

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
H01J 9/02		H01J 9/02	B 5C031
1/304		29/04	
29/04		1/30	F

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全7頁)

(21)出願番号 特願2001 - 304570(P 2001 - 304570)

(22)出願日 平成13年9月28日(2001.9.28)

(出願人による申告)「国などの委託研究の成果に係る特許出願(平成12年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「炭素系高機能材料技術の研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)」

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(71)出願人 301021533

独立行政法人産業技術総合研究所

東京都千代田区霞が関1-3-1

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

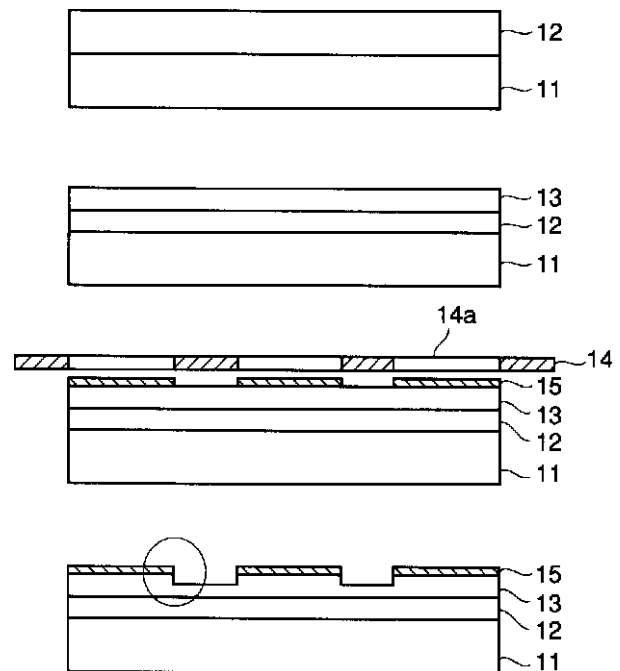
最終頁に続く

(54)【発明の名称】電子放出素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 安定性や信頼性に優れた電子放出素子及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 ダイヤモンド12, 13を含む基板を用意する工程と、基板上に開口14aを有するマスク板14を配置する工程と、マスク板を介して基板上に金属材料を堆積することにより、基板上の前記開口に対応した領域及びその周囲の領域に金属膜15を形成する工程と、金属膜をマスクとしてダイヤモンドをエッチングして、電子を放出する先鋭な複数のダイヤモンドエミッタ13aからなるエミッタ群を形成する工程とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】ダイヤモンドを含む基板を用意する工程と、
前記基板上に開口を有するマスク板を配置する工程と、
前記マスク板を介して前記基板上に金属材料を堆積することにより、前記基板上の前記開口に対応した領域及びその周囲の領域に金属膜を形成する工程と、
前記金属膜をマスクとして前記ダイヤモンドをエッチングして、電子を放出する先鋭な複数のダイヤモンドエミッタからなるエミッタ群を形成する工程と、
を備えたことを特徴とする電子放出素子の製造方法。

【請求項 2】ダイヤモンドを含む基板を用意する工程と、
イオン注入によって前記ダイヤモンドの一部をグラファイト化させることで、ダイヤモンド部分とグラファイト部分が混在した領域を形成する工程と、
前記グラファイト部分を前記ダイヤモンド部分に対して選択的にエッチングして、電子を放出する先鋭な複数のダイヤモンドエミッタからなるエミッタ群を形成する工程と、
を備えたことを特徴とする電子放出素子の製造方法。

【請求項 3】ダイヤモンド領域と、
前記ダイヤモンド領域上に形成された電極膜と、
前記ダイヤモンド領域の側壁に隣接して形成され、先端部の高さが前記ダイヤモンド領域の上面の高さよりも低いダイヤモンドエミッタと、を備え、
前記ダイヤモンドエミッタの密度が、前記ダイヤモンド領域の側壁から $30\ \mu\text{m}$ 以内の範囲において $10^5\ \text{cm}^{-2}$ 以上であることを特徴とする電子放出素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、真空マイクロ素子等に用いられる電子放出素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】電子放出素子（電界放出素子）は、高速応答性、耐放射線性及び耐高温性、さらに高精細な自発光型ディスプレイの可能性などの観点から、近年活発に研究開発が行われている。

