

(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
2014 年 12 月 11 日(11.12.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/196262 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 27/04 (2006.01) H01J 37/30 (2006.01)
H01J 37/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/060102
- (22) 国際出願日: 2014 年 4 月 7 日(07.04.2014)
- (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 2013-118326 2013 年 6 月 4 日(04.06.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目 2 番 1 4 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 浅井 健吾(ASAI, Kengo); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 志知 広康(SHICHI, Hiroyasu); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 大嶋 卓(OHSHIMA, Takashi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 武藤 宏史(MUTOU, Hirobumi); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目 2

4 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 岩谷 徹(IWAYA, Toru); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目 2 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP).

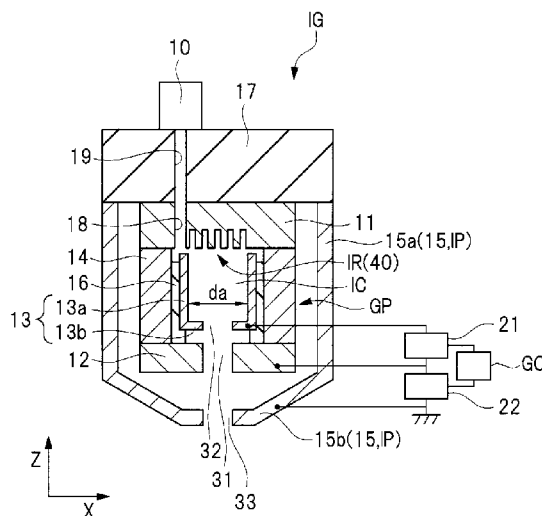
- (74) 代理人: 筒井 大和(TSUTSUI, Yamato); 〒1600022 東京都新宿区新宿 2 丁目 3 番 1 0 号 新宿御苑ビル 3 階 筒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: ION SOURCE AND ION MILLING APPARATUS

(54) 発明の名称: イオン源およびイオンミリング装置

図 2



(57) Abstract: An ion gun (IG) has an ionizing chamber (IC) and a ion generation unit (GP) for generating ions in the ionizing chamber (IC). The ion generation unit (GP) includes an anode (13), a cathode (11), a gas supply mechanism (10), and a permanent magnet (14). The ion generation unit (GP) causes electrons emitted by the cathode (11) to spin due to the magnetic field generated by the permanent magnet (14), and to collide with the gas supplied by the gas supply mechanism (10), thereby generating ions in the ionizing chamber. Irregularities (IR) are then formed in the area (40) on the surface of the cathode (11) that faces the ionizing chamber (IC).

(57) 要約: イオンガン (IG) は、イオン化室 (IC) と、イオン化室 (IC) でイオンを生成するイオン生成部 (GP) とを有する。イオン生成部 (GP) は、アノード (13)、カソード (11)、ガス供給機構 (10) および永久磁石 (14) を含む。イオン生成部 (GP) は、カソード (11) により放出された電子を、永久磁石 (14) が発生した磁場により回転させて、ガス供給機構 (10) により供給されたガスに衝突させることで、イオン化室 (IC) でイオンを生成する。そして、カソード (11) の表面のうちイオン化室

(IC) に面した領域 (40) に、凹凸 (IR) が形成されている。

WO 2014/196262 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：イオン源およびイオンミリング装置

技術分野

[0001] 本発明はイオン源およびイオンミリング装置に関する。

背景技術

[0002] イオンミリング法は、加速したイオンを試料に衝突させて、イオンが原子や分子をはじき飛ばすスパッタ現象を利用して、試料を削る加工法である。イオンミリング法では、試料の上面にイオンビームの遮蔽板となるマスクを載せた状態で、試料にイオンビームを照射し、試料のうちマスクの端部から突出した部分がイオンによりスパッタされることで、平滑な断面を加工することができる。この方法によれば、金属、ガラス、セラミックス、電子部品または複合材料などからなる試料を加工することができる。例えば電子部品からなる試料について、内部構造、断面形状もしくは膜厚の評価、または、結晶状態、故障または異物の断面の解析などを目的とし、走査型電子顕微鏡による形態像、試料組成像もしくはチャネリング像の取得、X線分析または結晶方位解析などを行うために、イオンミリング法が利用されている。

[0003] このようなイオンミリング法を行うためのイオンミリング装置においては、イオン源としてペニング型イオンガンが用いられている。ペニング型イオンガンは、ガス供給機構と、アノードと、カソードと、永久磁石とを備えている。このようなペニング型イオンガンにおいて、容易に放電を開始するため、および、放電を安定に維持するためには、カソードからの多くの電子放出が必要である。特開昭53-114661号公報（特許文献1）には、このようなペニング型イオンガンの構造が開示されている。

[0004] 特開2006-351374号公報（特許文献2）には、イオンガンを構成するカソードの表面を、導電性を有する非磁性材料、すなわち非磁性体で形成するようにしたイオンガンの構造が記載されている。このようなイオンガンの構造において、イオンガンの内部で発生した陽イオンの衝突によりス

パッタされた非磁性体の粒子は、アノードの内面上に堆積するが、従来のようにアノード上に針状に堆積されることはなく、異常放電を防止できることが開示されている。

- [0005] 特開2007-305485号公報（特許文献3）には、アーク放電装置において、チャンバーの内部に設けられたライナベースの表面に格子状の溝部を形成して不要な堆積物の大きさを規制することで、ライナベースと電極との絶縁不良を防止する方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開昭53-114661号公報
特許文献2：特開2006-351374号公報
特許文献3：特開2007-305485号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] このようなペニング型イオンガンでは、カソードにより放出された電子を、永久磁石が発生した磁場により回転、すなわち旋回させて、ガス供給機構により供給されたガスに衝突させることで、イオン化室で陽イオンであるアルゴンイオンを生成する。また、イオン化室で生成されたアルゴンイオンの一部は、カソードのイオンビーム通過孔を通り、加速電極により加速されてイオンビーム通過孔からイオンビームとして射出される。
- [0008] このとき、イオン化室で発生した陽イオンであるアルゴンイオンの一部は、イオンガンの内部のカソードに向けて加速され、カソードの表面のうちイオン化室の内部に面した領域に衝突する。このイオンの衝突により、カソードの表面はスパッタされ、カソードの表面がスパッタされて放出された粒子、すなわちスパッタ粒子のほとんどは、アノードの表面に堆積する。
- [0009] このとき、カソードが純鉄などの磁性導電体からなる場合、スパッタ粒子も磁性導電体からなるので、アノードの表面にスパッタ粒子が堆積した堆積

膜は、永久磁石により発生した磁場の方向に沿って針状に成長する。また、カソードとアノードとの間には、放電電源により放電電圧が印加されている。そのため、カソードと、アノードとの間に、アノード上にスパッタ粒子が堆積した堆積膜を介して、異常放電が発生する。さらには異常放電によりカソードとアノードとの間に電圧を印加している電源回路が短絡し、カソードとアノードとの間に、所定の電圧が印加されなくなる。

[0010] その結果、イオンミリングを行う時間を積算した積算時間の増加に伴って、カソードから電子が放出される放出量が減少するか、または、0になり、イオンガンからイオンビームが射出されなくなる現象が発生する。つまり、ミリング積算時間の増加に伴って、イオンガンの内部で異常放電が発生しやすくなり、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができない。

[0011] 一方、上記したような、ミリング積算時間の増加に伴って、イオンビームが射出されなくなるという現象を回避するために、カソードが、本体部と、本体部の表面に配置された導電性を有する非磁性材料、すなわち非磁性導電体からなる非磁性部とを含むものとすることがある。しかし、非磁性部を例えば非磁性導電体としてのチタンからなるものとした場合、イオン化室で発生した陽イオンの一部が衝突することにより非磁性部の表面がスパッタされて放出された粒子は、主成分として TiO_x を含む。 TiO_x は電気絶縁性を有する材料、すなわち絶縁体からなるため、 TiO_x が堆積して形成された絶縁膜によりアノードの表面が被覆されることで、アノードの電極としての機能が低下し、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができない。

[0012] そこで、本発明は、イオン源としてのイオンガンの内部で異常放電が発生することなく、長時間にわたって正常に動作させることができるイオン源およびイオンミリング装置を提供する。

課題を解決するための手段

[0013] 代表的な実施の形態によるイオン源は、第1室と、第1室でガスをイオン

化してイオンを生成するイオン生成部とを有する。イオン生成部は、第1室に設けられたアノードと、第1室に面して設けられ、電子を放出する第1カソードと、第1室にガスを供給するガス供給部と、第1室に磁場を発生させる磁場発生部とを含む。イオン生成部は、第1カソードにより放出された電子を、磁場発生部が発生した磁場により旋回させて、ガス供給部により供給されたガスに衝突させることで、第1室でイオンを生成するものである。そして、第1カソードの表面のうち第1室に面した第1領域に、凹凸が形成されている。

[0014] また、代表的な実施の形態によるイオンミリング装置は、気密に設けられた第1室と、第1室を真空排気する真空排気部と、第1室で試料を保持する試料保持部と、試料保持部に保持された試料に向けてイオンを射出して試料を加工するイオン源とを有する。イオン源は、第2室と、第2室に形成された孔部と、第2室でガスをイオン化してイオンを生成するイオン生成部と、第2室で生成されたイオンを、孔部を通して第2室から射出するイオン射出部とを有し、第2室は、孔部を介して第1室と連通している。イオン生成部は、第2室に設けられたアノードと、第2室に面して設けられ、電子を放出する第1カソードと、第2室にガスを供給するガス供給部と、第2室に磁場を発生させる磁場発生部とを含む。イオン生成部は、第1カソードにより放出された電子を、磁場発生部が発生した磁場により旋回させて、ガス供給部により供給されたガスに衝突させることで、第2室でイオンを生成するものである。そして、第1カソードの表面のうち第2室に面した第1領域に、凹凸が形成されている。

発明の効果

[0015] 代表的な実施の形態によれば、イオン源およびイオンミリング装置において、イオン源としてのイオンガンの内部で異常放電が発生することなく、長時間にわたって正常に動作させることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]実施の形態1のイオンミリング装置の全体構成図である。

[図2]実施の形態1のイオンガンの構成を示す断面図である。

[図3]実施の形態1におけるカソードを示す平面図である。

[図4]実施の形態1におけるカソードを示す断面図である。

[図5]実施の形態1の第1変形例におけるカソードを示す平面図である。

[図6]実施の形態1の第1変形例におけるカソードを示す断面図である。

[図7]実施の形態1の第2変形例におけるカソードを示す平面図である。

[図8]実施の形態1の第2変形例におけるカソードを示す断面図である。

[図9]比較例1のイオンガンの構成を示す断面図である。

[図10]比較例2のイオンガンの構成を示す断面図である。

[図11]比較例1および比較例2のイオンガンにおけるミリング積算時間と放電電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。

[図12]比較例1および比較例2のイオンガンにおけるミリング積算時間とイオンビーム電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。

[図13]実施例1および比較例1のイオンガンにおけるミリング積算時間と放電電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。

[図14]実施例1および比較例1のイオンガンにおけるミリング積算時間とイオンビーム電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。

[図15]実施例1および比較例1のイオンガンにおける端面からの距離と、堆積膜の成長速度との関係の一例を示すグラフである。

[図16]実施の形態2におけるカソードを示す平面図である。

[図17]実施の形態2におけるカソードの本体部を示す断面図である。

[図18]実施の形態2におけるカソードの取付部を示す断面図である。

[図19]実施の形態2の第1変形例におけるカソードを示す平面図である。

[図20]実施の形態2の第1変形例におけるカソードの本体部を示す断面図である。

[図21]実施の形態2の第1変形例におけるカソードの取付部を示す断面図である。

[図22]実施の形態3におけるカソードを示す平面図である。

[図23]実施の形態3におけるカソードを示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下の実施の形態においては便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

[0018] また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。

[0019] さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことはいうまでもない。同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうでないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

[0020] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、以下の実施の形態では、特に必要なとき以外は同一または同様な部分の説明を原則として繰り返さない。

[0021] さらに、実施の形態で用いる図面においては、断面図であっても図面を見やすくするためにハッチングを省略する場合もある。また、平面図であっても図面を見やすくするためにハッチングを付す場合もある。

[0022] また、以下の実施の形態において、A～Bとして範囲を示す場合には、特に明示した場合を除き、A以上B以下を示すものとする。

[0023] なお、以下に説明する各実施の形態では、イオン源を、イオンビーム加工

装置としてのイオンミリング装置のイオン源に適用した場合を例に挙げて説明を行う。しかし、各実施の形態のイオン源は、イオンミリング装置のみならず、イオンビームを試料に照射し、二次的に発生した二次電子や反射電子を検出するSIM (Scanning Ion Microscope) またはイオンビームを使用したイオン顕微鏡など、他の各種のイオンビーム照射装置に適用可能である。また、以下に説明する各実施の形態は、本発明の要旨を逸脱しない範囲で適宜組み合わせることが可能である。

[0024] (実施の形態1)

＜イオンミリング装置の構成＞

図1は、実施の形態1のイオンミリング装置の全体構成図である。

[0025] 図1に示すように、イオンミリング装置は、真空チャンバーVCと、真空排気系VPと、試料保持部SPと、イオンガンIGとを有する。

[0026] 真空チャンバーVCは、気密に設けられており、内部で試料をミリング、すなわち加工する加工室である。真空排気系VPは、真空チャンバーVCの内部を真空排気する真空排気部である。真空チャンバーVCの内部の圧力は、真空排気系VPによって大気圧または真空中に制御される。

[0027] 試料保持部SPは、真空チャンバーVCの内部で試料6を保持する。試料保持部SPは、試料台7、試料ステージ8および試料ステージ駆動部9を含む。試料6は、試料台7の上に保持され、試料台7は、試料ステージ8に保持されている。試料ステージ8は、真空チャンバーVCが大気開放されたときに真空チャンバーVCの外へ引き出すことができるように構成されており、また試料6をイオンビームIBの光軸に対して任意の角度に傾斜させることができるように構成されている。試料ステージ駆動部9は、試料ステージ8を左右へスイングすることができ、その速度を制御することができる。

[0028] イオンガンIGは、イオンガンIGの内部でイオンを生成し、生成されたイオンを、試料保持部SPに保持された試料6に向けて射出し、射出されたイオンからなるイオンビームIBを試料6に照射し、試料6を加工するイオン源である。このイオンビームIBの照射とその電流密度は、イオンガン制

御部G Cによって制御される。

[0029] <イオンガンの構成>

図2は、実施の形態1のイオンガンの構成を示す断面図である。

[0030] 図2に示すように、イオンガン1 Gは、イオン化室1 Cと、イオン生成部G Pと、イオン射出部1 Pとを有する。イオン生成部G Pは、イオン化室1 Cでガスをイオン化してイオンを生成する。イオン射出部1 Pは、イオン化室1 Cで生成されたイオンを、イオン化室1 Cに形成された孔部を通してイオン化室1 Cから射出する。

