

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6579371号
(P6579371)

(45) 発行日 令和1年9月25日(2019.9.25)

(24) 登録日 令和1年9月6日(2019.9.6)

(51) Int. Cl.			F I		
G21K	1/06	(2006.01)	G21K	1/06	B
G02B	5/18	(2006.01)	G02B	5/18	
G21K	1/00	(2006.01)	G21K	1/00	X
			G21K	1/06	C

請求項の数 8 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2015-166542 (P2015-166542)	(73) 特許権者	301032942
(22) 出願日	平成27年8月26日(2015.8.26)		国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
(65) 公開番号	特開2017-44556 (P2017-44556A)		千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
(43) 公開日	平成29年3月2日(2017.3.2)	(73) 特許権者	000001993
審査請求日	平成30年8月3日(2018.8.3)		株式会社島津製作所
			京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
		(74) 代理人	110001069
			特許業務法人京都国際特許事務所
		(72) 発明者	小池 雅人
			京都府木津川市梅美台八丁目1番地7 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラミナー型回折格子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ラミナー型ベース上に、
目的電磁波の浸透深さよりも厚い屈折率 n_0 の金属膜が被覆され、
該金属膜の上に該目的電磁波の浸透深さよりも薄い屈折率 n_1 の酸化物膜が被覆されてお
り、

$$1 > n_1 > n_0 \text{ である}$$

ことを特徴とするラミナー型回折格子。

【請求項2】

前記金属膜が金(Au)、白金(Pt)、ニッケル(Ni)のいずれかから成ることを特徴と
する請求項1に記載のラミナー型回折格子。

【請求項3】

前記金属膜が2種以上の異種の金属の膜が積層されたものであることを特徴とする請求
項1又は2に記載のラミナー型回折格子。

【請求項4】

前記酸化物膜が酸化チタン(TiO_2)又は酸化セリウム(CeO_2)から成ることを特徴とす
る請求項1～3のいずれかに記載のラミナー型回折格子。

【請求項5】

ラミナー型ベース上に、
目的電磁波の浸透深さよりも厚い屈折率 n_0 の金属膜が被覆され、

10

20

該金属膜の上に該目的電磁波の浸透深さよりも薄い屈折率 n_i のフッ化物膜が被覆されており、

$1 > n_i > n_s$ である

ことを特徴とするラミナー型回折格子。

【請求項6】

前記金属膜が金(Au)、白金(Pt)、ニッケル(Ni)のいずれかから成ることを特徴とする請求項5に記載のラミナー型回折格子。

【請求項7】

前記金属膜が2種以上の異種の金属の膜が積層されたものであることを特徴とする請求項5又は6に記載のラミナー型回折格子。

【請求項8】

前記フッ化物膜がフッ化リチウム(LiF)から成ることを特徴とする請求項5~7のいずれかに記載のラミナー型回折格子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軟X線等の特に短波長の電磁波に用いられる、回折効率の高いラミナー型回折格子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、ボロン(B)やリチウム(Li)等の軽元素のK, L殻等の内殻に関する発光・吸収が起きる軟X線領域での高感度分光測定に関心が高まっている。特に製鉄産業では自動車産業等から需要の高まっている剛性が高い特殊鋼板の製造の際、キーポイントとなる焼き入れ特性などの向上のため、数ppmレベルでのB添加量の正確な制御が必要とされつつある(非特許文献1)。また、Bと他の微量元素との相互作用の解明等の基礎的な物性の解明も必要とされている。

【0003】

このような鉄鋼中の微量Bの他、二次電池中のリチウムイオン、透明電極材料であるITO(酸化インジウムスズ)に含まれるSnとInなど、新しいデバイスや機能性材料を開発するため物質機能を支配している結合電子状態密度をナノスケールの空間分解能で行う分析技術の確立をめざし、本発明者らは、電子顕微鏡で観察した領域の結合電子状態を測定することが可能な、回折格子を用いた軟X線高分解能発光分光システムを開発した(非特許文献2)。透過電子顕微鏡(TEM)に搭載した実証用システムでは4枚の回折格子を用いて50eV~4keVの領域を測定することができ、電子線プローブマイクロアナライザ(EPMA)に搭載した汎用システムでは2枚の回折格子を用いて50~210eVの領域を測定することができる。

