

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 1)

(11)特許番号

第2952354号

(45)発行日 平成11年(1999) 9月27日

(24)登録日 平成11年(1999) 7月16日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 J 37/06
33/00
37/301

H 0 1 J 37/06
33/00
37/301

Z

請求項の数5 (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平10-175569
(22)出願日 平成10年(1998) 6月23日
審査請求日 平成10年(1998) 6月23日

(73)特許権者 391012224
名古屋大学長
愛知県名古屋市千種区不老町 (番地なし)
(72)発明者 森田 慎三
愛知県名古屋市天白区鴻の巣1丁目1906番地
(72)発明者 小川 慎司
愛知県名古屋市昭和区山中町1丁目65番地 山中ハイツ101号
(74)代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外8名)
審査官 堀部 修平

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電子線発生装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 密閉空間を画成する容器と、この容器内に配置された熱電子放出陰極と、前記容器内に前記熱電子放出陰極と対向するように配置され、電子線が透過できるような形状を有する陽極と、前記熱電子放出陰極と陽極との間に加速電圧を印加する手段とを具備し、前記容器内を0.1 ~ 1000 mTorrの圧力の希薄気体で満たし、この希薄気体の放電で生成される正イオンによって熱電子放出陰極の電子空間電荷を中和して放出電子電流を増大させるとともに陽極降下が発生する領域に放出電子電流を加速する大きな加速電界を形成するように構成したことを特徴とする電子線発生装置。

【請求項2】 前記陽極を、リング状、円筒状またはメッシュ状に構成したことを特徴とする請求項1に記載の電子線発生装置。

【請求項3】 前記容器内の希薄気体を非反応性気体としたことを特徴とする請求項1に記載の電子線発生装置。

【請求項4】 前記熱電子放出陰極が、フィラメントと、冷陰極とを具備することを特徴とする請求項1に記載の電子線発生装置。

【請求項5】 請求項1~4の何れかに記載の電子線発生装置の容器と連結された反応容器と、これらの容器の間に配置された電子線を透過するが開口を持たない隔膜とを具備することを特徴とする電子励起によるプロセス装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子線を発生する装置、特に大きな電子電流を有するとともに高い加速工

エネルギーを有する電子線を効率よく発生することができる電子線発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】電子線発生装置は、電子線によって気体を励起してプラズマを発生させ、半導体集積回路の製造、各種薄膜の作成、表面処理などを行なうプラズマCVD装置やプラズマエッチング装置などのプラズマプロセス装置や、電子線を廃棄ガスに照射して処理する廃棄ガス処理装置、電子線を照射して微細加工を行なう表面加工装置、表面物質の基板への拡散支援装置、電子励起表示装置など種々のプロセス装置に使用されている。

【0003】例えば、本出願人の出願に係る特公平7-122143号公報および特許第2739889号公報には、電子線発生装置を有するプラズマプロセス装置が記載されている。このプラズマプロセス装置においては、電子線発生装置の容器と所定のプロセスを行なう容器とを電子線を透過する隔膜を介して連結している。この隔膜としては、ポリエステルフィルムを金属メッシュによって保持したものや、シリコン基板の表面を選択的にエッチングしてメッシュ構造を形成したものが開示されている。ここで、隔膜は、電子線発生空間の圧力（高真空）と、プロセス処理を行なう空間の圧力との差に耐えるだけの機械的な強度を有する必要があるため、電子線をこの隔膜を透過させるためには、電子線発生装置としては大きな電子線電流を有するとともに高い加速エネルギーを有する電子線を発生できるものが望ましい。

【0004】上述したプロセス装置以外でも、大きな電子線電流を有するとともに高い加速エネルギーを有する電子線を発生できる電子線発生装置が望まれているが、そのためには一般に高い放電電圧や加速電圧が必要となり、装置が大掛かりとなるとともに価格の高いものになってしまう。例えば、上述したプラズマプロセス装置を半導体装置の製造に使用する場合、かなりの台数が必要となるため、電子線発生装置もできるだけ小型のものが望ましい。

【0005】従来の電子線発生装置を、その雰囲気で大別すると、高真空タイプのもの、ガス雰囲気タイプのものに分類される。高真空タイプのもは、電子の平均自由行程よりも小さな寸法の電子加速系で電子を加速する方法が採用される場合に使用されている。すなわち、ガスが存在すると、電子の平均自由行程が短くなり、電子の加速が十分にできないと考えられているからである。また、ガス雰囲気タイプのもは、ガス雰囲気中で放電を発生させ、その放電中の電子を取り出して加速するものである。

