

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-353066

(P2004-353066A)

(43) 公開日 平成16年12月16日(2004.12.16)

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
C 2 3 F 4/00	C 2 3 F 4/00	A 4 G 0 7 5
B 0 1 J 19/08	B 0 1 J 19/08	E 4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/511	B 0 1 J 19/08	H 4 K 0 5 7
H 0 1 L 21/205	C 2 3 C 16/511	5 F 0 0 4
H 0 1 L 21/3065	H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 5
審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 19 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2003-155142 (P2003-155142)	(71) 出願人	591074172 後藤 俊夫 愛知県日進市五色園3-2110
(22) 出願日	平成15年5月30日(2003.5.30)	(71) 出願人	395022731 堀 勝 愛知県日進市藤塚6-176
		(71) 出願人	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番6号
		(71) 出願人	501111902 株式会社片桐エンジニアリング 神奈川県川崎市幸区南加瀬五丁目37番12号
		(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
		最終頁に続く	

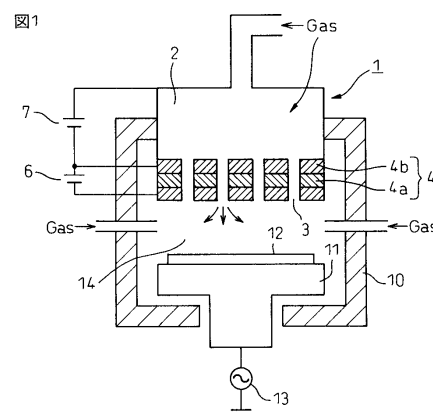
(54) 【発明の名称】 プラズマ源およびプラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 高効率で且つ高密度のプラズマを生成することが可能なプラズマ源ないしプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】 ガスを供給すべきチャンバと、該チャンバのガス流出側に配置された、ガス通過が可能な複数の電極孔を有するホローカソード電極部材とから、プラズマ源を構成する。このようなプラズマ源においては、前記該ホローカソード電極部材の電極孔内で、マイクロカソードプラズマ放電が可能である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガスを供給すべきチャンバと、
該チャンバのガス流出側に配置された、ガス通過が可能な複数の電極孔を有するホローカソード電極部材を少なくとも含むプラズマ源であって；
前記該ホローカソード電極部材の電極孔内で、マイクロカソードプラズマ放電を可能としたことを特徴とするプラズマ源。

【請求項 2】

前記ホローカソード電極が、有孔導体部材の対を複数含み、且つ該有孔導体部材の対に対応した位置で、マイクロカソード放電を可能としたものである請求項 1 に記載のプラズマ源。 10

【請求項 3】

前記ホローカソード電極に対応するアノード電極を有し、該アノード電極が、プラズマ貫通のための孔を有する請求項 1 または 2 に記載のプラズマ源。

【請求項 4】

前記電極が、3 段以上の多段電極である請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載のプラズマ源。

【請求項 5】

前記電極が、三次元電極である請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のプラズマ源。

【請求項 6】

前記三次元電極が、個々の電極エレメントを独立的に生業可能な電極である請求項 5 に記載のプラズマ源。 20

【請求項 7】

前記電極に印加すべき電位が経時的に変化可能である請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のプラズマ源。

【請求項 8】

処理チャンバと；該処理チャンバ内の所定位置に基材を配置するための基材保持手段と；
前記基材にプラズマまたは荷電粒子若しくはラジカルを選択的に照射するためのプラズマ源とを少なくとも含むプラズマ処理装置であって；
前記プラズマ源が、ガスを供給すべきチャンバと；該チャンバのガス流出側に配置された、ガス通過が可能な複数の電極孔を有するホローカソード電極部材とを少なくとも含み； 30
且つ、
前記該ホローカソード電極部材の電極孔内で、マイクロカソードプラズマ放電を可能としたプラズマ源であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 9】

前記基材が、電子デバイス用基材、光デバイス用基材、またはバイオデバイス用基材である請求項 1 ～ 8 のいずれかに記載のプラズマ源。

【請求項 10】

前記プラズマ源が、大気圧プラズマ源である請求項 8 または 9 に記載のプラズマ処理装置。 40

【請求項 11】

前記処理チャンバ内に、ガスが供給される請求項 8 ～ 10 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 12】

前記処理チャンバ内に、大気圧プラズマまたは減圧プラズマが生成するように構成されている請求項 8 ～ 11 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 13】

前記ホローカソード電極に印加すべき電圧を変化させて、イオン、電子およびラジカルからなる群から選択される 1 種以上の活性種を、前記基材上に照射することを可能とした請求項 8 ～ 12 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】 50

【 0 0 0 1 】

【 発明の属する技術分野 】

本発明は、効率の高いプラズマ生成を可能としたプラズマ源およびプラズマ処理装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【 従来技術 】

本発明は半導体ないし半導体デバイス、液晶デバイス等の電子デバイス等の材料の製造に広く一般的に適用可能であるが、ここでは説明の便宜のために、半導体デバイスの背景技術を例にとって説明する。

【 0 0 0 3 】

近年、半導体デバイスの高密度化及び高微細化に伴い、半導体デバイスの製造工程において、成膜、エッチング、アッシング等の種々の処理のためにプラズマ処理装置が使用される場合が増大している。このようなプラズマ処理を用いた場合には、電子デバイスの製造工程において、高精度なプロセス制御が容易であるという一般的な利点がある。

【 0 0 0 4 】

従来より、上記した各種の処理に必要なプラズマを生成するためのプラズマ処理装置としては、CCP（平行平板プラズマ）処理装置およびICP（誘導結合プラズマ）処理装置が使用されて来た。

【 0 0 0 5 】

これらのうち、CCP処理装置においては、通常は、平行平板の一方を構成する上部電極としてプロセスガスのより均一化した流れを与えるためのシャワーヘッド構造を有するSi天板を有し、平行平板の他方たる下部電極側にバイアスを印加できるサセプターを有する処理チャンバが通常は用いられる。この場合のプラズマ処理においては、上記サセプター上に処理を行うべき基板（被処理体）を載置して、上記した上部電極および下部電極間でプラズマを生成させ、該プラズマに基づき基板に対して所望のプロセス処理を行う。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、このCCP処理装置においては、他のプラズマ源に比べて、プラズマ密度が低く、イオンフラックスを充分に取り難いため、被処理体（ウエハ等）に対する処理速度が低い傾向がある。また平行平板に対する電源の周波数を高めたとしても、平行平板を構成する電極面内の電位分布が出現するため、プラズマおよび/又はプロセスの均一性が低下し易い。加えて、CCP処理装置においてはSi電極の消耗が激しいため、COC（Cost of Consumable；消耗品コスト）に関しても、コストが高くなる傾向がある。

【 0 0 0 7 】

他方、ICP処理装置においては、通常は、処理チャンバの上部側に位置する誘電体天板上（すなわち、処理チャンバの外側）に高周波を供給すべきターンコイルを配置し、該コイルの誘導加熱により天板直下にプラズマを生成し、該プラズマに基づき、被処理体のプロセス処理を行う。

【 0 0 0 8 】

このような従来のICP処理装置においては、処理チャンバ外側のターンコイルに高周波を供給して（誘電体天板を介して）処理チャンバ内にプラズマを生成する。したがって、基板（被処理体）が大口径化すると、真空封止のため処理チャンバに機械的強度が必要になり、誘電体天板の厚みを増大せざるを得ないため、コストが高くなる。加えて、誘電体天板の厚みを増大させると、ターンコイルからプラズマへの電力の伝送効率が低下するため、コイルの電圧を高く設定せざるを得ない。このため、誘電体天板自体がスパッタされる傾向が強まり、上記のCOCも悪化する。更には、このスパッタにより生成した微粒子が基板に堆積し、プロセス性能を悪化させる恐れがある。またターンコイル自身もサイズを大きくする必要があるため、このような大サイズのコイルに給電するための高出力の電源が必要となる。

