



(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD,

SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

シャワープレート及びその製造方法、並びにそのシャワープレートを用いたプラズマ処理装置、プラズマ処理方法及び電子装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、プラズマ処理装置、とくにマイクロ波プラズマ処理装置に使用するシャワープレート及びその製造方法、並びにそのシャワープレートを用いたプラズマ処理装置、プラズマ処理方法及び電子装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] プラズマ処理工程およびプラズマ処理装置は、近年のいわゆるディープサブミクロン素子あるいはディープサブクォーターミクロン素子と呼ばれる $0.1\mu\text{m}$ 、あるいはそれ以下のゲート長を有する超微細化半導体装置の製造や、液晶表示装置を含む高解像度平面表示装置の製造にとって、不可欠の技術である。

[0003] 半導体装置や液晶表示装置の製造に使われるプラズマ処理装置としては、従来より様々なプラズマの励起方式が使われているが、とくに平行平板型高周波励起プラズマ処理装置あるいは誘導結合型プラズマ処理装置が一般的である。しかしこれら従来のプラズマ処理装置は、プラズマ形成が不均一であり、電子密度の高い領域が限定されているため大きな処理速度、すなわちスループットで被処理基板全面にわたり均一なプロセスを行うのが困難である問題点を有している。この問題は、とくに大径の基板を処理する場合に深刻になる。しかもこれら従来のプラズマ処理装置では、電子温度が高いため被処理基板上に形成される半導体素子にダメージが生じ、また処理室壁のスパッタリングによる金属汚染が大きいなど、いくつかの本質的な問題を有している。このため、従来のプラズマ処理装置では、半導体装置や液晶表示装置のさらなる微細化およびさらなる生産性の向上に対する厳しい要求を満たすことが困難になりつつある。

[0004] これに対して、従来より直流磁場を用いずにマイクロ波電界により励起された高密度プラズマを使うマイクロ波プラズマ処理装置が提案されている。例えば、均一なマイクロ波を発生するように配列された多数のスロットを有する平面状のアンテナ（ラジア

ルラインスロットアンテナ)から処理室内にマイクロ波を放射し、このマイクロ波電界により処理室内のガスを電離してプラズマを励起させる構成のプラズマ処理装置が提案されている(例えば特許文献1を参照)。このような手法で励起されたマイクロ波プラズマではアンテナ直下の広い領域にわたって高いプラズマ密度を実現でき、短時間で均一なプラズマ処理を行うことが可能である。しかもかかる手法で形成されたマイクロ波プラズマではマイクロ波によりプラズマを励起するため電子温度が低く、被処理基板のダメージや金属汚染を回避することができる。さらに大面積基板上にも均一なプラズマを容易に励起できるため、大口径半導体基板を使った半導体装置の製造工程や大型液晶表示装置の製造にも容易に対応できる。

[0005] これらのプラズマ処理装置においては、通常、処理室内にプラズマ励起用ガスを均一に供給するために、ガス放出経路として複数の縦孔を備えたシャワープレートが使用されている。しかし、シャワープレートの使用によって、シャワープレート直下に形成されたプラズマがシャワープレートの縦孔に逆流することがある。縦孔にプラズマが逆流すると、異常放電やガスの堆積が発生し、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化が発生してしまうという問題がある。

[0006] このプラズマの縦孔への逆流を防止するための手段として、シャワープレートの構造の改良が多く提案されている。

[0007] 例えば、特許文献2には、縦孔先端のガス放出孔の孔径をシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍より小さくすることが有効であることが開示されている。しかし、ガス放出孔の孔径を小さくするだけでは、プラズマの逆流を防止する手段としては不十分である。とくに、ダメージを低減し処理速度を高める目的のために、プラズマ密度を従来の 10^{12} cm^{-3} 程度から 10^{13} cm^{-3} 程度に高めようとする、プラズマの逆流が顕著となり、ガス放出孔の孔径の制御だけではプラズマの逆流を防止することはできない。また、微細な孔径のガス放出孔をシャワープレート本体に孔加工により形成することは困難であり、加工性の問題もある。

[0008] また、特許文献3には、通気性の多孔質セラミックス焼結体からなるシャワープレートを使用することも提案されている。これは、多孔質セラミックス焼結体を構成する多数の気孔の壁によりプラズマの逆流を防止しようとするものである。

[0009] しかし、この常温・常圧で焼結された一般的な多孔質セラミックス焼結体からなるシャワープレートは、その気孔径が数 μm から数十 μm 程度の大きさまでバラツキが大きく、さらに最大結晶粒子径が20 μm 程度と大きくて組織が均一でないため、表面平坦性が悪く、また、プラズマに接する面を多孔質セラミックス焼結体とすると、実効表面積が増えてしまい、プラズマの電子・イオンの再結合が増加してしまい、プラズマ励起の電力効率が悪いという問題点がある。ここで、上記特許文献3には、シャワープレート全体を多孔質セラミックス焼結体で構成する代わりに、緻密なアルミナからなるシャワープレートにガス放出用の開口部を形成し、この開口部に常温・常圧で焼結された一般的な多孔質セラミックス焼結体を装着し、この多孔質セラミックス焼結体を介してガスを放出する構造も開示されている。しかし、この構造においても、常温・常圧で焼結された一般的な多孔質セラミックス焼結体を使用するので、表面平坦性の悪さから発生する上記の問題点は解消されない。

[0010] さらに、本願出願人は、先に、特許文献4において、シャワープレートの構造面からではなくガス放出孔の直径寸法の調整によるプラズマの逆流を防止するための手段を提案した。すなわち、ガス放出孔の直径寸法を0.1～0.3mm未満とし、しかも、その直径寸法公差を $\pm 0.002\text{mm}$ 以内の精度とすることにより、プラズマの逆流を防止するとともに、ガスの放出量のバラツキをなくしたものである。

[0011] ところが、このシャワープレートを、プラズマ密度を 10^{13}cm^{-3} に高めた条件で実際にマイクロ波プラズマ処理装置で使用したところ、図21に示すように、シャワープレート本体600とカバープレート601との間に形成されたプラズマ励起用ガスを充填する空間602とそれに連通する縦孔603にプラズマが逆流したためか、あるいは空間602と縦穴603の部分でプラズマ励起用ガスに着火したためとも思われる薄茶色の変色部分が見られた。

特許文献1:特開平9-63793号公報

特許文献2:特開2005-33167号公報

特許文献3:特開2004-39972号公報

特許文献4:国際公開第06/112392号パンフレット

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0012] 本発明が解決しようとする課題は、プラズマの逆流の発生、若しくは縦孔部分でのプラズマ励起用ガスの着火をより完全に防止でき、効率の良いプラズマ励起が可能なシャワープレートを提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0013] 本発明は、プラズマ処理装置内にプラズマを発生させるためにプラズマ励起用ガスを放出するシャワープレートにおいて、プラズマ励起用ガスの放出経路となる縦孔に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体及び適宜複数のガス放出孔を有するセラミックス部材を装着し、さらにその多孔質ガス流通体の連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径を $10\mu\text{m}$ 以下としたことによって、プラズマの逆流を防止すると共に、プラズマ励起用ガスをプラズマ処理装置内にバラツキなくに放出し、均一なプラズマを生成することを可能とした。
- [0014] また、ガス放出孔の長さをプラズマ処理装置内における電子の平均自由行程より長くすることにより、プラズマの逆流を劇的に低減することを可能とした。
- [0015] またさらには、シャワープレートに開けた縦孔のガス導入側の角部に面取り加工を施すことにより、前記角部でのマイクロ波の電界集中に伴う放電、ひいてはプラズマ励起用ガスの着火現象を防止することを可能とした。
- [0016] 上述のように多孔質ガス流通体の隘路の気孔径を $10\mu\text{m}$ 以下とすることで、プラズマ密度を 10^{13}cm^{-3} 程度に高めたとしてもプラズマの逆流を防止することが可能となる。すなわち、この多孔質ガス流通体においては、連通した気孔によりガスの流通性は確保されているものの、そのガス流通経路はジグザグ状に曲折し、しかも $10\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $5\mu\text{m}$ 以下の隘路が介在している。これに対して、プラズマを構成する電子やイオンは直進性を有しているので、プラズマが多孔質ガス流通体に逆流してきたとしても、大部分が気孔の壁に衝突し、さらには気孔の $10\mu\text{m}$ 以下の隘路部でプラズマのすべてが衝突し、それ以上の逆流が阻止される。
- [0017] ここで、シャワープレートに、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体として通気性の多孔質セラミックス焼結体を使用すること自体は、上記特許文献3に開示されている。しかし、特許文献3で使用される一般的な多孔質セラミックス焼

結体は、最大結晶粒子径が $20\mu\text{m}$ 以上であり、連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が優に $10\mu\text{m}$ を超えるため、プラズマ密度を 10^{13}cm^{-3} 程度に高めた条件下ではプラズマの逆流を完全に防止することはできない。また、上述のように、結晶粒子径が比較的大きな一般的な多孔質セラミックス焼結体では表面平坦性が悪く、その実効表面積の多さに起因して、プラズマの電子・イオンの再結合が増加してしまい、プラズマ励起の電力効率が悪くなるという問題点がある。

[0018] これに対して、本発明では、プラズマ密度を 10^{13}cm^{-3} に高めた場合のプラズマのシース厚 0.01mm の2倍($20\mu\text{m}$)に対して、上述のように隘路の気孔径を $10\mu\text{m}$ 以下とすることで、確実にプラズマの逆流を防止すると共に、後述するように、結晶粒子径が微細で、しかも高純度のセラミックス焼結体からなる多孔質ガス流通体を使用することで、表面平坦性を向上させることができ、プラズマの電子・イオンの再結合の増加によるプラズマ励起の電力効率悪化の問題を解消できる。

[0019] すなわち、多孔質ガス流通体としては、誘電損失を大きくする不純物を含まない高純度で、しかも微細結晶組織を有するセラミックス焼結体からなる通気性の多孔質セラミックス焼結体が誘電損失、強度等の点から優れており、例えば、高純度アルミナ及び微量の粒成長抑制剤や Y_2O_3 及びムライト等を配合したアルミナ系焼結体、 AlN 焼結体、 SiO_2 焼結体、ムライト焼結体、 SiN_4 焼結体、 SiAlON 焼結体等が挙げられる。その気孔径の大きさは、シャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍より小さくすることが好ましい。また、結晶粒子径が微細で組織が均一でバラツキの無いものが好ましい。とくに、多孔質ガス流通体としては、アルミナ系セラミックスからなる多孔質セラミックス焼結体の誘電損失が 1×10^{-3} 以下、より好ましくは 5×10^{-4} 以下で、しかも最大結晶粒子径が $15\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下で、しかも平均結晶粒子径が $10\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $5\mu\text{m}$ 以下であり、さらには、気孔率が20～75%の範囲で、平均気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下かつ最大気孔径が $75\mu\text{m}$ 以下で、ガス流通経路の隘路の気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下の材料を用いる。さらには、多孔質セラミックス焼結体の強度(曲げ強さ)を 30MPa 以上とすることにより、気孔部分を除いた研削加工面の面粗度(Ra)を $1.5\mu\text{m}$ 以下とすることが可能であることから、従来の多孔質セラミックス焼結体の表面平坦性の悪さや実効表面積の増大に伴う弊害

を解消することができる。上述したような諸特性を有する多孔質セラミックス焼結体は、一例として99.9%以上の高純度 Al_2O_3 微粉末から比較的容易に製造することができる。このような多孔質セラミックス焼結体を使用することで、より確実にプラズマの逆流を防止することができる。

[0020] このような多孔質ガス流通体は、縦孔のガス放出側に設けたガス放出孔のガス導入側、あるいは縦孔の先端部に配置することができる。

[0021] ここで、多孔質ガス流通体をガス放出孔のガス導入側に設けると、多孔質ガス流通体がプラズマと直接的に接することではなく、また、シャワープレート下面の平坦度を阻害することもないので、プラズマの電子・イオンの再結合の増加によるプラズマ励起の電力効率悪化の問題を解消できる。プラズマ励起用ガスが、ガス放出孔に導入される前に多孔質ガス流通体に導入されることで、各縦孔毎のプラズマ励起用ガスの圧力、流速等の諸特性が均一化される。そして、その後、複数のガス放出孔から放出されるので、各ガス放出孔毎のプラズマ励起用ガス流量がバラツキなく一定で、シャワープレートの広い面から均一な状態でプラズマ処理装置内に放出される。したがって、シャワープレート直下に均一なプラズマを効率的に生成することができる。言い換えれば、ガス放出孔のガス導入側に、プラズマ励起用ガスの圧力、流速等の諸特性を均一化させるバッファ効果(緩衝効果)を有する多孔質ガス流通体を配置することで、ガス放出孔から放出するガスの流速および流量のバラツキを無くし、生成するプラズマの均一化を図ることができる。そして、上述のようにシャワープレート直下に均一なプラズマを効率的に生成することができるという利点を有しつつ、ガス放出孔のガス導入側に配置された微細結晶組織を有するセラミックス焼結体からなる多孔質ガス流通体により、縦孔のガス導入側にプラズマが逆流することを防止できる。

[0022] 多孔質ガス流通体をガス放出孔のガス導入側に配置する場合、多孔質ガス流通体のガス導入側には、ガス放出孔よりも孔径の大きいガス通過孔を連続して設けることが好ましい。このガス通過孔は、例えばシャワープレートに設けた横孔からなるプラズマ励起用ガスの導入経路から、プラズマ励起用ガスを多孔質ガス流通体側に導くための経路となり、その孔径をガス放出孔の孔径よりも大きくすることで、プラズマ励起用ガスを容易に多孔質ガス流通体側に導くことができ、全体としてのガス導通率を上

げることができる。また、ガスの流体抵抗を低減できるので、圧力ロスが少なく、ガスの供給圧力を低めに設定でき、省エネルギーとなる。

[0023] 本発明においては、多孔質ガス流通体を縦孔の少なくとも先端部に装着するようにすることもできる。このように、多孔質ガス流通体を縦孔の少なくとも先端部に装着すると、プラズマ励起用ガスが多孔質ガス流通体の全面から放出されるので、放出されるプラズマ励起用ガスの圧力、流速等の諸特性が均一化される。これにより、プラズマ励起用ガスがバラツキなく均一に放出され、シャワープレート直下に乱流現象のない均一なプラズマを生成することが可能となる。

