

(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
2009年8月13日(13.08.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/098788 A1

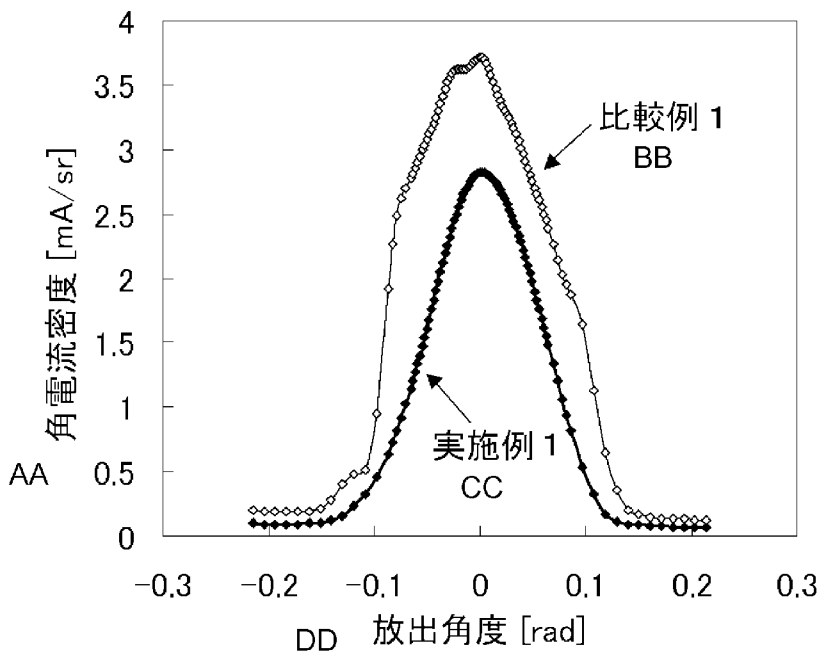
- (51) 国際特許分類: H01J 9/02 (2006.01) H01J 37/073 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/055558
- (22) 国際出願日: 2008年3月25日(25.03.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願 2008-027796 2008年2月7日(07.02.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 電気化学工業株式会社 (DENKI KAGAKU KOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1038338 東京都中央区日本橋室町二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中原 史博 (NAKAHARA, Fumihiro) [JP/JP]; 〒3778520 群馬県
- (74) 代理人: 園田 吉隆, 外 (SONODA, Yoshitaka et al.); 〒1630453 東京都新宿区西新宿二丁目1番1号 新宿三井ビル53階 園田・小林特許事務所 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,

[続葉有]

(54) Title: MANUFACTURING METHOD OF ELECTRON SOURCE

(54) 発明の名称: 電子源の製造方法

[図5]



(57) Abstract: An electron gun with a truncated-cone-shaped cathode with uniform emission current density is efficiently manufactured. A manufacturing method of a cathode electron gun equipped with a supply source for diffusing oxide of a metal element on a single crystal needle of tungsten or molybdenum includes steps of forming a truncated-cone-shape having a flat plane at a single crystal edge serving as the cathode by machining beforehand, thereafter thinning and removing a front layer of the flat plane by a focused gallium ion beam, and re-flattening it.

(57) 要約: 陰極が円錐台形状を有する電子銃であって放射電流密度が均一な電子銃を、効率よく製造する。タンゲステン又はモリブデンの単結晶ニードルに金属元素の酸化物を拡散させるための供給源を設けてなる陰極電子銃の製造方法であって、陰極である単結晶端部に、予め機械加工により平坦面を有する円錐台形状に形成後、集束ガリウムイオンビームにより前記平坦面表層を薄削除し再平坦化する。

AA ANGLE CURRENT DENSITY [mA/sr]
 BB COMPARISON EXAMPLE 1
 CC EMBODIMENT 1
 DD EMISSION ANGLE [rad]

WO 2009/098788 A1



LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

電子源の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、電子源の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、熱陰極よりも長寿命でより高輝度の電子ビームを得るために、タングステン単結晶の針状電極にジルコニウムと酸素との被覆層を設けたといわれる陰極(電子源(以下、ZrO/W電子源と記す))を用いた電子銃が用いられている(以下、ZrO/W電子銃と記す)(非特許文献1参照)。

[0003] ZrO/W電子銃は、軸方位が<100>方位からなるタングステン単結晶の針状の陰極に、ジルコニウム及び酸素からなる被覆層(以下、ZrO被覆層という)が設けられる。このZrO被覆層によってタングステン単結晶の(100)面の仕事関数は、4.5eVから約2.8eVに低下させられ、この陰極の先端部に形成された(100)面に相当する微小な結晶面のみが電子放出領域となるので、従来の熱陰極よりも高輝度の電子ビームが得られ、しかも長寿命であるという利点を有する。また冷電界放射電子銃よりも安定で、低い真空度でも動作し、使い易いという利点を有している(非特許文献2参照)。

[0004] ZrO/W電子銃は、図1に示すように、絶縁碍子5に固定された導電端子4に設けられたタングステン製のフィラメント3の所定の位置に電子ビームを放射するタングステンの<100>方位の針状の陰極1が溶接等により固着されている。陰極1の一部には、ジルコニウムと酸素の供給源2が設けられている。なお、図示していないが陰極1の表面はZrO被覆層で覆われている。

[0005] 陰極1はフィラメント3により通電加熱されて一般に1800K程度の温度下で使用されるので、陰極1の表面のZrO被覆層は蒸発する。しかし、供給源2よりジルコニウム及び酸素が拡散することにより、陰極1の表面に連続的に供給されるので、結果的にZrO被覆層が維持される。

[0006] ZrO/W電子銃の陰極1の先端部はサプレッサー電極8と引き出し電極9の間に配

置され使用される(図3参照)。陰極1には引き出し電極9に対して負の高電圧が印加され、更にサプレッサー電極8には陰極1に対して数百ボルト程度の負の電圧が印加され、フィラメント3からの熱電子を抑制する。

[0007] ZrO/W電子銃は低加速電圧で用いられる測長SEMやウェハ検査装置においては、プローブ電流が安定していて且つエネルギー幅の拡がりが抑えられるという理由で0.1~0.2mA/srの角電流密度で動作される。

[0008] 一方、電子線露光装置、及びオージェ分光装置等においては、スループトットが重視されるために0.4mA/sr程度の高い角電流密度で動作される。このようなスループトットを重視する用途では、更に高い角電流密度動作が望まれ、1.0mA/srもの高い角電流密度での動作が要求されることがある。

[0009] しかしながら、ZrO/W電子銃においては、(1)高角電流密度動作時に高々1.0mA/sr程度の角電流密度が上限である点、および(2)この時、陰極と引き出し電極間に印加される引き出し電圧が4kV以上と大きく、チップ先端での電界強度が $0.4 \sim 1.0 \times 10^9 \text{V/m}$ と著しく高くなり、アーク放電による故障頻度が高くなる点を克服すべきという面でさらなる改善の余地があった(非特許文献3参照)。

[0010] この欠点を解決するために、ZrO/W電子銃の陰極端部を円錐台形状とし、電子放射部となる円錐台上面の直径を $5 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下と電子放射面積を広くすることで低い引き出し電圧で高角電流密度動作させる電子銃が提案されている(特許文献1参照)。なお、この特許文献1の実施例によれば、陰極端部を円錐状に形成後、機械研磨によって陰極端部を円錐台形状に形成している。また、この特許文献1では、陰極端部を円錐状に形成後、集束ガリウムイオンビームにより平面的に削除し円錐台状に形成する方法についても提案されている。

[0011] しかし、機械研磨を用いて陰極端部を円錐台状にした電子銃においては、放射電流密度が不均一になるという問題点が生じる場合がある。この不均一性により軸上電流がばらつき、均一に電子線照射を行なうことが困難になる。この不均一性は、単結晶ロッドを機械加工した際の加工表面損傷によるものと考えられている。この加工損傷層の深さは、機械加工、機械研磨時の砥粒の荒さに依存するが、数 $10 \mu\text{m}$ に及ぶことが知られている(非特許文献4参照)。

[0012] このような問題点に対して、機械研磨による陰極端部の円錐台状加工後、電解研磨により加工損傷層を除去することで、電流放射分布の不均一性を改善する方法が提案されている(特許文献2参照)。この特許文献2の実施例では直径 $20\mu\text{m}$ の平坦部を設けた場合の電流放射分布の不均一性を改善する効果についても実証されている。

[0013] 特許文献1:国際公開WO2004/073010号パンフレット

特許文献2:国際公開WO2006/075715号パンフレット

非特許文献1:D. Tuggle, J. Vac. Sci. Technol. 16, p1699(1979)

非特許文献2:M. J. Fransen, "On the Electron-Optical Properties of the ZrO/W Sc hottky Electron Emitter", ADVANCES IN IMAGING AND ELECTRON PHYSICS, VOL. III, p91-166, 1999 by Academic Press.

