



(10) **DE 10 2016 103 157 A1** 2016.09.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 103 157.7**

(22) Anmeldetag: **23.02.2016**

(43) Offenlegungstag: **01.09.2016**

(51) Int Cl.: **H01J 37/26 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**P.411407**                      **26.02.2015**    **PL**

(71) Anmelder:  
**Grzelakowski, Krzysztof, Dr., Wroclaw, PL**

(74) Vertreter:  
**Kailuweit & Uhlemann Patentanwälte  
Partnerschaft mbB, 01187 Dresden, DE**

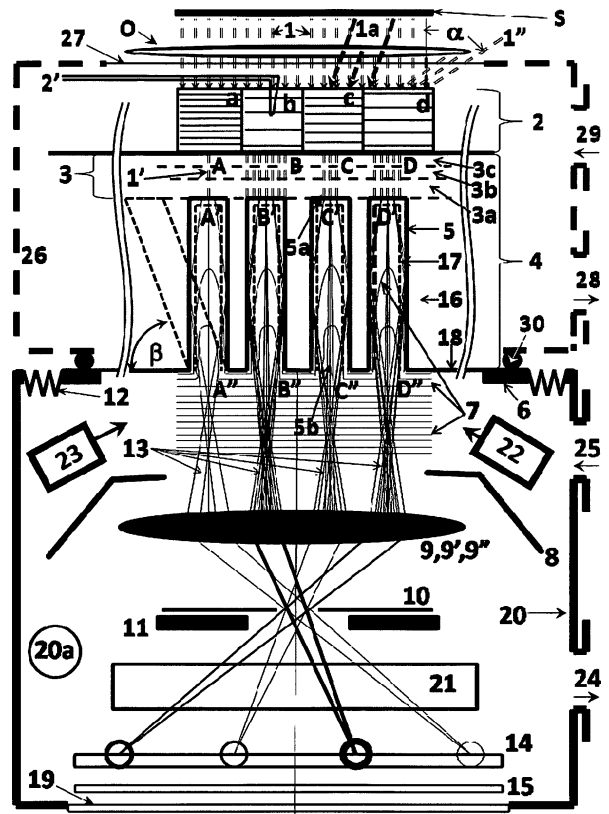
(72) Erfinder:  
**gleich Anmelder**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop**

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenmikroskop, bei dem durch die Umsetzung der durch das Untersuchungsobjekt hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung auf Elektronenstrahlung die Grenzen der optischen Abbildung überwunden und eine sehr hohe elektro-optische Auflösung erzielt wird. Darüber hinaus gestattet das erfindungsgemäße Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenmikroskop die in-situ-Beobachtung von im Beobachtungsobjekt vorgehenden Prozessen bzw. der Reaktionen auf Manipulationen des Untersuchungsobjektes.



## Beschreibung

**[0001]** Gegenstand der Erfindung ist ein Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop: eine analytische Einrichtung für die optische Nahfeld-Inspektion und -Observation des Untersuchungsobjektes mit Photonen einer transmissiven elektromagnetischen Strahlung zur Abbildung, Vergrößerung und Detektion des optischen, transmissiven Untersuchungsobjektbildes mittels der durch dieses Bild generierten Sekundärelektronen.

**[0002]** In seinem Arbeitsprinzip, Funktion und Anwendungen gehört der Erfindungsgegenstand zum Gebiet der Analyse und Abbildung, sowohl im Vakuum wie außerhalb des Vakuums, verschiedener Untersuchungsobjekte in beliebigem Aggregatzustand, umgeben von Luftatmosphäre oder von Arbeitsgasen unter einem beliebigen Druck (auch Überdruck). Zu den Untersuchungsobjekten gehören: Isolatoren, Halbleiter, Leiter und Supraleiter, dielektrische, ferroelektrische, piezoelektrische, paraelektrische Materialien, chemische Verbindungen und Stoffe, magnetische Materialien (Diamagnetika, Paramagnet, Ferromagnetika, Ferrimagnetika, Antiferromagnetika), Rohstoffe, organische und/oder anorganische, belebte und/oder unlebte Materie, z. B. beliebiges biologisches Material, auch in vivo unter seinen natürlichen Bedingungen (oder in der Umgebung von verschiedenen Arbeitsgasen oder Flüssigkeiten), aber auch die in diesen Untersuchungsobjekten ablaufenden Prozesse, (z.B. physikalische, chemische, physikochemische, elektrochemische, elektrolytische, thermische, magnetische, elektrische, etc.), in Echtzeit und mit sekundär in Folge der transmissiven elektromagnetischen Strahlung (z. B.: Synchrotronstrahlung, Röntgenstrahlung, Laserlicht, UV-Licht, sichtbares Licht, etc.unpolarisiert, linear polarisiert oder elliptisch/zirkular polarisiert) generierten Photoelektronen.

**[0003]** Die Begriffe "Photon" und "Elektron", die in der Überschrift der Erfindung erscheinen, determinieren die Zugehörigkeit des Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskops gleichzeitig zu den zwei breiten Bereichen der Abbildungstechniken: Optische Mikroskopie und Elektronenmikroskopie.

**[0004]** Wegen des Charakters der Wechselwirkung der Photonen der elektromagnetischen Strahlung mit dem Untersuchungsobjekt, reduziert sich der erste Bereich im Rahmen der Erfindung auf den optischen Aspekt des Nahfeldes, das durch E.H. Syngé im Jahr 1928 definiert und durch E. Betzig et al. in der Mikroskopie angewendet wurde: "Breaking the diffraction barrier optical microscopy on a nanometric scale", Science 251 (1991) 1468.

**[0005]** Im elektronenoptischen Bereich hingegen, gehört der Gegenstand der Erfindung zu den Emissions- und Transmissions-Mikroskopietechniken mit Parallelabbildung (sog. "parallel imaging"), die spezifisch für das Kathodenlinsenobjektiv sind, eingeführt im Jahr 1932 durch E. Brueche und weiterentwickelt durch E. Bauer: "Cathode lens electron microscopy: past and future", J. Phys.: Condens. Matter 21 (2009) 314.

**[0006]** Das Prinzip der optischen Abbildung innerhalb des Nahfeld-Regimes wurde in der Scanning Near Field Optical Microscope-Technik (SNOM) angewendet, in der die Photonenquelle (Lichtfaser Spitze) sich dicht oberhalb der Untersuchungsobjektoberfläche, in einem Abstand geringer als die Wellenlänge des Beleuchtungslichtes bewegt, was in einer das Beugungslimit überschreitenden lateralen Auflösung resultiert.

**[0007]** Die erfindungskennzeichnende Umwandlung des Transmissionsphotonenbildes in ein korreliertes Elektronenemissionsbild in der Objektebene der Objektivkathodenlinse determiniert die Gemeinsamkeiten mit den zwei Elektronenmikroskopiearten:

- 1) Transmissionselektronenmikroskopie (TEM-Transmission Electron Microscope) und
- 2) Emissionselektronenmikroskopie (EEM-Emission Electron Microscope, PEEM-Photoemission Electron Microscope, LEEM-Low Energy Electron Microscope).

**[0008]** In der Transmissionselektronenmikroskopie TEM, die von Ernst Ruska im Jahr 1933 vorgeschlagen wurde, wird das Untersuchungsobjekt als elektronentransparente Folie mit einem hochenergetischen Elektronenstrahl durchleuchtet, was seine Lokalisierung im Vakuum impliziert: „Transmission Electron Microscopy“, D.B. Williams and C.B. Carter, 2009.

**[0009]** Da die Eindringtiefe der Elektronen in die Materie wesentlich kleiner ist als die Eindringtiefe der Röntgenstrahlung, wurde in einigen anderen instrumentellen Lösungen gerade diese Strahlung (oder auch Synchrotronstrahlung) in der transmissiven Abbildung der Untersuchungsobjekte eingesetzt: „Projection X-Ray Microscopy“ (Newberry, 1954), „Imaging X-Ray Microscopy“ (Rudolf et al., 1984), „Scanning X-Ray Microscopy“ (Horowitz and Howell, 1972) und „Contact Imaging“ (Goby, 1913).

**[0010]** Bekannt ist das zum ersten Mal in Tübingen (Physikalisches Institut von G. Möllenstedt) in der Mitte der fünfziger Jahre formulierte Konzept der Bildkonversion der Transmissionsphotonen auf Photoelektronen, das in Cambridge bei dem „Symposium on X-ray Microscopy and Microradiography“ 1956 durch G. Möllenstedt und L.Y. Huang veröffentlicht und im nächsten Jahr in dem Artikel „Röntgen-

Bildwandler-Mikroskopie" (Zeitschrift für Physik, 149 (1957) S. 225) genau beschrieben wurde.

**[0011]** Die oben genannte Abbildungstechnik wurde bis zur heutigen Form als „Photoelectron X-Ray Microscopy" im Jahr 1984 durch F. Polack und S. Lowenthal modifiziert: Journal de Physique, Colloque C2, suppl.no.2, Band 45 (1984) S. 2–73.

**[0012]** Im genannten Transmissionsmikroskop wurde eine homogene, glatte und strukturlose 100 nm bis 500 nm dicke Kaptonfolie als Objektträger im Vakuum eingesetzt, die auf der Gegenseite des Untersuchungsobjektes mit einer dünnen Schicht des photoemissiven Materials bedeckt ist.

**[0013]** In der weiteren Entwicklung („First Images with the Soft X-Ray Image Converting Microscope at LURE", X-Ray Microscopy II, Springer Series in Optical Sciences 56 (1988) S. 220) wurde die Kaptonfolie durch eine mit Caesiumjodid bedeckte Goldfolie ersetzt.

**[0014]** Bekannt ist von der amerikanischen Patentbeschreibung US Pat. No. 5,045,696 ein Photoemissionselektronenmikroskop, das im Jahr 1990 H. Hirose vorgeschlagen hat, in dem das Untersuchungsobjekt auf der Luftseite mit Röntgenstrahlen durchleuchtet wird, die Abbildung aber auf der Vakuumseite mit Photoelektronen realisiert wird, wobei eine Objektivkathodenlinse noch nicht eingesetzt wurde.

**[0015]** In dieser Lösung wurde anstelle der Kapton- oder Goldfolie ein 100 nm dünnes, homogenes, glattes und strukturloses Plättchen als Objektträger eingesetzt, das einseitig von der Vakuumseite mit Cäsiumjodid (als Photokathode) bedampft, mit einer magnetischen Spule und elektrostatischen Gitterelektrode ausgerüstet wurde (um das Photoelektronenbild zu generieren), und das gleichzeitig die Luftseite vom Vakuum trennte.

**[0016]** In einem weiteren Konzept: „X-ray image observing device", das durch Sh. Ohsuka et al. in US Pat. No. 4,912,737 beschrieben wurde, hat man anstelle einer Objektivkathodenlinse ein magnetisches Linsensystem verwendet.

**[0017]** Nach der Transmission durch das Untersuchungsobjekt und sein homogenes, glattes und strukturloses Trägerplättchen durchdringt der divergente Röntgen-Beleuchtungsstrahl das Vakuum, wo ein vergrößertes, optisches Bild auf der Photokathode entsteht, das weiter, proportional zu seiner Intensität, in ein Photoelektronenbild umgewandelt wird. Das Bild wird im magnetischen Linsensystem ohne Einsatz von elektrostatischem Feld vergrößert und als vergrößertes Elektronenbild auf den Fluoreszenzschirm projiziert.

**[0018]** Bekannt ist auch seit 2005 aus der amerikanischen Patentbeschreibung US 7,006,741 nach dem Konzept von Bi Yu ein optisches Transmissionsmikroskop, in dem ein Photoelektronenbild mit Hilfe des optischen Fasersystems erzeugt wird.

**[0019]** Anstelle von einem homogenen, glatten und strukturlosen Trägerplättchen wurde ein massives, aus mehreren Fasern bestehendes, optisches Element in Form eines Kegels, zusammen mit einem Untersuchungsobjekt auf seiner schmaleren Stirnfläche, eingesetzt. Auf der breiteren, mit einer photoemissiven Schicht bedeckten Gegenseite des Kegels, wird mit Hilfe des divergenten Fasersystems ein vergrößertes, optisches Bild projiziert.

**[0020]** Im Jahr 2006 haben S. Fujii et al. das Gerät „X-Ray Microscope Apparatus" vorgeschlagen, bekannt aus dem amerikanischen US Pat. Nr. 7,039,157, das eine dreifache Ergänzung des früher von H. Hirose beschriebenen Konzeptes ist: a) integrierte Laserquelle des Röntgen-Strahlung, b) elektrostatische Komponente des Magnetfeldes der Photokathode und c) gegenüber der Richtung des Röntgen-Strahles geneigter Bildwandler.

**[0021]** Ein zweiter Bereich der Technik, der sich auf den Gegenstand der Erfindung bezieht, ist durch die Elektronenmikroskopie gegeben, die auf den Objektivkathodenlinsen (Immersionsobjektiv) basiert: 1) E. Bauer: „Surface Microscopy with Low energy Electrons", Springer Verlag, 2014, und 2) O.H. Griffith und W. Engel, „Historical perspective and current trends in emission microscopy, mirror electron microscopy and low energy electron microscopy", Ultramicroscopy 36 (1991).

**[0022]** Diese Abbildungstechnik hat sich bis heute in mehreren Formen verbreitet: im Fall von Photoelektronen als PEEM(Photoemission Electron Microscopy)-E. Brüche, im Fall von langsamen Elektronen als LEEM(Low Energy Electron Microscopy)-E. Bauer und SPLEEM(Spin Polarized LEEM)-K. Grzelakowski et al., JEEE Transactions on Magnetics, 30 6 (1994), und als DEEM (Dual Emission Electron Microscopy): K. Grzelakowski, Ultramicroscopy 130 (2013) 29.

