

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7589169号  
(P7589169)

(45)発行日 令和6年11月25日(2024.11.25)

(24)登録日 令和6年11月15日(2024.11.15)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 2 B 5/18 (2006.01) G 0 2 B 5/18

請求項の数 9 (全13頁)

(21)出願番号	特願2021-561903(P2021-561903)	(73)特許権者	520356906 オリバ フランス エス・アー・エス・ フランス国 9 1 1 2 0 パレゾー パサ ージュ ジョバン イヴォン プールヴァ ール トマ ゴベル 1 4
(86)(22)出願日	令和2年4月17日(2020.4.17)	(74)代理人	100074734 弁理士 中里 浩一
(65)公表番号	特表2022-530366(P2022-530366 A)	(74)代理人	100086265 弁理士 川崎 仁
(43)公表日	令和4年6月29日(2022.6.29)	(74)代理人	100076451 弁理士 三嶋 景治
(86)国際出願番号	PCT/EP2020/060822	(72)発明者	フェルー ロマン フランス国 9 1 1 2 0 パレゾー ルート ドゥ サクレー 1 1
(87)国際公開番号	WO2020/212556	(72)発明者	ブーサディ アミーヌ
(87)国際公開日	令和2年10月22日(2020.10.22)		
審査請求日	令和5年2月3日(2023.2.3)		
(31)優先権主張番号	1904240		
(32)優先日	平成31年4月19日(2019.4.19)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	フランス(FR)		
前置審査			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高ピークパワーを有する極短パルスの光束に耐性のある反射型回折格子及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板(1)の表面(10)上に形成された格子線(11)と、外部反射層(13)とを含む、高ピークパワーの極短パルスの光束に耐性のある反射型回折格子において、前記外部反射層(13)と、前記格子線(11)を含む前記基板表面(10)との間に配置された少なくとも1つの中間金属層(14)を含み、前記少なくとも1つの中間金属層(14)は前記格子線の表面を覆い、前記外部反射層(13)は、前記中間金属層(14)を覆うとともに、前記中間金属層(14)との境界面を有し、前記外部反射層(13)は、第1の金属からなり、及び前記中間金属層(14)は、他の金属からなり、前記他の金属は、前記第1の金属の電子-フォノン結合定数よりも高い電子-フォノン結合定数を有し、前記外部反射層(13)は、100nm~500nmの厚さを有し、前記外部反射層(13)の厚さは、前記第1の金属の反射係数によって決定される下限値と、前記第1の金属の熱拡散長によって決定される上限とを有する範囲の厚さを有し、及び前記中間金属層(14)は、20nm~250nmの厚さを有し、前記中間金属層(14)の厚さは、前記反射型回折格子の、高ピークパワーの極短パルスの光束への耐性を高めるように、最小値よりも大きく、前記他の金属は、ニッケル、銅、モリブデン、クロム、銀又は銀-イリジウム合金の中から選択され、

前記回折格子は、前記格子線(11)を含む前記基板の前記表面上に配置された接着層(2)を更に含み、前記接着層(2)は、前記基板表面と前記中間金属層(14)との間に配置され、前記接着層(2)は、25ナノメートル未満の厚さを有することを特徴とする

、高ピークパワーの極短パルスの光束に耐性のある反射型回折格子。

【請求項 2】

前記第 1 の金属は、金及び銀、又は金及びノ若しくは銀の合金、又は金 - ニッケル合金、金 - 銅合金、金 - 銀合金、金 - 銀 - イリジウム合金若しくは金 - 銅 - 銀 - イリジウム合金の中から選択される、請求項 1 に記載の回折格子。

【請求項 3】

前記接着層 ( 2 ) は、クロム又はチタンで作られる、請求項 1 に記載の回折格子。

【請求項 4】

前記基板は、シリカ、シリコン、ゼロデュア、パイレックス ( 登録商標 ) 又はホウケイ酸塩で作られる、請求項 1 ~ 2 のいずれか一項に記載の回折格子。

10

【請求項 5】

前記外部反射層 ( 1 3 ) の表面において形成された誘電体薄膜コーティングを更に含む、請求項 1 ~ 2 のいずれか一項に記載の回折格子。

【請求項 6】

前記基板と前記中間金属層 ( 1 4 ) との間に配置された少なくとも別の中間金属層を更に含む、前記中間金属層 ( 1 4 ) 及び前記別の中間金属層は、いくつかの中間金属層の積層体を形成する、請求項 1 ~ 2 のいずれか一項に記載の回折格子。