非特許文献3:D. W. Tuggle, J. Vac. Sci. Technol. B3(1), p220 (1985)

非特許文献4:"SURFACE ANALYSIS BY X-RAY TOPOGRAPHY AND ETCHING DURING THE PREPARATION OF SINGLE CRYSTAL SURFACES" U. Linke and W. U. Kopp, Microstructural Sciences, Vol.9, 1981, p299-308

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0014] しかしながら、上記文献記載の従来技術は、以下の点で改善の余地を有していた。

[0015] 第一に、特許文献1では、陰極端部を円錐状に形成後、集束ガリウムイオンビームにより平面的に削除し円錐台状に形成する方法についても提案されているが、実施例に記載されているのは、陰極端部を円錐状に形成後、機械研磨によって陰極端部に直径 $100\mu\text{m}$ の平坦部を設けて円錐台形状に形成する方法である。

[0016] 確かに、陰極端部を円錐状に形成後、集束ガリウムイオンビームにより平面的に削除し円錐台状に形成すれば、特許文献1に記載されているように、損傷層の少ない電子放射面を形成することができ、均一な放射電流密度を得ることが可能となると想定される。ただし、集束ガリウムイオンビームによる加工速度が非常に遅いため、円錐状の陰極端部から直径 $5\mu\text{m}$ 程度の平坦面を形成するのに、数時間がかかってしまい、実際の量産ラインにおける製造工程を考慮に入れば、直径 $10\mu\text{m}$ 以上の平

平坦面を集束ガリウムイオンビームにより形成することは非常に困難である。

[0017] 第二に、特許文献2では、機械研磨による陰極端部の円錐台状加工後、電解研磨により加工損傷層を除去する方法が開示されており、実施例では直径 $20\mu\text{m}$ の平坦部を設けた場合の電流放射分布の不均一性を改善する効果についても実証されている。

[0018] しかしながら、この方法では、電解研磨により電子放射面外周にダレが生じてしまうため、電子放射面である円錐台上面の径が小さい場合には、電子放射面が曲面状になり放出電流密度が低下するという欠点がある。

[0019] すなわち、本発明者等は、上記のように、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない電子放射面を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる、という個々の技術的要求を解決するための技術を開発してきた。しかし、本発明者等は、上記のように、幾つかの発見に基づいて、それらの技術によっては、これら3つの互いに相反する関係にある技術的要求をバランスよく実現することができないことを発見した。

[0020] このように、これら3つの技術的要求が互いに相反する関係にあることは、本発明者等が、特許文献1の技術をさらに改良する過程で、集束ガリウムイオンビームによる加工速度が非常に遅いため、円錐状の陰極端部から直径 $5\mu\text{m}$ 程度の平坦面を形成するのに、数時間がかかってしまうということに気づき、特許文献2の技術をさらに改良する過程で、電解研磨により電子放射面外周にダレが生じてしまうため、電子放射面である円錐台上面の径が小さい場合には、電子放射面が曲面状になり放出電流密度が低下することに気付いた結果、初めて認識された技術的課題である。

[0021] 本発明は当技術分野で初めて認識された上記技術的課題に鑑みてなされたものであり、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない電子放射面を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる、という互いに相反する関係にある3つの技術的要求をバランスよく実現することができる技術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

[0022] 本発明によれば、ロッドの一端部に電子放射部を有する電子源の製造方法であつ

て、機械加工法により端部を平坦面を有する円錐台形状に形成する工程と、集束イオンビーム加工法または気相エッチング法により平坦面の表層を除去する工程と、を含む、電子源の製造方法が提供される。

[0023] この方法によれば、短時間で電子放射面を効率よく形成することができる機械加工法により端部を平坦面を有する円錐台形状に形成した上で、集束イオンビーム加工法または気相エッチング法により平坦面の表層を除去して損傷層の少ない電子放射面を形成することができる。また、この方法によれば、電解研磨または液相エッチングを行わない(あるいは電解研磨または液相エッチングの後にさらに集束イオンビーム加工または気相エッチングを行う)ため、電子放射面外周にダレが生じてしまうことを抑制できる。

[0024] そのため、この方法によれば、損傷層が少なく外周のダレも少ない電子放射面を短時間で効率よく形成することができるため、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない電子放射面を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる、という互いに相反する関係にある3つの技術的要求をバランスよく実現することが可能になる。

発明の効果

[0025] 本発明によれば、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない電子放射面を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる、という互いに相反する関係にある3つの技術的要求をバランスよく実現することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]ZrO/W電子銃の構造図である。

[図2]陰極の拡大図である。

[図3]電子放射特性の評価装置の構成図である。

[図4]図4(a)はロッド1の比較例を示す説明図であり、図4(b)はロッド1の実施例を示す説明図である。

[図5]電流放射分布の測定結果(実施例1並びに比較例1)を示すグラフである。

[図6]実施例2における電流放射分布を示すグラフである。

[図7]比較例2における電流放射分布を示すグラフである。

符号の説明

- [0027] 1:陰極
2:供給源
3:フィラメント
4:導電端子
5:絶縁碍子
6:(円錐台部の)円錐部
7:平坦部(円錐台部の上面部)
8:サプレッサー電極
9:引き出し電極
10:蛍光板
11:アパーチャー
12:カップ状電極
13:プローブ電流測定用微小電流計
14:フィラメント加熱電源
15:バイアス電源
16:高圧電源
17:放射電子線

発明を実施するための最良の形態

[0028] <用語の説明>

本明細書および請求の範囲では、下記の通り用語の意味を定義する。

[0029] 下限数値～上限数値:下限数値以上かつ上限数値以下を意味する。

[0030] 熱陰極電界放出型電子銃:エミッタを電界下で加熱して電子を放出させる方式の電子銃を意味する。従来はタングステンチップを約2600Kに加熱し、ポテンシャル障壁(約4.5eV)を越えさせて電子を放出させるものが使われることが多かったが、最近タングステンフィラメントに酸化ジルコニウムをコーティングしポテンシャル障壁を下げた(約2.7eV)エミッタを約1800Kに加熱し、ショットキー効果を利用して電子を

放出させるものが使われることが多い。

- [0031] エッチング: 半導体や無機化合物の試料作製に使われる方法の一種であり、固体表面から表面原子を化学的、物理的反応を利用して選択的に取り除くことを意味する。液相エッチングと気相エッチングとに分けることができる。
- [0032] 化学研磨: 半導体や無機化合物の試料作製に使われる方法を意味する。強酸や強アルカリを基本にした研磨液に試料を浸して試料表面を平滑に保ちながら薄膜化する。機械的なひずみを与えずに試料作製ができるのが利点である。本明細書および請求の範囲では、選択的な溶解(エッチング)が起きないような研磨液等が使われるものを意味する。
- [0033] 機械研磨: 試料の物理的研磨を意味する。耐水ペーパーを使った手作業での研磨、回転研磨器を使ったダイヤモンド粉やコランダムによる研磨、デインプルグラインダを使ったコランダム粉による研磨、トライポットポリッシャを使ったダイヤモンド粉による研磨などがある。
- [0034] 電解研磨: 金属、合金などの材料加工に使われる方法であり、適当な電解質溶液中に浸し、試料を陽極、白金板やステンレス鋼を陰極とし、直流電流を流すことにより材料表面を溶出させ、試料表面を平滑に保ちながら研磨する方法を意味する。機械的なひずみを与えずに材料加工ができるのが利点である。
- [0035] 集束イオンビーム加工: ガリウムイオンなどのイオンを数kV~40kV程度で加速し集束させて試料に照射して試料を加工する方法を意味する。なお、二次イオン像(SEM像が見られる装置もある)で局所領域を観察しながら加工できる場合もある。
- [0036] <実施形態1>
以下、本発明の具体的な実施態様について、図1~図4を参照しながら説明する。
- [0037] 本実施形態では、走査型電子顕微鏡、オージェ電子分光、電子線露光機、ウェハ検査装置などの電子線応用機器に用いられる電子銃、ことに電子線露光機用に好適な電子銃に用いられる電子源の製造方法について説明する。
- [0038] 本実施形態は、ロッド状陰極1の一端部に電子放射部を有する電子源の製造方法であって、機械加工法により端部を円錐部6に形成した上で、さらに平坦部7を有する円錐台形状に形成する工程と、さらに集束イオンビーム加工法によりその平坦部7

の表層を除去する工程と、を含む、電子源の製造方法である。

- [0039] 本実施形態の方法では、まず、タングステンまたはモリブデン単結晶<100>方位のロッド状陰極1の端部に機械研磨または電解研磨により円錐部6を設けた後、次いでダイヤモンド研磨剤を被覆した研磨フィルム等を用いた機械研磨により、予め頂点に平坦部7を設ける。
- [0040] なお、電子線露光装置やオージェ電子分光装置等に好適な、高い角電流密度動作においても全放射電流量が少ない電子源とするためには、円錐部6の全角は 25° 以上 95° 以下で、平坦部7の直径は $5\sim 200\ \mu\text{m}$ であることが好ましい。なお、平坦部7の直径は $10\ \mu\text{m}\sim 100\ \mu\text{m}$ であることがさらに好ましい。更に、同様の理由から、陰極1の端部に形成された平坦な電子放射面の法線は<100>方位と 2° 以内であることが好ましく、 0.5° 以内の角度差に収められることがさらに好ましい。
- [0041] 陰極1は、絶縁碍子5にロウ付けされた導電端子4にタングステン製のフィラメント3を介して溶接により固定され、通電加熱できるようにする。
- [0042] 陰極1の平坦部7の加工損傷層は最終的には集束ガリウムイオンビームにより削除されるが、初期の研削面が粗すぎる場合には集束ガリウムイオンビームでは加工損傷層を削除しきれない場合がある。従って、平坦部7を形成後、加工損傷層を気相エッチングまたは液相エッチング(化学エッチング)により除去しておくことが好ましい。すなわち、別の表現をすれば、上述の機械加工法により端部を円錐部6に形成した上で、平坦部7(平坦面)を有する円錐台形状に形成する工程と、集束イオンビーム加工法によりその平坦部7の表層を除去する工程と、の間に、液相エッチング法(化学エッチング法)または電解研磨法により端部表面の加工損傷層を除去する工程をさらに含むことが好ましい。
- [0043] 気相エッチング方法としては、例えば、真空装置内で真空排気後、酸素ガスを導入して装置内を $3\times 10^{-6}\text{Torr}$ ($4\times 10^{-4}\text{Pa}$)とし、陰極1の温度を $1800\text{K}\sim 2000\text{K}$ に加熱して行なう。また、化学エッチング方法としては、例えば、陰極1の円錐部8が 1mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬するようにして、導電端子4と液中に設置した電極間に 6V の電圧を印加して行なう。
- [0044] これらの加工損傷層の除去方法により、平坦部7に凹凸が形成されたり曲面状にな

