

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2021-290

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01Q 30/12 (2010.01)
G01Q 30/14 (2010.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

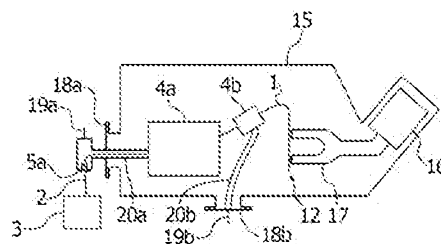
(22) Přihlášeno: **08.06.2021**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **05.10.2022**
(Věstník č. 40/2022)

(71) Přihlašovatel:
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Veveří, CZ
NenoVision, Brno, Medlánky, CZ

(72) Původce:
prof. RNDr. Jiří Spousta, Ph.D., Brno,
Kohoutovice, CZ
prof. RNDr. Tomáš Šikola, CSc., Brno, Ponava, CZ
Bc. Ondřej Černek, 92101 Piešťany, SK
Ing. Zbyněk Dostál, Ph.D., Žamberk, CZ
Ing. Michal Pavera, Ph.D., Třanovice, CZ

(74) Zástupce:
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno,
Černá Pole



(54) Název přihlášky vynálezu:
Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem

(57) Anotace:
Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem zahrnující zdroj světla, zaváděcí optické vlákno, pracovní komůrku a duté optické vlákno zahrnující kapiláry. V pracovní komůrce je první pracovní médium, přičemž pracovní komůrka zahrnuje přesný tříosý manipulátor pro pohyb zaváděcího optického vlákna ve třech navzájem kolmých osách. První konec zaváděcího optického vlákna je umístěn mimo pracovní komůrku a je do něj přivedeno světlo ze zdroje světla. Jeho druhý konec je umístěn v pracovní komůrce a zahrnuje hrot s dosedací ploškou. První konec dutého optického vlákna je umístěn v pracovní komůrce, jeho druhý konec je pak uložen mimo pracovní komůrku a zahrnuje hrot, přičemž dosedací ploška hrotu na druhém konci zaváděcího optického vlákna je v kontaktu s prvním koncem dutého optického vlákna tak, že kapiláry jsou na prvním konci dutého optického vlákna otevřeny do pracovní komůrky.

Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem

Oblast techniky

Vynález se zabývá přívodem světla a pracovního plynu, případně jiných tekutin nebo suspenzí (dále jen pracovního média) do komory zejména elektronového mikroskopu pomocí dutého optického vlákna.

Dosavadní stav techniky

V oblasti povrchové analýzy materiálů s rozlišením řádově jednotky až desítky nanometrů bývají velmi často využívány elektronové mikroskopy a rastrovací sondová mikroskopie - *Scanning Probe Microscopy* (SPM). Elektronové mikroskopy využívají optiky elektronových svazků, jimiž je buďto rastrováno po povrchu vzorku (SEM) za účelem zjištění povrchových vlastností, získání obrazu povrchu či struktury vzorku, nebo elektronový svazek přímo vzorkem prochází (TEM), přičemž studiem prošlého elektronového svazku či vzniklého difrakčního obrazce jsou získávány cenné informace o vnitřní struktuře vzorku.

Rastrovací sondová mikroskopie pak využívá sondy, kterou je rastrováno po povrchu vzorku, případně je pod touto sondou vzorkem rastrováno. Typickým zástupcem této diagnostické metody je Atomic Force Microscopy (AFM), která je členěna do mnoha podskupin z hlediska studovaných vlastností vzorku a způsobu měření. Klíčovým prvkem mnoha SPM metod je pak hrot sondy, který musí být velice ostrý za účelem získání vysokého povrchového rozlišení vzorku. Výhodně pak mohou být obě diagnostické metody implementovány v jednom zařízení, což umožňuje současné studium vzorku oběma metodami. Dále je možnost zahrnutí fokusovaného iontového svazku (FIB), který je využíván k modifikaci povrchů, materiálové analýze vzorku, výrobě tenkých lamel či pro řízenou depozici zejména nanostruktur.

Přívod pracovního média do komory elektronových mikroskopů či dalších zařízení pracujících pod vysokým/ultravysokým vakuem je poměrně komplikovaným procesem. Velkou roli zde hrají difúzní a srážkové procesy, díky kterým je velmi obtížné dostat pracovní plyn, jiné tekutiny nebo suspenze na konkrétní místo na vzorku v omezeném množství. Daný pracovní plyn je pak využíván např. k leptání vzorku, depozici tenkých vrstev, či jako katalyzátor pro urychlení nebo usměrnění růstu např. uhlíkových nanotrubelek. Další využití nachází pracovní plyn u duálních zařízení se svazkem nabitých částic, které využívají i svazek iontů pro opracování vzorku. Pracovní plyn pak slouží k potlačení nabíjení vzorku vlivem interakce s nabitými částicemi – ionty a elektrony – zejména u nevodivých vzorků. Podle dosavadních znalostí není známo zařízení, které by do pracovního prostoru HV/UHV komory SEM bylo schopno dodávat kromě plynů i jiné tekutiny a suspenze.

Pro přívod plynu do komory vakuovaného systému bývají používány zejména zařízení zvaná Gas Injection System (GIS). Tato zahrnují zdroj plynu, přívodní systém, regulaci průtoku či tlaku a v neposlední řadě jehlovou trysku. Často jsou tyto přívodní systémy opatřeny posuvníkem uzpůsobeným k přesnému pohybu ve třech navzájem kolmých osách za účelem zpřesnění dopravy plynu na konkrétní místo na studovaném vzorku.

Stav techniky poskytuje značné množství dokumentů a zařízení pro přívod plynu do systémů s vysokým/ultravysokým vakuem, které řeší různé problémy spjaté s přívodem. Například zařízení 5-line GIS společnosti Orsay Physics umožňuje přívod pěti různých plynů, nikoli však jiné, další tekutiny v kapalném stavu nebo suspenze.

Na základě výše uvedeného by bylo žádoucí přijít s řešením rastrovací sondy, která by umožňovala současné přivedení světla a pracovního plynu, případně jiných tekutin nebo suspenzí, do blízkosti hrotu a která by umožňovala jednoduchou manipulaci a časově efektivní aplikaci sondy.

5

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky do jisté míry odstraňuje rastrovací sonda s dutým optickým vláknem zahrnující zdroj světla, zaváděcí optické vlákno, pracovní komůrku a duté optické vlákno zahrnující kapiláry, jejíž podstata spočívá v tom, že pracovní komůrka obsahuje první pracovní médium, přičemž pracovní komůrka zahrnuje přesný tříosý manipulátor umožňující pohyb zaváděcího optického vlákna ve třech navzájem kolmých osách. První konec zaváděcího optického vlákna je umístěn mimo pracovní komůrku a je do něj přivedeno světlo ze zdroje světla a druhý konec zaváděcího optického vlákna je umístěn v pracovní komůrce a zahrnuje hrot s dosedací ploškou. První konec dutého optického vlákna je umístěn v pracovní komůrce a druhý konec dutého optického vlákna je umístěn mimo pracovní komůrku a zahrnuje hrot, přičemž dosedací ploška hrotu na druhém konci zaváděcího optického vlákna je v kontaktu s prvním koncem dutého optického vlákna tak, že kapiláry jsou na prvním konci dutého optického vlákna otevřeny do pracovní komůrky.

