

(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
2001年9月27日 (27.09.2001)

PCT

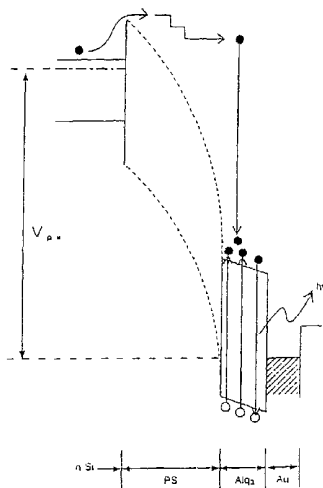
(10) 国際公開番号
WO 01/71759 A1

- (51) 国際特許分類: H01J 1/312, 9/02, 1/62, H01L 29/66
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP01/02415
 - (22) 国際出願日: 2001年3月26日 (26.03.2001)
 - (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2000-85417 2000年3月24日 (24.03.2000) JP
 - (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 科学技術振興事業団 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県川口市本町4丁目1番8号 Saitama (JP).
 - (72) 発明者; および
 - (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 越田信義 (KOSHIDA, Nobuyoshi) [JP/JP]; 〒184-0003 東京都小金井市緑町3丁目12番8号203 Tokyo (JP).
 - (74) 代理人: 弁理士 西澤利夫 (NISHIZAWA, Toshio); 〒150-0042 東京都渋谷区宇田川町37-10 麻仁ビル6F Tokyo (JP).
 - (81) 指定国 (国内): CA, CN, JP, KR, RU, SG, US.
 - (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF GENERATING BALLISTIC ELECTRONS AND BALLISTIC ELECTRON SOLID SEMICONDUCTOR ELEMENT AND LIGHT EMITTING ELEMENT AND DISPLAY DEVICE

(54) 発明の名称: 弾道電子発生方法と弾道電子固体半導体素子並びに発光素子とディスプレイ装置



(57) Abstract: A method of generating ballistic electrons with a high controllability by applying an electric field to the nano-structure micro-crystal layer or a semi-insulating layer of a semiconductor to generate ballistic electrons or forward ballistic electrons by a multiple-tunnel effect; and a semiconductor element used in this method and provided with a practical material constitution.

(57) 要約:

半導体のナノ構造微結晶層または半絶縁層に電界を印加し、多重トンネル効果により弾道電子もしくは順弾道電子を発生させることによって、弾道電子を高い制御性を持って生成する方法と、実用的な材料構成を備えるこの方法のための半導体素子を提供する。

WO 01/71759 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

弾道電子発生方法と
弾道電子固体半導体素子並びに発光素子と
ディスプレイ装置

技術分野

この出願の発明は、弾道電子固体半導体素子に関するものである。さらに詳しくは、この発明は、高電界下で半導体のドリフト長が著しく大きくなる弾道伝導を実現し、発生した弾道電子を励起源として利用する弾道電子固体半導体素子に関するものである。

背景技術

半導体のサイズを、半導体中の電子の平均自由行程より小さい寸法領域まで縮小すると、電子は散乱を受けずに走行し、真空中の電子のように振舞うことが知られている。この伝導電子は弾道電子と呼ばれ、ドリフトまたは拡散を基本とする通常の伝導電子とは異なり、固体中においても無散乱、無損失での走行が可能である。

この弾道電子を高い制御性を持って得ることが可能となれば半導体素子技術が大きく革新されるものと、これまでも種々の半導体ナノ構造における弾道電子の特性に関する研究がなされてきた。しかしながら、それらの多くが特定の単一構造または極低温といった、極めて限定された条件下での物理的観測にとどまるものであり、工業的な素子の開発に結びつくことはなかった。弾道電子を実用的に発生させるには、材料構成および材料プロ

セス技術の両面に関する検討が不可欠であるが、このような観点から成果を上げている研究開発はほとんど皆無であるというのが現状である。

一方、広く実用に供されている自発光ディスプレイ装置としてはC R T (Cathode Ray Tube)と蛍光表示管が挙げられる。これらの装置は、真空中に放出した電子を電界により加速し、対向するスクリーン上に塗布された蛍光対を励起発光することを動作原理とすることから、ある容積以上の真空管を組み込むことが構成上不可欠であり、装置の薄型化または大型化に対する大きな障害となってきた。

また、他の自発光ディスプレイ装置としては、無機／有機材料によるE L素子を用いたものやプラズマディスプレイなどが挙げられる。

E L素子によるディスプレイ装置は、キャリアを固体中で加速し、発光中心を衝突励起することを動作原理としていることから、固体内部におけるキャリアの光子転化においてエネルギー損失に伴う発光量子効率に制約があり、素子内部での熱発生が不可避である。このため、ディスプレイ装置の大型化のためには、温度上昇による素子特性の劣化への対処や放熱処理といった技術的な課題が残されている。

プラズマディスプレイに関しても、動作時におけるエネルギー損失による発光の制約は問題となっており、また、放電を利用しているため低電力駆動を実現することが困難であることが克服すべき課題として残されている。

このように自然光ディスプレイ装置には種類によって

一長一短があり、大型化、薄型平面化、低電力化などの技術的課題が少なくないが、前記の弾道電子を高い制御性を持って得ることが可能となれば、これらの技術的課題を解決する道が開かれることが期待されている。

この出願の発明は、以上の通りの事情に鑑みてなされたものであり、弾道電子を高い制御性を持って発生させることのできる方法と、この方法のための実用的な材料構成を備える半導体素子、並びにこれを用いたディスプレイ手段を提供することを課題としている。

発明の開示

この出願の発明は、上記の課題を解決するものとして、第1には、半導体のナノ構造微結晶層または半絶縁層に電界を印加し、多重トンネル効果を生じさせて弾道電子もしくは順弾道電子を発生させることを特徴とする弾道電子発生方法を提供する。

また、第2には、半導体のナノ構造微結晶層または半絶縁層は、その内部に界面酸化膜を有している前記の弾道電子発生方法を提供し、第3には、半導体のナノ構造微結晶層または半絶縁層は、多孔質層である弾道電子発生方法を提供する。そして、この出願の発明は、第4には、半導体基板の表面に、電界の印加により多重トンネル効果を生じさせて弾道電子もしくは準弾道電子を発生させるナノ構造の微結晶半導体層または半絶縁層を具有することを特徴とする弾道電子固体半導体素子を提供し、第5には、ナノ構造の微結晶半導体層または半絶縁層は、その内部に界面酸化膜を有している弾道電子固体半導体素子を、第6には、ナノ構造の微結晶半導体層ま

