



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.06.2012 Patentblatt 2012/23

(51) Int Cl.:
G21K 1/06^(2006.01) G01N 23/20^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11191307.5**

(22) Anmeldetag: **30.11.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Brügemann, Lutz**
76448 Durmersheim (DE)
• **Michaelson, Carsten**
21502 Geesthacht (DE)

(30) Priorität: **06.12.2010 DE 102010062472**

(74) Vertreter: **Kohler Schmid Möbus**
Patentanwälte
Ruppmannstraße 27
70565 Stuttgart (DE)

(71) Anmelder: **Bruker AXS GmbH**
76187 Karlsruhe (DE)

(54) **Punkt-Strich-Konverter**

(57) Die Erfindung betrifft eine röntgenoptische Anordnung zum Beleuchten einer Probe (1) mit einem Röntgenstrahl, der einen strichförmigen Querschnitt aufweist, wobei die Anordnung eine Röntgenquelle (2) sowie eine strahlkonditionierende Röntgenoptik enthält, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass die Röntgenquelle (2) eine brillante Punktquelle (4) umfasst, und dass die Röntgenoptik ein röntgenoptisches Element (3) umfasst, wel-

ches von der Punktquelle ausgehendes Röntgenlicht so konditioniert, dass der Röntgenstrahl bezüglich einer Richtung senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung parallelisiert wird und bezüglich einer dazu sowie zur Strahlausbreitungsrichtung senkrechten Richtung divergent bleibt. Durch ein solches röntgenoptisches Element können sowohl punkt- als auch strichförmige Strahlgeometrien genutzt werden, ohne dass ein komplizierter und zeitaufwendiger Umbau vorgenommen werden muss.

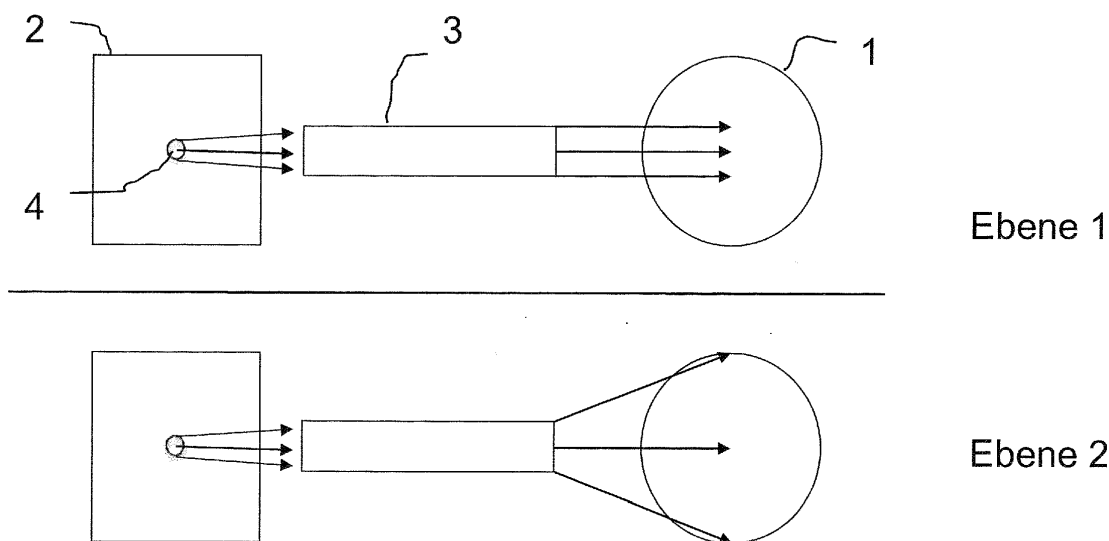


Fig. 1

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine röntgenoptische Anordnung zum Beleuchten einer Probe mit einem Röntgenstrahl, der einen strichförmigen Querschnitt aufweist, wobei die Anordnung eine Röntgenquelle sowie eine strahlkonditionierende Röntgenoptik enthält

[0002] Eine derartige ist etwa bekannt aus dem Bruker AXS Prospect "Super Speed Solutions" (2003 Bruker AXS, Karlsruhe).

[0003] In der Röntgendiffraktometrie (XRD) werden an dreidimensionalen periodischen Strukturen auf atomarer Skala (Kristalle) gemäß dem Bragg'schen Gesetz Interferenzen (Reflexe) erzeugt. Die Winkel-Lage der Reflexe und deren Intensität enthalten wichtige Informationen über die atomare- und Mikrostruktur der zu untersuchenden Substanzen.

[0004] Punktquellen kommen in der Röntgendiffraktometrie zur Anwendung, wenn punktförmige Objekte untersucht werden sollen, etwa kleine Kristalle mit Kantenlängen von 10 bis 100 Mikrometer, oder falls auf größeren Probenoberflächen wie Halbleiterwafer mit lokaler Auflösung bis hinunter zu einigen wenigen 10 Mikrometerquadrat gemessen werden soll.

