



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 15 346 T2 2005.11.10**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 200 967 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G21K 1/06**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 15 346.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/21060**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 952 405.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/009904**

(86) PCT-Anmeldetag: **01.08.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **08.02.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **27.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.11.2005**

(30) Unionspriorität:

366028 02.08.1999 US

(73) Patentinhaber:

Osmic, Inc., Troy, Mich., US

(74) Vertreter:

Patentanwälte Dr. Solf & Zapf, 81543 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**JIANG, Licai, Rochester Hills, US; VERMAN, Boris,
Bloomfield Hills, US**

(54) Bezeichnung: **MEHRSCICHTIGE OPTIK MIT ABSTIMMBAREN BETRIEBSWELLENLÄNGEN**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen elektromagnetischen Reflektor zum Reflektieren elektromagnetischer Wellen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine reflektierende Mehrschicht-Röntgenstrahlen-Optik mit einstellbaren Arbeitswellenlängen.

[0002] Röntgenstrahlen-Optiken werden in zahlreichen Anwendungen eingesetzt, wie etwa bei der Röntgenstrahlen-Beugungsanalyse und -Spektroskopie, die das Ausrichten, Fokussieren, Kollimieren bzw. Monochromatisieren von Röntgenstrahlenenergie, ausgehend von einer Röntgenstrahlenquelle erfordern. Die Familie von Röntgenstrahlen-Optiken oder -Reflektoren, die in derartigen Anwendungen zum Einsatz kommen, umfassen aktuell: Total-Reflexionsspiegel mit einer reflektierenden Oberfläche, die mit Gold, Kupfer, Nickel, Platin oder anderen ähnlichen Elementen beschichtet ist; Kristall-Beugungselemente, wie etwa Graphit, und Mehrschicht-Strukturen.

[0003] Die reflektierenden Oberflächen der vorliegenden Erfindung sind als Mehrschicht- bzw. d-gestufte bzw. -gradierte Mehrschicht-Röntgenstrahlen-Reflexionsflächert konfiguriert; Mehrschichtstrukturen reflektieren ausschließlich Röntgenstrahlenbeugung, wenn die Bragg'sche Gleichung erfüllt ist:

$$n\lambda = 2d\sin(\theta)$$

wobei

n = Reflexionsordnung

λ = Wellenlänge der einfallenden Strahlen

d = Schichtabstand einer Bragg-Struktur bzw. Gitterabstand eines Kristalls

θ = Einfallswinkel

[0004] Mehrschicht- bzw. d-gestufte Mehrschichtreflektoren/Spiegel sind Optiken, welche ihre inhärente Mehrschichtstruktur nutzen, um schmalbandige oder monochromatische Röntgenstrahlung zu reflektieren. Die Mehrschichtstruktur der vorliegenden Erfindung umfasst Leichtelementschichten, relativ niedriger Elektronendichte, die abwechselnd mit Schwerelementschichten relativ hoher Elektronendichte, wobei beide Schichten den d -Abstand der Mehrfachschicht festlegen. Die Bandbreite der reflektierten Röntgenstrahlung kann durch Manipulieren der optischen und der Mehrschichtparameter des Reflektors an die Belange eines Kunden angepasst werden. Der d -Abstand kann tiefe weise geändert werden, um den Bandpass des Mehrschichtspiegels zu steuern. Der d -Abstand des Mehrschichtspiegels kann auch durch laterale Gradierung derart zugeschnitten werden, dass die Bragg-Bedingung in jedem Punkt auf einem gekrümmten Mehrschichtreflektor erfüllt ist.

[0005] Gekrümmte Mehrschichtreflektoren, einschließlich parabolischen, elliptischen und anderweitig asphärisch geformten Reflektoren müssen das Bragg'sche Gesetz erfüllen, um eine bestimmte spezifische Röntgenstrahlenwellenlänge (auch als Energie bzw. Frequenz bezeichnet) zu reflektieren. Das Bragg'sche Gesetz muss in jedem Punkt auf einer Krümmung für eine definierte Kontur dieses reflektierenden Spiegels erfüllt sein. Unterschiedliche reflektierende Oberfläche erfordern einen unterschiedlichen d -Abstand zur Reflexion einer spezifischen Röntgenstrahlenwellenlänge. Dies bedeutet, dass der d -Abstand an die Krümmung eines Reflektors angepasst werden muss, um das Bragg'sche Gesetz derart zu erfüllen, dass die gewünschte Röntgenstrahlenwellenlänge reflektiert wird.

[0006] Da das Bragg'sche Gesetz erfüllt sein muss, sind der Einfallswinkel und der d -Abstand normalerweise festgelegt und dadurch ist die reflektierte bzw. die Arbeitswellenlänge nicht festgelegt.

[0007] Die US-A-5-825 844 offenbart einen elektromagnetischen Reflektor mit einer Mehrschichtstruktur, deren Krümmung variiert werden kann durch eine Bewegungsvorrichtung zum Reflektieren mehrerer elektromagnetischer Frequenzen.

