

(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
2013年3月28日(28.03.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/042497 A1

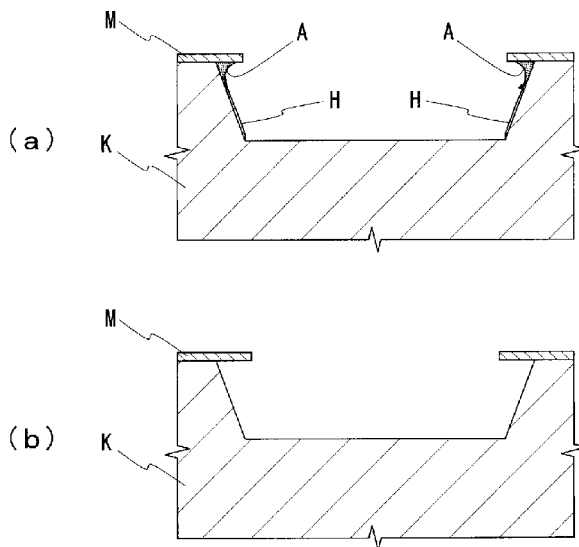
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/070832
- (22) 国際出願日: 2012年8月16日(16.08.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-207114 2011年9月22日(22.09.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): S P Pテクノロジー株式会社(SPP TECHNOLOGIES CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1046108 東京都中央区晴海一丁目8番11号 オフィスタワーY 8階 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 池本 尚弥(IKEMOTO, Naoya) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 S P Pテクノロジー株式会社内 Hyogo (JP). 村上 彰一(MURAKAMI, Shoichi) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 S P Pテクノロジー株式会社内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 村上 智司(MURAKAMI, Satoshi); 〒5300047 大阪府大阪市北区西天満二丁目6番8号 堂島ビルディング7階 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, KM, 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, 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.

[続葉有]

(54) Title: PLASMA ETCHING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマエッチング方法

[図1]



(57) Abstract: The present invention relates to a plasma etching method capable of forming a taper-shaped recessed portion in a wide gap semiconductor substrate. In the plasma etching method, first, a mask (M) having an opening is formed on the surface of a wide gap semiconductor substrate (K). Then, the wide gap semiconductor substrate (K) having the mask (M) formed thereon is placed on a base, the wide gap semiconductor substrate (K) is heated at 200°C or more, and etching gas and protective film forming gas supplied into a process chamber are converted into plasma while a bias potential is applied to the base. Thereby the etching of the wide gap semiconductor substrate (K) with the etching gas converted into a plasma is performed in parallel with the forming of a protective film with the protective film forming gas converted into a plasma. Thus, the taper-shaped recessed portion is formed in the silicon carbide substrate (K) by driving the etching of the silicon carbide substrate (K) while protecting the same with the protective film.

(57) 要約: 本発明は、ワイドギャップ半導体基板にテーパ状の凹部を形成することができるプラズマエッチング方法に関する。このプラズマエッチング方法は、まず、ワイドギャップ半導体基板Kの表面に開口部を有したマスクMを形成する。そして、マスクMが形成されたワイドギャップ半導体基板Kを基台に載置し、当該ワイドギャップ半導体基板Kを200℃以上に加熱した後、処理チャンバ内に供給されたエッチングガス及び保護膜形成ガスをプラズマ化する。

とともに、基台にバイアス電位を与え、プラズマ化されたエッチングガスによるワイドギャップ半導体基板Kのエッチングと、プラズマ化された保護膜形成ガスによる保護膜の形成とを並行して行い、保護膜によって保護しつつ、炭化ケイ素基板Kのエッチングを進行させ、炭化ケイ素基板Kにテーパ状の凹部を形成する。

WO 2013/042497 A1



(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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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： プラズマエッチング方法

技術分野

[0001] 本発明は、ワイドギャップ半導体基板に上部開口幅が広く、底部開口幅が狭いテーパ状のエッチング構造を形成するプラズマエッチング方法に関し、特に、テーパ角度を制御してテーパ状のエッチング構造を形成するプラズマエッチング方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体素子の材料として、ワイドギャップ半導体基板が注目を浴びている。このワイドギャップ半導体基板は、従来から広く用いられているシリコン（Si）基板やヒ化ガリウム（GaAs）基板などに比べ、結晶の格子定数が小さくバンドギャップが大きいという特徴を持っており、優れた物性を有することからシリコン基板やヒ化ガリウム基板ではカバーすることのできない分野などへの応用が期待されている。ワイドギャップ半導体基板としては、一般的に周期表第2周期に属する炭素（C）や窒素（N）、酸素（O）などの元素を含む化合物からなり、例えば、炭化ケイ素（SiC）や酸化亜鉛（ZnO）、或いは、窒化ガリウム（GaN）、窒化アルミニウム（AlN）、窒化ホウ素（BN）、リン化ホウ素（BP）などの所謂Ⅲ－Ⅴ族化合物などが挙げられる。

[0003] ところが、上述したように、ワイドギャップ半導体基板として用いられる炭化ケイ素などは、シリコンなどと比較して結晶の格子定数が小さい、即ち、各原子間が強固に結合しているため、原子間の結合を切断し難く、シリコン基板などと比較して、エッチング加工を行い難いという欠点を有している。そこで、本願出願人らは、このようなワイドギャップ半導体基板をプラズマエッチングする方法として、特開2011-096700号公報に開示されたプラズマエッチング方法を提案している。

[0004] このプラズマエッチング方法は、ワイドギャップ半導体基板の1つである

炭化ケイ素基板の表面にマスクとして二酸化ケイ素 (SiO_2) 膜が形成された基板をエッチング対象とし、 He ガスなどの不活性ガスを処理チャンバ内に供給しプラズマ化して不活性ガス由来のイオンなどを生成するとともに、炭化ケイ素基板が載置された基台にバイアス電位を与え、生成されたイオンを炭化ケイ素基板に入射させることで当該炭化ケイ素基板を $200^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ の温度範囲内の所定のエッチング処理温度まで加熱する。ついで、六フッ化硫黄 (SF_6) などのエッチングガスを処理チャンバ内に供給しプラズマ化してイオンや反応種などを生成するとともに、基台にバイアス電位を与え、炭化ケイ素基板の温度を前記エッチング処理温度に維持した状態で当該炭化ケイ素基板を生成したイオンによるスパッタリングやラジカルなどの反応種との化学反応によってエッチングするというものである。

