

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6066634号
(P6066634)

(45) 発行日 平成29年1月25日(2017.1.25)

(24) 登録日 平成29年1月6日(2017.1.6)

(51) Int.CI.

G02B 5/18 (2006.01)

F 1

G 02 B 5/18

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2012-198065 (P2012-198065)
 (22) 出願日 平成24年9月10日 (2012.9.10)
 (65) 公開番号 特開2013-92754 (P2013-92754A)
 (43) 公開日 平成25年5月16日 (2013.5.16)
 審査請求日 平成27年8月18日 (2015.8.18)
 (31) 優先権主張番号 特願2011-222366 (P2011-222366)
 (32) 優先日 平成23年10月6日 (2011.10.6)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (74) 代理人 100104628
 弁理士 水本 敦也
 (74) 代理人 100121614
 弁理士 平山 優也
 (72) 発明者 北村 強
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 (72) 発明者 助川 隆
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】エシェル型回折格子の製造方法およびエキシマレーザの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

紫外光を発する光源と、
 複数の格子を有し、前記複数の格子が並ぶ断面において各格子は非対称な三角形形状を有する反射型のエシェル型回折格子と、
 を有するエキシマレーザの製造方法であって、

前記光源の波長、前記波長を有する入射光に対して設定されたブレーズ次数、前記格子の繰り返しピッチ、前記格子の材料の情報、以下の条件式を満足する前記ブレーズ次数の回折効率 a とその一つ低次の回折効率 b の比率である配向比 b/a を取得するステップと、

0.025 b/a 0.400

前記取得するステップで取得した情報に基づいて、各格子のブレーズ面と格子平面とがなす角であるブレーズ角の初期値が取り得る範囲を提示するステップと、
 を有することを特徴とするエキシマレーザの製造方法。

【請求項 2】

複数の格子を有するエシェル型回折格子の製造方法において、
 紫外光を発する光源の波長の情報、前記光源からの入射光に対して設定されたブレーズ次数の情報、前記格子の繰り返しピッチの情報、前記格子の材料の情報を取得するステップと、

前記取得するステップで取得した情報を用いて、前記ブレーズ次数の回折効率 a とその

一つ低次の回折効率 b の比率である配向比 b / a が以下の条件式を満足するように、各格子のブレーズ面と格子平面とがなす角であるブレーズ角の角度を決定するステップと、
0.025 b / a 0.400

前記ブレーズ角が該決定された角度となるようにエシェル型回折格子を製造するステップとを有することを特徴とするエシェル型回折格子の製造方法。

【請求項 3】

前記ブレーズ角の角度を決定するステップにおいて、前記ブレーズ角を、前記ブレーズ次数の回折効率を最大にする第 1 のブレーズ角よりも小さい角度に決定する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の製造方法。

【請求項 4】

前記光源の波長は 193.3 nm であり、前記ブレーズ次数は 96 次から 114 次の間で設定されることを特徴とする請求項 2 に記載の製造方法。

【請求項 5】

前記光源の波長は 248.4 nm であり、前記ブレーズ次数は 74 次から 89 次の間で設定されることを特徴とする請求項 2 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、エシェル型回折格子、該エシェル型回折格子を使用するエキシマレーザとその製造方法に関する。 20

【背景技術】

【0002】

エキシマレーザ内で波長選択（狭帯域化）に用いられる回折格子は、レーザ共振器を構成する光学部品であるから、高い回折効率を提供すると共に長期使用に耐えられる耐久性を備えることが重要である。この回折格子に適用可能なものとして格子断面上で非対称の三角形形状の格子を有するエシェル型回折格子（ブレーズ型回折格子）が使用されている。

【0003】

例えば、特許文献 1 は、反射型のエシェル型回折格子の各格子の A1 反射膜に A1₂O₃ を含む保護膜を積層して反射膜を酸化及びそれに伴う反射膜表面の変形から保護する方法を提案している。特許文献 2 は保護膜の厚さを調節し、特許文献 3 は回折格子の溝形状を調節することによって、それぞれレーザインストール時の回折効率の初期値を高める方法を提案している。 30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特許第 4549019 号明細書

