

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3553359号
(P3553359)

(45) 発行日 平成16年8月11日(2004.8.11)

(24) 登録日 平成16年5月14日(2004.5.14)

(51) Int. Cl.⁷

H01J 37/06

F I

H01J 37/06

A

請求項の数 5 (全 8 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願平10-61982 | (73) 特許権者 | 000004271 日本電子株式会社 東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号 |
| (22) 出願日 | 平成10年2月27日(1998.2.27) | (74) 代理人 | 100087273 弁理士 最上 健治 |
| (65) 公開番号 | 特開平11-250845 | (72) 発明者 | 松谷 幸 東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日本 電子株式会社内 |
| (43) 公開日 | 平成11年9月17日(1999.9.17) | 審査官 | 村田 尚英 |
| 審査請求日 | 平成13年11月16日(2001.11.16) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子線源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

陰極と、陰極加熱装置と、前記陰極からの熱電子放出を制御するバイアス電圧を印加する電極と、陽極とを備えた電子線源において、予め設定された加速電圧のもとで、陰極の寿命を指定する手段又は電子線源の電子光学的輝度を指定する手段と、前記陰極寿命指定手段又は電子光学的輝度指定手段の指定値に基づいて前記陰極加熱装置の加熱量を設定制御する手段とを備えていることを特徴とする電子線源。

【請求項2】

電子線源のエミッション電流を切り換えるためのバイアス電圧切換装置と、該バイアス電圧切換装置を切り換え制御する手段とを備え、前記予め設定された加速電圧のもとで、陰極の寿命又は電子光学的輝度を指定した場合、エミッション電流が、前記加速電圧と陰極の寿命の組み合わせ又は前記加速電圧と電子光学的輝度の組み合わせで決定されるエミッション電流に最も近い値になるように、前記バイアス電圧切換装置を制御するように構成されていることを特徴とする請求項1記載の電子線源。

【請求項3】

前記陰極加熱装置において設定された加熱量 $F_c(n)$ 〔 n は異なる設定をした順番を示す整数〕と、該加熱量で陰極を加熱する設定時間 $t_u(n)$ とをモニタする表示手段を備え、該表示手段には前記指定された電子線源の寿命に対する前記加熱量及び加熱時間に基づく残りの陰極使用可能時間を表示するように構成されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の電子線源。

10

20

【請求項 4】

前記バイアス電圧切換装置切換制御手段は、指定された寿命と加速電圧に対し、電子線源の電子光学的輝度が常に最大になるようにバイアス電圧を制御する制御モードを備えていることを特徴とする請求項 2 記載の電子線源。

【請求項 5】

前記陰極加熱装置制御手段及びバイアス電圧切換装置切換制御手段は、指定された電子線源の電子光学的輝度が、加速電圧を変えても理論的に実現できる範囲内で常に一定になるように、陰極の加熱量及びバイアス電圧をそれぞれ制御する制御モードを備えていることを特徴とする請求項 2 記載の電子線源。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

この発明は、電子顕微鏡などに用いる電子線源に関し、特に電子線源の電子光学的輝度や陰極の寿命等を直接指定できるようにした電子線源に関する。

【0002】**【従来の技術】**

電子顕微鏡等の電子線源には様々なタイプのものがあるが、安定した電子線電流を得るため、金属の熱電子放出を利用した陰極が広く用いられている。ところで、金属の熱電子放出を利用する従来の電子線源においては、線源の電子光学的な輝度や陰極（カソード）の寿命などを、操作表示部に数値的あるいは視覚的に直接指定する機能を備えていない。したがって、例えば、線源の輝度を変更する場合には、陰極先端とウエーネルト（グリッド）との距離を手動で変えるか、又は陰極とウエーネルト間の電圧（バイアス電圧）の設定を手動で変えることによって、試行錯誤的にエミッション電流を変え、このエミッション電流の大きさから線源の輝度の大小を経験的に決めている。また、陰極の寿命に関しては、陰極の加熱量を示す加熱量設定つまみの位置やコード番号の値、あるいは陰極電流の大小関係を読み取ることによって、陰極寿命の長短を経験的に決めている。

