

(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
2011 年 4 月 7 日(07.04.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/040465 A1

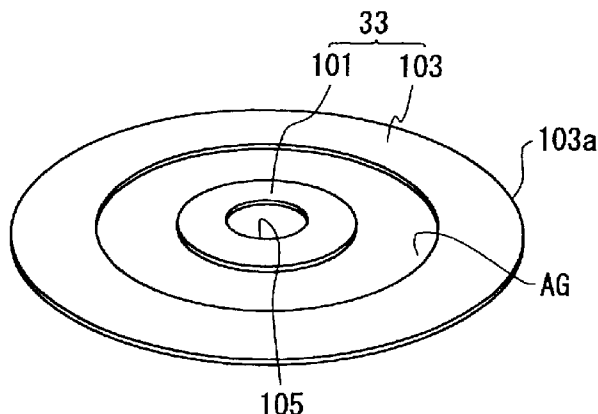
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/31 (2006.01) *H01L 21/205* (2006.01)
C23C 16/511 (2006.01) *H05H 1/46* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/066946
- (22) 国際出願日: 2010 年 9 月 29 日(29.09.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-225984 2009 年 9 月 30 日(30.09.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 尾▲崎▼成則(OZAKI, Shigenori) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンAT株式会社内 Hyogo (JP). 太田 龍作(OTA, Ryusaku) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロンAT株式会社内 Yamanashi (JP). 足立 光(ADACHI, Hikaru) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロンAT株式会社内 Yamanashi (JP). 石坪 誠(ISHITSUBO, Makoto) [JP/JP]; 〒4078511 山梨県韮崎市藤井町北下条2381-1 東京エレクトロンAT株式会社内 Yamanashi (JP).
- (74) 代理人: 金本 哲男, 外(KANEMOTO, Tetsuo et al.); 〒1620065 東京都新宿区住吉町1-20 角張ビル はづき国際特許事務所 Tokyo (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, 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, RO, RS, RU, 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, 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 (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,

[続葉有]

(54) Title: PLASMA PROCESSING APPARATUS AND SLOW-WAVE PLATE USED THEREIN

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置及びこれに用いる遅波板

[図3]



(57) Abstract: Disclosed is a plasma processing apparatus, which is provided with: a planar antenna member, which introduces electromagnetic waves generated by means of an electromagnetic wave generating apparatus into a processing container; a waveguide which supplies the electromagnetic waves to the planar antenna member; and a slow-wave plate, which is provided over the planar antenna member, and changes the wavelength of the electromagnetic waves supplied from the waveguide; a cover member which covers the slow-wave plate and the planar antenna member from above. The slow-wave plate is configured using a dielectric material, and the dielectric constant of the region between the planar antenna member and the cover member is not uniform on the cross-section parallel to the upper surface of the planar antenna member.

(57) 要約:

[続葉有]



NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF), 添付公開書類:

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
SN, TD, TG).

本発明のプラズマ処理装置は、電磁波発生装置で発生した電磁波を処理容器内に導入する平面アンテナ部材と、電磁波を平面アンテナ部材へ供給する導波管と、平面アンテナ部材の上に重ねて設けられ、導波管から供給された電磁波の波長を変化させる遅波板と、遅波板及び平面アンテナ部材を上方から覆うカバー部材と、を備え、遅波板は、誘電体によって構成されるとともに、平面アンテナ部材とカバー部材との間の領域の誘電率が、平面アンテナ部材の上面と平行な断面において、非均一である。

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及びこれに用いる遅波板

技術分野

[0001] 本発明は、処理容器へ所定周波数の電磁波を透過させて導き、プラズマを生成させて被処理体をプラズマ処理するプラズマ処理装置及びこれに用いる遅波板に関する。

背景技術

[0002] 半導体ウエハなどの被処理体に対し、例えば酸化処理や窒化処理、エッチング処理、CVD（Chemical Vapor Deposition）処理などのプラズマ処理を行うプラズマ処理装置として、複数のスロットを有する平面アンテナを用いて処理容器内にマイクロ波を導入してプラズマを生成させるスロットアンテナ方式のプラズマ処理装置が知られている。このようなマイクロ波プラズマ処理装置では、処理容器内で高密度の表面波プラズマを生成させることが可能である。

[0003] 次世代以降のデバイス開発に向けて、例えば3次元デバイス加工や微細化への対応を図りながら生産性を向上させるためには、大型の基板を処理する場合でも、基板面内における処理の均一性を確保する必要がある。そのためには、基板に対応して大型化する処理容器内で、生成するプラズマ分布の制御性を向上させる必要がある。

[0004] 上記スロットアンテナ方式のプラズマ処理装置において、処理容器内で生成したプラズマの分布の制御は、スロットの形状や配置、処理容器やマイクロ波透過板の形状設計などにより行われていた。例えば、処理内容に応じてプラズマの分布を変えるためには、異なるスロット形状や配置の平面アンテナに交換することが必要であるが、この平面アンテナの交換は手間と時間を要する大掛かりな作業であった。また、平面アンテナ、処理容器などの製作公差、組み立て誤差、同一仕様の装置間での機差などの諸要因により、処理容器内でプラズマの対称性が崩れプラズマ分布が偏心した場合も、これを簡

易な方法で補正する手段がなかったため、平面アンテナの交換などの大掛かりな装置改変が必要になってしまうという問題があった。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 本発明は、上記実情に鑑みてなされたものであり、その目的は、処理容器内で生成するプラズマの分布を簡易な手段で制御できるプラズマ処理装置を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0006] 上記課題を解決するため、本発明のプラズマ処理装置は、被処理体を収容する真空引き可能な処理容器と、電磁波発生装置で発生した電磁波を前記処理容器内に導入する平面アンテナ部材と、前記電磁波を前記平面アンテナ部材へ供給する導波管と、前記平面アンテナ部材の上に重ねて設けられ、前記導波管から供給された前記電磁波の波長を変化させる遅波板と、前記遅波板及び前記平面アンテナ部材を上方から覆うカバー部材と、を備え、前記遅波板は、誘電体により構成されるとともに、前記平面アンテナ部材と前記カバー部材との間の領域の誘電率が、前記平面アンテナ部材の上面と平行な断面において、非均一である。

- [0007] 別な観点によれば、本発明は、プラズマ処理装置の平面アンテナ部材の上に重ねて設けられ、導波管から供給された電磁波の波長を変化させる遅波板であって、

誘電体によって構成されるとともに、前記平面アンテナ部材と、前記平面アンテナ部材を上方から覆うカバー部材との間の領域の誘電率が、前記平面アンテナ部材の上面と平行な断面において、非均一である。

発明の効果

- [0008] 本発明によれば、誘電体により構成される遅波板を、平面アンテナ部材とカバー部材との間の領域の誘電率が平面アンテナ部材の上面と平行な断面において変化するように構成したので、電磁波の波長を制御して、平面アンテナ

ナ部材を交換しなくとも処理容器内におけるプラズマ分布を制御することができる。従って、処理容器内で所望の分布でプラズマを安定的に維持することができる、という効果を奏する。また、基板の大型化に対応して処理容器を大型化させた場合でも、遅波板の構成を変えることによって、処理容器内で生成するプラズマ分布を簡単に調節できる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の第1の実施の形態に係るプラズマ処理装置の構成例を示す概略断面図である。

[図2]平面アンテナ板の平面図である。

[図3]本発明の第1の実施の形態における遅波板の配置を示す外観斜視図である。

[図4]図3の遅波板の平面図である。

[図5]遅波板の装着状態を示すプラズマ処理装置の要部断面図である。

[図6]第1の実施の形態の遅波板の変形例を示す平面図である。

[図7]第1の実施の形態の遅波板の別の変形例を示す平面図である。

[図8]第1の実施の形態の遅波板のさらに別の変形例を示す平面図である。

[図9]第1の実施の形態の遅波板のさらに別の変形例を示す平面図である。

[図10]図1のプラズマ処理装置の制御系統の概略構成を示すブロック図である。

[図11]本発明の第2の実施の形態に係る遅波板の平面図である。

[図12]第2の実施の形態に係る遅波板の変形例を示す平面図である。

[図13]第2の実施の形態に係る遅波板の別の変形例を示す平面図である。

[図14]本発明の第3の実施の形態における遅波板の配置を示す外観斜視図である。

[図15]図14の遅波板の装着状態を示すプラズマ処理装置の要部断面図である。

[図16]第3の実施の形態の遅波板の変形例を示すプラズマ処理装置の要部断面図である。

[図17] 本発明の第4の実施の形態における遅波板の装着状態を示すプラズマ処理装置の要部断面図である。

[図18] 第4の実施の形態における遅波板の別の装着状態を示すプラズマ処理装置の要部断面図である。

[図19] 本発明の第5の実施の形態に係る遅波板の平面図である。

[図20] 第5の実施の形態に係る遅波板の変形例を示す平面図である。

[図21] シミュレーション実験における透過板直下における電界強度分布を示す図面である。

[図22] シミュレーション実験における透過板直下における電界強度分布を示す図面である。

発明を実施するための形態

[0010] [第1の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態に係るプラズマ処理装置100の構成例を模式的に示す断面図である。図2は、図1のプラズマ処理装置100に用いられる平面アンテナを示す平面図である。プラズマ処理装置100は、複数のスロット状の孔を有する平面アンテナ、特にRLSA (Radial Line Slot Antenna; ラジアルラインスロットアンテナ) にて処理容器内にマイクロ波を導入してプラズマを発生させることにより、高密度かつ低電子温度のプラズマを発生させ得るプラズマ処理装置として構成されている。プラズマ処理装置100では、 $10^9/\text{cm}^3 \sim 10^{13}/\text{cm}^3$ のプラズマ密度で、かつ2 eV 以下の低電子温度を有するプラズマによる処理が可能である。従って、プラズマ処理装置100は、各種半導体装置の製造過程において好適に利用できるものである。

[0011] プラズマ処理装置100は、主要な構成として、気密に構成された処理容器1と、処理容器1内にガスを供給するガス供給装置18と、このガス供給装置18に接続するガス導入部15と、処理容器1内を減圧排気するための排気装置24と、処理容器1の上部に設けられ、処理容器1内にマイクロ波

を導入するマイクロ波導入機構 27 と、これらプラズマ処理装置 100 の各構成部を制御する制御手段としての制御部 50 と、を備えている。なお、ガス供給装置 18、排気装置 24 およびマイクロ波導入機構 27 は、処理容器 1 内で処理ガスのプラズマを生成させるプラズマ生成手段を構成している。なお、ガス供給装置 18 をプラズマ処理装置 100 の構成部分には含めずに、外部のガス供給装置をガス導入部 15 に接続して使用する構成としてもよい。

[0012] 処理容器 1 は、接地された略円筒状の容器により形成されている。なお、処理容器 1 は角筒形状の容器により形成してもよい。処理容器 1 は、アルミニウム等の材質からなる底壁 1a と側壁 1b とを有している。

[0013] 処理容器 1 の内部は、被処理体であるシリコンウエハ（以下、単に「ウエハ」と記す）W を水平に支持するための載置台 2 が設けられている。載置台 2 は、熱伝導性の高い材質例えば AlN 等のセラミックスにより構成されている。この載置台 2 は、排気室 11 の底部中央から上方に延びる円筒状の支持部材 3 により支持されている。支持部材 3 は、例えば AlN 等のセラミックスにより構成されている。

[0014] また、載置台 2 は、加熱または冷却機構を備えておりウエハ W の温度を例えば室温から 900℃ までの範囲で制御可能となっている。

[0015] また、載置台 2 には、ウエハ W を支持して昇降させるためのウエハ支持ピン（図示せず）が設けられている。各ウエハ支持ピンは、載置台 2 の表面に対して突没可能に設けられている。

[0016] 処理容器 1 の底壁 1a の略中央部には、円形の排気口 10 が形成されている。底壁 1a にはこの排気口 10 と連通し、下方に向けて突出する排気室 11 が設けられている。この排気室 11 には、排気管 12 が接続されており、この排気管 12 を介して排気装置 24 に接続されている。

[0017] 処理容器 1 の上端には、処理容器 1 を開閉させるリッドとしての内周が環状に形成するプレート 13 が配置されている。プレート 13 の内周部は、内側（処理容器内空間）へ向けて突出し、透過板 28 を支持する環状の支持

