例を模式的に示す図である。

[図10]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。

## 発明を実施するための形態

[0014] 本発明の実施態様における半導体装置は結晶性酸化物半導体層を含み、前記結晶性酸化物半導体層のバンドギャップが4.5 eV以上であり、電界効果移動度が $10 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 以上であることを特長とする。本発明の実施態様においては、前記結晶性酸化物半導体層のバンドギャップが5 eV以上であるのが好ましい。また、前記結晶性酸化物半導体層がコランダム構造を有するのが好ましく、酸化物半導体膜からなるのも好ましい。前記酸化物半導体膜は、酸化ガリウム( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )またはその混晶を主成分として含む酸化物半導体膜であるのが好ましい。また、本発明の実施態様においては、前記電界効果移動度が $30 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 以上であるのが好ましく、 $60 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 以上であるのがより好ましい。このような好ましい半導体装置は、前記結晶性酸化物半導体層に、抵抗が $1.0 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上である高抵抗酸化物膜を、電流の流れる方向に沿って配置して成膜して前記半導体装置を作製することにより容易に得ることができる。なお、前記電界効果移動度は、通常、最大電界効果移動度を意味する。また、前記半導体装置が、少なくともゲート電極、ソース電極およびドレイン電極を含む場合には、 $1.0 \times$

$10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗酸化物膜を前記ソース電極と前記ドレイン電極との間に成膜して前記半導体装置を作製することにより容易に得ることができる。また、前記半導体装置が、基板上に、直接または他の層を介して少なくともゲート電極、ソース電極およびドレイン電極および高抵抗酸化物膜がそれぞれ形成されている半導体装置である場合には、 $1.0 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗酸化物膜を前記ソース電極または／および前記ドレイン電極と前記基板との間に成膜して前記半導体装置を作製することにより容易に得ることができる。

[0015] 前記高抵抗酸化物膜は、 $1.0 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の抵抗を有する酸化物膜であれば特に限定されないが、本発明の実施態様においては、前記高抵抗酸化物膜の抵抗が $1.0 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるのが好ましく、前記高抵抗酸化物膜の抵抗が $1.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるのがより好ましい。なお、ここで、高抵抗酸化物膜の抵抗は、高抵抗酸化物膜の電気抵抗率 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ] を意味する。前記抵抗は、前記高抵抗酸化物膜に測定用の電極を形成して電流を流すことにより測定することができる。前記抵抗の上限は特に限定されないが、好ましくは $1.0 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ であり、より好ましくは $1.0 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ である。また、本発明の実施態様においては、前記高抵抗酸化物膜が、電流ブロック層であるのが好ましい。前記高抵抗酸化物膜を電流ブロック層として用いることにより、より優れた電気特性を奏することができる。

[0016] 前記高抵抗酸化物膜の構成材料は、特に限定されないが、本発明の実施態様においては、結晶膜であるのが好ましい。前記結晶膜は、多結晶膜であってもよいし、単結晶膜であってもよい。前記結晶膜の結晶構造も特に限定されないが、本発明の実施態様においては、コランダム構造を有するのが好ましい。また、前記前記高抵抗酸化物膜の構成材料が、ガリウムを含むのも好ましく、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ を含むのがより好ましい。また、本発明の実施態様においては、前記高抵抗酸化物膜がp型ドーパントを含むのが好ましい。また、本発明によれば、前記半導体装置が、さらに、チャネル形成領域を含んでおり

、前記チャネル形成領域下に、前記高抵抗酸化物膜が配置されているのが好ましい。これら好ましい範囲によれば、 $10\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 以上（より好ましくは $30\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 以上）の高い電界効果移動度を容易に実現することができる。なお、前記電界効果移動度は、通常、最大電界効果移動度を意味し、前記半導体装置に対応する出力電流データを用いて計算される、トランジスタ等の半導体装置の電界効果移動度を指す。また、上記好ましい範囲によれば、 $1000$ 以上（より好ましくは $100000$ 以上）のオン／オフ比を容易に実現することができる。なお、「オン／オフ比」とは、前記半導体装置のオフ電流に対するオン電流の比をいう。前記オフ電流は、例えば前記半導体装置がソース電極とドレイン電極とを少なくとも備えている場合には、前記半導体装置がオフしているときの前記ソース電極と前記ドレイン電極との間に流れる電流をいい、前記オン電流は、前記半導体装置がオンしているときに前記ソース電極と前記ドレイン電極との間に流れる電流をいう。

[0017] 前記高抵抗酸化物膜は、酸化ガリウム ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) またはその混晶を主成分として含む酸化物半導体膜であるのが好ましい。前記結晶性酸化物半導体層または前記高抵抗酸化物膜における前記酸化物半導体膜は、p型半導体膜であってもよいし、n型半導体膜であってもよい。前記酸化ガリウムとしては、例えば、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\varepsilon\text{-Ga}_2\text{O}_3$ などが挙げられるが、中でも $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ が好ましい。また、前記の酸化ガリウムの混晶としては、前記酸化ガリウムと、1種または2種以上の金属酸化物との混晶が挙げられ、前記金属酸化物の好適な例としては、例えば、酸化アルミニウム、酸化インジウム、酸化イリジウム、酸化ロジウム、酸化鉄などが挙げられる。なお、「主成分」とは、例えば酸化物半導体膜が $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を主成分として含む場合、前記酸化物半導体膜の金属元素中のガリウムの原子比が0.5以上の割合で $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ が含まれていればそれでよい。本発明の実施態様においては、前記酸化物半導体膜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、例えば酸化物半導体膜が $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ との混晶を主成分とし

て含む場合、前記酸化物半導体膜の金属元素中のガリウムとアルミニウムとの合計の原子比が0.5以上の割合で前記混晶が含まれていればそれでよいが、本発明の実施態様においては、さらに、前記酸化物半導体膜の金属元素中のガリウムの原子比が0.5以上であるのが好ましく、0.7以上であるのがより好ましい。

[0018] また、前記高抵抗酸化物膜の膜厚は、特に限定されず、1  $\mu\text{m}$ 以下であってもよいし、1  $\mu\text{m}$ 以上であってもよいが、本発明の実施態様においては、1  $\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましく、1  $\mu\text{m}$ ～40  $\mu\text{m}$ であるのがより好ましく、1  $\mu\text{m}$ ～25  $\mu\text{m}$ であるのが最も好ましい。前記半導体膜の表面積は特に限定されないが、1  $\text{mm}^2$ 以上であってもよいし、1  $\text{mm}^2$ 以下であってもよい。なお、前記高抵抗酸化物膜は、単層膜であってもよいし、多層膜であってもよい。

[0019] 前記高抵抗酸化物膜は、ドーパントが含まれている酸化物半導体膜であるのが好ましい。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、Mg、ZnまたはCa等のp型ドーパントなどが挙げられる。ドーパントの含有量は、前記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、0.0001原子%～20原子%であるのが最も好ましい。

[0020] なお、前記p型ドーパントは、前記酸化物半導体膜をp型半導体膜として導電性を付与できるものであれば特に限定されず、公知のものであってよい。前記p型ドーパントとしては、例えば、Mg、H、Li、Na、K、Rb、Cs、Fr、Be、Ca、Sr、Ba、Ra、Mn、Fe、Co、Ni、Pd、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、Tl、Pb、N、P等及びこれらの2種以上の元素などが挙げられるが、本発明の実施態様においては、前記p型ドーパントが、Mg、ZnまたはCaであるのが好ましい。

[0021] 前記高抵抗酸化物膜は、従来のイオン注入で形成されている高抵抗酸化物層とは異なり、通常、エピタキシャル結晶成長方法を用いて成膜することに

より得られるが、形成方法等は特に限定されない。前記エピタキシャル結晶成長方法は、本発明の目的を阻害しない限り、特に限定されず、公知の方法であってよい。前記エピタキシャル結晶成長方法としては、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法またはパルス成長法などが挙げられる。本発明の実施態様においては、前記エピタキシャル結晶成長方法が、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。

[0022] 本発明の実施態様においては、前記成膜を、金属を含む原料溶液を霧化し（霧化工程）、得られた霧化液滴をキャリアガスでもって前記基体近傍まで搬送し（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）により行うのが好ましい。

[0023] （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）、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）、ガリウム（Ga）、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、本発明の実施態様においては、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、アルミニウム、ロジウムまたはイリジウムを含むのがより好ましく、少なくともガリウム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により、半導

体装置等により好適に用いることができるエピタキシャル膜を成膜することができる。

[0024] 本発明の実施態様においては、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。

[0025] 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。本発明の実施態様においては、前記溶媒が水を含むのが好ましい。

[0026] 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（ $\text{H}_2\text{O}_2$ ）、過酸化ナトリウム（ $\text{Na}_2\text{O}_2$ ）、過酸化バリウム（ $\text{BaO}_2$ ）、過酸化ベンゾイル（ $\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}$ ） $_2\text{O}_2$ 等の過酸化物、次亜塩素酸（ $\text{HClO}$ ）、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。前記添加剤の配合割合は、特に限定されないが、好ましくは、原料溶液に対し、0.001体積%～50体積%であり、より好ましくは、0.01体積%～30体積%である。

[0027] 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、上記した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 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 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。

