

(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2009-155689

(P2009-155689A)

(43) 公開日 平成21年7月16日(2009.7.16)

(51) Int.Cl.			F I		テーマコード (参考)
C23C	16/46	(2006.01)	C23C	16/46	4K030
H05H	1/24	(2006.01)	H05H	1/24	5F045
H01L	21/205	(2006.01)	H01L	21/205	
C23C	16/27	(2006.01)	C23C	16/27	
C23C	16/458	(2006.01)	C23C	16/458	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2007-335048 (P2007-335048)
(22) 出願日 平成19年12月26日 (2007.12.26)

(71) 出願人 397070439
財団法人高知県産業振興センター
高知県高知市布師田3992-2
(71) 出願人 000001443
カシオ計算機株式会社
東京都渋谷区本町1丁目6番2号
(74) 代理人 100095407
弁理士 木村 満
(72) 発明者 西村 一仁
高知県高知市布師田3992番地2 財団
法人 高知県産業振興センター内
(72) 発明者 笹岡 秀紀
高知県高知市布師田3992番地2 財団
法人 高知県産業振興センター内

最終頁に続く

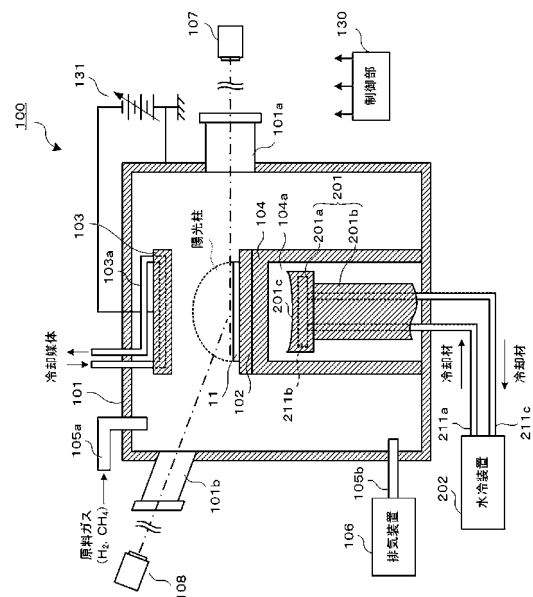
(54) 【発明の名称】 成膜装置及び成膜方法

(57) 【要約】

【課題】 面内の良好な電気的特性を備える膜を形成することが可能な成膜装置及び成膜方法を提供する。

【解決手段】 成膜装置100は基板11が載置される陽極102と、陽極102との間でプラズマを発生させる陰極103と、ステージ104と、ステージ104内に設置された冷却部201と、を備える。冷却部201の冷却ヘッド部201aのステージ104と対向する面に、凹部201cが形成されることにより、冷却ヘッド部201aの周縁部のみがステージ104に当接する。これにより基板11は周辺領域から冷却され、基板の中心領域から周辺領域へと熱流を生じさせることができ、基板11内に温度勾配を生じさせることができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

処理対象体が載置される第 1 の電極と、
前記第 1 の電極に対向し、前記第 1 の電極との間でプラズマを発生させる第 2 の電極と

、
前記処理対象体を冷却する冷却部と、

を備え、

前記処理対象体と前記冷却部との間において、前記処理対象体の中央部と冷却部との間の熱抵抗と比較して、前記中央部の周辺である周辺部と前記冷却部との間の熱抵抗が小さい、

ことを特徴とする成膜装置。

【請求項 2】

前記第 1 の電極は、前記処理対象体と接触する面において窪みを有し、

前記処理対象体と前記第 1 の電極との単位面積あたりの接触面積は、前記窪みに応じて、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位よりも、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位の方が大きい、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の成膜装置。

【請求項 3】

前記第 1 の電極は、前記処理対象体と接触する面において、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位に窪みを有し、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位に窪みを有していないことを特徴とする請求項 1 に記載の成膜装置。

【請求項 4】

前記第 1 の電極を載置する載置台を備えることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の成膜装置。

【請求項 5】

前記載置台は、前記第 1 の電極と接触する面において窪みを有し、

前記載置台と前記第 1 の電極との単位面積あたりの接触面積は、前記窪みに応じて、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位よりも、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位の方が大きい、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の成膜装置。

【請求項 6】

前記載置台は、前記第 1 の電極と接触する面において、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位に窪みを有し、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位に窪みを有していないことを特徴とする請求項 4 に記載の成膜装置。

【請求項 7】

前記第 1 の電極は、前記載置台と接触する面において窪みを有し、

前記載置台と前記第 1 の電極との単位面積あたりの接触面積は、前記窪みに応じて、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位よりも、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位の方が大きい、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の成膜装置。

【請求項 8】

前記第 1 の電極は、前記載置台と接触する面において、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位に窪みを有し、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位に窪みを有していないことを特徴とする請求項 4 に記載の成膜装置。

【請求項 9】

処理対象体が載置される第 1 の電極と、

前記第 1 の電極に対向し、前記第 1 の電極との間でプラズマを発生させる第 2 の電極と

、
前記処理対象体から熱を奪い、前記処理対象体の中心領域から周辺領域へと熱流を生じさせる冷却部と、

10

20

30

40

50

を備え、

前記冷却部は、前記処理対象体との間に介在する部材と接触する面を有しており、且つ、前記処理対象体の中央部に対応する前記部材との単位面積あたりの接触面積よりも前記中央部の周辺となる周辺部に対応する前記部材との単位面積あたりの接触面積が大きいことを特徴とする成膜装置。

【請求項 10】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第 1 の電極或いは前記第 1 電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部は、前記第 1 の電極或いは前記載置台と対向する面が凹状に形成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の成膜装置。

10

【請求項 11】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第 1 の電極或いは前記第 1 電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部は、前記第 1 の電極或いは前記載置台と対向する面に、複数の窪み部が形成されており、

前記窪み部は前記冷却ヘッド部の周辺領域と比較し、中心領域に多く形成され、

該周辺領域において、前記冷却ヘッド部が前記第 1 の電極或いは前記載置台に接触する接触面積は、該中心領域において、前記冷却ヘッド部が前記第 1 の電極或いは前記載置台に接触する接触面積より大きいことを特徴とする請求項 9 に記載の成膜装置。

20

【請求項 12】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第 1 の電極或いは前記第 1 電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部は、前記第 1 の電極或いは前記載置台に対向する面において、中心領域が周辺領域と比較してより荒らされており、

該周辺領域において、前記冷却ヘッド部が前記第 1 の電極或いは前記載置台に接触する接触面積は、該中心領域において、前記冷却ヘッド部が前記第 1 の電極或いは前記載置台に接触する接触面積より大きいことを特徴とする請求項 9 に記載の成膜装置。

【請求項 13】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第 1 の電極或いは前記第 1 電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部における、前記第 1 の電極或いは前記載置台に対向する面は、中心領域が第 1 の材料から形成され、周辺領域が第 2 の材料から形成され、

前記第 2 の材料の熱伝導度は、前記第 1 の材料の熱伝導度より高いことを特徴とする請求項 9 に記載の成膜装置。

30

【請求項 14】

前記冷却部には冷却媒体が通過する管路が形成されていることを特徴とする請求項 9 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の成膜装置。

【請求項 15】

第 1 の電極上に処理対象体を載置し、前記処理対象体と前記処理対象体を冷却する冷却部との間において、前記処理対象体の中央部と冷却部間の熱抵抗よりも前記中央部の周辺となる周辺部から冷却部間の熱抵抗が小さい状態で、第 1 の電極と第 2 の電極との間でプラズマを発生して前記処理対象体の表面に成膜することを特徴とする成膜方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、成膜装置及び成膜方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、プラズマ CVD (Chemical Vapor Deposition) 法を用いたダイヤモンド成膜が行われている。このようなダイヤモンド成膜では、水素、メタンの混合ガスを原料ガスと

50

して用い、マイクロメートルオーダーの結晶サイズのダイヤモンド多結晶膜（以下、MD膜）が成膜されている。

【0003】

近年、水素及びメタンの混合ガスを用いたダイヤモンド成膜で、メタンの比を5%以上とすることで結晶子サイズが急激に減少する傾向を利用し、ナノメートルオーダーの結晶サイズのダイヤモンド膜（以下、ND膜）が形成されている。このようなナノメートルオーダーの結晶サイズのND膜は、MD膜に比べて滑らかであり、光学的な応用が期待されている。

【0004】

また、半導体製造におけるプラズマCVD装置では、成膜の均一性を向上させるため、例えば特許文献1に開示されているように電極形状を変化させることによってプラズマの活性種密度分布やガス、電子温度を制御することが行われている。

【特許文献1】特開2007-53359号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、プラズマCVD成膜において、成膜の均一性のため電極を複雑な形状とすると、電界強度の大きくなる電極近傍で電界集中が生じやすくなり、成膜に必要な安定なグロー放電を乱す、コロナ放電やアーク放電が発生しやすくなるという問題がある。

【0006】

ところで、本願の発明者たちはグラフェンシート構造の集合体の上にナノダイヤモンド膜を成膜することで、優れた電子放出特性をもつ素子材料として開発を進めている。

【0007】

このようなND膜を成膜する際に、成膜装置内の雰囲気メタンの比を増大させると、陽光柱（活性種が多く含まれる領域であり、通常、基板は陽光柱に曝す形で載置される）を収縮させる傾向をもつ。このため、同じ電力の成膜であっても局所的な成膜速度は上がるが、成膜の均一性が阻害される傾向にある。

【0008】

MD膜を成膜する際、MD成長の直接的な材料として知られている CH_3 ラジカルは、プラズマ中での寿命が比較的に長いのでプラズマ中で拡散することができ、他の活性種の濃度分布、他の活性種の電子温度分布、及び他の活性種のガス温度分布に比べて均一に分布することが知られている。

【0009】

しかし、ND膜の成長の材料ラジカルとなるといわれている化学ポテンシャルの高い活性種（ C 、 C_2 、 CH 、 C_xH_y ）は電子温度、ガス温度の低い領域では急激にその密度が減少する。これにより、MD膜と比較してND膜ではプラズマの広がりに対して、電子放出特性が一樣であるような均一に成膜できる領域が狭くなる傾向はこのためであると考えられる。

【0010】

また、ND膜を利用した電子放出素子では、成膜表面の電気的特性が、成膜過程における基板温度、活性種密度の変化に対して非常にセンシティブであるため、上述のような活性種密度分布の変化を受けやすい。このためND電子放出素子の成膜においては、印加電界に対して均一に電子放出する成膜エリアが電極の表面に対して小さく、面内の均一性に乏しくなり、基板上に成膜された全体から電子放出する電子放出膜を得ることが難しいという問題があった。