**[0023]** Bekannt ist in diesen Zusammenhang ein Photoemissionselektronenmikroskop, beschrieben im Jahr 1997 durch R.N. Watts et al.: „High Resolution Image Converter For Soft X-Ray Microscopy", Rev. Sci. Instrum. 68 (1997) 3464, das die frühere Idee des für die Röntgen-Strahlung transparenten Objektträgers in Form eines homogenen, glatten und strukturlosen Trägerplättchens aus Siliziumnitrid, das auf der Vakuumseite mit einer Kohlenstoff-Pufferschicht und Cäsiumjodid als Photokathode bedeckt ist, einsetzt.

**[0024]** Bekannt ist ein analoges Transmissionselektronenmikroskop und seine Anwendungen aus der Veröffentlichung von G. De Stasio et al. in Rev. Sci. Instrum. 69 (1998) 3106 und Rev. Sci. Instrum., 71 (2000) 11.

**[0025]** Bekannt ist auch eine biologische Anwendung der Transmissionsphotoelektronenmikroskopie in der Untersuchung über Kupfer im Protein KLH1, veröffentlicht von D. Panzer 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.

**[0026]** Einen weiteren Mikroskopiebereich, verwandt mit dem Gegenstand der Erfindung, bilden Instrumente zur Kontrolle der Objekte der lithographischen Techniken und zur Abbildung integrierter Schaltkreise.

**[0027]** In dem US-amerikanischen Patent US 6,002,740 aus dem Jahr 1999 beschreiben die Erfinder F. Cerrina und T. B. Lucatorto ein Untersuchungssystem für die Inspektion lithographischer Masken, in dem zwischen dem in die Produktionslinie integrierten Photoelektronenmikroskop PEEM und der Röntgen-Strahlungsquelle eine Maske und ein Photoelektronenkonverter angebracht wurden.

**[0028]** Der Konverter besteht, ähnlich wie in früheren Lösungen, aus einer Photokathode in Form einer kontinuierlichen Phosphor- oder Cäsiumjodid-Schicht, aufgedampft auf ein homogenes, glattes und strukturloses 100 nm dünnes Siliziumnitridplättchen.

**[0029]** Ein weiteres Instrument: „X-ray photoemission microscope for integrated devices“ zur Observation und Kontrolle integrierter Schaltkreise, wurde von D.L. Adler in der amerikanischen Patentanmeldung US 20140037052 beschrieben.

**[0030]** Der zu untersuchende, integrierte Schaltkreis befindet sich in diesem Fall außerhalb des Vakuums und ist mit einem röntgenstrahlungstransparenten Fenster von dem im Vakuum lokalisierten homogenen, glatten und strukturlosen Konverter separiert.

**[0031]** Eine weitere Variante des gleichen Konzeptes ähnelt der Konfiguration des Converters von H. Hirose aus dem Jahr 1990 (US 5,045,696), wobei sich das Untersuchungsobjekt auf der Luftseite befindet und vom Konverter separiert ist, was die gegenseitige Verschiebung ermöglicht.

**[0032]** Als eine Ergänzung hat D.L. Adler vorgeschlagen an Stelle der Siliziumnitridphotokathode von H. Hirose eine homogene und strukturlose Beryllium- oder Diamantphotokathode zu verwenden. In einer dritten Variante wird die Photokathode direkt auf den integrierten Schaltkreis aufgedämpft.

**[0033]** Das Wesen der Erfindung beruht auf der Vereinigung, in dem vorgeschlagenen Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop, einer optischen Abbildung im oder in der Nähe des Nahfeldregimes für die transmissive elektromagnetische Strahlung (mit einer Wellenlänge größer als die laterale Auflösung) mit einer Sekundärelektronenabbildung im Regime der Elektronenemissionsmikroskope (EEMs, sog. "Cathode lens based Emission Electron Microscopy"), die auf dem Prinzip der Objektivkathodenlinse (Immersionsobjektiv) basiert.

**[0034]** Die Koppelung zwischen den beiden Abbildungen wird durch einen Photon-Elektron-Konverter realisiert, in dem das photonische, transmissive Bild des mit elektromagnetischer Strahlung durchstrahlten Untersuchungsobjektes zu einem Photoelektronenbild durch den Einsatz von mehreren, einseitig geschlossenen Kanälen (Kapillaren) konvertiert wird, wobei die geschlossene Fläche des Converters (die aus den geschlossenen Enden der Kanäle besteht) im Kontakt mit dem Untersuchungsobjekt bleibt, hingegen die offene Fläche (d.h. die offenen Enden der Kanäle) auf der Vakuumseite des Mikroskops elektronenbildgebende Elektronen emittieren.

**[0035]** In der Erfindung emittiert das Konverterplättchen aus den offenen Enden der Kanäle/Kapillaren Sekundärelektronen ins Vakuum, die eine zu dem Photonenbild proportionale, zweidimensionale Intensität bilden.

**[0036]** In der Erfindung befindet sich in bevorzugter Weise das Konverterplättchen, und im Grunde genommen das Rastermuster der offenen Enden der Kanäle in der Frontalebene des Konverterplättchens, in der Objektebene des Kathodenlinsenobjektives (des Immersionsobjektives) und übernimmt dort die Rolle des Objektes, das proportional zu dem ursprünglichen Photonenbild mit den in den Kanälen (Kapillaren) generierten Sekundärelektronen abgebildet wird.

**[0037]** In der Erfindung weist die erste Elektrode des Kathodenlinsenobjektives seitens der Frontebene des Converters, der sog. Extractor, in Bezug auf das Potential der Frontebene der offenen Kanalmatrix ein positives elektrostatisches Potential auf.

**[0038]** Die Spezifik des Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskopes in Bezug auf die Aspekte der optischen Mikroskopie und des Nahfeldregimes manifestiert sich in mehreren Dimensionen:

a) in der Beleuchtung des Untersuchungsobjektes (unter einer, zu seiner elektrooptischen Achse beliebigen Neigung  $\alpha$ :  $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) mit Photonen der elektromagnetischen Strahlung, z.B. Synchrotronstrahlung, Röntgen-Strahlung, Laserlicht, UV-

oder sichtbares Licht, nichtpolarisiertes oder polarisiertes linear oder zirkular/elliptisch, etc., (bevorzugt mit homogenen, parallelen Strahl/Strahlen oder konvergenten (zwecks Scanning), divergenten (breite Beleuchtung) oder kollimierten Strahl/Strahlen),

b) in dem optischen (und/oder mechanischen) Kontakt des Untersuchungsobjektes (und seines Transmissionsphotonenbildes) mit der Struktur der zueinander parallelen (bevorzugt) Kanäle (Kapillaren) des Konverterplättchens/ Untersuchungsobjektträgers (orientiert entweder entlang der elektronenoptischen Achse oder unter einem beliebigen Winkel  $\beta$ :  $0 \leq \beta < 90^\circ$ ) über eine Separationsschicht (oder ein Separationsmehrschichtsystem), die einerseits (bevorzugt) für die Beleuchtungsphotonen transparent (oder teilweise transparent), andererseits aber für die Materie undurchsichtig ist, zwecks einer mechanischen und/oder vakuumstabilen Absperrung zwischen dem Untersuchungsobjekt und dem vakuumexponierten Inneren der Kanäle (Kapillaren), deren Dicke aber wegen des vorteilhaften Nahfeldregimes möglichst unter der Wellenlänge der Beleuchtung liegt, und

c) im Durchdringen der über die spezifische optische Absorption (und/oder optische Streuung an dem Untersuchungsobjekt) gewichteten, zweidimensionalen Photonenausbeute in das Innere der vakuumseitigen Kanäle durch deren geschlossene Enden (Boden) und/oder eine Separationsschicht (oder ein Separationsmehrschichtsystem), wo Photoelektronen und/oder Sekundärelektronen generiert werden.

**[0039]** In diesem Zusammenhang determiniert der Kanalachsenabstand "d" die laterale Auflösung "r" des Abbildungssystems, der Kanaldurchmesser "s" dagegen die Durchlässigkeit des Abbildungssystems in Bezug auf die Wellenlänge der Beleuchtungsphotonen, die durch das Untersuchungsobjekt hindurchdringen:  $s \approx d$  (hohe Durchlässigkeit) wobei  $d \leq r$ .

**[0040]** Laut der Erfindung führt die Transmission der Beleuchtungsstrahlung durch das Untersuchungsobjekt zu der Entstehung der zweidimensionalen Intensitätsverteilung der Photonen an der Kontaktschnittstelle des Untersuchungsobjektes mit den geschlossenen, aber für die Photonen transparenten Enden der Kanäle (und/oder einer Separationsschicht oder einem Separationsmehrschichtsystem), die gleichzeitig das Untersuchungsobjekt von dem Inneren der Kanäle separieren.

**[0041]** Dementsprechend penetrieren die Photonen der durchleuchtenden, elektromagnetischen Strahlung das Untersuchungsobjekt, dann diese transparenten (oder teilweise transparenten) geschlossenen Enden der Kanäle (und/oder die Separationsschicht),

und anschließend dringen sie zu deren photoemissiven Oberfläche auf der Vakuumseite durch.

**[0042]** Dort findet gemäß der Erfindung eine Konversion des Photonenbildes (das durch die kontrastreiche Absorption und/oder Streuung der Photonen im Untersuchungsobjekt geprägt ist) in die mit ihm korrelierte, zweidimensionale Intensitätsverteilung der Photoelektronen in Folge des photoelektrischen Effektes statt, sofern die Photonenenergie die Austrittsarbeit der photoemissiven Oberflächen überschreitet ( $h\nu > \varphi$ ).

**[0043]** Wenn die Wellenlänge der das Untersuchungsobjekt durchleuchtenden elektromagnetischen Strahlung die Größe der abzubildenden Objekt Elemente überschreitet, wird die Photon-Elektron Konversion, bevorzugt im Regime des Nahfeldes (Fresnel'sches Beugungslimit) oder in seiner Nähe (zwischen Fresnel und Fraunhofer Approximation), durchgeführt.

**[0044]** In diesem Kontext ist die Dicke der geschlossenen Enden (Boden) der Kanäle (und/oder der Separationsschicht/des Separationsmehrschichtsystems) und die Entfernung zwischen deren Achsen, bezogen auf die Wellenlänge der Beleuchtungsstrahlung, entscheidend.

**[0045]** Nach der Konversion der Photonen auf das Elektronenbild unterliegen alle optischen Phänomene den Regeln der Elektronenoptik in der Näherung des Fernfeldes, was die Erhaltung der ursprünglichen, lateralen optischen Auflösung sichert.

**[0046]** Die Spezifik der Erfindung liegt darin, dass für die weitere Bilderzeugung in der ursprünglich optischen Abbildung nicht Photonen, sondern Sekundärelektronen genutzt werden, die im Inneren der (auf der Untersuchungsobjektseite) einseitig geschlossenen Kanäle des Konverters im Vakuum generiert werden und anschließend, nach der Emission aus der in Objektebene des Kathodenlinsenobjektives liegenden Matrix der offenen Kanalenden, als Objektkathode ein Elektronenbild des Untersuchungsobjektes in der integrierten Konverter-Kathodenlinse Geometrie abgeben.

**[0047]** Eine derartige elektronenoptische Geometrie, in der ein Photon-Elektron Konverter mit der Kathodenlinse integriert wird, führt gemäß der Erfindung zum Eindringen des Extraktorpotentials ins Innere der Kanäle und zur Beschleunigung der proportional zur Photonenausbeute und in Folge des sukzessiven Zusammenstoßens mit der Oberfläche der Kanäle (bevorzugterweise mit Sekundäremissionskoeffizient  $> 1$ ) im Extraktorfeld emittierten Sekundärelektronen.

**[0048]** In der ersten Phase beschleunigt das Feld die Photoelektronen, die durch den photoelektrischen Effekt im photoemissiven Boden der Kanäle (und/oder Schicht (Schichten) der geschlossenen Enden, und/oder Wänden der Kanäle) im Inneren der Kanäle erzeugt werden.

**[0049]** Auf Grund des, bevorzugt kleinen, Kanal-durchmessers z. B. von  $\sim 1$  nm (im Fall von Kohlenstoffnanoröhrchen),  $\sim 10$ – $\sim 100$  nm (Keramiken) bis zu ein paar hundert Nanometer (in anderen Materialien) Stoßen die Photoelektronen mit den emissiven Kanalwänden zusammen und rufen eine vervielfachte Emission der Sekundärelektronen hervor, besonders wenn die Kanaloberflächen einen Sekundäremissionskoeffizient  $> 1$  aufweisen.

**[0050]** Bevorzugt beschleunigt das Feld im Inneren der Kanäle erneut die Elektronenwolke bis zu einem nächsten Zusammenstoß mit der emissiven Wand, wo diese (die Elektronenwolke) eine weitere Vervielfachung erfährt.

**[0051]** Dieser lawinenartige Prozess verläuft, bis die Sekundärelektronen die Kanäle (durch deren Öffnungen) verlassen, was gemäß der Erfindung für eine "Rasterung" des nahfeld-optischen Bildes in Form der Elektronenausbeutematrix genutzt wird, die jetzt als ein in die Objektebene eingebrachtes Elektronenobjekt des Kathodenlinsen-Objektives für die weitere Abbildung und Vergrößerung zur Verfügung steht.

