

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **233846**
(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **411407**

(22) Data zgłoszenia: **26.02.2015**

(51) Int.Cl.

H01J 37/26 (2006.01)

H01J 37/285 (2006.01)

H01J 49/06 (2006.01)

(54)

Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

29.08.2016 BUP 18/16

(73) Uprawniony z patentu:

GRZELAKOWSKI KRZYSZTOF, Wrocław, PL

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

31.12.2019 WUP 12/19

(72) Twórca(y) wynalazku:

KRZYSZTOF GRZELAKOWSKI, Wrocław, PL

PL 233846 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest fotonowo transmisyjny elektronowy mikroskop: analityczne urządzenie obrazujące przeznaczone do optycznej inspekcji i obserwacji obiektu fotonami prześwietlającego go promieniowania elektromagnetycznego, wykorzystujące do odwzorowania, powiększenia i detekcji fotonowego obrazu transmisyjnego elektrony wtórne generowane tym obrazem. W swej zasadzie działania, funkcji i zastosowaniach przedmiot wynalazku dotyczy obszaru badania i obrazowania w próżni lub poza nią, w otoczeniu atmosfery powietrza lub gazów roboczych pod dowolnym ciśnieniem (również nadciśnieniem), obiektów zbudowanych z materii w dowolnym stanie skupienia: gazowym, ciekłym, stałym lub mieszanym, w tym izolatorów, półprzewodników, przewodników i nadprzewodników, dielektryków, ferroelektryków, piezoelektryków, paraelektryków, związków i substancji chemicznych, materiałów magnetycznych: diamagnetyków, paramagnetyków, ferromagnetyków, ferromagnetyków, antyferromagnetyków, kopalin, materii nieorganicznej i organicznej, nieożywionej i ożywionej, np. dowolnego materiału biologicznego, również *in vivo* w jego warunkach naturalnych lub otoczeniu gazów roboczych lub/i cieczy oraz procesów w tych obiektach zachodzących, np. fizycznych, chemicznych, fizykochemicznych, elektrochemicznych, elektrolitycznych, temperaturowych, magnetycznych, elektrycznych etc., również w czasie rzeczywistym, elektronami wtórnymi powstałymi w wyniku konwersji przenikającego przez obiekt promieniowania elektromagnetycznego, niespolaryzowanego lub spolaryzowanego liniowo lub spolaryzowanego kołowo/eliptycznie, np.: promieniowania synchrotronowego, promieniowania X, promieniowania laserowego, światła UV lub widzialnego, etc. Występujące w tytule przedmiotu wynalazku określenia: „foton” i „elektron” determinują jego przynależność jednocześnie do dwóch rozległych dziedzin technik mikroskopowych: optycznej i elektronowej. Pierwsza z nich ze względu na charakter oddziaływania fotonów promieniowania elektromagnetycznego z obserwowaną próbką ogranicza się w opisywanym tu przypadku do zagadnień optycznych bliskiego pola zdefiniowanych przez E. H. Synge'a w 1928, a zastosowanych przez E. Betzig'a et al.: „Breaking the diffraction barrier optical microscopy on a nanometric scale”, *Science* **251** (1991) 1468. Natomiast w swej elektrooptycznej części przedmiot wynalazku odnosi się przede wszystkim do emisyjnych i transmisyjnych technik mikroskopowych obrazowania równoległego (tzw. „parallel imaging”) wykorzystujących zasadę katodowej soczewki obiektywu, zwanego też obiektywem immersyjnym, zapoczątkowanych przez E. Brueche w 1932, a rozwijanych przez E. Bauer'a: „Cathode lens electron microscopy: past and future”, *J. Phys.: Condens. Matter* **21** (2009) 314. Zasada obrazowania optycznego w bliskim polu stosowana jest w technice skaningowej SNOM (Scanning Near Field Optical Microscope), w której źródło fotonów (zwięźzony koniec światłowodu) przesuwa się względem obiektu w odległości mniejszej niż długość fali, prowadząc do uzyskania rozdzielczości przekraczających limit dyfrakcyjny. W przedmiocie wynalazku konwersja fotonowego obrazu transmisyjnego na skorelowany z nim obraz elektronów wtórnych (w płaszczyźnie obiektu elektrooptycznej katodowej soczewki obiektywu) determinuje związek z dziedziną mikroskopii elektronowej: 1) transmisyjnej (TEM – Transmission Electron Microscope) i 2) emisyjnej (EEM – Emission Electron Microscope, PEEM – Photoemission Electron Microscope, LEEM – Low Energy Electron Microscope). W mikroskopii transmisyjnej TEM zainicjowanej przez Ernsta Ruska'ego w 1933, obiekt w formie transparentnej dla elektronów folii prześwietlany jest wysokoenergetyczną wiązką elektronową, co implikuje jego lokalizację w próżni: „Transmission Electron Microscopy”, D.B. Williams and C.B. Carter, 2009. Ponieważ zdolność penetracji elektronów przez materię jest ograniczona w znacznie większym stopniu niż promieniowanie X, w innych rozwiązaniach zastosowano to promieniowanie (lub synchrotronowe) do transmisyjnego obrazowania obiektów: „Projection X-Ray Microscopy” (Newberry, 1954), „Imaging X-Ray Microscopy” (Rudolf et al., 1984), „Scanning X-Ray Microscopy” (Horowitz and Howell, 1972) i „Contact Imaging” (Goby, 1913). Znane jest rozwiązanie sformułowane po raz pierwszy w Tybindze (Instytut Fizyki G. Moellenstedt'a) w połowie lat pięćdziesiątych, ogłoszone w Cambridge na „Symposium on X-ray Microscopy and Microradiography” w 1956 przez G. Moellenstedt'a i L.Y. Huang'a, a w następnym roku opisane szczegółowo przez L.Y. Huang'a w artykule „Roentgen-Bildwandler-Mikroskopie”, *Zeitschrift fuer Physik*, 149 (1957) 225, polegające na konwersji prześwietlających obserwowany obiekt fotonów promieniowania X na fotoelektronowy obraz. Powyższa technika została udoskonalona w kształcie obecnym w następnym rozwiązaniu jako „Photoelectron X-Ray Microscopy” w 1984 roku przez F. Polack'a i S. Lowenthal'a: *Journal de Physique, Colloque C2, suppl.no.2, Tome 45, Fevr. 84*, str. c2–73. W mikroskopie tym zaproponowano wykorzystanie jednolitej, gładkiej i pozbawionej struktury folii kaptonowej o grubości od 100 nm do 500 nm jako nośnika obserwowanego i znajdującego się

w próżni obiektu, pokrytej po przeciwnej do obiektu stronie cienką warstwą fotoemisyjnego materiału o wysokiej liczbie atomowej. W kolejnej pracy zatytułowanej „First Images with the Soft X-Ray Image Converting Microscope at LURE”, X-Ray Microscopy II, Springer Series in Optical Sciences **56** 1988 220, autorzy zamienili kapton na złotą folię pokrytą od strony emisji fotoelektronów jodkiem cezu. Znany jest z opisu patentowego US Pat. No. 5,045,696 fotoelektronowy mikroskop zaproponowany w roku 1990 przez H. Hirose oparty na koncepcji prześwietlania znajdującego się po stronie powietrza obiektu promieniowaniem X, ale obrazowania go fotoelektronami po stronie próżni bez wykorzystania znanej już wtedy soczewki katodowej obiektywu. W rozwiązaniu tym, w zastępstwie folii kaptonowej lub złotej, zaproponowano jako nośnik obserwowanego obiektu azotek krzemu w formie jednolitej, gładkiej i pozbawionej struktury płytki o grubości ok. 100 nm oddzielającej jednocześnie próżnię od powietrza, pokrytej od strony próżni warstwą jodku cezu pełniącego funkcję fotokatody otoczonej cewką wytwarzającą formujące obraz fotoelektronowy pole magnetyczne oraz ekranowanej siatką z potencjałem hamującym. W innym rozwiązaniu: „X-ray image observing device” opisanym przez Sh. Ohsuka et al. w US Pat. No. 4,912,737 zastosowano nieprzyspieszający elektrony układ soczewek magnetycznych w zastępstwie soczewki katodowej. Promieniowanie X po transmisji przez obserwowany obiekt znajdujący się na jednolitej, gładkiej i pozbawionej struktury płytce poza próżnią przenikało do niej przez odpowiednie okienko wejściowe i formowało powiększony obraz optyczny na umieszczonej w próżni fotokatodzie emitującej proporcjonalnie do intensywności tego obrazu fotoelektrony w obszarze pola magnetycznego soczewek, tworzących następnie bez przyspieszającego pola elektrycznego powiększony obraz elektronowy na ekranie fluoroscencyjnym. Znanie jest z opisu amerykańskiego patentu US7,006,741 rozwiązanie transmisyjnego mikroskopu optycznego według koncepcji Bi Yu z 2005 połączenia obrazowania fotoelektronowego w polu magnetycznym z systemem światłowodów optycznych. Zamiast jednolitej, gładkiej i pozbawionej struktury płytki, zastosowano jako nośnik obserwowanego obiektu masywny element optyczny zbudowany z wielu światłowodów tworzących stożkowy układ (optic taper fiber glass), u którego wąskiego szczytu znajdował się oświetlany od góry obiekt, natomiast jego prowadzony dywergentnie światłowodami powiększony obraz wyświetlany był na znajdującej się w próżni szerszej podstawie stożka, pokrytej fotoemisyjną substancją i emitującą fotoelektrony. W roku 2006 S. Fujii et al. opisali w US Pat. No. 7,039,157 urządzenie „X-Ray Microscope Apparatus” uzupełniające opisaną wcześniej koncepcję H. Hirose z 1991 roku o: a) zintegrowane źródło laserowe promieniowania X, b) przyspieszającą fotoelektrony elektrodę umieszczoną w polu magnetycznym otaczającą fotokatodę, c) odchylony od osi promieniowania X przetwornik obrazu. Drugi obszar stanu techniki odnoszący się do przedmiotu wynalazku tworzy mikroskopia elektronowa oparta o ideę soczewki katodowej obiektywu, zwanego również obiektywem immersyjnym, opisana przez E. Bauer’a: „Surface Microscopy with Low energy Electrons”, Springer Verlag, 2014 oraz O.H. Griffith’a and W. Engel’a, „Historical perspective and current trends in emission microscopy, mirror electron microscopy and low energy electron microscopy”, Ultramicroscopy **36** (1991). Technika ta rozpowszechniła się w obecnej postaci pod nazwą PEEM (Photoemission Electron Microscopy) dla fotoelektronów: E. Brueche, LEEM (Low Energy Electron Microscopy) dla elektronów powolnych: E. Bauer, SPLEEM (Spin Polarized LEEM) dla elektronów spolaryzowanych: K. Grzelakowski et al., JEEE Transactions on Magnetism, **30** 6 (1994) oraz DEEM (Dual Emission Electron Microscope): K. Grzelakowski, Ultramicroscopy **130** (2013) 29. Znany jest w kontekście tych technik mikroskop fotoelektronowy opublikowany w 1997 przez R.N. Watts’a et al.: „High Resolution Image Converter For Soft X-Ray Microscopy”, Rev.Sci.Instrum. **68** (1997) 3464, wykorzystujący ideę transparentnego dla promieniowania X nośnika obserwowanej próbki, mającego w tym przypadku formę jednolitej, gładkiej i pozbawionej struktury płytki wykonanej z azotku krzemu pokrytej w części próżniowej warstwą buforową węgla i warstwą jodku cezu tworzących fotokatodę. Znanie jest rozwiązanie analogicznego mikroskopu transmisyjnego i jego aplikacje naukowe z publikacji G. De Stasio et al. w Rev.Sci.Instrum. **69** (1998) 3106 oraz Rev.Sci.Instrum., **71** (2000) 11. Znana jest też biologiczna aplikacja transmisyjnej mikroskopii fotoelektronowej w badaniach nad absorpcją miedzi w proteinie KLH1 opublikowana przez D. Panzer’a et al.: „Transmission photoemission electron microscopy for lateral mapping of the X-ray absorption structure of a metalloprotein in a liquid cell”, Eur Biophys J **38** (2008) 53. Inną rodzinę mikroskopów stanowią urządzenia do transmisyjnej kontroli obiektów związanych z technikami litograficznymi i produkcją układów scalonych. W patencie US Pat. No. 6,002,740 z 1999 roku F. Cerrina i T.B. Lucatorto opisują system do inspekcji litograficznych masek, w którym między fotoelektronowym mikroskopem PEEM zintegrowanym z linią technologiczną, a źródłem promieniowania X umieszczono maskę oraz konwerter fotoelektronowy. Konwerter zbudowany jest jak w większości poprzednich

