

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 475 098 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
07.02.1996 Patentblatt 1996/06

(51) Int Cl.⁶: **G21K 7/00**

(21) Anmeldenummer: **91113635.6**

(22) Anmeldetag: **14.08.1991**

(54) **Röntgenmikroskop**

X-ray microscope

Microscope à rayons X

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB LI NL SE

(30) Priorität: **29.08.1990 DE 4027285**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.03.1992 Patentblatt 1992/12

(73) Patentinhaber:
• **Firma Carl Zeiss**
D-73446 Oberkochen (DE)
Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR LI NL SE AT
• **CARL-ZEISS-STIFTUNG,**
HANDELND ALS CARL ZEISS
D-73446 Oberkochen (DE)
Benannte Vertragsstaaten:
GB

(72) Erfinder:
• **Thieme, Jürgen, Dr.**
W-3407 Diemarden (DE)
• **Schmahl, Günter, Prof. Dr.**
W-3400 Göttingen (DE)
• **Nieman, Bastian, Dr.**
W-3400 Göttingen (DE)
• **Rudolph, Dietbert, Dr.**
W-3410 Nordheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 459 833 **WO-A-87/00644**
• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 15, no.**
234 (P-1215)14. Juni 1991 & JP-03 071 100

EP 0 475 098 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Es sind verschiedenartige Röntgenmikroskope bekannt, die sich in ihrem optischen Aufbau hinsichtlich der benutzten Strahlquelle, der Optik zur Fokussierung des Röntgenstrahls auf das zu untersuchende Objekt und die zur Abbildung des Objekts auf den verwendeten bildgebenden Röntgendetektor mehr oder weniger stark unterscheiden.

So sind beispielsweise Röntgenmikroskope beschrieben worden, in denen Spiegeloptik für die Abbildung des Objekts auf den Detektor benutzt wird zum Beispiel eine Wolter-Optik, die das Objekt unter streifendem Einfall der Röntgenstrahlung abbildet. Die Qualität des mit solchen Mikroskopen erzeugten mikroskopischen Bildes ist jedoch nicht sonderlich gut, da die Spiegeloptiken zum Teil mit erheblichen Bildfehlern behaftet sind. Diese Bildfehler - bei Spiegeloptiken, die unter streifendem Einfall arbeiten, ist das beispielsweise der sogenannte Winkeltangentenfehler - begrenzen die von der Apertur der Optik vorgegebene, prinzipiell mögliche Auflösung, die sich mit dem Mikroskop erzielen läßt.

Es sind auch Röntgenmikroskope beschrieben, in denen sowohl zur Fokussierung der Röntgenstrahlung auf das Objekt als auch zur Abbildung des Objekts auf den Detektor sogenannte Zonenplatten Verwendung finden. Diese Zonenplatten ermöglichen ähnlich sehr dünnen Linsen eine weitgehend bildfehlerfreie und damit hochaufgelöste Abbildung des Objekts. Sie haben jedoch einen bedeutend schlechteren Wirkungsgrad als Spiegeloptiken. Er liegt in der Praxis zwischen 5% und 15%, d.h. es werden nur maximal 15% der auf die Zonenplatte auftreffenden Röntgenstrahlung für die Abbildung benutzt.

Eine Übersicht über die verschiedenen Röntgenmikroskope gibt das Buch mit dem Titel "X-ray microscopy", Herausgeber G. Schmah und D. Rudolph, Springer Series in Optical Science, Band 43, 1984.

In diesem Buch ist auf Seite 192 ff ein Röntgenmikroskop beschrieben, bei dem sowohl der Kondensor als auch das Objektiv als Zonenplatte ausgebildet ist. Die als Kondensor verwendete Zonenplatte dient dabei nicht nur zur Fokussierung der Röntgenstrahlung auf das Objekt, sondern wirkt außerdem als Monochromator und sondert die für eine hochauflösende Abbildung erforderliche monochromatische Strahlung aus den von der Röntgenquelle abgegebenen mehr oder weniger ausgedehnten Wellenlängenbereich aus. Dies geschieht einfach durch eine geeignete Lochblende auf der optischen Achse, die bewirkt, daß nur eines der infolge der Wellenlängenabhängigkeit der Brennweite der Zonenplatte auf der optischen Achse entstehenden monochromatischen Bilder durch die Blende hindurchtritt.