【0003】**【発明が解決しようとする課題】**

従来の電子線源においては、上記のように電子線源の輝度や、陰極の寿命等を、操作表示部において数値的あるいは視覚的に直接指定することができないため、電子線源の他のファクタの数値や条件に基づいて、これらの輝度や寿命を経験的に類推するしかなく、これらの輝度や寿命を他のファクタの数値や条件に基づいて類推する場合でも、定量的な情報が直接的に操作表示部に示されないため、これらの輝度や寿命の大小関係を直接的に確認することができないという問題があった。このように、オペレータにとって重要な数値が間接的にしか類推できないということは、オペレータにとって電子線源の操作運用を困難ならしめている。

【0004】

本発明は、従来の電子線源における上記問題点を解消するためになされたもので、電子線源の輝度あるいは陰極の寿命を直接指定することができ、操作性を向上させた電子線源を提供することを目的とする。

【0005】**【課題を解決するための手段】**

上記問題点を解決するため、本発明は、陰極と、陰極加熱装置と、前記陰極からの熱電子放出を制御するバイアス電圧を印加する電極と、陽極とを備えた電子線源において、予め設定された加速電圧のもとで、陰極の寿命を指定する手段又は電子線源の電子光学的輝度を指定する手段と、前記陰極寿命指定手段又は電子光学的輝度指定手段の指定値に基づいて前記陰極加熱装置の加熱量を設定制御する手段とを備えていることを特徴とするものである。

【0006】

このように、陰極の寿命を指定する手段又は電子線源の電子光学的輝度を指定する手段と

10

20

30

40

50

、陰極寿命指定手段又は輝度指定手段の指定値に基づいて陰極加熱装置の加熱量を設定制御する手段とを備えているので、陰極の寿命を直接指定するか又は電子線源の輝度を直接設定して陰極加熱を制御することができ、操作性を向上させた電子線源を実現することができる。

【0007】

【発明の実施の形態】

次に、実施の形態について説明する。図1は、本発明に係る電子線源の実施の形態を示す概略構成図である。図1において、1は陰極で、該陰極1は陰極加熱電源2によって加熱されるようになっており、この陰極加熱電源2には陰極加熱電流をモニタする装置が含まれている。また、陰極1に電位(-Va)を供給するため、陰極加熱電源2はバイアス切

10

【0008】

9は操作表示部・制御部で、コンピュータ制御装置又はこれに相当する機能を含むもので、該操作表示部・制御部9は信号線10を介して陰極加熱電源2、バイアス切

20

【0009】

次に、このように構成されている電子線源における電子線源の輝度及び陰極の寿命の指定の原理について説明する。一般に、金属の熱電子放出を利用した陰極において、陰極の温度をT[K]、陰極の材質によって決まる仕事関数を[eV]とすると、熱電子放出による陰極の電流密度Js[Acm⁻²]は、次式(1)で示すRichards

30

Js = AT² exp(- / kT) (1)

ここで、Aは常数で、理論値はA = 120.4 Acm⁻² K⁻²であるが、陰極の表面状態によって変化することが知られている。なお、kは Boltzmann定数 (= 8.617 x 10⁻⁵ eVK⁻¹)である。

【0010】

ところで、電子線源の電子光学的な輝度 [Acm⁻²sr⁻¹]は、単位面積・単位立体角内に得られるビーム電流Ip[A]として定義されている。電子線源の実質的な光源としての有効半径をr[cm]、ビームの開き各(半頂角)を [rad]とすると、光源の電流密度は、J = Ip / (r²)に相当するため、

40

= J / () (2)

【0011】

一方、電子に対する加速電圧をVa、電子の電荷の絶対値をe[C]とすると、電子線をレンズ系を用いて集束しても、得られる最大電流密度Jm[Acm⁻²]は、Langmuirの熱的制限による式で制限されるため、

Jm = Js (1 + eVa / kT) sin² Js (eVa / kT) (3)

したがって、電子光学的な理論的最大輝度は、次式(4)で表される。

50

$$= J m / \quad ^2 \quad (J s /) \cdot (e V a / k T) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