【請求項 7】

基板 ( 1 ) の表面 ( 1 0 ) 上に形成された格子線 ( 1 1 ) と、外部反射層 ( 1 3 ) とを含む、高ピークパワーの極短パルスの光束に耐性のある反射型回折格子において、前記外部反射層 ( 1 3 ) と、前記格子線 ( 1 1 ) を含む前記基板表面 ( 1 0 ) との間に配置された少なくとも 1 つの中間金属層 ( 1 4 ) を含む、前記少なくとも 1 つの中間金属層 ( 1 4 ) は前記格子線の表面を覆い、前記外部反射層 ( 1 3 ) は、前記中間金属層 ( 1 4 ) を覆うとともに、前記中間金属層 ( 1 4 ) との境界面を有し、前記外部反射層 ( 1 3 ) は、第 1 の金属からなり、及び前記中間金属層 ( 1 4 ) は、他の金属からなり、前記他の金属は、前記第 1 の金属の電子 - フォノン結合定数よりも高い電子 - フォノン結合定数を有し、前記外部反射層 ( 1 3 ) は、1 0 0 n m ~ 5 0 0 n m の厚さを有し、前記外部反射層 ( 1 3 ) の厚さは、前記第 1 の金属の反射係数によって決定される下限値と、前記第 1 の金属の熱拡散長によって決定される上限とを有する範囲の厚さを有し、及び前記中間金属層 ( 1 4 ) は、2 0 n m ~ 2 5 0 n m の厚さを有し、前記中間金属層 ( 1 4 ) の厚さは、前記反射型回折格子の、高ピークパワーの極短パルスの光束への耐性を高めるように、最小値よりも大きく、前記他の金属は、ニッケル、銅、モリブデン、クロム、銀又は銀 - イリジウム合金の中から選択され、

20

30

前記基板と前記中間金属層 ( 1 4 ) との間に配置された少なくとも別の中間金属層を更に含む、前記中間金属層 ( 1 4 ) 及び前記別の中間金属層は、いくつかの中間金属層の積層体を形成する、回折格子。

【請求項 8】

基板 ( 1 ) の表面 ( 1 0 ) 上に回折格子線 ( 1 1 ) を形成するステップと、前記回折格子線を覆う中間金属層 ( 1 4 ) を堆積させるステップと、前記中間金属層を覆う外部反射層 ( 1 3 ) を堆積させるステップとを含む、反射型回折格子を製造する方法であって、前記外部反射層 ( 1 3 ) は、前記中間金属層 ( 1 4 ) との境界面を有し、前記外部反射層は、第 1 の金属からなり、及び前記中間金属層 ( 1 4 ) は、他の金属からなり、前記他の金属は、ニッケル、銅、モリブデン、クロム、銀又は銀 - イリジウム合金の中から選択され、前記他の金属は、前記他の金属は、前記第 1 の金属の電子 - フォノン結合定数よりも高い電子 - フォノン結合定数を有し、前記外部反射層は、1 0 0 n m ~ 5 0 0 n m の厚さを有し、前記外部反射層 ( 1 3 ) の厚さは、前記第 1 の金属の反射係数によって決定される下限値と、前記第 1 の金属の熱拡散長によって決定される上限とを有する範囲の厚さを有し、及び前記中間金属層 ( 1 4 ) は、2 0 n m ~ 2 5 0 n m の厚さを有し、前記中間金属層 ( 1 4 ) の厚さは、前記反射型回折格子の、高ピークパワーの極短パルスの光束への耐性を高めるように、最小値よりも大きく、そして、前記中間金属層 ( 1 4 ) を堆積させる

40

50

ステップ前に、前記格子線上に接着層(2)を堆積させる追加的なステップを更に含む、製造方法。

【請求項9】

前記格子線(11)は、前記基板に形成されるか、又は前記格子線(11)は、前記基板上に堆積された感光性樹脂によって形成される、請求項8に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、高出力レーザーにおいて、例えばレーザーパルス圧縮のために使用される回折格子の分野に関する。 10

【0002】

より詳細には、本発明は、高ピークパワーの極短パルスのレーザー光束に耐性のある反射型回折格子に関する。本発明は、そのような回折格子を製造する方法にも関する。

【背景技術】

【0003】

今日の研究、特に核融合、プラズマ物理学及び基礎物理学の分野における研究は、1ペタワット(PW)に近づくか又はそれを超えるピークパワーに到達するために、一層高いエネルギーを有する極短パルスのレーザー(パルス持続時間が約500fs未満のもの)を使用する。 20

【0004】

現在、達成可能な最大出力は、レーザー経路の光学部品の光束耐性によって制限される。光学部品のレーザー光束耐性は、特に単位表面当たりのパルスエネルギー密度及び持続時間に依存する。

【0005】

高エネルギーパルスレーザーにおける光学部品の損傷の閾値の問題は、CPA(チャープパルス増幅)技法によって部分的に解決されている。CPAの原理は、光パルスを時間的に引き伸ばして光パルスのピークパワーを下げ、次いで時間的に引き伸ばされたパルスを増幅し、レーザー経路の終端において、増幅されたパルスを時間的に再圧縮して高エネルギーの短パルスを得るというものである。これにより、増幅時の光パワーを数桁減らすことができる。しかしながら、特に回折格子の使用に基づいてパルス圧縮を実行する段階には、光学部品を破壊する危険性が残っている。これらの部品のいくつかは、実際に、最も高いピークパワーを有する、エネルギー増幅されて時間的に圧縮されたパルスにさらされる。したがって、コンプレッサの回折格子は、光束耐性の観点から制限となる部品である。 30

