

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-51785
(P2023-51785A)

(43)公開日 令和5年4月11日(2023.4.11)

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 J 37/06 (2006.01) H 0 1 J 37/06 A 5 C 1 0 1

H 0 1 J 37/26 (2006.01) H 0 1 J 37/26

審査請求		未請求	請求項の数	18	O L	外国語出願	(全15頁)
(21)出願番号	特願2022-146148(P2022-146148)						
(22)出願日	令和4年9月14日(2022.9.14)						
(31)優先権主張番号	17/491,039						
(32)優先日	令和3年9月30日(2021.9.30)						
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)						
(71)出願人	501233536 エフ イー アイ カンパニ F E I C O M P A N Y アメリカ合衆国 オレゴン 9 7 1 2 4 - 5 7 9 3 ヒルズボロ ドーソン・クリー ク・ドライヴ 5 3 5 0 エヌイー						
(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重						
(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦						
(74)代理人	100135079 弁理士 宮崎 修						
(72)発明者	ジョン スティラー アメリカ合衆国 9 7 1 2 4 - 5 7 9 3 オレゴン州, ヒルズボロ ノースイス 最終頁に続く						

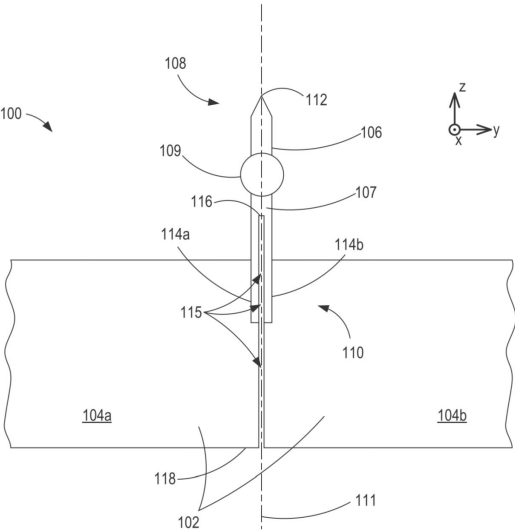
(54)【発明の名称】 フィラメントレス電子源

(57)【要約】 (修正有)

【課題】エミッタ自体の抵抗加熱により加熱されることにより動作温度および消費電力が低減されたショットキーエミッタを提供する。

【解決手段】電子源は、対向する導電性支持体の間に直列に結合されて導電性経路を形成する電子源結晶106を含むことができ、導電性支持体の電気抵抗は、電子源結晶106の電気抵抗よりも低い。電子源結晶106は放出端部108および対向するシャンク端部110を含むことができ、シャンク端部110は対向する脚部分114a、114bを含む。導電性支持体はギャップを介して離間されたフォイル支持体104a、104bを含むことができ、対向する脚部分はフォイル支持体104a、104bが導電性経路を形成するようにそれぞれのフォイル支持体104a、104bに取り付けられている。

【選択図】 図1A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対向する導電性支持体間に直列に結合されて導電性経路を形成する電子源結晶を備え、前記導電性支持体のそれぞれの電気抵抗が、前記電子源結晶の電気抵抗よりも低い、電子源。

【請求項 2】

前記電子源結晶は、放出端部および対向するシャンク端部を含み、前記シャンク端部は、対向する脚部分を含む、請求項 1 に記載の電子源。

【請求項 3】

前記導電性支持体は、ギャップを介して離間されたフォイル支持体を含み、前記対向する脚部分のそれぞれは、前記フォイル支持体が前記導電性経路を形成するよう電氣的に接続されるように、それぞれのフォイル支持体に取り付けられている、請求項 2 に記載の電子源。

10

【請求項 4】

ベースと、

前記ベースから延びる一対の電気接点と、を備え、前記ギャップの反対側の各フォイル支持体の端部が、前記対のそれぞれの電気接点に取り付けられている、請求項 3 に記載の電子源。

【請求項 5】

前記フォイル支持体は、前記それぞれの脚部分から長さ方向に垂直に外側に延びている、請求項 3 に記載の電子源。

20

【請求項 6】

前記フォイル支持体は、前記電子源結晶の長手方向に対して平行な高さ方向に、前記電子源結晶の厚さの少なくとも 10 倍だけ延びている、請求項 3 に記載の電子源。

【請求項 7】

前記フォイル支持体は、それぞれの長さおよび高さよりも薄い厚さを有し、前記厚さは、前記電子源結晶の厚さの 2 倍未満である、請求項 3 に記載の電子源。

【請求項 8】

前記フォイル支持体の寸法および材料は、主に前記脚部分で発生するジュール熱によって前記放出端部が放出温度に加熱されるように、前記脚部分の寸法および材料に対して構成されている、請求項 3 に記載の電子源。

30

【請求項 9】

前記フォイル支持体は、前記ギャップを横切って互いに向き合うミーリングされた縁部を備える、請求項 3 に記載の電子源。

【請求項 10】

前記フォイル支持体は、タングステン、レニウム、ハフニウム、タンタル、モリブデン、またはそれらの合金から作製されている、請求項 3 に記載の電子源。

【請求項 11】

前記電子源結晶上に位置する放出面の仕事関数を低下させるように構成された材料のリザーバを備える、請求項 2 に記載の電子源。

40

【請求項 12】

前記ギャップは、前記リザーバの少なくとも一部を分離する、請求項 11 に記載の電子源。

【請求項 13】

前記導電性支持体はワイヤ部材を含む、請求項 2 に記載の電子源。

【請求項 14】

前記導電性支持体はフィラメント支持体を含む、請求項 2 に記載の電子源。

【請求項 15】

前記シャンク端部は、それぞれの導電性支持体に結合するように構成された一対のリード面を含み、前記結晶の前記導電性支持体への結合により、電流が一方のリードから前記

50

結晶を通して外に他方のリードに流れるようになり、それにより前記結晶は、それぞれの支持部材内で生成された熱からの熱伝導によってではなく、主に前記結晶内から加熱される、請求項 2 に記載の電子源。

【請求項 16】

請求項 1 に記載の電子源を備える電子粒子集束システム。

【請求項 17】

放出端部および対向するシャンク端部を有する電子源結晶を備える電子源であって、前記シャンク端部は、対向する一対の脚部分から形成されている、電子源。

【請求項 18】

電子源結晶と、

前記電子源結晶を支持し、動作中に主に前記結晶内でジュール熱を生成するための手段と、を備える装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