【 0 0 1 2 】

したがって、加速電圧 $V a$ において、輝度 の値を指定すれば、(1) , (4) 式から陰極の温度 T が定まる。すなわち、(1) 式を (4) 式に代入し、数値計算により温度 T が求められる。例えば、陰極として線径が約 0.1 mm のタングステンのヘアピン型のフィラメントを用いた場合、 $= 4.4 \text{ eV}$, $A = 120 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$, $V a = 25 \text{ kV}$ と仮定すると、輝度 $= 0.86 \times 10^5$ 及び 3.7×10^5 [$\text{A cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$] に対する陰極の温度 T は、それぞれ 2600 及び 2800 [K] となる。この温度 T は、陰極加熱電源 2 に設定された加熱量を示す値 $F c$ (例えば加熱電流 $I f$ や加熱電圧 $V f$ に相当) によって設定できる。より正確な加熱を行うには、実際に流れた加熱電流 $I f$ をモニタして所定の加熱量とすればよい。

10

【 0 0 1 3 】

陰極から放出される電子の量 (エミッション電流 $I e$, すなわち陰極の電流密度 J に陰極微小表面積 $d s$ を乗じた積分値 $J d s$) を決めるファクタには、陰極の温度 T の他に、陰極 1 の電位 ($- V a$) とウエーネルト 6 の電位 ($- V g$) がある。すなわち、図 2 に示すように、 $V a$ を大又は $V g$ を小とするとエミッション電流 $I e$ が大きくなり、 $V a$ を小又は $V g$ を大とするとエミッション電流 $I e$ は小さくなる。また通常は、安定なエミッション電流 $I e$ を得るために、図 2 に示すように、温度 T の変化でエミッション電流 $I e$ が大幅に変化する温度制限領域ではなく、温度 T が多少変化してもエミッション電流 $I e$ があまり変化しない空間電荷制限領域で使用される。

20

【 0 0 1 4 】

前記陰極加熱電源 2 に設定された加熱量を示す値 $F c$ 付近に対応する温度 T が、陰極の電子放出が温度制限領域から空間電荷制限領域に移る部分 (飽和点、図 2 において点線で示す部分) であれば、指定された電子線源の輝度 が陰極の加熱し過ぎなしに得られる。この表面の各温度 T における電流密度 $J s$ から、陰極の形状 (特に表面積) に応じた、すなわち各電流密度 $J s$ に表面積 $d s$ を乗じた積分値 $J s d s$ より、エミッション電流 $I e$ が得られる。

【 0 0 1 5 】

例えば、線径が約 0.1 mm のヘアピン型のタングステンフィラメントの場合、 $T = 2600$ 及び 2800 [K] に対して、それぞれ電流密度 $J s = 2$ 及び 10 [A cm^{-2}] が得られ、これら電流密度に対応して、装置に固有な値ではあるが、それぞれエミッション電流 $I e = 20$ 及び 100 [μA] が近似的に求められる。したがって、加速電圧 $V a$ と電子線源の輝度 を指定することにより、これらの指定値を満たすエミッション電流 $I e$ が定められることになる。

30

【 0 0 1 6 】

また、陰極の温度 T と陰極の蒸発率 $R t$ の関係や、陰極の蒸発率 $R t$ と陰極の寿命 については、様々な文献で紹介がなされている。例えば、線径が 0.1 mm のヘアピン型のタングステンフィラメントの場合は、温度 $T = 2600$ 及び 2800 [K] に対して、それぞれ陰極の寿命 $= 600$ 及び 50 [hour] が近似的に得られる。逆に、寿命 の値を指定することにより、陰極の蒸発率 $R t$ と温度 T が定まり、この温度 T と加速電圧 $V a$ から、陰極の輝度 と電流密度 $J s$ が求められ、設定すべきエミッション電流 $I e$ が定められる。

40

【 0 0 1 7 】

以上、電子線源における輝度 及び陰極の寿命 の指定の原理について説明したが、次に、図 1 に示した実施の形態における電子線源の輝度 及び陰極の寿命 の具体的な指定動作について説明する。まず、電子線源の輝度 を指定する場合について説明する。与えられた加速電圧 $V a = V a_1$ に対し、操作表示部・制御部 9 の指定部において電子線源の輝度 $= \quad_1$ を数値で (又は輝度が高、中、低などと感覚的に) 指定し表示する。この輝度 \quad_1 の指定により、操作表示部・制御部 9 においては、加速電圧 $V a_1$, 輝度 \quad_1 という条件下で、陰極加熱電源 2 による陰極加熱が飽和点から著しく離れた加熱になら