【0003】電子放出素子のエミッタ材料には電子親和力の小さい材料が使用されている。近年、ダイヤモンドの電子親和力が 0 に近いことが見出され（例えば、J. Vanら J. Vac. Sci. Technol., B, 10, 4(1992)）、ダイヤモンドをエミッタ材料として用いた電子放出素子の作製方法が数多く提案されている。

【0004】例えば、V. V. Zhironらは (J. Vac. Sci. Technol., B13(2), Mar/Apr 1995)、以下のような方法を提案している。まず、エミッタの母体となる Si を加工して、高さ $100\ \mu\text{m}$ 、直径数 μm 程度の柱状構造を形成する。続いて、この柱状構造体の先に Si - Au 合金を厚

さ数 μm 程度形成する。さらに、エッチングや酸化技術を用いて柱状構造体の先端を尖らせ（シャープニング）、シャープニングした Si エミッタにダイヤモンドをコーティングする。しかしながら、この手法で形成したダイヤモンドコーティングエミッタは、ダイヤモンドが個々の柱状構造体上に均一に形成されないため、安定性や信頼性に問題がある。

【0005】また、単結晶ダイヤモンドを用いたエミッタの作製も提案されている。この方法では、単結晶ダイヤモンドの低指数面 (001)、(111)、(011) で構成されるファセットを利用してエミッタの作製が行われる。しかしながら、この方法では、エミッタ先端の角度は高々 45 度程度である。エミッタ先端が先鋭化するほど電界集中が大きくなり低電界での電子放出が可能となるが、現状では平坦な単結晶面との大きな差は見られない。

【0006】一方、ダイヤモンド上にマスク膜を形成し、これをマスクとしてダイヤモンドをエッチングする方法も考えられる。しかしながら、このようなマスクは通常フォトリソグラフィの技術を用いて形成される。そのため、ダイヤモンドエミッタは電荷供給電極（ダイヤモンドエミッタに電荷を供給するための電極）との間で一定以上の距離を隔てて形成されることになり、ダイヤモンドエミッタと電荷供給電極との間に介在する抵抗成分によって大きな電圧ロスが生じる。また、ダイヤモンドエミッタの密度を高くすることも難しい。したがって、ダイヤモンドエミッタから安定して電子を放出させることが困難である。さらに、フォトリソグラフィ工程によって全体の工程も増加する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】このように、ダイヤモンドをエミッタ材料に用いた場合、従来は安定性や信頼性に優れた電子放出素子を簡単な工程で作製することが困難であった。

【0008】本発明は上記従来の課題に対してなされたものであり、安定性や信頼性に優れた電子放出素子及びその製造方法を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】（構成）本発明に係る電子放出素子の製造方法は、ダイヤモンドを含む基板を用意する工程と、前記基板上に開口を有するマスク板を配置する工程と、前記マスク板を介して前記基板上に金属材料を堆積することにより、前記基板上の前記開口に対応した領域及びその周囲の領域に金属膜を形成する工程と、前記金属膜をマスクとして前記ダイヤモンドをエッチングして、電子を放出する先鋭な複数のダイヤモンドエミッタからなるエミッタ群を形成する工程と、を備えたことを特徴とする。

【0010】また、本発明に係る電子放出素子の製造方法は、ダイヤモンドを含む基板を用意する工程と、イオン注入によって前記ダイヤモンドの一部をグラファイト

化させることで、ダイヤモンド部分とグラファイト部分が混在した領域を形成する工程と、前記グラファイト部分を前記ダイヤモンド部分に対して選択的にエッチングして、電子を放出する先鋭な複数のダイヤモンドエミッタからなるエミッタ群を形成する工程と、を備えたことを特徴とする。

