(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
2021年7月1日(01.07.2021)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2021/130837 A1

(51) 国際特許分類:
H01J 37/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/050481

(22) 国際出願日： 2019年12月24日(24.12.2019)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテク (**HITACHI HIGH-TECH CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目１７番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 楠　敏明 (**KUSUNOKI Toshiaki**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 橋詰 富博(**HASHIZUME Tomihiro**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 荒井 紀明(**ARAI Noriaki**); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 糟谷 圭吾(**KASUYA Keigo**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

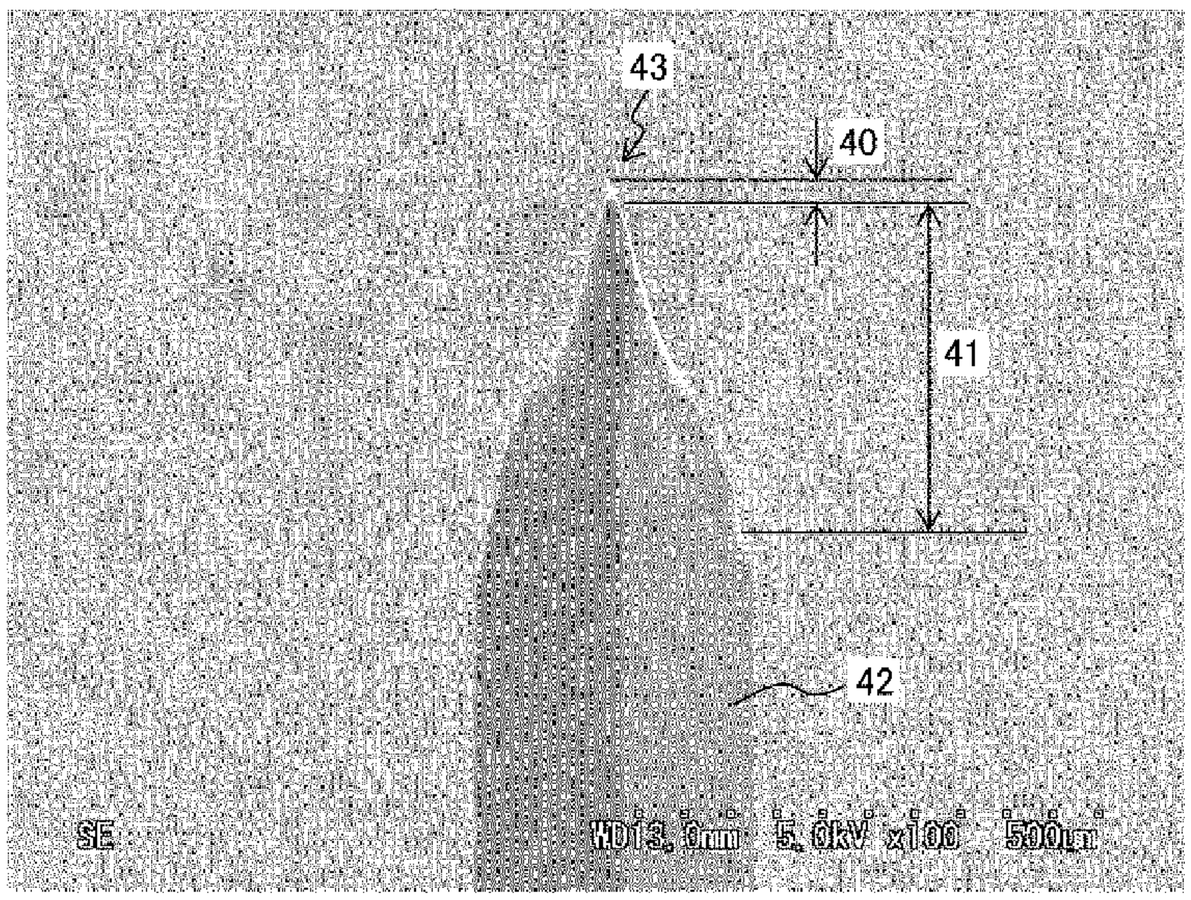
(74) 代理人: ポレール特許業務法人(**POLAIRE I.P.C.**); 3-5, Nihonbashihongokucho 3-chome, Chuo-ku, Tokyo 1030021 東京都中央区日本橋本石町三丁目３番５号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: ELECTRON SOURCE, ELECTRON BEAM DEVICE, AND METHOD FOR MANUFACTURING ELECTRON SOURCE

(54) 発明の名称： 電子源、電子線装置および電子源の製造方法

図 3



(57) Abstract: In a thermal field emission electron source or a Schottky emission electron source using a hexaboride single crystal according to the present invention, side emission from parts other than an electron emission part is reduced. An electron source according to the present invention is characterized by being provided with: a projection part (40) that emits electrons when an electrical field is generated; a shank (41) that supports the projection part (40) and has a diameter decreasing toward the projection part (40); and a trunk part (42) that supports the shank (41). The projection part (40), the shank (41), and the trunk (42) each comprise a hexaboride single crystal, and parts of the shank (41) and the trunk (42)

［続葉有］

WO 2021/130837 A1

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

excluding the projection part (40) are covered with materials higher in work function than the hexaboride single crystal.

(57) 要約:六ホウ化物単結晶を用いたショットキー放出電子源または熱電界放出電子源において、電子放出部以外からのサイドエミッションを低減する。 本発明の電子源は、電界が生じた時に電子を放出する突出部(４０)と、突出部(４０)を支持し、突出部(４０)に向かって縮径されたシャンク(４１)と、シャンク(４１)を支持する胴部(４２)と、を備え、突出部(４０)、シャンク(４１)および胴部(４２)は六ホウ化物単結晶からなり、突出部(４０)を除いたシャンク(４１)および胴部(４２)の一部が、六ホウ化物単結晶よりも仕事関数が高い材料で被覆されていることを特徴とする。

明　細　書

発明の名称 ： 電子源、電子線装置および電子源の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、電子源、電子線装置および電子源の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 電子顕微鏡は光学限界を超えた空間分解能をもち、ｎｍからｐｍオーダの微細構造の観察と組成の分析ができる。このため、材料や物理学、医学、生物学、電気、機械などの工学分野で広く利用されている。電子顕微鏡のなかでも、簡便に試料表面の観察を行える装置として走査型電子顕微鏡（Ｓｃａｎｎｉｎｇ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ：　ＳＥＭ）がある。

[0003] 電子顕微鏡などの電子線装置に用いられる電子源として、熱電子源（Ｔｈｅｒｍａｌ　Ｅｍｉｔｔｅｒ：ＴＥ）、電界放出電子源（Ｆｉｅｌｄ　Ｅｍｉｔｔｅｒ：ＦＥ）、ショットキー放出電子源（Ｓｃｈｏｔｔｋｙ　Ｅｍｉｔｔｅｒ：　ＳＥ）がある。図１に熱電子源、電界放出電子源およびショットキー放出電子源の動作原理を示すエネルギーダイアグラムを示す。図１（ａ）に示す熱電子源（ＴＥ）は、ヘアピン状に加工されたタングステン（Ｗ）のフィラメントを２５００℃程度に加熱し、Ｗの固体内で熱励起された電子をＷの仕事関数Φ（４．３ｅＶ）のエネルギー障壁を越えさせることにより電子ｅを真空中に取り出す。電子源が常時加熱されているため、ガス吸着などによる電子源表面の汚染がなく、電流変動が少ない安定した電子線を取り出せる。その半面、電子源が非常に高温に加熱されているため放出電子のエネルギー半値全幅ΔE_{TE}は３～４ｅＶと広く、また加熱された部分全体から電子が放出されるため電子放出面積が広く、光源サイズが大きいため輝度Ｂ（単位面積、単位立体角当たりの放出電流量）は10^5Ａ／ｃｍ^{2}ｓｒ程度と低い。そのため、仕事関数Φが２．６ｅＶとＷより低いLaB_6などの六ホウ化物の熱電子源も用いられている。LaB_6熱電子源は仕事関数Φが低いた

め動作温度を１４００～１６００℃程度まで低減でき、エネルギー半値全幅ΔE_{TE}を２～３ｅＶに抑制でき、輝度Ｂも10^6Ａ／ｃｍ^{2}ｓｒ程度に上げることが可能である。

[0004] 上述したように、熱電子源は、エネルギー半値全幅ΔE_{TE}が大きく、電子顕微鏡の対物レンズなどの電子光学系の色収差が大きくなるため低空間分解能だが、取り扱いが容易で安価な簡易型の走査電子顕微鏡用（ＳＥＭ）の電子源や、加速電圧が高く色収差の影響の少ない透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ：Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ）などに用いられる。

[0005] 図１（ｂ）に示す電界放出電子源（ＦＥ）は、単色性がよく高輝度の電子ビームを放出ができるため、電子光学系の色収差を低減でき、高空間分解能の走査型電子顕微鏡用の電子源として使用されている。通常は室温で用いる冷電界放出電子源（ＣＦＥ：Ｃｏｌｄ Ｆｉｅｌｄ Ｅｍｉｔｔｅｒ）として用いられるが、ガス吸着などの抑制のため数１００℃程度に加熱して用いる熱電界放出電子源（ＴＦＥ：Ｔｈｅｒｍａｌ Ｆｉｅｌｄ Ｅｍｉｔｔｅｒ）もある。冷電界放出電子源（ＣＦＥ）には先端を尖らせたタングステン（Ｗ）チップが広く用いられている。外部電界ＦをＷチップ先端に集中させることにより、Ｗチップ内の電子ｅをエネルギー障壁を実効的に薄くすることにより量子力学的なトンネル現象にて透過させて真空中に放出させる。室温で動作できるため、引き出される電子ｅのエネルギー半値全幅ΔE_{FE}は０．３ｅＶ程度と狭く、また非常に尖ったチップ先端の狭い電子放出面積から電子を放出するため、光源サイズが小さく、輝度が10^8Ａ／ｃｍ^{2}ｓｒと高い特徴を有する。電界放出電子源でもさらにエネルギー半値全幅ΔE_{FE}を狭くし、輝度Ｂを上げるため、仕事関数Φが低いLaB_6などの六ホウ化物のナノワイヤを用いた冷電界放出電子源も提案されている（例えば、特許文献１）。Ｗに比べ仕事関数障壁が低く、より低電界でフェルミ面近傍のトンネル確率を大きくできるためエネルギー半値全幅ΔE_{FE}をさらに低減することが可能である。

[0006] 一方、半導体デバイスの寸法計測などを行う測長走査電子顕微鏡では、酸化ジルコニウム（ＺｒＯ$_2$）をWチップに塗布しＷ（１００）結晶面に熱拡散させたＺｒＯ／Wのショットキー放出電子源（ＳＥ）が用いられる。ＺｒＯ／Wショットキー放出電子源は常時１４００～１５００℃程度に加熱されており、Wチップ先端に熱拡散したＺｒＯがWチップの（１００）面の仕事関数Φを２．８ｅＶ程度に下げるとともに、チップ先端に印加された外部電界Ｆと鏡像ポテンシャルによるショットキー効果により引き下げられた仕事関数Φのエネルギー障壁を越して熱電子が放出されるものである。ショットキー放出電子源は電界放出電子源より大電流密度を安定に取り出せるが、動作温度が高いためエネルギー半値全幅ΔE_{SE}は０．６～１ｅＶ程度と大きくなる。

[0007] 発明者らは、これまでにフローティングゾーン法などで作製したＣｅＢ$_6$などの六ホウ化物単結晶を用い、その先端を電解研磨、集束イオンビーム加工（Ｆｏｃｕｓｅｄ　Ｉｏｎ　Ｂｅａｍ、ＦＩＢ）、電界蒸発などを駆使して先端の曲率半径を５０～１５０ｎｍまたは３００～５００ｎｍ程度に加工し、さらに真空中で１０００℃から１４００℃で５秒から１０分間程度のフラッシングやアニーリングなどの加熱処理を行うことで仕事関数の低いＣｅＢ$_6$の（３１０）結晶面を形成し、室温で電界放出させる冷電界放出電子源（ＣＦＥ）を開発し開示してきた（特許文献２）。この電界放出電子源は従来のWチップの電界放出電子源に比べて単色性がよく、Wと比較して同一放射角電流密度でのエネルギー半値全幅ΔE_{FE}は０．０８ｅＶから０．１４ｅＶ狭い。またトータル電流Ｉｔに対す放射角電流密度ＪΩ（μＡ／ｓｒ）の比ＪΩ／Ｉｔが６倍以上と放射角電流密度が高く、チップの先端曲率半径も小さいため光源径が小さく高輝度な電界放出電子源を実現できる。この発明により、特に低加速電圧での走査電子顕微鏡の色収差を改善でき、試料の極表面の観察や、炭素系化合物などの軽元素物質の観察の高空間分解能化が可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：国際公開第２０１４／００７１２１号

特許文献2：国際公開第２０１８／０７００１号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ＣｅＢ$_6$などの六ホウ化物単結晶を用いた電界放出電子源は、高輝度で放出電子の単色性がよく対物レンズなどの電子光学系の色収差を低減できるため、高空間分解能の走査電子顕微鏡に適するが、Ｗなどの電界放出電子源に比べ仕事関数が低いため、相対的にガス吸着による仕事関数変動により敏感になり、放出電流の安定性に劣ることが課題である。

[0010] そこで、ＣｅＢ$_6$などの六ホウ化物単結晶を用いた電界放出電子源を加熱し、ガス吸着を抑制した熱電界放出電子源（ＴＦＥ）や、さらに高温に加熱したショットキー電子源（ＳＥ）として用いることが考えられる。しかしながら、ＣｅＢ$_6$などの六ホウ化物単結晶は、チップ先端だけでなく、チップ全体の仕事関数が低いため、加熱するとチップの側壁などから不要な電子放出（サイドエミッション）が多く発生する課題がある。不要なサイドエミッションは、放射角電流密度ＪΩあたりのトータル電流Ｉｔを増やしてしまうため、引き出し電極に印加する高電圧電源により大きな電流容量が必要となり装置コストの上昇を招く。また、引き出し電極で発生する電子衝撃脱離ガスが増えるため真空度が低下して、チップへのガス吸着量が増えて電子源の電流安定化を阻害したり、場合によってはチップの放電破壊などの不良発生要因になったりする。さらにエネルギーや放出方向が不揃いな電子がチップ先端から放出され、メインビームに混入して電子顕微鏡の画像のノイズやフレアになり、像質を低下させるため好ましくない。

[0011] サイドエミッションを減らすにはＺｒＯ／Ｗショットキー電子源などと同様に、チップ側壁に対して負電界を与えるサプレッサ電極を用いて不要なサイドエミッションを減らす方法が考えられるが、電子源の電極構造が複雑になり、サプレッサ用の電源も新たに必要となるなどコスト高になる課題があ

る。

[0012] 本発明は、上記事情に鑑み、六ホウ化物単結晶を用いた電界放出電子源またはショットキー放出電子源において、サイドエミッションの発生を防止する電子源、電子線装置および電子源の製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 上記目的を達成するための本発明の一態様は、電界が生じた時に電子を放出する突出部と、突出部を支持し、突出部に向かって縮径されたシャンクと、シャンクを支持する胴部と、を備え、突出部、シャンクおよび胴部は六ホウ化物単結晶からなり、突出部を除いたシャンクおよび胴部の一部が、六ホウ化物単結晶よりも仕事関数が高い材料で被覆されていることを特徴とする電子源である。

[0014] また、上記目的を達成するための本発明の他の態様は、電子源と、試料を載置する試料台と、電子源から電子を引き出す引き出し電極および加速電極を有する電子銃光学系と、放出された電子を試料台の上の試料に集束し照射する電子光学系と、を有し、電子源は、上述した本発明の電子源であることを特徴とする電子線装置である。

[0015] また、上記目的を達成するための本発明の他の態様は、電界が生じた時に電子を放出する突出部と、突出部を支持し、突出部に向かって縮径されたシャンクと、シャンクを支持する胴部と、を備え、突出部、シャンクおよび胴部が六ホウ化物単結晶からなるチップ基材を準備する工程と、チップの突出部にマスクを形成する工程と、チップに六ホウ化物単結晶より仕事関数が大きい材料を成膜する工程と、マスクを除去して前記突出部を露出させる工程と、を有することを特徴とする電子源の製造方法である。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、六ホウ化物単結晶を用いた電界放出電子源またはショットキー放出電子源において、サイドエミッションの発生を防止する電子源、電子線装置および電子源の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]熱電子源、電界放出電子源およびショットキー放出電子源の動作原理を示すエネルギーダイアグラム

[図2]本発明の電子線装置の一例を示す模式図

[図3]図２の電子源の先端部分を拡大するＳＥＭ観察写真

[図4]CeB_6の単位格子を示す模式図

[図5]CeB_6単結晶のチップ先端の電界強度Ｆ（Ｖ／ｍ）と電子放出のトータル電流Ｉｔ（Ａ）の関係を示すグラフ

[図6]CeB_6単結晶のチップの先端の曲率半径Ｒ（μｍ）とチップ先端の電界強度Ｆ（Ｖ／ｍ）の関係を示すグラフ

[図7]突出部の長さＬを（ａ）１μｍ、（ｂ）５μｍ、（ｃ）２０μｍ、（ｄ）５０μｍとした際のチップ先端付近の電界強度分布を示すグラフ

[図8]チップ先端の突出部の長さＬと電界強度Ｆ（Ｖ／ｍ）の関係を示すグラフ

[図9]突出部の長さＬが５μｍ、２０μｍ、５０μｍ、１００μｍのチップを１３５０℃で動作させた場合の放出電流の熱電子放出成分（ＴＥ）、ショットキー放出成分（ＳＥ）、熱電界放出成分（ＴＦＥ）の電界強度依存性

[図10]突出部の長さＬが５μｍ、２０μｍ、５０μｍ、１００μｍのチップを１３５０℃で動作させた場合の放出電流密度の熱電子放出成分（ＴＥ）、ショットキー放出成分（ＳＥ）、熱電界放出成分（ＴＦＥ）の電界強度依存性

[図11]六ホウ化物単結晶を示す模式図

[図12]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図13]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図14]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図15]六ホウ化物チップ４と金属管１２の接合体の模式図

[図16]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図17]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図18]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図19]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図20]六ホウ化物単結晶のチップの製造方法を示す模式図