【0006】

パルス圧縮のための回折格子は、従来の金属製の回折格子であることが多い。赤外領域(800nm、1053nm又は1550nm)におけるパルス圧縮には、アルミニウム製の回折格子は使用されない。それは、アルミニウム製の回折格子の回折効率が一般に90%未満であり、十分ではないためである。一方、銀製の回折格子は、酸化しやすいため、あまり使用されない。むしろ、金の層で覆われている回折格子が使用される。金ベースの回折格子は、広いスペクトル帯域幅にわたって優れた回折効率を提供し、金が錆びない材料であるために保護層を必要としない。しかしながら、金ベースの回折格子には、フェムト秒領域でレーザー光束耐性が限られるという課題がある。更に、金ベースの回折格子の損傷の閾値は、レーザーフルエンス、パルス持続時間及びパルス繰り返し数などの多くのパラメータに依存する。 40

【0007】

回折効率及び光束耐性を高めるための別の解決策は、誘電体ミラー(MLD:誘電体多層膜)上に回折格子を作製することであった。MLD回折格子は、一般に、光学指数が厚さ方向に交互になっている異なる2つの完全に透明な誘電体材料の多数の層の交互積層体と、この多層積層体の表面において最後の薄層に形成された回折格子とを含む。これらの 50

MLD回折格子については、多くの論文において、例えば“Design of high-efficiency dielectric reflection grating” by Shore et al., JOSA A, Vol. 14, Issue 5, pp. 1124 - 1136、“High-Efficiency Dielectric Reflection Gratings: Design, Fabrication, and Analysis” by Hehl et al., Applied Optics, Vol. 38, Issue 30, pp. 6257 - 6271、“Design of diffraction gratings for multipetawatt laser compressors” by Bonod et al., Proc. SPIE, Vol. 5962, 59622M (2005)において詳細に説明されている。これらの文献は、金単層を含む回折格子の光束耐性の2～3倍優れた光束耐性を有するMLD回折格子を得ることができるように、完全に誘電性であり、透明であり、吸収のない材料に基づいて、多数の二重層を含む回折格子を製造することを推奨している。理論的には、MLD回折格子は、金ベースの回折格子の回折効率より高い回折効率も有する。用途に応じて、現在、金ベースの回折格子とMLD回折格子とが競合している。

10

## 【0008】

しかしながら、MLD回折格子は、金属製の回折格子よりも製造するのが複雑であり、したがってより費用がかかる。MLD回折格子はまた、極短パルス( $< 50\text{ fs}$ )のレーザ経路において使用するにはスペクトル帯域幅があまりにも限られている(数十nm)。実際には、レーザパルスの持続時間は、フーリエ変換によってレーザのスペクトル帯域幅に関連しており、これは、パルス持続時間と光線のスペクトル帯域幅との積が一定であることを意味する。なお、現在一般に使用されている800nmの中心波長では、この積は、約 $1000\text{ fs}\cdot\text{nm}$ に等しく、これは、 $10\text{ fs}$ 未満の時間幅のパルスを得るために、 $100\text{ nm}$ 超の帯域幅を有する必要があることを意味する。本明細書では、対象となる中心波長を囲む波長領域における極めて高い効率の帯域幅( $> 90\%$ )について述べる。MLD回折格子は、この種の帯域幅性能を有することができない。MLD回折格子は、典型的には、 $1053\text{ nm}$ の中心波長において $50\text{ nm}$ 未満の帯域幅を有する。

20

## 【0009】

レーザパルスにさらされる光学素子(材料、ミラー、回折格子)の光束耐性は、依然として、すべての現象がなおも解明されていない広大な研究分野である。ナノ秒～ピコ秒のパルス領域のレーザ光束によって材料において引き起こされる損傷は、現在では周知である。フェムト秒領域では、新しい現象が生じ、損傷モードが異なる。

30

## 【0010】

ピコ秒及びナノ秒の領域では、主な現象は、熱的性質の現象であり、特に金属製の回折格子では吸収に関連している。どのような材料であっても、損傷の閾値は、パルス持続時間の平方根則に従う。以下の文献: “Optical ablation by high-power short-pulse lasers” by Stuart et al., JOSA B, Vol. 13, Issue 2, pp. 459 - 468、“Short-pulse laser damage in transparent materials as a function of pulse duration” by Tien et al., Physical Review Letters, Volume 82, Issue 19, May 10, 1999, pp. 3883 - 3886は、ミラー及び回折格子に対するいくつかの数のレーザ損傷の測定及びモデルについて説明している。