20

Výhoda rastrovací sondy s dutým optickým vláknem dle předkládaného vynálezu spočívá především v tom, že umožňuje současné přivádění světla a pracovního média dutým optickým vláknem do blízkosti skenovacího hrotu. Díky pracovní komůrce, v níž dochází ke kontaktu zaváděcího optického vlákna a dutého optického vlákna, lze v případě poškození hrotu v komoře vakuového systému vyměnit pouze toto duté optické vlákno a v pracovní komůrce opět nastavit obě zmíněná vlákna do kontaktu. Údržba či oprava takového řešení je tedy časově i finančně efektivnější. Jelikož je pro zavedení světla do pracovní komůrky použito samostatné zaváděcí optické vlákno, může být duté optické vlákno relativně krátké, což zkracuje také dobu průchodu pracovního média kapilárami dutého optického vlákna ke hrotu. Tím je výrazně urychlen proces přípravy sondy před jejím použitím. Díky tomuto vynálezu není také nutné pro přivedení plynu použít finančně náročný GIS, a navíc je možné přivádět dutým optickým vláknem i jiné médium než plyn, což otevírá rozsáhlou řadu nových výzkumných či jiných aplikací.

Druhý konec dutého optického vlákna je výhodně umístěn mimo pracovní komůrku v pracovním prostoru rastrovacího sondového mikroskopu. Díky tomu je umožněno využití rastrovací sondy s dutým optickým vláknem dle předkládaného vynálezu v komoře SEM, čímž lze dosáhnout kombinace metod SEM a SPM například pro podrobnější studium dějů na povrchu vzorku.

První pracovní médium je výhodně kterýkoliv prvek vybraný z množiny zahrnující plyn, kapalinu a suspenzi. Použití různých typů pracovního média, především kapalin a suspenzí, s výhodou vede k výraznému rozšíření spektra aplikací rastrovací sondy s dutým optickým vláknem dle předkládaného vynálezu. Otevírají se například možnosti řízené depozice či růstu nanostruktur, jako jsou nanovlákna či nanoostrůvky atp.

Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem výhodně dále zahrnuje přídavnou pracovní komůrku, přičemž přídavná pracovní komůrka obsahuje druhé pracovní médium. Druhé pracovní médium je výhodně kterýkoliv prvek vybraný z množiny zahrnující plyn, kapalinu a suspenzi. Díky přídavné pracovní komůrce je možné dutým optickým vláknem přivádět do blízkosti hrotu také jiné pracovní médium, tj. plyn, kapalinu či suspenzi, než je pracovní médium, které se nachází v pracovní komůrce.

Pracovní komůrka se výhodně nachází v komoře vakuového systému, přičemž sousedí s pracovním prostorem rastrovacího sondového mikroskopu. Přídavná pracovní komůrka se výhodně nachází v komoře vakuového systému, přičemž sousedí s pracovním prostorem rastrovacího sondového mikroskopu. Umístění pracovní komůrky, respektive přídavné pracovní

komůrky poblíž rastrovacího sondového mikroskopu poskytuje možnost použití kratšího dutého optického vlákna, a umožňuje tak časově efektivnější používání rastrovací sondy s dutým optickým vláknem dle předkládaného vynálezu. Toto umístění je výhodné také pro umožnění kombinované analýzy pomocí SEM a SPM.

5

Přesný tříosý manipulátor výhodně zahrnuje osový posuv a příčný posuv. Díky tříosému manipulátoru lze přivést do kontaktu zaváděcí optické vlákno a duté optické vlákno, čímž je možné zavést do dutého optického vlákna světlo ze zdroje světla. Přesný tříosý manipulátor zároveň umožňuje jednoduchou a časově nenáročnou manipulaci.

10

V pracovním prostoru rastrovacího sondového mikroskopu v komoře vakuového systému se výhodně nachází rastrovací sondový mikroskop, přičemž hrot je spojen s ladičkou rastrovacího sondového mikroskopu. Toto spojení umožňuje využití kombinované analýzy pomocí SEM a SPM pro podrobnější studium dějů na povrchu vzorku. Zmíněná kombinace umožňuje velmi snadnou navigaci po povrchu vzorku, přičemž analyzované či modifikované místo lze nalézt s vysokou přesností. Díky tomu není nutné opatřit povrch vzorku systémem navigačních značek, což představuje další nežádoucí krok úpravy vzorku.

15

20

Duté optické vlákno výhodně zahrnuje plné jádro ze skleněného materiálu vedoucí středem dutého optického vlákna a kapiláry rozmístěné mimo plné jádro. Duté optické vlákno výhodně zahrnuje centrální dutinu vedoucí středem dutého optického vlákna a kapiláry rozmístěné mimo centrální dutinu. Použité typy vláken umožňují současné vedení světla i pracovního média, tj. plynu, kapaliny či suspenze, a díky své komerční dostupnosti nepředstavují finančně náročnou komponentu.

25

Duté optické vlákno má výhodně délku maximálně 15 cm. Kratší délka dutého optického vlákna přímo implikuje kratší dobu průchodu pracovního média kapilárami. Díky tomu lze tedy zkrátit čekací dobu před začátkem experimentu, a to například na přibližně 15 minut v případě plynu a délky vlákna 15 cm.

30

Zaváděcí optické vlákno je výhodně realizováno jako plné optické vlákno. Plné optické vlákno umožňuje vedení světla ze zdroje světla do pracovní komůrky a díky své komerční dostupnosti nepředstavuje finančně náročnou komponentu.

35

Tlak prvního pracovního média v pracovní komůrce je výhodně 0,1 až 1 MPa. Tlak druhého pracovního média v přidavné pracovní komůrce je výhodně 0,1 až 1 MPa. Tlak v komoře vakuového systému je výhodně nižší než atmosférický. Použití přetlaku v pracovní komůrce, respektive přidavné pracovní komůrce umožňuje efektivnější přivádění pracovního média dutým optickým vláknem. Pro studium dějů na povrchu vzorku je v komoře vakuového systému vysoký stupeň vakua, přičemž platí, že tlak v pracovní komůrce, respektive v přidavné pracovní komůrce je větší než tlak v komoře vakuového systému.