【特許文献 2】米国特許出願公開第 2009/0027776 号明細書

【特許文献 3】米国特許出願公開第 2010/0328775 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

エシェル型回折格子にレーザ光を照射した後では、ブレーズ次数とそれよりも一つ低い次数との間の回折効率の比率（配向比）が照射前と比べて変化していることが分かった。この変化は格子溝形状が変形していることを示しており、この変形はブレーズ次数の回折効率を低下させる要因となっている。これに対して、特許文献 2、3 の方法は効果的ではない。

【0006】

そこで、本発明は、長期の使用にわたって回折効率を維持することが可能なエシェル型回折格子、該エシェル型回折格子を使用するエキシマレーザとその製造方法を提供するこ 50

とを例示的な目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明のエキシマレーザの製造方法は、紫外光を発する光源と、複数の格子を有し、前記複数の格子が並ぶ断面において各格子は非対称な三角形形状を有する反射型のエシェル型回折格子と、を有するエキシマレーザの製造方法であって、前記光源の波長、前記波長を有する入射光に対して設定されたブレーズ次数、前記格子の繰り返しピッチ、前記格子の材料の情報、以下の条件式を満足する前記ブレーズ次数の回折効率 a とその一つ低次の回折効率 b の比率である配向比 b / a を取得するステップと、

0.025 b / a 0.400

10

前記取得するステップで取得した情報に基づいて、各格子のブレーズ面と格子平面とがなす角であるブレーズ角の初期値が取り得る範囲を提示するステップと、を有することを特徴とする。

本発明のエシェル型回折格子の製造方法は、複数の格子を有するエシェル型回折格子の製造方法において、紫外光を発する光源の波長の情報、前記光源からの入射光に対して設定されたブレーズ次数の情報、前記格子の繰り返しピッチの情報、前記格子の材料の情報を取得するステップと、前記取得するステップで取得した情報を用いて、前記ブレーズ次数の回折効率 a とその一つ低次の回折効率 b の比率である配向比 b / a が以下の条件式を満足するように、各格子のブレーズ面と格子平面とがなす角であるブレーズ角の角度を決定するステップと、

0.025 b / a 0.400

20

前記ブレーズ角が該決定された角度となるようにエシェル型回折格子を製造するステップとを有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、長期の使用にわたって回折効率を維持することが可能なエシェル型回折格子、該エシェル型回折格子を有するエキシマレーザとその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

30

【図1】本実施形態のエシェル型回折格子の部分拡大断面図である。

【図2】エシェル型回折格子のブレーズ角度とブレーズ次数での回折効率との関係を示すグラフである。

【図3】配向比のブレーズ角依存性を示すグラフである。

【図4】ブレーズ次数での回折効率及び配向比のブレーズ角依存性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

図1(a)は、本実施形態のエシェル型回折格子(ブレーズ型回折格子)1の部分拡大断面図であり、格子が並ぶ格子断面の一部を示している。エシェル型回折格子1は、ArF(アルゴン-フッ素)エキシマレーザやKrF(クリプトン-フッ素)エキシマレーザなどのエキシマレーザに使用可能である。またこれ以外にも、XeCl(キセノン-塩素)エキシマレーザやXeF(フッ化キセノン)エキシマレーザなどのエキシマレーザに使用可能である。この場合、エシェル型回折格子1は反射ミラーと波長選択機能を有するため、一定の回折効率を維持しないとレーザ機能を失うことになる。以下、ArFエキシマレーザに適用された場合を例として説明する。

40

【0011】

各格子は、図1に示す断面において非対称な三角形形状の短辺を有する面(ファセット)であるブレーズ面3とブレーズ面3に隣接して非対称な三角形形状の長辺を有する面(アンチファセット)であるカウンタ面8を有する。本実施形態では、短辺を有するブレーズ面3がArFエキシマレーザの不図示の光源から193.300nmの波長を有する入