【0011】本発明に係る電子放出素子は、ダイヤモンド領域と、前記ダイヤモンド領域上に形成された電極膜と、前記ダイヤモンド領域の側壁に隣接して形成され、先端部の高さが前記ダイヤモンド領域の上面の高さよりも低いダイヤモンドエミッタと、を備え、前記ダイヤモンドエミッタの密度が、前記ダイヤモンド領域の側壁から30 μm以内の範囲において 10^5 cm^{-2} 以上であることを特徴とする。

【0012】(作用)基板上にマスク板を配置する際、基板表面とマスク板とを意識的に離間させた場合はもちろん、基板上にマスク板を載置した場合にも基板表面の凹凸によって基板表面とマスク板との間には隙間が存在する。そのため、金属材料を堆積する際、開口に対応した領域に金属膜(主金属膜)が形成される他、開口の周囲の領域には回り込み現象によって微小サイズの金属膜が主金属膜の近傍に高密度で形成される。このような金属膜をマスクとしてダイヤモンドのエッチングを行うことにより、高アスペクト比のダイヤモンドエミッタからなるエミッタ群を主金属膜の近傍に高密度で形成することができる。また、主金属膜をダイヤモンドエミッタに電荷を供給するための電極として用いることもでき、これにより電極とダイヤモンドエミッタとの間に介在する抵抗成分を小さくすることができ、電圧ロスを少なくすることができる。また、金属膜をフォトリソグラフィ技術を用いずに形成できるため、製造工程の簡略化を図ることができる。したがって、このようにして形成されたダイヤモンドエミッタからなるエミッタ群を用いることで、例えば一つのダイヤモンドエミッタが破壊等によって電子放出できなくなっても他のダイヤモンドエミッタによって容易に代替することができる等、安定性や信頼性に優れた電子放出素子を簡単な工程で作製することも可能となる。

【0013】また、イオン注入によってダイヤモンドの一部をグラファイト化させることにより、ダイヤモンド部分とグラファイト部分を高密度で形成することができる。グラファイト部分を前記ダイヤモンド部分に対して選択的にエッチングすることにより、高アスペクト比のダイヤモンドエミッタからなるエミッタ群を高密度で形成することができる。また、フォトリソグラフィ技術を用いずにエミッタを形成できるため、製造工程の簡略化を図ることができる。したがって、このようにして形成されたダイヤモンドエミッタを用いることで、上述したのと同様に安定性や信頼性に優れた電子放出素子を簡単な工程で作製することも可能となる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。

【0015】(実施形態1)図1は、本発明の第1の実施形態に係る電子放出素子の製造工程を示した工程断面図である。

【0016】まず、図1(a)に示すように、高圧合成されたダイヤモンド基板11上に、ダイヤモンド膜12を厚さ1 μm程度、エピタキシャル成長させる。

10 【0017】次に、図1(b)に示すように、S(硫黄)或いはP(リン)等の不純物をダイヤモンド膜12にイオン注入する。このとき、ダイヤモンド膜12の表面から0.5 μm程度の深さまで 10^{19} cm^{-3} 程度の濃度になるように、加速電圧を変化させてイオン注入を行う。さらに、不活性ガス中又は真空中にて、400以上1200以下で熱処理を行い、上記不純物を活性化させて低抵抗のn型ダイヤモンド層13を形成する。本例では、不純物として硫黄を用い、添加量はダイヤモンドがグラファイト化しない程度とした。また、注入エネルギーを3種類として、表面からの深さが50 nm~400 nm程度まで硫黄の添加量が一定となるようにした。

