

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3832402号
(P3832402)

(45) 発行日 平成18年10月11日(2006.10.11)

(24) 登録日 平成18年7月28日(2006.7.28)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 J 1/304 (2006.01)

H O 1 J 1/30

F

H O 1 J 37/073 (2006.01)

H O 1 J 37/073

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2002-234297 (P2002-234297)
 (22) 出願日 平成14年8月12日(2002.8.12)
 (65) 公開番号 特開2004-79223 (P2004-79223A)
 (43) 公開日 平成16年3月11日(2004.3.11)
 審査請求日 平成16年3月10日(2004.3.10)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100100310
 弁理士 井上 学
 (72) 発明者 藤枝 正
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社 日立製作所 日立
 研究所内
 (72) 発明者 日高 貴志夫
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社 日立製作所 日立
 研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カーボンナノチューブを有する電子源とそれを用いた電子顕微鏡および電子線描画装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

微細孔を有する導電性針と、
 該導電性針の微細孔に設けられる導電性接合材料と、
 前記導電性接合材料に接合されるカーボンナノチューブと、を有することを特徴とする
 電子源。

【請求項 2】

前記導電性接合材料は前記導電性針よりも低融点の金属、または有機材料を炭化处理し
 たものであることを特徴とする請求項 1 記載の電子源。

【請求項 3】

前記カーボンナノチューブは、前記導電性接合材料よりも高融点である第一の金属被覆
 層により被覆されていることを特徴とする請求項 1 記載の電子源。

【請求項 4】

前記導電性針は、V字型のフィラメント形状の導電性基材に備え付けられていることを
 特徴とする請求項 1 記載の電子源。

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の電子源を用いたことを特徴とする電子顕微鏡。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の電子源を用いたことを特徴とする電子線描画装置

。

10

20

【請求項 7】

請求項 3 に記載された電子源であって、

前記カーボンナノチューブは、前記導電性接合材料よりも高融点でありかつ前記第一の金属被覆層を被覆する第二の金属被覆層を有することを特徴とする電子源。

【請求項 8】

被覆材を有し、該被覆材と前記導電性針とで前記導電性接合材料を封止したことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の電子源。

【請求項 9】

請求項 3 または 7 に記載された電子源であって、前記第一の金属被覆層は、チタン、ハフニウム、ジルコニウム、タンタル、ニオブ、クロム、モリブデン、マンガン、アルミニウム、カルシウム、鉄、ニッケル、コバルト、タングステン、シリコンのいずれかであることを特徴とする電子源。

10

【請求項 10】

請求項 7 に記載された電子源であって、導電性接合材料はスズ系低融点合金であり、前記第二の金属被覆層は、銅、ニッケル、銀または金であることを特徴とする電子源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はカーボンナノチューブを有する電子源とそれを用いた電子顕微鏡および電子線描画装置に関する。

20

【0002】

【従来の技術】

電子顕微鏡の更なる高分解能化、高輝度化には 1 電子源サイズを小さくすること、2 電子源を高輝度化すること、3 色収差の影響を低減するために電子源からの電子エネルギー幅を小さくすること、4 放出電子ビームを安定化すること、が必要である。そして電子源として LaB₆ からなる熱電子放出型、ZrO/W からなるショットキー型、針先端を電界研磨により尖らせたタングステンからなる電界放出型がある。高分解能化、高輝度化の点では、電界放出型電子源が最も優れているが、以下のような欠点もある。1 10⁻⁸ Pa 以上の超高真空状態にしないと電界放出が起こらないため、排気系が大掛かりなものとなり、装置の小型化が困難であるとともに、コストアップにつながる。

30

2 引出電圧を数 kV と非常に大きなものにしないと電界放出しないため、今後急速な成長が見込まれる有機物、生物関連試料に対しては、大きなダメージを与え、十分な高精度観察ができない。3 エミッタ表面で吸着、脱離する残留ガス分子の影響や残留ガスイオン衝撃によるエミッタ先端形状変化による放出電流の時間変動が大きい。

【0003】

また、半導体プロセス等で用いられている測長 SEM においては、現状ショットキー型電子源が用いられているが、観察試料上での帯電防止及び試料ダメージ低減のために、低加速電圧下での更なる高分解能化が重要な課題となっている。

【0004】

さらに、電子線に感応するレジストを塗布した試料基板に電子線を照射し、各種回路パターンを形成する電子線描画装置においては、各種回路パターンの高精細化に伴い、極細プローブ径が得られる電子源が必要となってきた。従来、タングステンや LaB₆ からなる熱電子放出型電子源が使用されてきたが、これらの電子源はビーム電流が多くとれるという利点があるものの、絶対的なエミッタ先端半径の大きさに起因する非点収差が大きく、20 nm 以下の描画を行うことができない。そのため、最近、電界放出型電子源を使用するようになったが、ビーム電流の少なさと前記したような原因により、ビーム電流の不安定さという新たな問題があり、確実な描画を行うために、電子線の露光量すなわち露光時間を増やさなければならず、効率が悪いという課題がある。