[0024] またこの場合、多孔質ガス流通体の形状は、その上面及び下面が、プラズマ処理装置内に向かって平行平面でもよいが、共に凸曲面状または凹曲面状に湾曲した形状、言い換えれば凸状球殻または凹状球殻の形状とすることが好ましい。このように湾曲した形状にすることで、使用時の熱膨張・収縮による応力を変形(撓み)により吸収することができ、多孔質ガス流通体及びそれを装着したシャワープレートの割れ等を防止することができる。また、プラズマ処理装置内に向かって凸曲面状とした場合には、プラズマ励起用ガスをより広範囲に放出できるので、より均一なプラズマを生成することが可能となる。

[0025] さらに、多孔質ガス流通体の上面及び下面を除く外周を、緻密質セラミックス層で形成してもよい。多孔質ガス流通体はシャワープレートの縦孔に装着する際に、その外周が崩れて粒子が脱落するおそれがあるので注意を要するが、その外周を緻密質セラミックス層とすることで、外周が崩れにくくなり作業性が向上すると共に、粒子脱落によるコンタミを防止することが可能となる。

[0026] このような多孔質ガス流通体は、シャワープレートの縦孔の先端部に嵌合または焼結結合により装着することができる。多孔質ガス流通体とシャワープレートを共に焼結体の状態で嵌合させる場合には、多孔質ガス流通体の外寸法は、シャワープレートの縦孔の内寸法に対して0～-0.002mmの寸法として焼嵌め、冷やし嵌めまたは圧入により嵌合させる。

[0027] あるいは、焼結したシャワープレートの縦孔内に、外周面に耐熱性のセラミックス用接着剤を塗布した多孔質ガス流通体を装入後、400℃以上の温度で焼成することに

より、強固に接着した状態で装着することもできる。

[0028] また、多孔質ガス流通体とシャワープレートと共に焼結前の段階で装着して、その後同時に焼結することもできる。すなわち、多孔質ガス流通体については、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体あるいは焼結体の段階で、シャワープレートについては、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成したグリーン体、その脱脂体または仮焼結体の段階で、多孔質ガス流通体をシャワープレートの縦孔に装着し、その後同時に焼結する。この場合、同時焼結時の各部材の収縮率がほぼ同じで、少なくとも多孔質ガス流通体に締め付け力が作用するように、成型条件あるいはその後の脱脂、仮焼結の条件を調整する。このように、焼結前の段階で装着して、その後同時に焼結することで、多孔質ガス流通体をシャワープレートの縦孔に確実に固定することが可能となる。

[0029] さらに本発明では、複数のガス放出孔が開けられたセラミックス部材をシャワープレートに開けた縦孔に装着する構成とすることもできる。すなわち、ガス放出孔をシャワープレートとは別体のセラミックス部材に形成し、このセラミックス部材をシャワープレートに開けた縦孔に装着する。このような構成とすることで、シャワープレートに孔加工によりガス放出孔を形成する場合に比べ、微細で長いガス放出孔を容易に形成することができる。なお、ガス放出孔を開けたセラミックス部材は、射出成型や押し出し成型あるいは特殊な鋳込成型等により形成することができる。ガス放出孔の寸法としては、その孔径をシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍以下とし、かつその長さを処理室における電子の平均自由行程より大きくすることが好ましい。このように微細で長いガス放出孔を設けることで、そのガス導入側に設けた多孔質ガス流通体の効果と相まってより確実にプラズマの逆流を防止することができる。

[0030] 各縦孔に上述のようなガス放出孔を設けた部材を装着する具体的態様としては、各縦孔のガス放出側を前記部材で塞ぐようにすることが好ましい。この場合、縦孔のガス放出側をガス導入側よりも狭くし、前記部材を当該狭い部分に設けるとともにガス導入側にも延在させることが好ましい。また、縦孔のガス導入側に、前記部材のガス

放出孔に接するように多孔質ガス流通体を配置することもできる。このような構成において、ガス放出孔の長さはプラズマ処理装置内の電子の平均自由行程より長くし、その孔径はシャワープレート直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍以下とし、多孔質流通体の気孔の孔径はシャワープレート直下に形成されるプラズマのシース厚以下とすることが好ましい。

[0031] またさらに、プラズマ励起用ガスのガス流路部分となるシャワープレートの縦孔部分においては、ガス導入側の角部にマイクロ波の電界が集中するので、前記角部に面取り加工を施すことで電界集中を防ぎ、プラズマの自己発生すなわちプラズマ励起用ガスの着火現象を防止することができる。

[0032] そして、上述した本発明のシャワープレートを用いて、プラズマ励起用ガスをプラズマ処理装置内に供給し、供給されたプラズマ励起用ガスをマイクロ波で励起してプラズマを発生させ、該プラズマを用いて酸化、窒化、酸窒化、CVD、エッチング、プラズマ照射等を基板に処理することができる。

発明の効果

[0033] 本発明によれば、シャワープレートのプラズマ励起用ガスの放出経路となる縦孔にプラズマが逆流することを防止でき、シャワープレート内部での異常放電やガスの堆積の発生を抑えることができるので、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化を防止することができる。

[0034] また、プラズマに接する面の平坦度を阻害することがなく、しかもプラズマ励起用ガスをバラツキなく均一に放出することができるので、均一で効率の良いプラズマ励起が可能となる。

発明を実施するための最良の形態

[0035] 以下、実施例に基づき本発明の実施の形態を説明する。

実施例 1

[0036] 図1に、本発明の第一実施例を示す。図1を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。図示されたマイクロ波プラズマ処理装置は複数の排気ポート101を介して排気される処理室102を有し、処理室102中には被処理基板103を保持する保持台104が配置されている。処理室102を均一に排気するため、処理室102は

保持台104の周囲にリング状の空間を規定しており、複数の排気ポート101は空間に連通するように等間隔で、すなわち、被処理基板103に対して軸対称に配列されている。この排気ポート101の配列により、処理室102を排気ポート101より均一に排気することができる。

[0037] 処理室102の上部には、保持台104上の被処理基板103に対応する位置に、処理室102の外壁の一部として、直径が408mm、比誘電率が9.8で、かつ低マイクロ波誘電損失(誘電損失が 1×10^{-3} 以下より好ましくは 5×10^{-4} 以下)である誘電体のアルミナからなるシャワープレート105が、シール用のOリング106を介して取り付けられている。また、処理室102を構成する壁面107において、シャワープレート105の側面に対応する位置に、2本のシール用のOリング108とシャワープレート105の側面とにより囲まれたリング状空間109が設けられている。リング状空間109はプラズマ励起用ガスを導入するガス導入ポート110と連通している。

[0038] 一方、シャワープレート105の側面には横方向に直径1mmの多数の横孔111がシャワープレート105の中心方向に向かって開けられている。同時に、この横孔111と連通するように多数(230個)の縦孔112が処理室102へ連通して開けられている。

[0039] 図2は、シャワープレート105の上面からみた横孔111と縦孔112の配置を示す。図3は、横孔111と縦孔112の配置を示す斜視模式図である。また、図4は、縦孔112の詳細を示す。縦孔112は、処理室102側に設けられた直径10mm、深さ10mmの第一の縦孔112aと、さらにその先(ガス導入側)に設けられた直径1mmの第二の縦孔112bとからなり、横孔111に連通している。さらに、第一の縦孔112aには、処理室102側からみてアルミナ押し出し成型品からなり複数の直径 $50 \mu\text{m}$ のガス放出孔113aが開けられた高さ5mmのセラミックス部材113と、直径10mm、高さ5mmの円柱状の、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体114が順番に装着されている。

[0040] ここで、多孔質セラミックス焼結体114のガス導入側の第二の縦孔112bが本願の請求項5にいう「ガス通過孔」に対応する。

[0041] 図1を参照してプラズマ励起用ガスの処理室への導入方法を示す。ガス導入ポート110より導入されたプラズマ励起用ガスは、リング状空間109へ導入され、さらには横

孔111、縦孔112を介して、最終的には縦孔112の先端部分に設けられたガス放出孔113aから処理室102へ導入される。

[0042] シャワープレート105の上面には、マイクロ波を放射するための、スリットが多数開いたラジアルラインスロットアンテナのスロット板115、マイクロ波を径方向に伝播させるための遅波板116、およびマイクロ波をアンテナへ導入するための同軸導波管117が設置されている。また、遅波板116は、スロット板115と金属板118により挟みこまれている。金属板118には冷却用流路119が設けられている。

[0043] このような構成において、スロット板115から放射されたマイクロ波により、シャワープレート105から供給されたプラズマ励起用ガスを電離させることで、シャワープレート105の直下数ミリメートルの領域で高密度プラズマが生成される。生成されたプラズマは拡散により被処理基板103へ到達する。シャワープレート105からは、プラズマ励起用ガスのほかに、積極的にラジカルを生成させるガスとして、酸素ガスやアンモニアガスを導入しても良い。

[0044] 図示されたプラズマ処理装置では、処理室102中、シャワープレート105と被処理基板103との間にアルミニウムやステンレス等の導体からなる下段シャワープレート120が配置されている。この下段シャワープレート120は、プロセスガス供給ポート121から供給されるプロセスガスを処理室102内の被処理基板103へ導入するための複数のガス流路120aを備え、プロセスガスはガス流路120aの被処理基板103に対応する面に形成された多数のノズル120bにより、下段シャワープレート120と被処理基板103との間の空間に放出される。ここでプロセスガスとしては、Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition(PECVD)プロセスの場合、シリコン系の薄膜形成を行う場合はシランガスやジシランガス、低誘電率膜を形成する場合は C_5F_8 ガスが導入される。またプロセスガスとして有機金属ガスを導入したCVDも可能である。また、Reactive Ion Etching(RIE)プロセスの場合、シリコン酸化膜エッチングの場合は C_5F_8 ガスと酸素ガス、金属膜やシリコンのエッチングの場合は塩素ガスやHBrガスが導入される。エッチングする際にイオンエネルギーが必要な場合には前記保持台104内部に設置された電極にRF電源122をコンデンサを介して接続して、RF電力を印加することで自己バイアス電圧を被処理基板103上に発生させる。流すプロセスガスのガス種

は上記に限定されることなく、プロセスにより流すガス、圧力を設定する。

[0045] 下段シャワープレート120には、隣接するガス流路120aどうしの間に、下段シャワープレート120の上部でマイクロ波により励起されたプラズマを被処理基板103と下段シャワープレート120との間の空間に拡散により効率よく通過させるような大きさの開口部120cが形成されている。

[0046] また、高密度プラズマに晒されることでシャワープレート105へ流れ込む熱流は、スロット板115、遅波板116、及び金属板118を介して冷却用流路119に流されている水等の冷媒により排熱される。

[0047] 図4を参照すると、本実施例におけるアルミナ材料からなる円柱状のセラミックス部材113に開けられた複数のガス放出孔113aは、直径 $50\mu\text{m}$ としている。この数値は、 10^{12}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である $40\mu\text{m}$ の2倍よりは小さいが、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である $10\mu\text{m}$ の2倍よりは大きい。

[0048] ここで、セラミックス部材113は、99.95%以上の高純度 Al_2O_3 からなる誘電損失が 1×10^{-3} 以下の材料で形成した。

[0049] なお、プラズマに接している物体表面に形成されるシースの厚み d は次式で与えられる。

[数1]

$$d = 0.606\lambda_D \left(\frac{2V_0}{T_e} \right)^{3/4}$$

[0050] ここで、 V_0 はプラズマと物体の電位差(単位はV)、 T_e は電子温度(単位はeV)であり、 λ_D は次式で与えられるデバイ長である。

[数2]

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e e^2}} = 7.43 \times 10^3 \sqrt{\frac{T_e [\text{eV}]}{n_e [\text{m}^{-3}]}} \quad [\text{m}]$$

[0051] ここで、 ϵ_0 は真空の透磁率、 k はボルツマン定数、 n_e はプラズマの電子密度である。

[0052] 表1に示すとおり、プラズマの電子密度が上昇するとデバイ長は減少するため、プラズマの逆流を防ぐという観点からは、ガス放出孔113aの孔径はより小さいことが望ましいといえる。

[表1]

$T_e = 2 \text{ eV}, V_0 = 12 \text{ V}$

プラズマ密度 (cm^{-3})	デバイ長 (mm)	シース厚 (mm)
10^{13}	0.003	0.01
10^{12}	0.011	0.04
10^{11}	0.033	0.13
10^{10}	0.105	0.41

[0053] さらに、ガス放出孔113aの長さを電子が散乱されるまでの平均距離である平均自由行程より長くすることにより、プラズマの逆流を劇的に低減することが可能となる。表2に、電子の平均自由行程を示す。平均自由行程は圧力に反比例し、0.1 Torrの時に4mmとなっている。実際にはガス放出孔113aのガス導入側は圧力が高いので平均自由行程は4mmよりも短くなるが、本実施例においては、50 μm 径のガス放出孔113aの長さを5mmとして、平均自由行程よりも長い値としている。

[表2]

Arガス雰囲気中における 電子の平均自由行程

圧力(P) (Torr)	平均自由行程(λ_{en}) (mm)
10	0.04
1	0.4
0.1	4

$$\lambda_{en}(\text{mm}) = 0.4 / P(\text{Torr})$$

- [0054] ただし、平均自由行程はあくまで平均距離であるので、統計的にみるとさらに長い距離を散乱されずに進む電子がある。よって、本発明の一態様では、ガス放出孔113aのガス導入側にガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体114を設置する。
- [0055] 気孔径の大きさは、気孔の中にプラズマが逆流し、第二の縦孔112bでの異常放電を抑制するために、シャワープレート105直下に形成される高密度プラズマのシース厚の2倍以下、望ましくはシース厚以下であることが好ましい。本実施例における多孔質セラミックス焼結体114の気孔すなわちガス流通経路の隘路は $10\mu\text{m}$ 以下であり、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である $10\mu\text{m}$ と同程度以下である。このようにすることによって、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマに対しても、本シャワープレートを用いることができる。
- [0056] 以上の構成を有するシャワープレート105によって、縦孔112のガス導入側にプラズマが逆流することを防止でき、シャワープレート105内部での異常放電やガスの堆積の発生を抑えることができるので、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化を防止することができるようになった。また、プラズマに接する面の平坦度を阻害することがなく、効率の良いプラズマ励起が可能となった。加えて、ガス放出孔113aは、シャワープレート105とは別体のセラミックス部材113に押し出し成型法等により形成されるので、シャワープレートに孔加工によりガス放出孔を形成する場合に比べ、直径が 0.1mm 以下の微細で長いガス放出孔を容易に形成す