分野は、電子源である。

【背景技術】

【0002】

電子顕微鏡および他の精密測定および撮像デバイスは、通常、電子源ビームを生成するためのカソード電子源を含む。ショットキーエミッタなどの電子源は、典型的には、電流で加熱されるフィラメントを含む。フィラメントは 2 つの電気接点の間に延びており、対称の「A」字形を形成するように折れ曲がっている。電流がフィラメントを流れると、フィラメントの頂点が急速に加熱され、温度が 1000 K 以上に上昇する。電子エミッタ結晶（例えば、タングステン<100>）が、折曲部の頂点に取り付けられており、フィラメントへの取り付けによって、フィラメントで生成された熱を受け取る。ソースの動作中、フィラメントは加熱され、静電ポテンシャルがエミッタ結晶と隣接するアノードとの間に印加され、エミッタ結晶上の放出面の仕事関数は、ZrO の適用によって低下する。温度上昇と仕事関数の低下により、結晶先端からの電子放出が急激に増加し、それによって電子源ビームを発生する。

【0003】

残念ながら、ワイヤフィラメントを備えた電子源は、高温（ショットキーの例では 1800 K）で動作する場合は非効率的である。放出面で高温を維持するために必要なすべての電力は、ワイヤフィラメントで発生され、放出と熱伝導によって消失される。高温で材料を操作すると、大幅な熱膨張、周囲のコンポーネントへの過剰な熱など、さまざまな問題が発生する。電子源の動作電力を低減するには、放出と熱伝導の低下させなければならない。この問題の典型的な解決策は、フィラメントワイヤの寸法と材料を変更することであるが、この解決策はフィラメントワイヤの機械的特性によって制限される。したがって、改善された電子源および関連する方法が必要である。

【発明の概要】

【0004】

開示された技術の一態様によれば、電子源は、対向する導電性支持体間に直列に結合されて導電性経路を形成する電子源結晶を含み、導電性支持体のそれぞれの電気抵抗は、電子源結晶の電気抵抗よりも低い。いくつかの例では、電子源結晶は、放出端部および対向するシャンク端部を含み、シャンク端部は、対向する脚部分を含む。いくつかの例では、導電性支持体は、ギャップを介して離間されたフォイル支持体を備え、対向する脚部分のそれぞれは、フォイル支持体が導電性経路を形成するよう電氣的に接続されるように、それぞれのフォイル支持体に取り付けられている。いくつかの例は、ベースと、ベースから延びる一対の電気接点とをさらに含み、ギャップの反対側の各フォイル支持体の端部が、対のそれぞれの電気接点に取り付けられている。いくつかの例では、フォイル支持体は、それぞれの脚部分から長さ方向に垂直に外側に延びている。いくつかの例では、フォイル

10

20

30

40

50

支持体は、電子源結晶の長手方向に対して平行な高さ方向に、電子源結晶の厚さの少なくとも10倍だけ延びている。いくつかの例では、フォイル支持体は、それぞれの長さおよび高さよりも薄い厚さを有し、その厚さは、電子源結晶の厚さの2倍未満である。いくつかの例では、フォイル支持体の寸法および材料は、脚部分で発生するジュール熱によって主に放出端部が放出温度に加熱されるように、脚部分の寸法および材料に対して構成されている。いくつかの例では、フォイル支持体は、ギャップを横切って互いに向き合うミールリングされた縁部を備える。いくつかの例では、フォイル支持体は、タングステン、レニウム、ハフニウム、タンタル、モリブデン、またはそれらの合金から作製されている。いくつかの例には、電子源結晶上に位置する放出面の仕事関数を低下させるように構成された材料のリザーバが含まれる。いくつかの例では、ギャップは、リザーバの少なくとも一部を分離している。いくつかの例では、導電性支持体はワイヤ部材を含む。いくつかの例では、導電性支持体はフィラメント支持体を含む。いくつかの例では、シャンク端部は、それぞれの導電性支持体に結合するように構成された一对のリード面を含み、結晶の導電性支持体への結合により、電流が一方のリードから結晶を通して外に他方のリードに流れるようになり、それにより結晶は、それぞれの支持部材内で生成された熱からの熱伝導によってではなく、主に結晶内から加熱される。いくつかの例には、本明細書に記載の電子源のいずれかを含む電子粒子集束システムが含まれる。

10

【0005】

開示された技術の別の態様によれば、電子源は、放出端部および対向するシャンク端部を有する電子源結晶を含み、シャンク端部は、対向する一对の脚部分から形成される。

20

【0006】

開示された技術のさらなる態様によれば、装置は、電子源結晶と、電子源結晶を支持し、動作中に主に結晶内でジュール熱を生成するための手段とを含む。

【0007】

開示された技術のさらなる態様によれば、電子源を形成する方法は、放出端部および対向するシャンク端部を有する電子源結晶を配置することと、電子源結晶のシャンク端部の一部を通してエミッタの一部を除去してギャップによって分離された対向する結晶脚を形成することとを含む。いくつかの例では、電子源結晶を配置することは、導電性支持部材に関連して電子源結晶を配置することを含み、この方法は、電子源結晶のシャンク端部を導電性支持部材に取り付けてエミッタアセンブリを形成することをさらに含むことができ、エミッタの部分を除去することは、エミッタアセンブリの一部を（i）電子源結晶のシャンク端部の部分を通して除去して、ギャップによって分離された対向する結晶脚を形成すること、および（ii）支持部材の厚さを通して、そして支持部材の高さにわたって除去して、ギャップを介して離間され、かつ対向する結晶脚を通してギャップを横切って接続された別個の対向する支持体を形成することを含む。いくつかの例では、電子源結晶のシャンク端部を導電性支持部材に取り付けることは、電子源結晶のシャンク部を導電性支持部材にスポット溶接することを含む。いくつかの例では、エミッタの部分を除去することは、エミッタの部分をレーザーミールリングすることを含む。いくつかの例では、エミッタの部分を除去することは、エミッタの部分をミールリングする集束イオンビーム（FIB）を含む。いくつかの例は、電子源結晶を配置する前に、導電性支持部材を、ベースから延びる一对の電気接点に取り付けることを含む。いくつかの例では、導電性支持部材に対して電子源結晶を配置することは、導電性支持部材が固定された状態で、電子源結晶の整列位置に対応する支持部材上の位置を描写することを含む。いくつかの例では、描写は、導電性支持部材上に光学マークまたはパターンを形成することを含む。いくつかの例には、電子源結晶上の放出面の仕事関数を低下させるように構成された材料のリザーバを配置することが含まれる。いくつかの例では、電子源結晶のシャンク端部の部分を通してエミッタの部分を除去して、ギャップによって分離された対向する結晶脚を形成することは、材料のリザーバが位置する結晶の部分を除去することを含む。いくつかの例では、導電性支持部材は、導電性フォイルストリップを含む。