40

## 【0011】

フェムト秒のパルス持続時間について、この法則は、格子線の局所的なスケールにおける物理現象から外れ、材料中の電磁光波の電界の二乗に関連していると考えられる。したがって、以下の文献: “Multilayer dielectric gratings for petawatt-class laser systems” by Britten et al. Proceedings of the SPIE, Volume 5273, pp. 1 - 7 (2004)、“Effect of electric field o

50

n laser induced damage threshold of multilayer dielectric gratings” by Neauport et al, Optics Express, Vol. 15, Issue 19, pp. 12508-12522により、フェムト秒領域（パルス持続時間500fs未満）における回折格子の損傷が、回折格子線のプロファイルを構成する材料の電界の二乗値に強く関連していることが示されている。

【0012】

実際、極めて効率的な回折格子（すなわち回折されたエネルギーが有用な回折次数（この種の回折格子では次数 - 1）に略完全に集中している回折格子では、入射場と回折場との干渉に起因して定常波が形成され、電界は、材料の近傍又は内部で入射場の振幅の2倍の振幅を有し得る。次に、電界増強について述べる。

10

【0013】

従来の金属製の回折格子には、金属処理され、一般には金が施された状態でTE又はTM偏光において動作するものがある。金属及び金属と真空との境界面における電界は、線プロファイルの特定の点において、電磁界が著しい増強された領域を呈し、この領域は、光束耐性の弱い領域を構成する。

【0014】

当然のことながら、レーザ光束耐性は、回折格子の製造品質及び特に使用される材料の純度、密度、不純物又は欠陥の不在（亀裂、異物、気泡、粗さ）にも依存する。

【0015】

国際公開第2010/125308\_\_A1号パンフレットは、薄い誘電体層で覆われた格子線を形成する金属表面を含む反射型回折格子を説明している。この回折格子の構造は、電界の干渉領域を回折格子から排除することを目的としている。このような金属 - 誘電体製の回折格子は、フェムト秒領域において極めて高い回折効率及びより良好な光束耐性を有する。

20

【0016】

しかしながら、一般に、極めて高エネルギーの極短パルスの光の流れにさらされることが意図されている回折格子の損傷の閾値を更にはずらすことが望ましい。

【0017】

更に、改善された光束耐性を有する回折格子のスペクトル応答を改善すること、すなわち回折効率及び/又はスペクトル帯域幅を増加させることが望ましい。

30

【0018】

しかしながら、極短光パルス領域における物理現象のモデリングは、極めて困難であり、現在の知識では、高強度のレーザ光束に対する回折格子の応答を予測することが不可能であり、広いスペクトル帯域幅において改善された光束耐性と高い回折効率とを同時に有する回折格子の構造を提案することは、更に不可能である。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0019】

従来技術の上記の欠点を改善するために、本発明は、高ピークパワーの極短パルスの光束に耐性のある反射型回折格子を提案し、この回折格子は、基板の表面上に形成された格子線と、外部反射層とを含む。

40

【0020】

より詳細には、本発明によれば、外部反射層と、格子線を含む基板表面との間に配置された少なくとも1つの中間金属層を含む回折格子が提案され、外部反射層は、中間金属層との境界面を有し、外部反射層は、第1の金属からなり、及び中間金属層は、別の金属からなり、他の金属は、第1の金属の電子 - フォノン結合定数よりも高い電子 - フォノン結合定数を有し、外部反射層は、第1の金属の反射係数によって決定される下限と、第1の金属の熱拡散長によって決定される上限とを有する範囲の厚さを有し、及び中間金属層は、反射型回折格子の、高ピークパワーの極短パルスの光束への耐性を高めるように、最小

50

値よりも大きい別の厚さを有する。

【0021】

本明細書では、「第1の金属」とは、純金属又は金属合金からなる材料を意味する。

【0022】

同様に、「別の金属」とは、別の純金属又は別の金属合金からなる材料を意味する。

【0023】

このようにして得られた回折格子は、広いスペクトル帯域幅において動作し、金の線を有する従来の回折格子と比較して、回折効率を維持した状態でパルス圧縮に適応している。このようにして得られた回折格子の動作領域は、 $20\text{ fs}$ 未満の極短パルスにおいて、持続時間と、例えば $25\text{ fs}$ のパルスで $100\text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 超のフルエンスに耐えるようにフルエンスとの両方で拡張される。

10

【0024】

本発明による回折格子の他の非限定的且つ有利な特徴は、個別に又は技術的に可能なすべての組み合わせに従って以下の通りである。

- 第1の金属は、金及び銀、又は金、及び/若しくは銀、及び/若しくは別の材料の合金、例えば金-ニッケル合金、金-銅合金、金-銀合金、金-銀-イリジウム合金又は金-銅-銀-イリジウム合金の中から選択される。

- 第1の金属は、金又は金合金であることが好ましい。

- 外部反射層の厚さは、 $100\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ 、好ましくは $100\text{ nm} \sim 150\text{ nm}$ である。