ったりする(外周のダレが発生する)場合があるが、本実施形態では、最終的に集束ガリウムイオンビームにより再度平坦化されるので、電子放射特性にはほとんど影響しない。

- [0045] 陰極1には、電子放射面の仕事関数を低下させる効果のある金属と酸素からなる供給源が設けられる。とりわけジルコニウム(Zr)、チタン(Ti)、ハフニウム(Hf)、スカンジウム(Sc)、イットリウム(Y)、ランタノイド系列元素、バリウム(Ba)、ストロンチウム(Sr)、カルシウム(Ca)の群から選ばれた元素を含有する金属酸化物からなる供給源を有する電子源が、熱陰極電界放出型電子銃のための電子源として好ましく適用できる。
- [0046] Zr-Oの系を例にとると、水素化ジルコニウムを粉砕して有機溶剤と混合しペースト状にしたものを陰極の一部に塗布して、 3×10^{-6} Torr (4×10^{-4} Pa)程度の酸素雰囲気中で陰極を加熱して ZrH_2 を熱分解し、更に酸化してジルコニウムと酸素の供給源を形成する。
- [0047] この酸素雰囲気での加熱処理においても、陰極1は酸素によるエッチングを受け、平坦部7に凹凸が形成される場合があるが、この場合も、最終的に集束ガリウムイオンビームにより再度平坦化されるので、電子放射特性には影響しない。
- [0048] 集束ガリウムイオンビームによって平坦部7を再平坦化する場合、イオンビームの方向に対して平坦部7が平行になるように位置させ、平坦部7の表層に制限して均一にイオンビームを照射することにより、平坦度が高く加工損傷のない面を短時間で形成することが可能となる。このとき、平坦部7の表層の除去効率の面からは、二フッ化キセノンガス雰囲気中にて集束ガリウムイオンビームを照射して平坦部7の表層を除去することが好ましい。
- [0049] この陰極を引き出し電極9とサブレッサー電極8の間に配置して、引き出し電極9に対して陰極1に数キロボルトの負の高電圧を印加する。サブレッサー電極8には陰極1に対して数百ボルトの負の電圧を印加すると共に陰極1を1500~1900Kに加熱することにより電子放射が行なえる。
- [0050] 本実施形態の方法によれば、集束ガリウムイオンビームによる電子放射面の加工を用いることで、機械研磨で生じる加工損傷層が除去され、均一な放射電流密度が得

られる。そのため、後述する実施例で説明するように、本実施形態の電子源を備える熱陰極電界放出型の電子銃は、 $1\text{mA}/\text{sr}$ 以上の高い角電流密度で均一な放射電流密度が得られ、余剰電流が極めて低いため信頼性が高い。さらに、この電子銃は $1 \times 10^{-8}\text{Torr}$ ($1 \times 10^{-6}\text{Pa}$)以下の真空中で動作し、タングステンが母材となっているため長期の動作によっても陰極の消耗が極めて小さく特性の変化が少ないし、また、陰極表面がイオン衝撃により荒らされても直ぐに平滑な表面に修復するという特徴を有している。

[0051] <実施形態1の作用効果>

以下、本実施形態の電子源の製造方法の作用効果について説明する。

本実施形態によれば、陰極1(ロッド)の一端部に電子放射部を有する電子源の製造方法であって、機械加工法により端部を平坦部7(平坦面)を有する円錐台形状に形成する工程と、集束イオンビーム加工法により平坦部7の表層を除去する工程と、を含む、電子源の製造方法が提供される。

[0052] この方法によれば、短時間で電子放射面を効率よく形成することができる機械加工法により端部を平坦部7を有する円錐台形状に形成した上で、集束イオンビーム加工法により平坦部7の表層を除去して損傷層の少ない電子放射面を形成することができる。また、この方法によれば、電解研磨または液相エッチングを行わない(あるいは電解研磨または液相エッチングの後にさらに集束イオンビーム加工を行う)ため、電子放射面外周にダレが生じてしまうことを抑制できる。

[0053] そのため、本実施形態の方法によれば、損傷層が少なく外周のダレも少ない平坦部7(電子放射面)を短時間で効率よく形成することができるため、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない平坦部7を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる、という互いに相反する関係にある3つの技術的要求をバランスよく実現することが可能になる。

[0054] さらに、本実施形態の方法では、上述の円錐台形状に形成する工程と、上述の平坦部7(平坦面)の表層を除去する工程と、の間に、液相エッチング法または電解研磨法により端部表面の加工損傷層を除去する工程をさらに含むことが好ましい。この

ようにすれば、初期の機械研磨の研削面が粗すぎたとしても、液相エッチング法または電解研磨法により端部表面の加工損傷層をある程度除去するため、その後の集束ガリウムイオンビームで陰極1の平坦部7の加工損傷層を最終的には削除してしまえる。

[0055] また、本実施形態の方法では、上述の平坦部7(平坦面)の表層を除去する工程が、二フッ化キセノンガス雰囲気中にて集束ガリウムイオンビームを照射して平坦面の表層を除去する工程であることが好ましい。このようにすれば、集束ガリウムイオンビームによる平坦部7の表層の除去効率がよくなり、平坦度が高く加工損傷の少ない平坦部7をより一層短時間で形成することが可能となる。

[0056] さらに、本実施形態の方法では、上述の平坦部7(平坦面)の直径が、 $10\ \mu\text{m}$ 以上 $100\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。このようにすれば、電子線露光装置やオージェ電子分光装置等に好適な、高い角電流密度動作においても全放射電流量が少ない電子源が得られるためである。

[0057] なお、本実施形態の方法によれば、平坦部7の直径が $10\ \mu\text{m}$ と小さい場合にも、電子放射面外周にダレが生じることを抑制できるため、電子放射面が曲面状になり放出電流密度が低下することを抑制できる。一方、本実施形態の方法によれば、平坦部7の直径が $100\ \mu\text{m}$ と大きい場合にも、集束ガリウムイオンビームを照射することにより短時間で損傷層の少ない電子放射面を効率よく形成することができる。

[0058] ここで、本実施形態の方法では、上述の電子源が、タングステンまたはモリブデンの単結晶ロッド(陰極1)に金属元素の酸化物を拡散させるための供給源を設けてなる電子源であることが好ましい。また、この金属元素が、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、La、Ti、Zr、Hf、またはランタノイド系列から選ばれた金属元素であることが好ましい。さらに、上述のロッド(陰極1)の方位が $\langle 100 \rangle$ であることが好ましい。そして、上述の電子源が、熱陰極電界放出型電子銃のための電子源であることが好ましい。

[0059] このようにすれば、これらの金属酸化物の被覆層によってタングステン単結晶 $\langle 100 \rangle$ の仕事関数は、 4.5eV から大きく低下させられ、この陰極の先端部に形成された平坦部7に相当する微小な結晶面のみが電子放出領域となるので、熱陰極電界放出型電子銃のための電子源として用いた場合に、従来の熱陰極よりも高輝度の電

子ビームが得られ、しかも長寿命であるという利点を有する。また冷電界放射電子銃よりも安定で、低い真空度でも動作し、使い易いという利点を有している。

[0060] <実施形態2>

以下、本発明の別の実施態様について、実施形態1とは異なる特有の点を中心に、図1～図4を参照しながら説明する。尚、すべての図面において、実施形態1と同様な構成要素には同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

[0061] 本実施形態は、実施形態1の場合と同様に、陰極1(ロッド)の一端部に電子放射部を有する電子源の製造方法であって、機械加工法により端部を平坦部7を有する円錐台形状に形成する工程と、気相エッチング法により平坦部7の表層を除去する工程と、を含む、電子源の製造方法である。本実施形態に有っては、電子放射部を機械加工法により形成した後に、電子放射部に気相エッチングをしたことにより、電流放射分布をより均一にすることができ、大電流電子源を提供することができる。

[0062] 本実施形態における気相エッチングで用いられるガスは、エッチング効率および精度の向上の面からは、酸素であることが好ましく、酸素圧を 0.3×10^{-4} から 8×10^{-4} Paとし、温度を1700K以上1950K以下とすることが好ましい。本実施形態におけるロッドは、実施形態1の場合と同様の理由から、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、La、Ti、Zr、Hf、またはランタノイド系列から選ばれた金属元素の酸化物の拡散源を有することが好ましい。