40

45

Zdroj světla se výhodně nachází mimo komoru vakuového systému, přičemž zaváděcí optické vlákno je do komory vakuového systému zavedeno s využitím první příruby. Zdroj druhého pracovního média se výhodně nachází mimo komoru vakuového systému, přičemž druhé pracovní médium je do komory vakuového systému zavedeno s využitím druhé příruby. Díky tomu je možné se zdrojem světla, respektive se zdrojem druhého pracovního média manipulovat či ho jinak ovládat bez zásahu do samotného vakuového systému.

50

Objasnění výkresů

Podstata vynálezu je dále objasněna na příkladech jeho uskutečnění, které jsou popsány s využitím připojených výkresů, kde na:

55

obr. 1 je schematicky znázorněna rastrovací sonda s dutým optickým vláknem dle předkládaného vynálezu umístěná do komory vakuového systému,

obr. 2 je schematicky znázorněno uspořádání pracovní komůrky s vyznačením roviny řezu A-A pro zobrazení na obr. 3,

obr. 3 je schematicky znázorněno uspořádání pracovní komůrky v řezu A-A dle obr. 2,

obr. 4a je schematicky znázorněn princip zavedení světla ze zaváděcího optického vlákna do dutého optického vlákna s plným jádrem z křemenného skla a pláštěm z křemenného skla s kapilárami,

obr. 4b je schematicky znázorněn princip zavedení světla ze zaváděcího optického vlákna do dutého optického vlákna s centrální dutinou a pláštěm z křemenného skla s kapilárami,

obr. 5 je schematicky znázorněno uspořádání zavedení druhého pracovního média pomocí přídavné pracovní komůrky,

obr. 6a je schematicky znázorněn hrot vytvořený z dutého optického vlákna s plným jádrem z křemenného skla a pláštěm z křemenného skla s kapilárami a

obr. 6b je schematicky znázorněn hrot vytvořený z dutého optického vlákna s centrální dutinou a pláštěm z křemenného skla s kapilárami.

Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález bude dále objasněn na příkladech uskutečnění s odkazem na příslušné výkresy.

V prvním příkladném provedení dle obr. 1 zahrnuje rastrovací sonda s dutým optickým vláknem 1 dle předkládaného vynálezu

- zdroj 3 světla,
- zaváděcí optické vlákno 2,
- trubičku 19a pro přívod prvního pracovního média,
- trubičku 19b pro přívod druhého pracovního média,
- pracovní komůrku 4a,
- přídavnou pracovní komůrku 4b a
- duté optické vlákno 1 zahrnující kapiláry 13a, přičemž duté optické vlákno 1 je na jednom konci zakončené hrotem 12.

Pracovní komůrka 4a je vyjímatelně umístěna do komory 15 vakuového systému, výhodně do komory elektronového mikroskopu typu SEM, FIB-SEM, (HR)TEM, FIB-TEM, (HR)STEM, přičemž zdroj 3 světla je v prvním příkladném provedení realizován jako zdroj 3 světla s analyzátozem zpětně procházejícího záření a nachází se mimo komoru 15 vakuového systému a zaváděcí optické vlákno 2 je do komory 15 vakuového systému zavedeno s využitím první příruby 18a a první vlnovcové trubky 20a se zakončením do tvaru písmene T, jak je znázorněno na obr. 1. Trubička 19a pro přívod prvního pracovního média je rovněž spojena s první vlnovcovou trubicí 20a se zakončením do tvaru písmene T. V prvním příkladném provedení je skrz první přírubu 18a vedena první vlnovcová trubka 20a, která je spojena s pracovní komůrkou 4a a která je zakončena dílem ve tvaru písmene T se dvěma dutými rameny. Zaváděcí optické vlákno 2 je vedeno první vlnovcovou trubicí 20a a je vakuově těsně vyvedeno prvním dutým ramenem dílu ve tvaru písmene T. Druhým ramenem dílu ve tvaru písmene T je pomocí trubičky 19a pro přívod prvního pracovního média a první vlnovcové trubky 20a do pracovní komůrky 4a přiváděno,

respektive odčerpáváno první pracovní médium. Komora 15 vakuového systému v prvním příkladném provedení zahrnuje prostor pro uložení pracovní komůrky 4a, prostor pro uložení přídavné pracovní komůrky 4b a pracovní prostor rastrovacího sondového mikroskopu 16, přičemž tyto prostory spolu sousedí. Pracovní komůrka 4a je umístěna v prostoru pro uložení pracovní komůrky 4a, přídavná pracovní komůrka 4b je umístěna v prostoru pro uložení přídavné pracovní komůrky 4b a v pracovním prostoru rastrovacího sondového mikroskopu 16 se nachází rastrovací sondový mikroskop 16, přičemž hrot 12 dutého optického vlákna 1 je spojen s ladičkou 17 rastrovacího sondového mikroskopu 16, například přilepením. Rastrovací sonda v uvedeném spojení s rastrovacím sondovým mikroskopem 16 a umístěná do komory 15 vakuového systému tak tvoří analytický systém umožňující vzájemné rastrování hrotem 12 nad povrchem vzorku se současným přivedením/odvedením světla a přivedením prvního pracovního média do blízkého okolí hrotu 12. Díky umístění rastrovacího sondového mikroskopu 16 a rastrovací sondy s dutým optickým vláknem 1 do komory 15 vakuového systému, výhodně do komory rastrovacího elektronového mikroskopu, nabízí analytický systém možnost analýzy vzorku tzv. korelativní mikroskopii, tedy současným měřením pomocí SEM a SPM.

Pracovní komůrka 4a, znázorněná na obr. 2 a obr. 3, v níž dochází k přivedení světla a prvního pracovního média do dutého optického vlákna 1, je v prvním příkladném provedení realizována jako schránka, jejíž vnější stěny ohraničují dutinu pro uložení vnitřních komponent pracovní komůrky 4a, přičemž vnější stěny zahrnují podstavnou stěnu, první boční stěnu pro zavedení zaváděcího optického vlákna 2 a prvního pracovního média (pomocí první vlnovcové trubky 20a) do pracovní komůrky 4a a druhou boční stěnu pro vyvedení dutého optického vlákna 1 z pracovní komůrky 4a. Pracovní komůrka 4a je uzavřena s výjimkou dvou otvorů, přičemž první otvor je zhotoven v první boční stěně pracovní komůrky 4a a slouží pro zavedení zaváděcího optického vlákna 2 a prvního pracovního média (pomocí první vlnovcové trubky 20a) do pracovní komůrky 4a a druhý otvor je zhotoven ve druhé boční stěně pracovní komůrky 4a a slouží pro vyvedení dutého optického vlákna 1 z pracovní komůrky 4a. Ve výhodném provedení pracovní komůrky 4a se první otvor a druhý otvor nacházejí naproti sobě, a jejich osy tak výhodně splývají.

