

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-53850
(P2013-53850A)

(43) 公開日 平成25年3月21日(2013.3.21)

(51) Int.Cl.
G21K 1/06 (2006.01)

F I
G21K 1/06 C

テーマコード(参考)

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2010-2301(P2010-2301)
(22) 出願日 平成22年1月7日(2010.1.7)

(71) 出願人 504013775
学校法人 埼玉医科大学
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38
(74) 代理人 100105784
弁理士 橋 和之
(72) 発明者 黒田 寛人
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38 学校
法人埼玉医科大学内
(72) 発明者 馬場 基芳
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38 学校
法人埼玉医科大学内
(72) 発明者 米谷 新
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38 学校
法人埼玉医科大学内

(54) 【発明の名称】円偏光変換装置

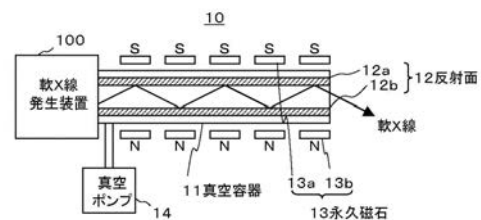
(57) 【要約】

【課題】小規模な装置で軟X線の直線偏光を円偏光に変換できるようにする。

【解決手段】軟X線の波長付近に内殻吸収端を持つ遷移金属から成る反射面12を真空容器14の内側に形成するとともに、軟X線が反射する反射面12の位置において真空容器14の長手方向に対して垂直方向の磁場を発生させる永久磁石13を設け、真空容器14に入射した直線偏光の軟X線を、磁場が与えられた位置の反射面12において複数回反射させることにより、軟X線が反射面12で反射するときに磁気円二色性の共鳴効果により磁気散乱が増強されるようにして、直線偏光を構成している左回り円偏光と右回り円偏光との間で屈折率に大きな差を生じさせ、左回り円偏光と右回り円偏光との位相差を一気に得ることにより、ほんの数回の反射によって軟X線の直線偏光を円偏光に変換できるようにする。

【選択図】図1

第1の実施形態による円偏光変換装置の構成例



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

軟 X 線の進路となる中空の真空容器と、

上記真空容器の内側に形成された反射面であって、上記軟 X 線の波長付近に内殻吸収端を持つ遷移金属から成る反射面と、

上記反射面で上記軟 X 線が反射する位置において上記真空容器の長手方向に対して垂直方向の磁場を発生させる磁石と、

上記真空容器内に真空状態を作る真空ポンプとを備え、

上記真空ポンプにより真空状態とされた上記真空容器内に直線偏光の上記軟 X 線を入射し、上記磁場が与えられた位置の上記反射面において上記軟 X 線を複数回反射させることにより、円偏光に変換された上記軟 X 線を上記真空容器から出射するようにしたことを特徴とする円偏光変換装置。

10

【請求項 2】

上記真空容器の内側において上記反射面の後段に当該反射面に対して垂直な向きに形成された第 2 の反射面であって、上記反射面と同じ遷移金属から成る第 2 の反射面を更に備え、

上記真空ポンプにより真空状態とされた上記真空容器内に直線偏光の上記軟 X 線を入射し、上記磁場が与えられた位置の上記反射面において上記軟 X 線を複数回反射させた後、上記第 2 の反射面において上記軟 X 線を更に複数回反射させることにより、円偏光に変換された上記軟 X 線を上記真空容器から出射するようにしたことを特徴とする請求項 1 に記載の円偏光変換装置。

20

【請求項 3】

上記反射面および上記第 2 の反射面は同じ長さに形成されており、上記反射面における反射回数と上記第 2 の反射面における反射回数とが同数となるようにしたことを特徴とする請求項 2 に記載の円偏光変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は円偏光変換装置に関し、特に、軟 X 線のような高エネルギーの光を直線偏光から円偏光に変換する装置に用いて好適なものである。