40

【0005】

一方で最近、表示装置用の新電子源としてカーボンナノチューブを多数平面基板に配列さ

50

せた電子源が盛んに検討されている。これはカーボンナノチューブの先端径がナノレベルと非常に小さいため、低電圧でも電界放出が可能であり、また炭素原子間結合が金属に比べ非常に強固なため、前記イオン衝撃にも強く、放出電流の安定性に優れ、さらに比較的低真空でも電子放出するという特徴を有しているからである。

【0006】

そこで、単一カーボンナノチューブ、あるいは数本のカーボンナノチューブが見かけ上一本に束になったバンドル状カーボンナノチューブを電子顕微鏡および電子線描画装置の電子源に適用すれば、電子放出サイトがナノレベルであるため、電子放出角が小さく、さらに放出される電子のエネルギー幅も小さいため、従来に比べ、高分解能化、高精細加工が可能となる。

10

【0007】

しかしながら単一カーボンナノチューブ、あるいは複数のカーボンナノチューブが見かけ上一本に束になったバンドル状カーボンナノチューブを電子顕微鏡や電子線描画装置の電子源に適用した検討例はほとんどなく、単一カーボンナノチューブの電界放出特性に関しては例えば、M. J. Fransen, Th.L. van Rooy, P. Kruit, Appl. Surface Sci. 146(1999) 312-327等の報告がある程度である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

上記報告で使用されているカーボンナノチューブ電子源の構造は、図1に示すように、基材であるタングステン針先端側面にカーボンコンタミで固定した構造となっている。このような構造ではタングステン針とカーボンナノチューブの接触面積が非常に小さくなってしまいうため、これを電子顕微鏡および電子線描画装置の電子源に適用した場合には次のような問題が解決できていない。 1 カーボンナノチューブとタングステン針のオーミックコンタクトがとれず、接合部での電気抵抗が大きくなり、カーボンナノチューブ先端における電界強度が印加した電圧に比べかなり低下してしまい、電界放出しきい電圧が大きくなってしまいう。 2 ある程度電流が流れた状態では、前記理由により、電子放出サイトへの電子の供給が阻害され、それ以上大きな電圧を印加しても電流が飽和してしまい、大きな電流を得ることができない。 3 前記理由により、接合部での発熱量が大きくなり、基材であるタングステン針が溶解する。 4 接合強度が小さいために、静電気の帯電および衝撃などにより容易に剥離する。 5 タングステン針側面にカーボンナノチューブが取り付けられているため、電子銃に組み込んだ後の電子ビーム軸調整が困難になる。

20

30

【0009】

また、導電性針先端部に触媒金属粒子を塗布して、CVD法等で触媒金属粒子からカーボンナノチューブを直接成長させる方法が知られているが、成長したカーボンナノチューブの結晶性、純度、細末性を同時に満足する電子放出特性に優れたカーボンナノチューブを製造した例はない。また、成長するカーボンナノチューブの直径は、触媒金属粒子の粒子径に依存し、触媒金属ナノ粒子一個を導電性針先端に配置する必要があるが、製造上もかなり難しい。たとえ触媒金属ナノ粒子から一本のカーボンナノチューブを成長させることが出来たとしても、触媒金属粒子は、カーボンナノチューブの成長と共に、カーボンナノチューブ成長方向に移動してしまいうため、導電性針とカーボンナノチューブとの接合部に触媒金属粒子がなくなってしまう、上記のような接合不良に起因する諸問題を解決することはできない。また、触媒金属粒子が取り残された場合には、そこから複数本のカーボンナノチューブがランダムに成長してしまいうという課題もある。

40

【0010】

以上本発明の目的は、カーボンナノチューブと導電性基材とのオーミックコンタクトが十分確保でき、十分な接合強度を有するとともに、ビーム軸調整が容易な高信頼性電子源を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

50

上記目的を達成するための手段の一つは、カーボンナノチューブを有する電子源であって、導電性基材と、該導電性基材とオーミックコンタクトするカーボンナノチューブと、を有することを特徴とする。

【0012】

若しくは、該導電性基材とオーミックコンタクトするカーボンナノチューブは、前記導電性基材に接合される導電性接合材料と、該導電性接合材料に接合されたカーボンナノチューブと、を有することを特徴とする。これにより、接合部での電気抵抗を小さくでき、電界放出しきい電圧の増大を防ぎ、電子放出サイトへの電子の供給量を多くし、また接合部での発熱量を抑え、導電性基材の溶融等を防ぎ、電子源としての信頼性を高めることが出来る。