[0008] Die US-A-4 958 363 offenbart einen elektromagnetischen Reflektor mit einer Mehrschichtstruktur, die einen d -Abstand aufweist, um mehrere elektromagnetische Frequenzen zu reflektieren.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Die vorliegende Erfindung stellt einen im Anspruch 1 festgelegten elektromagnetischen Reflektor be-

reit. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen festgelegt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHUNGEN

[0010] Die verschiedenen Vorteile der vorliegenden Erfindung erschließen sich dem Fachmann nach einem Studium der nachfolgenden Beschreibung und unter Bezug auf die Zeichnungen; in diesen zeigen:

[0011] [Fig. 1](#) eine schematische Querschnittsansicht eines Mehrschicht-Bragg-Reflektors,

[0012] [Fig. 2](#) eine schematische Querschnittsansicht eines Mehrschichtreflektors mit mehreren charakteristischen d-Abständen zur Reflexion mehrerer Röntgenstrahlenwellenlängen,

[0013] [Fig. 3](#) eine Querschnittsansicht eines parabolisch geformten Reflektors,

[0014] [Fig. 4](#) eine Querschnittsansicht eines elliptisch geformten Reflektors,

[0015] [Fig. 5](#) eine vergrößerte Querschnittsansicht in dem Kreis 5 von [Fig. 3](#),

[0016] [Fig. 6](#) eine vergrößerte Querschnittsansicht in dem Kreis 6 von [Fig. 3](#),

[0017] [Fig. 7](#) eine vergrößerte Querschnittsansicht in dem Kreis 7 von [Fig. 4](#),

[0018] [Fig. 8](#) eine vergrößerte Querschnittsansicht in dem Kreis 8 von [Fig. 4](#),

[0019] [Fig. 9](#) eine schematische Ansicht der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reflektors unter Darstellung seiner variablen Krümmung und seiner Fähigkeit, unterschiedliche Röntgenstrahlenwellenlängen zu reflektieren,

[0020] [Fig. 10](#) eine schematische Ansicht einer in der vorliegenden Erfindung verwendeten Biegeeinrichtung,

[0021] [Fig. 11](#) eine Querschnittsansicht der zweiten Ausführungsform des Reflektors der vorliegenden Erfindung mit einer festgelegten Krümmung, die so konfiguriert ist, dass sie eine Mehrzahl von festgelegten d-Abständen einschließt und lateral gestuft ist, so dass sie mehrere Röntgenstrahlenwellenlängen zu reflektieren vermag, und

[0022] [Fig. 12](#) eine Draufsicht der dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reflektors mit streifenartigen Abschnitten, die unterschiedliche d-Abstände derart aufweisen, dass der Reflektor mehrere Röntgenstrahlenfrequenzen zu reflektieren vermag.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0023] [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines Mehrschichtreflektors **10**. Der Mehrschichtreflektor **10** ist auf einem Substrat **12** abgeschieden und umfasst mehrere Schichtsätze mit einer Dicke d. Jeder Schichtsatz **14** besteht aus zwei getrennten Schichten unterschiedlicher Materialien; eines mit relativ hoher Elektronendichte und eines mit relativ niedriger Elektronendichte. Im Betrieb fällt die Elektronenstrahlung **13** auf dem Mehrschichtreflektor **10** ein und eine schmalbandige bzw. allgemein monochromatische Strahlung **16** wird in Übereinstimmung mit dem Bragg'schen Gesetz reflektiert.

[0024] [Fig. 12](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer Mehrschichtstruktur **18** mit mehreren charakteristischen d-Abständen d1 und d2, die in Tiefenrichtung variieren, und als Tiefenstufung bzw. Tiefengradierung definiert sind. Die Mehrschichtstruktur **18** kann aufgrund der charakteristischen d-Abstände d1 und d2 mehrere Röntgenstrahlenwellenlängen reflektieren (d.h., unterschiedliche d-Abstand-Gruppen, um einen charakteristischen Bereich reflektierter Wellenlängen zu ermöglichen). Im Betrieb fällt polychromatische Röntgenstrahlung **20** auf der Oberfläche der Mehrschichtstruktur ein und niederenergetische Röntgenstrahlen **22** werden durch die relativ dickeren d-Abstände d2 reflektiert und hochenergetische Röntgenstrahlen **24** werden durch die relativ dünneren d-Abstände d1 reflektiert.

[0025] [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) zeigen neue Querschnittsansichten von Mehrschicht-Optiken feststehender Krümmung **26** und **28**, die üblicherweise lediglich eine einzige Röntgenstrahlenwellenlänge reflektieren können. [Fig. 3](#) zeigt die parabolisch geformte Mehrschicht-Optik **26**, welche Röntgenstrahlen kollimiert, welche durch

eine idealisierte Röntgenstrahlen-Punktquelle **30** erzeugt werden, und [Fig. 4](#) zeigt die elliptisch geformte Mehrschicht-Optik **28**, welche Röntgenstrahlen fokussiert, die durch eine Röntgenstrahlenquelle **32** in einem Brennpunkt **34** erzeugt werden. Die Krümmung und der d-Abstand der Optiken **26** und **28** sind dauerhaft konfiguriert, um das Bragg'sche Gesetz für eine charakteristische Wellenlänge in jedem Punkt auf der Oberfläche der Optiken **26** und **28** zu erfüllen.

[0026] [Fig. 5](#), [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) zeigen vergrößerte Querschnittsansichten der Mehrschichtoberflächen innerhalb von Kreisen **5**, **6**, **7** und **8** der [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#). Aus diesen Figuren ergibt sich die Variation des Einfallswinkels und die laterale Stufung des d-Abstands zur Erfüllung des Bragg'schen Gesetzes für eine spezifische Frequenz. In [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) umfasst die parabolische Optik **26** einen Einfallswinkel θ_1 und einen d-Abstand d_3 in einem Bereich seiner Oberfläche und einen Einfallswinkel θ_2 und einen d-Abstand d_4 in einem weiteren Bereich. Während diese Parameter unterschiedlich sind, ist das Ergebnis, dass diese Bereiche allgemein dieselbe Röntgenstrahlenwellenlänge in Übereinstimmung mit dem Bragg'schen Gesetz reflektieren. In [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) enthält die elliptische Optik **28** den Einfallswinkel θ_3 und den d-Abstand d_5 in einem Bereich seiner Oberfläche und den Einfallswinkel θ_4 und den d-Abstand d_6 in einem weiteren Bereich, der dieselbe Röntgenstrahlenwellenlänge reflektiert. Die Nachteile dieser Art von Reflektoren feststehender bzw. unveränderter Krümmung sind, dass sie ausschließlich dazu genutzt werden können, eine einzige Röntgenstrahlenwellenlänge bzw. ein schmales Band zu reflektieren.