[0063] この拡散源の製造方法について、酸化ジルコニウムの場合を用いて説明する。酸化ジルコニウムで形成した拡散源を製造するには、まず、水素化ジルコニウムを粉砕して酢酸イソアミルと混合しペースト状にしたものを陰極1を構成する単結晶ロッドの一部に塗布する。次いで、酢酸イソアミルが蒸発した後、超高真空装置に導入する。続いて装置内を 3×10^{-10} Torr (4×10^{-8} Pa)の超高真空中としてフィラメント3に通電して単結晶ロッド1を1800Kに加熱し、水素化ジルコニウムを熱分解して金属ジルコニウムとする。続いて酸素ガスを導入して装置内を 3×10^{-6} Torr (4×10^{-4} Pa)として金属ジルコニウムを酸化し、酸化ジルコニウムからなる拡散源が製造される。

[0064] ここで、陰極1を構成するロッドの方位は、実施形態1と同様の理由から<100>であることが好ましい。

- [0065] また、本実施形態における陰極1を構成するロッドの一端部には円錐部6を有し、その頂点に電子放射部を配置し、電子放出部を平坦に形成するとともに、実施形態1と同様の理由から、その平坦部7の直径を $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下とするのが好ましく、さらに好ましくは $10\mu\text{m}$ 以上 $70\mu\text{m}$ 以下が好ましい。さらに、本実施形態にかかる電子源にあつては、陰極1を構成するロッドの一端部に円錐部6を有し、実施形態1と同様の理由から、化学エッチングにより加工損傷層を除去した後に円錐部6の頂点に平坦な電子放射部を形成するのが好ましい。
- [0066] もっとも、必ずしも化学エッチングをしなければならないわけではなく、陰極1を構成するタングステン又はモリブデンの単結晶からなるロッドの一端部に電子放射部を有する電子源の製造方法において、電子放射部を機械加工法により形成した後に、電子放射部に気相エッチングをしてもよい。
- [0067] 繰り返しにはなるが、本実施形態における気相エッチングで用いられるガスは、エッチング効率および精度の向上の面からは、酸素であり、酸素圧を 0.3×10^{-4} から $8 \times 10^{-4}\text{Pa}$ とし、温度を 1700K 以上 1950K 以下とすることが好ましい。本実施形態における陰極1を構成するロッドは、実施形態1と同様の理由により、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、La、Ti、Zr、Hf、またはランタノイド系列から選ばれた金属元素の酸化物の拡散源を有することが好ましい。本実施形態における陰極1を構成するロッドの方位は、実施形態1と同様の理由により、 $\langle 100 \rangle$ であることが好ましい。
- [0068] 本実施形態における陰極1を構成するロッドの一端部には円錐部6を有し、その頂点に電子放射部を配置し、電子放出部を平坦に形成するとともに、実施形態1と同様の理由により、その平坦部7の直径を $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下とするのが好ましく、さらに $10\mu\text{m}$ 以上 $70\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。さらに、本実施形態にかかる電子源にあつては、ロッドの一端部に円錐部6を有し、実施形態1と同様の理由により、化学エッチングにより加工損傷層を除去した後に円錐部6の頂点に平坦な電子放射部を形成するのが好ましい。
- [0069] このとき、陰極1を構成するロッドの表面へのエッチングは、陰極1を構成するロッドをフィラメントに溶接し、超高真空中($3 \times 10^{-10}\text{Torr}$ ($4 \times 10^{-8}\text{Pa}$))にいれ、続いて酸素ガスを導入して装置内を $3 \times 10^{-6}\text{Torr}$ ($4 \times 10^{-4}\text{Pa}$)にて温度 $1800\text{K} \sim 2000$

Kで加熱することで行うことができる。このように単結晶表面をエッチングすることにより、陰極1を構成するロッドの円錐化時に生じた機械加工損傷の除去を行うことができる。

[0070] ロッドは陰極1として機能し、その表面はCa、Sr、Ba、Sc、Y、La、Ti、Zr、Hf、またはランタノイド系列から選ばれた金属元素の酸化物と酸素により被覆できる。Zr-Oの系を例にとると、水素化ジルコニウムを粉砕して有機溶剤と混合しペースト状にしたものを陰極の一部に塗布して、 1×10^{-6} Torr程度の酸素雰囲気中で陰極を加熱して ZrH_2 を熱分解し更に酸化してジルコニウムと酸素の拡散源を形成すると共に陰極の表面をジルコニウムと酸素で被覆する。この陰極を引出電極とサプレッサー電極の間に配置して、引出電極に対して陰極に数kv(キロボルト)の負の高電圧を印加し、サプレッサー電極6には陰極1に対して数百kvの負の電圧を印加すると共に陰極1を1500~1900Kに加熱することにより電子放射が行える。

[0071] <実施形態2の作用効果>

以下、本実施形態の電子源の製造方法の作用効果について説明する。

本実施形態によれば、陰極1(ロッド)の一端部に電子放射部を有する電子源の製造方法であって、機械加工法により端部を平坦部7(平坦面)を有する円錐台形状に形成する工程と、気相エッチング法により平坦部7の表層を除去する工程と、を含む、電子源の製造方法が提供される。

[0072] この方法によれば、短時間で電子放射面を効率よく形成することができる機械加工法により端部を平坦部7を有する円錐台形状に形成した上で、気相エッチング法により平坦部7の表層を除去して損傷層の少ない電子放射面を形成することができる。また、この方法によれば、電解研磨または液相エッチングを行わない(あるいは電解研磨または液相エッチングが機械加工法による平坦部形成の前に行なわれる)ため、電子放射面外周にダレが生じてしまうことを抑制できる。

[0073] そのため、本実施形態の方法によれば、損傷層が少なく外周のダレも少ない平坦部7(電子放射面)を短時間で効率よく形成することができるため、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない平坦部7を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる

、という互いに相反する関係にある3つの技術的要求をバランスよく実現することが可能になる。

[0074] さらに、本実施形態の方法では、上述の円錐形状に形成する工程と、上述の平坦部7(平坦面)を形成する工程と、の間に、液相エッチング法または電解研磨法により端部表面の加工損傷層を除去する工程をさらに含むことが好ましい。このようにすれば、初期の円錐部機械研磨の研削面が粗すぎたとしても、液相エッチング法または電解研磨法により円錐面加工時の加工損傷層をある程度除去できる。その後、平坦部を形成し、気相エッチングで陰極1の平坦部7の加工損傷層を最終的には削除してしまえる。

[0075] また、本実施形態の方法では、上述の平坦部7(平坦面)の表層を除去する工程が、酸素圧を 0.3×10^{-4} Pa以上 8×10^{-4} Pa以下とし、温度を1700K以上1950K以下とした条件で気相エッチングを行って平坦部7の表層を含む端部表面の加工損傷層を除去する工程であることが好ましい。このようにすれば、気相エッチングによる平坦部7の表層の除去効率がよくなり、平坦度が高く加工損傷の少ない平坦部7をより一層短時間で形成することが可能となる。

[0076] さらに、本実施形態の方法では、上述の平坦部7(平坦面)の直径が、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。このようにすれば、電子線露光装置やオージェ電子分光装置等に好適な、高い角電流密度動作においても全放射電流量が少ない電子源が得られるためである。

[0077] なお、本実施形態の方法によれば、平坦部7の直径が $10 \mu\text{m}$ と小さい場合にも、電子放射面外周にダレが生じることを抑制できるため、電子放射面が曲面状になり放出電流密度が低下することを抑制できる。一方、本実施形態の方法によれば、平坦部7の直径が $100 \mu\text{m}$ と大きい場合にも、気相エッチングすることにより短時間で損傷層の少ない電子放射面を効率よく形成することができる。

[0078] ここで、本実施形態の方法では、上述の電子源が、タングステンまたはモリブデンの単結晶ロッド(陰極1)に金属元素の酸化物を拡散させるための供給源を設けてなる電子源であることが好ましい。また、この金属元素が、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、La、Ti、Zr、Hf、またはランタノイド系列から選ばれた金属元素であることが好ましい。さらに

、上述のロッド(陰極1)の方位が<100>であることが好ましい。そして、上述の電子源が、熱陰極電界放出型電子銃のための電子源であることが好ましい。

[0079] このようにすれば、これらの金属酸化物の被覆層によってタングステン単結晶<100>の仕事関数は、4.5eVから大きく低下させられ、この陰極の先端部に形成された平坦部7に相当する微小な結晶面のみが電子放出領域となるので、熱陰極電界放出型電子銃のための電子源として用いた場合に、従来の熱陰極よりも高輝度の電子ビームが得られ、しかも長寿命であるという利点を有する。また冷電界放射電子銃よりも安定で、低い真空度でも動作し、使い易いという利点を有している。

[0080] 以上、図面を参照して本発明の実施形態について述べたが、これらは本発明の例示であり、上記以外の様々な構成を採用することもできる。

[0081] 例えば、上記実施形態1では、機械加工法の後に集束イオンビーム加工法を行う方法とし、上記実施形態2では、機械加工法の後に気相エッチング法を行う方法としたが、これらの2つの形態に限定する趣旨ではない。例えば、機械加工法の後に、気相エッチング法を行ってから、さらに集束イオンビーム加工法を行う方法としてもよい。このようにすれば、電子放射面の平坦部7の損傷層をさらに少なくすることができる。