Das beschriebene Röntgenmikroskop ist wegen der Verwendung von Zonenplatten mit dem genannten niedrigen Wirkungsgrad relativ lichtschwach, so daß sich lange Belichtungszeiten ergeben, was z.B. bei der Aufnahme von lebenden Zellen zu Bewegungsunschärfe wäh-

rend der Belichtung führen kann. Man ist deshalb auf möglichst intensive Röntgenstrahlquellen angewiesen.

Für die Röntgenmikroskopie wird deshalb fast ausschließlich Synchrotronstrahlung von Elektronenspeicherringen verwendet. Dies hat jedoch den Nachteil, daß das Röntgenmikroskop nicht autark ist, d.h. der Benutzer ist räumlich und hinsichtlich der ihm zur Verfügung stehenden Meßzeit an einen der wenigen Elektronenspeicherringe gebunden.

Als Röntgenstrahlquelle ist weiterhin die sogenannte Plasmafokusquelle bekannt. Solche beispielsweise in der DE-OS 33 32 711 beschriebenen Röntgenquellen geben jedoch Röntgenstrahlung nicht kontinuierlich ab, sondern liefern einzelne kurze Röntgenpulse, denen sich eine relativ lange Totzeit anschließt, während der die Kondensatoren der Röntgenstrahlquelle wieder aufgeladen werden müssen. Die in einem Puls enthaltende Röntgenenergie ist in vielen Fällen nicht ausreichend.

In der WO 87/00644 ist eine Anordnung für die Röntgenstrahlolithographie beschrieben, bei der die Röntgenröhre mittels eines Spiegelkondensors auf eine Zonenplatte abgebildet wird. Gleichzeitig bildet die Zonenplatte die hinter dem Spiegelkondensor im Strahlengang angeordnete Lithographie-Maske verkleinert auf das Target ab. Die Intensität der von konventionellen Röntgenröhren emittierten Röntgenstrahlung ist jedoch viel zu gering für einen Einsatz derartiger Röhren in Röntgenmikroskopen. Außerdem führt das breite Strahlungsspektrum der Röntgenröhre zusammen mit der wellenlängenabhängigen Brennweite der Zonenplatte zu einem geringen Signal/Rausch-Verhältnis in der Targetebene, das zumindest in der Röntgenmikroskopie nicht akzeptiert werden kann.

Aus dem Vorgesagten ergibt sich, daß ein autarkes, gleichzeitig hochauflösendes und lichtstarkes Röntgenmikroskop bisher nicht existiert. Für biologische Anwendungen wird aber gerade dies u.a. wegen der dabei geforderten kurzen Belichtungszeiten für die Untersuchung von lebenden Zellen gefordert.

In der nachveröffentlichten EP-A2 0 459 833 ist ein Röntgenmikroskop beschrieben, das eine Laser-Plasmaquelle zur Erzeugung der Röntgenstrahlung, einen mit Vielfachschichten versehenen Spiegelkondensor zur Abbildung der Röntgenquelle auf das Objekt und eine Zonenplatte zur vergrößerten Abbildung des Objekts aufweist. Als Röntgendetektor ist ein Röntgenfilm vorgesehen.

Gemäß der Erfindung wird nun ein autarkes Röntgenmikroskop durch die Kombination von den im Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen, d.h. durch ein Röntgenmikroskop mit folgendem Aufbau gelöst: Es besitzt

- eine gepulste Röntgenquelle, die eine intensive Linienstrahlung bei einer dominanten Emissionswellenlänge liefert,
- einen Spiegelkondensor, der die Strahlung der Röntgenquelle auf das zu untersuchende Objekt fo-

kussiert und

- eine als Zonenplatte ausgebildete Röntgenoptik, die das Objekt mit hoher Auflösung vergrößert auf einen Röntgendetektor abbildet, wobei der Röntgendetektor eine Halbleiterkamera ist.

