

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-77940

(P2018-77940A)

(43) 公開日 平成30年5月17日(2018.5.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1J 37/073 (2006.01)	HO1J 37/073	5C030
HO1S 3/00 (2006.01)	HO1S 3/00 A	5C335
HO1J 1/34 (2006.01)	HO1J 1/34 B	5F172
HO1J 9/12 (2006.01)	HO1J 1/34 C	
	HO1J 9/12 A	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2016-217035 (P2016-217035)
 (22) 出願日 平成28年11月7日 (2016.11.7)

特許法第30条第2項適用申請有り 平成28年05月08日~13日 第7回国際粒子加速器会議 (IPAC '16) の「講演番号WEPMYO40」において公開
 [刊行物等] 平成28年06月06日 <http://www.ipac16.org/author-information/proceedings.html>
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ipac2016/>
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ipac2016/papers/wepmy040.pdf> を通じて発表

(71) 出願人 304021417
 国立大学法人東京工業大学
 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
 (71) 出願人 514008402
 テラベース株式会社
 愛知県岡崎市羽根西3丁目5-1 ルート
 オブファイブ102号室
 (71) 出願人 504151365
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
 茨城県つくば市大穂1番地1
 (74) 代理人 100124257
 弁理士 生井 和平

最終頁に続く

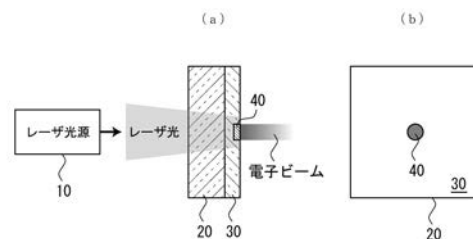
(54) 【発明の名称】 ナノスケール光陰極電子源

(57) 【要約】

【課題】 ビーム集束性の高い高コヒーレントな電子ビームを生成可能なナノスケール光陰極電子源を提供する。

【解決手段】 ナノスケール光陰極電子源は、レーザ光源10と、基板20と、透明電極層30と、光陰極部40とからなる。レーザ光源10は、レーザ光を照射可能なものである。基板20は、レーザ光源10からのレーザ光に対して透過性を有するものである。透明電極層30は、レーザ光源10からのレーザ光に対して透過性を有する導電性材料からなり、基板20のレーザ光が照射される側の面と対向する面上に形成され所定の電圧が印加されるものである。光陰極部40は、透明電極層30に形成され光電変換材料からなるナノスケールのものである。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高コヒーレントな電子ビームを生成可能なナノスケール光陰極電子源であって、該ナノスケール光陰極電子源は、

レーザ光を照射可能なレーザ光源と、

前記レーザ光源からのレーザ光に対して透過性を有する基板と、

前記レーザ光源からのレーザ光に対して透過性を有する導電性材料からなり、前記基板のレーザ光が照射される側の面と対向する面上に形成され所定の電圧が印加される透明電極層と、

前記透明電極層に形成され光電変換材料からなるナノスケールの光陰極部と、

を具備することを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載のナノスケール光陰極電子源において、前記光陰極部は、透明電極層のレーザ光が照射される側の面と対向する面内に面一となるように埋め込まれることを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載のナノスケール光陰極電子源において、前記光陰極部は、直径がナノスケールのドット形状からなることを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のナノスケール光陰極電子源において、前記レーザ光源は、光陰極部のドット形状の直径に極力近い照射径を有するように焦点が合わせられるように構成されることを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

20

【請求項 5】

請求項 1 又は請求項 2 に記載のナノスケール光陰極電子源において、前記光陰極部は、線幅がナノスケールの微細パターンからなることを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のナノスケール光陰極電子源において、前記レーザ光源は、光陰極部の微細パターン全体を照射可能な照射エリアを有するように構成されることを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