[0028] (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、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、 $0.0001 \text{ mol/L} \sim 20 \text{ mol/L}$  が好ましい。霧化方法は、前記原料溶液を霧化できさえすれば特に限定されず、公知の霧化方法であってよいが、本発明の実施態様においては、超音波振動を用いる霧化方法であるのが好ましい。本発明で用いられる霧化液滴（例えばミスト等）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、空間に浮遊して搬送することが可能な霧化液滴であるのがより好ましい。霧化液滴の液滴サイズは、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  $50 \mu\text{m}$  以下であり、より好ましくは  $1 \sim 10 \mu\text{m}$  である。

[0029] (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変化させた希釈ガス（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箇所以上であってもよい。キャリアガスの流量は、特に限定されないが、好ましくは  $0.01 \sim 20 \text{ LPM}$  であり、より好ましくは  $0.1 \sim 10 \text{ LPM}$  である。

[0030] (成膜工程)

成膜工程では、前記霧化液滴を反応させて、前記基体上に成膜する。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

、本発明の実施態様においては、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、 $850^{\circ}\text{C}$ 以下がより好ましく、 $650^{\circ}\text{C}$ 以下が最も好ましい。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、本発明の実施態様においては、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、設定することができる。

[0031] (基体)

前記基体は、前記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、本発明の実施態様においては、基板が好ましい。基板の厚さは、本発明の実施態様においては特に限定されない。

[0032] 前記基板は、板状であって、前記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。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 $\beta$ -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。

[0033] 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、 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ （サファイア基板）または $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 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、 $\alpha$ 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。 $\beta$ -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 $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 基板、又は $\text{Ga}_2\text{O}_3$ と $\text{Al}_2\text{O}_3$ とを含み $\text{Al}_2\text{O}_3$ 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。

[0034] 本発明の実施態様においては、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。

[0035] また、本発明の実施態様においては、前記基体上に、直接、前記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前記半導体膜を設けてもよい。各層の形成方法は、特に限定されず、公知の方法であってよいが、本発明の実施態様においては、ミストCVD法またはミスト・エピタキシー法が好ましい。

[0036] 以下、図面を用いて、前記ミストCVD法またはミスト・エピタキシー法

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 22 a と、キャリアガス源 22 a 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 23 a と、キャリアガス（希釈）を供給するキャリアガス（希釈）源 22 b と、キャリアガス（希釈）源 22 b 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 23 b と、原料溶液 24 a が収容されるミスト発生源 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、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。

[0037] そして、図 1 に示すとおり、原料溶液 24 a 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（23 a、23 b）を開いてキャリアガス源 22（22 a、22 b）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 25 a を通じて原料溶液 24 a に伝播させることによって、原料溶液 24 a を微粒子化させて霧化液滴 24 b を生成する。この霧化液滴 24 b 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 24 b が熱反応して、基板 20 上に膜が形成する。

[0038] 本発明の実施態様においては、前記成膜工程にて得られた膜を、そのまま半導体装置に用いてもよいし、前記基体等から剥離する等の公知の方法を用いた後に半導体装置に用いてもよい。

前記半導体装置は、半導体層および基板を備え、前記半導体層と前記基板との間に前記高抵抗酸化膜が配置されているのが好ましい。このような好

ましい半導体装置によれば、より電気特性に優れた横型の半導体装置を得ることができ、パワーデバイスとしてより好適に用いることができる。

また、前記半導体装置は、前記高抵抗酸化物膜が開口部を有しており、縦型デバイスであるのも好ましく、このような好ましい半導体装置によれば、高耐圧かつ大電流化を実現し得る、より電気特性に優れた横型の半導体装置を得ることができ、パワーデバイスとしてより好適に用いることができる。

[0039] 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、トランジスタなどが挙げられるが、中でもMOSFETが好ましい。また、前記半導体装置はノーマリーオフであるのが好ましい。

[0040] 前記トランジスタとしては、例えば、高抵抗酸化物膜、ゲート絶縁膜、ゲート電極、ソース電極およびドレイン電極を少なくとも含む半導体装置などが挙げられる。本発明の実施態様においては、前記高抵抗酸化物膜が、半導体層として用いられてもよい。また、前記半導体装置は、チャネル形成領域を含むのが好ましく、反転チャネル形成領域を含むのがより好ましい。

[0041] 前記反転チャネル形成領域は、通常、異なるタイプの導電性を示す半導体領域の間に設けられる。例えば、前記反転チャネル形成領域が、p型半導体層内に設けられる場合には、通常、n型半導体からなる半導体領域の間のp型半導体層内に設けられ、また、前記反転チャネル形成領域が、n型半導体層内に設けられる場合には、通常、p型半導体からなる半導体領域の間のn型半導体層内に設けられる。なお、各半導体領域の形成方法は、前記の高抵抗酸化物膜の形成方法と同様であってよい。

[0042] また、本発明の実施態様においては、前記反転チャネル形成領域上に、周期律表第15族の少なくとも1種の元素を含む酸化膜が積層されているのが好ましい。前記元素としては、例えば、窒素(N)、リン(P)などが挙げられるが、本発明の実施態様においては、窒素(N)またはリン(P)が好ましく、リン(P)がより好ましい。例えば、ゲート絶縁膜と前記反転チャネル形成領域との間に、リンを少なくとも含む酸化膜を前記反転チャネル形

成領域上に積層することにより、水素の酸化物半導体膜への拡散を防止することができ、さらに界面準位を下げることもできるので、半導体装置、とりわけワイドバンドギャップ半導体の半導体装置に対し、より優れた半導体特性を与えることができる。なお、本発明の実施態様においては、前記酸化膜が、周期律表第15族の少なくとも1種の前記元素および周期律表第13族の1種または2種以上の金属を少なくとも含むのがより好ましい。前記金属としては、例えば、アルミニウム（Al）、ガリウム（Ga）、インジウム（In）などが挙げられるが、中でも、Gaおよび／またはAlが好ましく、Gaがより好ましい。また、前記酸化膜は、薄膜であるのが好ましく、膜厚100nm以下であるのがより好ましく、膜厚50nm以下であるのが最も好ましい。このような酸化膜を積層することにより、ゲートリークをより効果的に抑制することができ、半導体特性をより優れたものにすることができる。前記酸化膜の形成方法としては、例えば公知の方法などが挙げられ、より具体的には例えば、ドライ法やウェット法などが挙げられるが、リン酸等による前記反転チャネル領域上への表面処理であるのが好ましい。

[0043] また、本発明の実施態様においては、前記反転チャネル形成領域上に、ゲート絶縁膜を介して、ゲート電極が設けられているのが好ましいが、前記反転チャネル形成領域および前記酸化膜上に、ゲート絶縁膜を介して、ゲート電極が設けられているのも好ましく、このように構成することにより、水素の拡散防止等が容易となり、より良好な半導体特性を実現することができる。

[0044] 前記ゲート絶縁膜は本発明の目的を阻害しない限り特に限定されず、公知の絶縁膜であってよい。前記ゲート絶縁膜としては、例えば、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{GaO}$ 、 $\text{AlGaO}$ 、 $\text{InAlGaO}$ 、 $\text{AlInZnGaO}_4$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Hf}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiN}$ 、 $\text{SiON}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{GdO}$ 、リンを少なくとも含む酸化膜等の酸化膜が好適な例として挙げられる。前記ゲート絶縁膜の形成方法は、公知の方法であってよく、このような公知の形成方法としては、例えば、ドライ法やウェット法などが挙げられる。ドライ法としては、

例えば、スパッタ、真空蒸着、CVD、PLD等の公知の方法が挙げられる。ウェット法としては、例えば、スクリーン印刷やダイコート等の塗布方法が挙げられる。

[0045] 前記ゲート電極は、公知のゲート電極であってよく、かかる電極材料も導電性無機材料であってもよいし、導電性有機材料であってもよい。本発明の実施態様においては、前記電極材料が金属であるのが好ましい。前記金属としては、特に限定されないが、好適には例えば、周期律表第4族～第11族から選ばれる少なくとも1種の金属などが挙げられる。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)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)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、本発明の実施態様においては、よりスイッチング特性等の半導体特性がより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。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。前記ゲート電極の形成方法としては、例えば公知の方法などが挙げられ、より具体的には例えば、ドライ法やウェット法などが挙げられる。ドライ法としては、例えば、スパッタ、真空蒸着、CVD等の公知の方法が挙げられる。ウェット法としては、例えば、スクリーン印刷やダイコート等が挙げられる。

[0046] なお、本発明の実施態様においては、ゲート電極だけでなく、通常、ソース電極およびドレイン電極を備えるが、前記ソース電極およびドレイン電極はいずれも、前記ゲート電極と同様に、それぞれ公知の電極であってよく、電極形成方法もそれぞれ公知の方法であってよい。

[0047] 以下、本発明において好ましい実施態様を、図面を用いてより具体的に説明するが、本発明は、これらに限定されるものではない。

[0048] (M O S F E T)

本発明の半導体装置の具体的な一例としては、例えば図2に示すM O S F E Tなどが挙げられる。図2のM O S F E Tは、横型のM O S F E Tであり、 $n +$ 型半導体層 ( $n +$ 型ソース層) 1 b、 $n +$ 型半導体層 ( $n +$ 型ドレイン層) 1 c、 $p$ 型半導体層としての高抵抗酸化物膜2、ゲート絶縁膜4 a、ゲート電極5 a、ソース電極5 b、ドレイン電極5 cおよび基板9を備えている。なお、図2 (a) はM O S F E Tを天頂方向から見た上面図となっており、M O S F E Tの上面を模式的に示している。また、図2 (b) は図2 (a) のA - A' 間のM O S F E Tの断面を模式的に示している。