[図21]六ホウ化物単結晶のチップの先端のＳＥＭ観察写真

[図22]六ホウ化物単結晶のチップの先端のＳＥＭ観察写真

[図23]六ホウ化物単結晶のチップの先端のＳＥＭ観察写真

[図24]六ホウ化物単結晶のチップの先端にコーティング膜を形成する方法を示す模式図

[図25]六ホウ化物単結晶のチップの先端のＳＥＭ観察写真

発明を実施するための形態

[0018] 本発明者が鋭意検討した結果、これまで冷電界放出電子源（ＣＦＥ）用に開発したCeB_6などの六ホウ化物単結晶からなるチップの電子放出部を除いた部分を、六ホウ化物単結晶より仕事関数が高い材料でコーティングし、加熱しながら高電界を印加して電子をショットキー放出させる、または熱電界放出させることにより、高輝度で電流安定が高く単色性のよい電子放出が得られることを見出した。この電子源を電子線装置に適応することにより、高空間分解能の表面観察ができる走査電子顕微鏡などの電子線装置を実現できることが分かった。本発明は、該知見に基づくものである。

[0019] 以下、本発明について、実施例により図面を参照して説明する。電子線装置の実施例では走査電子顕微鏡（ＳＥＭ）を例に説明するが、本発明はこれに限らず透過電子顕微鏡（Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ，ＴＥＭ）や走査透過電子顕微鏡（Ｓｃａｎｎｉｎｇ Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ，ＳＴＥＭ）、電子ビーム露光装置、電子ビーム式３Ｄプリンタなどを含む電子線装置に適用することができる。なお、以下の図面では、発明の構成を分かりやすくするために、各構成の縮尺を適宜変更している。結晶面の表記はミラー指数に則り、面の指定は（　）で、結晶軸は［　］で示す。

[0020] ［電子源および電子線装置］

図２は本発明の電子線装置の一例を示す模式図であり、図３は図２の電子

源の先端部分を拡大するＳＥＭ観察写真である。図２に示すように、本実施形態の電子線装置２００は、大きく分けて、電子を放出し、電子ビーム１０６を生成する電子源（電子銃）１２０と、電子源１２０から生成された電子ビーム１０６を試料１１５に収束して照射する電子光学系１３０とを備える。

[0021] 電子源１２０は、電子を放出する電子源（エミッタ）１００と、引き出し電極１０５と、加速電極１０８を有する。電子源１００は、コンピューター１０１と制御器１０２により制御された加熱電源１０３により一定電流を流して常時加熱されるよう制御されている。引き出し電極１０５は、引き出し電源１０４により電子源１００のチップ先端（図示せず）に対して正電圧を印加して、ショットキー効果または熱電界放出効果により電子を放出させる。放出された電子ビーム１０６は、チップに電位を与える加速電源１０７で印加された負の高電圧により接地された加速電極（陽極）１０８に向かって加速される。

[0022] 電子光学系１３０は、第１コンデンサレンズ１０９、絞り１１０、第２コンデンサレンズ１１１、対物レンズ１１２、非点補正コイル１１３および偏向走査コイル１１４を有する。加速電極１０８によって加速された電子ビーム１０６は、第１コンデンサレンズ１０９、絞り１１０、第２コンデンサレンズ１１１、対物レンズ１１２、非点補正コイル１１３で集束され、偏向走査コイル１１４で走査されて試料１１５上の観察領域に照射され、発生した二次電子が二次電子検出器１１６で検出される。

[0023] 検出器は図示した位置以外に対物レンズと試料間に配置してもよく、装置の運転条件によって切り替えて使用することができる。検出器は２次電子検出器以外を図示していないが、他に反射電子検出器や元素分析器なども利用される。

[0024] 図３に示すように、電子源１００は、六ホウ化物単結晶からなるチップ４３を有する。チップ４３の先端は、電子を放出する突出部（電子放出部）４０と、突出部４０を支持し、突出部に向かって縮径されたシャンク４１と、

シャンク４１を支持する胴部４２を有する。そして、チップ４３の突出部４０を除いた部分で、シャンク４１および胴部４２の一部が、六ホウ化物単結晶よりも仕事関数が高い材料で被覆されている。六ホウ化物としては、例えばCeB_6が好ましい。六ホウ化物単結晶よりも仕事関数が高い材料としては、カーボンが好ましい。チップ４３の突出部４０を除いた部分で、シャンクおよび胴部４２の一部を六ホウ化物単結晶よりも仕事関数が高い材料で被覆することで、サイドエミッションを防止し、高輝度で電流安定が高く単色性のよい電子放出を得られる。

[0025] CeB_6ショットキー放出電子源またはCeB_6熱電界放出電子源１００から放出された電子は、エネルギー半値全幅が狭く単色性がよいため、対物レンズ１１２等での色収差が低減され、より絞られた電子ビーム１０６を試料１１５に照射することができ、高分解の走査電子顕微鏡画像を得ることができる。また放射角電流密度が高いため、撮像時間を短く、元素分析などの分析時間も短縮することが可能である。さらに放出電流の長期安定性が高いため、半導体工場での半導体デバイスの測長など量産工場などで使用される電子顕微鏡の適用にも適する。

[0026] 図４はCeB_6の単位格子を示す模式図である。図４に示すように、CeB_6は、Ｃｅ原子１の単純立方格子の体心に６個のホウ素原子２のブロックが位置した結晶構造をしている。CeB_6の仕事関数は２．６ｅＶ程度であり、Ｗの４．３ｅＶ程度に比べ格段に低く、またＣｅはフェルミ準位直下に、エネルギー局在性が強く状態密度の高いｆ電子が存在し、電界放出で仕事関数障壁を透過する電子や、加熱によって励起される電子の密度が高く、大電流密度の電界放出電子源またはショットキー放出電子源を作製する材料として適している。六ホウ化物としては、CeB_6の他、LaB_6などが好ましい。

[0027] 次に、CeB_6などの六ホウ化物単結晶を用いた高輝度な熱電界放出電子源またはショットキー放出電子源として動作させるためのチップ先端の曲率半径Ｒ、カーボン膜がコーティングされないチップ先端およびシャンクの一部からなる突出部の長さＬの好ましい値について説明する。図５はCeB_6を用

いた六ホウ化物単結晶のチップ先端の電界強度Ｆ（Ｖ／ｍ）と電子放出のトータル電流Ｉｔ（μＡ）の関係を示すグラフである。図５に示すように、チップの加熱温度が５００～９００℃と比較的低温の場合は、熱電界放出電子源となり、電子顕微鏡に必要な電流（トータル電流で１０μＡ程度）を得るには、１．５×１０^{9}Ｖ／ｍ以上の電界強度が必要である。加熱温度を９５０～１３５０℃に上げると、ショットキー放出電子が主となるが、その際も１．０×１０^{9}Ｖ／ｍ以上の電界強度が必要である。このような高い電界強度を得るには、六ホウ化物単結晶のチップ先端の曲率半径を小さくし、電界を集中させる必要がある。

[0028] 図６はＣｅＢ$_{6}$単結晶を用いたチップの先端曲率半径Ｒ（μｍ）とチップ先端の電界強度Ｆ（Ｖ／ｍ）の関係を示すグラフである。図６では、電子顕微鏡の引き出し電圧Ｖ１の関数として示している。電子顕微鏡の引き出し電圧Ｖ１は、高圧電源のコストや制御性、放電によるチップの破損リスクを勘案し、通常Ｖ１＝２～５ｋＶ程度で用いられる。そのＶ１の制御範囲内でチップ先端にショットキー放出に必要な１×１０^{9}Ｖ／ｍの電界強度を印加するには、チップ先端の曲率半径を少なくとも１．２μｍ以下、Ｖ１の制御範囲全体で制御可能とするには０．８μｍ以下とする必要がある。熱電界放出に必要な１．５×１０^{9}Ｖ／ｍの電界強度を得るには、少なくとも０．８μｍ以下、Ｖ１の制御範囲全体で制御可能とするには０．５μｍ以下とする必要がある。なお、ショットキー放出電子源に対しては電界を高くしすぎると熱電界放出電子が混入し好ましくないので、チップ先端の曲率半径の下限は０．３μｍ、より好ましくは０．４μｍとする。また、熱電界放出電子源の場合もチップ径を小さくしすぎると、Ｖ１の電圧制御範囲で制御できなくなるので、曲率半径の下限は０．２μｍ、より好ましくは０．３μｍとする。

[0029] 次に、カーボン膜をコーティングしない突出部４０の長さＬの必要長さについて述べる。仕事関数の低いＣｅＢ$_{6}$などの六ホウ化物単結晶のチップを加熱して用いる際は、加熱するとチップ全体から熱電子放出が起こる。熱電子放出の電流密度は低いものの、チップ全体の面積が大きいため、トータル電

流としては熱電界放出やショットキー放出で得られる電流よりも大きくなり、不要な電流が多い課題がある。そこで、ＣｅＢ$_6$などの六ホウ化物単結晶より仕事関数の高いカーボン膜のコーティングを行い、熱電子放出を抑制する必要がある。カーボン膜の被覆は熱電子源に対しても行われることがあり、カーボン膜の厚さとしては熱電子放出を十分抑制するため通常１μｍ以上が必要である。しかしながら本発明のような高輝度な熱電界放出電子源やショットキー放出電子源にカーボン膜を被覆する場合、上記したようにチップ先端の曲率半径を０．２～１．２μｍ程度と非常に小さくする必要があり、１μｍ以上のカーボン膜をチップ側壁に成膜するとチップ先端の形状が大きく変化してしまい、チップの先端に電界が集中しにくくなる課題がある。またカーボン膜の端面などに高電界が印加され、不要な電界放出などが発生しやすく電子源の動作が不安定になってしまう課題がある。

[0030] そこで、本発明ではカーボン膜をコーティングしない六ホウ化物単結晶の突出部の長さＬをチップ先端付近の電界分布および突出部から発生する熱電子放出量との関係を調べ、カーボン膜厚の最適な範囲を見出した。

[0031] 図７は突出部の長さＬを（ａ）１μｍ、（ｂ）５μｍ、（ｃ）２０μｍ、（ｄ）５０μｍとした際のチップ先端付近の電界強度分布を示すグラフである。図７に示すように、突出部の長さＬが（ａ）１μｍの場合のように、チップ先端の半円状の電子放出以外がほぼ全てカーボン膜で覆われている場合は、チップ先端以外にカーボン膜の端面にも強い電界が印加されていることがわかる（図７（ａ）の点線で囲んだ部分）。このカーボン膜の端面の電界は突出部の長さＬを（ｂ）５μｍ、（ｃ）２０μｍと長くしていくことで急激に小さくなり（ｄ）５０μｍでは、チップ側壁に通常かかる電界とほぼ同じ強度まで低下する。

[0032] 図８はチップ先端の突出部の長さＬと電界強度Ｆ（Ｖ／ｍ）の関係を示すグラフである。カーボン膜の厚さは１μｍとした。図８を見ると、突出部の長さＬが１μｍの場合は、カーボン膜の端面の電界が強いだけでなく、六ホウ化物単結晶のチップ先端の電界強度も低下しており、電子源としては非常

に不安定な構造となっている。これに対し、突出部の長さＬを５μｍ以上にするとチップ先端の電界強度はほぼ１．５×１０^{9}Ｖ／ｍ程度で安定し、カーボン膜端面の電界強度Ｆ（Ｖ／ｍ）もチップ先端の１／１０程度まで低下するので、安定な電界分布を形成することができ、電子源として安定な構造を実現することができる。

[0033] 一方、突出部の長さＬが大きすぎると仕事関数の低い六ホウ化物単結晶の露出量が増え、本来の目的である熱電子放出の抑制効果が低減してしまう。図９および図１０は突出部の長さＬが５μｍ、２０μｍ、５０μｍ、１００μｍのチップを１３５０℃で動作させた場合の放出電流の熱電子放出成分（ＴＥ）、ショットキー放出成分（ＳＥ）、熱電界放出成分（ＴＦＥ）の電界強度依存性を示す。突出部の長さＬが５μｍの場合は、熱電子放出成分（ＴＥ）は３～９μＡであり、チップ先端の電界強度を１×１０^{9}Ｖ／ｍ以上に上げればショットキー放出成分（ＳＥ）の方を主とすることができる。

[0034] 突出部の長さＬが２０μｍでは、１３～３８μＡであり、１．３４×１０^{9}Ｖ／ｍ以上に上げればショットキー放出成分（ＳＥ）の方を主とすることができる。突出部の長さＬが５０μｍでは熱電子放出成分（ＴＥ）は３３～９７μＡであり、突出部の長さＬが１００μｍでは熱電子放出成分（ＴＥ）は７０～２００μＡであり、１．５×１０^{9}Ｖ／ｍでもＳＥ成分より電流が多くなってしまう。したがって、突出部の長さＬとしては５～２０μｍが最適である。但し、図１０に示すように、電流密度としてはＴＥはＳＥより約２桁低いので、Ｌが５０～１００μｍでも、チップ先端からの放出電流としてはＳＥ成分の方が十分多く、高輝度電子源としての使用は可能である。但し、それ以上になると通常の電子顕微鏡で用いられている引き出し電極の高圧電源の電流容量が大きくなり、電圧の安定性が損なわれたり、安定化回路が高価になるので好ましくない。また電子衝撃脱離ガスが多くなり、電子銃室の真空度の低下により放出電流が不安定化したり、放電破損リスクが増大したりするため好ましくない。したがって、Ｌとしては５～１００μｍが好ましく、５～２０μｍがより好ましい。このような突出部Ｌを有する電子源の作

製方法は後述する。

[0035] ［電子源の製造方法］

次に、電子源の製造方法を説明する。図１１は六ホウ化物単結晶を示す模式図である。ＣｅＢ$_6$などの六ホウ化物単結晶は、例えばフローティングゾーン法などを用いた融液（液相）結晶成長により直径が数ｍｍ、結晶が優先的に成長する晶癖面の（１００）面に垂直な［１００］結晶軸方向に成長した長さ数１０ｍｍの大形の単結晶３を作成できる。本実施例ではこの単結晶３を切削により数１００μｍ角、長さ数ｍｍのチップ４に切り出して、（１００）面を電子放出面として利用した。最近はフローティングゾーン法の結晶成長技術の進歩により、晶癖軸の［１００］結晶軸方向でなく［３１０］結晶軸方向に結晶成長させ、（３１０）面を電子放出面として利用することも可能である。

[0036] 図１２～１８は六ホウ化物チップの接合工程を示す模式図である。続いて、六ホウ化物のチップを保持し、加熱するためのフィラメントを取り付ける接合方法について図１２～図１８を用いて説明する。タンタルやニオブなどの金属管と、その内側に配置された六ホウ化物のチップを、金属管の外周において、中心軸を囲むように少なくとも２軸方向から複数の凹部を設け、前記複数の凹部のそれぞれの底部が、それぞれ前記六ホウ化物チップの外周に接触させることにより、長時間加熱してもチップが脱落しない強固で信頼性のある接合ができる。

[0037] 以下、具体的に説明する。まず六ホウ化物チップとの接合に用いる金属管の製造方法について記す。図１２は金属管の製造工程を示すフロー図である。金属管の材料はタンタルやニオブなど高融点金属でかつ延性に富み、伸管により微小な金属管が作成しやすく、また後述する凹部を加工しやすい材質のものが適する。本発明では、一例としてタンタルを用いた。まずタンタルの金属シート５を丸め、金属シート５の両端６を電子ビーム溶接して直径の太いタンタルのセミシームレス管７を作成する。続いてダイス８を用いて引き抜き伸管加工を繰り返し行うことより、外径がΦ５００μｍ、内径がΦ３

２０μｍ、肉厚９０μｍの金属パイプ９を作製し、さらにそれをカッター１０で５ｍｍ毎に切断して微小な金属管１２を作製した。

[0038] 本発明では、後述するように電子源のチップ４を金属管１２内に挿入してから接合するため、金属管１２の内径はチップ４の最大径の１．１～１．５倍程度にしておくのが好ましい。１．１倍以下だとチップ４の加工公差が通常１０％程度はあるため、金属管１２に挿入できないチップ４の数が増え、電子源の製造歩留まりが低下してしまう。一方、１．５倍以上だとチップ４と金属管１２の内径の寸法差が大きくなりすぎ、後述する凹部を形成して接合する工程での金属管１２の変形量が多く、組み立て精度の低下や強度低下、金属管１２の体積増加による熱容量増加による消費電力の増大や加熱応答性の低下を招く。

[0039] 従って１辺が２００μｍ（対角径が約２８２μｍの四角柱）のチップ４の場合、金属管１２の内径は３１０～４２３μｍの範囲が好ましい。本実施例では金属管１２の内径を３２０μｍとした。また本発明では、後述するように金属管１２にフィラメントをスポット溶接する必要があり、また動作中の高温加熱に長時間耐える必要があることから金属管１２に十分な強度が必要である。一方肉厚が厚過ぎると金属管１２の熱容量が増え、電子源の加熱応答性の低下や加熱電力の増加を招く。ＣｅＢ$_6$のショットキー放出電子源は動作温度が９００～１３５０℃、熱電界放出電子源は５００～９００℃と比較的低いため、肉厚は５０μｍ以上あればよい。本発明では肉厚を９０μｍとした。

[0040] 続いて、上述した金属管１２を用いた六ホウ化物チップの接合方法を述べる。図１３は金属管に六ホウ化物を挿入する工程を示す模式図である。まず、図１３に示すように、金属管１２の内径に入る直径３００μｍ、長さ１～３ｍｍのガイドピン１３を垂直に立てた台座１４を用いて金属管１２を鉛直に立てる。次に、六ホウ化物のチップ４を金属管１２の上部から挿入する。ガイドピン１３により六ホウ化物のチップ４が金属管１２の内部から突き出る長さ（突き出し量）Ａをコントロールできる。ショットキー放出電子源や

熱電界放出電子源を作製する場合は、後述するように六ホウ化物のチップ４を電解研磨で削るため、突き出し量を２～３ｍｍと長くしておく。

[0041] 続いて、図１４に示すように六ホウ化物のチップ４と金属管１２をチップ４の鉛直方向とは垂直な面内の直交する２軸、４方向から特殊な工具で圧接する。図１４では図面の見やすさを考慮して、圧接用の工具の刃１５の部分のみ示している。圧接用工具の刃１５の先端には金属管１２に凹部を形成するための２段の突起１５０、１５１が設けられており、２軸、４方向から均等なストロークで金属管１２に近づけ金属管１２の外周から押し潰して凹部を形成する。作業中は、金属管１２と六ホウ化物チップの位置関係を実体顕微鏡１６で確認し、四角柱の六ホウ化物のチップ４の各側面が工具の突起１５０、１５１のストローク方向と一致するようにチップ４の回転軸を適宜調整する。それにより金属管１２の外周から中心軸を囲むように複数の凹部が形成され、凹部それぞれの底部が、六ホウ化物チップの外周面に接触することにより、六ホウ化物のチップ４を自動的に金属管１２の中心軸に合わせて固定することができる。刃を２段とすることで、軸方向にずれた箇所においても接合されることで、接合力が上がるとともに、軸方向の２箇所で接合されることで、チップ４が接合部で傾くことを防止でき、軸出しの精度が高くなる効果がある。なお、段数に制約はないが、多すぎると凹部を形成するのに必要な金属管１２が長くなり熱容量が増加するため、２段程度にするのが望ましい。