10

【0013】

【発明の実施の形態】

本発明の実施形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、本明細書における導電性針、導電性プレートは導電性基材の一例であるとする。

【0014】

(実施例1)

図2は本実施例に係る電子源を示す。本実施例に係る電子源は、先端に微細孔を有する導電性針と、微細孔に設けられる導電性針よりも低融点の導電性接合材料と、導電性接合材料に取付けられたカーボンナノチューブと、を有して構成される。これにより、電子源におけるカーボンナノチューブと導電性針との接合性に関する課題が解決でき、かつカーボンナノチューブと導電性針とを安定的にオーミック接触させることができる。

20

【0015】

カーボンナノチューブを取付ける導電性針の材料としては、導電性、熱伝導性に優れ、比較的高融点の金属あるいはカーボンが好ましく、金属としては、タングステン、モリブデン、チタン、白金、あるいはそれらを有する合金が挙げられるが、これらに限定されるものではない。

【0016】

導電性針に塗布する導電性接合材料としてはカーボンナノチューブおよび導電性基材とのぬれ性が比較的良く、さらに好ましくは導電性基材との熱膨張係数が近いもので、導電性基材の融点以下の温度で溶融し、かつカーボンナノチューブが真空加熱されても分解しない温度以下で溶融するものであれば特に限定されるものではないが、製造性の観点から言えば、融点が1500以下の金属が望ましく、リチウム、ベリリウム、マグネシウム、アルミニウム、カリウム、カルシウム、マンガン、コバルト、ニッケル、ルビジウム、ストロンチウム、テルル、セシウム、バリウム、ランタン、ビスマス、鉛、スズ、インジウム、カドミウム、銅、硫黄、セレン、ガリウム等のうちの少なくとも一つから構成される金属あるいは合金が挙げられる。

30

【0017】

なお本実施例に係る電子源において、微細孔を形成していない導電性針の先端部にそれよりも低融点である導電性接合材料を塗布し、カーボンナノチューブを取付ける構成としても良いが、図2に示すように導電性針の先端中央部に微細孔を設けた方が接合信頼性の点でより望ましい。また、導電性針の先端中央部に微細孔ではなく図3で示すように導電性針の一部に凹部を形成し、その凹部に導電性接合材料を設け、カーボンナノチューブを取付ける構成としても良い。

40

【0018】

次に本実施例に係る電子源の製造方法を示す。まずエッチング等で先端を尖らせた導電性針の先端中央部に、FIB加工あるいはフォトリソグラフ法等で微細孔(若しくは凹部等)を形成した後、導電性針の先端部にそれよりも低融点である導電性接合材料をスパッタ、蒸着あるいは浸漬などで塗布する。これはカーボンナノチューブを取付ける材料となる。そして導電性接合材料が塗布された微細孔に一本のカーボンナノチューブを挿入し、該導電性接合材料の凝固温度まで基材を冷却し固化する。これにより図2に示す電子源を製

50

造できる。

【0019】

以上、カーボンナノチューブと導電性基材とのオーミックコンタクトが確保でき、十分な接合強度を有する高信頼性の電子源を提供することができる。またこの電子源を電子顕微鏡に用いることで、従来機種と比べ、高分解能化，高輝度化，低加速電圧化による試料ダメージの低減化が可能となる。また電子放出角が小さいため、コンデンサーレンズにより電子ビームを絞る度合いが低減するため、コンデンサーレンズの一部あるいは全てを省略できるとともに、従来電子源に比べ、低真空度でも電子放出するため、真空排気系が簡略化でき、更には従来機種と比べ、低加速電圧化できるため、電子銃周りの熱発生が低減され、従来機種のように電子銃周りを冷却水により冷却しなくても空冷で十分となり、冷却系を省略あるいは簡略化できるため、低コスト化，小型化を実現する電子顕微鏡および高精細化，高効率化，低コスト化，小型化を実現する電子線描画装置を提供することができる。なお、本実施例で説明のために用いた導電性針は導電性基材の一例であり、最も効率よく電子を放出できる形態として説明したものである。

10

【0020】

(実施例2)

