(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3902230号
(P3902230)
(45)発行日　平成19年4月4日(2007.4.4)　(24)登録日　平成19年1月12日(2007.1.12)

(51)Int.Cl.		F I		
H01J 37/073	(2006.01)	H01J	37/073	
H01J 37/06	(2006.01)	H01J	37/06	A
H01J 1/34	(2006.01)	H01J	1/34	C

請求項の数 27　(全 15 頁)

(21)出願番号	特願平9-505847
(86)(22)出願日	平成8年6月27日(1996.6.27)
(65)公表番号	特表平11-509360
(43)公表日	平成11年8月17日(1999.8.17)
(86)国際出願番号	PCT/US1996/010978
(87)国際公開番号	WO1997/003453
(87)国際公開日	平成9年1月30日(1997.1.30)
審査請求日	平成15年4月10日(2003.4.10)
(31)優先権主張番号	08/499,945
(32)優先日	平成7年7月10日(1995.7.10)
(33)優先権主張国	米国(US)

(73)特許権者
インテバック・インコーポレイテッド
アメリカ合衆国カリフォルニア州９５０５４－２７０４，サンタクララ，バセット・ストリート３５５０
(73)特許権者
ザ・ボード・オブ・トラスティーズ・オブ・ザ・リーランド・スタンフォード・ジュニア・ユニバーシティ
アメリカ合衆国カリフォルニア州９４３０５，スタン　フォード
(74)代理人
弁理士　竹内　澄夫
(74)代理人
弁理士　堀　明▲ひこ▼

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超微小放出領域を有する負電子親和力フォトカソードを利用した電子ソース

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

電子ソースであって、

光透過性基板上の負電子親和力フォトカソードであって、該フォトカソードは伝導帯及び少なくとも一つの電子放出用の活性領域を有し、該活性領域はその表面と平行な方向に少なくとも一辺が２ミクロン以下の寸法を有するところのフォトカソードと、

電子を前記フォトカソードの伝導帯内へ励起するために、前記光透過性基板を通じて光線を前記フォトカソードの活性領域に導くための光線ジェネレータと、

前記フォトカソードの活性領域から放出された電子を電子ビームに成形するための電子光学素子と、

前記フォトカソードの伝導帯内の電子が、前記フォトカソードに隣接する真空エンクロージャ内の前記フォトカソード表面のすぐ上の電子よりも高いエネルギーを有しかつ前記フォトカソードの活性領域から真空エンクロージャ内へ放出されるように、前記フォトカソードを高真空に維持するための真空エンクロージャと、

から成る電子ソース。

【請求項２】

請求項１に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードの活性領域は前記フォトカソード上に入射する光線によって画成される、

ところの電子ソース。

【請求項３】

請求項１に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードの活性領域は予め画成される、
ところの電子ソース。
【請求項４】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードの活性領域は前記フォトカソード上の遮断層によって予め画成され、該遮断層は前記フォトカソードの活性領域を画成する開口を有する、
ところの電子ソース。
【請求項５】
請求項１に記載された電子ソースであって、前記フォトカソードは前記フォトカソードの表面での仕事関数を低下させる活性化層を含む、
ところの電子ソース。
【請求項６】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードは半導体材料から成る、
ところの電子ソース。
【請求項７】
請求項６に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードはさらに前記フォトカソードの表面の仕事関数を低下させるための活性化層から成る、
ところの電子ソース。
【請求項８】
請求項７に記載の電子ソースであって、前記活性化層は酸化セシウムから成る、
ところの電子ソース。
【請求項９】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードはIII-Ｖ族化合物から成る、
ところの電子ソース。
【請求項１０】
請求項９に記載の電子ソースであって、前記光線は300～800ナノメートルの範囲の波長を有する、
ところの電子ソース。
【請求項１１】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードは１ミクロン以下の厚さを有する、
ところの電子ソース。
【請求項１２】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記光線ジェネレータは２つ以上の光線を２つ以上の対応する前記フォトカソードの活性領域に導くための手段を含む、
ところの電子ソース。
【請求項１３】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記光線ジェネレータは光を生成するための光源と、前記光を前記フォトカソードにおいて所定の寸法を有する前記光線に集束させるための光学エレメントとから成る、
ところの電子ソース。
【請求項１４】
請求項１３に記載の電子ソースであって、前記光源はレーザーから成る、
ところの電子ソース。
【請求項１５】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記光線は吸収スペクトル及び前記フォトカソードの厚さに基づいて選択された波長を有する、
ところの電子ソース。
【請求項１６】

請求項１に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードは前記フォトカソード内に電場を生成するための、その厚さ方向に傾斜したバンドギャップを有する、
ところの電子ソース。
【請求項１７】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記光線ジェネレータは前記光線を時間の関数として変調するための手段を含む、
ところの電子ソース。
【請求項１８】
請求項１に記載の電子ソースであって、前記光線は、前記フォトカソードに衝突するとき、２ミクロン以下の断面寸法を有する、
ところの電子ソース。
【請求項１９】
電子ソースであって、
光透過性基板上の負電子親和力フォトカソードであって、伝導帯を有するところのフォトカソードと、
電子を前記フォトカソードの伝導帯内へ励起するために、光線を前記光透過性基板を通じて前記フォトカソードに導くための光線ジェネレータであって、前記光線は、前記フォトカソード表面と平行な方向に少なくとも一辺が２ミクロン以下の寸法を有する電子放出用の活性領域を生成するべく選択された前記フォトカソードにおける断面領域を有するところの光線ジェネレータと、
前記フォトカソードの活性領域から放出された電子を電子ビームに成形するための電子光学素子と、
前記フォトカソードの伝導帯内の電子が、前記フォトカソードに隣接する真空エンクロージャ内の前記フォトカソード表面のすぐ上の電子よりも高いエネルギーを有しかつ前記フォトカソードの活性領域から真空エンクロージャ内へ放出されるように、前記フォトカソードを高真空に維持するための真空エンクロージャと、
から成る電子ソース。
【請求項２０】
請求項１９に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードはIII-Ｖ族化合物の活性層と、酸化セシウムから成る活性化層とから成る、
ところの電子ソース。
【請求項２１】
請求項１９に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードは１ミクロン以下の厚さを有する、
ところの電子ソース。
【請求項２２】
請求項１９に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードは前記フォトカソード内に電場を生成するための、その厚さ方向に傾斜したバンドギャップを有する、
ところの電子ソース。
【請求項２３】
請求項１９に記載の電子ソースであって、前記光線は、前記フォトカソードに衝突するとき、２ミクロン以下の断面寸法を有する、
ところの電子ソース。
【請求項２４】
電子ソースであって、
光透過性基板上の負電子親和力フォトカソードであって、伝導帯及び予め画成された少なくとも一つの電子放出用の活性領域を有し、前記活性領域はその表面と平行な方向に少なくとも一辺が２ミクロン以下の寸法を有するところのフォトカソードと、
電子を前記フォトカソードの伝導帯内へ励起するために、光線を前記光透過性基板を通じて前記フォトカソードの予め画成された活性領域に導くための光線ジェネレータと、