[0005] このプラズマエッチング方法によれば、基台に載置された炭化ケイ素基板を所定のエッチング処理温度まで加熱することによって、炭化ケイ素基板を構成するケイ素 (Si) や炭素 (C) 間の結合を切断するのに必要なエネルギーの一部を与えることができ、原子間の結合を切断し易くなるため、エッチング加工が行い易い、言い換えれば、エッチング速度が速い。また、高精度なエッチング加工も可能である。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2011-096700号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ところで、ワイドギャップ半導体基板から半導体素子を製造する際は、基板表面にエッチング処理を施して溝や穴など（以下、「凹部」という）を形成し、この凹部に金属を充填して回路を形成させているが、この際、凹部に金属が密に充填されないと、回路に欠陥が生じ、導通不良などの問題を生じる。したがって、凹部の形状は、金属を密に充填し易い形状、例えば、開口

幅が広く、底部幅が狭いテーパ形状であることが好ましい。

[0008] しかしながら、上記従来のプラズマエッチング方法によってワイドギャップ半導体基板にエッチング処理を施した場合、ワイドギャップ半導体基板に形成する凹部はテーパ形状でなく、側壁上部が円弧状にえぐれたボウイング形状となる。このように凹部がボウイング形状となるのは以下の理由によるものと考えられる。

[0009] 上記従来のプラズマエッチング方法によって、炭化ケイ素基板にエッチング処理を施した場合、上述したように、各原子間の結合が切断され易くなるため、ラジカルなどの反応種との化学反応による等方的なエッチングが進行し易くなり、炭化ケイ素基板に形成される凹部の形状は、上述した所謂ボウイング形状になるものと考えられる。

[0010] このように凹部がボウイング形状である場合には、例えば、半導体素子の製造工程において、凹部に金属を充填した際に金属が密に充填されず、上述したような問題が生じる。また、この他にも、CVD（化学気相蒸着）法によって基板に成膜処理を施す際には、ボウイング形状の凹部には薄膜が形成し難くなるという問題なども生じる。

[0011] 更に、近年、半導体素子の微細化に伴い、テーパ角度の制御などといったより緻密にエッチング形状を制御することが要求されている。また、パワーデバイス製造工程における金属の埋め込みの容易化を図る上でもテーパ角度を制御することは重要である。

[0012] そこで、本願発明者らは、テーパ状の凹部を形成することができ、且つ、その凹部のテーパ角度を制御することができるプラズマエッチング方法について、鋭意研究を重ねた結果、エッチングガスと保護膜形成ガスとを所定の割合で混合したガスを用いてワイドギャップ半導体基板にエッチング処理を施すことによって、テーパ角度を制御しつつ、良好なテーパ状の凹部が形成できることを知見するに至った。

[0013] 本発明は、本願発明者らが、鋭意研究を重ねた結果なされたものであり、ワイドギャップ半導体基板にテーパ状凹部を形成させることができるとも

に、形成するテーパ状凹部のテーパ角度を制御することができるプラズマエッチング方法の提供をその目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 上記目的を達成するための本発明は、

プラズマ化したエッチングガスを用いて、処理チャンバ内に配置された基台上に載置されるワイドギャップ半導体基板をエッチングし、該ワイドギャップ半導体基板にテーパ状のエッチング構造を形成するプラズマエッチング方法であって、

前記ワイドギャップ半導体基板の表面に開口部を有するマスクを形成する工程と、

前記ワイドギャップ半導体基板を前記処理チャンバ内の基台上に載置して、該ワイドギャップ半導体基板を200℃以上に加熱する工程と、

前記エッチングガス及び保護膜形成ガスを前記処理チャンバ内に供給し、該エッチングガス及び保護膜形成ガスをプラズマ化する工程と、

前記ワイドギャップ半導体基板が載置された基台にバイアス電位を印加して、前記ワイドギャップ半導体基板をエッチングする工程とを行うプラズマエッチング方法において、

前記保護膜形成ガスの供給流量を調整することにより、形成されるエッチング構造のテーパ状態を制御することを特徴とするプラズマエッチング方法に係る。

[0015] この発明によれば、まず、ワイドギャップ半導体基板をプラズマエッチングするに当たり、ワイドギャップ半導体基板の表面に開口部を有するマスクを形成する。

[0016] ついで、表面にマスクが形成されたワイドギャップ半導体基板を前記基台上に載置して200℃以上に加熱する。尚、ワイドギャップ半導体基板の加熱温度は、精度良くエッチング構造を形成するために200℃～1000℃であることが好ましい。

[0017] その後、前記エッチングガスを処理チャンバ内に供給するとともに、保護

膜形成ガスをその供給流量を調整して処理チャンバ内に供給し、当該エッチングガス及び保護膜形成ガスをプラズマ化する。しかる後、ワイドギャップ半導体基板が載置された基台にバイアス電位を印加し、プラズマ化された保護膜形成ガスによってワイドギャップ半導体上に保護膜を形成しつつ、プラズマ化されたエッチングガスによってワイドギャップ半導体基板をエッチングする。

[0018] このように、本発明に係るプラズマエッチング方法においては、ワイドギャップ半導体基板に対して、エッチングと保護膜の形成とが並行して行われるとともに、保護膜形成ガスの供給流量を調整するようになっている。このようにすることで、炭化ケイ素基板に側壁全体が直線的なテーパ状の凹部を形成することができ、テーパ角度の異なるテーパ状凹部を形成することができる。

[0019] これは、プラズマ化された保護膜形成ガスによる凹部側壁への保護膜形成と、プラズマ化されたエッチングガスによる等方性エッチングとのバランスがとれ、マスク直下部やその近傍（側壁上部）の形状が改善することによって、凹部側壁が直線的になり、凹部がテーパ形状になるものと考えられる。以下、図1及び図2を参照しつつ、これについて具体的に説明する。尚、図1及び図2における符号K、符号M及び符号Hは、それぞれワイドギャップ半導体基板、マスク及び保護膜を表している。