rozwiązań z fotokatody w formie ciągłej warstwy fosforu lub jodku cezu naniesionej na jednolitą, gładką i pozbawioną struktury płytkę azotku krzemu o grubości ok. 100 nm. Inne urządzenie do transmisyjnej obserwacji układów scalonych: „X-ray photoemission microscope for integrated devices” zostało opisane przez D.L. Adlera w amerykańskiej aplikacji patentowej US 20140037052. Stanowiący obiekt obserwacji układ scalony znajduje się poza próżnią i jest oddzielony transparentnym dla promieniowania X oknem od umieszczonego w próżni jednolitego, gładkiego i pozbawionego struktury fotoemisyjnego konwertera. Następny wariant tej samej koncepcji przypomina konfigurację konwertera przedstawioną w 1990 roku przez H. Hirose w US Pat. No. 5,045,696, przy czym obserwowany obiekt nie przylega do konwertera i znajduje się poza próżnią, co umożliwia ich wzajemne przesuwanie. W uzupełnieniu zaproponowano użycie jako nośnika dla fotokatody jednolitej i ciągłej w swojej strukturze płytki, ale wykonanej nie z azotku krzemu jak u H. Hirose, lecz berylu lub diamentu. W trzecim z kolei wariantcie fotokatoda jest naniesiona bezpośrednio na układ scalony.

Istota wynalazku polega na połączeniu w fotonowo transmisyjnym mikroskopie emisyjnym elektronów wtórnych obrazowania optycznego, następującego korzystnie w reżimie bliskiego pola lub jego pobliżu w przypadku prześwietlającego promieniowania elektromagnetycznego o długości fali przekraczającej rozdzielczość lateralną, z obrazowaniem elektronami wtórnymi w reżimie emisyjnej mikroskopii elektronowej bazującej na katodowej, zwanej też immersyjną („immersion lens”), soczewce obiektywu (tzw. „cathode lens based electron microscopy”) poprzez konwersję (korzystnie proporcjonalną) według wynalazku fotonowego obrazu transmisyjnego utworzonego przez promieniowanie elektromagnetyczne prześwietlające obiekt na obraz fotoelektronowy, a następnie tego obrazu na obraz elektronów wtórnych, zachodzącą w płytce konwertera zbudowanego z jednostronnie zamkniętych kanalików (kapilar), pozostających po swojej zamkniętej stronie korzystnie w kontakcie z obiektem, natomiast otwartych po przeciwnej stronie znajdującej się w próżni. W rozwiązaniu według wynalazku płytka konwertera emituje z matrycy otwartych końców jej kanalików elektrony wtórne tworzące dwuwymiarowy rozkład intensywności korzystnie proporcjonalny do pierwotnego fotonowego obrazu transmisyjnego. W rozwiązaniu według wynalazku płytka konwertera, a w zasadzie znajdująca się w płaszczyźnie czołowej matryca otwartych końców jej kanalików, usytuowana jest korzystnie w elektrooptycznej płaszczyźnie obiektu soczewki katodowej obiektywu, stając się jej obiektem obrazowania elektronami wtórnymi, generowanymi w kanalikach proporcjonalnie do pierwotnego fotonowego obrazu transmisyjnego. Według wynalazku pierwsza od strony płaszczyzny czołowej konwertera elektroda soczewki katodowej obiektywu, tzw. ekstraktor ma dodatni potencjał elektrostatyczny w odniesieniu do potencjału powierzchni czołowej konwertera matrycy otwartych końców kanalików. Istota mikroskopu według wynalazku w odniesieniu do zagadnień mikroskopii optycznej i reżimu bliskiego pola ujawnia się tu na kilku płaszczyznach: a) w iluminacji obserwowanego obiektu pod dowolnym do osi elektrooptycznej kątem α : $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ korzystnie jednolitą i równoległą wiązką/wiązkami lub konwergentną (np. w celu skaningu) lub dywergentną lub skolimowaną wiązką/wiązkami fotonów promieniowania elektromagnetycznego np.: promieniowana synchrotronowego, X, laserowego, światła UV lub widzialnego, niespolaryzowanego lub spolaryzowanego liniowo lub spolaryzowanego kołowo/eliptycznie, etc., b) korzystnie w kontakcie optycznym i/lub mechanicznym obserwowanego obiektu oraz jego transmisyjno fotonowego obrazu ze strukturą korzystnie do siebie równoległych kanalików w płytce konwertera – nośnika obiektu obserwacji, zorientowanych wzdłuż osi elektrooptycznej lub pod kątem β nachylenia do niej: $0 \leq \beta \leq 90^\circ$, oddzielonych od obiektu separacyjną warstwą (lub układem warstw), transparentną lub częściowo transparentną dla fotonów, ale korzystnie zaporową dla materii, np. jako granica między obiektem obserwacji a wnętrzem kanalików lub/i jako granica próżni, korzystnie mechanicznie i/lub próżniowo stabilną, lecz ze względu na pożądany reżim bliskiego pola możliwie jak najcieńszą, c) korzystnie w przenikaniu ważonych matematycznie (przez charakterystyczną dla obserwowanego obiektu absorpcję optyczną i/lub rozpraszanie) fotonów do wnętrza znajdujących się po stronie próżni kanalików poprzez ich denka lub/i utworzoną separacyjną warstwą lub układ warstw i w generowaniu w nich fotoelektronów i/lub elektronów wtórnych. Odległość d między osiami kanalików determinuje rozdzielczość lateralną systemu, natomiast średnica s otworów jego transmisyjność w odniesieniu do długości fali związanej z fotonami przenikającymi przez obiekt: $s \approx d$ (wysoka transmisyjność) oraz $d \leq r$, gdzie r oznacza lateralną rozdzielczość. Według wynalazku dwuwymiarowa mapa rozkładu intensywności fotonów po transmisji promieniowania elektromagnetycznego przez obiekt formowana jest na jego bezpośrednim styku z denkami kanalików lub/i z warstwą (lub układem warstw) jednostronnie je zamykającymi i separującymi obserwowany obiekt od wnętrza kanalików lub/i od próżni, korzystnie zaporową dla materii, ale możliwie jednolitą i transparentną optycznie dla foto-