たは半絶縁層は、多孔質層である弾道電子固体半導体素子を、第7には、陽極酸化処理により形成された多孔質である弾道電子固体半導体素子を、第8には、ナノ構造の微結晶半導体層または半絶縁層の上には金属薄膜電極が配設され、半導体基板の裏面にはオーミック電極が配設されている弾道電子固体半導体素子を提供する。

さらに、この出願の発明は、第9には、前記の弾道電子固体半導体素子において微結晶半導体層もしくは半絶縁層と金属薄膜電極との間、または、金属薄膜電極の上に、蛍光体層を堆積した構造を備える半導体素子であって、電極に電圧を印加することで微結晶半導体層もしくは半絶縁層より発生する弾道電子を蛍光体層に直接衝突させることで蛍光体を励起し、蛍光体の種類に応じた任意の波長の可視光を発光させることを特徴とする弾道電子励起固体発光素子を提供する。

この出願の発明は、第10には、オーミック電極と金属薄膜電極がセグメント状またはドット状に配置された弾道電子励起固体発光素子を情報表示要素とする発光ディスプレイ素子を提供し、第11には、この発光ディスプレイ素子を多数配列し、単純マトリックス駆動方式で動作させる薄型発光ディスプレイ装置を、第12には、アクティブ素子アレイを形成した半導体基板上に発光ディスプレイ素子を多数配列し、これらをアクティブマトリックス駆動方式で動作させる薄型発光ディスプレイ装置を提供する。

また、この出願の発明では、第13には、蛍光体が赤色発光、緑色発光、青色発光の1種以上である薄型発光ディスプレイ装置を提供し、第14には、発光ディスプ

レイ素子が発光色毎に周期的に多数配列され、電気的な制御により任意色の映像情報を出力する薄型平面ディスプレイ装置も提供する。

さらに前記弾道電子固体半導体素子と超LSIとを機能集積化した映像情報の表示装置または演算処理装置をも提供する。

図面の簡単な説明

図1は、この出願の発明の実施例で作成された弾道電子励起固体発光素子の構成を示した概要図である。各符号は、オーミック電極(1)、n形シリコン基板(2)、PS層(3)、(4)Alq₃、Au薄膜(5)を表わす。

図2は、この出願の発明の実施例の陽極酸化処理によるPS層生成プロセスにおける電流の制御の時系列変化を示したグラフである。

図3は、この出願の発明の実施例で作成された弾道電子励起固体発光素子のPS層における弾道電子発生と蛍光体励起による発光に関するエネルギーバンドの変化を示した概略図である。

図4は、Alq₃薄膜のないダイオードを真空中で動作させたときにAu薄膜を通過して放出される電子のエネルギー分布の測定結果を示したグラフである。

図5は、この出願の発明の実施例1で作成された弾道電子励起固体発光素子の電流-電圧特性(黒丸)および発光強度-電圧特性(白丸)の実測結果を示したグラフである。

図6は、この出願の発明の実施例1で作成された弾道

電子励起固体発光素子の発光のスペクトルと紫外線励起によって測定された Alq_3 のフォトルミネセンスのスペクトルとを示したグラフである。

図 7 は、この出願の発明の実施例 2 で作成された弾道電子励起固体発光素子の電流 - 電圧特性（実線）および発光強度 - 電圧特性（点線）の実測結果を示したグラフである。

図 8 は、この出願の発明の実施例 3 で作成された弾道電子励起固体発光素子の電流 - 電圧特性（実線）および発光強度 - 電圧特性（点線）の実測結果を示したグラフである。

図 9 は、この出願の発明の実施例 4 で作成された弾道電子励起固体発光素子の電流 - 電圧特性（実線）および発光強度 - 電圧特性（点線）の実測結果を示したグラフである。

発明を実施するための最良の形態

この出願の発明は上記のとおりの特徴をもつものであるが、以下にその実施の形態について説明する。

この出願の発明では、半導体のナノ構造をもつ微結晶層または半絶縁層に電界を印加して、多重トンネル効果により無散乱の弾道電子 (Ballistic Electron) または散乱の極めて少ない準弾道電子 (Quasiballistic Electron) を固体中に発生させる。

この場合のナノ構造の微結晶半導体層または絶縁層は、湿式プロセスやドライプロセスを施すことにより形成されるナノ構造を持つ微結晶層や半絶縁層であって、その形態としては、前記のとおり、内部に界面酸化膜を有

しているもの、多孔質であるもの等が代表例として考慮される。より具体的には半導体を陽極酸化して形成した構造として考慮される。

この出願の発明に係る弾道電子固体半導体素子は、電極を備えた半導体基板表面に湿式プロセスやドライプロセスを施すことにより微結晶半導体層を形成し、次いで金属薄膜電極を堆積することで製造される一種のMIS型ダイオードを基本構成とすることができる。

この出願の発明に係る弾道電子固体半導体素子は、通常のMISダイオードとは異なり、I層に相当する微結晶半導体層が単なるドリフト層以上の働きをする。すなわち、上記の通り微結晶半導体層では強電界の下では、微結晶半導体層内部の電子は弾道的に走行する。

例えば、シリコン基板表面に構造制御を伴う酸化処理を施すことでポーラスシリコン(PS)層は、連結したシリコン微結晶(5nm以下)からなる。これに電界を印加すると、電界の主要部分はシリコン微結晶ではなく界面の酸化シリコン被膜に生じる。この酸化シリコン被膜は極めて薄いため、強電界の下ではほとんど散乱することなく微結晶中を次々と通過し、準弾道電子(Quasiballistic Electron)が発生する。さらに、強い電界を印加することで、電子が無散乱で微結晶中を通過する多重トンネル過程が完成し、結果として電子のドリフト長がシリコン微結晶のサイズをはるかに超えた値となり、弾道電子(Ballistic Electron)が発生する。厚さが1 μ m程度のPS層であれば、強電界印加により弾道電子生成が実現する。