図4は本実施例に係る電子源を示す。本実施例に係る電子源は、実施例1に記載した電子源のカーボンナノチューブに導電性接合材料よりも高融点の導電性材料を数層被覆した(被覆層を設けた)構成となっている。この構成とすることにより、導電性接合材料がカーボンナノチューブとぬれ性が余り良くない場合であっても導電性接合材料とカーボンナノチューブ双方とぬれ性の良い材料を挟むことで、全体としてぬれ性を良くして接合信頼性を高めることができる。また、カーボンナノチューブの周囲に被覆層を設けることで更なる耐イオン衝撃性向上を図ることができる。但し、カーボンナノチューブを被覆する層(被覆層)が厚すぎると直径が小さいというカーボンナノチューブの利点が薄れてしまうため、各被覆層の厚さは数nm~数十nm程度が良い。

20

【0021】

ここで、本実施例に係る電子源について図4を用いて具体例を説明する。導電性針はタングステン、導電性接合材料はスズ系低融点合金である。スズ系低融点金属合金とカーボンナノチューブとは余りぬれ性が良くないため、まずカーボンナノチューブとぬれ性の良い金属、例えば炭化物を形成しやすいチタン，ハフニウム，ジルコニウム，タンタル，ニオブ，クロム，モリブデン，マンガン，アルミニウム，カルシウム，鉄，ニッケル，コバルト，タングステン，シリコン等を第一の金属被覆層として形成し、更にその外側に第一の金属被覆層とスズ系低融点合金の両方にぬれ性が良くスズ系低融点合金よりも高融点な金属である銅，ニッケル，銀，金などを第二の金属被覆層として形成する。これによりカーボンナノチューブ側から徐々に導電性接合材料とのぬれ性を高めることができ、材料選択の裕度を高めることができ、かつ耐イオン衝撃性向上を図ることができる。

30

【0022】

また、導電性針であるタングステンとスズ系低融点合金も余りぬれ性が良くないため、導電性針全体あるいは先端部(微細孔内部若しくは凹部)にタングステンとスズ系低融点合金の両方にぬれ性が良く、スズ系低融点合金よりも高融点な金属、例えば、銅，ニッケル，銀，金などを金属被覆層として形成しておくことも良い。なおもちろんぬれ性に応じて金属被覆層を設けるか否かは自由である。さらに、カーボンナノチューブ全体に金属被覆層を設けること若しくは接合に係る部分のみに金属被覆層を設けることは必要に応じて選択可能である。この意味において金属被覆層により被覆されるとは、全体に被覆されている場合のみならず、接合に係る部分のみに金属被覆層が設けられているものも含まれるとする。また、カーボンナノチューブは特に限定されるものではないが、電子源サイズの点から言えば、一本であることが好ましい。但し電子線描画装置等のように大電流が必要な場合には、全体の直径が100nm以下であるならば、数本のカーボンナノチューブ(金属被覆層も含む)が見かけ上一本に束なったバンドル状カーボンナノチューブであっても良い。

40

50

【0023】

これら金属被覆層の製造方法としては、蒸着法，CVD法，スパッタ法等がある。

【0024】

以上、カーボンナノチューブと導電性基材とのオーミックコンタクトが確保でき、十分な接合強度を有し、各材料間のぬれ性がよく、かつ耐イオン衝撃性が高い高信頼性の電子源を提供することができる。またこの電子源を電子顕微鏡に用いることで、従来機種と比べ、高分解能化，高輝度化，低加速電圧化による試料ダメージの低減化，低コスト化，小型化を実現する電子顕微鏡および高精細化，高効率化，低コスト化，小型化を実現する電子線描画装置を提供することができる。

【0025】

10

(実施例3)

本実施例に係る電子源を図5に示す。

【0026】

図5に係る電子源は、鋭利な先端形状（先端部）及びその先端部に微細孔を有する導電性プレートと、微細孔に設けられる導電性針よりも低融点の導電性接合材料と、導電性接合材料に取付けられたカーボンナノチューブと、を有して構成される。カーボンナノチューブを取付ける導電性基材の形状としては、先端形状が鋭利であるほど電界集中しやすいため、導電性プレートの先端はある程度鋭利であることが好ましい。

【0027】

(実施例4)

20

本実施例に係る電子源を図6(a)，(b)に示す。

【0028】

図6(a)に係る電子源は、V字部分（先端部分）に微細孔が設けられたV字型フィラメント形状の導電性基材と、微細孔に設けられる導電性針よりも低融点の導電性接合材料と、導電性接合材料に取付けられたカーボンナノチューブと、を有して構成される。

【0029】

図6(b)に係る電子源は、V字型のフィラメント形状を有する導電性基材と、V字型のフィラメント形状を有する導電性基材のV字部分（先端部分）に取付けられ、先端に微細孔を有する導電性針と、微細孔に設けられる導電性針よりも低融点の導電性接合材料と、導電性接合材料に取付けられたカーボンナノチューブと、を有して構成される。