【0011】

本発明は上述した実情に鑑みてなされたものであり、面内の電気的特性が良好な均一性を備える膜を形成することが可能な成膜装置及び成膜方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するため、本発明の第１の観点に係る成膜装置は、
処理対象体が載置される第１の電極と、
前記第１の電極に対向し、前記第１の電極との間でプラズマを発生させる第２の電極と

、
前記処理対象体を冷却する冷却部と、
を備え、

前記処理対象体と前記冷却部との間において、前記処理対象体の中央部と冷却部との間の熱抵抗と比較して、前記中央部の周辺である周辺部と前記冷却部との間の熱抵抗が小さい、

ことを特徴とする。

10

【００１３】

前記第１の電極は、前記処理対象体と接触する面において窪みを有し、

前記処理対象体と前記第１の電極との単位面積あたりの接触面積は、前記窪みに応じて、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位よりも、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位の方が大きくてもよい。

【００１４】

前記第１の電極は、前記処理対象体と接触する面において、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位に窪みを有し、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位に窪みを有していなくてもよい。

【００１５】

20

前記第１の電極を載置する載置台を備えてもよい。

【００１６】

前記載置台は、前記第１の電極と接触する面において窪みを有し、

前記載置台と前記第１の電極との単位面積あたりの接触面積は、前記窪みに応じて、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位よりも、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位の方が大きくてもよい。

【００１７】

前記載置台は、前記第１の電極と接触する面において、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位に窪みを有し、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位に窪みを有していなくてもよい。

30

【００１８】

前記第１の電極は、前記載置台と接触する面において窪みを有し、

前記載置台と前記第１の電極との単位面積あたりの接触面積は、前記窪みに応じて、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位よりも、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位の方が大きくてもよい。

【００１９】

前記第１の電極は、前記載置台と接触する面において、前記処理対象体の前記中央部に対応する部位に窪みを有し、前記処理対象体の前記周辺部に対応する部位に窪みを有していなくてもよい。

【００２０】

40

上記目的を達成するため、本発明の第２の観点に係る成膜装置は、

処理対象体が載置される第１の電極と、

前記第１の電極に対向し、前記第１の電極との間でプラズマを発生させる第２の電極と

、
前記処理対象体から熱を奪い、前記処理対象体の中心領域から周辺領域へと熱流を生じさせる冷却部と、

を備え、

前記冷却部は、前記処理対象体との間に介在する部材と接触する面を有しており、且つ、前記処理対象体の中央部に対応する前記部材との単位面積あたりの接触面積よりも前記中央部の周辺となる周辺部に対応する前記部材との単位面積あたりの接触面積が大きいこ

50

とを特徴とする。

【0021】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第1の電極或いは前記第1電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部は、前記第1の電極或いは前記載置台と対向する面が凹状に形成されていてもよい。

【0022】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第1の電極或いは前記第1電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部は、前記第1の電極或いは前記載置台と対向する面に、複数の窪み部が形成されており、

前記窪み部は前記冷却ヘッド部の周辺領域と比較し、中心領域に多く形成され、

該周辺領域において、前記冷却ヘッド部が前記第1の電極或いは前記載置台に接触する接触面積は、該中心領域において、前記冷却ヘッド部が前記第1の電極或いは前記載置台に接触する接触面積より大きくてもよい。

【0023】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第1の電極或いは前記第1電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部は、前記第1の電極或いは前記載置台に対向する面において、中心領域が周辺領域と比較してより荒らされており、

該周辺領域において、前記冷却ヘッド部が前記第1の電極或いは前記載置台に接触する接触面積は、該中心領域において、前記冷却ヘッド部が前記第1の電極或いは前記載置台に接触する接触面積より大きくてもよい。

【0024】

前記冷却部は、冷却ヘッド部を備え、

前記部材は、前記第1の電極或いは前記第1電極を載置する載置台であり、

前記冷却ヘッド部における、前記第1の電極或いは前記載置台に対向する面は、中心領域が第1の材料から形成され、周辺領域が第2の材料から形成され、

前記第2の材料の熱伝導度は、前記第1の材料の熱伝導度より高くてもよい。

【0025】

前記冷却部には冷却媒体が通過する管路が形成されていてもよい。

【0026】

上記目的を達成するため、本発明の第3の観点に係る成膜方法は、

第1の電極上に処理対象体を載置し、前記処理対象体と前記処理対象体を冷却する冷却部との間において、前記処理対象体の中央部と冷却部間の熱抵抗よりも前記中央部の周辺となる周辺部から冷却部間の熱抵抗が小さい状態で、第1の電極と第2の電極との間でプラズマを発生して前記処理対象体の表面に成膜することを特徴とする。

【発明の効果】

【0027】

冷却部によって基板内に成膜に適した温度勾配を設けることによって、基板面内で良好かつ均一な電気的特性を備える膜を形成することが可能な成膜装置及び成膜方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

本発明の実施形態に係る成膜装置及び成膜方法について図面を用いて説明する。

【0029】

本発明の実施形態に係る成膜装置100の構成例を図1～図3に示す。

成膜装置100は、図1に示すように、チャンバ101と、陽極102と、陰極103と、ステージ104と、排気装置106と、分光輝度計107と、分光輝度計108と、制御部130と、電源131と、冷却部201と、冷却装置202とを備える。

10

20

30

40

50

【0030】

また、本発明の実施形態に係る成膜装置100では、詳細に後述するように図4に模式的に示す電界放出型電極の電子放出膜を成膜する。電界放出型電極10は、図4に示すように基板11と電子放出膜13とを備える。電子放出膜13は、カーボンナノウォール(CNW)31と、ナノダイヤモンド(ND)膜32、針状炭素棒33とを備える。カーボンナノウォール31はグラフェンシートが多数集合したものである。また、ナノダイヤモンド膜32は、CNW31上に連続して堆積された、結晶の径がナノメートルサイズオーダーの複数の微結晶ダイヤモンドを含む。針状炭素棒33は、グラファイトからなり、一部はカーボンナノウォール31から成長し、形状は針状である。

【0031】

チャンバ101は、基板11を外気から遮断する。チャンバ101内には、鋼からなるステージ(載置台)104が配置されており、ステージ104の上部に平面形状が円形の陽極102が設置されている。また、チャンバ101には窓101aと窓101bとが設けられており、これらの窓を介してチャンバ101内の観察が可能である。窓101a, 101bには、耐熱性ガラスがはめ込まれており、チャンバ101内の気密性が保たれている。この窓101aの外には、分光輝度計107が設置されている。また、窓101bの外には分光輝度計108が配置されており、窓101bを介して基板11のからのスペクトルを測定し、基板温度、放射率を解析、評価する。更に、ガス供給用の管路105aを介して CH_4 、 H_2 等の原料ガスがチャンバ101内に導入され、排気用の管路105bを介して排気装置106によってチャンバ101からガスが排出され、チャンバ101内の気圧が調節されている。各管路105a, 105bは、チャンバ101に設けられた孔を通過している。その孔と管路105a, 105bの外周との間は、シール材でシールされ、チャンバ101の内の気密性が確保されている。

【0032】

制御部130は、分光輝度計108と可変電源131に、信号線(図示せず)で接続されている。制御部130は、起動されると、分光輝度計108の測定したスペクトルから基板11の温度を算出し、基板11の温度が予定の値になるように、陽極102と陰極103との間の電圧又は電流値を調整する。また、このように、制御部130は、陽極102と陰極103との間の電圧及び/又は電流値を制御することによって基板11の表面温度を制御する。

【0033】

陽極102は、ステージ104上に設置される。また、陽極102上に基板11が設置される。陽極102は、熱伝導性が高く融点が高い金属から形成され、例えばモリブデン(熱伝導率 $138\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 、融点 2620°C)等の金属から形成される。炭素系材料を成膜する成膜装置内において、モリブデンは、鉄族元素などのように表面に無定形炭素の堆積が発生しにくい高融点金属であるため、冷却部と他の部材との接触面積を成膜過程で変化させることがなく材料として適している。

【0034】

陰極103は、陽極102と対向するように設置される。陰極103には管路103aが形成されており、この管路103aを水、塩化カルシウム等の冷却液を流して、陰極にスパーク放電の発生点となる堆積物を堆積しない温度(500°C 以下)まで陰極103を冷却する。また、陽極102と陰極103との間に電圧が印加されると、図1に点線で示すように陽極102上に原料ガスの活性種(ラジカル)を含む陽光柱が生じる。

【0035】

ステージ104は、チャンバ101内に設置され、陽極102が上面に設置される。また、ステージ104には閉塞された空間104aが設けられており、空間104a内には冷却部201が設けられている。冷却部201は、冷却ヘッド部201aと管状部201bとを備え、図示しない移動機構により上下に移動可能な構造である。この冷却部201が、ステージ104の下面に近接或いは当接することによって、ステージ104を冷却し、更に陽極102、基板11を冷却する。なお、図示の都合上、図1ではステージ104

の上面は平坦となっているが、より正確にはチャンバ１０１内外の温度差による熱応力と、ステージ１０４を介したチャンバ１０１内の圧力とステージ１０４内の空間１０４ａの圧力との差のために、ステージ１０４の上面は陽極１０２側にせり出した形状になる場合があり、これにともないステージ１０４の下面も陽極１０２側にせり出す形状になる場合もある。

【００３６】

冷却部２０１は、図示するようにステージ１０４の空間１０４ａ内に設けられており、ステージ１０４、陽極１０２を介して基板１１を冷却する。冷却部２０１は冷却ヘッド部２０１ａと管状部２０１ｂとを備え、冷却ヘッド部２０１ａのステージ１０４と対向する面に凹部２０１ｃが形成される。冷却部２０１の凹部２０１ｃは、陽極１０２の形状に合
10
わせて、内周縁及び外周円が同心円となるように形成される。冷却部２０１は、銅等の熱伝導率の高い金属で形成される。冷却部２０１は、図示しない移動機構によって上下に移動可能であり、ステージ１０４に当接する又は近接することによって、ステージ１０４を冷却する。これにより、当接されたステージ１０４がその上部に位置する陽極１０２を冷却して、更に陽極１０２が基板１１の熱を奪う。成膜装置１００におけるプラズマＣＶＤで発生する、ＮＤ膜の形成に寄与する活性種の密度は、陽光柱の中心領域に高く、周辺領域で低い。陽光柱の中心領域が、基板１１の中心（重心）に位置するように基板１１を配置させる。このとき、冷却部２０１の中心が基板の中心（重心）と同軸となるように、冷却部２０１を配置する。また、成膜装置１００では、陽光柱が基板１１の中心領域のみならず角部１１ａを覆うようにして成膜するよう設定されている。基板１１の中心から最も
20
遠い領域である角部１１ａは、基板１１の中心に比べてＮＤ膜の形成に寄与する活性種の密度が低く、基板１１の中心と同じ温度では、膜質を均一にできない。しかし、冷却部２０１を設置して、ＮＤ膜の形成に寄与する活性種の密度が低い領域をＮＤ膜の形成に寄与する活性種の密度が高い領域の膜質に合わせるように、陽極１０２上に載置された基板１１の周辺領域から、より熱が逃げやすい構造を設けることにより、基板１１におけるＮＤ膜の形成に寄与する活性種の密度が高い領域と低い領域とで温度勾配を生じさせる。このように基板の中心領域の温度を上げ、周辺領域の温度を下げることにより、基板上の活性種密度勾配にあわせて基板温度に勾配をもたせることで、基板の面内で均一な膜質に成膜をすることが可能となる。