Durch die Kombination der gepulsten Röntgenquelle, die intensive Linienstrahlung liefert, mit einem Spiegelkondensor wird die zur Verfügung stehende Röntgenenergie optimal genutzt. Hierbei wirkt sich die Verwendung von Spiegeloptik auf der Beleuchtungsseite nicht nachteilig aus, da einmal die Bildfehler des Spiegelkondensors bei der Beleuchtung bedeutend weniger kritisch als auf der Abbildungsseite des Mikroskops sind. Hingegen wird im Vergleich zu einer Zonenplatte auf der Beleuchtungsseite ein 20 bis 30facher Lichtgewinn erzielt. Zwar kann der Spiegelkondensor nicht als Monochromator verwendet werden, dies ist jedoch auch nicht erforderlich, da Röntgenquellen wie z.B. der Plasmafokus bereits eine ausreichend intensive monochromatische Linienstrahlung liefern.

Aufgrund des genannten beleuchtungsseitig erzielten Lichtgewinns kann auf der Abbildungsseite die Zonenplatte mit ihren ausgezeichneten Abbildungseigenschaften beibehalten werden.

Mit der beschriebenen Kombination hat man erstmals genügend Röntgenenergie zur Verfügung, um biologische Objekte sozusagen "mit einem Schuß" abzubilden, d.h. die in einem Röntgenpuls enthaltene Röntgenenergie wird optimal genutzt und reicht zur Aufnahme eines Röntgenbildes von biologischen Objekten aus.

Beispielsweise kann der Spiegelkondensor ein Segment eines Ellipsoids sein, das die Röntgenstrahlung unter streifendem Einfall auf das Objekt fokussiert. Es ist zweckmäßig, wenn der Spiegelkondensor zur Erhöhung des Reflektionsvermögens mit einer Vielfachschicht belegt ist. Hierdurch läßt sich der Wirkungsgrad des Mikroskops nochmals verbessern.

Die für die Abbildung des Objektes auf den Detektor benutzte Zonenplatte ist zweckmäßig eine Phasenzonenplatte, die einen höheren Wirkungsgrad als eine Amplitudenplattenplatte hat.

Es ist weiterhin zweckmäßig, wenn der Kondensor die Röntgenstrahlquelle direkt auf das Objekt abbildet nach Art der sogenannten "kritischen Beleuchtung". Im Gegensatz zu der sonst üblicherweise in der Mikroskopie verwendeten sogenannten "Köhlerschen Beleuchtung" hat das den Vorteil, daß man mit einer einzigen Kondensoroptik auskommt, d.h. der Wirkungsgrad auf der Beleuchtungsseite optimiert ist.

Es ist vorteilhaft, wenn der Spiegelkondensor durch eine oder mehrere Folien geschützt ist, durch die der Röntgenstrahl hindurchtritt. Mit diesen Folien lassen sich die empfindlichen Spiegelflächen abschirmen gegen Staub und Schmutz aus der Umgebung, eventuell auch gegen Dämpfe aus der Plasmafokusquelle, die sich andernfalls auf den optischen Flächen des Kondensors niederschlagen und seinen Wirkungsgrad verschlech-

tern.

Als Detektor kann entweder eine Fotoplatte oder eine röntgenempfindliche CCD-Kamera verwendet werden. Der Kamera wird zweckmäßig ein Bildspeicher nachgeschaltet, in den dann die jeweils mit einem Röntgenpuls erzeugten Bilder der zu untersuchenden Objekte eingelesen und beispielsweise mit den bekannten Methoden der Bildverarbeitung weiter verarbeitet werden.

Weitere Vorteile der Erfindung werden anhand des nachstehend in der einzigen Figur dargestellten Ausführungsbeispiels der Erfindung beschrieben.

In der Figur ist das neue Röntgenmikroskop in einer stark vereinfachten, zum Teil perspektivischen Prinzipskizze dargestellt.

In dem Mikroskop ist mit (1) die Röntgenquelle bezeichnet. Bei dieser Röntgenquelle handelt es sich um eine Plasmafokusquelle des Typs wie sie in der DE-OS 33 32 711 beschrieben ist. Diese Plasmafokusquelle liefert kurzzeitig ein punktförmiges Plasma, das Röntgenstrahlung mit einer dominanten Emissionswellenlänge auf der Lyman- α -Linie des sechsfach ionisierten Stickstoffs emittiert. Betrieben wird die Plasmafokusquelle (1) mit einer Kondensatorbank (2), die in der Zeit zwischen den Entladungen elektrisch aufgeladen wird.