[0031] イオンガン1 Gは、ガス供給機構1 Oと、カソード1 1と、カソード1 2と、アノード1 3と、永久磁石1 4と、加速電極1 5と、インシュレータ1 6と、ベース1 7とを含む。また、イオンガン1 Gは、放電電源2 1と、加速電源2 2とを含む。このうち、ガス供給機構1 O、カソード1 1、カソード1 2、アノード1 3および永久磁石1 4は、イオン生成部G Pを構成する。一方、加速電極1 5は、イオン射出部1 Pを構成する。

[0032] ガス供給機構1 Oは、イオン化室1 Cにガスを供給するガス供給部である。カソード1 1は、イオン化室1 Cの内部に面して設けられており、アノード1 3に対して負の電圧が印加され、電子を放出する。カソード1 2は、イオン化室1 Cの内部に面して設けられており、アノード1 3に対して負の電圧が印加され、電子を放出する。アノード1 3は、イオン化室1 Cの内部に設けられており、カソード1 1およびカソード1 2に対して正の電圧が印加される。永久磁石1 4は、イオン化室1 Cの内部に磁場を発生させる磁場発生部である。カソード1 1、カソード1 2、アノード1 3、永久磁石1 4、加速電極1 5およびインシュレータ1 6は、ベース1 7に固定されている。

[0033] カソード1 1は、例えば純鉄など導電性のある磁性材料からなり、かつ、円盤状に形成されている。すなわち、カソード1 1は、磁性導電体からなり、かつ、円板状に形成されている。カソード1 1は、ベース1 7に例えばネジ止めされることで、固定されている。カソード1 1には、カソード1 1を貫通する孔1 8が形成されている。孔1 8は、イオン化室1 Cに例えばアル

ゴンガスなどのガスを導入するためのものである。また、カソード１１の形状は、円板状に限定されない。したがって、カソード１１は、板状に形成されていてもよい。

[0034] 本実施の形態１では、カソード１１の表面のうちイオン化室１Ｃの内部に面した領域４０に凹凸１Ｒが形成されている。なお、カソード１１の具体的な構造については、後述する。

[0035] カソード１２は、例えば純鉄など導電性のある磁性材料からなり、かつ、円盤状に形成されている。すなわち、カソード１２は、磁性導電体からなり、かつ、円板状に形成されている。カソード１２の中央部には、イオンビームを通過させるためのイオンビーム通過孔３１が形成されている。また、カソード１２の形状は、円板状に限定されない。したがって、カソード１２は、板状に形成されていてもよい。

[0036] 永久磁石１４は、例えばネオジム磁石など、強磁性金属を含めた導電性を有する強磁性材料からなり、かつ、図２のＺ軸方向に延びる円筒状に形成されている。カソード１１は、永久磁石１４のＺ軸方向の一端、すなわち一方の端部に磁力により吸着されており、永久磁石１４の一端は、カソード１１に繋がっている。また、カソード１２は、永久磁石１４のＺ軸方向の他端、すなわち他方の端部に磁力により吸着されており、カソード１２は、永久磁石１４の他端に繋がっている。そして、カソード１１、カソード１２および永久磁石１４は、互いに電氣的に接続されるので、カソード１１、カソード１２および永久磁石１４は、互いに等電位に保たれる。

[0037] 永久磁石１４、カソード１１およびカソード１２により、イオン化室１Ｃが区画されており、イオンビーム通過孔３１は、イオン化室１Ｃに形成された孔部である。このとき、永久磁石１４は、イオン化室１Ｃの内部に磁場を発生させる。また、カソード１１およびカソード１２は、磁路を形成しているので、カソード１１およびカソード１２により、イオン化室１Ｃの内部に発生する磁場を強めることができる。

[0038] なお、永久磁石１４に代え、電磁石などを用いることもできる。また、永

久磁石 14 の形状は、円筒状に限定されない。したがって、永久磁石 14 は、筒状に形成されていてもよい。

[0039] インシュレータ 16 は、図 2 の Z 軸方向に延びる円筒状に形成されている。インシュレータ 16 は、永久磁石 14 の内側に配置されており、インシュレータ 16 の外周面は、永久磁石 14 の内周面に接触している。インシュレータ 16 は、例えばセラミックスなどの電気絶縁性を有する非磁性材料で形成されている。

[0040] アノード 13 は、筒状部 13 a および底部 13 b を含み、例えばアルミニウムなど導電性を有する非磁性材料からなる。すなわち、アノード 13 は、非磁性導電体からなる。筒状部 13 a は、図 2 の Z 軸方向に延びる円筒状に形成されており、インシュレータ 16 の内側に嵌め込まれている。筒状部 13 a の外周面は、インシュレータ 16 の内周面に接触しており、筒状部 13 a の内周面は、イオン化室 1 C の内部に面している。底部 13 b は、筒状部 13 a のベース 17 と反対側に形成されており、底部 13 b の中央部には、イオンビーム通過孔 32 が設けられている。アノード 13 は、インシュレータ 16 により、カソード 11、カソード 12 および永久磁石 14 に対して電氣的に絶縁されている。また、アノード 13 の形状は、円筒状に限定されない。したがって、アノード 13 は、筒状に形成されていてもよい。

[0041] 加速電極 15 は、イオンビーム通過孔 31 を挟んでイオン化室 1 C の内部と反対側に設けられている。加速電極 15 は、筒状部 15 a および底部 15 b を含み、例えばステンレスなどの導電性を有する非磁性材料からなる。筒状部 15 a は、図 2 の Z 軸方向に延び、イオン化室 1 C を囲む円筒状に形成されており、Z 軸方向の一方の端部が、ベース 17 に固定されている。底部 15 b は、筒状部 15 a のベース 17 と反対側に形成されており、底部 15 b の中央部には、イオンビーム通過孔 33 が設けられている。加速電極 15 は、カソード 11 とカソード 12 と永久磁石 14 とを囲むように、ベース 17 の周辺部に固定されており、接地電位に保たれている。また、加速電極 15 の形状は、円筒状に限定されない。したがって、加速電極 15 は、筒状に

形成されていてもよい。

[0042] なお、イオン化室 1 C は、カソード 1 2 に形成されたイオンビーム通過孔 3 1、および、加速電極 1 5 に形成されたイオンビーム通過孔 3 3 を介して、加工室としての真空チャンバー V C（図 1 参照）と連通している。

[0043] ベース 1 7 には、当該ベース 1 7 を貫通し、カソード 1 1 を貫通する孔 1 8 と連通する孔 1 9 が形成されている。ガス供給機構 1 0 は、孔 1 9 および孔 1 8 を通してイオン化室 1 C にガスを導入できるように、ベース 1 7 に接続されている。ガス供給機構 1 0 は、イオン化室 1 C に供給するガスの流量を調整する。

[0044] 放電電源 2 1 の一方の端子は、カソード 1 1 およびカソード 1 2 と電氣的に接続されており、放電電源 2 1 の他方の端子は、アノード 1 3 と電氣的に接続されており、カソード 1 1 およびカソード 1 2 と、アノード 1 3 との間には、放電電源 2 1 により放電電圧が印加される。加速電源 2 2 の一方の端子は、カソード 1 1 およびカソード 1 2 と電氣的に接続されており、加速電源 2 2 の他方の端子は、加速電極 1 5 と電氣的に接続されており、カソード 1 1 およびカソード 1 2 と、加速電極 1 5 との間には、加速電源 2 2 により加速電圧が印加される。また、放電電源 2 1 および加速電源 2 2 は、イオンガン制御部 G C に接続されており、イオンガン制御部 G C は、放電電源 2 1 の放電電圧、および、加速電源 2 2 の加速電圧を制御している。

[0045] 次に、イオン生成部 G P によりイオン化室 1 C の内部でガスをイオン化してイオンを生成する方法について説明する。なお、以下では、イオン化されるガスがアルゴンガスである場合について説明するが、本実施の形態 1 のイオン源によりイオン化されるガスはアルゴンガスに限定されない。

[0046] 前述したように、ベース 1 7 およびカソード 1 1 には、孔 1 9 および孔 1 8 が形成されており、ガス供給機構 1 0 からのアルゴンガスは、孔 1 9 および孔 1 8 を通ってイオン化室 1 C に供給される。

[0047] イオン化室 1 C に供給されたアルゴンガスの分圧が適切な分圧を維持するように制御した状態で、アノード 1 3 に対してカソード 1 1 およびカソード

12に負の電圧が印加されるように、カソード11およびカソード12と、アノード13との間に、放電電源21により0～4kV程度の放電電圧を印加する。また、前述したように、カソード11、カソード12および永久磁石14は、互いに電氣的に接続されるので、カソード11、カソード12および永久磁石14は、互いに等電位に保たれる。これにより、カソード11により放出された電子を、ガス供給機構10により供給されたガスに衝突させることで、イオン化室1Cでグロー放電させてアルゴンイオンを生成する。

[0048] 本実施の形態1では、好適には、カソード11により放出された電子を、永久磁石14が発生した磁場により回転、すなわち旋回させて、ガス供給機構10により供給されたガスに衝突させることで、イオン化室1Cでグロー放電させて陽イオンであるアルゴンイオンを生成する。このように、電子を磁場により回転させることで、電子が移動するパス、すなわち移動距離が長くなり、ガスに衝突しやすくなるので、放電効率を増加させることができる。

[0049] さらに、イオン化室1Cに陽イオンであるアルゴンイオンが生成されている状態で、カソード11およびカソード12に対して加速電極15に負の電圧が印加されるように、カソード11およびカソード12と加速電極15との間に、加速電源22により0～10kV程度の加速電圧を印加する。これにより、イオン化室1Cで生成されたアルゴンイオンの一部は、カソード12のイオンビーム通過孔31を通り、加速電極15により加速されてイオンビーム通過孔33からイオンビーム1B（図1参照）として射出される。すなわち、イオン化室1Cで生成された陽イオンであるアルゴンイオンを、イオン化室1Cの内部からイオンビーム通過孔31を通してイオン化室1Cの外部、つまり真空チャンバーVC（図1参照）の内部に射出する。これにより、図1に示すように、陽イオンからなるイオンビーム1Bが試料6に照射され、試料6が加工される。

[0050] 一方、イオン化室1Cで発生した陽イオンであるアルゴンイオンの一部は

、イオン化室 1 C の内部に面したカソード 1 1 に向けて加速され、カソード 1 1 の表面のうちイオン化室 1 C の内部に面した領域に衝突する。このイオンの衝突により、カソード 1 1 の表面はスパッタされ、カソード 1 1 の表面から放出されたスパッタ粒子のほとんどは、アノード 1 3 の表面に堆積する。

[0051] 本実施の形態 1 では、カソード 1 1 の表面のうちイオン化室 1 C の内部に面した領域 4 0 に、凹凸 1 R が形成されている。これにより、凹凸 1 R の底部に陽イオンが照射される照射角度が、カソード 1 1 の表面に対して垂直な方向を中心とする狭い範囲に制限されることでスパッタ収率が低減する。また、凹凸 1 R の底部から放出されたスパッタ粒子が凹凸 1 R の内部に再付着する。さらに、凹凸 1 R から放出されたスパッタ粒子が散乱される。これらの理由により、本実施の形態 1 では、スパッタ粒子がアノード 1 3 の内周面へ堆積する量を低減することができる。したがって、イオンガンおよびイオンミリング装置において、イオンガンで異常放電が発生することなく、長時間にわたって正常に動作させることができる。

[0052] <カソードの構成>

次に、カソードの具体的な構成について説明する。図 3 は、実施の形態 1 におけるカソードを示す平面図であり、図 4 は、実施の形態 1 におけるカソードを示す断面図である。図 4 は、図 3 の A-A 線に沿った断面図である。

[0053] 図 3 および図 4 に示すように、カソード 1 1 は、表面 1 1 a および裏面 1 1 b を有し、円盤状に形成されている。また、カソード 1 1 には、カソード 1 1 をベース 1 7 にネジで固定するためのネジ固定用孔 4 9 が形成されている。カソード 1 1 は、導電性のある磁性材料、すなわち磁性導電体からなる。

[0054] なお、表面 1 1 a および裏面 1 1 b については、カソード 1 1 がイオン化室 1 C に面する側を表面 1 1 a とし、表面 1 1 a と反対側を裏面 1 1 b とする。

[0055] 本実施の形態 1 では、カソード 1 1 の表面 1 1 a のうちイオン化室 1 C の

内部に面した領域40に形成された凹凸IRは、カソード11の表面11aのうちイオン化室ICの内部に面した領域40に形成された複数の穴部としての穴41からなる。複数の穴41の各々の深さとして、好適には、1mm以上とすることができる。穴41の深さが1mm未満の場合、例えばカソード11を通常の運用において1000時間程度の積算時間の間使用したときに、カソード11の表面11aがスパッタされて削られて穴41が消失するおそれがある。一方、穴41がカソード11を貫通しなければよいので、穴41の深さとしては、カソード11の厚さ未満とすることができる。

[0056] 具体的には、カソード11の表面11aのうちイオン化室ICの内部に面した領域40として、例えばカソード11の中心部における5.6mmφの直径を有する領域40に、凹凸IRとして、0.4mmの直径および1mmの深さを有する穴41を、31個形成することができる。領域40の面積に対して穴41が占める面積の比率は、約20%である。

[0057] 本実施の形態1では、穴41として、平面視において、円形状の穴を形成しているが、穴41としては、カソード11の表面11aに凹凸を形成するものであれば円形状の穴に限定されるものではなく、平面視において、多角形状の穴を形成してもよい。ただし、容易に製造することができるという観点から、穴41として、図3に示すように、平面視において、円形状の穴を形成することが好ましい。

[0058] なお、平面視においてとは、穴41が形成されているカソード11の表面11aに垂直な方向から穴41を視た場合を意味し、カソード11の表面11aに平行な方向を図2におけるX軸方向とするとき、カソード11の表面11aに垂直な方向とは、図2におけるZ軸方向を意味する。

[0059] 好適には、領域40は、Z軸方向（図2参照）から視たときに、円筒状のアノード13の内周面に囲まれた円状の領域40aに内包された円状の領域である。円筒状のアノード13の直上の領域である領域40aにおいてカソード11の表面11aにアルゴンイオンが衝突する量は、領域40a以外の領域においてカソード11の表面11aにアルゴンイオンが衝突する量に比

べ、多い。したがって、円筒状のアノード 13 の内周面に囲まれた領域 40 a に内包された領域 40 において、カソード 11 の表面 11 a に、穴 41 からなる凹凸 I R を形成することにより、スパッタ粒子がアノード 13 の内周面へ堆積する量を低減する効果をより大きくすることができる。

[0060] なお、アノード 13 が筒状ではあるが円筒状ではなく、筒状のアノード 13 が延びる方向がカソード 11 の表面に垂直でない場合には、領域 40 は、好適には、筒状のアノード 13 が延びる方向から視たときに、筒状のアノード 13 の内周面に囲まれた領域 40 a に内包されている。

[0061] さらに好適には、円状の領域 40 が、円状の領域 40 a の中心の位置と同一の位置を中心とする領域である場合には、アノード 13 の内径、すなわち円状の領域 40 a の直径を直径 d_a とし、円状の領域 40 の直径を直径 d_c としたとき、直径 d_a および直径 d_c は、下記式 (1)

$$d_c \geq 0.7 d_a \quad \text{式 (1)}$$

の条件を満たしている。具体的には、例えば領域 40 a の直径 d_a が 100 mm である場合、領域 40 の直径 d_c を 70 mm 以上 100 mm 未満とすることができる。