30

【背景技術】

【0002】

従来、光を直線偏光から円偏光に変換する装置が提供されている。例えば、可視光や赤外光の円偏光化には、透過型の偏光板や偏光フィルムのような簡単な構造のものが使用される。また、電子ビームの軌道に対して水平方向または垂直方向の磁場を周期的に与えることにより、電子ビームを螺旋状に蛇行させて円偏光化するアンジュレータも提供されている（例えば、特許文献 1、2 参照）。

【0003】

ところで、光の一種として X 線がある。X 線は波長が $1[\text{pm}] \sim 数 10[\text{nm}]$ 程度の電磁波であり、これには硬 X 線と軟 X 線とがある。硬 X 線は、エネルギーが高くて物質に対する透過性が強い X 線のことであり、例えばレントゲン写真を撮影するのに用いられる。一方、軟 X 線は、硬 X 線よりエネルギーが低くて物質に対する吸収が強く透過性が弱い X 線のことである。円偏光化された軟 X 線は、透過性が弱いために物質の中に吸収されやすく、物質中の電子スピン状態を検出することが可能であるとして、生体内検査や遺伝子解析の有効な手段として期待が集められている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 7 - 288200 号公報

【特許文献 2】特開平 9 - 219564 号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

軟X線を生体内検査や遺伝子解析などに活用する場合、軟X線は円偏光であることが必要となる。円偏光であれば、左回りと右回りとの違い、あるいは平行と反平行との違いなど電子スピン状態の違いがあるため、その違いをナノ材料の解析に応用できるからである。ただし、基本的に軟X線は直線偏光（左回り円偏光と右回り円偏光との2つの状態の重ね合わせ）として現れるので、これを円偏光に変換しなければならない。

【0006】

しかしながら、軟X線は硬X線に比べてエネルギーが低いものの、それでも10[eV]以上の高いエネルギーを持つ。10[eV]を超える軟X線の高エネルギー領域では、直線偏光を円偏光に変換するのに、偏光板のような簡単な構造のものは使えない。そのため、従来は、電子ビームの直線偏光を円偏光に変換するアンジュレータを用いる方法が採用されてきた。ところが、この方法では、いわゆるシンクロトロン（同期式円形加速器）やリニアック（線型加速器）と呼ばれる大規模な施設が必要になるという問題があった。

【0007】

シンクロトロンやリニアックは、電子ビームがアンジュレータを通過する際に、周期的な磁場を与えることによって電子ビームを周期的に曲げる原理で円偏光化するものである。ここで、加速された電子ビームは磁場に対して簡単には反応しないため、非常に長い磁石列によって電子軌道を少しずつ蛇行させていかななければならない。また、電子ビームの軌道を曲げるためには大きな磁場を必要とし、大がかりな超電導磁石などを使用する必要がある。さらに、加速された電子ビームのエネルギー損失を最小限にするために真空状態を作らなければならないが、電子ビームを長い距離走らせる必要があるため、超高真空状態を作るための大がかりな設備が必要となる。そのため、シンクロトロンやリニアックは大規模にならざるを得なかった。

【0008】

本発明は、このような問題を解決するために成されたものであり、小規模な装置で軟X線の直線偏光を円偏光に変換できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記した課題を解決するために、本発明では、軟X線の波長付近に内殻吸収端を持つ遷移金属から成る反射面を真空容器の内側に形成するとともに、軟X線が反射する反射面の位置において真空容器の長手方向に対して垂直方向の磁場を発生させる磁石を設けている。そして、真空容器に入射した軟X線を、磁場が与えられた位置の反射面において複数回反射させることにより、軟X線の直線偏光を円偏光に変換するようにしている。