Die von dem Plasmafokus (1a) ausgehende Röntgenstrahlung wird mit Hilfe eines Spiegelkondensors (3) auf das auf einen Objektträger (4) aufgelegte Objekt fokussiert. Der Spiegelkondensor (3) hat die Form eines Rotationsellipsoids und reflektiert die auf seine Spiegelflächen auffallende Röntgenstrahlung unter streifendem Einfall. An beiden Enden ist der Spiegelkondensor (3) durch je eine Folie (15) und (16) abgeschlossen, die die empfindlichen Spiegeloberflächen gegen Verschmutzung schützt. Die Folien sind aus einem im Spektralbereich der Röntgenstrahlung möglichst schwach absorbierenden Material wie z.B. Polyimid hergestellt.

Über der Objektebene ist eine sogenannte Mikrozonplattenplatte (5) angeordnet. Diese Mikrozonplattenplatte stellt die eigentliche Abbildungsoptik des Röntgenmikroskops dar. Ihr Abstand von der Objektebene ist in der Darstellung stark übertrieben. Tatsächlich besitzt die Mikrozonplattenplatte etwa einen Durchmesser von 20 - 50 μm und befindet sich nur wenige zehntel mm über dem zu untersuchenden Objekt.

Die Mikrozonplattenplatte (5) bildet das Objekt stark vergrößert auf einen Detektor (6) ab. Der Detektor (6) ist eine Festkörperkamera wie sie beispielsweise unter der Bezeichnung NXA 1011 von der Firma Valvo bezogen werden kann, und die für Röntgenstrahlen sensibilisiert ist, indem das Deckglas entfernt und die photoempfindliche Fläche mit einem Fluoreszenzfarbstoff wie z.B. $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ belegt wurde.

Die CCD-Kamera (6) ist an einem Träger (7) befestigt, der wie durch den Pfeil angedeutet entlang der optischen Achse mit Hilfe einer Einstellvorrichtung (8) zum Zwecke der Fokussierung verschoben werden kann.

Die vorstehend beschriebenen Bauteile des Röntgenmikroskops befinden sich in einer auf die Kondensa-

torbank (2) aufgebauten zylindrischen Säule (9), die unter Vakuum steht oder mit einem im Bereich der verwendeten Röntgenstrahlung nur schwach absorbierenden Gas wie z.B. Helium oder Wasserstoff gefüllt ist.

Die Signalleitungen der CCD-Kamera (6) sind durch die Einstellvorrichtung (8) hindurchgeführt und an eine Elektronikeinheit (10) angeschlossen, die das Auslesen des Bildes aus der CCD-Kamera (6) besorgt. Diese Kameraelektronik (10) ist über eine Steuereinheit (11) mit der nicht näher dargestellten Elektronik für den Betrieb der Plasmafokusquelle synchronisiert derart, daß nach jedem von der Plasmafokusquelle (1) abgegebenen Röntgenpuls jeweils ein Bild eingelesen und in einem Bildspeicher (13) abgelegt wird. Die dort abgespeicherten Bilder können dann mittels eines ebenfalls an die Elektronikeinheit (10) angeschlossenen Monitors (12) betrachtet werden.

Es ist klar, daß im Rahmen der Erfindung Abwandlungen von dem hier im Detail beschriebenen Aufbau möglich sind. So kann anstelle der CCD-Kamera (7) auch eine Röntgenfilmkassette verwendet sein. Weiterhin ist es möglich, anstelle des unter streifendem Einfall arbeitenden Spiegelkondensors in Form eines Rotationsellipsoids andere Spiegeloptiken, beispielsweise eine Spiegelanordnung vom sogenannten Schwarzschildtyp zu verwenden.

Patentansprüche

Patentansprüche für folgende Vertragsstaaten : CH, LI, SE, AT

1. Röntgenmikroskop mit

- einer gepulsten, eine intensive Linienstrahlung bei einer dominanten Emissionswellenlänge liefernden Röntgenquelle (1),
- einem Spiegelkondensor (3), der die Strahlung der Röntgenquelle (1) auf das zu untersuchende Objekt (4) fokussiert und mit
- einer als Zonenplatte ausgebildeten Röntgenoptik (5), die das Objekt (4) mit hoher Auflösung vergrößert auf einen Röntgendetektor (6) abbildet.

2. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei die Spiegelfläche des Spiegelkondensors (3) mit einer Vielfachschicht zur Erhöhung des Reflexionsvermögens belegt ist.

3. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei der Spiegelkondensor (3) die Röntgenstrahlung unter streifendem Einfall fokussiert.

4. Röntgenmikroskop nach Anspruch 3, wobei der Spiegelkondensor (3) ein Segment eines Ellipsoids ist.

5. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei die Röntgenquelle (1) eine Plasmafokusquelle ist.

6. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei die Zonenplatte (5) eine Phasenzonenplatte ist.

7. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei der Spiegelkondensor (3) durch eine Folie (15, 16) geschützt ist, durch die der Röntgenstrahl hindurchtritt.

8. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei der Spiegelkondensor (3) die Röntgenquelle (1a) direkt auf bzw. in das Objekt (4) abbildet.

9. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei der Detektor (6) eine Halbleiterkamera ist.

10. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei eine Elektronik (11) vorgesehen ist, über die der Detektor (6) und die gepulste Röntgenquelle (1) synchronisiert sind, derart daß jeweils nach einem Röntgenpuls ein Bild aus dem Röntgendetektor (6) ausgelesen wird.

11. Verfahren zur Erzeugung von hochaufgelösten mikroskopischen Bildern im Lichte von Röntgenstrahlung wobei

- die Strahlung einer gepulsten Röntgenstrahlquelle mittels eines Spiegelkondensors auf das Objekt fokussiert wird,
- jeweils ein Bild des Objekts mit einem ausgelösten Röntgenpuls erzeugt wird,
- die Kamera, auf die das mikroskopische Objekt von einer Zonenplatte abgebildet wird, synchron mit der gepulsten Röntgenstrahlquelle jeweils nach einem erzeugten Röntgenpuls ausgelesen wird.

Patentansprüche für folgende Vertragsstaaten : DE, FR, GB, NL

1. Röntgenmikroskop mit

- einer gepulsten, eine intensive Linienstrahlung bei einer dominanten Emissionswellenlänge liefernden Röntgenquelle (1),
- einem Spiegelkondensor (3), der die Strahlung der Röntgenquelle (1) auf das zu untersuchende Objekt (4) fokussiert und mit

- einer als Zonenplatte ausgebildeten Röntgenoptik (5), die das Objekt (4) mit hoher Auflösung vergrößert auf einen Röntgendetektor (6) abbildet, wobei der Röntgendetektor (6) eine Halbleiterkamera ist.
2. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei die Spiegelfläche des Spiegelkondensors (3) mit einer Vielschicht zur Erhöhung des Reflexionsvermögens belegt ist. 10
 3. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei der Spiegelkondensor (3) die Röntgenstrahlung unter streifendem Einfall fokussiert. 15
 4. Röntgenmikroskop nach Anspruch 3, wobei der Spiegelkondensor (3) ein Segment eines Ellipsoids ist.
 5. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei die Röntgenquelle (1) eine Plasmafokusquelle ist. 20
 6. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei die Zonenplatte (5) eine Phasenzonenplatte ist.
 7. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei der Spiegelkondensor (3) durch eine Folie (15, 16) geschützt ist, durch die der Röntgenstrahl hindurchtritt. 25
 8. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei der Spiegelkondensor (3) die Röntgenquelle (1) direkt auf bzw. in das Objekt (4) abbildet. 30
 9. Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, wobei eine Elektronik (11) vorgesehen ist, über die der Detektor (6) und die gepulste Röntgenquelle (1) synchronisiert sind, derart daß jeweils nach einem Röntgenpuls ein Bild aus dem Röntgendetektor (6) ausgelesen wird. 35
 10. Verfahren zur Erzeugung von hochaufgelösten mikroskopischen Bildern im Lichte von Röntgenstrahlung wobei 40
 - die Strahlung einer gepulsten Röntgenstrahlquelle mittels eines Spiegelkondensors auf das Objekt fokussiert wird,
 - jeweils ein Bild des Objekts mit einem ausgelösten Röntgenpuls erzeugt wird und
 - die Kamera, auf die das mikroskopische Objekt von einer Zonenplatte abgebildet wird, synchron mit der gepulsten Röntgenstrahlquelle jeweils nach einem erzeugten Röntgenpuls ausgelesen wird. 45