[0042] 図１５は六ホウ化物チップ４と金属管１２の接合体の模式図である。（ａ）にチップ４の先端側から見た接合部の断面図、（ｃ）にチップ４の鉛直方向中央の断面図も示す。本接合方法を用いると、金属管１２と六ホウ化物のチップ４を２軸、４方向から均等に圧接することができ、機械的に強固な接合が得られる。また、２軸、４方向から均等なストロークで金属管１２に近づけ金属管１２の外周から押し潰していくため、四角柱の六ホウ化物のチップ４を金属管１２の中心軸に自動的に整列させて接合することができ、組み立て精度が向上するため電子源の軸出しが容易になり、歩留まりも向上する

。なお、ガイドピン１３が挿入されていた点線の部分は不要となるため、金属管１２の熱容量低減のためカッターで切断する。

[0043] 続いて、図１６に示すように、六ホウ化物のチップ４を接合した金属管１２にタングステン等のフィラメント１８を直接スポット溶接し、さらにフィラメント１８の両端をステム１９の電極２０にスポット溶接する。これらは金属同士の接合のため、スポット溶接により容易に強固な接合を得ることが可能である。スポット溶接の際には図１７のように位置あわせ治具２１を用いる。まず金属管１２にタングステン等のフィラメント１８を位置あわせ治具２１－１を用いて正確に位置あわせしてスポット溶接し、続いてステム１９と金属管１２を位置あわせ治具２１－２を用いての正確に位置合わせてスポット溶接すれば、金属管１２と六ホウ化物のチップ４の中心軸は揃っているので、精度の高い軸出しが可能となる。

[0044] 以上の説明では、四角柱状に切削したチップ４を用いた。チップ４は円柱に加工してもよい。図１８は、円柱のチップ４を用いた場合の例である。円柱の六ホウ化物のチップ４と金属管１２を接合する場合は、少なくともチップ４の鉛直方向とは垂直な面内の等間隔の３軸、３方向から本発明で開発した特殊な工具で圧接すればよい。また四角柱のチップ４の場合と同様に、２軸、４方向から接合しても当然構わない。

[0045] 続いて、六ホウ化物チップの片側を錐体状に縮径してシャンクを形成し、かつその最先端を半球状に加工する方法について説明する。最初に電解研磨で柱状のチップを錐体状に縮径してシャンクを形成し、その後、チップの先端部のみを再度の電解研磨や電界蒸発により半球状に丸めるプロセスを開発した。

[0046] 最初の電解研磨は図１９に示すように組み立てた六ホウ化物のチップ４の先端を硝酸などの電解液２２中にディップし、リング状に形成した白金などの対向電極２３との間に交流や直流の電源２４から電圧を印加して行う。六ホウ化物にチップ４は図２０に示すように、電解研磨液に浸漬すると液面にメニスカスを形成し、液面部分の研磨速度は遅く液中部分の研磨速度は速い

。電解研磨が進み研磨面積が少なくなるに従い電解電流が減衰するが、その電流が一定レベルに減衰した際に電源を遮断すると図２０の点線で示すよう先端が先細りの錐体に加工することが可能である。チップが四角柱の場合は先端が先細りの四角錐に、チップが円柱の場合は先端が先細りの円錐に加工される。図２１は六ホウ化物単結晶のチップの先端のＳＥＭ観察写真である。図２１は、四角柱のチップを先端が先細りの四角錐に加工した六ホウ化物チップのＳＥＭ像を示す。電解研磨は基本的に等方的に進むため、柱状チップの形状を四角柱、または円柱としておけば等方的な四角錐、円錐形状に加工することが可能である。

[0047] 続いて、チップの先端部のみを電解研磨液に浸漬し、電解電流が流れなくなるまで研磨すると先端を半球状に丸めることができる。図２２は六ホウ化物チップの先端のＳＥＭ観察写真であり、図２１に示したチップに対して再度の電解研磨で先端を半球状に加工した六ホウ化物チップのＳＥＭ像を示す。チップ先端を半球状に丸めるのは電界蒸発によっても行うことができる。電界蒸発とは電子源に＋数十Ｖ／ｎｍの正極の電界を印加することで、先端表面の原子をイオン化し、徐々に剥ぎ取る方法である。電界蒸発は電界強度が強い箇所で優先的に起こる。このため、表面の尖った箇所やステップ部の原子が蒸発し、時間をかけることで全面を蒸発できる。やがて、電界蒸発が十分進むと、電子源先端は電界強度が全面にわたって均一となる半球状になる。図２３は、六ホウ化物チップの先端のＳＥＭ観察写真であり、電界蒸発によって先端を半球状に丸めた六ホウ化物チップのＳＥＭ像を示す。

[0048] 次に、チップの先端の突出部を除いたチップの側面にチップより仕事関数が高いカーボン膜をコーティングするプロセスについて図２４を用いて説明する。図２４は六ホウ化物単結晶のチップの先端にコーティング膜を形成する方法を示す模式図である。カーボンをコーティングする目的は、上述したように、電子源を加熱して熱電界電子放出源あるいはショットキー放出電子源として動作させる際に、チップ側壁からの不要な熱電子放出を抑制することである。まず、図２４（ａ）に示すように、チップ基材（カーボンコーテ

ィング前のチップ）を準備し、チップ先端２５およびシャンク２６の一部にカーボン膜のコーティングを防ぐためのマスク材２７を塗布する。マスク材２７としては、例えばフォトレジストなどに用いられるノボラック樹脂や、水溶性レジストとして使われるポリエチレングリコールなどのレジスト材料、耐熱性に優れ不揮発性で粘度や溶解性のバリエーションが豊富なイオン液体、剥離性に優れたエレクトロワックスなどが利用可能である。具体的には、レジスト液やイオン液体、加熱して溶解したエレクトロワックスの融液などのマスク材２７にチップ先端２５を浸漬した後、チップを引き上げてマスク材２７を塗布する。また図示しないが、マスク材２７はマイクロディスペンサから吐出させて、チップ先端に塗布してもよい。

[0049] 続いて、図１６（ｂ）に示すように、室温で成膜することが可能なスパッタリング装置とカーボンターゲット２８を用いて、カーボン膜２９を成膜する。室温で成膜することでレジスト材料が熱縮合したり、エレクトロワックスが再溶融することなくマスク材２７として機能し、チップ先端２５を含む突出部３０にカーボン膜２９がコーティングされるのを防ぐことができる。

[0050] 最後に、図１６（ｃ）に示すようにレジスト材料やイオン液体、エレクトロワックスなどのマスク材２７をチップから剥離する。レジスト材料は、剥離液（専用のアルカリ性剥離液や有機溶剤、水など）に浸漬して溶解剥離することが可能である。またエレクトロワックスは一般に離型性がよい材料であり、機械的に簡単にチップから引き剥がすことができる。剥離の際、マスク材２７上のカーボン膜２９も同時に引き剥がされるため、チップ先端２５を含む突出部３０のみ六ホウ化物チップが露出し、その他のチップ側壁にはカーボン膜２９がコーティングされた電子源を作製することができる。図１７に作成した電子源のＳＥＭ写真の例を示す。

[0051] 続いて、本電子源を真空装置内に導入し、電子源の活性化を行う。電解研磨した六ホウ化物チップの表面は酸化物などが形成されているため、そのままでは電子放出を得る事ができない。そこで、１１５０～１５００℃程度で数分～数１０時間の加熱アニーリングを行って電子放出面を清浄化する表面

活性化を行った。これにより清浄な（１００）結晶面や（３１０）結晶面をチップ先端に形成することができる。以上により、本発明の電子源を完成することができる。図２５は六ホウ化物単結晶チップのＳＥＭ観察写真である。カーボン膜２９からの六ホウ化物単結晶の突出部３０の突出長さ量Ｌは１５μｍである。

[0052] 従来のサイズの大きいチップ（先端曲率半径Ｒ：２０μｍ～１２０μｍ程度）では、チップの先端部分までもコーティング膜を形成し、その後機械加工によって先端部分のコーティング膜を物理的に剥離していたが、本発明のような微小な先端部分（先端曲率半径Ｒ：１．２μｍ以下）を有するチップは、このような加工を行うことができない。本発明は、上述したように、微小な先端部分をマスキングすることで、チップの電子放出部を除いた先端部分にコーティング膜を形成することができる。

[0053] 以上、説明したように、本発明によれば、六ホウ化物単結晶を用いた電界放出電子源またはショットキー放出電子源において、サイドエミッションの発生を防止する電子源、電子線装置および電子源の製造方法を提供できることが示された。

[0054] なお、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることも可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

符号の説明

[0055] １…金属原子、２…ホウ素原子、３…単結晶、４…チップ、５…金属シート、６…金属シートの両端、７…セミシームレス管、８…ダイス、９…金属パイプ、１０…カッター、１２…金属管、１３…ガイドピン、１４…台座、１５…刃、１６…実体顕微鏡、１７…凹部、１８…フィラメント、１９…ステム、２０…電極、２１…位置あわせ治具、２２…電解液、２３…対向電極

、２４…電源、２５…チップ先端…２５、２６…シャンク…、２７…マスク材…、２８…カーボンターゲット、２９…カーボン膜、３０，４０…突出部、４１…シャンク、４２…胴部、４３…チップ、１００…CeB_6ショットキー放出電子源、１０１…コンピューター、１０２…制御器、１０３…加熱電源、１０４…引き出し電源、１０５…引き出し電極、１０６…電子ビーム、１０７…加速電源、１０８…陽極、１０９…第１コンデンサレンズ、１１０…絞り、１１１…第２コンデンサレンズ、１１２…対物レンズ、１１３…非点補正コイル、１１４…偏向走査コイル、１１５…試料、１１６…２次電子検出器、１２０…電子源、１３０…電子光学系、２００…電子線装置。

請求の範囲

[請求項1] 電界が生じた時に電子を放出する突出部と、前記突出部を支持し、前記突出部に向かって縮径されたシャンクと、前記シャンクを支持する胴部と、を備え、

前記突出部、前記シャンクおよび前記胴部は六ホウ化物単結晶からなり、

前記突出部を除いた前記シャンクおよび前記胴部の一部が、前記六ホウ化物単結晶よりも仕事関数が高い材料で被覆されていることを特徴とする電子源。

[請求項2] 前記突出部は、電子をショットキー放出するものであり、

前記突出部の先端曲率半径は、０．３μｍ以上１．２μｍ以下であることを特徴とする請求項１に記載の電子源。

[請求項3] 前記突出部は、電子をショットキー放出するものであり、

前記突出部の先端曲率半径は、０．４μｍ以上０．８μｍ以下であることを特徴とする請求項１に記載の電子源。

[請求項4] 前記突出部は、電子を熱電界放出するものであり、

前記突出部の先端曲率半径は、０．２μｍ以上０．８μｍ以下であることを特徴とする請求項１に記載の電子源。

[請求項5] 前記突出部は、電子を熱電界放出するものであり、

前記突出部の先端曲率半径は、０．３μｍ以上０．５μｍ以下であることを特徴とする請求項１に記載の電子源。

[請求項6] 前記突出部の長さは５μｍ以上１００μｍ以下であることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の電子源。

[請求項7] 前記突出部の長さは５μｍ以上２０μｍ以下であることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の電子源。

[請求項8] 前記六ホウ化物単結晶よりも仕事関数が大きい材料がカーボンであることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の電子源。

[請求項9] 前記突出部を除いた前記シャンクおよび前記胴部の一部を被覆する

被覆膜の膜厚が１μｍ以上であることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の電子源。

[請求項10] 前記突出部は、電子をショットキー放出するものであり、９５０～１３５０℃に加熱され、前記突出部の先端に１×１０^{9}Ｖ／ｍ以上の電界が印加されるものであることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の電子源。

[請求項11] 前記突出部は、電子を熱電界放出するものであり、５００～９００℃に加熱され、前記突出部の先端に１．５×１０^{9}Ｖ／ｍ以上の電界が印加されるものであることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の電子源。

[請求項12] 電子源と、試料を載置する試料台と、前記電子源から電子を引き出す引き出し電極および加速電極を有する電子銃光学系と、放出された電子を前記試料台の上の前記試料に集束し照射する電子光学系と、を有し、

前記電子源は、請求項１から５のいずれか１項に記載の前記電子源であることを特徴とする電子線装置。

[請求項13] 電界が生じた時に電子を放出する突出部と、前記突出部を支持し、前記突出部に向かって縮径されたシャンクと、前記シャンクを支持する胴部と、を備え、前記突出部、前記シャンクおよび前記胴部が六ホウ化物単結晶からなるチップ基材を準備する工程と、

前記チップ基材の前記突出部にマスクを形成する工程と、

前記チップ基材に前記六ホウ化物単結晶より仕事関数が大きい材料を成膜する工程と、

前記マスクを除去して前記突出部を露出させる工程と、を有することを特徴とする電子源の製造方法。

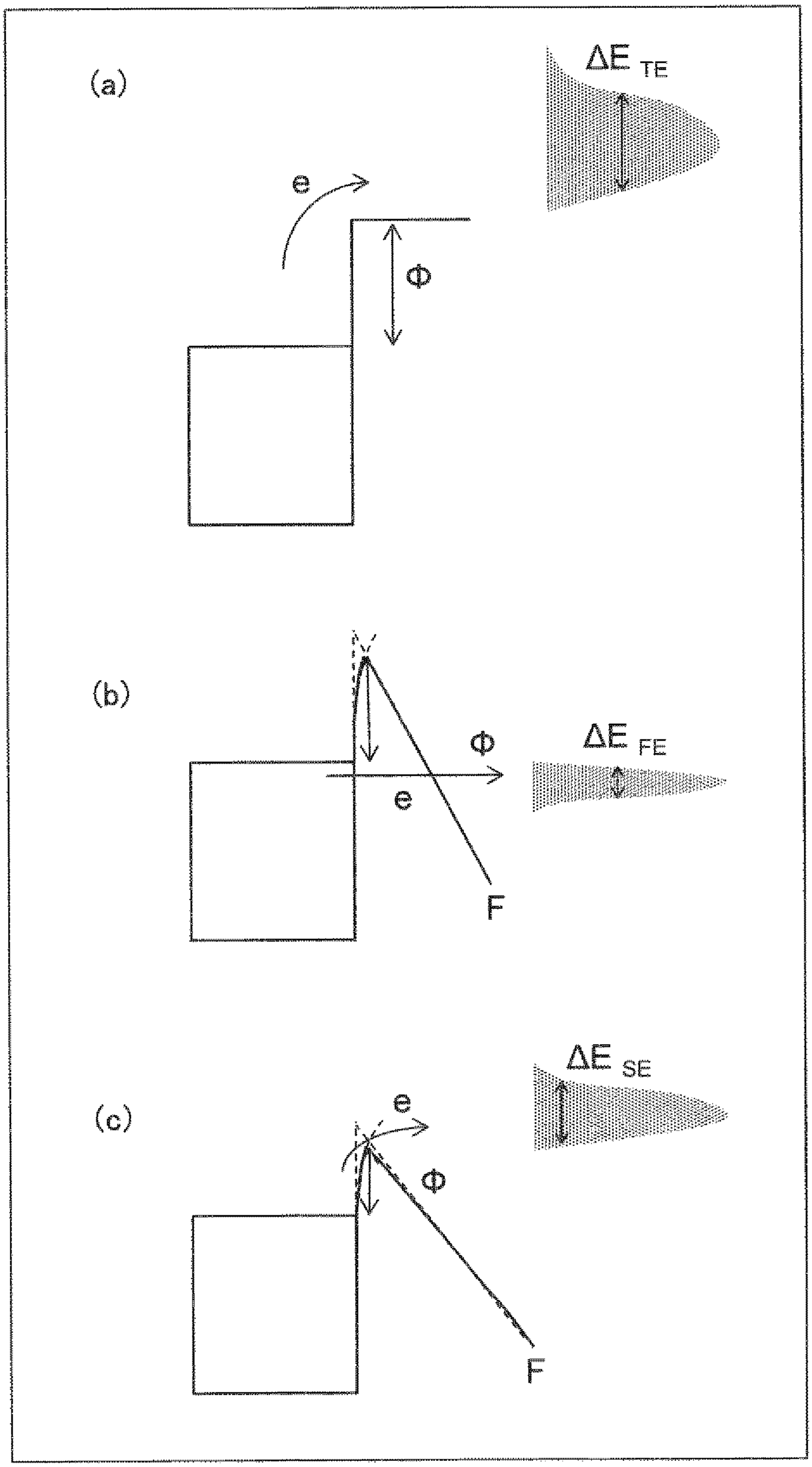
[請求項14] 前記マスクがレジスト、イオン液体またはワックスによって形成されることを特徴とする請求項１３に記載の電子源の製造方法。

[請求項15] 前記マスクを剥離液によって溶解して剥離するか、または、機械的

に剥離することを特徴とする請求項１３または１４に記載の電子源の製造方法。

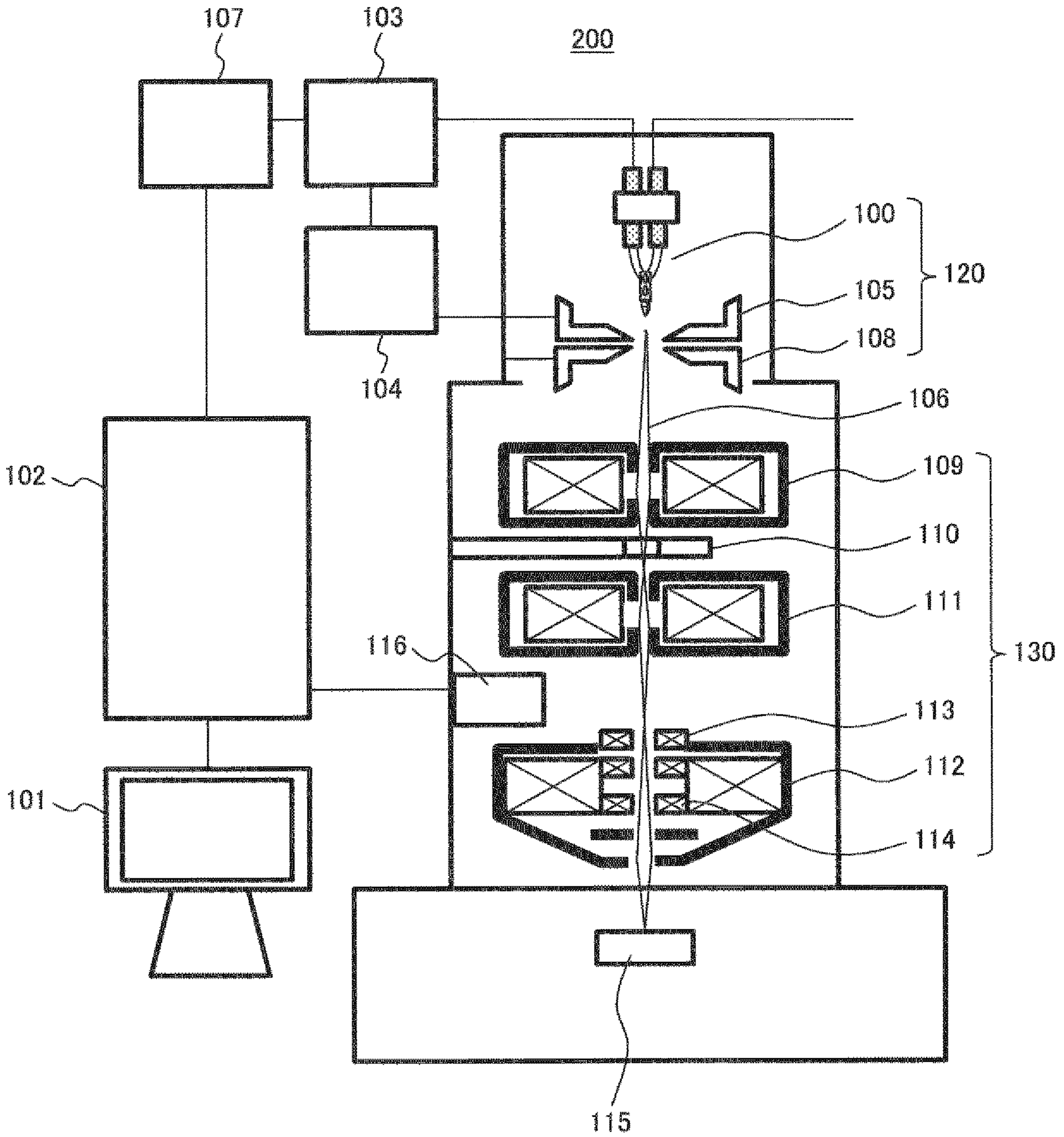
[図1]