[0020] 図1は、エッチングガスの供給流量に対する保護膜形成ガスの供給流量が適当であり、上述した保護膜Hの形成と等方性エッチングとのバランスがとれた状態における凹部の形成過程を示した図である。ここで、保護膜Hはエッチングによりワイドギャップ半導体基板Kから解離した反応種と供給された保護膜形成ガス由来の反応種とが化学反応することで生成するため、エッチングされている箇所の近傍で保護膜Hの形成が進行する。したがって、エッチング処理が進行するにつれ、凹部の側壁上部（マスク直下部やその近傍）は、イオンによるスパッタリングによってエッチングが行われる箇所（凹部の底部）との距離が離れ、ワイドギャップ半導体基板Kから解離した反応

種が供給され難くなって保護膜Hの形成が進行し難くなる。また、形成した保護膜Hもラジカルなどの反応種との化学反応によってエッチングもされていく。このため、図1(a)に示すように、凹部の側壁上部は、保護膜Hがほとんどなくなる、或いは、形成されているが膜厚が薄くなる。一方、側壁上部以外の部位では、保護膜Hが形成される。したがって、側壁上部以外の部位が、保護膜Hによって保護されつつエッチングが進行することでテーパ形状になるとともに、側壁上部が、エッチングガスをプラズマ化することで生成した反応種との化学反応によって、同図中のA部位（保護膜Hがほとんど形成されていない、或いは、形成されているが膜厚が薄い部位）が選択的に等方性エッチングされて側壁上部の円弧状にえぐれた形状が改善され、図1(b)に示すように、側壁全体が直線的なテーパ状凹部が形成するものと考えられる。また、保護膜Hの形成とエッチングとのバランスをとりつつ、保護膜形成ガスの流量を調整することで、保護膜Hの形成具合が変化するため、前記A部位のエッチング速度が若干変化し、テーパ角度の異なるテーパ状凹部が形成するものと考えられる。

[0021] 一方、エッチングガスの供給流量に対する保護膜形成ガスの供給流量が多すぎ、保護膜Hの形成と等方性エッチングとのバランスがとれておらず、保護膜Hの形成が起こり易い状態における凹部の形成過程を示したものが図2である。この場合、図2(a)に示すように、エッチング処理が進行しても、側壁上部以外の部位だけでなく、側壁上部でも保護膜Hが形成し易く、上記バランスがとれた状態と比較して、側壁上部の大部分が保護膜Hに覆われるため、同図中のB部位（保護膜Hがほとんど形成されていない、或いは、形成されているが膜厚が薄い部分）が図1(a)中のA部位よりも少なく、側壁上部の等方性エッチングが進行し難くなり、当該側壁上部の形状が改善しきらず、図2(b)に示すように、側壁が直線的でない凹部が形成するものと考えられる。

[0022] 尚、本願でいう「テーパ形状」とは、凹部における、底部幅よりも開口幅の方が広く、側壁全体が直線であるものをいい、また、水平面と凹部の側壁

面とがなす角度を θ と称し、これを「テーパ角度」と定義する。

[0023] 前記ワイドギャップ半導体基板としては、炭化ケイ素基板が一例として挙げられるが、これに限られるものではなく、例えば、酸化亜鉛、或いは、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化ホウ素、リン化ホウ素などの所謂Ⅲ-Ⅴ族化合物などであっても良い。

[0024] また、前記エッチングガスは、ワイドギャップ半導体基板が炭化ケイ素である場合にはフッ素系ガスであることが好ましく、前記保護膜形成ガスは、酸素系ガスであることが好ましい。尚、フッ素系ガスとしては、 SF_6 ガスや CF_4 （四フッ化炭素）ガスなどが挙げられ、酸素系ガスとしては、 O_2 （酸素）ガスや N_2O （亜酸化窒素）ガスなどが挙げられる。

[0025] また、エッチングガスとして SF_6 ガスを用い、保護膜形成ガスとして O_2 ガスを用いる場合は、 SF_6 ガスを $100 \sim 1000 \text{ sccm}$ の流量で処理チャンバ内に供給するとともに、 O_2 ガスは、 SF_6 ガスの流量に対して $50 \sim 100\%$ の流量で処理チャンバ内に供給するのが好ましい。因みに、本願発明者らの実験結果によると、エッチングガスとして SF_6 ガスを用い、当該 SF_6 ガスを 200 sccm の流量で処理チャンバ内に供給するとともに、保護膜形成ガスとして O_2 ガスを用い、当該 O_2 ガスを $80 \sim 220 \text{ sccm}$ 内の流量で処理チャンバ内に供給した場合、 O_2 ガスの流量に応じて、 $70 \sim 75^\circ$ 内の所望のテーパ角度を有するテーパ状凹部を形成できる。また、この場合、炭化ケイ素基板を加熱し、その温度を 200°C 以上に行っているため、 $3 \sim 4 \mu\text{m}/\text{min}$ 程度の比較的早いエッチング速度で凹部の形成が進行する。

[0026] 更に、マスクの構成成分はニッケル、或いは、二酸化ケイ素であることが好ましい。この場合、マスクのエッチングが抑えられ、マスク幅の後退が起こり難くなるため、マスク幅通りの底部幅を有する凹部を形成することができる。また、本願発明者らによれば、エッチングガスとして SF_6 ガス、保護膜形成ガスとして O_2 ガスを用い、高温下で炭化ケイ素基板にエッチング処理を行う場合には、イオンによるスパッタリング主体のエッチングよりも、反

応種との化学反応が主体のエッチングの方が起こり易く、イオンによるスパッタリング主体のエッチングの度合いが少なくなり、ニッケルがエッチングされ難くなるため、Niマスクに対する炭化ケイ素基板のエッチング選択比が200～1000と高い値を示す。