**[0052]** Ergo wird eine dem Photonenbild (das nach der Nahfeldtransmission der elektronenmagnetischen Strahlung durch das Untersuchungsobjekt entstanden ist) proportionale, rasterartige Intensitätsverteilung der Sekundärelektronen (gemäß der Erfindung als das Zwischenobjekt für die elektronenoptische Abbildung des Kathodenlinsenobjektives) entweder direkt auf dem Elektronendetektor oder am Eingang des elektronenoptischen Systems, abgebildet.

**[0053]** Die Spezifik der Erfindung beruht auf der Verstärkung des eindringenden, beschleunigenden elektrostatischen Feldes ins Innere der Konverterkanäle durch das Anlegen einer mit diesem Feld übereinstimmenden Spannung, einerseits gegenüber deren geschlossenen Enden (niedrigeres Potential) und andererseits zu der Frontebene der Matrix der Kanalöffnungen (höheres Potenzial), entweder direkt oder über Kontaktelektroden.

**[0054]** Gemäß der Erfindung führt der Widerstand der Kanaloberflächen (die entweder bevorzugt selber einen Sekundäremissionskoeffizient  $> 1$  aufweisen und/oder mit derartiger Materie beschichtet sind) durch das Anlegen der Spannung (und den Stromdurchfluss) im Inneren der Kanäle zur Entstehung einer Potenzialverteilung und im Ergebnis zu einem (in

Richtung des Kathodenlinsenobjektives) Elektronen beschleunigenden Feldes:  $\sim U/l$  (U-Spannung, l-Kanallänge), was wiederum zu der erwünschten Erhöhung der Sekundärelektronenausbeute am Ausgang der Kanäle führt.

**[0055]** Ein Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop besteht gemäß der Erfindung bevorzugt mindestens aus einer elektronenoptischen, objektvergrößernde Linse, aus einem Beleuchtungs-/ Durchleuchtungssystem des Untersuchungsobjektes, aus einem Bildwandler (z.B. 2D Bildverstärker mit einem Fluoreszenzschirm oder 2D Elektronendetektor, z.B. delay line detector, etc.), aus einem Objekthalter/Objektmanipulator, z. B. auch mit Heizung/Kühlungssystem ausgerüstet (entweder nur XY, oder XYZ, oder zusätzlich Objektkippen  $\theta$ ), optional mit einem Manipulationssystem für in (ex) situ Manipulationen am Untersuchungsobjekt selber auf der mikro- und/oder submikro-Skala, und aus einem Gehäuse/Vakuummkammer, das sowohl das Abpumpen der Konverterkanäle und der Elektronenoptik, als auch z. B. die Dosierung der Gase oder das Bedampfen (Beschichten) zwecks der Aktivierung der Oberfläche, ermöglicht.

**[0056]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform beruht die Eigenheit der Erfindung auf dem Verkapseln des Untersuchungsobjektes in einer zusätzlichen, von dem Elektronenoptik-Vakuum unabhängigen hermetischen Kammer, die mit einem Abpumpsystem und/oder einem Dosierungssystem der Arbeitsgase unter beliebigem Druck (und/oder einem Beschichtungssystem) ausgerüstet ist.

**[0057]** Gemäß der Erfindung wird dabei um das Untersuchungsobjekt (bei beliebiger Temperatur) entweder Vakuum oder Gasatmosphäre oder Flüssigkeit mit gewünschter Zusammensetzung und Druck erzeugt.

**[0058]** Weiter wird gemäß der Erfindung das Untersuchungsobjekt mit der elektromagnetischen Strahlung durchleuchtet und/oder beleuchtet, z.B. mit Röntgen-Strahlung, Licht im allgemeinen, UV-Licht, Laserlicht, etc. entsprechend gestaltet in Bezug auf: a) Neigungswinkel und/oder b) Energiespektrum (z.B. ein breites Emissionsspektrum oder eine Kombination der einzelnen, monochromatischen Linien-Wellenlängen) und/oder c) Winkelverteilung: ein konvergenter, divergenter oder kollimierter Strahl, und/oder d) Polarisationsart, etc.

**[0059]** Die Eigenheit der Erfindung beruht in diesem Kontext auf dem Durchleuchten und/oder Beleuchten des Untersuchungsobjektes mit einem (oder mehreren) linear oder zirkular oder elliptisch oder radial oder azimuthal oder "vortex"-artig oder nicht polarisierten Strahl (Strahlen) der elektromagnetischen Strahlung zwecks Erzeugung eines magneti-

schen, elektrischen, chemischen, physischen, physikochemischen, Fluoreszenz-, radioaktiven, Dichten-, Phasen-, Materiezustand-, Anregungszustand-, etc., Kontrastes.

**[0060]** Gemäß der Erfindung ist (sind) der Strahl (die Strahlen) der das Untersuchungsobjekt durchleuchtenden/beleuchtenden elektromagnetischen Strahlung (z.B. Synchrotronstrahlung, Röntgenstrahlung, Laserlicht, Licht, UV-Licht, etc.), zu den Konverterkanälen unter beliebigem Winkel  $\alpha: 0 \leq \alpha \leq 90^\circ$  geneigt, wobei bevorzugt der Drehpunkt der Strahlungsrichtung mit dem Zentrum des Untersuchungsobjektes (Bildes) übereinstimmt.

**[0061]** Gemäß der Erfindung kann an dem in der realen Zeit ("real time imaging") und/oder post factum beobachteten Untersuchungsobjekt eine beliebige Modifikation vorgenommen werden: mechanische (Abbildung der mechanischen Spannung), chemische (Visualisierung der Reaktion) z.B. Gase und/oder Flüssigkeiten, physikalische, physikochemische, elektrische, magnetische, elektrolytische, durch Temperatur (Heizung/Kühlung), Strom, Schichtwachstum (Epitaxie, Aufdampfen), Diffusion, Katalyse, Segregation, Adsorption, Desorption, Korrosion, Phasenübergänge, Plasmaentladung, Anregungsprozesse, Lithographie, etc.

**[0062]** Obwohl einige der Beobachtungen der Untersuchungsobjekte und Prozesse in der Luftatmosphäre durchgeführt werden können, bedürfen mehrere von den früher aufgezählten Phänomenen eines Vakuums und/oder einer dedizierten Gasatmosphäre, was eine hermetische Verkapslung des Untersuchungsobjektes in einer Vakuumkammer erfordert, mit der Möglichkeit, diese abzupumpen und optional, mit den gewählten Gasen oder Gasmischungen unter beliebigem Druck zu befüllen.

**[0063]** Die Eigenheit der Erfindung ist auch dadurch bestimmt, dass das Untersuchungsobjekt während der Observation (oder einleitend) der Wirkung äußerer Felder ausgesetzt ist: z.B. magnetischen Feldern und/oder elektrischen Feldern.

**[0064]** Fig. 1 illustriert den Gegenstand der Erfindung, ein Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop und die Umwandlungsmethode des Transmissionsphotonenbildes in ein Sekundärelektronenbild mittels eines, in ein Kathodenlinsenobjektiv integrierten, Photon-Elektron-Konverters (zur Elektronenumwandlung, Verstärkung und Nahfeld-Rasterung des Transmissionsphotonenbildes), wie auch die schematische (nicht maßstabsgetreue) Darstellung der Querschnitte der wichtigsten Bestandteile des Mikroskops:

- 1) das (Raster-)Konverter-Modul der Photon-Photoelektron-Sekundärelektron Umwandlung in einigen Ausführungsformen mit dem für die elektromagnetische Strahlung transparenten Untersuchungsobjekt,
- 2) das elektrostatische oder magnetische Kathodenlinsenobjektiv mit der Kontrastapertur und Stigmator,
- 3) abbildendes elektronenoptisches System,
- 4) Detektor des Elektronenbildes und schematisch dargestellte Sekundärelektronenrajektorien.

**[0065]** Fig. 2 stellt den Gegenstand der Erfindung in einem ausgewählten Ausführungsbeispiel dar. Dies ist eine Darstellung des Instrumentenquerschnittes, in dem das Untersuchungsobjekt in einem beliebigen Aggregatzustand außerhalb des Vakuums in einen Konverter/Objektträger integriert wird, das Kathodenlinsenobjektiv entweder elektrostatisch: Fig. 2a, oder magnetisch: Fig. 2b fokussiert, und die nicht polarisierte oder linear oder elliptisch (zirkular) polarisierte elektromagnetische Strahlung das Untersuchungsobjekt beleuchtet/durchleuchtet und in die Kanäle des Photon-Elektron-(Raster-)Konverters unter einem beliebigen Winkel eindringt und dort einen photoelektrischen Effekt hervorruft.

**[0066]** Fig. 3 stellt den Gegenstand der Erfindung in einem Ausführungsbeispiel dar. Dies ist eine Darstellung des Instrumentenquerschnittes, in dem das Untersuchungsobjekt in einem beliebigen Aggregatzustand mit dem Konverter/Objektträger in einer hermetischen Kammer (die das Abpumpen und/oder optional Befüllen mit beliebigen Gasen oder Gasmischungen und/oder mit beliebigen Flüssigkeiten unter beliebigem Druck erlaubt) integriert wird, das Kathodenlinsenobjektiv entweder elektrostatisch: Fig. 3a oder magnetisch: Fig. 3b fokussiert, und die nicht polarisierte oder linear oder elliptisch (zirkular) polarisierte elektromagnetische Strahlung das Untersuchungsobjekt beleuchtet/durchleuchtet und in die Kanäle des Photon-Elektron-(raster)Konverters unter einem beliebigen Winkel eindringt.

**[0067]** Fig. 1 zeigt im dargestellten Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes sowohl das Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop, wie auch die angewandte Methode zur Umwandlung des Transmissionsphotonenbildes in ein Sekundärelektronenbild unter verschiedenen Aspekten des vielstufigen Bilderzeugungsprozesses:

- 1) des Transmissionsphotonenbildes (bezeichnet als ABCD) am Ausgang von den Objektelementen abcd des Untersuchungsobjektes **2**, dann
- 2) des Transmissionsphotoelektronenbildes A'B'C'D' (an der vakuumseitlichen Oberfläche der geschlossenen Enden (Boden) **5a** der Kanäle **5** des Konverters **4** erzeugt), und schließlich,

3) des Sekundärelektronenbildes A"B"C"D", im Inneren der Konverterkanäle **5** generiert durch Sekundärelektronen **13**, die letztlich die Matrix der offenen Konverterkanalenden **5b** in der Objektebene **18** des Kathodenlinsenobjektives **8, 9** verlassen.

**[0068]** Diese 2D Elektronenverteilung (A"B"C"D") ist in Folge des Absorptions- und Streuungs-Mechanismus der Photonen **1'** in dem Untersuchungsobjekt **2** (abcd) und der proportionalen Photon-Elektron Umwandlung (ABCD → A'B'C'D' → A"B"C"D") mit dem ursprünglichen Untersuchungsobjekt **2** (abcd) korreliert, und kann jetzt als Zwischenobjekt für das Kathodenlinsenobjektiv **8, 9, 9', 9''** eingesetzt werden.

**[0069]** Zwecks einer übersichtlichen Darstellung aller wesentlichen Elemente des Erfindungsgegenstandes in **Fig. 1** wurde auf die gemeinsame maßstabgetreue Skala verzichtet.

**[0070]** Der Erfindungsgegenstand, das Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop, funktioniert in allen Ausführungsbeispielen in seinem Photon-optischen Abschnitt bevorzugt im Regime des Nahfeldes (Fresnel'sches Beugungslimit: Nahzone) oder in seiner Nähe (zwischen Fresnel und Fraunhofer Limit: Übergangszone), wenn die Wellenlänge der objekt-durchleuchtenden, elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''** die Größe der abzubildenden Objektelemente abcd überschreitet. Dieser Zusammenhang führt zu Konverterstärken (und dadurch zur optischen Abbildung) im sub-mikrometrischen, oder sogar nanometrischen Bereich, wobei die im Vakuum mit Elektronen fortgesetzte Abbildung in dem elektronenoptischen Abschnitt (d.h. **8, 9, 9', 9'', 10, 14, 15, 21**) des Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskops auf einer makroskopischen Skala stattfindet.

**[0071]** Das Regime des Nahfeldes wird weniger rigoros im Fall der elektromagnetischen Strahlung mit einer Wellenlänge, die wesentlich kleiner als die laterale Auflösung ist, wie z.B. in der klassischen optischen Mikroskopie.

**[0072]** Nach der Abbildung des Untersuchungsobjektes **2** mit Photonen der elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1'** und nach der Photon-Elektron-Umwandlung im Regime des Nahfeldes, wird die anschließende Abbildung im Vakuum **20a** im Regime des Fernfeldes mit Sekundärelektronen **13**, die im Inneren der Konverterkanäle **5** mit der de Broglie Wellenlänge um einige Größenordnungen kleiner als die Photonenwellenlänge der Strahlung **1, 1a, 1'** entstehen, fortgesetzt.

**[0073]** Deshalb gefährdet das neue Elektronenbeugungslimit (jetzt bezogen auf die extrem kur-

ze Elektronenwellenlänge), sogar in der Situation der dichtgepackten Kanalmatrix A'B'D'C' des Konverterplättchens **4** (z.B.  $\sim 10^4/\mu\text{m}^2$ , Kanalachsenabstand  $\approx 10\text{nm}$ ), die ursprüngliche, optische, laterale Nahfeld-Auflösung und den Kontrast nicht: im in **Fig. 1** illustrierten Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes beträgt die typische Elektronenauflösung des Kathodenlinsenobjektives **8, 9, 9', 9''** und der Elektronenoptik **21** nur einige Nanometer. Obwohl in der **Fig. 1** alle zur Fertigung und zum richtigen Funktionieren notwendigen Bestandteile des Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskops angezeigt sind, ist das Mikroskop insgesamt nicht maßstabgetreu dargestellt.