50

射光 2 を最も多く受光する。このように、本実施形態では、短辺を有するプレーズ面 3 が不図示の光源から波長 193.3 nm の入射光 2 を最も多く受光するが、別の実施形態では長辺を有するカウンタ面 8 が入射光 2 を最も多く受光し、この場合には長辺を有する面がプレーズ面と呼ばれる。

【 0 0 1 2 】

プレーズ面 3 が格子平面 4 となす角度はプレーズ角 5 と呼ばれる。プレーズ面 3 がカウンタ面 8 となす角度は頂角 6 と呼ばれる。また、7 は格子の繰り返しピッチである。本発明では、頂角 6 の角度について特に限定されないが、本実施形態では頂角 6 の角度を 90° 未満（特に 85° 以上 90° 未満の範囲内）に設定している。これは、頂角 6 とプレーズ角 5 の和が光の入射角 に 90 度を足したものより大きくなればカウンタ面 8 に入射光 2 が照射されるので、実効的なプレーズ角 5 と入射角 7 を考慮した際にカウンタ面に光が入射されないようにするためのものである。

10

【 0 0 1 3 】

ある入射角である波長でエシェル型回折格子 1 に入射するある使用次数範囲の光のうち回折エネルギー量が最も高い次数は「プレーズ次数」と呼ばれている。プレーズ次数で回折する回折光と入射光が同一経路をとるように構成されたエシェル型回折格子は「リトロー配置」と呼ばれている。エシェル型回折格子 1 はリトロー配置を有する。このように本発明では、エシェル型回折格子がリトロー配置を有する場合を例として説明するが、本発明はこれに限定されず、例えばツェルニターナマウンティング配置を有するエシェル型回折格子に適用されてもよい。

20

【 0 0 1 4 】

リトロー配置を有するエシェル型回折格子 1 においては、プレーズ次数の入射光の入射角 7 は、図示のように、格子平面 4 に垂直な格子法線（グレーティングノーマル）9 と入射光 2 となす角度に等しい。プレーズ面 3 には入射光 2 が垂直に入射してもよいが、本実施形態では、これよりも若干角度をもって入射する。従って、本実施形態では、プレーズ次数の角度 7 はプレーズ角度 5 とは一致しないが、近い値である。

【 0 0 1 5 】

リトロー配置を有するエシェル型回折格子 1 においては以下の条件式が成立することが知られている。ここで、m はプレーズ次数、λ は入射光 2 の光源の波長（従って、ここでは、193.3 nm）、d は繰り返しピッチ 7、θ はプレーズ次数の角度である。

30

【 0 0 1 6 】

【 数 1 】

$$m \lambda = 2 d \cdot \sin \theta$$

【 0 0 1 7 】

数式 1 から、入射光 2 の角度 7 、繰り返しピッチ 7 、入射光源の波長 λ を選択すると次数 m が一義的に定まることが分かる。入射光 2 は数式 1 を満たすようにプレーズ面 3 に入射する。

【 0 0 1 8 】

図 1 (b) は、図 1 (a) の構造を示す模式図である。エシェル型回折格子は、ガラス基板 10 の上にエポキシ樹脂やアクリル樹脂などの光硬化性樹脂からなる断面三角形形状の樹脂層 11 を有する。樹脂層 11 の表面にはアルミニウムからなる反射膜層 12 が形成され、反射膜層 12 の上には、反射膜層 12 を酸化などから保護する保護層 13 が形成される。保護層 13 は、LaF₃ 膜、MgF₂ 膜等の誘電体膜から構成される。

40

【 0 0 1 9 】

樹脂層 11 は厚さが 2 μm ~ 10 μm 、反射膜層 12 は厚さが 120 nm から 500 nm である。なお、図 1 (b) に示す構造は単なる一例であり、保護層 13 の上に反射膜層 12 が更に積層されたり、保護層 13 が複数の種類の誘電体膜の積層であったりしてもよい。

