

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7280198号

(P7280198)

(45)発行日 令和5年5月23日(2023.5.23)

(24)登録日 令和5年5月15日(2023.5.15)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 5/08 (2006.01)

G 0 2 B 5/08 A

B 3 2 B 7/023(2019.01)

B 3 2 B 7/023

B 3 2 B 9/00 (2006.01)

B 3 2 B 9/00 A

請求項の数 3 (全32頁)

(21)出願番号 特願2019-569377(P2019-569377)

(86)(22)出願日 平成30年6月14日(2018.6.14)

(65)公表番号 特表2020-523642(P2020-523642  
A)

(43)公表日 令和2年8月6日(2020.8.6)

(86)国際出願番号 PCT/US2018/037609

(87)国際公開番号 WO2018/232162

(87)国際公開日 平成30年12月20日(2018.12.20)

審査請求日 令和3年6月1日(2021.6.1)

(31)優先権主張番号 62/520,833

(32)優先日 平成29年6月16日(2017.6.16)

(33)優先権主張国・地域又は機関  
米国(US)

前置審査

(73)特許権者 397068274

コーニング インコーポレイテッド  
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8  
3 1 コーニング リヴァーフロント プ  
ラザ 1

(74)代理人 100073184

弁理士 柳田 征史

(72)発明者 パロウ, ジェイソン スコット

アメリカ合衆国 ニューハンプシャー州  
0 3 4 4 8 ギルサム マグワイア ドラ  
イヴ 7

(72)発明者 ハート, ゲイリー アレン

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 5  
6 8 ウォルワース ジョニー レーン 2  
1 0 9

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高反射鏡のための銀コーティング積層体の反射帯域幅の拡大

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

0 . 3 0 0  $\mu$  m ~ 1 5  $\mu$  m の波長範囲で使用するための高反射鏡であって、

前記高反射鏡は：

基板；

前記基板上に設けられた積層であって、

耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含むとともに、N b  
2 O 5、Y b F x O y、S i 3 N 4、C r N のうちの少なくとも1つを含む、バリア層；

前記バリア層上に設けられた第1の界面層；

反射層；および

第2の界面層を備えた、積層；

前記積層上に設けられた複数の調質層であって、少なくとも、低屈折率材料を含む第  
1の層と高屈折率材料を含む第2の層とを含み、前記高屈折率材料はH f O 2を含む、複  
数の調質層；並びに前記複数の調質層上に設けられた保護層  
を備え、前記高反射鏡は、入射角(A O I) = 4 5 °において、3 3 5 n m ~ 1 0 0 0 n m の波  
長範囲における全ての波長において反射率が9 0 %以上である、高反射鏡。

## 【請求項 2】

前記高反射鏡は、A O I = 4 5 °において、3 4 0 n m ~ 4 0 0 n m の波長範囲にわた

って少なくとも90%の反射率を有する、請求項1に記載の高反射鏡。

【請求項3】

前記第1の界面層は0.2nm~50nmの厚さを有し、 $Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $ZnS$ 、 $MgF_2$ 、 $AlF_3$ 、 $Ni$ 、モネル( $Ni-Cu$ )、 $Ti$ 、 $Pt$ 、又はこれらの組み合わせを含む、請求項1に記載の高反射鏡。

【発明の詳細な説明】

【優先権】

【0001】

本出願は、2017年6月16日出願の米国仮特許出願第62/520,833号に対する優先権の利益を主張するものであり、その内容は依拠され、参照によりその全体が本出願に援用される。

10

【技術分野】

【0002】

本開示は、反射帯域幅が拡大された高反射鏡のための、強化された高耐久性の革新的な銀含有(Enhanced、Durable Innovative Silver containing:「EDIS」)コーティング積層体、及びISR検出器において有用となり得る上述のような積層体を作製する方法を対象とする。

【背景技術】

【0003】

インテリジェンス・監視・偵察(Intelligence Surveillance Reconnaissance:ISR)検出器技術は常に改善されており、例えば波長検出範囲の増大、検出器のフットプリントの低減、及びピクセルサイズの削減が行われ、これらは全て、システムのサイズ及び重量の削減を可能とする。これらの改善は、ISRマルチ広帯域光学系に関する需要の増大をもたらし、これは具体的には、高精細可視帯域(VIS、0.34 $\mu m$ ~約0.75 $\mu m$ )、並びに近赤外(NIR、0.75 $\mu m$ ~1.4 $\mu m$ )、短波長赤外(SWIR、1.4 $\mu m$ ~3 $\mu m$ )、中間波長赤外(MWIR、3 $\mu m$ ~8 $\mu m$ )、及び長波長赤外(LWIR、8 $\mu m$ ~15 $\mu m$ )帯域を含む。このようなシステムのある重要な構成部品は、システムがこのようなスペクトル性能を達成できるようにする銀コーティングをその上に有する反射光学部品である。反射光学部品上の銀コーティングは、これらの光学系がこのような広範囲のスペクトル性能を達成できるようにするために重要であるが、銀の反射率はNUV領域において制限され、また銀はLWIR内に吸収帯域を有する場合がある。しかしながら従来、ISR検出器技術で使用される銀コーティングは、銀コーティングが時間と共に「破壊(break down)」又は「腐食(corrode)」する傾向を有するため、システムの故障の原因となっていた。従って、高温、多湿及び塩分の多い環境における耐久性を有しながら、NUV及びLWIR帯域において高い反射率を提供する、広帯域銀コーティング済み光学部品を得ることが望まれている。

20

30

【0004】

薄膜コーティング済み光学構成部品の耐久性能を評価するために使用される試験手順は複数存在する。例としては、MIL-C-48497、MIL-F-48616、及びMIL-PRF-13830Bといった軍事仕様文書が挙げられ、これらは、湿度、塩霧、塩溶液、温度サイクル及び摩耗への曝露、並びに他の試験手順を伴う試験を含む。これらの試験のうち最も厳しいのは、「24時間塩霧(24 hour salt fog)」試験である。「X-1銀」と呼ばれるQuantum/Denton製銀コーティングは、0.4 $\mu m$ ~0.7 $\mu m$ の範囲の性能が実証されている(非特許文献1を参照)が、このコーティングに関する、LWIR範囲外の赤外線までの更に長い波長に関する情報は、提供されていない。基板の加熱によって性能が更に改善され得るものの、基板の加熱は、一部の金属基板、例えば6061 Al基板を使用している場合には望ましくない。というのは、温度が高すぎると、上記基板の機械的強度及び耐腐食性が低下するためである。従って、基板の温度は6061 Al基板の熱処理温度(約415 )及び応力緩和温度

40

50

(約350)未満とすることが好ましい。Lawrence Livermore Laboratoriesによる特許文献1は、銀接着界面層に窒化物を使用し、その一方で $\text{Si}_3\text{N}_4$ 保護キャップ層を使用することを請求対象としており、ここで「銀鏡は、UVである300nmから遠赤外線(約10000nm)までの広いスペクトル範囲における高い反射率を特徴としており、この範囲は $0.3\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】米国特許第7,838,134号明細書

【非特許文献】

【0006】

【文献】2000 Society of Vacuum, Coaters 505/856 7188; 43rd Annual Technical Conference Proceedings (2000) ISSN 0737 5921

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従って、当該技術分野における進歩にもかかわらず、NUV及びLWIR範囲における反射率特性が改善された高耐久性銀鏡に対する強い需要が存在する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

いくつかの実施形態によると、 $0.300\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ の波長範囲で使用するための高反射鏡が提供される。上記鏡は：基板；第1の界面層；反射層；第2の界面層；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料は $\text{HfO}_2$ である、複数の調質層；並びに保護層を含む。上記高反射鏡は、 $\text{AOI} = 45^\circ$ において、 $335\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ の波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。

【0009】

他の実施形態によると、 $0.300\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ の波長範囲で使用するための高反射鏡が提供される。上記鏡は：基板；第1の界面層；第1の反射層；第2の界面層；第3の界面層；第2の反射層；第4の界面層；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料は $\text{HfO}_2$ である、複数の調質層；並びに保護層を含む。上記高反射鏡は、 $\text{AOI} = 45^\circ$ において、 $335\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ の波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。

【0010】

更に他の実施形態によると、 $0.300\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ の波長範囲で使用するための高反射鏡が提供される。上記鏡は：基板；第1の反射層；第1の界面層；第2の界面層；第2の反射層；第3の界面層；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料は $\text{HfO}_2$ である、複数の調質層；並びに保護層を含む。上記高反射鏡は、 $\text{AOI} = 45^\circ$ において、 $335\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ の波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。

【0011】

更に他の実施形態によると、 $0.300\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ の波長範囲で使用するための高反射鏡が提供される。上記鏡は：基板；第1の反射層；バリア層；第1の界面層；第2の反射層；第2の界面層；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料は $\text{HfO}_2$ である、複数の調質層；並びに保護層を含む。上記高反射鏡は、 $\text{AOI} = 45^\circ$ において、 $335\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ の波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。

【0012】

更なる実施形態によると、 $0.300\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ の波長範囲で使用するための高反射鏡を作製するための方法が提供される。上記方法は：アルミニウム合金、シリカ、溶融

10

20

30

40

50

シリカ、Fドーブ溶融シリカ、マグネシウム合金、及びチタン合金からなる群から選択される基板を提供するステップ；上記基板を、粗度10nm未満まで研磨するステップ；厚さ0.2nm～25nmの第1の界面層を上記バリア層の上に適用するステップであって、上記厚さは上記第1の界面層に依存する、ステップ；厚さ75nm～300nmの反射層を上記第1の界面層の上に適用するステップ；厚さ5nm～20nmの第2の界面層を適用するステップであって、上記厚さは上記第1の界面層に依存する、ステップ；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを有する複数の調質層を適用するステップであって、上記高屈折率材料は $\text{HfO}_2$ であり、上記調質層の厚さは、上記低屈折率材料及び上記高屈折率材料に依存する、ステップ；並びに保護層を上記調質層の上に適用するステップを含む。

10

#### 【0013】

更なる特徴及び利点は、以下の「発明を実施するための形態」に記載され、またその一部は、当業者には「発明を実施するための形態」から容易に明らかとなるか、又は以下の「発明を実施するための形態」、特許請求の範囲及び添付の図面を含む本明細書に記載された実施形態を実施することによって認識されるだろう。

#### 【0014】

以上の「発明の概要」及び以下の「発明を実施するための形態」はいずれの単なる例示であり、特許請求の範囲の性質及び特徴を理解するための概観又は枠組みを提供することを意図したものであることを理解されたい。添付の図面は更なる理解を提供するために含まれており、本明細書に組み込まれて本明細書の一部を構成する。これらの図面は1つ以上の実施形態を図示し、本説明と併せて、様々な実施形態の原理及び動作を説明する役割を果たす。

20

#### 【0015】

添付の図面は更なる理解を提供するために含まれており、本明細書に組み込まれて本明細書の一部を構成する。これらの図面は1つ以上の実施形態を図示し、本記載と併せて、これらの様々な実施形態の原理及び動作を説明する役割を果たす。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0016】

【図1】本発明のいくつかの実施形態による高反射鏡の断面図

【図2】本開示の他の実施形態による高反射鏡の断面図

30

【図3】本開示の更に他の実施形態による高反射鏡の断面図

【図4】本開示の更に他の実施形態による高反射鏡の断面図

【図5】350nm～1000nmにおける、ガラス上のむき出しの銀フィルムの波長に対する%反射率のグラフ

【図6A】200nm～2600nmにおける、ガラス上のむき出しのアルミニウム、銀及び金フィルムの波長に対する%反射率のグラフ

【図6B】300nm～1000nmにおける、ガラス上のむき出しのアルミニウム、銀及び金フィルムの波長に対する%反射率を示す、図6AのUV部分の拡大範囲

【図7】350nm～400nmにおける、 $\text{HfO}_2$   $\text{SiO}_2$ 調質層を有する銀積層体及び $\text{Nb}_2\text{O}_5$   $\text{YbF}_3$ 調質層を有する銀積層体の、波長に対する%反射率のグラフ

40

【図8】 $\text{HfO}_2$ がどのように屈折率帯域を325nmまで下方へと増大させることができるかを実証する、波長に対する%反射率のグラフ

【図9A】300nm～1000nmにおいて92%超の平均反射率を有する $\text{HfO}_2$   $\text{YbF}_3$ 調質層を備えたAl Ag積層体に関する、波長に対する%反射率のグラフ

【図9B】300nm～8000nmにおいて92%超の平均反射率を有する $\text{HfO}_2$   $\text{YbF}_3$ 調質層を備えたAl Ag積層体に関する、波長に対する%反射率のグラフ

【図10】ガラス上の $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 及び $\text{HfO}_2$ 単層薄膜に関する、波長に対する%反射率のグラフ