30

40

【0008】

50

開示された技術の前述および他の目的、特徴、および利点は、添付図を参照して進められる、以下の詳細な説明により明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】電子源アセンブリの側面図であり、分割シャンクエミッタの特徴を示すためにフォイル長のかなりの部分が除去されている。

【図1B】図1Aの電子源アセンブリの側面図であるが、ベースおよび電気接点を示すために拡大されている。

【図1C】図1A～1Cの電子源アセンブリの斜視図である。

【図2】電子源アセンブリの作製方法のフローチャートである。

10

【図3】電子粒子集束システムの側面図である。

【図4】ジルコニウムリザーバを通して延びるギャップを備えた別の電子源アセンブリの側面図である。

【図5】プラットフォーム形状を有するフォイル支持体を備えた別の電子源アセンブリの側面図である。

【図6】電子源アセンブリの電気回路図である。

【図7】切断されたフィラメントを使用した別の電子源アセンブリの側面図である。

【図8】図7に示す一例示的電子源アセンブリの顕微鏡画像である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

20

ショットキーエミッタは、静電ポテンシャルと温度の両方を使用して放出を形成する形式の電子源である。開示されたショットキー電子源の例は、従来のように結晶を支持および加熱するフィラメント／ワイヤではなく、エミッタ結晶の結晶部分で結晶の抵抗加熱を提供する。開示された例には、冷電子源（例えば、CFE、熱電子、ナノワイヤなど）を含む他の電子電界放出源も含まれる。図1Aおよび他の図に示される例などの様々な例において、結晶支持構造によって結晶に伝達するのではなく、結晶内で直接発生する発熱の大部分は、既存のフィラメント構造の改善された熱機械的安定性、サプレッサ、エクストラクタのより低い電力入力およびより低い動作温度、並びに電子源に近接する絶縁体を含む様々な利点を提供することができる。このような改善により、局所真空環境の改善、製造再現性の改善、製造ステップの削減（高温計測定の排除など）、およびエミッタの寿命を延ばすことができる結晶リザーバ（酸化ジルコニウムなど）の動作温度の低下が可能になる。

30

【0011】

フィラメントベースのエミッタでは、フィラメントの主な目的は、ジュール熱から熱エネルギー源を提供して、チップを1800Kなどの高温で動作できるようにすることである。フィラメントは便利であるが、過度の操作電力を必要とし、大きな熱膨張を引き起こし、熱機械的ドリフトを引き起こす傾向がある。さらに、このような高温では、抵抗加熱されたフィラメントの蒸発がフィラメント温度の変化を引き起こし、平均故障間隔を悪化させることがある。開示された例は、電子源結晶（例えば、電界エミッタ結晶）を通し、結晶に出入りする導電経路よりも高い抵抗を有する結晶により電流を伝導することができる。ここで電子源結晶は、単結晶、多結晶、またはそれらの組み合わせから形成することができる。本明細書では、結晶という用語は、フィラメントまたはフォイルに取り付けることができる任意のタイプの電子放出源を表すことができる。直列接続により、結晶を適切な動作放出温度に加熱する際にフィラメントの発熱能力への依存性を減ずることができる。

40

【0012】

たとえば、A字形または他の既存のフィラメントの例では、フィラメントは結晶接続で切断され、電流が結晶を通過するように強制され、結晶自体に発生するのではなくフィラメントによって通常提供されるジュール熱の大部分を引き起こすことができる。したがって、ワイヤなどの既存のフィラメント構造を引き続き使用できる。いくつかの開示された

50

例はまた、電子源構造からフィラメントを効果的に除去することができる。例えば、フォイルストリップまたは他の支持構造を、市販の電子源で典型的に使用される折れ曲がったフィラメントを置き換えるために使用することができる。例のフォイルストリップは、電気接点間の距離にわたって真っ直ぐであって良く、エミッタ単結晶は、フォイルストリップにスポット溶接することができる。エミッタおよびフォイルストリップはエミッタアセンブリを形成することができ、このエミッタアセンブリをプラズマミーリングまたはレーザーミーリングしてスプリットエミッタ配置を作製することができる。

【0013】

いくつかの例では、エミッタをミーリングして、スプリットエミッタ配置を作製することができる（例えば、フォイルストリップまたは他の支持構造なしで）。適切な長さの単結晶を使用すると、実質的にすべての加熱力が2つの結晶脚で形成される。単結晶が放出のために光軸に沿って配向されている場合、エミッタアセンブリのすべての熱膨張は実質的にその方向にある。フォイル、単結晶、およびミーリングされた区分の寸法は、フォイルおよびフォイルが取り付けられている支柱の温度を制限するように選択することができる。

【0014】

図1A～1Bは、第1および第2のフォイル支持体104a、104bを形成するためにレーザーミーリングされたフォイルストリップ102を含む、例示的な電子源アセンブリ100を示す。代表的な例では、電子源アセンブリ100はショットキー電子源アセンブリである。さらなる例では、電子源アセンブリは、冷電子源アセンブリ、熱電子電子源アセンブリ、ナノワイヤベースの電子源アセンブリなどであって良い。フォイル支持体104a、104bは、タングステン、レニウム、ハフニウム、タンタル、モリブデン、別の金属、または金属合金などの様々な材料から作製することができる。選択された材料は、通常、高い融点を有し、例えば、スポット溶接またはレーザー溶接アタッチメントを介して、電子源結晶106を保持することができる。一般的に、本明細書では、エミッタは「結晶」と呼ばれ、ナノワイヤを含む、電子放出を行う様々な電子源構造を包含することができる。電子源結晶106は、放出端部108および対向するシャンク端部110を備えた本体107を含む。例えば、酸化ジルコニウムの結晶リザーバ109が本体107に配置されている。結晶106は、光軸111に沿って配置されている。光軸111は、通常、電子顕微鏡など、アセンブリ100が設置されている関連システムの光軸と位置合わせされている。結晶106は、従来、タングステンなどの単結晶であるが、以下でさらに説明するように、レニウムなどの他の材料を別の例で使用するすることができる。放出端部108は、そこから電子が放出される放出面112を含む。放出面112は、一般的に、光軸111と整列されており、それにより電子が光軸111の方向に放出面112から放出される。シャンク端部110は、ギャップ115を介して互いに対向する一対の結晶脚114a、114bを含む。結晶脚114a、114bは、フォイル支持体104a、104bが互いに直接接続されないように、フォイルストリップ102から離間された頂点116（図1の上部）で接合し、ギャップ115はフォイルストリップ102の高さ方向（例えばz方向）に延びている。ギャップ115の存在により、フォイル支持体104a、104bは、結晶脚114a、114bおよび結晶106の本体107の非分割部分を介して電気的および機械的に結合されるようになる。様々な例において、ギャップは、約0.1 μm 、1 μm 、2 μm 、5 μm 、10 μm 、15 μm 、20 μm 、40 μm 、またはそれ以上であり得る。