[0062] Z 軸方向 (図 2 参照) から視たときに、式 (1) の条件を満たす円状の領域 40 は、円状の領域 40 a の中心部である。円状の領域 40 a の中心部である円状の領域 40 においてカソード 11 の表面 11 a にアルゴンイオンが衝突する量は、領域 40 a 以外の領域においてカソード 11 の表面 11 a にアルゴンイオンが衝突する量に比べ、極めて多い。したがって、円筒状のアノード 13 の内周面に囲まれた領域 40 a に内包された領域 40 において、カソード 11 の表面 11 a に、穴 41 からなる凹凸 I R を形成することにより、スパッタ粒子がアノード 13 の内周面へ堆積する量を低減する効果をさらに大きくすることができる。

[0063] 式 (1) の条件を満たさない場合、すなわち直径 d_c が直径 d_a の 0.7 倍未満の場合、領域 40 a の内部であって領域 40 の外部の領域においてカソード 11 の表面にアルゴンイオンが衝突する量が多くなる。したがって、

スパッタ収率が低減する効果、スパッタ粒子が凹凸 I R の内部に再付着する効果、および、スパッタ粒子が散乱される効果が小さくなるおそれがある。一方、式 (1) の条件を満たす場合、スパッタ収率が低減する効果、スパッタ粒子が凹凸 I R の内部に再付着する効果、または、スパッタ粒子が散乱される効果が大きくなるので、スパッタ粒子がアノード 13 の内周面へ堆積する量を低減することができる。

[0064] なお、円状の領域 40 が、円状の領域 40 a の中心と同一の位置を中心とする領域でなくても、円状の領域 40 a の中心付近の位置を中心とする領域である場合には、式 (1) を満たすことにより、同様の効果を得ることができる。

[0065] <カソードの第 1 変形例>

図 5 は、実施の形態 1 の第 1 変形例におけるカソードを示す平面図であり、図 6 は、実施の形態 1 の第 1 変形例におけるカソードを示す断面図である。図 6 は、図 5 の A-A 線に沿った断面図である。

[0066] 図 5 および図 6 に示すように、カソード 51 は、表面 51 a および裏面 51 b を有し、導電性のある磁性材料として純鉄により円盤状に形成されている。また、カソード 51 には、カソード 51 をベース 17 に固定するためのネジ固定用孔 49 が設けられている。

[0067] 本第 1 変形例では、凹凸 I R として、カソード 51 の表面 51 a のうちイオン化室 I C の内部に面した領域 40 に、カソード 51 の表面 51 a が粗面化された凹凸 42 が形成されている。カソード 51 の表面 51 a が粗面化された凹凸 42 の平均粗さは、 $50\mu\text{m}$ 以上である。ここで、平均粗さは、算術平均粗さ R_a を意味する。凹凸 42 の平均粗さが $50\mu\text{m}$ 未満の場合、凹凸 42 の粗さが小さくなりすぎて、スパッタ収率が低減する効果、スパッタ粒子が凹凸 I R の内部に再付着する効果、および、スパッタ粒子が散乱される効果が小さくなるおそれがある。したがって、凹凸 42 の平均粗さを $50\mu\text{m}$ 以上とすることで、スパッタ収率が低減する効果、スパッタ粒子が凹凸 I R の内部に再付着する効果、または、スパッタ粒子が散乱される効果が

きくなるので、スパッタ粒子がアノード 13 の内周面へ堆積する量を低減することができる。

[0068] 本第 1 変形例でも、実施の形態 1 と同様に、好適には、領域 40 は、Z 軸方向（図 2 参照）から視たときに、円筒状のアノード 13 の内周面に囲まれた円状の領域 40 a に内包された円状の領域である。これにより、実施の形態 1 と同様に、スパッタ粒子がアノード 13 の内周面へ堆積する量を低減する効果をより大きくすることができる。

[0069] また、本第 1 変形例でも、実施の形態 1 と同様に、さらに好適には、領域 40 a の直径 d_a と、領域 40 の直径 d_c とが上記式（1）を満たしている。具体的には、例えば領域 40 a の直径 d_a が 100 mm である場合、領域 40 の直径 d_c を 70 mm 以上 100 mm 未満とすることができる。これにより、実施の形態 1 と同様に、スパッタ粒子がアノード 13 の内周面へ堆積する量を低減する効果をさらに大きくすることができる。

[0070] 一方、本第 1 変形例では、カソード 51 の表面 51 a を粗面化するものであり、複数の穴 41（図 3 および図 4 参照）を形成する場合よりも製造が容易であるため、実施の形態 1 に比べ、製造コストを低減することができる。なお、カソード 51 の表面 51 a の全面が粗面化されていてもよい。

[0071] <カソードの第 2 変形例>

図 7 は、実施の形態 1 の第 2 変形例におけるカソードを示す平面図であり、図 8 は、実施の形態 1 の第 2 変形例におけるカソードを示す断面図である。図 8 は、図 7 の A-A 線に沿った断面図である。

[0072] 図 7 および図 8 に示すように、カソード 61 は、表面 61 a および裏面 61 b を有し、導電性のある磁性材料として純鉄により円盤状に形成されている。また、カソード 61 には、カソード 61 をベース 17 に固定するためのネジ固定用孔 49 が設けられている。

[0073] 本第 2 変形例では、カソード 61 の表面 61 a のうちイオン化室 1C の内部に面した領域 40 に形成された凹凸 1R は、カソード 61 の表面 61 a のうちイオン化室 1C の内部に面した領域 40 に形成された複数の溝部として

の溝43からなる。複数の溝43は、表面61aに垂直な方向、すなわちZ軸方向（図2参照）から視たときに、円周状に形成されている。また、好適には、複数の溝43は、Z軸方向（図2参照）から視たときに、同心円状に形成されている。溝43の深さとして、好適には、1mm以上とすることができる。溝43の深さが1mm未満の場合、例えばカソード61を通常の運用において1000時間程度の積算時間の間使用したときに、カソード61の表面61aがスパッタされて削られて溝43が消失するおそれがある。一方、溝43がカソード61を貫通しなければよいので、溝43の深さとしては、カソード61の厚さ未満とすることができる。

[0074] 具体的には、カソード61の表面61aのうちイオン化室1Cの内部に面した領域40として、例えばカソード61の中心部における5.6mmφの直径を有する領域40に、凹凸1Rとして、0.4mmの幅および1mmの深さを有する円周状の溝43を、形成することができる。

[0075] 本第2変形例でも、実施の形態1と同様に、好適には、領域40は、Z軸方向（図2参照）から視たときに、円筒状のアノード13の内周面に囲まれた円状の領域40aに内包された円状の領域である。これにより、実施の形態1と同様に、スパッタ粒子がアノード13の内周面へ堆積する量を低減する効果をより大きくすることができる。

[0076] また、本第2変形例でも、実施の形態1と同様に、さらに好適には、領域40aの直径 d_a と、領域40の直径 d_c とが上記式(1)を満たしている。具体的には、例えば領域40aの直径 d_a が100mmである場合、領域40の直径 d_c を70mm以上100mm未満とすることができる。これにより、実施の形態1と同様に、スパッタ粒子がアノード13の内周面へ堆積する量を低減する効果をさらに大きくすることができる。

[0077] 一方、本第2変形例では、円周状の溝43を形成するものであり、複数の穴41（図3および図4参照）を形成する場合よりも製造が容易であるため、実施の形態1に比べ、製造コストを低減することができる。

[0078] <放電電流およびイオンビーム電極の経時変化について>

図9は、比較例1のイオンガンの構成を示す断面図である。比較例1におけるイオンガン100も、実施の形態1におけるイオンガン1Gと同様に、ガス供給機構10と、カソード111と、カソード12と、アノード13と、永久磁石14と、加速電極15と、インシュレータ16と、ベース17とを含む。また、イオンガン100は、放電電源21と、加速電源22とを含む。このうち、ガス供給機構10、カソード111、カソード12、アノード13および永久磁石14は、イオン生成部GPを構成する。一方、加速電極15は、イオン射出部IPを構成する。また、カソード111、カソード12および永久磁石14は、イオン化室ICを区画する。

[0079] 比較例1のイオンガン100は、カソード111の表面に凹凸IR（図2参照）が形成されていない点を除き、実施の形態1のイオンガン1Gと同様である。

[0080] 比較例1では、実施の形態1と同様に、カソード111により放出された電子を、永久磁石14が発生した磁場により回転、すなわち旋回させて、ガス供給機構10により供給されたガスに衝突させることで、イオン化室ICでグロー放電させて陽イオンであるアルゴンイオンを生成する。また、イオン化室ICで生成されたアルゴンイオンの一部は、カソード12のイオンビーム通過孔31を通り、加速電極15により加速されてイオンビーム通過孔33からイオンビームIB（図1参照）として射出される。

[0081] このとき、イオン化室ICで発生した陽イオンであるアルゴンイオンの一部は、イオンガン100の内部のカソード111に向けて加速され、カソード111の表面のうちイオン化室ICの内部に面した領域に衝突する。このイオンの衝突により、カソード111の表面はスパッタされ、カソード111の表面から放出されたスパッタ粒子のほとんどは、アノード13の表面に堆積する。

[0082] このとき、カソード111が純鉄などの磁性導電体からなる場合、スパッタ粒子も磁性導電体からなるので、アノード13の表面にスパッタ粒子が堆積した堆積膜は、永久磁石14により発生した磁場の方向に沿って針状に成

長する。また、カソード１１１とアノード１３との間には、放電電源２１により放電電圧が印加されている。そのため、カソード１１１と、アノード１３との間に、アノード１３上にスパッタ粒子が堆積した堆積膜を介して、異常放電が発生する。さらには異常放電によりカソード１１１とアノード１３との間に電圧を印加している電源回路が短絡し、カソード１１１とアノード１３との間に、所定の電圧が印加されなくなる。その結果、イオンミリングを行う時間を積算した積算時間の増加に伴って、カソード１１１から電子が放出される放出量が減少するか、または、０になり、イオンガン１００からイオンビームが射出されなくなる現象が発生する。

[0083] 図１０は、比較例２のイオンガンの構成を示す断面図である。比較例２におけるイオンガン１００も、実施の形態１におけるイオンガン１０と同様に、ガス供給機構１０と、カソード２１１と、カソード１２と、アノード１３と、永久磁石１４と、加速電極１５と、インシュレータ１６と、ベース１７とを含む。また、イオンガン１００は、放電電源２１と、加速電源２２とを含む。このうち、ガス供給機構１０、カソード２１１、カソード１２、アノード１３および永久磁石１４は、イオン生成部ＧＰを構成する。一方、加速電極１５は、イオン射出部ＩＰを構成する。また、カソード２１１、カソード１２および永久磁石１４は、イオン化室ＩＣを区画する。

[0084] 比較例２のイオンガン１００では、イオンミリングの積算時間の増加に伴って、イオンガンからイオンビームが射出されなくなる現象を回避するために、カソード２１１が、本体部２１１ａと、本体部２１１ａの表面に配置された導電性を有する非磁性材料、すなわち非磁性導電体からなる非磁性部２１１ｂとを含む。したがって、比較例２のイオンガン１００は、カソード２１１の表面が非磁性導電体からなる点を除き、比較例１のイオンガン１０と同様である。

[0085] 比較例２のイオンガン１００は、上記特許文献２に記載されたイオンガンとも同様の構造を有する。そして、このようなイオンガンの構造において、カソード２１１の表面から放出されたスパッタ粒子は、アノード１３の

表面に堆積はするものの、スパッタ粒子が非磁性導電体からなるため、磁場の方向に沿ってアノード１３の表面に針状に積層されることはない。

[0086] 図１１は、比較例１および比較例２のイオンガンにおけるミリング積算時間と放電電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。また、図１２は、比較例１および比較例２のイオンガンにおけるミリング積算時間とイオンビーム電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。放電電流は、イオンガンの安定度を示し、イオンビーム電流は、イオンビーム強度を示し、ともにイオンガンの状態を反映するパラメータである。放電電流の測定値として、例えば放電電源２１とアノード１３との間を流れる電流を測定した測定値とすることができる。イオンビーム電流の測定値として、例えばイオンガンと試料ステージ８との間にシャッタを配置したとき、シャッタに流れる電流を測定した測定値とすることができる。

[0087] 比較例１および比較例２では、カソード１１１、カソード２１１の本体部２１１ａおよびカソード１２を、磁性導電体としての純鉄からなるものとし、アノード１３を、非磁性導電体としてのアルミニウムからなるものとした。また、インシュレータ１６を、非磁性絶縁体としてのアルミナからなるものとし、加速電極１５を、非磁性導電体としてのステンレスからなるものとし、永久磁石１４を、磁性導電体としてのネオジム磁石からなるものとした。また比較例２では、カソード２１１の非磁性部２１１ｂとして、非磁性導電体としてのチタンからなるものとした。

[0088] 図１１および図１２に示すように、比較例１および比較例２では、イオン化室１Ｃで発生した陽イオンの一部が衝突してカソード１１１および非磁性部２１１ｂの表面がスパッタされて放出された粒子がアノード１３の表面に堆積することにより、放電電流値およびイオンビーム電流値はミリング積算時間の経過に伴って低下する。また、ミリング積算時間が等しい場合、比較例２における放電電流およびイオンビーム電流のミリング開始時からの変化量、すなわち低下量は、それぞれ比較例１における放電電流およびイオンビーム電流の低下量よりも大きい。

[0089] これは、比較例 2 では、イオン化室 1 C で発生した陽イオンの一部がカソード 2 1 1 の本体部 2 1 1 a の表面に配置された非磁性部 2 1 1 b に衝突し、このイオンの衝突により非磁性部 2 1 1 b の表面がスパッタされて放出された粒子が、主成分として TiO_x を含むことが影響している。 TiO_x は電気絶縁性を有する材料、すなわち絶縁体からなるため、 TiO_x が堆積して形成された絶縁膜によりアノード 1 3 の表面が被覆されることとなり、アノード 1 3 の電極としての機能が低下する。

[0090] したがって、比較例 1 では、ミリング積算時間の経過に伴って、イオンガンの内部で異常放電が発生しやすくなり、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができない。また、比較例 2 では、ミリング積算時間の経過に伴って、アノードの表面が絶縁膜に被覆され、アノードの電極としての機能が低下するので、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができない。

[0091] <本実施の形態の主要な特徴と効果>

図 1 3 は、実施例 1 および比較例 1 のイオンガンにおけるミリング積算時間と放電電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。図 1 4 は、実施例 1 および比較例 1 のイオンガンにおけるミリング積算時間とイオンビーム電流の変化量との関係の一例を示すグラフである。

[0092] 図 1 3 および図 1 4 に示す実施例 1 は、本実施の形態 1 の実施例である（後述する図 1 5 においても同様）。実施例 1 では、カソード 1 1 およびカソード 1 2 を、磁性導電体としての純鉄からなるものとし、アノード 1 3 を、非磁性導電体としてのアルミニウムからなるものとした。また、インシュレータ 1 6 を、非磁性絶縁体としてのアルミナからなるものとし、加速電極 1 5 を、非磁性導電体としてのステンレスからなるものとし、永久磁石 1 4 を、磁性導電体としてのネオジム磁石からなるものとした。