30

【0030】

カーボンナノチューブを取付ける導電性基材の形状としては、先端形状が鋭利であるほど電界集中しやすいため、ある程度鋭利なプレートとすることで電界を集中させて高出力，高信頼性の電子源を実現することができ、更に本実施例に係る電子源では、導電性基材がV字型のフィラメント形状であるため、フィラメントに電流を流すことで取付けられたカーボンナノチューブを容易に加熱でき、カーボンナノチューブ表面の吸着ガスを除去することが可能となる。

【0031】

以上、カーボンナノチューブと導電性基材とのオーミックコンタクトが確保でき、十分な接合強度を有し、カーボンナノチューブ表面の吸着ガスをも除去することができる高信頼性の電子源が提供することができる。

40

【0032】

(実施例5)

本実施例に係る電子源を図7を用いて説明する。本実施例に係る電子源は実施例1において作成された電子源におけるカーボンナノチューブと導電性接合材料との接合部周辺に高融点金属或いはカーボンを塗布し、導電性接合材料を封止する被覆材を設けた構成となっている。別言すれば、被覆材を有し、被覆材と導電性基材とで導電性接合材料を封止したことを特徴とする。

【0033】

このように被覆材を設けることで電子源が導電性接合材料の融点以上の温度となった場合

50

であっても接合状態を確保することができる。なおこの場合の高融点金属とは導電性接合材料よりも融点が高い金属を意味し、1500以上の融点であることは望ましい。またこの場合、導電性接合材料を省略することも可能であるが、製造製の観点からは導電性接合材料を用いたほうがより好ましい。

【0034】

この電子源は、実施例1に記載された方法により作成された電子源の接合部周辺に例えばガリウムイオンの代わりに電子線を利用するFIB加工装置等で像観察中のカーボンナノチューブ自体の照射ダメージを最小限にしながら接合部周辺のみタングステンやカーボン等を蒸着することで作成できる。

【0035】

なお本実施例では実施例1で作成された電子源を元として作成したが、上記効果を奏する限りにおいて実施例1により作成された電子源に限定されることはなく、実施例1乃至実施例4いずれに記載の電子源においても作成可能である。

【0036】

以上、カーボンナノチューブと導電性基材とのオーミックコンタクトが確保でき、十分な接合強度を有し、かつ電子源が低融点金属の融点以上の温度に曝されても接合状態の確保が可能な高信頼性の電子源を提供することができる。

【0037】

(実施例6)

本実施例では実施例4及び実施例5において開示された電子源を用いた電子源の運転方法について図8(a)及び(b)を用いて説明する。

【0038】

即ち、図8(a)に係る電子源は、V字部分(先端部分)に微細孔が設けられたV字型フィラメント形状の導電性基材と、微細孔に設けられる導電性針よりも低融点の導電性接合材料と、導電性接合材料に取付けられたカーボンナノチューブと、カーボンナノチューブと前記導電性接合材料との接合部周辺に前記導電性接合材料を封止するために設けられた被覆材と、を有して構成され、図8(b)に係る電子源は、V字型のフィラメント形状を有する導電性基材と、V字型のフィラメント形状を有する導電性基材のV字部分(先端部分)に取付けられ、先端に微細孔を有する導電性針と、微細孔に設けられる導電性針よりも低融点の導電性接合材料と、導電性接合材料に取付けられたカーボンナノチューブと、導電性接合材料に取付けられたカーボンナノチューブと、カーボンナノチューブと前記導電性接合材料との接合部周辺に前記導電性接合材料を封止するために設けられた被覆材と、を有して構成される。これを用いてフラッシングフリーな運転方法が可能である。以下、具体的に説明する。

【0039】

この構成を有する電子源は、電子源が低融点である導電性接合材料以上の温度に曝されても接合状態を確保することができるため、例えばカーボンナノチューブから熱電子放出が起こる臨界温度を T_1 、カーボンナノチューブ表面の吸着ガスが離脱する温度を T_2 、カーボンナノチューブの加熱温度を T とした場合、フィラメントへの電流量を調節することで $T_2 < T < T_1$ として運転することにより従来の電界放出型電子源で必要な真空度よりもかなり低い真空度においても、従来必須となっていたフラッシングをしなくても長期間にわたって安定かつ狭エネルギー幅の電子ビームをえることが可能となる。特に現在、半導体関連で使用される測長SEMではフラッシングフリーであることが必須であったため電界放出型に比べ分解能の劣るショットキー型電子源がもっぱら使用されているが、本実施例に係る電子源を上記運転方法で実施することによりフラッシングフリーな高分解能観察が可能となる。

【0040】

(実施例7)