Claims

Claims for the following Contracting States : CH, LI, SE, AT

1. X-ray microscope comprising
 - a pulsed, an intensive line radiation at a dominant emission wavelength generating X-ray source (1),
 - a mirror condenser (3) which focuses the radiation supplied by the X-ray source (1) on the specimen (4) to be investigated and with
 - an X-ray optic (5) which is designed as a zone plate and images the specimen (4) with high resolution enlarged on an X-ray detector (6).
2. X-ray microscope of claim 1, wherein the reflecting surface of the mirror condenser (3) is covered by multi layers for enhancing the reflectivity.
3. X-ray microscope of claim 1, wherein the mirror condenser (3) focuses the X-radiation in grazing incidence.
4. X-ray microscope of claim 3, wherein the mirror condenser (3) is a segment of an ellipsoid.
5. X-ray microscope of claim 1, wherein the X-ray source (1) is a plasma focus source.
6. X-ray microscope of claim 1, wherein the zone plate (5) is a phase zone plate.
7. X-ray microscope of claim 1, wherein the mirror condenser (3) is protected by a foil (15, 16) through which the X-radiation passes.
8. X-ray microscope of claim 1, wherein the mirror condenser (3) images the X-ray source (1a) directly on or in the specimen (4).
9. X-ray microscope of claim 1, wherein the detector (6) is a semi-conductor camera.
10. X-ray microscope of claim 1, wherein an electronic unit (11) is provided by means of which the detector (6) and the pulsed X-ray source (1) are synchronized in a manner that an image is read out of the X-ray detector (6) after a single X-ray pulse.
11. Method for generating a highly resolved microscopic image in the light of X-radiation wherein
 - the radiation of a pulsed X-ray source is focused

by means of a mirror condenser on the specimen,

- an image of the specimen is generated by a single released X-ray pulse,
- a camera on which the microscopic specimen is imaged by a zone plate and which camera is read out synchronized with the pulsed X-ray source after a single generated X-ray pulse.

Claims for the following Contracting States : DE, FR, GB, NL

1. X-ray microscope comprising

- a pulsed, an intensive line radiation at a dominant emission wavelength generating X-ray source (1),
- a mirror condenser (3) which focuses the radiation supplied by the X-ray source (1) on the specimen (4) to be investigated and with
- an X-ray optic (5) which is designed as a zone plate and images the specimen (4) with high resolution enlarged on an X-ray detector (6), wherein the X-ray detector (6) is a semi-conductor camera.

2. X-ray microscope of claim 1, wherein the reflecting surface of the mirror condenser (3) is covered by multi layers for enhancing the reflectivity.

3. X-ray microscope of claim 1, wherein the mirror condenser (3) focuses the X-radiation in grazing incidence.

4. X-ray microscope of claim 3, wherein the mirror condenser (3) is a segment of an ellipsoid.

5. X-ray microscope of claim 1, wherein the X-ray source (1) is a plasma focus source.

6. X-ray microscope of claim 1, wherein the zone plate (5) is a phase zone plate.

7. X-ray microscope of claim 1, wherein the mirror condenser (3) is protected by a foil (15, 16) through which the X-radiation passes.

8. X-ray microscope of claim 1, wherein the mirror condenser (3) images the X-ray source (1a) directly on or in the specimen (4).

9. X-ray microscope of claim 1, wherein an electronic unit (11) is provided by means of which the detector

(6) and the pulsed X-ray source (1) are synchronized in a manner that an image is read out of the X-ray detector (6) after a single X-ray pulse.

10. Method for generating a highly resolved microscopic image in the light of X-radiation, wherein

- the radiation of a pulsed X-ray source is focused by means of a mirror condenser on the specimen,
- an image of the specimen is generated by a single released X-ray pulse,
- a camera on which the microscopic specimen is imaged by a zone plate and which camera is read out synchronized with the pulsed X-ray source after a single generated X-ray pulse.