図 1



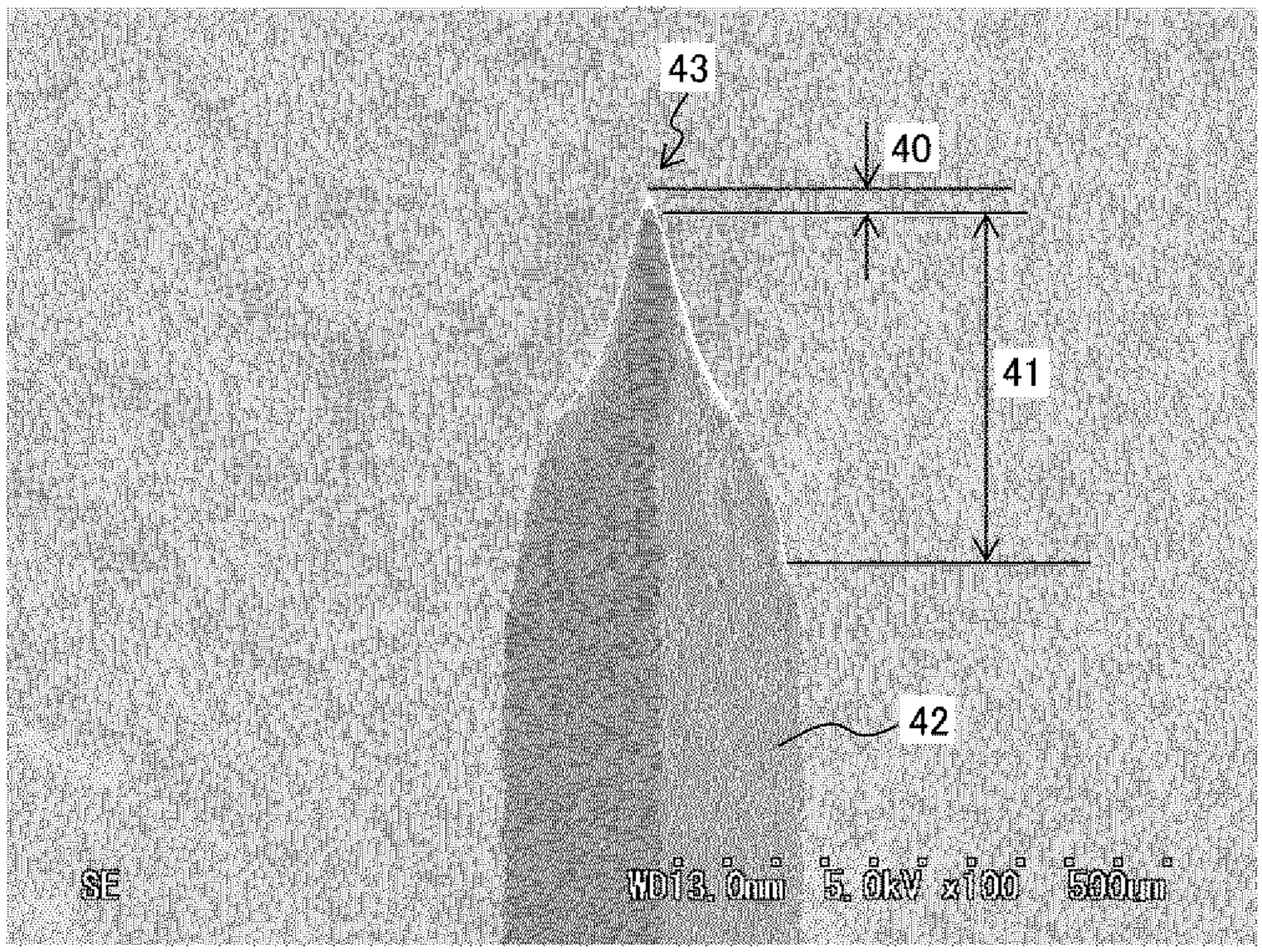
[図2]

図 2


107
103
200
100
120
105
108
104
106
102
109
110
111
116
130
113
112
114
101
115

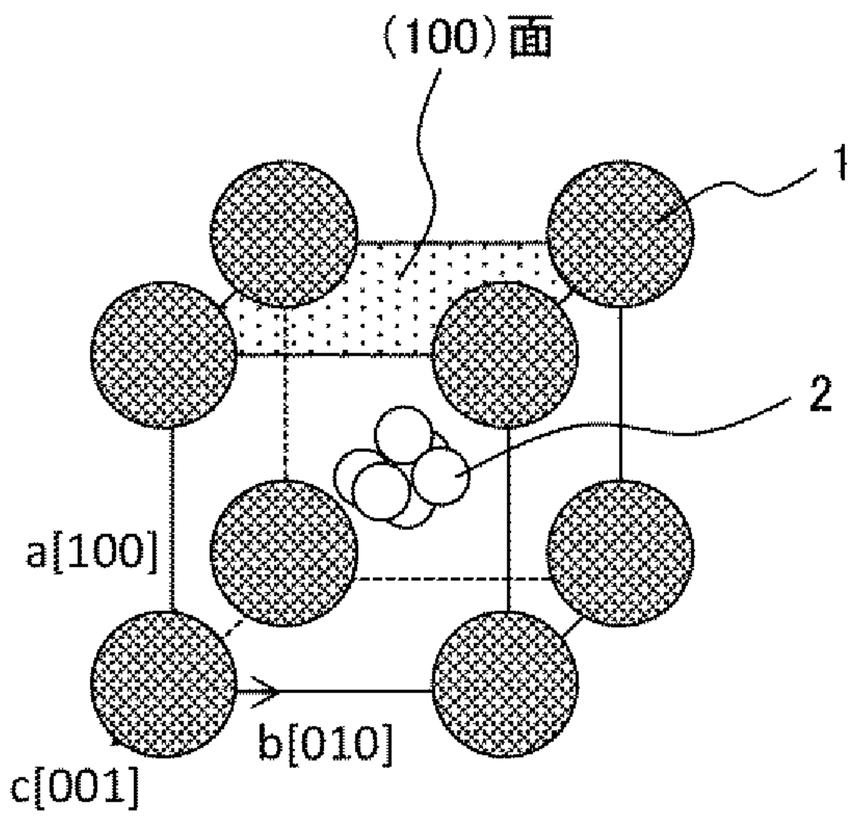
[図3]

図 3



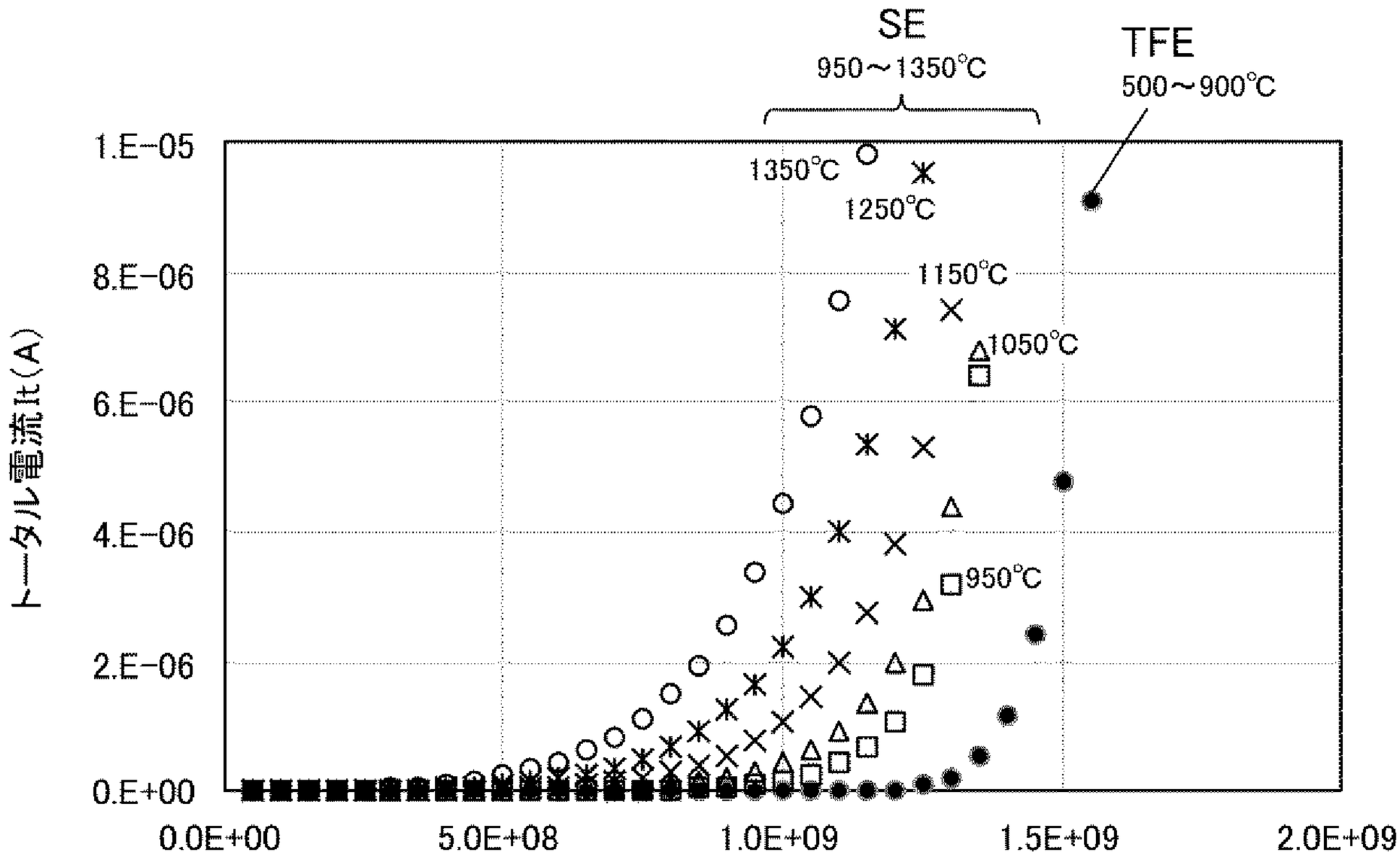
[図4]

図 4



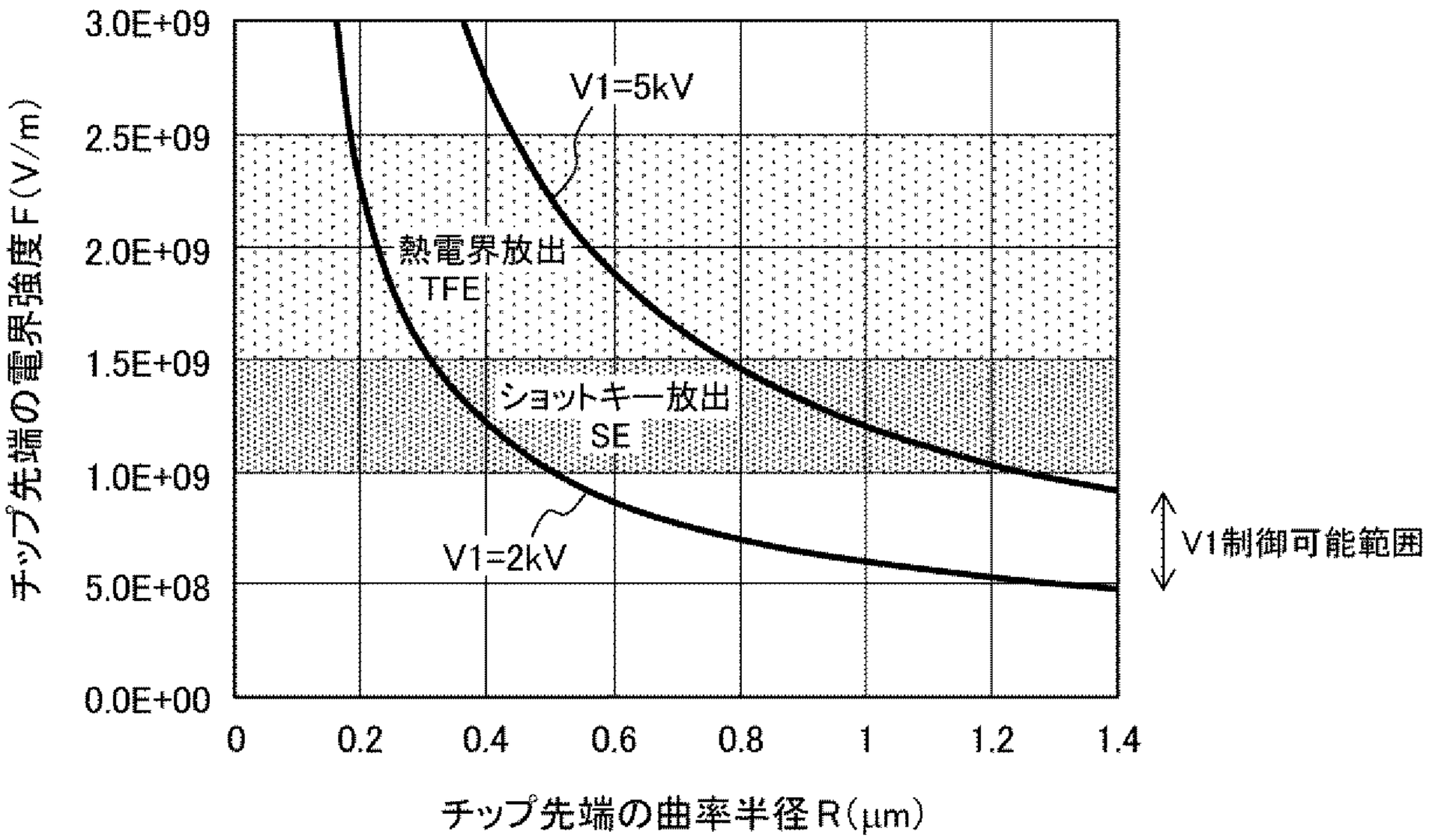
[図5]

図 5


SE
950～1350℃
TFE
500～900℃
1350℃
1250℃
1150℃
1050℃
950℃
1.E-05
8.E-06
6.E-06
4.E-06
2.E-06
0.E+00
トータル電流It(A)
0.0E+00
5.0E+08
1.0E+09
1.5E+09
2.0E+09
チップ先端の電界強度F(V/m)

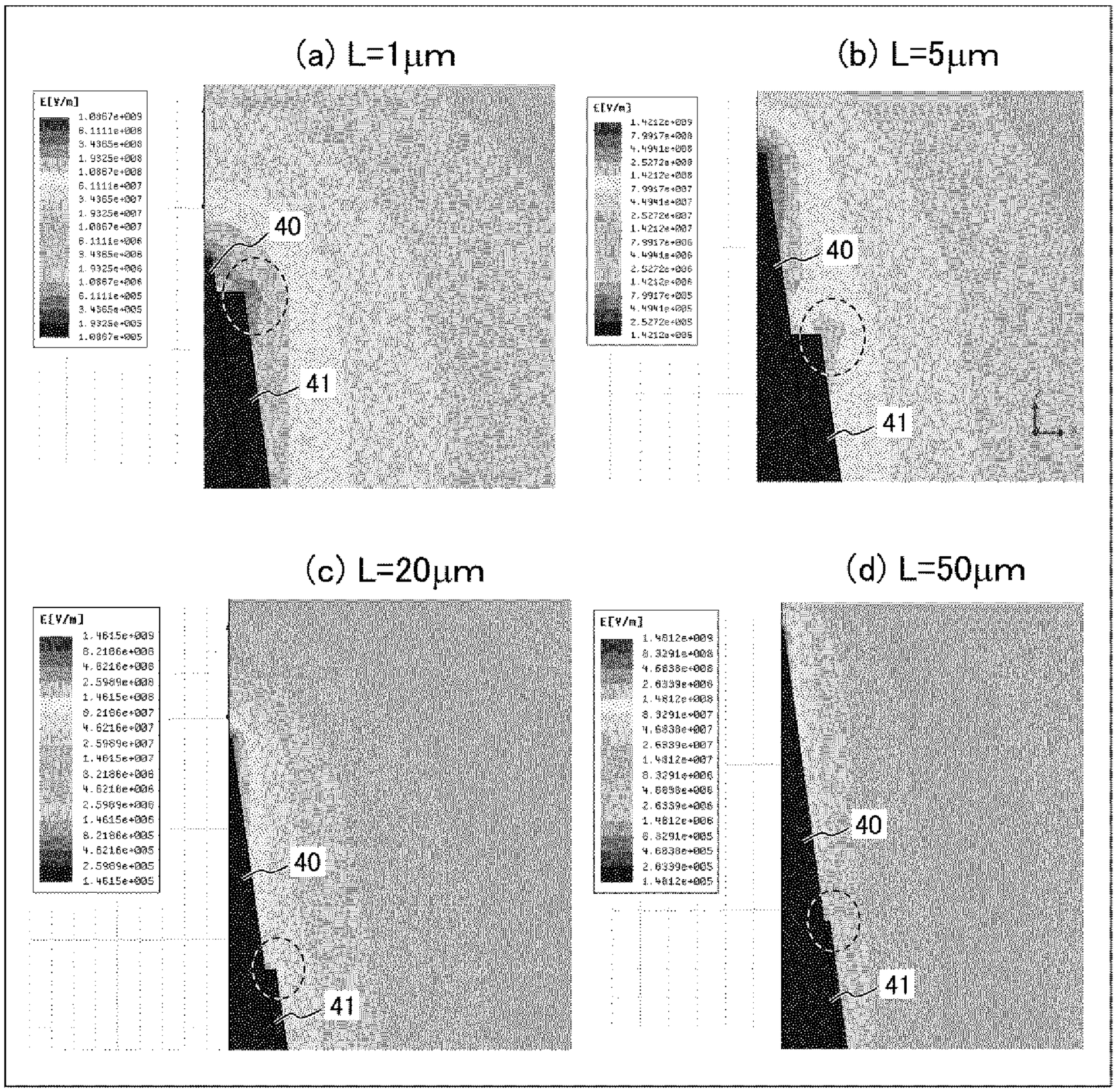
[図6]

