

(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2006-10640

(P2006-10640A)

(43) 公開日 平成18年1月12日(2006.1.12)

(51) Int. Cl.

G01B 9/02 (2006.01)

F I

G01B 9/02

テーマコード(参考)

2F064

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願2004-191687 (P2004-191687)

(22) 出願日

平成16年6月29日(2004.6.29)

(71) 出願人

504151365  
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
茨城県つくば市大穂1番地1

(74) 代理人

100072051  
弁理士 杉村 興作

(74) 代理人

100100125  
弁理士 高見 和明

(74) 代理人

100101096  
弁理士 徳永 博

(74) 代理人

100107227  
弁理士 藤谷 史朗

(74) 代理人

100114292  
弁理士 来間 清志

最終頁に続く

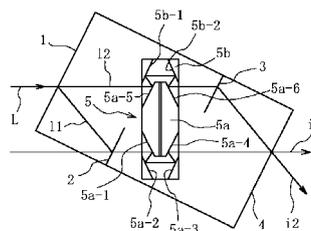
(54) 【発明の名称】 マイケルソン型干渉計及びそれに用いられる結晶分光素子

(57) 【要約】

【課題】 0.5 nm以下の波長を有する光の波長の絶対値を高い分解能で測定することができるマイケルソン型干渉計及びそれに用いられる結晶分光素子を提供する。

【解決手段】 ビームスプリッタ1とビームミキサ4との間における第1の光11の光路長は、一定であり、それに対して、ビームスプリッタ1とビームミキサ4との間における第2の光12の光路長は、可動部5bを固定部5aの長手方向に移動させることによって可変となる。可動部5bを固定部5aの長手方向に平行移動し、二つの光の光路差を形成する。光路差が光の1波長ずつ増加するに従って、検出器に1周期のビーム強弱変化が現れる。これによって、10 cm程度の光路差を可動部5bの平行移動のみで容易に実現でき、高い波長分解能を容易に実現できる。また、波長を正確に設定することによって、0.5 nm以下の不変の波長を基準にして微小な変位を測定することができる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

0.5 nm以下の波長を有する光を第1及び第2の光に分離する光分離手段と、これら第1及び第2の光を重ね合わせて、第1及び第2の干渉光を発生する干渉光発生手段と、

前記光分離手段と前記干渉光発生手段との間で、前記第1の光の光路長を一定にするとともに、前記第2の光の光路長を平行移動で以って可変にする光路長形成手段とを具備することを特徴とするマイケルソン型干渉計。

## 【請求項 2】

前記光路長形成手段が、固定部及びその固定部に対して相対移動する可動部から構成された結晶分光素子を有し、

前記固定部が、

前記光分離手段によって分離された第1の光を反射する第1反射面と、

その第1反射面によって反射された第1の光を反射する第2反射面と、

その第2反射面によって反射された第3反射面と、

その第3反射面によって反射された第1の光を反射する第4反射面と、

前記光分離手段によって分離された第2の光を反射する第5反射面と、

前記第2の光を前記干渉光発生手段に向かって反射する第6反射面とを有し、

前記可動部が、

前記固定部の第1反射面によって反射された第2の光を反射する第1反射面と、

その第1反射面によって反射された第2の光を前記固定部の第6反射面に向かって反射する第2反射面とを有することを特徴とする請求項1記載のマイケルソン型干渉計。

## 【請求項 3】

固定部及びその固定部に対して相対平行移動する可動部から構成され、

前記固定部が、

第1の光を反射する第1反射面と、

その第1反射面によって反射された第1の光を反射する第2反射面と、

その第2反射面によって反射された第3反射面と、

その第3反射面によって反射された第1の光を反射する第4反射面と、

前記光分離手段によって分離された第2の光を反射する第5反射面と、

前記第2の光を反射する第6反射面とを有し、

前記可動部が、

前記固定部の第1反射面によって反射された第2の光を反射する第1反射面と、

その第1反射面によって反射された第2の光を前記固定部の第6反射面に向かって反射する第2反射面とを有することを特徴とする結晶分光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、0.5 nm以下の波長を有する光（例えば、X線）の波長を測定するマイケルソン型干渉計及びそれに用いられる結晶分光素子に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、干渉計として、波長に対してあまり敏感にならずに光路差による位相コントラストを作り出すタイプ（例えば、マッハ・ツェンダー干渉計）と、波長差の僅かな変化によって光路差を生じ、位相コントラストを作り出すタイプ（例えば、マイケルソン型干渉計）とがあり、一般的には可視光に対して適用されている。