[0027] 尚、本発明のプラズマエッチング方法は、底部幅が10～500 μ m、深さが10～200 μ mの凹部を形成する場合に用いることが好ましい。

発明の効果

[0028] 以上のように、本発明のプラズマエッチング方法によれば、ワイドギャップ半導体基板に形成される凹部の形状がボウイング形状になるのを防止できるとともに、その形状をテーパ形状にすることができ、更に、テーパ角度を制御した凹部を形成することができる。

図面の簡単な説明

[0029] [図1]ワイドギャップ半導体基板にテーパ状凹部が形成する過程を説明するためのワイドギャップ半導体基板の断面図である。

[図2]ワイドギャップ半導体基板にテーパ状でない凹部が形成する過程を説明するためのワイドギャップ半導体基板の断面図である。

[図3]本発明の一実施形態に係るプラズマエッチング方法を実施するためのエッチング装置の概略構成を示した断面図である。

[図4]O₂ガスの供給流量と炭化ケイ素基板に形成する凹部の形状及びテーパ角度との関係を説明するための炭化ケイ素基板の断面図である。

[図5]O₂ガスの供給流量と炭化ケイ素基板に形成する凹部の形状との関係を説明するための炭化ケイ素基板の断面図である。

発明を実施するための形態

[0030] 以下、本発明の具体的な実施形態について、添付図面に基づき説明する。
尚、本実施形態においては、エッチング装置1によって、ワイドギャップ半導体基板の1つである炭化ケイ素基板Kをプラズマエッチングする場合を一例に挙げて説明する。また、この炭化ケイ素基板Kは、例えば、4H-SiCの結晶構造を持つものであるものとする。

- [0031] まず、図3を参照しつつ、前記エッチング装置1について説明する。このエッチング装置1は、閉塞空間を有する処理チャンバ11と、処理チャンバ11内に昇降自在に配設され、前記炭化ケイ素基板Kが載置される基台15と、当該基台15を昇降させる昇降シリンダ18と、処理チャンバ11内にエッチングガス、保護膜形成ガス及び不活性ガスを供給するガス供給装置20と、処理チャンバ11内に供給されたエッチングガス、保護膜形成ガス及び不活性ガスをプラズマ化するプラズマ生成装置25と、基台15に高周波電力を供給する高周波電源30と、処理チャンバ11内の圧力を減圧する排気装置35とを備える。
- [0032] 前記処理チャンバ11は、相互に連通した内部空間を有する上チャンバ12及び下チャンバ13から構成され、上チャンバ12は、下チャンバ13よりも小さく形成される。また、前記基台15は、炭化ケイ素基板Kが載置される上部材16と、昇降シリンダ18が接続される下部材17とから構成され、下チャンバ13内に配置されている。
- [0033] 前記ガス供給装置20は、エッチングガスとして、例えば、 SF_6 ガスなどを供給するエッチングガス供給部21と、保護膜形成ガスとして、例えば、 O_2 ガスなどを供給する保護膜形成ガス供給部22と、不活性ガスとして、例えば、 He ガスなどを供給する不活性ガス供給部23と、一端が上チャンバ12の上面に接続し、他端が分岐して前記エッチングガス供給部21、保護膜形成ガス供給部22及び不活性ガス供給部23にそれぞれ接続した供給管24とを備え、エッチングガス供給部21、保護膜形成ガス供給部22及び不活性ガス供給部23から供給管24を介して処理チャンバ11内にそれぞれエッチングガス、保護膜形成ガス及び不活性ガスを供給する。
- [0034] 前記プラズマ生成装置25は、所謂誘導結合プラズマ（ICP）を生成する装置であって、上チャンバ12の外周部に上下に並設される、複数の環状をしたコイル26と、当該各コイル26に高周波電力を供給する高周波電源27とから構成され、高周波電源27によってコイル26に高周波電力を供給することで、上チャンバ12内に供給されたエッチングガス、保護膜形成

ガス及び不活性ガスをプラズマ化する。また、前記高周波電源 30 は、前記基台 15 に高周波電力を供給することで、基台 15 とプラズマとの間にバイアス電位を与え、エッチングガス、保護膜形成ガス及び不活性ガスのプラズマ化により生成されたイオンを、基台 15 上に載置された炭化ケイ素基板 K に入射させる。

[0035] 前記排気装置 35 は、気体を排気する真空ポンプ 36 と、一端が前記真空ポンプ 36 に接続し、他端が下チャンバ 13 の側面に接続した排気管 37 とからなり、当該排気管 37 を介して真空ポンプ 36 が前記処理チャンバ 11 内の気体を排気し、処理チャンバ 11 内部を所定圧力に維持する。

[0036] 次に、以上のように構成されたエッチング装置 1 を用いて炭化ケイ素基板 K をプラズマエッチングする方法について説明する。

[0037] まず、炭化ケイ素基板 K をプラズマエッチングするに当たり、炭化ケイ素基板 K にマスク形成処理を施す。

[0038] このマスク形成処理によって、炭化ケイ素基板 K の表面に、例えば、蒸着法などを用いてマスク M を形成させた後、当該マスク M に開口部を備えた所定のマスクパターンを形成する。尚、本実施形態においては、マスク M はニッケルから構成されるものとするが、これに限られるものではなく、例えば、二酸化ケイ素のようにエッチングされ難い成分から構成されていれば良い。

[0039] 次に、マスク M を形成させた炭化ケイ素基板 K に対してプラズマエッチング処理を行う。

[0040] まず、炭化ケイ素基板 K をエッチング装置 1 内に搬入して基台 15 上に載置し、この炭化ケイ素基板 K の温度を 200℃～1000℃の温度範囲内の所定のエッチング温度にまで加熱する。具体的には、不活性ガス供給部 23 から処理チャンバ 11 内に不活性ガスを供給するとともに、高周波電源 27、30 によってコイル 26 及び基台 15 に高周波電力を印加する。これにより、処理チャンバ 11 内に供給した不活性ガスはプラズマ化され、このプラズマ化により生成したイオンが、基台 15 に高周波電力を印加することで生