【 0 0 0 9 】

10

20

30

40

50

これまでのプラズマプロセスにおいては、ガスを供給したプラズマ室に電力を供給し、ガスをプラズマ化し、プラズマ室に設置された基材を処理するものであった。特に電極に一樣な電力を供給し、空間的に均一なプラズマ生成を行なうように、設計されていた。しかしながら、プラズマの均一性は、電極形状やプラズマ室の構造等及び圧力、ガス種等のパラメータに大きく影響を受ける為、種々のプロセス条件に応じて、一樣なプラズマ分布を得ることが困難であった。さらに、プラズマの生成面積等を自由に可変することは不可能であった。例えば、プラズマ生成空間に対して、ほぼ同一面積の基材と該面積が大幅に小さい基材を処理する場合、プラズマの生成空間は大きな基材の面積に合わせる必要がある、小さな面積の基材に対応する場合プラズマ生成空間の大部分が不要にもかかわらず、大面積のプラズマを用いて処理するのが一般的であった。

10

【0010】

又、プラズマ源から種々の粒子を選別して処理チャンバーへ導いて該チャンバ内の基材を処理可能とした粒子ビーム処理装置があるが、該プラズマ源の密度を所望の圧力下で充分大きくすることができなかつたため、照射する粒子の密度を十分に大きくすることは不可能であった。さらに、該粒子を空間的に制御して基材の所望の箇所を選択して照射することも困難であった。

【0011】

他方、プラズマ生成の効率を高めるために、ガスを供給したプラズマ室にプラズマ粒子生成用の電源を接続して、ガスを大気圧でプラズマ化し、該チャンバ内の基材をプラズマ処理可能としたプラズマ処理装置がある。このような大気圧プラズマ処理装置によれば、従来の減圧プラズマ処理装置よりも高い密度のプラズマを得ることが容易であるという利点がある。

20

【0012】

しかしながら、このような大気圧プラズマ処理装置においては、圧力が高い為粒子の加減速エネルギーのダイナミックレンジが小さいという欠点があった。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、従来技術においては、高効率で且つ高密度のプラズマを生成することが可能なプラズマ源ないしプラズマ処理装置は実現されていなかった。

【0014】

本発明の目的は、上記した従来技術の欠点を解消したプラズマ源ないしプラズマ処理装置を提供することにある。

30

【0015】

本発明の他の目的は、高効率で且つ高密度のプラズマを生成することが可能なプラズマ源ないしプラズマ処理装置を提供することにある。

【0016】

本発明の更に他の目的は、高密度の粒子を照射することが可能なプラズマ源ないしプラズマ処理装置を提供することにある。

【0017】

本発明の更に他の目的は、時空間的に制御可能なプラズマ源ないしプラズマ処理装置を提供することにある。

40

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明者は鋭意研究の結果、ガス流通を可能としたホローカソード電極部材の孔内部でプラズマ放電を行うことが、上記目的の達成のために極めて効果的なことを見出した。

【0019】

本発明のプラズマ源は上記知見に基づくものであり、より詳しくは、ガスを供給すべきチャンバと；該チャンバのガス流出側に配置された、ガス通過が可能な複数の電極孔を有するホローカソード電極部材とを少なくとも含むプラズマ源であって；前記該ホローカソード電極部材の電極孔内多印で、マイクロカソードプラズマ放電を可能としたことを特徴と

50

するものである。四次元（空間＋時間）制御してプラズマを発生させる。

【0020】

本発明によれば、更に、処理チャンバと；該処理チャンバ内の所定位置に基材を配置するための基材保持手段と；前記基材にプラズマ（または荷電粒子若しくはラジカルを選択的に）照射するためのプラズマ源とを少なくとも含むプラズマ処理装置であって；前記プラズマ源が、ガスを供給すべきチャンバと；該チャンバのガス流出側に配置された、ガス通過が可能な複数の電極孔を有するホローカソード電極部材とを少なくとも含み；且つ、前記該ホローカソード電極部材の電極孔内で、マイクロカソードプラズマ放電を可能としたプラズマ源であることを特徴とするプラズマ処理装置が提供される。

【0021】

本発明の好ましい態様においては、前記した電極は、多段（２段以上）の電極エレメントを含む。

【0022】

本発明の他の好ましい態様においては、４次元（空間３次元＋時間）的に制御可能なプラズマ源ないしプラズマ処理装置が提供される。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、必要に応じて図面を参照しつつ本発明を更に具体的に説明する。以下の記載において量比を表す「部」および「％」は、特に断らない限り質量基準とする。

【0024】

（プラズマ源の一態様）

本発明のプラズマ源の一態様を、図１の模式断面図、図２の模式平面図、図３および図４の部分模式断面図を参照しつつ説明する。比較のために、図５に従来のプラズマ源（プラズマ予備室内で、ガスをプラズマ化する）の模式断面図を示す。

【0025】

図１は、本発明のプラズマ源を含んで構成されたプラズマ処理装置の一態様を示す模式断面図である。図１を参照して、この態様における本発明のプラズマ源１は、ガスを供給すべきチャンバ２と、このチャンバ２のガス流出側に配置された、ガス通過が可能な複数の電極孔３を有するホローカソード電極部材４とを含む。図２および図３を参照して、ホローカソード電極部材４は、誘電体からなる有孔スペーサ４aを介して組み合わされた有孔

導体部材４bの対からなる。

【0026】

図１に示すように、有孔導体部材４bの対の間に電圧が印加可能なように直流電源６が接続され、更に有孔導体部材４bとチャンバ２との間にも電圧が印加可能なように直流電源７が接続されている。これにより、電極孔３にガスを流しつつ、有孔導体部材４bの対の間に電圧が印加されて、直流駆動のマイクロカソード放電が開始され、図３の領域Pにプラズマが生成される。これらの対は縦方向に複数設置されており、各々の対には、外部から独立して電圧が印加される。プラズマが生成されると、電極孔３の内壁に電子が衝突して、この内壁から電子（２次電子）が γ （ガンマ）作用により放出される。本発明においては、この γ 作用により電子が放出され、この電子が次の分子に衝突して、該分子を電離させる α （アルファ）作用が生じて放電が維持される。

【0027】

あるいは、チャンバ２とは電氣的に分離された電極を設けて、その電極とチャンバ間に直流あるいは交流の電界を印加してチャンバ２内にプラズマを生成しても良い。マイクロ波を用いても良い。 γ 作用を増加させる為に、電極部の金属は、プラズマ耐性が高く、二次電子を効率的に発生させる部材を選択する又は、該電極部にカーボンナノチューブをコーティングしたものをを用いることも可能である。

【0028】

また、必要に応じて表面からの電子放出効率の高いCs、Os等仕事関数値の小さい金属材料等で表面をコーティングする；あるいは、電極金属表面に絶縁体をコーティングして

10

20

30

40

50

、見かけ上の仕事関数値を下げるなどの構造も可能である。ただしDC放電の場合にはこれらのコーティングを適宜調整し、ないしは除去することもできる。

【0029】

図4の部分模式断面図に示すように、上記したホローカソード電極部材4は、必要に応じて、有孔スペーサ4aを介して組み合わされた有孔導体部材4bの対を複数有していてもよい。このように複数の有孔導体部材4bの対を有する態様は、荷電粒子のエネルギーを制御したり、孔の途中で減少する事を防ぐ事ができる。