前記フォトカソードの活性領域から放出された電子を電子ビームに成形するための電子光学素子と、
前記フォトカソードの伝導帯内の電子が、前記フォトカソードに隣接する真空エンクロージャ内の前記フォトカソードのすぐ上の電子よりも高いエネルギーを有しかつ前記フォトカソードの予め画成された活性領域から真空エンクロージャ内へ放出されるように、前記フォトカソードを高真空に維持するための真空エンクロージャと、
から成る電子ソース。
【請求項２５】
請求項２４に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードの予め画成された活性領域は前記フォトカソード上の遮断層によって確立され、該遮断層は前記フォトカソードの活性領域を画成する開口を有する、
ところの電子ソース。
【請求項２６】
請求項２４に記載の電子ソースであって、前記フォトカソードは前記フォトカソード内に電場を生成するための、その厚さ方向に傾斜したバンドギャップを有する、
ところの電子ソース。
【請求項２７】
電子ビーム装置であって、
(1)電子ソースであって、
光透過性基板上の負電子親和力フォトカソードであって、該フォトカソードは伝導帯及び少なくとも一つの電子放出用の活性領域を有し、該活性領域はその表面と平行な方向に少なくとも一辺が２ミクロン以下の寸法を有するところのフォトカソードと、
電子を前記フォトカソードの伝導帯内へ励起するために、光線を前記光透過性基板を通じて前記フォトカソードの活性領域に導くための光線ジェネレータと、
前記フォトカソードの活性領域から放出された電子を電子ビームに成形するための電子光学素子と、
前記フォトカソードの伝導帯内の電子が、前記フォトカソードに隣接する真空エンクロージャ内の前記フォトカソードのすぐ上の電子よりも高いエネルギーを有しかつ前記フォトカソードの活性領域から真空エンクロージャ内へ放出されるように、前記フォトカソードを高真空に維持するための真空エンクロージャと、
から成る電子ソースと、
(2)前記電子ソースから前記電子ビームを受け取るための、及び前記電子ビームによる処理用の被処理体を保持するためのメイン真空エンクロージャと、
(3)前記メイン真空エンクロージャ内に配置された、前記電子ビームを前記被処理体に方向付けるためのメイン電子光学素子と、
から成る装置。
【発明の詳細な説明】
発明の分野
本発明は，電子ビームソースに関し，特に，高輝度かつ小径の電子ビームを生成するためにひとつ以上の超微小活性放出領域を有する負電子親和力フォトカソードを利用する電子ソースに関する。
発明の背景
高解像度電子ビーム装置は，走査電子マイクロスコープ，欠陥検出ツール，VLSIテストツール，及びマスク形成及びウエハ露出ツールを含む。概して，これらの装置は電子ソース及び電子を電子ビームへ加速するための及び電子をターゲット上で集束させるための電子光学素子を含む。これらの装置は高輝度かつソースサイズの小さい電子ソースを要求する。しばしば電場放出電子ソースが高解像電子ビーム装置で使用されてきた。
負電子親和力(negative electron affinity(NEA))フォトカソード電子ソースが従来技術において提案された。該負電子親和力フォトカソードは，フェルミレベルに関して伝導帯を上げるために大量にＰドープされた，概してガリウムヒ素のようなIII-Ｖ化合物の半導

体を含む。該半導体表面は，バルク内の伝導帯が真空レベルより上（すなわち，負電子親和力状態）であるように，仕事関数を低下させる２～３層の単分子層厚の活性化層で被覆される。A.Herrera-Gomez及びW.E.SpicerによるSPIE Vol.2022,Photodetectors and Power Meters(1993),p51に記載されるように，電子が表面の拡散長内（典型的に２，３ミクロン）で光エネルギーにより伝導帯に励起されると，それらのほとんどが真空へ逃げる確率が高いところの表面へ拡散する。

NEAフォトカソード電子ソースに関するほとんどの先行技術は，反射モードのフォトカソードで実行されてきた。このモードにおいて，光線はカソードの放出面上に入射し，また放出された電子を加速しかつ集束するための電子光学素子をカソード面の上方に設置する必要性から，光線を集束するための最終レンズをフォトカソードに近接して配置することは不可能であった。これは，典型的に少なくとも２０～３０ミクロンの大きなスポットサイズ及び放出領域を生じさせる低い開口数(numerical aperture)のイメージングを要求する。

Doctoral Thesis,Cornell University Dept.of Electrical Engineering(1990)で説明されるように，C.Sanfordは，集積ゲート電極を有するNEAフォトカソードとともに，自立薄膜透過モードフォトカソードを制作した。後者のケースでは，光学素子の最終レンズはカソードから１０センチメートル離れていた。放出領域は直径がほぼ１５ミクロンであると推定された。第２のケースでは，フラッド・イルミネーション(flood illumination)が使用され，放出領域は直径１００ミクロン以上であった。

カソードとしてNEA活性フォトエミッタを使用する電子ビームソースを含む走査電子ビーム装置が，1989年4月11日に発行されたLangerらによる米国特許第4,820,927号に開示されている。開示された電子ソースは透過モードで動作し，18.75ミクロンの典型的カソード放出直径を有する旨が記載されている。1990年11月13日に発行された米国特許第4,970,392号は高輝度電子ソースの必要性を強調しているが，放出領域の重要性の議論は含まれていない。また，フォトカソードを利用する電子ビームソースは，1984年7月17日に発行されたOettingerらによる米国特許第4,460,831号，1991年8月13日に発行されたSmithらによる米国特許第5,039,862号，及び1990年3月6日に発行されたMiyawakiらによる米国特許第4,906,894号に開示されている。開示された電子ソース及び装置は本発明が与え得る小さいスポットサイズを達成することはできず，したがって以下の理由から，高性能電子ビームに必要な高輝度を与えることができない。

発明の概要

本発明にしたがって，電子ソースは光透過性基板上の負電子親和力フォトカソードと，電子をフォトカソードの伝導帯へ励起するべく光透過性基板を通じて光線をフォトカソードへ導くための光線ジェネレータとから成る。フォトカソードは少なくともひとつの電子放出用の活性領域を有する。該活性領域は約２ミクロン以下の寸法を有する。該電子ソースはさらにフォトカソードの活性領域から放出された電子を電子ビームに成形するための電子光学素子及び超高真空でフォトカソードを維持するための真空エンクロージャから成る。