[0082] なお、上述のように気相エッチング法および集束イオンビーム加工法を両方ともに行う場合には、電解研磨または液相エッチングを行わなくてもよいが、電解研磨または液相エッチングの後に、さらに気相エッチングおよび集束イオンビーム加工法を両方とも行うことにしてもよい。この場合にも、上述の場合と同様に、電子放射面の平坦部7の損傷層をさらに少なくすることができる。

実施例

[0083] 以下、本発明を実施例によりさらに説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0084] <実施例1>

以下、実施例1について、図1～図4を参照して説明する。

絶縁碍子5にロウ付けされた導電端子4にタングステン製のフィラメント3をスポット溶接により固定した。<100>方位の単結晶タングステンチップの端部にダイヤモンド

ペーストと研磨盤を用いて全角が 90° の円錐部6を形成し、図4(a)の形状に加工する。更に円錐部6の頂点をダイヤモンド研磨剤で被覆した研磨フィルムで研磨して、図4(b)に示すように直径 $35\mu\text{m}$ の平坦部7を形成した。このロッドをフィラメント3にスポット溶接により取り付けた。このロッドは陰極1として機能する。

[0085] その後、陰極1の円錐部6が 1mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬するようにして、導電端子4と液中に設置した電極間に 6V の電圧を 10 秒印加して化学エッチングを行なった。

[0086] 次に、水素化ジルコニウムを粉砕して酢酸イソアミルと混合しペースト状にしたものを陰極1の一部に塗布した。そして、酢酸イソアミルが蒸発した後、超高真空装置に導入した。続いて装置内を $3 \times 10^{-10}\text{Torr}$ ($4 \times 10^{-8}\text{Pa}$)の超高真空中としてフィラメント3に通電して単結晶ロッド1を 1800K に加熱し、水素化ジルコニウムを熱分解して金属ジルコニウムとする。続いて酸素ガスを導入して装置内を $3 \times 10^{-6}\text{Torr}$ ($4 \times 10^{-4}\text{Pa}$)として金属ジルコニウムを酸化し、酸化ジルコニウムからなるジルコニウムと酸素の拡散源2を形成した。

[0087] 続いて、集束ガリウムイオンビーム装置に導入し、イオンビームの方向に対して平坦部7が平行になるように位置させ、平坦部7表層に制限して加速電圧 30kV 、ビーム電流 5nA のイオンビームを均一に照射することにより、平坦部7を $2\mu\text{m}$ 程度削り再平坦化した。

[0088] 得られた陰極1の先端はサプレッサー電極8と引き出し電極9との間に配置した。なお、陰極1の先端とサプレッサー電極8の距離は 0.1mm 、サプレッサー電極8と引き出し電極9の距離は 0.8mm 、引き出し電極9の孔径は 0.8mm 、サプレッサー電極8の孔径は 0.6mm とした。

[0089] さらに、フィラメント3はフィラメント加熱電源14に接続し、さらに高圧電源16に接続し、引き出し電極9に対して負の高電圧、即ち引き出し電圧 V_{ex} を印加した。また、サプレッサー電極8をバイアス電源15に接続し、陰極1とフィラメント3に対してさらに負の電圧、バイアス電圧 V_{b} を印加した。これによりフィラメント3からの放射熱電子を遮る。陰極1の先端から放射した電子ビーム17は引き出し電極9の孔を通過して、蛍光板10に到達する。蛍光板10の中央にはアパーチャー11(小孔)が有り、通過してカ

ップ状電極12に到達したプローブ電流 I_p は微小電流計13により測定される。なおアパーチャー11と陰極1の先端との距離とアパーチャー11の内径から算出される立体角を ω とすると角電流密度は I_p/ω となる。また、アパーチャー11とカップ状電極12は真空系外から動かされるようになっており、電流放射分布を測定することができる。

[0090] さらに測定装置内を 3×10^{-10} Torr (4×10^{-8} Pa)の超高真空中として、単結晶ロッド1を1800Kに維持したまま、サプレッサー電極8に単結晶ロッド1に対してサプレッサー電圧 $V_b = -300$ Vの電圧を印加した。続いて、単結晶ロッド1にエミッタ電圧 $V_{ex} = -4000$ Vの高電圧を印加して数時間保持し、放出電流が安定したところで、アパーチャー11を動かしたときのプローブ電流 I_p の変化を測定し、電流放射分布を求めた。この電流放射分布の測定結果を図5に示す。

[0091] <比較例1>

実施例1において、化学エッチングおよび集束ガリウムイオンビームによる平坦化を行わない以外は、実施例と同じ製造方法で作製した電子銃を、実施例と同様の方法で電流放射分布を求めた。この電流放射分布の測定結果を図5に示す。

[0092] <実施例1および比較例1の結果の考察>

図5に実施例1と比較例1の角電流密度に換算した電流放射分布を示すが、比較例では分布がなだらかではなく不均一性が認められるのに対し、実施例ではなだらかで均一な分布が認められ、かつ $2\text{mA}/\text{sr}$ 以上の高角電流密度が得られていることが分かる。

[0093] 実施例1では、陰極1の端部に機械研磨により円錐部6を設けた後、機械研磨により予め陰極1の頂点に平坦部7を設けている。このとき、機械研磨を用いて陰極1の端部を円錐台状にしているため、加工表面損傷が形成されたが、この加工損傷層は集束ガリウムイオンビームにより短時間で削除されたため容易に除去できた。

[0094] すなわち、予め機械研磨により平坦部7を設けた後に集束ガリウムイオンビームで加工することで、短時間で損傷層の少ない電子放射面を効率よく形成することができた。しかも、集束ガリウムイオンビームで加工したために、液相エッチングなどで加工表面損傷を除去する場合に生じやすい電子放射面外周でのダレの発生も抑制でき

た。そのため、実施例1では、均一な放射電流密度を得ることが可能となったのである。

[0095] 別の表現をすれば、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない平坦部7を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる、という互いに相反する関係にある3つの技術的要求をバランスよく実現することが可能になったのである。

[0096] <実施例2>

以下、実施例2について、図1～図4、図6～図7を参照して説明する。

[0097] (i)電子源

本実施例にかかる電子源は、図1に示すように、絶縁碍子5に固定された導電端子4に設けられたタングステン製のフィラメント3の所定の位置に電子線を放出するタングステン<100>方位で針状の単結晶のロッドが溶接等により固着されたものである。このロッドは、電解研磨により先鋭端を有し、主にこの先鋭端から電子が放出される陰極1である。陰極1を構成するロッドの一部にはジルコニウムと酸素の拡散源2が設けられ、図示は省略したが、陰極1を構成するロッドの表面はZrO被覆層で覆われている。

[0098] 陰極1を構成するロッドの先端部は、図3に示すように、サプレッサー電極8と引出電極9の間に配置され使用される。ロッドすなわち陰極1には引出電極9に対して負の高電圧が印加され、サプレッサー電極8には単結晶ロッドに対して数百ボルト程度の負のサプレッサー電圧が印加され、フィラメント3からの熱電子放出を抑制する。

[0099] 陰極1を構成するロッド先端部は、図2に示すように、タングステン又はモリブデン単結晶<100>方位の単結晶ロッド状陰極1の端部に機械研磨により円錐部6を設け、円錐部6の頂点を機械研磨することにより形成された平坦部7を有する。なお、平坦部7は電子放出部でもある。

[0100] (ii)電子源の製造方法

電子源の製造方法について、図1を用いて説明する。

[0101] 図1に示すように、絶縁碍子5にロウ付けされた導電端子4にタングステン製のフィラメント3をスポット溶接により固定する。

- [0102] <100>方位のタングステン単結晶を、陰極1を構成するロッドとして、放電加工により2mm×0.4mm×0.4mmの直方体形状に切り出した後、一端部にダイヤモンドペーストと研磨盤を用いて頂角全角が90°の円錐部6を形成して図4(a)の形状に加工する。電子放出部である平坦部7は、酸化クロム研磨剤を被覆した研磨フィルムにより研磨をすることにより、図4(b)に示すように、円錐部6の頂点の円の直径を40 μmにしたものである。
- [0103] この陰極1を構成するロッドをフィラメント3にレーザー溶接により取り付ける(図1参照)。ロッドは陰極1として機能するものである。フィラメント3は、絶縁碍子5にロウ付けされた導電端子4に溶接により取り付けられたものである。
- [0104] その後、 3×10^{-6} Torr (4×10^{-8} Pa)の酸素雰囲気中でフィラメント3に通電して陰極1を構成するロッドを加熱し、これにより陰極1を構成するロッドの表面のエッチングを行った。
- [0105] 陰極1を構成するロッドの一部に、図1に示す拡散源2を形成した。拡散源2は、水素化ジルコニウム粉末を粉砕して有機溶剤と混合しスラリー状にしたものを陰極1を構成するロッドの一部に塗布した。酢酸イソアミルが蒸発した後、 1×10^{-6} Torr程度の酸素雰囲気中で加熱して水素化物を熱分解し、更に酸化して酸化ジルコニウムからなるものである。この拡散源2形成と同時に、ジルコニウムと酸素で、陰極1を構成するロッドの表面を被覆した。
- [0106] (iii)測定
測定にあつては、図3に示した構成の電子放出特性測定装置を用いた。図3に示すように、陰極1を構成するロッドの先端をサプレッサー電極8と引出電極9との間に配置した。陰極1を構成するロッドの先端とサプレッサー電極8の距離は0.10mm、サプレッサー電極8と引出電極9の距離は0.8mm、引出電極9の孔径は0.8mm、サプレッサー電極8の孔径は0.6mmである。スクリーン電極上には蛍光材を塗布して蛍光板10として電子放出分布のパターンが目視により観察できるようにした。
- [0107] フィラメント3は、図3に示すように、陰極用高圧電源16に接続され、陰極用高圧電源16はフィラメント加熱電源14に接続され、引出電極9に対して負の高電圧(エミッタ電圧 V_{ex})が印加される。サプレッサー電極8はサプレッサー電源として働くバイア