[0027] Wie vorstehend diskutiert, erfordern Mehrschichtreflektoren unterschiedliche d-Abstand-Variationen für die Reflexion unterschiedlicher Röntgenstrahlenwellenlängen mit demselben Einfallswinkel, und der d-Abstand sollte mit der Oberflächenkrümmung (dem Einfallswinkel) übereinstimmen, um Röntgenstrahlen in Übereinstimmung mit dem Bragg'schen Gesetz zu reflektieren. Die vorliegende Erfindung stellt elektromagnetische Reflektoren bereit, die genutzt werden können, um mehrere Röntgenstrahlenwellenlängen im wesentlichen ohne Überlappung zu reflektieren.

[0028] Eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die in [Fig. 8](#) gezeigt ist, umfasst einen Mehrschichtreflektor mit variabler Krümmung und einen lateral gestuften d-Abstand. Wenn eine Mehrschicht bzw. Mehrfachschicht ein flacher Reflektor mit gleichmäßigem d-Abstand ist, kann der flache Reflektor gedreht werden, um Röntgenstrahlen unterschiedlicher Wellenlängen zu reflektieren, da der Einfallswinkel variiert bzw. sich ändert. Wenn eine Mehrfachschicht eine gekrümmte Oberfläche aufweist, muss der d-Abstand lateral gestuft sein, um das Bragg'sche Gesetz in jedem Punkt zu erfüllen. Der d-Abstand bzw. der Einfallswinkel können deshalb geändert werden, um die Röntgenstrahlenwellenlänge zu variieren, die von einem Mehrschichtreflektor reflektiert wird. Die folgende Diskussion und die folgenden Gleichungen demonstrieren, dass bestimmte Röntgenstrahlenwellenlängen der lateral gestufte d-Abstand eines Mehrschichtreflektors konstant bleiben können, während ausschließlich die Krümmung variiert wird, und die Krümmung eines Mehrschichtreflektors konstant bleiben kann und mehrere gradierte bzw. gestufte d-Abstände aufweisen kann, so dass die mehreren Röntgenstrahlenwellenlängen durch den Mehrschichtreflektor reflektiert werden können.

[0029] Für parabolische, elliptische und anderweitige asphärisch geformte Mehrschicht-Optiken kann entweder die d-Abstand-Variation der Mehrschichtbeschichtung oder die Krümmung der Optik derart manipuliert werden, dass die Mehrschicht-Optik Röntgenstrahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen reflektiert. Dem Bragg'schen Gesetz folgend ist der d-Abstand gegeben durch:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (1)$$

[0030] Hierbei ist θ der Einfallswinkel. Es kann gezeigt werden, dass $\sin \theta$ mit sehr genauer Approximation als Produkt aus einem Faktor "C" (eine willkürliche Konstante) mit einer üblichen bzw. allgemeinen Form geschrieben werden kann, die unabhängig von der Röntgenstrahlenergie ist. Derselbe d-Abstand kann für unterschiedliche Wellenlängen genutzt werden durch Ändern des Faktors C derart, dass λ/C eine Konstante ist. Damit kann $\sin \theta$, ermittelt durch die Konfiguration der Reflexionsfläche, beibehalten werden, wenn der d-Abstand proportional mit der Wellenlänge geändert wird, so dass

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2d} \quad (1b)$$

für unterschiedliche Wellenlängen aufrechterhalten wird.

[0031] Für einen parabolischen Spiegel kann die Krümmung der reflektierenden Oberfläche geschrieben werden als:

$$y = \sqrt{2pz} \quad (2)$$

wobei p der parabolische Parameter ist. Der genaue Einfallswinkel kann durch die folgende Formel gegeben werden:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{2px}}{x - \frac{p}{2}}\right) - \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{p}{2x}}\right)$$

wobei p allgemein bzw. üblicherweise eine Zahl in der Größenordnung von 0,1 ist, und wobei x allgemein bzw. üblicherweise im Bereich von mehreren zehn Millimetern bis mehreren 100 Millimetern liegt. Aufgrund der Tatsache, dass θ klein ist, so dass $\theta \approx \theta$, kann der Einfallswinkel geschrieben werden als

$$\theta = \sqrt{p} \frac{1}{\sqrt{2x}} \quad (3)$$

unter Verwendung der Kleinwinkelapproximation kann der d-Abstand ermittelt werden durch:

$$d = \frac{\lambda}{\sqrt{p}} \sqrt{\frac{X}{2}} \quad (4)$$

[0032] Aus den vorstehend genannten Gleichungen kann gezeigt werden, dass der d-Abstand für unterschiedliche reflektierte Wellenlängen aufrechterhalten werden kann durch Ändern der Krümmung bzw. des parabolischen Parameters (p) eines parabolisch geformten Mehrschichtreflektors.