半導体基板表面に施される湿式プロセスとしては陽極

酸化処理、エッチング処理等が実施される。半導体基板表面にドライプロセス等としては酸熱化処理、スパッタ処理、熱処理等が実施される。

この出願の発明である弾道電子固体半導体素子は、半導体基板に対して金属薄膜電極側に正電圧を印加すると、シリコン基板側から微結晶半導体層に電子が注入される。例えば微結晶半導体層の電界強度を 105 V/cm 程度に設定すれば、ドリフト長が約 $1 \mu\text{m}$ で弾道化した電子の運動エネルギーは 10 eV に達する。この電子は固体中にありながら、真空中にあるときと同様の走行をすることから、「加速エネルギーの可変性」と「エネルギーの無損失性」という2つの特性を有する。これらの特性に着目することで実現される応用について、以下に示す。

(1) 電子加速エネルギーの可変性の利用

印加電圧によって電子を任意に加速し得るという特性より、上記の弾道電子固体半導体素子において微結晶半導体層と金属薄膜電極との間、または、金属薄膜電極の上に、蛍光体からなる蛍光体層を堆積した構造を備えることで、電極に電圧を印加により微結晶半導体層から放射される弾道電子を蛍光体に直接衝突させ蛍光体を励起し、可視光を発生させることが可能となる。すなわち、電圧印加により微結晶半導体中において弾道化された電子は高い運動エネルギーを取得しながらホットエレクトロンとして、微結晶半導体層と金属薄膜電極との間、または、金属薄膜電極の上の蛍光体に高速で衝突し、蛍光体が励起される。その結果、蛍光体の種類に応じた任意の波長の可視光線を発光することが可能となる。このと

き、印加電圧を制御することで発光量の制御が可能となり、真空を必要としない弾道電子励起固体発光素子が実現する。蛍光体には、低電圧用のカソードルミネセンス材料を用いることで、10 eV程度の運動エネルギーの弾道電子であっても、実用的な発光量を得ることが可能となる。

(2) エネルギー無損失の利用

弾道伝導モードにおいては、電子は固体中を散乱することなく走行する。すなわち、電子伝導に伴う熱が発生せず、固体でありながら素子の動作空間と放熱空間とが分離した真空管のような状況が実現可能となる。また、通常の半導体においては、電子の加速と光子散乱とのバランスで決定される飽和ドリフト速度に到達した後は、印加電界を大きくしても電子を飽和ドリフト速度以上に加速することが不可能であるため、半導体素子の動作周波数には限界がある。これに対して、弾道電子には飽和ドリフト速度の制約が無い。したがって、この出願の発明である弾道電子固体半導体素子を応用することで、超高速駆動かつ低損失の電子素子が固体系で実現される。

この出願の発明である弾道電子固体半導体素子において、半導体基板の材料としては、前記の湿式プロセス／ドライプロセスを適用することが可能な半導体であればどのようなものでもよく、例えば、単結晶シリコン、多結晶シリコン、化合物半導体などが利用される。具体的には、ゲルマニウム (Ge)、炭化シリコン (SiC)、ヒ化ガリウム (GaAs)、リン化インジウム (InP)、セレン化カドミウム (CdSe) など、IV族、III-

V 族、II-VI 族などの単体および化合物半導体の多くが該当する。また、シリコン酸化層など、強電界下での弾道伝導が成立しうる材料はすべて利用可能である。

蛍光体としては、有機、無機を問わずあらゆる蛍光体を利用することが可能である。具体的には低電圧カソードルミネセンス材料（ZnO：Zn など）が利用される。

この出願の発明においては、前述の通り弾道電子固体半導体素子において微結晶半導体層と金属薄膜電極との間、または、金属薄膜電極の上に、蛍光体からなる蛍光体層を堆積した構造を備えることで発光ディスプレイ素子としての機能を持たせることが可能となる。このとき、半導体基板に備えられたオーミック電極と金属薄膜電極は、セグメント状やドット状に形成されることが好ましい。

また、この発光ディスプレイ素子を多数配列し単純マトリックス駆動方式で動作させることや、アクティブ素子アレイを形成した半導体基板上に、この発光ディスプレイ素子を多数配列し、アクティブマトリックス駆動方式で動作させることで高性能な薄型発光ディスプレイ装置が実現する。

この薄型発光ディスプレイ装置の蛍光体として、赤色発光、緑色発光、または青色発光をする蛍光体を用いて、この3色を周期的に多数配列することで任意色の映像情報を出力する薄型平面ディスプレイ装置も実現する。

また、この出願の発明に係る弾道電子固体半導体素子と超LSIとを機能集積化することで、映像情報の表示装置または演算処理装置も実現する。

さらに、前述の電子弾道伝導現象は、基本的には n 形シリコン基板からの電子注入に基づくものであるが、p 形基板においても、電界効果や外部からの光照射などによってドリフト層に電子を発生することが可能であり、それらの電子も弾道電子として素子の動作に寄与させることも可能である。すなわち、この出願の発明の弾道電子固体半導体素子は、光検出素子としても利用可能であり、さらに外部光によって弾道電子生成が変調または起動できることから、新しい光電子動作モードの実現も可能となる。

この出願の発明は、以上の特徴を持つものであるが、以下に実施例を示し、さらに具体的に説明する。

実施例

[実施例 1]

この出願の発明の弾道電子励起固体発光素子を作成し、基本特性について検討した。

作成した弾道電子励起固体半導体素子は、図 1 に示すように、裏面にオーミック電極 (1) を設置した面方位 (111) の n 形シリコン基板 (2) (比抵抗 $0.018 \Omega \text{ cm}$) の表面に、50 wt % HF 水溶液とエタノールとの混合液 (混合比 1 : 1) 中で 500 W のタングステンランプを光源とした光照射のもとで陽極酸化処理を施し、PS 層 (3) を形成する。このとき、図 2 に示すように 158 秒間に陽極酸化電流を徐々に増加させ、その途中で 4 秒間ずつ陽極酸化電流を $2.5 \text{ mA} / \text{cm}^2$ まで低下させる操作を 2 回行なう。最終的には、陽極酸化電流は $100 \text{ mA} / \text{cm}^2$ となる。

P S 層 (3) の厚さは $10 \mu\text{m}$ 程度であり、P S 層 (3) 内部は低多孔度の緻密で約 8nm の厚さのシリコン層が周期的に並んだ構造となっている。この緻密な層は、等電位面を形成し層内部の電界分布を矯正する働きを持つと同時に、層内部で発生しうるジュール熱を散逸させるヒートシンクとして機能し、ダイオード電流の安定化の役割を果たす。