ス電源15に接続され、ロッド1に対して更に負の電圧、サプレッサー電圧 V_b が印加される。これにより、フィラメント3からの熱電子放出を遮った。

[0108] フィラメント3に行われた通電によって、陰極1を構成するロッドは1500~1900Kに昇温し、これにより、陰極1たるロッドの先端部の電子放出部から放出電子線17を放出させる。放出電子線17は、引出電極9の孔を通過して、中央にはアパーチャー11(小孔)を有するスクリーン電極からなる蛍光板10に到達する。

[0109] 測定にあつては、測定装置内を 3×10^{-10} Torr(4×10^{-8} Pa)の超高真空中にし、ロッド1を1800Kに維持したまま、サプレッサー電極8に、陰極1を構成するロッドに対するサプレッサー電圧 $V_b = -300$ Vとなるように電圧を印加し、続いて陰極1を構成するロッドにエミッタ電圧 $V_{ex} = -4000$ Vとなるように高電圧を印加して数時間保持し、放出電流が安定したところで行った。

[0110] (iv) 電子源の全放出電流 I_t の測定

電子源からの全放出電流 I_t は、陰極用高圧電源16とアース間に置かれた電流計(不図示)により測定した。

[0111] (v) プローブ電流 I_p (角電流密度)のエミッタ電圧 V_{ex} 依存性の測定

アパーチャー11を通過してカップ状電極12に到達したプローブ電流 I_p は、プローブ電流測定用微小電流計13により測定した。

[0112] (vi) 電子源の放射電流分布の測定

アパーチャー11および陰極1を構成するロッドの先端の距離と、アパーチャー11の内径とから算出される立体角を ω とすると角電流密度は、 I_p / ω となる。アパーチャー11とカップ状電極12は真空系外から動かすことができ、放射電流分布を測定することができる。

[0113] 図6に、X軸に放射角度、Y軸に $V_{ex} = -4000$ V時の角電流密度 I_p' をとった電流放射分布を示した。図6は、実施例2で示した電子源に備わる図4(b)で示した形状からなる陰極1を構成するロッドでの角電流密度に換算した放射電流分布である。

[0114] <比較例2>

比較例として、電解研磨により加工損傷層を除去した電子源を作製した。<100>方位の同様に2mm×0.4mm×0.4mmの直方体形状に切り出して機械研磨によ

り図4(a)の形状に加工し、頂点には電子放出部7を設けた(図4(b))。円錐部6の頂角全角は 90° であり、電子放出部9の直径は $40\mu\text{m}$ である。

[0115] 機械研磨後に、電解研磨によって加工損傷層を除去した。電解研磨の条件としては、陰極1の円錐部6が 1mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬するようにして、導電端子4と液中に設置した電極間に 6V の電圧を10秒印加して化学エッチングを行なった。

[0116] 図7に、X軸に放射角度、Y軸に $V_{\text{ex}} = -4000\text{V}$ 時の角電流密度 I_p' をとった電流放射分布を示した。図7は、比較例2で示した電子源に備わる図4(b)で示した形状からなる陰極1を構成するロッドでの角電流密度に換算した放射電流分布である。

[0117] <実施例2および比較例2の結果の考察>

実施例2にかかる電子源と比較例2の電子源は、図6、7に示すように、ともに均一な放射電流分布を有していた。しかしながら、比較例2の図7では、角電流密度が低かった。この理由は、電解研磨により電子放射面外周にダレが生じてしまうため、電子放射面である円錐台上面の径が小さい場合には、電子放射面が曲面状になり放出電流密度が低下するためであると考えられる。

[0118] すなわち、実施例2にかかる電子源の製造方法では、機械研磨の後に、気相エッチングを行っているために、損傷層が少なく外周のダレも少ない平坦部7(電子放射面)を短時間で効率よく形成することが出来た結果、なだらかで均一な分布が認められ、かつ 2mA/sr 以上の高角電流密度が得られていることが分かる。別の表現をすれば、(1)電子源において短時間で損傷層の少ない平坦部7を効率よく形成することができることにくわえて、(2)電流放射分布の不均一性を改善しつつ、さらに(3)放出電流密度を向上させる、という互いに相反する関係にある3つの技術的要求をバランスよく実現することが可能になったのである。

[0119] 以上、本発明を実施例に基づいて説明した。この実施例はあくまで例示であり、種々の変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

[0120] 例えば、上記実施例1では、機械加工法の後に集束イオンビーム加工法を行う方法とし、上記実施例2では、機械加工法の後に気相エッチング法を行う方法としたが

、これらの2つの形態に限定する趣旨ではない。例えば、機械加工法の後に、気相エッチング法を行ってから、さらに集束イオンビーム加工法を行う方法としてもよい。このようにすれば、電子放射面の平坦部の損傷層をさらに少なくすることができる。

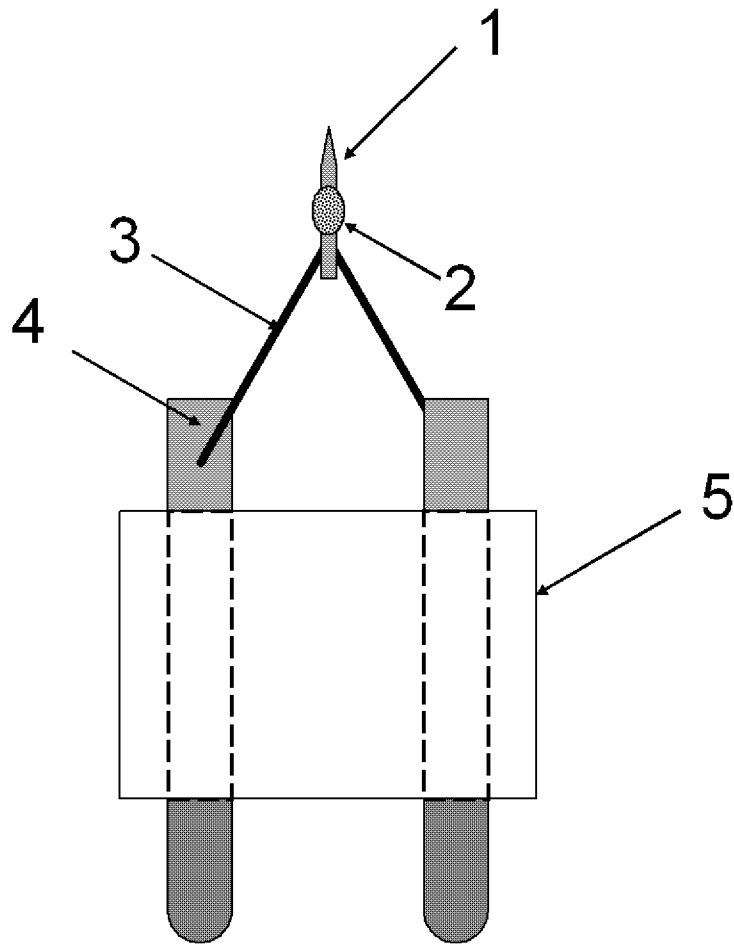
産業上の利用可能性

[0121] 本発明の電子源の製造方法により作製した電子源を備える電子銃は、電流放射分布が均一であり、大電流で動作して信頼性の高い電子銃であるので、電子線露光機、ウェハ検査装置、電子線LSIテスターなどの大電流動作を必要とする電子銃に用いて好適であり、産業上非常に有用である。