20 【0018】次に、図1(c)に示すように、開口部14aを有する金属マスク板14をn型ダイヤモンド層13上に載置し、開口部14aを通してn型ダイヤモンド層13上に金属膜15を真空蒸着する。n型ダイヤモンド層13の表面には数μmオーダーの凹凸があるため、金属マスク板14を載置することによって数μmオーダーの隙間が生じる。なお、本例ではマスク板14をn型ダイヤモンド層13上に載せるようにしたが、マスク板14をn型ダイヤモンド層13から微小距離(50 μmを越えない範囲の距離)離して配置してもよい。金属膜15は、後工程で形成されるダイヤモンドエミッタに電荷(電子)を供給する(電圧を印加する)ための電荷供給電極(負極性側電極)となるものである。金属膜15を蒸着する際、金属膜15と基板(n型ダイヤモンド層13)との間には若干の隙間が存在するため、電荷供給電極の周囲には、開口部14aの周囲に回り込んだ金属膜によって、微小サイズの多数の金属膜が同時に形成される。なお、本例では、オーミックコンタクトが得られやすいように、金属膜15としてTi膜(400 nm)、Pt膜(500 nm)及びAu膜(3000 nm)の積層膜を用いた。Ti膜はコンタクトメタル、Pt膜は熱処理時にTiが上方に拡散するのを防ぐためのストップ膜、Au膜は金線等との電氣的接続を取りやすくするためのパッドメタルである。金属膜15を真空蒸着した後、オーミック性を上げるために、不活性ガス中で400、30分間の熱処理を行う。

30 【0019】なお、ここまでの工程において、電極とのオーミック性をさらに向上させるために、n型ダイマ

ンド層 13 の表面領域に、アルゴン或いはカーボンのイオン注入によってグラファイト化コンタクト層を形成してもよい。

【0020】次に、図 1 (d) に示すように、金属膜 15 (電荷供給電極となる金属膜及び電荷供給電極周囲の微小サイズの金属膜) をマスクとして、n 型ダイヤモンド層 13 を酸素を用いて異方性ドライエッチングする。本例では、100% 酸素雰囲気において、RF プラズマを用いたドライエッチングを行った。雰囲気圧力は 5 Pa、RF 入力は 100 W とした。20 分間のドライエッチングを行ったところ、約 400 nm の深さまでエッチングされた。この異方性ドライエッチングには、プラズマ源として ICP、ECR プラズマを用いることも可能である。

【0021】図 2 は、図 1 (d) の丸で囲んだ部分を拡大して示した図である。金属膜 15 の蒸着時に回り込み現象によって電荷供給電極周囲に形成された微小サイズの金属膜がエッチングマスクとなり、n 型ダイヤモンド層 13 からなる高アスペクト比 (5 以上で 100 以下程度) の微小なダイヤモンドエミッタ (先鋭なダイヤモンド柱) 13 a が多数形成される。これらの多数のダイヤモンドエミッタ 13 a によってエミッタ群が構成される。ダイヤモンドエミッタ 13 a は、金属膜 15 からなる電荷供給電極からの距離 (n 型ダイヤモンド層 13 の側壁からの距離) が遠くなるにしたがって (距離に反比例して)、密度がしだいに減少している。密度分布は、マスク板 14 と基板 (n 型ダイヤモンド層 13) との密着度 (平均的な隙間の距離) を変えることによって制御することが可能である。また、エッチングの際にエミッタ 13 a の先端部が微小サイズの金属膜とともに多少エッチングされるため、エミッタ先端部 13 a の高さは、電荷供給電極下の n 型ダイヤモンド層 13 の上面の高さよりも低くなっている。

【0022】図 3 は、エッチング後の状態を斜め方向から反射電子顕微鏡で観察したものである。領域 A はダイヤモンドエミッタ 13 a が形成されている部分、領域 B は n 型ダイヤモンド層 13 の部分、領域 C は n 型ダイヤモンド層 13 上の金属膜 15 (電荷供給電極) の部分である。エッチングの条件は、エッチング雰囲気 100% 酸素、圧力 5 Pa、プラズマ用高周波電力の周波数を 13.56 MHz、出力を 100 W とした。エッチング速度は 20 nm/min 程度で、エッチング時間は 60 min である。図 3 に示すように、電荷供給電極の近傍に直径 100 nm 程度で高さ 1 μm 程度の柱状のダイヤモンドエミッタが無数に形成されている。電極からおよそ 30 μm までの領域では、特に高密度にエミッタが形成されている。ダイヤモンドエミッタの密度は、電極の極近傍では 10^7 cm^{-2} 程度以上、電極から 30 μm 程度離れた部分では 10^5 cm^{-2} 程度以上であった。そしてこれらのエミッタの先端は、50% 以上のものが極めて