図 6


3.0E+09
2.5E+09
2.0E+09
1.5E+09
1.0E+09
5.0E+08
0.0E+00
チップ先端の電界強度F(V/m)
V1=5kV
熱電界放出
TFE
ショットキー放出
SE
V1=2kV
V1制御可能範囲
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
チップ先端の曲率半径R(μm)

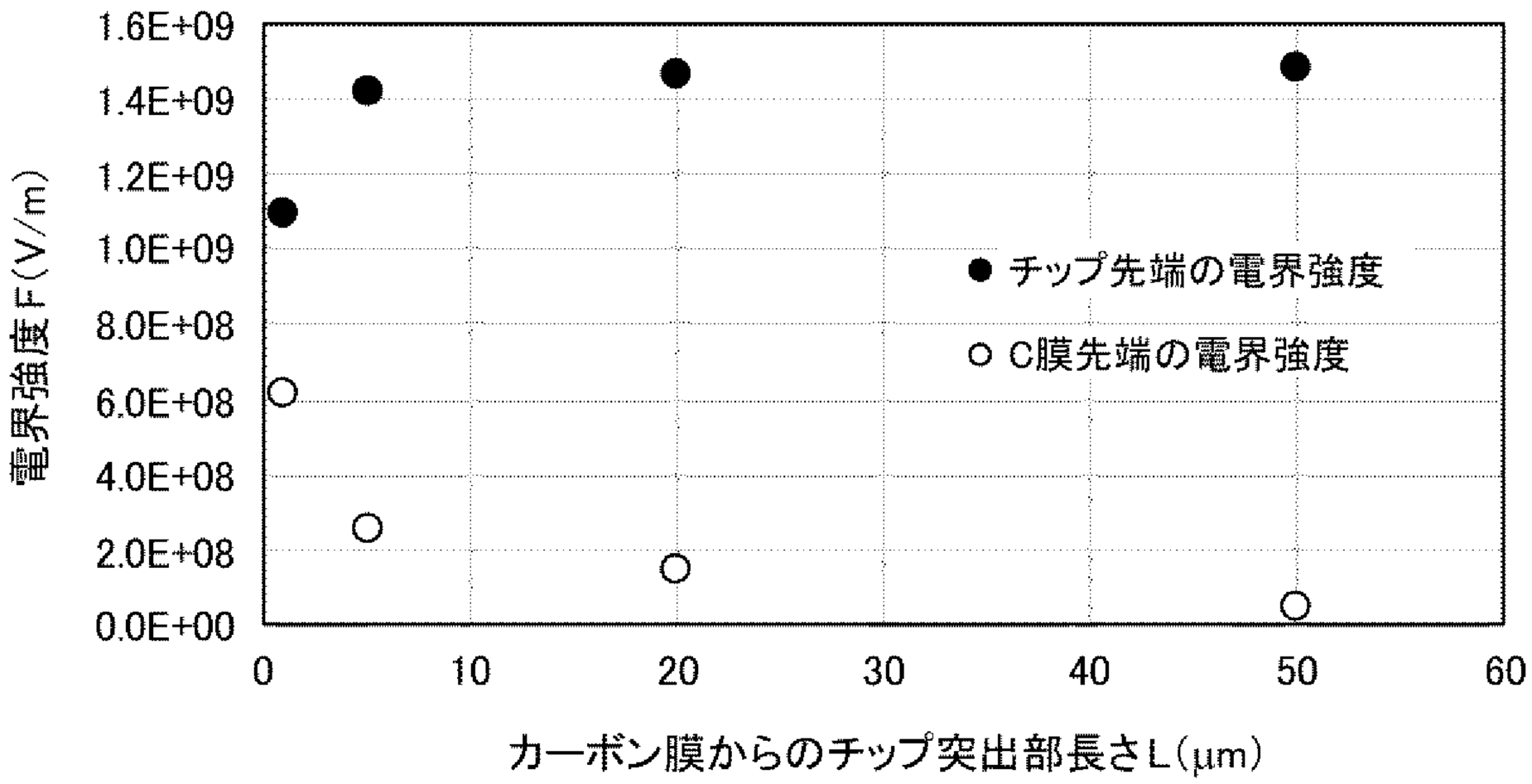
[図7]

図 7


(a) L=1μm
E[V/m]
1.0967e+009
6.1111e+008
3.4365e+008
1.9325e+008
1.0867e+008
6.1111e+007
3.4365e+007
1.9325e+007
1.0867e+007
6.1111e+006
3.4365e+006
1.9325e+006
1.0867e+006
6.1111e+005
3.4365e+005
1.9325e+005
1.0867e+005
40
41
(b) L=5μm
E[V/m]
1.4212e+009
7.9917e+008
4.4941e+008
2.5272e+008
1.4212e+008
7.9917e+007
4.4941e+007
2.5272e+007
1.4212e+007
7.9917e+006
4.4941e+006
2.5272e+006
1.4212e+006
7.9917e+005
4.4941e+005
2.5272e+005
1.4212e+005
40
41
(c) L=20μm
E[V/m]
1.4615e+009
8.2186e+008
4.6216e+008
2.5989e+008
1.4615e+008
8.2186e+007
4.6216e+007
2.5989e+007
1.4615e+007
8.2186e+006
4.6216e+006
2.5989e+006
1.4615e+006
8.2186e+005
4.6216e+005
2.5989e+005
1.4615e+005
40
41
(d) L=50μm
E[V/m]
1.4812e+009
8.3291e+008
4.6838e+008
2.6339e+008
1.4812e+008
8.3291e+007
4.6838e+007
2.6339e+007
1.4812e+007
8.3291e+006
4.6838e+006
2.6339e+006
1.4812e+006
8.3291e+005
4.6838e+005
2.6339e+005
1.4812e+005
40
41

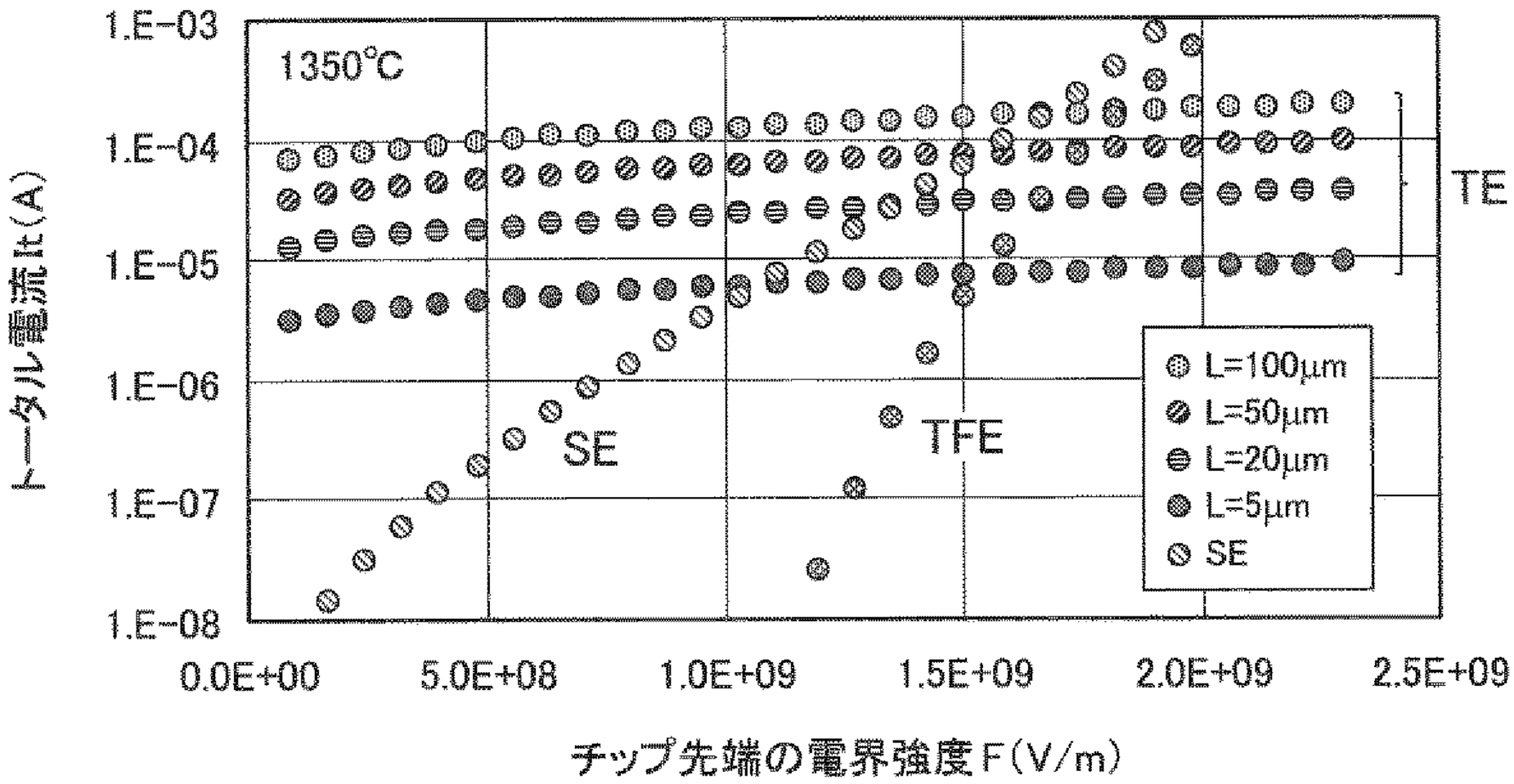
[図8]

図 8


1.6E+09
1.4E+09
1.2E+09
1.0E+09
8.0E+08
6.0E+08
4.0E+08
2.0E+08
0.0E+00
電界強度F(V/m)
0
10
20
30
40
50
60
カーボン膜からのチップ突出部長さL(μm)
チップ先端の電界強度
C膜先端の電界強度

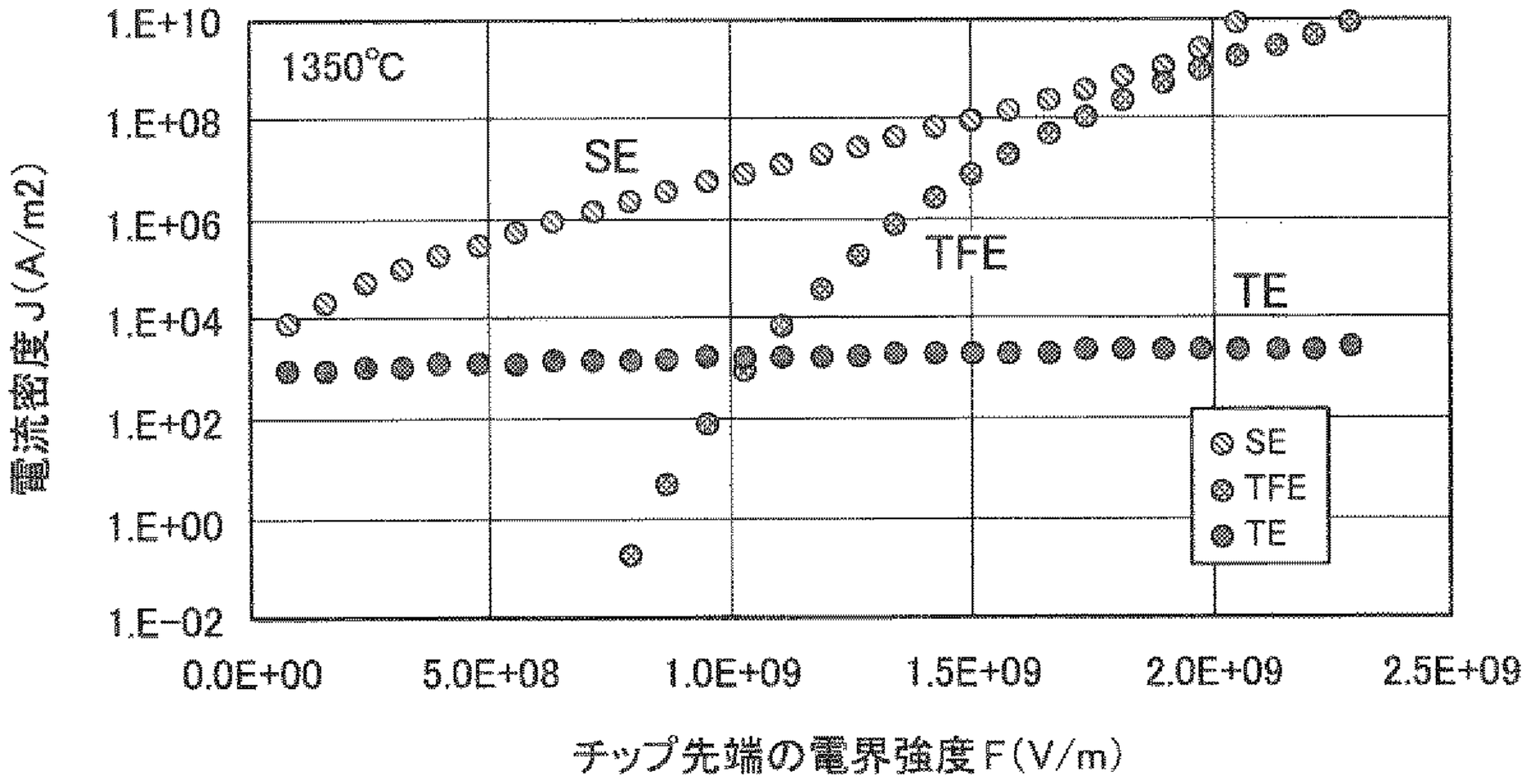
[図9]

図 9


1.E-03
1.E-04
1.E-05
1.E-06
1.E-07
1.E-08
トータル電流It(A)
1350℃
SE
TFE
TE
L=100μm
L=50μm
L=20μm
L=5μm
SE
0.0E+00
5.0E+08
1.0E+09
1.5E+09
2.0E+09
2.5E+09
チップ先端の電界強度F(V/m)

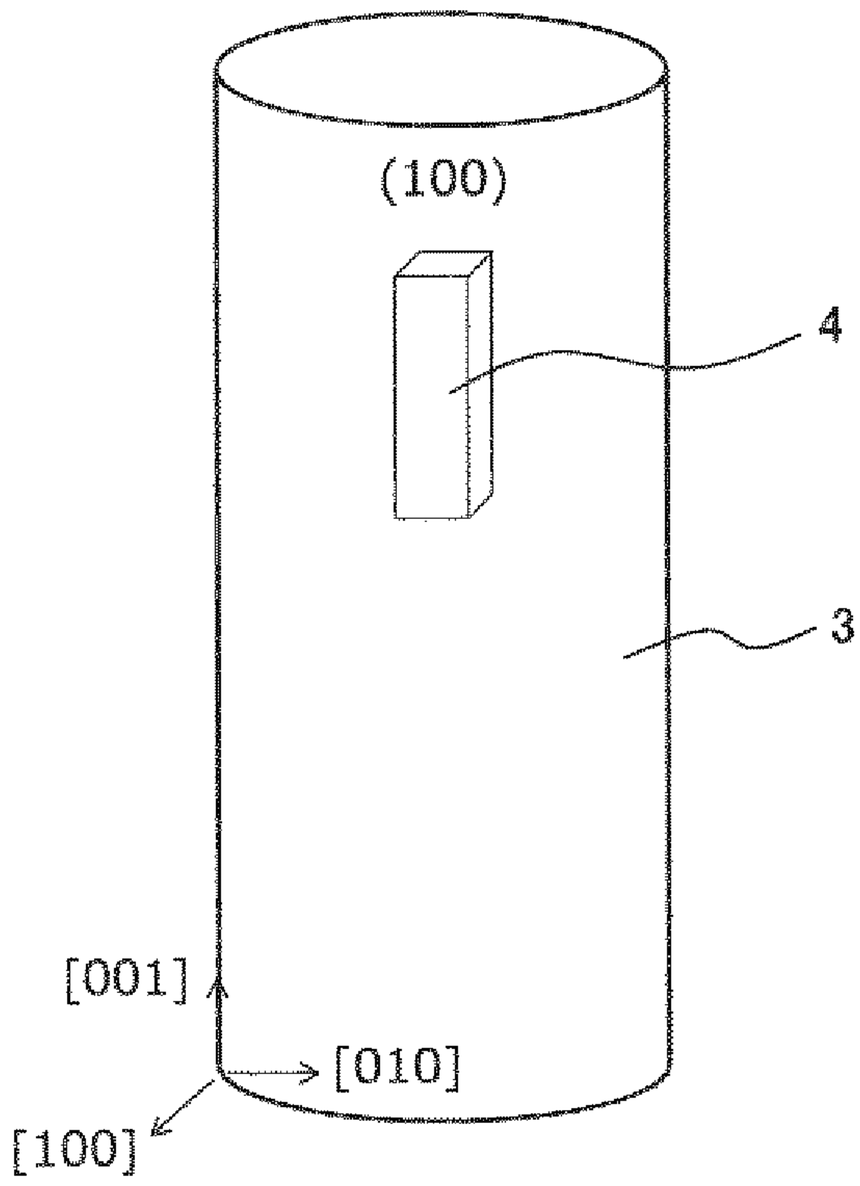
[図10]