生成された P S 層 (3) の表面に有機蛍光体として Alq_3 (4) を真空蒸着する。さらに、その上に厚さ 12nm 、直径 6mm の円形の Au 薄膜 (5) を真空蒸着する。この Au 薄膜 (5) を表面側の電極とすることで、裏面のオーミック電極 (1) との間でダイオードが形成される。

このダイオードの Au 薄膜 (5) の電極側に正電圧 V_0 を印加し、n 形シリコン基板 (2) から P S 層 (3) に電子を注入する。注入された電子は、前述の多重トンネル効果により弾道電子へと変化し、図 3 に示すように衝突励起によって Alq_3 層に正孔を生成する。この結果、電子 - 正孔の再結合による発光が生じる。

ここで、 Alq_3 薄膜のないダイオードを真空中で動作させたとき、Au 薄膜を通過して放出される電子のエネルギー分布の測定結果を図 4 に示す。図 4 より、P S 層内部で電子が走行中に散乱による損失がほとんど発生しておらず、電子が弾道化されていることがわかる。

作成された弾道電子励起固体発光素子ので電流 - 電圧特性 (黒丸) および発光強度 - 電圧特性 (白丸) の実測結果を図 5 に示す。印加電圧が約 15V (ダイオード電流約 0.05A/cm^2) で一様な緑色発光が起こり、

電圧を大きくすることで発光強度が急激に増大することがわかる。

A1q₃から発光されていることを確認するために、発光のスペクトルを測定した結果を図6中に実線で示す。図6中に破線で示した紫外線励起によって別途に測定したA1q₃のフォトルミネセンスのスペクトルとほぼ一致する曲線が得られている。このことから、発光はA1q₃からのものであることが確認された。また、発光スペクトルは印加電圧および電流には依存せず、常にA1q₃固有の発光スペクトルが得られることがわかった。

さらに、PS層内部で弾道電子が発生しない構造のダイオードを用いた比較実験により、PS層内部で弾道電子が発生しない構造のダイオードにおいては、印加電圧をいくら大きくしても発光が現れないことから、製作した薄型発光ディスプレイ素子のPS層で生じた弾道電子が表面の蛍光体を励起し、その蛍光体の固有波長の光が放射されたものと考えられる。

[実施例2]

この出願の発明の別の弾道電子励起固体発光素子を作成し、基本特性について検討した。

本実施例2では、図1に示した構成におけるn形シリコン基板(2)をp形シリコン基板とした。具体的には、裏面にオーミック電極(1)を設置した面方位(100)のp形シリコン基板(比抵抗:約0.02Ωcm)の表面に、HF水溶液(55wt%):C₂H₅OH=1:1の混合液中で暗室状態にて陽極酸化処理を施し、且つ900℃、15分の急速熱酸化処理を施して、PS層(3)を形成す

る。陽極酸化処理では、陽極酸化電流 $5 \text{ mA} / \text{cm}^2$ 及び陽極酸化時間 6 秒と、陽極酸化電流 $100 \text{ mA} / \text{cm}^2$ 及び陽極酸化時間 15 秒とを交互に 3 サイクル行う。

作成された PS 層 (3) の表面に有機蛍光体としての Alq₃ (4) を真空蒸着し、さらに、その上に半透明電極としての Au 薄膜 (5) を真空蒸着する。PS 層 (3)、Alq₃ (4)、Au 薄膜 (5) の厚さはそれぞれ、約 $8 \mu\text{m}$ 、約 100 nm 、約 10 nm である。

図 7 は、作成された弾道電子励起固体発光素子の電流 - 電圧特性 (実線) および発光強度 - 電圧特性 (点線) の実測結果を示したものであり、実施例 1 と同様に均一な発光が観測された。

[実施例 3]

この出願の発明のさらに別の弾道電子励起固体発光素子を作成し、基本特性について検討した。

本実施例 3 では、図 1 に示した構成における PS 膜 (3) を、ナノ結晶化した多結晶シリコン膜とした。具体的には、まず裏面にオーミック電極 (1) を設置した面方位 (100) の n 形シリコン基板 (比抵抗: $0.005 \sim 0.0018 \Omega \text{ cm}$) の表面に、n⁺ 形多結晶シリコン膜 (厚さ $5 \mu\text{m}$) を形成する。その後、n⁺ 形多結晶シリコン膜の半分程度の深さまで、HF 水溶液 (55 wt %): C₂H₅OH = 1 : 1 の混合液中でタングステンランプ照射のもとで陽極酸化処理を施し、且つ 1 N H₂SO₄ 溶液中で暗室状態にて電気化学的酸化処理を施して、ポラス多結晶シリコン (PPS) 膜を形成する。陽極酸化処理では、陽極酸化電流 $5 \text{ mA} / \text{cm}^2$ 及び陽極酸化時間 6 秒と、陽極酸化電流 $100 \text{ mA} / \text{cm}^2$ 及び陽極酸化時間 15 秒とを

交互に3サイクル行う。電気化学的酸化処理では、酸化電流 $3 \text{ mA} / \text{cm}^2$ 及び酸化時間 200 秒とした。

作成された PPS 膜の表面に有機蛍光体としての Alq_3 (4) を真空蒸着し、さらに、その上に半透明電極としての Au 薄膜 (5) を真空蒸着する。PPS 膜、 Alq_3 (4)、Au 薄膜 (5) の厚さはそれぞれ、約 $2.5 \mu\text{m}$ 、約 120 nm 、約 10 nm である。

図 8 は、作成された弾道電子励起固体発光素子の電流－電圧特性 (実線) および発光強度－電圧特性 (点線) の実測結果を示したものであり、上記各実施例と同様に均一な発光が観測された。

[実施例 4]

この出願の発明のさらに別の弾道電子励起固体発光素子を作成し、基本特性について検討した。

本実施例 4 では、図 1 に示した構成における蛍光体としての Alq_3 (4) を $\text{ZnS} : \text{Mn}$ の無機材料薄膜とした。具体的には、実施例 1 と同様に、裏面にオーミック電極 (1) を設置した面方位 (100) の n 形シリコン基板 (比抵抗: $0.005 \sim 0.0018 \Omega \text{ cm}$) の表面に、HF 水溶液 (55 wt%) : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1 : 1$ の混合液中でタングステンランプ照射のもとで陽極酸化処理を施し、PS 層 (3) を形成する。このとき、図 2 に示すように、合計約 3 分間に陽極酸化電流を $0 \sim 100 \text{ mA} / \text{cm}^2$ へ徐々に増加させ、その途中で 2 回、4 秒間づつ陽極酸化電流を $2.5 \text{ mA} / \text{cm}^2$ まで低下させる。