【0006】上述した高真空タイプのももガス雰囲気タイプのもも、陰極の形態に応じて、冷陰極を使用するものと、熱電子放出陰極を使用するものとに分けられる。高真空タイプのもで、冷陰極を用いるものは、電界放出型の電子線源として顕微鏡などに利用されてい

る。また、高真空タイプで熱電子放出陰極を用いるものは、比較的大きな電子電流を得ることができ、かつての真空管で広く利用されていた。一方、ガス雰囲気タイプのもで、冷陰極を有するものは、例えば「応用物理」第41巻、第3号、1972、pp.238(30)~249(41)に記載されている。この電子線発生装置では、高い放電電圧が必要であるため、ホローカソード（窪みのある陰極）が使用されており、数mTorr から数Torrまでのガス圧で放電されると、通常よりも低い電圧で放電することができる。このとき、放電で生じた正イオンがホローカソードに向けて流れるため、ホローカソードからの電子流が絞られて細いビームとなる。さらに、印加電圧を高くすると、電圧はグロー放電の陰極降下部に加わり、電子は加速されて数KeV にもなることが報告されている。さらに、熱電子放出陰極を有するものは、放電電子線源として、カウフマン（Kaufman）型の電子線源が知られており、例えば、J. Vac. Sci. Technol. A3(4), July/Aug1989, pp.1774-1778に記載されている。このカウフマン型の電子線源においては、ガス雰囲気中で熱陰極放電を行い、その放電で生成された電子を第3の陽極で 10^{-5} Torr以下の高真空中に引き出すようにしている。したがって、電子加速の部分は上述した高真空タイプのもと同じである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述した種々のタイプの電子線発生装置の内、最も一般的に使用されているものは、熱電子放出陰極を用いた高真空タイプのものである。すなわち、真空容器内で、熱電子放出電極を陰極とし、円形の電極を陽極として対向して配置し、これらの間に直流電圧を印加して電子を加速するものである。このような電子線発生装置では、熱電子放出陰極周辺に電子の空間電荷が形成され、陰極 - 陽極間に加えられた直流電圧によって陰極周辺の電子空間電荷で変形された電界が作られる。したがって、陽極周辺に大きな電界が形成され、この電界によって電子は加速される。しかし、熱電子放出陰極からの電子の放出は、陰極周辺の電子空間電荷によって制限されてしまい、大きな電子放出電流を得ることができない欠点がある。

【0008】また、上述した高真空タイプのもや、熱電子放出陰極を用いるガス雰囲気タイプのも（カウフマン型）では、電子の加速のために高真空が必要であるため、大掛かりで高価な排気手段が必要となる。また、上述した電子励起によるプロセス装置においては、電子線発生部とプロセス処理部との間の隔膜を電子線が透過する必要があるため、相当高い加速エネルギーを有する電子線を発生させる必要がある場合もある。一方、この隔膜を薄くして電子線の透過を容易としようすると、電子線発生部とプロセス処理部との間の圧力差を隔膜が支えることができなくなってしまうという問題もある。

【0009】したがって、本発明の目的は、上述した従

来の種々の欠点を解消もしくは軽減し、大きな電子放出電流を有するとともに高い加速エネルギーを有する電子線を効率良く発生することができ、しかも小型で安価な電子線発生装置を提供しようとするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明による電子線発生装置は、密閉空間を画成する容器と、この容器内に配置された熱電子放出陰極と、前記容器内に前記熱電子放出陰極と対向するように配置され、電子線が透過できるような形状を有する陽極と、前記熱電子放出陰極と陽極との間に放電電圧を印加する手段とを具え、前記容器内を希薄気体で満たし、この希薄気体の放電で生成される正イオンによって熱電子放出陰極の電子空間電荷を中和するとともに陽極降下が発生する領域に大きな加速電界を形成するように構成したことを特徴とするものである。