**[0074]** In diesem allgemeinen Realisierungsbeispiel von **Fig. 1** wurden mehrere Optionen und Varianten gleichzeitig berücksichtigt:

- 1) verschiedene Arten der objekt-durchleuchtenden, elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''**, sowie beliebige Neigungswinkel (angedeutet im Beispiel der Strahlung **1''**),
- 2) Beleuchtung und/oder Durchleuchtung des Untersuchungsobjektes **2** aus mehreren Strahlungsquellen S (z.B. Strahlung **1** und/oder **1a**, sukzessiv oder gleichzeitig), zwecks einer selektiven Anregung der chemischen Komponenten und/oder einer Erhöhung des Kontrastes,
- 3) optionale Verwendung des mechanisch-optischen Systems O zwecks einer Gestaltung der Strahlen der elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''** im Sinne der Form und Orientierung, der Phase, des Spektrums oder der Polarisierung,
- 4) beispielsweise zwei gewählte Typen des Kathodenlinsenobjektives **8, 9** (elektrostatische oder magnetische),
- 5) verschiedene Geometrie der Kanäle **5** des Konverters **4**,
- 6) optional, Manipulator **6** für die Verschiebung und Justage des Untersuchungsobjektes **2** (bezogen auf die elektronenoptische Achse),
- 7) optional, hermetische Vakuum- und/oder Gas-Kammer **26**, in der das Untersuchungsobjekt **2** eingeschlossen wird,
- 8) optional, das mikro-Manipulationssystem **2'** für die Durchführung der hochpräzisen, submikrometrischen Modifikationen des Untersuchungsobjektes **2** vor oder während der Observation.

**[0075]** Der Einfachheit halber werden hier nur charakteristische Konfigurationen in den ausgewählten Ausführungsbeispielen des Erfindungsgegenstandes diskutiert.

**[0076]** Als erste, nach Zeichnung **Fig. 1**, wird eine Konfiguration der Kathodenlinse **8, 9** mit dem integrierten Kanalkonverter **4** berücksichtigt.

**[0077]** Die Verteilung der Kanäle **5** kann zwar beliebig sein, allerdings werden die Strukturen (im Sinne



der Symmetriegruppe), die zu einer geordneten und regulären Matrix der Kanalöffnungen **5b** führen und eine gleiche oder identische Kanaldichte (d.h. Auflösung) in beiden, vertikalen Richtungen garantieren, z.B.: quadratische, zentriert-rechteckige, hexagonale, etc. (die letzte sichert die höchste Photonentransmissivität), bevorzugt.

**[0078]** Die Wahl der Periode der Struktur in der Matrix der Kanalöffnungen **5b** hängt zusammen mit den Beugungsbegrenzungen (in der Nahfeldnäherung) der objekt-durchleuchtenden Strahlung **1, 1a, 1''**, die wiederum durch die Dicke der geschlossenen Kanälenden (Böden) **5a** und/oder der Schicht (Schichten) **3**: von einigen bis einigen hundert Nanometer, wie auch durch die aktuelle Wellenlänge der Strahlung **1, 1a, 1''**: von Bruchteilen des Nanometers (Synchrotronstrahlung), über Nanometer (Röntgenstrahlung) bis zu einigen hundert Nanometer (UV, sichtbares Licht), determiniert sind.

**[0079]** Aus diesem Grund liegt die Größe der Periode der Kanalstruktur im analogen Bereich: zwischen einigen und einigen hundert Nanometern.

**[0080]** Je dichter sich der Durchmesser  $s$  der Kanäle **5** an die Periode der Struktur der Kanalöffnungen **5b** annähert (vorteilhaft  $s \approx d$ ), desto höher wird die Transmissivität des Konverters **4**.

**[0081]** Auch vorteilhaft in Bezug auf eine optimale Photonenabsorption ist der Einsatz der in einem Winkel  $\beta$  (**Fig. 1**) geneigten oder gekrümmten (in der Form eines Bogens) Kanäle **5**.

**[0082]** Die Form des Querschnittes der Kanäle **5** (z.B. Kreis, Dreieck, Quadrat, Hexagon, im allgemeinen Fall das Polygon) hat, ähnlich wie die Struktur, keinen entscheidenden Einfluss auf die Funktion des Konverters **4**, sondern lediglich auf seine Transmissivität.

**[0083]** Die Länge der Kanäle  $l$ , oder genauer der Parameter  $l/s$ , entscheidet über den Verstärkungsgrad des Photon-Elektron Konverters **4** und liegt bevorzugt im Bereich:  $1 \leq l/s \leq 10^4$ .

**[0084]** Die Konverterkanäle in einem der Ausführungsbeispiele sind zu der elektronenoptischen Achse unter einem Winkel  $\beta$  ausgerichtet, der in dem Bereich  $0^\circ \leq \beta < 90^\circ$  liegt (in **Fig. 1** ist der oFall für  $\beta = 0$  dargestellt).

**[0085]** Wie in **Fig. 1** angedeutet, besteht das mit der beschriebenen Methode untersuchte Objekt **2** symbolisch aus den Bereichen a, b, c und d, die sich chemisch und/oder materiemäßig und/oder strukturell und/oder im Aggregatzustand und/oder in der Dichte, etc. unterscheiden.

**[0086]** Abhängig von den physikochemischen Mechanismen, resultierend in den unterschiedlichen Absorptions- und/oder Streu-Querschnitten der objekt-durchleuchtenden, elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''**, entsteht in dem Photonenbild ABCD des Untersuchungsobjektes **2** (abcd) ein Kontrast, der diese Mechanismen widerspiegelt.

**[0087]** Eine Optimierung der Durchleuchtung (Beleuchtung) des Untersuchungsobjektes **2** mit der elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''** ermöglicht ein zwischen der Strahlungsquelle S und dem Untersuchungsobjekt **2** angebrachtes optisches System O, das sowohl im geometrischen Kontext:

- 1) der Neigung des Strahlungsstrahles **1, 1a, 1''** und/oder
- 2) der Winkelverteilung (z.B. der konvergierte oder divergente oder kollimierte Strahl), wie auch im physikalischen Kontext:
- 3) des Spektrums (z.B. ein breites Spektrum oder ein monochromatisches Spektrum oder eine Kombination der einzelnen, gefilterten Wellenlängen) und/oder
- 4) der Polarisation (z.B. eine nicht polarisierte, polarisierte elliptisch/zirkular oder polarisierte linear elektromagnetische Strahlung), den Strahl modelliert.

**[0088]** Die Durchstrahlung (Beleuchtung) des Untersuchungsobjektes **2** mit der Strahlung **1** kann auch mit zusätzlichen Strahlungen **1a, 1''** mit verschiedenen Wellenlängen, Polarisationen, Neigungen, etc., ergänzt werden, die selektiv einzelne chemische Bestandteile und/oder physikochemische Prozesse anregen und dadurch den Materialkontrast im Photonenbild ABCD erhöhen.

**[0089]** Die Photonen **1'** des Photonenbildes ABCD des Untersuchungsobjektes **2** (das durch die elektromagnetische Strahlung **1, 1a, 1''** durchleuchtet ist) durchdringen die geschlossenen Enden (Böden) **5a** der Kanäle **5** und/oder die Schicht **3** oder die Schichten: **3a, 3b, 3c**, etc., (wie in den folgenden Ausführungsbeispielen) als Photonenbild A'B'C'D' bis zur vakuumseitlichen Oberfläche der Böden **5a** der Kanäle **5**.

**[0090]** Wichtig dabei ist erstens, dass die Photonentransmission durch die Kanalböden **5a** und/oder durch die Schicht **3** und/oder durch die Schichten **3a, 3b, 3c**, die in der 2D Photonenverteilung (ABCD) enthaltene Information nicht deformiert und verfälscht wird, etwa durch eine nicht homogene Transmissivität, und zweitens, dass das Verhältnis zwischen dem Photonenbild ABCD und Photonentransmissionsbild A'B'C'D' optimalerweise einen skalaren, linearen Charakter aufweist.

**[0091]** Der Charakter der geschlossenen Enden (Böden) **5a** der Kanäle **5**, der Schicht **3**, der Schicht-

ten **3a**, **3b**, **3c**, (z.B. deren Struktur und Zusammensetzung) resultiert in der Determinierung einiger Ausführungsbeispielen.

**[0092]** Im einfachsten Fall der Ausführungsbeispiele bilden die Separations- und photoelektronenemittierende Schicht **3** die geschlossenen Enden (Böden) **5a** der Kanäle **5** des Photon-Elektron Konverters **4**.

**[0093]** Bevorzugt sollte die Separationsschicht **3** (in dem Fall geschlossene Enden/Böden **5a**) einerseits so dünn wie möglich (wegen der Voraussetzung der hohen Transmissivität der Photonen **1'** durch die photoelektronemissive Oberfläche **5a** im Vakuum und des vorteilhaften Regimes des Nahfeldes), andererseits mechanisch stabil/vakuumdicht sein und zusätzlich eine hohe Photoelektronenemission sichern.

**[0094]** Abhängig vom eingesetzten Material liegt die Dicke der Schicht **3** (der geschlossenen Enden **5a** der Kanäle **4**) im Bereich von einigen bis zu einigen hundert Nanometer.

**[0095]** Dieser Wert, zusammen mit der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung, bestimmt die laterale Auflösung, die durch das Fresnel'sche Beugungslimit begrenzt ist:  $r \approx \sqrt{\lambda \cdot g}$ , wo  $\lambda$  die Wellenlänge und  $g$  die Dicke der Schicht **3** (der geschlossenen Enden **5a** der Kanäle **4**) bezeichnet.

**[0096]** Im Fall der Durchleuchtung/Beleuchtung **1**, **1a**, **1''** des Untersuchungsobjektes **2** mit UV-Licht mit einer Wellenlänge von 200 nm (~6.2 eV) und einer Separationsschichtdicke **3** von 20 nm, beträgt die erwartete laterale Auflösung des Photonentransmissionsbildes A'B'C'D' gemäß der Nahfeld-Approximation ~60nm, wobei das Oberflächenmaterial **5a** eine kleinere Austrittsarbeit als 6.2 eV aufweisen muss, um den photoelektrischen Effekt zu ermöglichen.

**[0097]** Man sollte betonen, dass in diesem Realisierungsbeispiel auch die Anwendung von anderen beliebigen elektromagnetischen Strahlungen mit der Photonenenergie  $hy > \phi$  (wo  $\phi$  die Austrittsarbeit des Materials **16** des Kanals **5** und/oder seinen Schicht **17** und/oder Oberfläche **3/3a** bezeichnet) möglich ist. Z. B. resultiert eine weiche Röntgen-Strahlung mit  $\lambda = 10\text{nm}$  in der wesentlichen Verbesserung der Auflösung des Photonentransmissionsbildes A'B'C'D' von 60nm (für UV Licht) auf 14 nm, wobei allerdings längere in vivo Observationen des biologischen Materials in dem Fall nicht möglich sind.

**[0098]** Da die laterale Auflösung des Kathodenlinienobjektives ~5nm beträgt, erreicht die gesamte Auflösung des Mikroskops in diesem Realisierungsbeispiel etwa 15nm.

**[0099]** Die Voraussetzung für diese Auflösung ist aber eine ähnliche Separation zwischen den Kanälen **5**.

**[0100]** Wie erwähnt, ruft die die geschlossenen Enden (Böden) **5a** der Kanäle **5**, und/oder die Schicht **3** (oder Schichten **3a**, **3b**, **3c**) durchleuchtende elektromagnetische Strahlung **1'**, einen photoelektrischen Effekt hervor, wenn die geschlossenen Enden (Böden) **5a** der Kanäle **5** und/oder die Schicht **3** (oder Schichten **3a**, **3b**, **3c**), eine ausreichend kleine Austrittsarbeit aufweisen:  $\phi < hy$ .

**[0101]** Wenn das aber nicht der Fall ist, sollte die Oberfläche der Kanäle **5** mit einer emissiven Schicht **17** bedampft, beschichtet (oder aus dem Volumen segregiert) werden, mit der ein elektrostatisches Potential (z.B. Erdpotential) eingebracht wird (oder auch mit der Kontaktelektrode **18**).

**[0102]** Das Vakuumsystem **20** mit einem Vakuumanschluss **24** zum Abpumpen (Vakuumerzeugung) ist vorteilhafterweise mit einem oder mehreren Verdampfern (Molekularquellen) **22**, **23** und/oder vorteilhaft mit dem Gaseinlass **25** ausgerüstet, um die in situ Photoaktivierung der Oberfläche zu ermöglichen.

**[0103]** In einem weiteren Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes wird die photoemissive Aktivierung der Oberfläche **5a**, **17** der Kanäle **5** des Konverters **4** vor der Montage in die Vakuumkammer **20** durchgeführt.

**[0104]** Es besteht eine umfangreiche Liste mit Photokathoden und photoemissiven Substanzen: metallischen (z.B. Alkalimetalle), Halbleiter, Antimonide und Halogenide der Alkalimetalle, keramischen, dotierten Substanzen, etc., die abhängig von der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung **1**, **1a**, **1''** in dieser Realisierung zum Einsatz kommen können.

**[0105]** Eine weitere Methode der Erzeugung der photoemissiven Schicht **17** bezieht sich auf die vorteilhafte Trennung der Substanz mit dem Sekundäremissionkoeffizient  $> 1$  aus dem Volumen des Materials **16** des Konverters **4** auf die Oberfläche der Kanäle **5**.