50

ないように、陰極加熱電流 $I_{f1} = I_f(V_{a1}, \gamma_1)$ を、加速電圧 V_a と輝度のテーブル TA から選び出し、陰極加熱電源 2 に設定を指令する。

【0018】

次に、操作表示部・制御部 9 において、指定輝度 γ_1 が得られるエミッション電流 $I_{e1} = I_e(V_{a1}, \gamma_1)$ を、加速電圧 V_a と輝度のテーブル TB から選び出す。そして、この選び出されたエミッション電流 I_{e1} に最も近いエミッション電流が流れるように、バイアス切換装置 3 に対してバイアスの切り換えを指令する。図 1 に示す最も簡単な実施の形態においては、複数個のバイアス抵抗の中から適切な抵抗値のものを選ぶことにより、所定のバイアスの設定を行う。

【0019】

実際のエミッション電流 I_{es} は、エミッション電流検出器 8 で検出され、操作表示部・制御部 9 は、検出したエミッション電流 I_{es} の値が、前記テーブル TB から選び出されたエミッション電流 I_{e1} より大きければ、バイアス切換装置 3 のバイアス抵抗値を大きい方に切り換えて、エミッション電流を小さくし、検出エミッション電流 I_{es} が選出エミッション電流 I_{e1} より小さければ、バイアス切換装置 3 のバイアス抵抗値を小さい方に切り換えて、エミッション電流を大きくするように、バイアス切換装置 3 へ指令を行う。そして、操作表示部・制御部 9 は、サンプリングした検出エミッション電流 I_{es} のうち、 $|(I_{es} - I_{e1}) / I_{e1}|$ の値が最も小さくなるようなバイアス抵抗値を選び、バイアス切換装置 3 にこの抵抗値の設定の指令をする。

【0020】

この後、陰極 1 の加熱し過ぎを避けて陰極 1 の寿命を伸ばすため、必要に応じて電子線源の飽和点判定を実施することができる。本実施の形態においては詳細な説明は省略するが、この飽和点の判定は、陰極温度 T の変化に対するエミッション電流 I_e や電子ビーム電流の変化分を測定して行うものであり、この飽和点の設定は自動的に行うこともできる。この飽和領域では陰極加熱を変更してもエミッション電流の変化は少ないので、最初に指定した輝度がこの段階でずれることは実質的にない。以上のようにして、電子線源の輝度を、陰極の寿命を必要以上に縮めることなく指定することができる。

【0021】

次に、陰極の寿命の指定について説明する。操作表示部・制御部 9 において陰極 1 の寿命 $\tau = \tau_1$ を指定すると、寿命までの陰極 1 の蒸発率 R_t が指定されたことになる。この蒸発率 R_t を与える陰極温度 T は、陰極 1 の材質によって決まる。次に、これにより決まる陰極温度 T と、与えられた加速電圧 $V_a = V_{a1}$ に対し、陰極の各材質に関して使用可能な電子線源の輝度 γ_1 が、 $\gamma_1 = \gamma_1(V_{a1}, \tau_1)$ として、加速電圧 V_a と寿命 τ のテーブル TC から求められる。使用可能な輝度 γ_1 が求められると、先に述べた手順に従って目的とする陰極加熱を行うことができる。

【0022】

上記実施の形態の説明においては、電子線源の電子光学的な輝度 γ や陰極の寿命 τ を指定して陰極の加熱条件を設定するようにした構成のものを示しているが、前記の説明から明らかのように、輝度 γ や寿命 τ を指定する代わりに、予め設定された加速電圧 V_a のもとで、エミッション電流 I_e を指定して、このエミッション電流 I_e で飽和点付近になるように陰極を加熱することもできる。すなわち、指定されたエミッション電流 I_{e1} に最も近いエミッション電流が流れるようにバイアス切換装置 3 に対してバイアスの切り換えを指令して、陰極の加熱を行うことができる。