nów. Fotony prześwietlającego promieniowania elektromagnetycznego penetrują transparentną lub częściowo transparentną dla nich warstwę separacyjną lub/i denka kanalików i przenikają do próżni, docierając do fotoemisyjnie aktywnej powierzchni spodów lub/i warstwy/warstw zamykających jednostronnie kanalik. Według wynalazku w wyniku efektu fotoelektrycznego dokonuje się konwersja obrazu fotonowego, ukształtowanego przez kontrastową absorpcję i/lub rozpraszanie fotonów w obiekcie obserwacji, na skorelowany z tym obrazem dwuwymiarowy rozkład intensywności fotoelektronowej, bowiem energia fotonu promieniowania przewyższa pracę wyjścia elektronu ($h\nu > \phi$) z powierzchni denka lub warstwy (lub układu warstw) po próżniowej stronie kanalik. W przypadku, gdy długość fali prześwietlającego promieniowania elektromagnetycznego przekracza rozmiary obrazowanych elementów obiektu, konwersja przeprowadzona jest korzystnie w reżimie bliskiego pola (próg dyfrakcji Fresnel'a) lub jego pobliżu (pomiędzy progiem dyfrakcji Fresnel'a a Fraunhofer'a). W tym kontekście decydująca jest tu grubość spodów kanalików lub/i warstwy/warstw separacyjnej i odległość między ich osiami w odniesieniu do długości fali. Od tej chwili zjawiska optyczne związane z propagacją fotonów mogą zostać zastąpione prawami optyki elektronowej w przybliżeniu dalekiego pola (dyfrakcja Fraunhofer'a) z zachowaniem pierwotnej, optycznej rozdzielczości lateralnej. Istota wynalazku polega na wykorzystaniu do obrazowania elektronów wtórnych, generowanych we wnętrzu jednostronnie zamkniętych od strony obiektu kanalików konwertera i emitowanych po stronie próżni z usytuowanej w płaszczyźnie obiektu soczewki katodowej obiektywu matrycy ich otwartych końców w obszar pola elektrycznego ekstraktora. Stanowiąca istotę wynalazku powyższa geometria konwertera i obiektywu prowadzi do wnikania linii potencjałów tego pola w głąb obszaru kanalików i wygenerowania w ich wnętrzu pola wyciągającego elektrony emitowane w kolejnych aktach ich zderzeń z powierzchnią kanalików korzystnie o współczynniku emisji wtórnej >1 . Pole wewnątrz kanalików przyśpiesza i ukierunkowuje w stronę ekstraktora fotoelektrony powstałe po absorpcji fotonów w fotoemisyjnej powierzchni spodów kanalików lub/i warstwy/warstw je zamykającej lub/i ściance kanalików. Ze względu na korzystnie małe średnice kanalików, np. od ~ 1 nm (w przypadku nanorurek węglowych) do kilkuset nanometrów, fotoelektrony zderzają się z emisyjnymi ściankami kanalików wywołując zwielokrotnioną emisję elektronów wtórnych, o ile są one korzystnie wykonane lub pokryte materiałem o współczynniku emisji wtórnej >1 . Korzystnie pole we wnętrzu kanalików przyśpiesza ponownie paczkę elektronów wtórnych aż do następnego jej zderzenia z emisyjną ścianką, po którym doznaje zwielokrotnienia w wyniku wywołanej przez nią emisji wtórnej. Ten lawinowy proces następuje aż do opuszczenia przez elektrony wtórne obszaru kanalików przez ich otwory tworzące według wynalazku matrycę ułożoną w płaszczyźnie obiektu obrazowania soczewki katodowej obiektywu. Według wynalazku korzystnie proporcjonalny do obrazu fotonowego (powstałego po transmisji promieniowania elektromagnetycznego przez obiekt obserwacji) dwuwymiarowy rozkład intensywności elektronów wtórnych jest teraz obiektem elektrooptycznego obrazowania katodowej soczewki obiektywu, która powiększa go i obrazuje albo bezpośrednio na detektorze elektronów, albo na wejściu układu elektrooptycznego powiększającego obraz na detektorze. Istota wynalazku polega na wzmocnieniu zjawiska wnikania linii potencjału elektrostatycznego pola soczewki katodowej obiektywu do obszaru kanalików przez przyłożenie zgodnego z kierunkiem tego wnikania napięcia między ich denka (potencjał niższy) a płaszczyznę czołową konwertera z matrycą otworów kanalików (potencjał wyższy) bezpośrednio do nich lub/i elektrod kontaktowych, którymi zostały pokryte. Według wynalazku dobrana parametrycznie oporowa powierzchnia ścianek kanalików, korzystnie ze współczynnikami emisji wtórnej >1 lub/i pokryta warstwą oporową o takim współczynniku i wymuszony kierunkowym napięciem elektrycznym na elektrodach przepływ prądu przez nią, spowoduje powstanie wewnątrz kanalików rozkładu potencjału i w konsekwencji dodatkowego przyśpieszającego pola wyciągającego elektrony w stronę ekstraktora katodowej soczewki obiektywu $\sim U/l$ (U – napięcie, l – długość kanalików), co z kolei prowadzi do dodatkowego zwiększenia liczby elektronów wtórnych na wyjściu z kanalików. Mikroskop według wynalazku składa się korzystnie przynajmniej z jednej soczewki elektrooptycznej powiększającej obiekt, przetwornika umożliwiającego rejestrację obrazu (np. 2D wzmacniacz obrazu z ekranem fluorescencyjnym lub 2D detektor elektronów, np. 2D delay line detector), uchwytu/manipulatora obiektu obserwacji np. z układem jego grzania i chłodzenia (XY lub/i Z lub/i nachylenie próbki Θ), lub/i z systemem manipulacji w samym obiekcie na poziomie mikro- i submikrometrycznym, z obudowy – komory próżniowej pozwalającej na odpompowanie systemu po stronie kanalików konwertera i elementów elektrooptycznych i/lub dozowanie gazów, np. w celu aktywacji powierzchni. Istota wynalazku polega na zamknięciu obserwowanego obiektu w niezależnej od części próżniowej kanalików i elementów elektrooptycznych drugiej hermetycznej komorze, wyposażonej w system umożliwiający jej

odpompowanie oraz w system pozwalający na dozowanie różnego typu gazów roboczych pod dowolnym ciśnieniem. Według wynalazku wokół obserwowanego, chłodzonego lub podgrzewanego obiektu obserwacji wytworzona jest próżnia lub atmosfera gazowa o pożądanym składzie i ciśnieniu. Według wynalazku obiekt obserwacji jest prześwietlany lub/i oświetlany promieniowaniem elektromagnetycznym, np. X, promieniowaniem ultrafioletowym, światłem w ogólności, światłem laserowym, etc., ukształtowanym w odniesieniu do: a) kąta nachylenia lub/i b) spektrum energii (np. szerokie spektrum emisyjne lub kombinacja pojedynczych, przefiltrowanych linii – długości fali) lub/i c) rozkładu kątego: wiązka konwergentna lub dywergentna lub skolimowana lub/i d) rodzaju polaryzacji, etc. Istota wynalazku w tym kontekście polega na prześwietlaniu lub/i oświetlaniu obiektu obserwacji spolaryzowaną liniowo lub kołowo lub eliptycznie lub radialnie lub azymutalnie lub typu „vortex” etc., wiązką lub/i wiązkami promieniowania elektromagnetycznego w celu wygenerowania kontrastu magnetycznego, elektrycznego, materiałowego, chemicznego, fizycznego, fizykochemicznego, fazowego, fluorescencyjnego, promieniotwórczego, kontrastu gęstości, stanu skupienia, wzbudzenia, etc. Według wynalazku wiązka/wiązki promieniowania elektromagnetycznego prześwietlającego/oświetlającego obiekt obserwacji (np. promieniowania synchrotronowego, X, lasera, światła, UV etc.) nachylona jest pod dowolnym kątem α : $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ w stosunku do osi kanalików w płytce zachowując korzystnie punkt obrotu w centrum obserwacji. Według wynalazku obserwowany w czasie rzeczywistym i/lub *post factum* obiekt doznaje modyfikacji: mechanicznej (naprężenia), chemicznej (obrazowanie reakcji) np. w gazach i cieczach, fizycznej, fizykochemicznej, elektrycznej, magnetycznej, elektrolitycznej, temperaturowej (chłodzenie lub grzanie), prądowej (przepływ prądu), wzrostu warstw (epitaksja, naparowanie), dyfuzji, katalizy, segregacji, adsorpcji, desorpcji, korozji, zmiany fazy, wyładowania w plazmie, wzbudzenia, procesów litograficznych, etc. Chociaż niektóre obserwacje obiektów i procesów mogą być przeprowadzone w atmosferze powietrza, to większość wymienionych wymaga próżni lub/i dedykowanej atmosfery gazowej, a więc zamknięcia według wynalazku obserwowanego obiektu w umożliwiającej odpompowanie hermetycznej komorze, co pozwala na prowadzenie obserwacji w próżni lub/i na wypełnienie obszaru wokół obiektu wybranym gazem lub ich mieszaniną pod dowolnym ciśnieniem (również w nadciśnieniu) w celu modyfikacji obiektu obserwowanego równolegle lub/i *post fatum*. Istotą wynalazku jest to, że obiekt poddawany jest w trakcie prowadzonej obserwacji lub poza nią działaniu pól zewnętrznych: np. pola magnetycznego lub/i elektrycznego.

Fig. 1 ilustruje będący przedmiotem wynalazku mikroskop oraz metodę tworzenia fotonowo transmisyjnego obrazu elektronami wtórnymi w układzie konwertera zintegrowanego z katodową soczewką obiektywu mikroskopu emisyjnego, jak również schematycznie i nie w skali poszczególne elementy przedmiotu wynalazku przez prezentację widoku ich przekroju: układ konwertera działającego w schemacie „foton-fotoelektron-elektron wtórny”, z zaznaczonymi niektórymi możliwymi przykładami realizacji wraz z prześwietlaniem fotonami promieniowania elektromagnetycznego obiektem, elektrostatyczna lub magnetyczna soczewka katodowa obiektywu zawierająca aperturę kontrastową i stygmator, blokowo zaznaczony powiększający układ elektrooptyczny, detektor obrazu elektronowego wraz z zaznaczonymi schematycznie trajektoriami elektronów wtórnych.

Fig. 2 przedstawia przedmiot wynalazku w przykładzie jego realizacji w widoku przekroju poprzecznego, w którym obiekt obserwacji zbudowany z materii w dowolnym stanie skupienia umieszczony jest na jednym z przykładowych konwerterów poza próżnią układu elektrooptycznego, soczewka katodowa obiektywu z ekstraktorem skupia elektrostatycznie: **Fig. 2a** lub magnetycznie: **Fig. 2b**, zaś promieniowanie elektromagnetyczne niespolaryzowane lub spolaryzowane liniowo lub spolaryzowane kołowo lub eliptycznie przenika przez obserwowany obiekt do konwertera pod dowolnym kątem.

Fig. 3 przedstawia przedmiot wynalazku w przykładzie jego realizacji w widoku przekroju poprzecznego, w którym obiekt obserwacji zbudowany z materii w dowolnym stanie skupienia umieszczony jest na jednym z przykładowych konwerterów w hermetycznej komorze umożliwiającej odpompowanie i utworzenie wokół obiektu obserwacji próżni lub dowolnej atmosfery gazowej pod dowolnym ciśnieniem, soczewka katodowa obiektywu z ekstraktorem skupia elektrostatycznie: **Fig. 3a** lub magnetycznie: **Fig. 3b**, zaś promieniowanie elektromagnetyczne niespolaryzowane lub spolaryzowane liniowo lub spolaryzowane kołowo lub eliptycznie przenika przez obserwowany obiekt do konwertera pod dowolnym kątem.

Na rysunku **Fig. 1** zilustrowano w przykładzie realizacji przedmiotu wynalazku zarówno sam fotonowo transmisyjny mikroskop, jak i metodę fotonowo transmisyjnego obrazowania elektronami wtórnymi, w różnych aspektach urzeczywistnienia procesu generowania fotonowo transmisyjnego obrazu **ABCD** na wyjściu z **abcd** obiektu **2**, następnie fotoelektronowego obrazu **A'B'C'D'** w próżni w kanali-