部 1 3 a を形成している。このプレート 1 3 と処理容器 1 との間は、シール部材 1 4 を介して気密にシールされている。

[0018] 処理容器 1 の側壁 1 b には、環状をなすガス導入部 1 5 が設けられている。このガス導入部 1 5 は、配管を介して酸素含有ガスやプラズマ励起用ガスを供給するガス供給装置 1 8 に接続されている。なお、ガス導入部 1 5 は、処理容器 1 内に突出するノズル状、または複数のガス孔を有するシャワー状に設けてもよい。

[0019] ガス供給装置 1 8 は、例えば、プラズマ生成用の Ar 、 Kr 、 Xe 、 He 等の希ガスや、酸化処理における酸素ガス等の酸化性ガス、窒化処理における窒化ガスなどの処理ガス等を供給するガス供給源（図示せず）を有している。また、エッチング処理の場合には、 Cl_2 、 BCl_3 、 CF_4 等のエッチングガス、 CVD 処理の場合には、成膜原料ガス、処理容器内雰囲気置換する際に用いる N_2 、 Ar 等のパージガス、処理容器 1 内をクリーニングする際に用いる ClF_3 、 NF_3 等のクリーニングガス等を供給するガス供給源を設けることもできる。各ガス供給源は、図示しないマスフローコントローラおよび開閉バルブを備え、供給されるガスの切替えや流量等の制御が出来るようになっている。

[0020] また、処理容器 1 の側壁 1 b には、プラズマ処理装置 1 0 0 と、これに隣接する搬送室（図示せず）との間でウエハ W の搬入出を行うための搬入出口 1 6 と、この搬入出口 1 6 を開閉するゲートバルブ 1 7 とが設けられている。

[0021] 排気装置 2 4 は、例えばターボ分子ポンプなどの高速真空ポンプを備えている。前記のように、排気装置 2 4 は、排気管 1 2 を介して処理容器 1 の排気室 1 1 に接続されている。排気装置 2 4 を作動させることにより、処理容器 1 内のガスは、排気室 1 1 の空間 1 1 a 内へ均一に流れ、さらに空間 1 1 a から排気管 1 2 を介して外部へ排気される。これにより、処理容器 1 内を例えば 0.133 Pa まで高速に減圧することが可能となっている。

[0022] 次に、マイクロ波導入機構 2 7 の構成について説明する。マイクロ波導入

機構 27 は、主要な構成として、透過板 28、平面アンテナ板 31、遅波板 33、カバー部材 34、導波管 37、マッチング回路 38 および電磁波発生装置 39 を備えている。

[0023] マイクロ波を透過させる透過板 28 は、プレート 13 において内周側に張り出した支持部 13a 上に配備されている。透過板 28 は、誘電体、例えば石英や Al_2O_3 、 AlN 等のセラミックスから構成されている。この透過板 28 と支持部 13a との間は、シール部材 29 を介して気密にシールされている。したがって、透過板 28 は、プレート 13 を介して処理容器 1 の上部の開口を塞いでおり、処理容器 1 内の気密性が保持されている。

[0024] 平面アンテナ板 31 は、透過板 28 の上方において、載置台 2 と対向するように設けられている。平面アンテナ板 31 は、円板状をなしている。なお、平面アンテナ板 31 の形状は、円板状に限らず、例えば四角板状でもよい。この平面アンテナ板 31 は、プレート 13 の上端に係止されている。

[0025] 平面アンテナ板 31 は、例えば表面が金または銀メッキされた銅板またはアルミニウム板から構成されている。平面アンテナ板 31 は、マイクロ波を放射する多数のスロット状のマイクロ波放射孔 32 を有している。マイクロ波放射孔 32 は、所定のパターンで平面アンテナ板 31 を貫通して形成されている。

[0026] 個々のマイクロ波放射孔 32 は、例えば図 2 に示すように、細長い長方形状（スロット状）をなしている。そして、典型的には隣接するマイクロ波放射孔 32 が「T」字状に配置されている。また、このように所定の形状（例えば T 字状）に組み合わせて配置されたマイクロ波放射孔 32 は、さらに全体として同心円状に配置されている。

[0027] マイクロ波放射孔 32 の長さや配列間隔は、マイクロ波の波長（ λ_g ）に応じて決定される。例えば、マイクロ波放射孔 32 の間隔は、 $\lambda_g/4 \sim \lambda_g$ となるように配置される。図 2 においては、同心円状に形成された隣接するマイクロ波放射孔 32 どうしの間隔を Δr で示している。なお、マイクロ波放射孔 32 の形状は、円形状、円弧状等の他の形状であってもよい。さら

に、マイクロ波放射孔 3 2 の配置形態は特に限定されず、同心円状のほか、例えば、螺旋状、放射状等に配置することもできる。

[0028] 平面アンテナ板 3 1 の上には、遅波板 3 3 が設けられている。遅波板 3 3 は、真空よりも大きい誘電率を有する材料から構成されている。遅波板 3 3 の材料としては、例えば、石英、アルミナ、窒化アルミニウムなどを挙げることができる。この遅波板 3 3 は、空气中よりもマイクロ波の波長を短くして平面アンテナ板上面におけるマイクロ波の電解分布を調整する機能を有している。遅波板 3 3 の下面は、平面アンテナ板 3 1 に当接しており、上面は、金属製のカバー部材 3 4 に当接している。本実施の形態では、遅波板 3 3 として、内外二重に分離した構造のものをを用いる。

[0029] 図 3 は、遅波板 3 3 の配置を示す外観斜視図であり、図 4 は遅波板 3 3 の平面図である。図 5 は、平面アンテナ板 3 1 の上に配備された遅波板 3 3 を示す要部断面図である。遅波板 3 3 は、内側に配置される小径部材 1 0 1 と、小径部材 1 0 1 を囲む大径部材 1 0 3 とから構成されている。小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 は、いずれもリング状に形成された平板である。小径部材 1 0 1 及び大径部材 1 0 3 は、同じ誘電率を持つ材質で形成してもよいし、あるいは、異なる誘電率の材質で形成してもよい。小径部材 1 0 1 の中央部には、同軸導波管 3 7 a の中心を通る内導体 4 1（後述）へ固定するために、厚み方向に貫通した開口部 1 0 5 が設けられている。つまり、小径部材 1 0 1 は、開口部 1 0 5 において内導体 4 1 に固定されている。大径部材 1 0 3 は、その周縁部 1 0 3 a において、例えばカバー部材 3 4 又は平面アンテナ板 3 1 に固定されている。

[0030] 小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 とは、間隔をあけて配置されている。小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 との間には、空気層（エアギャップ A G）が介在している。本実施の形態のプラズマ処理装置 1 0 0 では、小径部材 1 0 1 及び大径部材 1 0 3 の材質と、必要に応じてエアギャップ A G を利用して、平面アンテナ板 3 1 とカバー部材 3 4 との間の領域の誘電率を制御している。小径部材 1 0 1 及び大径部材 1 0 3 は、いずれも比誘電率 ϵ が 1 を超え

る誘電体材料で構成されている。それに対して、空気層であるエアギャップ A G の比誘電率 ε は、ほぼ 1 である。従って、平面アンテナ板 3 1 に隣接する上方の領域（平面アンテナ板 3 1 とカバー部材 3 4 との間）を一つのまとまった単位として考えると、小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 を配置したことによって、当該領域における誘電率は、平面アンテナ板 3 1 の上面と平行な断面において、非均一になっている。例えば、小径部材 1 0 1 及び大径部材 1 0 3 の材質として比誘電率 ε が 3.8 である石英を使用した場合、平面アンテナ板 3 1 に隣接する上方の領域の誘電率は、平面アンテナ板 3 1 の上面に平行な断面において、中心の内導体 4 1 側から径外方向に、比誘電率 $\varepsilon = 3.8$ （小径部材 1 0 1）、 $\varepsilon = 1$ （エアギャップ A G）、 $\varepsilon = 3.8$ （大径部材 1 0 3）のように変化する。

[0031] 本実施の形態では、小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 との間隔（つまり、エアギャップ A G の幅 L）は、任意の大きさに設定できる。例えば、図 6 に示したように、エアギャップ A G の幅 L を図 4 に比べて小さく設定することも可能である。エアギャップ A G の幅 L を変化させることによって、小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 の合計体積に対する空気層の体積比率を変化させることができる。

[0032] また、エアギャップ A G を設ける径方向の位置も可変に調節できる。幅 L が同じ場合でも、エアギャップ A G を設ける位置を変えることによって、小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 との比率（面積比率及び体積比率）を変化させることができる。このように、小径部材 1 0 1、大径部材 1 0 3 及びエアギャップ A G の配置と比率を調節することにより、平面アンテナ板 3 1 とカバー部材 3 4 との間の領域の誘電率の分布を簡単に変化させることができる。

[0033] また、遅波板 3 3 における小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 は円環状に限るものではなく、任意の形状を採用できる。例えば図 7 は、大径部材 1 0 3 を非均等な形状にした例である。この例では、大径部材 1 0 3 A の内周が、第 1 の円弧部分 C A 1 と、第 1 の円弧部分 C A 1 よりも曲率半径の小さな第

2の円弧部分CA2とを有するように変形させている。このような形状により、小径部材101と大径部材103Aとの間隔であるエアギャップAGの幅Lが均一ではなく、第2の円弧CA2との間だけ部分的に小さくなるように設計できる。なお、図示は省略するが、大径部材103の内周形状ではなく、小径部材101の外周形状を変形させることによっても、同様の構成が得られる。

[0034] また、例えば図8では、小径部材101Aを、大径部材103の中心（平面アンテナ板31の中心または同軸導波管37aの中心と同じ）から偏心させて配置している。このように、小径部材101Aの外周と、大径部材103の内周とが同心円を形成しないように、小径部材101Aを偏心させて配置することにより、エアギャップAGの幅Lを偏心方向には偏心幅だけ部分的に小さくし、逆に、偏心方向と反対側は、偏心幅だけ大きくなるように設計できる。図7及び図8に示すような遅波板33を構成する部材の非対称な形状や非対称な配置は、平面アンテナ板31の上面と平行な平面において、径方向と周方向の両方で、誘電率を非均一にすることができる。従って、例えば、処理容器1内のプラズマの分布に局所的な強弱があって偏っている場合などに、その偏りを是正する際に有効である。さらに、図9に示すように、大径部材103の内周を偏心させることによっても同様の構成が得られる。

[0035] また、本実施の形態では、小径部材101（101A）と大径部材103（103A）の材質として、異なる誘電率の材料を用いることも可能である。例えば、図3から図5における小径部材101の材質として石英を、大径部材103の材質として比誘電率 ϵ が8.5であるアルミナ（ Al_2O_3 ）を使用した場合、平面アンテナ板31の上面に平行な上方領域は、中心の内導体41側から径外方向に、比誘電率 $\epsilon = 3.8$ （小径部材101）、 $\epsilon = 1$ （エアギャップAG）、 $\epsilon = 8.5$ （大径部材103）のように変化する。このように、小径部材101と大径部材103の材質を変えることによっても、平面アンテナ板31とカバー部材34との間の領域の誘電率の分布を簡

単に変化させることができる。なお、小径部材 101 と大径部材 103 の材質が異なる場合には、熱膨張等によって破損が生じない限り、エアギャップ AG を設けずに、小径部材 101 と大径部材 103 とを接触させても誘電率を非均一な状態にすることができる。この場合は、小径部材 101 と大径部材 103 との熱膨張係数が同程度の材質を選択することが好ましい。

[0036] このように、本実施の形態のプラズマ処理装置 100 では、単体の遅波板ではなく、複数に分離した遅波板 33 を設けたことによって、平面アンテナ板 31 の直上の領域を、異なる誘電率をもつ複数の小領域に細分化できる。そのため、単体の遅波板を用いる場合に比べ、マイクロ波の波長の調節を細かく制御することが可能であり、処理容器 1 内で生成するプラズマの分布を細かく制御できる。なお、遅波板 33 を構成する部材としては、小径部材 101 と大径部材 103 の 2 つの部材に限るものではなく、3 つ以上の部材を組み合わせ使用することもできる。