【００３７】

なお、陽極１０２あるいはステージ１０４裏面が熱応力等によって徐々に変形すると接触面が安定しないおそれがある。このため、図９に示すように、冷却部２０１の冷却ヘッド部２０１ａの上に耐熱性と柔軟性を兼ね備えるグラファイトシート等のリング２０５を配置することで、そのような変形による接触面積、すなわち熱伝導の変化を緩和させることができ、好ましい。なお、リング２０５の厚さは数mmが好ましい。
30

【００３８】

また、冷却部２０１の構成は、基板を周辺領域から冷却させることが可能であれば上述したものに限られない。例えば図１０に示すように凹部の径２０１ｃを小さくし、冷却ヘッド部２０１ａの周縁部だけでなく周辺領域もステージ１０４に当接させることも可能である。また、例えば図１１に示すように、冷却ヘッド部２０１ａの凹部は断面が方形、平面形状が円形に形成されていても良い。さらに、図１０及び図１１に示すような凹部を複数形成し、中心領域の凹部の密度を周辺領域の密度より高くする、もしくは複数の凹部を中心領域のみ形成する、等によって冷却ヘッド部２０１ａの周辺領域が載置台に当接する面積を、中心領域の当接する面積より多くすることによって、基板を周辺領域から冷却させてもよい。
40

【００３９】

また、図３（ａ）及び（ｂ）に示すように冷却部２０１の冷却ヘッド部２０１ａには管路２１１ｂが、管状部２０１ｂには管路２１１ａ、２１１ｃが形成され、管路２１１ａ、２１１ｂ、２１１ｃは、それぞれ接続されている。このように冷却された水又は冷却された塩化カルシウム水溶液等の冷却液が管路２１１ａから、２１１ｂに入り、管路２１１ｃ
50

より排出されるように循環することによって、冷却部 201 全体を冷やしている。冷却ヘッド部 201 a には、図 3 (a) 及び (b) に示すように管路 211 b が形成されている。管路 211 b は、ステージ 104 が均等な温度に冷却されるように、ステージ 104 の上面の形状に合わせて略円状（弧状）に形成され、且つヘリウム用の管路 213 を中心とした同心円状に複数設けられている。また、管状部 201 b を貫くように管路 211 a, 211 c が形成されており、管路 211 a, 211 c は、それぞれ冷却装置 202 に接続されている。管路 211 c から排出された冷却液は、冷却装置 202 によって再び冷却されて、再び管路 19 a に搬送されるように循環される。

【0040】

分光輝度計 107 は、プラズマ放射の発光スペクトルから相対的な活性種密度分布を評価するために用いられる。分光輝度計 107 は、基板 11 からの放射の影響をできるだけ受けたくないような角度、つまり、基板 11 の上面の面方向に対して平行な角度に設定されている。また、評価される CH の相対密度は基板 11 の上面の法線方向にも勾配をもつことが当然であると考えられるため、基板 11 の上面にできるだけ近いプラズマからの光、より好ましくは基板 11 の上面から 1 mm 上の位置のプラズマからの光を測定している。

【0041】

分光輝度計 108 は、基板 11 からの熱放射を測定するための分光輝度計であって、チャンバに設けられた窓 101 b を介して基板 11 の上面と面方向に対して所定の角度（例えば 15° ）で基板 11 の上面を捉えることによって基板 11 の温度を測定する。本実施形態では、基板の放射能変化を温度と放射率に自由度を持たせたプランクの放射式と、プランク放射が計測誤差以下の温度のときに分光輝度計 108 で測定したスペクトルを線形結合した式を、両者が重畳している成膜過程時の基板からの放射光に対して、非線形最小自乗法によりフィッティングを行い、基板温度ならびに放射率を同時に評価する。この温度測定方法によれば、成膜過程における基板温度の逐次計測できるので、基板温度情報をフィードバックして基板の成膜を制御することが可能である。具体的には、(1) 予め基板温度のノイズとなるプラズマ放射を測定するために、分光輝度計 108 によるプラズマ放射のスペクトルの計測処理と、(2) フィッティングに要する波長領域の選定処理と、(3) プラズマ放射スペクトルの決定処理と、(4) プランクの放射則による理論式とプラズマ放射のスペクトルの線形結合させた式を非線形最小自乗法によって測定スペクトルにフィッティングさせるフィッティング処理の四処理を含んで、基板温度と基板の放射率の評価を行う。

【0042】

次に、成膜処理について説明する。

成膜処理では、まず、例えばニッケル板を基板 11 として切り出し、エタノール又はアセトンにより脱脂・超音波洗浄を十分に行う。

【0043】

この基板 11 を図 1 に例示する構成の成膜装置 100 の陽極 102 上に載置する。基板 11 の載置が完了すると、次に、チャンバ 101 内を排気装置 106 を用いて減圧し、続いて、ガス供給用の管路 105 a から水素ガスとメタン等の組成中に炭素を含有する化合物のガス（炭素含有化合物）とを導入する。

【0044】

原料ガス中の組成中に炭素を含有する化合物のガスは、全体の 3 vol % ~ 30 vol % の範囲内にあることが望ましい。例えば、メタンの流量を 50 sccm、水素の流量を 500 sccm とし、全体の圧力を 0.05 ~ 1.5 atm、好ましくは 0.07 ~ 0.1 atm にする。また、陽極 102 と陰極 103 との間に直流電源を印加し、プラズマを発生させ、プラズマ状態及び基板 11 の温度を制御する。

【0045】

カーボンナノウォール 31 の成膜時には、基板 11 のカーボンナノウォール 31 が成膜される箇所の温度を 900°C ~ 1100°C で所定時間の成膜を行う。この温度は前述の手法に基づいて、分光輝度計 108 により測定されたスペクトルから評価されている。この

とき、冷却部 201 は、陽極 102 の温度に影響がないように十分離間されている。

【0046】

下地となるカーボンナノウォール 31 が十分成膜されたら、引き続きガス雰囲気を変え
ることなく連続したまま、プラズマにより加熱された陽極 102 よりも遙かに低い温度の
冷却部 201 を、例えば 100 mm 上昇させてステージ 104 に近接或いは当接させて陽
極 102 を冷却する。このとき、基板 11 が載置された陽極 102 は、ステージ 104 上
に設置されているため、基板 11 は、陽極 102 及びステージ 104 を介して冷却部 20
1 により冷却される。この際、本実施形態では冷却部 201 の冷却ヘッド部 201 a のス
テージ 104 に対向する面に凹部 201 c が形成されており、冷却ヘッド部 201 a の周
辺部のみがステージ 104 に当接する。これにより陽極 102 上に載置された基板 11 の
周辺領域から、より熱が逃げやすい構造を設けることにより、基板 11 における N D 膜の
形成に寄与する活性種の密度が高い領域と低い領域とで温度勾配を生じさせる。

10

【0047】

このように陽極 102 上に載置された基板 11 を冷却させ、基板 11 の表面が、カーボ
ンナノウォールの成膜時より 10 °C 以上低い複数のダイヤモンド微粒子の成膜適正温度に
まで急冷する。なお、プラズマを安定に維持するためにも、冷却部を近接或いは当接させ
るタイミングにおいて、陽極及び陰極の印加電圧又は印加電流値はあまり変えないことが
好ましい。

【0048】

基板 11 が一気に冷えたために、カーボンナノウォール 31 の成長が抑制されると、カ
ーボンナノウォール 31 上に粒径が 5 nm ~ 10 nm の複数のダイヤモンド微粒子 32 a
が成長を開始し、やがてカーボンナノウォール 31 の成長に代わってダイヤモンド微粒子
32 a の成長が支配的になる。そして、ダイヤモンド微粒子 32 a の塊状体が層構造をな
す微結晶ダイヤモンド膜 32 が形成されるとともに、ダイヤモンド微粒子 32 a の塊状体
が形成されていない領域、つまり図 4 に示すようなダイヤモンド微粒子 32 a の塊状体間
に位置する隙間に、カーボンナノウォール 31 の表面が変形した針状炭素棒 33 が成長し
、その先端部が微結晶ダイヤモンド膜 32 の表面より突出するように形成される。カーボ
ンナノウォール 31 の発生点は主にカーボンナノウォール 31 の表面であるが、それ以外
にも発生することがある。しかしながら、後述するようにカーボンナノウォール 31 から
成長している針状炭素棒 33 の方が、内部までグラファイト層の芯がつまっているために
機械的強度が大きく、かつ電界集中しやすい棒状構造なので針状炭素棒 33 の先端から安
定して電子放出することができる。

20

30

【0049】

また、基板 11 の周辺部を冷却する冷却部 201 を設置することにより、冷却部 201
を設置しない構成と比較して、基板 11 内に基板中心と周辺部で、基板上の温度分布を操
作することができる。陽極 102 において、基板 11 の中央部、つまり、N D 膜の形成に
寄与する活性種の密度が高い部分に対向する対向面領域の裏側の面領域では、ステージ 1
04 に冷却部 201 が当接又は近接しておらず、冷却部 201 とステージ 104 との間には
気体しか存在しない。気体は固体に比べて熱伝導性が悪いため、プラズマから基板 11
、陽極 102 を介してステージ 104 に伝わるの熱の大部分は、ステージ 104 の中央部
から最も遠い領域であるステージ周縁部 104 a を介して、冷却部 201 に伝搬されるこ
とになる。このため、ステージ中央部からステージ外縁部へ熱流、すなわち温度勾配が生
じ、この影響をうけて各々の領域の直上にある基板 11 の中央部と角部でも温度勾配が生
じる。よって、冷却部 201 の設置により基板 11 の中央部に比べて N D 膜の形成に寄与
する活性種の密度が低い角部 11 の領域の温度をより低くすることができる。

40

【0050】

なお、この成膜に用いられる温度計測の手法は非線形最小自乗法のフィッティングパラ
メータとして放射率も基板温度と同時に評価される。この放射率は窓に備わるガラスの透
過率等によっても影響を受けるため相対値としての値ではあるが、本実施形態では下地膜
がカーボンナノウォールであり、十分に成長したカーボンナノウォールの放射率が 1 であ

50

ることから、カーボンナノウォールの成長により相対的な放射率がプラトーに達したときの値を1とすることで、その上にダイヤモンド微粒子が形成されていく途上の正確な放射率を評価することができる。

