

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4478783号  
(P4478783)

(45) 発行日 平成22年6月9日(2010.6.9)

(24) 登録日 平成22年3月26日(2010.3.26)

(51) Int. Cl. F 1  
**G 0 2 B 5/30 (2006.01)** G O 2 B 5/30  
**G 0 2 B 1/02 (2006.01)** G O 2 B 1/02

請求項の数 7 (全 6 頁)

(21) 出願番号	特願2004-3644 (P2004-3644)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成16年1月9日(2004.1.9)		独立行政法人 日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2005-195996 (P2005-195996A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成17年7月21日(2005.7.21)	(74) 代理人	100089705
審査請求日	平成19年1月9日(2007.1.9)		弁理士 社本 一夫
		(74) 代理人	100140109
			弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行
		(74) 代理人	100092015
			弁理士 桜井 周矩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軟X線透過型偏光光学素子の生成法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

偏光性結晶の表面に軟X線が透過する光学薄膜を生成し、これを支持層として偏光性結晶を偏光特性を持ちつつ十分に軟X線が透過する10～20ミクロンの厚さに加工を施したことからなる、軟X線透過型偏光光学素子の作成法。

【請求項2】

偏光性結晶として劈開性結晶を用いる、請求項1記載の軟X線透過型偏光光学素子の作成法。

【請求項3】

劈開性結晶の劈開面とほぼ垂直な端面に軟X線が透過する単層膜を生成し、これを支持層として劈開性結晶を軟X線が十分に透過する10～20ミクロンの厚さまで薄く加工した、請求項2記載の軟X線透過型偏光光学素子の作成法。

【請求項4】

劈開性結晶の劈開面とほぼ垂直な端面に軟X線が透過する多層膜を生成し、これを支持層として劈開性結晶を軟X線が十分に透過する10～20ミクロンの厚さまで薄く加工した、請求項2記載の軟X線透過型偏光光学素子の作成法。

【請求項5】

劈開性結晶の劈開面と任意の角度を持つ端面に軟X線が透過する単層膜を生成し、これを支持層として劈開性結晶を軟X線が十分に透過する10～20ミクロンの厚さまで薄く加工した、請求項2記載の軟X線透過型偏光光学素子の作成法。

10

20

## 【請求項 6】

劈開性結晶の劈開面と任意の角度を持つ端面に軟 X 線が透過する多層膜を生成し、これを支持層として劈開性結晶を軟 X 線が十分に透過する 10 ~ 20 ミクロンの厚さまで薄く加工した、請求項 2 記載の軟 X 線透過型偏光光学素子の作成法。

## 【請求項 7】

支持層が、モリブデン膜若しくはシリコン膜からなる単層膜、又はモリブデン膜とシリコン膜からなる多層膜である請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の軟 X 線透過型偏光光学素子の作成法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

10

## 【0001】

本発明は、軟 X 線波長領域用の結晶を用いた偏光子、移相子などの偏光光学素子の設計製作に関する。なお、本発明において偏光光学素子とは、無偏光から直線偏光を取り出す偏光子、又は直線偏光から円偏光若しくは楕円偏光を取り出す（またはその逆）移相子を総称するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、波長 2 ~ 100 nm の軟 X 線領域では、多層膜を用いた透過型、反射型の偏光光学素子が開発されており、又波長 0.3 nm 以下の比較的硬い軟 X 線領域では、ダイヤモンド結晶等を用いた偏光光学素子が利用されているが（例えば、非特許文献 1、非特許文献 2 及び非特許文献 3 参照）、その中間の波長領域における偏光光学素子の開発はきわめて困難であった。

20

## 【0003】

その理由としては、多層膜型の偏光光学素子を製作しようとする場合、（1）膜周期長がほぼ波長と同じになり、現状の蒸着技術においては、このような単周期多層膜を均一に蒸着できない、（2）この波長領域では全ての物質の吸収係数が大きく、高反射率、高透過率を持つ多層膜を生成できない、（3）薄膜を形成する基板には波長の数十分の一の面粗さが要求されるが、このような研磨技術が確立されていないなどがあげられる。

## 【0004】

又、結晶型の偏光光学素子を製作しようとする場合、（1）結晶性が良く、1 nm 程度の面間隔を持ち、熱的、機械的に安定した結晶がほとんど存在しない、（2）この波長領域では吸収係数を無視できず、透過型の偏光光学素子を製作しようとする場合、数十ミクロン程度の薄膜にしななければならない、加工が困難などの理由があげられている。

30

【非特許文献 1】W.H.Zachariasen: Theory of x-ray diffraction in crystals., John Wiley, New York (1951)

【非特許文献 2】M.Hart and A.R.D. Rodrigues, J. Appl. Cryst. 11, 248 (1978)