【0030】

又、電極穴3は、引き出し電極であり、この電極に適宜電圧を印加することによりプラズマ荷電粒子（正・負イオン）ラジカルを引き出すことができる。そこから引出されたプラズマ、荷電粒子、ラジカルが電子機材上で略均一に分布するように、複数の電極穴3を分布させる事も可能である。

【0031】

（プラズマ処理装置）

本発明のプラズマ処理装置は、処理チャンバ10と、該処理チャンバ10内の所定位置に電子デバイス用等基材12を配置するための基材保持手段11と、電子デバイス用等基材12をプラズマ（または荷電粒子若しくはラジカルを選択的に）照射するための上記した構成を有するプラズマ源とを少なくとも含む。

【0032】

図1に示すプラズマ処理装置の態様においては、電極孔3内におけるマイクロカソード放電に基づいたプラズマ生成により、本発明のプラズマ源1を装着したプラズマ処理チャンバ10内に配置された、サセプタ11上の被処理体（例えばウエハ）12のプラズマ処理が可能となる。このサセプタ11には、バイアス電源13が接続されて、該サセプタ11に所定の電圧（例えば、RF電圧）が印加可能とされている。

【0033】

又、下部チャンバ空間14とは電氣的に分離された電極で設けて、その電極とチャンバ間に直流あるいは交流の電界を印加してチャンバ14内にプラズマを生成して良い。マイクロ波を用いてもよい。このときは該チャンバ14内に生成されたプラズマ中へマイクロカソード放電によって生成したプラズマから電子、ラジカル、イオンを注入することが可能である。これらの注入した粒子を含むプラズマで基材12を処理することが可能である。

【0034】

上記した構成を有する本発明のプラズマ源は、これを駆動する際のガス圧力に比較的左右されずに良好なマイクロカソード放電に基づいたプラズマを生成させることが可能である。換言すれば、本発明のプラズマ源は、いわゆる低圧プラズマ（圧力0.133Pa～13.3Pa程度；電子、イオン、ラジカルの密度は一般的に $10^{11} \sim 10^{12} / \text{cm}^3$ 程度）と比べて桁違いに密度の高い大気圧プラズマ（圧力101.3kPa程度；電子、イオン、ラジカルの密度は一般的に $10^{15} / \text{cm}^3$ 程度）を容易に実現することができる。このような大気圧プラズマを用いた場合には、大気圧下で安定に放電させることが可能であり、電子温度がガス温度よりも高い、いわゆる非平衡プラズマを好適に実現することができる。

【0035】

これに対して、図5に示すような従来例たるプラズマ源ないしプラズマ処理装置においては、一般にコンダクタンスの低下が困難であり、プラズマ予備室の圧力を上昇させることが困難で、予備室内での圧力は低ガス圧である為、高密度のプラズマは得難く（プラズマ生成空間が大きく、装置も大型となる）、孔の途中で荷電粒子あるいはラジカルの濃度が減少する傾向があり、また粒子の加/減速エネルギーのダイナミックレンジが小さいという欠点があった。更に、粒子加/減速は電極に様に印加するため空間的な独立制御は不可能であった。

【0036】

（各部の構成）

10

20

30

40

50

以下、本発明のプラズマ源ないしプラズマ処理装置を構成する各部等について詳細に説明する。

【0037】

(チャンバ)

図1に示すガスを供給するためのチャンバ2については、該チャンバ2内にプラズマ生成のためのガスが供給可能であり、且つ、ガス流出側にプラズマ源が配置可能である限り、チャンバ2の構造、大きさ、材質等に関しては、特に制限されない。該チャンバと電氣的に絶縁された電極を設けてチャンバ2にプラズマを発生させることも可能である。

【0038】

(ホローカソード電極)

ホローカソード電極4は、複数の電極孔3を有する。電極孔3内におけるプラズマ生成が可能である限り、電極孔3の個数、サイズ、ホローカソード電極部材4の厚さ等は特に制限されない。低コンダクタンスを得る為には孔面積の総和(S)と、孔の長さ(L)がある関係を有することが好ましい。 $S \propto L$

本発明において、マイクロカソードにおいては、(金属の厚さ) > (絶縁体の厚さ)であることが好ましい。これは、電極ホローカソードの面積が大きくなる為、表面から電子が発生しやすく放電体積の増加と安定化の点で有利となるからである。

【0039】

(有孔スペーサ部材)

上記したように、ホローカソード電極4は、誘電体からなる有孔スペーサ部材を介して組み合わされた有孔導体部材の対を少なくとも1組含む。電極孔3内におけるプラズマ生成が可能である限り、有孔スペーサ部材4aの材質、サイズ、厚さ等は特に制限されない。電極間でのリークあるいは異常放電防止の点からは、下記のような構成を有することが好ましい。

有孔スペーサ部材4aの材質： SiO_2 、 Al_2O_3 、 AlN 、 BN 、 BNC 等

サイズ：誘電体の孔径 電極の孔径

厚さ：リークおよび絶縁破壊しない程度、適当な放電空間が得られる程度。

【0040】

本発明においては電極をSUSで形成し、そのSUS上にカーボンナノチューブを成長させてもよい。又、電子放出率の高いCs、Os等をコーティングしてもよい。

【0041】

(有孔導体部材)

電極孔3内におけるプラズマ生成が可能である限り、有孔導体部材4bの材質、サイズ、厚さ等は特に制限されない。

【0042】

有孔導体部材4bの材質はSi、SUS、Mo、W等であることが好ましい。またこの部材4bの厚さは、1 μm 以上であることが好ましい。

【0043】

(ガス)

本発明において使用可能なチャンバ2内に供給すべきガスは特に制限されず、プラズマ処理の目的に応じた各種ガスが使用可能である。すなわち、プラズマ処理がエッチングである場合には、エッチング用ガス、成膜である場合には、成膜用ガスを使用することができる。これらに加えて、プラズマ生成用ガスとして、各種の不活性ガス(例えば、希ガス)を使用することができる。本発明において好適に使用可能なガスを以下に例示する。

プラズマ生成用ガス： Ar 、 He 、 H_2 、 N_2 、 Xe 、 Kr 、 Ne

エッチング用ガス： CF_4 、 C_4F_8 、 C_4F_6 、 NF_3 、 H_2O 、 SF_6 、 Cl_2 、 O_2 、 Br_2 、 NH_3

成膜用ガス： SiH_4 、 CH_4 、 C_2H_2 、有機系ガス

上記ガスのうち、プラズマの安定性から放電維持電圧が下がるためプラズマ生成ガスとしてKrまたはXeを用いることが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

(プラズマ生成原理)

本発明においては、電極孔 3 内においてプラズマが生成可能である限り、該プラズマの生成原理は特に制限されない。すなわち、上記した図 1 の態様において有孔導電部材 4 b の対の間には直流 (D C) 電圧が印加されているが、これはマイクロ波や交流 (高周波 R F 、 V H F 、 U H F) であってもよい。

【 0 0 4 5 】

直流電圧を印加する態様においては、下記の条件が好適に使用可能である。

電圧 : 1 k V 以上

マイクロ波 (例えば、 2 . 4 5 G H z) を印加する態様においては、下記の条件が好適に使用可能である。 10

【 0 0 4 6 】

マイクロ波 : 0 . 5 W / c m ² 以上であることが好ましい。 (ただし電極の面積に応じて適宜調整すればよい)

(電子デバイス用等基材)