[0037] なお、遅波板 33 の厚みは、遅波板 33 を構成する材質の誘電率による波長短縮と遅波板 33 内での定在波の周期性を考慮して設定することが好ましい。

[0038] 処理容器 1 の上部には、これら平面アンテナ板 31 および遅波板 33 を覆うように、導波路を形成する機能も有するカバー部材 34 が設けられている。カバー部材 34 は、例えばアルミニウムやステンレス鋼、銅等の金属材料によって形成されている。プレート 13 の上端とカバー部材 34 とは、マイクロ波が外部へ漏えいしないように導電性を有するスパイラルシールドリングなどのシール部材 35 によりシールされている。また、カバー部材 34 には、冷却水流路 34a が形成されている。この冷却水流路 34a に冷却水を通流させることにより、カバー部材 34、遅波板 33、平面アンテナ板 31 および透過板 28 を冷却できるようになっている。この冷却機構により、カバー部材 34、遅波板 33、平面アンテナ板 31、透過板 28 およびプレート 13 がプラズマの熱により変形・破損することが防止される。なお、プレート 13、平面アンテナ板 31 およびカバー部材 34 は接地されている。

- [0039] カバー部材 34 の中央には、開口部 36 が形成されており、この開口部 36 には導波管 37 の下端が接続されている。導波管 37 の他端側には、マッチング回路 38 を介してマイクロ波を発生する電磁波発生装置 39 が接続されている。電磁波発生装置 39 で発生させるマイクロ波の周波数としては、例えば 2.45 GHz が好ましく用いられ、他に 800 MHz ~ 1 GHz (好ましくは 800 MHz ~ 915 MHz)、8.35 GHz、1.98 GHz 等を用いることもできる。
- [0040] 導波管 37 は、上記カバー部材 34 の開口部 36 から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管 37a と、この同軸導波管 37a の上端部にモード変換器 40 を介して接続された水平方向に延びる矩形導波管 37b とを有している。モード変換器 40 は、矩形導波管 37b 内を TE モードで伝播するマイクロ波を TEM モードに変換する機能を有している。
- [0041] 同軸導波管 37a の中心には内導体 41 が延在している。この内導体 41 は、その下端部において平面アンテナ板 31 の中心に接続固定されている。このような構造により、マイクロ波は、内導体 41 を有する同軸導波管 37a を介して平面アンテナ板 31 へ放射状に効率よく均一に伝播される。
- [0042] 以上のような構成のマイクロ波導入機構 27 により、電磁波発生装置 39 で発生したマイクロ波が導波管 37 を介して平面アンテナ板 31 へ伝搬され、さらに透過板 28 を介して処理容器 1 内に導入されるようになっている。
- [0043] プラズマ処理装置 100 の各構成部は、制御部 50 に接続されて制御される構成となっている。制御部 50 は、図 10 に示したように、CPU を備えたプロセスコントローラ 51 と、このプロセスコントローラ 51 に接続されたユーザーインターフェース 52 および記憶部 53 を備えている。プロセスコントローラ 51 は、プラズマ処理装置 100 において、例えばガス流量、圧力、マイクロ波出力などのプロセス条件に関係する各構成部 (例えば、ガス供給装置 18、排気装置 24、電磁波発生装置 39 など) を統括して制御する制御手段である。
- [0044] ユーザーインターフェース 52 は、工程管理者がプラズマ処理装置 100

を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置 100 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等を有している。

また、記憶部 53 には、プラズマ処理装置 100 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 51 の制御にて実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や処理条件データ等が記録されたレシピが保存されている。

[0045] そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース 52 からの指示等にて任意のレシピを記憶部 53 から呼び出してプロセスコントローラ 51 に実行させることで、プロセスコントローラ 51 の制御下、プラズマ処理装置 100 の処理容器 1 内で所望の処理が行われる。また、前記制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体、例えば CD-ROM、ハードディスク、フレキシブルディスク、フラッシュメモリ、DVD、ブルーレイディスクなどに格納された状態のものを利用したり、あるいは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用したりすることも可能である。

[0046] このように構成されたプラズマ処理装置 100 によれば、下地膜等へのダメージフリーなプラズマ処理を行うことができる。また、プラズマ処理装置 100 は、プラズマの均一性に優れていることから、プロセスの均一性を実現できる。

[0047] 次に、本実施の形態に係るプラズマ処理装置 100 を用いたプラズマ処理の手順の一例について説明する。ここでは、処理ガスとして窒素を含有するガスを用い、ウエハ表面をプラズマ窒化処理する場合を例に挙げる。まず、例えばユーザーインターフェース 52 から、プラズマ処理装置 100 でプラズマ窒化処理を行うように指令が入力される。この指令を受けて、プロセスコントローラ 51 は、記憶部 53 に保存されたレシピを読み出す。そして、レシピに基づく条件でプラズマ窒化処理が実行されるように、プロセスコントローラ 51 からプラズマ処理装置 100 の各エンドデバイス例えばガス供給装置 18、排気装置 24、電磁波発生装置 39 などへ制御信号が送出される。

- [0048] そして、ゲートバルブ 17 を開にして搬入出口 16 からウエハ W を処理容器 1 内に搬入し、載置台 2 上に載置する。次に、処理容器 1 内を減圧排気しながら、ガス供給装置 18 から、不活性ガスおよび窒素含有ガスを所定の流量でそれぞれガス導入部 15 を介して処理容器 1 内に導入する。さらに、排気量およびガス供給量を調整して処理容器 1 内を所定の圧力に調節する。
- [0049] 次に、電磁波発生装置 39 のパワーをオン（入）にして、マイクロ波を発生させる。そして、所定の周波数例えば 2.45 GHz のマイクロ波は、マッチング回路 38 を介して導波管 37 に導かれる。導波管 37 に導かれたマイクロ波は、矩形導波管 37b および同軸導波管 37a を順次通過し、平面アンテナ板 31 に供給される。マイクロ波は、矩形導波管 37b 内では TE モードで伝搬し、この TE モードのマイクロ波はモード変換器 40 で TEM モードに変換されて、同軸導波管 37a 内を平面アンテナ板 31 に向けて伝搬していく。そして、マイクロ波は、平面アンテナ板 31 とカバー部材 34 との間の偏平導波路を伝搬する際に、遅波板 33 によって波長が短縮される。本実施の形態のプラズマ処理装置 100 では、上記偏平導波路の誘電率が平面アンテナ板 31 の径外方向に非均一になるように、遅波板 33 として、小径部材 101 と大径部材 103 とを有する内外二重の部材からなり、必要に応じて間にエアギャップ AG を介在させた構成のものを用いている。その結果、偏平導波路を通過するマイクロ波を所望の波長に制御できる。
- [0050] 遅波板 33 によって波長が短縮化されたマイクロ波は、平面アンテナ板 31 に貫通形成された孔であるマイクロ波放射孔 32 から透過板 28 を介して処理容器 1 内におけるウエハ W の上方空間に放射される。マイクロ波出力は、マイクロ波を効率良く供給する観点から、平面アンテナ板 31 の面積 1 cm^2 あたりのパワー密度として $0.41 \sim 4.19\text{ W/cm}^2$ の範囲内とすることが好ましい。マイクロ波出力は、例えば $500 \sim 5000\text{ W}$ 程度の範囲内から目的に応じて上記範囲内のパワー密度となるように選択することができる。
- [0051] 平面アンテナ板 31 から透過板 28 を経て処理容器 1 に放射されたマイク

口波により、処理容器 1 内で電磁界が形成され、例えば、窒化処理する場合、不活性ガスおよび窒素含有ガスがそれぞれプラズマ化する。このマイクロ波により励起されたプラズマは、マイクロ波が平面アンテナ板 3 1 の多数のマイクロ波放射孔 3 2 から放射されることにより、 $10^9 / \text{cm}^3 \sim 10^{13} / \text{cm}^3$ の高密度で、かつウエハ W 近傍では、略 2 eV 以下の低電子温度のプラズマとなる。このようにして形成される高密度プラズマは、下地膜へのイオン等によるプラズマダメージが少ないものである。そして、プラズマ中の活性種例えばラジカルやイオンの作用によりウエハ W のシリコン表面が窒化されてシリコン窒化膜 Si_3N_4 の薄膜が形成される。なお、窒素含有ガスに代えて酸素含有ガスを用いることにより、シリコンの酸化処理が可能であり、また、成膜原料ガスを用いることによりプラズマ CVD 法による成膜を行うことも可能であり、エッチングガスを用いてエッチング処理することも可能である。

[0052] プロセスコントローラ 5 1 からプラズマ処理を終了させる制御信号が送出されると、電磁波発生装置 3 9 のパワーがオフ（切）にされ、プラズマ処理が終了する。次に、ガス供給装置 1 8 からの処理ガスの供給を停止して処理容器内を真空引きする。そして、ウエハ W を処理容器 1 内から搬出し、1 枚のウエハ W に対するプラズマ処理が終了する。

[0053] 以上のように、本実施の形態のプラズマ処理装置 1 0 0 では、誘電体により構成される遅波板 3 3 を、平面アンテナ板 3 1 とカバー部材 3 4 との間の領域の誘電率が、平面アンテナ板 3 1 の上面と平行な断面において径方向及び／又は周方向に変化するように構成したので、マイクロ波の波長を制御して、平面アンテナ板 3 1 を交換しなくとも処理容器 1 内におけるプラズマ分布を制御することができる。従って、処理容器 1 内で所望の分布でプラズマを安定的に維持することができる。また、ウエハ W の大型化に対応して処理容器 1 を大型化させた場合でも、遅波板 3 3 の構成を変えることによって、処理容器 1 内で生成するプラズマ分布を簡単に調節できる。

[0054] [第 2 の実施の形態]

次に、図 1 1 から図 1 3 を参照しながら、本発明の第 2 の実施の形態に係るプラズマ処理装置について説明する。本実施の形態のプラズマ処理装置は、遅波板 3 3 の構成が異なる点以外は、第 1 の実施の形態のプラズマ処理装置 1 0 0 (図 1) と同じであるため、全体の説明は省略し、遅波板 3 3 の構成についてのみ説明を行う。図 1 1 は、第 2 の実施の形態に係る遅波板 3 3 の平面図である。遅波板 3 3 は、内側に配置される小径部材 1 0 1 と、小径部材 1 0 1 を囲む大径部材 1 0 3 と、小径部材 1 0 1 と大径部材 1 0 3 との間に介在配置された複数 (図 1 1 では 8 個) の着脱自在なピース 1 0 7 を有している。ピース 1 0 7 は、いずれも誘電体から構成されている。ピース 1 0 7 は、小径部材 1 0 1 及び大径部材 1 0 3 と同じ材質でもよいし、異なる材質でもよい。また、ピース 1 0 7 毎に異なる材質を用いることも可能である。

[0055] 本実施の形態において、ピース 1 0 7 は遅波板 3 3 に着脱自在に構成されており、一つないし複数のピース 1 0 7 を装着したり、取り外したりすることができる。図 1 1 では、一つのピース 1 0 7 を外した状態を示している。ピース 1 0 7 を取り外した場合、その部分は空気層 (エアギャップ A G) となる。従って、ピース 1 0 7 の装着個数、配置を変化させることによって、平面アンテナ板 3 1 とカバー部材 3 4 との間の領域の誘電率の分布を簡単に変化させることができる。つまり、当該領域における誘電率が、平面アンテナ板 3 1 の上面と平行な断面において径方向及び周方向に様々なパターンで非均一になるように変化させることができる。

[0056] 図 1 1 では、ピース 1 0 7 を小径部材 1 0 1 及び／又は大径部材 1 0 3 に接触させて配置しているが、離間させてもよい。ピース 1 0 7 を小径部材 1 0 1 及び／又は大径部材 1 0 3 に接触させる場合は、小径部材 1 0 1 及び／又は大径部材 1 0 3 との熱膨張係数が同程度の材質を選択することが好ましい。ピース 1 0 7 を小径部材 1 0 1 及び／又は大径部材 1 0 3 と離間させた場合は、離間部分に空気層 (エアギャップ A G ; 図示省略) が介在することになる。