**[0106]** In der Erfindung sind die Kanäle **5** einseitig mit der photoemissiven Schicht **3a** geschlossen, die auf der Vakuumseite **20a** Photoelektronen emittiert, die Wände dagegen sind aus dem Material **16** mit dem Sekundäremissionkoeffizient  $> 1$  gefertigt, und/oder mit der Schicht **17** (mit dem Sekundäremissionkoeffizient  $> 1$ ) bedeckt, die eine hohe Ausbeute der Sekundärelektronen liefert.

**[0107]** Im Fall einer das Untersuchungsobjekt **2** durchleuchtenden, niederenergetischen Strahlung **1**, **1a**, **1''**, z.B. des für die in vivo untersuchten biolo-

gischen Objekte harmlosen ultravioletten Lichtes mit der Wellenlänge  $\lambda = 350\text{nm}$  ( $h\nu = 3,5\text{eV}$ ), muss die "photoemissive" Oberfläche der geschlossenen Enden **5a** der Kanäle **5** auf der Vakuumseite eine kleinere Austrittsarbeit als die Energie des UV-Lichtes aufweisen, d.h.:  $\phi < 3.5\text{eV}$ .

**[0108]** Die Voraussetzungen für die Erzeugung der Photoemission hinsichtlich der Austrittsarbeit erfüllen hier z.B. Alkalimetalle: beispielsweise Cäsium mit der niedrigen Austrittsarbeit von  $2.1\text{ eV}$ .

**[0109]** Das Wesen der Erfindung ist bestimmt durch die Einheit von Photon-Elektron-Konverter **4** und Kathodenlinsenobjektiv **8, 9, 9', 9''** und dadurch, dass die Matrix der offenen Enden **5b** der Kanäle **5** in dem elektrostatischen Absaugfeld **7** des Extraktors **8** des Kathodenlinsenobjektives **8, 9, 9', 9''** an der Stelle des Abbildungsobjektes des Objektivs exponiert ist (ein höheres Extraktorfeld resultiert in einer höheren lateralen Auflösung und in dem tieferen Eindringen der Potenziellinien **7** in das Innere der Kanäle **5**).

**[0110]** Fig. 1 illustriert den Mechanismus des Eindringens der Äquipotenziallinien des Absaugfeldes **7** in das Innere der Kanäle **5** und der Erzeugung des Potenzialgradienten, der notwendig ist, um die Sekundärelektronen **13**, die in den Kanälen **5** entstehen, sukzessive zu deren Öffnung **5b** hin zu beschleunigen.

**[0111]** In der ersten Phase beschleunigt das elektrostatische Feld **7** und richtet die Photoelektronen zum Extraktor **8** aus, die nach der Absorption der Photonen **1'** in dem photoemissiven Material **16** des Konverters **4** in den geschlossenen Enden (Böden) **5a** der Kanäle **5** und/oder in der photoemissiven Schicht **17** und/oder in der photoemissiven Schicht **3a** der geschlossenen Kanalenden in Folge des photoelektrischen Effektes entstehen.

**[0112]** Die Zusammenstöße der Photoelektronen mit den Kanalwänden und die anschließende, vervielfachte, lawinenartige Emission der Sekundärelektronen werden durch die submikrometrischen Durchmesser der Kanäle **5** (vorteilhaft von  $\sim 1\text{nm}$  bis  $\sim 10^3\text{ nm}$ ) gefördert.

**[0113]** In dem Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung ist der Rumpf des Konverters **4** aus einem Material **16** mit dem Sekundäremissionskoeffizient  $> 1$  gefertigt und/oder die Wände der Kanäle **5** sind mit einem aufgedampften (oder Plasmaentladung erzeugten) oder aus dem Volumen des Rumpfes an die Oberfläche segregierten, etc. Material **16** mit dem Sekundäremissionskoeffizient  $> 1$  bedeckt.

**[0114]** Wenn die Länge der Konverterkanäle **5** ausreichend ist, z.B.  $l/d \geq 1$ , beschleunigt das in Folge der Spannung im Kanalinneren erzeugte Feld nun die

Sekundärelektronenwolke **13** bis zum nächsten Zusammenstoß mit der Oberfläche der Kanalwände **17**.

**[0115]** Dieser kaskadenartige Prozess verläuft, bis die Sekundärelektronen **13** durch die Matrix der Öffnungen **5b** in der Objektebene des Kathodenlinsenobjektives **8, 9, 9', 9''** die Kanäle **5** Richtung Extraktor **8** verlassen.

**[0116]** In der Fig. 1 wird zwecks der Übersichtlichkeit nur ein einzelnes Zusammenstoßereignis mit der photoemissiven Schicht **17** der Kanalwände gezeigt.

**[0117]** In dem Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung erfüllen die Konverterkanäle unabhängig von den Elektronenprozessen die Funktion einer kapillarartigen "Lichtleitfaser" für Photonen **1'** der elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''**, wobei weitere photoelektrische Prozesse und vervielfachte Photoelektronenerzeugungen stattfinden.

**[0118]** Als Folge der genannten Prozesse, in allen erwähnten Ausführungsbeispielen des Erfindungsgegenstandes, ist die zweidimensionale Intensitätsverteilung der Sekundärelektronen **13** am Ausgang der Matrix der Öffnungen **5b** der Konverterkanäle **5** korreliert mit dem Bildkontrast ABCD, der nach der Transmission (durch das Untersuchungsobjekt **2**) der elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''** (in dem photonenoptischen Abschnitt des Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskops) entstanden ist. Dieser ist nun das Objekt der Elektronenabbildung für das Kathodenlinsenobjektiv **8, 9, 9', 9''** (in dem elektronenoptischen Abschnitt des Mikroskops im Vakuum).

**[0119]** Dieses Elektronen-"Zwischenobjekt" wird weiter durch das Kathodenlinsenobjektiv **8, 9, 9', 9''** und/oder durch ein nachfolgendes elektronenoptisches System **21** vergrößert und als Elektronenbild durch einen 2D Detektor registriert, vorzugsweise einen Bildwandler/Verstärker **14** (z.B. 2D delay line detector) und/oder Sichtschirm **15** (fluoreszent oder z.B. YAG Kristall, etc.).

**[0120]** In dem Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung ist eine feste oder wechselbare Kontrastblende **10** und/oder ein Stigmator **11** in der Beugungsebene des Kathodenlinsenobjektives **8, 9, 9', 9''** und/oder in einer korrelierten Ebene angebracht, vorteilhaft für die Verbesserung der Auflösung des Mikroskops.

**[0121]** Der gesamte Abschnitt des Erfindungsgegenstandes (anfangend von den Böden **5a** der Konverterkanäle **5** und/oder von der Schicht **3/3a** und/oder Schicht **17** bis zum Bilddetektor **14, 15**), in dem die Elektronen auftreten, befindet sich unter Vakuum **20a** im Inneren der Vakuumkammer **20**.

**[0122]** Im Fall der Notwendigkeit der Schutzeinrichtung und der mechanischen (und/oder chemischen) Separation des Untersuchungsobjektes **2** von den aktiven Schichten **3a/3b**, wird eine zusätzliche, direkt mit dem Objekt **2** kontaktierende Separationsschicht **3c** aus z.B.  $\text{SiO}_2$  oder  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , etc. mit der Dicke von z.B. einigen bis zu einigen hundert Nanometern (vorteilhaft transparent für die elektromagnetische Strahlung **1**, **1a**, **1''**) eingesetzt.

**[0123]** In der Ergänzung zu den früheren Varianten des Ausführungsbeispiels der Erfindung unterliegt das in den Konverter **4** integrierte Untersuchungsobjekt **2** (während der Observierung oder davor) einer mechanischen und/oder chemischen und/oder physikalischen und/oder physikochemischen und/oder elektrochemischen und/oder elektrischen und/oder magnetischen, etc. Modifikation (Modifikationen) durch den Einsatz von einem oder mehreren Manipulatoren **2'** und/oder anderen Generatoren der Modifikationen.

**[0124]** In dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung, das auch alle früheren Realisierungsaspekte betrifft, ist der Konverter **4** hermetisch (vakuumdicht) seitens der offenen Enden **5b** der Konverterkanäle **5** mit der Vakuumkammer **20** auf solch eine vorteilhafte Art und Weise verbunden, dass eine Verschiebung (Justage) gegenüber der elektronenoptischen Achse des Kathodenlinsenobjektives **8**, **9**, **9'**, **9''** z.B. durch den Einsatz des Elementes **6** und des Balges **12** möglich ist.

**[0125]** Solch eine vakuumdichte Separation ermöglicht eine Elektronenabbildung der Untersuchungsobjekte **2**, die sich auch außerhalb des Vakuums befinden.

**[0126]** Der Erfindungsgegenstand in dem dritten Ausführungsbeispiel ergänzt die vorherigen in allen Aspekten um die Abbildung des Untersuchungsobjektes **2**, das im Vakuum und/oder in der beliebigen Gasatmosphäre untergebracht wird.

**[0127]** Das Untersuchungsobjekt **2** wird in diesem Fall in einer hermetischen Kammer **26** gekapselt, die mit einem für die elektromagnetische Strahlung **1**, **1a**, **1''** (aus der externen Quelle **S**) transparenten Fenster **27** ausgerüstet ist (im Fall der internen Quelle **S**, ist das Fenster **27** nicht notwendig) und zusätzlich über einen Vakuumanschluss **28** zum Abpumpen und/oder einen Gaseinlass **29** zur selektiven Gasdosierung unter beliebigem Druck verfügt.

**[0128]** In diesem Ausführungsbeispiel wird die Erzeugung z.B. einer Plasmaentladung um das Untersuchungsobjekt **2** während der Abbildung (Observation) oder davor möglich, z.B. durch den Einsatz der Methoden: (PA)PVD, CVD, (PA)CVD, etc.

**[0129]** Ein viertes Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung unterscheidet sich von dem vorherigen dadurch, dass die beiden Kammern **20** und **26** miteinander vakuummässig (z.B. in der Form einer gemeinsamen Kammer) verbunden sind, was dazu führt, dass sich das Untersuchungsobjekt **2** im Vakuum befindet.

**[0130]** Möglich ist hierbei die Anwendung der Methode des differentiellen Pumpens zwischen den Kammern **20** und **26**.

**[0131]** Drei weitere Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung ergänzen die Aspekte aller vorherigen Beispiele um die Art des Materials, aus dem der Rumpf **16** des Converters **4** hergestellt wird. Hierzu kommt ein beliebiges Material, das zur Entstehung der vorteilhaft sub-mikrometrischen Kanalstruktur führt, in Frage: Ausführungsbeispiel 5) Isolator, z.B. Keramik:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Si}_3\text{O}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ , ... etc., Ausführungsbeispiel 6) Halbleiter, Ausführungsbeispiel 7): Leiter.

**[0132]** Der Gegenstand der Erfindung in einem weiteren Ausführungsbeispiel ergänzt alle vorherigen Beispiele um die Möglichkeit der zusätzlichen Verstärkung der Erzeugung des elektrostatischen Feldes im Inneren der Konverterkanäle **5**, das in früheren Beispielen in Folge des Eindringens der Äquipotenziallinien des Extraktorfeldes **7** des in den Konverter **4** integrierten Kathodenlinsenobjektives **8**, **9**, **9'**, **9''** automatisch entsteht.

**[0133]** Dies ist besonders wichtig im Fall  $l/d > \sim 1$ , wenn ein weites Eindringen des Extraktorfeldes **7** in das Innere der Kanäle durch die abschirmende Wirkung der Wände erschwert ist.

**[0134]** Der Effekt der Verstärkung (Erhöhung) des beschleunigenden Feldes im Inneren der Konverterkanäle **5** wird in diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung durch das Anlegen der Spannung zwischen den Böden (geschlossenen Enden) **5a** der Kanäle **5** (und/oder der Schicht **3/3a**) und der Stirnseite der Matrix der offenen Kanalenden **5b** entweder direkt, oder über auf beiden Seiten aufgedampfte Kontaktelektroden, entsprechend: **3b** und **18** (z.B. zwischen einigen und einigen hundert Nanometern stark), erzielt.

**[0135]** Die Böden (geschlossenen Enden) **5a** der Konverterkanäle **5** und/oder Schicht **3a** (von einigen bis zu einigen hundert Nanometern stark) bilden eine Photokathode für die Photonen **1'** der objektdurchleuchtenden, elektromagnetischen Strahlung **1**, **1a**, **1''**.

**[0136]** In einem Sonderfall des Ausführungsbeispiels bilden sie eine gemeinsame Schicht mit der Kontaktelektrode **3b** (d.h. die Schicht **3a** und/oder die Böden **5a** der Konverterkanäle **5** erfüllen gleichzeitig

die Funktion der Photokathode und der Kontaktelektrode).

**[0137]** Im Fall der Notwendigkeit einer Schutzeinrichtung und der mechanischen (und/oder chemischen) Separation des Untersuchungsobjektes **2** von den aktiven Schichten **3a/3b**, wird eine zusätzliche, direkt mit dem Objekt **2** kontaktierende Separationsschicht **3c** aus z.B.  $\text{SiO}_2$  oder  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , etc. mit der Dicke von z.B. einigen bis zu einigen hundert Nanometern (vorteilhaft transparent für die elektromagnetische Strahlung **1, 1a, 1''**) eingesetzt.