20

- 他の金属は、ニッケル、銅、モリブデン、クロム、銀又は銀-イリジウム合金の中から選択される。

- 中間金属層の厚さは、 $20\text{ nm} \sim 250\text{ nm}$ 、例えば $50\text{ nm} \sim 150\text{ nm}$ である。

【0025】

特定且つ有利な実施形態では、回折格子は、格子線を含む基板表面上に配置された接着層を更に含み、接着層は、基板表面と中間金属層との間に配置され、接着層は、 $25\text{ nm}$ 未満、好ましくは $10\text{ nm}$ 未満の厚さを有する。

【0026】

有利には、接着層は、クロム又はチタンで作られる。

【0027】

有利には、基板は、シリカ、シリコン、ゼロデュア、パイレックス又はホウケイ酸塩(BK7)で作られる。

30

【0028】

格子線は、基板に形成されることが好ましい。代替形態として、格子線は、基板上に堆積された感光性樹脂によって形成される。

【0029】

有利には、回折格子は、外部反射層の表面において形成された誘電体薄膜コーティングを更に含む。

【0030】

特定且つ有利な実施形態では、回折格子は、基板と中間金属層との間に配置された少なくとも別の中間金属層を更に含み、中間金属層及び他の中間金属層は、いくつかの中間金属層の積層体を形成する。

40

【0031】

本発明は、基板の表面上に回折格子線を形成するステップと、中間金属層を堆積させるステップと、外部反射層を堆積させるステップとを含む、反射型回折格子を製造する方法も提案し、外部反射層は、中間金属層との境界面を有し、外部反射層は、第1の金属からなり、及び中間金属層は、別の金属からなり、他の金属は、第1の金属の電子-フォノン結合定数よりも高い電子-フォノン結合定数を有し、外部反射層は、第1の金属の反射係数によって決定される下限と、第1の金属の熱拡散長によって決定される上限とを有する範囲の厚さを有し、中間金属層は、反射型回折格子の、高ピークパワーの極短パルスの光

50

束への耐性を高めるように、最小値よりも大きい別の厚さを有する。

【0032】

特定且つ有利な実施形態によれば、本方法は、中間金属層を堆積させるステップ前に、格子線上に接着層を堆積させる追加的なステップを更に含む。

【0033】

当然のことながら、本発明の異なる特徴、代替形態及び実施形態は、それらが互いに相容れないか又は排他的でない限り、様々な組み合わせに従って互いに関連付けられ得る。

【0034】

更に、本発明の様々な他の特徴は、本発明の非限定的な実施形態を示す図面を参照してなされる添付の説明から明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】従来技術による金属製の回折格子のいくつかの線の、格子線の方向に直交する平面における概略断面図である。

【図2】本発明の一実施形態によるマルチメタル回折格子のいくつかの線の概略断面図である。

【図3】本発明の別の実施形態によるマルチメタル回折格子のいくつかの線の概略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

これらの図では、異なる代替的な実施形態に共通する構造的及び/又は機能的な要素は、同じ参照符号によって記され得ることに留意されたい。

【0037】

本開示は、特に、超高強度極短レーザーパルス（パルス持続時間 < 500 fs）にさらされる金属製反射型回折格子のレーザー光束耐性を高める方法に関する。

【0038】

極短レーザーの分野において現在使用できるスペクトル領域は、近赤外（700 nm ~ 1100 nm）にある。極短パルスは、極短パルスのレーザー経路において最も一般に使用されているチタンサファイア（Ti：サファイア）結晶の利得範囲の中央である、800 nmの中心波長において主に作られる。

【0039】

ここで、回折格子の製作について考える。

【0040】

基板1は、一般に、シリカ、シリコンで作られるか、又は光学セラミック母材（例えば、ゼロデュア、パイレックス又はBK7タイプのもの）から形成される。基板1の表面10は、残っている表面粗さが、使用される波長の数分の1未満になるように事前に研磨される。表面10は、平面、凹面又は凸面であり得る。当業者に既知の方法により、回折格子線11が基板1の表面10上に形成される。既知の方法の1つは、格子線を形成するための、基板の表面の直接エッチングに基づく方法である。別の既知の方法は、マスタ回折格子からのホログラフィーと、基板上に堆積された感光性樹脂層に適用されるフォトリソグラフィとの技法に基づく方法である。線は、基板の表面に略平行な方向に延びる。線の方向に直交する平面における格子線のプロファイルは、正方形、長方形、台形若しくは疑似台形、格子線の方向を含む基板の表面10に直交する平面に対して対称若しくは非対称の三角形又は更に正弦波若しくは疑似正弦波の形状であり得る。回折格子のピッチPは、一般に、約800 ~ 2400本/mmである。

【0041】

有利には、回折格子の線11を含む表面上に薄い接着層2を例えば蒸着によって堆積させることも知られている。薄い接着層2は、一般に、数ナノメートル（約25 nm未満、好ましくは10 nm未満）の厚さを有するクロム又はチタンの薄層である。反射金属層3は、薄い接着層2の上に例えば蒸着によって形成される。代替形態として、接着層がない