じたバイアス電位によって、基台 15 上に載置された炭化ケイ素基板 K に入射、衝突する。そして、炭化ケイ素基板 K は衝突したイオンのエネルギーを吸収して温度が上昇し、やがてエッチング処理温度で平衡状態に達する。尚、処理チャンバ 11 内の圧力は、排気装置 35 によって所定の圧力に維持される。

[0041] ついで、炭化ケイ素基板 K の温度がエッチング処理温度で平衡状態に達すると、当該炭化ケイ素基板 K をエッチングする。具体的には、エッチングガス供給部 21 から処理チャンバ 11 内にエッチングガスを供給するとともに、保護膜形成ガス供給部 22 から処理チャンバ 11 内に保護膜形成ガスを供給し、高周波電源 27, 30 によってコイル 26 及び基台 15 に高周波電力を印加する。これにより、処理チャンバ 11 内に供給したエッチングガス及び保護膜形成ガスはプラズマ化される。そして、エッチングガスのプラズマ化により生成したイオンや反応種によって炭化ケイ素基板 K がエッチングされるとともに、保護膜形成ガスのプラズマ化により生成したイオンや反応種が炭化ケイ素基板 K 中のケイ素原子と化学反応して炭化ケイ素基板 K の表面に保護膜が形成される。このようにして、炭化ケイ素基板 K のエッチングと、保護膜の形成とが並行して行われ、保護膜によって保護されつつ、炭化ケイ素基板 K のエッチングが進行し、炭化ケイ素基板 K にテーパ状の凹部が形成する。尚、処理チャンバ 11 内の圧力は、排気装置 35 によって所定の圧力に維持される。

[0042] 因みに、本例のプラズマエッチング方法を適用してエッチングガスである SF_6 ガスを 200 sccm、保護膜形成ガスである O_2 ガスを 80~220 sccm 内の所定の流量で処理チャンバ内に供給し、コイル印加電力 2000W、バイアス電力 300W、処理チャンバ内圧力 10Pa の条件にて、Ni マスク M が形成された炭化ケイ素基板 K をエッチングしたところ、図 4 (a) 及び (b) に示すように、側壁全体が直線的なテーパ状の凹部が形成した。具体的には、図 4 (a) は、 O_2 ガスを 100 sccm の流量で処理チャンバ内に供給した場合（実施例 1）に炭化ケイ素基板 K に形成した凹部の形

状を示した図であり、図4（b）は、 O_2 ガスを177 s c c mの流量で供給した場合（実施例2）に形成した凹部の形状を示した図である。実施例1においては、テーパ角度 θ_1 が 70.8° 、底部幅が $215.8\mu\text{m}$ 、深さが $62\mu\text{m}$ のテーパ状凹部が形成し、実施例2においては、テーパ角度 θ_2 が 73.4° 、底部幅が 215.8 、深さが $73.9\mu\text{m}$ のテーパ状凹部が形成した。

[0043] ここで、実施例1と実施例2のテーパ角度 θ を比較すると、 O_2 ガスの流量が多い実施例2の方がテーパ角度 θ が大きくなっており、 O_2 ガスの流量を増加させることによってテーパ角度 θ は大きくなる傾向を示している。尚、本願発明者らによれば、 O_2 ガスの流量を調整することで、 $70\sim 75^\circ$ の間でテーパ角度を制御することができる。

[0044] また、形成する凹部の寸法は、上記各実施例で形成した凹部の寸法に限られるものではなく、底部幅が $10\sim 500\mu\text{m}$ 、深さが $10\sim 200\mu\text{m}$ の凹部を形成することができる。

[0045] また、上記実施例において、NiマスクMに対する炭化ケイ素基板Kのエッチング選択比は $200\sim 1000$ という高い値を示す。これは、高温化で SF_6 ガス及び O_2 ガスを用いることで、イオンによるスパッタリングが主体のエッチングではなく、ラジカルなどの反応種との化学反応が主体のエッチングとなり、スパッタリングが主体のエッチングの度合いが少ないため、化学反応が主体のエッチングが起こらないNiマスクMはエッチングされ難いに対して、化学反応が主体のエッチングが起こる炭化ケイ素基板Kはエッチングされ易くなり、選択比が高くなるものと考えられる。また、NiマスクMがエッチングされ難いため、マスクとしての役割を果たすために必要なNiマスクMの成膜量が少なくても済む。また、スパッタリング主体のエッチングの度合いが少ないため、Ni以外の材料に対する選択比も高く、例えば、Niより成膜及びエッチング後の除去が容易な SiO_2 をマスクとして使用できる。更に、Niマスクがエッチングされ難いことにより、マスク幅の後退が起き難いため、マスク幅通りの底部幅を有する凹部を形成することがで

きる。

[0046] このように、凹部がテーパ形状となるのは、以下の理由によるものだと考えられる。上例においては、プラズマ化された O_2 ガスによる凹部側壁への保護膜の形成と、プラズマ化された SF_6 ガスによる等方性エッチングとのバランスがとれた状態で、凹部を形成するようにしており、凹部の側壁上部には、ほとんど保護膜が形成していない、或いは、形成しているが膜厚が薄い。したがって、側壁上部とそれ以外の部位とでは、前者の方が選択的に等方性エッチングされ易く、側壁上部の形状が改善され、凹部側壁が直線的になるとともに、側壁上部以外の部位は、保護膜によって保護されつつエッチングされテーパ状になり、凹部は側壁全体が直線的なテーパ形状となる。

[0047] また、 O_2 ガスの供給流量が多い方が、テーパ角度 θ が大きくなる傾向を示しているが、これは、以下の理由によるものだと考えられる。 O_2 ガスの供給流量が多い方が保護膜の形成が進行し易く、側壁上部へも保護膜の形成が進行し易いため、側壁上部における等方性エッチングが進行し難くなる。したがって、側壁上部のエッチング速度が若干変化し、テーパ角度の異なるテーパ状凹部を形成することができる。

[0048] 尚、図4（a）及び（b）においては、エッチング処理前とエッチング処理後とでマスク幅に大きな変化が見られず、凹部の底部幅がマスク幅通りにエッチングされている。