[0049] 図2のM O S F E Tのオン状態では、前記ソース電極5 bと前記ドレイン電極5 cとの間に電圧を印加し、前記ゲート電極5 aに前記ソース電極1 3 5 bに対して正の電圧を与えると、 $n +$ 型半導体層 ( $n +$ 型ソース層) 1 bと $n +$ 型半導体層 ( $n +$ 型ドレイン層) 1 cとの間においてチャネル層が形成され、ターンオンする。オフ状態は、前記ゲート電極の電圧を0 Vにすることにより、チャネル層ができなくなり、ターンオフとなる。

[0050] 本発明の半導体装置の一例として、M O S F E Tの一態様を図3に示す。なお、図3 (a) はM O S F E Tを天頂方向から見た上面図となっており、M O S F E Tの上面を模式的に示している。また、図3 (b) は図3 (a) のM O S F E Tの断面を模式的に示している。図3のM O S F E Tは、横型のM O S F E Tであり、 $n +$ 型半導体層1、 $n -$ 型半導体層3、 $n +$ 型半導体層 ( $n +$ 型ソース層) 1 b、 $n +$ 型半導体層 ( $n +$ 型ドレイン層) 1 c、高抵抗酸化物膜2、ゲート絶縁膜4 a、ゲート電極5 a、ソース電極5 b、

ドレイン電極 5 c および基板 9 を備えている。図 3 の MOSFET のオン状態では、前記ソース電極 5 b と前記ドレイン電極 5 c との間に電圧を印加し、前記ゲート電極 5 a に前記ソース電極 1 3 5 b に対して正の電圧を与えると、n + 型半導体層（n + 型ソース層）1 b と n + 型半導体層（n + 型ドレイン層）1 c との間においてチャネル層が形成され、ターンオンする。なお、電流は、高抵抗酸化物膜 3 によって、リーク電流等を抑制するように誘導されていく。また、オフ状態は、前記ゲート電極の電圧を 0 V にすることにより、チャネル層ができなくなり、ターンオフとなる。

[0051] 本発明の半導体装置の一例として、MOSFET の一態様を図 4 に示す。図 4 の MOSFET は、横型の MOSFET であり、n + 型半導体層 1、n - 型半導体層 3、n + 型半導体層（n + 型ソース層）1 b、n + 型半導体層（n + 型ドレイン層）1 c、高抵抗酸化物膜 2、ゲート絶縁膜 4 a、ゲート電極 5 a、ソース電極 5 b、ドレイン電極 5 c および基板 9 を備えている。図 4 の MOSFET は、図 3 の MOSFET に比べ、n + 型半導体層（n + 型ドレイン層）1 c がメサ状となっており、段差構造を有している。n + 型半導体層（n + 型ドレイン層）1 c は、ゲート電極側が低くなっており、ドレイン電極側が高くなっている。このように構成することにより、より高耐圧の半導体装置を実現することが可能となる。

[0052] 本発明の半導体装置の一例として、MOSFET の一態様を図 5 に示す。なお、図 5（a）は MOSFET を天頂方向から見た上面図となっており、MOSFET の上面を模式的に示している。また、図 5（b）は図 5（a）の B - B' 間の MOSFET の断面を模式的に示している。図 5 の MOSFET は、縦型の MOSFET であり、より高耐圧大電流化を実現し得る半導体装置となっている。また、図 5 の MOSFET は、n + 型半導体層（n + 型ソース層）1 b、n + 型半導体層（n + 型ドレイン層）1 c、高抵抗酸化物膜 2、n - 型半導体層 3、ゲート絶縁膜 4 a、ゲート電極 5 a、ソース電極 5 b、ドレイン電極 5 c および基板 9 を備えている。高抵抗酸化物膜 2 は、ゲート電極下方において開口部を有している。前記開口部は、ゲート電極

より幅を広くすると、オン抵抗をより下げることができ、また、ゲート電極より幅を狭くすると、耐圧をより向上させることができる。前記開口部は、公知の方法を用いて、エッチング等を行うことにより形成することができる。本発明の実施態様においては、例えば、前記高抵抗酸化物膜を形成したのちに、エッチング等により、開口部を作成してもよいし、 $n$ -型半導体層を形成した後、開口部となる場所にマスクを用いて、高抵抗酸化物膜を成膜し、ついで、前記マスクを除去することにより形成してもよい。後者の方法により形成された開口部を有する高抵抗酸化物膜の例を図6に示す。図6のMOSFETは、図5のMOSFETとは、開口部の位置がゲート電極側の $n$ -型半導体層内に設けられている場合の例を示す。本発明の実施態様においては、図5のMOSFETおよび図6のMOSFETのいずれのMOSFETも好適に用いることができる。

[0053] 本発明の半導体装置は、上記した事項に加え、さらに公知の方法を用いて、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、公知の方法を用いて、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8に電源システムの例を示す。図8は、複数の前記電源装置171、172と制御回路173を用いて構成されている電源システム170を示す。前記電源システム170は、図9に示すように、電子回路181と電源システム182（すなわち図8の電源システム170）とを組み合わせでシステム装置180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10に示す。図10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192（MOSFET：A～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193で絶縁及び変圧を実施し、整流MOSFET（A～B'）で整流後、DCL195（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197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196でインバータ192及び整流MOSFET194を制御する。

## 実施例

[0054] (実施例1) 図2に示されるMOSFETの作製

1. p型半導体層（高抵抗酸化物膜）の形成

1-1. 成膜装置

図1の成膜装置19を用いた。

[0055] 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20%含有させ、さらにMgを10体積%の割合で加え、これを原料溶液とした。

[0056] 1-3. 成膜準備

上記1-2. 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、サファイア基板をサセプタ21上に設置し、ヒーター28を作動させて成膜室30内の温度を520℃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源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1LPMに、キャリアガス（希釈）の流量を1LPM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。

[0057] 1-4. 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30内に導入され、大気圧下、520℃にて、成膜室30内でミストが反応して、基板20上にp型半導体層（高抵抗酸化物膜）が形成された。なお、膜厚は0.6μmであり、成膜時間は15分間であった。

[0058] 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 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ であった。

[0059] 2.  $n +$ 型半導体領域の形成

0. 1 M臭化ガリウム水溶液に体積比で臭化水素酸 10%および臭化スズ 8%をそれぞれ含有させ、これを原料溶液としたこと、ならびに成膜温度を 580℃および成膜時間を 5 分間としたこと以外、上記 1. と同様にして、上記 1. で得られた  $p$  型半導体層上に  $n +$  型半導体膜を成膜した。得られた膜につき、XRD 回折装置を用いて、膜の相の同定を行ったところ、得られた結晶性酸化物半導体膜は $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ であり、バンドギャップが 5 eV 以上であった。

[0060] 3. ゲート絶縁膜および各電極の形成

ゲート部に対応する領域（1 b と 1 c との間）の  $n +$  型半導体層をリン酸でエッチングし、さらに、 $p$  型半導体層上にリンを少なくとも含む酸化膜が形成されるようにリン酸で処理した後、TEOS を用いてゲート絶縁膜として  $\text{SiO}_2$  を成膜した。なお、高抵抗酸化物膜の抵抗は、高抵抗酸化物膜に測定用の電極を形成して電流を流して測定したところ、 $1.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  以上であった。また、フォトリソグラフィ、エッチング処理、電子ビーム蒸着処理等に付し、図 2 に示すとおり、MOSFET を作製した。なお、電極にはいずれも Ti を用いた。

[0061] （評価）

得られた MOSFET につき、 $I\text{-}V$  測定を実施した。 $I\text{-}V$  測定結果を図 7 に示す。図 7 から明らかなとおり、反転チャネル領域が形成され、高移動度の酸化ガリウム半導体の MOSFET の創製に成功し、トランジスタとして良好に動作することも実証した。なお、図 7 より  $I_d\text{-}V_g$  特性（ $V_d = 10\text{ V}$ ）を評価したところ、電界効果移動度（ $V_g$  が 20 V の時）は、それぞれ  $62.52\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 、 $116.9\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  および  $54.55\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  であり、また、電界効果移動度（ $V_g$  が 14 V の時）が、 $102.5\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 、 $131.6\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  および  $36.85\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  であった。また、得られた  $I\text{-}V$  特性から求められたゲート電圧閾値電圧は

、7 V以上であった。また、オン／オフ比は、1 0 0 0 0 0 0 0であった。

## 産業上の利用可能性

[0062] 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

- [0063]
- 1      n＋型半導体層
  - 1 b    n＋型半導体層（n＋型ソース層）
  - 1 c    n＋型半導体層（n＋型ドレイン層）
  - 2      高抵抗酸化物膜
  - 3      n－型半導体層
  - 4 a    ゲート絶縁膜
  - 5 a    ゲート電極
  - 5 b    ソース電極
  - 5 c    ドレイン電極
  - 9      基板
  - 1 9    ミストCVD装置
  - 2 0    基板
  - 2 1    サセプタ
  - 2 2 a   キャリアガス供給源
  - 2 2 b   キャリアガス（希釈）供給源
  - 2 3 a   流量調節弁
  - 2 3 b   流量調節弁
  - 2 4    ミスト発生源
  - 2 4 a   原料溶液
  - 2 5    容器
  - 2 5 a   水
  - 2 6    超音波振動子