ることができるようになった。

[0057] また、被処理基板103へ均一にプラズマ励起用ガス供給を行ない、さらに下段シャワープレート120からノズル120bを介してプロセスガスを被処理基板103へ放出するようにした結果、下段シャワープレート120に設けられたノズル120bから被処理基板103へ向かうプロセスガスの流れが均一に形成され、プロセスガスがシャワープレート105の上部へ戻る成分が少なくなった。結果として、高密度プラズマに晒されることによる過剰解離によるプロセスガス分子の分解が減少し、かつプロセスガスが堆積性ガスであってもシャワープレート105への堆積によるマイクロ波導入効率の劣化などが起こりづらくなったため、クリーニング時間の短縮とプロセス安定性と再現性を高めて生産性を向上させるとともに、高品質な基板処理が可能となった。

[0058] なお、第一の縦孔112aおよび第二の縦孔112bの個数、直径および長さ、セラミックス部材113に開けられるガス放出孔113aの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

実施例 2

[0059] 図5に、本発明の第二実施例を示す。図5を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一実施例と重複する部分は同一の符号を付し説明を省略する。

[0060] 本実施例においては、処理室102の上部には、保持台104上の被処理基板103に対応する位置に、処理室102の外壁の一部として、比誘電率が9.8で、かつ低マイクロ波誘電損失(誘電損失が 1×10^{-4} 以下)である誘電体のアルミナからなり、多数(230個)の開口部、すなわち縦孔200が形成された板状のシャワープレート201が、シール用のOリング106を介して取り付けられている。さらに、処理室102には、シャワープレート201の上面側、すなわち、シャワープレート201に対して保持台104とは反対側に、アルミナからなるカバープレート202が、別のシール用のOリング203を介して取り付けられている。

[0061] 図6は、シャワープレート201とカバープレート202の配置を示す斜視模式図である。図5及び図6を参照すると、シャワープレート201上面と、カバープレート202との間には、プラズマ励起用ガス供給ポート110から、シャワープレート201内に開けられた

連通するガス供給孔204を介して供給されたプラズマ励起用ガスを充填する空間205が形成されている。換言すると、カバープレート202において、カバープレート202のシャワープレート201側の面の、縦孔200およびガス供給孔204に対応する位置にそれぞれが繋がるように溝が設けられ、シャワープレート201とカバープレート202の間に空間205が形成される。すなわち、縦孔200は空間205に連通するように配置されている。

[0062] 図7に、縦孔200の詳細を示す。図7において(a)は断面図、(b)は底面図である。縦孔200は、処理室102側から、直径5mm、高さ2mmの第一の縦孔200aと、直径10から20mm、高さ8から20mmの第二の縦孔200bからなり、第一の縦孔200aと第二の縦孔200bの一部には、アルミナからなる6本の直径50 μ m、長さ8mmのガス放出孔206aが形成された円柱状のセラミックス部材206が装着されている。また、縦孔200のガス導入側の角部には、マイクロ波の電界が集中して放電が起こり、プラズマ励起用ガスに着火してプラズマが自己発生するのを防止するために、面取り加工208が施されている。この面取り加工は、C面取り、より好ましくはR面取り加工とし、C面取り後にその角部をR面取り加工することもできる。

[0063] 以上の構成を有するシャワープレート201によって、縦孔200のガス導入側へプラズマが逆流することを防止でき、しかも縦孔200のガス導入側角部でのプラズマ励起用ガスが着火する現象もなくなった。

[0064] 図8にはセラミックス部材206の好ましい理想的な構造を示す。同図(a)は断面図、(b)は底面図である。同図に示すように、セラミックス部材206に形成するガス放出孔206aの孔径は2～5 μ m程度、その間隔は10～20 μ m程度が好ましい。

[0065] さらに、プラズマの逆流を確実に防ぐために、図9に示すように、図7と同じ寸法のセラミックス部材206のガス導入側に、セラミックス部材206に設けたガス放出孔206aに接するように、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体207を設けてもよい。ここで、多孔質セラミックス焼結体207のガス導入側の第二の縦孔200bの空間部分が本願の請求項5にいう「ガス通過孔」に対応する。

[0066] なお、本実施例の図9に示す多孔質セラミックス焼結体207としては、純度が99.95%以上の Al_2O_3 材料で、平均結晶粒子径が1 μ mで、曲げ強度が100MPaで、し

かも平均気孔径が $3\mu\text{m}$ で気孔率が45%で厚さが4mmの材料を用いた。

[0067] 本実施例においても、第一実施例と同様の効果が得られる。

[0068] なお、第一の縦孔200aおよび第二の縦孔200bの個数、直径および長さ、セラミックス部材206に開けられるガス放出孔206aの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

実施例 3

[0069] 図10に、本発明の第三実施例を示す。図を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一および第二実施例と重複する部分は同一符号を付し説明を省略する。本実施例におけるシャワープレート301の縦孔300は、図11のような構造をしている。すなわち、プラズマが励起される処理室102側には、直径0.05mm、長さ0.5mmのガス放出孔300aが開けられており、ガス放出孔300aのガス導入側は直径1mmの孔300bに接続されている。また、孔300bのガス導入側の角部には、マイクロ波の電界集中を避けるために、面取り加工303を施している。そして、直径1mmの孔300bの底部に、高さ5mmの円柱状の、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体302が装着されている。本実施例においてガス放出孔300aは、アルミナからなるシャワープレートに直接開けるので、長さ1mm以上とするのが困難であり、電子の平均自由行程よりも短いため、電子が逆流し、結果として空間205及び縦孔300でプラズマが着火されるとともに着火現象が継続保持されることがある。これを防ぐために、ガス放出孔300aのガス導入側に第二実施例に用いたのと同じ材料特性の多孔質セラミックス焼結体302を設けている。

[0070] 本実施例においても、第一実施例と同様の効果が得られる。

[0071] なお、縦孔300、ガス放出孔300aおよび孔300bの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

実施例 4

[0072] 図12に、本発明の第四実施例を示す。図12を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一乃至第三実施例と重複する部分は同一符号を付し説明を省略する。

[0073] シャワープレート400の側面には横方向に直径1mmの多数の横孔401がシャワー

プレート400の中心方向に向かって開けられている。同時に、この横孔401と連通するように多数(230個)の縦孔402が処理室102へ連通して開けられている。

[0074] 図13は、シャワープレート400の上面からみた横孔401と縦孔402の配置を示す。図14は、横孔401と縦孔402の配置を示す斜視模式図である。また、図15は、縦孔402の詳細を示す。縦孔402の長さは8～21mm程度、直径は3mm以下(好ましくは1mm以下)であり、その先端部に、高さ2～6mm程度の円柱状でガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体403が装着されている。多孔質セラミックス焼結体はアルミナ系材料からなり、連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下、誘電損失が 1×10^{-3} 以下、平均結晶粒子径が $10\mu\text{m}$ 以下、気孔率が20～75%、平均気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下、最大気孔径が $75\mu\text{m}$ 以下、曲げ強さが30MPa以上のものを用いる。

[0075] この多孔質セラミックス焼結体403を装着したシャワープレート400の製造例を以下に示す。

[0076] (製造例1)

平均粉末粒子径が $0.6\mu\text{m}$ で純度が99.99%の Al_2O_3 粉末に3質量%のワックスを配合して得た平均粒子径 $70\mu\text{m}$ の噴霧造粒粉体をプレス成型した後、外径、厚み、横孔及び縦孔等を所定寸法に成形加工したグリーン体を焼結して相対密度が98%のシャワープレート用焼結素材を得た。

[0077] 一方、多孔質セラミックス焼結体については、前記噴霧造粒粉体を粉体の状態で 800°C で焼成して仮焼結粉体を得た後、前記シャワープレート用の Al_2O_3 粉末を3質量%添加混合してプレス成型して得たグリーン体を焼結することにより、連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が $2\mu\text{m}$ 、誘電損失が 2.5×10^{-4} 、平均結晶粒子径が $1.5\mu\text{m}$ 、最大結晶粒子径が $3\mu\text{m}$ 、気孔率が40%、平均気孔径が $3\mu\text{m}$ 、最大気孔径が $5\mu\text{m}$ 、曲げ強さが300MPaの多孔質セラミックス焼結体用材料を得た。

[0078] 前記シャワープレート用焼結素材の縦孔の内径を $3.0\pm 0.001\text{mm}$ になるように仕上げ加工し、前記多孔質セラミックス焼結体用材料の厚みを6mmになるように加工すると共に外径寸法を $3.0\sim 3.0-0.003\text{mm}$ に仕上げ加工した後、超音波洗

浄を行って、図15に示すように縦孔402に多孔質セラミックス焼結体403を圧入により嵌合した。なお、嵌合代が小さ過ぎて圧入が困難な場合は、シャワープレートに50～100℃程度に加熱しておくことで圧入が容易になる。

[0079] (製造例2)

前記製造例1で得たのと同じ噴霧造粒粉体を78～147MPaの各種圧力でプレス成型した後、外径、厚み、横孔及び縦孔等を所定寸法に成形加工したシャワープレート用グリーン体を準備した。

[0080] 一方、多孔質セラミックス焼結体用材料としては、前記製造例1と同じグリーン体を得、これを所定形状に加工した粉末成形体と、これを450℃で焼成した脱脂体と、さらに600℃で焼成した仮焼結体を準備した。

[0081] なお、前記シャワープレート用グリーン体は、プレス成型圧力によって焼結収縮率が異なり、因みに78Mpaの場合は焼結収縮率が19%で、147MPaの場合は16.2%である。また、多孔質セラミックス焼結体用材料は、気孔率や気孔径を設定変更する毎に焼結収縮率が変化し、またプレス成型圧力によっても焼結収縮率が変化するので、多孔質セラミックス焼結体の特性設定毎にあらかじめ焼結収縮率を調べておく。

[0082] 上述したシャワープレート用グリーン体の焼結収縮率と同等乃至わずかに小さな焼結収縮率を有する多孔質セラミックス焼結体の粉末成形体、脱脂体または仮焼結体を縦孔に装着した後、同時に焼結した。これにより、相互間に焼結結合力が生じるので強固な装着固定が確保される。

[0083] (製造例3)

前記製造例1及び製造例2と同じシャワープレート用グリーン体を450℃で焼成して脱脂体を得た。なお、この脱脂体の焼結収縮率はグリーン体のそれと同一である。

[0084] また、シャワープレート用グリーン体を600～1000℃で焼成(仮焼結)して仮焼結体を得た。仮焼結体の場合は、仮焼結段階で若干の焼結収縮が発生するので、仮焼結体の本焼結する際の残余の焼結収縮率は仮焼結温度が高くなる程小さくなる。

[0085] 一方、前記製造例1及び製造例2と同じ製法で得た多孔質セラミックス焼結体用材料は、噴霧造粒粉体を仮焼結した粉体を使用しているので、シャワープレート用グリ

ーン体より焼結収縮率が若干小さく、シャワープレート用グリーン体の仮焼結体と焼結収縮率が近似しており、焼結収縮率が同等のシャワープレート用材料と多孔質セラミックス焼結体用材料を選定するのには好都合である。

[0086] この製造例でも前記製造例2と同様に、シャワープレート用材料と、その縦孔に装着した多孔質セラミックス焼結体用材料とを同時に焼結することにより、相互間に焼結結合力が生じるので強固な装着固定が確保される。

[0087] またさらに、製造例2で準備したシャワープレート用グリーン体の焼結収縮率から縦孔の焼結後の寸法を算出しておき、多孔質セラミックス材料のグリーン体、脱脂体、仮焼結体の焼結後の寸法及び焼結体の寸法が、前記縦孔の焼結後の算出寸法よりも若干(1~50 μm 程度)大きい多孔質セラミックス材料を、前記グリーン体の縦孔にセットして同時焼結することにより、相互間に焼結結合力が生じ、連続した結晶組織を有する強固な装着固定が達成できる。

[0088] なお、シャワープレートの縦孔に装着するセラミックス部材(113, 206, 404)も、上記製造例1~3で説明した方法と同様の方法により、シャワープレートと同時焼結して所定の位置に装着することができる。

[0089] 上述のとおり、プラズマの電子密度が上昇するとデバイ長は減少するため、プラズマの逆流を防ぐという観点からは、多孔質セラミックス焼結体403の孔径はより小さいことが望ましいといえる。具体的には、平均気孔径の大きさは、プラズマのシース厚の2倍以下、望ましくはシース厚以下であることが好ましい。また、多孔質セラミックス焼結体403の気孔すなわちガス流通経路の隘路は10 μm 以下であり、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である10 μm と同程度以下である。このようにすることによって、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマに対しても、本シャワープレートを用いることができる。

[0090] 以上の構成を有するシャワープレート400を使用することによって、その縦孔402のガス導入側にプラズマが逆流することを防止でき、シャワープレート400内部での異常放電やガスの堆積の発生を抑えることができるので、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化を防止することができるようになった。

[0091] ここで、少なくとも、単一縦孔に装着した多孔質ガス流通体から放出されるプラズマ

励起用ガスが、局所的なムラがなく全面からできる限り均一な流速、流量になるようにするために、気孔径及び通気率が小さい範囲内の多孔質ガス流通体を用いる場合は、放出されるプラズマ励起用ガスの流量を確保するために、多孔質ガス流通体の厚みを2～3mm程度に薄くする場合がある。このような薄い多孔質ガス流通体を用いる場合や平均気孔径と隘路の気孔径が大きな多孔質ガス流通体を用いる場合に、プラズマの逆流をより確実に防止するために、図16(a)に示すように、複数のガス流通孔404aが開けられたセラミックス部材404を、多孔質セラミックス焼結体403のガス導入側に接するように設けてもよい。セラミックス部材404は、99.95%以上の高純度アルミナ(誘電損失が 1×10^{-3} 以下)の押し出し成型品であり、ガス流通孔404aの孔径は直径 $50 \mu\text{m}$ としている。この数値は、 10^{12}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である $40 \mu\text{m}$ の2倍よりは小さいが、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である $10 \mu\text{m}$ の2倍よりは大きい。また、ガス流通孔404aの長さは5mmとしている。

