

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2014年2月27日(27.02.2014)



(10) 国際公開番号  
WO 2014/030453 A1

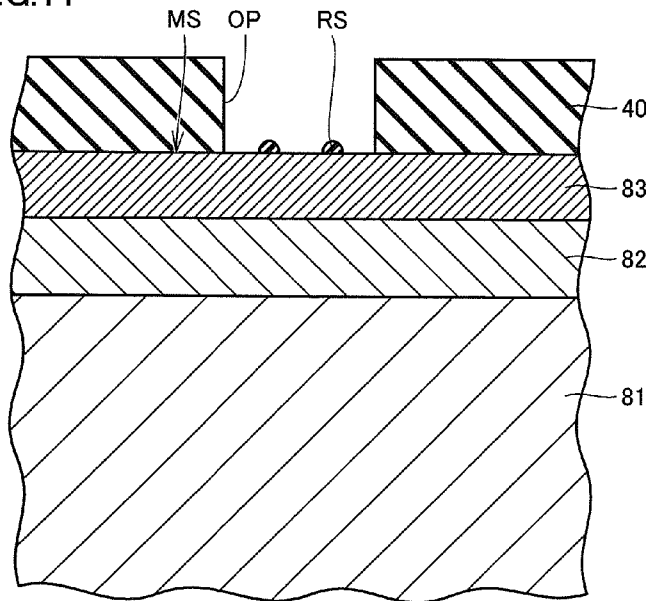
- (51) 国際特許分類:  
H01L 21/336 (2006.01) H01L 29/12 (2006.01)  
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 29/78 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/068849
- (22) 国際出願日: 2013年7月10日(10.07.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2012-183931 2012年8月23日(23.08.2012) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 増田 健良 (MASUDA, Takeyoshi); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 斎藤 雄 (SAITOH, Yu); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 平塚 健二 (HIRATSUKA, Kenji); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, 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).

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 炭化珪素半導体装置の製造方法

FIG.11



(57) Abstract: A silicon carbide substrate which has a main surface (MS) that is covered with a silicon dioxide layer (40) is prepared. An opening (OP) is formed in the silicon dioxide layer (40) by etching. A residue (RS) of the etching is present on the silicon carbide substrate in the opening (OP). The residue (RS) is removed by plasma etching wherein only an inert gas is introduced. After the removal of the residue (RS), a trench is formed in the main surface (MS) of the silicon carbide substrate by supplying a reactive gas to the silicon carbide substrate, which is covered with the silicon dioxide layer (40) that is provided with the opening (OP), while heating the silicon carbide substrate.

(57) 要約: 二酸化珪素層(40)によって被覆された主面(MS)を有する炭化珪素基板が準備される。二酸化珪素層(40)に開口部(OP)がエッチングによって形成される。開口部(OP)において炭化珪素基板上にエッチングの残渣(RS)が存在する。不活性ガスのみが導入されるプラズマ

エッチングによって残渣(RS)が除去される。残渣(RS)が除去された後に、開口部(OP)が形成された二酸化珪素層(40)によって被覆された炭化珪素基板に対して加熱下で反応性ガスの供給を行うことで、炭化珪素基板の主面(MS)にトレンチが形成される。

WO 2014/030453 A1

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

**発明の名称**：炭化珪素半導体装置の製造方法

### 技術分野

[0001] この発明は、炭化珪素半導体装置の製造方法に関するものであり、特に、トレンチが形成された炭化珪素基板を有する炭化珪素半導体装置の製造方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 国際公開第2012/017798号（特許文献1）によれば、トレンチが形成された炭化珪素基板を有するMOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）の製造方法が開示されている。この方法によれば、たとえば次のようにトレンチが形成される。まず炭化珪素基板上にCVD（Chemical Vapor Deposition）法によってシリコン酸化膜が形成される。このシリコン酸化膜上に、フォトリソグラフィ法を用いて、所定の開口パターンを有するレジスト膜が形成される。このレジスト膜をマスクとして用いてシリコン酸化膜がエッチングされることで、炭化珪素基板上に、開口パターンを有するマスク層が形成される。このマスク層をマスクとして用いたRIEにより、炭化珪素基板に予備的なトレンチが形成される。次に熱エッチングが行われることで、炭化珪素基板に最終的なトレンチが形成される。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2012/017798号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 上記方法において、エッチングによってシリコン酸化膜に開口パターンが設けられた際に、開口パターンにおいて炭化珪素基板上にエッチングの残渣が存在し得る。炭化珪素基板上に残渣が存在する状態で熱エッチングが行わ

れると、この残渣に対応した突起がトレンチ内に形成され得る。すなわちトレンチの表面荒れが生じ得る。荒れた表面を有するトレンチ上にゲート絶縁膜が形成されると、炭化珪素半導体装置の耐圧が低下し得る。熱エッチングに先立って予備的にR I Eが行われる場合、上記残渣をある程度は除去し得るものの、R I Eの反応生成物によって新たに発生する残渣などが原因となって、残渣を十分に除去することは困難である。またR I Eにより生じた表面荒れが、その後の熱エッチング後の表面荒れの原因となり、上記と同様に耐圧の低下を引き起こし得る。

[0005] 本発明は、このような課題を解決するために成されたものであり、この発明の目的は、トレンチ内の表面荒れに起因した耐圧の低下を抑制することができる炭化珪素半導体装置の製造方法を提供することである。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 本発明の炭化珪素半導体装置の製造方法は、次の工程を有する。二酸化珪素層によって被覆された主面を有する炭化珪素基板が準備される。二酸化珪素層上に、パターンを有するフォトリソ層が形成される。フォトリソ層をマスクとして用いたエッチングによって、二酸化珪素層に、主面の一部を露出する開口部が形成される。開口部によって露出された主面の一部の上にエッチングの残渣が存在する。不活性ガスのみが導入されるプラズマエッチングによって残渣が除去される。残渣が除去された後に、開口部が形成された二酸化珪素層によって被覆された主面を有する炭化珪素基板に対して加熱下で反応性ガスの供給を行うことで、炭化珪素基板の主面に、側壁面を有するトレンチが形成される。トレンチの側壁面上にゲート絶縁膜が形成される。ゲート絶縁膜上にゲート電極が形成される。

[0007] この製造方法によれば、残渣の除去のためのプラズマエッチングにおいて導入されるガスが不活性ガスのみである。これにより、既存の残渣を除去する際に、化学反応によって新たな残渣が発生することを防止することができる。よって残渣の少ない状態で熱エッチングを行うことができる。よって、熱エッチングにより形成されるトレンチ内の表面荒れに起因した耐圧の低下

を抑制することができる。

[0008] 好ましくは上記プラズマエッチングは、1%以下の残留酸素量を有する雰囲気下で行われる。これにより酸化反応による新たな残渣の発生を抑制することができる。

[0009] 好ましくは上記反応性ガスはハロゲンガスを含む。これにより熱エッチングを、ハロゲンガスと炭化珪素との反応を用いて行うことができる。

[0010] 好ましくは上記反応性ガスは酸素ガスを含む。これにより、熱エッチング中に生じる炭素が効率的に除去されるので、熱エッチングの速度を高めることができる。

[0011] 好ましくはトレンチが形成された主面上において、高さ10nm以上の突起の数密度が $1\text{ cm}^{-2}$ 以下である。これにより、トレンチ内の表面荒れに起因した耐圧の低下を十分に抑制することができる。

### 発明の効果

[0012] 上記のように本発明によれば、トレンチ内の表面荒れに起因した耐圧の低下を抑制することができる。

### 図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の実施の一形態における炭化珪素半導体装置の構成を概略的に示す部分断面図である。

[図2]図1の炭化珪素半導体装置が有する炭化珪素基板の形状を概略的に示す部分斜視図である。

[図3]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第1工程を概略的に示す部分断面図である。

[図4]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第2工程を概略的に示す部分断面図である。

[図5]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第3工程を概略的に示す部分断面図である。

[図6]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第4工程を概略的に示す部分断面図である。

[図7]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第5工程を概略的に示す部分断面図である。

[図8]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第6工程を概略的に示す部分断面図である。

[図9]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第7工程を概略的に示す部分断面図である。

[図10]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第8工程を概略的に示す部分断面図である。

[図11]図10の一部拡大図であり、残渣の存在を示す図である。

[図12]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第9工程を概略的に示す部分断面図である。

[図13]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第10工程を概略的に示す部分断面図である。

[図14]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第11工程を概略的に示す部分断面図である。

[図15]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第12工程を概略的に示す部分断面図である。

[図16]図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第13工程を概略的に示す部分断面図である。

[図17]特殊面を有する側壁面の微視的構造を概略的に示す部分断面図である。

[図18]ポリタイプ4Hの六方晶における(000-1)面の結晶構造を示す図である。

[図19]図18の線X|X-X|Xに沿う(11-20)面の結晶構造を示す図である。

[図20]図17の複合面の表面近傍における結晶構造を(11-20)面内において示す図である。

[図21]図17の複合面を(01-10)面から見た図である。

[図22]巨視的に見たチャンネル面および(000-1)面の間の角度と、チャンネル移動度との関係の一例を、熱エッチングが行われた場合と行われなかった場合との各々について示すグラフ図である。