[0049] 一方、エッチングガスである SF_6 ガスを200 s c c mの流量で供給し、保護膜形成ガスである O_2 ガスを80～220 s c c m外の所定の流量で処理チャンバ内に供給し、コイル印加電力2000W、バイアス電力300W、処理チャンバ内圧力10Paの条件にて炭化ケイ素基板Kをエッチングしたところ、図5（a）及び（b）に示すように、側壁が直線的なテーパ状の凹部は形成しなかった。具体的には、図5（a）は、20 s c c mの流量で処理チャンバ内に供給した場合に炭化ケイ素基板Kに形成した凹部の形状を示したものであり、同図から見て取れるように、マスク直下部やその近傍がえぐれたボウイング形状になっている。また、図5（b）は、 SF_6 ガスを20

0 s c c m、O₂ガスを400 s c c mの流量で処理チャンバ内に供給した場合に形成した凹部の形状を示したものであり、同図より、側壁が丸みを帯びた凹部が形成する。

[0050] O₂ガスの供給流量を20 s c c mとした場合に、炭化ケイ素基板Kにボウイング形状の凹部が形成した理由としては、O₂ガスの供給流量が少なすぎるため、側壁全体に対して保護膜の形成が進行し難くなるため、マスク直下部やその近傍である側壁上部を選択的に等方性エッチングすることができなくなり、側壁が全体的に等方性エッチングされたためだと考えられる。

[0051] また、O₂ガスの供給流量を400 s c c mとした場合に、側壁が丸みを帯びた凹部が形成した理由としては、O₂ガスの供給流量が多すぎるため、側壁上部の大部分が保護膜に覆われて等方性エッチングが進行し難くなり、側壁上部の一部のみしか等方的にエッチングされず、形状が改善しきらなかったためだと考えられる。

[0052] 以上のように、本発明に係るプラズマエッチング方法は、エッチングガスとともに保護膜形成ガスを供給するようにし、保護膜形成ガスの供給流量を調整することによって、炭化ケイ素基板に側壁全体が直線的なテーパ状の凹部を形成することができる。また、テーパ状凹部のテーパ角度を制御することもできる。

[0053] 以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明の採り得る具体的な態様は、何らこれに限定されるものではない。

[0054] 上例において、プラズマ発生装置25は、コイル26が上チャンバ12の外周部に上下に並設されているが、これに限られるものではなく、例えば、上チャンバ12の外部（例えば上チャンバ12の天板上方）に配設した構成の誘導結合プラズマ（ICP）発生装置としても良い。

符号の説明

- [0055] 1 エッチング装置
11 処理チャンバ
15 基台

- 2 0 ガス供給装置
- 2 1 エッチングガス供給部
- 2 2 保護膜形成ガス
- 2 3 不活性ガス供給部
- 2 5 プラズマ生成装置
- 2 6 コイル
- 2 7 高周波電源
- 3 0 高周波電源
- 3 5 排気装置
- K 炭化ケイ素基板（ワイドギャップ半導体基板）
- M N i マスク（マスク）
- H 保護膜

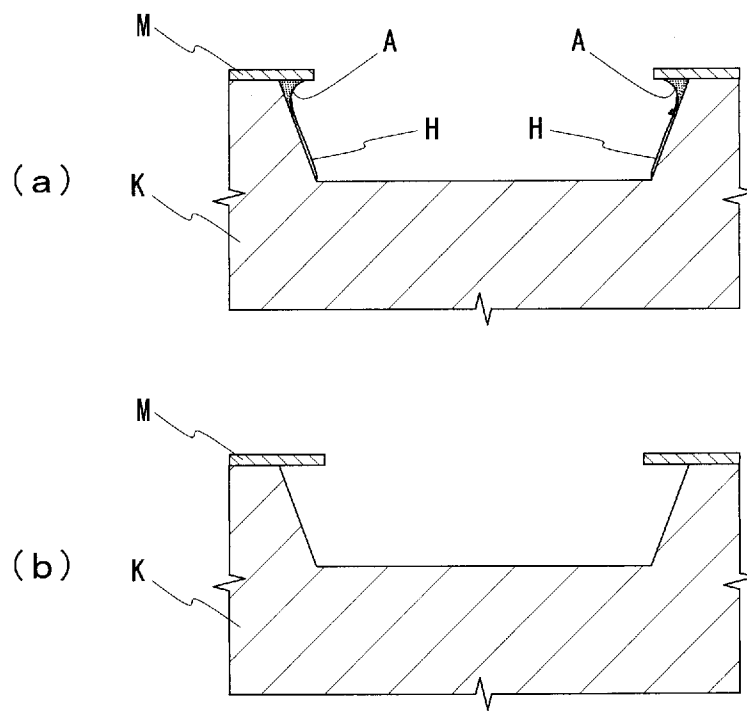
請求の範囲

- [請求項1] プラズマ化したエッチングガスを用いて、処理チャンバ内に配置された基台上に載置されるワイドギャップ半導体基板をエッチングし、該ワイドギャップ半導体基板にテーパ状のエッチング構造を形成するプラズマエッチング方法であって、
- 前記ワイドギャップ半導体基板の表面に開口部を有するマスクを形成する工程と、
- 前記ワイドギャップ半導体基板を前記処理チャンバ内の基台上に載置して、該ワイドギャップ半導体基板を200℃以上に加熱する工程と、
- 前記エッチングガス及び保護膜形成ガスを前記処理チャンバ内に供給し、該エッチングガス及び保護膜形成ガスをプラズマ化する工程と、
- 前記ワイドギャップ半導体基板が載置された基台にバイアス電位を印加して、前記ワイドギャップ半導体基板をエッチングする工程とを行うプラズマエッチング方法において、
- 前記保護膜形成ガスの供給流量を調整することにより、形成されるエッチング構造のテーパ状態を制御することを特徴とするプラズマエッチング方法。
- [請求項2] 前記マスクは、ニッケル、或いは、二酸化ケイ素から構成されてなることを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチング方法。
- [請求項3] 前記ワイドギャップ半導体基板は、炭化ケイ素から構成された基板であることを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチング方法。
- [請求項4] 前記マスクは、ニッケル、或いは、二酸化ケイ素から構成されてなることを特徴とする請求項3記載のプラズマエッチング方法。
- [請求項5] 前記エッチングガスはフッ素系ガスであり、前記保護膜形成ガスは酸素系ガスであることを特徴とする請求項1乃至4記載のプラズマエッチング方法。