[0005] Strichquellen kommen hingegen zur Anwendung, wenn man größere Probenoberflächen untersuchen will. Dies ist typisch für die Verwendung der Bragg-Brentano Geometrie zur Ermittlung von kristallinen Phasen in einer Probe, aber auch in der Hochauflösungsdiffraktometrie und -Reflektometrie. Die Nutzung von Strichquellen hat üblicherweise zwei Vorteile: erstens werden die von der Kathode kommenden Elektronen und damit der Strom über eine größere Fläche auf der Anode verteilt (zum Beispiel $0.4 \times 12 \text{ mm}^2$ bei einer Langfeinfokus Röhre). Somit kann typischerweise eine sehr hohe Leistung eingeprägt werden, ohne dass die Anode aufgrund der Wärmebelastung schmilzt. Der zweite Vorteil ergibt sich daraus, dass der Röntgenstrahl üblicherweise unter einem Winkel von der Anode abgenommen wird, welcher bei kommerziellen Metall-Keramik Röhren etwa 6° ist. Dadurch ist der sichtbare Brennfleck nur noch $0.04 \times 12 \text{ mm}^2$, und gerade die 0.04 mm wirken sich dadurch aus, dass die erzielte Winkelauflösung im Diffraktionsexperiment viel besser ist, als bei vergleichbaren Punktquellen.

[0006] Die $0.4 \times 12 \text{ mm}^2$ Röntgenröhre besitzt ein zweites Röntgendurchlässiges Fenster, 90° zum Strichfokusfenster. Unter 6° Abgriffwinkel ist dann der Brennfleck $0.4 \times 1.2 \text{ mm}^2$ groß. Der Röntgenstrahlfluß ist exakt genau so groß, wie durch das Fenster für den Strichfokus, aber durch die größere Ausdehnung des Brennflecks in x-Richtung ist die Winkelauflösung im Experiment deutlich schlechter. Allerdings gibt es auch Diffraktionsexperimente, wie etwa Textur oder Eigenspannung, bei denen es nicht auf die Winkelauflösung ankommt.

[0007] Punktquellen, die eine vergleichbare Auflösung

wie die Strichquellen liefern würden, müssten also einen etwa $0.04 \times 0.04 \text{ mm}^2$ Brennfleck haben. Das sind Mikrofokusquellen, die allerdings dann nur bei 50 W funktionieren, weil die Flächenbelastung mit Elektronen sonst die Anode zum Schmelzen bringen würde.

[0008] Zusätzlich trägt beim Strichfokus mehr Probenmaterial zur Streuung bei, wodurch mehr Strahlung gestreut wird, das Signal wird also größer - wodurch wiederum Messzeit gespart und/oder das Signal-zu-Rausch-Verhältnis verbessert werden kann.

[0009] Um die gesamte Bandbreite der Messmethoden von dünnen Schichten, Mikro- und Nanostrukturen mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie durchführen zu können, muss bei handelsüblichen Röntgendiffraktometern zwischen Strichfokus- und Punktfokusquellen umgebaut werden. Ein solcher Umbau ist extrem aufwendig und zeitintensiv, da entweder bei Glas-Keramik Röhren die Röntgenröhre gedreht werden muss oder bei Drehanoden Kathode, Filament und Einbaueinrichtung geändert werden müssen. Entsprechend müssen die dazugehörigen Optiken getauscht und meist aufwendig neu justiert werden. Dies behindert insbesondere den Einsatz von Mikrofokusquellen oder anderen brillanten Röntgenquellen.

Aufgabe der Erfindung

[0010] Die vorliegende Erfindung soll es ermöglichen, sowohl punkt- als auch strichförmige Strahlgeometrien zu nutzen, ohne dass ein komplizierter und zeitaufwendiger Umbau vorgenommen werden muss.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0011] Diese Aufgabe löst die Erfindung auf überraschend einfache und wirkungsvolle Weise dadurch, dass die Röntgenquelle eine brillante Punktquelle ist, und dass die Röntgenoptik ein röntgenoptisches Element umfasst, welches von der Punktquelle ausgehendes Röntgenlicht so konditioniert, dass der Röntgenstrahl bezüglich einer Richtung senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung parallelisiert wird und bezüglich einer dazu sowie zur Strahlausbreitungsrichtung senkrechten Richtung divergent bleibt.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

[0012] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform gilt für das Aspektverhältnis A_Q der Punktquelle $1 \leq A_Q \leq 1.5$ und für das Aspektverhältnis A_S des Strahlquerschnitts im Bereich der Probe $A_S \geq 2$.