10

20

30

40

50

場合、反射金属層 3 が回折格子線 1 1 の表面上に直接形成され得る。反射金属層 3 は、一般に、金又はアルミニウムで作られ、場合により銀で作られる。反射層 3 の厚さは、一般に、100 nm ~ 500 nm である。この厚さにより、格子線の表面粗さを制限しながら、高い反射係数、したがって高い回折効率を得ることが可能になる。

【0042】

図 1 は、基板 1 と、基板の表面 10 上において、例えば感光性樹脂層においてフォトリソグラフィによって形成された回折格子線 1 1 と、格子線 1 1 上に堆積された薄い接着層 2 と、薄い接着層 2 上に堆積された反射金属層 3 とを含む従来技術の金属製の回折格子の一例を示す。

【0043】

本開示の範囲内で判明しているのは、金の層を有する従来技術の金属製の回折格子が極めて高いエネルギーの極短パルスの光の流れにさらされた後に受ける損傷により、金の層の溶解現象に起因するクレータが形成されることである。金の層及び金と真空との境界面において、光束は、電界に対応し、電界は、回折格子プロファイルの特定の点において、電界が著しく増強する領域を呈し、特定の点は、極めて高エネルギーの極短パルスのレーザー光束への耐性における弱い領域を構成する。

【0044】

電界の最大値を回折格子から排除することを目的とした金属 - 誘電体製の回折格子とは逆に、本開示は、従来技術の回折格子の反射金属層 3 を、入射する光の流れにさらされることが意図されている外部反射層 1 3 を含む少なくとも 2 つの金属層と、その下にある少なくとも別の中間金属層 1 4 との積層体によって置き換えることを提案する。外部反射層 1 3 と中間金属層 1 4 とは、異なる金属からなり、外部反射層 1 3 の温度を下げるために適合された厚さをそれぞれ有する。

【0045】

しかしながら、マルチメタル薄層の積層体を含む回折格子に結合された極短パルスの電磁界の分布を考慮した刺激モデルは、現在のところ存在しない。実際には、回折格子は、電磁界の空間分布を変える二次元構造を有する。そのため、反射型回折格子のモデリングは、平面反射鏡のモデリングよりもはるかに複雑である。

【0046】

一方、外部反射層には、対象となるスペクトル領域における高い反射係数及び比較的小さい厚さを有する第 1 の金属が選択される。一方、中間金属層には、高い電子 - フォノン結合定数、高い耐熱性及び十分な厚さを有する別の金属が選択される。

【0047】

電子 - フォノン結合定数は、中間金属層の材料を選択する際に重要である。電子 - フォノン結合定数は、ほとんどの金属材料で知られている。常温における様々な金属について、以下の電子 - フォノン結合定数の値が科学文献においてみられる。

【0048】

【表 1】

[表 1] 表 1 は、様々な金属の電子-フォノン結合定数を示している。

金属	電子-フォノン結合定数 (W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> )
Au	2.1 x 10 <sup>16</sup>
Mo	13 x 10 <sup>16</sup>
Ni	36 x 10 <sup>16</sup>
Ag	3.1 x 10 <sup>16</sup>
Cu	10 x 10 <sup>16</sup>
Cr	42 x 10 <sup>16</sup>

【0049】

関与する物理現象の解釈に縛られるものではないが、高い電子 - フォノン結合を有する金属の中間層を外部反射層と接触させて追加することは、外部反射層における加熱誘起された電子と中間金属層のフォノンとの間の熱交換ダイナミクスを高めることを目的としている。したがって、外部反射層 1 3 と中間金属層 1 4 との組み合わせ及びそれぞれの厚さは、外部反射層 1 3 の温度を局所的に下げることができるようを選択される。異なる金属の薄層を組み合わせることにより、熱平衡点をずらし、且つレーザー - 物質相互作用によっ

10

20

30

40

50

て引き起こされる熱エネルギーを中間金属層に優先的に集中させることが可能になる。後者は、外部反射層よりも熱エネルギーへの耐性が高いために選択される。

【0050】

ニッケル、モリブデン、銅、クロム、銀又は銀 - イリジウム合金で作られる中間金属層14が選択されることが好ましい。中間金属層14は、外部金属層から到来する熱を吸収及び拡散できるように、最小値よりも大きい、 $d$ で示される厚さを有する。それにもかかわらず、実際には、中間金属層14の厚さ $d$ は、一方では表面粗さの増加を避けるために、他方では格子線プロファイルの形状を維持するために最大値未満である。例として、中間金属層14は、 $20\text{ nm} \sim 250\text{ nm}$ 、例えば $50\text{ nm} \sim 150\text{ nm}$ の厚さ $d$ を有する。

【0051】

中間金属層14の厚さ $d$ は、ここでは、格子線を支持する表面10に直交する方向に沿って測定される。しかしながら、格子線プロファイルを考慮すると、中間金属層14は、表面全体にわたって一様な厚さを必ずしも有さない。