本発明のプラズマ源ないしプラズマ処理装置を用いた場合には、基材 (例えば種々の電子デバイス用等基材 ; 例えば、ウエハ) をプラズマ処理することが可能である。プラズマ荷電粒子、ラジカルを用いたエッチング、堆積、表面処理等のプロセスへ適用することが可能である。本発明において使用可能な上記の電子デバイス用等基材は特に制限されず、公知の電子デバイス用等基材の 1 種または 2 種以上の組合せから適宜選択して使用することが可能である。このような電子デバイス用等基材の例としては、例えば、半導体材料、液晶デバイス材料、有機材料等が挙げられる。半導体材料の例としては、例えば、単結晶シリコンを主成分とする材料、多結晶 S i 、 S i O ₂ 酸化物等が挙げられる。 20

【 0 0 4 7 】

(他の態様)

図 6 および図 7 の部分模式断面図に、ホローカソード電極 4 の他の態様を示す。

【 0 0 4 8 】

図 6 を参照して、このような態様においては、有孔スペーサ部材 4 a を介して組み合わされた一対の有孔導電部材 4 b からなるホローカソード電極 4 が、誘電体 2 0 を介して、接地された金属部材 2 1 に取り付けられている以外は、図 1 の態様と同様の構成である。図 6 の構成において、有孔スペーサ部材 4 a は、例えばアルミナ (A l ₂ O ₃) 、石英等の誘電体からなり、有孔導電部材 4 b は例えば S i 、 C u 、 M o 、 W 、 S U S 等の金属からなる。 30

【 0 0 4 9 】

図 7 を参照して、このような態様においては、有孔スペーサ部材 4 a を介して組み合わされた複数対の有孔導電部材 4 b からなるホローカソード電極 4 が、誘電体 2 0 を介して、接地された金属部材 2 1 に取り付けられており、更に、該ホローカソード電極 4 の下部に、引き出し電極 2 2 が配置されている以外は、図 1 の態様と同様の構成である。

【 0 0 5 0 】

この引き出し電極 2 2 は、電圧可変の電源 2 3 を介して接地されており、該引き出し電極 2 2 には、電圧 V が印加されている。この電圧 V = 0 あるいは浮遊電位の際には、引き出し電極 2 2 からラジカルまたはプラズマが引き出され、電圧 V > 0 の際には、引き出し電極 2 2 から電子または、負の電荷を持ったイオンが引き出され、電圧 V < 0 の際には、引き出し電極 2 2 から正の電荷を持ったイオンが引き出される。プラズマを引き出す際には、引き出し電極 2 2 は省略することが可能である。また正・負イオンを引き出す過程において、側壁において正負イオンを衝突させて中性化し、エネルギーを有するラジカルを引き出すようにしてもよい。 40

【 0 0 5 1 】

図 7 の態様において、引き出し電極 2 2 に最も近い有孔導電部材 4 b と、引き出し電極 2 2 との間の距離 d は、ホローカソード電極 4 および / 又は引き出し電極 2 2 の作動条件に 50

もよるが、1 ~ 10 mm 程度であることが好ましい。

【0052】

本発明においては、粒子密度を飛躍的に大きくすることが可能で放電を安定化させる。又、四次元的（時空間的）に粒子を制御して照射可能とする点からは、マイクロカソードは「多段」（好ましくは3段以上）であることが好ましい。プラズマの特性向上の点からは、3つ以上電極をつけた多段にすることが好ましい。一段のマイクロカソードの場合には、例えば、ガス供給側とプラズマ発生側で「差圧」をつけることがプロセスのダイナミクスを大きくするの点から好ましい。

【0053】

本発明のプラズマ源において、高圧側は大気圧であってもよい。プラズマ発生側は大気圧でもよく、また大気圧よりも低圧でもよい。プラズマ発生効率からは、ガス供給側およびプラズマ発生側のいずれか一方（更には両方）における圧力が高い方が好ましい。

【0054】

本発明のマイクロカソード源は、それ単独でもプラズマ源として使用可能であるが、必要に応じて、従来のプラズマ発生手段（例えば、平行平板）と組み合わせてもよい。このように従来のプラズマ発生手段と組み合わせた場合には、従来のプラズマプロセス中へ各種粒子を注入することが可能であり従来のプロセス条件下でプロセスの性能を飛躍的に向上させることが可能という利点を得ることができる。

【0055】

更に、平面的に多数のマイクロカソードを設け、それらマイクロカソードの孔を「アドレス」として、コンピュータ等によるコントロールにより、各孔の on / off、ないしはプラズマ強度および / 又はプラズマ強度の平面的な分布を調節することも可能である。

【0056】

また、上記したプラズマ強度の平面的コントロールにより、プラズマ処理すべき基板の形状に合わせた形状のプラズマを発生させることが可能である。このようなプラズマ強度の平面的コントロールにより、基板の選択的なエッチング（例えば、レジストを使用しないエッチング）も可能となる。

【0057】

更に、多段マイクロカソードの電極において、各電極に印加する電位を異ならせて、垂直方向にプラズマ強度を調節することもできる。この場合、各電極に印加する電位を異ならせさせることにより、発生したプラズマが中性粒子リッチになるようにコントロールすることも可能である。例えば縦型の多段階の電極において、上部だけにプラズマを生成させることによりプラズマの強度、発生する高精度に粒子密度を制御できる。

【0058】

本発明において、プラズマ源により発生したプラズマの強度のモニタ手段は特に制限されない。高精度の粒子密度制御の点からは、プラズマ源を設けた側と反対側の面にセンサ（例えば、発光、ラジカル、電子密度計測装置）を設け、該センサによりプラズマの強度をモニタし、各プラズマ源にフィードバックすればよい。

【0059】

本発明において、プラズマ源を構成する各電極にCNT（カーボンナノチューブ）を発生させることにより、該プラズマ源のγ電子効率をアップさせることも可能である（このようなCNT形成方法の詳細に関しては、電極材の温度を上げ熱CVD、プラズマCVD法によって形成することができる）。

【0060】

本発明のプラズマ源の他の構成の例を、図8（プラズマ源を4段構成とした例）および図9の（プラズマ源を3段構成とした例）模式断面図に示す。

【0061】

本発明の装置は、図10に示すように、2次元平面上に複数個のマルチアレイを構成し、さらに、1つのアレイの中に、縦方向に複数個の縦型電極を配列した「3次元マルチアレイプラズマ源」もしくは、「3次元マルチアレイ粒子供給装置」を構成することができる

。

【0062】

これらの3次元のマルチアレイ電極の一对毎の電極には、独立に電圧を印加することが可能である。図1に示したチャンパー中において、サセプタ上に3次元形状を有する試料12を設置する。例えば図11、12に示すように、2次元あるいは3次元形状を有する試料に対して該試料の形状（2次元のみならず、3次元的に）に合わせて、適宜FDDに電源を制御することによって、プラズマ、荷電粒子、ラジカル及びエネルギーを制御した高速ラジカル処理を行なうことが可能である。

【0063】

従来は、被処理対象の形状よりも少なくとも大きなプラズマが必要とされていたが本装置においては、被処理対象物の寸法や大きさに合せてフレキシブルにプラズマの形状を変化させることが可能である。又、通常のプラズマ処理の場合は、プラズマと被処理体との間にシーマが生じ、3次元的にはこのシーマを通して、イオンが照射されイオンのエネルギーを形状と合せて可変することは不可能であった。

10

【0064】

本発明の装置では、例えば図13に示した引き出し電極の電圧、あるいは、図14に示された1対の縦型マルチ電極のアノード、カソード電極間の電圧を制御することによって、エネルギーが制御された高速正・負イオン、高速ラジカルの照射が3次元的に可能となる。従って、所望の形状の三次元立体構造体をマスクパターン等を用いずに、直接加工あるいは堆積することが可能である。