図 10



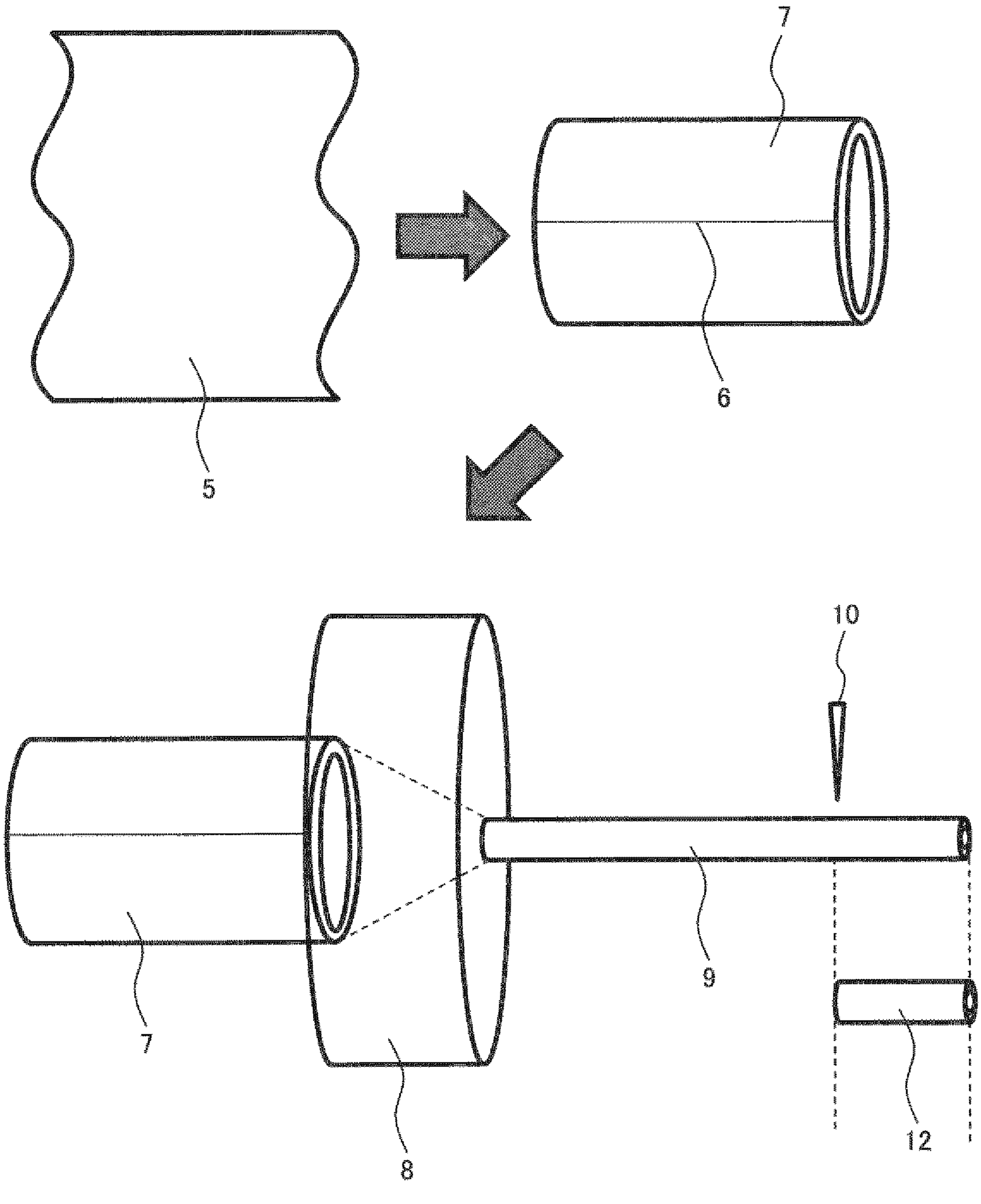
[図11]

図 11



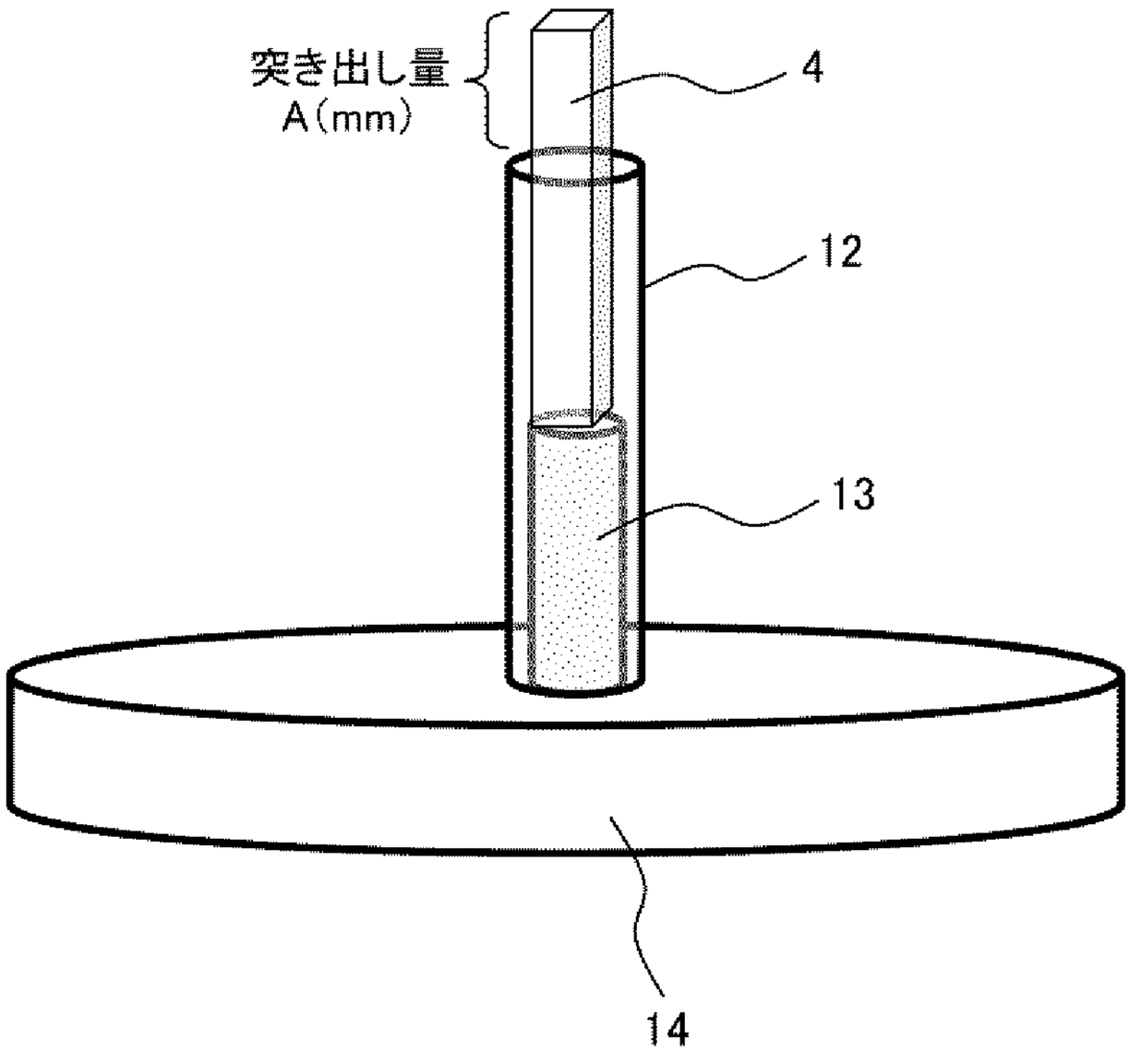
[図12]

図 12



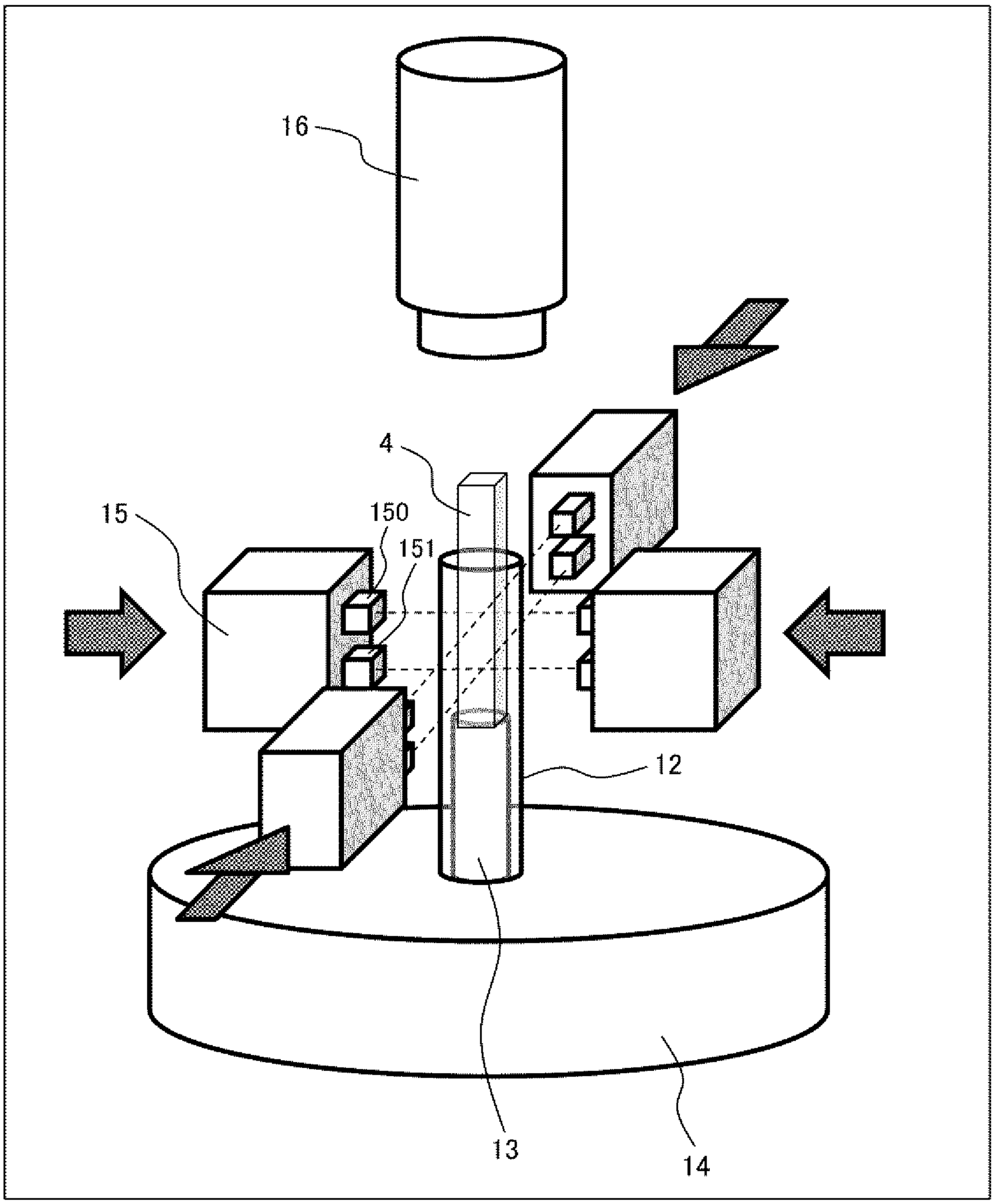
[図13]

図 13



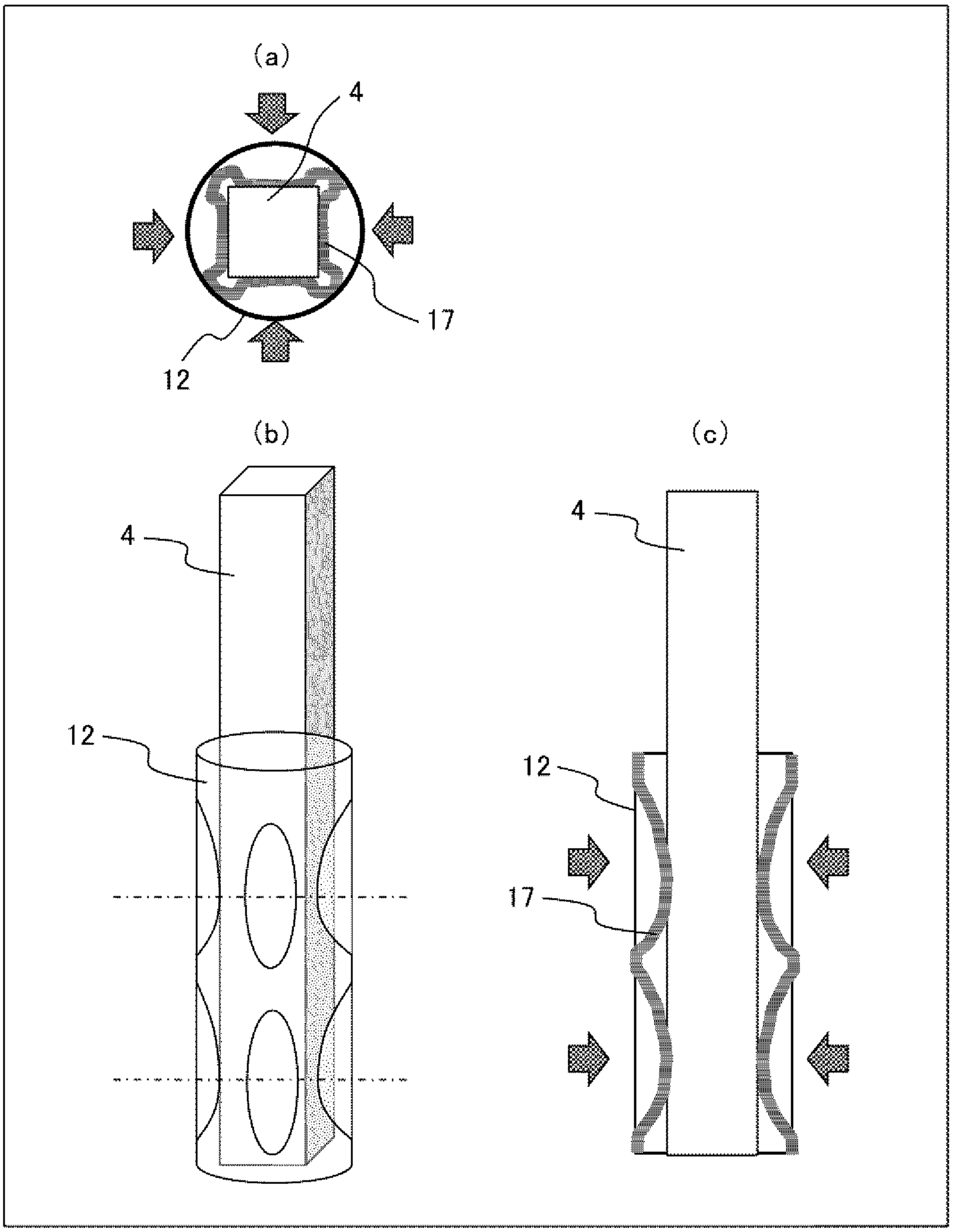
[図14]

図 14



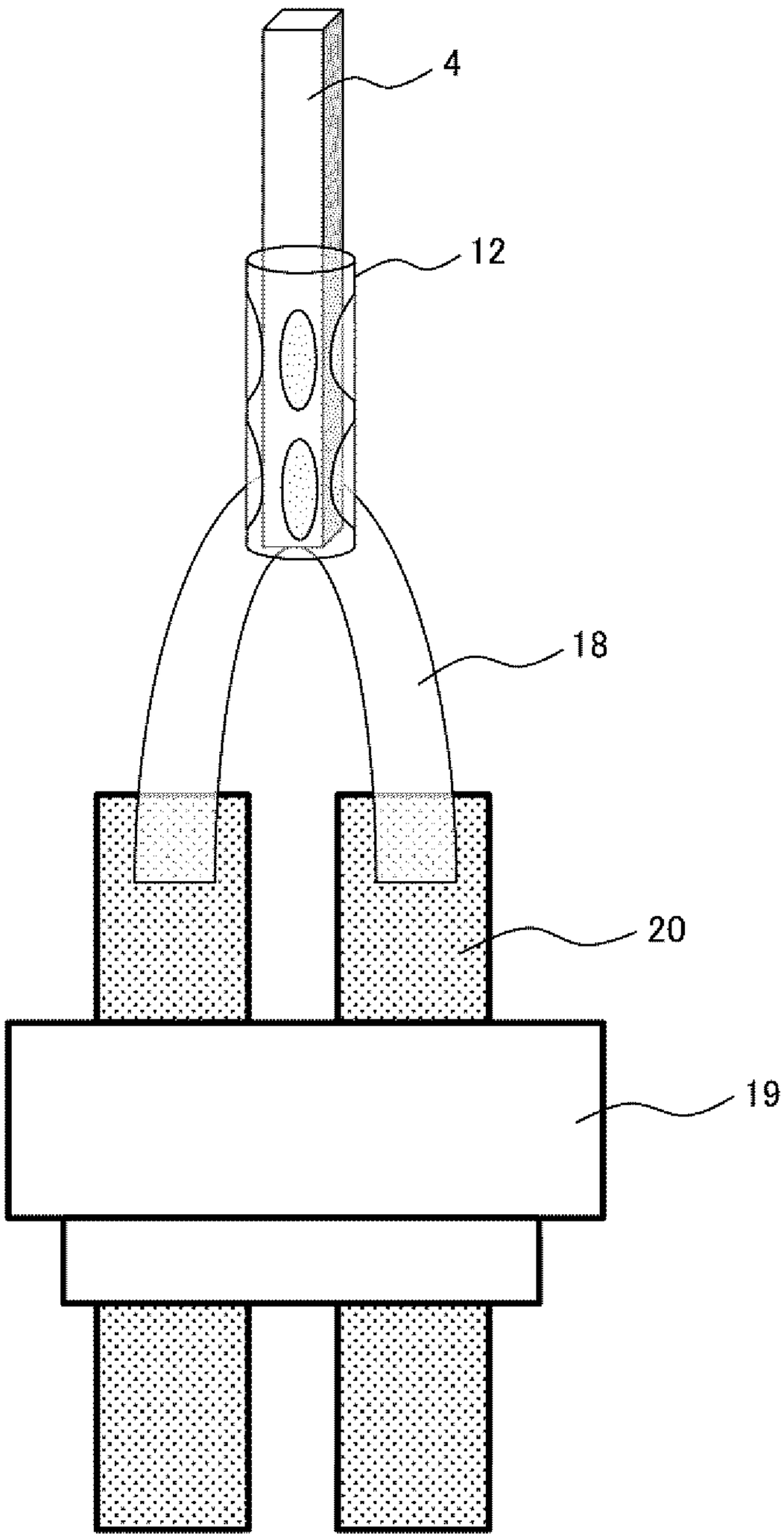
[図15]