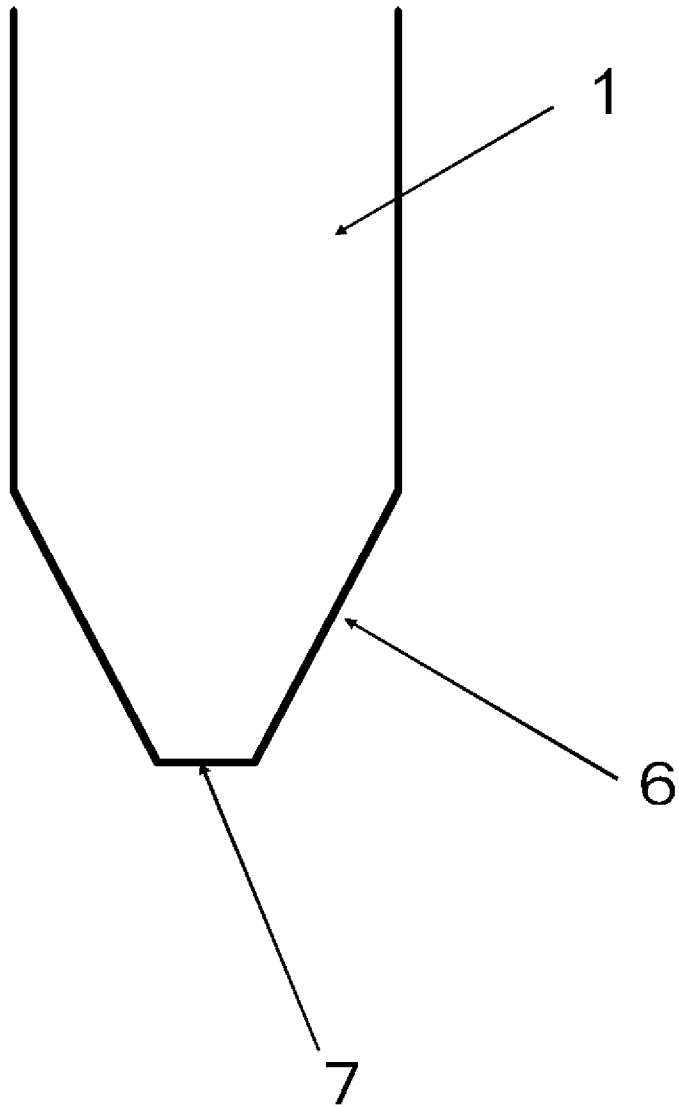
請求の範囲

- [1] ロッドの一端部に電子放射部を有する電子源の製造方法であって、機械加工法により前記端部を平坦面を有する円錐台形状に形成する工程と、集束イオンビーム加工法または気相エッチング法により前記平坦面の表層を除去する工程と、を含む、電子源の製造方法。
- [2] 前記円錐台形状に形成する工程と、前記平坦面の表層を集束イオンビーム加工法により除去する工程と、の間に、液相エッチング法または電解研磨法により前記端部表面の加工損傷層を除去する工程をさらに含む、請求項1記載の電子源の製造方法。
- [3] 前記平坦面の表層を除去する工程が、二フッ化キセノンガス雰囲気中にて集束ガリウムイオンビームを照射して前記平坦面の表層を除去する工程である、請求項1記載の電子源の製造方法。
- [4] 前記平坦面の表層を除去する工程が、酸素圧を 0.3×10^{-4} Pa以上 8×10^{-4} Pa以下とし、温度を1700K以上1950K以下とした条件で気相エッチングを行って前記平坦面の表層を含む前記端部表面の加工損傷層を除去する工程である、請求項1記載の電子源の製造方法。
- [5] 前記平坦面の直径が、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である、請求項1記載の電子源の製造方法。
- [6] 前記電子源が、方位 $\langle 100 \rangle$ のタングステンまたはモリブデンの単結晶ロッドに金属元素の酸化物を拡散させるための供給源を設けてなる電子源である、請求項1記載の電子源の製造方法。
- [7] 前記金属元素が、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、La、Ti、Zr、Hf、またはランタノイド系列から選ばれた金属元素である、請求項6記載の電子源の製造方法。

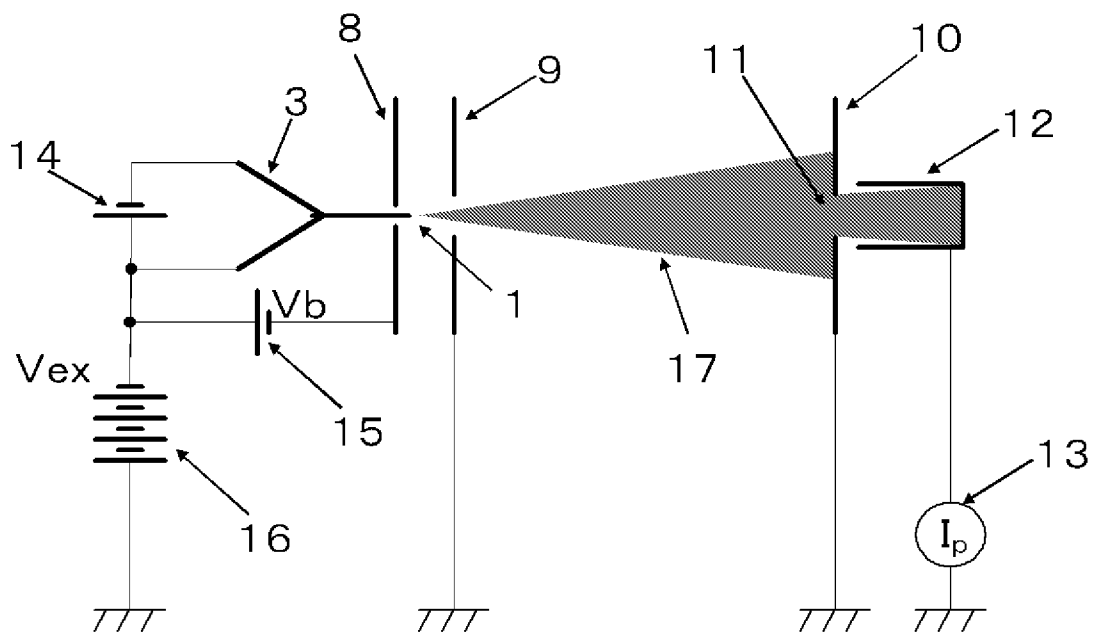
[図1]



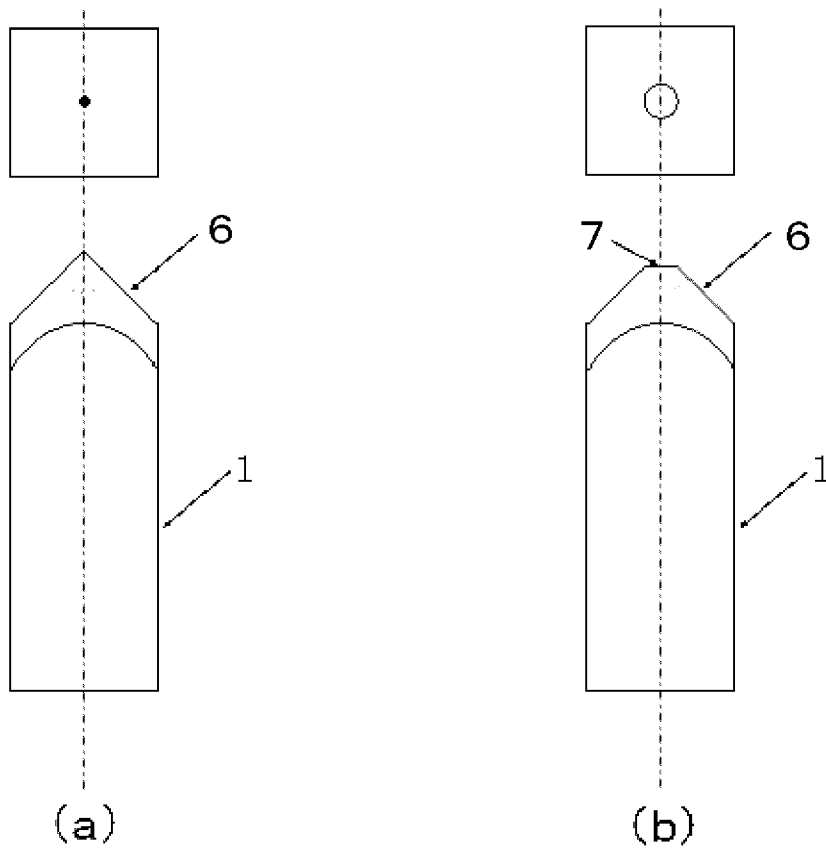
[図2]



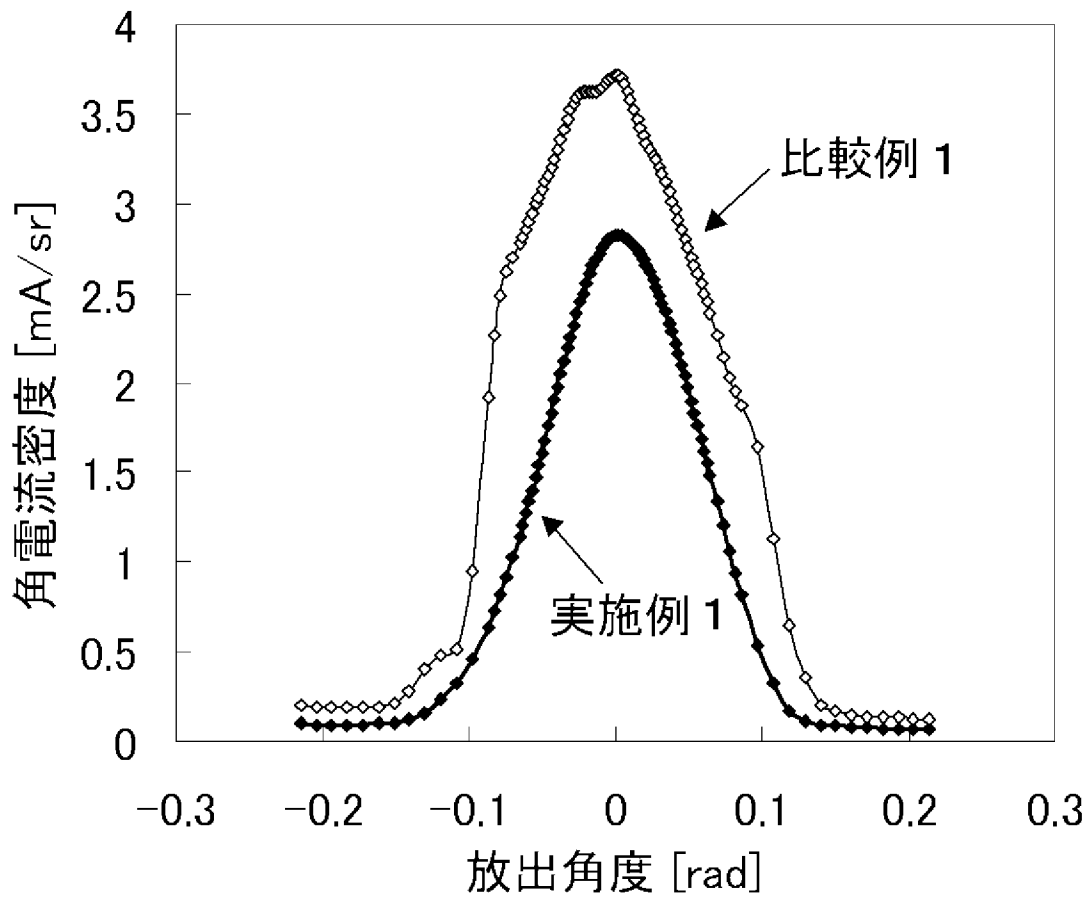
[図3]