ひとつの実施例において，フォトカソードの活性領域はフォトカソード上に入射する光線によって画成される。光線ジェネレータは好適には光を生成するための光源と，フォトカソードにおいて所定の寸法を有する光線へ光を集束されるための光学エレメントとから成る。他の構成において，光線ジェネレータはフォトカソードの対応する２つ以上の活性領域において２つ以上の光線を導き，それによって２つ以上の電子ビームを生成するための手段を含むこともできる。さらに他の構成において，光線ジェネレータは光線をカソード表面にわたって走査し，それによって電子光学素子に関して電子ビームを移動させるための手段を含むこともできる。光線は連続波または変調波である。

他の実施例において，フォトカソードの活性領域はフォトカソードの表面修正によって予め画成される。活性領域はフォトカソード内またはフォトカソード上の遮断層(blocking layer)によって確立される。金属または半金属薄膜から成る遮断層は，フォトカソードの活性放出領域を画成する少なくとも一つの開口を有する。該遮断層は活性放出領域を画成

する一つ以上の開口を有するオーミック接触から成る。変形的に，フォトカソードの表面は，活性放出領域を除いて電子の再結合を生じさせる高密度の欠陥を有するように処置される。
典型的に，フォトカソードはIII-Ｖ族化合物のような半導体から成る。さらに，フォトカソードはカソードの表面における仕事関数を低下させるための活性化層を含むこともできる。典型的に，フォトカソードの活性光吸収領域は，活性領域からの電子の横方向拡散を制限するために１ミクロン以下の厚さを有する。フォトカソードは，フォトカソード内に電場を生成するためにその厚さを通じてバンドギャップ傾斜を備える。
本発明の電子ソースはフォトカソードの非常に小さい活性放出領域内で非常に高輝度を達成し，その結果高い電流密度を与える。電子ビームは小さい直径を有するため，高分解能電子ビーム装置において低い反倍率(demagnification)が要求される。

【図面の簡単な説明】

本発明をより理解するために，ここに参考として以下の図面が添付されている。
図１は，本発明に従う電子ソースを利用する電子ビーム装置の一例のブロック図である。
図２は，図１の電子ソース内のフォトカソードの部分断面図である。
図３は，負電子親和力光放出を示すエネルギーレベル図である。
図４A及びBは，比較的大きい領域と比較的小さい放出領域に対する捕捉電子密度と半径の関数を表すグラフである。
図５～８は，光線ジェネレータの異なる実施例のブロック図である。
図９は，本発明に従って電子ソースの電流密度を計測するための実験設備のブロック図である。
図１０は，図９の電子ソース内で使用された電子光学素子のシミュレーションを示したものである。
図１１は，図９の電子ソース内の電流密度と光パワーの関係を示すグラフである。

詳細な説明

本発明に従う電子ソースを利用する電子ビーム装置の例のブロック図が図１に示されている。フォトカソード10は光透過性基板12の表面上に配置されている。図２には，拡大された基板12の部分的断面図及びフォトカソード10が示されている。該フォトカソード10は動作中に超高真空環境を維持する真空エンクロージャ14内に配置される。該真空エンクロージャ14は以下に説明するような光線の透過用の真空窓16を含む。他の構成において，光透過性基板12は真空エンクロージャ壁の一部を形成してもよい。光線ジェネレータ20は光線22を真空窓16及び基板12を通じてフォトカソード10の活性領域26（図２）へ方向付ける。光線22によってフォトカソード10の活性領域26は真空エンクロージャ14により画成された真空領域へ電子を放出することができる。電子光学素子32によって，電子は電子ビーム30に成形される。
発明の重要な態様にしたがって，フォトカソード10の活性放出領域26は，好適には約２ミクロン以下であり最も好適には約１ミクロン以下である，フォトカソード10の表面に平行な寸法ｄを有する。典型的に，活性領域26は多少円形であるが，それに限定されるものではない。例えば，活性領域26は幅が上記寸法ｄであるような線分形状であってもよい。付加的に，該活性領域はフォトカソード10上の所定のパターンから成る。非常に小さい活性領域26（約２ミクロン以下の寸法ｄ）を使用する利点が以下に議論される。フォトカソード10は図２及び以下に説明されるようにひとつの活性放出領域26を有する。変形的に，フォトカソード10は２つ以上の活性放出領域26を有することもできる。
フォトカソード10の活性放出領域26は２つの方法で画成される。最初のアプローチにおいて，活性放出領域は光線22によって画成され，それは光線22の直接の結果である。典型的に，活性領域26の寸法ｄは光線の断面口径にほぼ等しい。電子放出の活性領域26は，フォトカソード10内の電子の横方向への広がりのために光線22より幾分大きい。このアプローチにおいて，光線22の移動により活性領域26はフォトカソード10に対して移動する。
第２のアプローチにおいて，活性放出領域26はフォトカソード10の表面修正によって予め画成される。例えば，フォトカソード10は，活性領域26を画成する少なくとも一つの開口

を有するアルミニウムのような薄い遮断層で被覆されている。変形的なアプローチにおいて，フォトカソード10は活性領域26を除く表面領域にわたってイオンインプランテーションにさらされる。該イオンインプランテーションは，電子エミッタとしての効果を減少させる欠陥をフォトカソード材料内に生成する。活性領域26がフォトカソードの表面修正によって画成されるとき，電子放出は光線22によって生成される。しかし，活性領域26はフォトカソード10に関する位置に固定されている。さらに，活性領域26の寸法は表面修正によって画成されるため，光線22は活性領域26と同じだけ小さい必要はない。

フォトカソード10は負電子親和力フォトカソードである。負電子親和力電子放出の基本原理が図３に示される。フォトカソードは，フェルミレベルに関して伝導帯を上げるための，亜鉛，マグネシウム，または炭素のような材料を大量にｐ型ドープ($1\sim5\times10^{19}$)されたガリウムヒ素などのIII-Ｖ族化合物半導体から成る。洗浄された半導体表面は，２～３層の単分子層厚の活性化層を形成するべく，セシウム及び酸素にさらされる。該活性化層は，バルク内の伝導帯が真空レベル以上（すなわち，負電子親和力状態）であるように，仕事関数を低下させる。表面の拡散長（典型的に，２～３ミクロン）以内の電子が，価電子帯から伝導帯へ励起されると，その多くは表面へ拡散され，高い確率で表面から真空へ逃げてしまう。