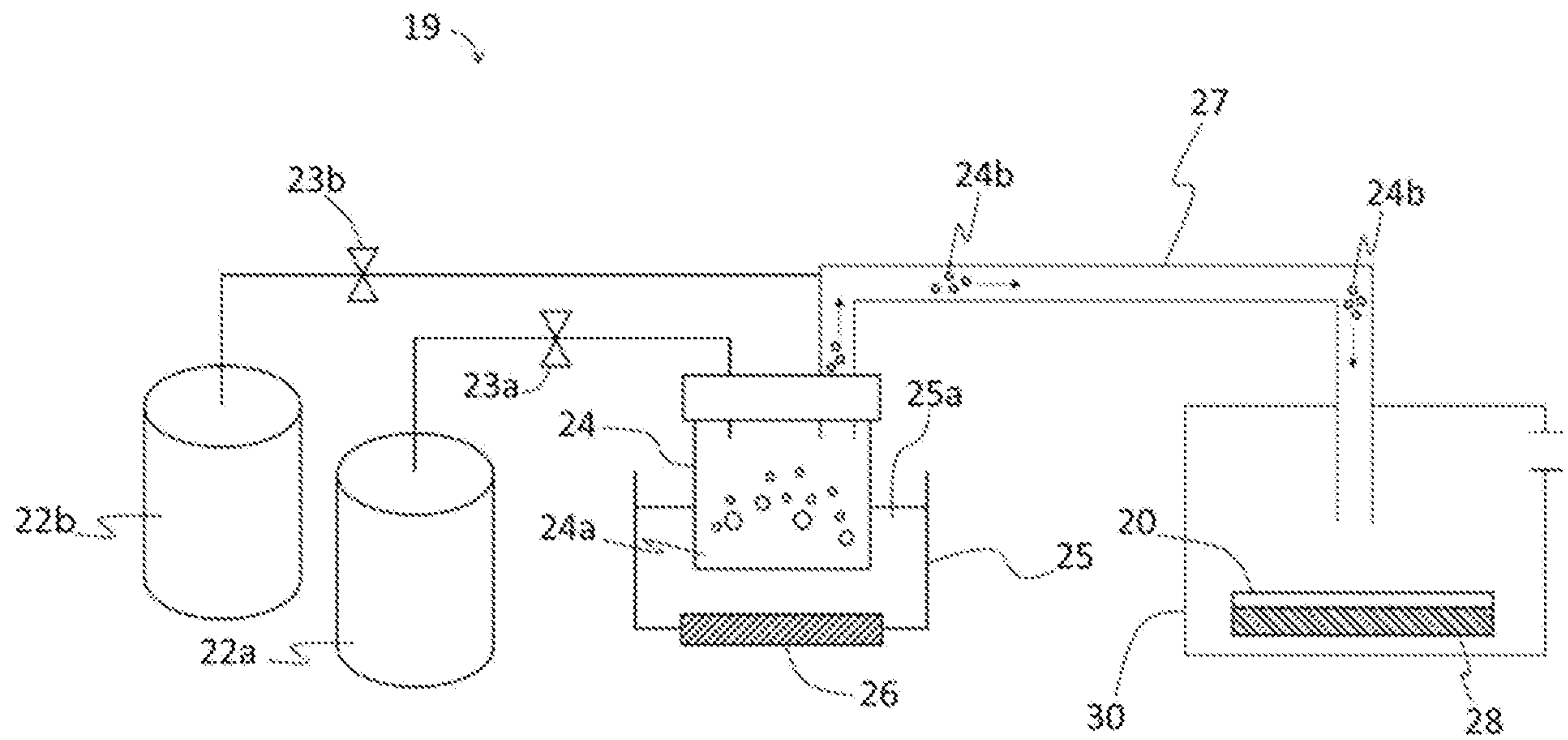
|       |               |
|-------|---------------|
| 2 7   | 供給管           |
| 2 8   | ヒーター          |
| 2 9   | 排気口           |
| 1 7 0 | 電源システム        |
| 1 7 1 | 電源装置          |
| 1 7 2 | 電源装置          |
| 1 7 3 | 制御回路          |
| 1 8 0 | システム装置        |
| 1 8 1 | 電子回路          |
| 1 8 2 | 電源システム        |
| 1 9 2 | インバータ         |
| 1 9 3 | トランス          |
| 1 9 4 | 整流M O S F E T |
| 1 9 5 | D C L         |
| 1 9 6 | P W M制御回路     |
| 1 9 7 | 電圧比較器         |

## 請求の範囲

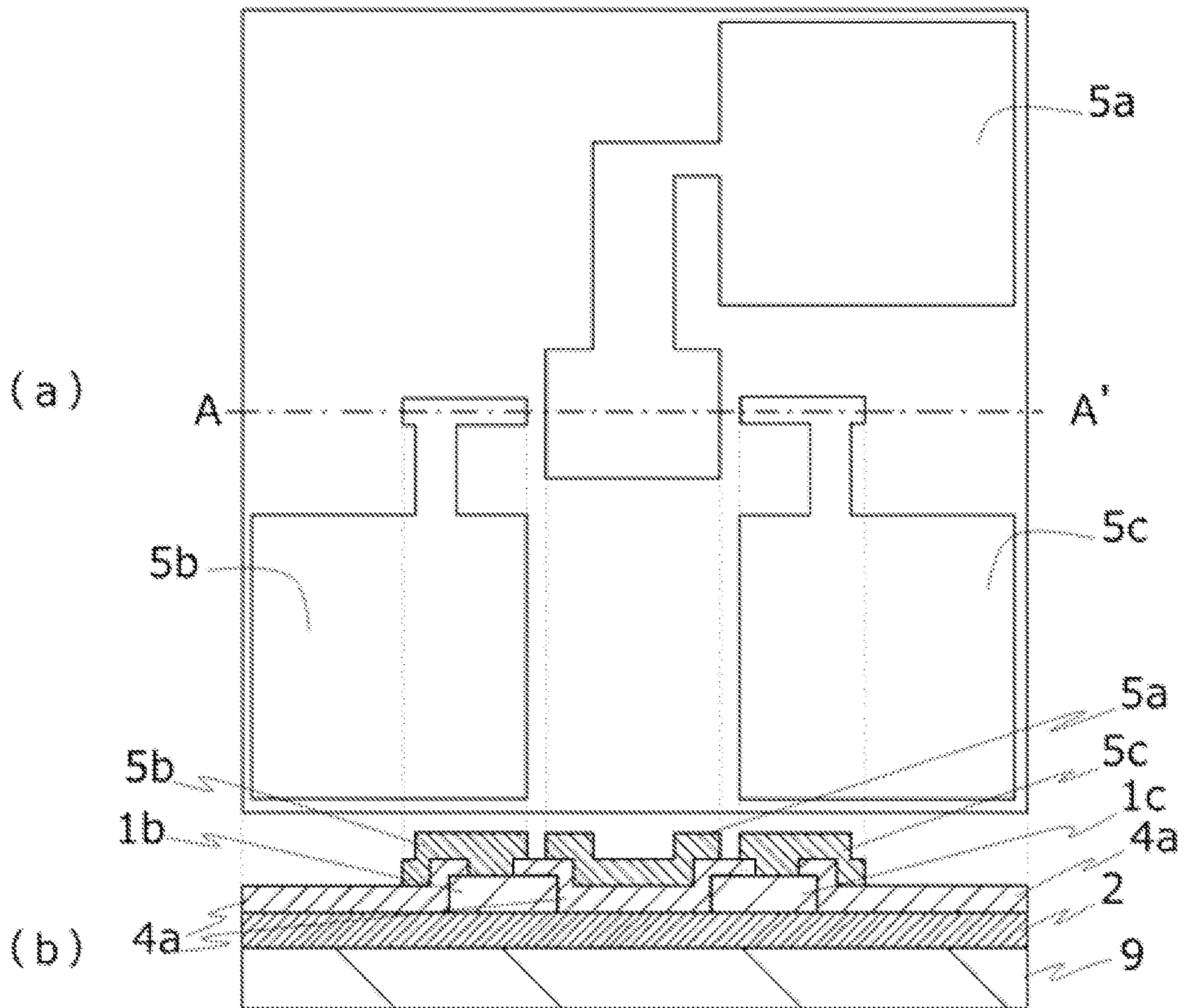
- [請求項1] 結晶性酸化物半導体層を少なくとも有する半導体装置であって、前記結晶性酸化物半導体層のバンドギャップが $4.5\text{ eV}$ 以上であり、電界効果移動度が $10\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 以上であることを特徴とする半導体装置。
- [請求項2] 前記電界効果移動度が $30\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 以上である請求項1記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記結晶性酸化物半導体層が、 $\text{p}$ 型ドーパントを含む請求項1または2に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記結晶性酸化物半導体層に、さらに高抵抗酸化物膜が配置されており、前記高抵抗酸化物膜の抵抗が $1.0\times 10^6\Omega\cdot\text{cm}$ 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] 前記高抵抗酸化物膜の抵抗が $1.0\times 10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上である請求項4記載の半導体装置。
- [請求項6] さらに、チャネル形成領域を含んでおり、前記チャネル形成領域下に、前記高抵抗酸化物膜が配置されている請求項4または5に記載の半導体装置。
- [請求項7] 前記高抵抗酸化物膜が電流ブロック層である請求項4～6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層がコランダム構造を有する請求項1～7のいずれかに記載の半導体装置。
- [請求項9] 前記結晶性酸化物半導体層が $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 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] 縦型デバイスである請求項1～9のいずれかに記載の半導体装置。
- [請求項11] パワーデバイスである、請求項1～10のいずれかに記載の半導体装置。
- [請求項12] MOSFET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]        オン／オフ比が1000以上である請求項1～12のいずれかに記載の半導体装置。
- [請求項14]        ノーマリーオフである請求項1～13のいずれかに記載の半導体装置。
- [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1～14のいずれかに記載の半導体装置である半導体システム。