## 【0003】

波長測定の原理は、干渉計内で形成される光路差と光波長との比の変化に伴う光強度の変化の検出にある。光路差の変化は、2光路を通る光の位相変化をもたらす、干渉計の出

力強度に  $\cos$  関数のような強度変化が生じる。2周期分の強度変化が検出されると、光路差には1波長分の変化があったことがわかる。

【0004】

波長測定の精度を上げるためには、干渉計内の光路差を長くし、強度変化の周期を増加する必要がある。波長の分解能は、波長と光路差との比に等しくなることがわかるが、分解能が高くなるか否かは、測定対象たる単色光の単色性と、測定装置で作りうる光路差とに依存する。例えば、500nmの緑色波長に対して500mの光路差をつけると、 $10^{-9}$ の分解能を達成することができ、干渉強度の $1/1000$ の変化を検出できる波長分割技術を利用できる場合には、0.5mの光路差をつけると、 $10^{-9}$ の分解能を達成することができる。

10

【0005】

可視光の $1/5000$ 程度の波長すなわち0.5nm以下の波長を有する光(例えば、X線)の波長を測定するために、結晶の回折現象を利用したマイケルソン型干渉計が提案されている(例えば、非特許文献1参照)。

【非特許文献1】Appel et al, "Michelson Interferometer for X Rays and Thermal Neutrons", PHYSICAL REVIEW LETTERS, 23 SEPTEMBER 1991, NUMBER 13, pp.1673 - 1676

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記非特許文献1において提案されたマイケルソン型干渉計では、結晶の回転によって光路差を形成しているため、光軸に横滑りが生じ、干渉計が干渉できる幾何学的条件から外れるようになる。すなわち、光路差が僅かであるために、分解能を高めるのが困難になる。上記非特許文献1によれば、数ミクロンの光路差が形成されたことが報告されている。

20

【0007】

また、上記非特許文献1において提案されたマイケルソン型干渉計では、結晶の回転によって光路差が形成されるために、光路差は、直接的な長さとして測定されない。したがって、波長の絶対値によらずに波長分散を得られるが、波長の絶対値を測定することができない。

【0008】

本発明の目的は、0.5nm以下の波長を有する光の波長の絶対値を高い分解能で測定することができるマイケルソン型干渉計及びそれに用いられる結晶分光素子を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明によるマイケルソン型干渉計は、  
0.5nm以下の波長を有する光を第1及び第2の光に分離する光分離手段と、  
これら第1及び第2の光を重ね合わせて、第1及び第2の干渉光を発生する干渉光発生手段と、

前記光分離手段と前記干渉光発生手段との間で、前記第1の光の光路長を一定にするとともに、前記第2の光の光路長を平行移動によって可変にする光路長形成手段とを具備することを特徴とする。

40

【0010】

本発明による結晶分光素子は、  
固定部及びその固定部に対して相対平行移動する可動部から構成され、  
前記固定部が、  
第1の光を反射する第1反射面と、  
その第1反射面によって反射された第1の光を反射する第2反射面と、  
その第2反射面によって反射された第3反射面と、  
その第3反射面によって反射された第1の光を反射する第4反射面と、