【0015】

フォイル支持体104a、104bは、例えば、図1Aの平面内にx方向に延びる小さな厚さ、および例えば、例えば図1Aにおいて垂直方向であるz方向に延びる大きな高さを有することができる。いくつかの例では、厚さは10 μm から100 μm の範囲とすることができるが、高さは0.5 mmから10 mmの範囲とすることができるが、均一または不均一のものを含む他の厚さおよび高さも可能である。結晶脚114a、114bへの取り付け部の近くの支持体104a、104bの高さおよび厚さは、一般的に、フォイルの断

10

20

30

40

50

面積を規定する。本明細書における例示的なフォイル断面積は、典型的には、「A」字形の円筒形フィラメントベースのショットキーエミッタよりも大きい。より大きなフォイル断面積は、電子源結晶106に対してより多くの構造的サポートを提供することができる。典型的な例では、フォイルの高さは、結晶脚114a、114bの端部がフォイルストリップ102の下縁部118を超えて延びないように十分に大きい。フォイルの高さは、ピンセットや他のツールで操作できるように十分に大きくなるように選択することもできる。いくつかの例では、フォイル支持体の厚さは、ギャップ115を形成するために使用されるミールリングプロセスの選択されたフォイル材料および機械加工パラメータに関連して選択される。たとえば、一部のフォイル材料およびミールリングプロセスでは、最大の材料除去深さ、または処理された結晶脚、ギャップ、またはフォイルサポート属性の特定のセットの最大除去深さを持つことができる。例として、属性には、材料のバリ、スプラッタ、熱弱化ゾーン、反り、局所的な溶融および再固化などが含まれる。レーザーミールリングは、場合によってはFIBミールリングよりも優れており、加工深さを大きくすることができる。したがってフォイル厚さを大きくすることができる。

10

20

30

40

50

【0016】

一般的に、フォイル支持体104a、104bのより大きな断面積（折れ曲がったワイヤフィラメントと比較して）は、より低い電気抵抗を提供する。これは、有利には、フォイル支持体104a、104bではなく、結晶脚114a、114bにおいてジュール熱のより大きな部分を発生させることができる。したがって、アセンブリ100は、フィラメントレス電子源と呼ぶことができる。「A」字形のフィラメントベースのエミッタと比較すると、実質的にすべての電流がフィラメントを通過するため、ジュール熱はフィラメント内でのみ発生する。電流が流れてフィラメントを加熱すると、エミッタ結晶は導通によってのみ加熱される。シャンク端部110の分割結晶脚114a、114bとは対照的に、電流経路は、電流を結晶脚114a、114bおよび本体107に流れるよう強制し、それにより、 I^2R 加熱のかなりの部分を結晶106内に発生させる。結晶脚114a、114bの長さが増加するにつれて、フォイル支持体104a、104bの上部の分割区分で形成されるエネルギーも増加する。

【0017】

さらに、結晶脚114a、114bは、結晶106を分割することによって形成されるため、結晶脚114a、114bの断面積は、約半分以上減少する。例えば、分割された直径0.127mm（5ミル）の結晶の各結晶脚の断面積は、約0.006mm²未満である。抵抗は面積に反比例するので、結晶106の分割および対応する電流経路の断面積の減少は、電気抵抗を著しく増加させる。より高い抵抗による、開示された例の別の重要な利点は、供給電流、したがってエミッタチップを動作温度（例えば、1800K）に加熱するための供給電力の対応する減少である。単一の折れ曲がったフィラメントのショットキー電子源は、電子顕微鏡の他のコンポーネントに比べて大きな電力を消費しないことができる一方、電子源のアレイを使用する大規模な産業システムは、大幅なエネルギー節約と隣接部品の動作温度の低下を、フォイル支持部と分割結晶脚を使用した開示例の低電力属性により実現することができる。いくつかの例では、結晶直径の減少によって提供される抵抗の増加、および抵抗のより高い結晶材料の選択によって、追加のエネルギー節約が得られる。たとえば、面積は直径の2乗に比例するため、直径が線形に変化すると、結晶脚の抵抗が急激に増加する。結晶径の例には、4ミル、3ミル、またはそれ以下など、5ミル未満を含めることができる。いくつかの例では、結晶の直径は、6ミル、8ミル、またはそれ以上など、5ミルより大きくすることができる。いくつかの例では、レニウムなど、タングステンよりも高い比抵抗を有する他の材料を使用することができる。

【0018】

図1B～1Cは、電気接点120a、120bに取り付けられた電子源アセンブリ100を示している。電気接点120a、120bは、典型的にはセラミックまたは別の絶縁体から作製されたベース122から延びる支柱の形態であり得る。フォイル支持体104a、104bは、接点120a、120bまで延びて、フォイルストリップの長さを規定

する。多くの例では、電気接点 120a、120b は、ベース 122 の中心とは反対側に半径方向に対称に配置され、その結果、エミッタアセンブリ 100 は、放出面 112 および電子源結晶 106 の長手方向広がり光軸 111 およびベース 122 の中心と整列された状態で設置することができる。代表的な例では、1 つ以上のジグを使用して、結晶をベース 122 の中心位置に配置することができる。電子源結晶 106 の整列位置は、典型的には、ベース 122 の中心から半径方向に 600 μm 未満ずれている。動作中、電源（図示せず）が接点 120a、120b に結合され、フォイル支持体 104a、104b、結晶脚 114a、114b、および結晶本体 107 を介して電流を形成する。