kach **5** i ostatecznie, utworzonego w kanalikach **5** przez elektrony wtórne **13** obrazu **A"B"C"D"**, będącego jednocześnie obiektem w płaszczyźnie obiektu katodowej soczewki obiektywu **8, 9** elektronowego mikroskopu emisyjnego, skorelowanym przez mechanizm absorpcji i/lub rozpraszania fotonów **1'** z pierwotnym „abcd” obiektem obserwacji **2**. Aby umieścić na jednym rysunku **Fig. 1** wszystkie istotne w przedmiocie wynalazku elementy, zachowując przy tym wiodące relacje między nimi, zrezygnowano ze wspólnej skali. Przedmiot wynalazku w każdym z jego przykładów realizacji pracuje w swej fotonowo optycznej części korzystnie w reżimie bliskiego pola (próg dyfrakcji Fresnel'a) lub jego pobliżu (pomiędzy progiem dyfrakcji Fresnel'a a Fraunhofer'a) w przypadku, gdy długość fali prześwietlającego promieniowania elektromagnetycznego **1** przekracza rozmiary obrazowanych elementów obiektu, co redukuje grubość konwertera **4** do wartości submikrometrycznych, a nawet nanometrycznych, natomiast reżim dalekiego pola w części elektrooptycznej skutkuje odległościami w skali centymetrowej. Reżim bliskiego pola staje się mniej rygorystyczny w przypadku prześwietlania obiektu promieniowaniem elektromagnetycznym o długościach fali poniżej pożądanej rozdzielczości lateralnej. Do obrazowania w reżimie dalekiego pola znacznie poniżej optycznej granicy dyfrakcyjnej prześwietlającego obiekt **2** promieniowania elektromagnetycznego **1** w przedmiocie wynalazku wykorzystywane są generowane w obszarze kanalików **5** elektrony wtórne **13** z długościami fali de Broglie'a nawet o kilka rzędów wielkości mniejszymi od fotonowych. Dlatego nawet w sytuacji bardzo gęsto upakowanej matrycy kanalików w płycie $\sim 10^4/\mu\text{m}^2$ ($d \approx 10$ nm, d jest odległością między ich osiami) nowy próg dyfrakcyjny odnoszący się teraz do elektronów wtórnych nie stanowi jeszcze zagrożenia dla kontrastu i rozdzielczości lateralnej: w przykładzie realizacji przedmiotu wynalazku uwidocznionego na rysunku **Fig. 1** rozdzielczość soczewki katodowej obiektywu jest rzędu nanometrów. Należy przy tym pamiętać, że przedmiot wynalazku w tym przykładzie realizacji nie został przedstawiony w skali wykonawczej, mimo że zilustrowano wszystkie niezbędne do jego wykonania i funkcjonowania elementy. W tym ogólnym przykładzie realizacji uwzględniono kilka wariantów jednocześnie: 1) różne rodzaje prześwietlającego obiektu promieniowania elektromagnetycznego **1** i różne kąty jego nachylenia α na przykładzie promieniowania **1''**, 2) oświetlenie i/lub prześwietlenie obiektu **2** z kilku źródeł promieniowania **S**, np. **1** i **1a** jednocześnie w celu selektywnego wzbudzenia jego elementów chemicznych lub/i wzmocnienia kontrastu, 3) opcjonalne wykorzystanie elementów mechaniczno-optycznych **O** do ukształtowania wiązek promieniowania elektromagnetycznego w sensie przestrzennym, fazowym, spektralnym, czy polaryzacji 4) dwa przykładowo wybrane typy katodowych soczewek obiektywu **9** (elektrostatyczna lub magnetyczna), 5) różne geometrie kanalików konwertera **4**, 6) opcjonalnie, manipulator **6** przesuwu i justowania obiektu obserwacji względem osi obiektywu, 7) opcjonalnie, hermetyczna komora próżniowa lub/i gazowa **26** wokół obiektu obserwacji, 8) opcjonalnie, system mikromanipulacji **2'** w obiekcie obserwacji **2**. Dla uproszczenia zostaną tu rozpatrzone tylko wiodące konfiguracje w przykładach realizacji przedmiotu wynalazku. Pierwsza z nich, zgodnie z rysunkiem **Fig. 1** dotyczy przykładowej realizacji soczewki katodowej **8, 9** ze zintegrowanym z nią konwerterem kanalikowym **4**. Struktura rozmieszczenia kanalików **5** (w sensie ich grupy symetrii) może być dowolna, jednak preferowane są struktury prowadzące do regularnej i uporządkowanej matrycy otworów **5a** kanalików **5** i gwarantujące podobną lub jednakową gęstość (a więc rozdzielczość) otworów w obu prostopadłych kierunkach, np.: kwadratowa, kwadratowa centrowana, heksagonalna, etc., (ta ostatnia zapewnia najlepszą transparentność). Okres struktury matrycy otworów **5a** kanalików **5** powinien współgrać z ograniczeniami dyfrakcyjnymi bliskiego pola promieniowania **1** prześwietlającego obiekt **2**, wynikającymi z grubości spodów kanalików **5** lub/i warstwy **3**: od kilku do kilkuset nanometrów oraz aktualnej długości fali: od ułamków nanometra – synchrotron, przez nanometry – X Ray, do setek nanometrów – UV, światło widzialne, i wynosić od kilku do kilkuset nanometrów. Średnice s kanalików **5** ze względu na transparentność systemu nie powinny odbiegać znacznie od okresu ich struktury ($s \approx d$) i mieszczą się korzystnie w przedziale od kilku do kilkuset nanometrów. Ze względu na zwiększoną absorpcję fotonów kanaliki mogą być też w szczególnym przypadku zakrzywione, np. w formie łuków. Sam kształt (przekrój) kanalików **5**, podobnie jak struktura, nie ma decydującego wpływu na funkcję konwertera **4**, a jedynie na transparentność i może mieć formę okręgów, trójkątów, kwadratów, sześcioboków (a w ogólnym przypadku wieloboków). Długość kanalików l , a raczej parametr l/s decyduje o elektronowym wzmocnieniu sygnału fotonowego i należy w przybliżeniu do szerokiego przedziału: $1 \leq l/s \leq 10^4$. Kanaliki w konwerterze ustawione są pod kątem β do osi elektrooptycznej należącej do przedziału: $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ (tu zilustrowano szczególny przypadek: $\beta = 0^\circ$). Jak zaznaczono na rysunku **Fig. 1** obserwowany opisywaną metodą obiekt **2** zbudowany jest z obszarów **a, b, c i d** różniących się chemicznie lub/i materiałowo lub/i strukturalnie lub/i stanem skupienia lub/i gęstością etc.

Zależnie od mechanizmów fizykochemicznych prowadzących w tych obszarach **a**, **b**, **c** i **d** do różnic w przekrojach czynnych na absorpcję lub/i rozpraszanie przenikającego przez obiekt promieniowania elektromagnetycznego **1**, w obrazie fotooptycznym **ABCD** obiektu **abcd** uzyskiwany jest kontrast odzwierciedlający te mechanizmy. Prześwietlanie obiektu promieniowaniem **1** jest poprzedzone jego pożądanym ukształtowaniem w kontekście nachylenia lub/i spektrum energii (np. szerokie spektrum emisyjne lub kombinacja pojedynczych, przefiltrowanych linii – długości fali) lub/i rozkładu kąтового (np. wiązka konwergentna lub dywergentna lub skolimowana) lub/i rodzaju polaryzacji (np. wiązka niespolaryzowana lub spolaryzowana eliptycznie/kołowo lub spolaryzowana liniowo) w systemie optycznym **O**. Może być też wspomagane dodatkową wiązką lub wiązkami **1a** o różnych długościach fali, polaryzacji, nachyleniu, etc., wzbudzającymi selektywnie substancje chemicznie lub/i procesy w obiekcie **2** lub/i zwiększającymi ich kontrast w obrazie **ABCD**. Tworzące ten obraz fotony **1'** promieniowania elektromagnetycznego **1** przenikają następnie przez denka **5a** kanalików **5** lub/i warstwę **3** (lub warstwy składowe: **3a**, **3b**, **3c**, etc. w kolejnych przykładach realizacji) do obszaru kanalików **5**. Istotne jest by transmisja przez denka **5a** lub/i warstwę **3** lub/i warstwy **3a**, **3b**, **3c** nie deformowała informacji zawartej w dwuwymiarowym rozkładzie fotonowej intensywności **ABCD** np. przez ich niejednorodną transmisyjność, zaś związek między **ABCD** a **A'B'C'D'** w optymalnym przypadku był skalarny. Charakter spodów kanalików **5a**, warstwy **3**, warstw **3a**, **3b**, **3c**, ich struktura i skład chemiczny wprowadza rozróżnienie w przykładach realizacji. W najprostszym przypadku przykładu realizacji warstwę separacyjną **3** tworzą po prostu denka **5a** kanalików **5** w płycie konwertera **4**. Korzystnie, warstwa **3** (denka **5a**) powinna być jak najcieńsza ze względu na transmisję fotonów **1'** do obszaru kanalików **5** i korzystny reżim bliskiego pola, zaś z drugiej strony powinna gwarantować stabilność mechaniczną i np. w niektórych przykładach realizacji próżniową szczelność. W zależności od rodzaju materiału grubość warstwy **3** (spodów kanalików) mieści się w przedziale od kilkuset do kilku nanometrów. Ta wartość w połączeniu z długością fali elektromagnetycznej determinuje lateralną rozdzielczość r systemu, ograniczoną barierą dyfrakcji Fresnel'a: $r = \sqrt{\lambda * g}$, gdzie λ jest długością fali, a g grubością warstwy **3** (spodów kanalików **5a**). W przypadku iluminacji i prześwietlania obiektu światłem ultrafioletowym o długości fali 200 nm i grubości warstwy **3** równej 20 nm, spodziewana rozdzielczość układu wyniesie według tego przybliżenia ok. 60 nm. Należy zaznaczyć, że w tym przykładzie realizacji zastosowanie dowolnego promieniowania elektromagnetycznego z energią fotonu $h\nu > \phi$ (ϕ oznacza pracę wyjścia dla materiału kanalików **16** lub/i jego powłoki/powierzchni **17** lub/i powierzchni **5a** lub/i warstwy **3/3a**) jest możliwe: np. miękkie promieniowanie X z $\lambda = 10$ nm prowadzi do znaczącej poprawy rozdzielczości: $r = 14$ nm po stronie fotonowo-optycznej, jednak nie zezwala na długie obserwacje na materiale biologicznym *in vivo*. Ponieważ maksymalna rozdzielczość elektrooptyczna soczewki katodowej obiektywu wynosi ~ 5 nm, spodziewana całkowita rozdzielczość mikroskopu według wynalazku w tym przykładzie realizacji wyniesie ~ 15 nm. Uzyskanie takiej rozdzielczości w przedmiocie wynalazku wymaga co najmniej podobnej odległości d między osiami kanalików **5**. Aby promieniowanie elektromagnetyczne **1'** przenikające przez warstwę **3** lub/i przez denka kanalików **5a** mogło wywołać w nich fotoefekt, są one wykonane z materiału **16** o wystarczająco niskiej pracy wyjścia: $\phi < h\nu$. W przeciwnym przypadku korzystnie na powierzchnię należy nanieść lub wysegregować z objętości powłokę emisyjną **17** i zdefiniować korzystnie przy pomocy jej samej lub/i kontaktowej elektrody **18** jej potencjał, np. przez uziemienie. Korzystnie system próżniowy **20** z portem **24** służącym do odpompowania i uzyskania próżni wyposażony jest w możliwość przeprowadzenia *in situ* takiej fotoaktywacji powierzchni przy pomocy jednego lub kilku parowników **22**, **23** lub/i korzystnie jej regeneracji/aktywacji w gazie roboczym wprowadzanym z portu **25**. W innym przykładzie realizacji przedmiotu wynalazku emisyjna aktywacja powierzchni kanalików **5** konwertera **4** przeprowadzana jest przed jego montażem do obudowy **20**. Istnieje obszerna lista fotoelektronowo emisyjnych, fotokatodowych substancji: metalicznych (np. alkalicznych), półprzewodnikowych, antymonków i halogenków metali alkalicznych, ceramicznych, domieszkowanych etc., które w zależności od długości fali promieniowania elektromagnetycznego znajdują w tym przykładzie realizacji zastosowanie. Innym sposobem uzyskania warstwy **17** jest segregacja substancji, korzystnie o współczynniku emisji wtórnej > 1 z objętości materiału **16**, z którego wykonany jest konwerter **4**, na powierzchnię kanalików **5**. W kolejnym rozwiązaniu według wynalazku kanaliki **5** zamknięte są jednostronnie fotoemisyjną warstwą **3a** służącą wytworzeniu fotoelektronów, a ich ścianki wykonane z materiału **16** o współczynniku emisji wtórnej > 1 lub/i pokryte warstwą **17** służącą wytworzeniu elektronów wtórnych lub/i fotoelektronów. W przypadku niskoenergetycznego promieniowania **1** prześwietlającego obiekt **2**, np. niegroźnej dla obiektów biologicznych *in vivo* wiązki ultrafioletowej: np. $\lambda = 350$ nm, w przykładzie realizacji według wynalazku emisyjna po-