【0051】

成膜の終了段階では、陽極102と陰極103との間の電圧の印加を停止し、続いて、原料ガスの供給を停止し、パージガスとして窒素ガスをチャンバ101内に供給して常圧に復帰した後、常温に戻った状態で基板11を取り出す。

【0052】

次に、本実施形態の成膜装置を用いて基板上に成膜した電子放出膜を詳細に説明する。

電子放出膜13は、図4に模式的に示すように曲面をなす花卉状（扇状）の複数のグラファイト構造の炭素薄片が起立しながら互いにランダムな方向に繋がりあっているカーボンナノウォール31と、CNW31上に連続して堆積された、複数の微結晶ダイヤモンドを含む層である微結晶ダイヤモンド膜（炭素膜）32と、微結晶ダイヤモンド膜32の表面から突き出ている針状の針状炭素棒33と、を有する。

【0053】

微結晶ダイヤモンド膜32が成膜される前のCNW31の表面は、曲面をなす花卉状（扇状）の複数の炭素薄片が起立しながら互いにランダムな方向に繋がりあっている。CNW31は、例えば1nm～500nmの厚さである。CNW31は、緻密で純度の高いsp²結合のグラファイトからなり、CNW31の各炭素薄片は、格子間隔が0.34nmの数層～数十層のグラフェンシートを含む。グラフェンシートは、sp²結合を有し、導電性を示す。従って、CNW31は導電性を示す。

【0054】

また、CNW31からは針状炭素棒33が成長している。また、針状炭素棒33の周囲には微結晶ダイヤモンド膜32のダイヤモンド微粒子32aが配置している。このように針状炭素棒33がCNW31から成長することによって、針状炭素棒33とCNW31とが連続しているので、導体であるCNW31から針状炭素棒33に効率よく電子が供給され、針状炭素棒33から良好に電子が放出される。

【0055】

微結晶ダイヤモンド膜32は、粒径が5nm～10nmのsp³結合の複数のダイヤモンド微粒子を含んだ層構造であり、その表面には、図4に模式的に示すようにダイヤモンド微粒子が数十から数百個程度集まり、笹葉のような組織が形成されている。なお、微結晶ダイヤモンド膜（炭素膜）32は、純粋なグラファイトとダイヤモンド粒子だけでなく、sp²とsp³の両方の結合をもつ中間的な相が存在し、これらの複合体を有する膜であるため、炭素膜と称するのが正確ではあるが、説明の便宜上微結晶ダイヤモンド膜と称する。微結晶ダイヤモンド膜32の塊状体の径は1μm～5μm程度であり、CNW31上を覆っている程度に成長していることが望ましい。微結晶ダイヤモンド膜32の表面は、下地となっているCNW31の表面より起伏が少なく比較的平滑になっている。また、この微結晶ダイヤモンド膜32の各塊状体の界面（粒界）は、図4に模式的に示すように、隙間が形成されている。微結晶ダイヤモンド膜32が成長していく過程で、微結晶ダイヤモンド膜32が立体障害となって、その下で成長し続けようとするCNW31に応力が加わった結果、CNW31の一部が針状に成長し、この隙間から突出した針状炭素棒33となっている。したがって、微結晶ダイヤモンド膜32及び微結晶ダイヤモンド膜32の塊状体間の隙間は、CNW31の成長を変質して多量の針状炭素棒33を形成させる効果を持っている。

【0056】

微結晶ダイヤモンド膜32の主表面には、ダイヤモンドのみではなく、針状炭素棒33や後述するsp²結合が支配的な相32b等の結晶性のあるグラファイトが存在し、微結晶ダイヤモンド膜32の表面は、完全な絶縁体ではなく針状炭素棒33が導通する程度に導電性を示しているために電子放出特性に優れている。

【0057】

このような特性を備える電子放出膜 13 の電子放出特性は、成膜装置 100 のプラズマによる活性種の密度等の成膜条件による影響を受ける。

【0058】

具体的には、基板の中心からの距離とスペクトル線放出係数の関係のグラフである図 6 に示すように成膜装置内では活性種の密度は、基板（陽光柱）の中心から周辺領域に向かうに従って減少する傾向がある。このため、活性種の多く存在する中心領域で高い電子放出特性をもつ ND 膜が成膜できるように、圧力、印加電力などにより基板温度の調節を行うと、活性種の比較的少ない領域において、成膜条件の違いから電子放出の生じない膜が形成される。

【0059】

本発明では、基板の中央部、つまり、ND 膜の形成に寄与する活性種の密度が高い部分に対応する領域では載置台に当接せず、且つ基板の周辺部、つまり、ND 膜の形成に寄与する活性種の密度が低い部分に対応する領域では載置台に当接するような凹部を有する冷却部を備えることによって、基板の面内の温度勾配を操作することができる。例えば、図 8 に示すように、載置台と接触する面が基板の中央部に対応する部位と周辺部に対応する部位とで実質的に変わらないように冷却ヘッドの頭頂部を平坦にした冷却部を有する成膜装置では、等温線が基板面方向にほぼ等しく基板の中央部と基板の周辺部とで所望の温度勾配を持たせることが難しい。なお、等温線で区切られた領域 A、B、C、D はこの順に温度が高い。これに対し、冷却部を備える本実施形態の構成では、図 7 に示すような等温線となる。図 7 における領域 A、B、C、D のそれぞれの温度範囲は図 8 のそれらに等しい。つまり、冷却ヘッド部 201a において、ステージ 104 の裏面に当接している部分は外周縁のみなので、この外周縁が最も熱流が大きく周囲の熱を奪いやすいため、外周縁に近い部分である基板の周辺部はより温度が低くなり、外周縁に遠い部分である基板の中央部はより温度が高くなる。このように冷却部 201 の形状や大きさを変化させることで、載置台上から冷却部までの熱抵抗を変化させ、それにより陽光柱内でナノダイヤモンド膜を形成する際に寄与する活性種が多く存在する領域である基板中心領域の基板温度と、活性種濃度が中心より低い周辺領域における基板温度を、活性種の密度に応じて調節することが可能となり、中心領域と周辺領域とで均一な膜質の膜を成膜することができる。

【0060】

また、一般に CVD 法による成膜において膜の均一性を向上させるために行われる方法としては、成長過程で基板を回転させる、電極形状を変化させる、基板温度を均一にする等がある。基板を回転させる方法では、回転軸に対する径方向への成膜ムラについては、均一とすることが難しい問題がある。また、回転させるため、成膜面積が大きくなると、装置も大型化する問題がある。次に、電極形状を変化させることでプラズマの分布状態を変化させる構成では、電極が単純な形状ではなくなるために、電界強度の大きくなる電極近傍で電界集中が生じやすくなり、成膜を乱すコロナ放電やアーク放電などが発生しやすくなる問題がある。また、基板温度を基板面内で均一にさせる方法では、通常の MD 膜の場合にはこのような方法で成膜エリアが広がることが期待できたが、ND 成膜などのように、プラズマ中の活性種密度分布の影響を大きく受ける成膜では、基板温度を均一にすることはむしろ均一成膜エリアを減少させることになる。

【0061】

これに対し、本願発明の成膜装置では、冷却部を設けることにより、ND 成膜に寄与する活性種の密度が高い基板中心領域と、基板中心領域よりも成膜に寄与する活性種の密度が低い基板周辺領域と、の膜質を均等にするために、基板周辺領域から冷却部或いは載置台が接続されるチャンバまでの熱抵抗を、基板中心領域から冷却部或いは載置台が接続されるチャンバまでの熱抵抗に比べて小さくして、基板内に中心領域から周辺領域への熱流を生じさせ、容易に活性種密度分布に応じて基板温度に勾配を生じさせることができ、基板面内に良好な均一性を備える膜を形成することができる。上述したように本願発明の構成では、基板を回転させたりすることがないため装置が複雑化せず、また、電極の形状を変化させないためプラズマの発生も容易である。

【0062】

このように、本実施形態の成膜装置及び成膜方法によれば、良好な面内均一性を有する膜を形成することが可能である。

【0063】

本発明は、上記実施形態に限定されず、種々の変形が可能である。

上述した実施形態では、凹部を形成することによって、冷却部201の冷却ヘッド部201aが載置台と接触する面積を変化させる構成を例に挙げて説明したが、これに限られない。例えば、図12に示すように、冷却部301の冷却ヘッド部301aの周辺領域301cを細かく荒らし、中心領域301dを大きく荒らすことにより、周辺領域301cがステージ104に当接する面積（接触面積）を、中心領域301dの接触面積より大きくする構成を採ることも可能である。また、中心領域301dのみを荒らすことも可能である。

10

【0064】

更に、図13に示すように管路411bを冷却ヘッド部201aの周辺領域にのみ形成することも可能である。この際、凹部201cは、図10及び図11のように形成されていても良く、図9、12及び14に示すように冷却ヘッド部が形成されていても良い。図13に示すように冷却媒体を周辺領域のみに流すことにより、更に周辺領域を効率的に冷却することができる。

【0065】

更に、図14に示すように冷却部501の冷却ヘッド部501aの中心領域501dを熱伝導度の低い材料、例えば Al_2O_3 から形成し、周辺領域501cを中心領域と比較して熱伝導度の高い材料、例えばCuから形成することも可能である。 Al_2O_3 の熱伝導率は $20W/(m \cdot K)$ であり、Cuの熱伝導率は $350W/(m \cdot K)$ であるため、熱はCuからなる周辺領域から、より載置台に伝達する。これにより、上述した実施形態と同様に、基板の中心から周辺方向への熱流を生じさせ、基板内に温度勾配を生じさせることができる。なお、2種類の材料だけでなく3つ以上の材料を組み合わせ、基板の中心から周辺方向への熱流を生じさせ、基板内に温度勾配を生じさせても良い。

20

【0066】

また、基板11の材料はCNWやND膜の形成するための温度で形状を維持できる材料であれば、ニッケル以外を使用することができ、Si、鉄、コバルト、モリブデン、タン

30

【0067】

グステン、希土類、銅、銀、金、白金のうち少なくともいずれか一種を含んでもよい。

【0068】

また、原料ガスである水素ガスと炭素含有化合物の混合比も、適宜選択的に変更可能である。

さらに、上記実施形態では、電子放出型電極を形成したが、他の電子部品を連続的なプラズマCVDで形成する場合にも適用でき、膜質の異なる複合膜を連続的に形成する場合等に有効である。また上記各実施形態では、陽極102とステージ104が別体であったが、一体化してステージを兼ねる陽極であってもよい。