【発明の効果】

【0010】

上記のように構成した本発明によれば、反射面を形成する遷移金属の内殻吸収端に近い波長のエネルギーを軟X線が持つため、真空容器に入射した軟X線が反射面で反射するときに、当該反射面の位置において与えられた磁場による磁気散乱が、磁気円二色性の共鳴効果により増強される。すなわち、磁気散乱を起こす内殻吸収端においては左回り円偏光と右回り円偏光とで屈折率に差が生じるが、この屈折率の差が磁気円二色性の共鳴効果により増強されることとなる。このため、重ね合わせによって直線偏光を構成している左回り円偏光と右回り円偏光との位相差を一気に得ることができる。これにより、ほんの数回の反射によって軟X線の直線偏光を円偏光に変換することができる。

【0011】

少ない反射回数で直線偏光を円偏光に変換できるため、真空容器および磁石列を長くする必要がない。そのため、超高真空状態を作るための大がかりな設備も不要で、簡単な真空ポンプがあれば十分である。また、磁気円二色性の共鳴効果によって磁気散乱が増強されるため、大がかりな超電導磁石などを使用する必要がなく、小さな永久磁石があれば

10

20

30

40

50

良い。したがって、軟 X 線の直線偏光を円偏光に変換するための装置をシンクロトロン等に比べて格段に小型化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第1の実施形態による円偏光変換装置の構成例を示す図である。

【図2】第1の実施形態による反射面の配置例を示す図である。

【図3】第1の実施形態による永久磁石の配置例を示す図である。

【図4】第2の実施形態による円偏光変換装置の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

(第1の実施形態)

以下、本発明の一実施形態を図面に基づいて説明する。図1は、第1の実施形態による円偏光変換装置の構成例を示す図である。図2は、第1の実施形態による反射面の配置例を示す図である。図3は、第1の実施形態による永久磁石の配置例を示す図である。

【0014】

図1に示すように、第1の実施形態による円偏光変換装置10は、軟 X 線発生装置100から発射される軟 X 線の進路となる中空の真空容器11と、真空容器11の内側に形成された反射面12と、磁場を発生させる永久磁石13と、真空容器11内に真空状態を作るための真空ポンプ14とを備えている。

【0015】

真空容器11は、例えば図2のように、断面が楕円形状の楕円筒容器であり、ガラス等により構成されている。反射面12は、例えば、真空容器11の長手方向に沿って形成された一对の反射板12a, 12bから成る。当該一对の反射板12a, 12bは、軟 X 線の平均的な進行方向(真空容器11の長手方向)に対して平行に、互いに垂直に向かい合うように配置されている。

【0016】

反射面12は、真空容器11に入射される軟 X 線の波長付近に内殻吸収端を持つ遷移金属から成る。例えば、軟 X 線の波長付近に 3p - 3d 内殻吸収端を持つ遷移金属として、軟 X 線の波長が 2.8 [nm] の場合はタンゲステン (W)、軟 X 線の波長が 19.8 [nm] の場合はコバルト (Co)、軟 X 線の波長が 17.9 [nm] の場合はニッケル (Ni)、軟 X 線の波長が 24.3 [nm] の場合はマンガン (Mn)、軟 X 線の波長が 25.8 [nm] の場合はチタン (Ti)、軟 X 線の波長が 26.9 [nm] の場合はペロブスカイト型 3d 遷移金属酸化物 (Y_{1-x}CaxTiO₃)、軟 X 線の波長が 22.9 [nm] の場合は鉄系超電導体 (LaFeAsO) により反射面12を構成する。

【0017】

永久磁石13は、反射面12で軟 X 線が反射する位置において、真空容器11の長手方向に対して垂直方向の磁場を発生させるものである。永久磁石13は、真空容器11の外側に真空容器11を挟むように配置された一对の磁石13a, 13bを複数組備えて構成されている。一对の磁石13a, 13bは、N極とS極とが互いに対向するように配置されている。また、複数組の磁石13a, 13bは、真空容器11の長手方向に沿って等間隔に配置されている。この等間隔の位置が、反射面12で軟 X 線が反射する位置に相当する。