【0011】本発明は、以下の事実を確かめ、その認識を基にして成したものである。すなわち、熱電子放出陰極と、電子を透過する陽極とを容器内に対向して配置し、この容器内を希薄気体で満たし、希薄気体中で熱電子放出陰極を有する直流放電を発生させると、通常のグロー放電に見られる陰極周辺の大きな電圧降下は消失し、その代わりに通常のグロー放電では殆ど無視される程度の陽極周辺の電圧降下が顕著となる。そして、この陽極周辺の電圧降下領域で電子の加速が行われる。これは、希薄気体の放電で生成される正イオンが熱電子放出陰極の電子空間電荷を中和するため、放出電子電流は増加し、また、このプラズマによって電界分布が変化して、陽極降下部に大きな電界が形成されるという事実に基づくものである。したがって、加速電圧が高くなればなるほど希薄気体の電離度が高くなり、陰極周辺の空間電荷の効果は緩和され、電子放出電流は増加し、陽極効果部の電界は増加傾向を示すため、比較的大きな電子放出電流を効率よく加速することができる。本発明では、このようにして、大きな電子放出電流を有するとともに高い加速エネルギーを有する電子線を効率良く発生させることができ、しかも高真空とする必要がないので、装置を小型で安価とすることができる。

【0012】本発明による電子線発生装置においては、前記電子線を透過できる形状の陽極を、リング状、円筒状またはメッシュ状に構成するのが好適である。また、前記容器内の希薄気体の圧力は、0.1 ~ 1000 mTorrとするのが好適である。ここで、希薄気体の圧力を0.1 mTorrよりも低くすると、熱電子放出陰極の電子空間電荷を中和するための正イオンの発生量が少なくなり、十分大きな電子放出電流が得られない。また、希薄気体の圧力を1000 mTorrよりも高くすると、蛍光灯の放電と同じグロー放電と熱電離型プラズマとの中間のプラズマとなってしまう、陽極降下領域の電位差がそれほど顕著ではなくなるとともに電子の平均自由行程が短くなり過ぎてしまう。さらに、前記容器内の希薄気体は、特に限定され

るものではないが、熱電子放出陰極のフィラメントと反応してこれを変成する恐れのある反応性気体や高価な気体は使用しない方が望ましく、そのような観点からアルゴン、ヘリウム、窒素などの通常容易に入手することができる不活性気体や水素などの非反応性気体とするのが好適である。また、本発明では熱電子放出陰極を用いるので、熱電子放出陰極と陽極との間に印加される放電電圧は直流電圧でも交流電圧でも良い。

【0013】さらに、本発明は上述した電子線発生装置を電子線源とする電子励起によるプロセス装置にも関するものであり、電子線発生装置の容器と連結された反応容器と、これらの容器の間に配置された電子線を透過する隔膜とを具えることを特徴とするものである。このような電子励起によるプロセス装置の隔膜としては、後述する実施例で使用するようなメッシュのような開口を有する隔膜としたり、上述した特公平7-122143号公報および特許第2739889号公報に記載されているような開口を持たない隔膜とすることができる。ここで、開口を有する隔膜を使用するとき、反応容器に反応ガスを導入する場合には、この反応ガスが電子線発生装置の容器に侵入しないようにする必要がある。このため、反応容器のガス圧力を電子線発生装置の容器のガス圧力よりも低く設定する必要がある。しかし、このように反応容器のガス圧力を低く設定できない場合もあり、その場合には開口を持たない隔膜を使用すれば良い。

【0014】

【発明の実施の形態】図1は本発明による電子線発生装置の一実施例の構成を示す線図である。なお、本例では、電子線によって励起してプラズマを発生させ、電子励起によるプロセス装置として構成したものである。電子線発生用の第1の容器11と、プロセス用の第2の容器12とを連結し、これらの間に100ライン/インチの銅メッシュ13を配置する。すなわち、本例では、開口を有する隔膜を用いるものである。第1の容器11の内部には、タンゲステン製のフィラメント14と、冷陰極15とを配置する。フィラメント14には加熱電源16を接続し、フィラメントを加熱して熱電子を発生させる熱電子放出陰極を構成する。第1の容器11の内部には、さらに、電子線が透過するリング状の陽極17を配置する。第1の容器11を真空ポンプ(拡散ポンプ)18に連結し、容器内を所定の圧力に保つことができるようにする。このため、第1の容器11と真空ポンプ18との間の経路に真空計19を配置する。

【0015】第2の容器12には所定のガスを充填したガスタンク20を連結する。本例では、このガスタンク20にアルゴンガスを充填する。また、第2の容器12内のガス圧力を検知するために真空計21を設ける。実際の装置においては、第1の容器11で発生させた電子線を銅メッシュ13を経て第2の容器12に導き、第2の容器内のガスを電子線で励起してプラズマを発生さ

せ、このプラズマを利用して所定のプロセスが行われるものである。したがって、例えばプラズマエッチングを行なう場合には第2の容器12内には半導体ウエファが配置されるが、本例では、種々の特性を測定するために、第2の容器12内には、平板プローブ22を配置し、これを電流計23を経て可変直流電源24に接続する。