30

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 の何れかに記載のナノスケール光陰極電子源であって、さらに、前記レーザ光源からのレーザ光の影響を抑制するために、光陰極部へレーザ光を照射するときと光陰極部を避けて基板と透明電極層を透過するレーザ光を照射するときとの差分を取るノイズ除去部を具備することを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 7 の何れかに記載のナノスケール光陰極電子源において、前記光陰極部は、Au, Ag, Cu, GaAs, CsTe, CsKsb, NEA-GaAs の何れかであることを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 8 の何れかに記載のナノスケール光陰極電子源において、前記透明電極層は、ITO, ZnO, IGZO の何れかであることを特徴とするナノスケール光陰極電子源。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光陰極電子源に関し、特に、高コヒーレントな電子ビームを生成可能なナノスケール光陰極電子源に関する。

【背景技術】

【0002】

50

直流型光陰極電子源は、光電効果を用いて陰極から電子を取り出す方式であり、高周波空洞も不要で構造が簡単である。このような光陰極電子源は、加速器や電子顕微鏡等の電子ビームを生成するために用いられるものである。光陰極電子源としては、電子の取り出し方により、レーザトリガ電界電子放出法、背面照射型光電子放出法等が存在する。レーザトリガ電界電子放出法は、尖った針の先端にレーザを照射して電子を放出させるものである。また、背面照射型光電子放出法は、ガラス上に形成した金属薄膜に対して背面方向からレーザを照射して電子を放出させるものである（例えば特許文献1）。

【0003】

また、例えば特許文献2には、背面照射型光電子放出法のガラス基板と光電変換物質層との間に透明電極層が設けられた光陰極が開示されている。さらに、例えば特許文献3に開示の装置では、量子効率を高めるためにセシウムが被覆された光電子放射材料層とガラス基板との間に透明電極層が設けられている。そして、不要なエリアに設けられたセシウムからの電子ビームの放出を防ぐために、金属コーティング層が光電子放射材料層が設けられる中央領域以外の部分に設けられている。

10

【0004】

最先端の電子顕微鏡技術開発では、原子分解能レベルでの単独分子をイメージングすることが求められてきている。特に、新薬デザインや低線量放射線影響評価、単独たんぱく質構造解析等の進展が期待されている。そして、原子分解能レベルでのイメージングを可能とする有力な方法として、keV領域以下の低速コヒーレント電子を用いた電子顕微鏡の研究開発が進められている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2001-143648号公報

【特許文献2】特開平11-329215号公報

【特許文献3】特開平3-176953号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

これらの従来技術は、何れも放出される電子ビームの径が大きいものであった。具体的には、レーザトリガ電界電子放出法では、尖った針の先端が化学エッチングにより形成されるため、エミッタ形状が半球体形状になってしまう。これは、電子ビームが放射状に広がることを招くため、電磁界光学的なレンズ等を用いる必要があった。このため、レンズの球面収差により電子ビームのコヒーレンス性が悪化し、低電圧コヒーレント電子顕微鏡に必要な集束性の高い電子ビームを生成することは困難であった。また、背面照射型光電子放出法や特許文献2の装置では、背面方向から照射するレーザの径を小さくできるため、一般的な前面方向照射に比べて電子ビームの径を小さくすることが可能である。しかしながら、回折限界のためにレーザ光の焦点直径を波長以下にすることはできない。例えば、これまで紫外線から可視光領域では、レーザ光の焦点直径を1 μ m程度とすることが限界であった。

30

40

【0007】

さらに、特許文献3の装置の場合、金属コーティング層により光電子放射材料層の周りを遮蔽する必要がある。このため、光電子放射材料層を小さくして電子ビームの径を小さくしようとした場合には、中央領域がレーザ光の波長以下の径になると、中央領域をレーザ光が通過できなくなり電子ビームが生成されなくなってしまう。したがって、この例でも、電子ビーム径をナノスケールまで小さくすることはできなかった。