【0023】

また、上記実施の形態においては、例えばタングステンなど単一の材質で構成した一種類の陰極を用いている場合について説明を行ったが、陰極の材質を操作表示部・制御部 9 で指定し表示できるようにし、そして指定した材質の陰極に適するように、飽和点からあまり離れていない陰極加熱電流 $I_{f1} = I_f(V_{a1}, \gamma_1)$ を求めるテーブル TA , エミッション電流 $I_{e1} = I_e(V_{a1}, \gamma_1)$ を求めるテーブル TB , 輝度 $\gamma_1 = \gamma_1(V_{a1}, \tau_1)$ を求めるテーブル TC を、それぞれ切り換えて用いるように構成する

10

20

30

40

50

こともできる。

【0024】

また、上記実施の形態においては、加速電圧 V_a と共に電子線源の輝度 I 、又は陰極の寿命 L を指定して表示するようにしたものを示したが、図3に示すように加速電圧 V_a と共に電子線源の輝度 I を指定した場合、陰極の温度 T が定まり、陰極温度 T が定まると陰極の材質により蒸発率 R_t が定まり、したがって、陰極の寿命 L が定まることになるので、指定した電子線源の輝度 I と共に寿命 L を表示するように構成することができる。また同様に、加速電圧 V_a と共に陰極の寿命 L を指定し表示した場合には、これらの条件下で得られる輝度 I を同時に表示することができる。

【0025】

また、陰極加熱電源2又は操作表示部・制御部9の内部に、陰極1を加熱した時間を測定するタイマー（又はタイマーの働きをするソフトウェア）を設けて、図3に示すように陰極使用時間 t_u を操作表示部・制御部9に表示できるようにすると共に、指定した寿命 L に対して残りの寿命 $r = L - t_u$ を操作表示部・制御部9に表示するように構成することもできる。

【0026】

また、陰極1の寿命に至るまでの間に、輝度 $I(n)$ を変えたり、寿命 $L(n)$ を変更して用いる場合には（但し n は変更した順番を表し、 $n = 1, 2, 3, \dots, m$ とする）、各陰極温度 $T(n)$ に対する陰極の蒸発率 $R_t(n)$ と使用時間 $t_u(n)$ 、並びに陰極の蒸発量の限界値 E_c から、 m 回目の指定以降に許容される残りの蒸発量 $E_r(m)$ は、次式(5)で求められる。

$$E_r(m) = E_c - R_t(n) \cdot t_u(n) \cdot \dots \cdot (5)$$

残りの寿命 $r(m)$ は、次式(6)で表される。

$$r(m) = E_r(m) / R_t(m) \cdot \dots \cdot (6)$$

これらの演算を操作表示部・制御部9で行い、全体の使用時間 $t_u(n)$ 等と共に操作表示部・制御部9に表示することもできる。なお、上記総和記号における総和範囲は、 $n = 1$ から $n = m - 1$ までである。

【0027】

また、加速電圧 V_a を変更すると、前記(4)式からわかるように、得られる最大輝度 I_{max} は変化する。予め指定された寿命 L 、したがって指定された陰極温度 T に対し、空間電荷制限領域において最大の輝度 I_{max} が得られるように、バイアス切換装置を調整することができる。すなわち、陰極温度 T に対して使用可能な電子線源の輝度 I が加速電圧と寿命のテーブル T_C から求められ、この輝度 I が得られるエミッション電流が加速電圧と輝度のテーブル T_B から選出され、このエミッション電流が流れるようにバイアス切換装置が調整される。これにより陰極の寿命期間中効率よく電子線源を動作させることができる。

【0028】

また、予め指定された輝度 I に対し、もし変更された加速電圧 V_a で前記指定輝度 I が実現できる場合には、前記(4)式からわかるように、輝度 I を一定に保つように陰極の温度 T を変更することもできる。