[0013] Vorteilhaft ist eine Ausführungsform, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass das röntgenoptische Element eine Kirkpatrick-Baez Spiegelanordnung umfasst.

[0014] Alternativ dazu ist eine Ausführungsform denkbar, bei welcher das röntgenoptische Element eine Montel Spiegelanordnung umfasst.

[0015] Bevorzugt ist auch eine Ausführungsform bei der das röntgenoptische Element um die Achse der Strahlausbreitungsrichtung drehbar, insbesondere um 90° drehbar ist.

[0016] Eine weitere Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass die brillante Punktquelle eine Drehanode oder eine Mikrofokusquelle oder eine flüssig-Metall-Anordnung umfasst.

[0017] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist im Bereich der Probe eine Blende angeordnet, die den Röntgenstrahl mit strichförmigem Querschnittsprofil auf ein Strahlprofil mit punktförmigem Strahlquerschnitt abblendet.

[0018] Vorteilhaft ist ebenfalls eine Ausführungsform, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die fokussierende Röntgenoptik aus dem röntgenoptischen Element besteht.

[0019] Als Alternative dazu ist eine Ausführungsform zu bevorzugen, bei welcher zwischen dem röntgenoptischen Element und der Probe ein Monochromator angeordnet ist.

[0020] Die Erfindung umfasst auch ein Röntgenoptisches Element, welches zum Einsatz in einer erfindungsgemäßen röntgenoptischen Anordnung geeignet ist und dadurch gekennzeichnet ist, dass das röntgenoptische Element einen Punkt auf einen Strichfokus abbilden kann.

[0021] Zur Nutzung der Erfindung ist ein Röntgenanalysegerät mit einer erfindungsgemäßen röntgenoptischen Anordnung erforderlich.

[0022] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Zeichnungen und detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0023] Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Schnitts in Längsrichtung durch die erfindungsgemäße Vorrichtung.

[0024] In Fig. 1 ist die erfindungsgemäße Vorrichtung schematisch dargestellt. Die Darstellung entspricht einem Schnitt in Längsrichtung durch die erfindungsgemäße Vorrichtung. Die **Probe 1** wird durch Röntgenlicht beleuchtet, welches von der **Röntgenquelle 2** durch das erfindungsgemäße **Röntgenoptische Element 3** propagiert. Die Röntgenquelle 2 umfasst eine **brillante Punktquelle 4**.

[0025] Zwei zueinander senkrechte Ebenen sind in

Fig. 1 dargestellt. In Ebene 1 sind die Strahlengänge des Röntgenlichts, welches das Röntgenoptische Element 3 verlässt, parallel. In der dazu senkrechten Ebene 2 sind die Strahlengänge des Röntgenlichts, welches das Röntgenoptische Element 3 verlässt, divergent. Dadurch entsteht am Ort der Probe 1 eine strichförmige Form des Strahlenbündels.

Bezugszeichenliste

[0026]

- 1 Probe
- 2 Röntgenquelle
- 3 Röntgenoptisches Element
- 4 Brillante Punktquelle

Patentansprüche

1. Röntgenoptische Anordnung zum Beleuchten einer Probe (1) mit einem Röntgenstrahl, der einen strichförmigen Querschnitt aufweist, wobei die Anordnung eine Röntgenquelle (2) sowie eine strahlkonditionierende Röntgenoptik enthält **dadurch gekennzeichnet, dass** die Röntgenquelle (2) eine brillante Punktquelle (4) umfasst, und dass die Röntgenoptik ein röntgenoptisches Element (3) umfasst, welches von der Punktquelle ausgehendes Röntgenlicht so konditioniert, dass der Röntgenstrahl bezüglich einer Richtung senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung parallelisiert wird und bezüglich einer dazu sowie zur Strahlausbreitungsrichtung senkrechten Richtung divergent bleibt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für das Aspektverhältnis A_Q der Punktquelle $1 \leq A_Q \leq 1,5$ und für das Aspektverhältnis A_S des Strahlquerschnitts im Bereich der Probe (1) $A_S \geq 2$ gilt.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das röntgenoptische Element (3) eine Kirkpatrick-Baez Spiegelanordnung umfasst.
4. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das röntgenoptische Element (3) eine Montel Spiegelanordnung umfasst.
5. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das röntgenoptische Element (3) um die Achse der Strahlausbreitungsrichtung drehbar, insbesondere um 90°

drehbar ist.

6. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die brillante Punktquelle (4) eine Drehanode oder eine Mikrofokusquelle oder eine flüssig-Metall-Anordnung umfasst. 5
7. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich der Probe (1) eine Blende angeordnet ist, die den Röntgenstrahl mit strichförmigem Querschnittsprofil auf ein Strahlprofil mit punktförmigem Strahlquerschnitt abbildet. 10
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die fokussierende Röntgenoptik aus dem röntgenoptischen Element (3) besteht. 15
9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem röntgenoptischen Element (3) und der Probe (1) ein Monochromator angeordnet ist. 20
10. Röntgenoptisches Element (3) geeignet zum Einsatz in einer röntgenoptischen Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das röntgenoptische Element (3) einen Punkt auf einen Strichfokus abbilden kann. 25
11. Röntgenanalysegerät mit einer röntgenoptischen Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche. 30

35

40

45

50

55

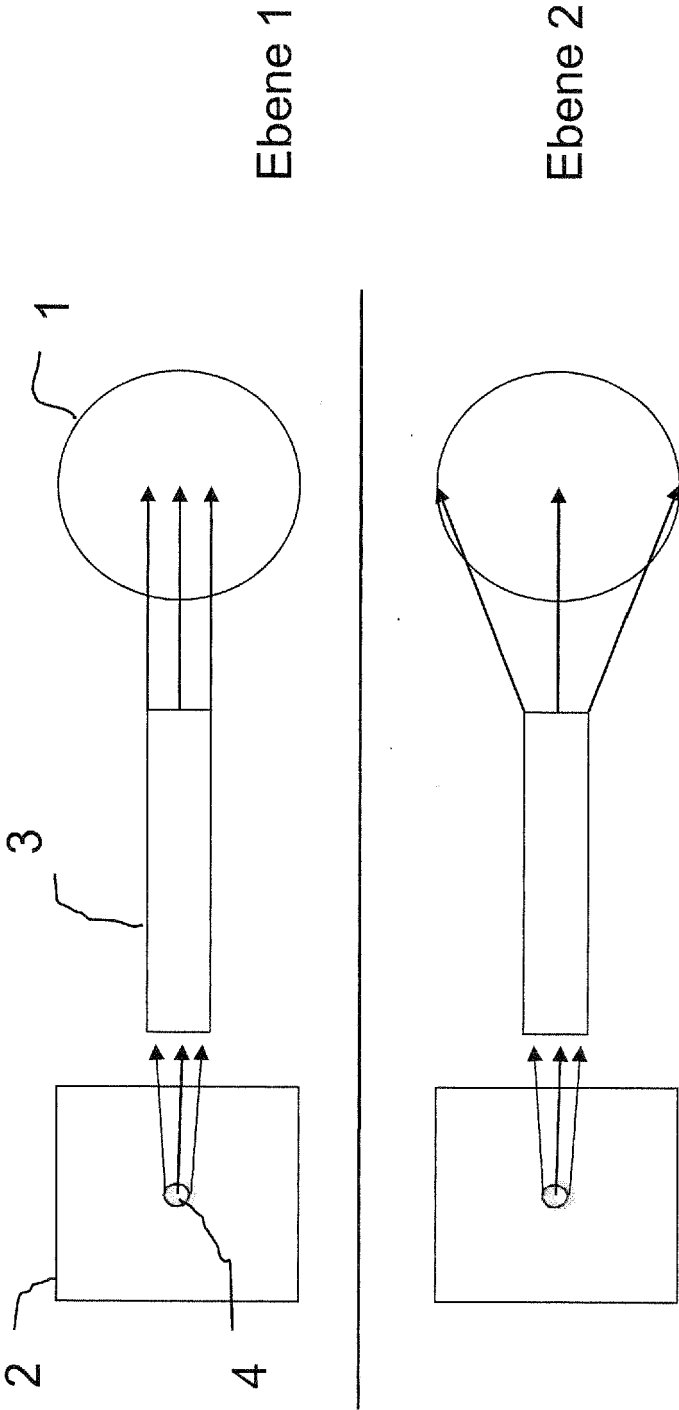


Fig. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 11 19 1307

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2004/136102 A1 (CHO SANG JIN [KR] ET AL) 15. Juli 2004 (2004-07-15) * Abbildung 3a *	1	INV. G21K1/06 G01N23/20
A	----- SCHUSTER M ET AL: "PARALLEL-BEAM COUPLING INTO CHANNEL-CUT MONOCHROMATORS USING CURVED GRADED MULTILAYERS", JOURNAL OF PHYSICS D. APPLIED PHYSICS, IOP PUBLISHING, BRISTOL, GB, Bd. 28, Nr. 4A, 14. April 1995 (1995-04-14), Seiten A270-A275, XP000538736, ISSN: 0022-3727, DOI: 10.1088/0022-3727/28/4A/053 -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G21K G01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 22. Februar 2012	Prüfer Oestreich, Sebastian
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 11 19 1307

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

22-02-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004136102 A1	15-07-2004	FR 2849930 A1	16-07-2004
		JP 3830908 B2	11-10-2006
		JP 2004219393 A	05-08-2004
		KR 20040065673 A	23-07-2004
		US 2004136102 A1	15-07-2004

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82