概して，フォトカソードは上記した負電子親和力状態に合致するあらゆる材料であり得る。典型的に，フォトカソードは半導体材料である。典型的に，ガリウム，アルミニウム及びインジウムのようなIII族原子と，リン，ヒ素及び窒素のようなＶ族原子の化合物が使用される。他の適当なNEA材料として，ダイヤモンド，炭化ケイ素，窒化アルミニウム，及び窒化ガリウムが含まれる。いくつかのNEA材料は活性化層を必要としない。変形的に，活性化層はセシウムのみまたはセシウム及び三フッ化窒素にさらされることで形成され，さらに潜在的に仕事関数の低い他の材料も使用され得る。好適にはフォトカソード10は，活性領域26の寸法を増加させる該フォトカソード内の電子の横方向への広がりを制限するべく非常に薄い。好適なカソード10の厚さは約10ミクロン以下である。

付加的にフォトカソード10は，フォトカソードの厚さを通じて電場を生成するバンドギャップ傾斜を含む。バンドギャップ傾斜については，1971年12月28日に発行されたAntypasらの米国特許第3,631,303号に説明されている。該バンドギャップ傾斜はフォトカソード材料の成分における密度勾配によって生成される。例えば，アルミニウム・ガリウム・ヒ素フォトカソードは，その厚さを通じてアルミニウムの密度変化を有する。フォトカソード材料内の電場の目的は，フォトカソード表面に向かう電子を真空へ導きかつフォトカソード材料内の電子の横方向移動を制限することである。指摘したように，電子の横方向移動はフォトカソード10の活性放出領域の横方向寸法を増加させる傾向がある。

適当なフォトカソード10の例が図２を参照して説明される。反射防止被膜40は光透過性基板12の表面に付着される。実質的に基板12は光線22の波長の光を透過させなければならない。好適な基板はガラスである。該反射防止被膜は，基板ガラスとカソード組立体の間のインターフェイスにおける放射光の反射を最小化するよう選択された厚さ及び屈折率を有する材料の多層から成る。適当な反射防止被膜として，励起波長の４分の１の厚さを有する窒化シリコン及び酸化シリコンが含まれる。フォトカソード10は，反射防止被膜40と，表面活性化層46を有する活性層44の間の拡散遮断層42を含む。好適実施例において，拡散遮断層42は，再結合を促進することなく活性層の伝導帯内の電子の拡散に対するエネルギー障壁を形成しながら放射波長での吸収を最小化する，典型的に400オングストロームから２～３ミクロンの厚さを有するAlGaAsまたはAlGaAsP層から成る。活性層は，１ミクロン以下の厚さを有するGaAs，GaAsP，AlGaAs,またはInGaAsPから成り，活性化層46は２～３個の原子厚のCs_xO_yから成る。

フォトカソードは，活性化層が汚染されずかつ妥当な時間間隔内でその保全性を維持するように，超真空に維持される。活性化層の汚染は，カソードの仕事関数を減少させるという効果を減少させ，負電子親和力状態を低減しまたは消滅させる。負電子親和力フォトカソードとの関連で議論される真空レベルはカソード表面のすぐ上の電子の最小エネルギーであり，この値以下のエネルギーを有するフォトカソード内部の電子は逃げることができ

ず表面で捕捉され，それによって表面捕捉電子密度が増す。
光線ジェネレータ20は所望の波長及び密度の光を生成するための光源50，及びフォトカソード10の表面において光を小さい直径のビームに集束するための光学素子52を含む。光源50はレーザーまたは広帯域光源から成る。該広帯域光源は所望の波長または波長範囲の光を生成するために適当な光学フィルターを含む。
III-V族材料から組み立てられたフォトカソードに関して，典型的に波長は300～800ナノメートルの範囲である。選択された波長は，電子を伝導帯へ励起するためのフォトカソード材料の吸収帯域及びフォトカソードの厚さに依存する。光源50のパワーレベルは比較的低い。典型的に，10ミリワット以下のパワーレベルがフォトカソード10の励起に要求される。光学素子52は，ソース50により生成された光をフォトカソード10において所望の非常に小さい断面寸法を有する光線22へ変換する。上記したように，光線22の断面寸法は好適には約20ミクロン以下である。この寸法は，フォトカソード10の活性領域26上の回折制限された(diffraction-limited)最小のスポットサイズのために，高い開口数を用いて，フォトカソード上にアパーチャのイメージを集束する２つ以上のレンズを使って達成される。光学素子52は真空窓16及び基板12の球面収差の補正を伴う。完全に球面及び他の収差の補正された光学装置に対する回折制限スポットサイズの公称値は，直径=波長／（２×NA）であり，ここでNAは開口数であり，それはビームの集束半角の正弦と集束が生じている媒体の屈折率の積である。好適な開口数は少なくとも0.5である。
光線22が基板12を通じてフォトカソード10の一方へ透過し，電子ビーム30がフォトカソード10の他方から放出されるところの図１の透過構成は，非常に小さい活性領域26を達成する際に有利である。特に，透過構成により，光学素子の最終レンズはフォトカソード10に近接配置されかつ大きな開口数を有し，したがって光線22は非常に小さい直径を有することができる。
真空エンクロージャ14は，該真空エンクロージャ14内部を典型的に10^{-9}トル以下の超高真空に維持するために，適当なコンジットを通じて真空ポンプ56または真空ポンプの組み合わせへ結合される。典型的に，必要な真空レベルは10^{-10}～10^{-11}トルの範囲である。好適には，光線22が通過するところの真空窓16は非常に低い光学収差を有する。真空窓16は平坦であるか，または光学素子52からの光線22をさらに集束させるためのレンズ形状であってもよい。実質的に真空窓16は光線22の波長に対して透過性でなければならない。真空エンクロージャ14はメイン電子ビームカラムから電子ソース領域への汚染物質の移動速度を制限するための回折制限アパーチャ58を含む。電子光学素子32は，電極54a，54b，54cのような一つ以上の電極を含み，それらは電子ビーム30を形成するべく電極を適宜付勢する電源55へ接続されている。電子ビーム30はアパーチャ58を通ってメイン電子ビームカラム60へ達する。電子ビームカラムは真空エンクロージャ62，半導体ウエハのような被処理体64，及び電子光学素子66を含む。概して，電子ビームカラムは，応用のための真空を作成するのに必要な器具，被処理体64を横切ってビームを走査するための器具，被処理体からばらまかれた電子または他の粒子を集めるための器具，被処理体を移動するための器具及び応用に必要な他の機能を組み込む。電子ビームカラムの設計及び組立に関する技術は当業者に周知である。電子ソースは，基板12上のフォトカソード10，光線ジェネレータ20，真空エンクロージャ14及び電子光学素子32から成る。電子ソースはフォトカソードの交換用のロードロック（図示せず）及びフォトカソードの熱クリーニング及び活性化用の活性化領域（図示せず）などの付加的な特徴を含みこともできる。
上記したように，電子放出のためのフォトカソード10の活性領域26は光線22自身によって，または一つ以上の予め画成された活性領域を確立するためのフォトカソード10の表面の修正によって確立される。活性電子放出領域を制限するべく表面修正を使用する基本概念は，電子が予め画成された領域からのみ放出されるようにフォトカソードの表面または表面付近構造を変更することである。高分解能リソグラフィー技術を使えば，活性領域は光線によって画成される活性領域よりも非常に小さい構造を有することができる。例えば，0.1ミクロン以下の電子放出用の活性領域が形成される。付加的に，もし非放出表面上の材料が表面捕捉電荷を集め除去する際に有効であれば，それによって表面捕捉電荷による