【0016】第1の容器11内に配置したタングステンフィラメント14とフィラメント電源16との間には電流計25を接続する。このフィラメント電源16は、直流であっても交流であっても良い。さらに、可変の加速用直流電源26を設け、その正端子を100 Ω の抵抗27および1K Ω の抵抗28を経て陽極17に接続し、これらの抵抗の接続点を接地する。また、加速用直流電源26の負端子を、フィラメント14に接続された冷陰極15へ接続する。さらに、加速用直流電源26の両端間に電圧計29を接続する。銅メッシュ13は抵抗30を経て接地し、導電性材料で造られている第2の容器12を抵抗31を経て接地する。

【0017】図2は、上述した電子線発生装置において、加速用直流電源26の電圧を変化させると共に、フィラメント14を流れるフィラメント電流を電流計25で測定しながら調整し、フィラメント14から放出される電子による放出電流を、抵抗27間の電圧の測定値から演算により求めるとともに第2の容器12内に配置された平面プローブ12で検出される透過電流を電流計23で測定した結果を示すものである。図2の曲線Aは放出電流を示し、曲線Bは透過電流を示すものである。なお、容器11内に満たされたアルゴンガスの圧力は1mTorrとした。これらの曲線から明らかのように、加速電圧を増加するに伴って、放出電流も透過電流も二つのピークを有する特徴的な変化を示した。すなわち、約250Vから、放出電流および透過電流ともに急激に増加するが、500V付近で、これらの電流は急減する。加速電圧をさらに高くすると、放出電流も透過電流は共にゆっくりとした増加に転じ、2000Vで次のピークを示す。放出電流は、その後ほぼ飽和するが、透過電流は僅かに減少した後、再度増加していく。

【0018】通常の熱電子放出電子銃の場合、陰極からの電子放出は熱電子の作る空間電荷によって電子放出が制限されてしまう。しかし、希薄気体中で250V程度の電圧を印加すると、気体が電離され、生成された正イオンが陰極周辺の電子空間電荷を中和するので陰極からの電子放出は増強され、したがって放出電流が著しく増加する。また、電離気体は電子線源の電位分布を変化させ、陽極周辺の電界を強調するため、この領域でも電子が加速される。したがって、透過電子は放出電子の増加とともに増加する。ところが、透過電子の個数およびエネルギーがともに増加すると、銅メッシュ13よりも後段の第2の容器12内で別の放電が顕著となり、そこで生成

された正イオンがメッシュ周辺の電子を中和するため、透過電流が急速に減少することになる。また、透過電流の減少は放出電流にも影響し、放出電流も減少する。

【0019】さらに、加速電圧を増大すると、透過電子の個数およびエネルギーが増加して第2の容器12内の電子数を増加させ、その負電位のためメッシュ13周辺の正イオンの取り込みが生じて、透過電流は再度増加する。より一層加速電圧が増加すると、電子は第2の容器12の内壁と衝突して二次電子放出が行われる。この二次電子放出は透過電流を減じるため、第2のピークを形成する。

【0020】上述した現象は、第1の容器11および第2の容器12内にプローブを配置した実験によっても確認された。まず、直径が0.5mmで、長さが5mmの銅線を、第1の容器11内において、リング状陽極17よりも5mm陰極側に配置して、電子線源でのプローブ測定を行った結果を図3に示す。加速電圧が3KVの条件で、プローブ電圧がゼロのときプローブ電流は約6 μ Aであった。そして、リング状電極の電圧をゼロとすると、プローブ電流がゼロのときのプローブ電圧は-750Vとなった。この電圧はこの位置の空間電荷を示すものである。さらに負のプローブ電圧を大きくすると、プローブ電流は飽和した。負のプローブ電流の存在は電子線源で電離が生じて正イオンが存在することを示している。しかし、正イオンが衝突して二次電子を放出するように大きな負のプローブ電圧は、プローブ電流にプローブからの二次電子放出電流を重畳することになるので、正味のイオン電流の見積もりは難しいが、正イオンの存在を否定するものではない。

【0021】熱電子放出陰極を有する電極系で直流放電を行った場合、陰極降下がなくなり、電界は電極間で一樣になるので、そのときのプローブ位置の空間電荷は-250Vとなる。したがって、実験で測定されたプローブ電位は一樣電界の電位よりも500Vも低い電圧となっている。このことは、陽極周辺部分に大きな電位差が生じていることを示している。したがって、陽極降下領域での大きな電界で電子が加速されて銅メッシュ13を透過することが分かる。