【図11】本開示のいくつかの実施形態による高反射鏡を作製するための方法のフローチャート

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0017】

これより本発明の好ましい実施形態を詳細に参照する。これらの実施形態の例は、添付の図面に図示されている。可能な限り、図面全体を通して、同一又は同様の部分を指すために同一の参照番号を使用する。

## 【0018】

本明細書中の記載のために、用語「上側 (upper)」、「下側 (lower)」、「右 (right)」、「左 (left)」、「後方 (rear)」、「前方 (front)」、「垂直 (vertical)」、「水平 (horizontal)」、及びこれらの派生語は、図1のように配向されたデバイスに関するものとする。しかしながら、そうでないことが明記されている場合を除いて、上記デバイスは様々な別の配向及びステップ順序を想定できることを理解されたい。また、添付の図面に図示され、以下の明細書中で説明されている、具体的なデバイス及びプロセスは、添付の請求項において定義される発明的概念の単なる例示的な実施形態であることも理解されたい。従って、本明細書で開示される実施形態に関連する具体的な寸法及び他の物理的特性は、請求項に特段の記載がない限り、限定として解釈してはならない。

## 【0019】

本明細書中で使用される場合、用語「及び/又は (and/or)」は、2つ以上の項目の列挙において使用される場合、列挙された項目のうちのいずれの1つを単独で採用でき、又は列挙された項目のうちの2つ以上のいずれの組み合わせを採用できることを意味する。例えば、ある組成物が成分A、B、及び/又はCを含有するものとして説明される場合、当該組成物は：Aを単独で；Bを単独で；Cを単独で；A及びBを組み合わせで；A及びCを組み合わせで；B及びCを組み合わせで；又はA、B、及びCを組み合わせで含有できる。

## 【0020】

用語「...を含む (including)」、「...を備える (comprise、comprising)」又はこれらの他のいずれの変化形は、非包括的な包含を意図したものであり、一連の複数の要素を備えるプロセス、方法、物品、又は装置は、これらの要素のみを含むのではなく、明記されていない他の要素、又はこのようなプロセス、方法、物品、若しくは装置に本来的に備わっている他の要素を含んでよい。「...を備える (comprise a...)」が後に続いているある要素は、それ以上の制約なしに、該要素を備えるプロセス、方法、物品、又は装置内に、追加の同一の要素が存在することを排除するものではない。用語「...からなる (consisting of)」は、記載された要素のみを包含し、開示されているプロセス、方法、物品、又は装置内において、記載されていない他のいずれの要素、ステップ、又は構成部品を排除することを意図したものである。用語「...から本質的になる (consisting essentially of)」は、開示されているプロセス、方法、物品、又は装置の1つ以上の基本的特徴及び1つ以上の新規の特徴に実質的な影響を及ぼさない、明記された要素、ステップ、又は構成部品を包含することを意図したものである。

## 【0021】

反射性光学部品上の銀コーティングは、インテリジェンス・監視・偵察 (ISR) 検出器技術において、これらのシステムがNUV、VIS、SWIR、MWIR、及びLWIR帯域に対するマルチ広帯域反射率を達成できるようにする、要点となる構成部品である。銀コーティングの反射率はNUV領域に限定されており、LWIR領域では吸収帯域を示す。これらの限定は、銀の性能、並びに銀層を最適化及び保護するために積層体内で使用される材料の性能の結果である。図5は、450nm未満における銀の反射率の降下を示しているが、可視帯域からMWIR帯域での用途のためのコーティング積層体内で使用される多くの高屈折率蒸着材料は、450nm未満、400nm未満、及び更に小さな波長に関して増大する吸収係数を有する。吸収係数は、TiO<sub>2</sub>及びNb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>といったいくつかの酸化物薄膜コーティングに関して増大するが、HfO<sub>2</sub>等の他の材料の吸収係数は

10

20

30

40

50

、300nmもの低さまで測定不可能である。NUV及びLWIR帯域領域における銀系反射性光学部品の反射率を調整及び改善するために使用される高屈折率材料としてのHfO<sub>2</sub>の使用を、本明細書で開示される実施形態において達成できる。

#### 【0022】

本明細書中で定義される用語「高反射率 (high reflectivity)」は、0.300μm～15μmの波長範囲にわたる少なくとも75%の反射率を意味する。本明細書中で使用される場合、用語「塩霧 (salt fog)」は、「SF」と略される場合がある。6061 Alアルミニウム基板、又は他の金属基板は、いずれのコーティング材料の適用前にダイヤモンド加工及び研磨される。ガラス、ガラスセラミック、又はセラミック基板は、いずれのコーティングの適用前に、研削、ラップ仕上げ、及び研磨される。略語「AOI」は、「入射角 (Angle of Incidence)」を意味し、単位は°であり、用語「pol」は「研磨済みアルミニウム基板 (polished aluminum substrate)」を意味する。本明細書中に記載のプロセス実施形態では、コーティング材料の堆積中に基板温度を最小化することが望ましい場合がある。6061 Al基板を使用する場合、上記温度は、6061 Alの熱処理及び応力緩和温度 (415 及び350 ) 未満とするべきである。いくつかの実施形態では、6061 Al基板が、ASTMB557によって測定されたT<sub>6</sub>状態にある場合、温度がある期間にわたって200 を超えたときに焼戻し硬度又は硬度を操作できる。

10

#### 【0023】

図1～4を参照すると、参照番号10は全体として、0.300μm～15μmの波長範囲で使用するための高反射鏡を指す。高反射鏡10は：基板14；第1の界面層18；第1の反射層22；第2の界面層26；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料はHfO<sub>2</sub>である、複数の調質層30；並びに保護層42を含む。高反射鏡10は、AOI = 45°において、335nm～1000nmの波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。いくつかの実施形態では、高反射鏡10はバリア層46も含んでよく、これは、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含んでよい。

20

#### 【0024】

図1を参照すると、いくつかの実施形態では、高反射鏡10は：基板14；バリア層46；第1の界面層18；第1の反射層22；第2の界面層26；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、高屈折率材料38はHfO<sub>2</sub>である、複数の調質層30；並びに保護層42を含んでよい。高反射鏡10は、AOI = 45°において、335nm～1000nmの波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。いくつかの実施形態では、高反射鏡10のバリア層46は、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含んでよい。

30

#### 【0025】

図2を参照すると、いくつかの実施形態では、高反射鏡10は：基板14；バリア層46；第1の界面層18a；第1の反射層22a；第2の界面層26a；第3の界面層50；第2の反射層54；第4の界面層58；複数の調質層30；及び保護層42を含む。高反射鏡10は、AOI = 45°において、335nm～1000nmの波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。いくつかの実施形態では、高反射鏡10のバリア層46は、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含んでよい。

40

#### 【0026】

ここで図3を参照すると、いくつかの実施形態では、高反射鏡10は：基板14；第1の反射層22a；第1の界面層18b；第2の界面層26b；第2の反射層54；第3の界面層50a；複数の調質層30；及び保護層42を含む。高反射鏡10は、AOI = 45°において、335nm～1000nmの波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。いくつかの実施形態では、高反射鏡10はバリア層46も含んでよく、これは、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含んでよい。

#### 【0027】

50

ここで図4を参照すると、いくつかの実施形態では、高反射鏡10は：基板14；第1の反射層22a；バリア層46；第1の界面層18c；第2の反射層54；第2の界面層26c；複数の調質層30；及び保護層42を含む。高反射鏡10は、 $AOI = 45^\circ$ において、 $335\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ の波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する。いくつかの実施形態では、高反射鏡10のバリア層46は、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含んでよい。

【0028】

図1～4を再び参照すると、第1の界面層18、18a、18b、18c、第2の界面層26、26a、26b、26c、第3の界面層50、50a、及び第4の界面層58は、本明細書において、高反射鏡10のために提供される積層体の実施形態のそれぞれの位置決めを具体的に表すために使用され、各層に使用される共通の材料の組を表すことを意図したものではない。例えば、図1の第2の界面層26は $Al_2O_3$ とすることができ、第1の反射層22と複数の調質層30との間に連結されるが、図2の第2の界面層26aは $YbF_3$ とすることができ、第1の反射層22aと第3の界面層50との間に連結される。第2の界面層26及び第2の界面層26aに使用できる材料は、第2の界面層26、26aが間に位置決めされる、連結される、又は重ねられる隣接する層によって決定されるように、これら2つの実施形態において異なっている。以下の表1は、基板14、バリア層46、少なくとも1つの界面層18、26、50、58、少なくとも1つの反射層22、54、複数の調質層30、及び保護層42を含む高反射鏡10のために提供される積層体の実施形態中に見られる5つのタイプの層を概説する。

【0029】

10

20

30

40

50

【表 1】

表 1

## コーティング設計及び材料

層	層の特性	例示的な材料
保護層（１つ以上）	この層は、高いレベルの化学的耐久性及び機械的耐久性の両方を有する。	$YbF_3$ 、 $YF_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $YbFO$ 、 $Yb_xF_yO_z$ 、 $SiO_2$ 、 $AlON$
調質層（１つ以上）	層の調質のために、低屈折率、高屈折率設計が使用される。材料は、 $300\mu m \sim 150\mu m$ の波長範囲における吸収性が低くなくてはならず、また中程度から高いレベルの化学的耐久性及び機械的耐久性を有する。	$HfO_2$ 、 $YbFO$ 、 $YbF_3$ 、 $YF_3$ 、 $GdF_3$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $Yb_xF_yO_z$
第２の界面層（第２の層）	この層は：第１及び／又は第２の反射層に対する調質層の；第３の界面層に対する第１及び／又は第２の反射層の；並びに第１の界面層に対する第１及び／又は第２の反射層の、接着及びガルバニー電気的適合性を促進するために使用される。	$Bi_2O_3$ 、 $ZnS$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Al_2O_3$ 、 $InO_2$ 、 $InSnO$
反射層	銀（ $Ag$ ）を第１及び／又は第２の反射層として使用することにより、 $35\mu m \sim >15\mu m$ の波長範囲における高い反射率（高％ $R$ ）を提供する。	$Ag$ 、 $Au$ 、 $Al$ 、 $Rh$ 、 $Cu$ 、 $Pt$ 、 $Ni$
第１の界面層（第１の層）	この界面層は、バリア層と第１及び／又は第２の反射層との間、並びに反射層と第２の界面層との間の、接着及びガルバニー電気的適合性を促進するために使用される。	$Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $ZnS$ 、 $Ni$ 、 $Bi$ 、モネル（ $Ni-Cu$ ）、 $Ti$ 、 $Pt$ 、 $InSnO$
バリア層	この層は、 $Ag$ 反射層（ $0.15\mu m$ ）と $Al$ 基板（ $0.9\mu m$ ）との間のガルバニー電気的適合性を生成するために使用される。この層はまた、耐腐食性、耐摩耗性（耐引っかき性）、及び応力耐性も提供できる。	$Si_3N_4$ 、 $SiO_2$ 、 $TiAlN$ 、 $TiAlSiN$ 、 $TiO_2$ 、 $DLC$ 、 $Al$ 、 $CrN$ 、 $Si_xN_yO_z$ 、 $NiCrN$ 、 $Cr$ 、 $NiCr$ 、 $Ni$ 、 $AlO_xN_y$
基板	軽量のダイヤモンド加工された光学部品／基板、例えば $6061$ アルミニウム（ $6061-Al$ ）及び他の $Al$ 合金、 $Mg$ 合金、 $Ti$ 合金、並びにセラミック合金。金属合金に関してはバリア層が必要であり、その厚さは基板に依存する。	シリカ、熔融シリカ、及び $F$ ドープ熔融シリカ；並びに $6061-Al$ 合金、他の軽量 $Al$ 合金、 $Mg$ 合金、 $Ti$ 合金、ケイ素

１．界面層は「接着（adhesion）」層とも呼ばれる。

２． $Yb_xF_yO_z$ は、 $YbF_3$ の堆積中に酸素が認められる場合に形成される。電気的には $nYb^{+3} = yF^{-1} + zO^{-2}$ となり、これにより、正価と負価との合計が平衡し、コーティング層に対する正味の電荷は存在しない。これと同じことが $Si_xN_yO_z$ にも当てはまる。

## 【００３０】

## 基板及びバリア層

バリア層４６の厚さは、 $100nm \sim 50\mu m$ とすることができる。いくつかの実施形態では、バリア層４６の厚さは $500nm \sim 10\mu m$ である。他の実施形態では、バリア層４６の厚さは $1\mu m \sim 5\mu m$ である。バリア層４６の厚さを決定するための１つの基準は、物品が塩霧試験に耐えなければならない時間数である。塩霧試験の持続時間が長いほど、厚いバリア層４６が必要となる。いくつかの実施形態では、２４時間の塩霧試験に関して、バリア層４６にとって $10\mu m$ の厚さが十分なものとなり得る。多くの用途では、バリア層４６が厚すぎると、温度変化に伴う完成部品の歪みの原因となるが、動作温度は