Revendications

Revendications pour les Etats contractants suivants : CH, LI, SE, AT

1. Microscope à rayons X comprenant

- une source de rayons X pulsée (1) émettant un rayonnement à spectre de raie intense à une longueur d'onde dominante,
- un condenseur à miroirs (3) focalisant le rayonnement émis par la source de rayons X (1) sur l'objet à explorer (4),
- et une optique à rayons X constituée par une lentille zonée (5) reproduisant l'objet (4) à plus grande échelle et avec une résolution élevée sur un détecteur de rayons X (6).

2. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où la surface réfléchissante du condenseur à miroirs (3) est dotée d'un revêtement multicouches qui en accroît le pouvoir réfléchissant.

3. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où le condenseur à miroirs (3) focalise les rayons X par incidence rasante.

4. Microscope à rayons X selon la revendication 3, où le condenseur à miroirs (3) a la forme d'un segment d'ellipsoïde.

5. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où la source de rayons X (1) est constituée par une source à foyer plasma.

6. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où

la lentille zonée (5) est une lentille zonée à effet de déphasage.

7. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où le condenseur à miroirs (3) est protégé par des feuilles (15, 16) laissant passer les rayons X.

8. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où le condenseur à miroirs (3) reproduit la source de rayons X (1a) directement sur l'objet (4).

9. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où le détecteur est une caméra à semiconducteurs.

10. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où une électronique (11) est prévue qui synchronise le détecteur (6) avec la source de rayons X pulsée (1), de manière à ce qu'une image captée par le détecteur soit enregistrée respectivement après chaque impulsion de rayons X.

11. Procédé servant à générer des images microscopiques de haute résolution avec des rayons X, où

- le rayonnement d'une source de rayons X pulsée est focalisé sur l'objet à l'aide d'un condenseur à miroirs,
- une image de l'objet est produite respectivement à chaque déclenchement d'une impulsion de rayons X,
- l'image de la caméra, sur laquelle la lentille zonée reproduit l'objet microscopique examiné, est enregistrée respectivement à la suite d'une impulsion de rayons X, en synchronisation avec la source de rayons X pulsée.

Revendications pour les Etats contractants suivants : DE, FR, GB, NL

1. Microscope à rayons X comprenant

- une source de rayons X pulsée (1) émettant un rayonnement à spectre de raie intense à une longueur d'onde dominante,
- un condenseur à miroirs (3) focalisant le rayonnement émis par la source de rayons X (1) sur l'objet à explorer (4),
- et une optique à rayons X constituée par une lentille zonée (5) reproduisant l'objet (4) à plus grande échelle et avec une résolution élevée sur un détecteur de rayons X (6), où le détecteur est une caméra à semiconducteurs.

2. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où la surface réfléchissante du condenseur à miroirs

(3) est dotée d'un revêtement multicouches qui en accroît le pouvoir réfléchissant.

3. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où le condenseur à miroirs (3) focalise les rayons X par incidence rasante.

4. Microscope à rayons X selon la revendication 3, où le condenseur à miroirs (3) a la forme d'un segment d'ellipsoïde.

5. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où la source de rayons X (1) est constituée par une source à foyer plasma.

6. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où la lentille zonée (5) est une lentille zonée à effet de déphasage.

7. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où le condenseur à miroirs (3) est protégé par des feuilles (15, 16) laissant passer les rayons X.

8. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où le condenseur à miroirs (3) reproduit la source de rayons X (1a) directement sur l'objet (4).

9. Microscope à rayons X selon la revendication 1, où une électronique (11) est prévue qui synchronise le détecteur (6) avec la source de rayons X pulsée (1), de manière à ce qu'une image captée par le détecteur soit enregistrée respectivement après chaque impulsion de rayons X.

10. Procédé servant à générer des images microscopiques de haute résolution avec des rayons X, où

- le rayonnement d'une source de rayons X pulsée est focalisé sur l'objet à l'aide d'un condenseur à miroirs,
- une image de l'objet est produite respectivement à chaque déclenchement d'une impulsion de rayons X,
- l'image de la caméra, sur laquelle la lentille zonée reproduit l'objet microscopique examiné, est enregistrée respectivement à la suite d'une impulsion de rayons X, en synchronisation avec la source de rayons X pulsée.