【0069】

本発明における他の実施形態として、図15に示すように、ステージを兼ねた陽極102に基板11を載置させた成膜装置の一部を示す。陽極102は、基板11と接触する面において、基板11と接触していない複数の窪み109を有している。各窪み109の形状は、半球形状であっても、円錐形であっても、多角錐形であっても、その他の幾何学形状であってもよく、また、互いに相似していても、互いに異なる形状であってもよい。更に、窪みは円形の溝状に形成されてもよく、これらの窪みは同心円に形成されていてもよい。そして、複数の窪み109は、基板11の中央部11xに対応する部位から基板11の周辺部11yに対応する部位にかけて漸次小さくなっているため、基板11の中央部11xに対応する部位における窪み109に応じた基板11と陽極102との単位面積あたりの接触面積よりも、基板11の周辺部11yに対応する部位における窪み109に応じ

40

50

た基板 11 と陽極 102 との単位面積あたりの接触面積の方が大きい。また、窪み 109 と基板 11 との間に生じる空間には固体より熱伝導性の劣る気体が介在するため、基板 11 からの熱は窪み 109 を介して陽極 102 に伝わりにくい。一方、陽極 102 において、基板 11 と接触している部位は熱の伝導性が優れているので、基板 11 におけるプラズマ熱は、基板 11 の中央部 11x よりも基板 11 の周辺部 11y から奪われやすいため、基板 11 の周辺部 11y の温度は、基板 11 の中央部 11x の温度よりも低い状態を維持することができる。したがって、基板 11 の面内の電気的特性が良好な均一性を備える膜を形成することが可能となる。

【0070】

本発明における他の実施形態として、図 16 に示すように、ステージを兼ねた陽極 102 に基板 11 を載置させた成膜装置の一部を示す。陽極 102 は、基板 11 と接触する面において、基板 11 と接触していない複数の窪み 109 を有している。各窪み 109 の形状は、半球形状であっても、円錐形であっても、多角錐形であっても、その他の幾何学形状であってもよく、また、互いに相似していても、互いに異なる形状であってもよい。そして、複数の窪み 109 は、基板 11 の中央部 11x に対応する部位にのみ形成されているため、基板 11 の中央部 11x に対応する部位における窪み 109 に応じた基板 11 と陽極 102 との単位面積あたりの接触面積よりも、基板 11 の周辺部 11y に対応する部位における基板 11 と陽極 102 との単位面積あたりの接触面積の方が大きい。また、窪み 109 と基板 11 との間に生じる空間には固体より熱伝導性の劣る気体が介在するため、基板 11 からの熱は窪み 109 を介して陽極 102 に伝わりにくい。一方、陽極 102 において、基板 11 と接触している部位は熱の伝導性が優れているので、基板 11 におけるプラズマ熱は、基板 11 の中央部 11x よりも基板 11 の周辺部 11y から奪われやすいため、基板 11 の周辺部 11y の温度は、基板 11 の中央部 11x の温度よりも低い状態を維持することができる。したがって、基板 11 の面内の電気的特性が良好な均一性を備える膜を形成することが可能となる。

【0071】

本発明における他の実施形態として、図 17 に示すように、ステージ 104 と陽極 102 が別々の成膜装置の一部を示す。ステージ 104 は、基板 11 と接触する面において、陽極 102 と接触していない複数の窪み 109 を有している。各窪み 109 の形状は、半球形状であっても、円錐形であっても、多角錐形であっても、その他の幾何学形状であってもよく、また、互いに相似していても、互いに異なる形状であってもよい。そして、複数の窪み 109 は、基板 11 の中央部 11x に対応する部位から基板 11 の周辺部 11y に対応する部位にかけて漸次小さくなっているため、基板 11 の中央部 11x に対応する部位における窪み 109 に応じた陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積よりも、基板 11 の周辺部 11y に対応する部位における窪み 109 に応じた陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積の方が大きい。また、窪み 109 と陽極 102 との間に生じる空間には固体より熱伝導性の劣る気体が介在するため、陽極 102 からの熱は窪み 109 を介してステージ 104 に伝わりにくい。一方、ステージ 104 において、陽極 102 と接触している部位は熱の伝導性が優れているので、基板 11 におけるプラズマ熱は、基板 11 の中央部 11x よりも基板 11 の周辺部 11y から奪われやすいため、基板 11 の周辺部 11y の温度は、基板 11 の中央部 11x の温度よりも低い状態を維持することができる。したがって、基板 11 の面内の電気的特性が良好な均一性を備える膜を形成することが可能となる。

【0072】

本発明における他の実施形態として、図 18 に示すように、ステージ 104 と陽極 102 が別々の成膜装置の一部を示す。ステージ 104 は、基板 11 と接触する面において、陽極 102 と接触していない複数の窪み 109 を有している。各窪み 109 の形状は、半球形状であっても、円錐形であっても、多角錐形であっても、その他の幾何学形状であってもよく、また、互いに相似していても、互いに異なる形状であってもよい。そして、複数の窪み 109 は、基板 11 の中央部 11x に対応する部位にのみ形成されているため、

基板 11 の中央部 11 x に対応する部位における窪み 109 に応じた陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積よりも、基板 11 の周辺部 11 y に対応する部位における陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積の方が大きい。また、窪み 109 と陽極 102 との間に生じる空間には固体より熱伝導性の劣る気体が介在するため、陽極 102 からの熱は窪み 109 を介してステージ 104 に伝わりにくい。一方、ステージ 104 において、陽極 102 と接触している部位は熱の伝導性が優れているので、基板 11 におけるプラズマ熱は、基板 11 の中央部 11 x よりも基板 11 の周辺部 11 y から奪われやすいため、基板 11 の周辺部 11 y の温度は、基板 11 の中央部 11 x の温度よりも低い状態を維持することができる。したがって、基板 11 の面内の電気的特性が良好な均一性を備える膜を形成することが可能となる。

10

【0073】

本発明における他の実施形態として、図 19 に示すように、ステージ 104 と陽極 102 が別々の成膜装置の一部を示す。陽極 102 は、ステージ 104 と接触する面において、ステージ 104 と接触していない複数の窪み 109 を有している。各窪み 109 の形状は、半球形状であっても、円錐形であっても、多角錐形であっても、その他の幾何学形状であってもよく、また、互いに相似していても、互いに異なる形状であってもよい。そして、複数の窪み 109 は、基板 11 の中央部 11 x に対応する部位から基板 11 の周辺部 11 y に対応する部位にかけて漸次小さくなっているため、基板 11 の中央部 11 x に対応する部位における窪み 109 に応じた陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積よりも、基板 11 の周辺部 11 y に対応する部位における窪み 109 に応じた陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積の方が大きい。また、窪み 109 とステージ 104 との間に生じる空間には固体より熱伝導性の劣る気体が介在するため、陽極 102 からの熱は窪み 109 を介してステージ 104 に伝わりにくい。一方、ステージ 104 において、陽極 102 と接触している部位は熱の伝導性が優れているので、基板 11 におけるプラズマ熱は、基板 11 の中央部 11 x よりも基板 11 の周辺部 11 y から奪われやすいため、基板 11 の周辺部 11 y の温度は、基板 11 の中央部 11 x の温度よりも低い状態を維持することができる。したがって、基板 11 の面内の電気的特性が良好な均一性を備える膜を形成することが可能となる。

20

【0074】

本発明における他の実施形態として、図 20 に示すように、ステージ 104 と陽極 102 が別々の成膜装置の一部を示す。陽極 102 は、ステージ 104 と接触する面において、ステージ 104 と接触していない複数の窪み 109 を有している。各窪み 109 の形状は、半球形状であっても、円錐形であっても、多角錐形であっても、その他の幾何学形状であってもよく、また、互いに相似していても、互いに異なる形状であってもよい。そして、複数の窪み 109 は、基板 11 の中央部 11 x に対応する部位から基板 11 の周辺部 11 y に対応する部位にかけて漸次小さくなっているため、基板 11 の中央部 11 x に対応する部位における窪み 109 に応じた陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積よりも、基板 11 の周辺部 11 y に対応する部位における窪み 109 に応じた陽極 102 とステージ 104 との単位面積あたりの接触面積の方が大きい。また、窪み 109 とステージ 104 との間に生じる空間には固体より熱伝導性の劣る気体が介在するため、陽極 102 からの熱は窪み 109 を介してステージ 104 に伝わりにくい。一方、ステージ 104 において、陽極 102 と接触している部位は熱の伝導性が優れているので、基板 11 におけるプラズマ熱は、基板 11 の中央部 11 x よりも基板 11 の周辺部 11 y から奪われやすいため、基板 11 の周辺部 11 y の温度は、基板 11 の中央部 11 x の温度よりも低い状態を維持することができる。したがって、基板 11 の面内の電気的特性が良好な均一性を備える膜を形成することが可能となる。

30

40

【0075】

また、上記各実施形態では、1つの部材にのみ窪みや凹部を設けたが、発明の効果が期待できれば、上記複数の実施形態における窪みや凹部を有する部材を適宜任意に組み合わせ、複数の部材に窪みや凹部を設けてもよいし、陽極 102 の両面に窪みや凹部を設け

50

ても良い。例えば、図 2 1 (a) に示すように、載置台 1 0 4 の陽極 1 0 2 が載置される面に窪み 1 0 9 a を形成し、更に陽極 1 0 2 の載置台 1 0 4 に対向する面に窪み 1 0 9 b を形成しても良い。また、図 2 1 (b) に示すように、載置台 1 0 4 の陽極 1 0 2 と対向する面に窪み 1 0 9 a を形成し、更に陽極 1 0 2 の基板 1 1 と対向する面に窪み 1 0 9 c を形成しても良い。更に、図 2 2 (a) に示すように陽極 1 0 2 の載置台 1 0 4 に対向する面に窪み 1 0 9 b を設け、陽極 1 0 2 の基板 1 1 に対向する面に窪み 1 0 9 c を形成することも可能であるし、図 2 2 (c) に示すように、載置台 1 0 4 の陽極 1 0 2 に対向する面に窪み 1 0 9 a を、陽極 1 0 2 の載置台 1 0 4 に対向する面に窪み 1 0 9 b を、陽極 1 0 2 の基板 1 1 に対向する面に窪み 1 0 9 c を、それぞれ形成することも可能である。

【図面の簡単な説明】

10

【0 0 7 6】

【図 1】本発明の実施形態に係る成膜装置の構成例を模式的に示す図である。

【図 2】(a) は、冷却部の構成例を示す平面図である。(b) は、冷却部の構成例を示す断面図である。

【図 3】(a) は、冷却部の管路を示す平面図である。(b) は、冷却部の管路を示す断面図である。

【図 4】本実施形態の成膜方法及び成膜装置によって成膜される電界放出型電極を模式的に示す断面図である。

【図 5】電子放出膜を成膜する際の温度変化を示す図である。

【図 6】基板の中心からの距離とスペクトル線放出係数の関係を示す図である。

20

【図 7】本実施形態における、基板近傍の熱流を模式的に示す図である。

【図 8】冷却部の上面を平坦に形成した構成における、基板近傍の熱流を模式的に示す図である。

【図 9】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 0】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 1】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 2】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 3】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 4】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 5】本発明の他の実施形態を示す図である。