【非特許文献 3】M.Yamamoto, H.Nomura, M.Yanagihara, M.Furudate, and M.Watanabe, J. Electr. Spectr. Rel. Phenom. 101,869 (1999)

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

40

## 【0005】

本発明は、このような課題を解決するために成されたものであり、その目的は、波長 0.3 ~ 2 nm の領域において、反射率、透過率が高く、更に偏光度、送相量の高い偏光光学素子を提供するものである。又、本発明の応用として、偏光成分により入射軟 X 線を反射光、透過光の 2 方向に分割する偏光ビームスプリッタに利用することも可能である。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

上記課題を解決するために成された本発明は、熱的、機械的に安定でない偏光性結晶表面に軟 X 線がよく透過する単層膜又は多層膜を生成し、この膜を支持層として研磨加工、イオンビーム加工、レーザー加工等により偏光性結晶を数十ミクロン厚に加工した自立可

50

能な偏光光学素子を生成するものである。自立可能なとは、ガラス板又は金属メッシュ等の支持基板上に形成されたものではないという意味で、特に上記波長領域では良い支持基板材料がないので自立可能なことが特に重要である。

【0007】

上記支持層の例としては、モリブデン膜若しくはシリコン膜からなる単層膜、又はモリブデン膜とシリコン膜からなる多層膜があり、これらの膜はイオンビームスパッタリング法、マグネトロンスパッタリング法等により形成される。

【発明の効果】

【0008】

本発明に係る偏光光学素子は、熱的、機械的な安定性と、透過率、偏光度、移相量などの光学的性能とを両立させるものであり、このことにより0.3~2nmの領域における偏光測定が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

本発明は、波長0.3~2nmの軟X線において、反射率、透過率が高く、更に偏光度、移送量の高い偏光光学素子となりうる可能性がある2nm程度の面間隔をもつ結晶として、白雲母(muscovite mica,  $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ )などを見出した。雲母は劈開性結晶として良く知られた結晶で、劈開面の面粗さは極めて小さい。なお、偏光素子として使用可能な劈開性結晶には雲母のほかの方解石、KCl等があるが、上記波長で使用可能なのはこの内では雲母のみである。

【0010】

一般に研磨面のRMS表面粗さが1nmを超えると粗さの増大につれて散乱による反射率の低下が急速に進む。したがって、表面粗さの小さい偏光素子を生成することが、高い偏光度、移送量を得るための必須の条件の一つとなるが、雲母はこの条件をよく満たしている。

【0011】

図1は雲母薄膜を用いる偏光光学素子の典型的な様式を示す。図1(a)は対称ブラックケース(結晶軸(劈開面)と表面が平行なもの:結晶軸と表面が斜めのものと区別するために対称と記載した)と呼ばれ、劈開面は表面に沿ってある。したがって、この様式の偏光光学素子を生成する場合、雲母の劈開性を利用できるため1nm近辺の波長の光を偏光特性が顕著となる入射角45度( $\theta_B$ )前後の無偏光の光1を入射すれば、回折光線2(反射波)として直線偏光が得られる。しかし、例えば、上記偏光光学素子を直線偏光から円偏光に変換する移相子として用いる場合、前方回折光線3(透過波)としての移相量が小さく実用にならないということを見出した。

更に、この問題を解決するには、図1(b)に示したように、劈開面が偏光光学素子の表面に垂直な対称ラウエケース(結晶軸(劈開面)と表面が垂直)とすれば、回折光線3(透過波)の十分な移相量が得られることを見出した。但し、対称ラウエケースの場合、雲母の劈開性を利用できないばかりか、設計上最適値と見出した10ミクロン程度の厚さに研磨加工などを行う場合、劈開面から容易に崩壊してしまうという欠点があった。

【0012】

本発明においては、上記欠点を取り除くために、軟X線薄膜を結晶端面に蒸着し、この層を支持層として結晶を必要な厚さまで研磨加工、イオンビームエッチング加工、又はレーザー加工等により薄層化する方法を考案した。

【0013】

即ち、図1(a)においては、入射光線1がほぼ入射角45度( $\theta_B$ )前後で雲母薄膜の劈開面に入射する。その入射光線の一部が雲母薄膜の劈開面で反射角 $\theta_H$ で反射して回折光線2(反射波)となり、その入射光線の残部が前方回折光線3(透過波)として透過角( $\theta_0$ )で雲母薄膜を透過する。

【0014】

図1(b)においては、入射光線1が、劈開面が雲母表面に垂直に存在する雲母薄膜に

10

20

30

40

50

入射角度 ( $\theta_B$ ) で入射すると、回折光線 2 が反射角  $\theta_H$  で反射し、前方回折光線 3 が透過角 ( $\theta_0$ ) で雲母薄膜を透過する。以下に、本発明を実施例により説明する。