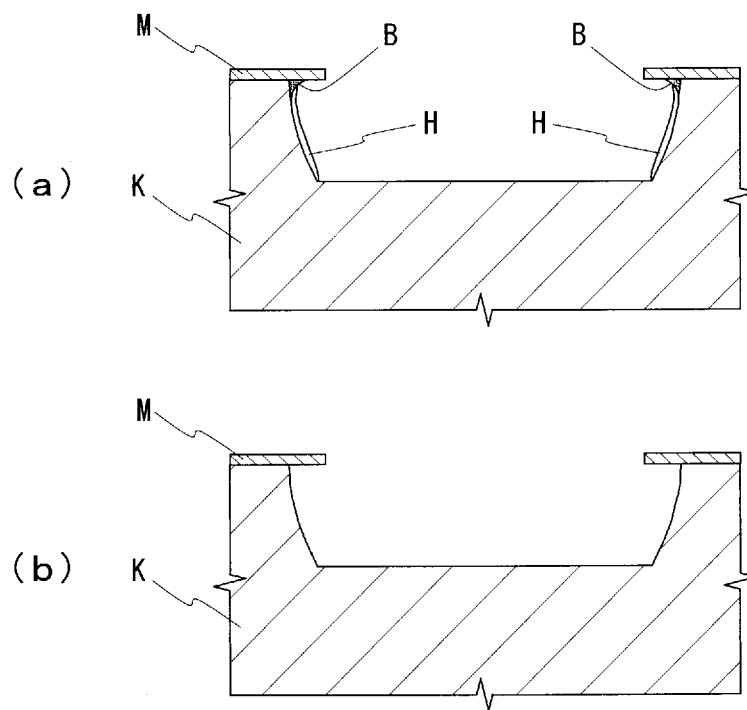
[請求項6] 前記エッチングガスは六フッ化硫黄ガスであり、前記保護膜形成ガスは酸素ガスであり、

前記六フッ化硫黄ガスを100～1000 s c c mの流量で処理チャンバ内に供給するとともに、前記酸素ガスを、六フッ化硫黄ガスの流量に対して50～100%の流量で処理チャンバ内に供給するようにしたことを特徴とする請求項1乃至4記載のプラズマエッチング方法。

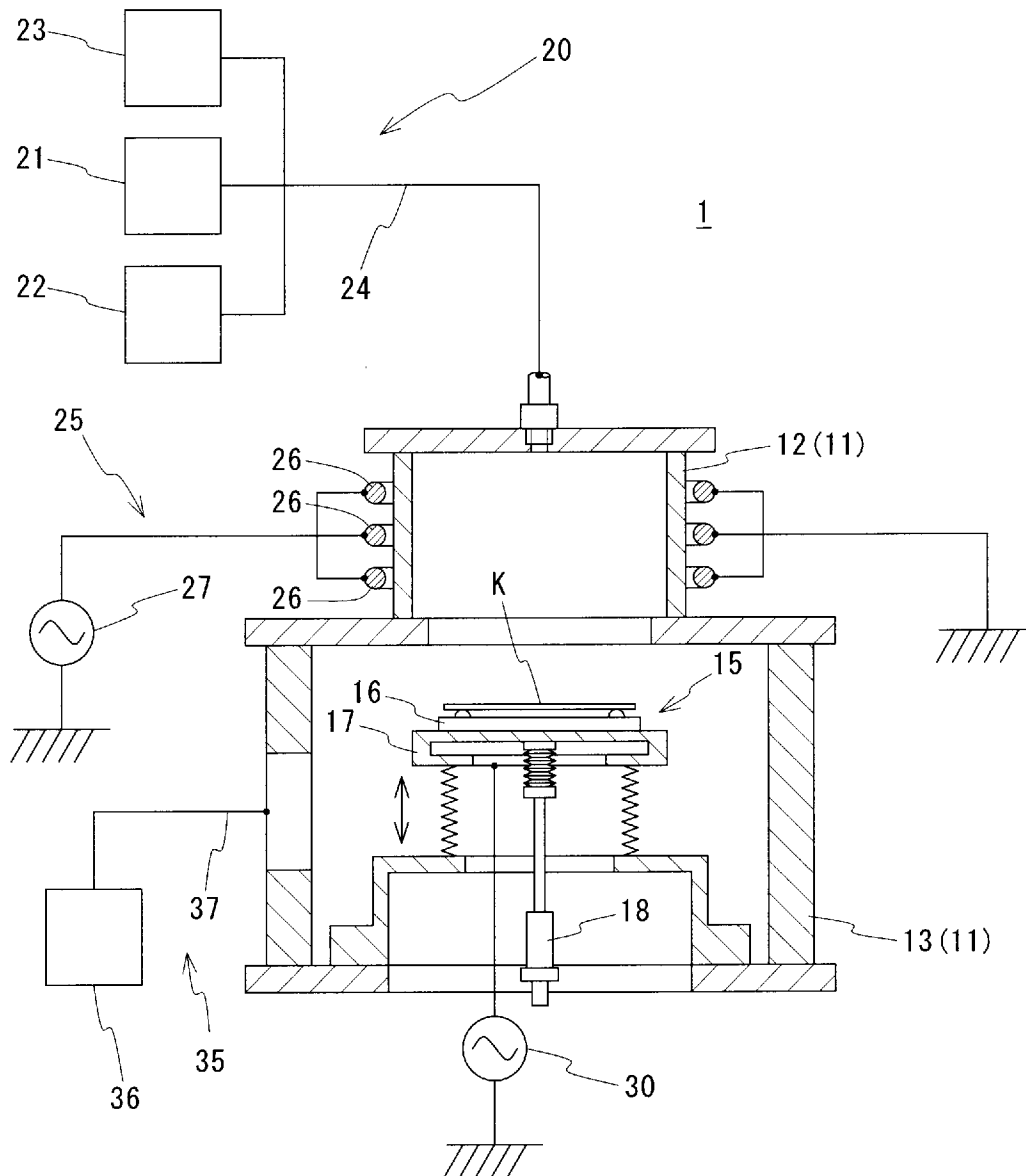
[図1]