[0033] Für einen elliptischen Spiegel ist die Reflexionsoberfläche durch folgende Formel beschreibbar:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (5)$$

[0034] Hierbei sind x und y Punkte in einem kartesischen Koordinatensystem und a bezeichnet die Hauptachse der Ellipse und b bezeichnet die Nebenachse der Ellipse. Der Einfallswinkel ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a\sqrt{a^2 - x^2}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{-2bs}{a\sqrt{a^2 - x^2}}\right)$$

wobei c durch folgende Gleichung definiert ist:

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

[0035] Für einen elliptischen Röntgenstrahlenspiegel ist der Nebenradius viel größer als der Hauptradius. Unter Verwendung der Kleinwinkelapproximation kann die vorstehende Gleichung wie folgt geschrieben werden:

$$\theta = \frac{q\sqrt{a^2 - x^2}}{x + a\sqrt{1 - q^2}} - \frac{-2qx}{\sqrt{a^2 - x^2}}$$

wobei $q = b/a$. Der d-Abstand ist deshalb durch folgende Gleichung gegeben:

$$d = \frac{\lambda}{q} \frac{1}{2\left(\frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{x + a} + \frac{2x}{\sqrt{a^2 - x^2}}\right)} \quad (6)$$

[0036] Aus den vorstehend genannten Formeln kann gezeigt werden, dass der d-Abstand und die Brennweitenposition beibehalten werden können, indem lediglich der Nebenachsenradius b geändert wird.

[0037] Außerdem ermitteln wir, wie der d-Abstand definiert ist, sowie die Wellenlängenabhängigkeit auf dem d-Abstand für einen Mehrschichtreflektor. Der in dieser Anwendung verwendete d-Abstand ist definiert unter Verwendung des Bragg'schen Gesetzes erster Ordnung ($n=1$), da Mehrfachschichten allgemein unter der Reflexion erster Ordnung arbeiten. Der "echte d-Abstand" bzw. der "geometrische d-Abstand" unterscheidet sich von dem "Bragg'schen d-Abstand erster Ordnung" aufgrund der Wirkungen der Beugung in der Mehrschichtstruktur. In den meisten Anwendungen wird eine Mehrschicht-Optik als Bragg'scher Reflektor erster Ordnung verwendet. Der Grund hierfür ist, dass der "d-Abstand" durch das Bragg'sche Gesetz erster Ordnung üblicherweise definiert ist und gemessen wird. Ein derartiger definierter d-Abstand ist derselbe für unterschiedliche Wellenlängen, wie in der nachfolgenden Diskussion gezeigt:

[0038] Der "echte-d-Abstand" d_r ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$d_r = d \left(1 - \frac{\delta}{\sin^2 \theta} \right) \quad (7)$$

wobei δ das optische Index-Dekrement ist. Eine Messung einer höheren Ordnung ergibt deshalb einen d-Abstand näher an dem "echten d-Abstand". Der optische Index ist proportional zum Quadrat der Wellenlänge und beträgt damit $\sin^2 \theta$. Die vorstehend genannte Gleichung wird zu folgender:

$$d_r = d (1 - A d^2) \quad (8)$$

wobei A eine von der Energie unabhängige Konstante ist. Dies bedeutet, dass der "d-Abstand erster Ordnung" für unterschiedliche Wellenlängen derselbe ist, und dass der durch unterschiedliche Wellenlängen gemessene d-Abstand derselbe ist.

[0039] Unter Bezug auf [Fig. 9](#) und die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Mehrschichtreflektor **36** variabler bzw. veränderbarer Krümmung in zwei Positionen **38** und **40** gezeigt und weist zwei unterschiedliche Krümmungen auf, die durch die Ellipsen **33** und **35** festgelegt sind, und er reflektiert unterschiedliche Röntgenstrahlenwellenlängen **39** und **41** in Richtung auf einen Brennpunkt **31**. Ein ähnliches Schema kann für parabolische Kollimationsspiegel konfiguriert werden, die mit zwei unterschiedlichen Parabeln übereinstimmen. Der Reflektor **36** weist in der Position **38** eine stärkere Krümmung als in der Position **40** auf. Die stärkere Krümmung erlaubt es, dass der Reflektor größere Röntgenstrahlenwellenlängen in der Position **38** als in der Position **40** reflektieren. Der Reflektor in der Position **40** ist mit einer geringeren Krümmung als in der Position **38** modifiziert und reflektiert kürzere Röntgenstrahlenwellenlängen. Die Krümmung des Reflektors **36** ist in [Fig. 9](#) übertrieben dargestellt, um dazu beizutragen, die Krümmung in den alternativen Positionen **38** und **40** zu illustrieren.

[0040] Für einen parabolischen Spiegel variabler Krümmung geht aus der Formel **4** hervor:

$$\frac{\lambda}{\sqrt{p}} = C$$

und zwar für sämtliche Wellenlängen. Der parabolische Parameter muss sich deshalb in folgender Weise ändern:

$$p = \frac{\lambda^2}{C^2} \quad (9)$$

[0041] Für einen elliptischen Spiegel muss sich in Übereinstimmung mit der Formel **6** der Nebenradius b wie folgt ändern:

$$b = \frac{\lambda a}{C} \quad (10)$$

[0042] Die Manipulation des parabolischen Parameter p des parabolischen Reflektors und des Nebenradius b des elliptischen Reflektors kann deshalb so eingestellt werden, dass die Wellenlänge der reflektierten Strahlen variieren kann.

[0043] Eine Vier-Punkt-Biegeeinrichtung **42** ist in [Fig. 10](#) gezeigt und weist Präzisionsstellorgane **44a** und **44b** auf, welche die Krümmung des Reflektors **36** variieren können. Stützen **43a-b** sind stationär, während Elemente **45a-b** betätigbar sind, um die Krümmung des Reflektors **36** zu ändern. Die Biegeeinrichtung **42** variiert

den parabolischen Parameter p eines parabolischen Mehrschichtreflektors und den Nebenradius b des ellip-tisch geformten Mehrschichtreflektors, wie vorstehend im einzelnen ausgeführt.