【0019】

上で論じたように、導電性のフォイル支持体 104a、104b を使用することにより、円筒形の折れ曲がったフィラメントを不要にすることができる。エミッタチップを 1800 K の動作温度に加熱するために、円筒形折れ曲がったフィラメントは、典型的には 2000 K 以上で動作する。フィラメントの温度が高いと、かなりの量の熱膨張も発生する。したがって、電気接点に対するフィラメントの配置、フィラメントに取り付けられた結晶の配置または配向、またはフィラメント自体のわずかな非対称性でさえ、X、Y および／または Z 方向にさまざまなシフトをもたらすことがあり、例えば、X および／または Y での 1 から約 10 μm 以上が Z 方向で約 40 μm までになり、または Z 方向に対する角度による。開示された例では、結晶 106 内で発生するジュール熱の一次量により、フォイル支持体 104a、104b は、電気接点 120a、120b の支柱に熱を伝導的に向けることによって発生される不要なエネルギーを除去することができる。ジュール熱は主に結晶 106 内で、結晶 106 内の温度がフォイル支持体 104a、104b の温度よりも高い配置を含むことができる。温度差の例には、50 K、100 K、200 K、400 K などが含まれる。フォイル支持体 104a、104b および結晶 106 の寸法もまた、電力および熱膨張を低減するように選択することができる。好ましくは、フォイル支持体 104a、104b は、動作中、1000 K 未満のままであり、電気接点 120a、120b の支柱は、他の温度も可能であるが、450 K から 700 K の範囲にある。

【0020】

したがって、フォイル支持体 104a、104b は、一般的に、実質的に低温のままであり、過熱された「A」字形の折れ曲がったフィラメントと比較して、熱膨張の対応の減少を伴う。さらなる例では、折れ曲がったフィラメントなどのフィラメントを保持し、アセンブリをミールリングまたは機械加工して、分割された結晶脚部分を形成し、フィラメントを分割して、フィラメントに対して結晶中に十分な電気抵抗を提供することができ、これによってジュール熱は主に結晶内で発生する。

【0021】

図 2 は、ショットキー電子源アセンブリなどの電子源アセンブリを製造する例示的な方法 200 を示している。202 において、電子源結晶の支持端部が導電性フォイルストリップに取り付けられ、エミッタアセンブリを形成する。たとえば、結晶は、溶接、接着剤、または別のプロセスを介して取り付けることができる。204 において、エミッタアセンブリの一部が、例えば、レーザーミールリングまたは FIB ミールリングによって除去され、結晶の支持端部に対向するいつ対の結晶脚部分を形成し、別個のフォイル支持体または他の導電性支持体を形成する。例えば、アセンブリは、電子源結晶のシャンク端部の一部をミールリングまたは機械加工により除去し、ギャップによって分離された対向する一対の結晶脚を形成することができる。ミールリングまたは機械加工は、フォイルストリップの厚さ全体にわたって行うことができ、ギャップを完全に形成することができる。除去は、典型的には、フォイルストリップの高さ全体にわたって継続され、ギャップを介して離間された別個の対向するフォイル支持体を形成し、その結果、支持体は、対向する結晶脚を介してギャップを横切って電氣的に接続される。いくつかの例では、追加の非導電性ベースをフォイルに取り付けて追加の構造的 support を提供することができ、電流経路が結晶脚を通るので、非導電性ベースを貫通するために材料を除去する必要はない。さらなる例では、フォイルストリップを通してミールリングしたり、フォイル支持体を形成したりすること

なく、結晶を保持し、対向する結晶脚部分を除去することができる。そのような例では、フォイル支持体または他の導電性支持体をその後に取り付けることができ、または分割された結晶を他の構造に固定することができる。

【0022】

いくつかの例では、電子源結晶を202でフォイルストリップに取り付ける前に、フォイルストリップを、206で、例えばスポット溶接によって、ベースから延びる支柱上の一对の電気接点に取り付けることができる。電子源結晶をフォイルストリップに取り付ける前にフォイルストリップを接点に取り付けることにより、ストリップおよびエミッタアセンブリの取り外し後の位置決めおよび位置合わせに関連する結晶への追加の折曲および他の応力を回避することができる。さらに、電子源結晶はまだフォイルストリップに取り付けられていないので、フォイルストリップを接点に取り付ける際のフォイルストリップの位置合わせの精度が、フォイルストリップが折れ曲がったワイヤフィラメントに関連する折曲または頂点を欠くことがあるため、低くなる可能性がある。

【0023】

電子源結晶を202で導電性フォイルストリップに取り付けることを進める前に、電子源結晶を、ベースの中心位置と一致するフォイルストリップの中心位置に注意深く位置合わせすることができる。例えば、様々なジグを結晶および／またはベースおよび接点に使用して、202で取り付け前に結晶を整列位置にもたすことができる。フォイルストリップが取り付けられた後に結晶を取り付け、フィラメントの使用を回避することにより、ベースに対するフィラメント頂点の位置合わせや、フィラメント頂点に対する結晶の位置合わせなどの、折れ曲がったワイヤフィラメントに関連する追加のステップを回避することができる。その結果、より正確に中央に配置されるようになる。いくつかの例では、208において、電子源結晶を中央に整列された位置に配置するために、フォイルストリップ上に位置を描写することができる。例えば、十字線、線、または他の光学的形状などの光学的位置合わせ目印を、例えば、LEDまたはレーザーを用いてフォイルストリップ上に投影することができ、結晶を、202で取り付け前に、位置合わせ目印に対して位置決めすることができる。いくつかの例では、目印は、永久的なマーク、ノッチ、溝などであり得る。位置が描写された状態で、結晶を、202でフォイルに取り付けることができる。

【0024】

図3は、電子源アセンブリ304として本明細書に記載のフィラメントレスタイプの配置のいずれかを含むことができる電子エミッタ源302を含む電子粒子集束システム300である。電子エミッタ源302は、典型的には、電子源アセンブリ304に結合された電源およびコントローラ306を含み、フォイル脚を支持するのではなく、主に結晶内で結晶を加熱するための電流を提供する。典型的な例では、電源およびコントローラ306はまた、カソード308およびアノード310に結合することができ、アセンブリ304の電子エミッタ源結晶先端から電界放出を増加させるための電位を提供する。次に、電子エミッタ源302によって発生された電子ビームは、粒子集束カラム312を通して、サンプルチャンバ316内に配置されたサンプル314に向けられる。いくつかの例では、システム300は、サンプル314に向けられたイオンのための集束イオンビームカラム318を含むことができる。システム300の例には、透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、走査型透過型電子顕微鏡などが含まれ得る。さらなる例には、臨界寸法分析システム(CD-SEMなど)、欠陥レビューシステム、リソグラフィシステムなどが含まれ得る。

【0025】

図4は、それぞれのフォイル支持体406a、406bに固定されたそれぞれの部分を有する2つの脚部404a、404bを有する電子源結晶402を含む例示的な電子源アセンブリ400である。ジルコニウムなどの結晶リザーバ408は、エミッタチップ410に隣接する結晶402上に配置される。脚の間のギャップ412は、少なくとも部分的に酸化ジルコニウムリザーバ408を通して延びる。