【0008】

本発明は、斯かる実情に鑑み、ビーム集束性の高い高コヒーレントな電子ビームを生成可能なナノスケール光陰極電子源を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 9 】

上述した本発明の目的を達成するために、本発明によるナノスケール光陰極電子源は、レーザ光を照射可能なレーザ光源と、レーザ光源からのレーザ光に対して透過性を有する基板と、レーザ光源からのレーザ光に対して透過性を有する導電性材料からなり、基板のレーザ光が照射される側の面と対向する面上に形成され所定の電圧が印加される透明電極層と、透明電極層に形成され光電変換材料からなるナノスケールの光陰極部と、を具備するものである。

【 0 0 1 0 】

ここで、光陰極部は、透明電極層のレーザ光が照射される側の面と対向する面内に面一となるように埋め込まれるものであれば良い。

10

【 0 0 1 1 】

また、光陰極部は、直径がナノスケールのドット形状からなるものであれば良い。

【 0 0 1 2 】

また、レーザ光源は、光陰極部のドット形状の直径に極力近い照射径を有するように焦点が合わせられるように構成されれば良い。

【 0 0 1 3 】

また、光陰極部は、線幅がナノスケールの微細パターンからなるものであっても良い。

【 0 0 1 4 】

この場合、レーザ光源は、光陰極部の微細パターン全体を照射可能な照射エリアを有するように構成されれば良い。

20

【 0 0 1 5 】

さらに、レーザ光源からのレーザ光の影響を抑制するために、光陰極部へレーザ光を照射するときと光陰極部を避けて基板と透明電極層を透過するレーザ光を照射するときとの差分を取るノイズ除去部を具備するものであっても良い。

【 0 0 1 6 】

また、光陰極部は、Au, Ag, Cu, GaAs, CsTe, CsKSb, NEA-GaAsの何れかであれば良い。

【 0 0 1 7 】

また、透明電極層は、ITO, ZnO, IGZOの何れかであれば良い。

【 発明の効果 】

30

【 0 0 1 8 】

本発明のナノスケール光陰極電子源には、ビーム集束性の高い高コヒーレントな電子ビームを生成可能であるという利点がある。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 9 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明のナノスケール光陰極電子源を説明するための概略図である。

【 図 2 】 図 2 は、本発明のナノスケール光陰極電子源の他の例を説明するための概略側断面図である。

【 図 3 】 図 3 は、本発明のナノスケール光陰極電子源のさらに他の例を説明するための概略側断面図である。

40

【 図 4 】 図 4 は、本発明のナノスケール光陰極電子源の光陰極部の他の例を説明するための光陰極部周辺の概略平面図である。

【 図 5 】 図 5 は、本発明のナノスケール光陰極電子源の製造方法を説明するための概略側断面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 0 】

以下、本発明を実施するための形態を図示例と共に説明する。図 1 は、本発明のナノスケール光陰極電子源を説明するための概略図であり、図 1 (a) が側断面図であり、図 1 (b) が光陰極部周辺の平面図である。図示の通り、高コヒーレントな電子ビームを生成可能な本発明のナノスケール光陰極電子源は、レーザ光源 10 と、基板 20 と、透明電極

50

層 30 と、光陰極部 40 とから主に構成されている。即ち、光陰極は、基板 20 と、透明電極層 30 と、光陰極部 40 とから構成されているものである。

【0021】

レーザ光源 10 は、レーザ光を照射可能なものである。レーザ光源 10 は、後述の光陰極部 40 にレーザ光を照射することで光陰極部 40 から光電子が放出されるようなものであれば良い。レーザ光源 10 は、具体的には例えば紫外線レーザ光や緑色レーザ光を出力可能な光源であれば良い。また、レーザ光源 10 は、CWレーザ（連続波レーザ）又はパルスレーザ（モード同期法、Qスイッチ法等）であれば良い。さらに、レーザ光源 10 は、レーザダイオード等により構成しても良い。