- [0057] 図12に、図11に示した遅波板33の変形例として、小径部材101と、着脱可能な複数のピース107A（図12では8個）とを組み合わせた態様を示した。この遅波板33では、小径部材101を囲むように、その周囲にピース107Aが配置されている。ピース107Aは、いずれも誘電体から構成されている。ピース107Aは、小径部材101と同じ材質でもよいし、異なる材質でもよい。また、ピース107A毎に異なる材質を用いることも可能である。
- [0058] 図12に示したように、ピース107Aは、アーム60を使用して着脱可能に構成されており、一つないし複数のピース107Aを装着したり、取り外したりすることができる。ピース107Aを取り外した場合、その部分は空気層（エアギャップAG）となる。従って、ピース107Aの装着個数、配置を変化させることによって、平面アンテナ板31とカバー部材34との間の領域の誘電率の分布を簡単に変化させることができる。つまり、当該領域における誘電率が、平面アンテナ板31の上面と平行な断面において径方向及び周方向に様々なパターンで非均一になるように変化させることができる。
- [0059] 図12では、ピース107Aを小径部材101に接触させて配置しているが、離間させてもよい。ピース107Aを小径部材101に接触させる場合は、小径部材101との熱膨張係数が同程度の材質を選択することが好ましい。ピース107Aを小径部材101と離間させた場合は、そこに空気層（エアギャップAG；図示省略）が介在することになる。また、隣接するピース107Aどうしも、接触させても離間させてもよく、接触させる場合は、熱膨張係数が同程度の材質を選択することが好ましい。ピース107Aどうしを離間させた場合は、そこに空気層（エアギャップAG；図示省略）が介在することになる。
- [0060] 図13は、本実施の形態のさらなる変形例を示しており、ベース板111と、このベース板111に組み合わせて配置される着脱可能な平面矩形の複数のピース113とを有している。ベース板111とピース113は、いず

れも誘電体から構成されている。ピース 113 は、ベース板 111 と同じ材質でもよいし、異なる材質でもよい。また、ピース 113 毎に異なる材質を用いることも可能である。

[0061] ベース板 111 には、複数の切り欠き部 111a が設けられており、この切り欠き部 111a にピース 113 を嵌め込んだり、外したりすることによって、平面アンテナ板 31 とカバー部材 34 との間の領域の誘電率の分布を簡単に変化させることができる。ベース板 111 とピース 113 とを組み合わせせていない状態では、切り欠き部 111a に空気層（エアギャップ AG）が形成されるので、平面アンテナ板 31 の上面と平行な断面において径方向及び周方向に誘電率が非均一になる。ベース板 111 の切り欠き部 111a にピース 113 を挿入して組み合わせた場合は、ベース板 111 とピース 113 とが同じ材質であれば、平面アンテナ板 31 の上面と平行な断面において誘電率が非均一な状態は解消され、ベース板 111 とピース 113 とが異なる材質であれば、平面アンテナ板 31 の上面と平行な断面において径方向及び周方向に誘電率が非均一となり、誘電率の分布が生じる。

[0062] 本実施の形態における他の構成及び効果は、第 1 の実施の形態と同様である。

[0063] [第 3 の実施の形態]

次に、図 14 から図 16 を参照しながら、本発明の第 3 の実施の形態に係るプラズマ処理装置について説明する。本実施の形態のプラズマ処理装置は、遅波板 33 の構成が異なる点以外は、第 1 の実施の形態のプラズマ処理装置 100（図 1）と同じであるため、全体の説明は省略し、遅波板 33 の構成についてのみ説明を行う。図 14 は、第 3 の実施の形態に用いる遅波板 33 の外観構成を示す斜視図であり、図 15 は、遅波板 33 を取り付けた状態を示すプラズマ処理装置の要部断面図である。遅波板 33 は、平面アンテナ板 31 と略同程度の面積の平板である円盤部材 115 と、該円盤部材 115 の上に重ねて配置されたリング状部材 117 と、を有している。リング状部材 117 は、円盤部材 115 よりも小面積に形成されている。円盤部材 11

５ とリング状部材 １１７ は、いずれも誘電体から構成されている。円盤部材 １１５ とリング状部材 １１７ とは、同じ材質でもよいし、異なる材質でもよい。

[0064] 本実施の形態では、円盤部材 １１５ と組み合わせてリング状部材 １１７ を配置することによって、平面アンテナ板 ３１ とカバー部材 ３４ との間の領域の誘電率の分布を簡単に変化させることができる。つまり、円盤部材 １１５ の直上の領域は、所定の誘電率を持つリング状部材 １１７ が存在する部分以外は、空気層（エアギャップ AG）となるため、誘電率が平面アンテナ板 ３１ の上面と平行な断面において非均一となっている。

[0065] また、リング状部材 １１７ は、円盤部材 １１５ 上でアーム ６０ により配置を変更できるように可動式に構成されている。リング状部材 １１７ の配置を変更することによって、エアギャップ AG の形状が変化するので、平面アンテナ板 ３１ とカバー部材 ３４ との間の領域の誘電率の分布を、平面アンテナ板 ３１ の上面と平行な断面において簡単に変化させることができる。

[0066] 次に、本実施の形態における遅波板 ３３ の変形例について図 １６ を参照しながら説明する。図 １６ は、遅波板 ３３ を取り付けた状態を示すプラズマ処理装置 １００ の要部断面図である。この変形例では、リング状部材 １１７ を平面アンテナ板 ３１ の上面に接触させて配置し、その上に、円盤部材 １１５ を重ねて配置した。この場合、リング状部材 １１５ は可動式とはせずに、例えば同軸導波管 ３７ a の中心を通る内導体 ４１ に固定されている。本実施の形態では、リング状部材 １１７ を円盤部材 １１５ と平面アンテナ板 ３１ との間に介在配置させることによって、平面アンテナ板 ３１ とカバー部材 ３４ との間の領域の誘電率を平面アンテナ板 ３１ の上面と平行な断面において非均一にすることができる。つまり、円盤部材 １１５ の直下の領域は、所定の誘電率を持つリング状部材 １１７ が存在する部分以外は、空気層（エアギャップ AG）となるため、平面アンテナ板 ３１ の上面と平行な断面において誘電率の分布が生じている。

[0067] 本実施の形態における他の構成及び効果は、第 １ の実施の形態と同様であ

る。

[0068] [第4の実施の形態]

次に、図17及び図18を参照しながら、本発明の第4の実施の形態に係るプラズマ処理装置について説明する。本実施の形態のプラズマ処理装置は、遅波板33の構成が異なる点以外は、第1の実施の形態のプラズマ処理装置100（図1）と同じであるため、全体の説明は省略し、遅波板33の構成についてのみの説明を行う。図17は、第4の実施の形態に用いる遅波板33を取り付けた状態を示すプラズマ処理装置の要部断面図である。本実施の形態の遅波板33は、ベース板119と、このベース板119に部分的に形成された凹部、すなわち溝121とを有している。つまり、ベース板119の上面（平面アンテナ板31に接する面とは反対側）には、部分的に一つないし複数の溝121が形成されている。溝121の配設位置や形状、深さや大きさなどは特に限定されるものではなく、例えば同軸導波管37aを囲むように環状に設けてもよいし、ベース板119の面内に複数の溝121が点在するように設けてもよい。

[0069] 本実施の形態では、ベース板119の上面に溝121を設けたことによって、平面アンテナ板31とカバー部材34との間の領域の誘電率を平面アンテナ板31の上面と平行な断面において細かく区分することができる。つまり、溝121の部分は空気層（エアギャップAG）となるため、所定の誘電率を持つベース板119との間で誘電率の差異が生じる。従って、平面アンテナ板31とカバー部材34との間の領域の誘電率を平面アンテナ板31の上面と平行な断面において非均一な状態にすることができる。なお、同様な効果を得るために、図18に示すようにベース板119の下面（平面アンテナ板31に接する面）に部分的に溝121を設けてもよく、さらに図示は省略するが、ベース板119の上下両面に部分的に溝121を設けてもよい。

[0070] 本実施の形態における他の構成及び効果は、第1の実施の形態と同様である。

[0071] [第5の実施の形態]

次に、図 19 及び図 20 を参照しながら、本発明の第 5 の実施の形態に係るプラズマ処理装置について説明する。本実施の形態のプラズマ処理装置は、遅波板 33 の構成が異なる点以外は、第 1 の実施の形態のプラズマ処理装置 100 (図 1) と同じであるため、全体の説明は省略し、遅波板 33 の構成についてのみ説明を行う。図 19 及び図 20 は、本実施の形態に係る遅波板 33 の平面図である。本実施の形態の遅波板 33 は、単体のベース板 123 と、その厚み方向に貫通する一つ又は複数 (図 19 では 9 つ、図 20 では 1 つ) の貫通開口 125 を有している。ベース板 123 における貫通開口 125 形状や大きさ、配設位置は任意であり、特に限定されるものではないが、例えば同軸導波管 37a を囲むように螺旋状、環状、半円状、円弧状等に設けることが好ましい。

[0072] 本実施の形態では、ベース板 123 に貫通開口 125 を設けたことによって、平面アンテナ板 31 とカバー部材 34 との間の領域の誘電率を平面アンテナ板 31 の上面と平行な断面において細かく区分することができる。つまり、貫通開口 125 の部分は空気層 (エアギャップ AG) となるため、所定の誘電率を持つベース板 123 との間で誘電率の差異が生じ、誘電率を平面アンテナ板 31 の上面と平行な断面において非均一にすることができる。

[0073] また、本実施の形態の遅波板 33 では、ベース板 123 に貫通開口 125 を非均等に配設したので、例えばベース板 123 の装着位置を図 19 及び図 20 中に矢印で示すように任意の角度で回転させることによって、平面アンテナ板 31 とカバー部材 34 との間の領域の誘電率の分布を簡単に変化させることができる。

[0074] 本実施の形態における他の構成及び効果は、第 1 の実施の形態と同様である。

[0075] 次に、図 1 に示したプラズマ処理装置 100 と同様の構成のプラズマ処理装置を用い、遅波板 33 の構造が、処理容器 1 内へのマイクロ波パワーの導入効率に与える影響について有限要素法による 3 次元シミュレーションにより検証した。シミュレーションでは、ソフトウェアとして COMSOL (商

品名；COMSOL社製）を用い、下記の３種類の遅波板を装着した場合について透過板２８の直下における電界強度及びその分布を計算した。遅波板３３の材質はいずれも石英とした。

[0076] 遅波板Ａ（本発明例）： 図３～図５に示したものと同様の二重リング構造の遅波板において、中心から小径部材１０１の外周部までの径方向の距離を約１６０mmに設定し、エアギャップＡＧの幅を１０mm、２０mm、３０mm、４０mm、５０mm、６０mm、７２．５mmそれぞれ設定した。

[0077] 遅波板Ｂ（本発明例）： 図３～図５に示したものと同様の二重リング構造の遅波板において、中心から小径部材１０１の外周部までの径方向の距離を約１９５mmに設定し、エアギャップＡＧの幅を１０mm、２０mm、３０mm、３８．５mmにそれぞれ設定した。

[0078] 遅波板Ｓ（比較例）： 単体の円板状とした。

[0079] シミュレーション実験の結果を表１及び図２１に示した。なお、図２１は透過板２８の直下における電界強度分布を白黒で示しており、大まかな傾向として、白い領域は電界強度が強く、黒い領域は電界強度が弱いことを示している。

[0080] [表１]

エアギャップの幅 (mm)	電界強度[W]		
	遅波板A	遅波板B	遅波板S
0	—	—	663
10	497	669	—
20	547	822	—
30	1657	806	—
38.5	—	844	—
40	462	—	—
50	449	—	—
60	552	—	—
72.5	569	—	—

[0081] 表 1 に示した遅波板 A、B の結果から、エアギャップ A G の配置及び幅 L を変化させることにより、処理容器 1 内の電界強度を大きく変えることが可能であった。また、図 2 1 に示すように、エアギャップ A G の配置及び幅 L を変化させることにより、処理容器 1 内の電界分布も大きく変化させることが可能であった。例えば、遅波板 A において、エアギャップ A G の幅 L が 30 mm では電界分布が透過板 2 8 の周縁部の直下で強くなり、幅 L が 40 mm では電界分布が透過板 2 8 の中央部の直下で強くなるなど、エアギャップ A G の幅 L に依存して電界分布が変化する傾向が把握された。従って、例えば図 7 及び図 8 で示したような遅波板 3 3 の構成（偏心配置）により、処理容器 1 内で局所的に電界分布が弱い部分のみ電界を強くするなど、電界分布の偏りを積極的に是正する制御が可能であると考えられる。