先鋭化していた。

【0023】図 4 は、上述したようにして作製されたエミッタ 13 a の上方に、エミッタ 13 a から電子を引き出す (放出させる) ための引き出し電極 (正極性側電極) 21 を設けた状態を示している。図 4 に示した構造により、エミッタの電子放出特性を測定した。引き出し電極 21 とエミッタ 13 a の先端との間隔は 33 μm とした。その結果、極めて小さい電界で電子の放出が確認でき、電流密度も 150 mA/cm^2 以上であった。また、シリコンや高融点金属を用いたエミッタで見られる電子放出後の形状変化もまったく見られなかった。

【0024】図 5 は、上述したようにして作製された構造に対し、n 型ダイヤモンド層 13 上に絶縁膜 22 を介してゲート電極 23 を設けた構造を示している。図 5 に示した構造により、電界放出時の電流電圧特性を測定した。その測定結果を図 6 に示す。横軸はエミッタ 13 a に対する引き出し電極 21 の電位、縦軸は引き出し電極 21 の電流であり、ゲート電極の電位は一定値に固定している。図 5 のようなゲート電極 23 を設けた構造でも、極めて安定な電子放出が確認でき、制御性も極めて良好で、測定中に特性の劣化等はまったく見られなかった。

【0025】以上のように、本実施形態によれば、メタルマスク板の周囲からの回り込み現象を利用することにより、電荷供給電極の周囲に微小サイズの金属膜を形成することができる。この微小サイズの金属膜をエッチングマスクとして異方性エッチングを行うことにより、電荷供給電極の近傍に高アスペクト比のダイヤモンドエミッタを高密度で形成することができる。したがって、このようにして形成されたダイヤモンドエミッタを用いることで、安定性や信頼性に優れた電子放出素子を作製することが可能となる。

【0026】なお、上述した実施形態では、電荷供給電極を堆積する際に金属マスク板を用いてエッチングマスクとなる微小サイズの金属膜を形成するようにしたが、ゲート電極となる金属膜を形成する際に同様の手法によって微小サイズの金属膜を形成するようにしてもよい。図 7 はその一例を示した図であり、図 1 に示した構成要素と対応する構成要素には同一の参照番号を付している。製造工程は、以下の通りである。

【0027】n 型ダイヤモンド層 13 を形成した後、金属膜 15 を形成し、この金属膜 15 をパターンニングして電荷供給電極を形成する。続いて、絶縁膜 22 を全面に形成する。その後、図 1 に示した例と同様に開口部を有する金属マスク板を用いて、絶縁膜 22 上にゲート電極 23 となる金属膜を堆積する。この金属膜 (ゲート電極 23) をマスクとして、絶縁膜 22 及び n 型ダイヤモンド層 13 をエッチングすることで、図 7 に示すような多数のダイヤモンドエミッタ 13 a からなるエミッタ群を形成することができる。なお、エッチング後に絶縁膜 2

2 がダイヤモンドエミッタ 13 a 上に残っているような場合には、例えばウエットエッチングによって絶縁膜 22 を除去すればよい。

【0028】(実施形態 2) 図 8 は、本発明の第 2 の実施形態に係る電子放出素子の製造工程を示した工程断面図である。なお、図 1 等示した第 1 の実施形態の構成要素に対応する構成要素については同一の参照番号を付し、詳細な説明は省略する。

【0029】まず、図 8 (a) に示すように、ダイヤモンド基板 11 上に、ダイヤモンド膜 12 を厚さ 1 μm 程度、エピタキシャル成長させる。

【0030】次に、図 8 (b) に示すように、ダイヤモンド膜 12 の表面領域に Ar (アルゴン) 或いは C (カーボン) のイオン注入を行う。このイオン注入を適当な条件で行うことにより、ダイヤモンド膜 12 の表面領域の一部はグラファイト化され、ダイヤモンド部分とグラファイト部分の混在領域 31 が形成される。本例では Ar を用いて、Ar のイオン注入量を $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とし、混在領域 31 の厚さが 100 nm 程度となるようにした。なお、第 1 の実施形態と同様、ダイヤモンド膜 12 の表面領域に n 型ダイヤモンド層を形成しておき、この n 型ダイヤモンド層の表面領域にダイヤモンド/グラファイト混在領域 31 を形成するようにしてもよい。