[0044] In einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die in [Fig. 11](#) gezeigt ist, ist ein Mehrschichtreflektor **46** mit feststehender Krümmung mit mehreren charakteristischen d -Abständen d_7 und d_8 so konfiguriert, dass er mehrere bzw. mehrfache Röntgenstrahlenwellenlängen reflektiert. Jeder d -Abstand d_7 und d_8 erfüllt das Bragg'sche Gesetz für eine charakteristische Röntgenstrahlenwellenlänge. Der relativ größere d -Abstand d_8 reflektiert längere Wellenlängen und der relativ kürzere d -Abstand d_7 reflektiert kürzere Wellenlängen. Die reflektierten Wellenlängen weisen dadurch im wesentlichen keine Überlappung auf. Da die Absorption für Röntgenstrahlen niedrigerer Energie (längerer Wellenlänge) stärker ist, sollte die Reflexions-schicht d_8 für die Röntgenstrahlen niedrigerer Energie die oberen Schichten auf dem Reflektor **46** bilden. Wie aus der Zeichnung hervorgeht, sind die d -Abstände d_7 und d_8 lateral zusammenwirkend mit der Krümmung des Reflektors **46** gradiert bzw. gestuft, um das Bragg'sche Gesetz für mehrere spezifische Röntgenstrahlenwellenlängen zu erfüllen. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung müssen zusätzliche Gruppen von d -Abständen verwendet werden, die ausschließlich durch die Abmessungen und die Struktur des Reflektors **46** begrenzt sind.

[0045] In einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und wie in [Fig. 12](#) gezeigt (eine Draufsicht bzw. Ansicht von oben) weist ein Mehrschichtreflektor **48** streifenartige Abschnitte **50** unterschiedlicher d -Abstände auf. Und jeder Streifen **50** weist einen d -Abstand auf, der so konfiguriert ist, dass er charakteristische Röntgenstrahlenwellenlängen reflektiert. Eine Röntgenstrahlenquelle **52** muss lediglich relativ zu den streifenartigen Abständen **50** des Reflektors **48** translatierend verschoben werden, um die Wellenlänge der Röntgenstrahlen zu ändern, die von dem Reflektor **48** reflektiert werden. Das bevorzugte Translationsverfahren dient dazu, die Position der Röntgenstrahlenquelle **42** unter Translatieren des Reflektors **48** festzulegen.

[0046] Es wird bemerkt, dass die Erfindung nicht auf die dargestellte und vorstehend erläuterte exakte Konstruktion beschränkt ist, sondern zahlreichen Abwandlungen und Modifikationen zugänglich ist, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen, die in den nachfolgenden Ansprüchen festgelegt ist.

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Reflektor zum Reflektieren elektromagnetischer Wellen, aufweisend: eine Mehrschichtstruktur (**18**) mit einem d -Abstand und einer Krümmung zum Reflektieren einer elektromagnetischen Welle, und eine Bewegungsvorrichtung (**42**), welche die Krümmung der Mehrschichtstruktur variiert, um die Wellenlänge der reflektierten elektromagnetischen Welle zu variieren.
2. Elektromagnetischer Reflektor nach Anspruch 1, wobei die Mehrschichtstruktur (**18**) auf einem Substrat (**12**) abgeschieden ist.
3. Elektromagnetischer Reflektor nach Anspruch 1, wobei der d -Abstand lateral gestuft ist.
4. Elektromagnetischer Reflektor nach Anspruch 1, wobei die elektromagnetische Welle eine Röntgenstrahlenwelle ist.
5. Elektromagnetischer Reflektor nach Anspruch 1, wobei die Bewegungsvorrichtung (**42**) eine Biegeeinrichtung ist, welche die Krümmung der Mehrschichtstruktur ändert.
6. Elektromagnetischer Reflektor nach Anspruch 5, wobei die Biegeeinrichtung (**42**) eine Vier-Punkt-Biegeeinrichtung ist.
7. Elektromagnetischer Reflektor nach Anspruch 1, wobei der elektromagnetische Reflektor als parabolische Kurve geformt ist, und wobei die parabolische Kurve einen p -Faktor aufweist, der variiert wird, um die Krümmung des elektromagnetischen Reflektors zu ändern.
8. Elektromagnetischer Reflektor nach Anspruch 1, wobei der elektromagnetische Reflektor als elliptische Kurve geformt ist, und wobei die elliptische Kurve einen Nebenradius aufweist, der variiert wird, um eine Krümmung des elektromagnetischen Reflektors zu ändern.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