[0092] このガス流通孔404aの長さは、電子が散乱されるまでの平均距離である平均自由行程より長くすることが好ましい。上述のとおり、平均自由行程は圧力に反比例し、0.1Torrの時に4mmとなる。実際にはガス流通孔404aのガス導入側は圧力が高いため平均自由行程は4mmよりも短くなるが、本実施例においては、ガス放出孔404aの長さを5mmとして、平均自由行程よりも長い値としている。

[0093] また、図16(b)に示すように、前記セラミックス部材404の代わりに多孔質セラミックス焼結体403のガス導入側に、別の多孔質セラミックス焼結体403aを設けることによりプラズマの逆流をより確実に防止することもできる。この場合、プラズマ励起用ガスの圧損を小さくするために、ガス導入側の多孔質セラミックス焼結体403aとしては、ガス放出側の多孔質セラミックス焼結体403よりも気孔径及び気孔率が大きいものを使用する(例えば平均気孔径:10～30 μm 、気孔率:50～75%)。

[0094] 図17は、多孔質セラミックス焼結体403の他の装着例を示す。

[0095] 図17(a)の例は、第一の縦孔402aの先端に大径の第二の縦孔402bを設け、その第二の縦孔402bを多孔質セラミックス焼結体403の装着部として、そこに多孔質セラミックス焼結体403を装着したものである。また、図17(a)の例では、多孔質セラミックス焼結体403のガス導入側に図16(a)で説明したのと同様の複数のガス流通孔4

04aが開けられたセラミックス部材404を設けている。これによって、プラズマの逆流をより確実に防止することもできる。なお、セラミックス部材404に代えて、図16(b)の例と同様に、多孔質セラミックス焼結体403のガス導入側に別の多孔質セラミックス焼結体を設けてもよい。

- [0096] 図17(b)の例は、第二の縦孔402bに装着する多孔質セラミックス焼結体403の形状を、その上面及び下面が処理室102に向かって共に凹曲面状に湾曲した形状としたものである。また、図17(c)の例は、第一の縦孔402aの先端に設けた大径の第二の縦孔402bに装着する多孔質セラミックス焼結体403の形状を、その上面及び下面が処理室102に向かって共に凸曲面状に湾曲した形状としたものである。ここで、多孔質セラミックス焼結体403は、その下端がシャワープレート400の下面から突出しないように装着されている。図17(b)及び図17(c)のように湾曲した形状の多孔質セラミックス焼結体403を使用することで、シャワープレート400の使用時の熱膨張・収縮による応力を変形(撓み)により吸収することができ、多孔質ガス流通体403及びそれを装着したシャワープレート400の割れ等を防止することができる。また、図17(c)のように、処理室2に向かって凸曲面状とした場合には、プラズマ励起用ガスをより広範囲に放出できるので、より均一なプラズマを生成することが可能となる。なお、図17(b)及び図17(c)の例においても、多孔質セラミックス焼結体403のガス導入側に、複数のガス流通孔が開けられたセラミックス部材または別の多孔質セラミックス焼結体を設けてもよい。

- [0097] 以上の実施例において、縦孔112aの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

実施例 5

- [0098] 図18に、本発明の第五実施例を示す。図18を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一乃至第四実施例と重複する部分は同一の符号を付し説明を省略する。

- [0099] 本実施例においては、処理室102の上部には、保持台104上の被処理基板103に対応する位置に、処理室102の外壁の一部として、比誘電率が9.8で、かつ低マイクロ波誘電損失(誘電損失が 1×10^{-4} 以下)である誘電体のアルミナからなり、多

数(230個)の開口部、すなわち縦孔500が形成された板状のシャワープレート501が、シール用のOリング106を介して取り付けられている。さらに、処理室102には、シャワープレート501の上面側、すなわち、シャワープレート501に対して保持台104とは反対側に、アルミナからなるカバープレート202が、別のシール用のOリング203を介して取り付けられている。

[0100] 図19は、シャワープレート501とカバープレート202の配置を示す斜視模式図である。図18及び図19を参照すると、シャワープレート501上面と、カバープレート202との間には、プラズマ励起用ガス供給ポート110から、シャワープレート501内に開けられた連通するガス供給孔204を介して供給されたプラズマ励起用ガスを充填する空間205が形成されている。換言すると、カバープレート202において、カバープレート202のシャワープレート501側の面の、縦孔500およびガス供給孔204に対応する位置にそれぞれが繋がるように溝が設けられ、シャワープレート501とカバープレート202の間に空間205が形成される。すなわち、縦孔500は空間205に連通するように配置されている。

[0101] 図20は、縦孔500の詳細を示す。縦孔500は、処理室102側から、直径8mm、高さ3mmの第一の縦孔500aと、直径10mm、高さ7mmの第二の縦孔500bからなり、第一の縦孔500aと第二の縦孔500bの全体に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体502が嵌合により装着されている。多孔質セラミックス焼結体502は、その上面及び下面を除く外周が緻密質セラミックス層502aで形成されており、内部が多孔質部502bとなっている。多孔質部502bの構成は、第四実施例の多孔質セラミックス焼結体403と同じである。緻密質セラミックス層502aは、シャワープレート501と同等の特性値を有しており、具体的には、誘電損失が 1×10^{-3} 以下、 Al_2O_3 純度が99.95%以上で相対密度が98%以上の材料で形成した。

[0102] このような外周に緻密質セラミックス層502aを有する多孔質セラミックス焼結体502は、例えば以下の方法により製造できる。

[0103] すなわち、多孔質ガス流通体用に調整した粉末を円筒状ゴム型に充填して冷間静水圧プレス(CIP)成型した後、外周を加工した円柱状の成形体を、前記ゴム型よりも一サイズ大きな円筒状ゴム型の中心にセットして、その外側に緻密質セラミックス用の

調整粉末を充填して、再度CIP成型して得た成形体を所定温度で焼結することにより、2重構造の多孔質ガス流通体を得ることができる。なお、中心部の多孔質材料部と外周の緻密質材料部の焼結収縮が同一となるように、各々のCIP成型条件を設定することが肝要である。

[0104] 本実施例においても、第四実施例と同様の効果が得られる。

[0105] なお、第一の縦孔500aおよび第二の縦孔500bの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

産業上の利用可能性

[0106] 本発明のシャワープレートは、マイクロ波プラズマ処理装置のほか、平行平板型高周波励起プラズマ処理装置、誘導結合型プラズマ処理装置等、各種のプラズマ処理装置に利用可能である。

図面の簡単な説明

[0107] [図1]本発明の第一実施例を示す。

[図2]図1に示したシャワープレートの上面からみた横孔と縦孔の配置を示す。

[図3]図1に示したシャワープレートの横孔と縦孔の配置を示す。

[図4]図1に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

[図5]本発明の第二実施例を示す。

[図6]図5に示したシャワープレートとカバープレートの配置を示す

[図7]図5に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

[図8]図5に示したシャワープレートの縦孔に装着するセラミックス部材の好ましい理想的な構造を示す。

[図9]図7に示したシャワープレートの縦孔に多孔質セラミックス焼結体を設けた例を示す。

[図10]本発明の第三実施例を示す。

[図11]図10に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

[図12]本発明の第四実施例を示す。

[図13]図12に示したシャワープレートの上面からみた横孔と縦孔の配置を示す。

[図14]図12に示したシャワープレートの横孔と縦孔の配置を示す。

[図15]図12に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

[図16]シャワープレートの縦孔先端部に装着した多孔質セラミックス焼結体のガス導入側に、ガス流通孔を有するセラミックス部材または他の多孔質セラミックス焼結体を設けた例を示す。

[図17]多孔質セラミックス焼結体の他の装着例を示す。

[図18]本発明の第五実施例を示す。

[図19]図18に示したシャワープレートとカバープレートの配置を示す

[図20]図18に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

[図21]従来のシャワープレートを示す。

符号の説明

- [0108]
- 101 排気ポート
 - 102 処理室
 - 103 被処理基板
 - 104 保持台
 - 105 シャワープレート
 - 106 シール用のOリング
 - 107 壁面
 - 108 シール用のOリング
 - 109 リング状空間
 - 110 ガス導入ポート
 - 111 横孔
 - 112 縦孔
 - 112a 第一の縦孔
 - 112b 第二の縦孔
 - 113 セラミックス部材
 - 113a ガス放出孔
 - 114 多孔質セラミックス焼結体(多孔質ガス流通体)
 - 115 スロット板

- 116 遅波板
- 117 同軸導波管
- 118 金属板
- 119 冷却用流路
- 120 下段シャワープレート
- 120a ガス流路
- 120b ノズル
- 120c 開口部
- 121 プロセスガス供給ポート
- 122 RF電源
- 200 縦孔
- 200a 第一の縦孔
- 200b 第二の縦孔
- 201 シャワープレート
- 202 カバープレート
- 203 シール用のOリング
- 204 ガス供給孔
- 205 空間
- 206 セラミックス部材
- 206a ガス放出孔
- 207 多孔質セラミックス焼結体(多孔質ガス流通体)
- 208 面取り加工
- 300 縦孔
- 300a ガス放出孔
- 300b 孔
- 301 シャワープレート
- 302 多孔質セラミックス焼結体(多孔質ガス流通体)
- 303 面取り加工

- 400 シャワープレート
- 401 横孔
- 402 縦孔
- 402a 第一の縦孔
- 402b 第二の縦孔
- 403 多孔質セラミックス焼結体(多孔質ガス流通体)
- 404 セラミックス部材
- 404a ガス流通孔
- 500 縦孔
- 501 シャワープレート
- 502 多孔質セラミックス焼結体(多孔質ガス流通体)
- 502a 緻密質セラミックス層
- 502b 多孔質部

請求の範囲

- [1] プラズマ処理装置に配置され、前記プラズマ処理装置内にプラズマを発生させるためにプラズマ励起用ガスを放出するシャワープレートにおいて、プラズマ励起用ガスの放出経路となる縦孔に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体を装着し、前記多孔質ガス流通体の連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下であるシャワープレート。
- [2] 前記多孔質ガス流通体がアルミナ系材料からなり、誘電損失が 1×10^{-3} 以下、平均結晶粒子径が $10\mu\text{m}$ 以下、気孔率が20～75%の範囲、平均気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下、最大気孔径が $75\mu\text{m}$ 以下、曲げ強さが30MPa以上である請求項1に記載のシャワープレート。
- [3] 前記縦孔のガス放出側にガス放出孔が設けられており、前記多孔質ガス流通体が前記ガス放出孔のガス導入側に配置されている請求項1または請求項2に記載のシャワープレート。
- [4] 前記ガス放出孔の孔径がシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍以下である請求項3に記載のシャワープレート。
- [5] 前記多孔質ガス流通体のガス導入側に、前記ガス放出孔よりも孔径の大きいガス通過孔を連続して設けた請求項3または請求項4のいずれかに記載のシャワープレート。
- [6] 複数のガス放出孔が開けられたセラミックス部材をシャワープレートに開けた縦孔に装着してなる請求項3から請求項5のいずれかに記載のシャワープレート。
- [7] プラズマ処理装置に配置され、前記プラズマ処理装置内にプラズマを発生させるためにプラズマ励起用ガスを放出する複数のガス放出孔を備えたシャワープレートにおいて、ガス放出孔の長さが前記プラズマ処理装置内における電子の平均自由行程よりも長いシャワープレート。
- [8] ガス放出孔がシャワープレートに開けた縦孔のガス放出側に設けられており、前記縦孔のガス導入側の角部に面取り加工を施した請求項1から請求項7のいずれかに記載のシャワープレート。
- [9] プラズマ処理装置用のシャワープレートであって、複数の縦孔を備え、各縦孔のガ

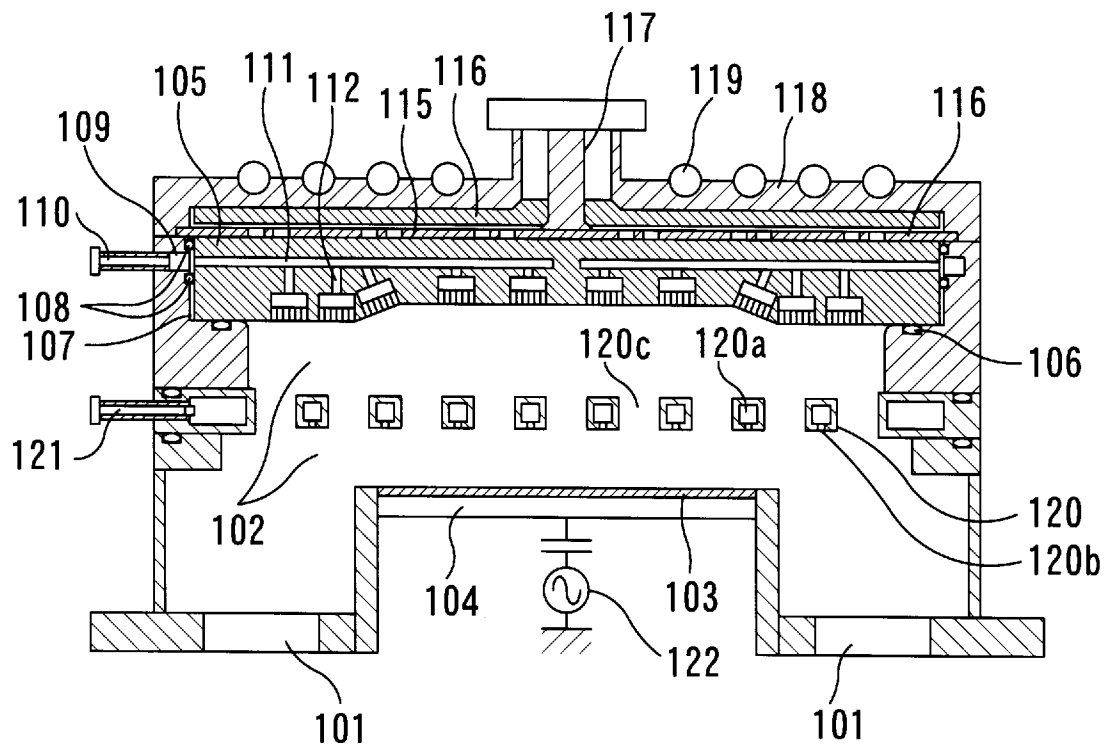
ス放出側は複数のガス放出孔を設けた部材で塞がれ、各ガス放出孔の長さが前記プラズマ処理装置内の電子の平均自由行程よりも長いシャワープレート。