【0031】ここで、ダイヤモンドのグラファイト化について説明する。ダイヤモンドとグラファイトとは炭素の結合状態が互いに異なったものであり、ダイヤモンドは共有結合である SP^3 結合、グラファイトは結合である SP^2 結合である。グラファイトでは、結合の電子が電気伝導に寄与するため電気抵抗が非常に小さいが (1 cm^{-1} 以下)、不純物が添加されていないダイヤモンドは極めて電気抵抗が高い ($1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-1}$ 以上)。

【0032】ダイヤモンドに 10 keV 以上のエネルギーで Ar 等の原子を打ち込むと (イオン注入すると)、打ち込まれた原子はダイヤモンド中の炭素原子にぶつかりながらしだいにエネルギーを失い、打ち込みエネルギーと相関のある深さで止まる。失われるエネルギーは、結晶欠陥 (ダイヤモンドの格子を壊したりダイヤモンド中の炭素原子を弾き飛ばしたりすることによって生じる) を発生させるために消費される。このとき、結合の一部が結合性になると、その部分がグラファイトに変化する。この変化は不可逆性である。これは、グラファイトの方がダイヤモンドよりも結合のエネルギーが大きいためである。

【0033】グラファイト化される領域は、打ち込み原子が通過した領域周囲の極めて狭い領域である。全ての領域をグラファイト化するためには、打ち込み原子の物性にもよるが、ダイヤモンドへの固溶限界を超える 10^{20} cm^{-3} 程度以上の原子を打ち込まなければならない。本実施形態では、この値を越えない範囲の原子を打ち込

むことで、ダイヤモンド部分とグラファイト部分とを混在させるようにしている。X線光電子分光法を用いて測定を行うことにより、ダイヤモンドとグラファイトそれぞれの結合エネルギーの違いから電子エネルギースペクトルの差が生じるため、どの程度の割合で両者が混在しているかを検出することができる。

【0034】次に、図 8 (c) に示すように、ダイヤモンド/グラファイト混在領域 31 に対して異方性ドライエッチングを行う。本例では、Ar 中に 1 ~ 2% の酸素を含む雰囲気において、RIE によるエッチングを行う。エッチング時間は 1 min とした。酸素系ガスを用いたドライエッチングでは、ダイヤモンドよりもグラファイトの方がエッチングされやすいため、このドライエッチングにより、混在領域 31 のうち、グラファイト部分が選択的にエッチングされ、ダイヤモンド部分 32 が残置する。エッチングガスとしては、酸素以外に水素を用いることも可能である。

【0035】図 9 は、図 6 (c) の丸で囲んだ部分を拡大して示した図であり、グラファイト部分が除去され、ダイヤモンド部分からなるダイヤモンドエミッタ 32 a が形成されている。これらの多数のダイヤモンドエミッタ 32 a によってエミッタ群が構成される。ダイヤモンドエミッタ 32 a の高さは 80 nm 程度であり、直径は 50 nm 程度以下でほとんどが直径 20 nm 程度以下である。エミッタ 32 a の密度は最大で 10^8 cm^{-2} 程度、最低でも 10^6 cm^{-2} 程度であり、非常に高密度である。また、エミッタ先端も少なくとも 1 割以上が先鋭化していた。

【0036】次に、図 8 (d) に示すように、電荷供給電極となる金属膜 15 を真空蒸着する。金属膜 15 の形成方法は、第 1 の実施形態と同様、開口を有する金属マスク板を用いて行えばよい。

【0037】以上のように、本実施形態によれば、ダイヤモンド膜に対してアルゴンやカーボンをイオン注入して、ダイヤモンド/グラファイト混在領域を形成し、ダイヤモンドに対してグラファイトを選択的にドライエッチングすることで、高アスペクト比のダイヤモンドエミッタを高密度で形成することができる。したがって、このようにして形成されたダイヤモンドエミッタを用いることで、安定性や信頼性に優れた電子放出素子を作製することが可能となる。