【0029】

【発明の効果】

以上実施の形態に基づいて説明したように、本発明によれば、電子線源の輝度又は陰極の寿命を指定し、それに基づいて陰極加熱を制御して電子線源を動作させることができ、輝度や陰極を従来のように経験や感に頼って設定する必要がなく、操作性を向上させた電子線源を実現することができる。また、陰極の寿命と電子線源の輝度とを対にして表示することが可能となるので、電子線源の所望動作態様の選定を容易に行うことができる。また、指定あるいは設定された電子線源の輝度や陰極の使用時間の表示に加えて、陰極の残りの使用可能な時間を表示することが可能なので、電子線源の陰極の交換時期等を容易に把握することができる。また、バイアス電圧切換装置の切換制御手段に、指定された寿命と加速電圧に対し、電子線源の輝度が常に最大になるようにバイアス電圧を制御する制御モ

10

20

30

40

50

ードを備えることにより、陰極の寿命期間中効率よく電子線源を動作させることが可能となる。また、陰極加熱装置の制御手段及びバイアス電圧切換装置の切換制御手段に、予め指定された輝度が理論的に実現できる範囲内で、指定された加速電圧が変更されても常に一定になるように陰極加熱及びバイアス電圧を制御する制御モードを設けることにより、電子線源からのビームを集束する場合、加速電圧を変えてもビームの集束状態の変化を低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る電子線源の実施の形態を示す概略構成図である。

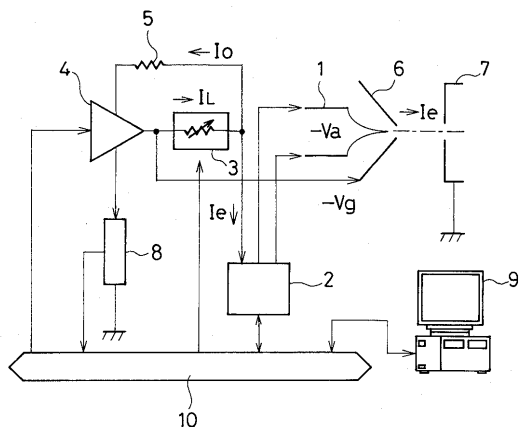
【図2】飽和点におけるエミッション電流を説明するための陰極温度とエミッション電流の関係を示す図である。

【図3】図1に示した実施の形態における操作表示部・制御部における輝度の指定と寿命等の表示態様を示す図である。

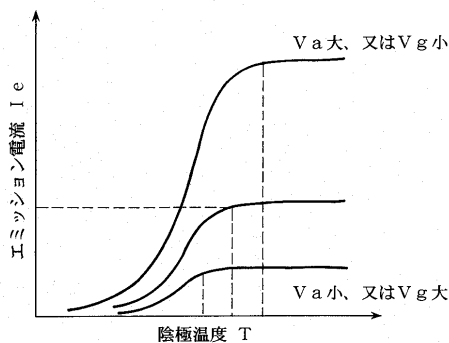
【符号の説明】

- 1 陰極
- 2 陰極加熱電源
- 3 バイアス切換装置
- 4 高圧電源
- 5 帰還抵抗
- 6 ウェーネルト
- 7 陽極
- 8 エミッション電流検出器
- 9 操作表示部・制御部
- 10 信号線

【図1】



【図2】



【図3】

- 1：陰極
- 2：陰極加熱電源
- 3：バイアス切換装置
- 4：高圧電源
- 5：帰還抵抗
- 6：ウェーネルト
- 7：陽極
- 8：エミッション電流検出部
- 9：操作表示部・制御部
- 10：信号線

| | | |
|--------|-------------------|---------------------------------------|
| 加速電圧 | 25 | [kV] |
| 陰極 | W | |
| 輝度 | 1.0×10^5 | [Acm ⁻² sr ⁻¹] |
| エミッション | (20) | [μ A] |
| 寿命 | (500) | [hour] |
| 使用時間 | 300 | [hour] |
| 残り時間 | 200 | [hour] |

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平05 - 283032 (JP, A)
特開平03 - 155032 (JP, A)
特開平04 - 065054 (JP, A)
特開平05 - 074395 (JP, A)
特開平05 - 182620 (JP, A)
特開昭58 - 223247 (JP, A)
特開平07 - 262956 (JP, A)
特開平06 - 267467 (JP, A)
特開昭57 - 027549 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01J 37/06

H01J 37/04