【0052】

中間金属層14は、格子線の表面を覆う連続した二次元の層である。同様に、外部反射層13は、その下にある中間金属層14を覆う連続した二次元の層である。

【0053】

図3は、本発明の一実施形態による、疑似正弦波の線プロファイルを含むマルチメタル回折格子の一例を断面図で示す。格子線11は、基板1に直接形成される。これらの線上に厚さの $d$ の中間金属層14が堆積され、中間金属層14上に外部反射層13が堆積される。外部反射層13の厚さ $e$ 及び中間金属層14の厚さ $d$ は、格子線の深さ $h$ を維持するのに十分に小さい。

【0054】

代替的な実施形態では、基板と外部反射層との間に配置されたいくつかの中間金属層の積層体を使用される。例えば、クロムの層と金の層とからなる周期的な積層体を使用され、この2層のパターンが2回繰り返されて、合計で4つの中間金属層の積層体を形成する。このような積層体により、より良好な機械的減衰と金属増強との両方が可能になる。

【0055】

外部反射層13は、回折格子が中心波長を中心として $100\text{ nm}$ 超に及ぶスペクトル範囲で高い反射率を有するように、反射係数によって決定される下限よりも大きい、 $e$ で示される厚さを有する。一方、外部反射層13は、第1の金属の熱拡散長によって決定される別の上限未満の厚さ $e$ を有する。更に、外部金属層13の厚さ $e$ は、特に第1の金属が金である場合、第1の金属のコストを考慮した経済的な理由で制限され得る。

【0056】

$L_{th}$ で示される熱拡散長は、以下の式：

【数1】

$$L_{th} = \sqrt{\pi \cdot D \cdot \tau}$$

(式中、 $D$ は、材料の拡散性を表す)によって定義され、特にガウスビームに適用され、ここで、 $\tau$ は、レーザーパルスの半値全幅を表す。

【0057】

【表2】

[表2]表2は、様々な金属の熱拡散長を示している。

金属	熱拡散長 ( $\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )
Au	127.2
Mo	53.9
Ni	23
Ir	50.2
Ag	173
Cu	117
Cr	29.9

【0058】

外部反射層13の厚さは、ここでは、格子線を支持する表面10に直交する方向に沿っ

10

20

30

40

50

て測定される。しかしながら、格子線プロファイルを考慮すると、外部反射層 1 3 は、表面全体にわたって一様な厚さを必ずしも有さない。

【 0 0 5 9 】

外部反射層 1 3 は、一般に、約 1 0 0 n m ~ 5 0 0 n m、好ましくは 1 0 0 n m ~ 1 5 0 n m の厚さ  $e$  を有する。

【 0 0 6 0 】

中間金属層 1 4 及び外部反射層 1 3 の厚さを最適化するためにある試験方法が使用される。更に、中間金属層 1 4 の厚さ ( $i$ ) と外部反射層 1 3 の厚さ ( $r$ ) との間の比も最適化される。この比  $i / r$  が 0 ~ 1 であることが好ましい。

【 0 0 6 1 】

一般に、マルチメタル層 1 3、1 4 の積層体の合計の厚さの増加により、単一の金の金属層と比較して、この積層体の体積熱放散能力を高めることが可能になる。

【 0 0 6 2 】

高い反射係数を得るための外部反射層 1 3 の最小厚さ  $e$  と、良好な光束耐性を確保するための最大厚さ  $e$  との間の妥協点が決められる。

【 0 0 6 3 】

例として、金で作られた外部反射層 1 3 及びニッケルで作られた中間金属層 1 4 が選択される。8 0 0 n m の波長を中心とした 1 0 0 n m 超のスペクトル帯域において高い反射係数を得るために、1 0 0 n m の最小厚さ  $e$  が金製の外部層に選択される。例示的な実施形態では、回折格子の耐性を高めるために、1 0 0 n m 厚の金の層及び 5 0 n m 厚のニッケルの層を使用することが興味深いと思われる。

【 0 0 6 4 】

中間金属層 1 4 及び外部反射層 1 3 は、当業者に既知の任意の堆積技法によって堆積される。非限定的な例では、蒸着技法が使用され、このとき、場合により電子ビーム、イオンビームスパッタリング、カソードスパッタリング及び/又はマグネトロン若しくは原子層堆積により支援される。

【 0 0 6 5 】

このマルチメタル回折格子構造により、例えばニッケルから作られる中間金属層 1 4 は、金の層の熱エネルギーの一部を汲み上げ、この熱エネルギーを中間金属層 1 4 の体積中に拡散させることができる。このエネルギーの伝達は、外部反射層の金属の電子の熱化及びその下にある中間金属層中に拡散する熱エネルギーの一部の伝達のメカニズムで説明され得る。このマルチメタル構造により、外部金属層（例えば、金で作られるもの）の溶融閾値を押し戻し、この熱エネルギーの一部を中間金属層 1 4、例えばニッケルから作られるものに分散させることが可能になる。ここで、ニッケルの融点は、金の融点よりも高い。そのため、マルチメタル積層体に基づく回折格子は、単一の金属層に基づく回折格子よりも耐性が高く、誘電体層の積層体で覆われた単一の金属層からなる金属 - 誘電体製の回折格子よりも耐性が高い。