【0022】次に、第2の容器12内の電子電流およびエネルギーを測定するために、直径30mmの電極をテフロン板で裏打ちしたプローブをメッシュ13から25mm内側に配置して、プローブ電圧と電流との関係を測定した。プローブ電流がゼロのときのプローブ電圧を測定したところ図4に示すように、加速電圧5KVと7KVで、プローブ電圧は、2000Vと4300Vであった。この電圧は透過電子のエネルギーを示しており、加速電圧が7KVのときは、電子は4300eVとなり、1 μ mのポリイミド隔膜を電子が透過するのに必要な十分なエネルギーに加速されていることがわかる。さらに、このプローブによる測定結果は、負電流の存在を示

しており、正イオンの存在が確認された。したがって、第2の容器12内での高エネルギー電子の存在と電離とが確認された。

【0023】以上のように、電子線源に希薄気体が満たされていると、その電離によって電子線源の電位分布が変化して陽極周辺に大きな電位降下が形成され、この領域で電子の加速が効果的に行われる。この加速電子エネルギーは加速電圧が7KVのときに4300eVとなり、1 μ mの隔膜を電子が透過するのに必要な値になることが確認された。

【0024】本発明は上述した実施例にのみ限定されるものではなく、幾多の変更や変形が可能である。例えば、上述した実施例では、電子線を発生する第1の容器と、この電子線を利用する第2の容器との間にメッシュを設けたが、これらの容器を開口を持たない隔膜で分離することもできる。この場合には、第1の容器内のガスの種類および圧力と、第2の容器内のガスの種類および圧力とは自由に設定できる。しかし、圧力差を大きくするときは、隔膜の膜厚を厚くする必要があるが、このときは、電子線加速電圧を大きくすれば良い。

【0025】

【発明の効果】上述したように、本発明による電子線発生装置においては、0.1～1000mTorrの希薄気体中で、熱電子放出電極を陰極とし、リング状、円筒状或いはメッシュ状の電極を陽極としてこれらの間に加速電圧を印加し、陰極降下のない放電を生じさせる。すると、陽極周辺に印加電圧のかなりの部分が加わり、高電界が生じ、電子を効率よく加速することができる。したがって、陽極電極としてリング状、円筒状、メッシュ状の電極を使用することによって加速電子を効率良く透過させることができる。

【0026】例えば、1mTorrの希薄気体が存在し、加速電圧が7KVを越えると、加速電子エネルギーは4300eV以上のエネルギーとなる。この場合には、電子は1 μ m程度の有機物薄膜を透過することができる。そして、透過電子によって第2の容器12内の気体を電離させ、エッチング、CVD、気体処理などに使用できる。メッシュ電極を透過した電子は、大電流電子線源として、電界、磁界の存在下で加工され、加工や表面原子

のバルクへの拡散や、種々の個体表面励起にも使用できる。電子線加速電圧として、直流以外に、交流電圧または歪み電圧を使用することもできる。熱陰極のために、自己整流され、電子のみを種々のパルス状に加速することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明による電子線発生装置の一実施例の構成を示す断面図である。

【図2】図2は、加速電圧を変化させたときの放出電流および透過電流の変化を示すグラフである。

【図3】図3は、プローブ電圧と、プローブ電流との関係を示すグラフである。

【図4】図4は、第2の容器内でのプローブ電圧と、プローブ電流との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

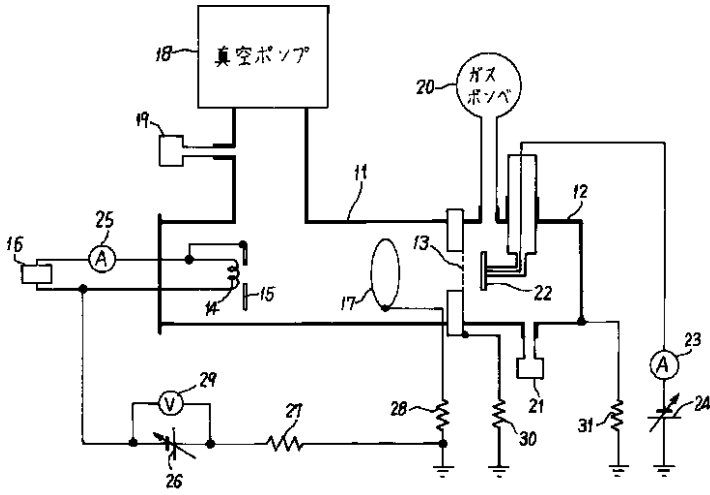
11 第1の容器(電子線発生槽)、12 第2の容器(反応槽)、13 銅メッシュ、14 タングステンフィラメント、15 冷陰極、16 フィラメント用電源、17 リング状陽極、18 真空ポンプ、19 真空計、20 ガスポンプ、21 真空計、22 平面プローブ、23 電流計、24 可変直流電源、25 電流計、26 加速用直流電源、27, 28, 30, 31 抵抗