[0093] 図 1 3 および図 1 4 に示すように、ミリング積算時間が 3 0 0 時間である場合、実施例 1 における放電電流およびイオンビーム電流のミリング開始時からの変化量、すなわち低下量は、比較例 1 における放電電流およびイオン

ビーム電流のミリング開始時からの低下量に対し、50%程度に低減される。

[0094] これは、凹凸1Rの底部に陽イオンが照射される照射角度が、カソード11の表面11aに対して垂直な方向を中心とする狭い範囲に制限されることでスパッタ収率が低減したため、スパッタ粒子がアノード13の内周面へ堆積する量を低減できたものと考えられる。また、凹凸1Rの底部から放出されたスパッタ粒子が凹凸1Rの内部に再付着したため、スパッタ粒子がアノード13の内周面へ堆積する量を低減できたものと考えられる。さらに、凹凸1Rから放出されたスパッタ粒子が散乱されたため、スパッタ粒子がアノード13の内周面へ堆積する量を低減することができたものと考えられる。したがって、本実施の形態1では、イオンガンの内部で異常放電が発生することなく、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができる。

[0095] カソード11の表面11aのうちイオン化室1Cの内部に面した領域40に、凹凸1Rが形成されたことで、スパッタ粒子のアノード13の内周面へ堆積する量を低減できることについては、図15を用いて説明することができる。図15は、実施例1および比較例1のイオンガンにおける端面からの距離と、堆積膜の成長速度との関係の一例を示すグラフである。図15において、横軸の端面からの距離とは、アノード13のカソード11側の端面からのZ軸方向（図2参照）の距離を意味し、縦軸の堆積膜の成長速度とは、アノード13の内周面に堆積される堆積膜の成長速度を意味する。

[0096] 図15に示すように、実施例1における堆積膜の成長速度は、端面からの距離が1mm程度の位置、すなわちカソード11側の位置で、比較例1における堆積膜の成長速度の80%程度に低減される。また、実施例1における堆積膜の成長速度は、端面からの距離が6mm程度の位置、すなわちカソード12側の位置で、比較例1における堆積膜の成長速度の50%程度に低減される。すなわち、カソード11の表面11aのうちイオン化室1Cの内部に面した領域40に、凹凸1Rが形成されたことで、カソード11の表面11aから放出されるスパッタ粒子の放出量が低減でき、スパッタ粒子がアノ

ード13の内周面へ堆積する量を低減することができたものと考えられる。

[0097] 以上述べたように、本実施の形態1では、カソード11の表面のうちイオン化室1Cの内部に面した領域40に、凹凸1Rが形成されている。これにより、凹凸1Rの底部に陽イオンが照射される照射角度が、カソード11の表面に対して垂直な方向を中心とする狭い範囲に制限されることでスパッタ収率が低減する。また、凹凸1Rの底部から放出されたスパッタ粒子が凹凸1Rの内部に再付着する。さらに、凹凸1Rから放出されたスパッタ粒子が散乱される。これらの理由により、本実施の形態1では、スパッタ粒子がアノード13の内周面へ堆積する量を低減することができる。したがって、イオンガンおよびイオンミリング装置において、イオンガンの内部で異常放電が発生することなく、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができる。

[0098] (実施の形態2)

実施の形態1では、カソード11は、一体に形成されており、一体に形成されたカソード11の表面11aに凹凸1Rが形成されていた(図3および図4参照)。一方、実施の形態2では、カソード71の本体部71cに、取付部71fが着脱可能に取り付けられており、取付部71fの表面71dに凹凸1Rが形成されている(後述する図16～図18参照)。

[0099] 実施の形態2のイオンミリング装置およびイオンガンのうちカソード71以外の部分については、実施の形態1と同様にすることができると、その説明を省略する。

[0100] <カソードの構成>

図16は、実施の形態2におけるカソードを示す平面図であり、図17は、実施の形態2におけるカソードの本体部を示す断面図であり、図18は、実施の形態2におけるカソードの取付部を示す断面図である。図17および図18は、図16のA-A線に沿った断面図である。

[0101] 図16～図18に示すように、カソード71は、表面71aおよび裏面71bを有する本体部71cと、表面71dおよび裏面71eを有する取付部

7 1 f とを含む。本体部 7 1 c は、円盤状に形成されており、本体部 7 1 c には、本体部 7 1 c をベース 1 7 にネジで固定するためのネジ固定用孔 4 9 が形成されている。本体部 7 1 c は、導電性のある磁性材料、すなわち磁性導電体からなる。

[0102] 本体部 7 1 c の中央部には、開口部としての孔 7 5 が形成されている。孔 7 5 は、例えば本体部 7 1 c の表面 7 1 a 側の開口面積が、裏面 7 1 b 側の開口面積よりも小さくなるように、本体部 7 1 c の厚さ方向の途中に段差を有する。

[0103] 取付部 7 1 f は、孔 7 5 に着脱可能に取り付けられており、表面 7 1 d の面積が、裏面 7 1 e の面積よりも小さくなるように、取付部 7 1 f の厚さ方向の途中に段差を有し、孔 7 5 に対応した形状を有する。取付部 7 1 f は、導電性のある磁性材料、すなわち磁性導電体からなる。

[0104] このような取付部 7 1 f は、本体部 7 1 c の裏面 7 1 b 側から孔 7 5 に嵌め込まれることで、孔 7 5 に取り付けられ、孔 7 5 に取付部 7 1 f が取り付けられた本体部 7 1 c が、ベース 1 7 に例えばネジ止めされることで、固定されている。

[0105] 本実施の形態 2 では、本体部 7 1 c はイオン化室 1 C の内部に面しており、本体部 7 1 c の表面 7 1 a のうちイオン化室 1 C の内部に面した領域 4 0 に孔 7 5 が形成されており、孔 7 5 に取り付けられた取付部 7 1 f は、イオン化室 1 C の内部に面している。また、本実施の形態 2 では、孔 7 5 に取り付けられた取付部 7 1 f の表面 7 1 d に、複数の穴 4 1 が形成されている。すなわち、本実施の形態 2 では、取付部 7 1 f の表面 7 1 d に形成される凹凸 1 R は、複数の穴 4 1 からなる。具体的には、例えばカソード 7 1 の中心部における 5.6 mm ϕ の直径を有する領域 4 0 に、孔 7 5 を形成し、孔 7 5 に取り付けられた取付部 7 1 f の表面 7 1 d に、凹凸 1 R として、0.4 mm の直径および 1 mm の深さを有する穴 4 1 を、31 個形成することができる。これにより、カソード 7 1 を、実施の形態 1 のカソード 1 1 と同様のカソードとして機能させることができる。

[0106] なお、図16～図18では、領域40の形状と、孔75の表面71a側の内周および取付部71fの表面71dの外周の形状とが、一致している場合を示す。しかし、領域40の形状と、孔75の表面71a側の内周および取付部71fの表面71dの外周の形状とは、一致していなくてもよい。

[0107] さらに、本実施の形態2では、本体部71cに着脱可能に取り付けられた取付部71fの表面71dに凹凸1Rが形成されている。これにより、イオンガンで発生した陽イオンの一部がカソード71に衝突してカソード71の表面が削られることでイオンガンの性能が劣化した場合において、表面71dに凹凸1Rが形成された取付部71fを着脱交換することで、容易に性能を復帰させることができる。そのため、メンテナンス性に優れたカソードを実現することができ、交換部品のコストを低減することができる。

[0108] なお、本実施の形態2でも、実施の形態1の第1変形例と同様に、凹凸1Rとして、取付部71fの表面71dに、取付部71fの表面71dが粗面化された凹凸42（図5および図6参照）が形成されていてもよい。また、本実施の形態2でも、実施の形態1の第2変形例と同様に、凹凸1Rとして、取付部71fの表面71dに、複数の円周状の溝43（図7および図8参照）が形成されていてもよい。

[0109] ＜カソードの第1変形例＞

図19は、実施の形態2の第1変形例におけるカソードを示す平面図であり、図20は、実施の形態2の第1変形例におけるカソードの本体部を示す断面図であり、図21は、実施の形態2の第1変形例におけるカソードの取付部を示す断面図である。図20および図21は、図19のA-A線に沿った断面図である。

[0110] 図19～図21に示すように、カソード81は、表面81aおよび裏面81bを有する本体部81cと、表面81dおよび裏面81eを有する取付部81fとを含む。本体部81cは、円盤状に形成されており、本体部81cには、本体部81cをベース17にネジで固定するためのネジ固定用孔49が形成されている。本体部81cは、導電性のある磁性材料、すなわち磁性

導電体からなる。

[0111] 本体部 8 1 c の中央部には、開口部としての孔 8 5 が形成されている。孔 8 5 は、例えば本体部 8 1 c の表面 8 1 a 側の開口面積が、裏面 8 1 b 側の開口面積よりも小さくなるように、本体部 8 1 c の厚さ方向の途中に段差を有する。

[0112] 取付部 8 1 f は、孔 8 5 に着脱可能に取り付けられており、表面 8 1 d の面積が、裏面 8 1 e の面積よりも小さくなるように、取付部 8 1 f の厚さ方向の途中に段差を有し、孔 8 5 に対応した形状を有する。取付部 8 1 f は、導電性のある磁性材料、すなわち磁性導電体からなる。

[0113] このような取付部 8 1 f は、本体部 8 1 c の裏面 8 1 b 側から孔 8 5 に嵌め込まれることで、孔 8 5 に取り付けられ、孔 8 5 に取付部 8 1 f が取り付けられた本体部 8 1 c が、ベース 1 7 に例えばネジ止めされることで、固定されている。

[0114] 本第 1 変形例では、本体部 8 1 c はイオン化室 1 C の内部に面しており、本体部 8 1 c の表面 8 1 a のうちイオン化室 1 C の内部に面した領域 4 0 に孔 8 5 が形成されており、孔 8 5 に取り付けられた取付部 8 1 f は、イオン化室 1 C の内部に面している。また、本第 1 変形例では、孔 8 5 に取り付けられた取付部 8 1 f の表面 8 1 d に、格子状の溝部としての溝 4 4 が形成されている。すなわち、本第 1 変形例では、取付部 8 1 f の表面 8 1 d に形成される凹凸 1 R は、格子状の溝 4 4 からなる。これにより、カソード 8 1 を、実施の形態 1 のカソード 1 1 と同様のカソードとして機能させることができ、カソード 8 1 の表面から放出されたスパッタ粒子がアノード 1 3 の内周面へ堆積する量を低減することができる。

[0115] なお、図 1 9 に示す例では、取付部 8 1 f の表面 8 1 d 内で、互いに交差する 2 つの方向、例えば図 1 9 の Y 軸方向および X 軸方向にそれぞれ延在する溝 4 4 a および溝 4 4 b が、それぞれの延在する方向と交差する方向に配列することで、溝 4 4 が格子状に形成されている。しかし、溝 4 4 として、取付部 8 1 f の表面 8 1 d 内で、互いに交差する 2 つの方向のうち一方の方

向、例えば図 19 の Y 軸方向に延在する溝 44 a のみが、その延在する方向と交差する方向に配列するように形成してもよい。

[0116] 本第 1 変形例でも、実施の形態 2 と同様に、本体部 81 c に着脱可能に取り付けられた取付部 81 f の表面 81 d に凹凸 I R が形成されている。これにより、イオンガンで発生した陽イオンの一部がカソード 81 に衝突してカソード 81 の表面が削られることでイオンガンの性能が劣化した場合において、表面 81 d に凹凸 I R が形成された取付部 81 f を着脱交換することで、容易に性能を復帰させることができる。そのため、メンテナンス性に優れたカソードを実現することができ、交換部品のコストを低減することができる。

[0117] なお、前述した実施の形態 1 において、イオン化室 I C の内部に面した領域 40 におけるカソード 11 の表面 11 a に、穴 41（図 3 および図 4 参照）に代え、本第 1 変形例における溝 44 が形成されていてもよい。

[0118] <本実施の形態の主要な特徴と効果>

本実施の形態 2 でも、実施の形態 1 と同様に、カソード 71 の表面のうちイオン化室 I C の内部に面した領域 40 に、凹凸 I R が形成されている。これにより、凹凸 I R の底部に陽イオンが照射される照射角度が、カソード 71 の表面に対して垂直な方向を中心とする狭い範囲に制限されることでスパッタ収率が低減する。また、凹凸 I R の底部から放出されたスパッタ粒子が凹凸 I R の内部に再付着する。さらに、凹凸 I R から放出されたスパッタ粒子が散乱される。これらの理由により、本実施の形態 2 でも、実施の形態 1 と同様に、スパッタ粒子がアノード 13 の内周面へ堆積する量を低減することができる。したがって、イオンガンおよびイオンミリング装置において、イオンガンの内部で異常放電が発生することなく、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができる。

[0119] また、本実施の形態 2 では、本体部 71 c に着脱可能に取り付けられた取付部 71 f の表面に凹凸 I R が形成されている。これにより、前述したように、メンテナンス性に優れたカソードを実現することができ、交換部品のコ

ストを低減することができる。

[0120] (実施の形態3)

実施の形態1では、カソード11は、一体に形成されており、一体に形成されたカソード11の表面11aに凹凸IRが形成されていた(図3および図4参照)。一方、実施の形態3では、カソード91の本体部91cの表面91aに、取付部としてのプレート91fが着脱可能に取り付けられており、プレート91fの表面91dに凹凸IRが形成されている(後述する図22および図23参照)。

[0121] 実施の形態3のイオンミリング装置およびイオンガンのうちカソード91以外の部分については、実施の形態1と同様にすることができるため、その説明を省略する。

[0122] <カソードの構成>

図22は、実施の形態3におけるカソードを示す平面図であり、図23は、実施の形態3におけるカソードを示す断面図である。図23は、図22のA-A線に沿った断面図である。

[0123] 図22および図23に示すように、カソード91は、表面91aおよび裏面91bを有する本体部91cと、表面91dおよび裏面91eを有するプレート91fとを含む。本体部91cは、円盤状に形成されており、本体部91cには、本体部91cをベース17にネジで固定するためのネジ固定用孔49が形成されている。本体部91cは、導電性のある磁性材料、すなわち磁性導電体からなる。

[0124] プレート91fは、本体部91cの表面91aに着脱可能に取り付けられている。プレート91fは、導電性のある磁性材料、すなわち磁性導電体からなる。プレート91fには、プレート91fを本体部91cにネジで固定するためのネジ固定用孔98が形成されている。

[0125] このようなプレート91fは、プレート91fの裏面91eが本体部91cの表面91aと対向した状態で、本体部91cに例えばネジ止めされることで、本体部91cの表面91aに取り付けられている。そして、表面91

aにプレート91fが取り付けられた本体部91cが、ベース17に例えばネジ止めされることで、固定されている。

[0126] 本実施の形態3では、本体部91cの表面91aに取り付けられたプレート91fは、イオン化室1Cの内部に面している。また、本実施の形態3では、本体部91cの表面91aに取り付けられたプレート91fの表面91dのうちイオン化室1Cの内部に面した領域40に、プレート91fを貫通する貫通孔としての複数の孔45が形成されている。すなわち、本実施の形態3では、プレート91fの表面91dに形成される凹凸1Rは、複数の孔45からなる。具体的には、カソード91のイオン化室1Cの内部に面した領域40として、例えばプレート91fの中心部における5.6mmφの直径を有する領域40に、凹凸1Rとして、孔45を31個形成することができる。これにより、カソード91を、実施の形態1のカソード11と同様のカソードとして機能させることができる。