[0082] 次に、図 1 に示したプラズマ処理装置 1 0 0 と同様の構成のプラズマ処理装置を用いてシリコンウエハに対してプラズマ窒化処理を行った。遅波板 3 3 として、図 3 ～ 図 5 に示したものと同様の二重リング構造の遅波板を用いた。エアギャップ A G の幅は 30 mm 又は 40 mm とした。プロセス条件は以下の通りである。

[0083] [プロセス条件]

N₂ ガス / A r ガスの体積流量比 : 20 %、

流量 : 200 mL / min (s c c m) 、

プロセス圧力 : 20 Pa 、

マイクロ波出力 : 1500 W 、

載置台温度 : 500 °C 、

処理時間 : 90 秒

[0084] 成膜された窒化珪素膜のウエハ面内の膜厚分布をエリプソメーターで測定することにより、ウエハ面内でのプラズマ窒化処理の均一性を評価した。その結果を表 2 に示した。また、図 2 2 に、シミュレーション実験における透過板 2 8 の直下における電界強度分布を白黒で示した。図 2 2 では、大まかな傾向として、白い領域は電界強度が強く、黒い領域は電界強度が弱いこと

を示している。

[0085] [表2]

エアギャップの幅 (mm)	窒化珪素膜の面内均一性		
	平均膜圧 (nm)	面内膜圧差(nm) (最大膜圧－最小膜圧)	$\frac{\text{面内膜圧差}}{\text{平均膜圧} \times 2} \times 100(\%)$
30	2.1	0.061	1.45
40	2.07	0.091	2.2

[0086] この実験結果から、遅波板 33 のエアギャップ AG の幅 L を変えることによって、窒化珪素膜の膜厚の面内分布が変化することが確認された。従って、本発明の遅波板 33 を用い、プロセス条件に合わせてその形状と配置を変えることにより、ウエハ W の面内での処理の均一性を改善できる可能性が示された。

[0087] 以上、本発明の実施形態を述べたが、本発明は上記実施形態に制約されることはなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明のプラズマ処理装置 100 は、プラズマ窒化処理装置以外にも、例えばプラズマ酸化処理装置やプラズマ CVD 処理装置、プラズマエッチング処理装置、プラズマアッシング処理装置などに適用できる。さらに、本発明の平面アンテナ板 31 を備えたプラズマ処理装置 100 は、被処理体として半導体ウエハを処理する場合に限らず、例えば液晶ディスプレイ装置や有機 EL ディスプレイ装置などのフラットパネルディスプレイ装置用あるいは太陽電池パネルの基板を被処理体とするプラズマ処理装置にも適用できる。

符号の説明

[0088] 1…処理容器、2…載置台、3…支持部材、12…排気管、15…ガス導入部、18…ガス供給装置、24…排気装置、27…マイクロ波導入機構、28…透過板、29…シール部材、31…平面アンテナ板、32…マイクロ波放射孔、33…遅波板、37…導波管、37a…同軸導波管、37b…矩形導波管、39…電磁波発生装置、50…制御部、51…プロセスコントロ

ーラ、52…ユーザーインターフェース、53…記憶部、100…プラズマ
処理装置、101…小径部材、103…大径部材、105…開口部、AG…
エアギャップ、W…半導体ウエハ（基板）

請求の範囲

- [請求項1] 被処理体に対してプラズマ処理するプラズマ処理装置であって、
被処理体を収容する真空引き可能な処理容器と、
電磁波発生装置で発生した電磁波を前記処理容器内に導入する平面アンテナ部材と、
前記電磁波を前記平面アンテナ部材へ供給する導波管と、
前記平面アンテナ部材の上に重ねて設けられ、前記導波管から供給された前記電磁波の波長を変化させる遅波板と、
前記遅波板及び前記平面アンテナ部材を上方から覆うカバー部材と、
を備え、
前記遅波板は、誘電体によって構成されるとともに、前記平面アンテナ部材と前記カバー部材との間の領域の誘電率が、前記平面アンテナ部材の上面と平行な断面において、非均一である。
- [請求項2] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記遅波板が、誘電率が同じ又は異なる複数の部材を組み合わせて形成されている。
- [請求項3] 請求項2に記載のプラズマ処理装置において、
前記複数の部材の間に空気層が介在している。
- [請求項4] 請求項2に記載のプラズマ処理装置において、
前記複数の部材の一部が取り外し可能である。
- [請求項5] 請求項2に記載のプラズマ処理装置において、
前記複数の部材の配置位置が可変である。
- [請求項6] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記遅波板が、第1の部材と、該第1の部材よりも大きな第2の部材と、を含み、
前記第1の部材の周囲に前記第2の部材が配置され、前記第1の部材と前記第2の部材との間に空気層が介在している。
- [請求項7] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、

前記遅波板が、第 1 の部材と、該第 1 の部材よりも大きな第 2 の部材と、を含み、

前記第 1 の部材と前記第 2 の部材がこれらの厚み方向に重ねて配置されている。

[請求項 8] 請求項 7 に記載のプラズマ処理装置において、

前記第 1

の部材が前記平面アンテナ部材に接触して配置され、前記第 2 の部材が前記第 1 の部材上に重ねて配置されている。

[請求項 9] 請求項 7 に記載のプラズマ処理装置において、

前記第 2 の部材が前記平面アンテナ部材に接触して配置され、前記第 1 の部材が前記第 2 の部材上に重ねて配置されている。

[請求項 10] 請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、

前記遅波板が平板形状をなし、その厚み方向に複数の凹部を有しており、該凹部に空気層が介在している。

[請求項 11] 請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、

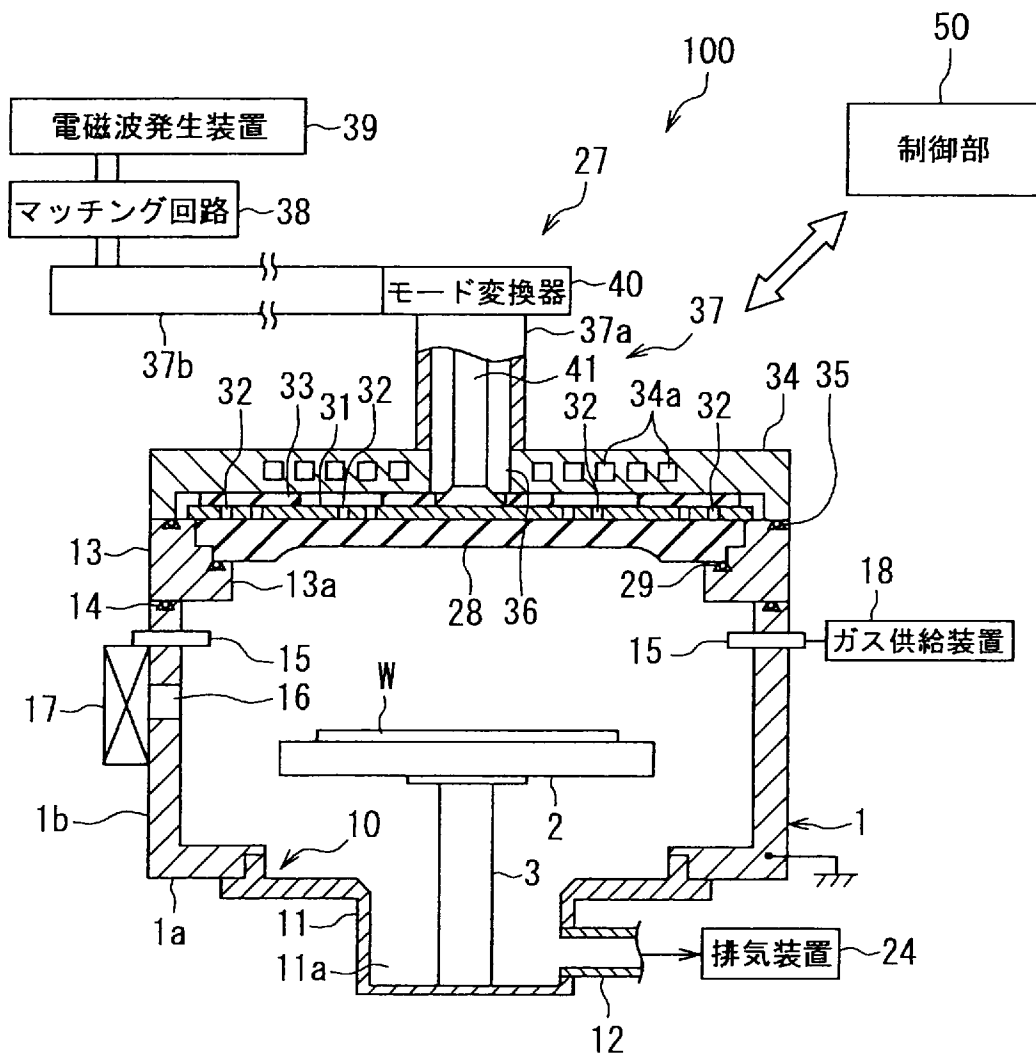
前記遅波板が平板形状をなし、その厚み方向に複数の貫通開口部を有しており、該貫通開口部に空気層が介在している。

[請求項 12] プラズマ処理装置の平面アンテナ部材の上に重ねて設けられ、導波管から供給された電磁波の波長を変化させる遅波板であって、

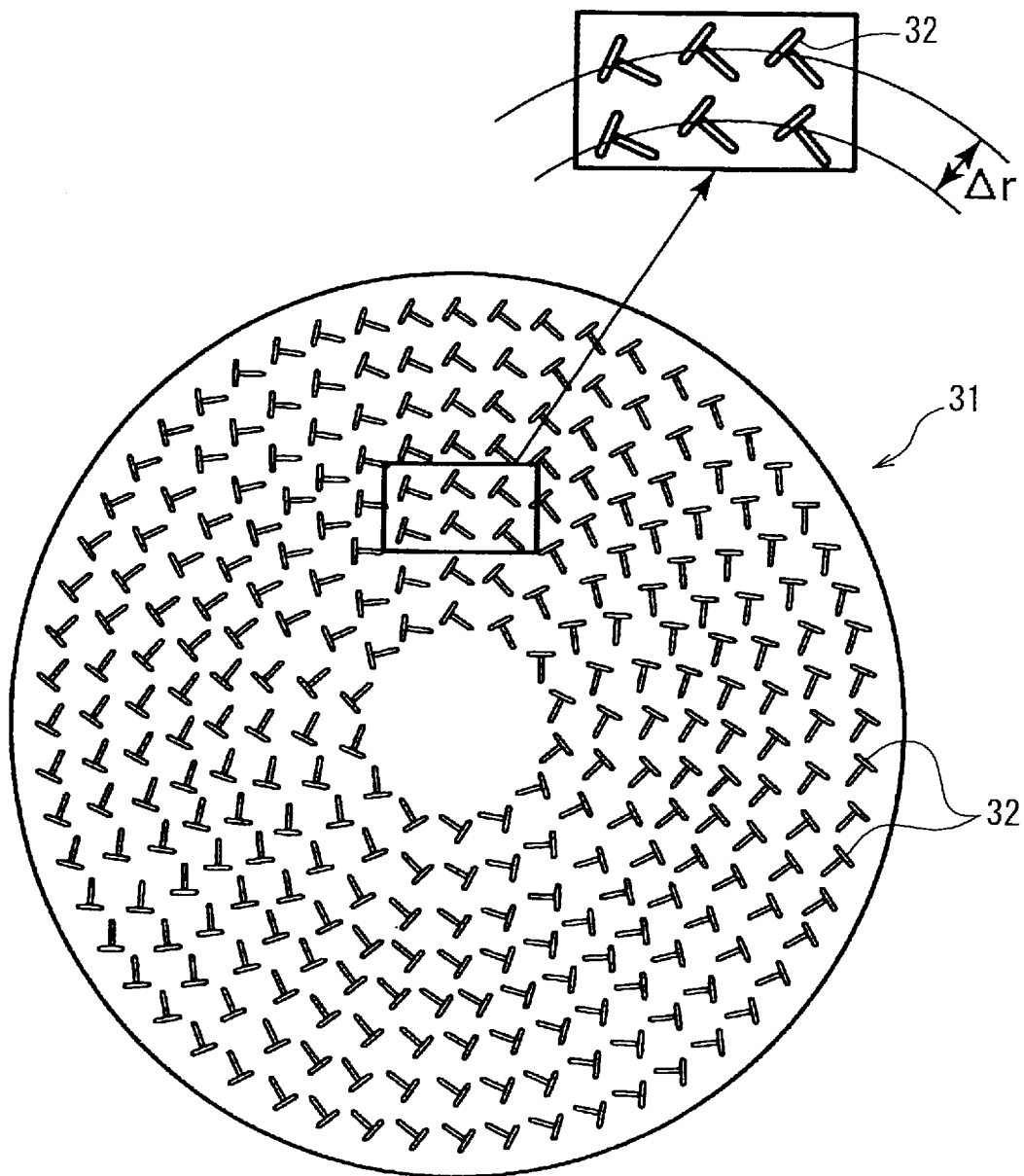
前記遅波板は、誘電体によって構成されるとともに、

前記平面アンテナ部材と、前記平面アンテナ部材を上方から覆うカバー部材との間の領域の前記遅波板の誘電率が、前記平面アンテナ部材の上面と平行な断面において、非均一である。