本実施例では実施例1に記載する電子源の製造方法についての他の一例を示す。但し、実施例1とは、導電性接合材料がグラファイト化した有機材料である点で相違する。

10

20

30

40

50

【0041】

本実施例に係る電子源の製造方法は、例えば実施例1に記載された電子源を作成する方法であって、エッチング等で先端を尖らせた導電性針の先端中央部に、FIB加工或いはフォトリソグラフ法等で微細孔を形成し、導電性の先端部に微細孔を有する導電性針に予め有機材料を塗布し、有機材料が塗布された微細孔に一本のカーボンナノチューブを挿入して仮止めを行い、これを真空中或いは不活性ガス雰囲気中で有機材料が炭化する温度まで加熱して有機材料をグラファイト化させる。つまりこの工程により有機材料は導電性を有するグラファイトとなるため、カーボンナノチューブと導電性針とがオーミックコンタクト接合した電子源を作成することができる。特にこの場合導電性針をカーボンとすれば、電子源を構成する材料が全てカーボンになるため、熱膨張差に起因する接合部での界面剥離或いは各材料間のぬれ性など異種材料接合に関わる問題が解決でき大変好都合となる。

10

【0042】

なお、本実施例では実施例1に記載した電子源を元に説明したが、上記の製造工程が可能である限りにおいて、実施例2乃至実施例6に係る電子源の製造方法に応用することも可能である（その場合、微細孔は凹部とする等適宜読み替えることで対応できる）。

【0043】

さらに、実施形態として図3に示すような先端中央部に微細孔が形成された導電性基材に、カーボンナノチューブをカーボンコンタミなどで仮止めした後、真空中あるいは不活性ガス中で加熱することにより、カーボンナノチューブと導電性基材とを拡散接合することができる。この場合導電性基材としてはカーボンナノチューブと炭化物などの中間生成物を形成しやすい金属が好ましい。また同時に、接合部のみにイオンや電子線などの粒子線照射を行えば、カーボンナノチューブと導電性基材間の拡散が促進されるため、より低温かつ短時間で拡散接合することができる。

20

【0044】

（実施例8）

本実施例は実施例1に係る電子源を電子銃に用いた例である。図9（a）はその構成を示すものであり、図9（b）は更にその電子銃を走査型顕微鏡に用いた例を示す。

【0045】

図9（a）に示される電子銃は、電子源と、電子源を支える支柱と、支柱を固定する絶縁基板と、第一陽極と、第二陽極と、を有して構成される。

30

【0046】

図9（b）に示される走査型顕微鏡は、電子銃から放出された電子ビームを電子レンズで縮小して、試料面上に微小な電子プローブを結像させるとともに、偏向器によって試料上の電子プローブの移動、走査を行うための電子光学系と試料室と、これらを真空中に維持するための排気系から構成されている。なお、半導体プロセスにおける微細加工パターンの観察や寸法測長を行う測長SEMおよび電子線に感応するレジストを塗布した試料基板に電子ビームを照射して各種回路パターンを形成する電子線描画装置における電子光学系の構成も基本的には図8と同じである。

【0047】

以上、実施例1に係る電界放出型電子源をこれら装置の電子銃に適用することにより、従来機種と比べて高分解能化、高輝度化、低加速電圧化による試料ダメージの低減化、低コスト化、小型化を実現する電子顕微鏡および高精細化、高効率化、低コスト化、小型化を実現する電子顕微鏡、電子線描画装置を実現することができる。

40

【0048】

さらに、電子線描画装置に関しては、最近、金属-絶縁体-金属の三層構造からなる薄膜型電子源（MIM）を格子状に二次元配列して作製したマルチ電子線源搭載型電子線描画装置が考案されている。これによりパターンを一括転写でき、電子源が一つの場合に比べて、スループットが大幅に改善することができる。しかし、この場合、MIMの電子放出しきい電界が1～10MV/cm以上と非常に高く、MIMを構成する絶縁体あるいは駆動回路部品の絶縁破壊などが生じるといった問題があり、低電圧で高電流密度を達成できる

50

電子源が求められている。そこで、図 10 に示すように本発明の電子源を搭載することにより、前記課題を解決することができる。

【0049】

また、走査型電子顕微鏡と同様に電子源から放出された電子ビームを複数の電子レンズで細く絞り、この電子ビームを走査コイルを用いて矩形状に走査して像を得る走査透過電子顕微鏡や電子源から放出された電子ビームを加速し、複数段の電子レンズを通して試料に照射し、試料を透過した電子ビームを対物レンズを含む複数の電子レンズで拡大し、蛍光スクリーンに像を映し出す透過型電子顕微鏡においても電子光学系の基本原理は同じであるため、本発明の電子源を用いることにより同様の効果が得られる。