[0127] 好適には、孔45は、円錐台状または角錐台状に形成されており、孔45の本体部91c側の開口面積が、孔45の本体部91c側と反対側の開口面積よりも大きい。すなわち、好適には、表面91dにおける孔45の開口面積が、裏面91eにおける孔45の開口面積よりも小さく、孔45は、逆テーパ形状を有している。これにより、孔45の底部がスパッタされて放出されたスパッタ粒子が孔45の内部にさらに再付着しやすくなるため、凹凸1Rとしての孔45が逆テーパ形状を有しない場合に比べ、スパッタ粒子がアノード13の内周面へ堆積する量をさらに低減することができる。したがって、イオンガンおよびイオンミリング装置において、イオンガンの内部で異常放電が発生することなく、イオンガンをさらに長時間にわたって正常に動作させることができる。

[0128] なお、本実施の形態3でも、実施の形態1の第1変形例と同様に、凹凸1Rとして、プレート91fの表面91dのうちイオン化室1Cの内部に面した領域40に、プレート91fの表面91dが粗面化された凹凸42（図5および図6参照）が形成されていてもよい。また、本実施の形態3でも、実

施の形態１の第２変形例と同様に、凹凸ＩＲとして、プレート９１ｆの表面９１ｄのうちイオン化室ＩＣの内部に面した領域４０に、複数の円周状の溝４３（図７および図８参照）が形成されていてもよい。さらに、本実施の形態３でも、実施の形態２の第１変形例と同様に、凹凸ＩＲとして、プレート９１ｆの表面９１ｄのうちイオン化室ＩＣの内部に面した領域４０に、格子状の溝４４（図１９～図２１参照）が形成されていてもよく、また、一方向のみに延在する溝が、その延在する方向と交差する方向に配列されていてもよい。

[0129] <本実施の形態の主要な特徴と効果>

本実施の形態３でも、実施の形態１と同様に、カソード９１の表面のうちイオン化室ＩＣの内部に面した領域４０に、凹凸ＩＲが形成されている。これにより、凹凸ＩＲの底部に陽イオンが照射される照射角度が、カソード９１の表面に対して垂直な方向を中心とする狭い範囲に制限されることでスパッタ収率が低減する。また、凹凸ＩＲの底部から放出されたスパッタ粒子が凹凸ＩＲの内部に再付着する。さらに、凹凸ＩＲから放出されたスパッタ粒子が散乱される。これらの理由により、本実施の形態３でも、実施の形態１と同様に、スパッタ粒子がアノード１３の内周面へ堆積する量を低減することができる。したがって、イオンガンおよびイオンミリング装置において、イオンガンの内部で異常放電が発生することなく、イオンガンを長時間にわたって正常に動作させることができる。

[0130] また、本実施の形態３では、本体部９１ｃに着脱可能に取り付けられたプレート９１ｆの表面に凹凸ＩＲが形成されている。これにより、実施の形態２と同様に、メンテナンス性に優れたカソードを実現することができ、交換部品のコストを低減することができる。

[0131] さらに、カソード９１が一体として形成された部材からなるときは、カソード９１の表面に逆テーパ形状を有する孔４５を形成することは容易ではなく、カソード９１の製造コストが増加するおそれがある。しかし、本実施の形態３では、プレート９１ｆの裏面９１ｅからテーパ形状を有する孔４５を

容易に形成し、孔４５が形成されたプレート９１ｆを本体部９１ｃの表面９１ａに取り付けることで、カソード９１の表面に逆テーパ形状を有する孔４５を容易に形成することができる。そのため、カソードの製造コストを容易に低減することができる。

[0132] 以上、本発明者によってなされた発明をその実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

産業上の利用可能性

[0133] 本発明は、イオン源およびイオンミリング装置に適用して有効である。

符号の説明

- [0134] ６ 試料
７ 試料台
８ 試料ステージ
９ 試料ステージ駆動部
１０ ガス供給機構
１１、１２、５１、６１、７１、８１、９１ カソード
１１ａ、５１ａ、６１ａ、７１ａ、７１ｄ、８１ａ、８１ｄ、９１ａ、９１
ｄ 表面
１１ｂ、５１ｂ、６１ｂ、７１ｂ、７１ｅ、８１ｂ、８１ｅ、９１ｂ、９１
ｅ 裏面
１３ アノード
１３ａ、１５ａ 筒状部
１３ｂ、１５ｂ 底部
１４ 永久磁石
１５ 加速電極
１６ インシュレータ
１７ ベース
１８、１９、４５、７５、８５ 孔

2 1 放電電源
2 2 加速電源
3 1 ~ 3 3 イオンビーム通過孔
4 0、4 0 a 領域
4 1 穴
4 2 凹凸
4 3、4 4、4 4 a、4 4 b 溝
4 9、9 8 ネジ固定用孔
7 1 c、8 1 c、9 1 c 本体部
7 1 f、8 1 f 取付部
9 1 f プレート
d a、d c 直径
G C イオンガン制御部
G P イオン生成部
I B イオンビーム
I C イオン化室
I G イオンガン
I P イオン射出部
I R 凹凸
S P 試料保持部
V C 真空チャンバー
V P 真空排気系

請求の範囲

- [請求項1] 第1室と、
 前記第1室でガスをイオン化してイオンを生成するイオン生成部と、
 、
 を有し、
 前記イオン生成部は、
 前記第1室に設けられたアノードと、
 前記第1室に面して設けられ、電子を放出する第1カソードと、
 前記第1室にガスを供給するガス供給部と、
 前記第1室に磁場を発生させる磁場発生部と、
 を含み、
 前記第1カソードにより放出された電子を、前記磁場発生部が発生した磁場により旋回させて、前記ガス供給部により供給されたガスに衝突させることで、前記第1室でイオンを生成するものであり、
 前記第1カソードの表面のうち前記第1室に面した第1領域に、凹凸が形成されている、イオン源。
- [請求項2] 請求項1記載のイオン源において、
 前記アノードは、前記第1領域における前記第1カソードの表面に交差する第1方向に延びる筒状に形成されており、
 前記第1カソードの表面のうち前記第1領域は、前記第1方向から視たときに、筒状の前記アノードの内周面に囲まれた第2領域に内包されている、イオン源。
- [請求項3] 請求項2記載のイオン源において、
 前記アノードは、前記第1領域における前記第1カソードの表面に垂直な前記第1方向に延びる円筒状に形成されており、
 前記第1カソードの表面のうち前記第1領域は、前記第1方向から視たときに、円筒状の前記アノードの内周面に囲まれた円状の前記第2領域に内包された円状の領域であり、

前記アノードの内径を d_a とし、前記円状の前記第 1 領域の直径を d_c としたとき、 $d_c \geq 0.7 d_a$ の条件を満たしている、イオン源。

[請求項4] 請求項 1 記載のイオン源において、
前記凹凸は、前記第 1 領域における前記第 1 カソードの表面が粗面化されたものであり、
粗面化された前記凹凸の平均粗さは、 $50 \mu m$ 以上である、イオン源。

[請求項5] 請求項 1 記載のイオン源において、
前記凹凸は、前記第 1 領域における前記第 1 カソードの表面に形成された複数の穴部からなる、イオン源。

[請求項6] 請求項 5 記載のイオン源において、
前記複数の穴部の各々の深さが $1 mm$ 以上である、イオン源。

[請求項7] 請求項 1 記載のイオン源において、
前記凹凸は、前記第 1 領域における前記第 1 カソードの表面に形成された複数の溝部からなる、イオン源。

[請求項8] 請求項 7 記載のイオン源において、
前記複数の溝部の各々は、前記第 1 領域における前記第 1 カソードの表面に垂直な第 2 方向から視たときに、円周状である、イオン源。

[請求項9] 請求項 1 記載のイオン源において、
前記凹凸は、前記第 1 領域における前記第 1 カソードの表面に形成された格子状の溝部からなる、イオン源。

[請求項10] 請求項 1 記載のイオン源において、
前記第 1 カソードは、
第 1 本体部と、
前記第 1 本体部に形成された開口部と、
前記開口部に着脱可能に取り付けられた第 1 取付部と、
を含み、

前記第1本体部は、前記第1室に面しており、

前記開口部は、前記第1本体部の表面のうち前記第1室に面した前記第1領域に形成されており、

前記凹凸は、前記開口部に取り付けられた前記第1取付部の表面に形成されている、イオン源。

[請求項11]

請求項1記載のイオン源において、

前記第1カソードは、

第2本体部と、

前記第2本体部の表面に着脱可能に取り付けられた第2取付部と、
を含み、

前記第2本体部の表面に取り付けられた前記第2取付部は、前記第1室に面しており、

前記凹凸は、前記第2本体部の表面に取り付けられた前記第2取付部の表面のうち前記第1室に面した前記第1領域に形成されている、イオン源。

[請求項12]

請求項1記載のイオン源において、

前記凹凸は、前記第2取付部を貫通する複数の貫通孔からなり、

前記複数の貫通孔の各々は、円錐台状または角錐台状に形成されており、

前記貫通孔の前記第2本体部側の開口面積が、前記貫通孔の前記第2本体部側と反対側の開口面積よりも大きい、イオン源。

[請求項13]

請求項1記載のイオン源において、

前記第1室に形成された孔部と、

前記第1室で生成されたイオンを、前記孔部を通して前記第1室から射出するイオン射出部と、

を有する、イオン源。

[請求項14]

請求項2記載のイオン源において、

前記イオン生成部は、前記第1室に面して設けられた第2カソード

を含み、

前記磁場発生部は、前記第 1 方向に延びる筒状の永久磁石であり、

前記第 1 カソードは、磁性導電体からなり、かつ、板状に形成されており、

前記第 2 カソードは、磁性導電体からなり、かつ、板状に形成されており、

前記第 1 カソードは、筒状の前記永久磁石の前記第 1 方向の一方の端部に吸着されており、

前記第 2 カソードは、筒状の前記永久磁石の前記第 1 方向の他方の端部に吸着されており、

前記第 1 室は、前記永久磁石、前記第 1 カソードおよび前記第 2 カソードにより区画されている、イオン源。

[請求項15]

気密に設けられた第 1 室と、

前記第 1 室を真空排気する真空排気部と、

前記第 1 室で試料を保持する試料保持部と、

前記試料保持部に保持された試料に向けてイオンを射出して前記試料を加工するイオン源と、

を有し、

前記イオン源は、

第 2 室と、

前記第 2 室に形成された孔部と、

前記第 2 室でガスをイオン化してイオンを生成するイオン生成部と

、

前記第 2 室で生成されたイオンを、前記孔部を通して前記第 2 室から射出するイオン射出部と、

を有し、

前記第 2 室は、前記孔部を介して前記第 1 室と連通しており、

前記イオン生成部は、

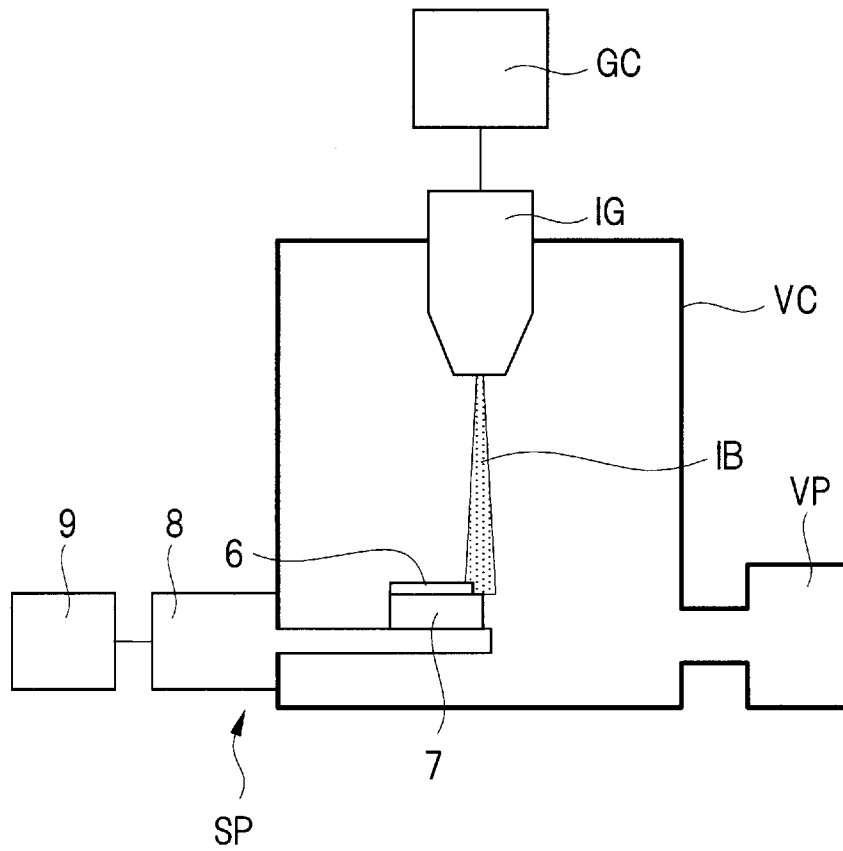
前記第2室に設けられたアノードと、
前記第2室に面して設けられ、電子を放出する第1カソードと、
前記第2室にガスを供給するガス供給部と、
前記第2室に磁場を発生させる磁場発生部と、
を含み、

前記第1カソードにより放出された電子を、前記磁場発生部が発生した磁場により旋回させて、前記ガス供給部により供給されたガスに衝突させることで、前記第2室でイオンを生成するものであり、

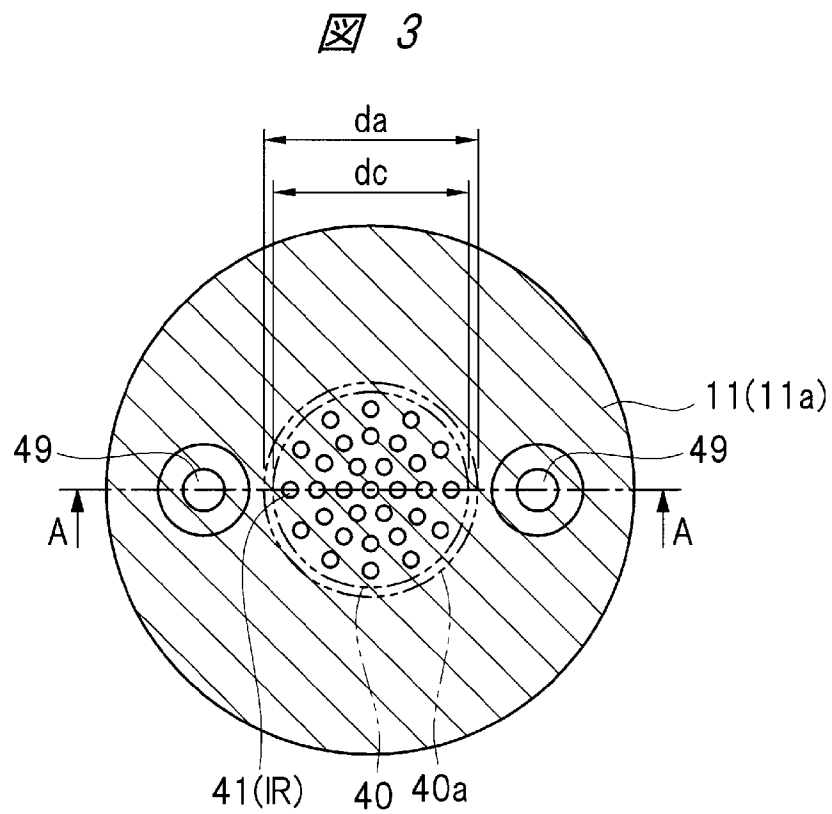
前記第1カソードの表面のうち前記第2室に面した第1領域に、凹凸が形成されている、イオンミリング装置。