典型的には仕様中に与えられているため、歪みを防止できるようにバリア層 46 の厚さを調整できる。バリア層 46 と基板 14 との熱膨張係数の差は、光学的な像、パワー、及び不規則性が、温度の変化 ( $T$ ) と共に変化する原因となる。いくつかの実施形態では、バリア層 46 を十分に厚くすることにより、バリア層 46 は、大きくかつ不規則なものである、基板の山部分と谷部分との間のいずれのばらつきを、被覆する又は平滑化する。このようなばらつきの平滑化は、表面品質を最適化するための表面の研磨を支援する。表面品質は、表面全体の接着の促進、及び上述の山部分と谷部分との間のばらつきによって引き起こされ得る局所的な欠陥部位の最小化において重要である。

#### 【0031】

いくつかの実施形態では、6061 Al がこれらの用途に使用される基板材料であるため、バリア層 46 を銀層と基板 14 又は上述の基板のうちのいずれの上に堆積させた Al 層との間に使用することによって、ガルバニー電気的適合性を生成しなければならない。他の実施形態では、基板材料は、6061 Al、ダイヤモンド加工合金、シリカ、熔融シリカ、F ドープ熔融シリカ、及びこれらの組み合わせからなる群から選択された、少なくとも 1 つの材料を含む。異種金属の使用に関する軍事規格は、MIL STD 889B 及び MIL STD 1250 に規定されている。高温多湿環境及び / 又は塩を含有する環境といった過酷な環境にさらされることが予想されるシステムに関して、これらの軍事文書は、異種金属が 0.25 V を超えるガルバニー電位差を生じる (塩を含まない多湿環境では上記電位差が  $> 0.45$  V となり得る) 場合、これらの異種金属を接合又は面接続してはならないことを示唆している。腐食に関する工学文献の一部では、過酷な塩環境に関して 0.15 V の電位差が示唆されている。6061 Al は電位が 0.90 V のアノード材料と考えられ、その一方でカソード材料である銀は、0.15 V の電位差を有するため、0.75 V の電位差が生じる。アノード金属、例えばカドミウム、鉄、及び炭素をバリア材料として Al に面接続すると、0.25 V という低い電位差が得られる。ガルバニー電位差は、スズに関して  $> 0.25$  V、クロムに関して 0.33 V、亜鉛に関して 0.33 V、ニッケルに関して 0.63 V、及びマグネシウムに関して 0.83 V である。ダイヤモンド様炭素 (DLC)、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $Si_xNyO_z$ 、 $SiO_2$ 、及び  $TiO_2$  等の (誘電体) コーティングに加えて、TiAlN もまた、バリア材料として有効に使用できる (TiAlN は、Ti : Al 比に応じて、金属のように又は誘電体のように挙動させることができる)。CrN を使用してある程度の成功が得られてきたが、そのガルバニー電気的適合性はボーダーライン上であるため、意図される用途に鑑みて注意を払う必要がある。

#### 【0032】

6061 Al の表面品質は、バリア層 46 又は第 1 の反射層 22 の連結において重要な役割を果たし得る。6061 Al 中の「不純物」によって大きな析出部位が形成される。上記不純物の一部は、強度特性に関する材料の仕様を満たすために必要な、制御下での材料の添加に起因するものであり、その他の不純物は単なる汚染物質である。この大きな析出により、 $< 30$  rms の平滑な表面の達成が困難になり、高い山部分又は小塊の一部は、基板 14 とコーティング積層体 (銀層、又は銀層は異なる様式で被覆を行う) との間の不十分な接着 (又は応力若しくはボイドによる割れ) をもたらし、完成した鏡を塩霧及び長期間の多湿条件の両方を用いた環境試験にさらした場合に欠陥部位が生じる。この状態を管理するための 1 つのアプローチは、これらの部位上に効果的なコーティングをもたらし、極めて厚いバリア層 46 を堆積させることである。いくつかの実施形態では、バリア層 46 は、 $Si_3N_4$ 、 $Si_xNyO_z$ 、 $SiO_2$ 、TiAlN、TiAlSiN、 $TiO_2$ 、 $Si_xNyO$ 、DLC、Al、 $Al_2O_3$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも 1 つの材料を含む。他の実施形態では、バリア層 46 は、 $Si_3N_4$ 、 $Si_xNyO_z$ 、 $SiO_2$ 、TiAlN、TiAlSiN、 $TiO_2$ 、 $Si_xNyO$ 、DLC、Al、 $Al_2O_3$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも 1 つの材料から本質的になる。更に他の実施形態では、バリア層 46 は、 $Si_3N_4$ 、 $Si_xNyO_z$ 、 $SiO_2$ 、TiAlN、TiAlSiN、 $TiO_2$ 、 $Si_xNyO$ 、D

10

20

30

40

50

LC、Al、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料からなる。

【0033】

大きな析出が存在することにより、不均質な表面が形成され、これによって60 rms未満(最良の結果は約30 rmsであり、これは得るために困難を伴っていた)の表面仕上げを得るのが困難になる。小塊の存在は、バリアの存在が反射率の改善に作用する理由を説明する役に立つ。いずれの特定の理論に縛られるものではないが、小塊は、上述のような過酷な環境にさらされた場合に局所的な腐食が発生する欠陥部位となり得る。これらの欠陥部位は不十分な接着をもたらす場合があり、従って面積を露出させる又は経路を形成する部位における、コーティングの割れ又は剥落をもたらす場合がある。十分に厚いバリア層46は、この表面を平滑化して、表面全体にわたって良好な接着を有する連続したフィルムを形成できる。このバリア層46の表面が十分に厚い場合、追加のコーティング層の配置前に上記層を研磨することにより、およそ5 ~ 15 の範囲の、更に良好な表面仕上げが得られる。

10

【0034】

バリア層46の厚さは、10 nm ~ 250 nm、10 nm ~ 100 μm、又は10 nm ~ 50 nmとすることができる。小塊又は他の表面欠陥が基板14上に存在し、除去できない場合、バリア層46を上記範囲の上端として、小塊を被覆するために十分なものとしなければならない。基板14が小塊を実質的に含まない場合、バリア層46は上記範囲の下端とすることができる。更に、バリア層46の堆積中にイオンアシストを使用することにより、バリア層46の密度を高め、平滑な表面の提供を支援する。

20

【0035】

図4に示す実施形態のようないくつかの実施形態では、バリア層46は、第1の反射層22によって提供される反射率を失わないよう、比較的薄い(10 nm ~ 100 nm、10 nm ~ 50 nm、又は20 nm ~ 80 nm)ものとする必要がある。

【0036】

いくつかの実施形態では、バリア層46は、耐腐食層、耐摩耗層(耐引っかかり層)、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含むことができる。耐腐食層は、高反射鏡10が、塩霧試験で測定される長期の多湿環境にさらされる場合に、使用してよい。Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>等の材料は、高反射鏡10に印加される圧縮応力の吸収に有利となり得、YbF<sub>x</sub>O<sub>y</sub>(例えばYbFO、Yb<sub>2</sub>F<sub>4</sub>O、Yb<sub>2</sub>F<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)等の材料は、高反射鏡10に印加される引張応力の吸収に有利となり得る。いくつかの実施形態では、バリア層46は、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、SiO<sub>2</sub>、CrN、NiCrN、Cr、NiCr、Ni、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせから成形された耐腐食層を含む。他の実施形態では、バリア層46は、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、SiO<sub>2</sub>、AlO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、AlN、YbF<sub>3</sub>、YbF<sub>x</sub>O<sub>y</sub>、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせから成形された耐摩耗層(耐引っかかり層)を含む。更に他の実施形態では、バリア層46は、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、SiO<sub>2</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、フッ化物、金属、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>及びTiO<sub>2</sub>等の金属酸化物、又はこれらの組み合わせから成形された応力調整層を含む。

30

【0037】

いくつかの実施形態では、バリア層46は、耐腐食層、耐摩耗層(耐引っかかり層)、及び応力調整層を提供できる。3つ全ての保護層をバリア層46によって提供するこれらの実施形態では、基板14から保護層42まで移るバリア層46のための例示的な層の積層体は、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、YbFO、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、YbFO、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、YbFO、及びNb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を含むことができる。

40

【0038】

第1及び第2の反射層

第1の反射金属層22及び/又は第2の反射金属層54に関して、厚さは、最適な反射特性を提供するために十分なものでなければならない。第1の反射金属層22及び/又は第2の反射金属層54が薄すぎると、フィルムが不連続及び/又は透過性となり、また厚

50

すぎると耐久性が問題となり得る。いくつかの実施形態では、第1の反射金属層22及び/又は第2の反射金属層54の厚さは、5 nm ~ 350 nm、75 nm ~ 350 nm、1 nm ~ 250 nm、1 nm ~ 100 nm、1 nm ~ 30 nm、又は5 nm ~ 50 nmであってよい。他の実施形態では、第1の反射金属層22及び/又は第2の反射金属層54の厚さは80 nm ~ 150 nmであってよい。更に他の実施形態では、第1の反射金属層22及び/又は第2の反射金属層54の厚さは90 nm ~ 120 nmであってよい。第1の反射層22及び第2の反射層54の両方を一体として積層構造内で使用する場合、第2の反射層54は、ある程度の反射を提供できるよう十分に厚く、かつ下方に位置決めされた第1の反射層22の反射特性に光がアクセスできるよう十分に薄くなければならない(5 nm ~ 10 nm)。いくつかの実施形態では、第2の反射層54の厚さは、5 nm ~ 10 nm又は5 nm ~ 20 nmとすることができる。

10

#### 【0039】

反射性材料としてAgを使用することに加えて、この積層構造を、例えばAu、Al、Rh、Cu、Pt、Niといった他の反射性材料と共に使用することによって、強化された耐久性、化学的性能及び機械的性能を提供することもできるが、スペクトル範囲及び反射強度の変化が伴う。いくつかの実施形態では、第1の反射層22は、Ag、Au、Al、Rh、Cu、Pt、及び/又はNiであってよい。いくつかの実施形態では、第1の反射層22はAg又はAlであってよい。いくつかの実施形態では、第1の反射層22は、Al、Rh、Cu、Pt、Ni、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料を含む。他の実施形態では、第1の反射層22は、Al、Rh、Cu、Pt、Ni、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料から本質的になる。更に他の実施形態では、第1の反射層22は、Al、Rh、Cu、Pt、Ni、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料からなる。いくつかの実施形態では、第2の反射層54は、Ag、Au、Al、Rh、Cu、Pt、Ni、又はこれらの組み合わせであってよい。他の実施形態では、第2の反射層54はAg又はAlであってよい。更に他の実施形態では、第2の反射層54はAgであってよい。いくつかの実施形態では、第2の反射層54は、Ag、Au、Al、Rh、Cu、Pt、Ni、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料を含む。他の実施形態では、第2の反射層54は、Ag、Au、Al、Rh、Cu、Pt、Ni、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料から本質的になる。更に他の実施形態では、第2の反射層54は、Ag、Au、Al、Rh、Cu、Pt、Ni、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料からなる。

20

30

#### 【0040】

可視(VIS)帯域から長波赤外(LWIR)帯域までの、即ち0.300 µmから15 µmまでのマルチバンド反射要件により、第1及び/又は第2の反射層として銀の薄膜層を使用する。銀は、この波長範囲全体にわたって、最も高い反射率、最も低い偏光分割、及び最も低い放射率を有することが知られている(S. A. Kovalenko and M. P. Lisita, "Thickness dependences of optical constants for thin layers of some metals and semiconductors," Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics Vol. 4, No. 4, pages 352-357 (2001)); Chang Kwon Hwangbo, et al, "Ion assisted deposition of thermally evaporated Ag and Al films", Applied Optics Vol. 28, No 14, (Jul. 15, 1989); 及びN. Thomas et al, "Protected Silver Coating for Flashlamp Pumped Nd: glass Amplifiers," 30th Annual Symposium on Optical Materials for High Power Laser

40

50

rs; Boulder, Colo. Sep. 30 Oct. 2, 1998; (preprint from Lawrence Livermore Laboratories; サイトの場所 <http://library.llnl.gov/uhtbin/cgiisirsi/mgYv2G09Sa/MAIN/103110005/60/502/> X; 検索語句 "30<sup>th</sup> annual symposium," Paper #1, 236354 (UCRL JC 135179, preprint) を参照)。銀、及び本明細書で開示されるマルチバンド撮像システムの対応する実施形態に関連する以下の特徴が、これ以降で提供される：

(1) 銀の堆積に使用されるプロセスに応じて、最適な反射率を得るために、銀層の最小厚さを 150 nm としてよい。いくつかの実施形態では、第 1 の反射層 22 及び / 又は第 2 の反射層 54 は、135 nm ~ 175 nm の銀層厚さを有してよい。