Zaváděcí optické vlákno 2 je pro zavedení do prvního dutého ramene dílu ve tvaru písmene T (který je zakončením první vlnovcové trubky 20a, navažené na pracovní komůrku 4a) uloženo v objímce 5a, s níž je neprodyšně zaslepeno pomocí lepidla kompatibilního pro těsnění v oblasti vysokého/ultravysokého vakua (tzv. HV/UHV), a objímka 5a je dále uložena v teflonovém těsnění, které je navíc speciální maticí stažené a deformované v axiálním i radiálním směru. Duté optické vlákno 1 je pro vyvedení z pracovní komůrky 4a uloženo v objímce 6a, s níž je neprodyšně zaslepeno pomocí HV/UHV kompatibilního lepidla, a objímka 6a je dále uložena v teflonovém těsnění, které je navíc speciální maticí stažené a deformované v axiálním i radiálním směru.

V pracovní komůrce 4a se kromě zaváděcího optického vlákna 2 uloženého v objímce 5b a dutého optického vlákna 1 uloženého v objímce 6a nachází také přesný tříosý manipulátor 7 umožňující pohyb zaváděcího optického vlákna 2 ve třech navzájem kolmých osách. Přesný tříosý manipulátor 7, jak je znázorněno na obr. 2 a obr. 3, sestává ze dvou základních částí, a to z osového posuvu 8, který je realizován jako lineární vedení umožňující pohyb zaváděcího optického vlákna 2 v ose rovnoběžné s osou zaváděcího optického vlákna 2, a z příčného posuvu 9, v němž je zaváděcí optické vlákno 2 uchyceno pomocí objímky 5b. Příčný posuv 9 umožňuje pohyb zaváděcího optického vlákna 2 ve dvou dalších navzájem kolmých osách, které jsou obě kolmé na osu zaváděcího optického vlákna 2, přičemž jedna z těchto os je rovnoběžná s podstavnou stěnou přetlakové komůrky 4a. Ve výhodném provedení je příčný posuv 9 realizován systémem pružných kloubů, které jsou vyřezány do kovové desky, a zahrnuje justážní šrouby 10 pro nastavení požadované polohy zaváděcího optického vlákna 2 ve dvou příslušných osách.

Objímky 5a, 5b a objímka 6a jsou ve výhodném provedení zhotoveny ve formě ocelového válečku s centrálním otvorem, přičemž průměr centrálního otvoru objímky 5a a 5b je uzpůsoben pro zasazení zaváděcího optického vlákna 2 a průměr centrálního otvoru objímky 6a je uzpůsoben pro

zasazení dutého optického vlákna 1. Průměr centrálního otvoru všech objímek je ve výhodném provedení 200 μm .

5 V následující části je popsán proces přestupu světla ze zdroje 3 světla, výhodně zdroje 3 světla s analyzátozem zpětně procházejícího záření, do dutého optického vlákna 1, kterým je světlo následně přivedeno do blízkého okolí hrotu 12.

10 První konec zaváděcího optického vlákna 2 je umístěn mimo pracovní komůrku 4a i mimo komoru 15 vakuového systému, kde je do něj přivedeno světlo ze zdroje 3 světla, přičemž výhodně je použit zdroj laserového světla. Druhý konec zaváděcího optického vlákna 2 je umístěn v pracovní komůrce 4a a zahrnuje hrot s dosedací ploškou 11, znázorněný na obr. 4a a obr. 4b, přičemž postup přípravy tohoto hrotu je popsán v další části textu. Ve výhodném provedení zaváděcího optického vlákna 2 je zaváděcí optické vlákno 2 realizováno jako plné optické vlákno, přičemž průměr dosedací plošky 11 hrotu na druhém konci zaváděcího optického vlákna 2 je
15 výhodně 5 μm .

První konec dutého optického vlákna 1 je umístěn v pracovní komůrce 4a a druhý konec dutého optického vlákna 1 je umístěn mimo pracovní komůrku 4a v pracovním prostoru rastrovacího sondového mikroskopu 16 a zahrnuje hrot 12, přičemž postup přípravy hrotu 12 je popsán v další
20 části textu. Hrot 12 na druhém konci dutého optického vlákna 1 je přilepen k ladičce 17 rastrovacího sondového mikroskopu 16, který se nachází v pracovním prostoru rastrovacího sondového mikroskopu 16.

25 Spojení zaváděcího optického vlákna 2 a dutého optického vlákna 1 je realizováno v pracovní komůrce 4a, přičemž poloha zaváděcího optického vlákna 2 je s využitím osového posuvu 8 a příčného posuvu 9 nastavena tak, že dosedací ploška 11 hrotu na konci zaváděcího optického vlákna 2 je v kontaktu s prvním koncem dutého optického vlákna 1 tak, že kapiláry 13a jsou na prvním konci dutého optického vlákna 1 otevřeny do pracovní komůrky 4a, tj. tak, aby dosedací ploška 11 hrotu na konci zaváděcího optického vlákna 2 nezakrývala kapiláry 13a dutého
30 optického vlákna 1. Ve výhodném provedení je dosedací ploška 11 v kontaktu se středovou částí dutého optického vlákna 1, jak je znázorněno na obr. 4a a obr. 4b, a nezakrývá žádnou z jeho kapilár 13a, kterými do dutého optického vlákna 1 proniká v pracovní komůrce 4a první pracovní médium. Přitom je nutné zachovat světlovodné vlastnosti dutého optického vlákna 1.

35 Pracovní komůrka 4a dle předkládaného vynálezu je umístěna na výsuvném zařízení, které umožňuje (vzhledem k možnosti prodloužení první vlnovcové trubky 20a) vysunutí pracovní komůrky 4a společně se zaváděcím optickým vláknem 2 a dutým optickým vláknem 1 mimo komoru 15 vakuového systému, což znamená, že proces kontaktního zavedení světla ze zaváděcího optického vlákna 2 do dutého optického vlákna 1 lze nejvýhodněji provést mimo komoru 15
40 vakuového systému. Díky tomu lze také využít například optického mikroskopu pro sledování vzájemné prostorové dispozice zaváděcího optického vlákna 2 a dutého optického vlákna 1, čímž je celý proces uvedení obou vláken do požadovaného světelného kontaktu výrazně usnadněn.

45 Postup pro zavedení světla do dutého optického vlákna 1 zahrnuje ve výhodném provedení následující kroky. Nejprve je rastrovací sonda dle předkládaného vynálezu společně s ladičkou 17 rastrovacího sondového mikroskopu 16 vysunuta z komory 15 vakuového systému. Do zaváděcího optického vlákna 2 je dále zavedeno světlo ze zdroje 3 světla. Dále je s využitím přesného tříosého manipulátoru 7, tj. posunutím zaváděcího optického vlákna 2 v ose vlákna pomocí osového posuvu 8 a manipulací s justážními šrouby 10 příčného posuvu 9 pro pohyb ve dvou dalších
50 navzájem kolmých osách, nastavena požadovaná poloha zaváděcího optického vlákna 2 a dosedací plošky 11 hrotu.