wierzchnia spódów **5a** kanalików **5** charakteryzuje się pracą wyjścia elektronu niższą od energii fotonu promieniowania **1**: $h\nu = 3,5$ eV. Warunek na wywołanie emisji spełniać tu będą np. metale alkaliczne: np. cez z pracą wyjścia dla elektronu 2,1 eV. Istotę wynalazku stanowi integralność konwertera **4** z katodową soczewką obiektywu **8, 9** i to, że matryca otwartych końców **5b** kanalików **5** eksponowana jest w wyciągającym elektrony polu elektrostatycznym **7** ekstraktora **8** katodowej soczewki obiektywu **8, 9** (wyższe pole skutkuje wyższą rozdzielczością elektrooptyczną i głębszym wnikaniem do wnętrza kanalików **5**). Rysunek **Fig. 1** ilustruje mechanizm wnikania linii ekwipotencjalnych tego pola **7** w głąb kanalików **5** i generowania w ich wnętrzu gradientu potencjału **7** wyciągającego elektrony wtórne **13**. Pole to przyspiesza i ukierunkowuje w stronę ekstraktora **8** fotoelektrony powstałe po absorpcji fotonów **1'** w fotoemisyjnym materiale **16** konwertera **4** w denkach **5a** kanalików **5** lub/i fotoemisyjnej warstwie **17** lub/i fotoemisyjnej warstwie **3a** zamykającej jednostronnie kanaliki **5**. Submikronowe średnice kanalików **5** korzystnie od 1 nm do 10^3 nm powodują, że fotoelektrony mogą zderzać się ze ściankami kanalików **5** wywołując zwielokrotnioną emisję elektronów wtórnych. W przykładzie realizacji według wynalazku korpus konwertera **4** wykonany jest z materiału **16** o współczynniku emisji wtórnej >1 lub/i ściany kanalików **5** pokryte są naniesionym lub wysegregowanym z objętości **16** na powierzchnię kanalików materiałem **17** o współczynniku emisji wtórnej >1 . Jeśli korzystnie długość l kanalików **5** jest wystarczająca, np. $l/d \geq 1$, pole w jego wnętrzu przyspiesza ponownie paczkę tym razem elektronów wtórnych, aż do następnego jej zderzenia ze ścianką kanalika **5**, po którym doznaje zwielokrotnienia w wyniku emisji wtórnej. Ten lawinowy proces następuje aż do opuszczenia przez elektrony wtórne kanalików przez ich otwory **5b** ulokowane naprzeciw ekstraktora **8** w płaszczyźnie obiektu soczewki katodowej **8, 9**. Na rysunku **Fig. 1** dla uproszczenia zilustrowano tylko jeden proces zderzenia z elektronowo emisyjną ścianką kanalika. W przykładzie realizacji według wynalazku niezależnie od zjawisk elektronowych kanaliki **5** pełnią również funkcję kapilarnego światłowodu dla fotonów promieniowania **1** powodującego na swej drodze kolejne emisje fotoelektronów. W konsekwencji opisanych powyżej procesów, we wszystkich przykładach realizacji przedmiotu wynalazku, dwuwymiarowy rozkład intensywności elektronów wtórnych **13** na wyjściu z matrycy otworów **5b** kanalików **5**, skorelowany z fotonowym kontrastem obrazowym **ABCD** powstałym po transmisji promieniowania elektromagnetycznego **1** przez obiekt obserwacji **2** w części fotonowo optycznej, jest obiektem obrazowania soczewki katodowej obiektywu **8, 9** w części elektrooptycznej. Obiekt ten jest przez nią powiększany i/lub przez następujący po niej układ elektrooptyczny **21** i rejestrowany jako obraz przez 2D detektor: przetwornik/wzmacniacz **14** (np. 2D delay line detector) i/lub ekran **15** (fluorescencyjny lub np. kryształ YAG, etc.). W kolejnym przykładzie realizacji według wynalazku, korzystnie dla poprawienia rozdzielczości mikroskopu, w płaszczyźnie dyfrakcyjnej katodowej soczewki obiektywu **8, 9** lub/i w płaszczyźnie z nią optycznie skorelowanej jest umieszczona stała lub zmienna, regulowana (pozycjonowana) apertura kontrastowa **10** i/lub stygmaty **11**. Cały obszar przedmiotu wynalazku w którym występują elektrony, poczynawszy od spódów **5a** kanalików **5** lub/i warstwy **3/3a** lub/i **17**, a skończywszy na detektorze obrazu **14, 15** znajduje się pod próżnią uzyskaną we wnętrzu próżniowej obudowy **20**. Jeśli konieczna jest ochrona i oddzielenie mechaniczne lub/i chemiczne obiektu obserwacji **2**, zastosowana jest dodatkowo jako kontaktowa z obiektem **2** separacyjna warstwa **3c** o grubości np. kilku do kilkuset nanometrów, korzystnie transparentna dla fotonów promieniowania **1**, wykonana np. z SiO_2 lub Si_3N_4 , etc. W uzupełnieniu wszystkich poprzednich wariantów przykładu realizacji według wynalazku umieszczony na konwerterze **4** obiekt obserwacji **2** poddawany jest w trakcie obserwacji lub poza nią modyfikacji/modyfikacjom mechanicznym lub/i chemicznym lub/i fizycznym lub/i fizykochemicznym lub/i elektrochemicznym lub/i elektrycznym lub/i magnetycznym etc., przy zastosowaniu jednego lub kilku manipulatorów **2'** lub/i generatorów tych modyfikacji. W drugim przykładzie realizacji według wynalazku, będącym szczególnym przypadkiem opisanego we wszystkich aspektach powyżej, konwerter **4** wmontowany jest hermetycznie stroną otwartych końców **5b** kanalików **5** w obudowę próżniową **20** korzystnie w sposób umożliwiający jego przesuwanie względem osi obiektywu **8, 9**, np. poprzez element **6** i mieszek **12**. Separacja ta pozwala na obserwację obiektów **2** znajdujących się poza próżnią. Przedmiot wynalazku w trzecim przykładzie realizacji uzupełnia poprzednie we wszystkich ich aspektach o obserwację obiektu **2** umieszczonego w próżni i/lub w dowolnej atmosferze gazowej. W przykładzie tym obiekt **2** otoczony jest hermetyczną komorą **26**, oznaczoną na rysunku **Fig. 1** przerywaną linią, wyposażoną w okno **27** transparentne dla fotonów promieniowania elektromagnetycznego **1** ze źródła **S** znajdującego się poza próżnią (w rozwiązaniu, w którym źródło **S** promieniowania **1** znajduje się wewnątrz komory **26**, okno to jest zbędne), w port **28** służący do odpompowania oraz port **29** do selektywnego dozowania gazów roboczych pod dowolnym ciśnieniem. W tym przykładzie