図 15



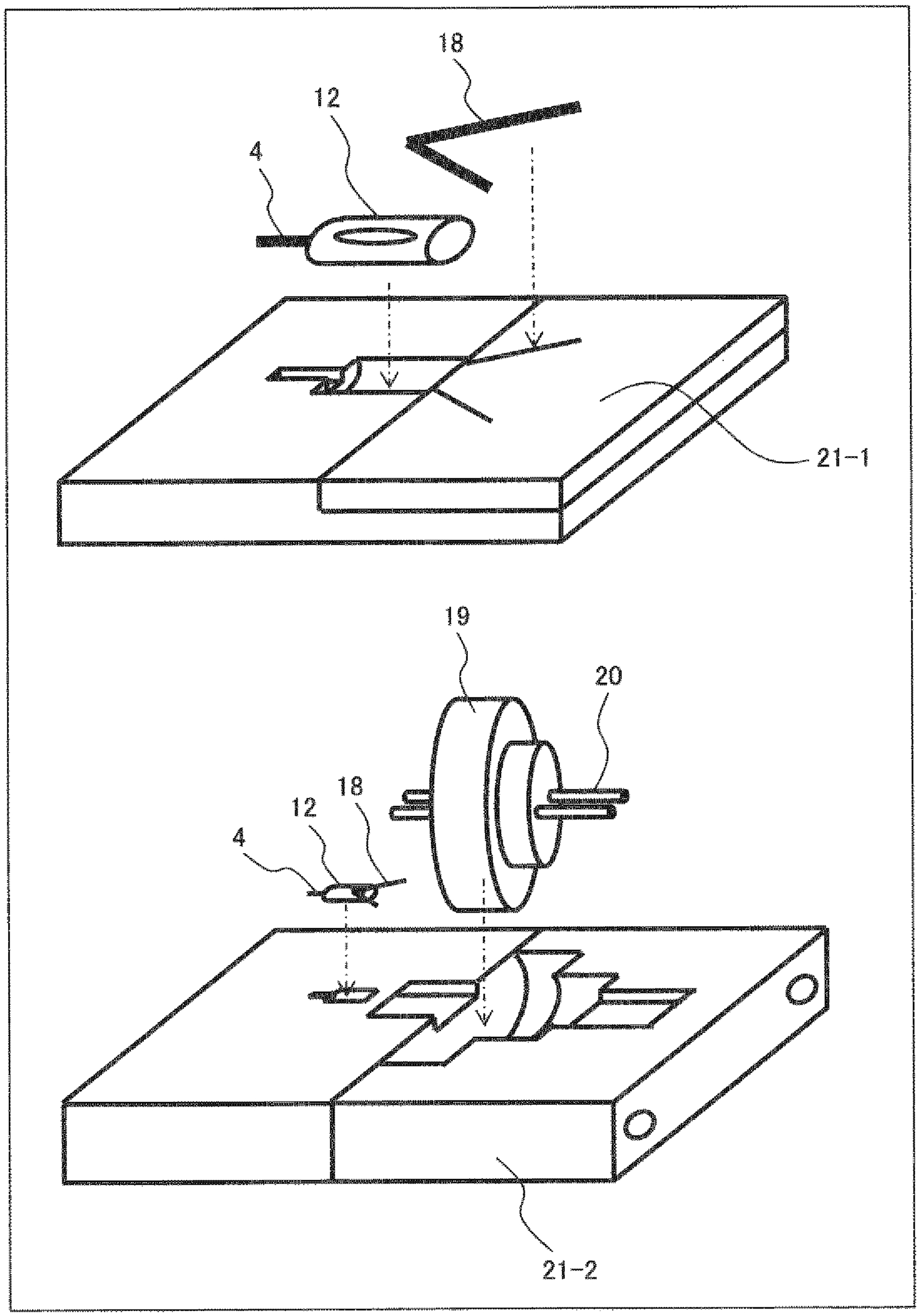
[図16]

図 16



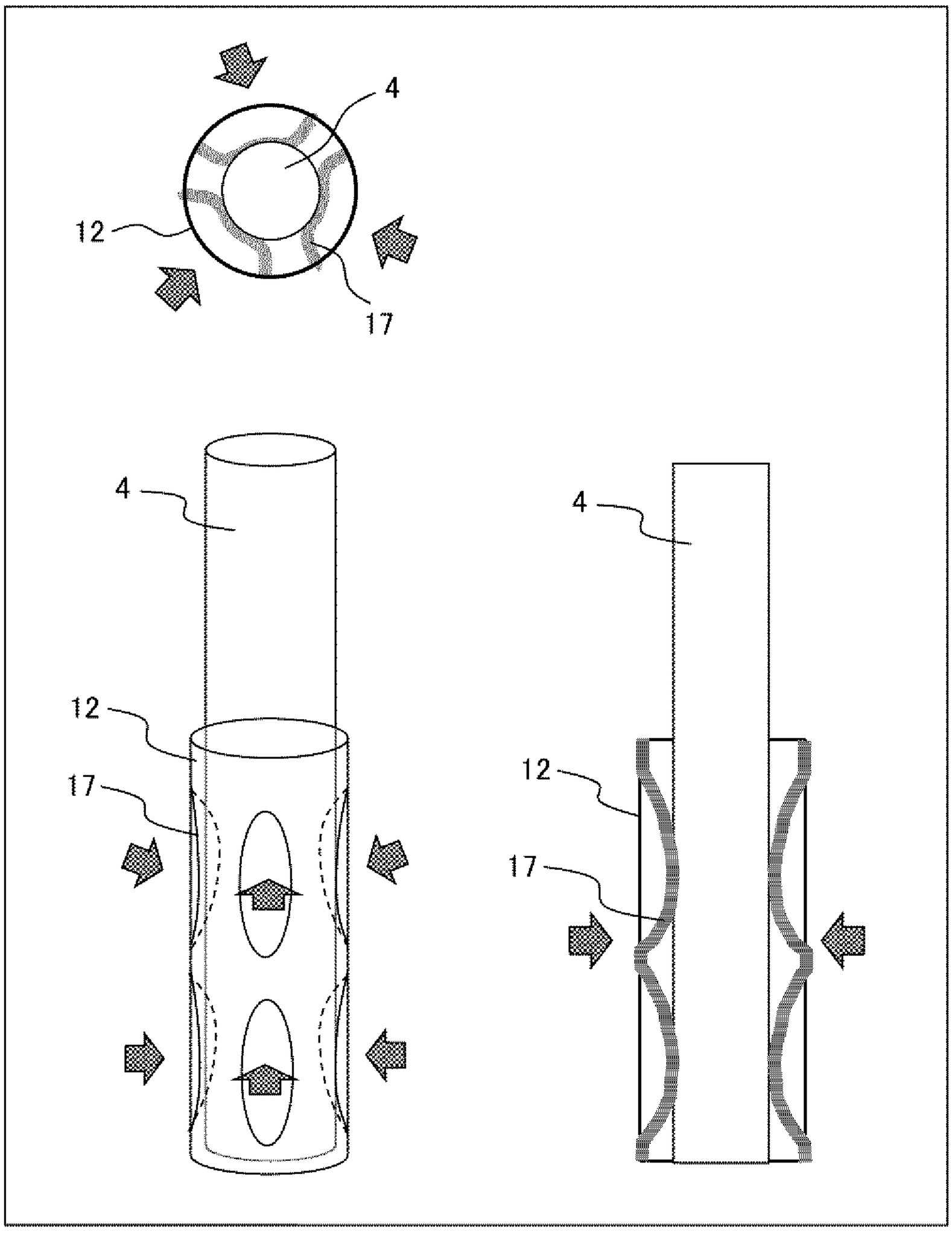
[図17]

図 17



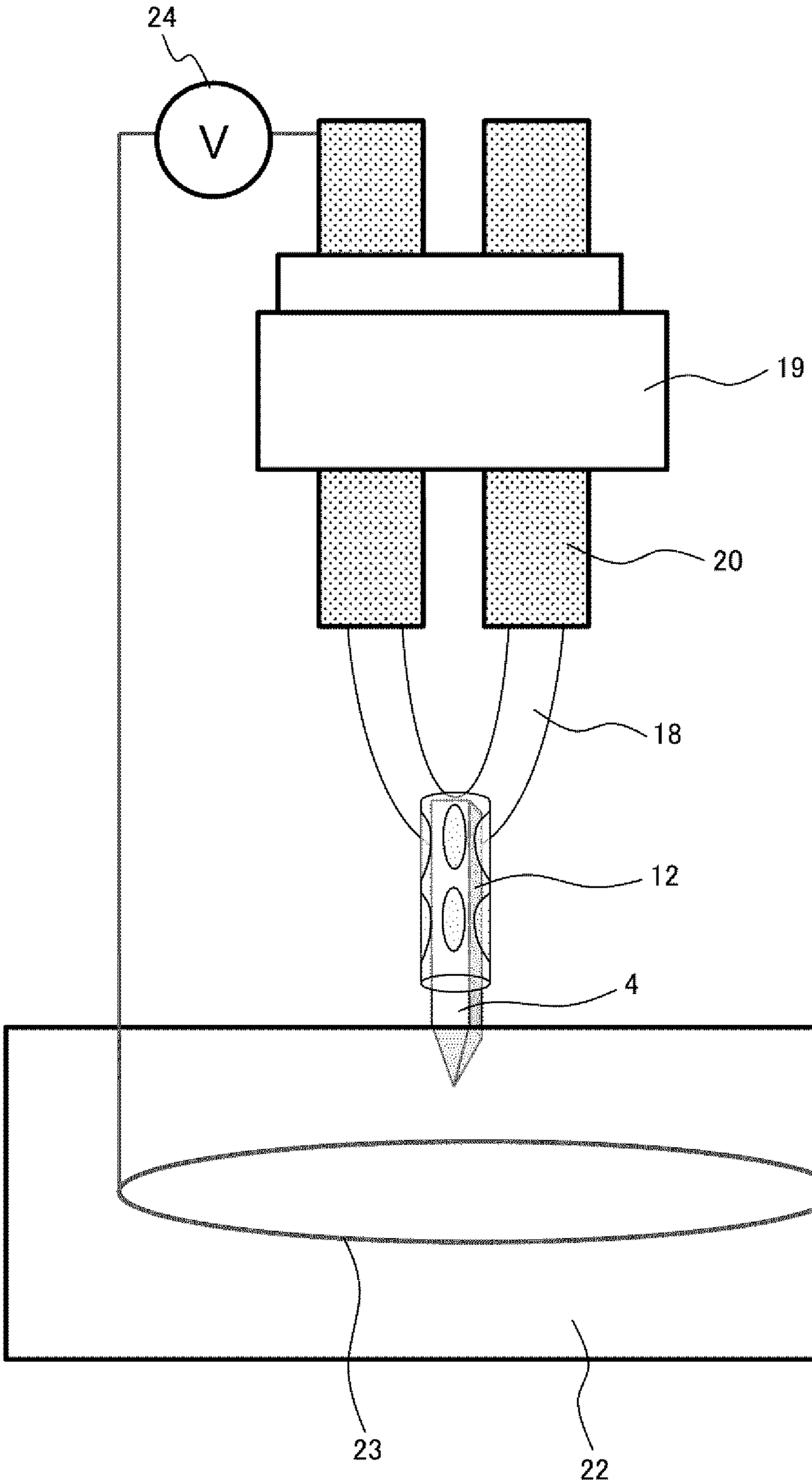
[図18]

図 18



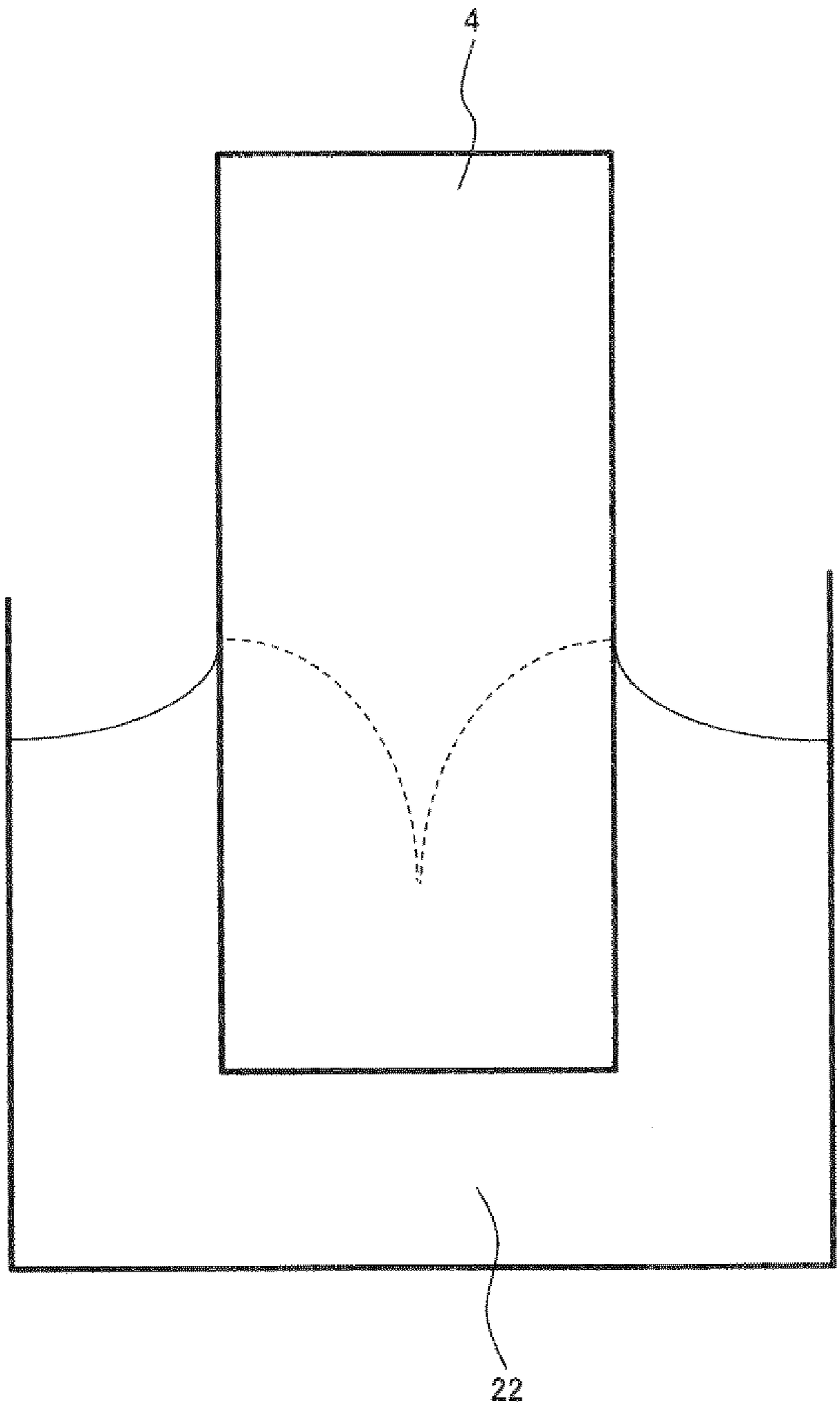
[図19]

図 19



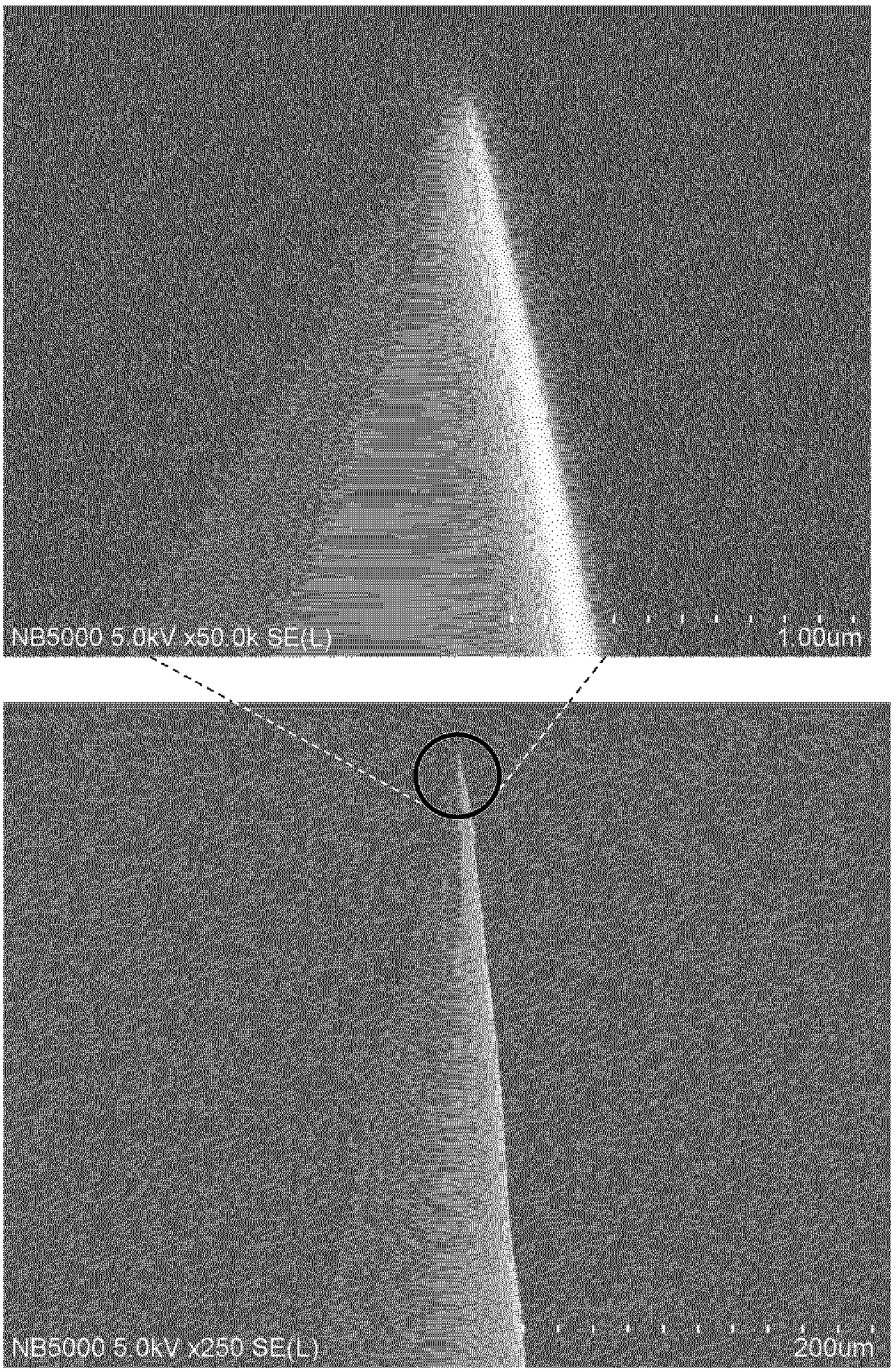
[図20]