- [10] 前記縦孔の前記ガス放出側はガス導入側よりも狭く、前記部材は当該狭い部分に設けられるとともにガス導入側にも延在している請求項9に記載のシャワープレート。
- [11] 前記部材はセラミックスの押出し成型品である請求項9または請求項10に記載のシャワープレート。
- [12] 前記複数のガス放出孔に接するように前記縦孔のガス導入側に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体を配置した請求項9から請求項11のいずれかに記載のシャワープレート。
- [13] 前記ガス放出孔の孔径がシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍以下である請求項9から請求項11のいずれかに記載のシャワープレート。
- [14] 前記多孔質ガス流通体の気孔の孔径がシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚以下である請求項12に記載のシャワープレート。
- [15] 前記多孔質ガス流通体が、前記縦孔の少なくとも先端部に、嵌合または焼結結合することにより装着されている請求項1または請求項2に記載のシャワープレート。
- [16] 多孔質ガス流通体の上面及び下面が、前記プラズマ処理装置内に向かって、共に凸曲面状または凹曲面状に湾曲している請求項15に記載のシャワープレート。
- [17] 多孔質ガス流通体の上面及び下面を除く外周が、緻密質セラミックス層で形成されている請求項15に記載のシャワープレート。
- [18] 多孔質ガス流通体のガス導入側の縦孔に、ガス流通孔を開けたセラミックス部材または前記多孔質ガス流通体よりも気孔率の大きい別の多孔質ガス流通体を装着した請求項15から請求項17のいずれかに記載のシャワープレート。
- [19] 請求項1に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、シャワープレートの縦孔の内寸法に対して0～0.002mmの外寸法を有する多孔質ガス流通体を嵌合により装着するシャワープレートの製造方法。
- [20] 請求項1に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体を、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成

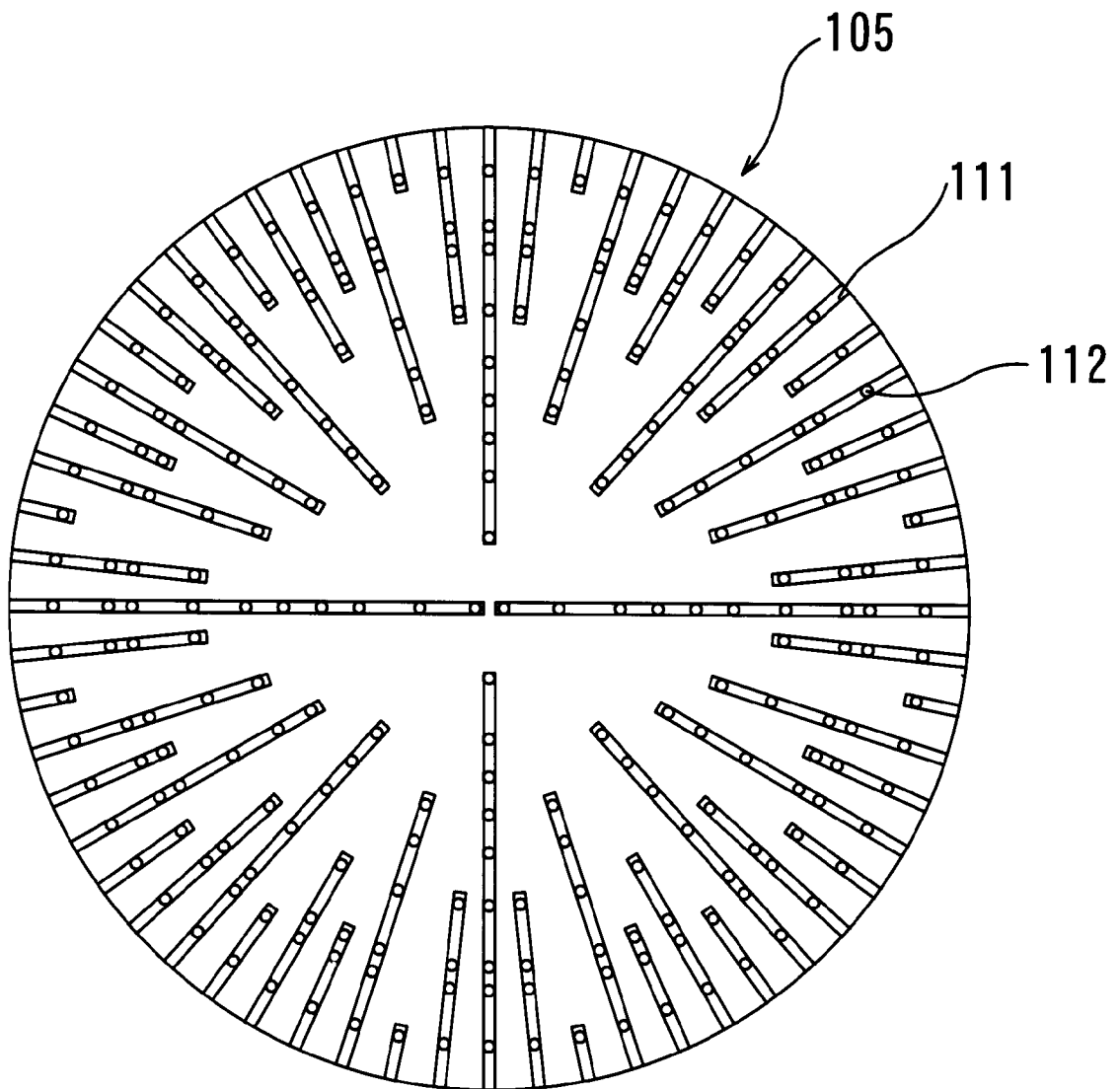
したグリーン体の縦孔に装着後、該グリーン体と同時に焼結するシャワープレートの製造方法。

- [21] 請求項1に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体を、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成したグリーン体の脱脂体の縦孔に装着後、該グリーン体の脱脂体と同時に焼結するシャワープレートの製造方法。
- [22] 請求項1に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体を、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成したグリーン体の仮焼結体の縦孔に装着後、該グリーン体の仮焼結体と同時に焼結するシャワープレートの製造方法。
- [23] 原料粉末を成型して縦孔を加工形成したシャワープレートのグリーン体、脱脂体または仮焼結体の前記縦孔に、複数のガス放出孔またはガス流通孔を有するセラミックス部材のグリーン体、脱脂体、仮焼結体または焼結体を装入後、同時に焼結するシャワープレートの製造方法。
- [24] 請求項1から請求項18のいずれかに記載のシャワープレートを配置したプラズマ処理装置。
- [25] 請求項1から請求項18のいずれかに記載のシャワープレートを用いてプラズマ励起用ガスをプラズマ処理装置内に供給し、供給されたプラズマ励起用ガスをマイクロ波で励起してプラズマを発生させ、該プラズマを用いて酸化、窒化、酸窒化、CVD、エッチング、またはプラズマ照射を基板に対して施すプラズマ処理方法。
- [26] 請求項25に記載のプラズマ処理方法によって基板を処理する工程を含む電子装置の製造方法。

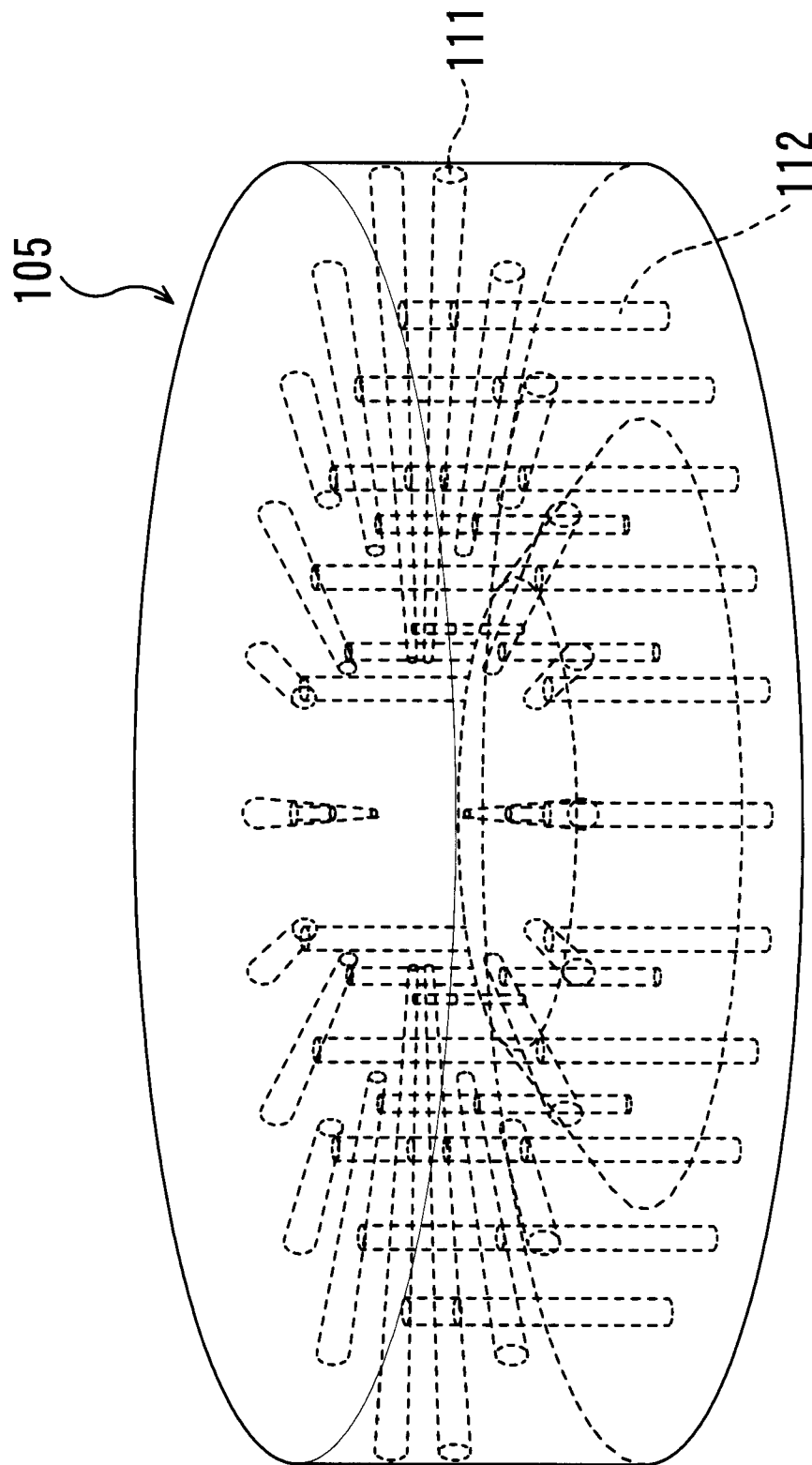
[図1]



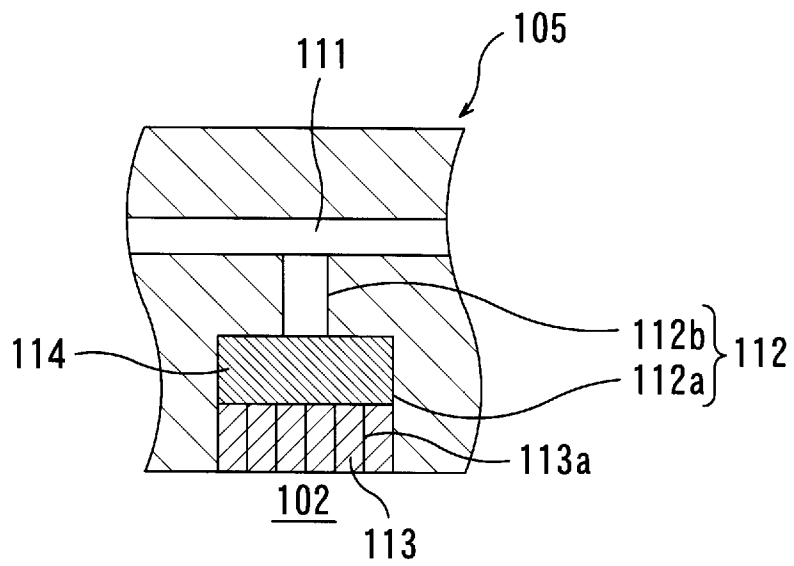
[図2]



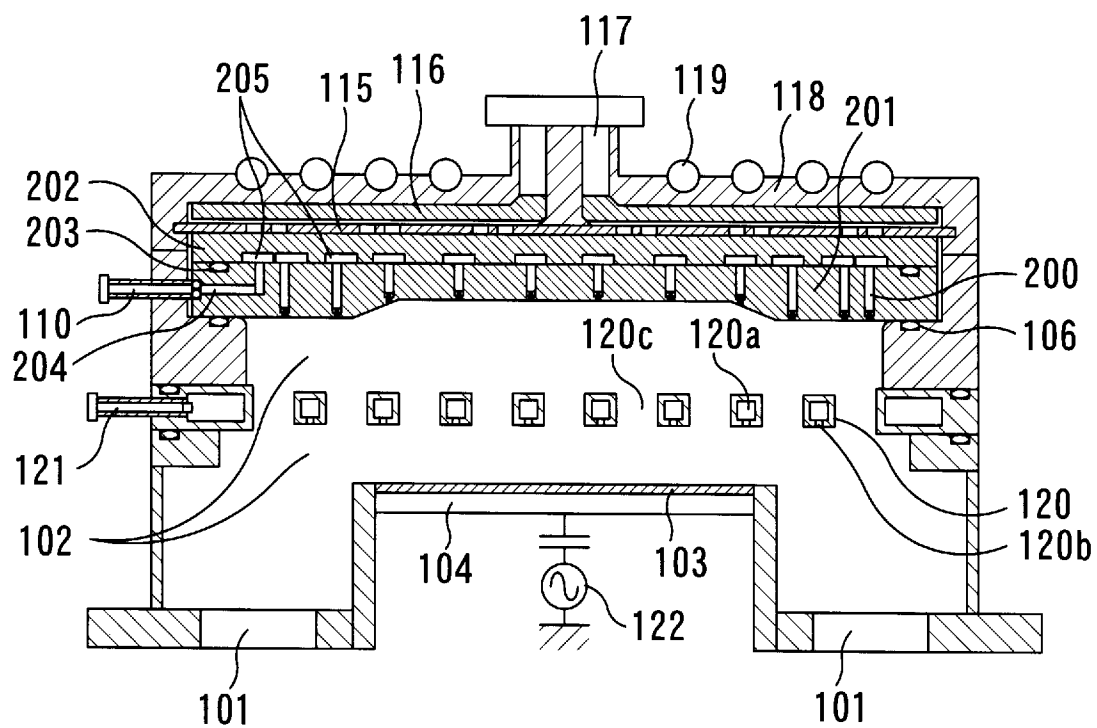
[図3]