【0050】

10

【発明の効果】

以上、カーボンナノチューブと導電性基材とのオーミックコンタクトが確保でき、十分な接合強度を有するとともに、ビーム軸調整が容易な高信頼性電子源を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来カーボンナノチューブと導電性基材との接合方法を示す図。

【図 2】実施例 1 に係る電子源を示す図。

【図 3】実施例 1 に係る電子源の他の一例を示す図。

【図 4】実施例 2 に係る電子源を示す図。

【図 5】実施例 3 に係る電子源を示す図。

20

【図 6】(a) 実施例 4 に係る電子源を示す図、(b) 実施例 4 に係る電子源を示す図。

【図 7】実施例 4 に係る電子源を示す図。

【図 8】(a) 実施例 6 に係る電子源を示す図、(b) 実施例 6 に係る電子源を示す図。

【図 9】(a) 実施例 8 に係る電子顕微鏡を示す図、(b) 実施例 8 に係る電子顕微鏡を示す図。

【図 10】実施例 8 に係る電子線描画装置を示す図。

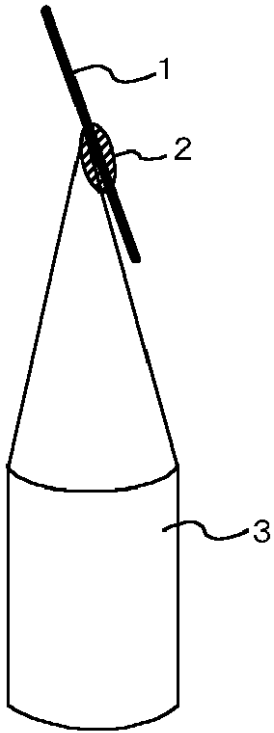
【符号の説明】

1 ...カーボンナノチューブ、2 ...カーボンコンタミ、3 ...タングステン針、4 ...導電性接合材料、5 ...導電性針、6 ...導電性基材、7 ...導電性接合材料、8 ...第一の金属被覆層、9 ...第二の金属被覆層、10 ...金属被覆層、11 ...融点が1500 以上の導電性材料、12 ...電子源、13 ...支柱、14 ...絶縁材料、15 ...第一陽極、16 ...第二陽極、17 ...電子銃、18 ...アライメントコイル、19 ...コンデンサレンズ、20 ...偏向、走査コイル、21 ...対物レンズ、22 ...二次電子検出器、23 ...試料、24 ...対物絞り、25 ...試料ステージ、26 ...排気系、27 ...電子ビーム、28 ...電極駆動回路、29 ...ブランカ、30 ...電子レンズ、31 ...偏光器。