図 20



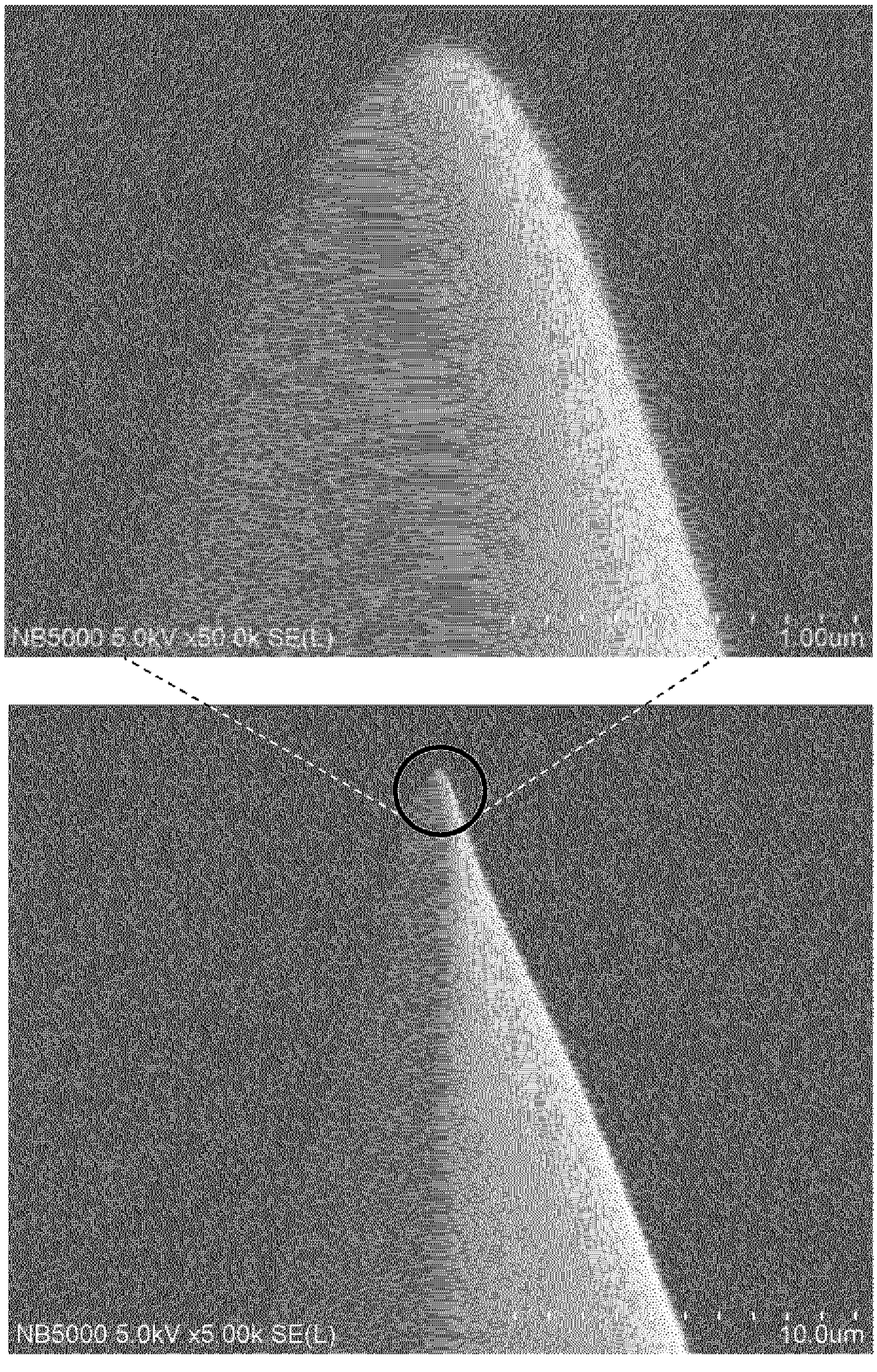
[図21]

図 21



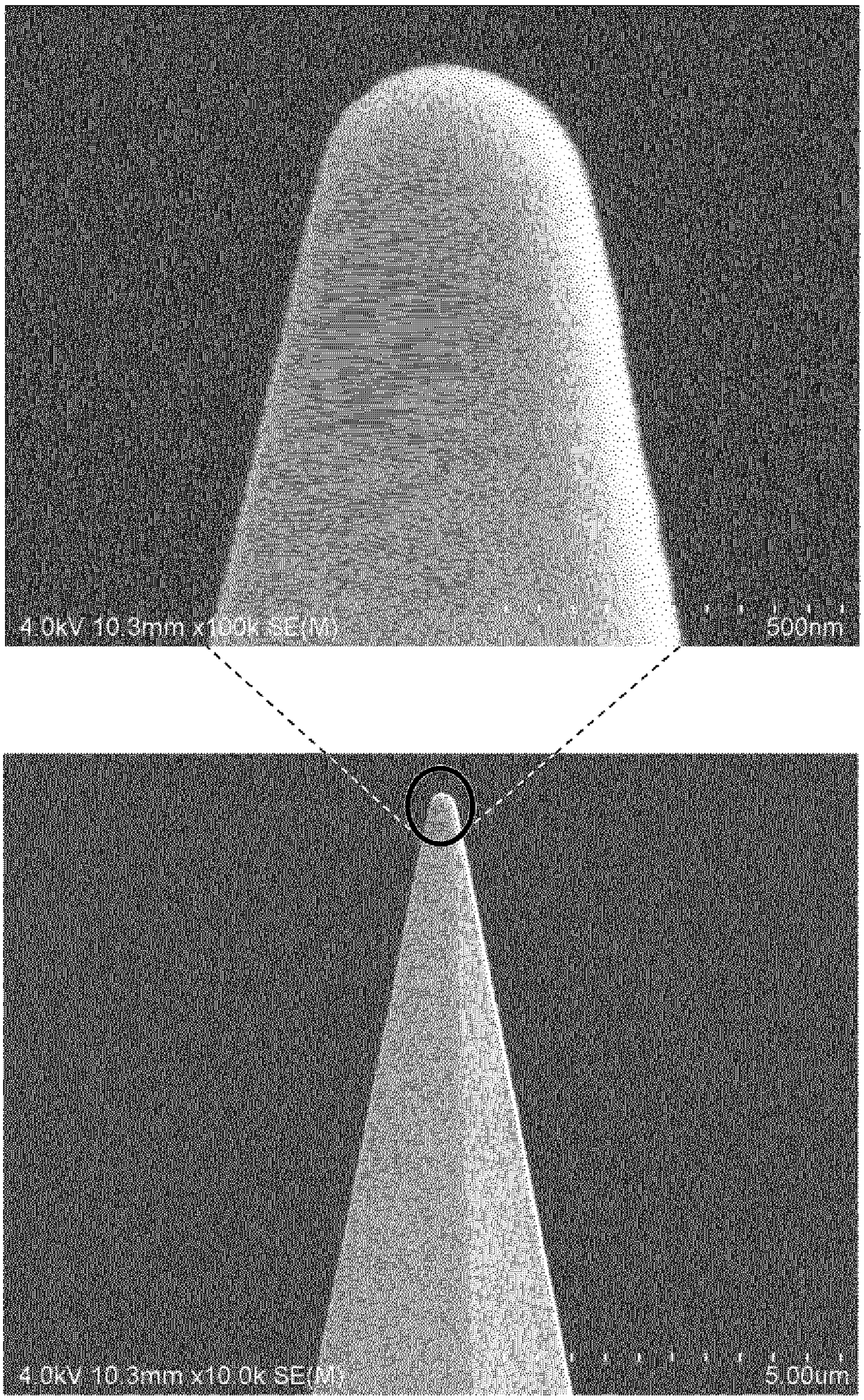
[図22]

図 22



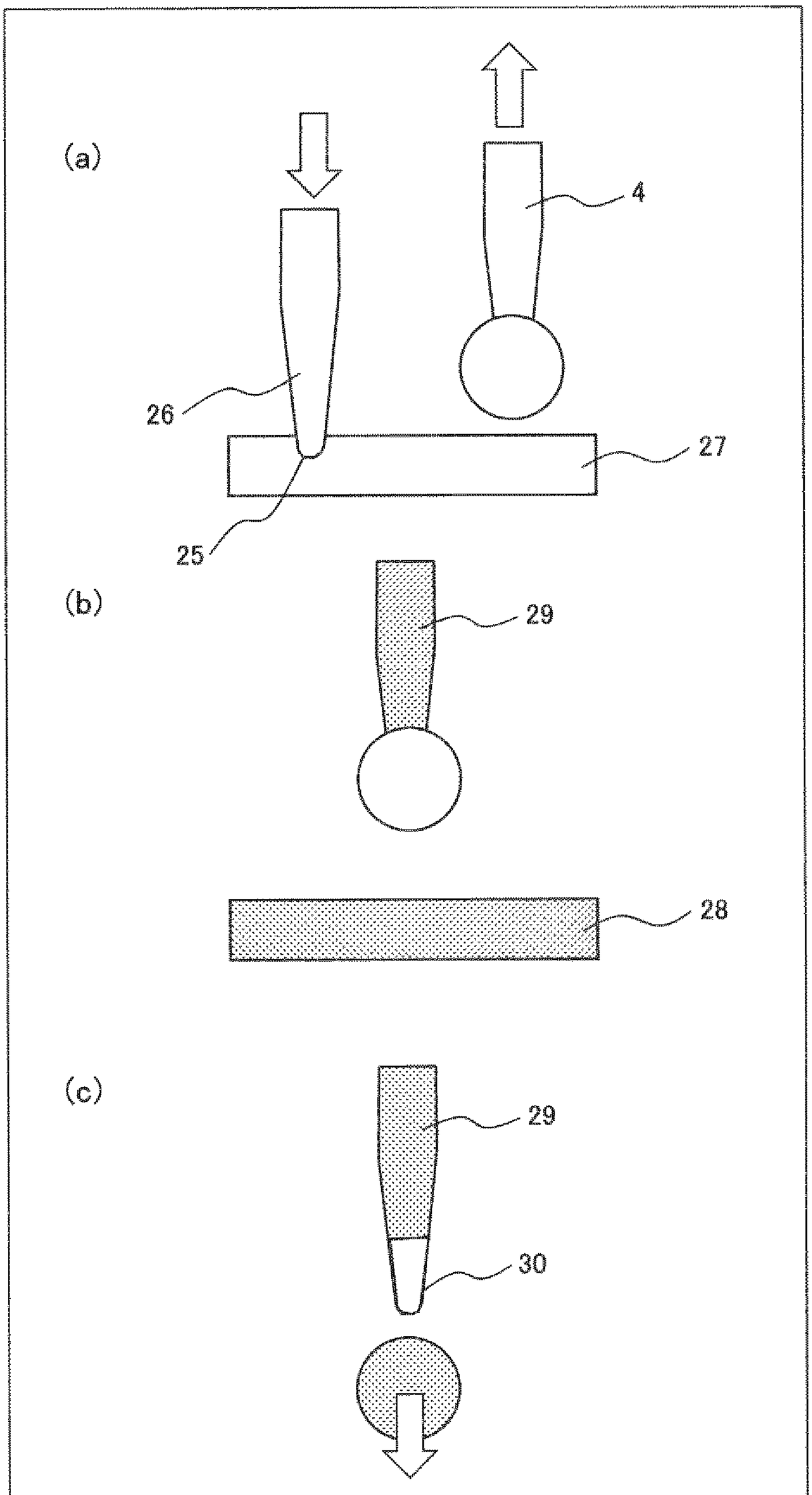
[図23]

図 23



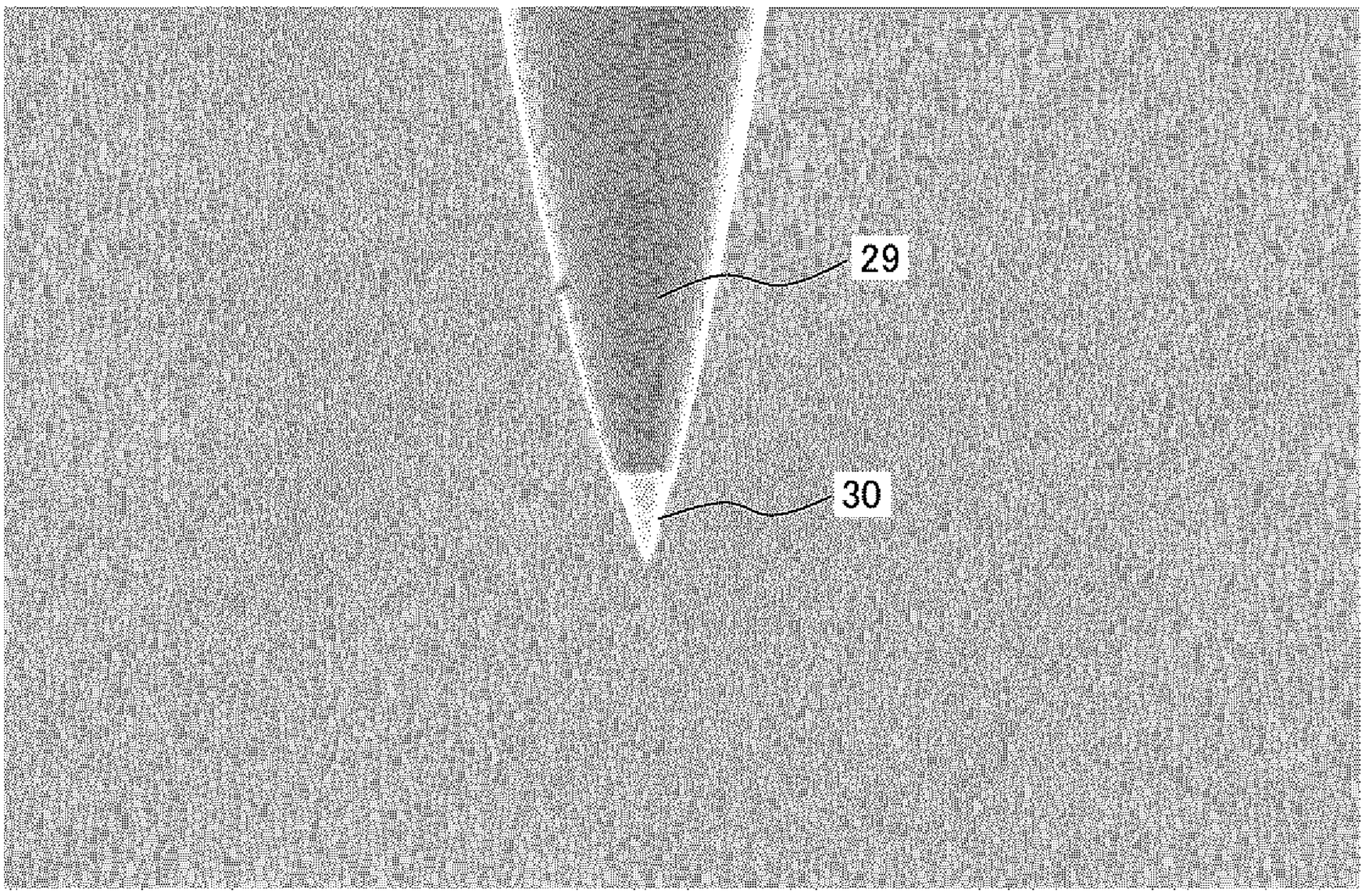
[図24]

図 24



[図25]

図 25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/050481

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. H01J37/06(2006.01)i
FI: H01J37/06

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. Cl. H01J37/06, H01J9/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020
Registered utility model specifications of Japan 1996-2020
Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2008/120412 A1 (ADVANTEST CORP.) 09 October 2008, paragraphs [0013], [0021], [0037], [0080]-[0088], [0099]-[0101], [0118], fig. 1, 8	1-10, 12 12-15 11
X Y A	JP 61-047038 A (JIEISON JIYON KIMU) 07 March 1986, description, page 2, upper right column, line 17 to lower left column, line 9, page 3, lower right column, lines 13-18, page 4, lower left column, lines 10-16, page 5, upper right column, line 11 to lower right column, line 19, fig. 5, 10-16	1, 8-9, 13-15 12 2-7, 10-11
Y A	JP 2000-173900 A (CANON INC.) 23 June 2000, paragraph [0040]	13-15 1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09.03.2020	17.03.2020
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/050481

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2019-525401 A (KLA TENCOR CORP.) 05 September 2019, paragraphs [0020], [0052], fig. 1	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2019/050481

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2008/120412 A1	09.10.2008	US 2010/019648 A1 paragraphs [0016], [0024], [0056], [0101]-[0107], [0118]-[0120], [0137], fig. 1, 8	
JP 61-047038 A	07.03.1986	(Family: none)	
JP 2000-173900 A	23.06.2000	US 2002/020822 A1 paragraph [0050]	
JP 2019-525401 A	05.09.2019	US 2018/005791 A1 paragraphs [0023], [0056], fig. 1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2019/050481

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01J 37/06(2006.01)i
FI: H01J37/06

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01J37/06, H01J9/04

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

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０年

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）

C.　関連すると認められる文献

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	関連する請求項の番号
X	WO 2008/120412 A1（株式会社アドバンテスト）09.10.2008（2008-10-09） [0013], [0021], [0037], [0080]-[0088], [0099]-[0101], [0118], 図1, 図8	1-10, 12
Y		12-15
A		11
X	JP 61-047038 A（ジエイソン　ジョン　キム）07.03.1986（1986-03-07） 明細書第2頁右上欄第17行目-左下欄第9行目，第3頁右下欄第13行目-18行目，第4頁左下欄第10-16行目，第5頁右上欄第11行目-右下欄第19行目，第5図，第10-16図	1, 8-9, 13-15
Y		12
A		2-7, 10-11
Y	JP 2000-173900 A（キヤノン株式会社）23.06.2000（2000-06-23） [0040]	13-15
A		1-12
A	JP 2019-525401 A（ケーエルエー コーポレイション）05.09.2019（2019-09-05） [0020], [0052], 図1	1-15

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

*　引用文献のカテゴリー
“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の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抵触するものではなく、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

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
09.03.2020	17.03.2020

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
右▲高▼　孝幸　2G 1765
電話番号 03-3581-1101 内線 3226

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2019/050481

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2008/120412 A1	09.10.2008	US 2010/019648 A1 [0016], [0024], [0056], [0101]-[0107], [0118]-[0120], [0137], Fig. 1, Fig. 8	
JP 61-047038 A	07.03.1986	（ファミリーなし）	
JP 2000-173900 A	23.06.2000	US 2002/020822 A1 [0050]	
JP 2019-525401 A	05.09.2019	US 2018/005791 A1 [0023], [0056], Fig. 1	