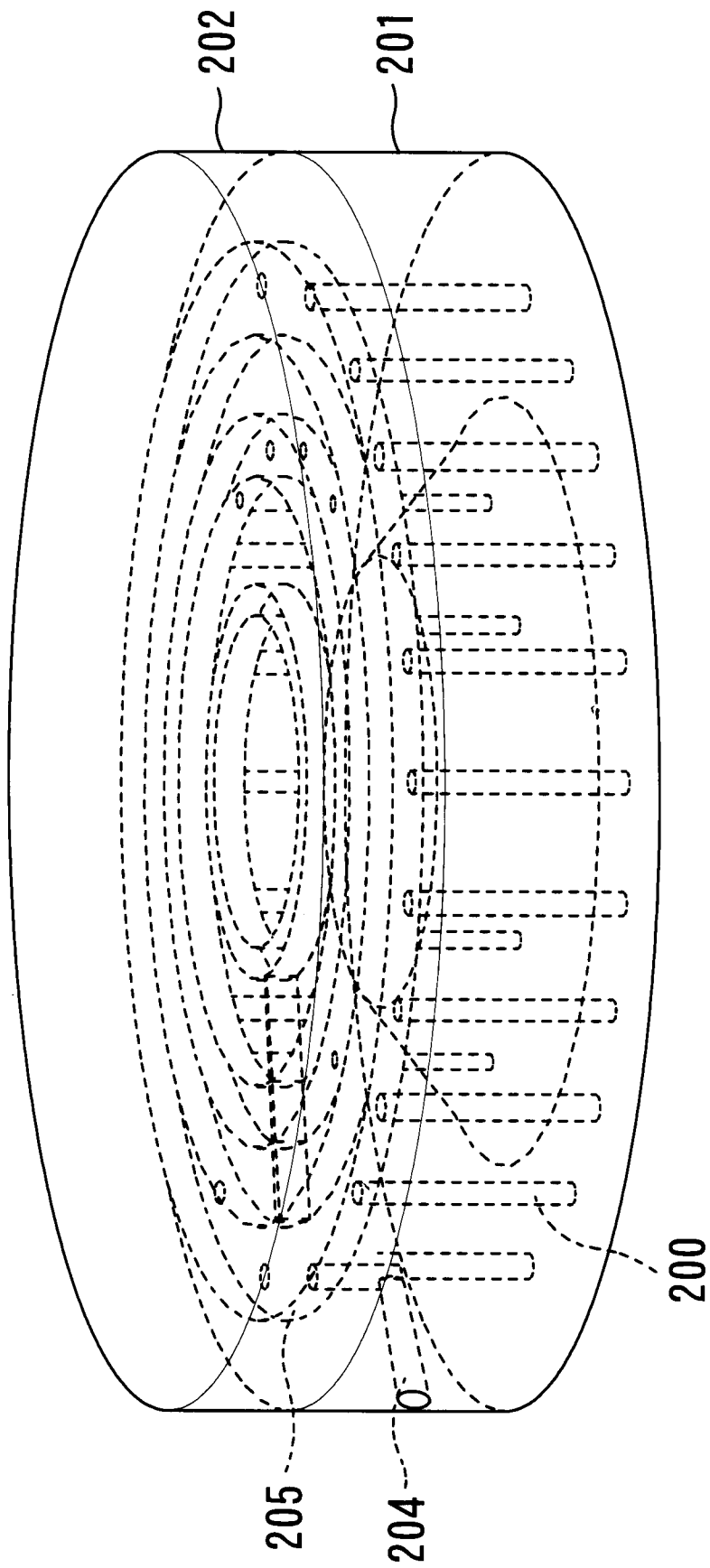
[図4]



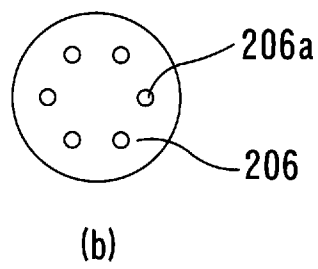
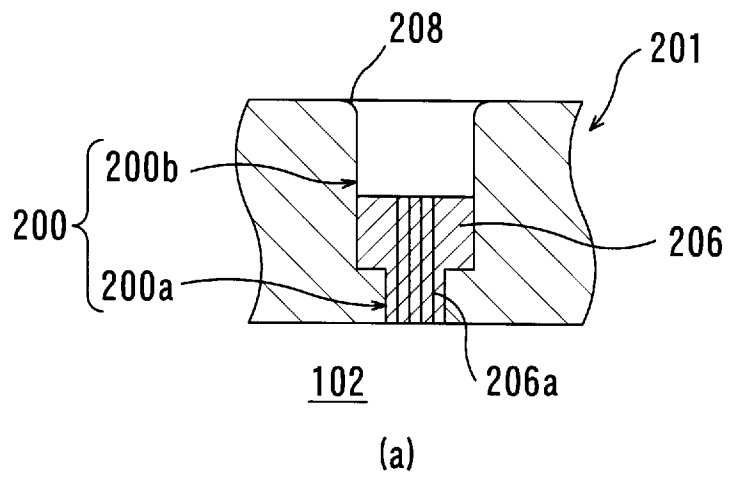
[図5]



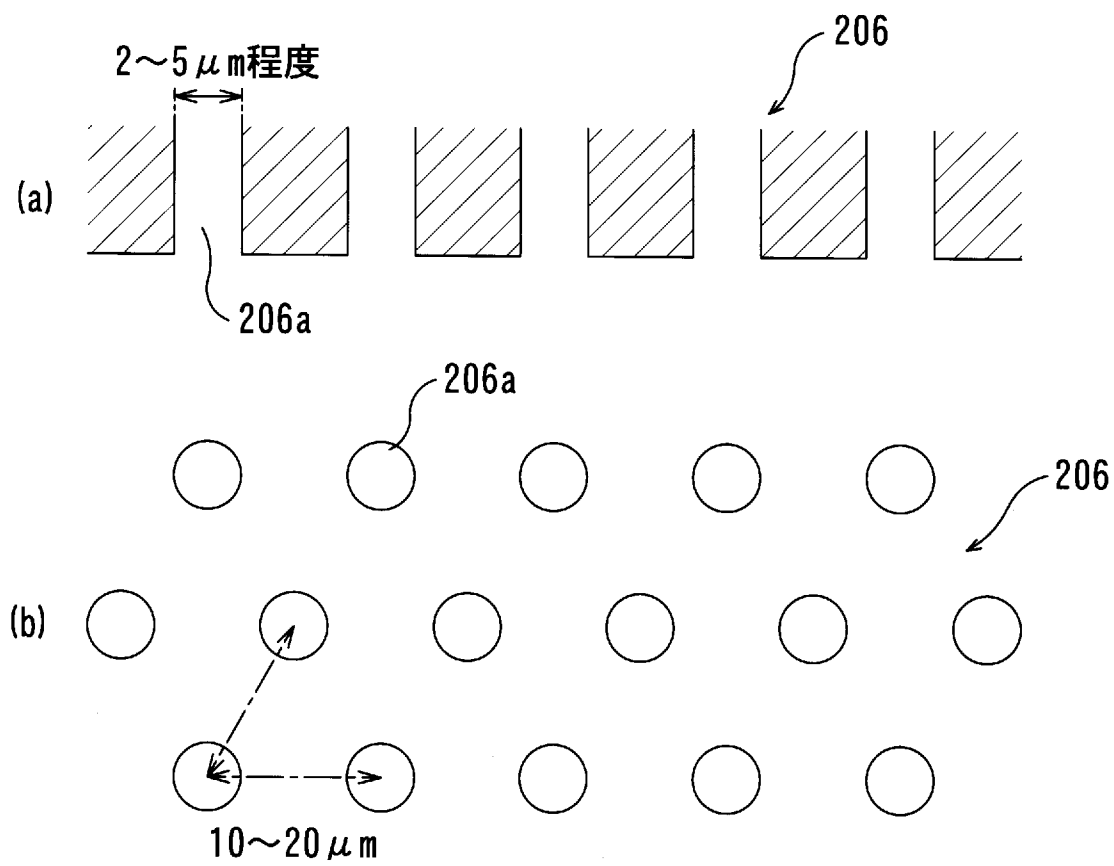
[図6]



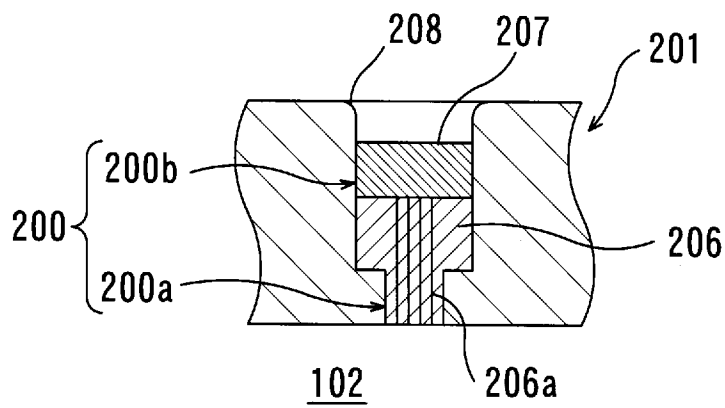
[図7]



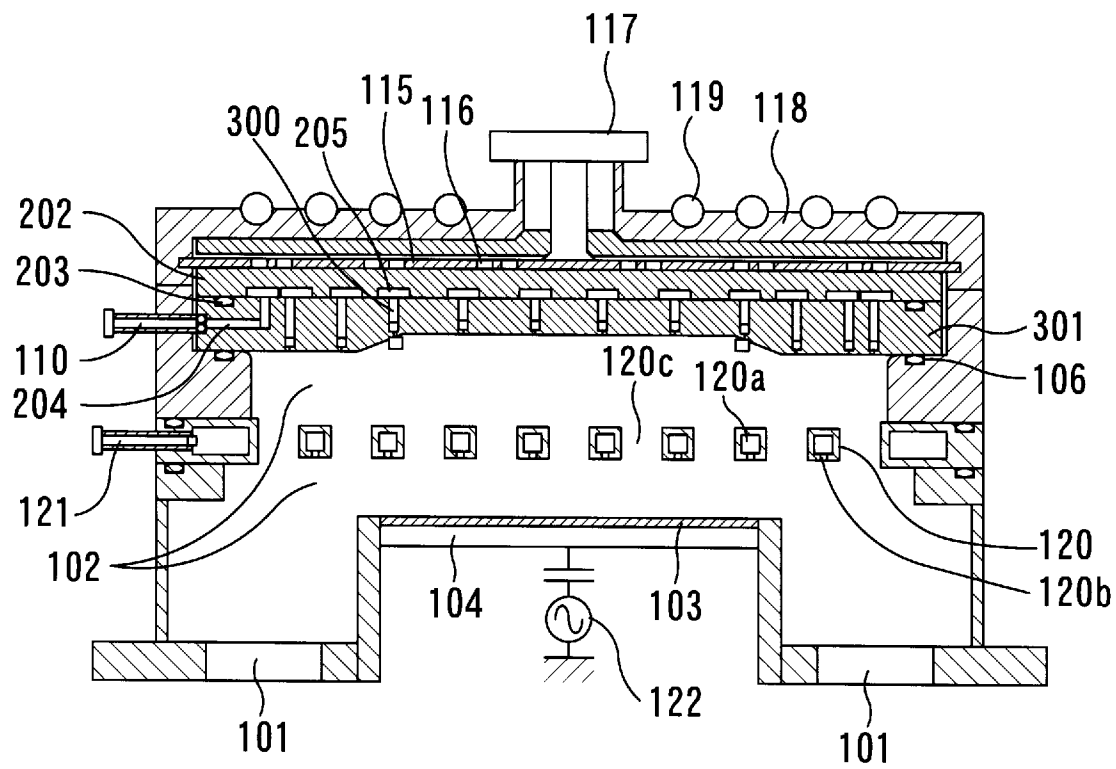
[図8]



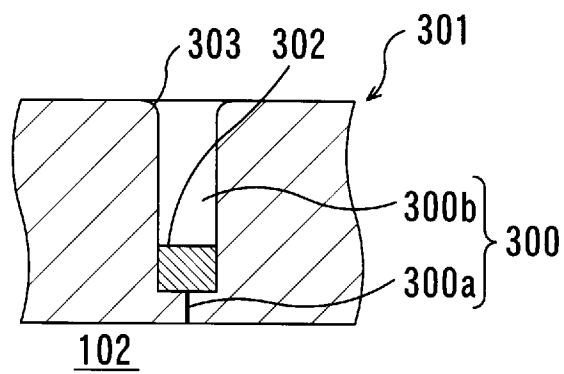
[図9]