【0026】

図5は、それぞれのフォイル支持体506a、506bに取り付けられた2つの結晶脚504a、504bを有する電子源結晶502を含む例示的な電子源アセンブリ500である。フォイル支持体506a、506bは、ベース510に固定されているそれぞれの電気接点支柱508a、508bに取り付けられている。フォイル支持体506a、506bは、結晶502およびフォイルストリップを通して機械加工することによってフォイルストリップから形成することができ、同じプロセスを通じて脚504a、504bを形成する。フォイルストリップは、非長方形の形状を含むことができる。フォイルストリップは、結晶502が機械加工の前に固定されるプラットフォーム区分512、および電気接点支柱508a、508bに固定することができる対向する脚部材514a、514bを含むことができる。

10

【0027】

図は、抵抗 R_1 を有する電子源結晶602と、 R_1 も低い抵抗であるそれぞれの抵抗 R_2 、 R_3 を有する導電性支持体604、606を含む例示的な電子源アセンブリ600である。代表的な例では、電子源結晶602は、結晶602の温度に関連して電子を放出する。エネルギー源608は、導電性支持体604、606の接点610、612に結合されている。結晶602の温度を上昇させるために発生される熱は、 R_2 、 R_3 のより小さな抵抗と比較して、結晶602およびそのより大きな抵抗 R_1 を流れる電流によって主に結晶602内で形成される。

【0028】

20

図7は、FIBミーリングによって切断され、対向するフィラメント支持体704a、704bを形成したフィラメント702を含む電子源アセンブリ700の例である。アセンブリ700は、ギャップ710を形成するためにFIBミーリングによって切断されたそれぞれの脚部分708a、708bを含む電子源結晶706を含む。電流は結晶706を通して流れるように強制されるので、熱は主に結晶706内で発生され、エミッタ先端712から放出するための結晶温度を、フィラメント702内で抵抗的に形成される熱の熱伝導によらずに、上昇させる。図8は、切断されたフィラメント頂点および切断された結晶シャンクを備えた、フィラメントに取り付けられた例示的な電子源結晶の顕微鏡画像である。

【0029】

30

上記の他の例と同様に、エミッタのシャンクを分割し、電流をシャンクに流すことにより、加熱力を結晶706内に、例えば、先端712の近くに局在化させることができ、これにより、支持ヘアピンフィラメント702に、結晶706を通る直列電気経路を含まない典型的なエミッタと比較して、およそ200Kだけ低温を引き起こすことができる。特定の例では、結晶706の分割シャンク構成を含めることは、温度が低下するためフィラメント702からの放出を少なくして、より効率的にすることができる。総加熱力が低下するため、サプレッサやアルミナベースの加熱も低減することができる。加熱が減少すると、周囲のすべてのエミッタ要素への廃熱伝達が減少し、動作温度とガス放出率が減少するため、電子源の真空環境が向上する。

【0030】

40

フォイルストリップ、フィラメントワイヤ、およびその他の関連するサポートのさまざまな形状をさまざまな例で使うことができる。いくつかの例では、電気接点に固定するため、または結晶支持端部または結晶脚を固定するための位置合わせを指示するために、ノッチまたは他のマーキングを提示することができる。動作中、フォイル支持体は一般的に、熱膨張が減衰するかまたは最小限の効果を有するように、電子源結晶よりも低い温度に加熱される。いくつかの例では、フォイルストリップは、例えば、結晶位置に対応する頂点を有する三角形であり得る。加熱が減少するため、大きな三角形の構造からの熱膨張でも、フォイルの断面およびその他の特性が主に結晶で発生する加熱につながる場合、一般的にXまたはYではなくZ方向の熱膨張になる。接触から接触へ直接延びるように構成された長方形のストリップは、通常、他の形状よりも最小のZ方向の熱膨張をもたらす

50

、A字形フィラメントタイプのエミッタと比較して実質的に膨張が少なくなる。開示された例の別の利点は、XおよびYシフトの減少がZ方向の拡張の減少を伴うことである。

【0031】

一般的な考慮事項

本出願および特許請求の範囲において使用される、「a」、「an」、および「the」という単数形は、文脈上他に明確に指示されない限り、複数形も含む。加えて、「含む」という用語は、「備える」を意味する。さらに、「結合された」という用語は、結合された項目間の中間要素の存在を排除するものではない。

【0032】

本明細書に記載のシステム、装置、および方法は、多少なりとも制限的なものとして解釈されるべきではない。代わりに、本開示は、単独で、ならびに相互の様々な組み合わせおよび部分的な組み合わせにおいて、様々な開示された実施形態のすべての新規かつ非自明な特徴および態様を対象とする。開示されたシステム、方法、および装置は、任意の特定の態様もしくは特徴またはそれらの組み合わせに限定されるものではなく、開示されたシステム、方法、および装置は、任意の1つ以上の特定の利点が存在すべきである、または問題が解決されるべきであることも必要としない。いずれの動作理論も説明を容易にするためであるが、開示されたシステム、方法、および装置は、そのような動作理論に限定されない。

【0033】

開示された方法のいくつかの動作は、便宜的な提示のため、特定の順番で記載されているが、以下に記載される具体的な用語によって特定の順序が要求されない限り、この説明様式が並び替えを包含することを理解されたい。例えば、順次記載される動作は、場合によっては、並び替えられ得るか、または同時に実行され得る。さらに、単純化のために、添付の図は、開示されたシステム、方法、および装置を、他のシステム、方法、および装置とともに使用することができる様々な方式を示していない場合がある。追加的に、本明細書は、時に、開示された方法を説明するために、「生成する」および「提供する」のような用語を使用する。これらの用語は、実施される実際の動作の高レベルの抽象化である。これらの用語に対応する実際の動作は、特定の実施態様に応じて、様々であり、当業者には容易に認識可能である。

【0034】

いくつかの例では、値、手順、または装置は、「最低」、「最良」、「最小」などと称される。そのような記載は、多くの使用される機能的選択肢からの選択が可能であることを示すことを意図しており、そのような選択は、他の選択よりも優れている、小さい、または他の点で望ましい必要はないことが理解されよう。

【0035】

開示された技術の原理が適用され得る多数の可能な実施形態の観点では、図示された実施形態は単なる代表例であり、本開示の範囲を限定するものとして解釈するべきではないと認識すべきである。これらの節で具体的に挙げられた代替案は単なる例示であり、本明細書に記載された実施形態に対するすべての可能な代替案を構成するものではない。例えば、本明細書で記載されたシステムの様々な構成要素は、機能および使用において組み合わされてもよい。したがって、我々は、添付の特許請求の範囲の範囲に入るすべてを請求する。