【実施例】

【0015】

図 2 に本発明の具体的な工程を示す。まず結晶が板状の場合、光学素子として十分な端面の大きさを得るため、雲母などの結晶薄片 4 の間にインジウムなどの展性が高い軟金属薄片 5 を緩衝材としてサンドイッチ状に接着剤などで張り合わせ、柱状の塊に加工する (a)。次に、この結晶薄片、軟金属薄片の複合材料の劈開面と垂直な面を研磨加工、Ar,  $CHF_3$  等のイオンビームエッチング加工 (以下、単にイオンビーム加工と略)、Nd : YAG 4 次高調波 (波長 266 nm)、KrF エキシマレーザー (波長 248 nm) 等によるレーザー加工 (以下、単にレーザービーム加工と略) により、光学研磨面と同程度に平滑化する (b)。更に、この平滑化された端面に軟 X 線を透過する単層膜又は多層膜 6 を形成する (c)。多層膜を形成する場合の材質は、この膜を用いて反射率の増大を図るわけでないので、選択の自由度が大きく、例えば、モリブデン膜とシリコン膜との組み合わせによる多層膜でよい。最後に結晶の厚さを偏光光学素子として適当な 10 ~ 20 ミクロンの厚さに再び研磨加工、イオンビーム加工又はレーザー加工により整形する (d)。

10

【0016】

こうして生成された偏光光学素子を使用する際、図 3 に示されるように、入射光が軟金属の緩衝材と平行な面内に入射するように用いれば、透過効率の減少を招くのみで、偏光特性には影響しない。又、十分な端面面積が得られる結晶材料が得られる場合、前記軟金属との接合工程は必要でないことは言うまでもない。

20

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図 1】従来の偏光光学素子の典型的な様式を示す図である。

【図 2】本発明を透過型偏光光学素子を作成する加工工程を示す図である。

【図 3】入射光が軟金属の緩衝材と平行な面内に入射する場合を示す図である。

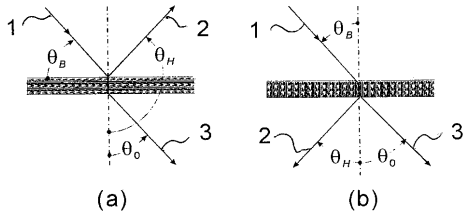
【符号の説明】

【0018】

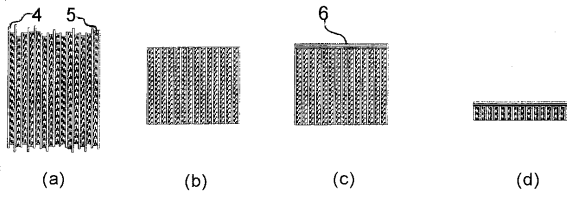
- 1 : 入射光線
- 2 : 回折光線 (反射波)
- 3 : 前方回折光線 (透過波)
- 4 : 結晶薄片
- 5 : 軟金属薄片
- 6 : 多層膜又は単層膜

30

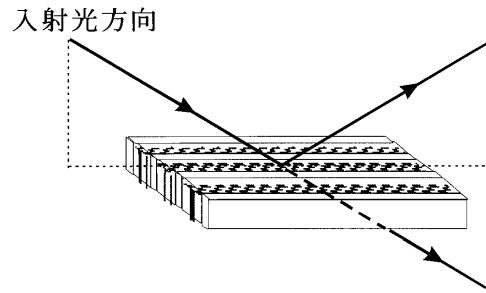
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100093713  
弁理士 神田 藤博
- (74)代理人 100091063  
弁理士 田中 英夫
- (74)代理人 100102727  
弁理士 細川 伸哉
- (74)代理人 100117813  
弁理士 深澤 憲広
- (74)代理人 100123548  
弁理士 平山 晃二
- (72)発明者 小池 雅人  
京都府相楽郡木津町梅美台8丁目1番 日本原子力研究所 関西研究所内
- (72)発明者 石岡 雅彦  
京都府相楽郡木津町梅美台8丁目1番 日本原子力研究所 関西研究所内
- (72)発明者 今園 孝志  
京都府相楽郡木津町梅美台8丁目1番 日本原子力研究所 関西研究所内

審査官 大橋 憲

- (56)参考文献 特開2002-236200(JP,A)  
特開2002-343710(JP,A)  
特開平11-174002(JP,A)  
国際公開第01/041155(WO,A1)  
特開2000-196197(JP,A)  
特開平06-045231(JP,A)  
特開平06-242314(JP,A)  
特開平04-104103(JP,A)  
特開平11-223637(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 1/02  
G02B 5/30  
C30B 1/00-35/00