【0038】以上、本発明の実施形態を説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲内において種々変形して実施することが可能である。さらに、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示された構成要件を適宜組み合わせることによって種々の発明が抽出され得る。例えば、開示された構成要件からいくつかの構成要件が削除されても、所定の効果が得られるものであれば発明として抽出され得る。

【0039】

【発明の効果】本発明によれば、アスペクト比の高い高密度のエミッタを有し、安定性や信頼性に優れた電子放出素子を得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る電子放出素子の一例についてその製造工程を示した工程断面図。

【図2】図1の一部を拡大して示した図。

【図3】第1の実施形態において、主要部の構造を反射電子顕微鏡によって観察した顕微鏡写真。

【図4】第1の実施形態に係る電子放出素子の他の例について示した断面図。

【図5】第1の実施形態に係る電子放出素子の他の例について示した断面図。

【図6】第1の実施形態に係る電子放出素子の特性について示した図。

【図7】第1の実施形態に係る電子放出素子の他の例について示した断面図。

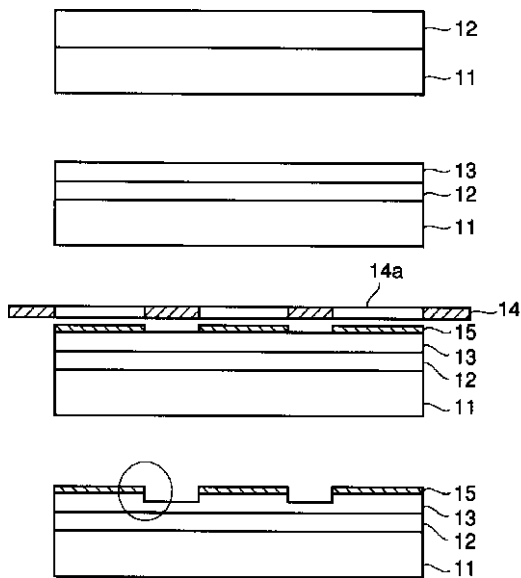
【図8】本発明の第2の実施形態に係る電子放出素子の一例についてその製造工程を示した工程断面図。

【図9】図8の一部を拡大して示した図。

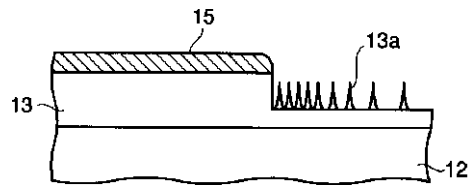
【符号の説明】

- 1 1 ...ダイヤモンド基板
- 1 2 ...ダイヤモンド膜
- 1 3 ...n型ダイヤモンド層
- 1 3 a...ダイヤモンドエミッタ
- 1 4...マスク板
- 1 4 a...開口部
- 1 5...金属膜
- 2 1...引き出し電極
- 2 2...絶縁膜
- 2 3...ゲート電極
- 3 1...ダイヤモンド/グラファイト混在領域
- 3 2...ダイヤモンド部分
- 3 2 a...ダイヤモンドエミッタ