作成された PS 層 (3) の表面に無機蛍光体としての $\text{ZnS} : \text{Mn}$ を真空蒸着し、さらに、その上に半透明電極としての Au 薄膜 (5) を真空蒸着する。PS 層 (3)、Zn

S : M n 薄膜、A u 薄膜 (5) の厚さはそれぞれ、約 1 0 μ m、約 1 4 0 n m、約 1 0 n m である。

図 9 は、作成された弾道電子励起固体発光素子の電流 - 電圧特性 (実線) および発光強度 - 電圧特性 (点線) の実測結果を示したものであり、上記各実施例と同様に均一な発光が観測された。

産業上の利用可能性

以上、詳しく説明した通り、この出願の発明により、弾道電子を高い制御性を持って生成する方法と、実用的な材料構成を備えるこの方法のための半導体素子が提供される。この出願の発明の弾道電子励起固体半導体素子は、複雑な製作行程が不要であり、発光素子として用いることでまったく新しい薄型平面ディスプレイの開発を可能とするものである。また、高機能光電子素子などの新しい半導体素子開発にも貢献するものと考えられ、この出願の発明の応用範囲は極めて広いことから、その実用化が期待される。

請求の範囲

1. 半導体のナノ構造微結晶層または半絶縁層に電界を印加し、多重トンネル効果を生じさせて弾道電子もしくは順弾道電子を発生させることを特徴とする弾道電子発生方法。
2. 半導体のナノ構造微結晶層または半絶縁層は、その内部に界面酸化膜を有している請求項1の弾道電子発生方法。
3. 半導体のナノ構造微結晶層または半絶縁層は、多孔質層である請求項1または2の弾道電子発生方法。
4. 半導体基板の表面に、電界の印加により多重トンネル効果を生じさせて弾道電子もしくは準弾道電子を発生させるナノ構造の微結晶半導体層または半絶縁層を具有することを特徴とする弾道電子固体半導体素子。
5. ナノ構造の微結晶半導体層または半絶縁層は、その内部に界面酸化膜を有している請求項4の弾道電子固体半導体素子。
6. ナノ構造の微結晶半導体層または半絶縁層は、多孔質層である請求項4または5の弾道電子固体半導体素子。
7. 陽極酸化処理により形成された多孔質である請求項6の弾道電子固体半導体素子。
8. ナノ構造の微結晶半導体層または半絶縁層の上には金属薄膜電極が配設され、半導体基板の裏面にはオーミック電極が配設されている請求項4ないし7のいずれかの弾道電子固体半導体素子。
9. 請求項8の半導体素子において微結晶半導体層も

しくは半絶縁層と金属薄膜電極との間、または、金属薄膜電極の上に、蛍光体層を堆積した構造を備える半導体素子であって、電極に電圧を印加することで微結晶半導体層もしくは半絶縁層より発生する弾道電子を蛍光体層に直接衝突させることで蛍光体を励起し、可視光を発光させることを特徴とする弾道電子固体発光素子。

10. オーミック電極と金属薄膜電極がセグメント状またはドット状に配置された請求項9の半導体素子を情報表示要素とすることを特徴とする発光ディスプレイ素子。

11. 請求項10の発光ディスプレイ素子を多数配列し、単純マトリックス駆動方式で動作させることを特徴とする薄型発光ディスプレイ装置。

12. アクティブ素子アレイを形成した半導体基板上に請求項10の発光ディスプレイ素子を多数配列し、アクティブマトリックス駆動方式で動作させることを特徴とする薄型発光ディスプレイ装置。