[図1]

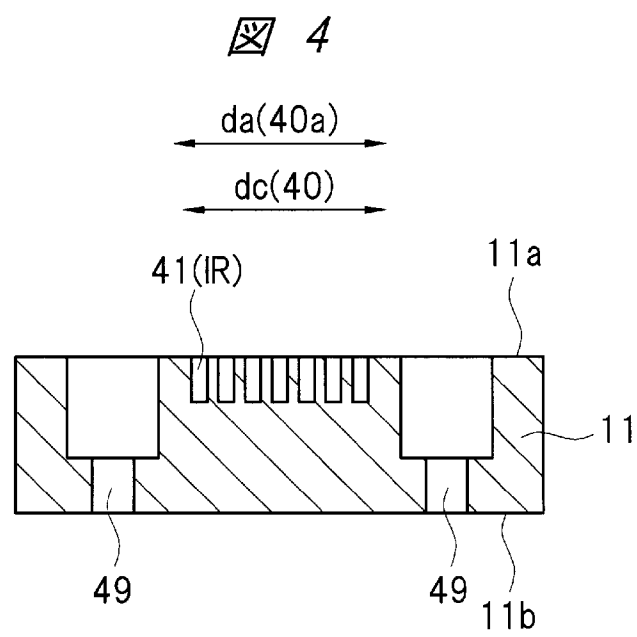
図 1



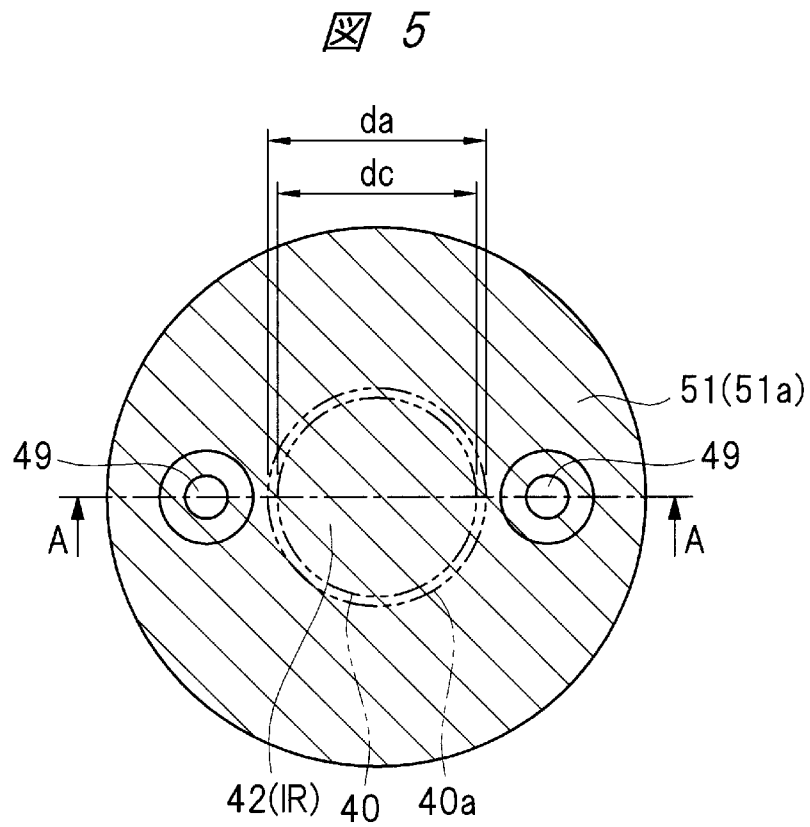
[図3]



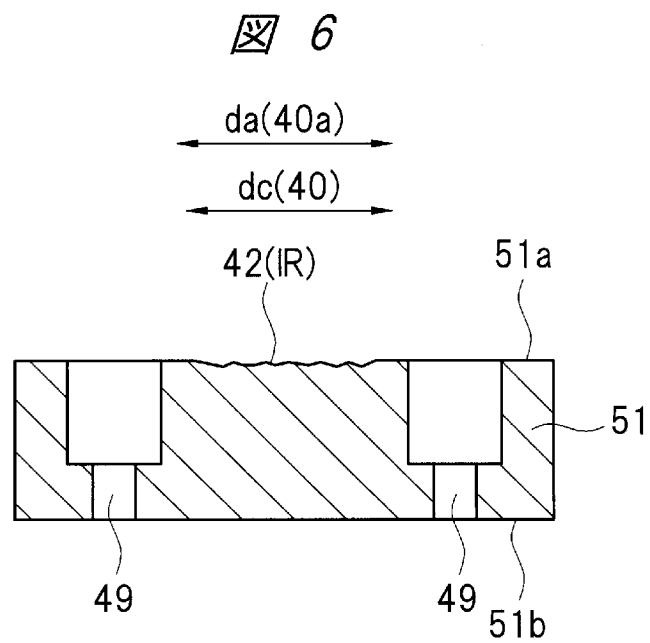
[図4]



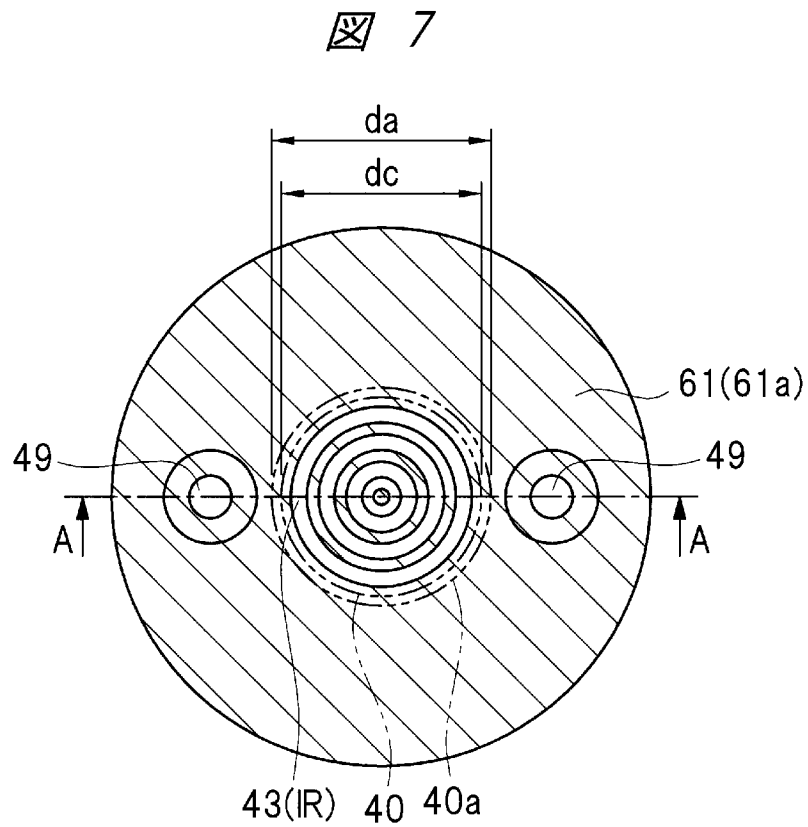
[図5]



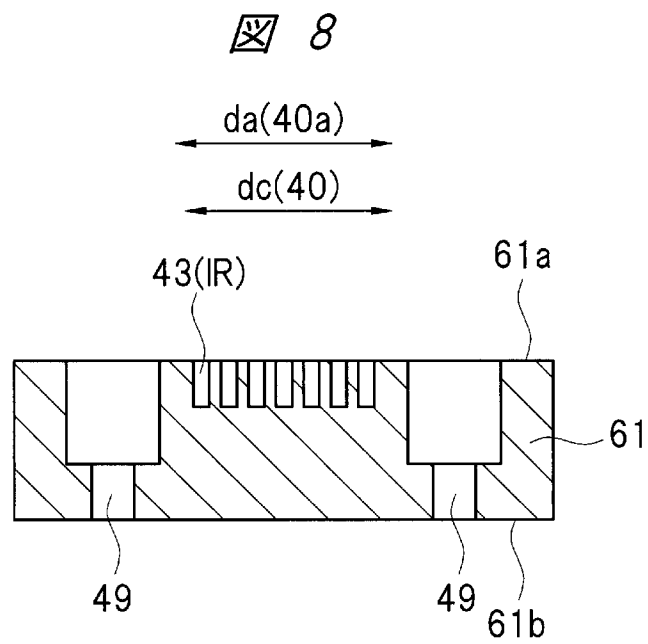
[図6]



[図7]

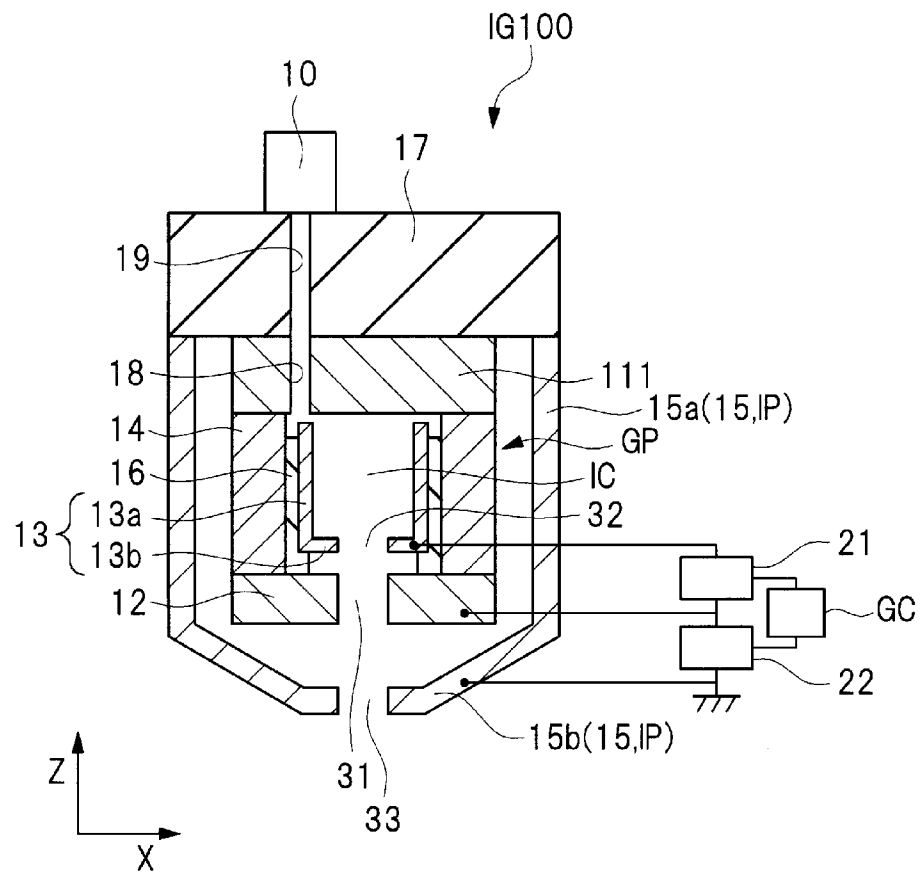


[図8]



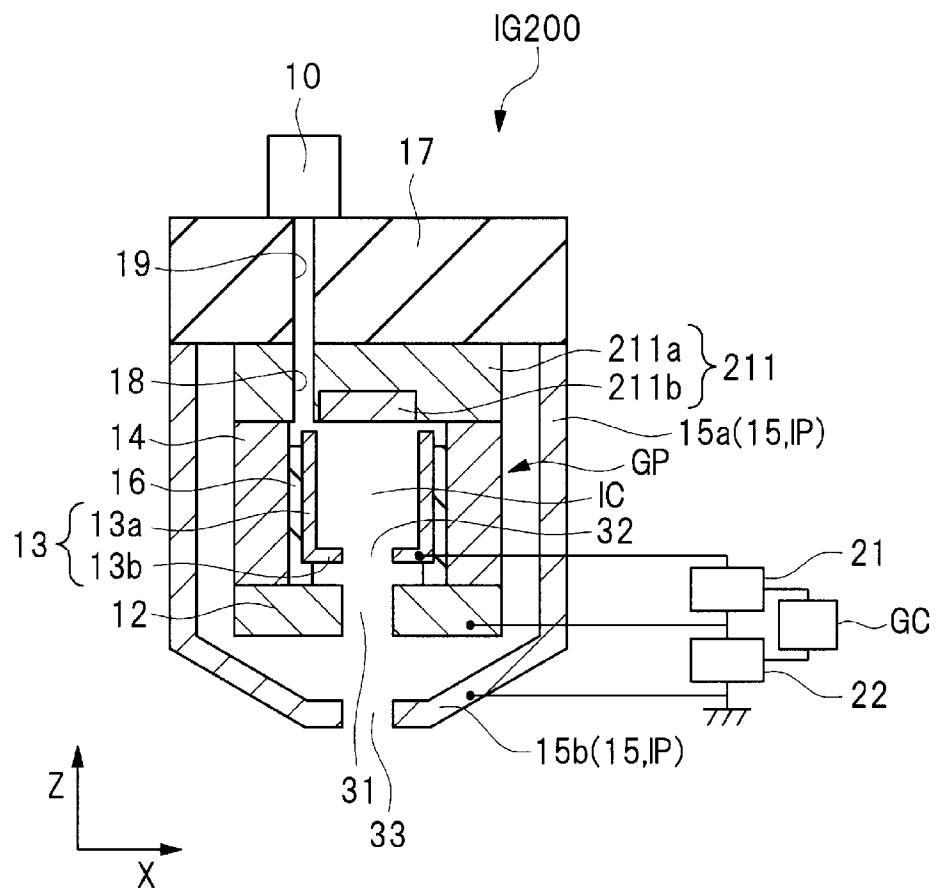
[図9]