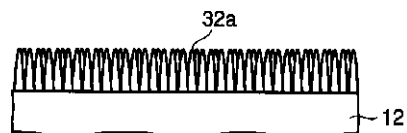
【図1】



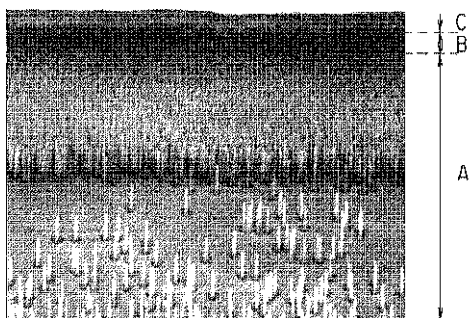
【図2】



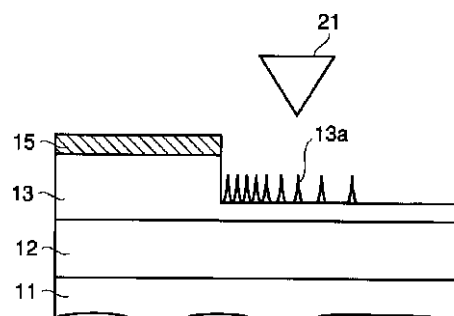
【図9】



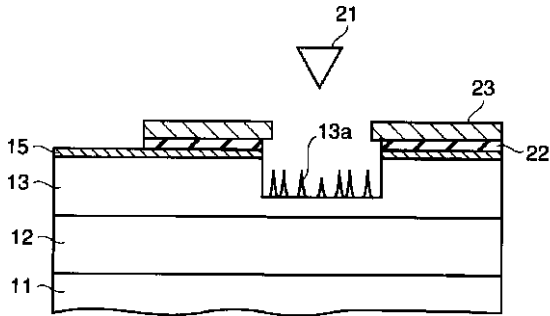
【図3】



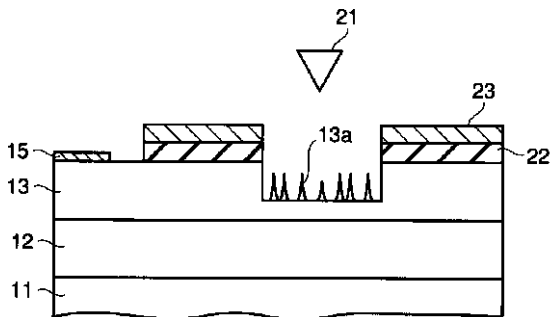
【図4】



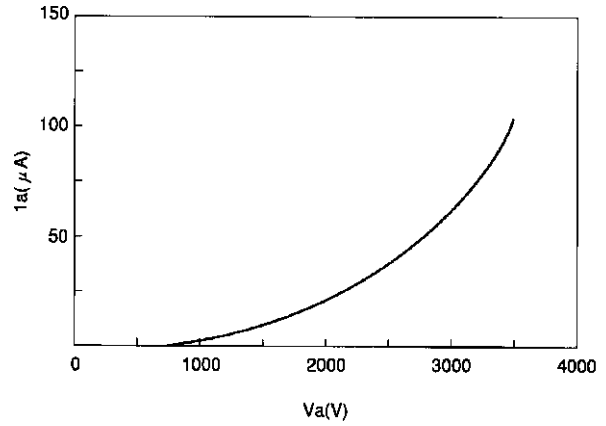
【図 5】



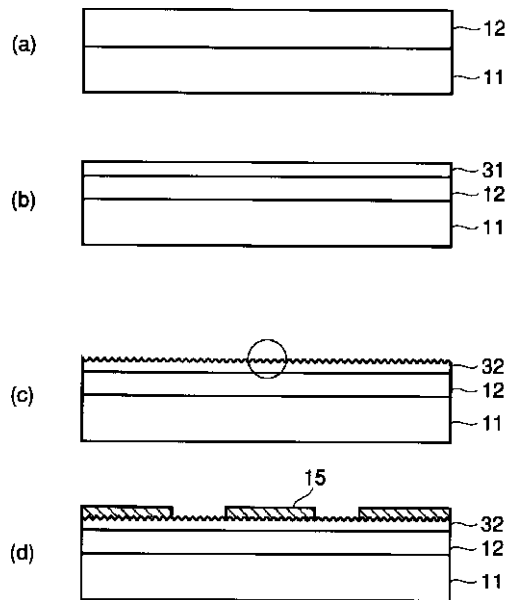
【図 7】



【図 6】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 吉田 博昭
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
 式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 酒井 忠司
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
 式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 佐久間 尚志
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
 式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 大串 秀世
 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法
 人産業技術総合研究所内

(72)発明者 渡辺 幸志
 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法
 人産業技術総合研究所内

Fターム(参考) 5C031 DD17 DD19