【0004】

しかしながら、これらのシステムにおける例えばBの分析限界は約20ppmとされていて、鉄鋼中での含有量から勘案すると、更なる高感度化を進める必要がある。このためには、BのK発光線(B K, 183.3eV, 6.76nm)を中心とした領域で回折格子の回折効率を向上させる必要がある。

【0005】

K, L殻等の内殻に関する発光・吸収に対応する、エネルギーが約0.1keVから2keV付近の軟X線(波長: 12nm~0.6nm)をラミナー型回折格子で分光する場合、実用的な回折効率を得るためには光を回折格子面とすれすれの方向から入射させる。ここで、回折格子の表面には通常、反射膜として屈折率 n が1よりわずかに小さい物質が積層されており、高い回折効率を得るためには、回折格子面に垂直な法線方向から測った入射角 θ が反射膜の全反射条件である $\sin \theta = n$ を満たすようにする。

【0006】

しかしながら、回折格子の溝の効果により、回折される光のエネルギーは、正反射条件

10

20

30

40

50

を満たす零次光や多くの次数光に分散されるだけでなく、表面物質内に吸収される成分も存在するため、測定に利用される1次数の光（または-1次数の光）の強度は回折格子溝のない鏡の全反射の場合の強度に比較して非常に弱くなる。このため、ラミナー型回折格子においては、その矩形の溝の深さ及び凹凸の山面と谷面の面積比（デューティ比）を最適化し、山面と谷面からの光が所望の回折次数の光の回折光方向で正の干渉を起こすように設計される。

【0007】

軟X線域で高い回折効率を得る方法として、回折格子溝を有する表面に低密度物質層と、それよりも密度が高い高密度物質層を交互に積層した多層膜構造を形成する方法がある。多層膜構造を形成した回折格子では、軟X線を全反射条件よりわずかに小さい入射角で入射させることにより、軟X線を多層膜構造内に侵入させ、高密度物質層で回折された光を干渉で強めることにより高い回折効率を得ている。しかしこの場合、多層膜構造内に吸収されるエネルギーも大きくなるため、膜内部深くまで光（軟X線）が侵入できず、溝端面での散乱の発生などの理由により、多層膜構造の干渉効果を十分に生かすことができなかった。このことが軟X線多層膜回折格子で高い回折効率を得ることを困難にしていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2015 94892号公報

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】渡辺征一，大谷泰夫：鉄と鋼 62，1851 1858 (1976)

【非特許文献2】T. Imazono, M. Koike, et al. Proc. of SPIE 8848, 884812 (2013)

【非特許文献3】小池雅人他，「DLC光学素子の軟X線への応用」，レーザー学会第471回研究会報告，RTM 14 71

【非特許文献4】柳原美広，「軟X線領域における超薄膜の光学定数」，放射光，第9巻第1号，pp. 1 13 (1996)

【非特許文献5】"Diffraction analysis of dielectric surface relief gratings", JO SA A 72, 1386 (1982)

【非特許文献6】"Rigorous coupled wave analysis of metallic surface relief gratings", JOS A 3, 1780 (1986)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

多層膜構造を用いた軟X線用回折格子においては、前記吸収の存在により、幅広いエネルギー帯域で回折効率を向上させることが困難で、最近主流となりつつある二次元撮像素子を用いた幅広いエネルギー帯域の高い同時分光計測には適さない。

【0011】

本発明者らは、一般に市販されている、金属膜表面を持つ軟X線分光分析用回折格子の表面にダイヤモンドライクカーボン（DLC）等の高密度炭素膜を付加することにより、これら回折格子の回折効率の向上が可能であることを数値計算で示した（特許文献1、非特許文献3）