BRAGG'sche MEHRSCHICHTREFLEXION

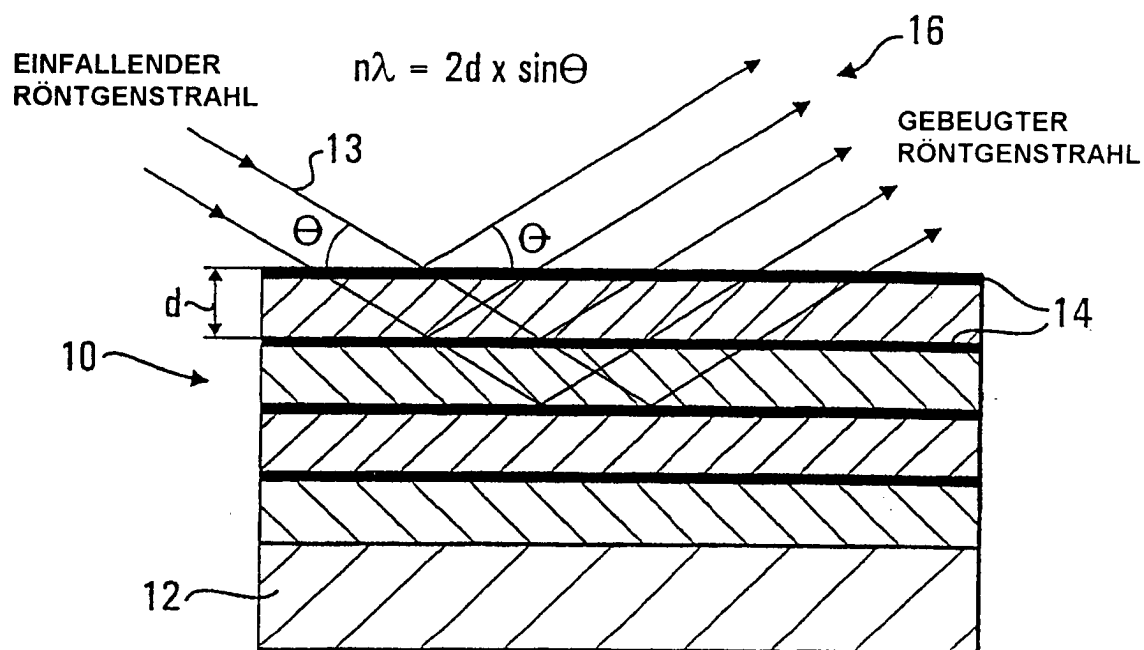


FIG. 3

PARABOLISCHE MEHRSCHICHT-OPTIK
 d-ABSTAND IST ENTLANG DES SPIEGELS GESTUFT

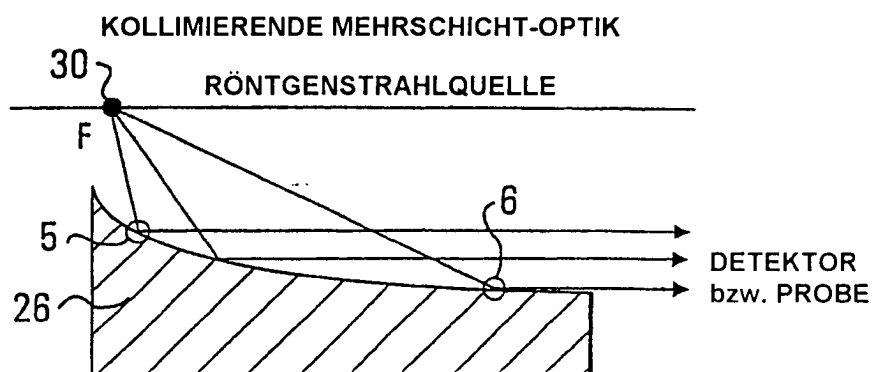
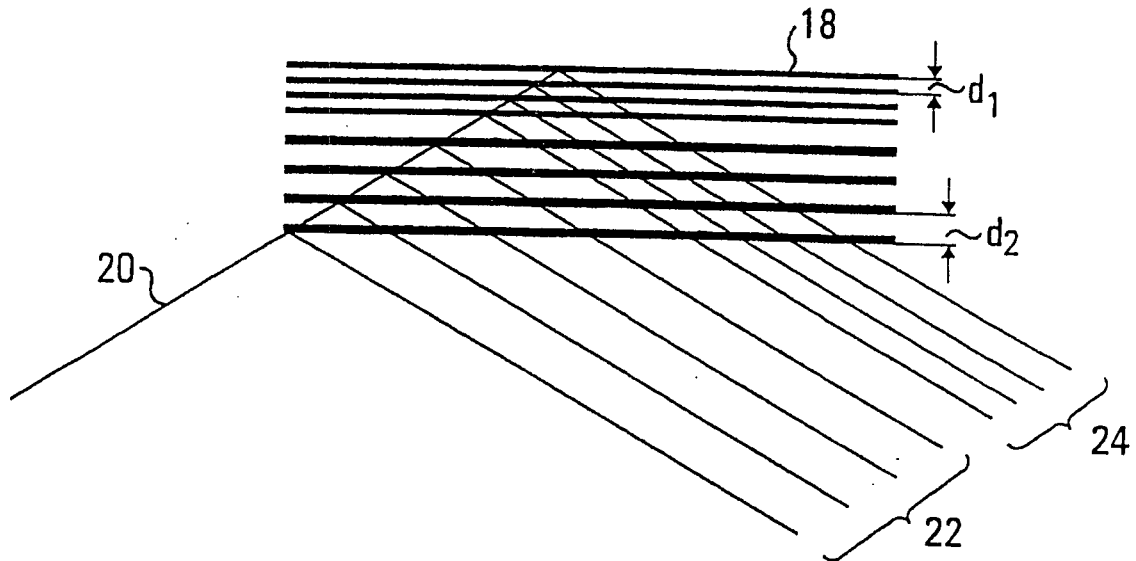


FIG. 2

BEUGUNGEN TRETEN IN EINEM SPEZIFISCHEN PUNKT EINER "MEHRFACH GEFALTETEN" MEHRSCHICHTBESCHICHTUNG AUF: DIE MEHRFACHSCHICHT IST ALS MIT ZWEI UNTERSCHIEDLICHEN ENERGIEN ARBEITEND DARGESTELLT. DIE RÖNTGENSTRAHLEN MIT NIEDRIGER ENERGIE WERDEN DURCH DIE DICKEREN SCHICHTEN REFLEKTIERT UND DIE RÖNTGENSTRAHLEN MIT HÖHERER ENERGIE WERDEN DURCH DIE DÜNNEREN SCHICHTEN REFLEKTIERT