**[0138]** In diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird eine parametrisch angepasste Widerstandsschicht **17** mit einem Sekundäremissionskoeffizient  $> 1$  auf die Oberfläche der Konverterkanäle **5** aus dem Volumen des Materials **16** segregiert oder auf diese Oberfläche (im Inneren der Kanäle **5**) aufgedampft, oder durch eine Plasmaentladung erzeugt, etc., wodurch der elektrische Stromkreis zusammen mit der Kontaktelektroden **3b** (und/oder **3a** und/oder **5a**) und **18** geschlossen wird.

**[0139]** Der, durch die an die Kontaktelektrode **3b** (und/oder **3a** und/oder **5a**) als "minus" und die Kontaktelektrode **18** als "plus" angelegte Spannung, hervorgerufene Stromfluss verursacht in der Widerstandsschicht **17** im Inneren der Konverterkanäle **5** einen Potenzialabfall und dadurch die Entstehung eines zusätzlichen beschleunigenden Feldes  $\sim U/l$  ( $U$ -angelegte Spannung,  $l$ -Länge der Konverterkanäle **5**), was einen vorteilhaften Einfluss auf die Sekundärelektronenausbeute in Folge des sukzessiven, lawinenartigen Zusammenstoßens mit den Kanaloberflächen und damit auf die Intensität des Sekundärelektronenbildes **13** am Ausgang der Matrix der Öffnungen **5b** der Konverterkanäle **5** in der Objektebene des Kathodenlinsenobjektives **8, 9, 9', 9''** hat.

**[0140]** Das vorherige Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes, in dem der integrierte Photon-Elektron Konverter **4** (durch das Anlegen der Spannung) das Sekundärelektronenbild verstärkt, ermöglicht durch die Berücksichtigung einer Vielfalt von Aspekten, wie: 1) Charakter und Form der durchleuchtenden elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''**, 2) Struktur, Geometrie, Zusammensetzung und Form der Kanäle **5** und 3) Charakter des elektronenoptischen Systems, mehrere Ausführungen.

**[0141]** Das Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop gemäß der Erfindung nutzt in seinen Ausführungsbeispielen einen der Kathodenlinsenobjektivtypen: elektrostatisches und/oder magnetisches Objektiv, z.B. Diode, Triode, Tetrode, Pentode, etc.

**[0142]** Fig. 2 illustriert den Erfindungsgegenstand in zwei ausgewählten Ausführungsbeispielen hinsicht-

lich der Art des angewandten Kathodenlinsenobjektives **8, 9**: einer elektrostatischen Tetrode **8, 9'** – Fig. 2a und einer magnetischen Triode **8, 9''**: Fig. 2b.

**[0143]** Diese Beispiele der Realisierung der Erfindung sind instrumentell von dem Beispiel in Fig. 1 abgeleitet und beinhalten verschiedene Varianten der Lösungen in Bezug auf z. B. Photon-Elektron-Konverter **4**, die objekttdurchleuchtende Strahlung **1, 1a, 1''**, die Elektronenoptik, die Konstruktion oder die Bilddetektion.

**[0144]** Alle auf den Zeichnungen Fig. 2a und Fig. 2b dargestellten elektronenoptischen Elemente und Linsen:

- 1) die Matrix der Öffnungen **5a** der Konverterkanäle **5** (als Objekt/Kathode des Kathodenlinsenobjektives **8, 9, 9', 9''**) und die Kanäle **5** selber,
- 2) Kathodenlinsenobjektiv **8, 9, 9', 9''**,
- 3) Kontrastapertur **10**,
- 4) Stigmator **11**,
- 5) elektronenoptisches System **21**,
- 6) Elektron-Photon- und/oder Photon-Elektronenausbeute **14, 15** und
- 7) im System generierte Elektronentrajektorien,

**[0145]** sind durch eine hermetische Vakuumkammer **20** umspannt.

**[0146]** Die Vakuumkammer **20** ist mit folgenden Elementen und Funktionen ausgerüstet: 1) einem Anschlussport **24** zum Abpumpen, 2) einer vakuumdichten, mechanischen Kopplung zwischen dem Konverter **4** und dem Kathodenlinsenobjektiv **8, 9, 9', 9''**, z.B. über einen Konverterhalter **6**, Balg **12** und Manipulator XY (und/oder Z und/oder Tilt), was eine Verschiebung und/oder Justage des Konverters/Objekttägers **4** ermöglicht, auf dem das Untersuchungsobjekt **2** außerhalb des Vakuums angebracht wird.

**[0147]** Dadurch wird der freie Zugang zum Untersuchungsobjekt **2** von der Luftseite gewährleistet, z. B. die Möglichkeit der verschiedenem in situ Manipulationen **2'** oder Anwendungen verschiedener Flüssigkeiten aus der Umwelt des Untersuchungsobjektes **2** (oder von Flüssigkeiten als Untersuchungsobjekt selbst).

**[0148]** Außer einem Anschlussport **24** und einem Manipulator XY ist die Vakuumkammer **20** mit einem Sichtfenster **19** (das die Betrachtung des vergrößerten Bildes auf dem Fluoreszenzschirm **15** möglich macht) und/oder mit einer elektrischen Durchführung, die das Registrieren des Elektronenbildes mit dem Detektor **14** (z.B. "2D delay line detector") gewährleistet, ausgerüstet.

**[0149]** Die Strahlen der objekttdurchleuchtenden, elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''** werden vorteilhaft im mechanisch-optischen System O mo-

duliert, was eine Orientierung (z.B. Neigung und/oder Verschiebung) gegenüber dem Betrachtungszentrum und/oder eine Gestaltung der verlangten optischen Eigenschaften (Phase, Spektrum, Form, Polarization, etc.), wie in den ersten zwei Ausführungsbeispielen der Erfindung, ermöglicht.

**[0150]** Neben der abbildenden, elektromagnetischen "Haupt"-Strahlung **1** in dem vorherigen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Untersuchungsobjekt **2** zusätzlich mit der begleitenden Strahlung (Strahlungen) **1a, 1''** beleuchtet/durchleuchtet (z. B. mit anderen Wellenlängen) z. B. zwecks 1) der Aktivierung der Prozesse im Untersuchungsobjekt **2** und/oder 2) der chemischen und/oder physikalischen und/oder resonanzartigen Anregung seiner Elemente (chemischen und/oder strukturellen) und/oder 3) der Kontrasterhöhung und/oder 4) der chemischen/strukturellen Modifikation, etc.

**[0151]** Der Gegenstand der Erfindung wird im nächsten Ausführungsbeispiel um einen Manipulator **2'** ergänzt, der eine mikro-Manipulation (submikro-Manipulation) in dem Untersuchungsobjekt **2** ermöglicht, z. B. in dem Fall einer biologischen Probe: 1) die lokale (örtliche), selektive Dosierung der chemischen Substanzen zu den einzelnen, ausgesuchten Zellen oder Zellkernen, 2) eine Unterbringung im Untersuchungsobjekt der impulsenergieerzeugenden (und/oder impulsregistrierenden) Miniaturelektroden (während der Objektbetrachtung oder davor), etc.

**[0152]** In einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird das Untersuchungsobjekt **2** im magnetischen und/oder elektrischen Feld exponiert.

**[0153]** Der Gegenstand der Erfindung im folgenden Ausführungsbeispiel erlaubt die Erweiterung der Abbildungsmethode mit anderen, beliebigen Messtechniken, z. B. AFM, MFM, EFM, KPFM, etc. (atomic, magnetic, electric, Kelvin probe force microscopy) und/oder mit dem klassischen, optischen Mikroskop (zum parallelen oder vorhergehenden Einsatz).

**[0154]** Vorteilhaft werden alle diese Instrumente auf einer verschiebbaren Plattform untergebracht oder so um das Untersuchungsobjekt **2** angeordnet, dass sie der elektromagnetischen Strahlung **1, 1a, 1''** nicht im Wege stehen.

**[0155]** Der Gegenstand der Erfindung im Ausführungsbeispiel in **Fig. 2b** unterscheidet sich dadurch von dem in **Fig. 2a**, dass die elektrostatische Kathodenlinse **8, 9'** (Tetrode) durch eine magnetische **8, 9''** (Triode) ersetzt wurde.

**[0156]** An dieser Stelle wird auch in den anderen Ausführungsbeispielen z. B. eine magnetische Tetrode oder ein beliebiger Typ des magnetischen Kathodenlinsenobjektives eingesetzt.

**[0157]** Der Gegenstand der Erfindung im Ausführungsbeispiel in **Fig. 3a** ergänzt alle anderen Ausführungsbeispiele (bezogen auf **Fig. 2a**) um eine hermetische Vakuumkammer **26**, die vakuumdicht mit dem Element **6** und/oder mit der Vakuumkammer **20** verbunden ist, was das Abpumpen über den Anschluss **28** und die Erzeugung eines Vakuums um das Untersuchungsobjekt **2** möglich macht.

**[0158]** Eine derartige instrumentelle Erweiterung eröffnet den Zugang zum breiten Gebiet des Materialingenieurwesens z.B. Dünnschicht-Technologien (Thin Film Technology) und ermöglicht eine in situ Untersuchungsobjektherstellung und/oder eine in situ Modifikation des vorhandenen Untersuchungsobjektes **2** durch z.B. Epitaxie, Lithographie, Katalyse, Diffusion, Adsorption, Desorption, Segregation, Korrosion, Ionenimplantierung, Dotierung, Glühen in Gasen, Plasmatechnologien, etc., sowohl während der Objektbetrachtung ("parallel imaging") in der reellen Zeit, als auch während der Präparationsphase.

**[0159]** Die Vakuumkammer **26** ist mit zum Untersuchungsobjekt **2** ausgerichteten Anschlussflanschen (Zugangsflansche) **31** ausgestattet, die nicht nur die Anwendung aller externen, fremden Standardmethoden, sondern auch eine Detektion der Untersuchungsobjektsignale während der Untersuchung oder davor ermöglichen.

**[0160]** In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird eine beliebige Gasatmosphäre unter beliebigem Druck (auch Überdruck) um das Untersuchungsobjekt **2** mit Hilfe des Gasdosierungsanschlusses **29** erzeugt, wodurch die Durchführung der "real time"-Visualisierung der physikochemischen Reaktionen und Prozesse in den Objekten im festen und/oder flüssigen und/oder gasförmigen Aggregatzustand möglich wird.

**[0161]** Die Quelle **S** der objekt durchleuchtenden Strahlung **1, 1a, 1''** befindet sich entweder im Inneren der Vakuumkammer **26** oder durchleuchtet das Untersuchungsobjekt **2** von der äußeren Lokalisierung durch ein geeignetes Vakuumfenster **27**, z. B. Berylliumfenster im Fall der Röntgenstrahlung oder ein z. B. Quarzfenster im Fall des UV-Lichtes.

**[0162]** Im folgenden Ausführungsbeispiel wurde das ursprüngliche Beispiel um den Manipulator **2'** im Inneren der Vakuumkammer **26** ergänzt, der eine Mikro-Manipulation (Submikro-Manipulation) in dem Untersuchungsobjekt **2** ermöglicht, z. B. im Fall einer biologischen Probe: 1) durch die lokale (örtliche), selektive Dosierung von chemischen Substanzen zu den einzelnen, ausgesuchten Zellen oder Zellkernen, 2) durch die Unterbringung der impulsenergieerzeugenden (und/oder impulsregistrierenden) Miniaturelektroden (während der Objektbetrachtung oder davor) im Untersuchungsobjekt.