10

#### 【0041】

(2) 銀のイオンアシスト堆積 (ion assisted deposition: IAD) によって、銀の耐化学性を改善できる。というのは、銀層の堆積に使用されるプロセスは、銀層の耐久性に影響し得るためである。いくつかの実施形態では、400 nm の範囲の事前試験の IAD 走査において反射損失が観察され得るが、これは、イオンビーム衝撃に使用される気体原子の取り込みによるものであり得る。

#### 【0042】

第 1、第 2、第 3 及び第 4 の界面層

第 1 の界面層 18、第 2 の界面層 26、第 3 の界面層 50、及び第 4 の界面層 58 の厚さは、各界面層にどのような材料が使用されるかを含み複数の因子に依存する。例えば、該層が第 1 の界面層 18、第 2 の界面層 26、第 3 の界面層 50、及び第 4 の界面層 58 のいずれであるか、並びに該層が鏡の前面 (反射層の表面) 又は背面 (反射層がその上に堆積される層) のいずれにあるかである。Ni、Cr、及び Ti 材料を界面層として使用する場合、数 程度のごく薄い材料の層が使用される。前面鏡に関して、反射層の上の界面層、即ち第 2 以上の界面層は、接着を促進できるよう十分厚いものの、反射されたいずれの放射も吸収しないよう十分に薄いものとする必要がある。一般に、第 1 の界面層の厚さは 2 ~ 250 (0.2 nm ~ 25 nm) である。例えば Ni 及び Cr である金属界面層では、厚さは 2 ~ < 25 (0.2 nm ~ < 2.5 nm) である。いくつかの実施形態では、金属製の第 1 の界面層の厚さは、2 ~ 10 (0.2 nm ~ 1 nm) である。金属酸化物又は硫化物、例えば Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 又は ZnS を第 1 の界面層として使用する場合、厚さは 25 超 (> 2.5 nm) である。他の実施形態では、第 1 の界面層は、厚さ 50 ~ 250 (5 nm ~ 25 nm) の金属酸化物又は硫化物である。更に他の実施形態では、第 1 の界面層の厚さは 10 nm ~ 20 nm である。

20

30

#### 【0043】

第 1 の反射層 22 又は第 2 の反射層 54 の下に使用される界面層は、接着を促進するために存在していてよく、従って反射された放射の吸収率といった光学的な考慮事項は考慮されない。従って、これらの界面層の厚さは、光学的な考慮事項ではなく接着に基づいて決定される。その結果、第 1 の反射層 22 及び / 又は第 2 の反射層 54 の下に位置決めされる界面層は、接着を提供するための最小厚さを有することができ、また吸収率に関する又は光学的な考慮事項が存在しないため、最大厚さを有しない。しかしながら、第 1 及び / 又は第 2 の反射層の上で使用される界面層の厚さは、反射損失が最小化されるよう、注意深く制御しなければならない。いくつかの実施形態では、第 1 及び / 又は第 2 の反射層の上で使用される界面層に関して、厚さは 5 nm ~ 20 nm である。他の実施形態では、第 1 及び / 又は第 2 の反射層の上で使用される界面層の厚さは、8 nm ~ 15 nm である。高反射鏡 10 が 0.300 µm ~ 15 µm の波長範囲の使用を目的とする、更に他の実施形態では、第 1 及び / 又は第 2 の反射層の上で使用される界面層の厚さを 1 nm ~ 100 nm とすることにより、最終的な高反射鏡 10 の反射率を最大化する。いくつかの実施形態では、第 1 の界面層 18、第 2 の界面層 26、第 3 の界面層 50、及び第 4 の界面層 58 の厚さは、1 nm ~ 250 nm、1 nm ~ 100 nm、1 nm ~ 50 nm、1 nm ~

40

50

25 nm、1 nm ~ 15 nm、20 nm ~ 40 nm、20 nm ~ 60 nm、20 nm ~ 55 nm、5 nm ~ 30 nm、又はこれらの組み合わせであってよい。

#### 【0044】

銀及び金は、チタン、アルミニウム、クロム、及びニッケルといった他の金属に比べて、酸化物形成エネルギーが大幅に低い。この酸化物形成エネルギーの低さにより、銀及び金は多くの材料に良好に接着しない。Cr及びNi又はこれらの合金の超薄膜は、Ag（又は金）との金属間拡散、及びAg又はAuとCr又はNiとの間の金属結合強度により、銀のための優れた接着促進剤となることがしばしば知られている。本明細書で開示される鏡がさらされることになる環境により、ガルバニー電気的適合性は重要であり、従って界面材料の選択時に考慮する必要がある。銀 Cr及び銀 Niの界面におけるガルバニー電位差は、それぞれ0.45 V及び0.15 Vである。ニッケル又は $Al_2O_3$ は、第1の反射層22及び/又は第2の反射層54の下、パリア層46と第1及び/又は第2の反射層との間に使用される界面層として使用してよい。というのは、これら2つの材料は適合性であるためである。

#### 【0045】

$Al_2O_3$ は、文献において、特定の金属のための接着促進材料として議論されてきた。具体的には、このような議論は、Ag  $Al_2O_3$ 及びAl  $Al_2O_3$ 非化学量論的界面、並びにこれらがどのように接着に影響するかを含む(W. Zhang and J. R. Smith, Nonstoichiometric interfaces and  $Al_2O_3$  adhesion with Al and Ag, Physical Review Letters, Vol 85, No 15, Oct. 9, 2000, pages 3225 3228; Jiwei Feng, et al., Ab initio study of Ag/ $Al_2O_3$  and Au/ $Al_2O_3$  interfaces, Physical Review B, 72, 115423, Sep. 21, 2005)。これらの論文中的数据は、界面での $Al_2O_3$ の化学量論的偏差が、Ag又はAl金属との接着にどのように大きく影響するかを実証しており、上記2つの金属は、これらの酸化物形成熱が範囲の両端であるため選択されたものである。M. A. Scobeyによる米国特許第5,851,365号明細書「Low Pressure Reactive Magnetron sputtering apparatus and method」は、 $Al_2O_3$  Ag間及び $Al_2O_3$  Al間の最適な接着を生成する、2タイプの堆積プロセス：イオンアシスト堆積(IAD)及びeビーム堆積；並びに低圧反応性マグネトロンスパッタリングプロセスに関する条件を記述している。界面が、第1の反射層22及び/又は第2の反射層54の背面側の、基板14とAg層との間に位置するため、上記界面の厚さの上限は吸収率によって制限されないものの、応力を考慮して監視しなければならない。第1の反射層及び/又は第2の反射層54の正面側では、界面層、即ちAg層の上に堆積された層は、Agに対する最適な接着を得ながらもLWIR帯域内での吸収帯域を最小化できるように制限しなければならない、界面の厚さを有することになる。ZnSは、接着層として使用できる更なる非導電性材料であり、ガルバニー電気的適合性の問題を回避する。例えばZnSは金の界面、即ちAu ZnS YbF<sub>3</sub>、又は銀の界面、即ちAg ZnS YbF<sub>3</sub>における、良好な界面材料となることが分かっている。

#### 【0046】

いくつかの実施形態では、第1の反射層22がアルミニウムである場合、酸化物を使用すると、アルミニウム表面の一部の酸化が促進され、UV及び可視波長の下端における反射率が低下し得る。これらの実施形態では、フッ化物化合物を代替として使用することで、この酸化を防止できる。いくつかの実施形態では、MgF<sub>2</sub>又はAlF<sub>3</sub>等のフッ化物化合物がアルミニウム製の第1の反射層22に対して最も良好に作用し、従ってアルミニウム表面は酸化されず、金属又は金属化合物は吸収を良好に行うことができる。他の実施形態では、金及び/又は白金製の第1及び/又は第2の反射層22、54に適用する場合、第1の界面層18はZnSとすることができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 7 】

いくつかの実施形態では、第 1 の反射層 2 2 及び / 又は第 2 の反射層 5 4 を構成するアルミニウム ( A l ) に連結する場合、 Y b F <sub>3</sub> 又は別のフッ化物化合物を第 1 の界面層 1 8、第 2 の界面層 2 6、第 3 の界面層 5 0、及び / 又は第 4 の界面層 5 8 として使用できる。他の実施形態では、第 1 の反射層及び / 又は第 2 の反射層 5 4 を構成する銀 ( A g ) に連結する場合、 A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を第 1 の界面層 1 8、第 2 の界面層 2 6、第 3 の界面層 5 0、及び / 又は第 4 の界面層 5 8 として使用できる。

## 【 0 0 4 8 】

保護層及び複数の調質層

複数の調質層 3 0 の厚さは、例えば塩霧及び多湿試験といった必要な試験を通過するために必要な保護を最適化すると同時に、必要なスペクトル性能を達成するために必要とされる、最適化に依存する。これらの層の厚さは、用途及び使用される材料に大きく依存して変化し得る。

10

## 【 0 0 4 9 】

表 1 に記載のスキーム及び材料、本明細書で開示されている実施形態、並びに図 1 ~ 4 に開示されている実施形態を用いて調製した A g 鏡は、以下の利点を有することができる：高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 0 0 n m ~ 1 5 μ m の波長範囲にわたって少なくとも 9 0 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 0 0 n m ~ 1 0 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 9 0 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 3 5 n m ~ 1 0 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 9 0 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 0 0 n m ~ 4 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 9 0 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 3 5 n m ~ 4 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 9 0 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 0 0 n m ~ 1 5 μ m の波長範囲にわたって少なくとも 7 5 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 0 0 n m ~ 1 0 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 7 5 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 0 0 n m ~ 4 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 7 5 % の反射率を有することができ；高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 3 0 n m ~ 4 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 7 5 % の反射率を有することができ；並びに / 又は高反射鏡 1 0 は、 A O I = 4 5 ° において、 3 0 0 n m ~ 4 0 0 n m、 3 0 0 n m ~ 3 7 5 n m、 3 0 0 n m ~ 3 5 0 n m、 3 3 7 n m ~ 3 5 0 n m、 3 3 7 n m ~ 3 6 0 n m、 3 3 7 n m ~ 3 7 5 n m、及び / 若しくは 3 3 7 n m ~ 4 0 0 n m の波長範囲にわたって少なくとも 7 5 % 若しくは 9 0 % の反射率を有することができる。

20

30

## 【 0 0 5 0 】

本明細書で開示される鏡の異なる複数の用途が、所定の波長範囲内での反射を最適化するための複数の調質層 3 0 の適用を必要とするため、これら複数の調質層 3 0 は、保護層 4 2 の特性と同様の特性を有する必要があるが、これらの材料の耐久性について何らかの最小限のトレードオフが発生し得る。所望の反射帯域に関する調整を行うために、複数の調質層 3 0 の厚さを変更しなければならず、また低、中、及び / 又は高屈折率材料の組み合わせが使用される。いくつかの実施形態では、複数の調質層 3 0 の厚さは 7 5 n m ~ 3 0 0 n m である。いくつかの実施形態では、複数の調質層 3 0 の上に適用される保護層 4 2 の厚さは、 6 0 n m ~ 2 0 0 n m である。

40

## 【 0 0 5 1 】

C o r n i n g は、薄膜堆積プロセス、例えば米国特許第 7 , 2 4 2 , 8 4 3 号明細書 ( 参照によりその全体が本出願に援用される ) に記載のプロセスを開発しており、このプロセスは、いずれも低屈折率材料であるフッ化イッテルビウム ( Y b F <sub>3</sub> ) 及びフッ化イットリウム ( Y F <sub>3</sub> ) に対して使用できる。上記プロセスを用いて高反射銀鏡をコーティングすると、その結果として、得られた鏡は、アルカリ溶液に対する高い耐久性を有しな

50

がら、軍事仕様の中程度の摩耗試験手順を満たす耐引っかき性も提供し、これらの特性は銀層の保護を支援する。これらの屈折率材料は、例えば五酸化ニオブ ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) 及び硫化亜鉛 ( $\text{ZnS}$ ) といった高屈折率材料と組み合わせて使用された。

#### 【0052】

本明細書で開示される実施形態では、複数の調質層 30 中の高屈折率材料として、 $\text{HfO}_2$  を使用することが望ましい。高屈折率材料として  $\text{HfO}_2$  を使用し、また例示的な低屈折率フッ化物材料として  $\text{YbF}_3$  を使用することにより、 $\text{YbF}_3/\text{HfO}_2/\text{YbF}_3$  というコーティングの組み合わせを提供でき、これは、NUV 及び LWIR 範囲内、例えば  $330\text{ nm} \sim 400\text{ nm}$  の帯域内における反射率を改善するために調整できる。 $\text{YbF}_3$  材料の堆積中に酸素を使用すると、堆積された層は、本明細書では  $\text{Yb}_x\text{F}_y\text{O}_z$  として表されるオキシフッ化イッテルビウム材料となり、この層の厚さは、 $\text{YbF}_3$  に関する厚さと同一の範囲内となる。