図 9



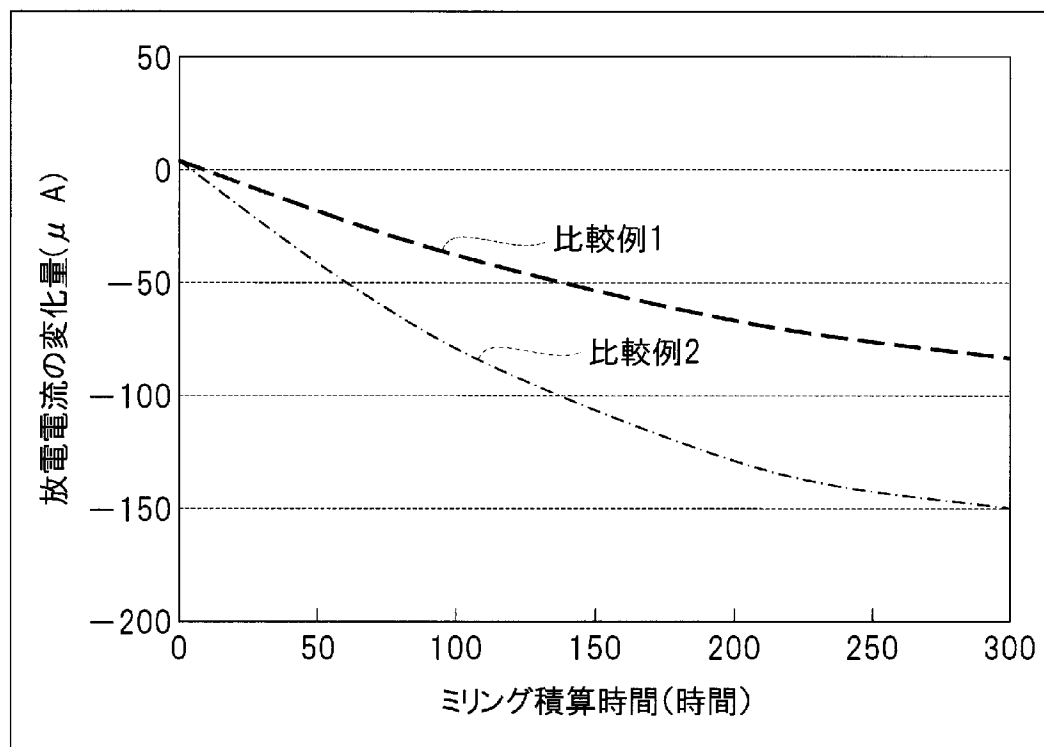
[図10]

図 10



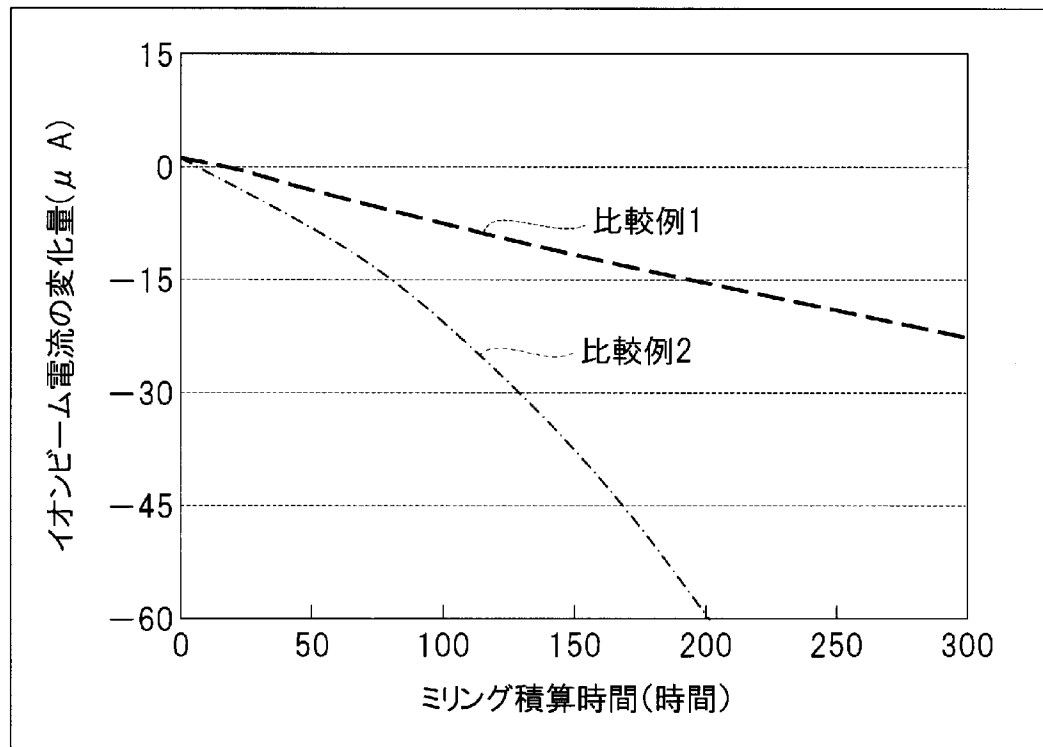
[図11]

図 11



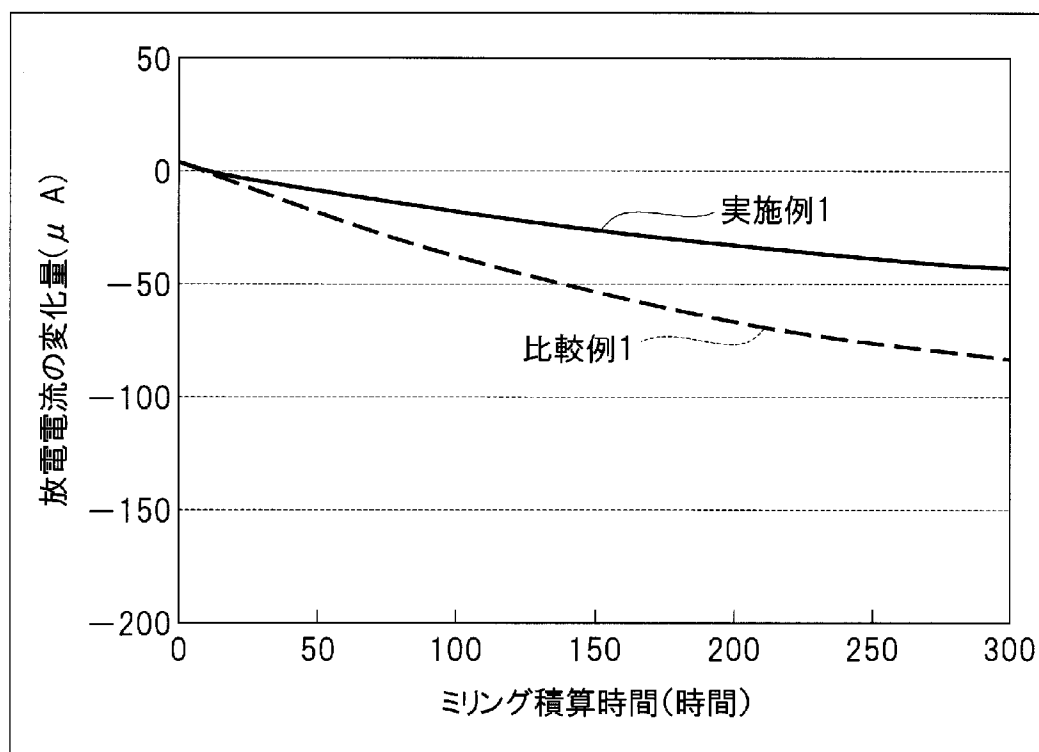
[図12]

図 12



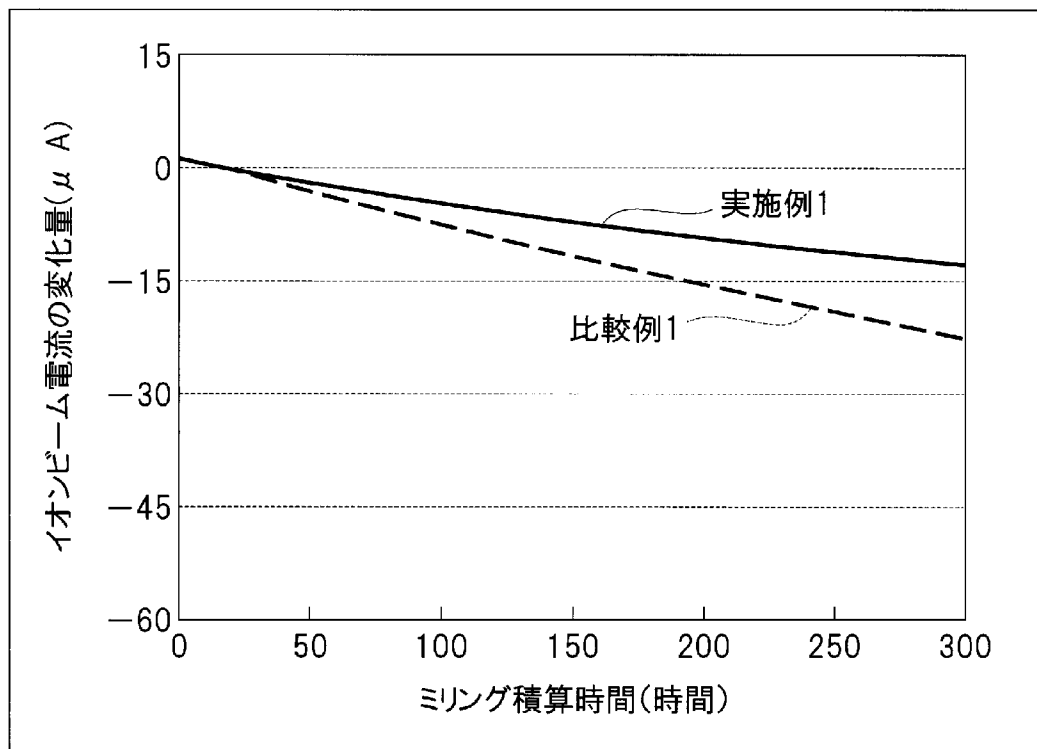
[図13]

図 13



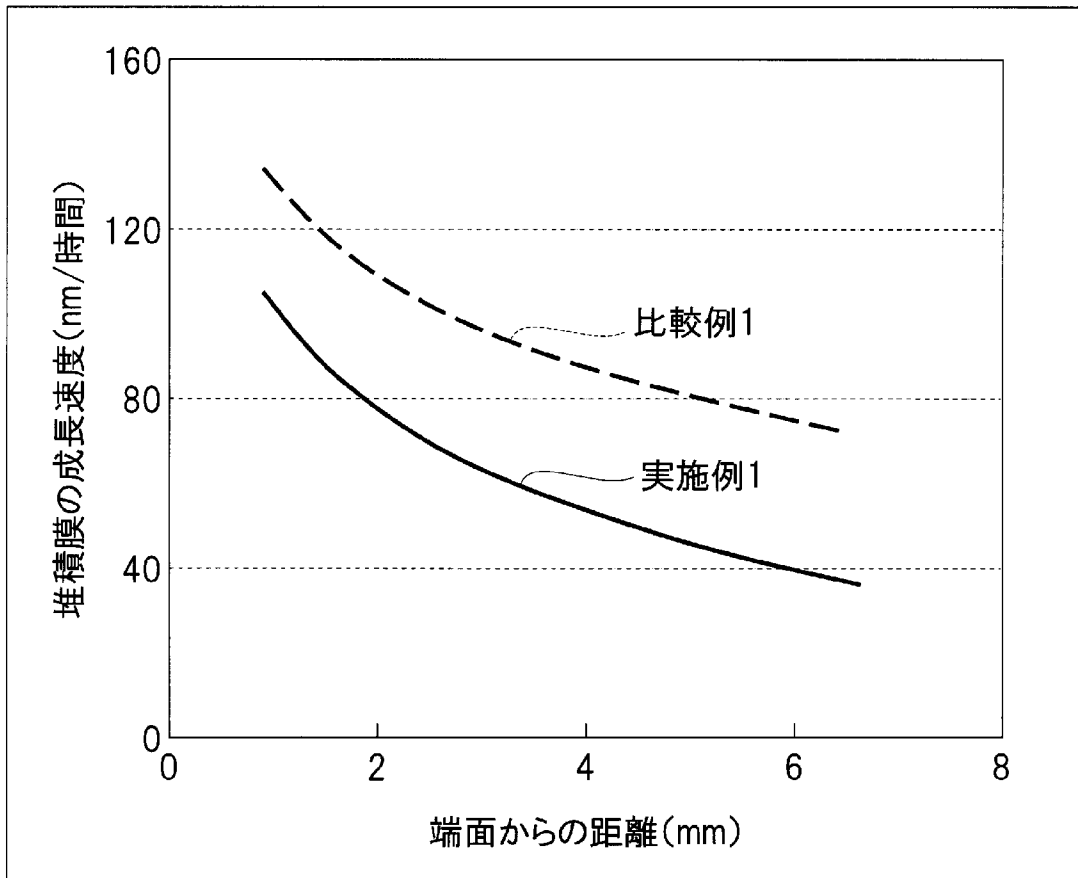
[図14]

図 14

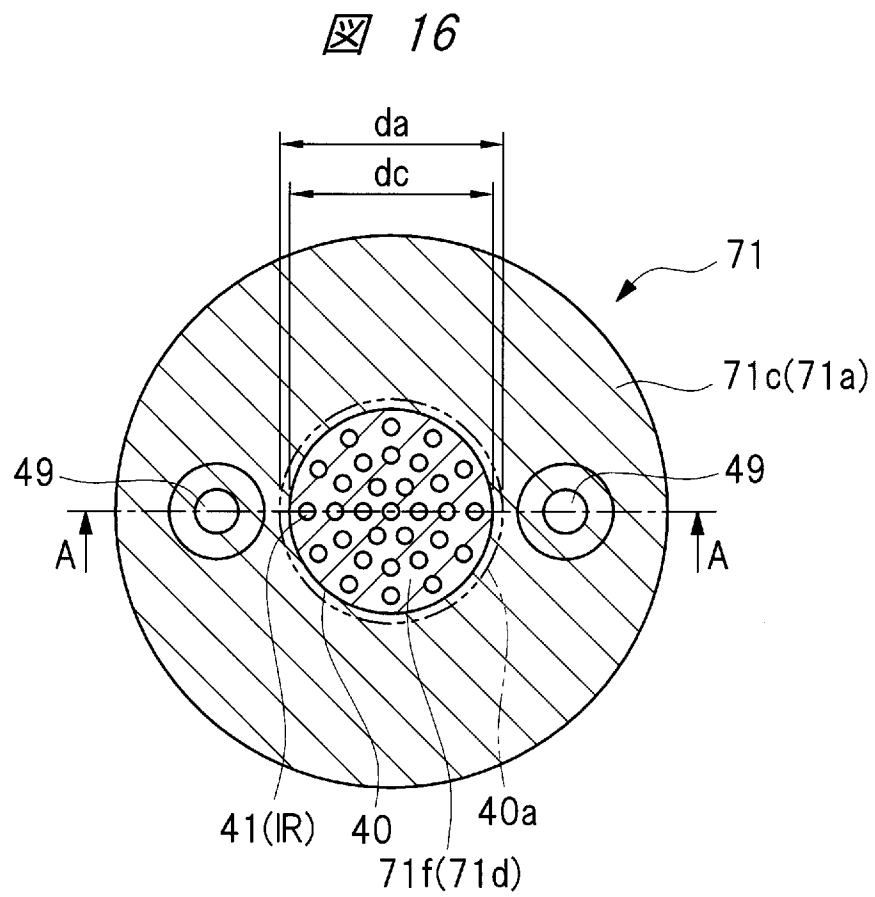


[図15]