【0022】

基板 20 は、レーザ光源 10 からのレーザ光に対して透過性を有するものである。即ち、例えばレーザ光源 10 のレーザ光が紫外線レーザ光であれば、紫外線に対して透過率の高いものであれば良く、レーザ光が緑色レーザ光であれば、緑色に対して透過率の高いものであれば良い。基板 20 は、例えばガラス基板であれば良い。ガラス基板は、例えばサファイアガラスや石英ガラス等であれば良い。

【0023】

透明電極層 30 は、レーザ光源 10 からのレーザ光に対して透過性を有する導電性材料からなるものである。即ち、例えばレーザ光源 10 のレーザ光が紫外線レーザ光であれば、紫外線に対して透過率の高いものであれば良く、レーザ光が緑色レーザ光であれば、緑色に対して透過率の高いものであれば良い。また、透明電極層 30 は、基板 20 のレーザ光が照射される側の面と対向する面上形成されるものである。即ち、レーザ光が照射される側の面の裏面上に透明電極層 30 が形成される。透明電極層 30 は、具体的に一例を挙げると 125 nm の膜厚で基板 20 上に形成されれば良い。また、透明電極層 30 は、具体的には例えばITOやZnO, IGZO等であれば良い。そして、透明電極層 30 には、所定の電圧が印加される。

【0024】

光陰極部 40 は、光電変換材料からなるナノスケールのものである。光陰極部 40 は、透明電極層 30 に形成されている。ここで、ナノスケールとは、電子ビーム放射面となる部分がナノサイズとなるものをいう。例えば、図 1 (b) に示されるように、光陰極部 40 がナノスケールのドット形状からなるものであれば良い。具体的には、光陰極部 40 は、直径が 30 ~ 500 nm の円筒形であれば良い。また、厚みは例えば 5 ~ 40 nm であれば良い。このように、本発明のナノスケール光陰極電子源で用いられる光陰極部 40 の直径は、レーザ波長以下のナノサイズである。なお、光陰極部 40 の形状は、必ずしも図示例のような真円の円筒形には限定されず、楕円形状や方形等、任意の形状であっても良い。光陰極部 40 は、例えばAu, Ag, Cu, GaAs, CsTe, CsKsb, NEA-GaAs等からなれば良い。そして、図示例のように、光陰極部 40 は、透明電極層 30 のレーザ光が照射される側の面と対向する面内に面一となるように埋め込まれるように設けられれば良い。即ち、透明電極層 30 に光陰極部 40 が埋め込まれる溝（穴）が設けられており、光陰極部 40 の表面が露出するように溝内に形成されれば良い。これにより、光陰極部 40 の側部も透明電極層 30 で覆われることから、光陰極部 40 の側部からの電子ビームの放出が抑えられ、より高コヒーレントな電子ビームを生成可能となる。

【0025】

このように構成されたナノスケール光陰極電子源では、レーザ光源 10 からのレーザ光の照射径よりも小さい径の光陰極部 40 を構成することが可能となる。レーザ光源 10 からのレーザ光は、基板 20 及び透明電極層 30 を透過して光陰極部 40 を励起し、電子ビームを放出させる。したがって、光陰極部 40 と略同サイズの高コヒーレントな電子ビームが生成可能となる。レーザ光源 10 からのレーザ光の照射強度を変調させたり、透明電極層 30 に印加する電圧を調整することにより、電子ビーム電流を変調可能である。

【0026】

ここで、レーザ光源 10 は、光陰極部 40 のドット形状の直径に極力近い照射径を有す

10

20

30

40

50

るように焦点が合わせられれば良い。但し、レーザ光源 10 のレーザ光の径は波長に依存して小さくするのに限界があるため、ナノスケールの光陰極部 40 のサイズまで小さくはできない。このため、生成される電子ビームにレーザ光源 10 からのレーザ光が含まれる状態で放出されることになる。これについては、電子ビームの用途によって、レーザ光源 10 からのレーザ光の影響を抑制する必要がある場合には、レーザ光の成分を除去可能である。即ち、光陰極部 40 へレーザ光を照射するときと光陰極部 40 を避けて基板 20 と透明電極層 30 を透過するレーザ光を照射するときとの差分を取るノイズ除去部を設けることで、レーザ光の成分を差し引くことが可能である。