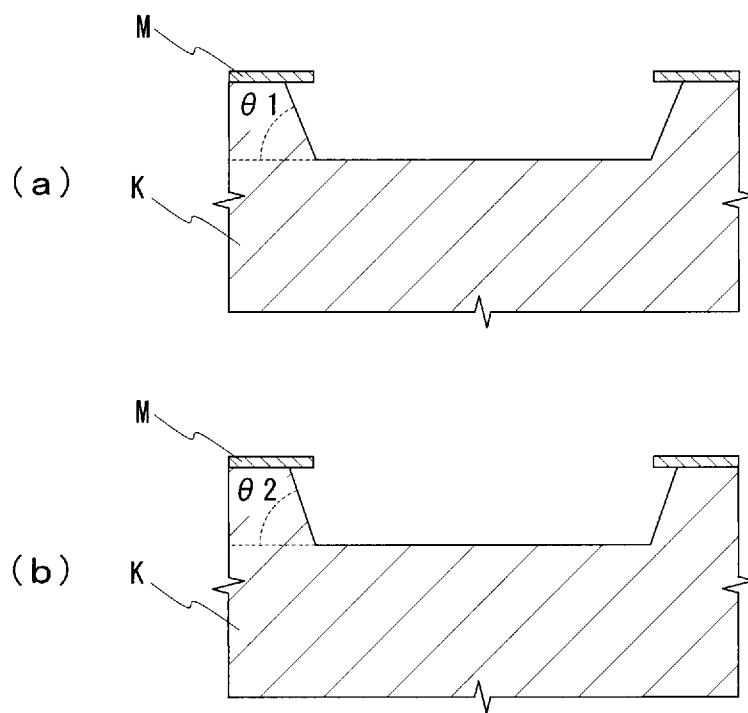
[図2]



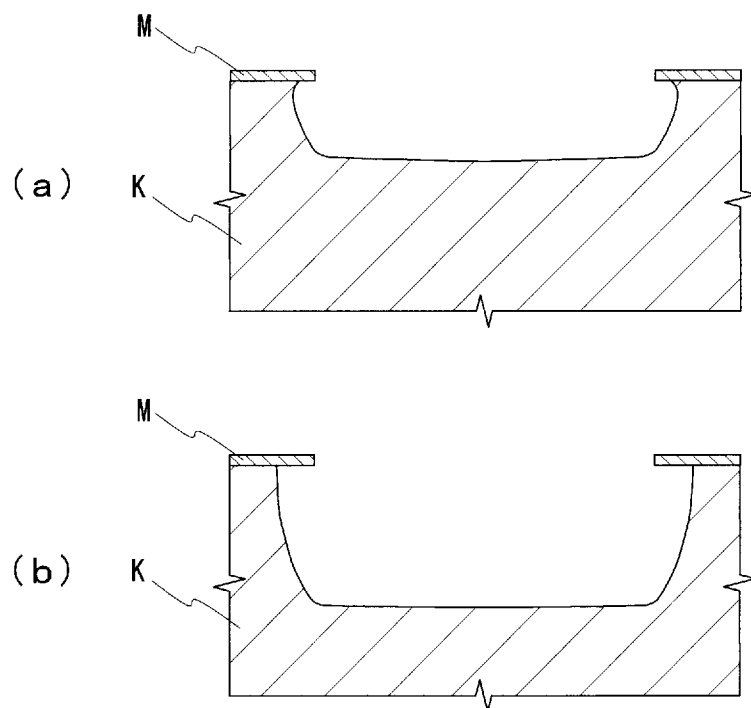
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070832

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(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)

H01L21/3065

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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 2011-96700 A (Sumitomo Precision Products Co., Ltd.), 12 May 2011 (12.05.2011), entire text; all drawings & WO 2011/052296 A1 & CN 102473630 A	1-6
Y	JP 2007-142374 A (Schott AG.), 07 June 2007 (07.06.2007), entire text; all drawings & US 2007/0108160 A1 & EP 1786027 A2 & KR 10-2007-0051691 A & CN 101016630 A & SG 132576 A	1-6

☒ 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
06 September, 2012 (06.09.12)Date of mailing of the international search report
18 September, 2012 (18.09.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070832

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-235791 A (NEC Corp.), 02 September 2005 (02.09.2005), entire text; all drawings & US 2004/0209438 A1 & WO 2003/023865 A1 & CN 1507662 A	1-6
Y	JP 3-196624 A (Sony Corp.), 28 August 1991 (28.08.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
Y	JP 4-261017 A (Mitsubishi Electric Corp.), 17 September 1992 (17.09.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
Y	JP 2002-203841 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 19 July 2002 (19.07.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/3065 (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 (I P C))

Int.Cl. H01L21/3065

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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	JP 2011-96700 A (住友精密工業株式会社) 2011. 05. 12, 全文, 全図 & WO 2011/052296 A1 & CN 102473630 A	1-6
Y	JP 2007-142374 A (ショット アクチエンゲゼルシャフト) 2007. 06. 07, 全文, 全図 & US 2007/0108160 A1 & EP 1786027 A2 & KR 10-2007-0051691 A & CN 101016630 A & SG 132576 A	1-6
Y	JP 2005-235791 A (日本電気株式会社) 2005. 09. 02, 全文, 全図 & US 2004/0209438 A1 & WO 2003/023865 A1 & CN 1507662 A	1-6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ 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

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

0 6 . 0 9 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 8 . 0 9 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

宮崎 園子

4 R

9 2 7 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 7 1

C (続き) . 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	JP 3-196624 A (ソニー株式会社) 1991. 08. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 4-261017 A (三菱電機株式会社) 1992. 09. 17, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 2002-203841 A (松下電器産業株式会社) 2002. 07. 19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6