30

【図 1 6】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 7】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 8】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 1 9】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 2 0】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 2 1】(a) 及び (b) は本発明の他の実施形態を示す図である。

【図 2 2】(a) 及び (b) は本発明の他の実施形態を示す図である。

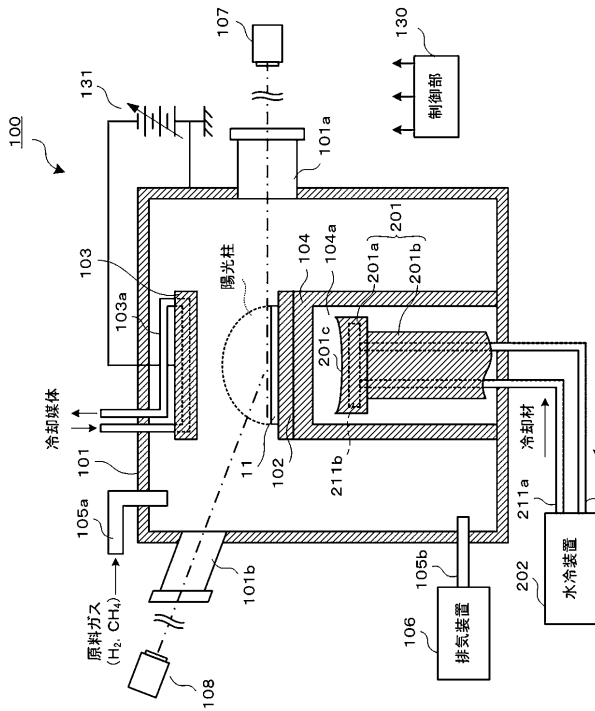
【符号の説明】

【0 0 7 7】

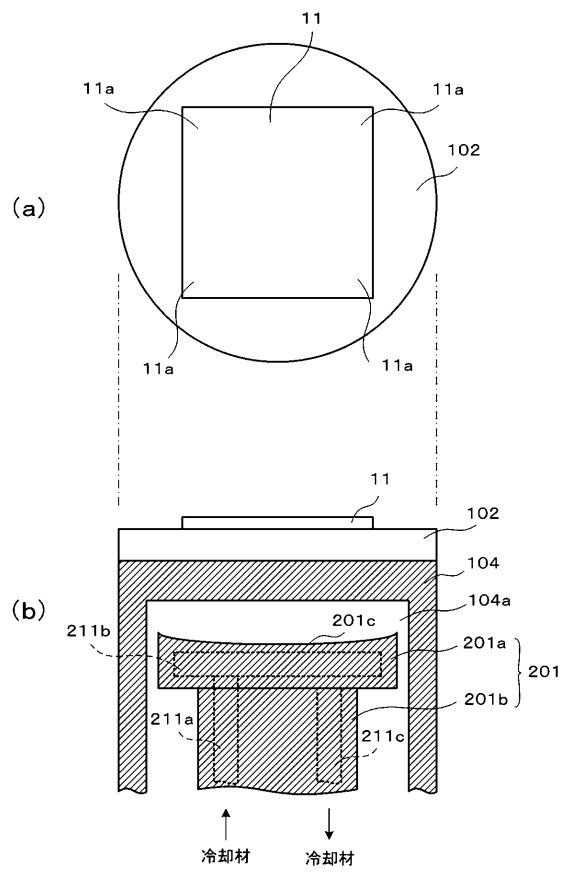
1 0・・・電界放出型電極、1 1・・・基板、1 3・・・電子放出膜、3 1・・・カーボンナノウォール、3 2・・・ナノダイヤモンド膜、3 3・・・針状炭素棒、1 0 0・・・成膜装置、1 0 1・・・チャンバ、1 0 2・・・陽極、1 0 3・・・陰極、1 0 4・・・ステージ、1 0 5 a, 1 0 5 b, 2 1 1 a, 2 1 1 b, 2 1 1 c・・・管路、1 0 6・・・排気装置、1 0 7, 1 0 8・・・分光輝度計、1 3 0・・・制御部、1 3 1・・・可変電源、2 0 1, 3 0 1, 5 0 1・・・冷却部、2 0 1 a・・・冷却ヘッド部、2 0 1 b・・・管状部、2 0 2・・・冷却装置