Následně je pracovní komůrka 4a zasunuta zpět do komory 15 vakuového systému a do pracovní komůrky 4a je přivedeno první pracovní médium, přičemž tlak prvního pracovního média
55 v pracovní komůrce 4a leží výhodně v rozmezí 0,1 až 1 MPa, případně je volen tak, aby tlak

prvního pracovního média v pracovní komůrce 4a byl vyšší než tlak v komoře 15 vakuového systému. V komoře 15 vakuového systému je ve výhodném provedení vysoké/ultravysoké vakuum, tj. tlak zbytkového plynu je nižší než 10^{-5} Pa. Pracovní komůrka 4a je navržena tak, aby její konstrukce i konstrukce jejích jednotlivých částí odolala tlaku prvního pracovního média až 1 MPa, a zároveň jsou jednotlivé komponenty vystupující, případně vstupující do pracovní komůrky 4a vakuově těsněny tak, aby bylo co nejlépe zamezeno úniku prvního pracovního média přes jednotlivé spoje. Po natlakování prvního pracovního média v pracovní komůrce 4a na požadovaný tlak je nutné vyčkat, až první pracovní médium pronikne kapilárami 13a dutého optického vlákna 1 až k hrotu 12. Tato čekací doba se prodlužuje s délkou dutého optického vlákna 1, z tohoto důvodu má duté optické vlákno 1 výhodně délku maximálně cca 15 cm. Zmíněná čekací doba je pak v takovém případě zkrácena na přibližně 15 minut. V alternativním provedení je tlak prvního pracovního média nižší než 0,1 MPa. V dalším alternativním provedení je rastrovací sonda s dutým optickým vláknem 1 dle předkládaného vynálezu použita mimo komoru 15 vakuového systému a měření probíhá za atmosférického tlaku.

V prvním příkladném provedení je prvním pracovním médiem plyn. V alternativním provedení je prvním pracovním médiem kapalina. V dalším alternativním provedení je prvním pracovním médiem suspenze.

Zaváděcí optické vlákno 2 je v prvním příkladném provedení zhotoveno jako plné optické vlákno, přičemž je použito komerčně dostupné plné optické vlákno, které sestává ze tří částí – jádra, pláště a krycí vrstvy. Světlo se v případě tohoto typu vlákna šíří jádrem na základě totálního odrazu na rozhraní jádra a pláště, přičemž index lomu materiálu jádra je vyšší než index lomu materiálu pláště. Ve výhodném provedení je jádro, stejně tak i plášť, zhotoveno z křemenného skla, přičemž pro dosažení vyššího indexu lomu je materiál jádra vhodně dopován. Krycí akrylátová vrstva plní funkci ochrany jádra a pláště před mechanickým poškozením, případně před vlhkostí okolního prostředí.

Duté optické vlákno 1 je v prvním příkladném provedení zhotoveno jako tzv. poloduté optické vlákno, znázorněné na obr. 4a a obr. 6a, které ve výhodném provedení zahrnuje plášť (oblast z křemenného skla s kapilárami 13a), jádro (pouze z křemenného skla) a akrylátovou krycí vrstvu. V polodutém optickém vlákně jsou zhotoveny a rozmístěny kapiláry 13a tak, že vzdálenost mezi sousedícími (nejbližšími) kapilárami 13a je stejná pro všechny kapiláry 13a. Rozmístění kapilár 13a je pak výhodně symetrické vůči středu polodutého optického vlákna, tj. vůči plnému jádru z křemenného skla, a může být voleno jako kruhové, čtvercové, případně ve tvaru pravidelného mnohoúhelníku. Zhotovením kapilár 13a dochází ke snížení průměrného indexu lomu pláště. Díky tomu je umožněno vedení světla jádrem polodutého optického vlákna, a zároveň také případné vedení minimálně jednoho pracovního média kapilárami 13a. Průměr plného jádra je ve výhodném provedení větší než průměr kapilár 13a. Alternativně je průměr plného jádra menší nebo roven průměru kapilár 13a.

Pro zajištění přenosu světla ze zaváděcího optického vlákna 2 do polodutého optického vlákna, aniž by došlo k zakrytí či poškození kapilár 13a, jak je znázorněno na obr. 4a, je poloduté optické vlákno pokryto vodivou vrstvou 21a kovu o tloušťce v řádu stovek nanometrů, přičemž následně je v centrální části polodutého optického vlákna tento kov odstraněn pomocí fokusovaného iontového svazku (FIB), čímž vznikne dutina o hloubce přibližně 0,5 μm a průměru přibližně 5 μm . Do této dutiny je následně pod optickým mikroskopem a s využitím osového posuvu 8 a příčného posuvu 9 vsuvně těsně nasunut hrot zaváděcího optického vlákna 2 zakončený dosedací ploškou 11. Boční stěny komolého kužele zakončeného dosedací ploškou 11 jsou ve výhodném provedení pokryty vodivou vrstvou 21b kovu o tloušťce řádu stovek nanometrů, čímž je nahrazen chybějící plášť zaváděcího optického vlákna 2, čímž zůstane světlovodná funkce zaváděcího optického vlákna 2 nezměněna.

V alternativním provedení je duté optické vlákno 1 zhotoveno jako tzv. duté optické vlákno 1 s centrální dutinou 14, znázorněné na obr. 4b a obr. 6b, které namísto plného jádra zahrnuje

centrální dutinu 14 pro vedení světla, přičemž centrální dutina 14 vede středem dutého optického vlákna 1. Kolem centrální dutiny 14 je zhotovena síť kapilár 13a, přičemž ve výhodném provedení je průměr centrální dutiny 14 větší než průměr kapilár 13a. Alternativně je průměr centrální dutiny 14 menší nebo roven průměru kapilár 13a. Rozmístění kapilár 13a je pak výhodně symetrické vůči středu dutého optického vlákna 1, tj. vůči centrální dutině 14, a může být voleno jako kruhové, čtvercové, případně ve tvaru pravidelného mnohoúhelníku.

Pro zajištění přenosu světla ze zaváděcího optického vlákna 2 do dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14, aniž by došlo k zakrytí či poškození kapilár 13a, jak je znázorněno na obr. 4b, je konec zaváděcího optického vlákna 2 ve výhodném provedení Turneroovou metodou a s využitím metody FIB vytvarován do hrotu ve tvaru komolého kužele, který je zakončen dosedací ploškou 11 o průměru přibližně 5 μm . Tento konec opatřený hrotem ve tvaru komolého kužele s dosedací ploškou 11 je vsuvně těsně nasunut do centrální dutiny 14 dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14. Tato manipulace je výhodně provedena pod optickým mikroskopem a s využitím osového posuvu 8 a příčného posuvu 9. Boční stěny komolého kužele zakončeného dosedací ploškou 11 jsou ve výhodném provedení opět pokryty vodivou vrstvou 21b kovu o tloušťce řádu stovek nanometrů, čímž je nahrazen chybějící plášť zaváděcího optického vlákna 2, a tak zůstane světlovodná funkce zaváděcího optického vlákna 2 nezměněna.