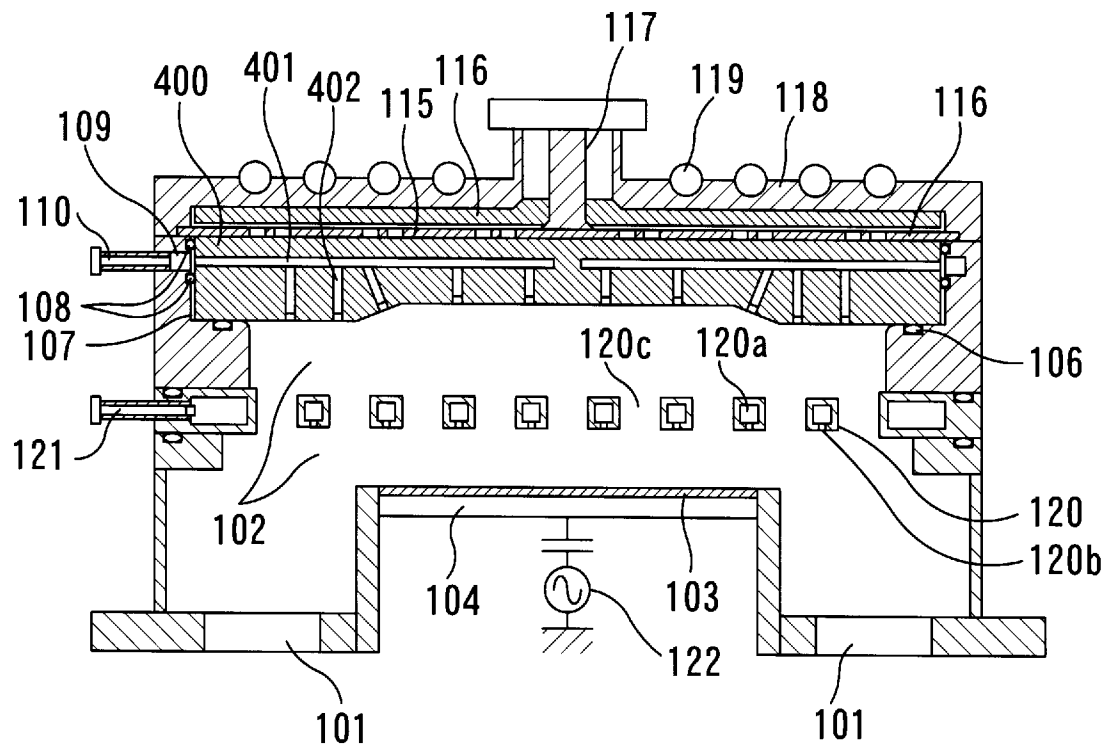
[図10]



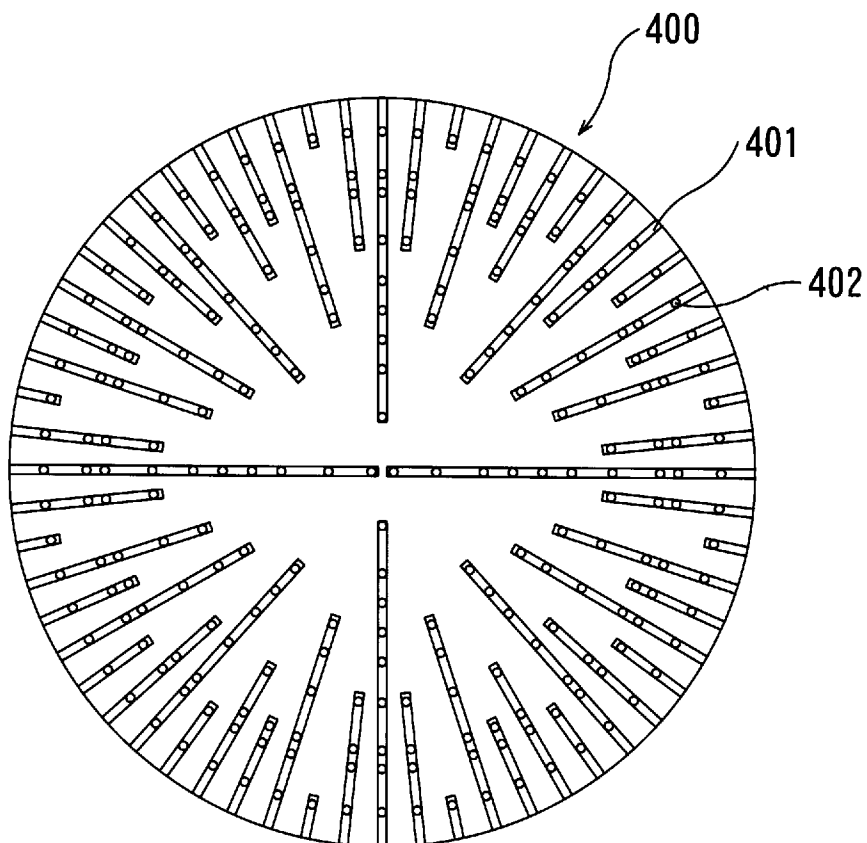
[図11]



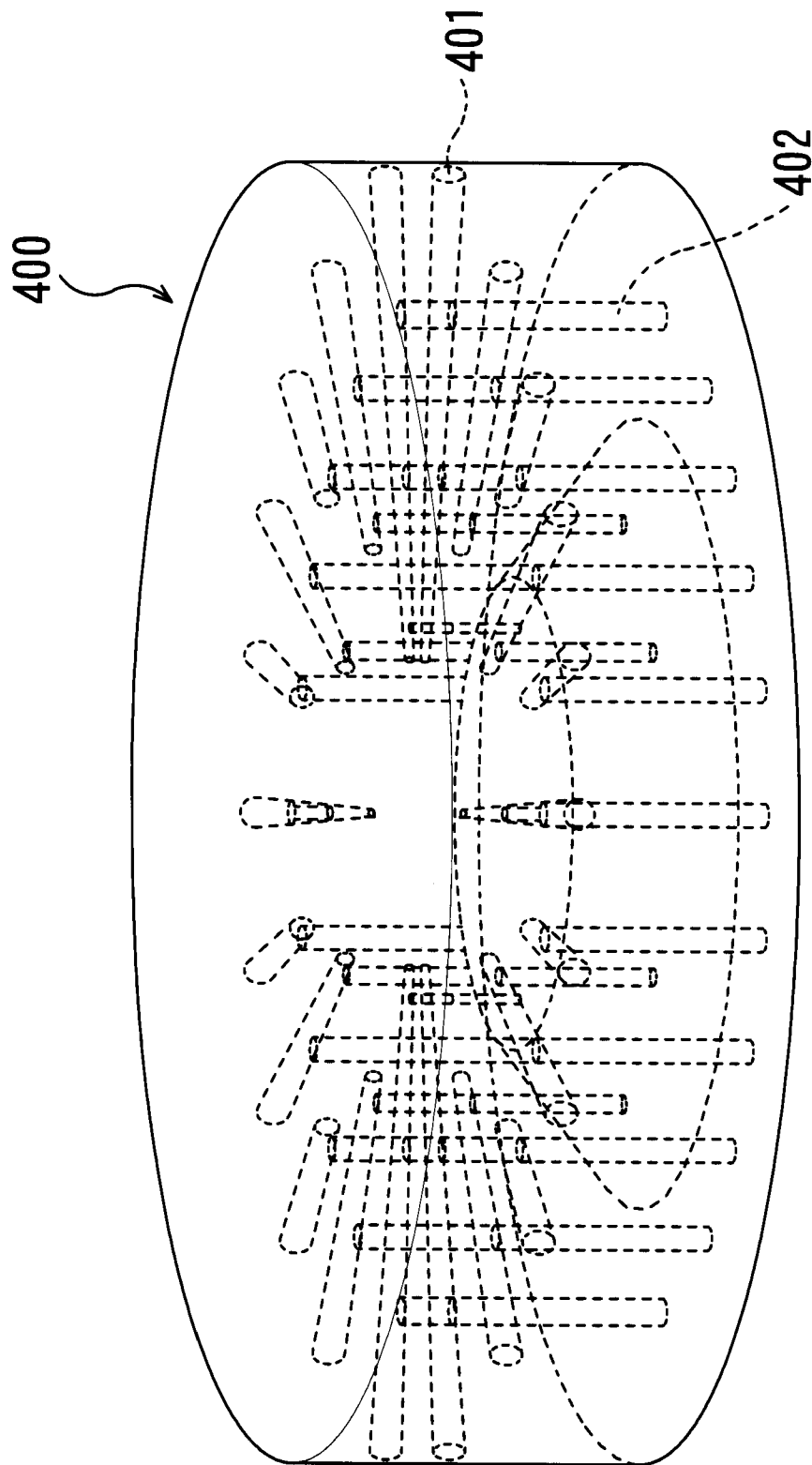
[図12]



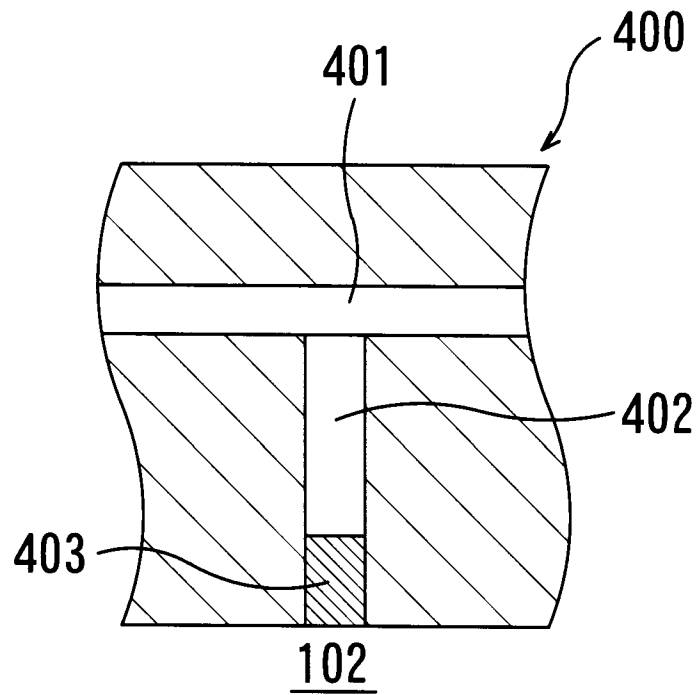
[図13]



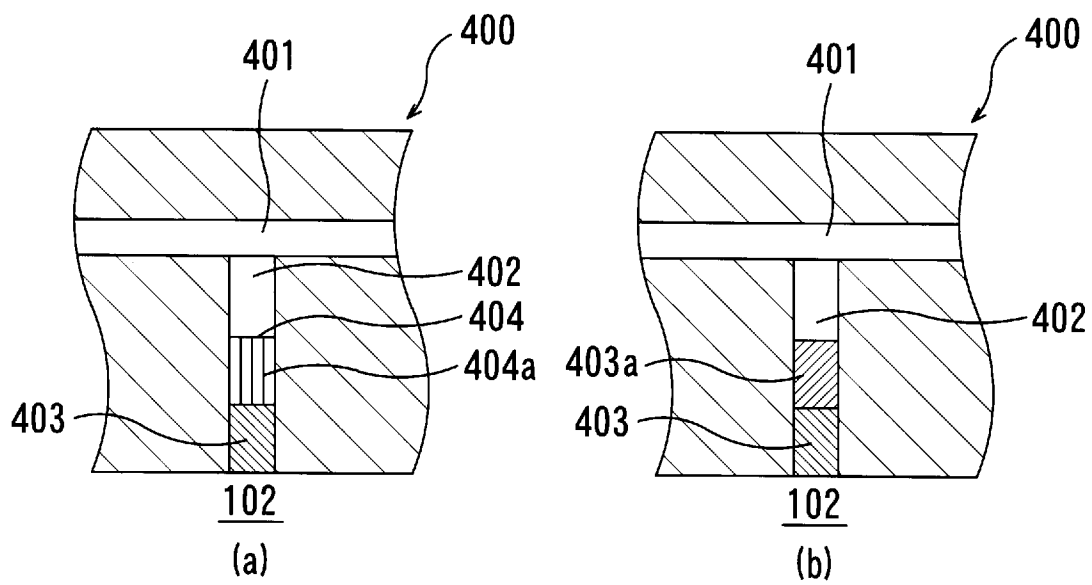
[図14]



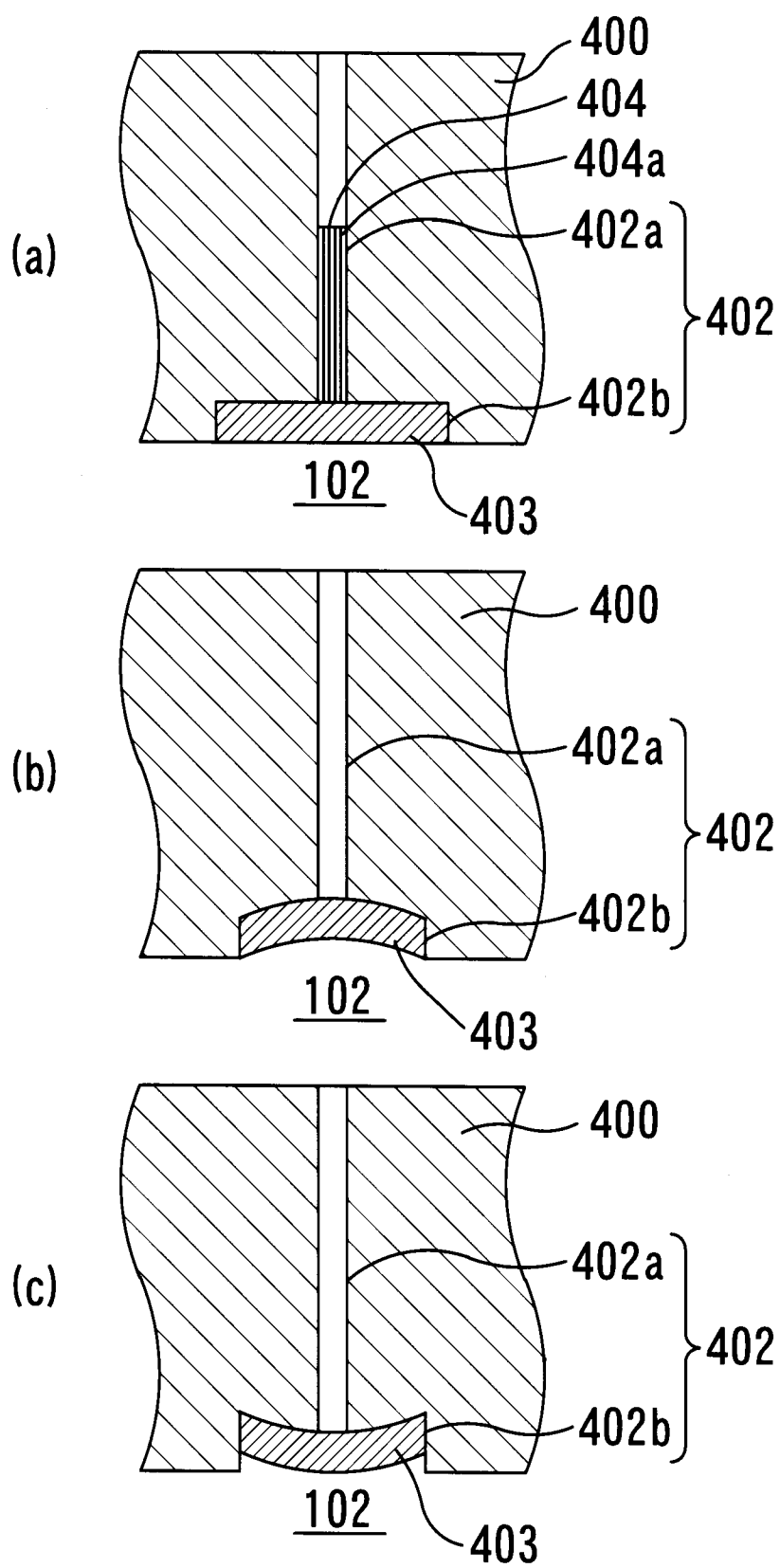
[図15]