【0018】

この永久磁石13は、真空容器11の長手方向に対して垂直方向の磁場を発生させるものであれば良く、反射面12に対して垂直であるかどうかは問わない。すなわち、図3(a)のように反射面12に対して平行に永久磁石13を配置しても良いし、図3(b)のように反射面12に対して垂直に永久磁石13を配置しても良い。

【0019】

一般に、X線のエネルギーが磁性原子の内殻吸収端に近い場合は、共鳴効果により磁気散乱が数~10⁵倍に増強される。本実施形態では、このような磁気円二色性の共鳴効果

10

20

30

40

50

を利用するために、軟 X 線の波長付近に 3 p - 3 d 内殻吸収端を持つ遷移金属により反射面 1 2 を構成し、その反射面 1 2 に対して永久磁石 1 3 により磁場を与えている。そして、真空ポンプ 1 4 により真空状態とされた真空容器 1 1 内に直線偏光の軟 X 線を入射し、磁場が与えられた位置の反射面 1 2 において軟 X 線を複数回反射させるようにしている。

【 0 0 2 0 】

このように構成した第 1 の実施形態によれば、真空容器 1 1 に入射した軟 X 線が反射面 1 2 で反射するとき、磁気円二色性の共鳴効果により磁気散乱が増強される。このため、軟 X 線の直線偏光を構成している左回り円偏光と右回り円偏光とで屈折率に大きな差が生じ、左回り円偏光と右回り円偏光との間に位相差を一気に生じさせることができる。これにより、ほんの数回の反射によって軟 X 線の直線偏光を円偏光に変換し、円偏光化された軟 X 線を真空容器 1 1 から出射することができる。また、本実施形態によれば、軟 X 線発生装置 1 0 0 で生成した軟 X 線そのものに働きかけて、直線偏光を円偏光に変換することができる。逆に、円偏光から直線偏光に戻すことも可逆的に可能である。電子ビームを用いる従来の方法では、擬似的に円偏光成分は作れるが、軟 X 線そのものに作用することは全くできない。

10

【 0 0 2 1 】

このように、少ない反射回数で軟 X 線の直線偏光を円偏光に変換できるため、真空容器 1 1 を長手方向に長く構成する必要がない。そのため、超高真空状態を作るための大がかりな設備も不要で、簡単な真空ポンプ 1 4 があれば十分である。また、磁気円二色性の共鳴効果によって磁気散乱が増強されるため、大がかりな超電導電磁石などを使用する必要がなく、小さな永久磁石 1 3 が数個あれば良い。したがって、軟 X 線の直線偏光を円偏光に変換するための装置をシンクロトロン等に比べて格段に小型化することができる。

20

【 0 0 2 2 】

(第 2 の実施形態)

次に、本発明の第 2 の実施形態を図面に基づいて説明する。図 4 は、第 2 の実施形態による円偏光変換装置の構成例を示す図である。なお、この図 4 において、図 1 に示した符号と同一の符号を付したものは同一の機能を有するものであるので、ここでは重複する説明を省略する。

【 0 0 2 3 】

図 4 に示すように、第 2 の実施形態による円偏光変換装置 2 0 は、図 1 に示した構成に加えて、第 2 の反射面 2 2 を備えている。また、真空容器 2 1 は、図 1 に示した真空容器 1 1 に比べて長手方向に 2 倍の長さを有している。

30

【 0 0 2 4 】

第 2 の反射面 2 2 は、真空容器 2 1 の内側において反射面 1 2 の後段に配置されている。第 2 の反射面 2 2 の長さは、反射面 1 2 と同じ長さである。第 2 の反射面 2 2 も反射面 1 2 と同様に、真空容器 2 1 の長手方向に沿って形成された一对の反射板 2 2 a , 2 2 b から成る。当該一对の反射板 2 2 a , 2 2 b は、軟 X 線の平均的な進行方向 (真空容器 2 1 の長手方向) に対して平行に、互いに垂直に向かい合うように配置されている。また、当該一对の反射板 2 2 a , 2 2 b は、一对の反射板 1 2 a , 1 2 b に対して垂直な向きに配置されている。