カットオフの可能性が減少する点で有利である。
ひとつのアプローチは，フォトカソード10の表面上に蒸着されるか，または該表面付近の構造物若しくは該表面上に成長した金属層70（図２の点線で示される）を使用することである。アルミニウムである金属層70は活性放出領域26の所望の寸法ｄに対応する寸法の開口を備える。該金属層は覆われた領域からの放出を遮断しかつただの半導体材料よりも効果的に捕捉電荷を伝導する。他の半導体または半金属のような他の材料が，表面上に蒸着されてもよく，または制限活性領域以外からの電子の放出を遮断するための構造物内へ成長してもよい。オーミック接触が活性放出領域を画成するために使用される。
電子を放出しないフォトカソード10の領域はイオンイオンプランテーションなどの他の方法で処置され，これらの領域から電子が放出されないように材料の性質を変更する。イオンインプランテーションは非放出領域内に高密度の欠陥を生成し，それが電子放出を防止しかつ該処置領域内に進入した表面捕捉電子の再結合を加速させる。
約２ミクロン以下の極端に小さい活性放出領域を有するNEAフォトカソードの使用は，現在使用している電場放出電子ソースを含む高性能，高解像度電子ビーム装置においてこの構成を使用できる可能性を生む多くの利点をもたらす。これらの利点の最も重要な点は，電流密度を制限する表面捕捉電子が高速で活性放出領域から移動するにしたがって，より小さい放出領域からより高輝度が得られるということである。図３に示されるように，半導体が負電子親和力状態であるとき，伝導帯内の電子のエネルギーは固体のすぐ外側の電子のエネルギーよりも高い。典型的に，これは，NEA状態が達成されるまでの大量のｐドーピング及び仕事関数を低下させる活性化層の適用によって達成される。伝導帯に励起された電子は熱くなり表面に拡散し，そこで放出されるかまたは表面領域内で捕捉される。捕捉電子は表面の空乏領域の電場を消去する双極子を形成し，それは放出が遮断されるまでバルク伝導帯最小値に関して真空エネルギーレベルを上昇させる。A.Herrera-Gomez及びW.E. SpicerによるSPIE Vol.202 2, Photodetectors and Power Meters(1993),p.51に記載されているように，NEAフォトカソードからの大きな放出領域上でこのような効果の明白な証拠が発見され，捕捉電子がホールトンネル効果または空乏領域を越えた熱電子放出によって消去されることが発見された。カソードを誘発する光の量の増加はあるレベル以上に放出を増加させることはないので，これらのホールの到達速度はカソードから放出される電流密度を制限する。
非常に小さい活性放出領域に対して，捕捉電子は代替経路を有する。捕捉電子密度及び表面電圧の高い横方向勾配により，捕捉電子は放出領域外へ横に拡散及びドリフトしやすくなり，双極子を減少させる。図４A及び図４Bに示されるように，この効果は小さい直径の活性放出領域に対して顕著である。図４Aの曲線72は比較的広い活性放出領域に対する捕捉電子密度勾配を示し，図４Bの曲線74は非常に小さい直径の活性放出領域内で生じるより高い捕捉電子密度勾配を示す。より高い勾配は，活性領域からの捕捉電子のより速い拡散及びドリフトを生成する。
1.74ミクロンの直径の放出領域を使った実験により，ＤＣ電流密度は，NEAカソードを使って報告されたものより１００倍以上の値を示した。フォトカソード活性領域はほぼ1.5ミクロン厚であったため，光線の直径はおそらくそれより非常に小さかった。最小の横方向拡散で電子を押し出すためのバンドギャップ傾斜を有するより薄いカソードは，回折制限スポットサイズまたは表面上の放出制御アパーチャのサイズによって最終的に制限されるより小さい活性放出領域を達成する。捕捉電子の横方向拡散及びドリフトの速度はおおよそ１／d^2に比例し，ここで，ｄは活性放出領域の直径である。したがって，５ミクロンの活性領域から0.5ミクロンの活性領域に変化すると，100倍以上の捕捉電子の移動をもたらし，その結果ほぼ100倍以上の放出電流密度の増加につながる。したがって，最小の可能活性放出領域は輝度に関して非常に重要であることがわかる。
小さい活性放出領域の第２の利点は，高分解能電子ビーム装置に必要な減少した反倍率(demagnification)である。実際の電子レンズにおける反倍率の量は（典型的に，25×またはそれ以下に）制限されているので，より小さい活性放出領域の使用は便利なサイズの電子ビーム装置の構造の鍵である。そのような装置のほとんどは現に10ナノメートル以下の

有効ソースサイズを有する電場放出ソースを採用しているので，NEAソースは同じプローブサイズを達成するために付加的な反倍率を採用する。もしこの反倍率がひとつのレンズで達成されるべきであれば，ソースサイズは１ミクロンより非常に小さくできれば0.25ミクロンでなければならない。

より低い反倍率はカラムデザインの単純化に加え多くの利点を有する。もし多重ビームまたはパターンがカソード表面から被処理体へ投影されると，被処理体のより大きい領域がさらされる。カソードの制限領域のみからの放出は小さい収差で被処理体上に集束されるため，このことは重要である。したがって，より多くの放出ポイントが使用され，またはターゲットウエハ上の大きな領域が一回に書かれるので，より高いスループットが実現できる。以下に説明するように，活性放出領域は光学素子を使ってカソード表面を横切って走査され，それによって電子光学素子走査の必要性を除去する。この場合，より低い反倍率はより大きい走査場を意味する。