[図23]チャンネル方向および<0-11-2>方向の間の角度と、チャンネル移動度との関係の一例を示すグラフ図である。

[図24]図17の変形例を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。また、本明細書中の結晶学的記載においては、個別方位を[]、集合方位を<>、個別面を()、集合面を{}でそれぞれ示している。また結晶学上の指数が負であることは、通常、“-”(バー)を数字の上に付すことによって表現されるが、本明細書中では数字の前に負の符号を付している。

[0015] 図1および図2に示すように、本実施の形態のMOSFET201(炭化珪素半導体装置)は、エピタキシャル基板101(炭化珪素基板)と、ゲート酸化膜91(ゲート絶縁膜)と、ゲート電極92と、層間絶縁膜93と、ソース電極94と、ソース配線層95と、ドレイン電極98とを有する。エピタキシャル基板101は、炭化珪素からなり、好ましくはポリタイプ4Hを有する。エピタキシャル基板101は具体的には、単結晶基板80と、その上に設けられることで主面MSを構成しているエピタキシャル層とを有する。このエピタキシャル層は、nドリフト層81と、pベース層82と、n領域83と、pコンタクト領域84とを有する。

[0016] 単結晶基板80は、n型(第1の導電型)を有する。nドリフト層81は単結晶基板80上に形成されたエピタキシャル層である。nドリフト層81はn型を有する。nドリフト層81の不純物濃度は、単結晶基板80の不純物濃度よりも低いことが好ましい。nドリフト層81のドナー濃度は、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、たとえば $8 \times 10^{15} \text{ c}$

$m^{-3}$ である。

- [0017] pベース層82はp型を有する。pベース層82はnドリフト層81上に設けられている。pベース層82の不純物濃度は、たとえば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。n領域83はn型を有する。n領域83は、pベース層82によってnドリフト層81から隔てられるようにpベース層82上に設けられている。pコンタクト領域84はp型を有する。pコンタクト領域84はpベース層82につながっている。
- [0018] エピタキシャル基板101の単結晶基板80と反対の面（図1における上面）、すなわち主面MSには、トレンチTRが設けられている。トレンチTRは側壁面SWおよび底面BTを有する。側壁面SWはn領域83およびpベース層82を貫通してnドリフト層81に至っている。側壁面SWはpベース層82上において、MOSFET201のチャンネル面を含む。
- [0019] 側壁面SWはエピタキシャル基板101の主面MS（図1における上面）に対して傾斜しており、これによりトレンチTRは開口に向かってテーパ状に拡がっている。側壁面SWの面方位は、 $(000-1)$ 面に対して $50^\circ$ 以上 $65^\circ$ 以下傾斜していることが好ましい。好ましくは側壁面SWは、特にpベース層82上の部分において、所定の結晶面（特殊面とも称する）を有する。特殊面の詳細については後述する。底面BTはnドリフト層81上に位置している。本実施の形態においてはエピタキシャル基板101の主面MSとほぼ平行な平坦な形状を有する。
- [0020] ゲート酸化膜91は、トレンチTRの側壁面SWおよび底面BTの各々を覆っている。ゲート電極92はゲート酸化膜91上に設けられている。ソース電極94は、n領域83およびpコンタクト領域84の各々に接している。ソース配線層95はソース電極94に接している。ソース配線層95は、たとえばアルミニウム層である。層間絶縁膜93はゲート電極92とソース配線層95との間を絶縁している。
- [0021] 図3に示すように、単結晶基板80上における炭化珪素のエピタキシャル成長によってnドリフト層81が形成される。単結晶基板80の、エピタキ

シャル成長が行われる面は、 $\{000-1\}$ 面から8度以内のオフ角を有することが好ましく、 $(000-1)$ 面から8度以内のオフ角を有することがより好ましい。エピタキシャル成長はCVD (Chemical Vapor Deposition) 法により行われ得る。原料ガスとしては、たとえば、シラン ( $\text{SiH}_4$ ) とプロパン ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) との混合ガスを用い得る。この際、不純物として、たとえば窒素 (N) やリン (P) を導入することが好ましい。

[0022] 図4に示すように、 $n$ ドリフト層81上に $p$ ベース層82および $n$ 領域83が形成されることでエピタキシャル基板101が得られる。これらの形成は、たとえば $n$ ドリフト層81の全面上へのイオン注入により行い得る。 $p$ ベース層82を形成するためのイオン注入においては、たとえばアルミニウム (Al) などの、 $p$ 型を付与するための不純物がイオン注入される。また $n$ 領域83を形成するためのイオン注入においては、たとえばリン (P) などの、 $n$ 型を付与するための不純物がイオン注入される。なおイオン注入の代わりに、不純物の添加をともなうにエピタキシャル成長が用いられてもよい。

[0023] 図5に示すように、エピタキシャル基板101の $n$ 領域83上にレジスト層60が形成される。次にレジスト層60に対する露光および現像が行われる。これにより、 $p$ コンタクト領域84が形成されることになる位置に対応した開口を有するレジスト層61 (図6) が形成される。次にレジスト層61を用いたイオン注入により、 $p$ コンタクト領域84が形成される。次にレジスト層61が除去される (図7)。次に、不純物を活性化するための熱処理が行われる。この熱処理の温度は、好ましくは $1500^\circ\text{C}$ 以上 $1900^\circ\text{C}$ 以下であり、たとえば $1700^\circ\text{C}$ 程度である。熱処理の時間は、たとえば30分程度である。熱処理の雰囲気は、好ましくは不活性ガス雰囲気であり、たとえばアルゴン (Ar) 雰囲気である。

[0024] 図8を参照して、まず、 $n$ 領域83および $p$ コンタクト領域84からなる主面MS上にマスク層40 (二酸化珪素層) が形成される。言い換えれば、マスク層40によって被覆された主面MSを有するエピタキシャル基板10

1が準備される。好ましくはマスク層40は主面MSの熱酸化により形成される。次にマスク層40上に、パターンを有するフォトレジスト層30が、フォトレジストの塗布、乾燥、露光および現像により形成される。パターンの開口部はトレンチTR（図1）の位置に対応して形成される。

[0025] 図9に示すように、フォトレジスト層30をマスクとして用いたエッチングによって、マスク層40に、主面MSの一部を露出する開口部OPが形成される。次にフォトレジスト層30が除去される（図10）。

[0026] 図11に示すように、開口部OPによって露出された主面MSの一部の上に、開口部OPを形成するエッチングの際に生じた残渣RSが存在する。この残渣RSが、不活性ガスのみが導入されるプラズマエッチングによって除去される。なお残渣RSのすべてが除去されることが好ましいが、必ずしも残渣RSのすべてが除去される必要はない。好ましくは上記プラズマエッチングは、1%程度以下の残留酸素量を有する雰囲気下で行われる。たとえば、プラズマエッチング前にエッチングチャンバ（図示せず）を $1 \times 10^{-4}$  Pa程度以下まで排気した後にプラズマエッチングの圧力を0.1 Pa程度とすると、プラズマエッチング中のエッチングチャンバ内の残留酸素量を1%程度以下とすることができる。

[0027] 図12に示すように、開口部OPが形成されたマスク層40によって被覆された主面MSを有するエピタキシャル基板101に対して、加熱下で反応性ガスの供給が行われる。これによりエピタキシャル基板101の主面MSにトレンチTRが形成される。言い換えればトレンチTRが熱エッチングによって形成される。熱エッチングの反応性ガスはハロゲンガスを含むことが好ましい。ハロゲンガスとしては、たとえば塩素ガスを用い得る。また反応性ガスは酸素ガスを含むことが好ましい。たとえば、反応性ガスとして塩素ガスと酸素ガスとの混合ガスが用いられる。熱エッチングにおけるエピタキシャル基板101の温度は、たとえば700°C程度以上1000°C以下程度とされる。