【0012】

しかし、金属膜表面へのダイヤモンドライクカーボン（DLC）等の高密度炭素膜の付加は、実際の製造工程において容易に行うことができない。

【0013】

本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたものであり、容易に製造を行うことができる、高効率の回折格子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

10

20

30

40

50

上記課題を解決するために成された本発明に係るラミナー型回折格子は、
ラミナー型ベース上に、
目的電磁波の浸透深さよりも厚い屈折率 n_0 の金属膜が被覆され、
該金属膜の上に該目的電磁波の浸透深さよりも薄い屈折率 n_1 の酸化物膜が被覆されてお
り、

$1 > n_1 > n_0$ である

ことを特徴とする。

【0015】

上記課題を解決するために成された本発明に係るラミナー型回折格子の別の態様のもの
は、

ラミナー型ベース上に、

目的電磁波の浸透深さよりも厚い屈折率 n_0 の金属膜が被覆され、

該金属膜の上に該目的電磁波の浸透深さよりも薄い屈折率 n_1 のフッ化物膜が被覆されて
おり、

$1 > n_1 > n_0$ である

ことを特徴とする。

【0016】

上記いずれの態様のラミナー型回折格子においても、前記金属膜は金(Au)、白金(Pt)
)、ニッケル(Ni)のいずれかとすることができる。

【0017】

前記金属膜は、2種以上の異種の金属の膜が積層されたものであってもよい。

【0018】

前記酸化物膜は、酸化チタン(TiO_2)又は酸化セリウム(CeO_2)の膜とすることができ
る。

【0019】

前記フッ化物膜は、フッ化リチウム(LiF)又はフッ化ランタン(LaF_3)の膜とすること
ができる。

【0020】

本発明に係るラミナー型回折格子は、従来の金、白金等を被覆した金属膜被覆回折格子
とは異なる原理に基づき、回折効率を向上するものである。すなわち、従来の金属膜被覆
回折格子においては、入射角を全反射条件より大きい角度で用いることにより、吸収を少
なくし、回折効率の向上を図ろうとするものであるが、吸収を全くなくすることはできな
い。

【0021】

本発明に係るラミナー型回折格子では、目的電磁波(回折しようとする電磁波)の入射
角を金属膜の全反射条件より僅かに大きい角度として使用する。入射した目的電磁波は、
エバネッセント効果により、一部が酸化物膜又はフッ化物膜内に侵入し、さらに金属膜に
侵入するが、上記条件により金属膜を透過することはない。いずれにせよ、上記屈折率条
件により目的電磁波は酸化物膜/フッ化物膜及び金属膜で全反射するとともに、これらエ
バネッセント効果により侵入した目的電磁波が再び表面に出ることにより回折に寄与し、
回折効率を高める。

【0022】

波長 λ の電磁波が屈折率 n_1 の物質から屈折率 n_0 の物質に入射角 θ_1 で入射したとき、その
電磁波の強度が $1/e$ (e は自然対数の底(2.718)。従って、 $1/e=0.368$)になる深さ x_1 は近似
的に次式で与えられる。

$$x_1 = \lambda / \{2 (n_1^2 \sin^2 \theta_1 - n_0^2)\} \quad (1)$$

【0023】

従って、上記「目的電磁波の浸透深さよりも厚い」とは、その金属膜の全反射角又はそ
れよりも僅かに大きい角度で入射する目的電磁波の強度が $(1/e)^2=0.13$ 以下となる厚さ、
すなわち、上記式(1)で $n_1=n_0$ としたときの x_1 の2倍程度以上とすることができる。

10

20

30

40

50

【0024】

同様に、上記「目的電磁波の浸透深さよりも薄い」とは、該角度で酸化物膜又はフッ化物膜に入射し、透過する目的電磁波の強度が $(1/e)^2=0.13$ 以上となる厚さ、すなわち、上記式(1)で $n_2=n_3$ 又は $n_2=n_1$ としたときの x_2 の2倍程度以下とすることができる。