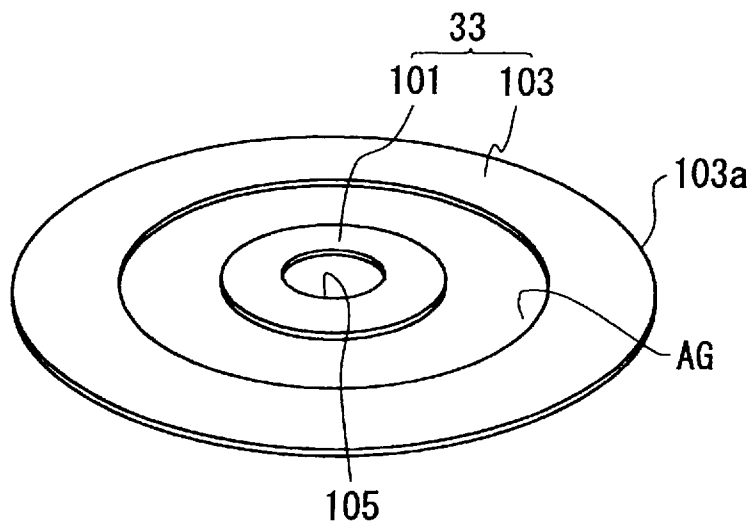
[図1]



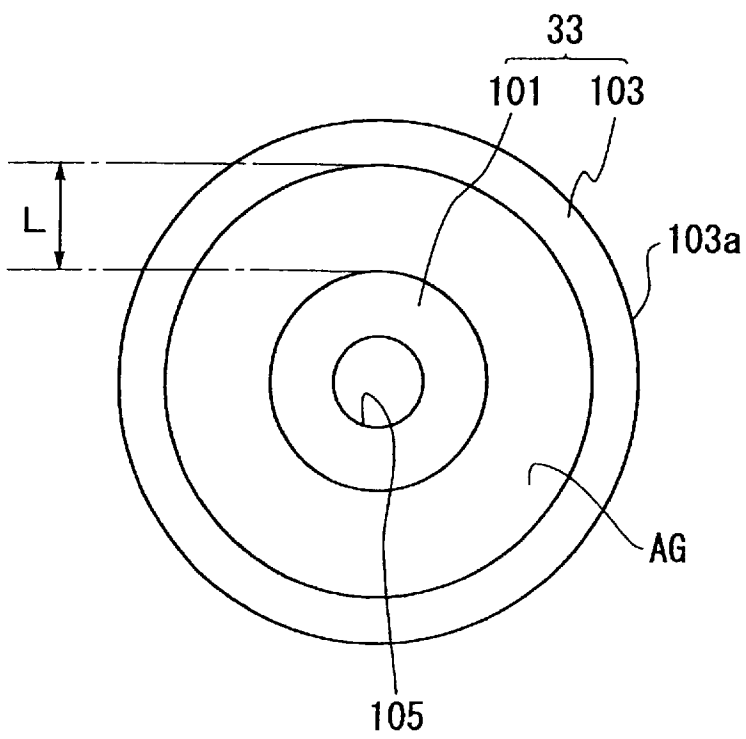
[図2]



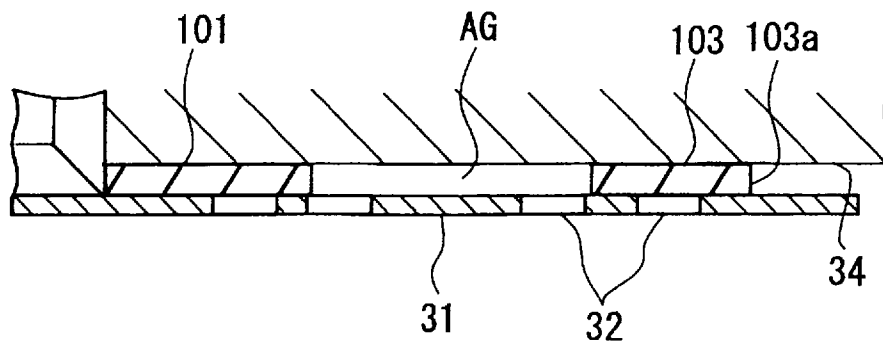
[図3]



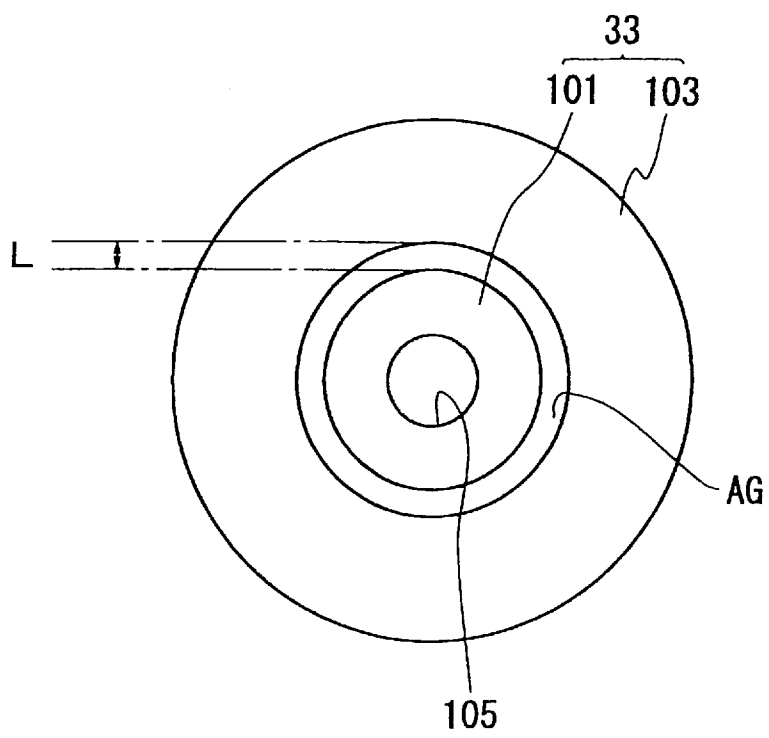
[図4]



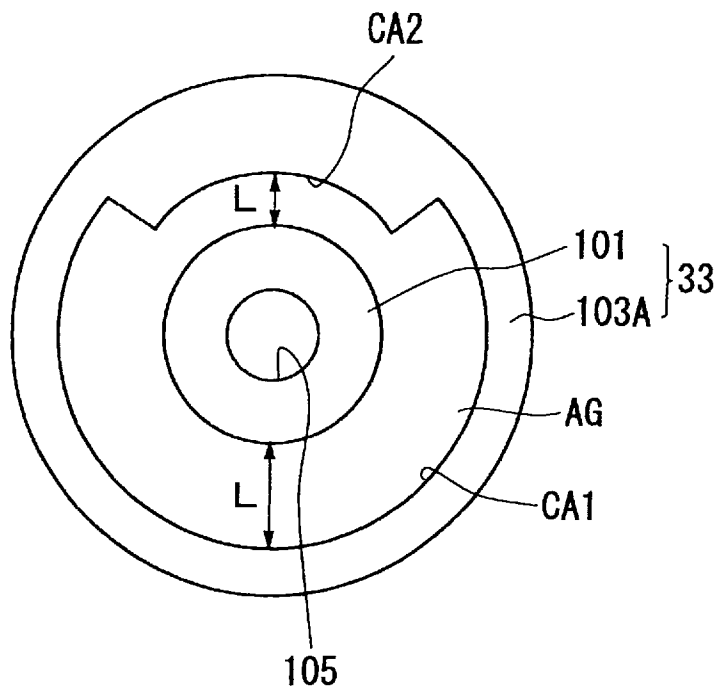
[図5]



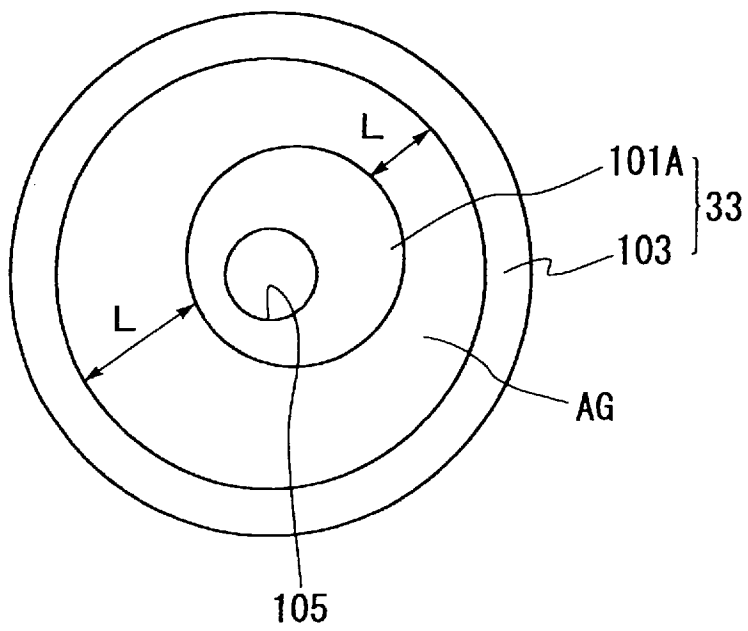
[図6]



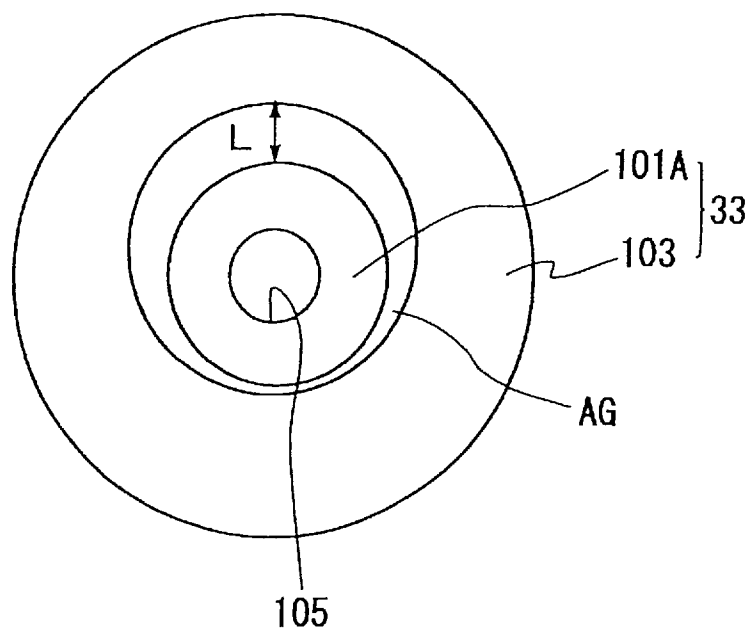
[図7]