10

#### 【0053】

図 5 は、 $450\text{ nm}$  未満の波長に関する銀の反射率の降下を示す。 $450\text{ nm}$  未満におけるこのような反射率の降下は、複数の調質層 30 中の高屈折率材料として、 $\text{YbF}_3$  等の低屈折率材料と組み合わせて  $\text{HfO}_2$  を使用することにより、調節及び調整されることが分かっている。本明細書中で使用できる別の技法は、厚い金属層又は十分に研磨した金属基板 14 の上に、極めて薄い金 ( $\text{Ag}$ ) 又はアルミニウム ( $\text{Al}$ ) 層を追加することである。これらの材料、特にアルミニウムは、図 6 A 及び 6 B に示すように、NUV における反射特性を改善した。 $6160\text{ Å}$  等の厚い基板 14 にアルミニウム又は他の金属の層を追加できることは、米国公開特許第 14/865,380 号明細書、及び米国公開特許第 14/679,339 号明細書に記載されており、これらは参照によりその全体が本出願に援用される。図 6 B は特に、銀及び金両方の上のアルミニウムに関する、 $330\text{ nm} \sim 400\text{ nm}$  の波長範囲における改善された反射率を示す。

20

#### 【0054】

図 7 は、高反射鏡 10 内で使用される複数の調質層 30 のうちの 1 つとしての  $\text{HfO}_2$  の、改善された反射率を示す。調質層のうちの 1 つとしての  $\text{HfO}_2$  の使用により、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、及び様々なフッ化物といった、他の高屈折率材料を置換できる。というのは、 $\text{HfO}_2$  は、NUV において低い吸収率を有し、銀積層体の反射率を、上述の他の高屈折率材料に比べて拡張するためである。図 8 は、 $\text{HfO}_2$  がどのようにして、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  材料に比べて  $15\text{ nm}$  超だけ LWIR 帯域を拡張できるかを示している。

30

#### 【0055】

図 10 は、銀上の  $\text{HfO}_2$  の薄膜層に関する IR 反射率、及び銀上の  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  の薄膜層に関する IR 反射率をそれぞれ示す。このプロットは、それぞれ  $45^\circ$  の角度において測定された、 $\text{HfO}_2$  及び  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  フィルムに関する O-H ストレッチ、Nb-O ストレッチ、及び Hf-O ストレッチを示す。

#### 【0056】

単一の材料  $\text{Yb}_x\text{F}_y\text{O}_z$  を用いて、複数の調質層 30 及び保護層 42 を単層へと結合することもできる。単一の調質 / 保護層 42 のみが使用される場合、この層の厚さは  $150\text{ nm} \sim 350\text{ nm}$  である。

40

#### 【0057】

保護層 42 として有用であることが分かっている材料は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、及び  $\text{Si}_3\text{N}_4$  である。 $\text{YbF}_3$  及び  $\text{YF}_3$  (低屈折率)、 $\text{GdF}_3$  (VIS 範囲において中程度の屈折率) 並びに  $\text{ZnS}$  及び  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (いずれも高屈折率) は、調質に使用でき、かつ LWIR を含む全ての帯域における吸収率が最小の、材料である。更に、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  (中程度の屈折率)、並びに  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$  及び  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  (3 つ全てが高屈折率) は、複数の調質層 30 のうちの 1 つ以上のための材料として使用できるが、これらの LWIR 吸収帯域は、鏡を使用する用途に鑑みて考慮する必要がある。いくつかの実施形態では、保護層 42 は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択さ

50

れる少なくとも1つの材料を含む。他の実施形態では、保護層42は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料から本質的になる。更に他の実施形態では、保護層42は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料からなる。いくつかの実施形態では、調質層30は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、 $\text{GdF}_3$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Yb}_x\text{F}_y\text{O}_z$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料を含む。他の実施形態では、調質層30は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、 $\text{GdF}_3$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Yb}_x\text{F}_y\text{O}_z$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料から本質的になる。更に他の実施形態では、調質層30は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、 $\text{GdF}_3$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Yb}_x\text{F}_y\text{O}_z$ 、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料からなる。

10

#### 【0058】

高反射鏡を作製するための方法

銀は、例えば塩、酸、及び硫黄化合物といった、雰囲気中に存在し得る様々な物質と反応し得る。よく知られた例として、 $\text{Ag}^0$ と硫黄含有化合物との反応による黒色の硫化銀( $\text{Ag}_2\text{S}$ )の形成である銀変色、並びに $\text{Ag}^0$ と大気中のハロゲン含有物質(最も一般的なのは恐らく $\text{NaCl}$ 及び $\text{HCl}$ である)との反応による銀腐食が挙げられる(T. E. Graedel, Corrosion Mechanisms for Silver Exposed to the Atmosphere, J. Electrochemical Society Vol. 139, No. 7, pages 1963-1969 (1992)、及びD. Liang et al, Effects of Sodium Chloride Particles, Ozone, UV, and Relative Humidity on Atmospheric Corrosion of Silver, J. Electrochemical Society Vol. 157, No. 4, pages C146-C156 (2010))。腐食及び変色はいずれも、大気中の湿気及びオゾンの存在によって加速され得る。

20

#### 【0059】

銀のビッカース硬度(HV)は、100HV(電着)であり、これはダイヤモンドの値が10,000HVであるHVスペクトルの他端と比較して低い。他の材料に比べて銀が相対的に柔らかいため、システムアセンブリ用の銀コーティング済み光学部品の取り扱い、又は鏡を含む光学部品の清掃により、銀表面に損傷が発生することが多い。従って、銀表面の損傷を最小化するために保護層42が必要とされる。保護層42は、効果的なものとなるために：(1)光学部品の表面から銀及び界面層までの経路が提供されないよう、十分な密度を有し；(2)アルカリ及び酸性環境中で不溶性であり；(3)耐引っかき性を提供するために機械的に硬質であり；(4)関心対象の波長範囲(この場合0.300 $\mu\text{m}$ ~15 $\mu\text{m}$ )全体にわたって最小限の吸収性を有しないか、又は(b)0.300 $\mu\text{m}$ ~15 $\mu\text{m}$ の波長範囲にわたって吸収性を有しない。窒化ケイ素 $\text{Si}_3\text{N}_4$ を、そのアルカリ拡散特性、アルカリ溶液中での可用性、及びその機械的硬度特性に関して試験し、耐久性及び耐化学性が極めて高いコーティングを提供することが分かった。しかしながら、この材料は残念なことに、およそ9.1 $\mu\text{m}$ において吸収帯域を有することが分かり、本開示は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ が十分に薄ければその使用が可能であることを示した。正確な厚さは、該帯域範囲に関するシステムのスループットに依存する。一部の用途では、この帯域は関心対象外であるため、厚さは限定的な重要性しか有しない。

30

40

#### 【0060】

バリア層46、第1の界面層18、第2の界面層26、第3の界面層50、第4の界面層58、第1の反射層22、第2の反射層54、及び複数の調質層30はそれぞれ独立して、イオンアシストを用いて堆積させることができる。いくつかの実施形態では、イオンアシストを使用しないか、又は堆積プロセスの一部のみに使用する。全ての実施形態において、保護層42はイオンアシストを用いて堆積される。しかしながら、これらの材料は

50



他のプロセスを用いて堆積させることもでき、プロセスを所望の特性のために最適化できれば、 $0.300\text{ }\mu\text{m} \sim 15\text{ }\mu\text{m}$ の波長範囲にわたって良好に機能する。正しい条件下でのイオンアシスト堆積技法は、化学量論、密度、及び場合によっては構造を最適化できる。いくつかの実施形態では、異なる複数の技法を用いて、本明細書に記載の $0.300\text{ }\mu\text{m} \sim 15\text{ }\mu\text{m}$ の波長範囲の特性を有する鏡を調製できる。選択される技法は、使用される材料、及び達成すべき所望の特性に依存するものであった。

#### 【0061】

積層体の堆積のためのプロセス上の考慮事項を考慮に入れなければならない、またこれらの考慮事項は、材料及び界面に依存する。フィルム密度及び化学量論が重要であるため、イオンビーム衝撃を堆積中に用いる。フィルムを損傷することなくその密度を上昇させるために、イオンエネルギー及び密度を適切に調整しなければならない。 $\text{Ar}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ のガス比を調整することによって所望の化学量論を制御できるが、ここで警告として、 $\text{O}_2$ は：(a)その後の、第1及び/若しくは第2の反射層上に位置決めされた $\text{Ag}$ 層又は界面層の堆積中には使用されないか、又は(b)第1及び/若しくは第2の反射層上に位置決めされた界面層の堆積の開始時には使用されないが、極めて薄い $3 \sim 5\text{ nm}$ の界面層が $\text{Ag}$ 層の上に適用された後で堆積プロセスに加えられるものとする。その目的は、第1及び/又は第2の反射層の上に使用される界面層、例えば $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等の酸化物を、略全ての $\text{Al}_2\text{O}_3$ を化学量論的又は略化学量論な $\text{Al}:\text{O}$ 比に維持しながら、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ の堆積前に第1及び/又は第2の反射層の表面を過剰な $\text{O}_2$ に曝露することなく、第1及び/又は第2の反射層に接着させることである。いくつかの実施形態では、積層体のために以下のプロセス基準を用いてよい。

#### 【0062】

第1に、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ をバリア層46として使用する場合、その $\text{Ar} \quad \text{O}_2$ ガスの初期分圧を調整することによって、 $\text{Al} \quad \text{Al}_x\text{O}_y$ 界面の接着を最適化するために必要な $\text{Al}_x\text{O}_y$ の化学量論を生成しなければならない。 $\text{Al}_x\text{O}_y \quad \text{Ag}$ 界面の分圧は、最適な接着を達成するための $\text{Al} \quad \text{Al}_x\text{O}_y$ 界面とは異なっており、従ってプロセスをこのバリア層46の端部に向かって調整しなければならない。 $\text{Al}$ 又は $\text{Ag}$ 界面における最適な接着のために必要な $\text{Al}_x\text{O}_y$ の化学量論は、上述の参考文献4において議論されている。これらの分圧又はガス比は、堆積速度、排気速度、及び堆積体積に依存する。

#### 【0063】

第2に、化学量論は、最適な接着を得るために、酸化物 フッ化物界面においても重要となる。酸化物材料の場合、これが化学量論的な酸化物となるように層を終端させることが重要である。一方、界面のフッ化物はオキシフッ化物でなければならない。

#### 【0064】

第3に、銀の体積中に $\text{IAD}$ を用いる場合に考慮しなければならない考慮事項が存在する。特定のイオンエネルギー及び密度を超えないことが重要となる。というのは、これはフィルム内への $\text{Ar}$ の取り込みにつながり得るためである。これらの欠陥は散乱中心として作用し得、比較的低い可視波長帯域において反射率を低下させる。

#### 【0065】

第4に、衝撃エネルギー及びガス比は、最適なフィルム密度が得られるように調整しなければならない。フッ化物材料の密度を高める場合、成長するフィルムのフッ素を解離させないイオンエネルギーを考慮する必要がある。これが発生するとフィルムは極めて不安定となり、スペクトルのシフトが観察される。

#### 【0066】

よって、本開示のいくつかの態様では、プロセスは、 $0.300\text{ }\mu\text{m} \sim 15\text{ }\mu\text{m}$ の波長範囲で使用するための高反射鏡10を対象とする。高反射鏡10は：基板14；基板14上のバリア層46；バリア層46の上の第1の界面層18；第1の界面層18の上の第1の反射層22；第1の反射層22の上の第2の界面層26；第2の界面層26の上の複数の調質層30；及び複数の調質層30の上の少なくとも1つの保護層42を含む。高反射鏡10は、 $\text{AOI} = 45^\circ$ において、 $335\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ の波長範囲にわたって少