20

【0065】

例えば1毎のプラズマ源を数 μs ec~msecオーダーで独立にオン・オフ変調することができる。さらに、これらの処理を時系列で制御することが可能であり、4次元マルチアレイ電極による4次元プラズマプロセスが可能である。

【0066】

図15~19に、本発明において使用可能なマイクロプラズマ源の構成例を示す。

【0067】

（ガスの堆積）

本発明者の実験によればKrガスあるいはXeガスを導入することでプラズマが安定する傾向がある。このような点からして、ArガスよりもHeが好ましく、HeガスよりもKr又はXeが好ましい。

30

【0068】

（電極の構造）

図20に示したように、絶縁物を0.1mmだけ導体電極よりもつるを奥へへこませた方が放電が安定する傾向がある。

【0069】

（Kr発光強度）

図21に本発明者によるKr発光強度の測定結果を示す。

【0070】

プラズマの径： ϕ 0.1mm

40

金属Cu：1mm

絶縁物 Al_2O_3 ：0.2mm

本実験条件：Krガスを上部からフローさせ、大気圧下で第一及び第二の電極対に175V、3.35mA印加したところ、図に示すようにカソード（A）及びカソード（B）にプラズマが生成され、そのときのKrの発光強度（877.7nm及び760.2nm）をフォトダイオードで観測し41nWを得た。次に、第3電極対カソード電極（C）に350V、1.45mAを印加し、フォトダイオードの出力61nWを得た。このようにして、多段電極の出力がプラズマの個数に比例して増加することを観測した。

【0071】

<実施例1>

50

本装置を用いて、M O S トランジスタ作製の為のゲート電極の加圧に応用した例を示す。

【 0 0 7 2 】

多結晶シリコン膜（膜厚 5 0 0 n m ）を下地の酸化シリコン膜（ 5 0 n m ）に対して、レジスト膜（ 1 0 0 n m ）をマスクに対してエッチングプロセスに応用した。マルチ電極は、径 1 0 0 μ m で金属電極と絶縁物との対から構成されたものを、多孔電極を 2 5 個作製してある。

【 0 0 7 3 】

上部から大気圧下で H e / C l ₂ ガス若しくは X e / C l ₂ を導入し、多孔電極を通して真空排気することにより、反応点の圧力は 1 T o r r に保持する。電極から 2 . 5 m m 下に、上記試料を設置して、エッチングを行なう。

10

【 0 0 7 4 】

マルチ電極は下部の引き出し電極に対して 5 対の電極を設置し、電圧を印加した。5 対のカソード電極近傍においてプラズマが生成される。プラズマ中のイオン種は主として H e ⁺ 又は X e ⁺、C l ⁺、C l ₂ ⁺ が存在し、下部の引き出し電極に向かって加速され、下部電極で中性化され、下部電極からは、高速の H e 又は X e、C l、C l ₂ 粒子が試料に照射される。

【 0 0 7 5 】

高速粒子の速度は電極印加の電圧や、下部電極構造によって依存するが約 5 e V から 1 5 e V で、制御可能である。

【 0 0 7 6 】

20

これらの中性ラジカルを照射してエッチングを行なったところ、約 5 0 0 n m / m i n 程度のエッチング速度で、S i O ₂ レジストとのエッチング選択比 1 0 0 以上が得られ、荷電粒子によるチャージアップのないダメージのない、加工が実施できる。実験条件を適宜最適化することにより、多結晶シリコンの縦幅 1 0 n m 程度の微細加工が実施できる。

【 0 0 7 7 】

プラズマ生成と下部電極との距離を長くする、あるいは圧力を上昇させる、もしくは、プラズマをパルス変向させることによって C l ⁻ イオンを多量に生成させ、引き出し電極より C l ⁻ を試料に照射することも可能である。または C l ⁻ を引き出し電極に照射し、C l 中性ラジカルを生成させることも可能である。

【 0 0 7 8 】

30

< 実施例 2 >

本装置の構成は実施例 1 と基本的に同じであるがガス（ A ）としてマルチ電極の上部から H ₂ / X e ガスを大気圧から導入する。

【 0 0 7 9 】

マルチ電極を通じて、真空排気し、下部反応容器の圧力は 1 0 T o r r 程度に保つ。下部電極から S i H ₄ / H ₂、または、S i H ₄ / X e ガスを導入し、ガラス基板上に微結晶シリコン薄膜を堆積させる。基板温度を 3 0 0 とする。試料としてガラス基板を用いたマルチ電極と試料との距離は約 1 0 m m である。

【 0 0 8 0 】

マルチ電極内で H ₂ + e → H + H X e + e → X e ⁺ + e + e の反応により多量の H ラジカルを生成して、反応容器に導入する。実施例 1 と同様、高速の H ラジカル、エネルギー 5 e V 以下程度が基板へ照射される。

40

【 0 0 8 1 】

又、H + S i H ₄ → S i H ₃ + H ₂ の反応により多量の S i H ₃ ラジカルが生成され、S i H ₃ ラジカルが薄膜の前駆体となる。

【 0 0 8 2 】

高速 H ラジカルと S i H ₃ ラジカルとの相互作用によって、ガラス基板上に高品質微結晶シリコン薄膜を形成する。この方法により、H ラジカル密度と S i H ₃ 密度が高密度となり、しかも両ラジカルを独立的に制御できる為、欠陥のない微結晶シリコンあるいは非晶質シリコン膜を形成させることが可能である。

50

【0083】

さらに例えば図22に示すようにマルチ電極の最下部の電極と、基板電極2の間に100MHzの高周波電力を印加することにより、平行平板型の100MHz励起の SiH_4/H_2 プラズマを印加させ、該プラズマへ高密度のHラジカルを挿入することも可能である。このときの高周波電力は400～500MHzのUHF帯を用いても同様の結果が得られる。又、最下部の電極と基板電極の距離は動作圧力に合わせて可変することが必要である。10Torr程度の圧力(1Torr-20Torr程度)が望ましいが、1Torr-300Torrでもよい。

【0084】

<実施例3>

本装置の構成は実施例2と基本的に同じであるが、基板電極2に400MHzと450KHzの高周波電力を印加する(図23)。ガス(A)としてマルチ電極の上部からAr、 O_2 、 N_2 等のガスを大気圧から導入する。さらに下部電極から C_4F_6 、 C_4F_8 等を導入し、Si基板上に形成された SiO_2 、 SiOCH 、有機膜SiC、SiCN等をパターンニングされたレジスト等マスクにして加工する。

10

【0085】

マルチ電極内で電子 Ar^+ 、 O^+ 、 N^+ あるいはO、Nラジカルを発生させ、反応容器中にエネルギーを制御した各種粒子を注入する。

【0086】

反応容器中には400MHzの高周波とガス C_4F_8 、 C_4F_6 等において、プラズマが生成されている。又450KHzの高周波によってプラズマ中のイオンを基板へ導入する。この450KHzの高周波の印加の有無はプロセスに応じて適宜行なえばよい。

20

【0087】

C_4F_8 、 C_4F_6 等のガスのプラズマからは主として CF_2 ラジカルが発生する。

【0088】

これらのプラズマ中に、マルチ電極を通じて高速(高エネルギー)の電子を注入した場合、プラズマ中の電子の分布は低いエネルギーと高エネルギーから成るダブル分布を有することになる。

【0089】

注入された高速の電子からイオン化が促進され、プラズマ中の CF_3^+ の密度を飛躍的に高めることが可能である。このとき CF_2 ラジカルは主として低エネルギーの電子によって C_4F_8 、 C_4F_6 から生成されている。