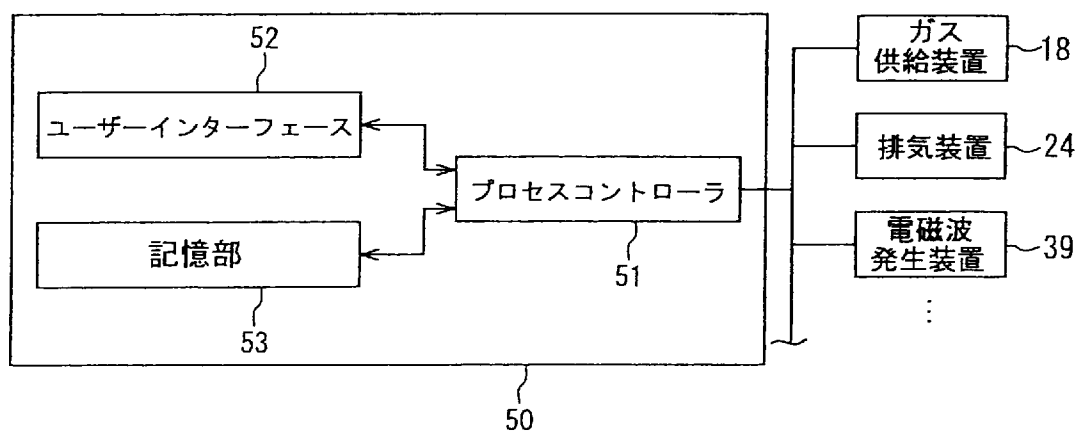
[図8]



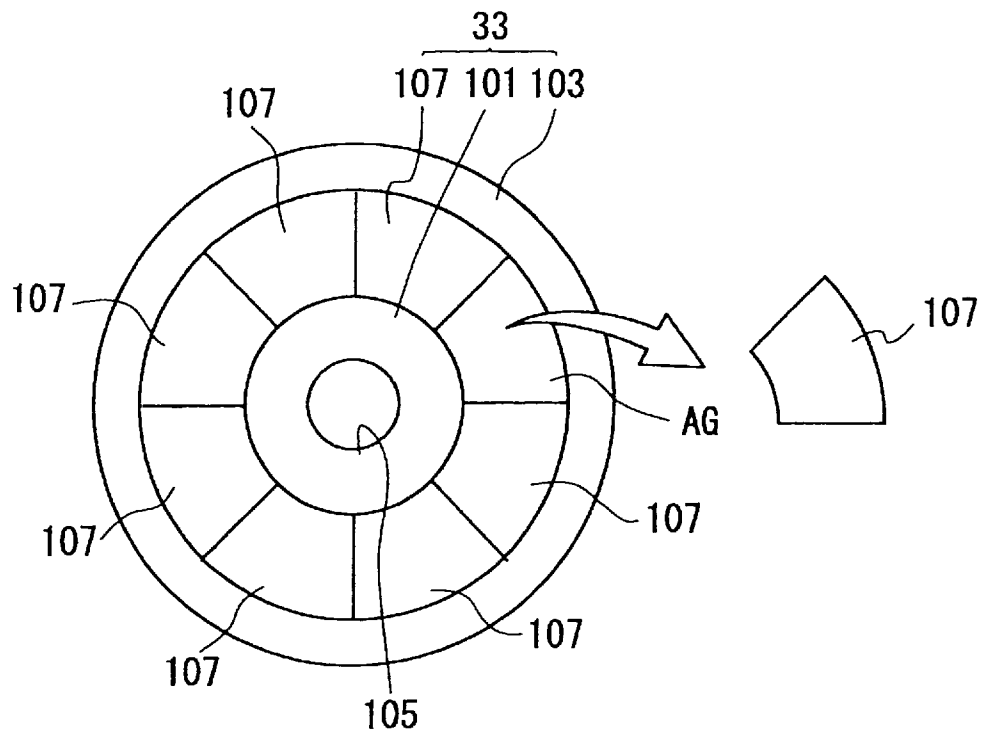
[図9]



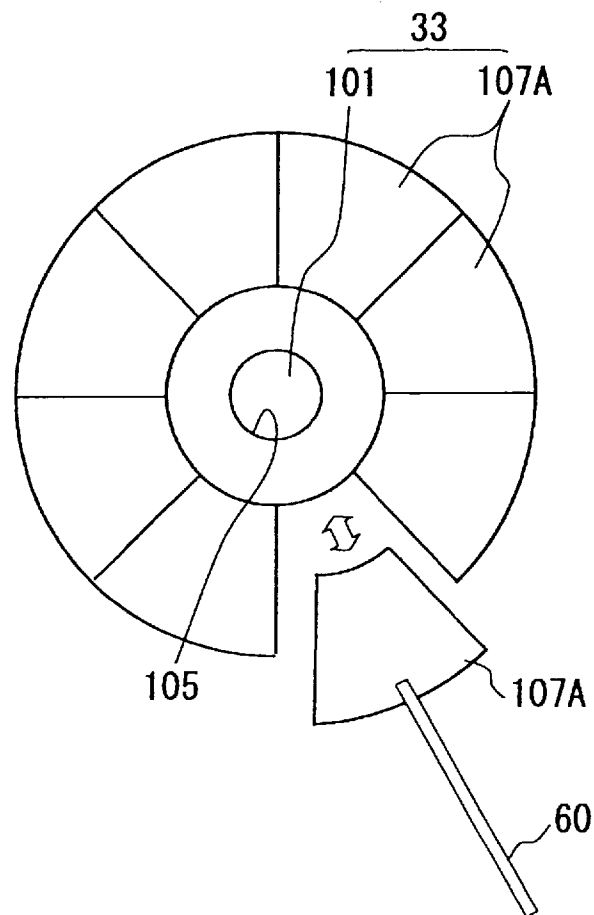
[図10]



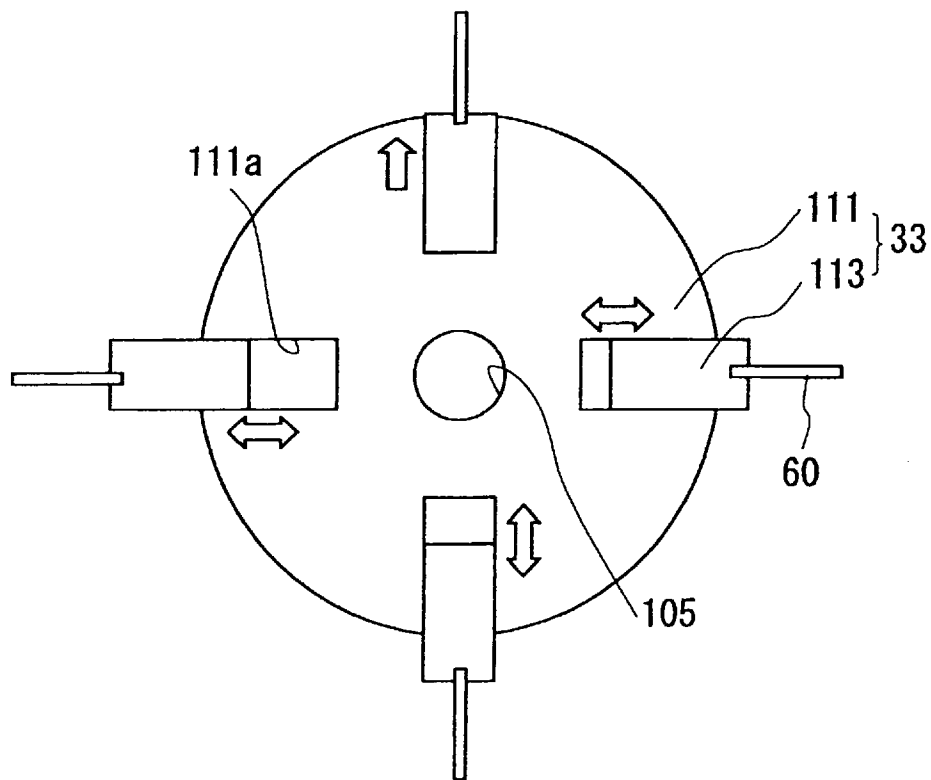
[図11]



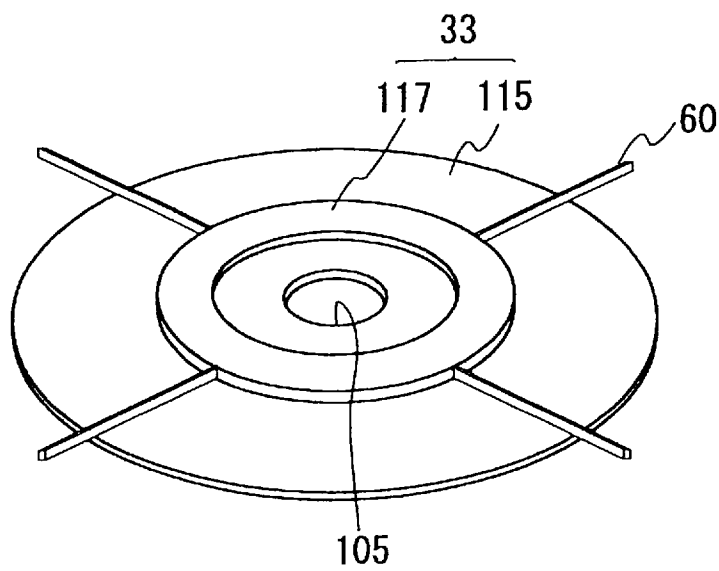
[図12]



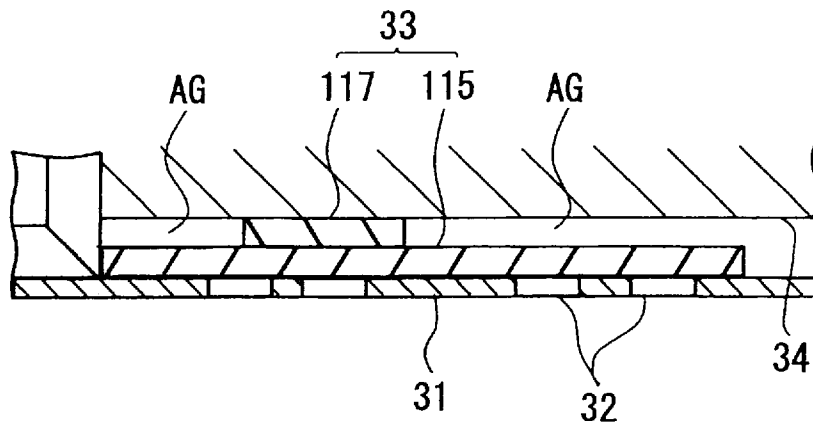
[図13]



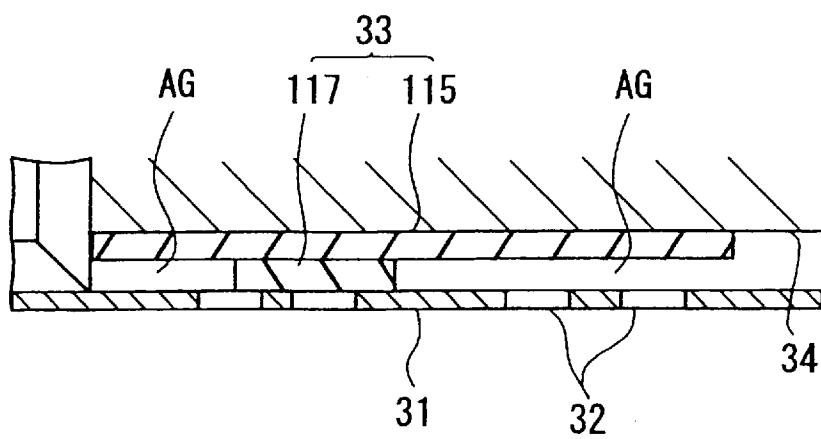
[図14]