10

20

30

40

50

なくとも90%の反射率を有してよい。上記鏡は、 $AOI = 45^\circ$ において、 $340\text{ nm} \sim 400\text{ nm}$ の波長範囲にわたってなくとも90%の反射率を有してよい。いくつかの実施形態では、高反射鏡10の作製に使用できる基板14は、熔融シリカ、フッ素ドーブ  
 熔融シリカ及びダイヤモンド加工アルミニウム合金からなる群から選択できる。いくつか  
 の実施形態では、基板14は6061 Al合金である。他の実施形態では、基板14は  
 熔融シリカである。いくつかの実施形態では、バリア層46は、 $Si_3N_4$ 、 $SiO_2$ 、 $TiAlN$ 、 $TiAlSiN$ 、 $TiO_2$ 、DLC、及びこれらの組み合わせからなる群から  
 選択される。いくつかの実施形態では、第1の界面層18、第2の界面層26、第3の界  
 面層50、及び/又は第4の界面層58は、 $Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $ZnS$ 、  
 及びこれらの組み合わせからなる群から選択してよい。いくつかの実施形態では、第1の  
 界面層18、第2の界面層26、第3の界面層50、及び/又は第4の界面層58は、 $Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $ZnS$ 、 $Ni$ 、 $Bi$ 、モネル( $Ni-Cu$ )、 $Ti$ 、 $Pt$ 、  
 又はこれらの組み合わせを含む少なくとも1つ以上の材料を含む。他の実施形態では、  
 第1の界面層18、第2の界面層26、第3の界面層50、及び/又は第4の界面層58  
 は、 $Ni$ 、 $Bi$ 、モネル( $Ni-Cu$ )、 $Ti$ 、 $Pt$ 、及びこれらの組み合わせから  
 なる群から選択される金属材料を含む。更に他の実施形態では、第1の界面層18、第2  
 の界面層26、第3の界面層50、及び/又は第4の界面層58は、 $Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $Bi_2O_3$ 、及び $ZnS$ 、 $Ni$ 、 $Bi$ 、モネル( $Ni-Cu$ )、 $Ti$ 、 $Pt$ 、及びこ  
 れらの組み合わせからなる群から選択される少なくとも1つの材料を含む。いくつかの実  
 施形態では、第1の反射層22及び/又は第2の反射層54は、価数が0の $Ag$ 、 $Au$ 、  
 $Al$ 、 $Rh$ 、 $Cu$ 、 $Pt$ 、及び $Ni$ からなる群から選択される少なくとも1つの材料を含  
 むか、上記少なくとも1つの材料から本質的になるか、又は上記少なくとも1つの材料か  
 らなる。いくつかの実施形態では、第1の界面層18、第2の界面層26、第3の界面層  
 50、及び/又は第4の界面層58は、 $SiO_2$ 、 $Si_3N_4$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $ZnS$ 、及び $Al_2O_3$ からなる群から選択される少なくとも1つ  
 の材料を含むか、上記少なくとも1つの材料から本質的になるか、又は上記少なくとも1  
 つの材料からなる。いくつかの実施形態では、複数の調質層30は、低屈折率材料と高屈  
 折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料は $HfO_2$ であり、他方の材料は、 $YbF_3$ 、 $YF_3$ 、 $GdF_3$ 、及び $Bi_2O_3$ からなる群から選択される少なくとも1つの材  
 料を含むか、上記少なくとも1つの材料から本質的になるか、又は上記少なくとも1つの  
 材料からなる。いくつかの実施形態では、保護層42は、 $YbF_3$ 、 $YF_3$ 、及び $Si_3N_4$   
 からなる群から選択される少なくとも1つの材料である。基板14から上部の保護層4  
 2までの層構成をたどると、本開示による例示的な高反射鏡10は：熔融シリカ、 $Si_3$   
 $N_4$ 又は $CrN$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Ag$ 、 $Al_2O_3$ 、 $YbF_3$ 、 $HfO_2$ 、及び $YbF_3$ を含  
 むことができる。

#### 【0067】

ここで図11を参照すると、本開示は、 $0.300\text{ }\mu\text{m} \sim 15\text{ }\mu\text{m}$ の波長範囲で使用する  
 ための高反射鏡10を作製するための方法100も対象とし、方法100は：

アルミニウム合金、シリカ、熔融シリカ、Fドーブ熔融シリカ、マグネシウム合金及び  
 チタン合金からなる群から選択される基板14を提供するステップ(ステップ104)；

基板14を、 $10\text{ nm}$ 未満の粗度まで研磨するステップ(ステップ108)；

厚さ $10\text{ nm} \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ のバリア層46を基板14の表面に適用するステップ(ステ  
 ップ112)；

厚さ $0.2\text{ nm} \sim 50\text{ nm}$ の第1の界面層18をバリア層46の上に適用するステップ  
 であって、上記厚さは界面層の材料に依存する、ステップ(ステップ116)；

厚さ $100\text{ nm} \sim 300\text{ nm}$ の第1の反射層22を第1の界面層18の上に適用するス  
 テップ(ステップ120)；

厚さ $0.2\text{ nm} \sim 50\text{ nm}$ の第2の界面層26を第1の反射層22の上に適用するステ  
 ップ(ステップ124)；

低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含む複数の調質層30を適用するステッ

10

20

30

40

50

プであって、上記高屈折率材料は $\text{HfO}_2$ であり、複数の調質層30の厚さは、上記低屈折率材料及び上記高屈折率材料に依存する、ステップ(ステップ128)；並びに

保護層42を複数の調質層30の上に適用することによって、 $\text{AOI} = 45^\circ$ において、 $335\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ の波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する高反射鏡10を形成するステップ(ステップ132)を含む。

#### 【0068】

上述の方法では：バリア層46の材料は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiAlN}$ 、 $\text{TiAlSiN}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{DLC}$ 、 $\text{Al}$ 、及び $\text{CrN}$ からなる群から選択され；第1の界面層18の材料は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{Ni}$ 、モネル( $\text{Ni-Cu}$ )、 $\text{Ti}$ 、及び $\text{Pt}$ からなる群から選択され；第1の反射層22及び/又は第2の反射層54は、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Pt}$ 、及び $\text{Ni}$ からなる群から選択される少なくとも1つの材料であり；第2の界面層26は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、及び $\text{Al}_2\text{O}_3$ からなる群から選択される少なくとも1つの材料であり；複数の調質層30は、高屈折率材料である $\text{HfO}_2$ と、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、 $\text{GdF}_3$ 、及び $\text{Bi}_2\text{O}_3$ からなる群から選択される1つ以上の追加の材料とを含み；保護層42は、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YF}_3$ 、及び $\text{Si}_3\text{N}_4$ からなる群から選択される。いくつかの実施形態では、第1の反射層22及び/又は第2の反射層54は銀である。

#### 【0069】

上述のバリア層46、第1の界面層18、第2の界面層26、第3の界面層50、第4の界面層58、第1の反射層22、第2の反射層54、複数の調質層30、及び保護層42に関する概説及び教示を与える記述は、いずれの組み合わせで使用でき、 $0.300\text{ }\mu\text{m} \sim 15\text{ }\mu\text{m}$ の波長範囲内で使用するための高反射鏡10を作製するための方法100に適用できることを理解されたい。

#### 【0070】

本発明について、限られた数の実施形態に関して説明したが、本開示の利益を有する当業者は、本明細書で開示されるような本発明の範囲から逸脱しない他の実施形態を考案できることを理解するだろう。従って、本発明の範囲は、添付の請求項のみによって限定されるものとする。

#### 【0071】

請求項の精神又は範囲から逸脱することなく、様々な修正及び変形を実施できることは、当業者には理解されるだろう。

#### 【実施例】

#### 【0072】

##### 実施例1

図3に示すように、基板14はその上側が第1の反射層22aに連結されてよく、第1の反射層22aはその上側が第1の界面層18bに連結されてよく、第1の界面層18bはその上側が第2の界面層26bに連結されてよく、第2の界面層26bはその上側が第2の反射層54に連結されてよく、第2の反射層54はその上側が第3の界面層50aに連結されてよく、第3の界面層50aはその上側が複数の調質層30に連結されてよく、複数の調質層30はその最上層の上側が保護層42に連結されてよい。図9A~9Bはそれぞれ、 $300\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ において92%超の平均反射率を有する $\text{HfO}_2$ - $\text{YbF}_3$ 調質層を備えた $\text{Al-Ag}$ 積層体に関する、波長に対する%反射率、及び $300\text{ nm} \sim 8000\text{ nm}$ において92%超の平均反射率を有する $\text{HfO}_2$ - $\text{YbF}_3$ 調質層を備えた $\text{Al-Ag}$ 積層体に関する、波長に対する%反射率を示すグラフである。

#### 【0073】

10

20

30

40

【表 2】

		厚さ
保護層	YbF0	83.76 nm
複数の調質層	HfO <sub>2</sub>	43.31 nm
	YbF0	24.36 nm
	HfO <sub>2</sub>	34.74 nm
	YbF0	53.47 nm
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.45 nm
	YbF0	51.72 nm
	HfO <sub>2</sub>	36.24 nm
	YbF0	32.68 nm
	HfO <sub>2</sub>	38.82 nm
第 3 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30 nm
第 2 の反射層	Ag	10 nm
第 2 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 nm
第 1 の界面層	YbF <sub>3</sub>	5 nm
第 1 の反射層	Al	200 nm
基板	熔融シリカ	619 nm

表 2：図 3 による高反射鏡として使用される例示的な積層体

【 0 0 7 4 】

仮想例 1

いくつかの実施形態では、基板 1 4 はその上側がバリア層 4 6 に連結されてよく、バリア層 4 6 はその上側が第 1 の界面層 1 8 に連結されてよく、第 1 の界面層 1 8 はその上側が第 1 の反射層 2 2 に連結されてよく、第 1 の反射層 2 2 はその上側が第 2 の界面層 2 6 に連結されてよく、第 2 の界面層 2 6 はその上側が複数の調質層 3 0 に連結されてよく、複数の調質層 3 0 はその最上層の上側が保護層 4 2 に連結されてよい。

【 0 0 7 5 】

10

20

30

40

50

【表 3】

		厚さ
保護層	YbF0	50 - 100 nm
複数の調質層	HfO <sub>2</sub>	20 - 60 nm
	YbF0	20 - 60 nm
	HfO <sub>2</sub>	20 - 60 nm
	HfO <sub>2</sub>	20 - 60 nm
第 2 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20 - 40 nm
第 1 の反射層	Ag	1 - 30 nm
第 1 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 - 15 nm
バリア層	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 又は CrN	10 - 500 nm
基板	熔融シリカ	500 - 750 nm

表 3：図 1 による高反射鏡として使用される例示的な積層体

## 【 0 0 7 6 】

## 仮想例 2

いくつかの実施形態では、基板 1 4 はその上側がバリア層 4 6 に連結されてよく、バリア層 4 6 はその上側が第 1 の界面層 1 8 a に連結されてよく、第 1 の界面層 1 8 a はその上側が第 1 の反射層 2 2 a に連結されてよく、第 1 の反射層はその上側が第 2 の界面層 2 6 a に連結されてよく、第 2 の界面層 2 6 a はその上側が第 3 の界面層 5 0 に連結されてよく、第 3 の界面層 5 0 はその上側が第 2 の反射層 5 4 に連結されてよく、第 2 の反射層はその上側が第 4 の界面層 5 8 に連結されてよく、第 4 の界面層 5 8 はその上側が複数の調質層 3 0 に連結されてよく、複数の調質層 3 0 はその最上層の上側が保護層 4 2 に連結されてよい。

## 【 0 0 7 7 】

10

20

30

40

50

【表 4】

		厚さ
保護層	YbF <sub>0</sub>	50 - 100 nm
複数の調質層	HfO <sub>2</sub>	20 - 60 nm
	YbF <sub>0</sub>	20 - 60 nm
	HfO <sub>2</sub>	20 - 60 nm
第 4 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20 - 40 nm
第 2 の反射層	Ag	1 - 30 nm
第 3 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 - 15 nm
第 2 の界面層	YbF <sub>3</sub>	1 - 15 nm
第 1 の反射層	Al	1 - 250 nm
第 1 の界面層	YbF <sub>3</sub>	1 - 15 nm
バリア層	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10 - 100 nm
	YbF <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	10 - 100 nm
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10 - 100 nm
	YbF <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	10 - 100 nm
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10 - 100 nm
	YbF <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	10 - 100 nm
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10 - 100 nm
基板	Al	50 - 200 nm
	6061 - Al	500 - 750 nm

表 4：図 2 による高反射鏡として使用される例示的な積層体

## 【 0 0 7 8 】

## 仮想例 3

いくつかの実施形態では、基板 1 4 はその上側が第 1 の反射層 2 2 a に連結されてよく、第 1 の反射層 2 2 a はその上側がバリア層 4 6 に連結されてよく、バリア層 4 6 はその上側が第 1 の界面層 1 8 c に連結されてよく、第 1 の界面層 1 8 c はその上側が第 2 の反射層 5 4 に連結されてよく、第 2 の反射層 5 4 はその上側が第 2 の界面層 2 6 c に連結されてよく、第 2 の界面層 2 6 c はその上側が複数の調質層 3 0 に連結されてよく、複数の調質層 3 0 はその最上層の上側が保護層 4 2 に連結されてよい。

## 【 0 0 7 9 】

10

20

30

40

50

【表 5】

		厚さ
保護層	YbF0	50 - 100 nm
調質層	HfO <sub>2</sub>	20 - 60 nm
	YbF0	20 - 60 nm
	HfO <sub>2</sub>	20 - 60 nm
第 3 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20 - 40 nm
第 2 の反射層	Ag	1 - 30 nm
第 2 の界面層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 - 15 nm
バリア層	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10 - 100 nm
	YbF <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	10 - 100 nm
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10 - 100 nm
	YbF <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	10 - 100 nm
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10 - 100 nm
第 1 の反射層	Al	50 - 400 nm
基板	6061 - Al	500 - 750 nm