30

【0090】

従って、 CF_2 ラジカルと CF_3^+ イオンを主要な活性種として SiO_2 、 SiOCH 等の膜を高精度に加工することが可能である。又、 O_2 、 N_2 を導入することにより、 O^+ 、 N^+ 、 O^- 、高速O、Nラジカルを C_4F_8 、 C_4F_6 プラズマ中へ注入し、 SiO_2 、 SiOCH 有機膜を加工してもよく、材料プロセスと合わせて適宜条件を選択することにより垂直形状で高速のエッチングを実現することができる。本研究では400MHzを用いたが60-500MHz程度で適宜選択することができる。

【0091】

40

【発明の効果】

上述したように本発明によれば、高効率で且つ高密度のプラズマを生成することが可能なプラズマ源ないしプラズマ処理装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラズマ源ないしプラズマ処理装置の一例を示す模式断面図である。

【図2】本発明のプラズマ源を構成するホローカソード電極部材の一例を示す模式平面図である。

【図3】本発明のプラズマ源を構成するホローカソード電極部材の層構成の一例を示す模式断面図である。

【図4】本発明のプラズマ源を構成するホローカソード電極部材の層構成の他の例を示す

50

部分模式断面図である。

【図 5】従来のプラズマ源の一例を示す模式的な垂直断面図である。

【図 6】ホローカソード電極の他の態様を示す部分模式断面図である。

【図 7】ホローカソード電極の他の態様を示す部分模式断面図である。

【図 8】本発明のプラズマ源の他の構成の例（プラズマ源を 4 段構成とした例）を示す模式断面図である。

【図 9】本発明のプラズマ源の他の構成の例（プラズマ源を 3 段構成とした例）を示す模式断面図である。

【図 10】本発明のプラズマ源の実際的な構成の一例を示す模式断面図（a）、および模式平面図（b）である。

10

【図 11】本発明のプラズマ源の実際的な構成の一例を示す模式斜視図である。

【図 12】本発明のプラズマ源の実際的な構成の一例を示す模式平面図（装置の上方から見た図）である。

【図 13】本発明における、高速中性ラジカルの生成の一例を示す概念図（模式断面図）である。

【図 14】本発明における、高速中性ラジカルの生成の一例を示す概念図（模式断面図）である。

【図 15】本発明のプラズマ源の実際的な構成の他の例を示す模式断面図である。

【図 16】本発明のプラズマ源の実際的な構成の他の例を示す模式断面図である。

【図 17】本発明のプラズマ源の実際的な構成の他の例を示す模式断面図である。

20

【図 18】本発明のプラズマ源の実際的な構成の他の例を示す模式断面図である。

【図 19】本発明のプラズマ源の実際的な構成の他の例を示す模式断面図である。

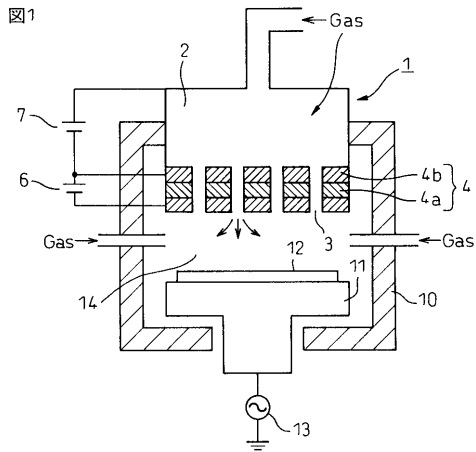
【図 20】本発明のプラズマ源において好適に使用可能な電極構成の一例を示す模式断面図である。

【図 21】縦型電極対の個数と、Kr 発光強度との関係の一例を示すグラフである。

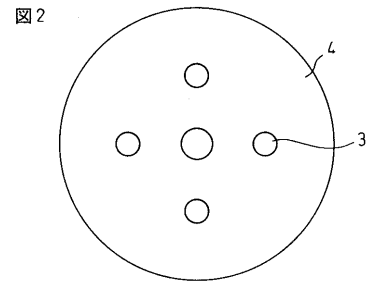
【図 22】本発明のプラズマ源と、平行平板型プラズマ電極との組合せの一例を示す模式断面図である。