【0025】

例えば、金(Au)、ニッケル(Ni)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)等の酸化物、及びフッ化アルミニウム(AlF_3)等のフッ化物で入射角を 87° とした場合のBK線(波長 6.76nm)の x_2 を計算した結果は、図9に示す通りである。

【0026】

なお、従来、反射鏡等の光学素子の表面には、酸化等による光学的劣化を避けるために化学的に不活性で、かつ吸収が小さい物質を被覆することが行われているが、それは主に、異物質間(界面)の化学的変化や熱力学的変化を制限するに必要最小限の膜厚に制御することを目的としたものであり、回折格子の表面被覆として反射回折光の高効率化を目的とするものではなかった。

【発明の効果】

【0027】

本発明では、回折格子表面の酸化物膜あるいはフッ化物薄膜の効果により、薄膜内で吸収されるエネルギーを減少させるだけでなく、正反射光(零次光)を低減させ、測定に用いる+1次光(もしくは-1次光)となるエネルギーの割合を広いエネルギー帯域で増加させることができる。また、実際の製造においては、金属膜上に酸化物膜あるいはフッ化物膜を形成するのは容易であり、低コストで製造を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】従来の回折格子の構造を示す図。

【図2】従来の回折格子の表面に金(Au)膜を堆積した回折格子の回折効率の数値計算結果を示すグラフ。

【図3】従来の回折格子の表面にニッケル(Ni)膜を堆積した回折格子の回折効率の数値計算結果を示すグラフ。

【図4】本発明の実施の形態となる酸化物膜又はフッ化物膜を表面に持つ回折格子の構造を示す図。

【図5】本発明の実施の形態となる酸化物膜の一つである酸化チタン(TiO_2)膜を表面に持つ回折格子の各次数の回折効率の数値計算結果を示す図。

【図6】本発明の実施の形態となるフッ化物膜の一つであるフッ化リチウム(LiF)膜を表面に持つ回折格子の各次数の回折効率の数値計算結果を示す図。

【図7】本発明の実施の形態となる、厚さ($d_1 =$) 30nm のNi膜が堆積されたラミナー型回折格子基板上に、それぞれ図9に示した酸化物が厚さ($d_2 =$) 24nm で堆積された回折格子の入射角が 87° の場合の一次光($m = +1$)の回折効率を示すグラフ。

【図8】本発明の実施の形態となる、厚さ($d_1 =$) 30nm のNi膜が堆積されたラミナー型回折格子基板上に、それぞれ図9に示したフッ化物が厚さ($d_2 =$) 24nm で堆積された回折格子の入射角が 87° の場合の一次光($m = +1$)の回折効率を示すグラフ。

【図9】回折格子表面に用いられる物質として典型的な金属である金とニッケル、及び主な酸化物、フッ化物の補屈折率、屈折率 n 、消衰係数、臨界角 θ_c 、及びBK線侵入深さの値の表。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の実施形態である軟X線用ラミナー型回折格子を、従来型のものとは対比して詳細に説明する。

【0030】

物質の複素屈折率 n は $n=(1 - i) - i$ で表される。ここで、 $1 - i$ は(実)屈折率、 i は消衰係数である。入射光が表面すれすれに入射するときの鏡表面から測った臨界角 θ_c は

、良い近似で $\epsilon = (2 \dots)^{1/2}$ で表される。図 9 は回折格子表面に用いられる物質として典型的な金属である金 (Au) とニッケル (Ni)、及び主な酸化物、フッ化物の補屈折率、屈折率 n 、消衰係数、臨界角 θ_c を表にしたものである (非特許文献 4)。なお、この表では、金属層として Ni を用いた場合のボロンの K 線発光 (B K) の波長 6.76nm での屈折率 $n_m = 0.974776$ と、 $1 > n_i$ or $n_i > n_m$ を満たす物質に限った。