40

【 0 0 2 5 】

第 2 の反射面 2 2 は、反射面 1 1 と同じ遷移金属から成る。すなわち、反射面 1 2 がタングステン (W) であれば第 2 の反射面 2 2 もタングステン (W) 、反射面 1 2 がコバルト (C o) であれば第 2 の反射面 2 2 もコバルト (C o) である。

【 0 0 2 6 】

第 2 の実施形態では、真空ポンプ 1 4 により真空状態とされた真空容器 2 1 内に直線偏光の軟 X 線を入射し、永久磁石 1 3 により磁場が与えられた位置の反射面 1 2 において軟 X 線を複数回反射させた後、第 2 の反射面 2 2 において軟 X 線を更に複数回反射させるようにしている。ここで、反射面 1 2 における反射回数と第 2 の反射面 2 2 における反射回数とが同数となるようにする。

50

【 0 0 2 7 】

反射面 1 2 で反射する軟 X 線の偏光状態は、入射する軟 X 線の偏光方向が反射面 1 2 に対して平行に偏光した光 (s 偏光) と、反射面 1 2 に対して垂直に偏光した光 (p 偏光) とのベクトルの和として表される。しかし、反射面 1 2 での反射率が s 偏光と p 偏光とで異なるために、s 偏光の強度と p 偏光の強度とが異なったものとなる。そのため、右回り円偏光と左回り円偏光との位相を制御するだけでは、軟 X 線は楕円偏光となり、完全な円偏光にはならない。

【 0 0 2 8 】

そこで、磁場をかけた反射面 1 2 での複数回の反射によって軟 X 線の位相を制御した後に、磁場をかけない第 2 の反射面 2 2 において反射面 1 2 と同数回の反射を起こさせる。このとき、第 2 の反射面 2 2 を反射面 1 2 に対して垂直な向きに配置しているので、反射面 1 2 での s 偏光を第 2 の反射面 2 2 では p 偏光に、反射面 1 2 での p 偏光を第 2 の反射面 2 2 では s 偏光にして反射率の大きさを逆転させることができ、反射面 1 2 との同数回の反射によって、最終的には s 偏光の強度と p 偏光の強度とが等しくなるようにすることができる。これにより、完全な円偏光に変換された軟 X 線を真空容器 2 1 から出射することができる。

10

【 0 0 2 9 】

なお、上記第 1 および第 2 の実施形態では、反射面 1 2 および第 2 の反射面 2 2 を構成する遷移金属として、真空容器 1 1 , 2 1 に入射される軟 X 線の波長付近に 3 p - 3 d 内殻吸収端を持つ遷移金属を使用する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。すなわち、軟 X 線の波長付近に内殻吸収端を持つ遷移金属であれば、必ずしも 3 p - 3 d 系の遷移金属でなくても良い。例えば、軟 X 線の波長が 6 . 2 [n m] の場合に、4 s - 4 p 内殻吸収端を持つタングステン (W) により反射面 1 2 および第 2 の反射面 2 2 を構成するようにしても良い。

20

【 0 0 3 0 】

また、上記第 1 および第 2 の実施形態では、反射面 1 2 を一对の反射板 1 2 a , 1 2 b により構成するとともに、第 2 の反射面 2 2 を一对の反射板 2 2 a , 2 2 b により構成する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、遷移金属から成る反射シートを真空容器 1 1 , 2 1 の内側面に貼り付けるようにしても良いし、真空容器 1 1 , 2 1 の内側面に遷移金属を蒸着するようにしても良い。

30

【 0 0 3 1 】

その他、上記第 1 および第 2 の実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の一例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその精神、またはその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