最後に，非常に小さい活性放出領域の使用は，（たとえ使用量が同じのままでも，反倍率が小さいために）放出電流の総量を減少させる。多重ビーム及びカソード投影装置において，その装置の大きな問題であるビームとビームの相互作用が減少する。固定電流密度に対して，より小さい放出領域はエネルギーの広がりによって誘導されるより少ない空間電荷を与えることが知られている。小さいエネルギーの広がりがNEAカソードの魅力的な特徴であるため，これは重要な考察である。カソード寿命を非常に縮める毒性ガスの電子誘発脱着(electron-simulated desorption)及び残留ガスのイオン化が比例して減少するため，より少量の放出電流はカソード寿命を増加させる。

光線ジェネレータ20の異なる実施例が図５～８に示されている。上記したように，２つ以上の対応する光線をフォトカソードに導くことによって，２つ以上の電子ビームがフォトカソード10から放出される。各電子ビームは２ミクロン以下の寸法を有するフォトカソードの超小活性領域から放出される。各電子ビームは光線によって誘発される。適当な光線ジェネレータが図５及び図６に略示される。

図５において，光源80はビームスプリッター82へ光線を導く。該ビームスプリッター82は入射ビームを２つ以上の光線に分割し，それらは集束光学素子84a，84b，84c，及び84dを通じて導かれ，光線86a，86b，86c，及び86dがそれぞれ生成される。好適には，各光線はフォトカソード10の表面において２ミクロン以下の断面直径を有し，フォトカソード10の対応する活性領域からの電子の放出を誘発する。図５の光線ジェネレータは異なる数の光線を生成するように設計され得ることがわかる。

図６には，２つ以上の光線を生成するための他の光線ジェネレータが示されている。別々の光源90a，90b，90c，及び90dは光を集束光学素子92a，92b，92c，及び92dに導き，光線94a，94b，94c，及び94dをそれぞれ生成する。光線はフォトカソード10に導かれ，対応する電子ビームを生成する。図６の実施例の利点は，光源90a，90b，90c，及び90dが変調，パワーレベルなどに関して独立に制御される点である。

光線ジェネレータ20の他の実施例において，２以上の光源から出力された光を集束するために，単一の集束光学素子が使用される。この実施例において，光源は互いに近接していなければならない。半導体レーザーまたは発光ダイオードのモノリシックアレイが使用される。この場合，多くの独立にアドレス可能で，近接配置された（ほぼ，100ミクロン以下）光源が，小さい収差（光軸から離れると増加する）を有する単一レンズによってイメージされる。

変調性能を有する光線ジェネレータ20の実施例が図７に示されている。光源100は光を光モジュレータ102を通じて集束光学素子104へ導く。集束光学素子104は光線106をもたらし，それはフォトカソード10の活性放出領域に導かれる。光モジュレータ102は例えば，正弦波またはパルスなどの所望の波形を有する入力変調信号にしたがって光線106を変調する。光線106はギガヘルツ帯域までの周波数で変調される。変形的に，光源100は変調信号によって制御されることもできる。例えば，変調信号はレーザーダイオードに印加される。

光線走査を利用する光線ジェネレータ20の実施例が図８に示されている。光源110は光を

集束光学素子112を通じて光線スキャナー114へ導く。該スキャナー114は，スキャナー114に印加される走査信号により所定の範囲にわたって走査される光線116を与える。光線116はフォトカソード10の所定の領域にわたって走査され，該光線116の走査にしたがってフォトカソード10を横切って移動する電子ビームが生成される。

図１及び図５～８に示される光線ジェネレータのさまざまな組み合わせが本発明の態様内で利用されることがわかる。例えば，図５及び６に示される多重光線が図７に示されるように変調され，及び／または図８に示されるように走査される。さまざまな光線ジェネレータが，フォトカソードの活性放出領域が入射光線によって画成されるところのモードで，または活性放出領域がフォトカソード10の表面修正により予め画成されるところのモードで利用され得る。光線の走査が表面修正によって予め画成される１つ以上の活性放出領域を有するフォトカソードに関連して使用されるとき，電子ビームは光線がフォトカソードの予め画成された活性放出領域にわたって走査されるときのみ生成される。

本発明を実証するための実験が図９～１１に関連して説明される。フォトカソード上の非常に小さい活性放出領域を達成するべく設定された実験装置が図９に示されている。５ミリワットのヘリウム-ネオンレーザー120からの光はレンズ122により集束され，鏡124及び126によってマイクロスコープ対物レンズ128内に導かれる。該マイクロスコープ対物レンズ128は，３ミクロンの寸法のピンホールを有するアパーチャプレート130を通じて光を集束させる。マイクロスコープ対物レンズ132はピンホールからの光を集めかつそれを中間イメージに集束させるのに使用される。該中間イメージはレンズ134及び136の２つのレンズによって，フォトカソード活性放出領域上に集束される。レンズ装置は，フォトカソードが載置されているところの真空容器の球面収差を補償するよう，Super0SL0ソフトによって設計されている。ピンホールからの光を集める6.3×の対物レンズ132に関して，最終イメージは３×だけピンホールから反倍率される。レンズ装置はフォトカソード表面上に最上のイメージングを達成するべくわずかに移動される。フォトカソード137が入射光の強度を感知する。フォトカソード138は超高真空チューブ140内に載置される。真空チューブ140は，磁場からチューブをシールドするべく光線用の開口を有する磁気シールド142によって包囲されている。フォトカソード138は上記図２との関連で与えられた例で特定された構造を有する。フォトカソードの活性層は洗浄され，エッチングされ，また超高真空装置内に送られて，そこで当該活性層の表面は負電子親和力となるようセシウム及び酸素にさらされる。フォトカソード構造物は真空チューブ140の入口端上でシールされている。該チューブは環状アルミナスペーサのスタック及びシリンダ内に鑞付けされたコバー(kovar)電極から成り，該シリンダの一端は光ファイバー出力上に被覆されたアルミ化蛍光体144から成る出力によって終端され，該光ファイバー出力は蛍光体上のイメージを簡単に結像する表面へ運ぶ。電極は２つの基本的タイプのもの，すなわちチューブの内部空間に伸張しない単純な環状電極であって外部電場を除外しチューブに関して均一電場を画成する電極と，電子光学素子としてのアパーチャを有するチューブ内に伸張する特殊電極である。フォトカソード及び蛍光体と同様に特殊電極は，ＤＣ電源によって直接付勢される。環状電極は，できるだけ均一電場に近似する電場を確立するべく，電極間距離に比例するレジスタ値を有するレジスタ連鎖によって付勢される。電極150及び152は図１０に示されるような２つの電極レンズを実行するのに使用される。該レンズは，フォトカソードから真空チューブ140の対端の蛍光体144上へ放出される電子を集束するために使用される。特殊電極は５ミルコバーから成り，該チューブが鑞付けされた後に炭素で蒸着された。したがって，カソード及びチューブの蛍光体端部に露出したすべての領域が被覆されている。図１０は，フォトカソード138の表面の蛍光体144上への倍率5.4×イメージングをシミュレーションしたものである。放出された電子は加速され，かつ14.8ミリメートル先の蛍光体144上に集束される。