【 0 0 3 1 】

以下では、数値計算において良好な回折効率を得た酸化物の代表例として酸化チタン (TiO_2) を、フッ化物の代表例としてフッ化リチウム (LiF) をニッケル (Ni) 層の上に堆積した例について述べる。

【 0 0 3 2 】

従来型のラミナー型回折格子の形態について図 1 を用いて説明する。直角座標系において、x 軸を回折格子中心 0 での回折格子の垂線 (法線) 方向、y 軸を 0 での回折格子面の接線方向、z 軸を 0 において紙面に垂直な軸とする。この時、x 軸方向から入射光の方向へ張る角度を入射角 (θ) とする。また、x 軸方向から測定に用いる波長 (λ) の回折次数 (m) が 1 次の回折光の方向を回折角 (θ_m) とする。角度 θ と θ_m の双方について符号は x 軸から反時計廻りを正とする。

【 0 0 3 3 】

回折格子溝はラミナー型と一般に称される矩形波状であり、 SiO_2 等の基板 1 の表面、または基板 1 上に形成された樹脂表面に、溝周期である格子定数 (Λ)、溝の山部の長さ (a)、溝深さ (h) の格子溝が形成されている。

【 0 0 3 4 】

従来型のラミナー型回折格子及び後述の本発明の実施の形態となる回折格子の基板 1 として、ガラス (SiO_2) 基板上に $1/\Lambda = 1200$ 本/mm ($\Lambda = 833$ nm)、 $h = 16$ nm、デューティ比 (a/Λ) = 0.3 ($a = 250$ nm) のラミナー型格子溝を用いる。図 1 はその基板 1 上に金属層 2 を堆積した従来型の回折格子の模式図である。図 2、図 3 はそれぞれ厚さ ($d_1 =$) 30nm の金 (Au)、ニッケル (Ni) 層を堆積した場合で、入射角 θ が 87° の場合の各次数 ($m = 0, +1, +2, +3$) の光の回折効率を示す。なお、数値計算には M. G. Moharam らに基づく方法 (非特許文献 5、非特許文献 6) を用いた。これらの図からわかるように、発光分析上重要とされるボロン (B) の K 線 (B K) 発光である波長 6.76nm における一次回折光の回折効率は、Au では 0.143、Ni では 0.155 と実用上十分な回折効率とされる 0.2 には及ばない。

【 0 0 3 5 】

本発明の実施の一形態となるラミナー型回折格子の形態について図 4 を用いて説明する。図 1 の従来型の形態について先に述べた金属層 1 2 を堆積した回折格子基板 1 1 の上に、酸化物、フッ化物 1 3 を堆積する。ここでは金属層 1 2 として厚さ ($d_1 =$) 30nm のニッケル (Ni)、酸化物層 1 3 として厚さ ($d_2 =$) 24nm の酸化チタン (TiO_2) 層、フッ化物層 1 3 として同じく厚さ ($d_2 =$) 24nm のフッ化リチウム (LiF) を堆積した。入射角 θ が 87° の場合の各次数 ($m = 0, +1, +2, +3$) の光の回折効率をそれぞれ図 5 及び図 6 に示す。ボロン (B) の K 線 (B K) 発光の波長 6.76nm における一次回折光の回折効率は、 TiO_2 では 0.224、LiF では 0.210 と 0.2 を超えるほか、5 ~ 12nm の領域で金属単層膜の場合 (図 2、図 3) より回折効率が増加する。

【 0 0 3 6 】

ここで用いた酸化チタン (TiO_2) は代表的な光触媒活性物質として知られている。現在、実用化されている光触媒はこれだけである。軟 X 線が TiO_2 膜に照射すると光触媒作用により表面に吸着されている水分が酸素と水素に分解して脱離されるほか、同時に、炭素等の汚染物質を除去する作用がある。