13. 蛍光体が赤色発光、緑色発光、青色発光の1種以上である請求項11または12の薄型発光ディスプレイ装置。

14. 任意色の映像情報を出力する請求項13の薄型平面ディスプレイ装置。

図 1

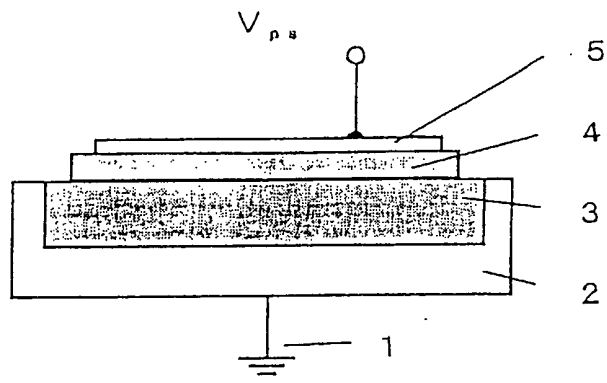


図 2

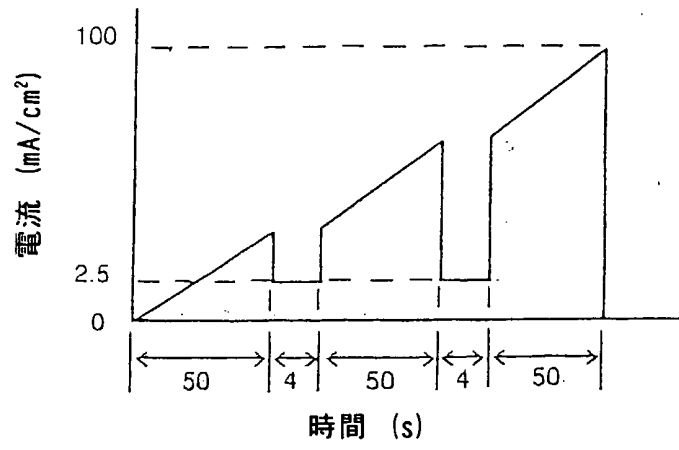


図 3

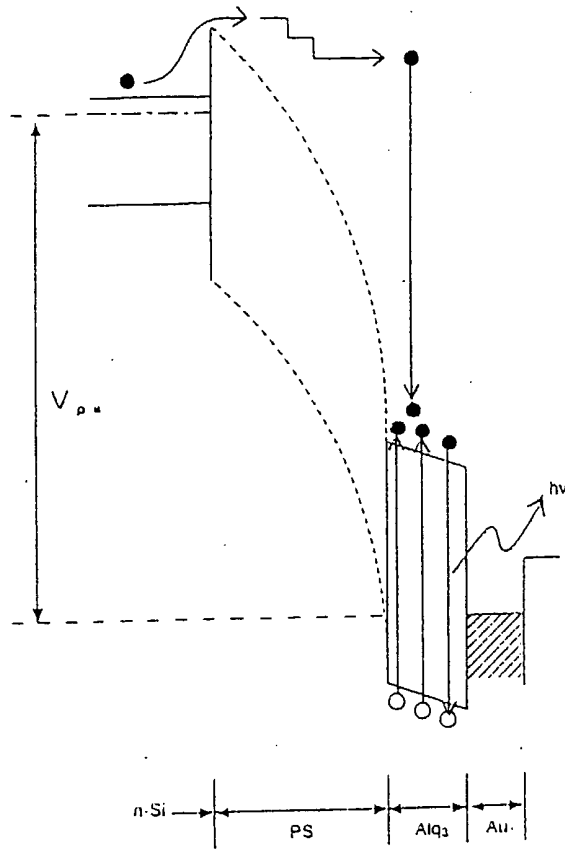


図 4