50

前記光分離手段によって分離された第2の光を反射する第5反射面と、  
 前記第2の光を反射する第6反射面とを有し、  
 前記可動部が、  
 前記固定部の第1反射面によって反射された第2の光を反射する第1反射面と、  
 その第1反射面によって反射された第2の光を前記固定部の第6反射面に向かって反射する第2反射面とを有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によるマイケルソン型干渉計によれば、光分離手段によって、0.5nm以下の波長を有する光を第1及び第2の光に分離し、干渉光発生手段によって、第1及び第2の光を重ね合わせて、第1及び第2の干渉光を発生する際に、光分離手段と干渉光発生手段との間で、第1の光の光路長を一定にするとともに、第2の光の光路長を可変にする。

10

【0012】

このように第1の光の光路長を一定にするとともに、第2の光の光路長を可変にすることによって、十分な光路差を、結晶の回転ではなく長さによって直接表すことができ、その結果、0.5nm以下の波長を有する光の波長の絶対値を高い分解能で測定することができる。

【0013】

十分な光路差を、結晶の回転ではなく長さによって直接表すことができるようにするために、好適には、前記光路長形成手段が、固定部及びその固定部に対して相対移動する可動部から構成された結晶分光素子を有し、

20

前記固定部が、

前記光分離手段によって分離された第1の光を反射する第1反射面と、

その第1反射面によって反射された第1の光を反射する第2反射面と、

その第2反射面によって反射された第3反射面と、

その第3反射面によって反射された第1の光を反射する第4反射面と、

前記光分離手段によって分離された第2の光を反射する第5反射面と、

前記第2の光を前記干渉光発生手段に向かって反射する第6反射面とを有し、

前記可動部が、

前記固定部の第1反射面によって反射された第2の光を反射する第1反射面と、

30

その第1反射面によって反射された第2の光を前記固定部の第6反射面に向かって反射する第2反射面とを有する。

【0014】

本発明による結晶分光素子によれば、0.5nm以下の波長を有する光の波長の絶対値を高い分解能で測定することができるマイケルソン型干渉計を構成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明によるマイケルソン型干渉計及びそれに用いられる結晶分光素子の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

図1は、本発明によるマイケルソン型干渉計の実施の形態を示す図である。このマイケルソン型干渉計は、ビームスプリッタ1と、ミラー2, 3と、ビームミキサ4と、シリコン結晶によって構成された結晶分光素子5とを具える。

40

【0016】

結晶分光素子5は、固定部5a及び固定部5aの長手方向に平行移動する可動部5bから構成され、固定部5aは反射面5a-1~5a-6を有し、可動部5bは反射面5b-1, 5b-2を有する。

【0017】

本実施の形態の動作を説明する。ビームスプリッタ1は、0.5nm以下の波長を有する光L(例えば、X線)を第1及び第2の光11, 12に分離する。ミラー2, 3は、ビームミキサ4で重ね合うよう第1及び第2の光11, 12を導く。

50

## 【0018】

第1の光11は、ミラー3によって結晶分光素子5に導かれ、反射面5a-1, 5a-2, 5a-3, 5a-4で4回反射が行われた後にビームミキサ4に出射され、第2の光12は、反射面5a-5, 5b-1, 5b-2, 5a-6で4回反射が行われた後にミラー3を通じてビームミキサ4に出射される。なお、反射面5a-1, 5a-2, 5a-3, 5a-4を通じて結晶分光素子5を通過できる第1の光11及び反射面5a-5, 5b-1, 5b-2, 5a-6を通じて結晶分光素子5を通過できる第2の光12はそれぞれ、特定の波長及び数ppm程度のバンド幅を有する。

## 【0019】

ビームミキサ4は、第1及び第2の光11, 12から第1及び第2の干渉光i1, i2を発生し、第1の干渉光i1を検出器(図示せず)に出射する。ビームスプリッタ1とビームミキサ4との間における第1の光11の光路長は、一定であり、それに対して、ビームスプリッタ1とビームミキサ4との間における第2の光12の光路長は、可動部5bを固定部5aの長手方向に移動させることによって可変となる。なお、第1の光11が通過する固定部5aの反射面5a-1, 5a-2, 5a-3, 5a-4の部分は、第1の光11と第2の光12の光路差を零にすることができるため、光路長補償の機能を果たす。