【 0 0 3 7 】

図 7、図 8 には図 2、図 3、図 5、図 6 で示した回折格子基板上に、それぞれ図 9 に示した酸化物、フッ化物が厚さ ($d_2 =$) 24nm で、厚さ ($d_1 =$) 30nm の Ni 膜上に堆積された回折格子の入射角が 87° の場合の一次光 ($m = +1$) の回折効率を示す。使用上必要な波長領域により堆積する膜の材質を変えることにより、高い回折効率を得ることができる。

10

20

30

40

50

【0038】

さらに、上記実施例で示したNi膜厚が30nmの場合においては、入射角 87° のとき、透過する光の割合が 10^{-4} 以下になるので、透過光は事実上存在しないとみなせる。このことは、この条件において回折効率は基板材質に依存しないことを示している。したがって、平面基板上の樹脂層の表面に格子溝が刻線されているレプリカ回折格子においても上記実施例と同じ回折効率を得られる。レプリカ回折格子は格子溝が基板表面に刻線されているマスター回折格子に比較して安価に製作できるため、このことも工業的な量産にあたって都合の良い重要な特性である。

【0039】

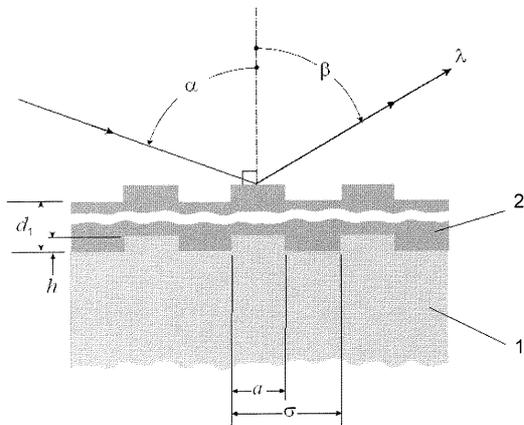
これまで、酸化を防ぐ保護膜として炭素系またはフッ素系の薄膜を軟X線光学素子表面に形成することは考えられてきたが、この膜を反射率、回折効率を増すために利用しようとする試みは見られなかった。本発明は、湿気のある大気中においても安定な酸化物又はフッ化物薄膜付加により保護膜としての効果のみならず、回折格子にとって根幹的な性能である回折効率の増加を広いエネルギー帯域においてもたらずこと、膜厚の公差は大きくてよいことを明らかにしたもので、工業的な有用性が高い。