[0028] なお、反応ガスは、上述した塩素ガスと酸素ガスとに加えてキャリアガス

を含んでいてもよい。キャリアガスとしては、たとえば窒素ガス、アルゴンガスまたはヘリウムガスを用いることができる。そして、上述のように熱処理温度を700℃以上1000℃以下とした場合、炭化珪素のエッチング速度はたとえば約70μm/時になる。この場合に、二酸化珪素から作られたマスク層40は、炭化珪素に対する選択比が極めて大きいので、炭化珪素のエッチング中に実質的にエッチングされない。

[0029] 好ましくは、トレンチTRの形成時に、側壁面SW上、特にpベース層82上において、特殊面が自己形成される。次にマスク層40がエッチングなど任意の方法により除去される。

[0030] 図13に示すように、熱エッチング前に存在していた残渣RS（図11）の影響などによって、熱エッチングによってトレンチTRが形成された主面MS上において、高さHTが10nm以上の突起PRが形成され得る。本実施の形態においては熱エッチング前に、上述したように残渣RSが少なくとも部分的に除去されるので、突起PRの発生が抑制される。好ましくは、エピタキシャル基板101（図12）の主面MSの全体の面積によって、エピタキシャル基板101（図12）の主面MSの全体における突起PRの数を除した値、すなわち突起PRの数密度は、1cm<sup>-2</sup>以下である。

[0031] 図14に示すように、トレンチTRの側壁面SWおよび底面BTの上にゲート酸化膜91が形成される。ゲート酸化膜91は、たとえば熱酸化により形成され得る。

[0032] ゲート酸化膜91の形成後に、雰囲気ガスとして一酸化窒素（NO）ガスを用いるNOアニールが行われてもよい。温度プロファイルは、たとえば、温度1100℃以上1300℃以下、保持時間1時間程度の条件を有する。これにより、ゲート酸化膜91とpベース層82との界面領域に窒素原子が導入される。その結果、界面領域における界面準位の形成が抑制されることで、チャネル移動度を向上させることができる。なお、このような窒素原子の導入が可能であれば、NOガス以外のガスが雰囲気ガスとして用いられてもよい。

- [0033] このNOアニールの後さらに、雰囲気ガスとしてアルゴン（Ar）を用いるArアニールが行われてもよい。Arアニールの加熱温度は、上記NOアニールの加熱温度よりも高く、ゲート酸化膜91の融点よりも低いことが好ましい。この加熱温度が保持される時間は、たとえば1時間程度である。これにより、ゲート酸化膜91とpベース層82との界面領域における界面準位の形成がさらに抑制される。なお、雰囲気ガスとして、Arガスに代えて窒素ガスなどの他の不活性ガスが用いられてもよい。
- [0034] 図15に示すように、ゲート酸化膜91上にゲート電極92が形成される。具体的には、トレンチTRの内部の領域をゲート酸化膜91を介して埋めるように、ゲート酸化膜91上にゲート電極92が形成される。ゲート電極92の形成方法は、たとえば、導体またはドーパントポリシリコンの成膜とCMPとによって行い得る。
- [0035] 図16を参照して、ゲート電極92の露出面を覆うように、ゲート電極92およびゲート酸化膜91上に層間絶縁膜93が形成される。層間絶縁膜93およびゲート酸化膜91に開口部が形成されるようにエッチングが行われる。この開口部により主面MS上においてn領域83およびpコンタクト領域84の各々が露出される。次に主面MS上においてn領域83およびnコンタクト領域84の各々に接するソース電極94が形成される。nドリフト層81上に、単結晶基板80を介して、ドレイン電極98が形成される。
- [0036] 再び図1を参照して、ソース配線層95が形成される。これにより、MOSFET201が得られる。
- [0037] 本実施の形態によれば、残渣RS（図11）の除去のためのプラズマエッチングにおいて導入されるガスが不活性ガスのみである。これにより、既存の残渣RSを除去する際に、化学反応によって新たな残渣RSが発生することを防止することができる。よって残渣RSの少ない状態で熱エッチングを行うことができる。よって、熱エッチングにおける突起PR（図13）の形成が抑制される。よってトレンチTR内の表面荒れに起因した耐圧の低下を抑制することができる。

[0038] 好ましくは上記プラズマエッチングは、1%以下の残留酸素量を有する雰囲気下で行われる。これにより酸化反応による新たな残渣RSの発生を抑制することができる。好ましくは上記反応性ガスはハロゲンガスを含む。これにより熱エッチングを、ハロゲンガスと炭化珪素との反応を用いて行うことができる。好ましくは上記反応性ガスは酸素ガスを含む。これにより、熱エッチング中に生じる炭素が効率的に除去されるので、熱エッチングの速度を高めることができる。好ましくはトレンチTRが形成された主面MS上において、高さ10nm以上の突起PR（図13）の数密度が $1\text{ cm}^{-2}$ 以下である。これにより、トレンチTR内の表面荒れに起因した耐圧の低下を十分に抑制することができる。

[0039] 次に上述した「特殊面」について詳しく説明する。上述したように、側壁面SWは特殊面を有することが好ましく、以下、この場合について説明する。

[0040] 図17に示すように、特殊面を有する側壁面SWは、面S1（第1の面）を含む。面S1は面方位{0-33-8}を有し、好ましくは面方位(0-33-8)を有する。好ましくは側壁面SWは面S1を微視的に含む。好ましくは側壁面SWはさらに面S2（第2の面）を微視的に含む。面S2は面方位{0-11-1}を有し、好ましくは面方位(0-11-1)を有する。ここで「微視的」とは、原子間隔の2倍程度の寸法を少なくとも考慮する程度に詳細に、ということの意味する。このように微視的な構造の観察方法としては、たとえばTEM (Transmission Electron Microscope) を用いることができる。

[0041] 好ましくは側壁面SWは複合面SRを有する。複合面SRは、面S1およびS2が周期的に繰り返されることによって構成されている。このような周期的構造は、たとえば、TEMまたはAFM (Atomic Force Microscopy) により観察し得る。複合面SRは面方位{0-11-2}を有し、好ましくは面方位(0-11-2)を有する。この場合、複合面SRは{000-1}面に対して巨視的に $62^\circ$ のオフ角を有する。ここで「巨視的」とは、原

子間隔程度の寸法を有する微細構造を無視することを意味する。このように巨視的なオフ角の測定としては、たとえば、一般的なX線回折を用いた方法を用い得る。好ましくは、チャンネル面上においてキャリアが流れる方向であるチャンネル方向CDは、上述した周期的繰り返しが行われる方向に沿っている。

[0042] 次に、複合面SRの詳細な構造について説明する。

一般に、ポリタイプ4Hの炭化珪素単結晶を(000-1)面から見ると、図18に示すように、Si原子(またはC原子)は、A層の原子(図中の実線)と、この下に位置するB層の原子(図中の破線)と、この下に位置するC層の原子(図中の一点鎖線)と、この下に位置するB層の原子(図示せず)とが繰り返し設けられている。つまり4つの層ABCBを1周期としてABCBAABCBAABCBA...のような周期的な積層構造が設けられている。

[0043] 図19に示すように、(11-20)面(図18の線X|X-X|Xの断面)において、上述した1周期を構成する4つの層ABCBの各層の原子は、(0-11-2)面に完全に沿うようには配列されていない。図19においてはB層の原子の位置を通るように(0-11-2)面が示されており、この場合、A層およびC層の各々の原子は(0-11-2)面からずれていることがわかる。このため、炭化珪素単結晶の表面の巨視的な面方位、すなわち原子レベルの構造を無視した場合の面方位が(0-11-2)に限定されたとしても、この表面は、微視的には様々な構造をとり得る。

[0044] 図20に示すように、複合面SRは、面方位(0-33-8)を有する面S1と、面S1につながりかつ面S1の面方位と異なる面方位を有する面S2とが交互に設けられることによって構成されている。面S1および面S2の各々の長さは、Si原子(またはC原子)の原子間隔の2倍である。なお面S1および面S2が平均化された面は、(0-11-2)面(図19)に対応する。

[0045] 図21に示すように、複合面SRを(01-10)面から見て単結晶構造

は、部分的に見て立方晶と等価な構造（面 S 1 の部分）を周期的に含んでいる。具体的には複合面 S R は、上述した立方晶と等価な構造における面方位（0 0 1）を有する面 S 1 と、面 S 1 につながりかつ面 S 1 の面方位と異なる面方位を有する面 S 2 とが交互に設けられることによって構成されている。このように、立方晶と等価な構造における面方位（0 0 1）を有する面（図 2 1 においては面 S 1）と、この面につながりかつこの面方位と異なる面方位を有する面（図 2 1 においては面 S 2）とによって表面を構成することは 4 H 以外のポリタイプにおいても可能である。ポリタイプは、たとえば 6 H または 1 5 R であってもよい。