【図 23】実施例で用いたプラズマ処理装置を示す模式断面図である。

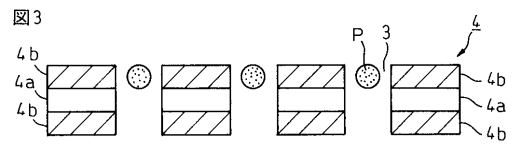
【図 1】



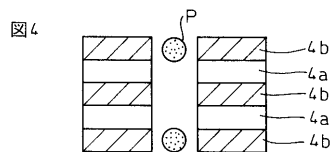
【図 2】



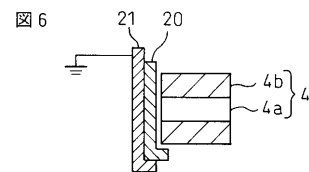
【図 3】



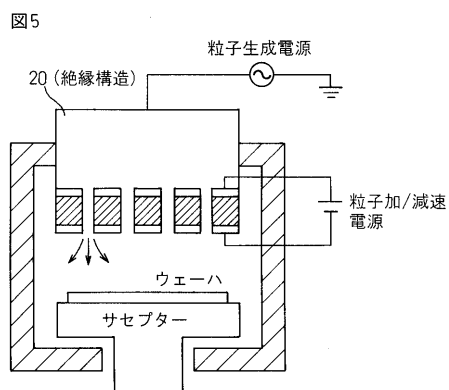
【図 4】



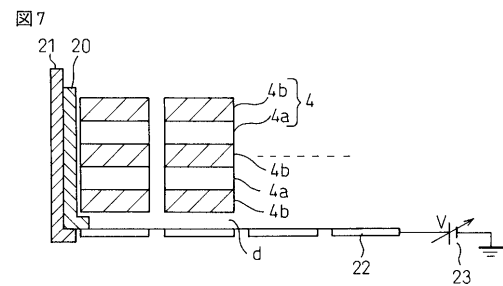
【図 6】



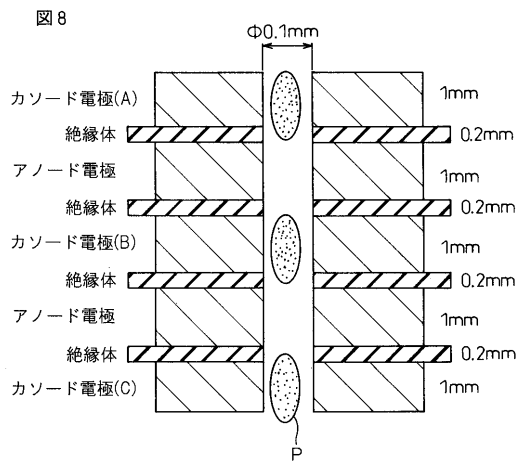
【図 5】



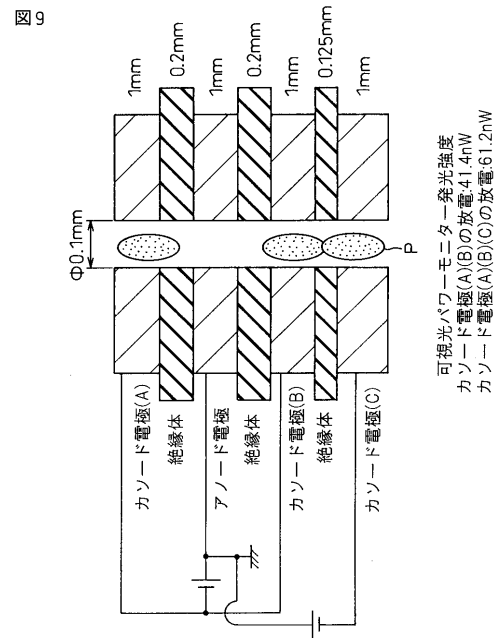
【図 7】



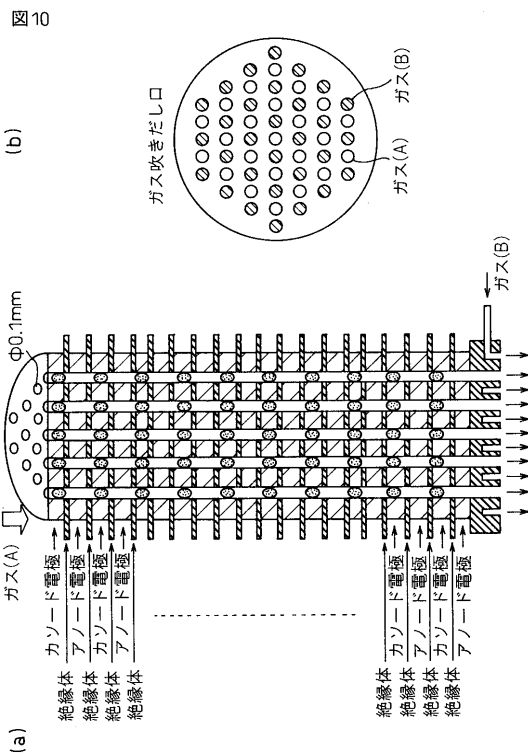
【 図 8 】



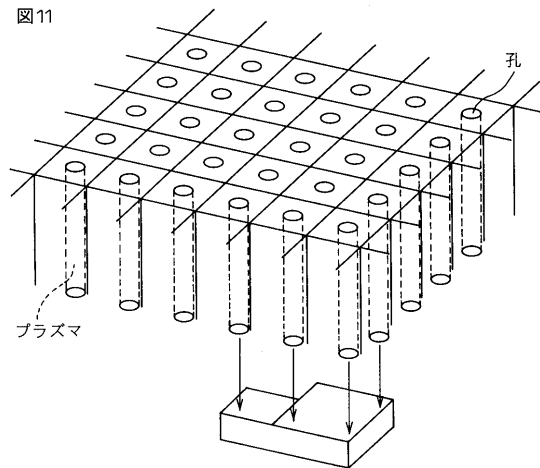
【 図 9 】



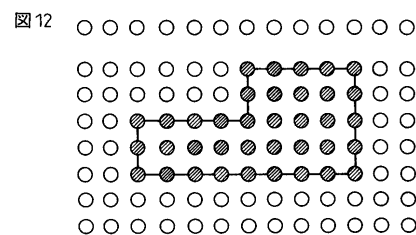
【 図 10 】



【 図 11 】

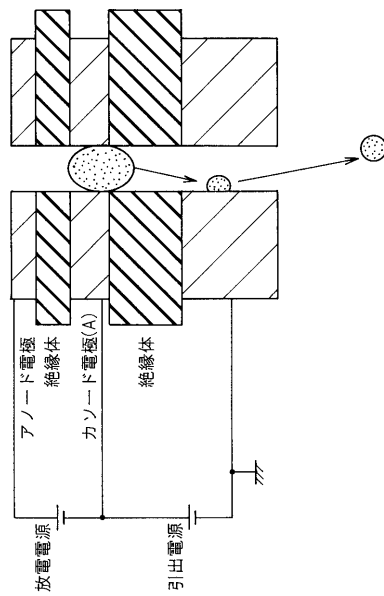


【 図 12 】



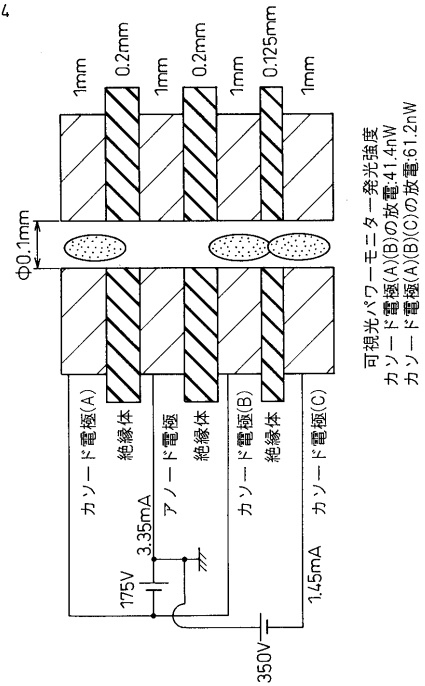
【 図 1 3 】

图 13



【 図 1 4 】

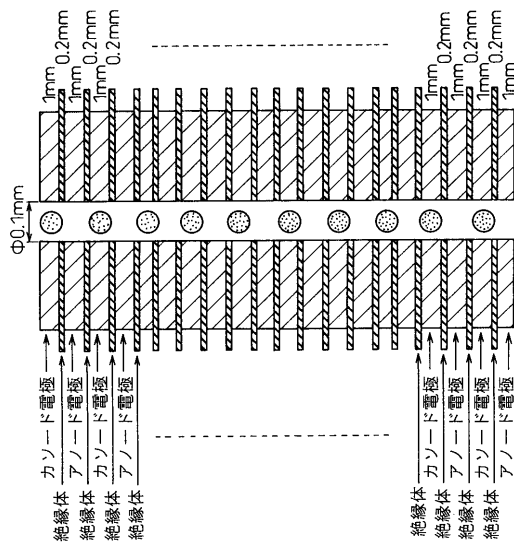
图 14



可視光パワーモニター一発光強度
カソード電極(A)(B)の放電:4.14nW
カソード電極(A)(B)(C)の放電:61.2nW

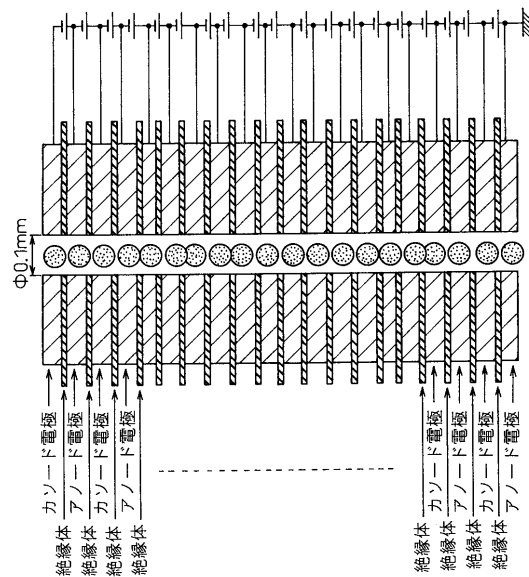
【 図 1 5 】

図 15



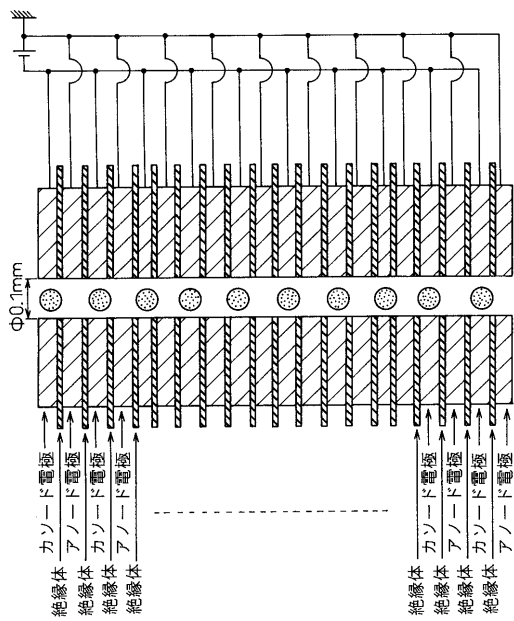
【 図 1 6 】

图 16



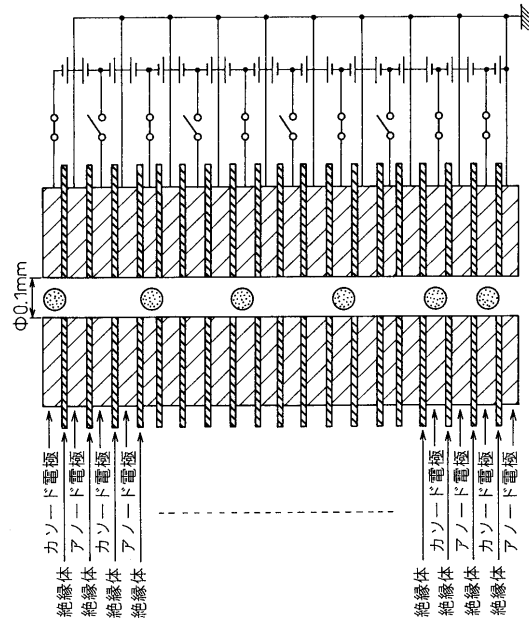
【図 17】

図17