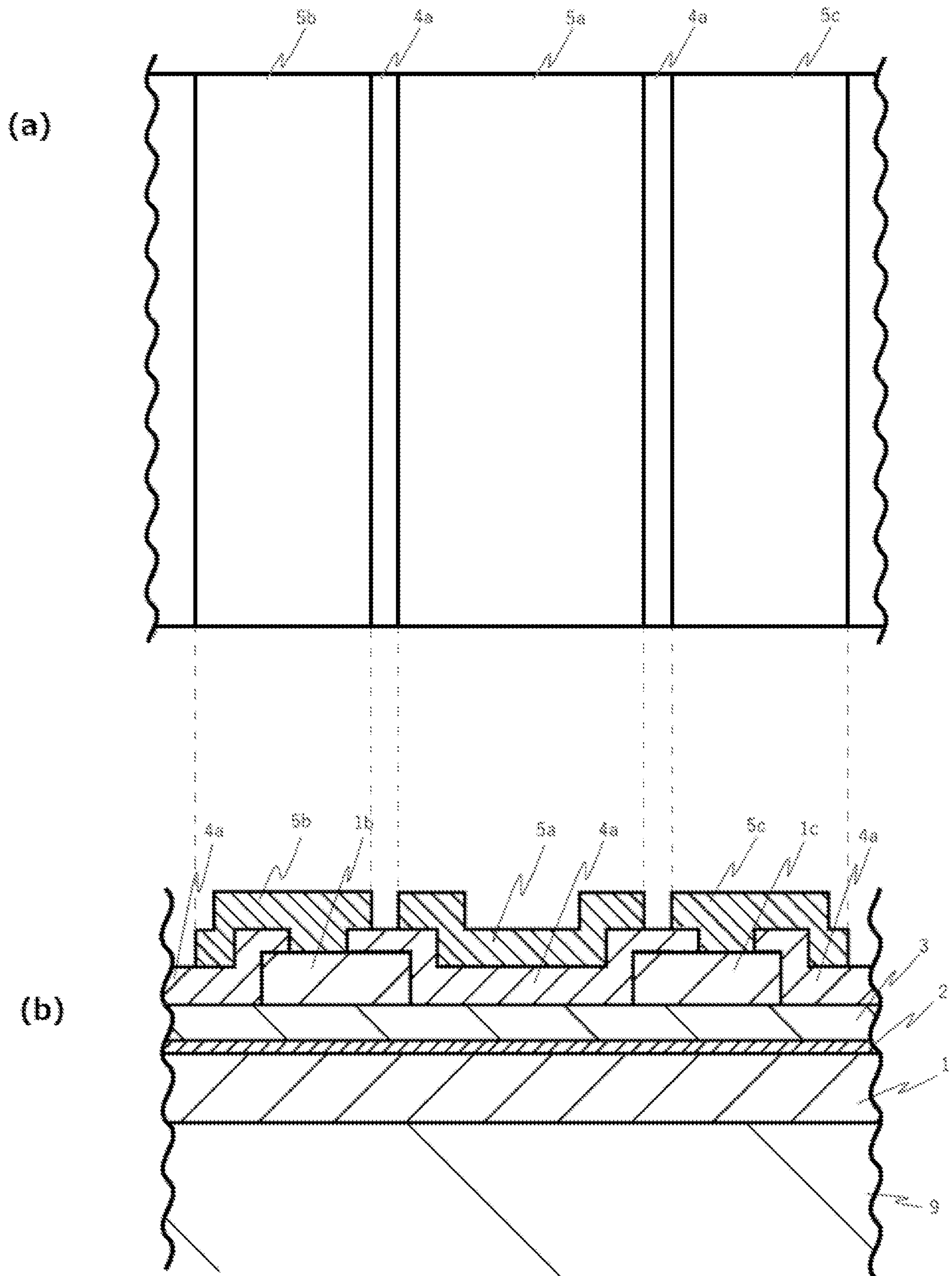
[図1]



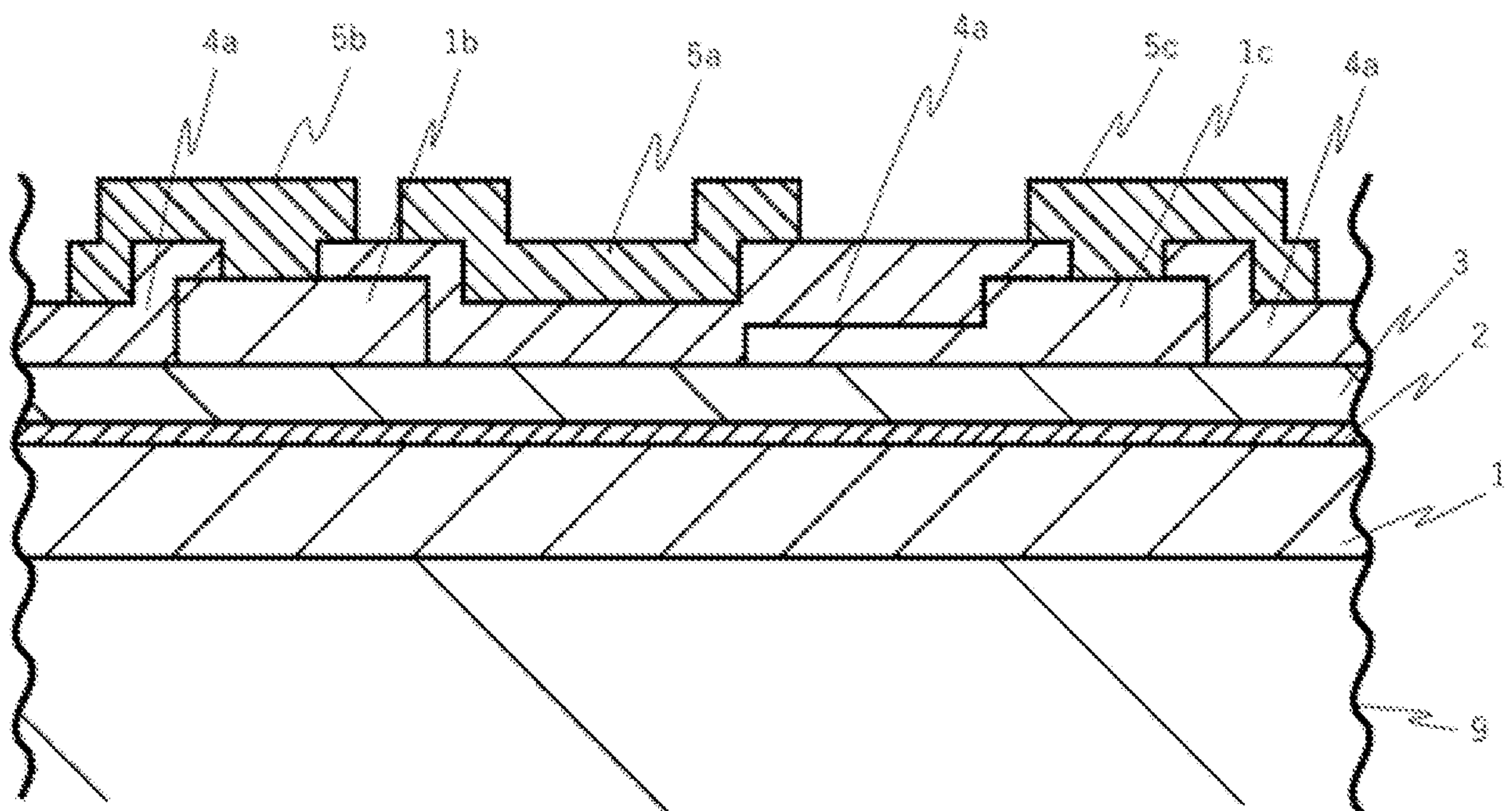
[図2]