10

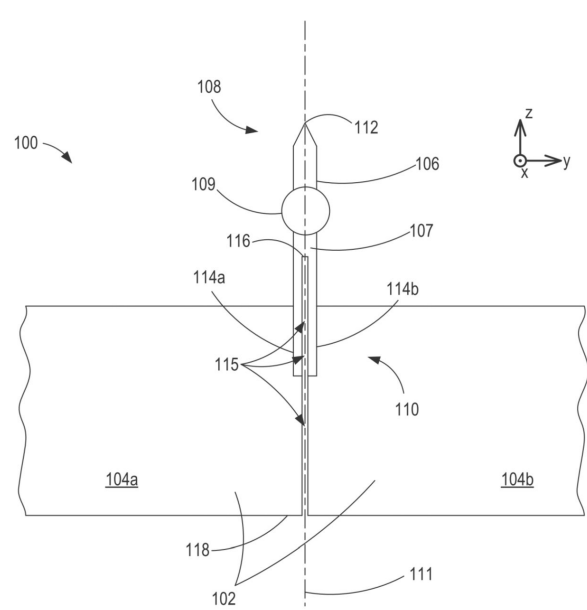
20

30

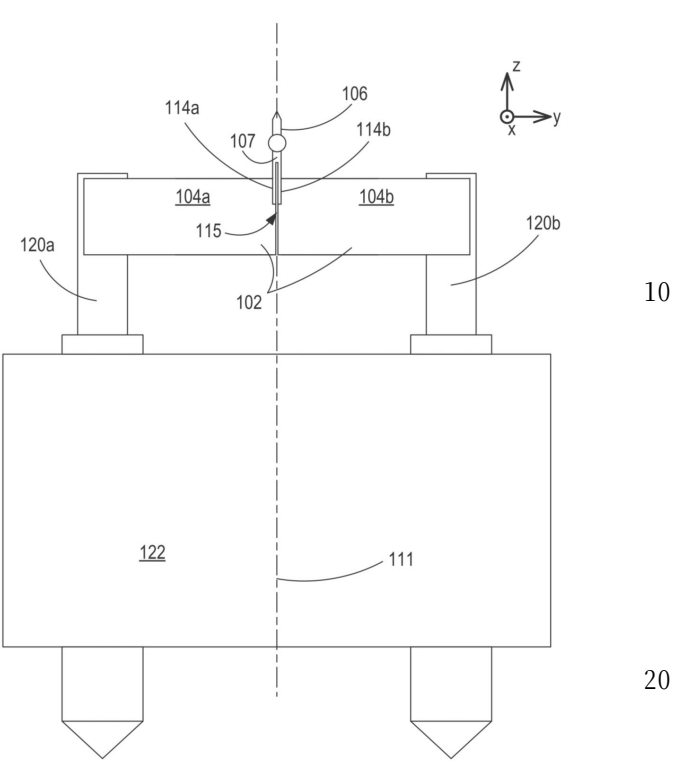
40

50

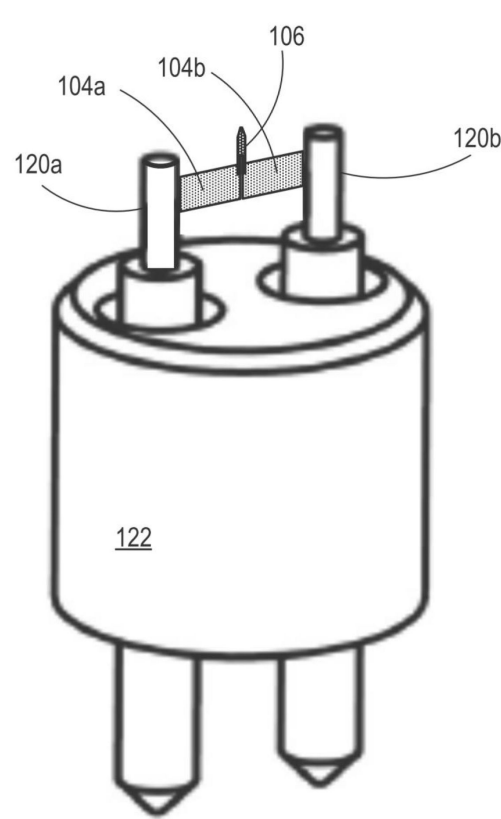
【図面】
【図 1 A】



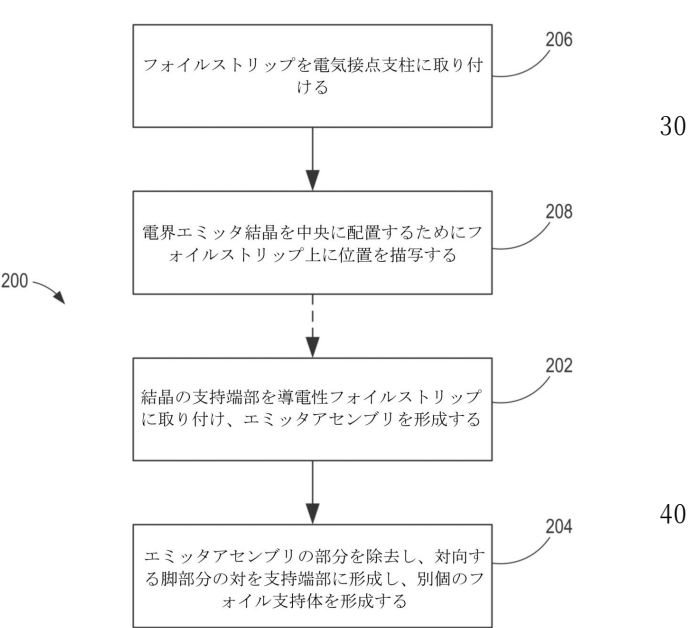
【図 1 B】



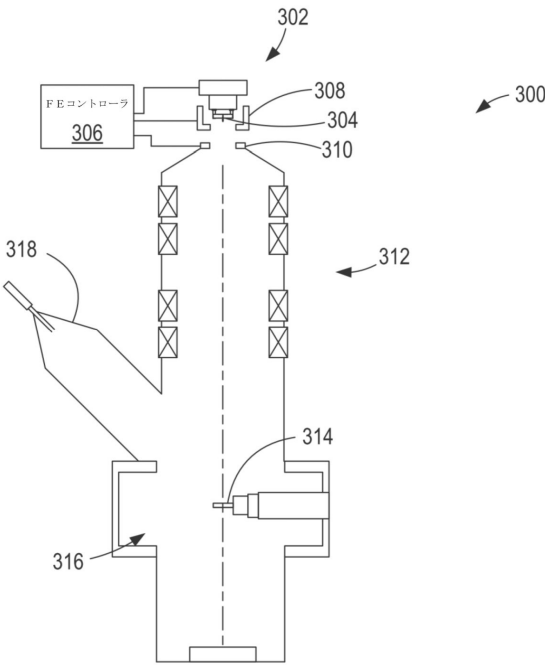
【図 1 C】



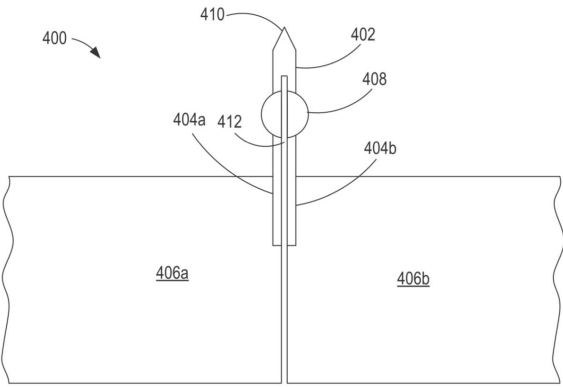
【図 2】



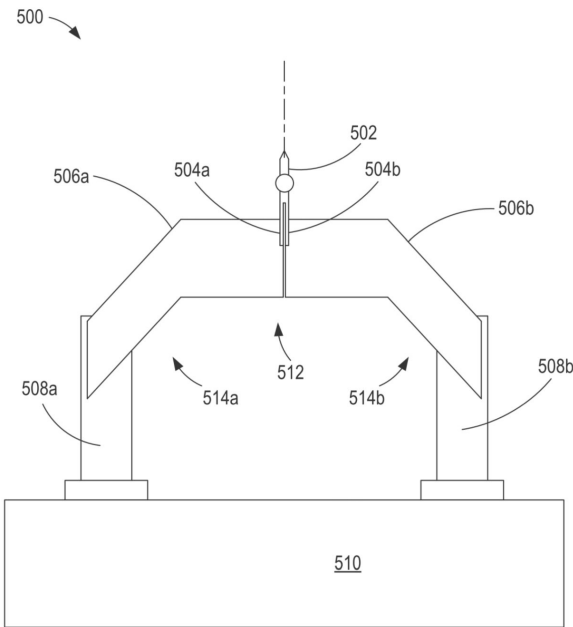
【図 3】



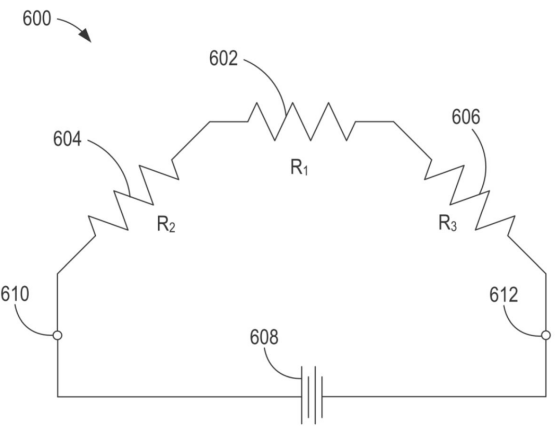
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