realizacji możliwe jest wytworzenie plazmy wokół obiektu **2** w trakcie obserwacji lub poza nią, np. metodami: (PA)PVD, CVD, (PA)CVD, etc. Czwarły przykład realizacji mikroskopu według wynalazku różni się od poprzedniego tym, że obie obudowy **20** i **26** są ze sobą próżniowo połączone, co oznacza, że obiekt obserwacji **2** znajduje się w próżni. Możliwe jest w tym przykładzie realizacji zastosowanie pompowania różnicowego. Trzy kolejne przykłady realizacji mikroskopu według wynalazku uzupełniają aspekty wszystkich poprzednich o rodzaj materiału, z jakiego wykonany jest korpus **16** konwertera **4** – może nim być dowolny materiał umożliwiający uzyskanie korzystnie submikrometrycznej struktury kanalikowej: przykład 5) izolator, np. ceramika: Al_2O_3 , CaF_2 , MgO , Si_3O_4 , SiO_2 , ZrO_2 , Cr_2O_3 , BaTiO_3 ,...etc., przykład 6) półprzewodnik, przykład 7) przewodnik. Przedmiot wynalazku w kolejnym przykładzie realizacji wprowadza do wszystkich poprzednich przykładów wzmocnienie efektu wnikanía w obszar kanalików **5** linii ekwipotencjalnych pola elektrycznego **7** ekstraktora **8** zintegrowanej z konwerterem **4** katodowej soczewki obiektywu **8**, **9**. Jest to szczególnie istotne dla $l/d > \sim 2$, kiedy dalsze wnikanía pola w obszar kanalika utrudnione jest ekranowaniem jego ścianek. Efekt wzmocnienia pola **7** wewnątrz kanalików **5** osiąga się według wynalazku w tym przykładzie realizacji przez przyłożenie napięcia między spody kanalików **5a** lub/i warstwę (powłokę) **3/3a** zamykającą kanaliki **5**, a ich płaszczyznę czołową matrycy otwartych końców **5b** kanalików **5** bezpośrednio do nich lub/i elektrod kontaktowych, którymi zostały pokryte, odpowiednio: **3b** (np. o grubości od kilku do kilkuset nm) oraz **18** (np. od kilku do kilkuset nanometrów). Spody kanalików **5a** lub/i warstwa **3a** (np. o grubości od kilku do kilkuset nanometrów) są fotokatodą dla fotonów **1'** promieniowania **1** prześwietlającego obiekt obserwacji **2**. W sytuacji szczególnej materiałowo, w przykładzie realizacji przedmiotu wynalazku, mogą stanowić jedną powłokę z **3b** (tzn. warstwa **3a** lub/i spody kanalików **5a** pełnią jednocześnie funkcję fotokatydy i elektrody kontaktowej). Jeśli konieczna jest ochrona i oddzielenie mechaniczne lub/i chemiczne obiektu obserwacji **2**, zastosowana jest dodatkowo jako kontaktowa z obiektem **2** separacyjna warstwa (powłoka) **3c** o grubości np. kilku do kilkuset nanometrów, korzystnie transparentna dla fotonów promieniowania **1**, wykonana np. z SiO_2 lub Si_3N_4 , etc. W przedmiocie wynalazku w tym przykładzie realizacji dobrana parametrycznie warstwa oporowa ze współczynnikiem emisji wtórnej >1 jest wysegregowana na powierzchnię kanalików **5** konwertera **4** z materiału **16** z jego objętości lub naniesiona wewnątrz kanalików **5**, łącząc się z elektrodami kontaktowymi **3b** (lub/i **3a** lub/i **5a**) oraz **18**. Wymuszony napięciem elektrycznym przyłożonym do elektrod **3b** (lub/i **3a** lub/i **5a**): minus oraz **18**: plus przepływ prądu powoduje powstanie wewnątrz kanalików **5** dodatkowego rozkładu potencjału **7** przyspieszającego pola $\sim U/l$ (U – napięcie, l – długość kanalików), co z kolei korzystnie wpłynie na intensywność obrazu elektronów wtórnych **13** na wyjściu z matrycy otworów **5b** kanalików **5** w płaszczyźnie obiektu katodowej soczewki obiektywu **8**, **9**. Do przedmiotu wynalazku w powyższych przykładach realizacji w kontekście konwertera wyposażonego w elektrody odnoszą się te same i opisane wcześniej aspekty stanowiące o istocie wynalazku, a związane z: 1) układem prześwietlającego promieniowania elektromagnetycznego, 2) strukturą chemiczną, geometryczną i kształtem kanalików oraz 3) częścią elektrooptyczną. Mikroskop według wynalazku w przykładach realizacji zawiera jeden z typów katodowej soczewki obiektywu: elektrostatyczną lub magnetyczną, np. jako diodę albo triodę albo tetrodę albo pentodę, etc. Rysunek **Fig. 2** prezentuje przedmiot wynalazku w dwóch wybranych przykładach realizacji z rozróżnieniem na typ zastosowanej katodowej soczewki obiektywu **8**, **9**: elektrostatyczną tetrodę – **Fig. 2a** i magnetyczną triodę – **Fig. 2b**. Te przykładowe realizacje według wynalazku są instrumentalną pochodną wcześniejszego przykładu z rysunku **Fig. 1** i zawierają w sobie różne opisane wcześniej warianty rozwiązań np. dla konwertera **4**, czy prześwietlającego obiektu promieniowania **1**, części mechanicznej, elektrooptycznej czy detekcji. Wszystkie elementy i soczewki elektrooptyczne na rysunkach **Fig. 2a** i **Fig. 2b**, tzn.: 1) stanowiąca katodę katodowej soczewki obiektywu matryca otworów **5a** kanalików konwertera **4** oraz same kanaliki **5**, 2) soczewka katodowa obiektywu **8**, **9'**, 3) apertura kontrastowa **10**, 4) stygmator **11**, 5) układ elektrooptyczny **21**, 6) przetwornik obrazu typu elektron-foton lub/i elektron-impuls elektryczny **14**, **15** oraz 7) generowane przez nie trajektorie elektronowe, zawierają się wszystkie w hermetycznej komorze próżniowej **20** wyposażonej w umożliwiający odpompowanie port **24**, w szczelne próżniowo sprzężenie mechaniczne np. poprzez mieszek **12** z manipulatorem **XY** (lub/i dodatkowo **Z** lub/i dodatkowo ϕ – nachylenie) umożliwiającym przesuwanie i/lub justowanie elementu manipulatora **6** wraz ze zintegrowanym z nim szczelnie konwerterem **4**, na którym poza próżnią **20** umieszczany jest obiekt obserwacji **2**. Gwarantuje to łatwy dostęp do obiektu **2** umożliwiający np. umieszczenie go w cieczy lub uczynienie samej cieczy (np. elektrolitu) autonomicznym obiektem obserwacji. Obudowa próżniowa **20** posiada okno próżniowe **19** umożliwiające obserwację powiększonego na ekranie fluorescencyjnym **15** obrazu lub posiada

próżniowe przejście elektryczne pozwalające na elektroniczną rejestrację rozmieszczenia elektronów obrazu na detektorze **14** np. na „2D delay line detektorze” (ekran fluorescencyjny **15** jest w tym przypadku zbędny). Korzystnie wiązka prześwietlającego obiekt **2** promieniowania elektromagnetycznego **1**, **1a** kształtowana jest systemem optyczno-mechanicznym **O** pozwalającym na jej pochylenie lub/i ustawienie z zachowaniem centrum obrotu w środku obiektu oraz na uzyskanie pożądanych optycznych własności: fazowych, spektralnych, przestrzennych, rodzaju polaryzacji, etc., jak w przykładzie pierwszym i drugim realizacji według wynalazku. Obok obrazującego promieniowania prześwietlającego **1** w przykładzie realizacji według wynalazku obiekt **2** jest oświetlony wiązką/wiązkami promieniowania towarzyszącego **1a** (np. o innych długościach fali) np. w celu aktywacji procesów w obiekcie **2** lub/i wzbudzenia chemicznego lub fizycznego lub energetycznego (rezonansowego) jego elementów chemicznych lub/i strukturalnych lub/i w celu poprawienia kontrastu lub/i modyfikacji chemiczno-strukturalnej obiektu, etc. Przedmiot wynalazku w następnym przykładzie realizacji uzupełnia poprzednie o manipulator **2'** pozwalający na mikromanipulację w obiekcie **2**, np. w przypadku obiektu biologicznego na lokalne, selektywne dozowanie substancji chemicznych do pojedynczych, wybranych komórek czy jąder komórkowych, czy też lokowanie w nich np. miniaturowych elektrod wprowadzających i/lub rejestrujących impulsy w trakcie obserwacji lub poza nią. W innym przykładzie realizacji mikroskopu według wynalazku obiekt obserwacji **2** umieszczony jest w polu magnetycznym i/lub elektrycznym. Przedmiot wynalazku w kolejnym przykładzie realizacji uzupełniającym poprzednie pozwala usytuować nad obiektem **2** inną, dowolną technikę pomiarową, np. **AFM**, **MFM**, **EFM**, **KPFM** (atomic-, magnetic-, electric-, Kelvin probe- force microscopy), czy też klasyczny mikroskop optyczny do badań równoległych czy przygotowawczych. Korzystnie urządzenia te powinny znajdować się na przesuwnej platformie lub być zamontowane tak, by nie blokowały wiązek promieniowania prześwietlającego **1**, **1a**. Przedmiot wynalazku w przykładzie realizacji z rysunku **Fig. 2b** różni się od poprzedniego z rysunku **Fig. 2a** z wszystkimi jego aspektami, zastosowaniem w miejsce elektrostatycznej soczewki katodowej obiektywu **8**, **9'**, soczewki magnetycznej **8**, **9''**: triody. W tym miejscu w innym przykładzie realizacji zastosowana jest np. magnetyczna tetroda lub inny dowolny typ katodowej soczewki magnetycznej obiektywu. Przedmiot wynalazku w przykładach realizacji z rysunku **Fig. 3a** uzupełnia wszystkie przykłady realizacji z rysunku **Fig. 2a** o hermetyczną komorę próżniową **26** połączoną szczelnie próżniowo z elementem **6** lub/i komorą **20**, co pozwala na odpompowanie otaczającego obiekt **2** powietrza przez flanszę **28** i uzyskanie wokół obiektu **2** próżni. Otwiera to dostęp do ogromnej dziedziny preparatyki materiałowej np. technologii cienkich warstw (thin film) pozwalającej na modyfikację i tworzenie lub/i modyfikację obiektu obserwacji **2 in situ** poprzez np. epitaksję, litografię, katalizę, dyfuzję, adsorpcję i desorpcję, segregację, korozję, bombardowanie jonami, domieszkowanie, wygrzewanie w gazach, technologie plazmowe, etc., obserwowanego „równoległe” w tzw. technice „parallel imaging” np. w trakcie trwania tych procesów w czasie rzeczywistym lub poza obserwacją. Komora próżniowa **26** wyposażona jest w szereg skierowanych na obiekt **2** portów dostępu **31**, umożliwiających realizację wyżej wymienionych procesów, ale także różnego rodzaju detekcję w trakcie trwania tych procesów lub poza obserwacją. W kolejnym przykładzie realizacji według wynalazku tworzona jest przy użyciu dozownika gazów **28** wokół obiektu **2**, również chłodzonego lub podgrzewanego, atmosfera gazowa o dowolnym składzie i ciśnieniu (również w nadciśnieniu), co umożliwia prowadzenie obserwacji zachodzących w obiekcie **2** (znajdującym się nie tylko w stanie stałym, ale również w płynnym lub/i gazowym) reakcji fizykochemicznych w czasie rzeczywistym lub poza obserwacją. Źródło **S** promieniowania **1** prześwietlającego obiekt **2** znajduje się wewnątrz komory próżniowej **26** lub prześwietla obiekt **2** z lokalizacji zewnętrznej przez odpowiednie okno próżniowe **27**, np. berylowe w przypadku promieniowania X, kwarcowe w przypadku UV. Przedmiot wynalazku w kolejnym przykładzie realizacji uzupełnia poprzednie o znajdujący się w komorze próżniowej **26** manipulator **2'** pozwalający na mikromanipulację w obiekcie **2**, np. w przypadku obiektu biologicznego na lokalne, selektywne dozowanie substancji chemicznych do pojedynczych, wybranych komórek czy jąder komórkowych, czy też lokowanie w nich np. miniaturowych elektrod wprowadzających i/lub rejestrujących impulsy w trakcie lub poza obserwacją. W następnym przykładzie realizacji obiekt obserwacji **2** umieszczony jest w polu magnetycznym i/lub elektrycznym. Przedmiot wynalazku w kolejnym przykładzie realizacji uzupełniającym wszystkie poprzednie pozwala usytuować w komorze próżniowej **26** nad obiektem **2** inną dowolną próżniową technikę pomiarową, np. **SEM**, **STM**, **AFM**, **MFM**, **EFM**, **KPFM** (scanning-, atomic-, magnetic-, electric-, Kelvin probe- force microscopy) do pomiarów towarzyszących lub przygotowawczych. Korzystnie urządzenia te znajdują się na przesuwnej platformie lub są zamontowane tak, by nie blokowały wiązek promieniowania prześwietlającego **1**. Przykład realizacji przedmiotu wynalazku

lazu z rysunku **Fig. 3b** różni się od poprzednich przykładów realizacji opartych o rysunek **Fig. 3a** wraz z ich wszystkimi opisanymi aspektami, zastosowaniem w miejsce przykładowej elektrostatycznej soczewki katodowej obiektywu **8, 9'**, innej przykładowej katodowej soczewki obiektywu: magnetycznej triody **8, 9''**. W tym miejscu w innym przykładzie realizacji zastosowana jest magnetyczna tetroda lub dowolna katodowa soczewka magnetyczna obiektywu. W kolejnym przykładzie realizacji przedmiotu wynalazku w odniesieniu zarówno do wariantu z elektrostatyczną soczewką obiektywu z rysunku **Fig. 3a**, jak i wariantu z magnetyczną soczewką obiektywu z rysunku **Fig. 3b**, obszary próżni w komorze **20** i komorze **26** są połączone i tworzą wspólny dla elektronów **13** i obiektu obserwacji **2** obszar próżni. W innym przykładzie realizacji przedmiotu wynalazku komory próżniowe **20** i **26** są tak połączone, by możliwe było pompowanie różnicowe.