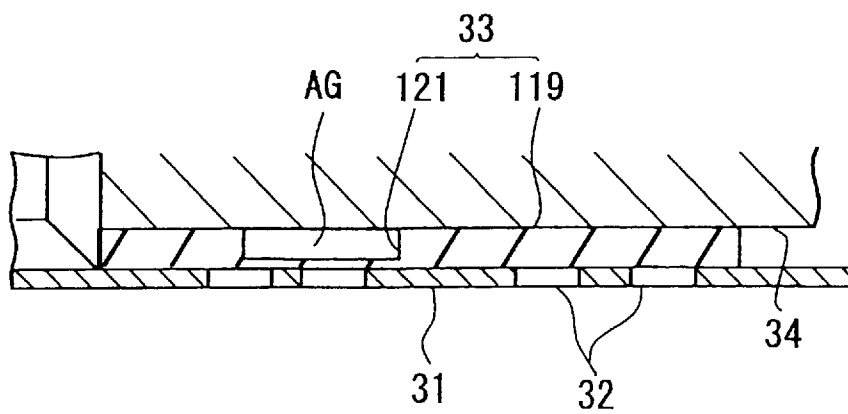
[図15]



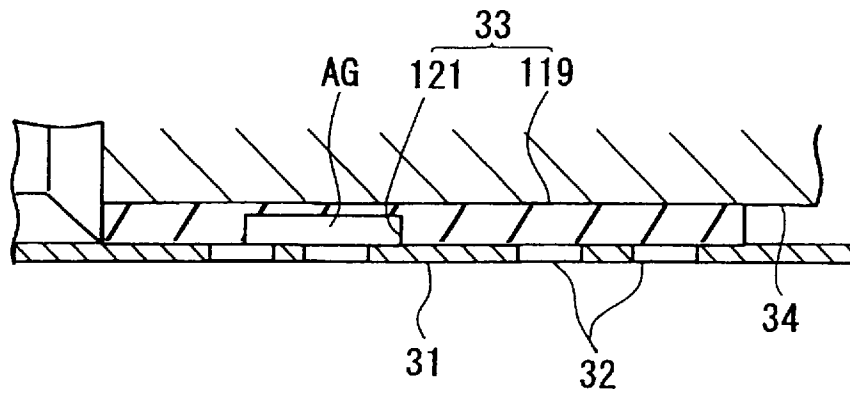
[図16]



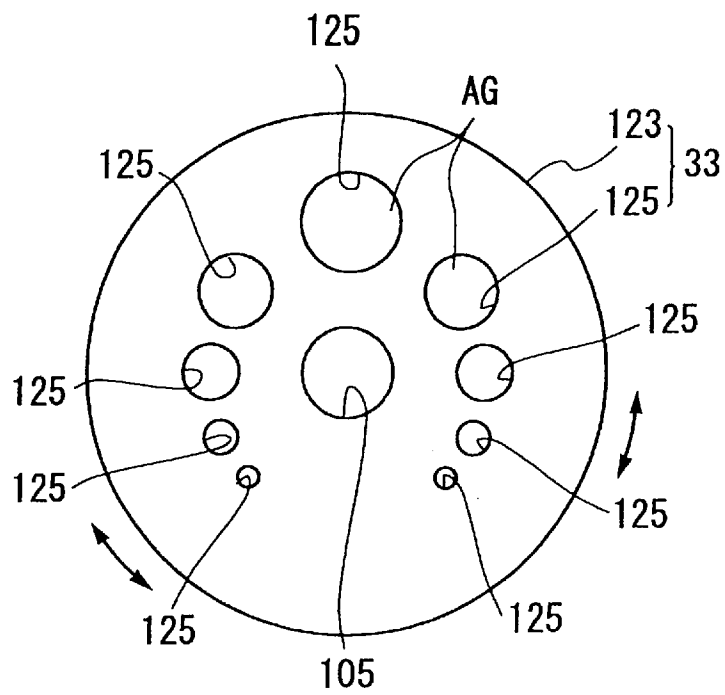
[図17]



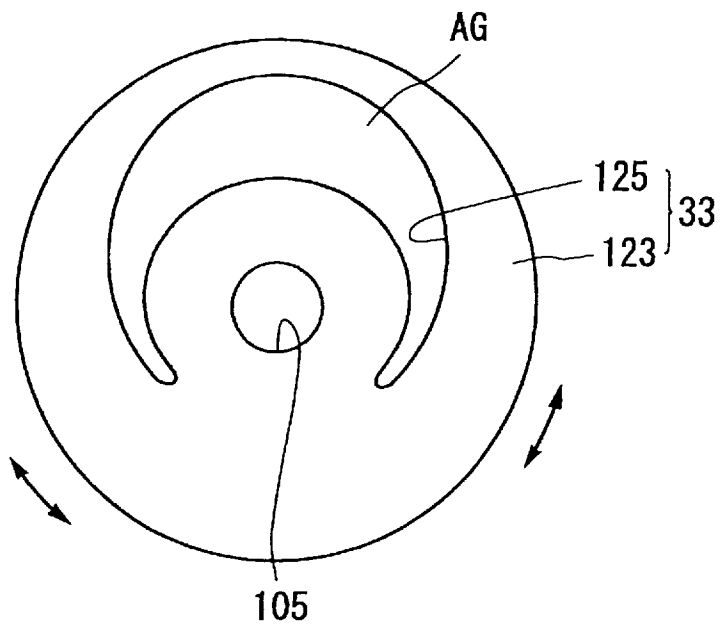
[図18]



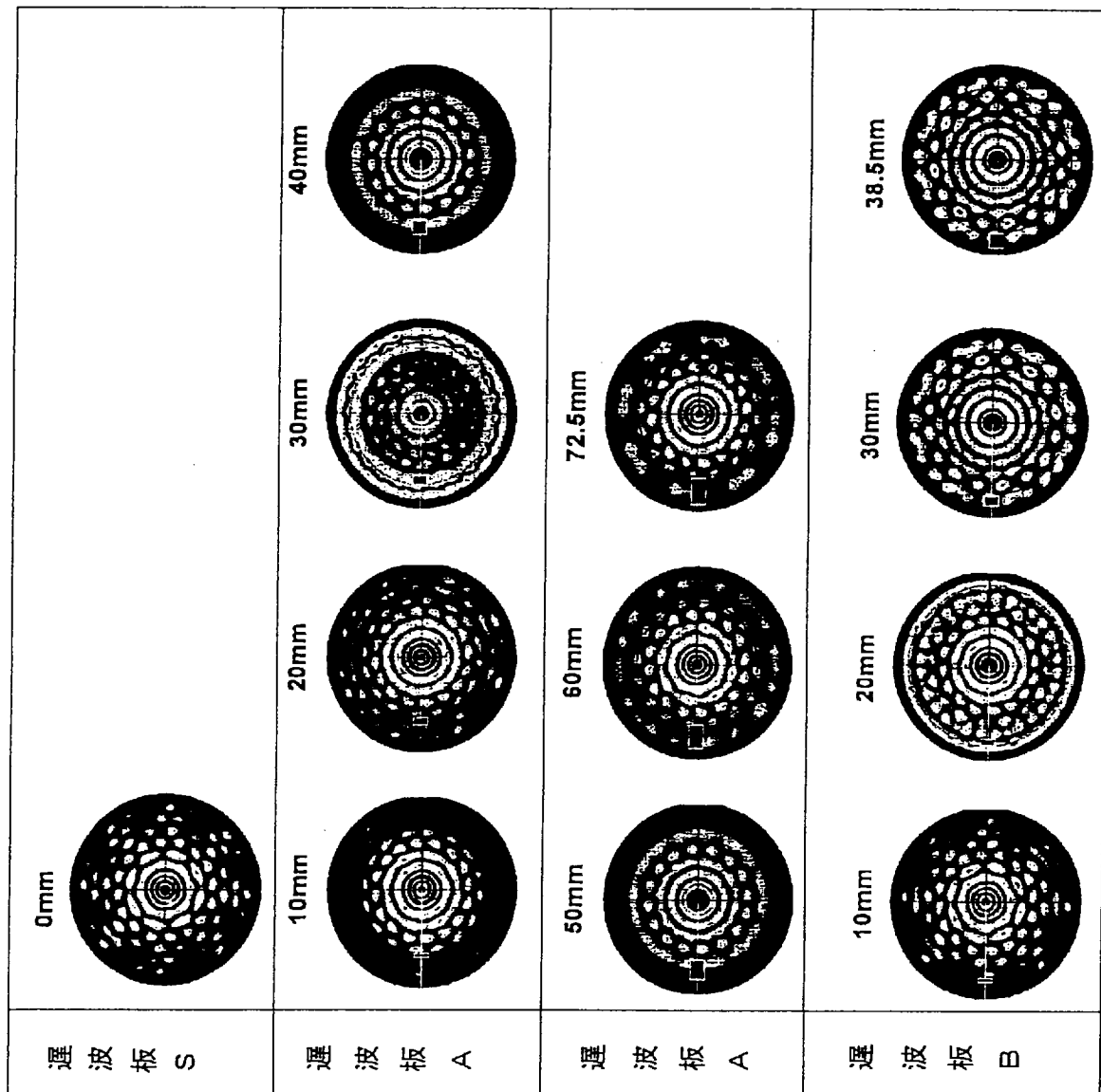
[図19]



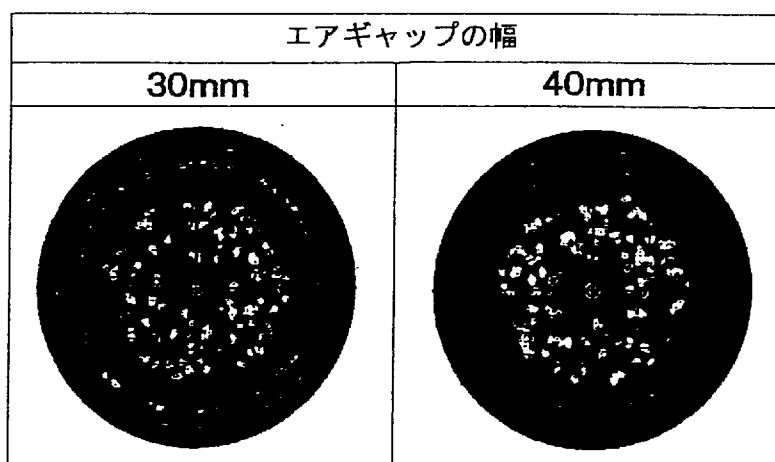
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/066946

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/31(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H05H1/46(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)

H01L21/31, C23C16/511, H01L21/205, H05H1/46

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 2002-93788 A (Tokyo Electron Ltd.), 29 March 2002 (29.03.2002), paragraphs [0015] to [0048]; fig. 1 to 10 & US 2003/0173030 A1 & EP 1306893 A1 & WO 2002/005339 A1 & DE 60140809 D & AU 7103001 A & TW 502561 B	1, 12 1, 2, 7, 9, 12
X Y	JP 2002-231637 A (Nihon Koshuha Co., Ltd.), 16 August 2002 (16.08.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1, 12 1, 2, 7, 9, 12

☐ 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
16 December, 2010 (16.12.10)

Date of mailing of the international search report
28 December, 2010 (28.12.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/066946

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention in claim 1 of this application is described in the document 1 (JP 2002-93788 A) and the document 2 (JP 2002-231637 A), and therefore cannot be considered to have novelty and a special technical feature. Therefore, there is one or more of the special technical features among the inventions in claims 1 - 12, and therefore, the inventions in claims 1 - 12 cannot be considered to comply with unity of invention.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/31(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H05H1/46(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. H01L21/31, C23C16/511, H01L21/205, H05H1/46

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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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
X	JP 2002-93788 A（東京エレクトロン株式会社）2002.03.29, 段落0015-0048, 図1-10 & US 2003/0173030 A1 & EP 1306893 A1 & WO 2002/005339 A1 & DE 60140809 D & AU 7103001 A & TW 502561 B	1, 12
Y		1, 2, 7, 9, 12
X	JP 2002-231637 A（日本高周波株式会社）2002.08.16, 全文, 全図（ファミリーなし）	1, 12
Y		1, 2, 7, 9, 12

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 6 . 1 2 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 8 . 1 2 . 2 0 1 0

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）

山口 敦司

2 I

9 2 1 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3273

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

この出願の請求項1に係る発明は、文献1（JP 2002-93788 A）又は文献2（JP 2002-231637 A）に記載されており、新規性が認められず、特別な技術的特徴を有しない。したがって、請求項1-12に係る発明の間には、一以上の同一又は対応する特別な技術的特徴が含まれず、発明の単一性を認めることができない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。