【符号の説明】

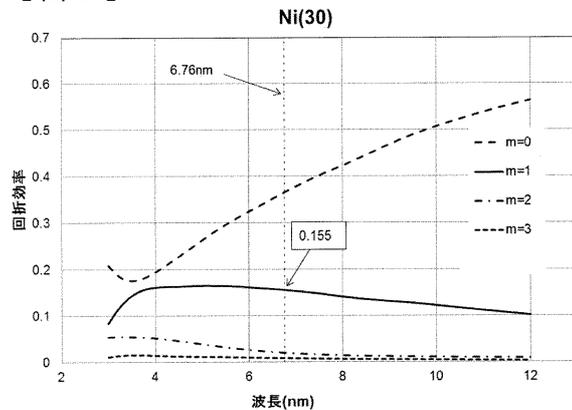
【0040】

- 1、11 回折格子基板
- 2、12 金属層
- 13 酸化物層、フッ化物層

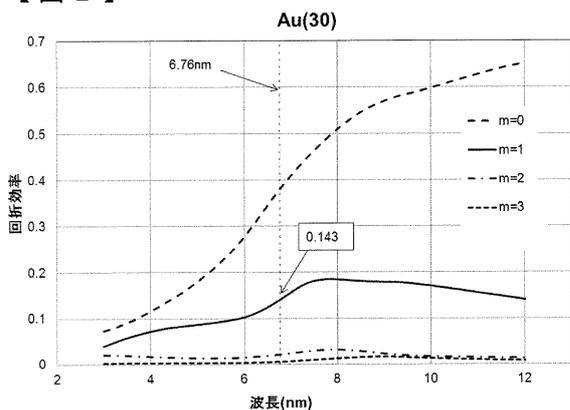
【図1】



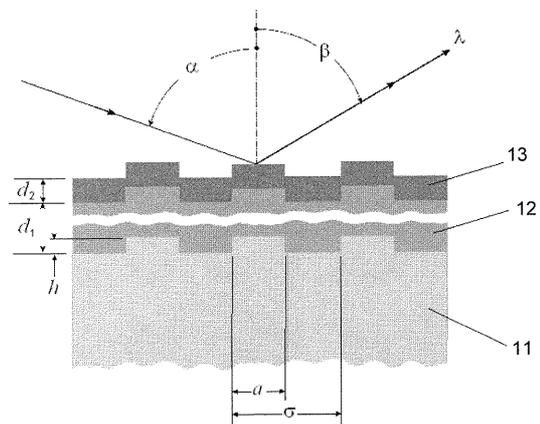
【図3】



【図2】



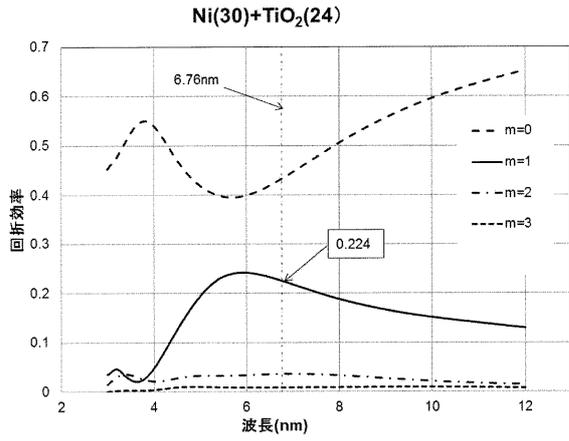
【図4】



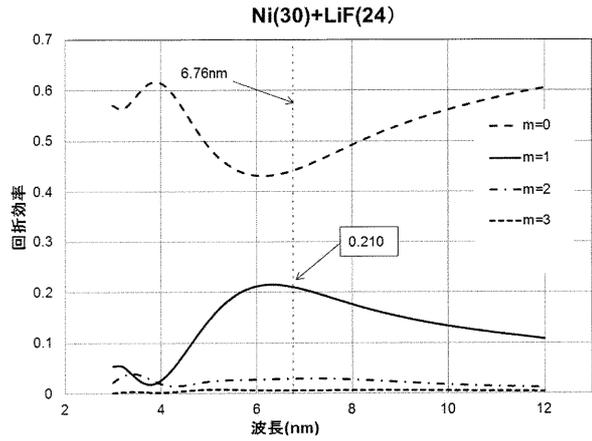
10

20

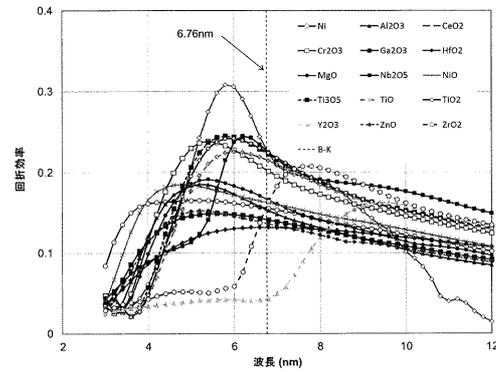
【図5】



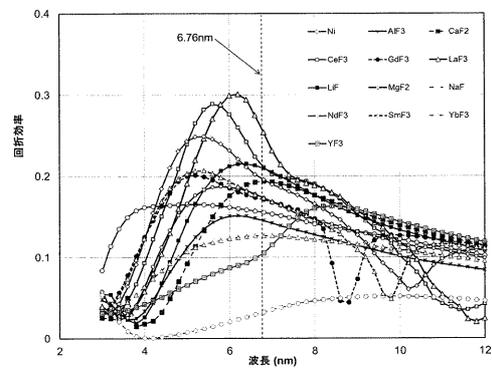
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