V alternativním provedení je možno zavést druhé pracovní médium do dutého optického vlákna 1 v přídavné pracovní komůrce 4b, jejíž základ tvoří objímka 6b ve výhodném provedení zhotovená ve formě ocelového válečku s centrálním otvorem, přičemž průměr centrálního otvoru objímky 6b je uzpůsoben pro zasazení dutého optického vlákna 1. Průměr centrálního otvoru je ve výhodném provedení 200 μm . Duté optické vlákno 1 je do objímky 6b vakuově těsně zalepeno pomocí UHV kompatibilního lepidla. V objímce 6b je z boku vytvořen alespoň jeden otvor, který dovoluje odkrýt alespoň jednu zvolenou kapiláru 13a optického dutého vlákna 1. Ve výhodném provedení může být vhodně zamezit proudění pracovních médií mezi pracovní komůrkou 4a a přídavnou pracovní komůrkou 4b například zaslepením 13b kapiláry 13a, jak je znázorněno na obr. 5. Objímka 6b je pomocí rozebíratelného vakuově těsného spoje sevřena v přídavné pracovní komůrce 4b, do které je pomocí trubičky 19b pro přívod druhého pracovního média a druhé vlnovcové trubky 20b přivedeno druhé pracovní médium. Ve výhodném provedení je trubička 19b pro přívod druhého pracovního média realizována ve formě druhé vlnovcové trubky 20b, jejíž druhý konec je možné vyvést mimo komoru 15 vakuového systému skrz druhou přírubu 18b. Duté optické vlákno 1 je takto možno opatřit i větším počtem přídavných pracovních komůrek 4b, a tak nezávisle zavést větší počet jiných/dalších pracovních médií do dutého optického vlákna 1.

Tlak druhého pracovního média v přídavné pracovní komůrce 4b leží výhodně v rozmezí 0,1 až 1 MPa, případně je volen tak, aby tlak druhého pracovního média v přídavné pracovní komůrce 4b byl vyšší než tlak v komoře 15 vakuového systému. V alternativním provedení je tlak druhého pracovního média nižší než 0,1 MPa. V dalším alternativním provedení je rastrovací sonda s dutým optickým vláknem 1 dle předkládaného vynálezu použita mimo komoru 15 vakuového systému a měření probíhá za atmosférického tlaku.

V prvním příkladném provedení je druhým pracovním médiem plyn. V alternativním provedení je druhým pracovním médiem kapalina. V dalším alternativním provedení je druhým pracovním médiem suspenze.

V následující části je popsán postup přípravy hrotu 12 pro upevnění na druhý konec dutého optického vlákna 1, jak je znázorněno na obr. 6a a obr. 6b.

Nejprve je pomocí vhodného nástroje, například speciálních nůžek či skalpelu, sejmuta krycí akrylátová vrstva dutého optického vlákna 1.

Následně je leptáním v kyselině fluorovodíkové (HF) takto obnažené duté optické vlákno 1 rozděleno na dvě části, přičemž každá z nich je ztenčena na průměr cca 50 μm . Při leptání je

nicméně potřeba postupovat obezřetně, aby nedošlo k průniku leptací kyseliny do kapilár 13a dutého optického vlákna 1. Tímto způsobem jsou tedy vytvořeny dva kusy dutého optického vlákna 1 s jedním ztenčeným koncem, přičemž oba tyto kusy jednotlivě procházejí následujícími kroky postupu přípravy hrotu 12. Délka obou vytvořených kusů dutého optického vlákna 1 je ve výhodném provedení stejná a leží v rozmezí 7 až 15 cm. Alternativně mají takto vytvořené kusy dutého optického vlákna 1 délku, která nespadá do zmíněného rozmezí, a to s přihlédnutím k jejich konkrétní aplikaci.

V dalším kroku je ztenčený konec dutého optického vlákna 1 pokryt vodivou vrstvou, například zlata, titanu, mědi či jiného vhodného kovu, pro zamezení nabíjení elektronky v komoře SEM, případně ionty v zařízení FIB. K vytvoření vrstvy je výhodně použita metoda IBAD (Ion Beam-Assisted Deposition). Výše zmíněné kroky jsou společné pro technologické zpracování polodutého i dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14, přičemž následující kroky jsou již provedeny v závislosti na použitém typu dutého optického vlákna 1.

Další opracování polodutého optického vlákna v návaznosti na předchozí zmíněné kroky postupu přípravy hrotu 12 dle obr. 6a zahrnuje následující kroky. Ztenčený a vodivou vrstvou pokrytý konec polodutého optického vlákna je pomocí fokusovaného iontového svazku (FIB), výhodně svazku iontů xenonu, opracován do tvaru hrotu. Takto připravený hrot je dále opracován do velmi ostré špičky metodou FIB výhodně s využitím iontů galia. Následně je provedeno opětovné pokrytí ostrého hrotu vodivou vrstvou 21c kovu výhodně metodou IBAD, seříznutí špičky hrotu metodou FIB a obnažení materiálu křemenného skla ve vzniklém kruhovém tvaru požadovaného průměru, tj. výhodně pod 50 nm.

Další opracování dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14 v návaznosti na předchozí zmíněné kroky postupu přípravy hrotu 12 dle obr. 6b zahrnuje následující kroky. Ztenčený a vodivou vrstvou pokrytý konec dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14 je opracován tak, aby nedošlo k poničení centrální dutiny 14 ani kapilár 13a. Dále je připraveno plné optické vlákno zakončené velmi ostrým hrotem 22, přičemž výhodně je velmi ostrý hrot 22 vytvořen tzv. Turnerovou metodou. Připravený velmi ostrý hrot 22 má ve výhodném provedení přibližně tvar kužele o výšce přibližně 30 μm , průměru základny v rozmezí 3 až 5 μm a poloměru kulového vrchlíku 100 nm. V dalším kroku je takto připravený velmi ostrý hrot 22 pokryt vodivou vrstvou 21c kovu (zlata, titanu, mědi či jiného vhodného kovu), a to výhodně s využitím metody IBAD. Následně je takto připravený velmi ostrý hrot 22 zapuštěn do centrální dutiny 14 dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14, přičemž tato manipulace je výhodně provedena kombinací následujících technik v komoře rastrovacího elektronového mikroskopu. Plné optické vlákno je upevněno k manipulátoru a délka jeho velmi ostrého hrotu 22 je zkrácena. Dále je takto zkrácený velmi ostrý hrot 22 zasunut do centrální dutiny 14 na druhém konci dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14 tak, že nedojde ke ztrátě schopnosti dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14 vést světlo až na špičku zkráceného velmi ostrého hrotu 22. Ve výhodném provedení splývá osa zkráceného velmi ostrého hrotu 22 s osou centrální dutiny 14 a jeho zaostřený konec vystupuje z druhého konce dutého optického vlákna 1 s centrální dutinou 14 a vyčnívá z něj přibližně 5 až 10 μm . Takto zasunutý velmi ostrý hrot 22 je v centrální dutině 14 zalepen UHV kompatibilním lepidlem. Nakonec je provedeno seříznutí špičky takto upraveného velmi ostrého hrotu 22 metodou FIB a obnažení materiálu křemenného skla ve vzniklém kruhovém tvaru požadovaného průměru, tj. výhodně pod 50 nm.