[0046] 次に図 2 2 を参照して、側壁面 S W の結晶面と、チャンネル面の移動度 M B との関係について説明する。図 2 2 のグラフにおいて、横軸は、チャンネル面を有する側壁面 S W の巨視的な面方位と（0 0 0 - 1）面とのなす角度 D 1 を示し、縦軸は移動度 M B を示す。プロット群 C M は側壁面 S W が熱エッチングによる特殊面として仕上げられた場合に対応し、プロット群 M C はそのような熱エッチングがなされない場合に対応する。

[0047] プロット群 M C における移動度 M B は、チャンネル面の表面の巨視的な面方位が（0 - 3 3 - 8）のときに最大となった。この理由は、熱エッチングが行われない場合、すなわち、チャンネル表面の微視的な構造が特に制御されない場合においては、巨視的な面方位が（0 - 3 3 - 8）とされることによって、微視的な面方位（0 - 3 3 - 8）、つまり原子レベルまで考慮した場合の面方位（0 - 3 3 - 8）が形成される割合が確率的に高くなったためと考えられる。

[0048] 一方、プロット群 C M における移動度 M B は、チャンネル面の表面の巨視的な面方位が（0 - 1 1 - 2）のとき（矢印 E X）に最大となった。この理由は、図 2 0 および図 2 1 に示すように、面方位（0 - 3 3 - 8）を有する多数の面 S 1 が面 S 2 を介して規則正しく稠密に配置されることで、チャンネル面の表面において微視的な面方位（0 - 3 3 - 8）が占める割合が高くなったためと考えられる。

[0049] なお移動度MBは複合面SR上において方位依存性を有する。図23に示すグラフにおいて、横軸はチャンネル方向と $\langle 0-11-2 \rangle$ 方向との間の角度D2を示し、縦軸はチャンネル面の移動度MB（任意単位）を示す。破線はグラフを見やすくするために補助的に付してある。このグラフから、チャンネル移動度MBを大きくするには、チャンネル方向CD（図17）が有する角度D2は、 $0^\circ$ 以上 $60^\circ$ 以下であることが好ましく、ほぼ $0^\circ$ であることがより好ましいことがわかった。

[0050] 図24に示すように、側壁面SWは複合面SR（図24においては直線で単純化されて示されている。）に加えてさらに面S3（第3の面）を含んでもよい。この場合、側壁面SWの $\{000-1\}$ 面に対するオフ角は、理想的な複合面SRのオフ角である $62^\circ$ からずれる。このずれは小さいことが好ましく、 $\pm 10^\circ$ の範囲内であることが好ましい。このような角度範囲に含まれる表面としては、たとえば、巨視的な面方位が $\{0-33-8\}$ 面となる表面がある。より好ましくは、側壁面SWの $(000-1)$ 面に対するオフ角は、理想的な複合面SRのオフ角である $62^\circ$ からずれる。このずれは小さいことが好ましく、 $\pm 10^\circ$ の範囲内であることが好ましい。このような角度範囲に含まれる表面としては、たとえば、巨視的な面方位が $(0-33-8)$ 面となる表面がある。

[0051] より具体的には側壁面SWは、面S3および複合面SRが周期的に繰り返されることによって構成された複合面SQを含んでもよい。このような周期的構造は、たとえば、TEMまたはAFM（Atomic Force Microscopy）により観察し得る。

[0052] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

### 符号の説明

[0053] 30 フォトレジスト層、40 マスク層（二酸化珪素層）、80 単結

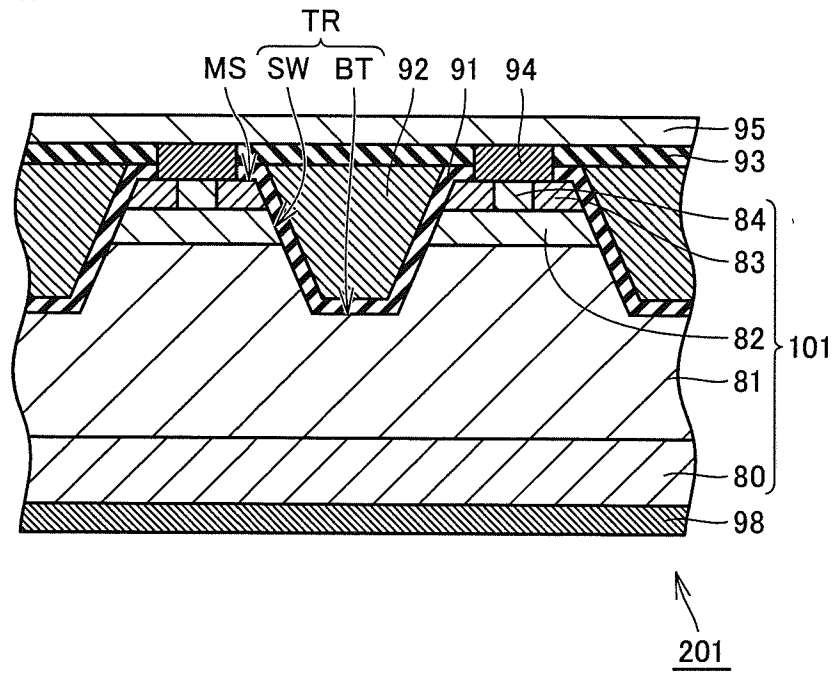
晶基板、81 nドリフト層、82 pベース層、83 n領域、84 p  
コンタクト領域、91 ゲート酸化膜（ゲート絶縁膜）、92 ゲート電極  
、93 層間絶縁膜、94 ソース電極、95 ソース配線層、98 ドレ  
イン電極、101 エピタキシャル基板（炭化珪素基板）、201 MOS  
FET（炭化珪素半導体装置）、BT 底面、MS 主面、OP 開口部、  
PR 突起、RS 残渣、SW 側壁面、TR トレンチ。

## 請求の範囲

- [請求項1] 二酸化珪素層によって被覆された主面を有する炭化珪素基板を準備する工程と、  
前記二酸化珪素層上に、パターンを有するフォトリソ層を形成する工程と、  
前記フォトリソ層をマスクとして用いたエッチングによって、前記二酸化珪素層に、前記主面の一部を露出する開口部を形成する工程とを備え、前記開口部によって露出された前記主面の一部の上に前記エッチングの残渣が存在し、さらに  
不活性ガスのみが導入されるプラズマエッチングによって前記残渣を除去する工程と、  
前記残渣を除去する工程の後に、前記開口部が形成された前記二酸化珪素層によって被覆された前記主面を有する前記炭化珪素基板に対して加熱下で反応性ガスの供給を行うことで、前記炭化珪素基板の前記主面に、側壁面を有するトレンチを形成する工程と、  
前記トレンチの前記側壁面上にゲート絶縁膜を形成する工程と、  
前記ゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程とを備える、炭化珪素半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 前記プラズマエッチングは、1%以下の残留酸素量を有する雰囲気下で行われる、請求項1に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。
- [請求項3] 前記反応性ガスはハロゲンガスを含む、請求項1または2に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記反応性ガスは酸素ガスを含む、請求項3に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。
- [請求項5] 前記トレンチが形成された前記主面上において、高さ10nm以上の突起の数密度が $1\text{ cm}^{-2}$ 以下である、請求項1～4のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

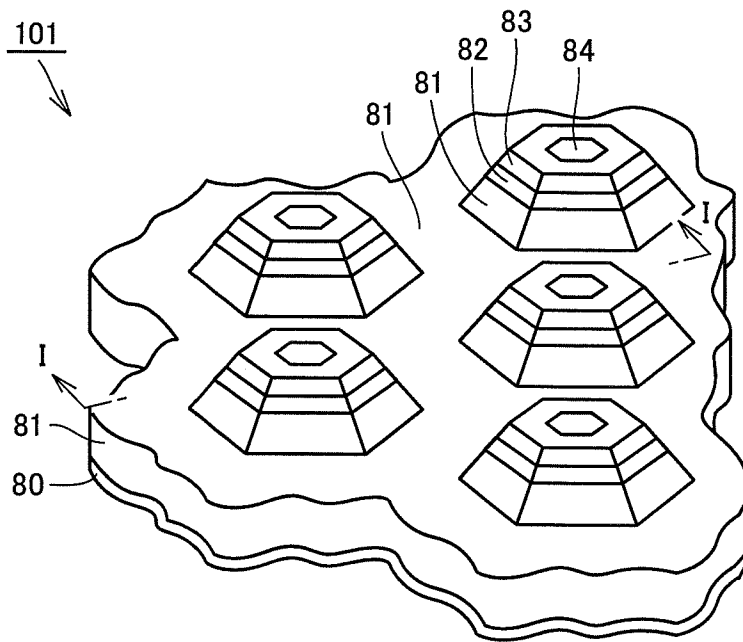
[図1]