Wykaz oznaczeń:

1. prześwietlająca obiekt obserwacji (2) wiązka promieniowania elektromagnetycznego
- 1a. kolejna prześwietlająca/oświetlająca obiekt (2) wiązka promieniowanie elektromagnetycznego
- 1'. fotony promieniowania elektromagnetycznego (1) po transmisji przez obiekt obserwacji (2)
- 1''. nachylona pod kątem $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ do osi wiązka promieniowania elektromagnetycznego
2. obiekt obserwacji
- 2'. manipulator do ingerencji i modyfikacji obiektu obserwacji (2)
3. warstwa zamykająca kanaliki (5)
- 3a. fotoemisyjna warstwa składowa warstwy (3)
- 3b. transparentna elektroda kontaktowa definiująca potencjał – warstwa składowa warstwy (3)
- 3c. transparentna i separująca obiekt (2) warstwa składowa warstwy (3)
4. konwerter – nośnik obiektu (2)
5. kanaliki konwertera (4)
- 5a. denka – spody kanalików (5)
- 5b. otwory kanalików (5)
6. element manipulatora X, Y, Z, kąt mocujący obiekt (2)
7. linie ekwipotencjalne pola elektrostatycznego katodowej soczewki obiektywu (8, 9)
8. ekstraktor katodowej soczewki obiektywu (8, 9)
9. element elektrooptyczny wytwarzający pole elektrostatyczne albo magnetyczne soczewki (8, 9)
- 9'. element elektrooptyczny soczewki (8, 9) wytwarzający pole elektrostatyczne
- 9''. element elektrooptyczny soczewki (8, 9) wytwarzający pole magnetyczne
10. apertura kontrastowa
11. stygmator
12. mieszek umożliwiający przesuwanie obiektu obserwacji (2)
13. elektrony wtórne generowane w kanalikach (5)
14. detektor obrazu elektronowego
15. ekran obrazu elektronowego
16. ściany kanalików (5)
17. warstwa elektronowo emisyjna
18. elektroda definiująca potencjał matrycy otworów (5b) kanalików (5)
19. okno próżniowe – wziernik umożliwiający rejestrację obrazu
20. hermetyczna komora – obudowa próżniowa
- 20a. próżnia wytworzona w komorze – obudowie próżniowej (20)
21. powiększający układ elektrooptyczny
22. źródło molekularne materiału konwertera
23. inne źródło molekularne materiału konwertera
24. port do odpompowania obudowy – komory próżniowej (20)
25. port do napuszczania gazów o dowolnym składzie i ciśnieniu
26. druga hermetyczna komora – obudowa próżniowa obiektu obserwacji (2)
27. transparentne dla promieniowania elektromagnetycznego (1, 1a, 1'') okno próżniowe
28. port do odpompowania obudowy – komory próżniowej (26)
29. port do napuszczania gazów o dowolnym składzie i ciśnieniu
30. element uszczelniający hermetyczne połączenie komór – obudów próżniowych (20) i (26)
31. porty dostępu do obiektu obserwacji (2)

- S** – źródła promieniowania elektromagnetycznego
O – urządzenie kształtujące przestrzennie, fazowo, spektralnie etc. wiązki promieniowania elektromagnetycznego
 α – kąt nachylenia wiązki promieniowania elektromagnetycznego
 β – kąt nachylenia kanalików (5) w odniesieniu do osi elektrooptycznej
abcd – kontrastowa struktura obiektu obserwacji (2)
ABCD – fotonowo transmisyjny obraz struktury **abcd**
A'B'C'D' – fotoelektronowy obraz po konwersji fotonowego obrazu **ABCD** na fotoemisyjnej powierzchni spodów (5a) kanalików (5) konwertera (4)
A"B"C"D" – elektronowy obraz utworzony przez elektrony wtórne (13) na wyjściu z matrycy otworów (5b) kanalików (5) konwertera (4) w płaszczyźnie obiektu katodowej soczewki (8, 9)

Zastrzeżenia patentowe

1. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych składający się z powiększającego układu elektrooptycznego zawierającego katodową soczewkę obiektywu wraz z detektorem obrazu elektronowego, obudowy próżniowej, manipulatora obiektu obserwacji, promieniowania elektromagnetycznego prześwietlającego obiekt obserwacji i nośnika obiektu obserwacji, **znamienny tym**, że nośnik obiektu obserwacji (2) jest konwerterem (4) fotonów (1') transmisyjnego obrazu obiektu obserwacji (2) na fotoelektrony, a tych na elektrony wtórne (13), zbudowanym z kanalików (5) jednostronnie zamkniętych spodami (5a) znajdującymi się w kontakcie z obiektem obserwacji (2), a po swojej przeciwległej stronie w płaszczyźnie obiektu soczewki katodowej obiektywu (8, 9) zakończonych tworzącymi dwuwymiarową matrycę otworami (5b), które emitują w próżni (20a) w przyśpieszającym polu katodowej soczewki obiektywu (8, 9), proporcjonalnie do natężenia fotoelektronów wywołanych w fotoemisyjnej powierzchni spodów (5a) kanalików (5) przez fotony (1') transmisyjnego obrazu obiektu obserwacji (2) elektrony wtórne (13), generowane we wnętrzu kanalików (5) w wyniku zderzeń z emisyjną powierzchnią ich ścianek i formujące po powiększeniu przez układ elektrooptyczny z katodową soczewką obiektywu (8, 9) obraz elektronowy obiektu obserwacji (2) na detektorze obrazu.
2. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych według zastrz. 1, **znamienny tym**, że konwerter (4) wyposażony jest w dwie elektrody kontaktowe: jedną (18) na powierzchni konwertera (4) otwartych w próżni (20a) końców (5b) kanalików (5) od strony katodowej soczewki obiektywu (8, 9) o potencjale wyższym i drugą (3b/3a), na przeciwległej powierzchni zamkniętych końców kanalików (5) po stronie obiektu obserwacji (2), o potencjale niższym od potencjału pierwszej, połączone ze sobą pokrywającą kanaliki (5) warstwą oporową wytwarzającą pod wpływem przepływającego przez nią prądu gradient potencjału w ich wnętrzu, który przyśpieszając emitowane z fotoemisyjnej powierzchni jednostronnie zamykających je spodów (5a) pod wpływem fotonów (1') transmisyjnego obrazu obiektu obserwacji (2) fotoelektrony, generuje przez ich zderzenia z emisyjną powierzchnią kanalików (5) emisję elektronów wtórnych (13), również przyśpieszanych przez ten gradient potencjału i powodujących kolejne, zwielokrotnione w wyniku zderzeń ze ściankami kanalików (5), emisje elektronów wtórnych (13), emitowanych ostatecznie z dwuwymiarowej matrycy otwartych końców (5b) kanalików (5) w płaszczyźnie obiektu katodowej soczewki obiektywu (8, 9), jako jej elektronowy obiekt obrazowania utworzony przez elektrony wtórne (13) skorelowane z fotonowo transmisyjnym obrazem (1') obiektu obserwacji (2), powiększany przez układ elektrooptyczny z katodową soczewką obiektywu (8, 9) na detektorze obrazu.
3. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych, według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że materiał ścianek (16) kanalików (5) jest tą samą substancją, co materiał jednostronnie je zamykających spodów (3a).
4. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych, według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że materiał ścianek (16) kanalików (5) jest inną substancją, niż materiał jednostronnie je zamykających spodów (3a).

5. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych według zastrz. 3 albo 4, **znamienny tym**, że ścianki (16) kanalików (5) konwertera (4) lub ich jednostronne zamknięcia (5a) stanowi izolator.
6. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych według zastrz. 3, albo 4, albo 5, **znamienny tym**, że ścianki (16) kanalików (5) konwertera (4) lub ich jednostronne zamknięcia (5a) stanowi półprzewodnik.
7. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych według zastrz. 3, albo 4, albo 5, albo 6, **znamienny tym**, że ścianki (16) kanalików (5) konwertera (4) lub ich jednostronne zamknięcia (5a) stanowi przewodnik.
8. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych według zastrz. 5, albo 6, albo 7, **znamienny tym**, że powierzchnia spodów (5a) kanalików (5) konwertera (4) jest fotoemisyjna dla fotonów promieniowania elektromagnetycznego (1) prześwietlającego obiekt obserwacji (2), a powierzchnia ścianek kanalików (5) konwertera (4) posiada współczynnik emisji wtórnej większy od jedności.
9. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych, według zastrz. 5, albo 6, albo 7, albo 8, **znamienny tym**, że konwerter (4) jest hermeticznie wmontowany stroną otwartych końców (5b) kanalików (5) w kierunku katodowej soczewki obiektywu (8, 9) w obudowę próżniową (20) i oddziela wytworzoną w niej przez port (24) próżnię (20a) od obiektu obserwacji (2).
10. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych, według zastrz. 9, **znamienny tym**, że do obudowy próżniowej (20) dołączona jest hermeticznie druga obudowa próżniowa (26) oddzielająca obiekt obserwacji (2) od powietrza, wyposażona w co najmniej jeden port do odpompowania (28) i do dozowania gazów (29), i transparentne dla prześwietlającego obiekt obserwacji (2) promieniowania elektromagnetycznego (1) okno (27).
11. Fotonowo transmisyjny mikroskop emisyjny elektronów wtórnych według zastrz. 10, **znamienny tym**, że obudowy próżniowe (20) i (26) są ze sobą próżniowo połączone.