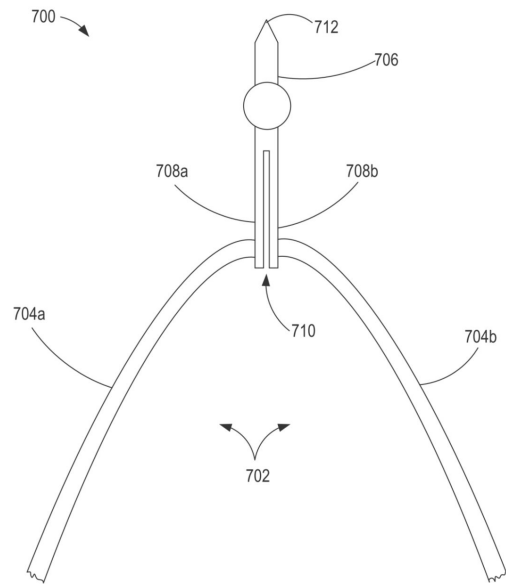
20

30

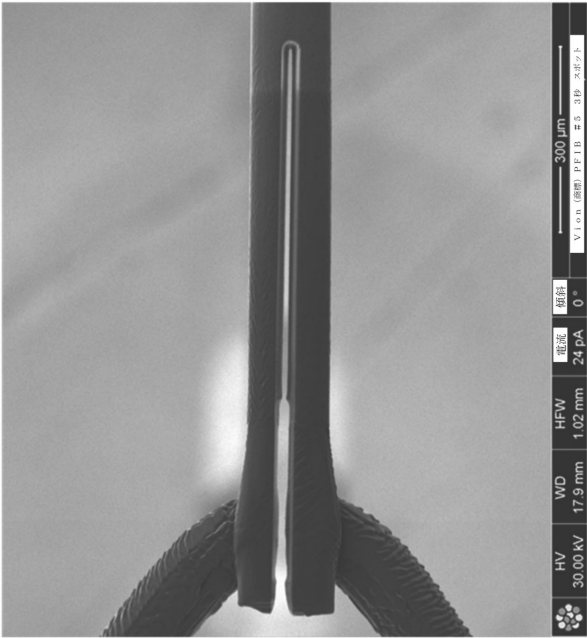
40

50

【図 7】



【図 8】



10

20

30

40

50

【外国語明細書】
2023051785000012.pdf

フロントページの続き

ト・ドーソン・クリーク・ドライブ 5 3 5 0 エフイーアイカンパニー内
(72)発明者 アーロン トロク
アメリカ合衆国 9 7 1 2 4－5 7 9 3 オレゴン州, ヒルズボロ ノースイースト・ドーソン・ク
リーク・ドライブ 5 3 5 0 エフイーアイカンパニー内
(72)発明者 ケヴィン カガリス
アメリカ合衆国 9 7 1 2 4－5 7 9 3 オレゴン州, ヒルズボロ ノースイースト・ドーソン・ク
リーク・ドライブ 5 3 5 0 エフイーアイカンパニー内
F ターム (参考) 5C101 AA02 DD07 DD13 DD16 LL04