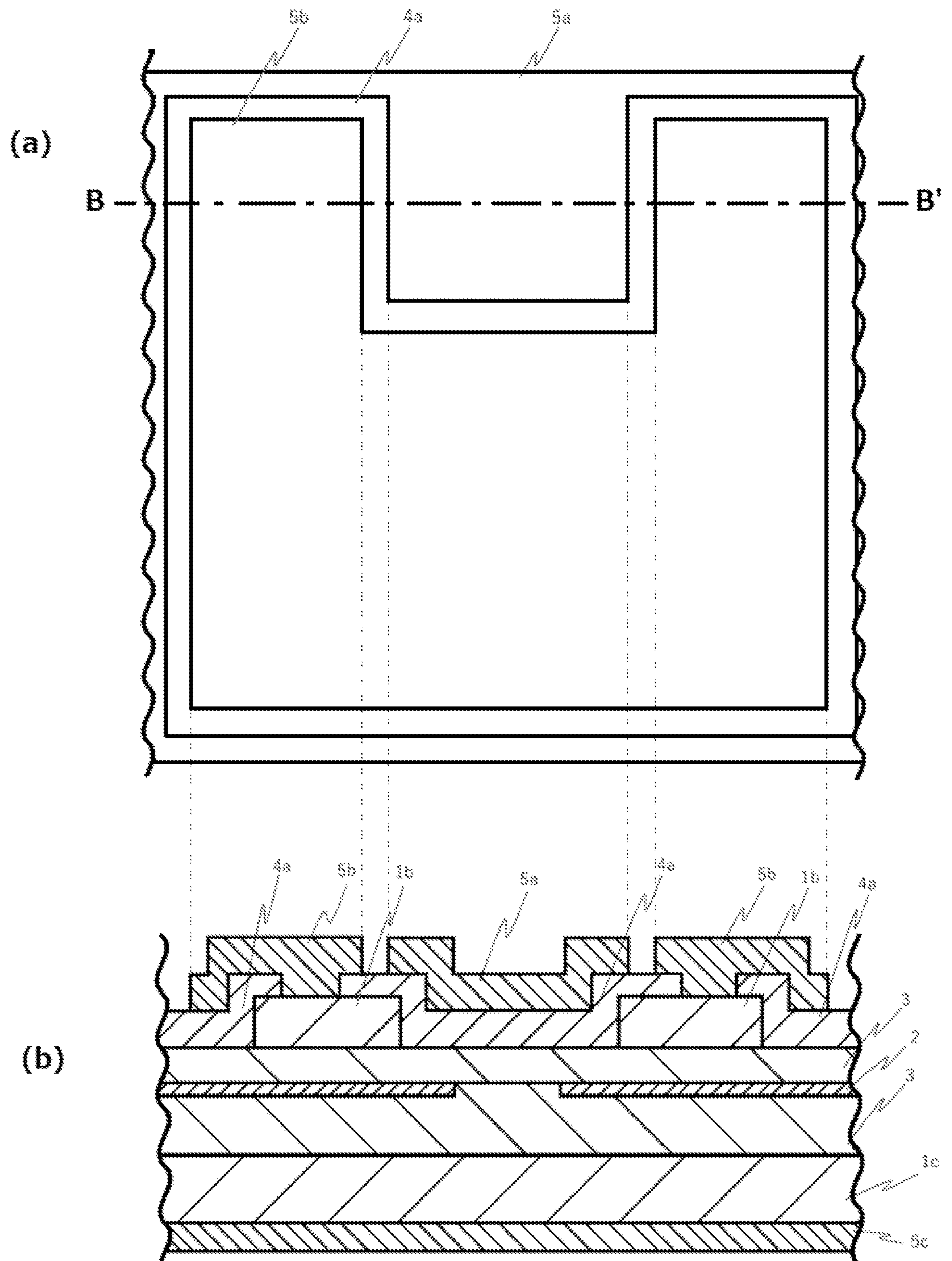
[図3]



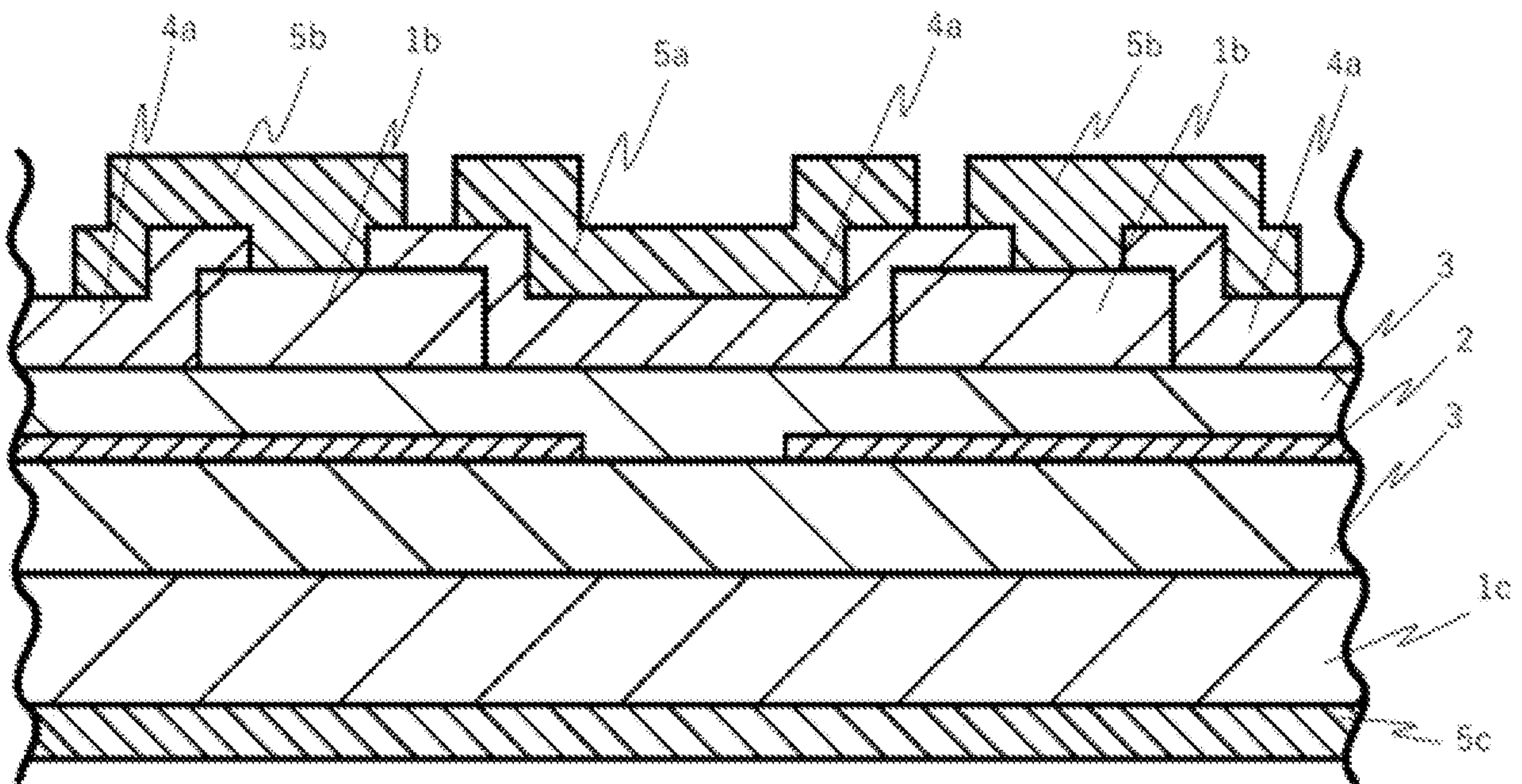
[図4]



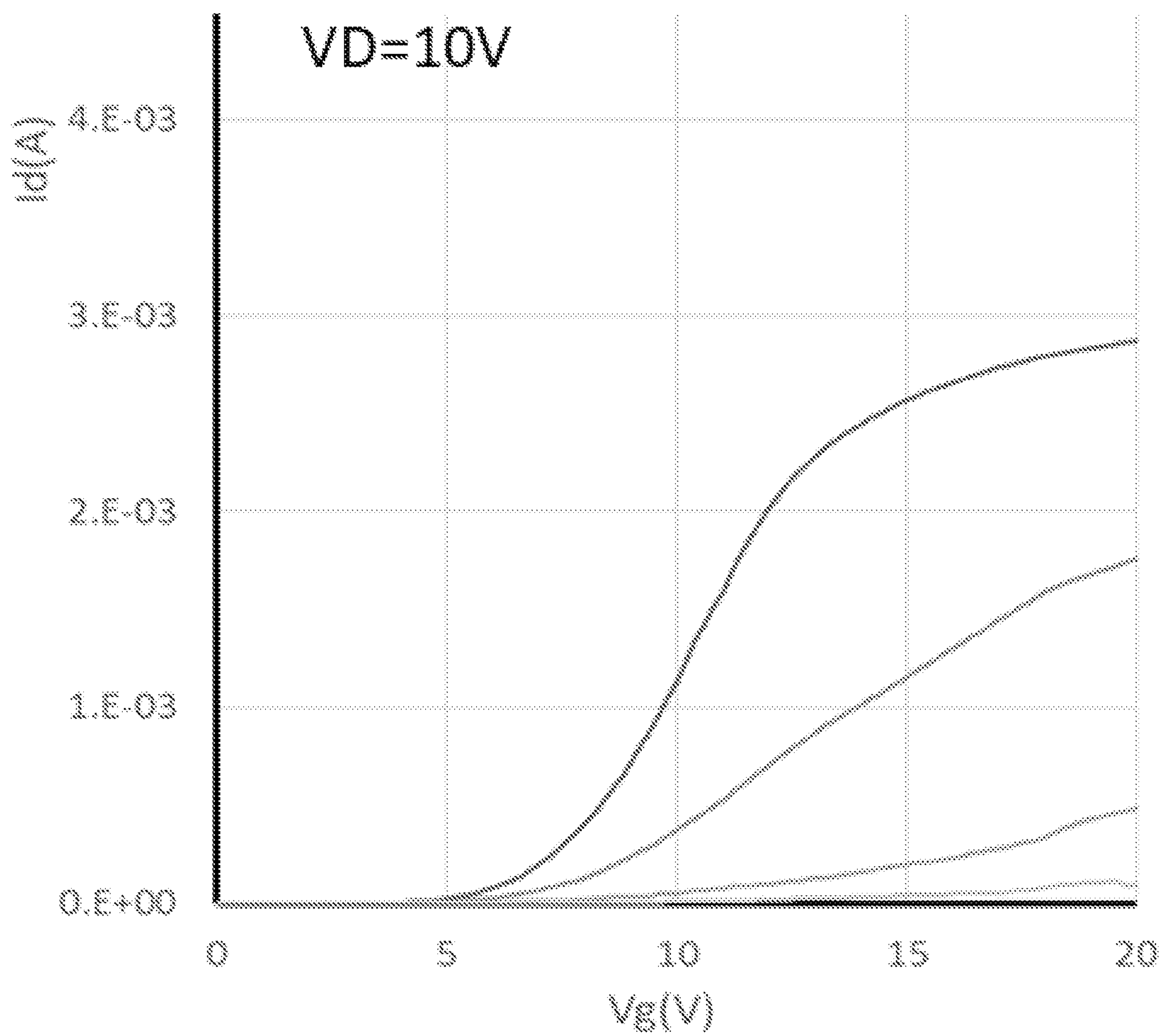
[図5]