金属					
	δ	n_m	β	$\theta_c(^{\circ})$	X_d (nm)
Au	1.40538×10^{-2}	0.985195	8.416707×10^{-3}	7.433763	6.596746
Ni	2.522400×10^{-2}	0.974776	1.895500×10^{-2}	11.155769	4.960610
酸化物					
	δ	n_o	β	$\theta_c(^{\circ})$	X_d (nm)
Al ₂ O ₃	1.813134×10^{-2}	0.981869	1.059643×10^{-2}	8.340988	5.907222
CeO ₂	2.214642×10^{-2}	0.977854	3.690401×10^{-3}	4.922372	5.314240
Cr ₂ O ₃	1.909925×10^{-2}	0.980901	5.940575×10^{-3}	6.245279	5.746165
Ga ₂ O ₃	1.753386×10^{-2}	0.982466	1.229155×10^{-2}	8.983403	6.014701
HfO ₂	1.528182×10^{-2}	0.984718	1.109295×10^{-2}	8.534169	6.479941
MgO	1.733633×10^{-2}	0.982664	8.227109×10^{-3}	7.349559	6.052136
Nb ₂ O ₅	2.050359×10^{-2}	0.979496	4.327522×10^{-3}	5.330369	5.534396
NiO	2.212700×10^{-2}	0.977873	1.258074×10^{-2}	9.088468	5.314012
Ti ₃ O ₅	1.654378×10^{-2}	0.983456	4.250158×10^{-3}	5.282508	6.207319
TiO	1.544554×10^{-2}	0.984554	4.206194×10^{-3}	5.255115	6.443162
TiO ₂	1.593549×10^{-2}	0.984065	4.004528×10^{-3}	5.127590	6.334660
Y ₂ O ₃	6.026451×10^{-2}	0.993974	4.566241×10^{-3}	5.475415	11.177733
ZnO	1.697335×10^{-2}	0.983027	1.267489×10^{-2}	9.122411	6.120508
ZrO ₂	1.041558×10^{-2}	0.989584	2.721652×10^{-3}	4.227211	8.031905
フッ化物					
	δ	n_f	β	$\theta_c(^{\circ})$	X_d (nm)
AlF ₃	1.271150×10^{-2}	0.987289	5.907719×10^{-3}	6.227985	7.172358
CaF ₂	1.228596×10^{-2}	0.987714	3.208259×10^{-3}	4.589573	7.311076
CeF ₃	2.352705×10^{-2}	0.976473	4.589345×10^{-3}	5.489250	5.147475
GdF ₃	2.187194×10^{-2}	0.978128	1.055701×10^{-2}	8.325455	5.347657
LaF ₃	2.079871×10^{-2}	0.979201	3.292905×10^{-3}	4.649725	5.493253
LiF	1.625666×10^{-2}	0.983743	4.260295×10^{-3}	5.288804	6.848848
MgF ₂	1.549806×10^{-2}	0.984502	6.352319×10^{-3}	6.458086	6.431135
NaF	4.826531×10^{-2}	0.995173	1.851699×10^{-3}	3.486766	12.969808
NdF ₃	2.333325×10^{-2}	0.976667	6.997610×10^{-3}	6.778171	5.169391
SmF ₃	2.252961×10^{-2}	0.977470	1.049377×10^{-2}	8.300482	5.264713
YbF ₃	1.330574×10^{-2}	0.986694	8.828205×10^{-3}	7.613316	6.986336
YF ₃	9.633335×10^{-3}	0.990367	4.992113×10^{-3}	5.725058	8.397671

$\theta=87^{\circ}$ $\lambda=6.76$ nm $n_i=1$ $n_{m,ef}=1-\delta$

フロントページの続き

(72)発明者 長野 哲也

京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内

審査官 鳥居 祐樹

(56)参考文献 特開2015-094892(JP,A)

特開2008-090030(JP,A)

米国特許出願公開第2003/0129404(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21K 1/06

G21K 1/00

G02B 5/18

G01N 23/04