40

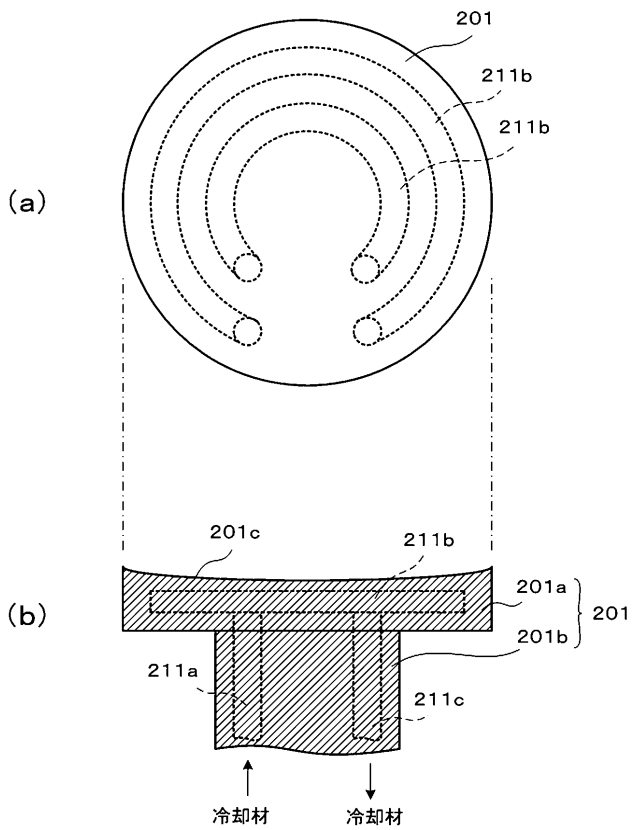
【図 1】



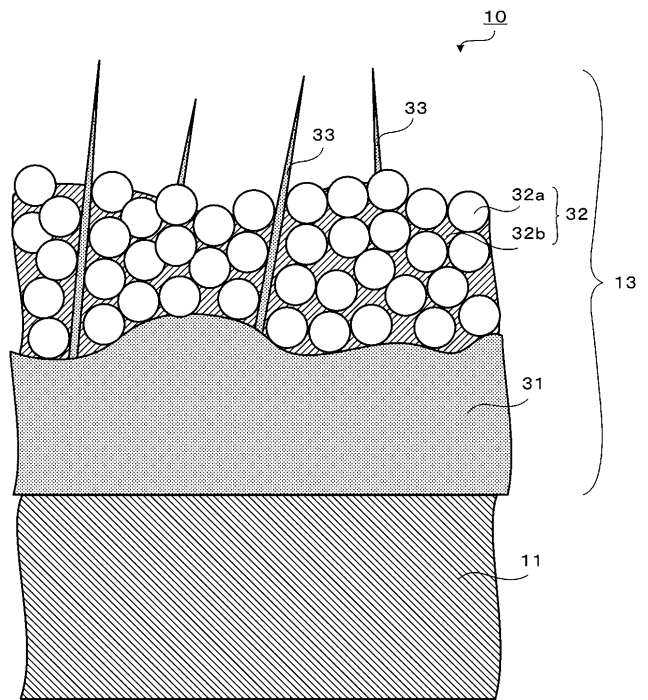
【図 2】



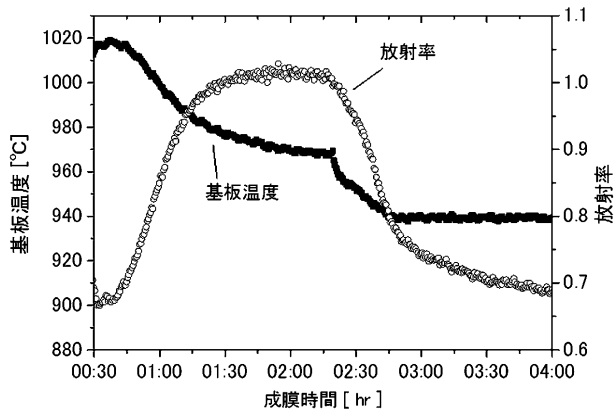
【図 3】



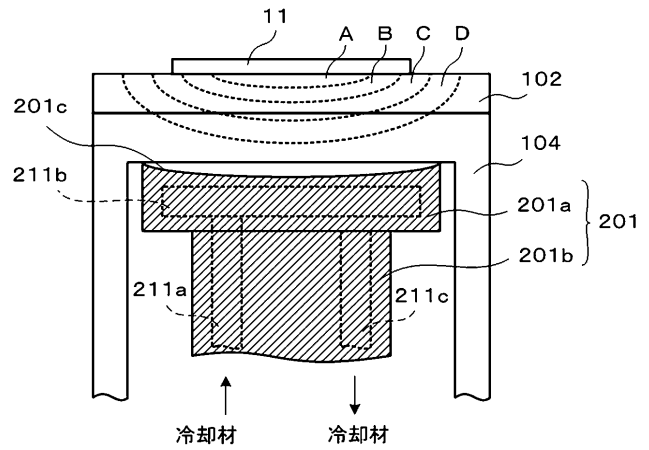
【図 4】



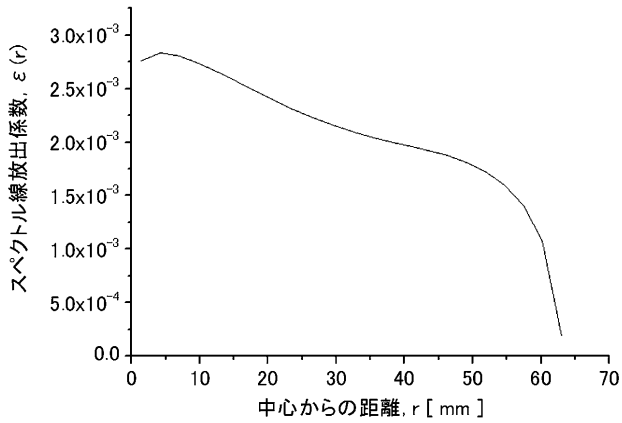
【図 5】



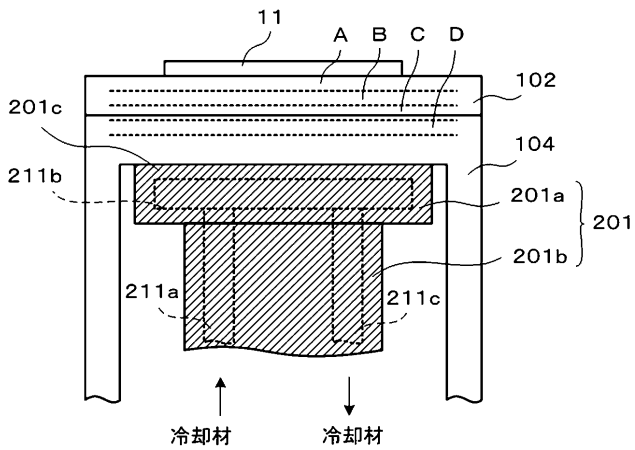
【図 7】



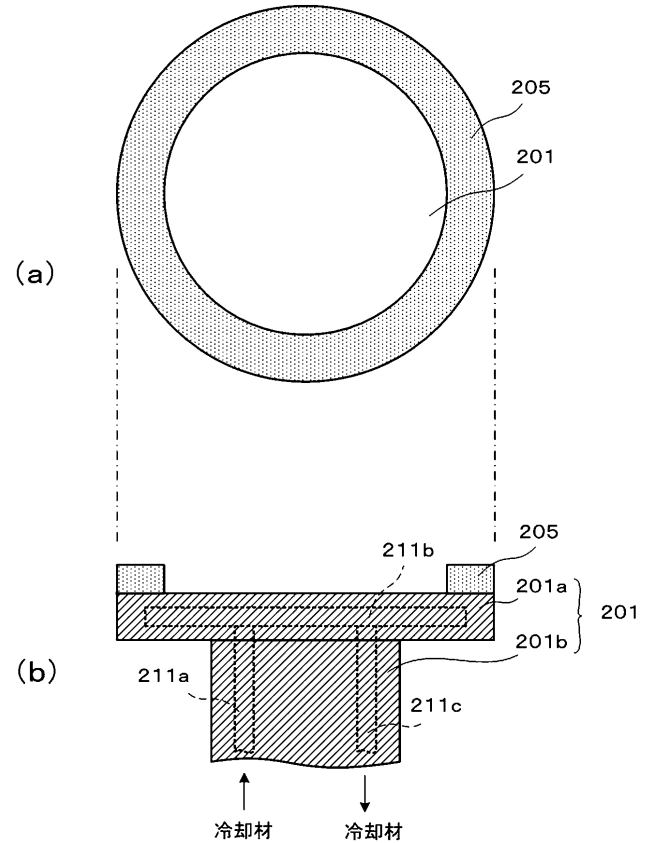
【図 6】



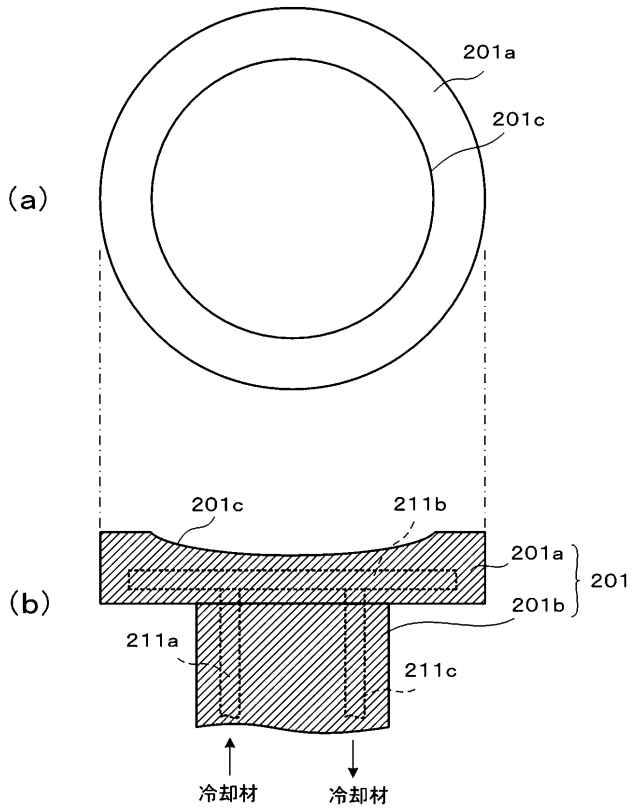
【図 8】



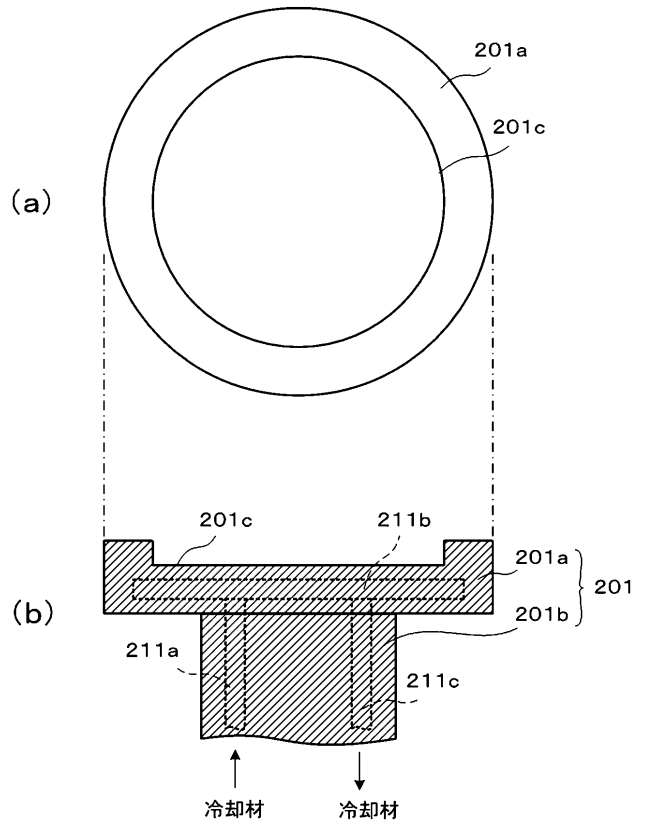
【図 9】



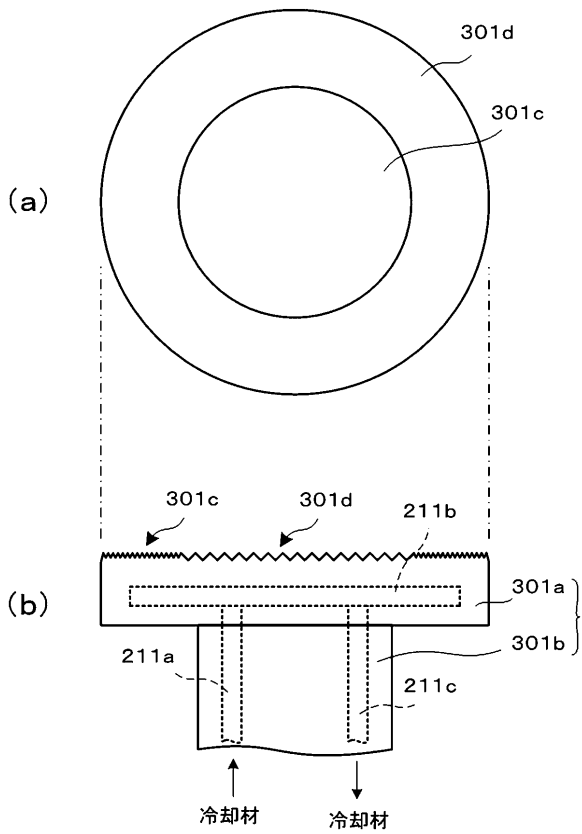
【図 10】



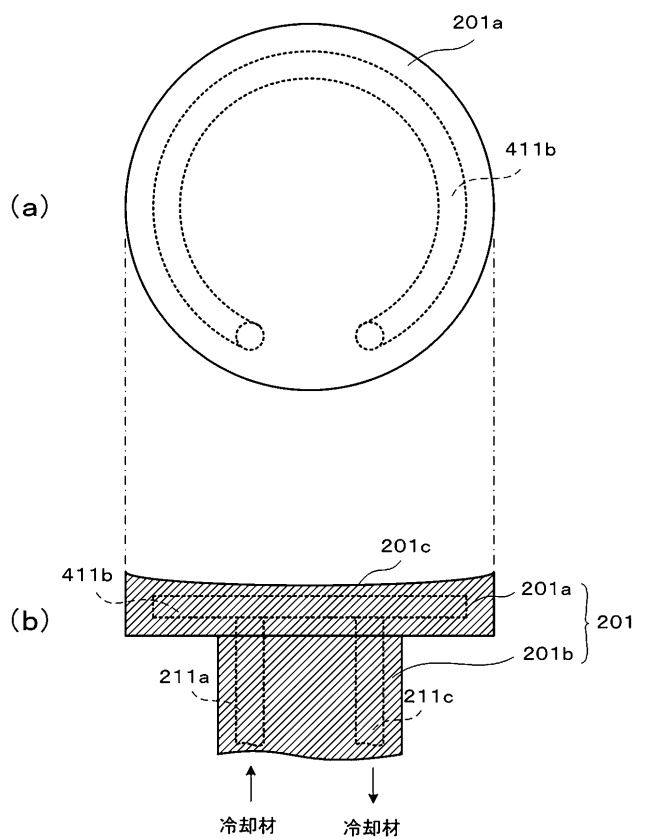
【図 11】



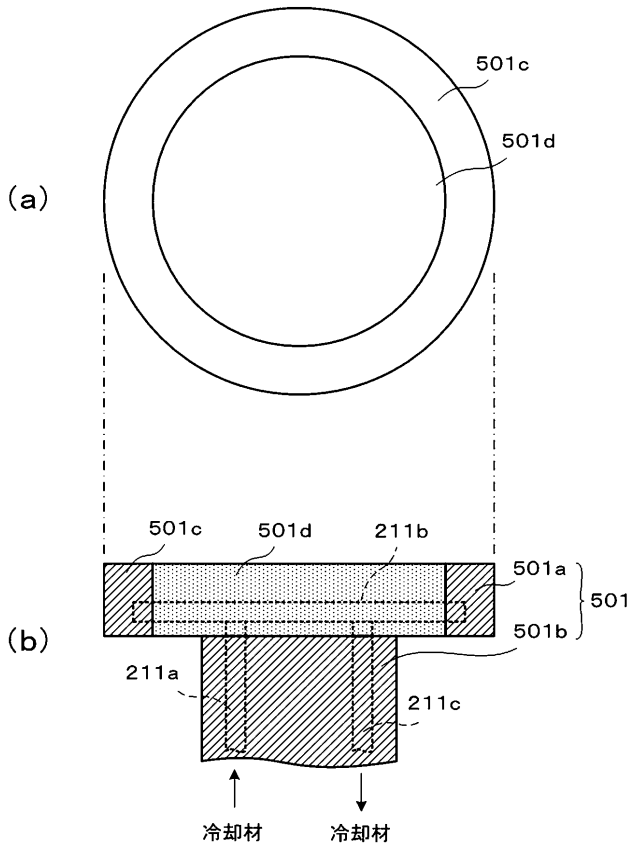
【図 12】