【要約】

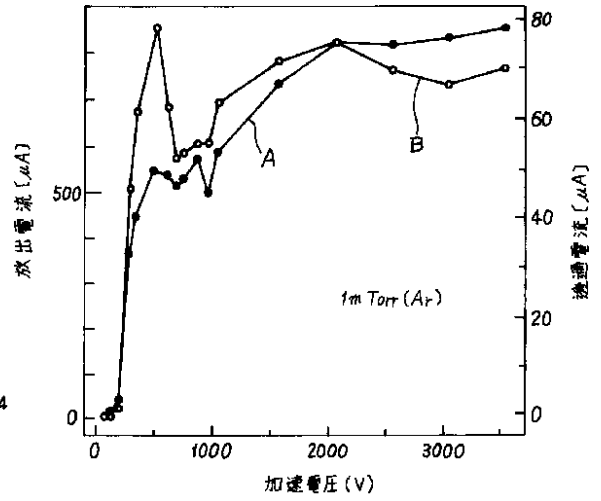
【課題】 大きな電子電流を有するとともに高い加速エネルギーを有する電子線を効率よく発生させる小型で安価な電子線発生装置を提供する。

【解決手段】 容器11内にタングステンフィラメント14およびこれに接続された冷陰極15を具える熱電子放出陰極と、リング状の陽極17とを対向して配置し、冷陰極と陽極との間に加速用直流電源26を接続する。容器11内に、希薄気体、例えばアルゴンガスを0.1～1000mTorrの圧力で満たす。希薄気体の放電で生成される正イオンによって、熱電子放出陰極の電子空間電荷が中和されるので、熱電子放出陰極からきわめて大きな電子電流が放出される。また、希薄気体の放電によって生成されるプラズマにより電界分布が変化し、陽極降下領域に大きな電界が形成され、これによって電子は高いエネルギーに加速される。

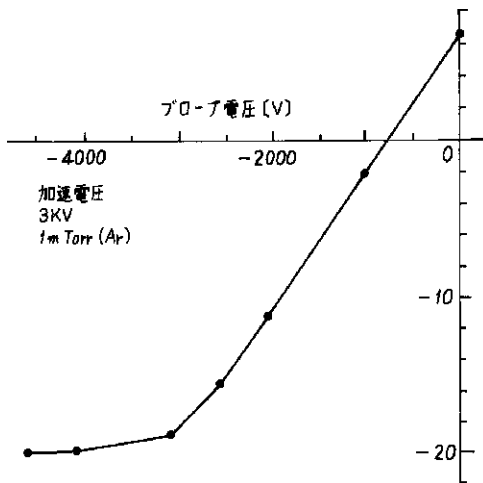
【図1】



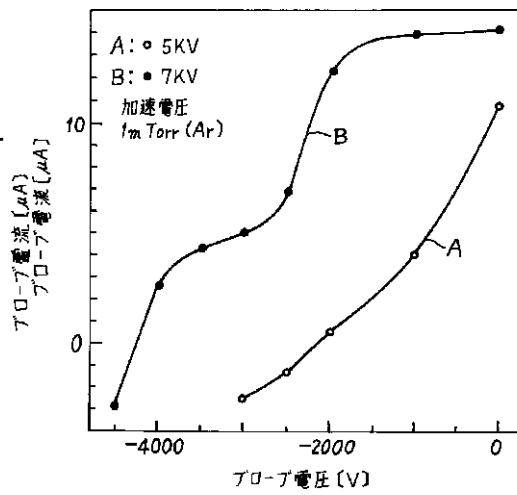
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 平6 - 302291 (J P , A)
 特開 平4 - 58445 (J P , A)
 特開 平3 - 167741 (J P , A)
 特開 昭61 - 153937 (J P , A)
 特開 昭63 - 133439 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl.6, D B名)
 H01J 37/06 - 37/07
 H01J 33/00 - 33/04
 H01J 37/301
 G21K 5/04