フォトカソード，蛍光体，及び特殊電極（レンズエレメント）に印加された電圧が図１０に示されている。蛍光体上に結像した電子によってたたかれた後，蛍光体によって放出された光は，フォトカソードの放出領域の拡大されたイメージに対応する。このようにして，放出領域はほぼ1.74ミクロンの直径であると計測され，それは過去に報告されたものよ

り非常に小さい。
このサイズの放出領域から達成可能な電流密度が調査された。光光学素子は固定したままで，電子光学素子がカソード表面において高い電場(3,000V/mm)を与えるべく交換される。フォトカソード138は-20ボルトであった。第１電極150は1,000ボルト，第２電極152は-10ボルト，及びコレクタは放出電子を集めるために０ボルトに設定された。この構成は，フォトカソード上の大きな電場を維持しながら電子誘発脱着を最小化するものである。光線からフィルターを除去することによって，光レベルは増加し，放出された電子電流が計測された。その結果が図１１に示されている。活性放出領域の直径は電流が増加しても一定のままであると仮定すると，電流密度はスポットの直径（1.74ミクロン）にわたる均一放出を仮定することによって近似可能である。この技術によれば，最高電流レベルで１平方センチ当たり841アンペアが得られた。スポットサイズの不確定は電流密度のほぼ±50％の不確定に変換されるが，この測定によって示された電流密度は，実質的に負電子親和力フォトカソードの過去の報告よりも高い。
本発明の好適実施例が示されかつ説明されたが，請求の範囲に記載された発明の態様から離れることなくさまざまな変更及び修正が可能であることは当業者の知るところである。