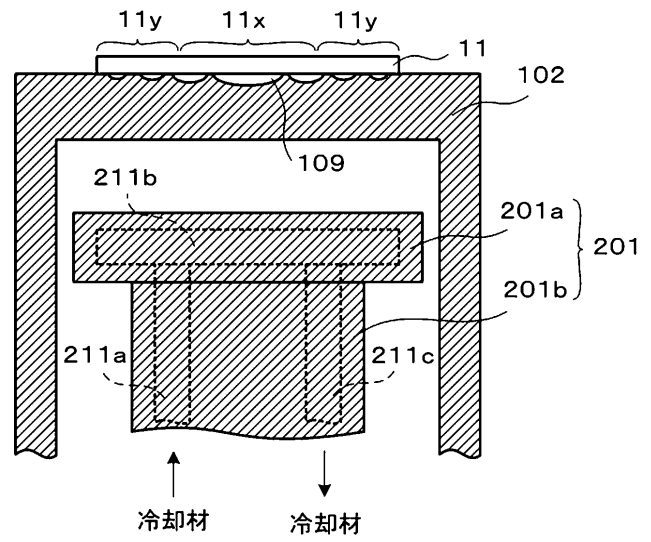
【図 13】



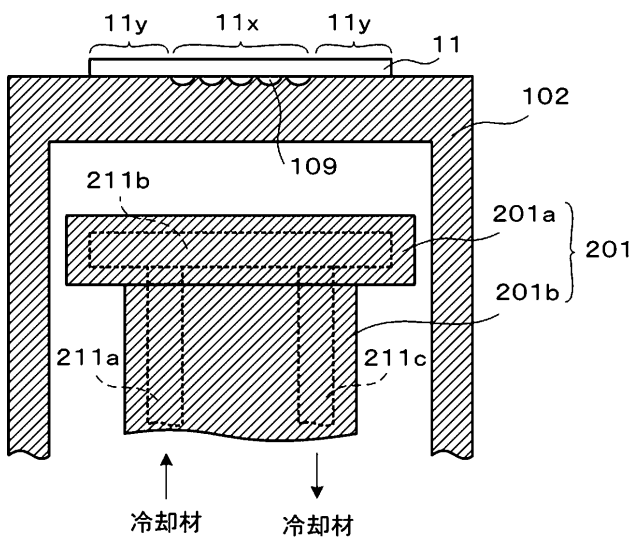
【図 14】



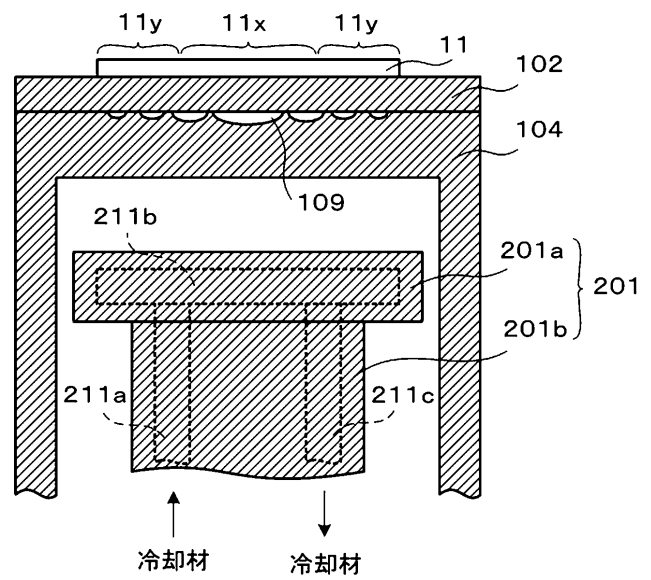
【図 15】



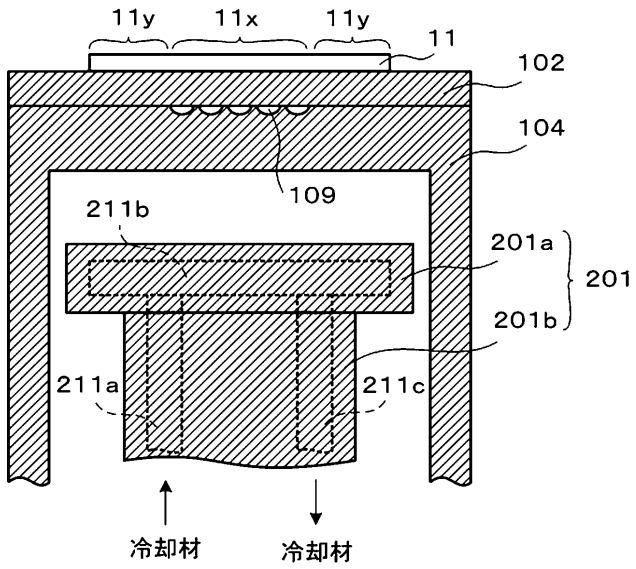
【図 16】



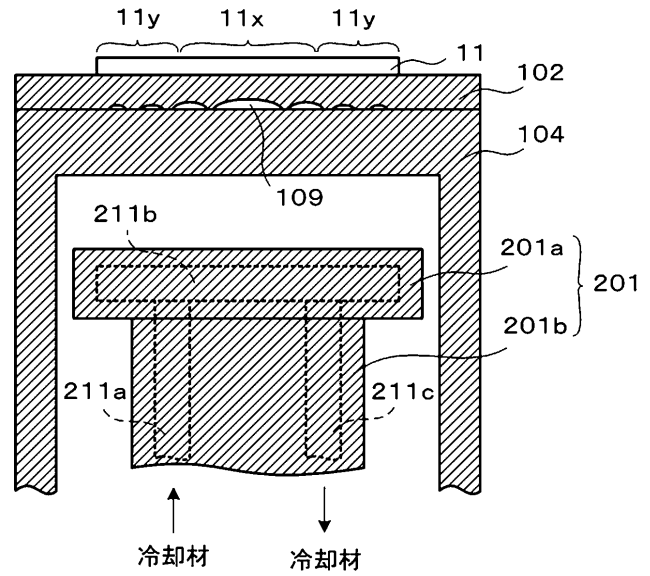
【図 17】



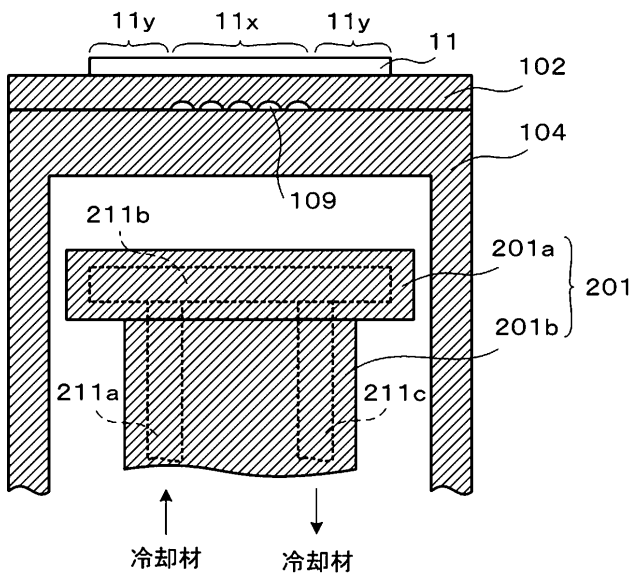
【図 18】



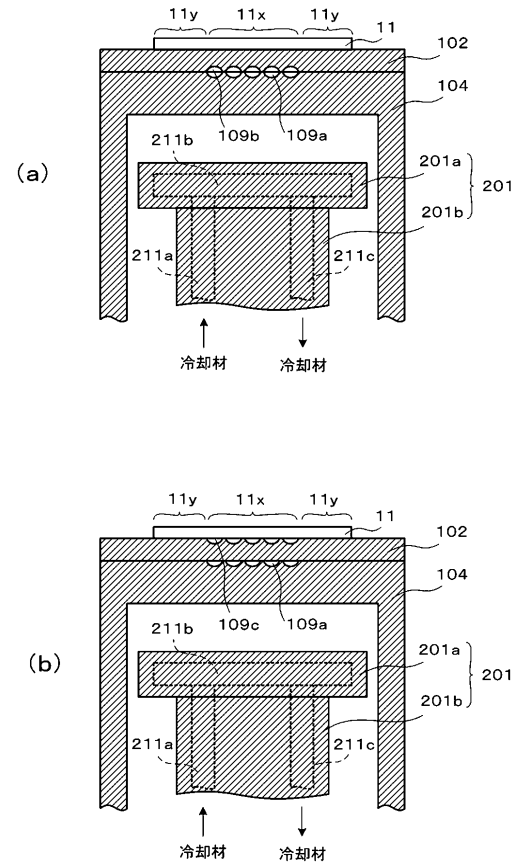
【図 19】



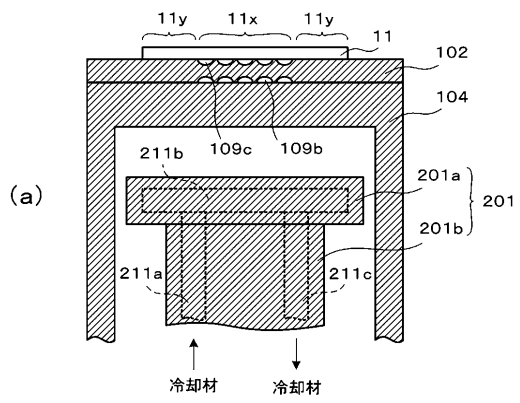
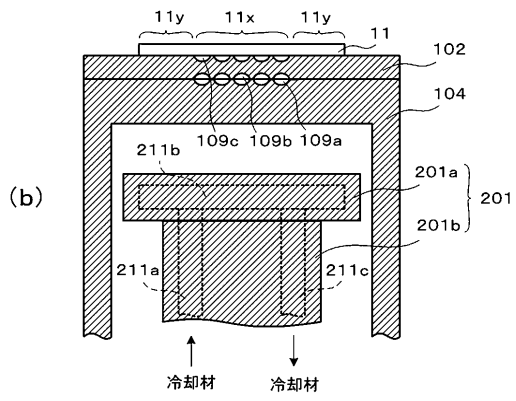
【図 20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4K030 AA09 BA28 GA01 GA02 JA07 JA10 KA14 KA15 KA23 KA26
5F045 AA08 AB07 AC00 AD13 AD14 AE23 AF10 BB08 CA00 DA61
DP03 DQ10 EJ02 EJ05