10

## 【0020】

所定の波長の光が通過するように、図1のマイケルソン型干渉計を調整し、干渉ビームが得られていることを確認すると、可動部5bを固定部5aの長手方向に平行移動し、二つの光の光路差を形成する。光路差が光の1波長ずつ増加するに従って、検出器(図示せず)に1周期のビーム強弱変化が現れる。

20

## 【0021】

図2Aに示す状態の可動部5bを、から固定部5aの長手方向に距離Dだけ平行移動すると(図2B参照)すると、回折角がθの場合には、光路差Lは、 $2D \sin 2\theta$ となる。

## 【0022】

本実施の形態によれば、分解能が結晶分光素子5の回折格子数に依存せずに入射光の波長及び光路差の比で決定され、0.1nmのX線波長に対して、1cmの光路差を形成することによって、 $1 \times 10^{-8}$ 以下の分解能を実現することができる。

## 【0023】

したがって、10cm程度の光路差を可動部5bの平行移動のみで容易に実現でき、このことは、高い波長分解能を容易に実現できることを意味する。また、波長を正確に設定することによって、0.5nm以下の不変の波長を基準にして微小な変位を測定することができる。

30

## 【0024】

本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、幾多の変更及び変形が可能である。

例えば、上記実施の形態において、シリコン結晶で構成した結晶分光素子について説明したが、シリコン以外の他の結晶材料で結晶分光素子を構成することができる。

## 【産業上の利用可能性】

40

## 【0025】

本発明によれば、線幅の狭い線の超精密波長測定ができ、X線波長の新しい基準を確立することができる。また、物理学基礎定数の精密計測及びその関連装置や、fm又はam域のエンコーダに本発明を適用することができる。本発明によって、超高感度なX線干渉技術を利用して、精密制御技術の新しいフロンティアを開拓することができる。さらに、X線干渉を利用しているため、振動に対する感度が良く、極微小な振動を測定できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0026】

【図1】本発明によるマイケルソン型干渉計の実施の形態を示す図である。

【図2】図1のマイケルソン型干渉計の動作を説明するための図である。

50

【符号の説明】

【0027】

1 ビームスプリッタ

2, 3 ミラー

4 ビームミキサ

5 結晶分光素子

5a 固定部

5b 可動部

5a-1, 5a-2, 5a-3, 5a-4, 5a-5, 5a-6, 5b-1, 5b-2

反射面

L 光

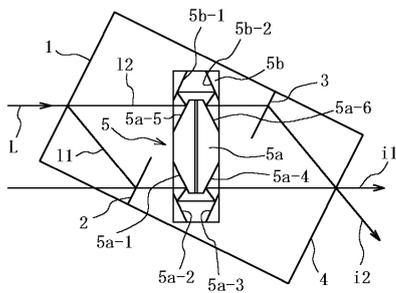
l1 第1の光

l2 第2の光

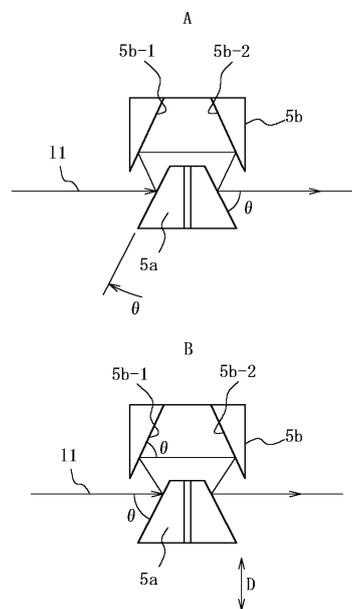
i1 第1の干渉光

i2 第2の干渉光

【図1】



【図2】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100119530

弁理士 富田 和幸

(72)発明者 張 小威

茨城県つくば市吾妻4 - 2 0 2 - 3 0 1

Fターム(参考) 2F064 AA15 CC04 EE01 GG22 GG52