FIG.1



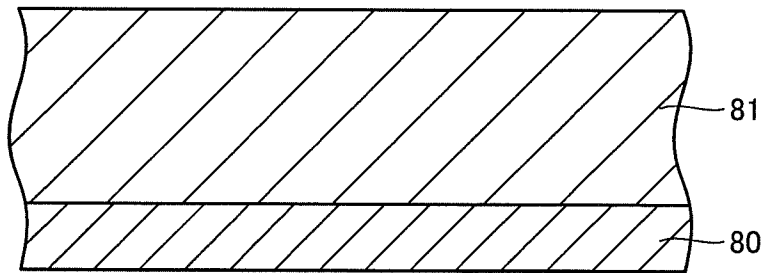
[図2]

FIG.2



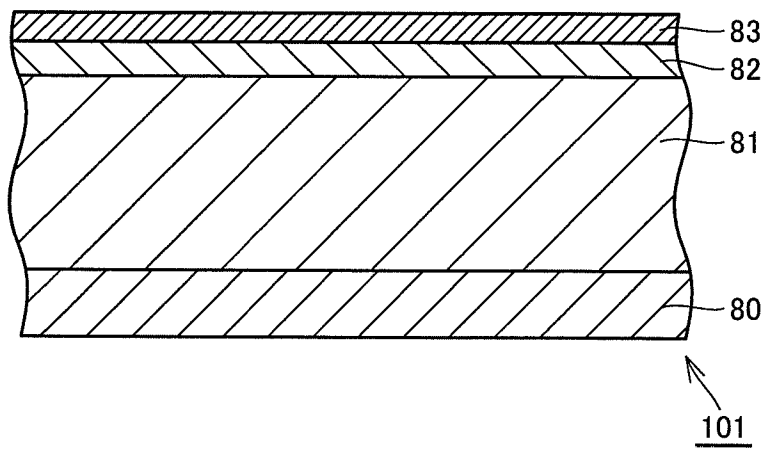
[図3]

FIG.3



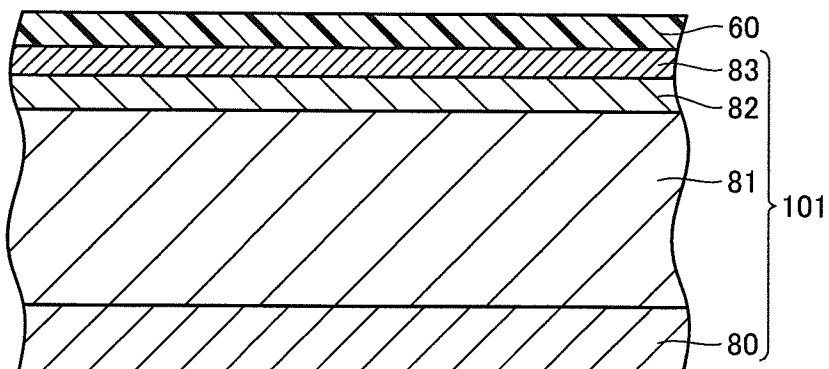
[図4]

FIG.4



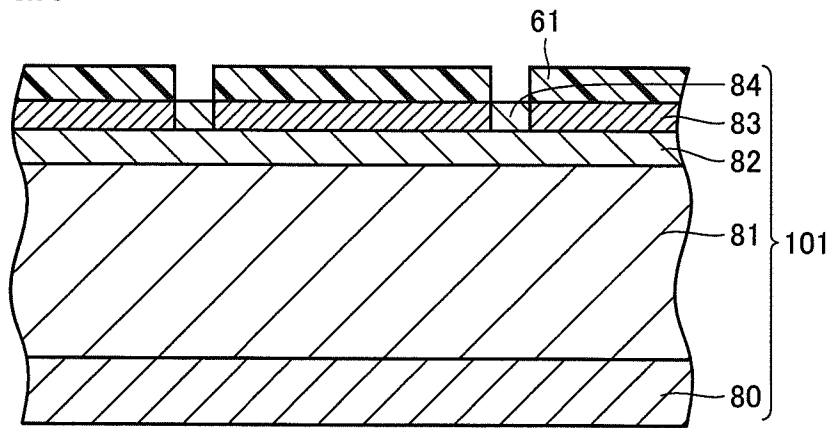
[図5]

FIG.5



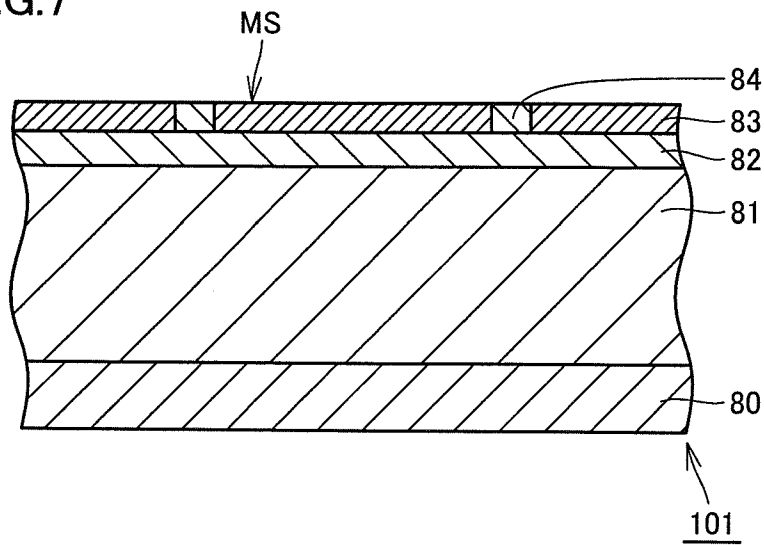
[図6]

FIG.6



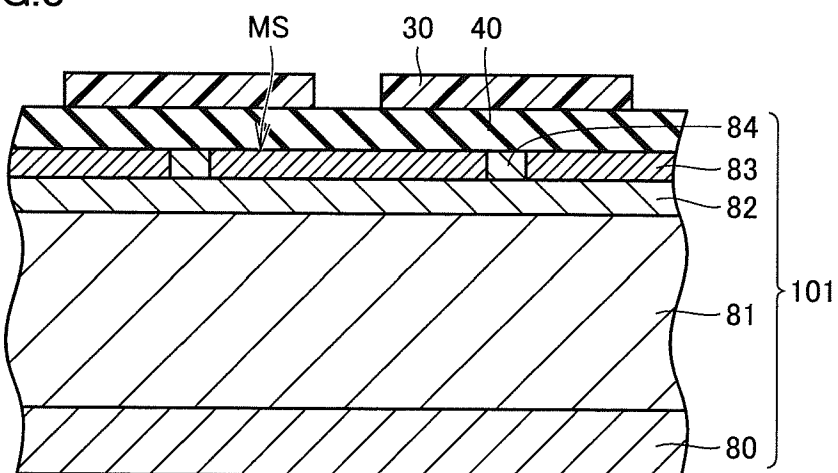
[図7]

FIG.7



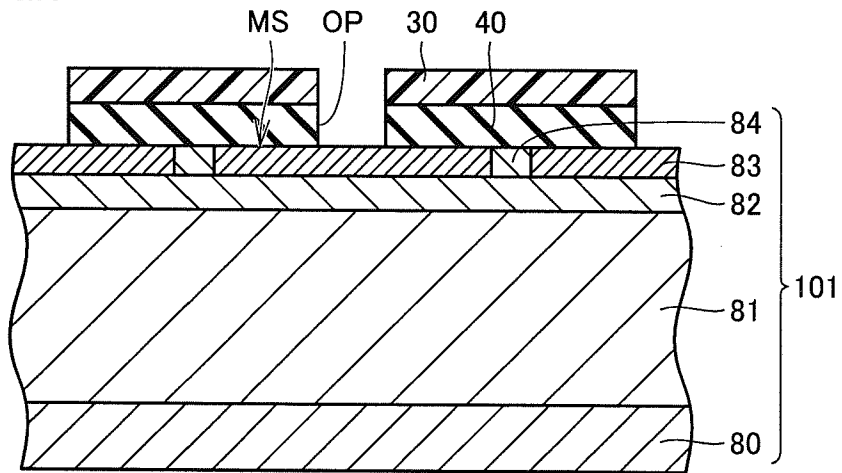
[図8]