30

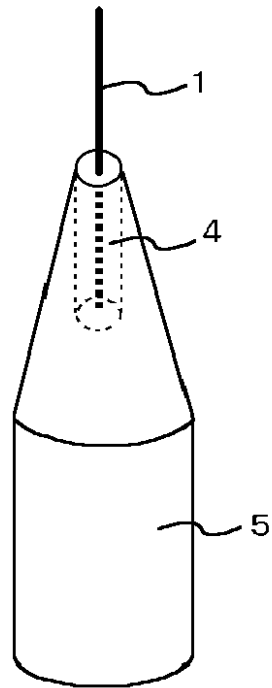
【図 1】

図 1



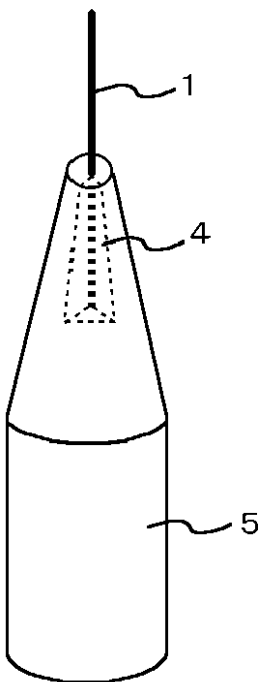
【図 2】

図 2



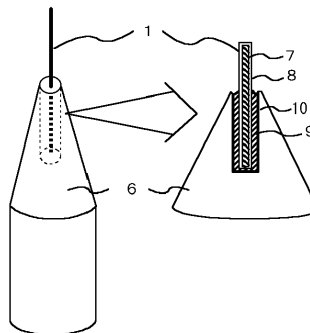
【図 3】

図 3



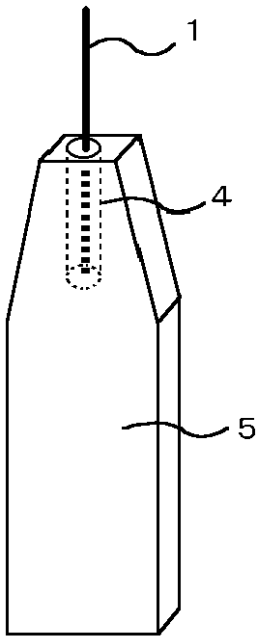
【図 4】

図 4



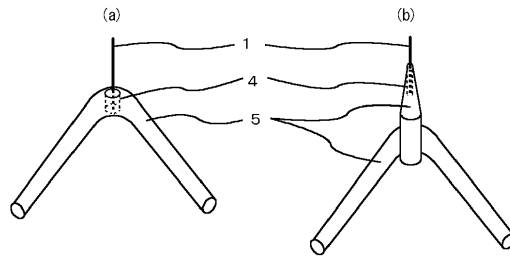
【図 5】

図 5



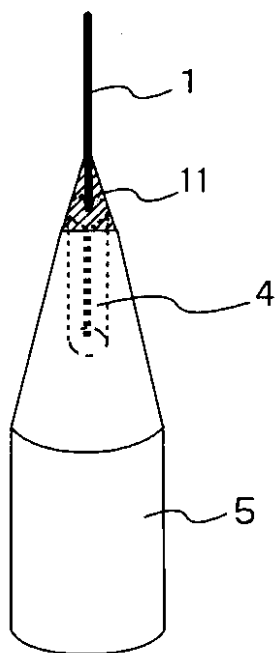
【図 6】

図 6



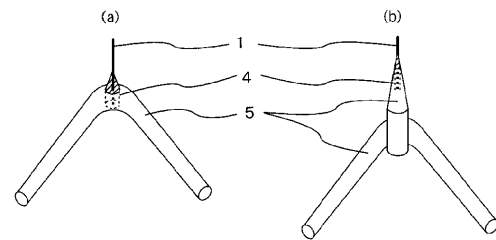
【図 7】

図 7



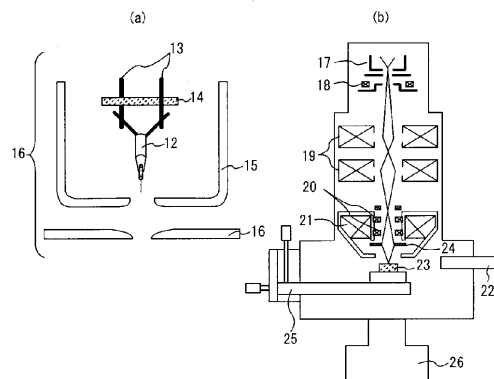
【図 8】

図 8



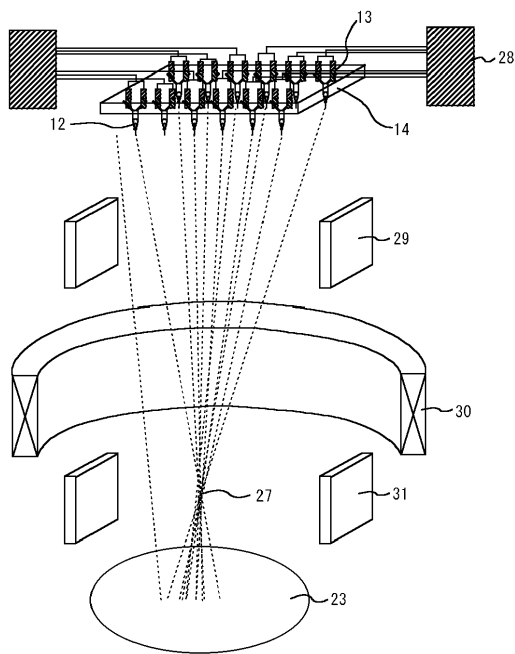
【図 9】

図 9



【図 10】

図 10



フロントページの続き

- (72)発明者 林原 光男
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 鈴木 修一
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 沼田 義道
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 堀内 寿晃
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内

審査官 波多江 進

- (56)参考文献 特開2001-312953(JP,A)
特開2000-090813(JP,A)
特開2002-025425(JP,A)
特開2000-223004(JP,A)
特開昭52-123162(JP,A)
特開2001-236875(JP,A)
特開2000-100312(JP,A)
国際公開第00/019494(WO,A1)
H. Schmid et al., Carbon nanotubes are coherent electron sources, Applied Physics Letters, 1999年11月15日, Vol.70, No.20, pp.2679-2680
M. J. Fransen et al., Field emission energy distributions from individual multiwalled carbon nanotubes, Applied Surface Science, 1999年 5月, Vol.146, NO.1/4, pp.312-327

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 1/304

H01J 37/073

JSTPlus(JDream2)