【 0 0 6 6 】

このようにして得られたマルチメタル反射型回折格子は、単一の反射金属層を含む反射型回折格子と同様に、T M 又は T E 偏光において動作する。

【 0 0 6 7 】

代替形態では、回折格子は、外部反射層 1 4 と少なくとも 2 つの中間金属層とからなる積層体を含む。

【 0 0 6 8 】

図 2 に示す別の代替形態では、マルチメタル回折格子は、格子線 1 1 を含む基板の表面 1 0 上に配置された接着層 2 を更に含み、接着層 2 は、基板表面と中間金属層との間に配置され、接着層は、2 5 ナノメートル未満、好ましくは 1 0 ナノメートル未満の厚さを有する。接着層 2 は、クロム又はチタンで作られることが好ましい。

【 0 0 6 9 】

別の代替形態では、場合により先の代替形態の一方及び/又は他方と組み合わせて、マ

10

20

30

40

50

ルチメタル回折格子は、外部反射層 1 3 上に堆積された薄い誘電体層を更に含む。例として、薄い誘電体層は、シリカ (  $\text{SiO}_2$  ) で作られる。薄い誘電体層の厚さは、50 nm 未満であることが好ましい。この薄い誘電体層は、電磁界の空間分布に影響する。マルチメタル回折格子と薄い誘電体層との組み合わせにより、反射型回折格子の、高エネルギーの極短パルスの光束への耐性を更に押し返すことが可能になる。

【 0 0 7 0 】

有利には、マルチメタル回折格子は、T M 又は T E 偏光において動作する。

【 0 0 7 1 】

当然のことながら、添付の特許請求の範囲内で本発明に対する様々な他の変更形態がなされ得る。

10

20

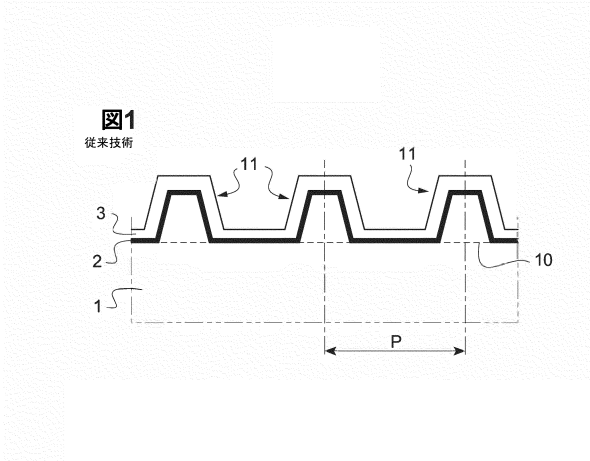
30

40

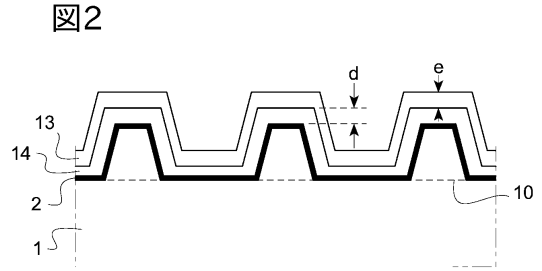
50

【図面】

【図 1】

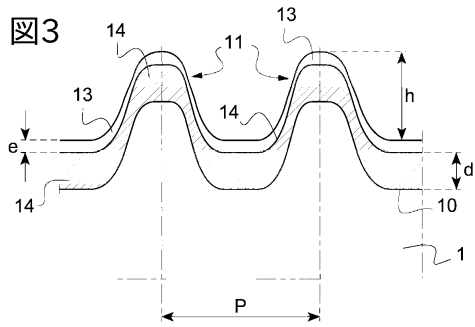


【図 2】



10

【図 3】



20

30

40

50

---

フロントページの続き

フランス国 9 1 1 2 0 パレゾー アヴニュー デュ プレジダン ウィルソン 4 7

審査官 辻本 寛司

- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 1 9 0 1 4 1 ( U S , A 1 )  
国際公開第 2 0 1 8 / 2 2 6 5 3 9 ( W O , A 1 )  
米国特許第 0 4 8 4 6 5 5 2 ( U S , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 0 5 0 9 0 4 ( U S , A 1 )  
特開平 0 5 - 3 4 6 5 0 2 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 0 9 3 1 9 1 ( U S , A 1 )  
国際公開第 2 0 1 4 / 1 1 8 9 2 5 ( W O , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)  
G 0 2 B 5 / 1 8