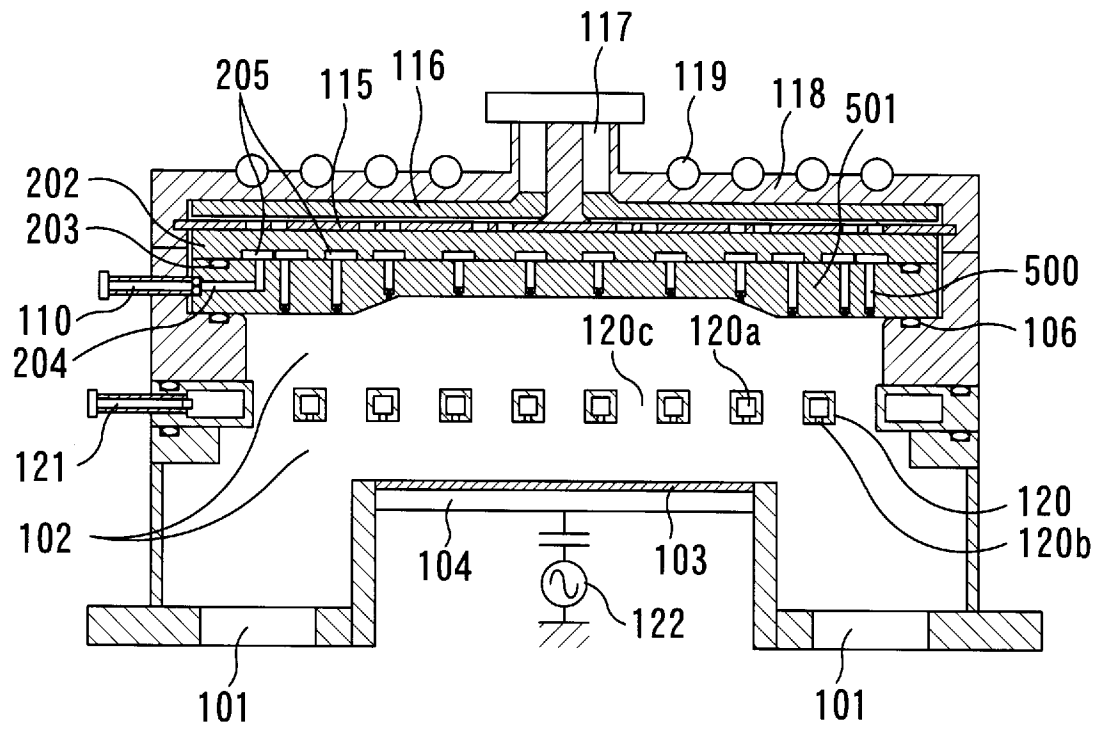
[図16]



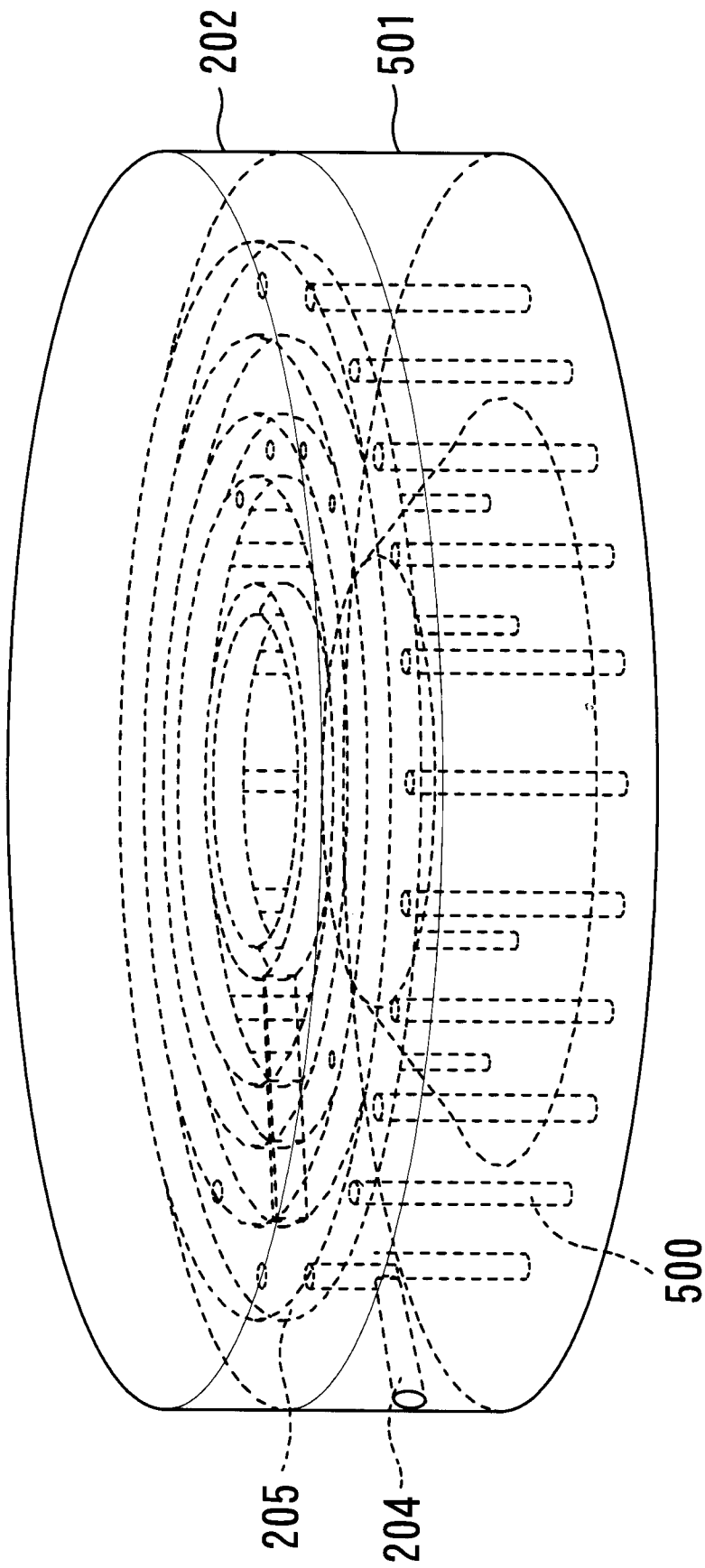
[図17]



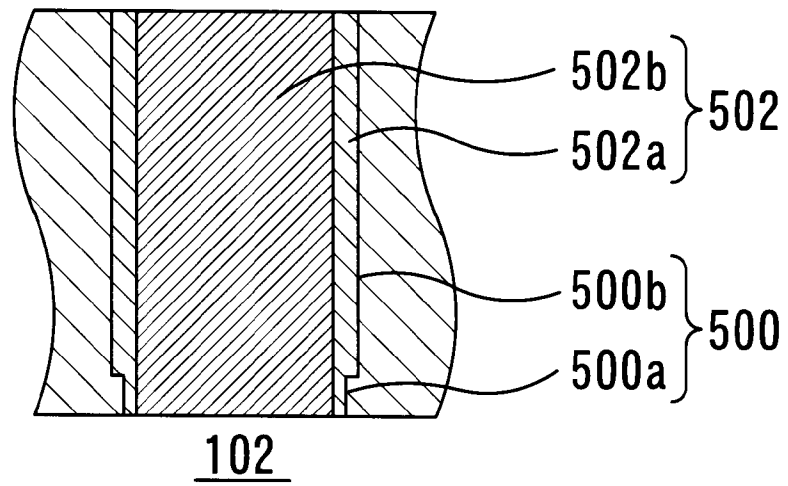
[図18]



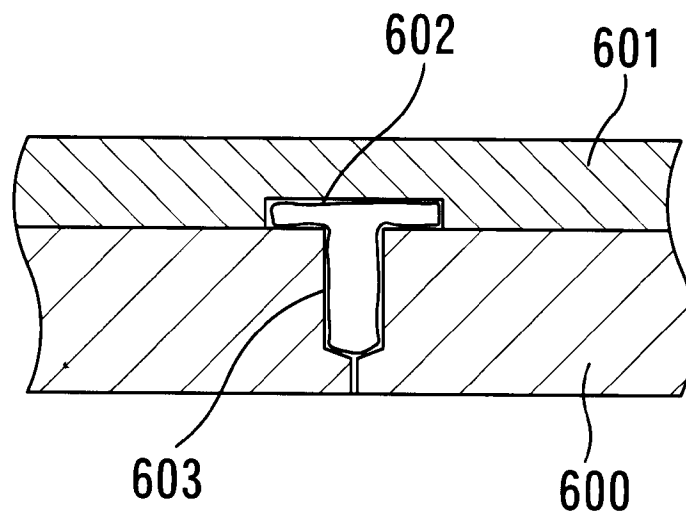
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/061857

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H1/46(2006.01) i, C23C16/455(2006.01) i, H01L21/205(2006.01) i,
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)

H05H1/46, C23C16/455, H01L21/205, 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	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

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.
X Y	JP 2002-343788 A (Toshiba Ceramics Co., Ltd.), 29 November, 2002 (29.11.02), Full text; all drawings (Family: none)	1, 19-26 1-26
Y	JP 2004-39972 A (Tadahiro OMI), 05 February, 2004 (05.02.04), Par. Nos. [0045], [0046]; Fig. 6 & WO 2004/6319 A1 & US 2005/92437 A1 & EP 1521297 A1 & KR 614065 B1	1-26
Y	JP 2003-45809 A (Toshiba Ceramics Co., Ltd.), 14 February, 2003 (14.02.03), Par. Nos. [0017] to [0021]; Fig. 1 (Family: none)	1-26

☒ 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
14 September, 2007 (14.09.07)

Date of mailing of the international search report
25 September, 2007 (25.09.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/061857

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 2003-338492 A (Tokyo Electron Ltd.), 28 November, 2003 (28.11.03), Par. Nos. [0021] to [0031], [0046]; Fig. 1 (Family: none)	1-26
Y	JP 2004-83362 A (Toshiba Ceramics Co., Ltd.), 18 March, 2004 (18.03.04), Claims; Par. Nos. [0020] to [0023] (Family: none)	1-26
Y	JP 2004-228426 A (Mitsubishi Materials Corp.), 12 August, 2004 (12.08.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-26
Y	JP 2003-332326 A (Tokyo Electron Ltd.), 21 November, 2003 (21.11.03), Full text; all drawings & WO 2003/96400 A1 & US 2004/168769 A1	7-26
Y	JP 2005-33167 A (Tadahiro OMI), 03 February, 2005 (03.02.05), Full text; all drawings & WO 2005/33167 A1	7-26
Y	JP 2001-274151 A (Tokyo Electron Ltd.), 05 October, 2001 (05.10.01), Par. Nos. [0070] to [0076], [0087]; Fig. 16 & US 2002/2948 A1	7-26
Y	JP 2002-299240 A (Tadahiro OMI), 11 October, 2002 (11.10.02), Full text; all drawings & US 2004/94094 A1 & WO 2002/80252 A1 & EP 1376670 A1	7-26

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H05H1/46(2006.01)i, C23C16/455(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, 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. H05H1/46, C23C16/455, H01L21/205, 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 0 7 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 7 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 7 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 請求の範囲の番号
X Y	JP 2002-343788 A (東芝セラミックス株式会社) 2002. 11. 29, 全文、 全図 (ファミリーなし)	1, 19-26 1-26
Y	JP 2004-39972 A (大見忠弘) 2004. 02. 05, 段落 0045, 0046、図 6 & WO 2004/6319 A1 & US 2005/92437 A1 & EP 1521297 A1 & KR 614065 B1	1-26
Y	JP 2003-45809 A (東芝セラミックス株式会社) 2003. 02. 14, 段落 0017-0021、図 1 (ファミリーなし)	1-26

☒ 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

1 4 . 0 9 . 2 0 0 7

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 9 . 2 0 0 7

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)

山口 敦司

2 I

9 2 1 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3

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 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-338492 A (東京エレクトロン株式会社) 2003. 11. 28, 段落 0021-0031, 0046、図 1 (ファミリーなし)	1-26
Y	JP 2004-83362 A (東芝セラミックス株式会社) 2004. 03. 18, 特許請求の範囲、段落 0020-0023 (ファミリーなし)	1-26
Y	JP 2004-228426 A (三菱マテリアル株式会社) 2004. 08. 12, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-26
Y	JP 2003-332326 A (東京エレクトロン株式会社) 2003. 11. 21, 全文、全図 & WO 2003/96400 A1 & US 2004/168769 A1	7-26
Y	JP 2005-33167 A (大見忠弘) 2005. 02. 03, 全文、全図 & WO 2005/33167 A1	7-26
Y	JP 2001-274151 A (東京エレクトロン株式会社) 2001. 10. 05, 段落 0070-0076, 0087、図 16 & US 2002/2948 A1	7-26
Y	JP 2002-299240 A (大見忠弘) 2002. 10. 11, 全文、全図 & US 2004/94094 A1 & WO 2002/80252 A1 & EP 1376670 A1	7-26