表 5：図 4 による高反射鏡として使用される例示的な積層体

## 【 0 0 8 0 】

非限定的な実施形態のリスト

実施形態 A は、 $0.300\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$  の波長範囲で使用するための高反射鏡であり、上記高反射鏡は：基板；第 1 の界面層；反射層；第 2 の界面層；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料は HfO<sub>2</sub> を含む、複数の調質層；並びに保護層を含む。上記高反射鏡は、AOI = 45° において、 $335\ \text{nm} \sim 1000\ \text{nm}$  の波長範囲にわたって少なくとも 90% の反射率を有する。

## 【 0 0 8 1 】

上記高反射鏡は、AOI = 45° において、 $340\ \text{nm} \sim 400\ \text{nm}$  の波長範囲にわたって少なくとも 90% の反射率を有する、実施形態 A の高反射鏡。

## 【 0 0 8 2 】

バリア層を更に備え、上記バリア層は、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

## 【 0 0 8 3 】

上記バリア層は、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、SiO<sub>2</sub>、CrN、NiCrN、Cr、NiCr、Ni、ダイヤモンド様炭素 (DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐腐食層である、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

## 【 0 0 8 4 】

上記バリア層は、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、SiO<sub>2</sub>、AlO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、AlN、YbF<sub>3</sub>、YbF<sub>x</sub>O<sub>y</sub>、ダイヤモンド様炭素 (DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐摩耗層である、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

## 【 0 0 8 5 】

上記バリア層は、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、SiO<sub>2</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO

2、フッ化物、金属、金属酸化物、又はこれらの組み合わせを含む上記応力調整層である、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

【0086】

上記基板は、熔融シリカ、シリカ、F ドープ熔融シリカ、6061 Al 合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金、チタン合金、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

【0087】

上記低屈折率材料は YbF<sub>3</sub> を含み、上記高屈折率材料は HfO<sub>2</sub> を含み、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

10

【0088】

上記バリア層は約 10 nm ~ 約 50 μm の厚さを有する、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

【0089】

上記第 1 の界面層は 0.2 nm ~ 50 nm の厚さを有し、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、ZnS、MgF<sub>2</sub>、AlF<sub>3</sub>、Ni、モネル (Ni-Cu)、Ti、Pt、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

【0090】

上記第 2 の界面層は、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnS、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、又はこれらの組み合わせを含み、上記第 2 の界面層の厚さは 0.2 nm ~ 50 nm である、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

20

【0091】

上記低屈折率材料は 5 nm ~ 75 nm の厚さを有し、上記高屈折率材料は 5 nm ~ 75 nm の厚さを有する、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

【0092】

上記低屈折率材料は 25 nm ~ 60 nm の厚さを有し、上記高屈折率材料は 25 nm ~ 60 nm の厚さを有する、実施形態 A 又は実施形態 A 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 A の高反射鏡。

30

【0093】

実施形態 B は、0.300 μm ~ 15 μm の波長範囲で使用するための高反射鏡を作製するための方法であり、上記方法は：基板を提供するステップ；上記基板を、粗度 10 nm 未満まで研磨するステップ；厚さ 0.2 nm ~ 25 nm の第 1 の界面層を上記バリア層の上に適用するステップであって、上記厚さは上記第 1 の界面層に依存する、ステップ；厚さ 75 nm ~ 300 nm の反射層を上記第 1 の界面層の上に適用するステップ；厚さ 5 nm ~ 20 nm の第 2 の界面層を適用するステップであって、上記厚さは上記第 1 の界面層に依存する、ステップ；低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含む複数の調質層を適用するステップであって、上記高屈折率材料は HfO<sub>2</sub> であり、上記調質層の厚さは、上記低屈折率材料及び上記高屈折率材料に依存する、ステップ；並びに保護層を上記調質層の上に適用するステップを含む。

40

【0094】

厚さ 10 nm ~ 50 μm のバリア層を上記基板の表面に適用するステップを更に含む、実施形態 B の方法。

【0095】

上記バリア層は、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態 B 又は実施形態 B 以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態 B の方法。

【0096】

50



上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CrN}$ 、 $\text{NiCrN}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{NiCr}$ 、 $\text{Ni}$ 、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐腐食層である、実施形態B又は実施形態B以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態Bの方法。

【0097】

上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YbF}_x\text{O}_y$ 、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐摩耗層である、実施形態B又は実施形態B以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態Bの方法。

【0098】

上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、フッ化物、及び金属を含む上記応力調整層である、実施形態B又は実施形態B以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態Bの方法。

【0099】

上記低屈折率材料は5nm～75nmの厚さを有し、上記高屈折率材料は5nm～75nmの厚さを有する、実施形態B又は実施形態B以降に記載された特徴のうちのいずれを備える実施形態Bの方法。

【0100】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

【0101】

実施形態1

0.300μm～15μmの波長範囲で使用するための高反射鏡であって、

上記高反射鏡は：

基板；

第1の界面層；

反射層；

第2の界面層；

低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含み、上記高屈折率材料は $\text{HfO}_2$ を含む、複数の調質層；並びに

保護層

を備え、

上記高反射鏡は、入射角(AOI)=45°において、335nm～1000nmの波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する、高反射鏡。

【0102】

実施形態2

上記高反射鏡は、AOI=45°において、340nm～400nmの波長範囲にわたって少なくとも90%の反射率を有する、実施形態1に記載の高反射鏡。

【0103】

実施形態3

バリア層を更に備え、

上記バリア層は、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態1又は2に記載の高反射鏡。

【0104】

実施形態4

上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CrN}$ 、 $\text{NiCrN}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{NiCr}$ 、 $\text{Ni}$ 、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐腐食層である、実施形態3に記載の高反射鏡。

【0105】

実施形態5

上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{YbF}$

10

20

30

40

50

3、 $YbF_xO_y$ 、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐摩耗層である、実施形態3に記載の高反射鏡。

【0106】

実施形態6

上記バリア層は、 $Si_3N_4$ 、 $SiO_xNy$ 、 $SiO_2$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、フッ化物、金属、金属酸化物、又はこれらの組み合わせを含む上記応力調整層である、実施形態3に記載の高反射鏡。

【0107】

実施形態7

上記基板は、熔融シリカ、シリカ、Fドーブ熔融シリカ、6061 Al合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金、チタン合金、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態1～6のいずれか1つに記載の高反射鏡。

10

【0108】

実施形態8

上記低屈折率材料は $YbFO$ を含み、上記高屈折率材料は $HfO_2$ を含む、実施形態1～7のいずれか1つに記載の高反射鏡。

【0109】

実施形態9

上記バリア層は約10nm～約50μmの厚さを有する、実施形態3～8のいずれか1つに記載の高反射鏡。

20

【0110】

実施形態10

上記第1の界面層は0.2nm～50nmの厚さを有し、 $Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $ZnS$ 、 $MgF_2$ 、 $AlF_3$ 、 $Ni$ 、モネル( $Ni-Cu$ )、 $Ti$ 、 $Pt$ 、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態1～9のいずれか1つに記載の高反射鏡。

【0111】

実施形態11

上記第2の界面層は0.2nm～50nmの厚さを有し、 $Nb_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $ZnS$ 、 $Al_2O_3$ 、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態1～10のいずれか1つに記載の高反射鏡。

30

【0112】

実施形態12

上記低屈折率材料は5nm～75nmの厚さを有し、上記高屈折率材料は5nm～75nmの厚さを有する、実施形態1～11のいずれか1つに記載の高反射鏡。

【0113】

実施形態13

上記低屈折率材料は25nm～60nmの厚さを有し、上記高屈折率材料は25nm～60nmの厚さを有する、実施形態1～12のいずれか1つに記載の高反射鏡。

【0114】

実施形態14

0.300μm～15μmの波長範囲で使用するための高反射鏡を作製するための方法であって、

40

上記方法は：

基板を提供するステップ；

上記基板を、粗度10nm未満まで研磨するステップ；

厚さ0.2nm～25nmの第1の界面層を上記バリア層の上に適用するステップであって、上記厚さは上記第1の界面層に依存する、ステップ；

厚さ75nm～300nmの反射層を上記第1の界面層の上に適用するステップ；

厚さ5nm～20nmの第2の界面層を適用するステップであって、上記厚さは上記第1の界面層に依存する、ステップ；

50

低屈折率材料と高屈折率材料との組み合わせを含む複数の調質層を適用するステップであって、上記高屈折率材料は  $\text{HfO}_2$  であり、上記調質層の厚さは、上記低屈折率材料及び上記高屈折率材料に依存する、ステップ；並びに

保護層を上記調質層の上に適用するステップを含む、方法。

【0115】

実施形態15

厚さ  $10\text{ nm} \sim 50\text{ }\mu\text{m}$  のバリア層を上記基板の表面に適用するステップを更に含む、実施形態14に記載の方法。

【0116】

実施形態16

上記バリア層は、耐腐食層、耐摩耗層、応力調整層、又はこれらの組み合わせを含む、実施形態15に記載の方法。

【0117】

実施形態17

上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CrN}$ 、 $\text{NiCrN}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{NiCr}$ 、 $\text{Ni}$ 、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐腐食層である、実施形態16に記載の方法。

【0118】

実施形態18

上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{YbF}_3$ 、 $\text{YbF}_x\text{O}_y$ 、ダイヤモンド様炭素(DLC)、又はこれらの組み合わせを含む上記耐摩耗層である、実施形態16に記載の方法。

【0119】

実施形態19

上記バリア層は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、フッ化物、金属、又はこれらの組み合わせを含む上記応力調整層である、実施形態16に記載の方法。

【0120】

実施形態20

上記低屈折率材料は  $5\text{ nm} \sim 75\text{ nm}$  の厚さを有し、上記高屈折率材料は  $5\text{ nm} \sim 75\text{ nm}$  の厚さを有する、実施形態14～19のいずれか1つに記載の方法。