Rysunki

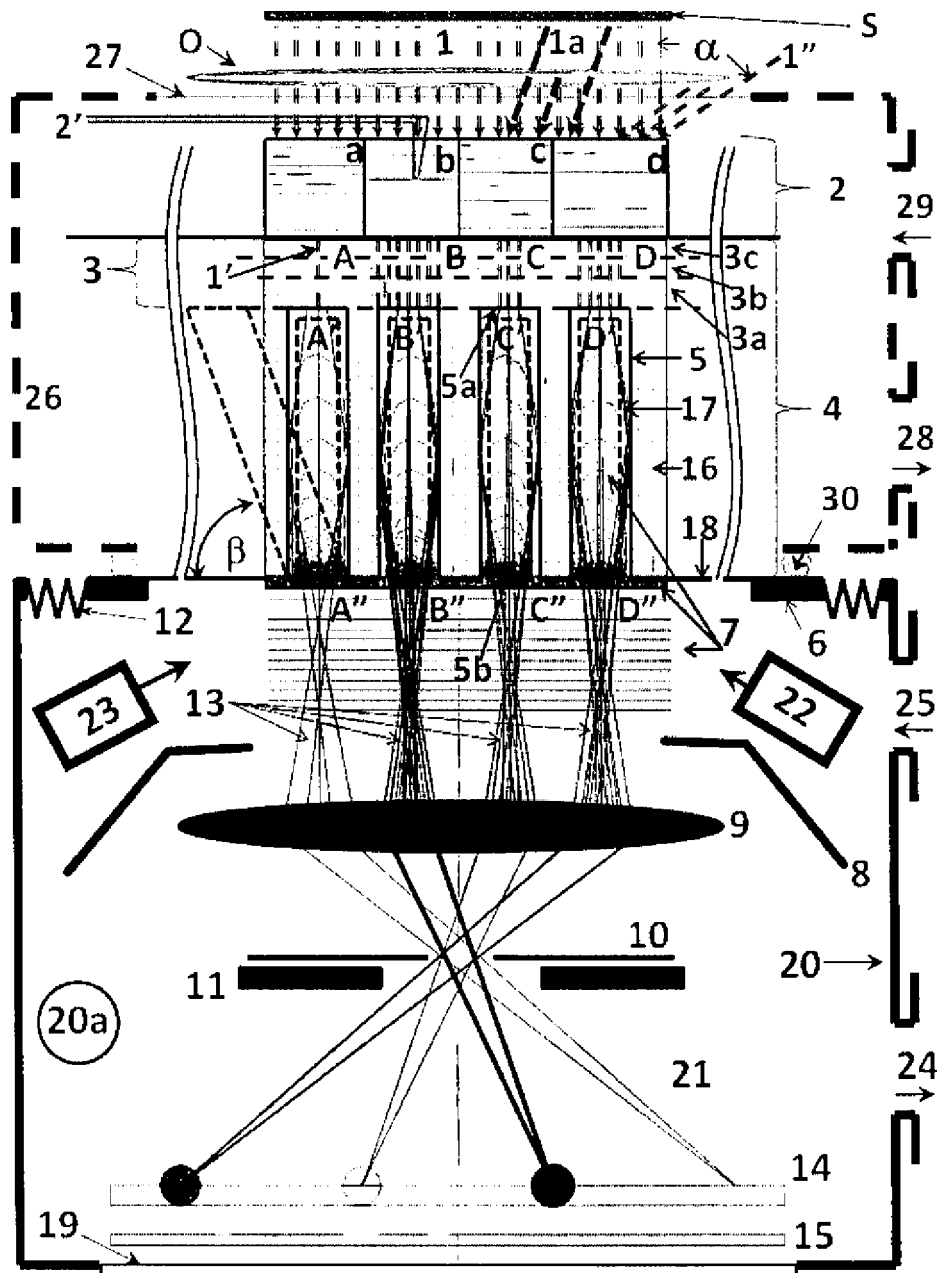


Fig. 1

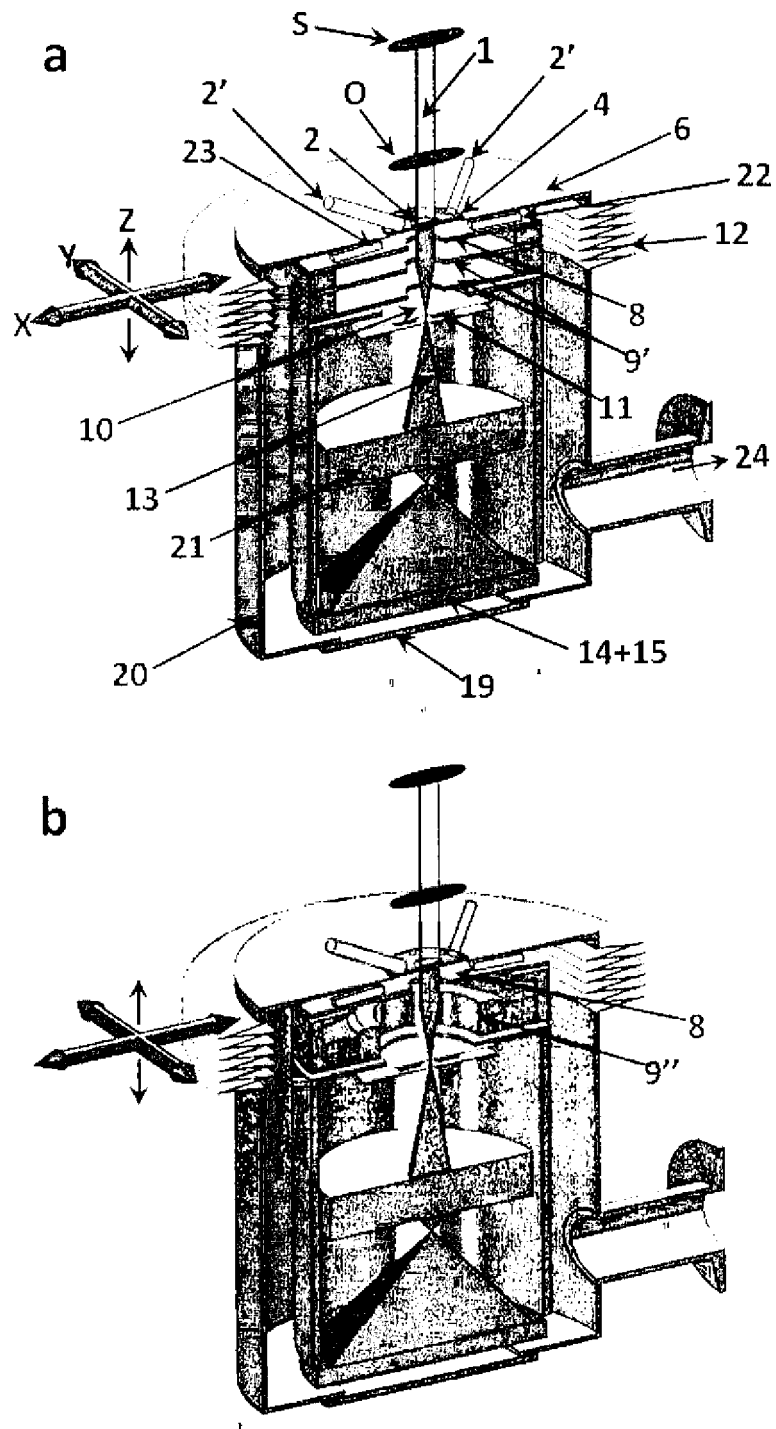


Fig.2

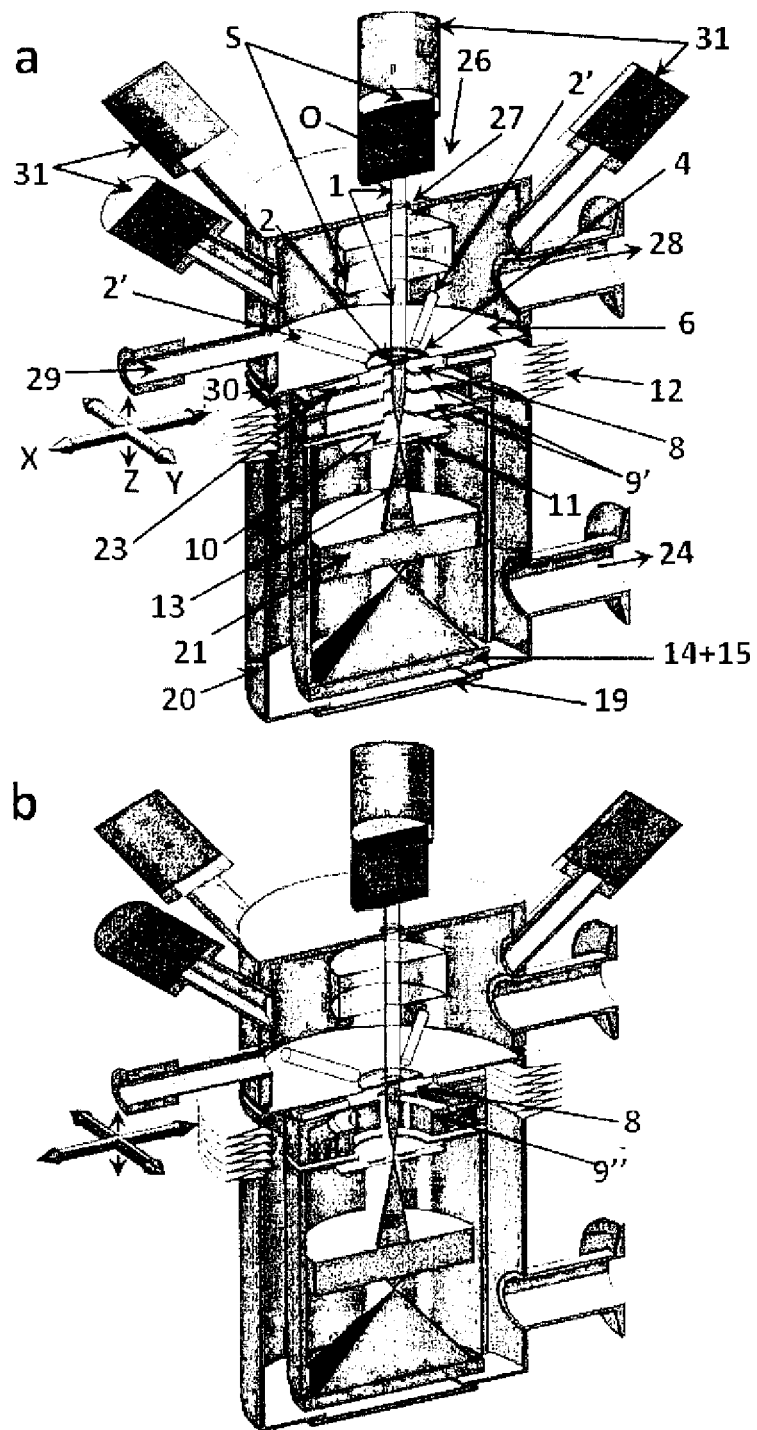


Fig.3