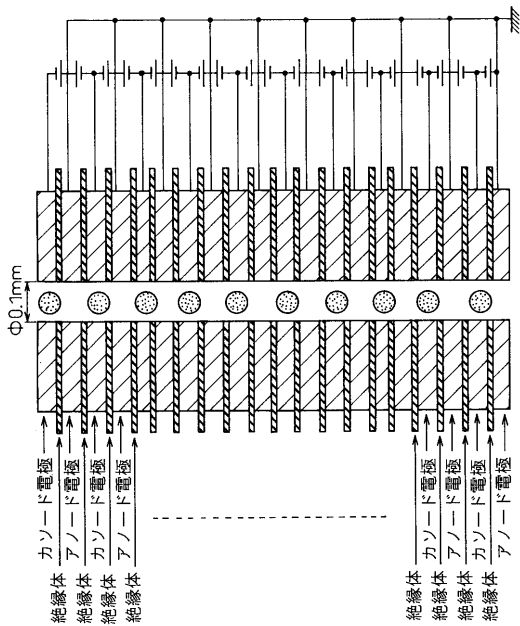
【図 18】

図18



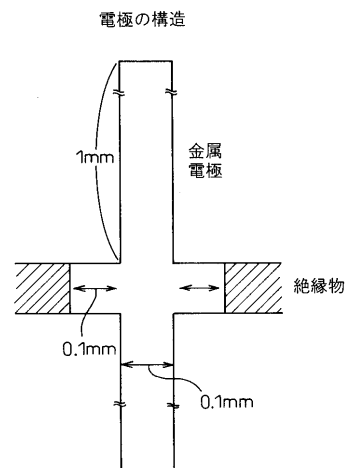
【図 19】

図19

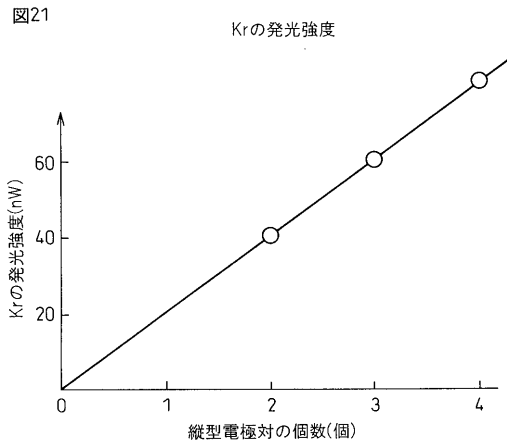


【図 20】

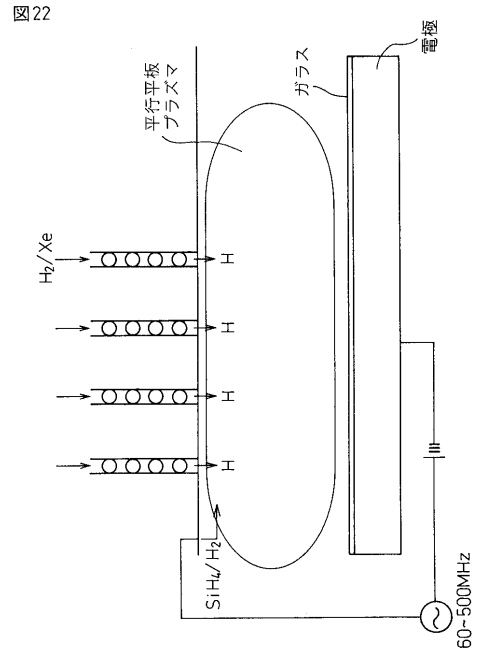
図20



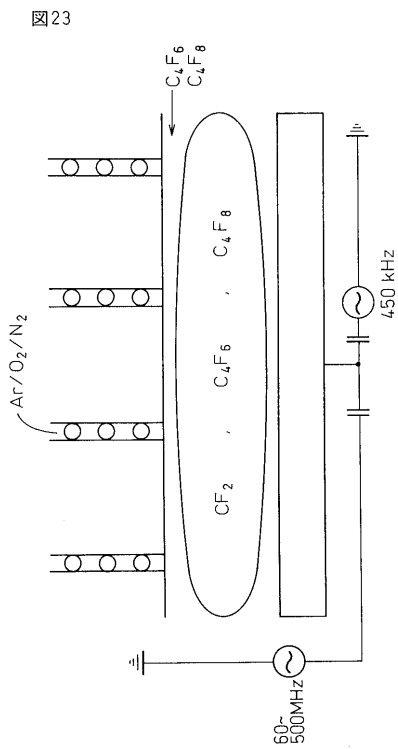
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード(参考)
H 0 5 H 1/24	H 0 5 H 1/24	
	H 0 1 L 21/302 1 0 1 B	

(74)代理人 100077517

弁理士 石田 敬

(74)代理人 100087413

弁理士 古賀 哲次

(74)代理人 100089901

弁理士 吉井 一男

(74)代理人 100082898

弁理士 西山 雅也

(72)発明者 後藤 俊夫

愛知県日進市五色園 3 - 2 1 1 0

(72)発明者 堀 勝

愛知県日進市折戸町藤塚 1 0 5 - 3 3

(72)発明者 石井 信雄

東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 東京エレクトロン株式会社内

(72)発明者 田 昭治

神奈川県川崎市幸区南加瀬五丁目 3 7 番 1 2 号 株式会社片桐エンジニアリング内

F ターム(参考) 4G075 AA24 AA30 BA01 BC04 BC06 CA47 DA02 EC21 FA01 FC11
FC15

4K030 EA05 FA01 JA09 KA17 LA11 LA18

4K057 DA11 DA13 DB02 DB06 DD01 DE08 DE11 DE20 DM10 DN01

5F004 AA02 BA06 BA09 BB13 BB18 DA00 DA04 DA22 DA23 DB00

DB03

5F045 AA08 AB03 AB04 AC01 AC14 AE23 BB09 BB12 DA67 DP03

EF05 EH04 EH14