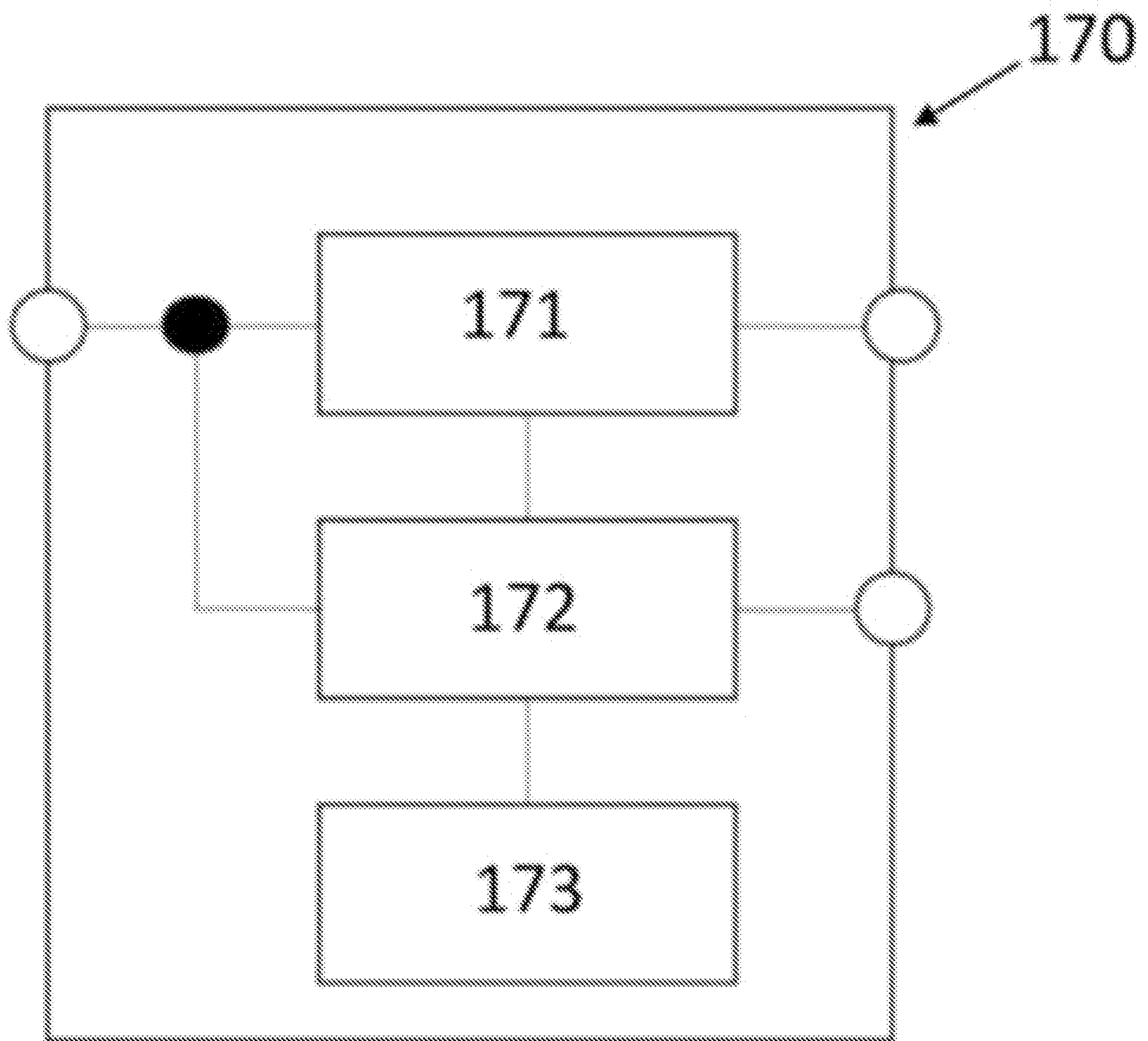
[図6]



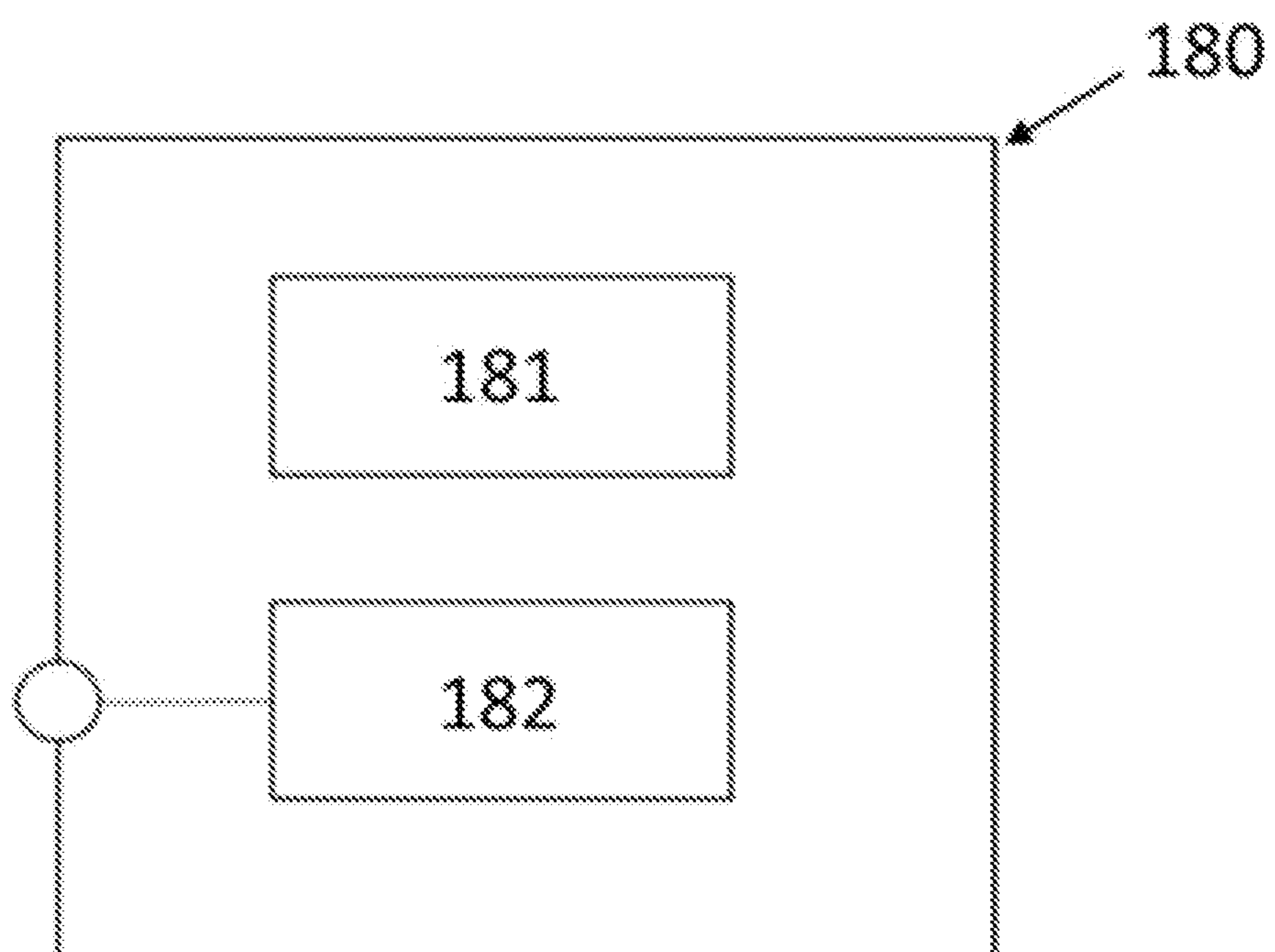
[図7]