Ve výhodném provedení je ve výše uvedeném postupu přípravy hrotu 12 pro vodivou vrstvu 21c kovu použita měď umožňující růst nanokrystalů GaN. Ty vykazují vysokou emisivitu elektronů v případě aplikace rastrovací sondy s dutým optickým vláknem 1 dle předkládaného vynálezu zahrnující přivedení napětí na hrot 12.

Průmyslová využitelnost

- 5 Výše popsané zařízení rastrovací sondy s dutým optickým vláknem je dále možné využít například k řízené modifikaci vlastností povrchu vzorku, jeho leptání, případně ke vzniku nanostruktur, a to s možností in situ inspekce jejich vlastností korelativní mikroskopií se současným využitím metod SEM a SPM.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) zahrnující zdroj (3) světla, zaváděcí optické vlákno (2), pracovní komůrku (4a) a duté optické vlákno (1) zahrnující kapiláry (13a), **vyznačující se tím**, že pracovní komůrka (4a) obsahuje první pracovní médium, přičemž pracovní komůrka (4a) zahrnuje přesný tříosý manipulátor (7) pro pohyb zaváděcího optického vlákna (2) ve třech navzájem kolmých osách, přičemž

– první konec zaváděcího optického vlákna (2) je umístěn mimo pracovní komůrku (4a) a je do něj přivedeno světlo ze zdroje (3) světla a druhý konec zaváděcího optického vlákna (2) je umístěn v pracovní komůrce (4a) a zahrnuje hrot s dosedací ploškou (11),

– první konec dutého optického vlákna (1) je umístěn v pracovní komůrce (4a) a druhý konec dutého optického vlákna (1) je umístěn mimo pracovní komůrku (4a) a zahrnuje hrot (12), přičemž

– dosedací ploška (11) hrotu na druhém konci zaváděcího optického vlákna (2) je v kontaktu s prvním koncem dutého optického vlákna (1) tak, že kapiláry (13a) jsou na prvním konci dutého optického vlákna (1) otevřeny do pracovní komůrky (4a).

2. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že druhý konec dutého optického vlákna (1) je umístěn mimo pracovní komůrku (4a) v pracovním prostoru rastrovacího sondového mikroskopu (16).

3. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že první pracovní médium je kterýkoliv prvek vybraný z množiny zahrnující plyn, kapalinu a suspenzi.

4. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) dále zahrnuje přídavnou pracovní komůrku (4b), přičemž přídavná pracovní komůrka (4b) obsahuje druhé pracovní médium.

5. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že druhé pracovní médium je kterýkoliv prvek vybraný z množiny zahrnující plyn, kapalinu a suspenzi.

6. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že pracovní komůrka (4a) se nachází v komoře (15) vakuového systému, přičemž sousedí s pracovním prostorem rastrovacího sondového mikroskopu (16).

7. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle nároků 4 nebo 5, **vyznačující se tím**, že přídavná pracovní komůrka (4b) se nachází v komoře (15) vakuového systému, přičemž sousedí s pracovním prostorem rastrovacího sondového mikroskopu (16).

8. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že přesný tříosý manipulátor (7) zahrnuje osový posuv (8) a příčný posuv (9).

9. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že v pracovním prostoru rastrovacího sondového mikroskopu (16) v komoře (15) vakuového systému se nachází rastrovací sondový mikroskop (16), přičemž hrot (12) je spojen s ladičkou (17) rastrovacího sondového mikroskopu (16).

10. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že duté optické vlákno (1) zahrnuje plné jádro ze skleněného materiálu vedoucí středem dutého optického vlákna (1) a kapiláry (13a) rozmístěné mimo plné jádro.

11. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků 1 až 9, **vyznačující se tím**, že duté optické vlákno (1) zahrnuje centrální dutinu (14) vedoucí středem dutého optického vlákna (1) a kapiláry (13a) rozmístěné mimo centrální dutinu (14).

12. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že duté optické vlákno (1) má délku maximálně 15 cm.

13. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že zaváděcí optické vlákno (2) je realizováno jako plné optické vlákno.

5 14. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že tlak prvního pracovního média v pracovní komůrce (4a) je 0,1 až 1 MPa.

10 15. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačujícím se tím**, že tlak druhého pracovního média v přidavné pracovní komůrce (4b) je 0,1 až 1 MPa.

16. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že tlak v komoře (15) vakuového systému je nižší než atmosférický.

15 17. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že zdroj (3) světla se nachází mimo komoru (15) vakuového systému, přičemž zaváděcí optické vlákno (2) je do komory (15) vakuového systému zavedeno s využitím první příruby (18a).

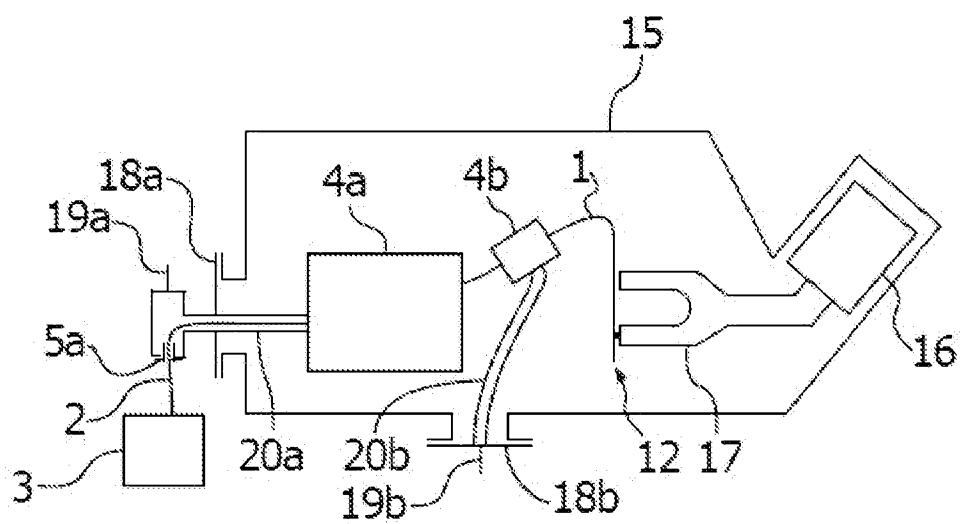
20 18. Rastrovací sonda s dutým optickým vláknem (1) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že zdroj druhého pracovního média se nachází mimo komoru (15) vakuového systému, přičemž druhé pracovní médium je do komory (15) vakuového systému zavedeno s využitím druhé příruby (18b).