FIG.8



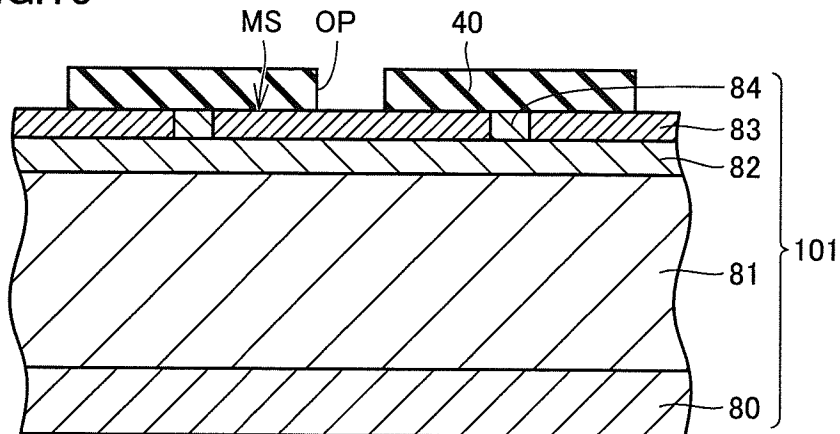
[図9]

FIG.9



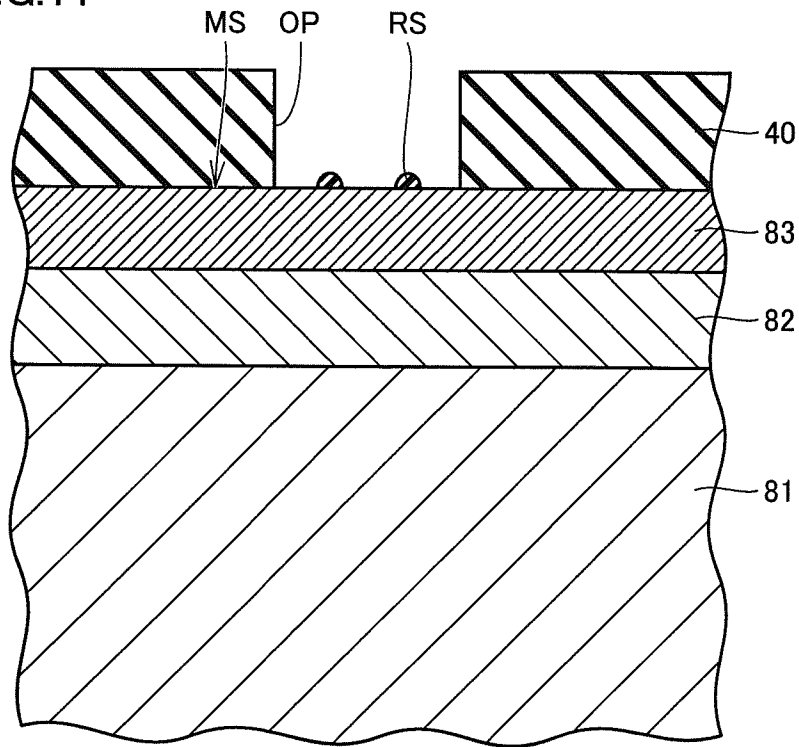
[図10]

FIG.10



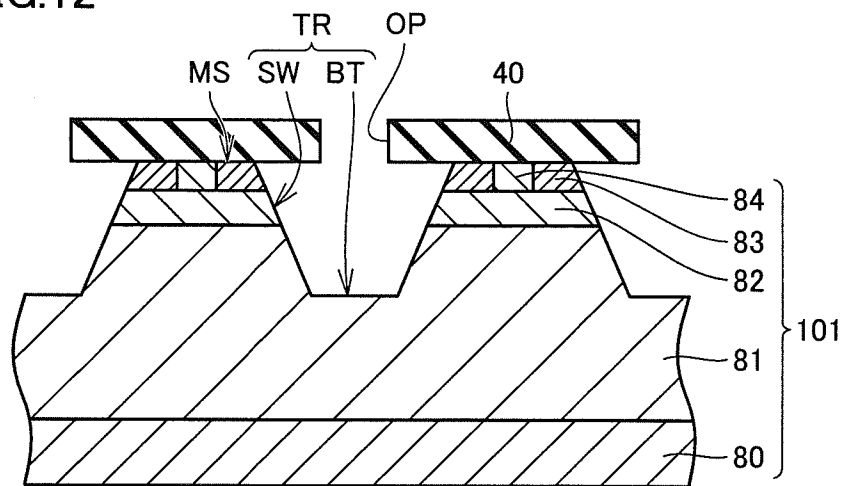
[図11]

FIG.11



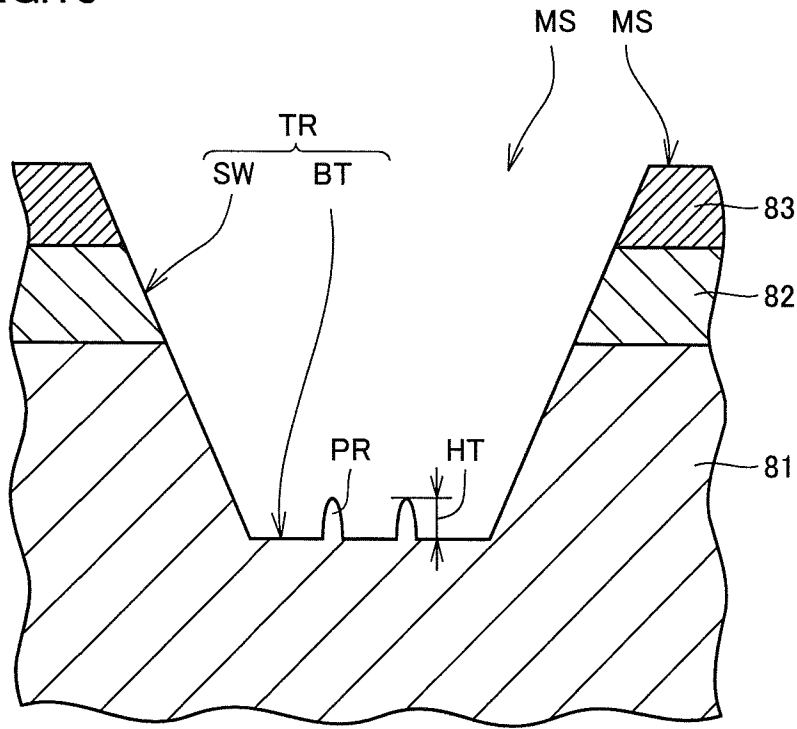
[図12]

FIG.12



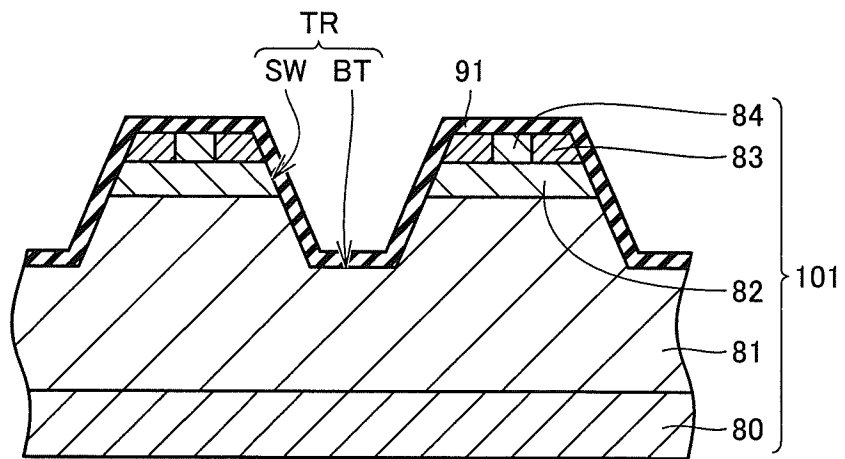
[図13]