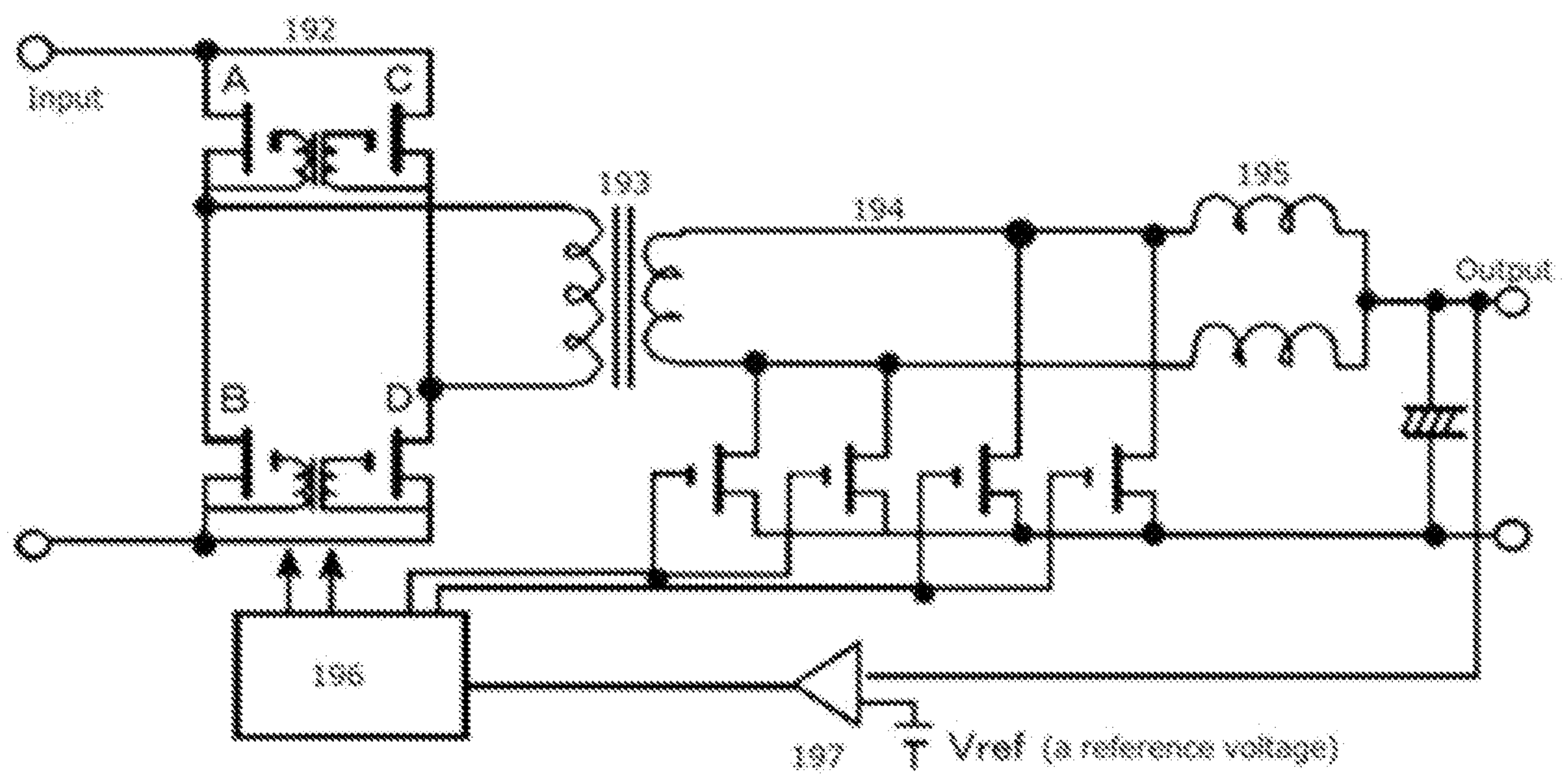
[図8]



[図9]



[図10]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/043519

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 21/365(2006.01)i; H01L 21/368(2006.01)i; H01L 29/786(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/12(2006.01)i; C30B 29/16(2006.01)i; C23C 16/40(2006.01)i

FI: H01L29/78 618B; H01L21/365; H01L21/368 Z; H01L29/78 618E; H01L29/78 652T; H01L29/78 652F; C23C16/40; C30B29/16; H01L29/78 652C

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/365; H01L21/368; H01L29/786; H01L29/78; H01L29/12; C30B29/16; C23C16/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| Published examined utility model applications of Japan   | 1922-1996 |
| Published unexamined utility model applications of Japan | 1971-2021 |
| Registered utility model specifications of Japan         | 1996-2021 |
| Published registered utility model applications of Japan | 1994-2021 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                 | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2017-128492 A (FLOSFIA INC.) 27 July 2017 (2017-07-27) paragraphs [0003], [0022]-[0023], [0031]-[0035], [0045]-[0047], fig. 5   | 1-15                  |
| Y         | JP 2019-048766 A (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) 28 March 2019 (2019-03-28) paragraph [0003]                            | 1-15                  |
| Y         | JP 2016-051796 A (TAMURA CORPORATION) 11 April 2016 (2016-04-11) paragraphs [0029]-[0054], [0071]-[0073], [0090]-[0094], fig. 2, 5 | 3-15                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
19 February 2021 (19.02.2021)

Date of mailing of the international search report  
02 March 2021 (02.03.2021)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP2020/043519

| C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |                                                                                                                             |                       |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category*                                             | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                          | Relevant to claim No. |
| X                                                     | JP 2010-165922 A (IDEMITSU KOSAN CO., LTD.) 29<br>July 2010 (2010-07-29) paragraphs [0031]-[0032],<br>[0046], [0104]-[0125] | 1, 13, 15             |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/JP2020/043519

| Patent Documents referred in the Report | Publication Date | Patent Family                                                                                                                              | Publication Date |
|-----------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| JP 2017-128492 A                        | 27 Jul. 2017     | (Family: none)                                                                                                                             |                  |
| JP 2019-048766 A                        | 28 Mar. 2019     | (Family: none)                                                                                                                             |                  |
| JP 2016-051796 A                        | 11 Apr. 2016     | US 2017/0288061 A1<br>paragraphs [0050]-<br>[0076], [0094]-<br>[0096], [0113]-<br>[0117], fig. 2, 5<br>WO 2016/031522 A1<br>CN 106796889 A |                  |
| JP 2010-165922 A                        | 29 Jul. 2010     | (Family: none)                                                                                                                             |                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 国際調査報告                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | 国際出願番号<br>PCT/JP2020/043519                                                                                                                                                                                    |
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>H01L 21/365(2006.01)i; H01L 21/368(2006.01)i; H01L 29/786(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i;<br>H01L 29/12(2006.01)i; C30B 29/16(2006.01)i; C23C 16/40(2006.01)i<br>FI: H01L29/78 618B; H01L21/365; H01L21/368 Z; H01L29/78 618E; H01L29/78 652T; H01L29/78 652F;<br>C23C16/40; C30B29/16; H01L29/78 652C |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
| B. 調査を行った分野                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
| 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））<br>H01L21/365; H01L21/368; H01L29/786; H01L29/78; H01L29/12; C30B29/16; C23C16/40                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの<br>日本国実用新案公報 1922 - 1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971 - 2021年<br>日本国実用新案登録公報 1996 - 2021年<br>日本国登録実用新案公報 1994 - 2021年                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
| 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
| C. 関連すると認められる文献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
| 引用文献の<br>カテゴリー*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                               | 関連する<br>請求項の番号                                                                                                                                                                                                 |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | JP 2017-128492 A（株式会社FLOSFIA）27.07.2017（2017 - 07 - 27）<br>段落 [0003] , [0022] - [0023] , [0031] - [0035] , [0045] - [0047] , 図5 | 1-15                                                                                                                                                                                                           |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | JP 2019-048766 A（国立研究開発法人物質・材料研究機構）28.03.2019（2019 - 03 - 28）<br>段落 [0003]                                                      | 1-15                                                                                                                                                                                                           |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | JP 2016-051796 A（株式会社タムラ製作所）11.04.2016（2016 - 04 - 11）<br>段落 [0029] - [0054] , [0071] - [0073] , [0090] - [0094] , 図2 , 5       | 3-15                                                                                                                                                                                                           |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | JP 2010-165922 A（出光興産株式会社）29.07.2010（2010 - 07 - 29）<br>段落 [0031] - [0032] , [0046] , [0104] - [0125]                           | 1, 13, 15                                                                                                                                                                                                      |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |
| * 引用文献のカテゴリー<br>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの<br>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの<br>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）<br>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献                                                                                                     |                                                                                                                                 | “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの<br>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの<br>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの<br>“&” 同一パテントファミリー文献 |
| 国際調査を完了した日<br>19.02.2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                 | 国際調査報告の発送日<br>02.03.2021                                                                                                                                                                                       |
| 名称及びあて先<br>日本国特許庁(ISA/JP)<br>〒100-8915<br>日本国<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                 | 権限のある職員（特許庁審査官）<br><br>高橋 優斗 5F 5585<br><br>電話番号 03-3581-1101 内線 3514                                                                                                                                          |

| 引用文献 |             |   | 公表日        | パテントファミリー文献                                                                                                                                             | 公表日 |
|------|-------------|---|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| JP   | 2017-128492 | A | 27.07.2017 | (ファミリーなし)                                                                                                                                               |     |
| JP   | 2019-048766 | A | 28.03.2019 | (ファミリーなし)                                                                                                                                               |     |
| JP   | 2016-051796 | A | 11.04.2016 | US 2017/0288061 A1<br>段落 [ 0 0 5 0 ] - [ 0 0 7 6 ], [ 0 0 9 4 ] - [ 0 0 9 6 ], [ 0 1 1 3 ] - [ 0 1 1 7 ], 図 2, 5<br>WO 2016/031522 A1<br>CN 106796889 A |     |
| JP   | 2010-165922 | A | 29.07.2010 | (ファミリーなし)                                                                                                                                               |     |