【0027】

上述の図示例では、光陰極部 40 が透明電極層 30 に面一となるように埋め込まれる例を示した。しかしながら、本発明はこれに限定されない。図 2 は、本発明のナノスケール光陰極電子源の他の例を説明するための概略側断面図である。図中、図 1 と同一の符号を付した部分は同一物を表している。なお、光陰極部周辺のみを図示した。図示の通り、この例では、光陰極部 40 は、透明電極層 30 の表面上に形成されている。このような構成であっても、透明電極層 30 から十分に電子が供給されると共に、従来技術と比べても十分小さい径の電子ビームが生成可能となる。

10

【0028】

さらに、光陰極部 40 は、基板 20 まで達していても良い。図 3 は、本発明のナノスケール光陰極電子源のさらに他の例を説明するための概略側断面図である。図中、図 1 と同一の符号を付した部分は同一物を表している。なお、光陰極部周辺のみを図示した。図示の通り、この例では、光陰極部 40 は、透明電極層 30 を貫通して基板 20 の表面上まで到達するように形成されている。このような構成であっても、透明電極層 30 から十分に電子が供給されると共に、従来技術と比べても十分小さい径の電子ビームが生成可能となる。

20

【0029】

ここで、本発明のナノスケール光陰極電子源は、その光陰極部が図 1 (b) に示されるようにドット形状に限定されるものではない。図 4 は、本発明のナノスケール光陰極電子源の光陰極部の他の例を説明するための光陰極部周辺の概略平面図である。図中、図 1 と同一の符号を付した部分は同一物を表している。図示の通り、この例では、光陰極部 41 は、ドット形状ではなく、微細パターンからなるものを示した。この微細パターンの線幅がナノスケールとなっている。なお、図示例のパターンは、あくまでも説明用のパターンであり、このパターンに限定されるものではない。このような微細パターンの光陰極部 41 を設けた場合、レーザ光源 10 は、微細パターン全体を照射可能な照射エリアを有するように構成されれば良い。

30

【0030】

このように構成された本発明のナノスケール光陰極電子源は、ナノスケールの微細パターンからなる光陰極部とすることにより、例えば所定のターゲット基板に対して微細パターンを転写することが可能となる。これにより、ナノスケールの微細パターンを簡単にターゲット基板上に形成可能となる。

【0031】

次に、本発明のナノスケール光陰極電子源の光陰極部の製造方法の一例について説明する。なお、以下の製造方法はあくまでも一例であり、この製造方法に限定されるものではなく、同様の構造が製造可能であれば、従来の又は今後開発されるべきあらゆる製造方法が適用可能である。

40

【0032】

図 5 は、本発明のナノスケール光陰極電子源の製造方法を説明するための概略側断面図であり、図 5 (a) ~ 図 5 (g) は各過程における図である。図中、図 1 と同一の符号を付した部分は同一物を表している。まず、図 5 (a) に示されるように、基板 20 を用意し、研磨、洗浄する。基板 20 は、例えば SiO_2 である。そして、図 5 (b) に示されるように、基板 20 上に透明電極層 30 をスパッタ法により成膜する。透明電極層 30 は