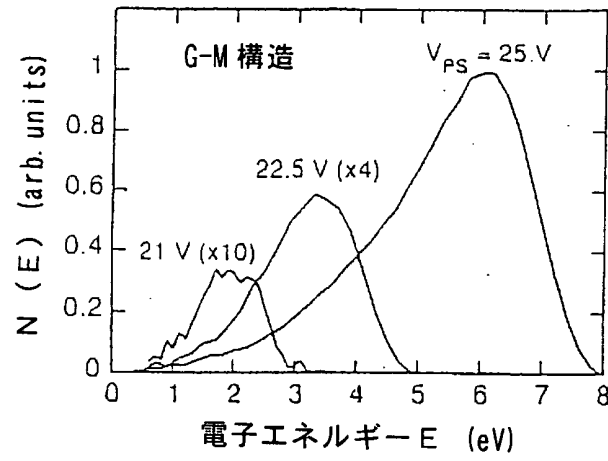


図 5

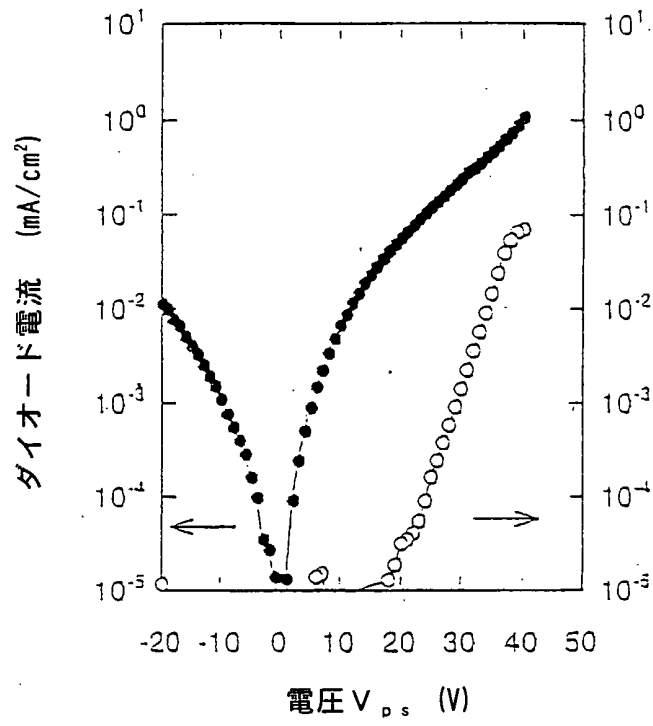


図 6

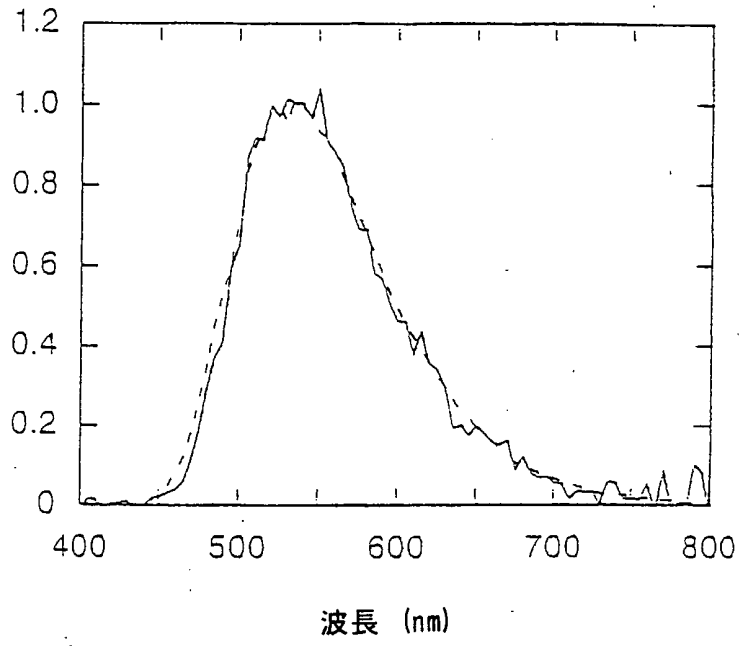


図 7

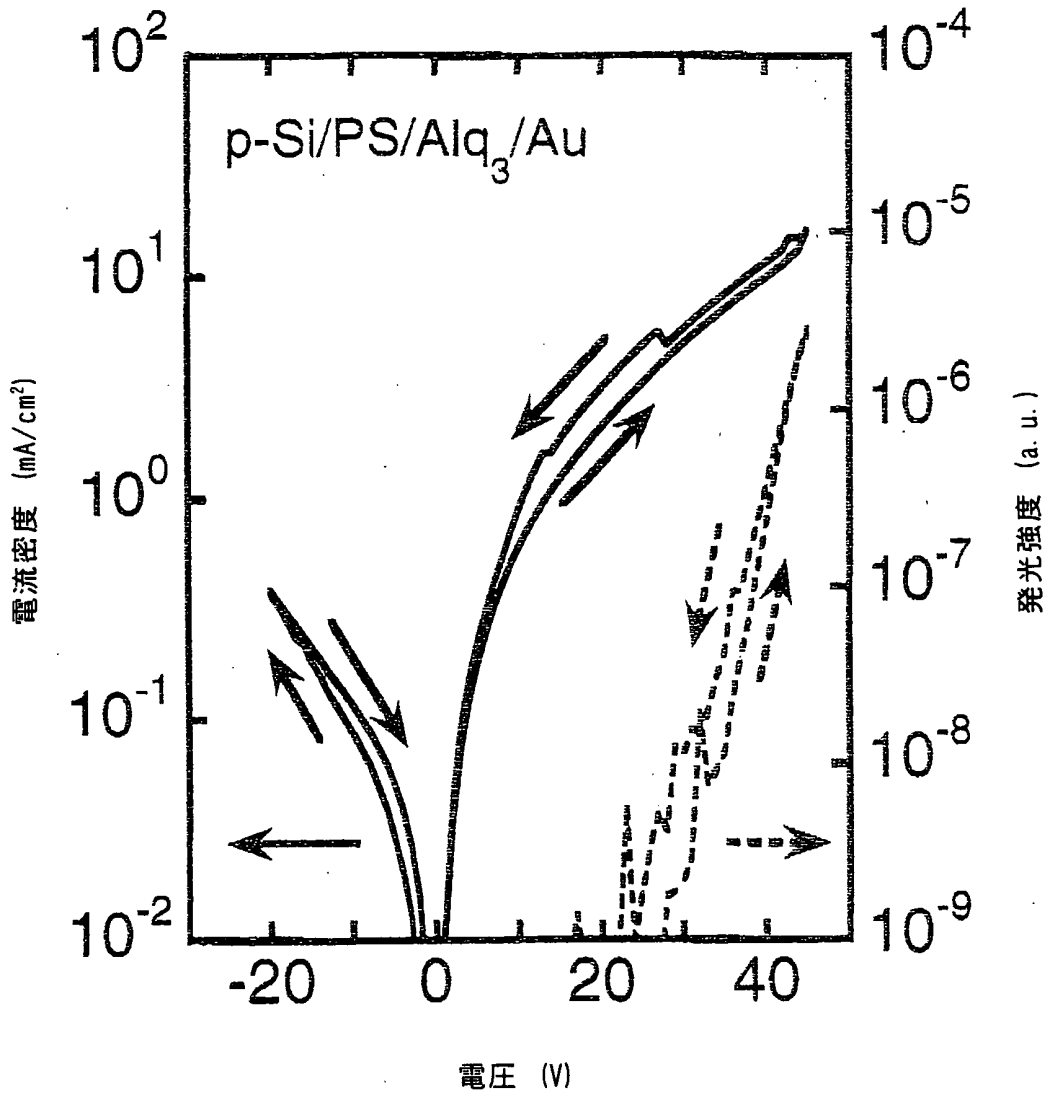


図 8

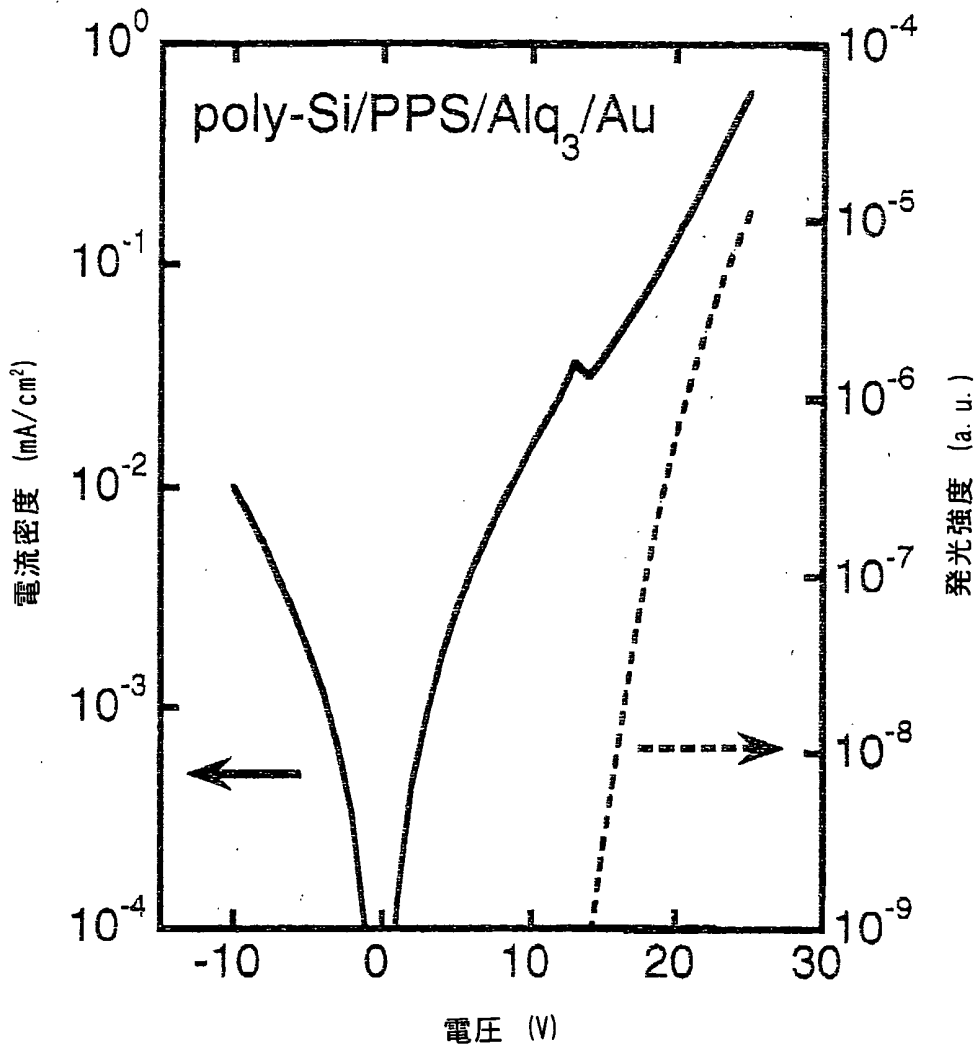
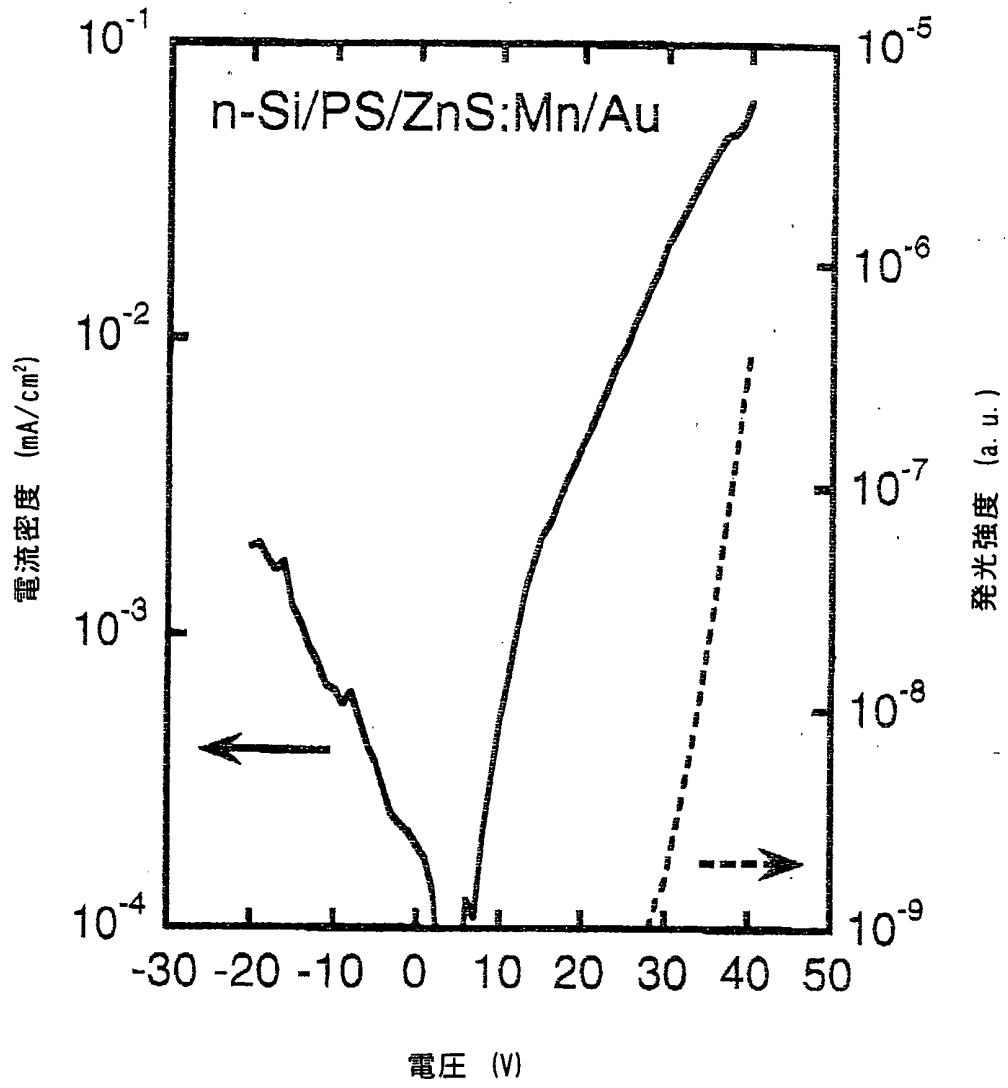