【符号の説明】

【0121】

10 高反射鏡

14 基板

18、18a、18b、18c 第1の界面層

26、26a、26b、26c 第2の界面層

22、22a 第1の反射層、第1の反射金属層

30 調質層

38 高屈折率材料

42 保護層

46 バリア層

50、50a 第3の界面層

54 第2の反射層、第2の反射金属層

58 第4の界面層

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

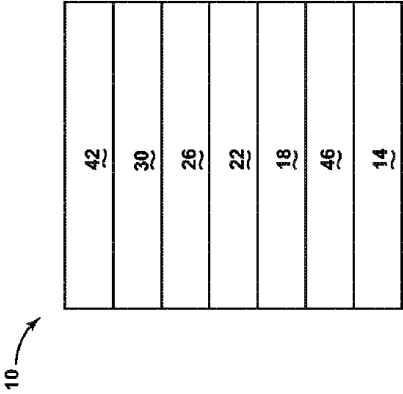


FIG. 1

【図 2】

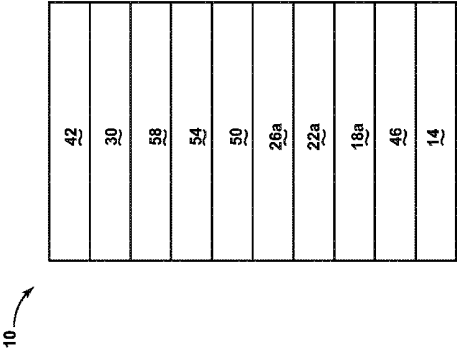


FIG. 2

【図 3】

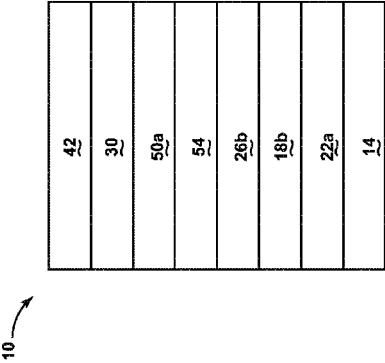


FIG. 3

【図 4】

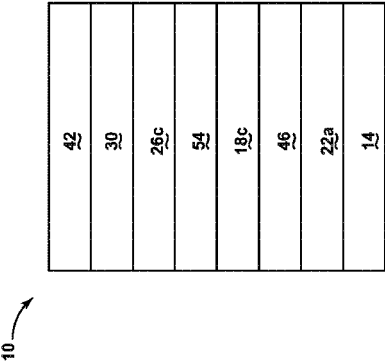


FIG. 4

10

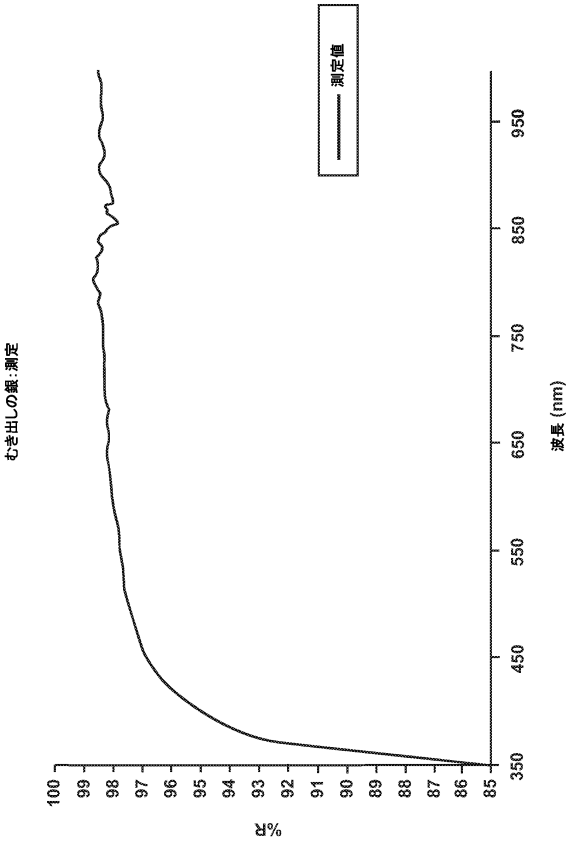
20

30

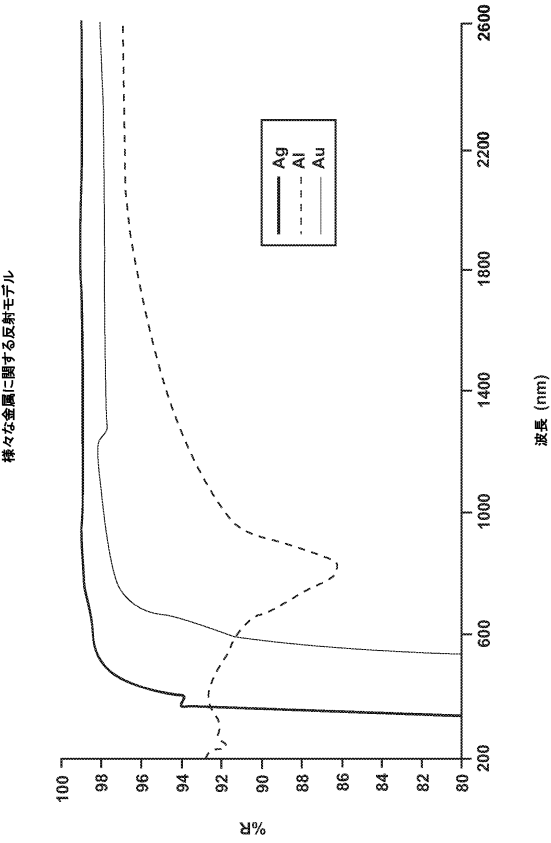
40

50

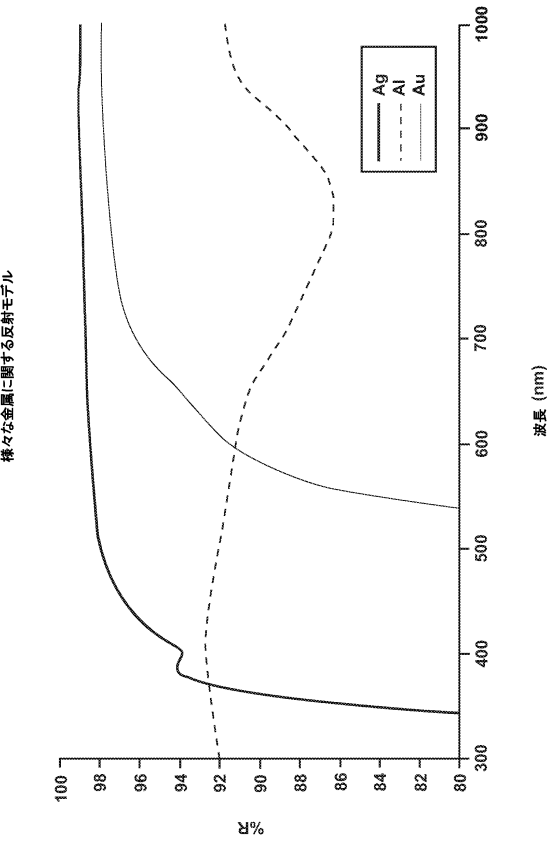
【図 5】



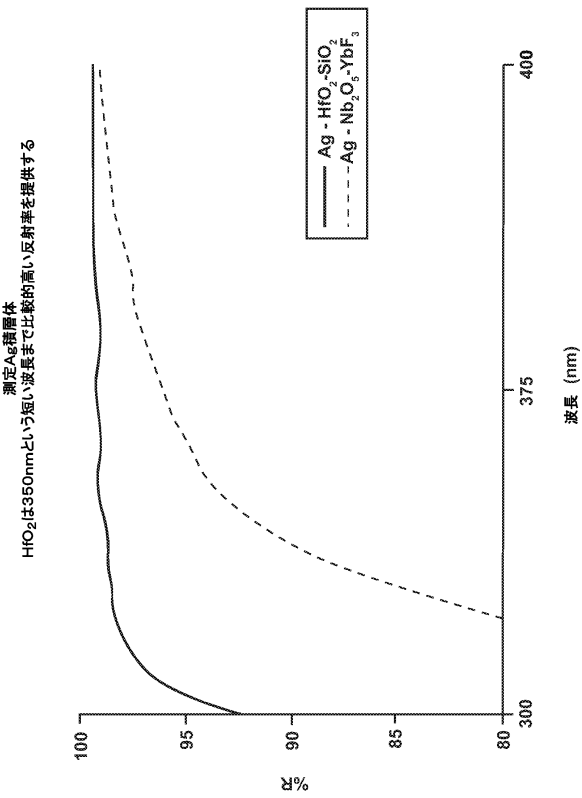
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 7】



10

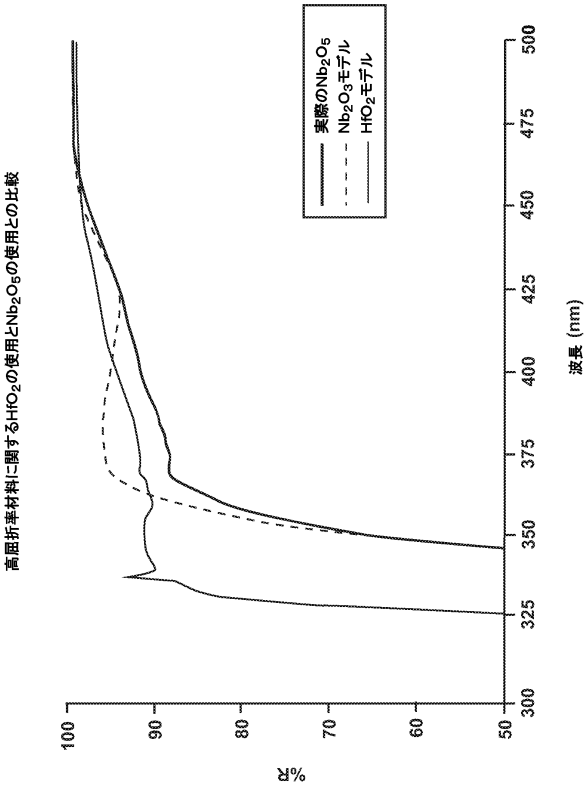
20

30

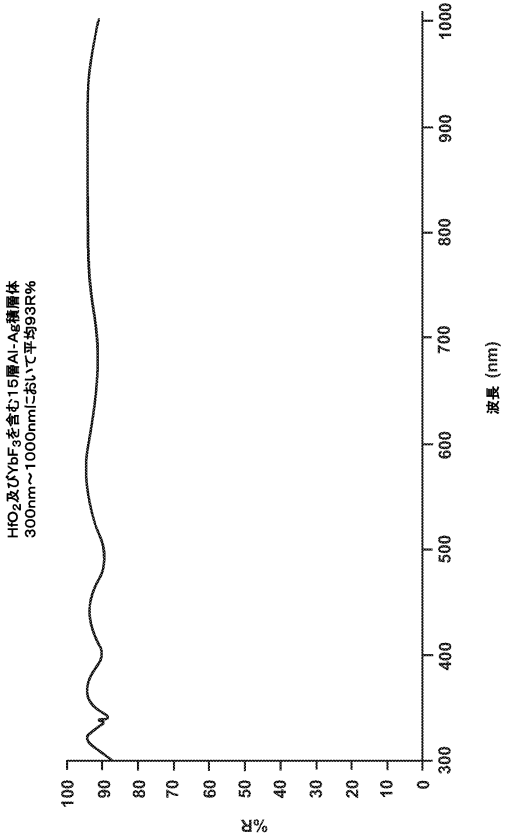
40

50

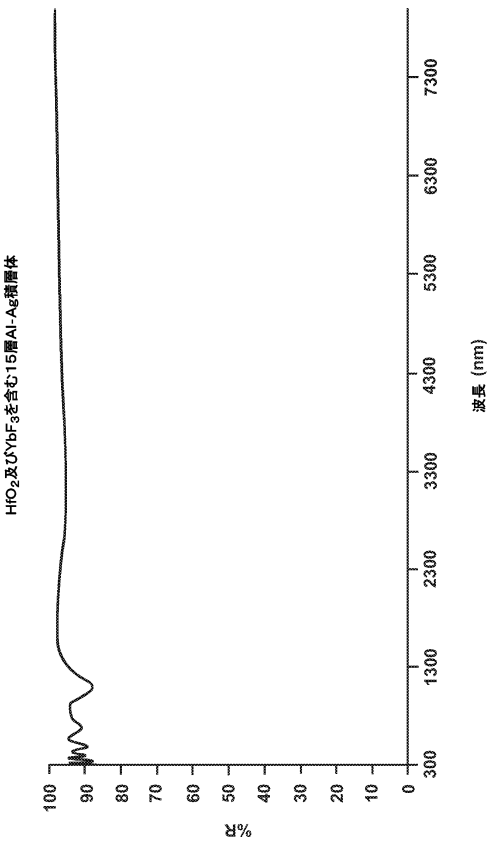
【図 8】



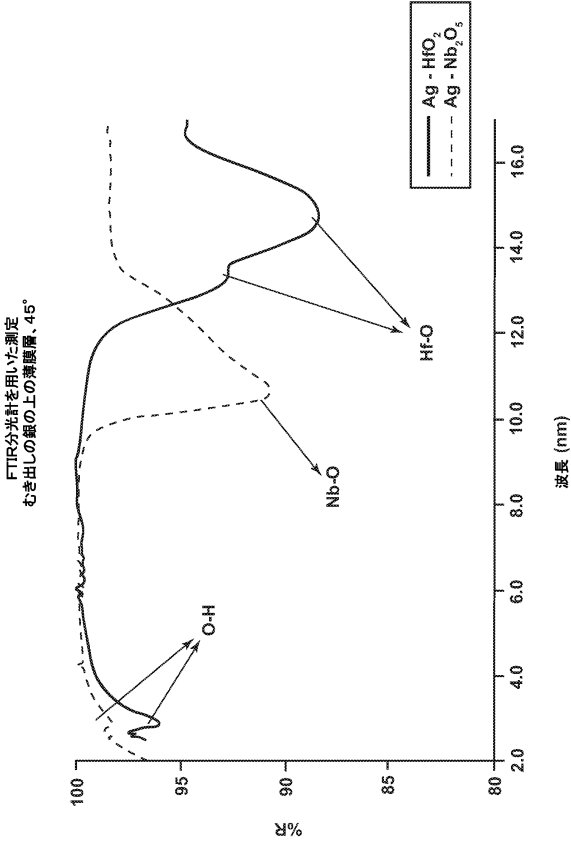
【図 9 A】



【図 9 B】



【図 10】



10

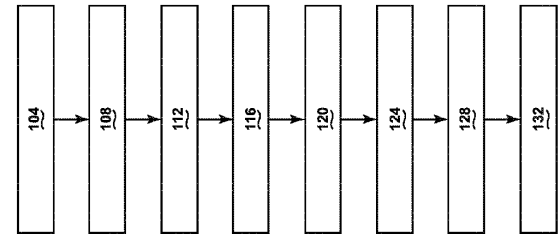
20

30

40

50

【 図 1 1 】



100

FIG. 11

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

(72)発明者 ワムボルト, レオナード ジェラード

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01375 サンダーランド オールド アマースト ロード 47

審査官 堀井 康司

(56)参考文献 特開2006-010930(JP, A)

米国特許出願公開第2006/0141272(US, A1)

国際公開第2016/066562(WO, A1)

独国特許出願公開第102015103494(DE, A1)

国際公開第2016/054126(WO, A1)

米国特許出願公開第2017/0139085(US, A1)

特開2012-198330(JP, A)

中国特許出願公開第101806927(CN, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G02B 5/00 - 5/136

B32B 7/023

B32B 9/00