50

、例えばITOである。次に、図5(c)に示されるように、透明電極層30上をアクリル樹脂層31でコーティングし、加熱処理を施す。アクリル樹脂層31は、例えばPMMAである。また、コーティング処理は、例えば基板20上にPMMAを滴下し、スピナーを用いて5000rpmで30秒行う。加熱処理は、例えば180度で5分行う。そして、図5(d)に示されるように、アクリル樹脂層31上にアルミニウム層32をスパッタ法により成膜する。次に、図5(e)に示されるように、集束イオンビームにより穴開けを行う。具体的には、ガリウムイオンによるイオンビームを照射することで、アルミニウム層32及びアクリル樹脂層31を貫通し、透明電極層30まで到達する穴を開ける。図5(e)の図例では、ドット形状の穴が開けられるものを示した。これは、微細パターンの溝を加工するようにしても良い。集束イオンビームによりナノスケールの微細な穴開け加工が可能となる。また、穴の深さは、後に形成される光陰極部40の厚みとなるように、透明電極層30が例えば5~40nm掘り下げられるように調整されれば良い。そして、図5(f)に示されるように、アルミニウム層32上に、金膜33をスパッタ法により成膜する。これにより、図5(e)の過程で形成された穴内にも金を満たされる。最後に、図5(f)に示されるように、アクリル樹脂層31、アルミニウム層32、金膜33がリフトオフにより剥離され、透明電極層30に形成された穴に金からなる光陰極部40が形成されたナノスケール光陰極電子源が得られる。

10

【0033】

なお、本発明のナノスケール光陰極電子源は、上述の図5(e)にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

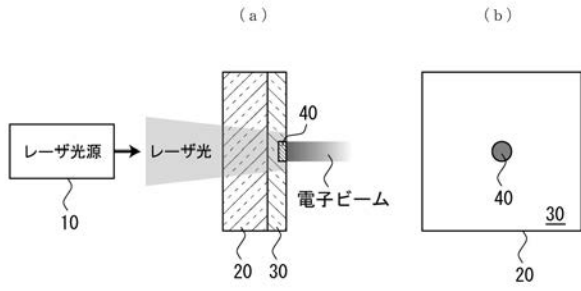
20

【符号の説明】

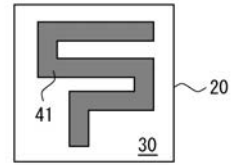
【0034】

- 10 レーザ光源
- 20 基板
- 30 透明電極層
- 31 アクリル樹脂層
- 32 アルミニウム層
- 33 金膜
- 40, 41 光陰極部

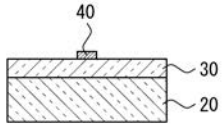
【 図 1 】



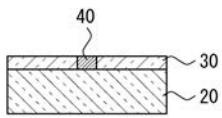
【 図 4 】



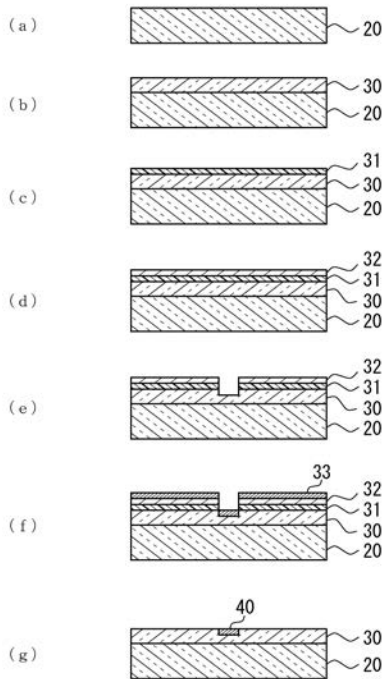
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 澁谷 達則

東京都目黒区大岡山 2 - 1 2 - 1 国立大学法人東京工業大学内

(72)発明者 林崎 規託

東京都目黒区大岡山 2 - 1 2 - 1 国立大学法人東京工業大学内

(72)発明者 吉田 光宏

茨城県つくば市大穂 1 番地 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

Fターム(参考) 5C030 CC10

5C335 CC02 CC03 CC07

5F172 NN13 NN14 ZZ20