【図１】

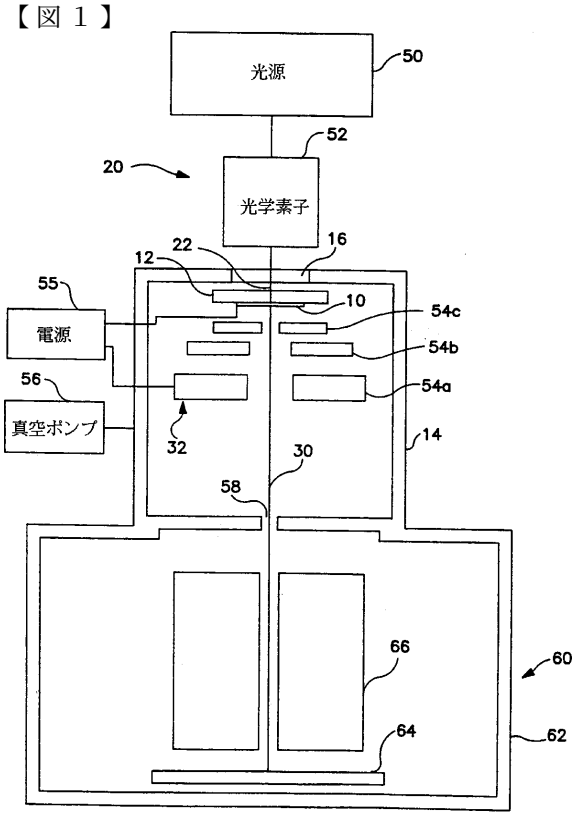

FIG. 1

【図２】

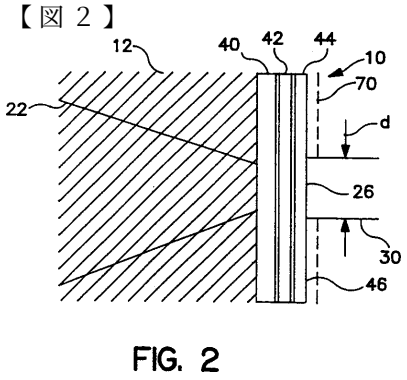

FIG. 2

【図３】

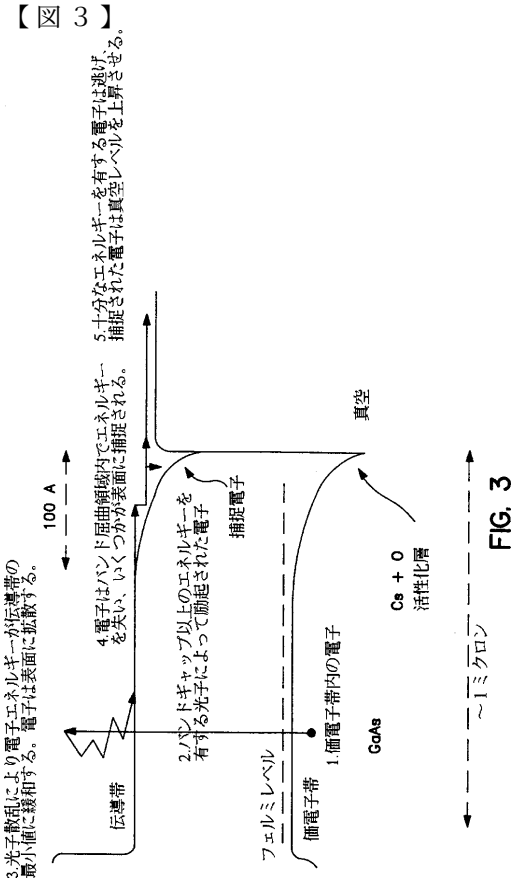

FIG. 3

【図４Ａ】

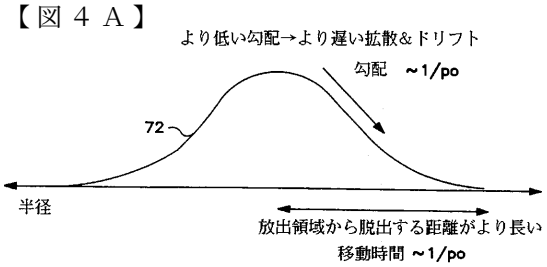

FIG. 4A

【図４Ｂ】

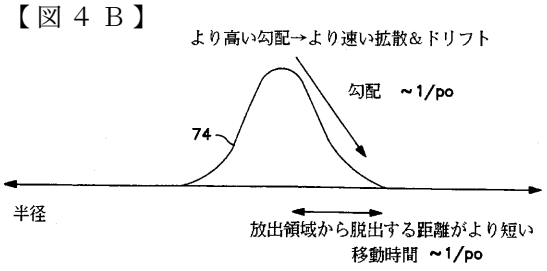

FIG. 4B

【図５】

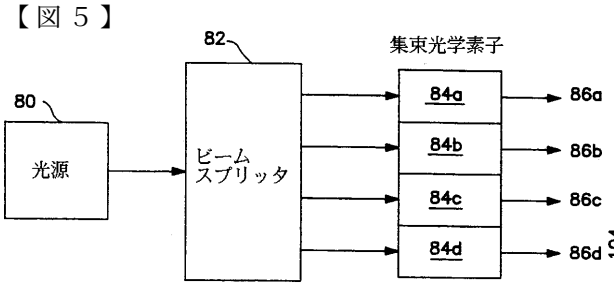

FIG. 5

【図６】

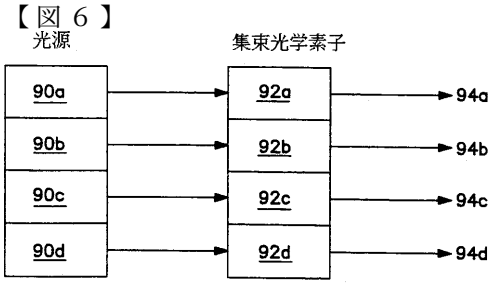

FIG. 6

【図７】

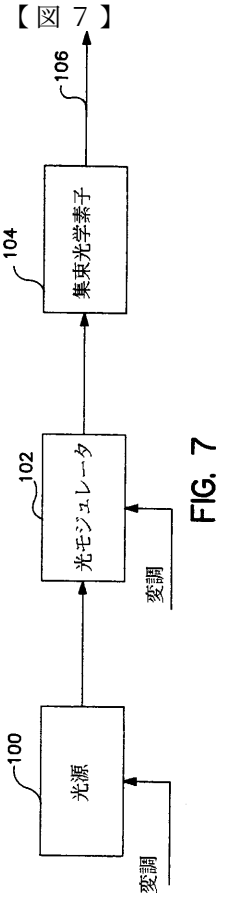

FIG. 7

【図８】

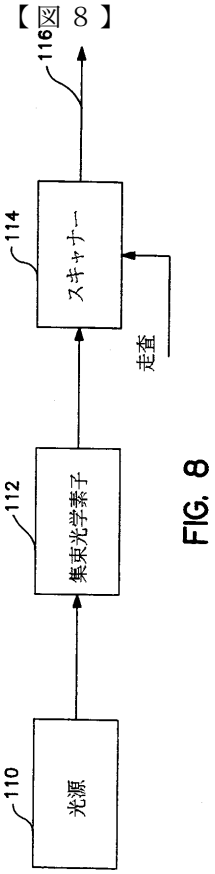

FIG. 8

【図９】

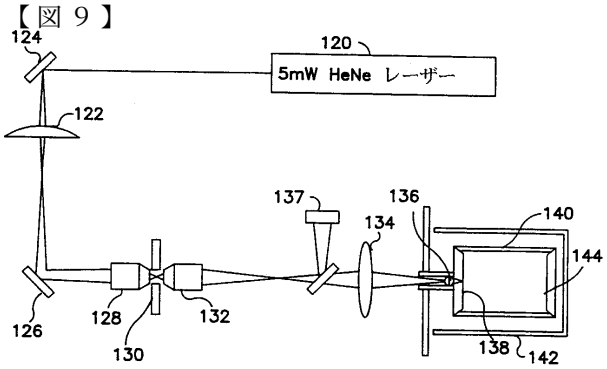

FIG. 9

【図１０】

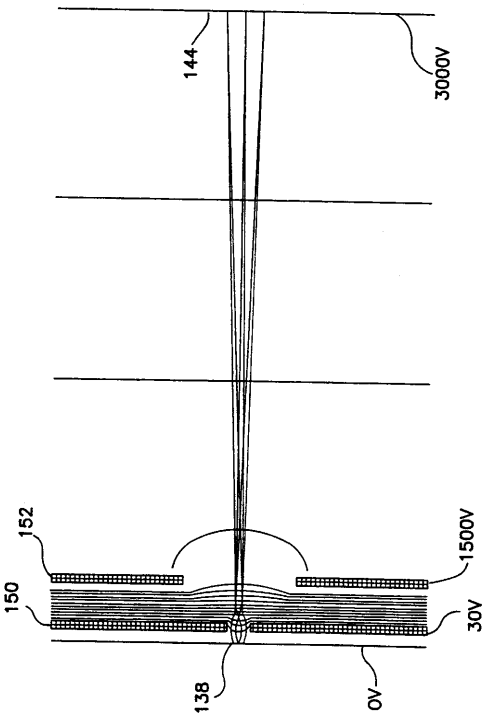

FIG. 10

【図１１】

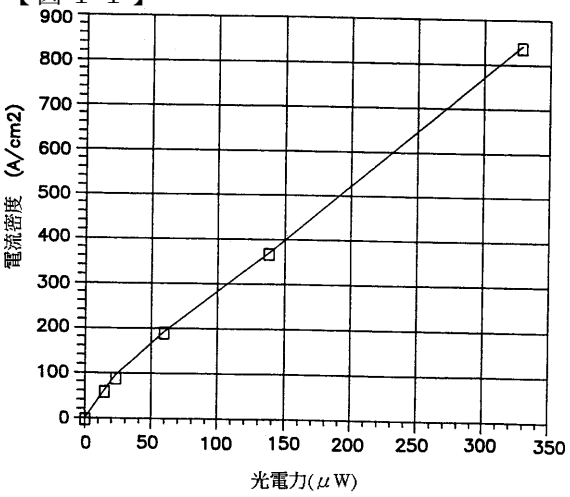

FIG. 11

フロントページの続き

(72)発明者　バウム，アーロン，ダブリュー
アメリカ合衆国カリフォルニア州９４１１０，サンフランシスコ，ナインティーンス・ストリート３５４３
(72)発明者　コステロ，ケネス，エー
アメリカ合衆国カリフォルニア州９４５８７，ユニオンシティ，アナハイム・ループ５００３
(72)発明者　ピース，アール，ファビアン
アメリカ合衆国カリフォルニア州９４０２５－５１２７，メン　ロパーク，フレモント・ストリート５７０

審査官　堀部　修平

(56)参考文献　特開平０５－０４７３２６（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－００８４３６（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１７６９５３（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２６６８５７（ＪＰ，Ａ）
特表平０５－５０４６５２（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－０９８０２８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01J 37/06 - 37/077
H01J 1/34