**FIG. 4**

ELLIPTISCHE MEHRSCHICHT-OPTIK
DER d -ABSTAND IST ENTLANG DEM SPIEGEL GESTUFT

FOKUSSIERENDE MEHRSCHICHT-OPTIK

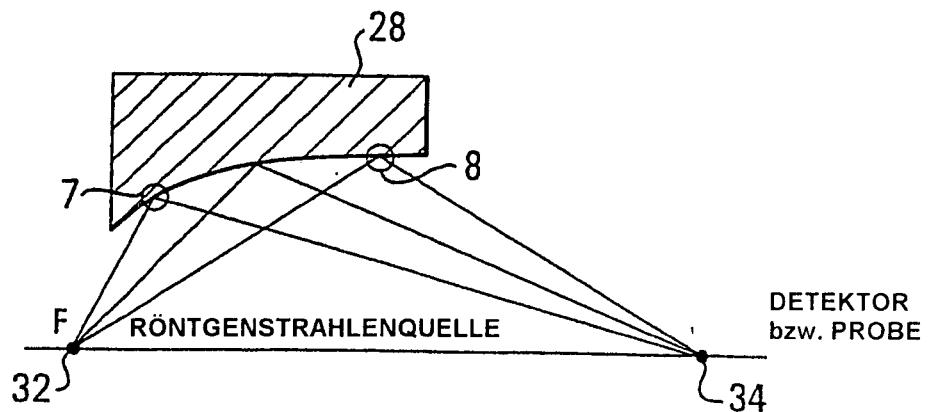


FIG. 5

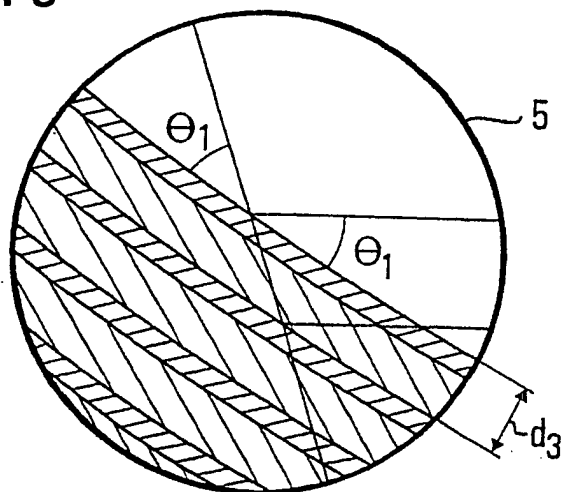


FIG. 6

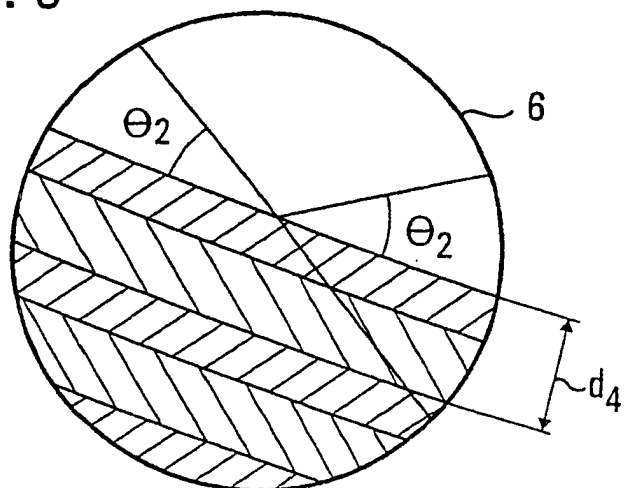