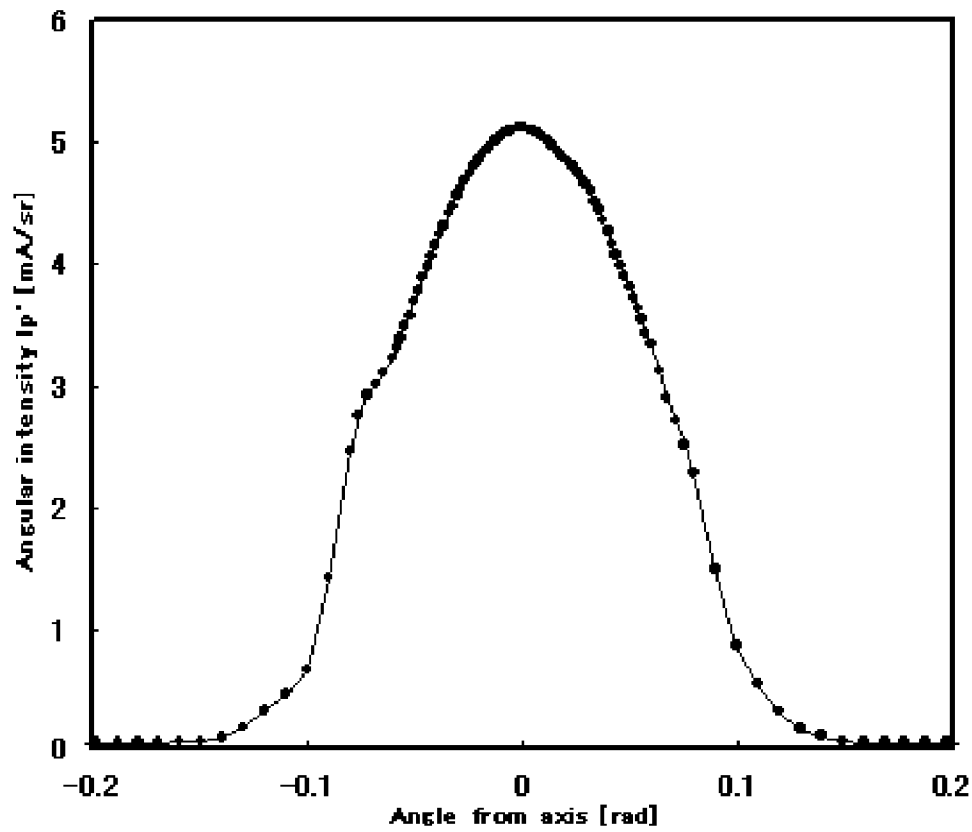
[図4]



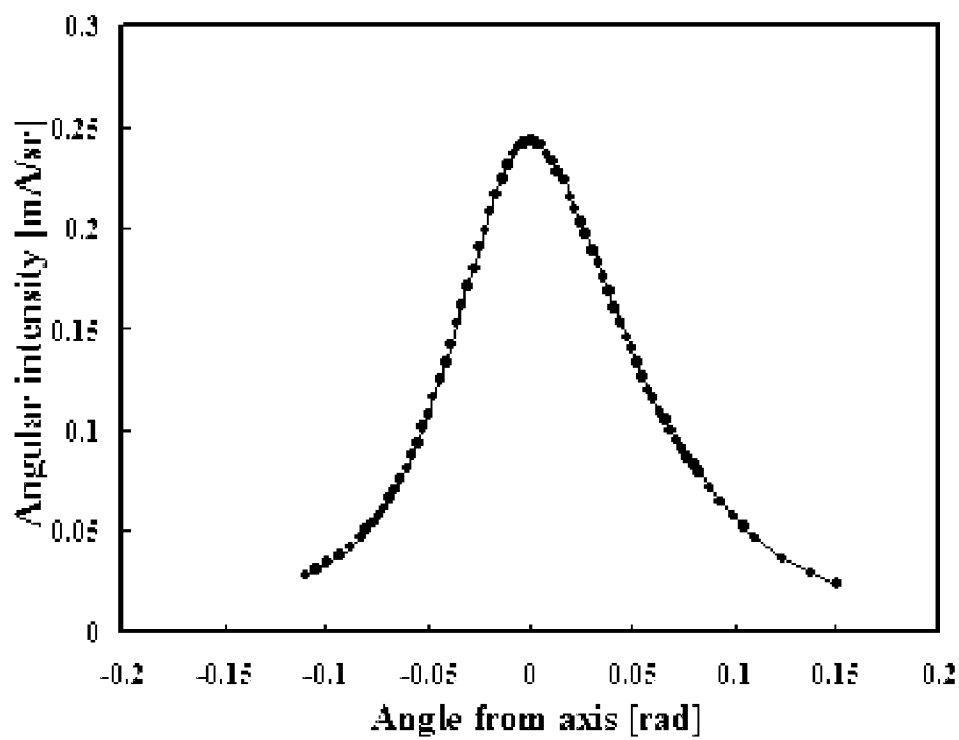
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/055558

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01J9/02 (2006.01) i, H01J37/073 (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)
H01J9/02, H01J37/073

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	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

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.
Y	WO 2004/073010 A1 (Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha), 26 August, 2004 (26.08.04), Page 4, lines 4 to 10, 41 to 42 & US 2006/0145585 A1 & EP 1596418 A1	1-7
Y	JP 2000-338020 A (Seiko Instruments Inc.), 08 December, 2000 (08.12.00), Par. No. [0002] & US 6403958 B1 & TW 472141 B & KR 10-2001-0029764 A	1-7
Y	WO 2006/075715 A1 (Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha), 20 July, 2006 (20.07.06), Par. No. [0028] & EP 1858047 A1	2, 4

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 01 September, 2008 (01.09.08)	Date of mailing of the international search report 09 September, 2008 (09.09.08)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/055558

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-084020 A (Hitachi, Ltd.), 31 March, 1998 (31.03.98), Par. Nos. [0010] to [0012] (Family: none)	1-7
A	JP 2004-179038 A (Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.), 24 June, 2004 (24.06.04), Par. No. [0003] (Family: none)	1-7
A	JP 2005-302265 A (Sony Corp.), 27 October, 2005 (27.10.05), Par. Nos. [0066] to [0065]; Fig. 20 & US 2005/0232120 A1	1-7
E,A	JP 2008-177017 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 31 July, 2008 (31.07.08), Full text; all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01J9/02(2006.01) i, H01J37/073(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 (IPC))
 Int.Cl. H01J9/02, H01J37/073

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2008年
日本国実用新案登録公報	1996-2008年
日本国登録実用新案公報	1994-2008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 請求の範囲の番号
Y	WO 2004/073010 A1 (電気化学工業株式会社) 2004.08.26, 第4頁4-10、41-42行目 & US 2006/0145585 A1 & EP 1596418 A1	1-7
Y	JP 2000-338020 A (セイコーインスツルメンツ株式会社) 2000.12.08, 【0002】段落 & US 6403958 B1 & TW 472141 B & KR 10-2001-0029764 A	1-7

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	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 01.09.2008	国際調査報告の発送日 09.09.2008
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 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) 松岡 智也 電話番号 03-3581-1101 内線 3273

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 請求の範囲の番号
Y	WO 2006/075715 A1 (電気化学工業株式会社) 2006.07.20, 【0028】段落 & EP 1858047 A1	2、4
A	JP 10-084020 A (株式会社日立製作所) 1998.03.31, 【0010】 - 【0012】段落 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2004-179038 A (住友金属鉱山株式会社) 2004.06.24, 【0003】段落 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2005-302265 A (ソニー株式会社) 2005.10.27, 【0066】 - 【0065】段落、第20図 & US 2005/0232120 A1	1-7
E, A	JP 2008-177017 A (住友電気工業株式会社) 2008.07.31, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-7