【 符号の説明 】

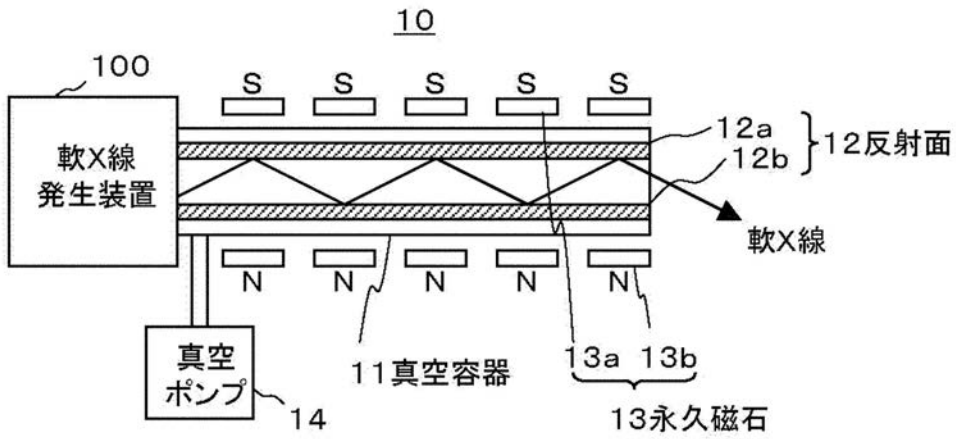
【 0 0 3 2 】

- 1 0 円偏光変換装置
- 1 1 真空容器
- 1 2 反射面
- 1 3 永久磁石
- 1 4 真空ポンプ
- 2 0 円偏光変換装置
- 2 1 真空容器
- 2 2 第 2 の反射面

40

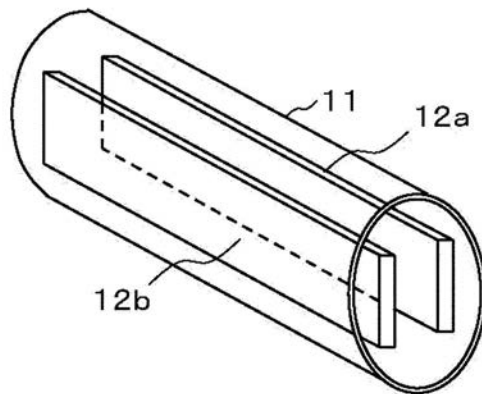
【図1】

第1の実施形態による円偏光変換装置の構成例



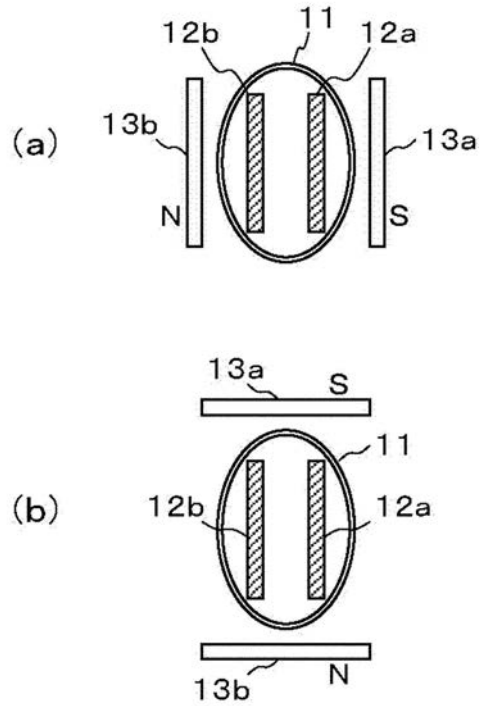
【図2】

第1の実施形態による反射面の配置例



【 図 3 】

第1の実施形態による反射面の配置例



【 図 4 】

第2の実施形態による円偏光変換装置の構成例