FIG. 7

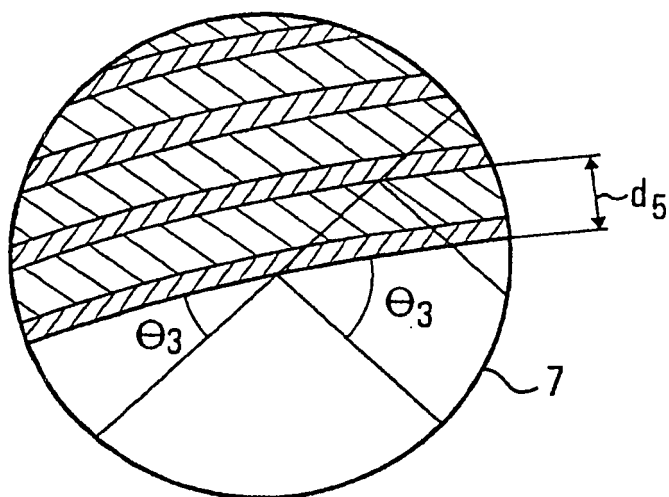


FIG. 8

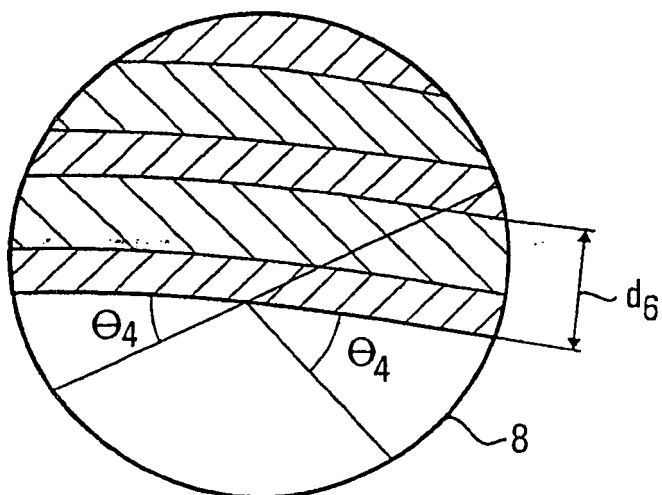


FIG. 9

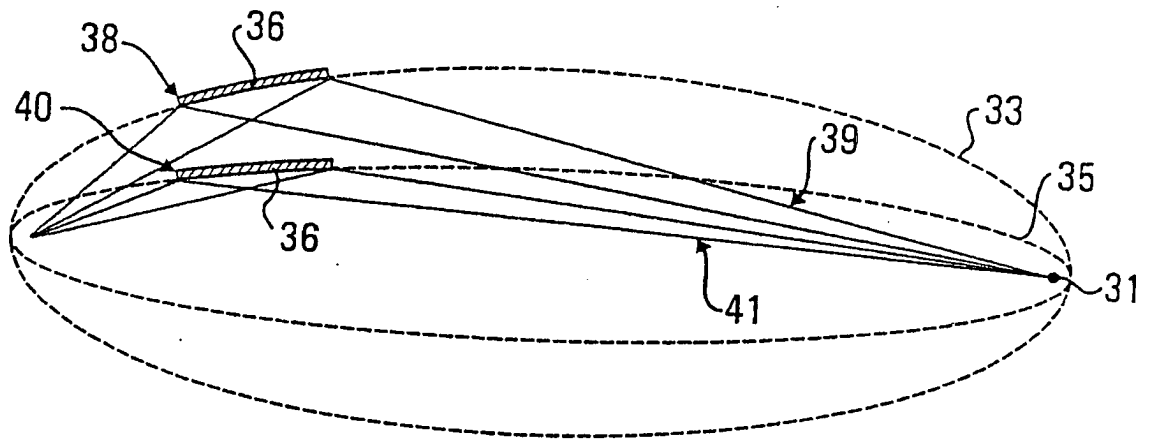


FIG. 10

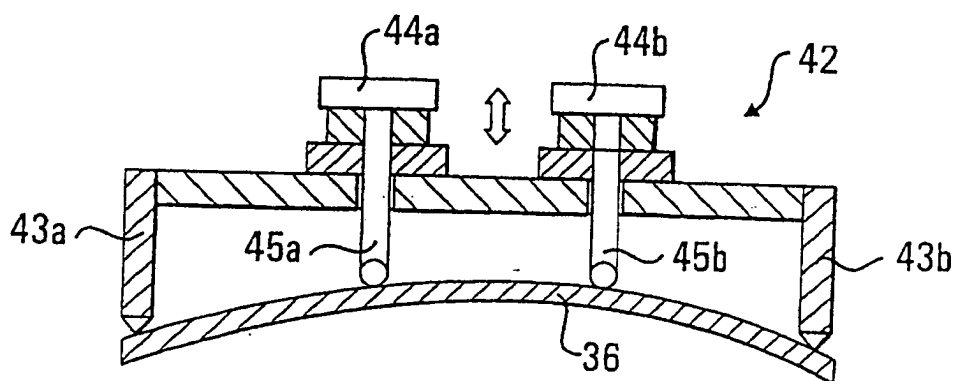


FIG. 11

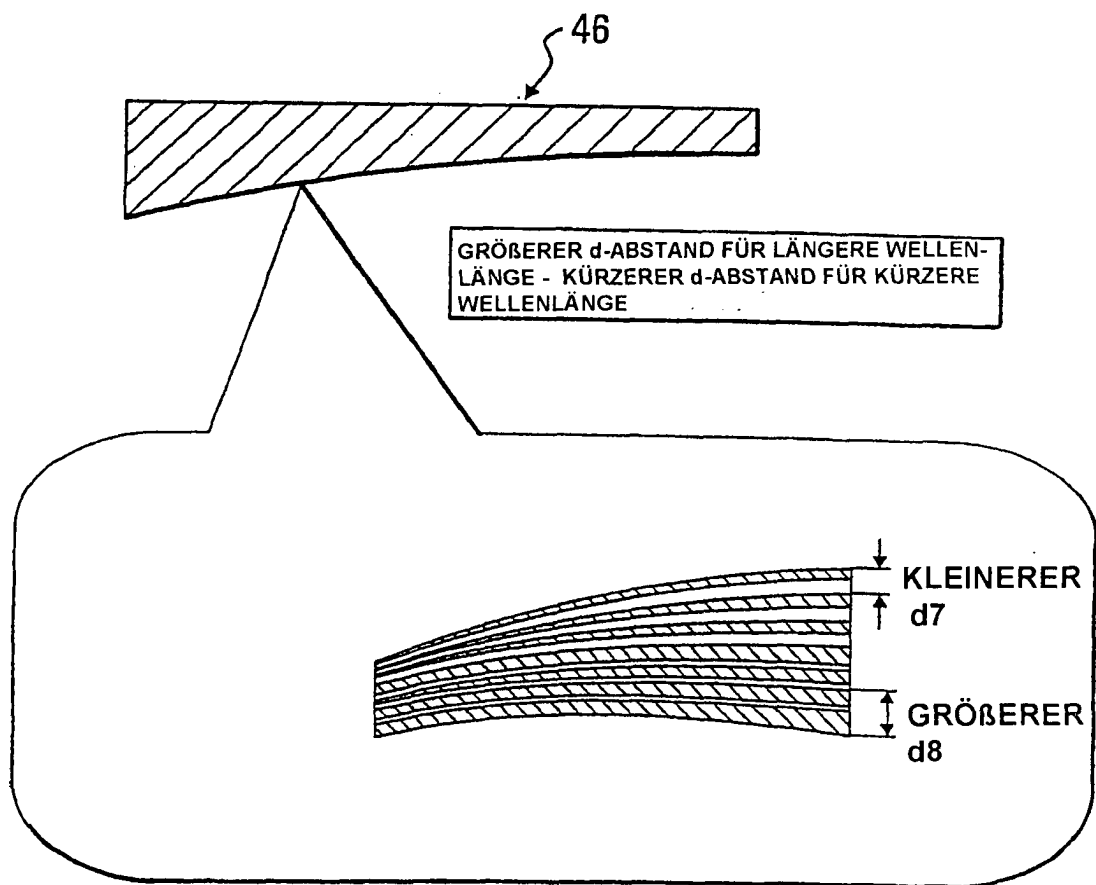


FIG. 12