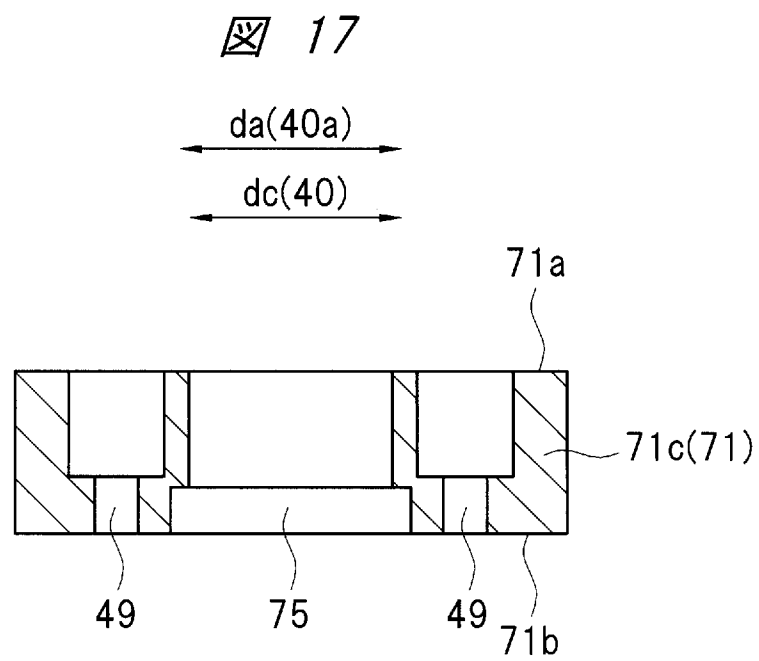
図 15



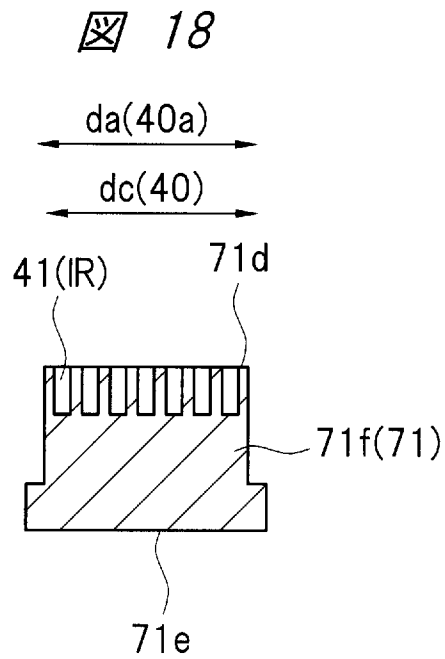
[図16]



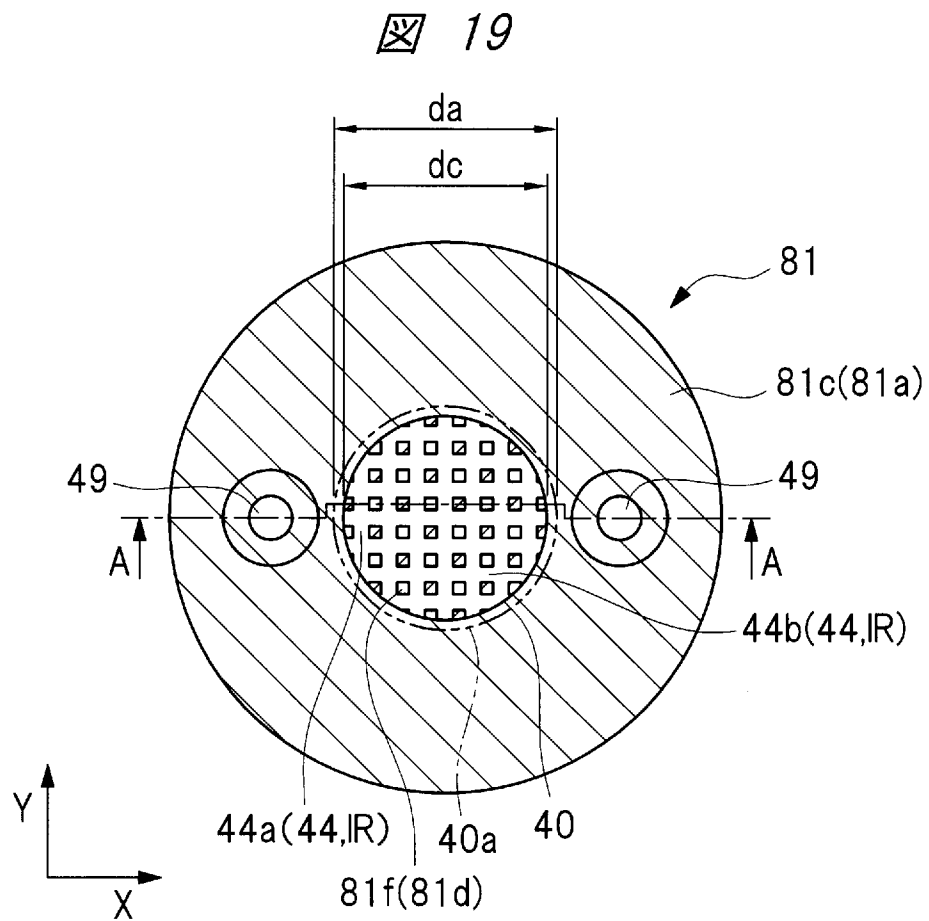
[図17]



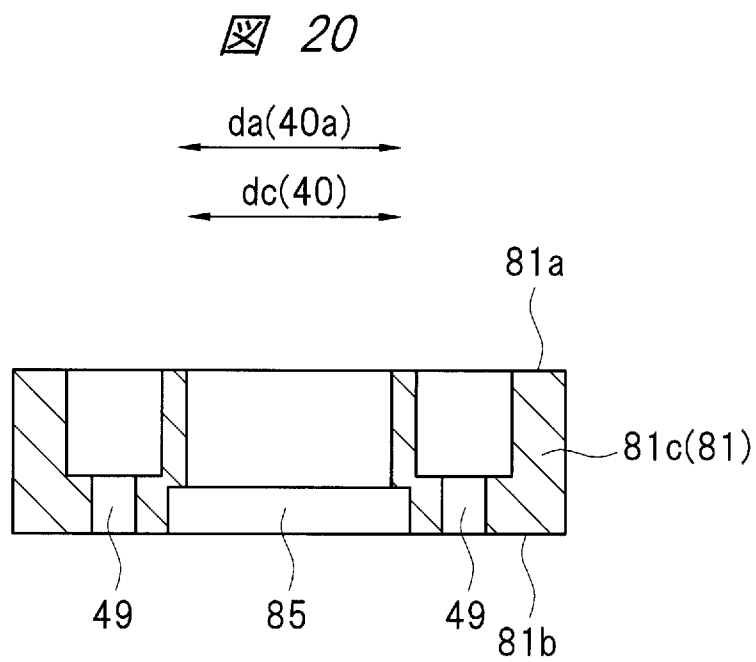
[図18]



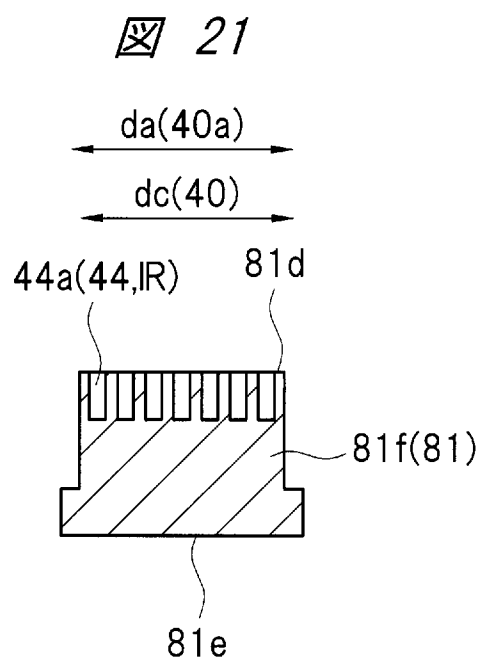
[図19]



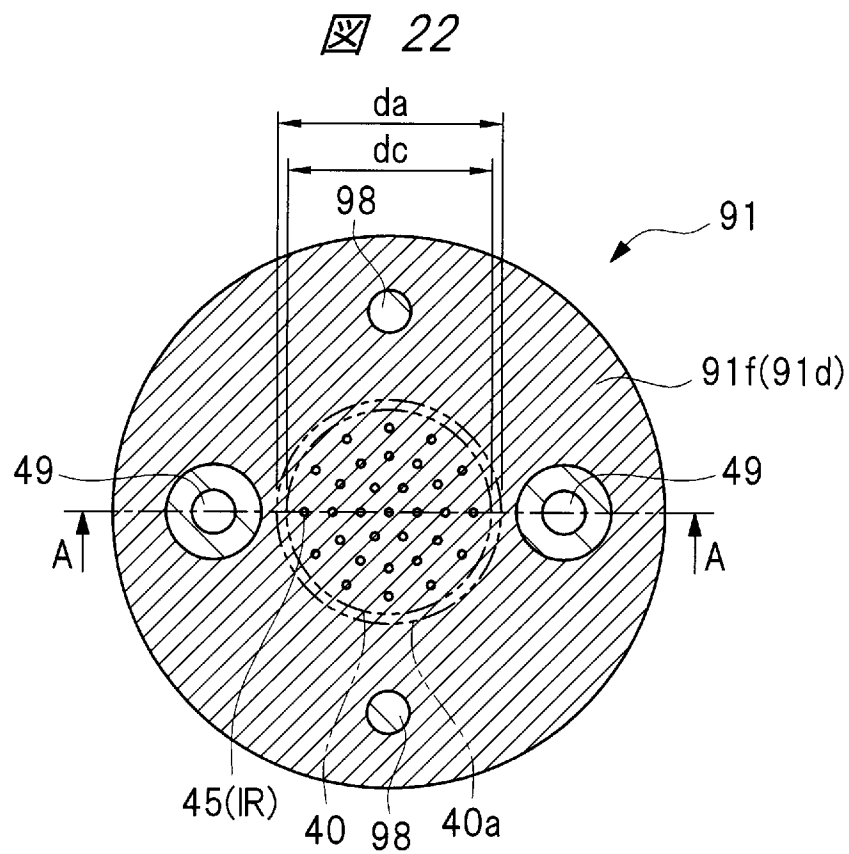
[図20]



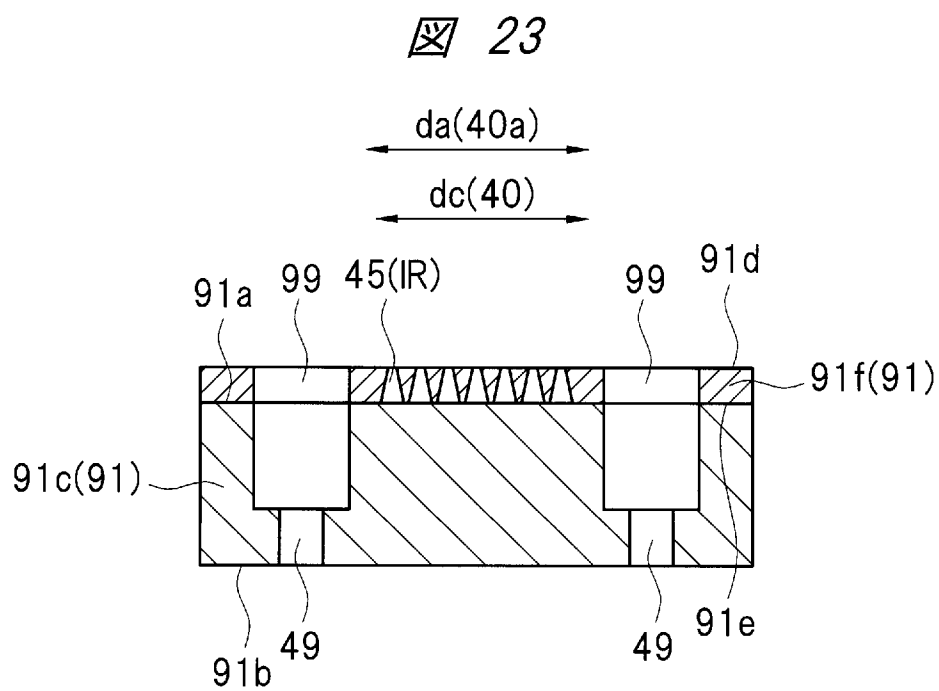
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/060102

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J27/04(2006.01)i, H01J37/08(2006.01)i, H01J37/30(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)

H01J27/00-27/26, H01J37/08, H01J37/30

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
A	WO 2011/127394 A1 (E.A. FISCHIONE INSTRUMENTS, INC.), 13 October 2011 (13.10.2011), entire text; all drawings & JP 2013-524467 A & US 2011/0248179 A1 & EP 2561540 A	1-15
A	JP 2006-351374 A (JEOL Ltd.), 28 December 2006 (28.12.2006), entire text; all drawings & US 2006/0284105 A1	1-15
A	JP 2004-362937 A (Kobe Steel, Ltd.), 24 December 2004 (24.12.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-15



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

15 May, 2014 (15.05.14)

Date of mailing of the international search report

27 May, 2014 (27.05.14)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/060102

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/0117637 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.), 29 August 2002 (29.08.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2007-305485 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 22 November 2007 (22.11.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2010-532082 A (Varian Semiconductor Equipment Associates, Inc.), 30 September 2010 (30.09.2010), entire text; all drawings & US 2009/0001281 A1 & WO 2009/002692 A2 & CN 101689488 A & KR 10-2010-0041732 A	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H01J27/04(2006.01)i, H01J37/08(2006.01)i, H01J37/30(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. H01J27/00-27/26, H01J37/08, H01J37/30			
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 4 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 4 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 4 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	
A	WO 2011/127394 A1 (E. A. FISCHIONE INSTRUMENTS, INC.) 2011. 10. 13, 全文全図 & JP 2013-524467 A & US 2011/0248179 A1 & EP 2561540 A	1-15	
A	JP 2006-351374 A (日本電子株式会社) 2006. 12. 28, 全文全図 & US 2006/0284105 A1	1-15	
A	JP 2004-362937 A (株式会社神戸製鋼所) 2004. 12. 24, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15	
☒ 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 5 . 0 5 . 2 0 1 4		国際調査報告の発送日 2 7 . 0 5 . 2 0 1 4	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (I S A / J P) 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 佐々木 祐 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 2 6	2 G 4 6 3 3

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2002/0117637 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 2002.08.29, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2007-305485 A (松下電器産業株式会社) 2007.11.22, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2010-532082 A (ヴァリアン セミコンダクター イクイップメント アソシエイツ インコーポレイテッド) 2010.09.30, 全文全図 & US 2009/0001281 A1 & WO 2009/002692 A2 & CN 101689488 A & KR 10-2010-0041732 A	1-15