3 výkresy

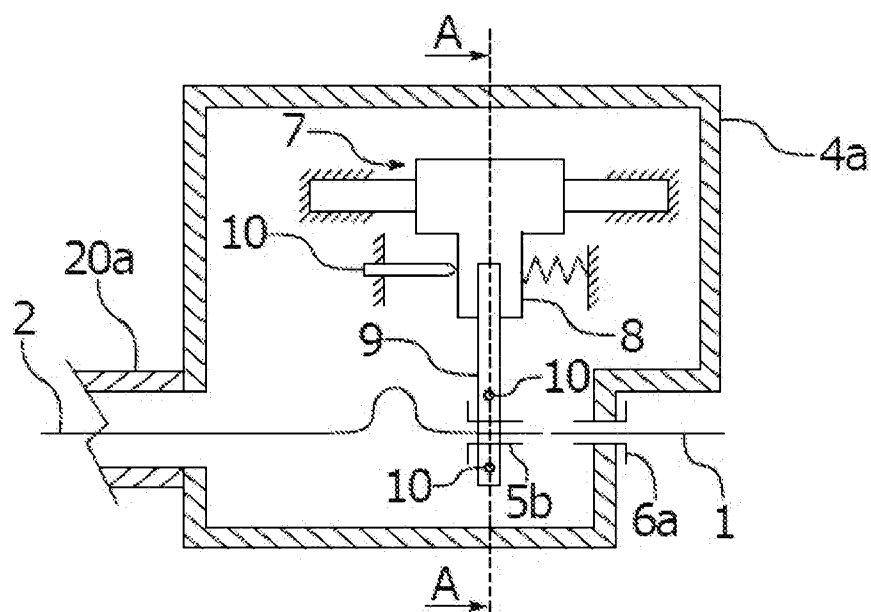
Seznam vztahových značek:

- 1 - duté optické vlákno
- 2 - zaváděcí optické vlákno
- 3 - zdroj světla
- 4a - pracovní komůrka
- 4b - přidavná pracovní komůrka
- 5a - objímka
- 5b - objímka
- 6a - objímka
- 6b - objímka
- 7 - přesný tříosý manipulátor
- 8 - osový posuv
- 9 - příčný posuv
- 10 - justážní šrouby
- 11 - dosedací ploška
- 12 - hrot
- 13a - kapiláry
- 13b - zaslepení kapiláry
- 14 - centrální dutina
- 15 - komora vakuového systému
- 16 - rastrovací sondový mikroskop
- 17 - ladička rastrovacího sondového mikroskopu
- 18a - první příruba

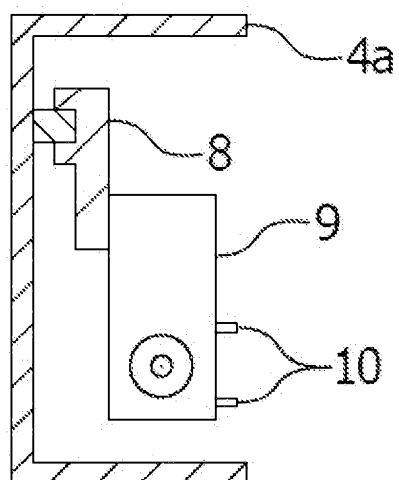
- 18b - druhá příruba
- 19a – trubička pro přívod prvního pracovního média
- 19b - trubička pro přívod druhého pracovního média
- 20a - první vlnovcová trubka
- 20b - druhá vlnovcová trubka
- 21a - vodivá vrstva kovu
- 21b - vodivá vrstva kovu
- 21c - vodivá vrstva kovu
- 22 - velmi ostrý hrot



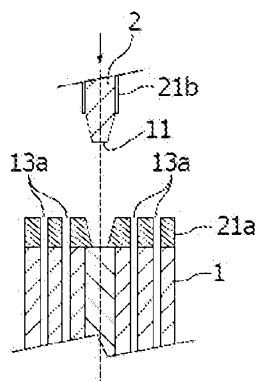
Obr. 1



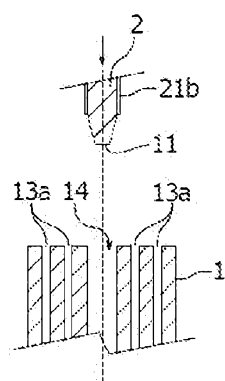
Obr. 2



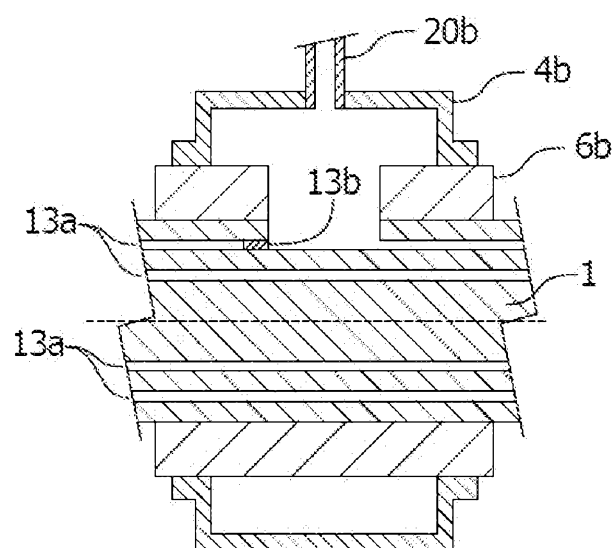
Obr. 3



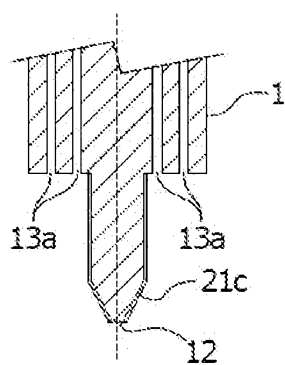
Obr. 4a



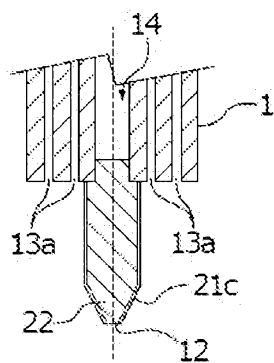
Obr. 4b



Obr. 5



Obr. 6a



Obr. 6b