<b>[0163]</b> In einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird das Untersuchungsobjekt <b>2</b> im magnetischen und/oder elektrischen Feld exponiert.	<b>3</b>	Schicht (oder ein Mehrschichtkombination), die einseitig Kanäle ( <b>5</b> ) abschließt
<b>[0164]</b> Das folgende Ausführungsbeispiel, das alle vorherigen ergänzt, erlaubt die Erweiterung der Abbildungsmethode der Erfindung um einige andere, vorteilhafte Messtechniken, z.B. SEM, STM, AFM, MFM, EFM, KPFM, etc. (scanning, atomic, magnetic, electric, Kelvin probe force microscopy) zwecks parallelen oder vorbereitenden Einsätzen.	<b>3a</b> <b>3b</b> <b>3c</b> <b>4</b> <b>5</b> <b>5a</b> <b>5b</b> <b>6</b>	Schicht, die den Boden der Kanäle ( <b>5</b> ) bildet transparente Kontaktelektrode, die das Potenzial zu den Boden der Kanäle ( <b>5</b> ) zuführt transparente Separations- und/oder Schutzschicht des Untersuchungsobjektes ( <b>2</b> ) Photon-Elektron-Konverter als Untersuchungsobjektträger Kanäle des Konverters ( <b>4</b> ) Boden der Kanäle ( <b>5</b> ) Öffnungen der Kanäle ( <b>5</b> ) Bestandteil des Untersuchungsobjektmanipulators – z.B. X, Y, Z, $\theta$ : hermetische Halterung des Konverters <b>4</b>
<b>[0165]</b> Vorteilhaft sind all diese Instrumente auf einer verschiebbaren Plattform untergebracht oder so um das Untersuchungsobjekt <b>2</b> angeordnet, dass sie der elektromagnetischen Strahlung <b>1</b> , <b>1a</b> , <b>1''</b> nicht im Wege stehen.	<b>7</b>	Äquipotenziallinien des elektrostatischen Feldes des Kathodenlinsenobjektivs
<b>[0166]</b> Das Ausführungsbeispiel in <b>Fig. 3b</b> unterscheidet sich dadurch von dem in <b>Fig. 3a</b> , dass die elektrostatische Kathodenlinse <b>8</b> , <b>9'</b> (Tetrode) durch eine magnetische <b>8</b> , <b>9''</b> (Triode) ersetzt wurde.	<b>8</b> <b>9</b>	Extraktor des Kathodenlinsenobjektives elektronenoptisches Element des Kathodenlinsenobjektives zur Erzeugung des elektrostatischen oder magnetischen fokussierenden Feldes
<b>[0167]</b> An dieser Stelle wird in den anderen Ausführungsbeispielen z. B. eine magnetische Tetrode oder ein beliebiger Typ des magnetischen Kathodenlinsenobjektives eingesetzt.	<b>9'</b> <b>9''</b>	elektronenoptisches Element des Kathodenlinsenobjektives zur Erzeugung des elektrostatischen, fokussierenden Feldes elektronenoptisches Element des Kathodenlinsenobjektives zur Erzeugung des magnetischen, fokussierenden Feldes
<b>[0168]</b> Das folgende Ausführungsbeispiel, bezieht sich sowohl auf die Variante mit dem elektrostatischen Kathodenlinsenobjektiv in <b>Fig. 3a</b> , wie auf die Variante mit dem magnetischen Kathodenlinsenobjektiv in <b>Fig. 3b</b> . Die beiden Kammern <b>20</b> und <b>26</b> sind miteinander vakuummässig (z.B. in der Form einer, gemeinsamen Kammer) verbunden und bilden für die Elektronen <b>13</b> und das Untersuchungsobjekt <b>2</b> einen gemeinsamen Vakuumbereich.	<b>10</b> <b>11</b> <b>12</b>	Kontrastapertur Stigmator elastische Balgverbindung für die z. B. X, Y, Z, $\theta$ Verschiebung des Konverters/Objektträgers mit dem Untersuchungsobjekt ( <b>2</b> )
<b>[0169]</b> In einem anderen Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes ermöglicht die Art und Weise der Verbindung der Vakuumkammern <b>20</b> und <b>26</b> das differenzielle Pumpen.	<b>13</b> <b>14</b> <b>15</b> <b>16</b> <b>17</b> <b>18</b> <b>19</b> <b>20</b> <b>20a</b> <b>21</b>	Sekundärelektronen, die in Kanälen ( <b>5</b> ) erzeugt werden Elektronenbilddetektor Leuchtschirm Konvertermaterial oberste Schicht der Kanäle mit dem Sekundärelektronenkoeffizient $> 1$ Kontaktelektrode, die das Potenzial der Matrix der Öffnungen ( <b>5b</b> ) der Kanäle ( <b>5</b> ) definiert Sichtfenster hermetische Vakuumkammer Vakuum elektronenoptisches System

## Bezugszeichenliste

<b>1</b>	untersuchungsobjektdurchleuchtende/beleuchtende elektromagnetische Strahlung	<b>13</b>	Sekundärelektronen, die in Kanälen ( <b>5</b> ) erzeugt werden
<b>1a</b>	zusätzliche untersuchungsobjektdurchleuchtende/beleuchtende Strahlung	<b>14</b> <b>15</b> <b>16</b> <b>17</b>	Elektronenbilddetektor Leuchtschirm Konvertermaterial oberste Schicht der Kanäle mit dem Sekundärelektronenkoeffizient $> 1$
<b>1'</b>	Photonen der elektromagnetischen Strahlung ( <b>1</b> ) nach der Transmission durch das Untersuchungsobjekt	<b>18</b>	Kontaktelektrode, die das Potenzial der Matrix der Öffnungen ( <b>5b</b> ) der Kanäle ( <b>5</b> ) definiert
<b>1''</b>	unter dem Winkel $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ zur elektronenoptischen Achse geneigte elektromagnetische Strahlung	<b>19</b> <b>20</b> <b>20a</b> <b>21</b>	Sichtfenster hermetische Vakuumkammer Vakuum elektronenoptisches System
<b>2</b>	Untersuchungsobjekt		
<b>2'</b>	Manipulator zur Modifikation des Untersuchungsobjektes ( <b>2</b> )		

<b>22</b>	Molekularquelle für die Aktivierung der Schicht und/oder Beschichtung der Konverterkanäle
<b>23</b>	zusätzliche Molekularquelle des Konverters ( <b>4</b> )
<b>24</b>	Anschlussflansch zum Abpumpen der Vakuumkammer ( <b>20</b> )
<b>25</b>	Anschlussflansch zum Einlass von Gasen (unter beliebigem Druck und Zusammensetzung).
<b>26</b>	zusätzliche hermetische Kammer (Gehäuse) des Untersuchungsobjektes ( <b>2</b> )
<b>27</b>	für die elektromagnetische Strahlung ( <b>1, 1a, 1''</b> ) transparentes Vakuumfenster
<b>28</b>	Anschlussflansch zum Abpumpen der Vakuumkammer ( <b>26</b> )
<b>29</b>	Anschlussflansch des hermetischen Untersuchungsobjektgehäuses zum Einlass von Gasen (unter beliebigem Druck und Zusammensetzung).
<b>30</b>	Dichtungselement der hermetischen Verbindung zwischen der Kammer ( <b>20</b> ) und ( <b>26</b> )
<b>31</b>	Zugangsport zum Untersuchungsobjekt ( <b>2</b> )
<b>S</b>	Quellen der elektromagnetischen Strahlung ( <b>1, 1a, 1''</b> )
<b>O</b>	Einrichtung der geometrischen, phasenartigen, spektralen, etc. Gestaltung der elektromagnetischen Strahlung ( <b>1, 1a, 1''</b> )
$\alpha$	Neigungswinkel der elektromagnetischen Strahlung ( <b>1, 1a, 1''</b> )
$\beta$	Neigungswinkel der Kanäle ( <b>5</b> ), bezogen auf die elektronenoptische Achse des Systems
<b>abcd</b>	Struktur des Untersuchungsobjektes ( <b>2</b> )
<b>ABCD</b>	Photonentransmissionsbild der Untersuchungsobjektstruktur abcd
<b>A'B'C'D'</b>	Photoelektronenbild nach der Konversion des Photonentransmissionsbild
<b>ABCD</b>	in der photoemissiven Oberfläche der Böden ( <b>5a</b> ) der Kanäle ( <b>5</b> ) des Konverters ( <b>4</b> )
<b>A''B''C''D''</b>	Elektronenbild generiert durch die Sekundärelektronen ( <b>13</b> ) am der Matrix der Öffnungen ( <b>5b</b> ) der Kanäle ( <b>5</b> ) des Konverters ( <b>4</b> ) in der Objektebene des Kathodenlinsenobjektives ( <b>8, 9, 9', 9''</b> ) Ausgang vor



**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 5045696 [0014, 0031]
- US 4912737 [0016]
- US 7006741 [0018]
- US 7039157 [0020]
- US 6002740 [0027]
- US 20140037052 [0029]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- E.H. Syngé im Jahr 1928 [0004]
- E. Betzig et al. in der Mikroskopie angewendet wurde: "Breaking the diffraction barrier optical microscopy on a nanometric scale", Science 251 (1991) 1468 [0004]
- E. Brueche und weiterentwickelt durch E. Bauer: "Cathode lens electron microscopy: past and future", J. Phys.: Condens. Matter 21 (2009) 314 [0005]
- Ernst Ruska im Jahr 1933 [0008]
- „Transmission Electron Microscopy“, D.B. Williams and C.B. Carter, 2009 [0008]
- „Projection X-Ray Microscopy“ (Newberry, 1954) [0009]
- „Imaging X-Ray Microscopy“ (Rudolf et al., 1984) [0009]
- „Scanning X-Ray Microscopy“ (Horowitz and Howell, 1972) [0009]
- „Contact Imaging“ (Goby, 1913) [0009]
- Cambridge bei dem „Symposium on X-ray Microscopy and Microradiography“ 1956 [0010]
- G. Möllenstedt und L.Y. Huang veröffentlicht und im nächsten Jahr in dem Artikel „Röntgen-Bildwandler-Mikroskopie“ (Zeitschrift für Physik, 149 (1957) S. 225) [0010]
- „Photoelectron X-Ray Microscopy“ im Jahr 1984 durch F. Polack und S. Lowenthal modifiziert: Journal de Physique, Colloque C2, suppl.no.2, Band 45 (1984) S. 2–73 [0011]
- „First Images with the Soft X-Ray Image Converting Microscope at LURE“, X-Ray Microscopy II, Springer Series in Optical Sciences 56 (1988) S. 220 [0013]
- E. Bauer: „Surface Microscopy with Low energy Electrons“, Springer Verlag, 2014 [0021]
- O.H. Griffith und W. Engel, „Historical perspective and current trends in emission microscopy, mirror electron microscopy and low energy electron microscopy“, Ultramicroscopy 36 (1991) [0021]
- im Fall von Photoelektronen als PEEM(Photoemission Electron Microscopy)-E. Brüche, im Fall von langsamen Elektronen als LEEM (Low Energy Electron Microscopy)-E. Bauer und SPLEEM(Spin Polarized LEEM)-K. Grzelakowski et al., IEEE Transactions on Magnetics, 30 6 (1994) [0022]
- DEEM (Dual Emission Electron Microscope): K. Grzelakowski, Ultramicroscopy 130 (2013) 29 [0022]
- R.N. Watts et al.: „High Resolution Image Converter For Soft X-Ray Microscopy“, Rev. Sci. Instrum. 68 (1997) 3464 [0023]
- G. De Stasio et al. in Rev. Sci. Instrum. 69 (1998) 3106 und Rev. Sci. Instrum., 71 (2000) 11 [0024]
- D. Panzer 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 [0025]

## Patentansprüche

1. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop, aufweisend:

- a. eine bildvergrößernde elektronenoptische Anordnung, die ein Kathodenlinsenobjektiv und einen Elektronenbilddetektor aufweist,
- b. ein Vakuumgehäuse mit mindestens einem Anschluss für eine Vakuumerzeugungsvorrichtung,
- c. mindestens eine ein Untersuchungsobjekt durchleuchtende, elektromagnetische Strahlung und
- d. einen Untersuchungsobjektträger

**dadurch gekennzeichnet**, dass

- der Untersuchungsobjektträger (4) zwischen dem Untersuchungsobjekt (2) und der bildvergrößernden elektronenoptischen Anordnung angeordnet ist,
- der Untersuchungsobjektträger (4) Kanäle (5) aufweist, die auf der Seite des Untersuchungsobjektes (2) durch in einer gemeinsamen Ebene (3) liegende Böden (5a) verschlossen sind, auf denen das Untersuchungsobjekt (2) aufliegt und die in Richtung der elektronenoptischen Anordnung geöffnet sind und die als Photon-Elektron-Konverter (4) zur proportionalen Umsetzung der Transmissionsbildphotonen (1') des Untersuchungsobjektes (2) auf Photoelektronen ausgebildet sind,
- die Kanäle (5) eine Matrix von Öffnungen (5b) auf der Gegenseite des Untersuchungsobjektträgers (4) in der Objektebene des Kathodenlinsenobjektives (8, 9, 9', 9'') ausbilden,
- die Kanäle (5) des Untersuchungsobjektträgers (4) mittels einer emissiven Oberfläche an den inneren Wänden geeignet sind, proportional zur Intensität der Photoelektronen Sekundärelektronen (13) zu erzeugen,
- das elektronenoptische System mit dem Kathodenlinsenobjektiv (8, 9, 9', 9'') ein vergrößertes Elektronenbild des Untersuchungsobjektes (2) auf einem Elektronenbilddetektor (14) erzeugt.

2. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Photon-Elektron-Konverter (4) eine erste Kontaktelektrode (18) im Vakuum (20a) an den offenen Enden (5b) der Kanäle (5) und eine zweite Kontaktelektrode (3b/3a) an den Böden (5a) der Kanäle (5) auf der Seite des Untersuchungsobjektes (2) aufweist, wobei die inneren Wände der Kanäle (5) mit einer die Kontaktelektroden verbindenden Widerstandsschicht (17) bedeckt sind und durch Anlegen eines höheren elektrischen Potentials an der ersten Kontaktelektrode (18) und eines niedrigeren elektrischen Potentials an der zweiten Kontaktelektrode (3b, 3a) eine die Elektronen (1') beschleunigende Potentialdifferenz entsteht, und der Photon-Elektron-Konverter (4) so geeignet ist, als Sekundärelektronenvervielfacher zu wirken.

3. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach Anspruch 2, **dadurch ge-**

**kennzeichnet**, dass die Sekundärelektronen (13) aus der zweidimensionalen Matrix der offenen Enden (5b) der Kanäle (5) des Konverters (4) in der Objektebene des Kathodenlinsenobjektives (8, 9, 9', 9'') als ein Sekundärelektronenobjekt der weiteren elektronenoptischen Abbildung emittiert werden, das mit dem Transmissionsphotonenbild (1') des Untersuchungsobjektes (2) korreliert ist und durch das elektronenoptische System mit dem Kathodenlinsenobjektiv (8, 9, 9', 9'') auf dem Elektronendetektor (14) vergrößert abgebildet wird.

4. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material der Wände (16) der Kanäle (5) des Konverters (4) identisch mit dem Material der die Kanäle (5) einseitig verschließenden Böden (5a) ist.

5. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wände (16) der Kanäle (5) des Konverters (4) und/oder die Kanalböden (5a) aus einem Isolator und/oder einem Leiter und/oder einem Halbleiter bestehen.

6. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberfläche der Böden (5a) der Kanäle (5) des Konverters (4) photoemissiv auf die Photonen (1') der das Untersuchungsobjekt (2) durchleuchtenden, elektromagnetischen Strahlung (1, 1a, 1'') reagiert und die Oberfläche der Wände der Kanäle (5) des Konverters (4) einen Sekundäremissionskoeffizient größer als eins aufweisen.

7. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Photon-Elektron-Konverter (4) hermetisch mit der Seite der offenen Enden (5b) der Kanäle (5) in Richtung des Kathodenlinsenobjektives (8, 9, 9', 9'') mit dem Vakuumgehäuse (20) verbunden ist und das in dem Vakuumgehäuse erzeugte Vakuum (20a) von dem Untersuchungsobjekt (2) trennt.

8. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem Vakuumgehäuse (20) ein zweites hermetisches Gehäuse (26) vakuumdicht verbunden ist, welches das Untersuchungsobjekt (2) von der Umgebungsluft trennt und mindestens einen Anschluss (28) zur Vakuumerzeugung oder zum Gaseinlass sowie ein Vakuumfenster für den Durchtritt der das Untersuchungsobjekt durchleuchtenden elektromagnetischen Strahlung (1, 1a, 1'') aufweist.

9. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das hermetische Gehäuse (26) mit einem Gas oder einer Flüssigkeit wählbaren Drucks befüllt werden kann.

10. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Photon-Elektron-Konverter (4) das Vakuumgehäuse (20) mittels eines Balges (12) verschließt, so dass der Photon-Elektron-Konverter (4) mittels einer Stellvorrichtung so verschoben und/oder justiert werden kann, dass die Matrix der offenen Enden (5b) der Kanäle (5) des Konverters (4) in der Objektebene des Kathodenlinsenobjektivs (8, 9, 9', 9'') verbleibt, der abgebildete Bereich der Matrix der offenen Enden (5b) der Kanäle (5) sich jedoch ändert.

11. Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronen-emissionsmikroskop nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nahfeld-Photonentransmissions-Elektronenemissionsmikroskop einen oder mehrere Objektmanipulatoren (2') aufweist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

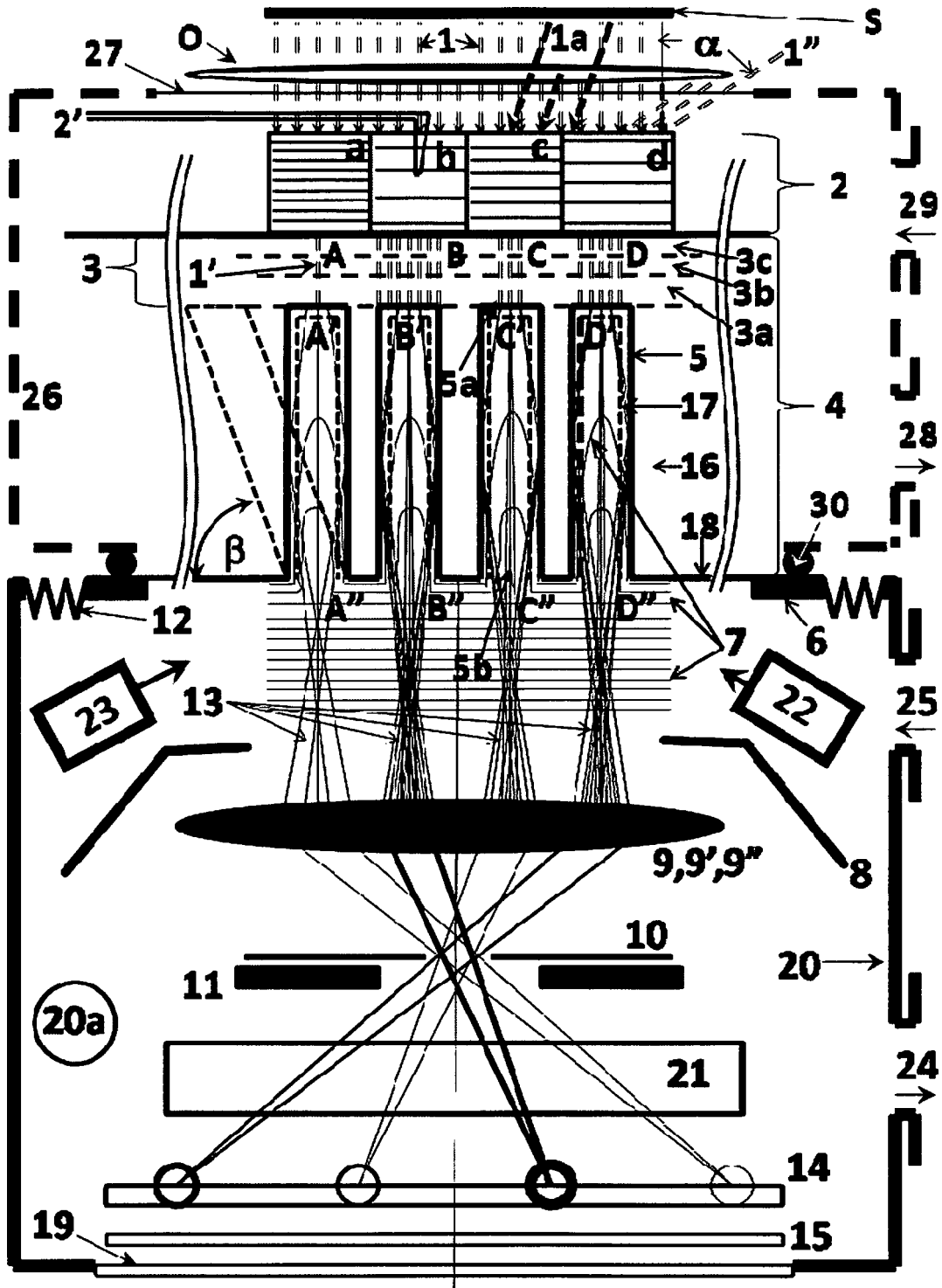


Fig.1

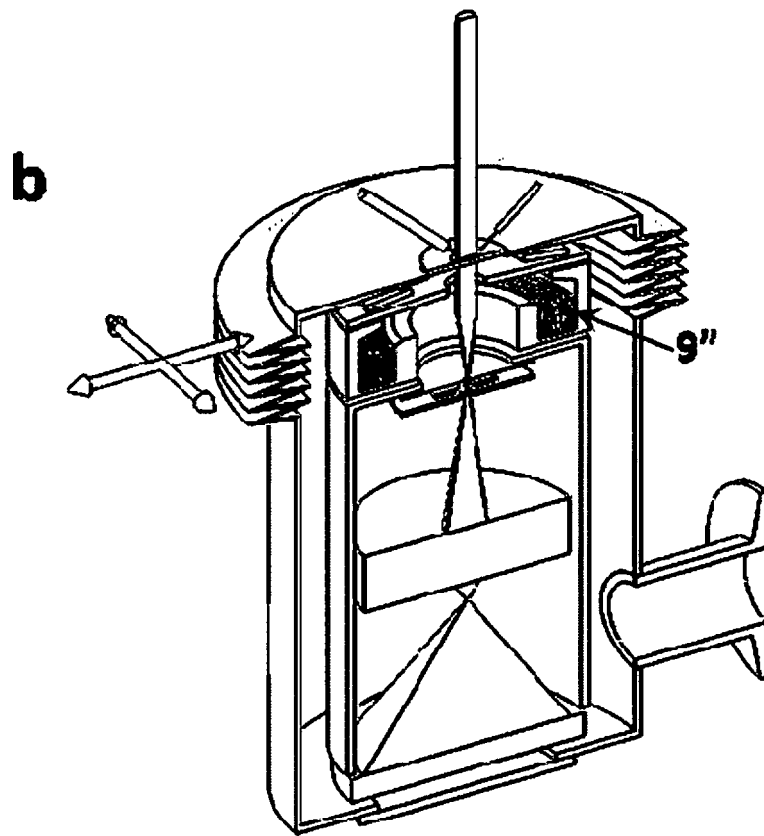
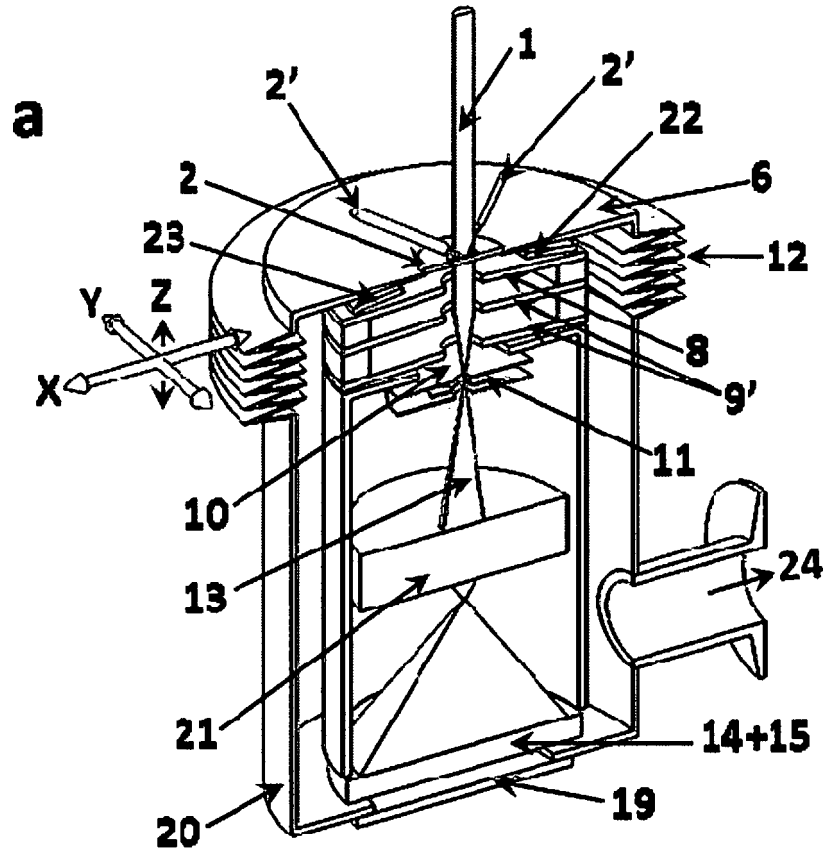


Fig.2

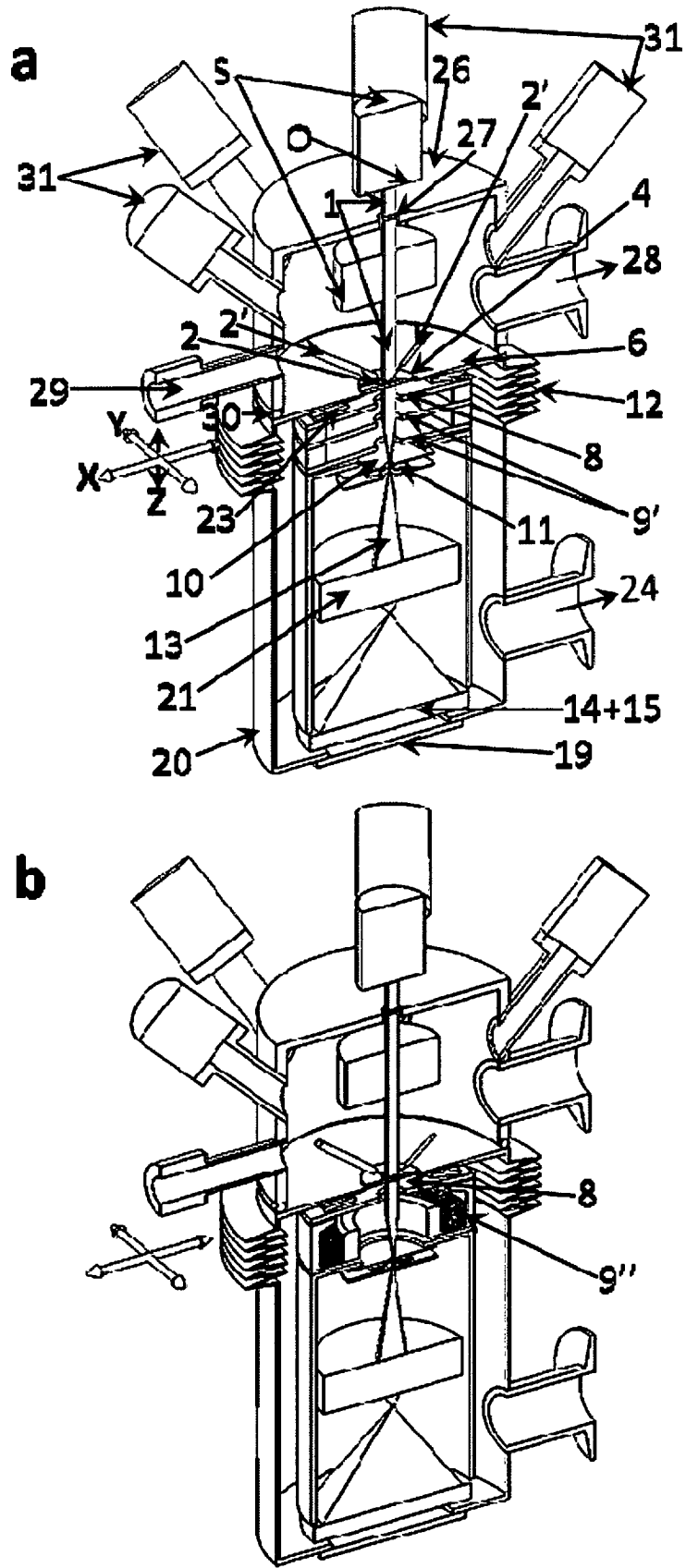


Fig.3