FIG.13



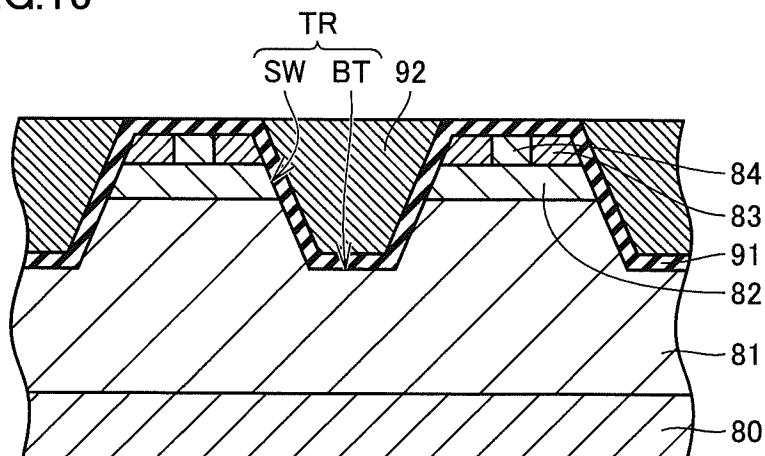
[図14]

FIG.14



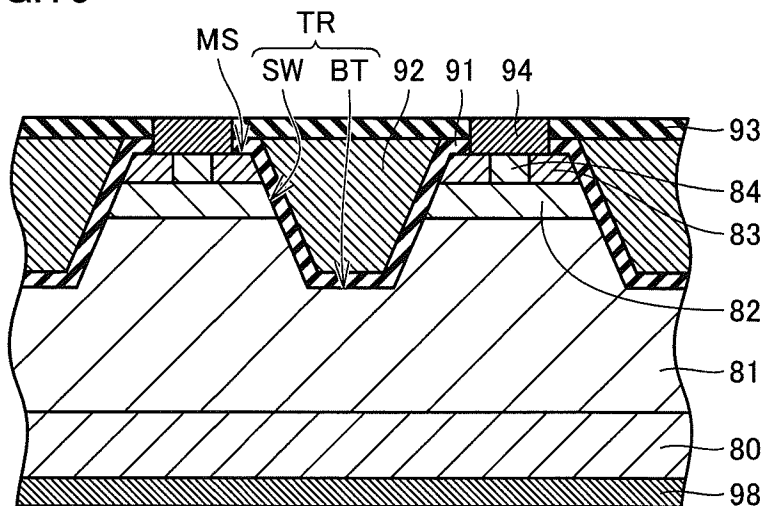
[圖15]

FIG.15



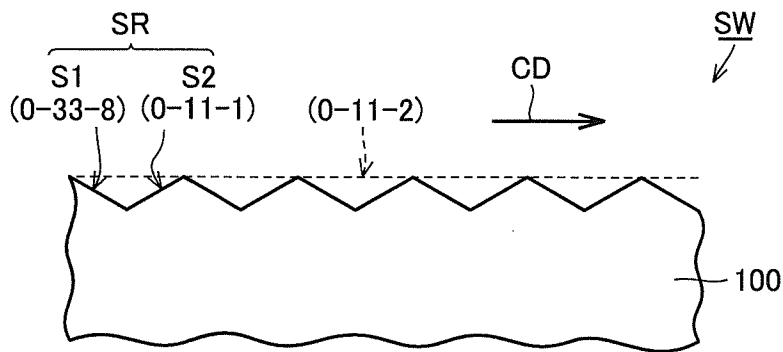
[圖16]

FIG.16



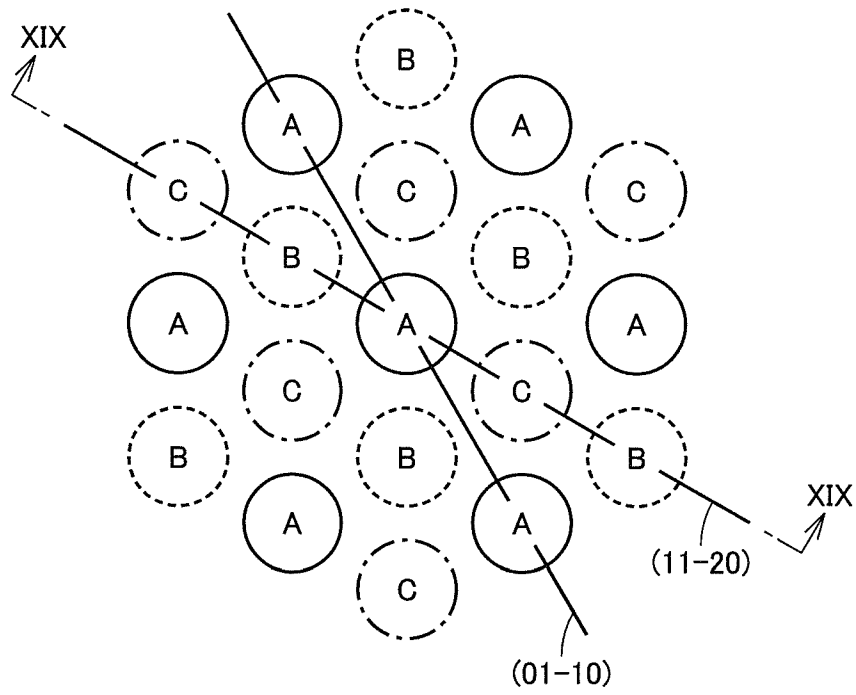
[圖17]

FIG.17



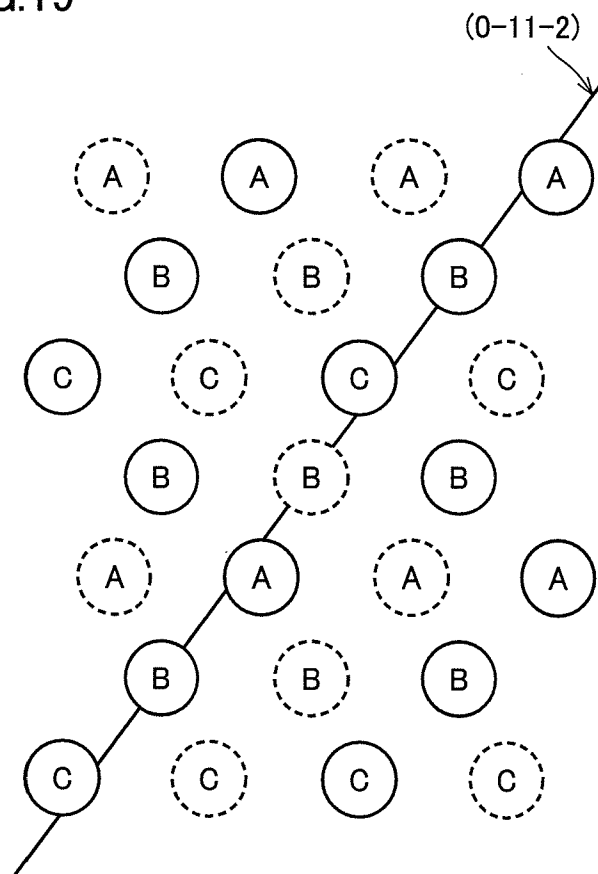
[図18]

FIG.18



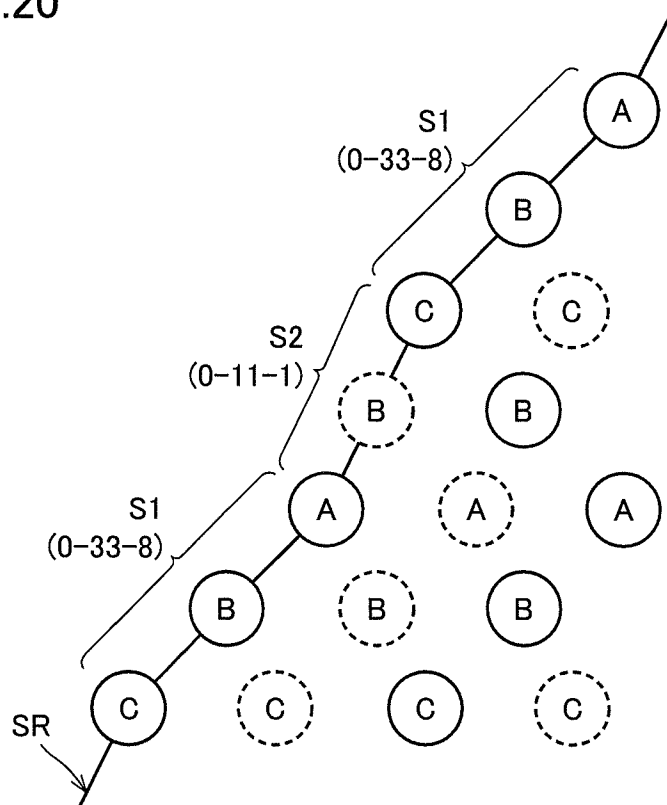
[図19]