図 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. <p style="text-align: center;">PCT/JP01/02415</p>
--

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl⁷ H01J1/312, 9/02, 1/62, H01L29/66

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)
 Int.Cl⁷ H01J1/312, 9/02, 1/62

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2001	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 JICST FILE (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Komoda, T. et al., "Mechanism of efficient and stable surface-emitting cold cathode based on porous polycrystalline films", Journal of Vacuum Science of Technology B, Vol.17, No.3, pages 1076 to 1079, May/June 1999, (05.99), (06.99)	1-8
Y		9-14
Y	JP, 2000-57935, A (Pioneer Electronic Corporation), 25 February, 2000 (25.02.00), Full text; all drawings & EP, 980183, A1	9-14

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

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	---

Date of the actual completion of the international search 12 June, 2001 (12.06.01)	Date of mailing of the international search report 26 June, 2001 (26.06.01)
---	--

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

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int. Cl⁷ H01J1/312, 9/02, 1/62, H01L29/66</p>											
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int. Cl⁷ H01J1/312, 9/02, 1/62</p>											
<p>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</p> <p>日本国実用新案公報 1926-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2001年 日本国登録実用新案公報 1994-2001年 日本国実用新案登録公報 1996-2001年</p>											
<p>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)</p> <p>JICSTファイル (JOIS)</p>											
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求の範囲の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X Y</td> <td>Komoda, T. et al., "Mechanism of efficient and stable surface-emitting cold cathode based on porous polycrystalline films", Journal of Vacuum Science of Technology B, Vol. 17, No. 3, pp. 1076-1079 May/June 1999</td> <td>1-8 9-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP, 2000-57935, A (パイオニア株式会社) 25. 2月. 2000 (25. 02. 00) 全文、全図 &EP, 980183, A1</td> <td>9-14</td> </tr> </tbody> </table>			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	X Y	Komoda, T. et al., "Mechanism of efficient and stable surface-emitting cold cathode based on porous polycrystalline films", Journal of Vacuum Science of Technology B, Vol. 17, No. 3, pp. 1076-1079 May/June 1999	1-8 9-14	Y	JP, 2000-57935, A (パイオニア株式会社) 25. 2月. 2000 (25. 02. 00) 全文、全図 &EP, 980183, A1	9-14
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									
X Y	Komoda, T. et al., "Mechanism of efficient and stable surface-emitting cold cathode based on porous polycrystalline films", Journal of Vacuum Science of Technology B, Vol. 17, No. 3, pp. 1076-1079 May/June 1999	1-8 9-14									
Y	JP, 2000-57935, A (パイオニア株式会社) 25. 2月. 2000 (25. 02. 00) 全文、全図 &EP, 980183, A1	9-14									
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>											
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「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 「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) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「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 「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 「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 「&」 同一パテントファミリー文献</p>											
<p>国際調査を完了した日</p> <p>12. 06. 01</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>26.06.01</p>										
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官 (権限のある職員)</p> <p>波多江 進</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3224</p>	<p>2G 9508</p> 