FIG.19



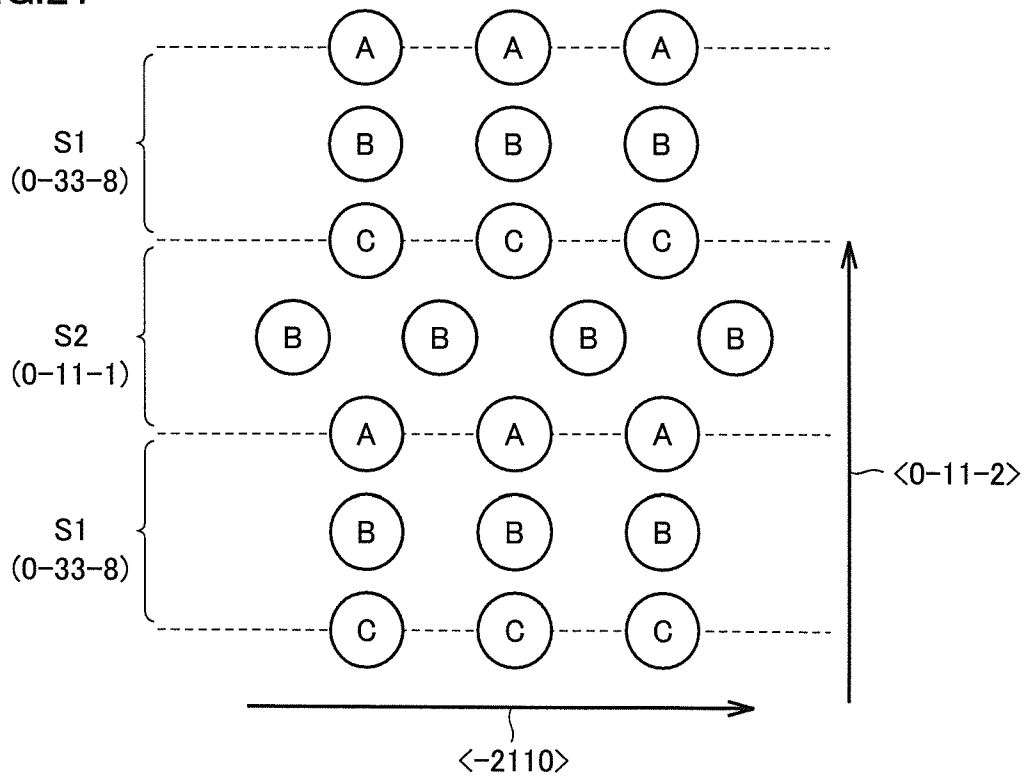
[図20]

FIG.20



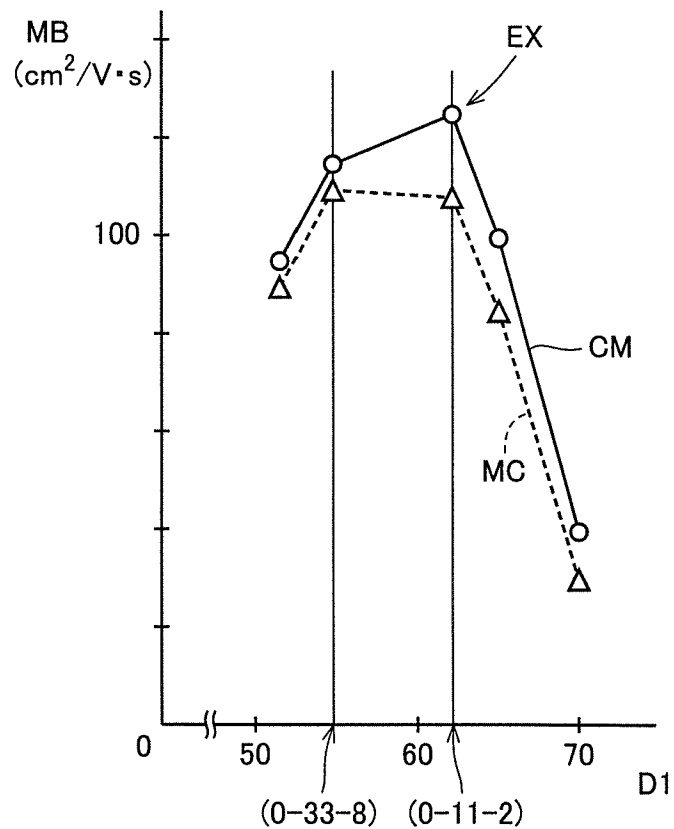
[図21]

FIG.21



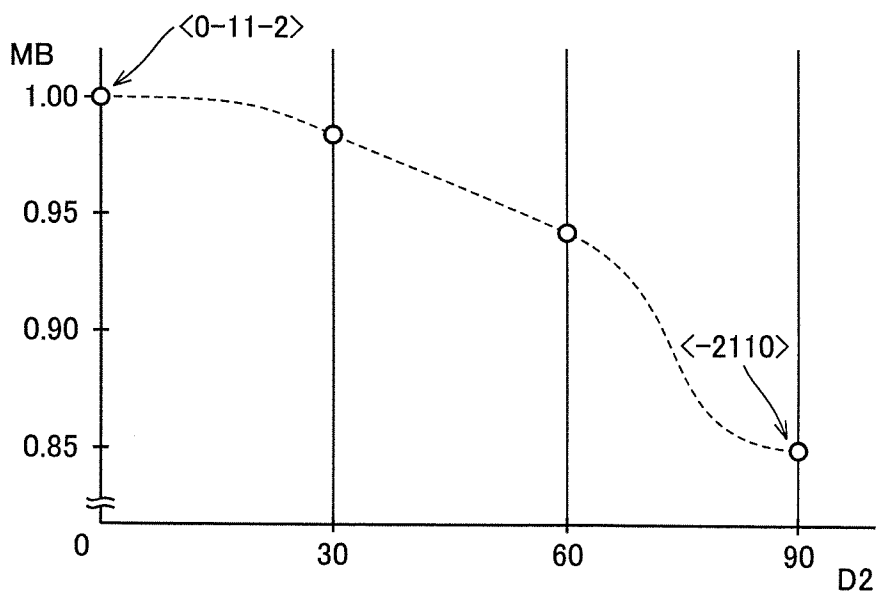
[圖22]

FIG.22



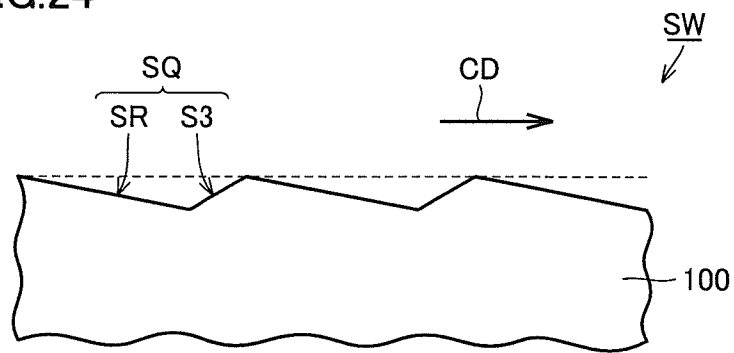
[圖23]

FIG.23



[図24]

FIG.24



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2013/068849

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
H01L21/336(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i,  
H01L29/78(2006.01)i

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)  
H01L21/336, H01L21/3065, H01L29/12, H01L29/78

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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	WO 2012/017798 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 09 February 2012 (09.02.2012), paragraphs [0024] to [0029], [0034] to [0036]; fig. 4, 7, 8 & US 2012/0309195 A1 & EP 2602823 A & CN 102971853 A	1-5
Y	JP 2002-237494 A (Sony Corp.), 23 August 2002 (23.08.2002), paragraphs [0025] to [0026] (Family: none)	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 30 September, 2013 (30.09.13)	Date of mailing of the international search report 08 October, 2013 (08.10.13)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01L21/336(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i		
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）） Int.Cl. H01L21/336, H01L21/3065, H01L29/12, H01L29/78		
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 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013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 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 請求項の番号
Y	WO 2012/017798 A1（住友電気工業株式会社）2012.02.09, [0024]-[0029], [0034]-[0036], 第4図、第7図、第8図 & US 2012/0309195 A1 & EP 2602823 A & CN 102971853 A	1-5
Y	JP 2002-237494 A（ソニー株式会社）2002.08.23, [0025]-[0026] (ファミリーなし)	1-5
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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 「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 「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 「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） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「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 「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 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	30.09.2013	国際調査報告の発送日
		08.10.2013
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 井上 弘亘 電話番号 03-3581-1101 内線 3559	50 3248