【 0 0 2 0 】

図 2 は、リトロー配置を有するエシェル型回折格子においてプレーズ角度 5 とプレーズ

50

次数での回折効率との関係を示すグラフの一例であり、横軸はブレーズ角 5 (°)、縦軸はブレーズ次数の回折効率（任意単位）である。

【0021】

図2は、最大の回折効率を1として規格化されている。この計算は厳密結合波理論（Rigorous Coupled Wave Analysis: RCWA）法を用いてコンピュータにより計算された結果である。

【0022】

図2に示すように、ブレーズ角5にはブレーズ次数の回折効率を最大にする角度が存在する。従来のエシェル型回折素子はブレーズ次数効率が高いことが望まれるので、効率が最も高くなる80.49°がブレーズ角5の初期値として選択されていた。

【0023】

80.49°をブレーズ角5の初期値として有する従来のエシェル型回折素子を作製したところ回折効率の初期値は62.3%であり、レーザ光を照射すると200億パルス照射時に回折効率は34.2%まで低下した。

【0024】

この原因をブレーズ次数mの回折効率aとその一つ低次(m-1)の回折効率bの比率である配向比b/aに着目して鋭意検討した。この結果、エシェル型回折格子はArFエキシマレーザに使用されるとブレーズ面3の反射膜層あるいはその下に存在する樹脂層そのものに変形を生じ、それに伴い配向比b/aも増加している事がわかった。

【0025】

変形が生じた結果、回折光が飛ぶ方向が変化し、回折効率の低下が起こる。その効率低下及び表面組成変化などの三角形形状以外に起因する効率低下によって、回折効率は低下し、前述の例のように34.2%まで低下した際にはレーザ使用としての許容範囲から外れてしまう。

【0026】

このように、従来のエシェル型回折格子は初期の回折効率は高いが、レーザの照射量と共に回折効率が低下して最終的には所望の回折効率の許容範囲から外れてしまうという問題を有する。

【0027】

本実施形態のエシェル型回折格子1は、ブレーズ次数mの回折効率aとその一つ低次(m-1)の回折効率bの比率である配向比b/aが0.025(2.5%)以上で0.400(40%)以下の値になるように格子の初期形状を決定している。即ち、初期形状においては配向比b/aは以下の条件式を満足する。これによって、エシェル型回折格子1の寿命を改善している。格子形状は、ブレーズ角5、頂角6、繰り返しピッチ7を含み、ここではブレーズ角5が以下の条件式を満足するように設定されている。

【0028】

【数2】

$$0.025 \leq b/a \leq 0.400$$

【0029】

配向比の値は、レーザ照射中に変形による効率上昇及び効率低下が生じるように設定されている。上述したように、従来のエシェル型回折格子においては、ブレーズ次数効率を最大にする第1のブレーズ角(80.49°)がブレーズ角5の初期値に設定されていたが、本実施形態ではそれよりも小さい第2のブレーズ角が設定されている。そして、第2のブレーズ角が第1のブレーズ角よりもどの程度小さいかは数式2によって決定される。

【0030】

配向比が0.025よりも小さくなると格子変形に伴う効率低下を抑制する効果が低下し、0.4を超えると初期の回折効率が大きく低下して平均の回折効率が低下する。この数値範囲は、配向比のブレーズ角依存性を、頂角6、繰り返しピッチ7を変更しながら調べ、実際に使用される頂角6と繰り返しピッチ7の範囲においてエシェル型回折格子1の

10

20

30

40

50

回折効率の長寿命化が認められる範囲に対応している。

【0031】

図3は、配向比 b/a のプレーズ角依存性の計算結果であり、横軸がプレーズ角(°)であり、縦軸が配向比(単位なし)である。配向比 b/a の最小値(極小値)を与えるプレーズ角は図2に示すプレーズ次数の回折効率最大値(極大値)を与える80.49°である。

【0032】

図3に示す関係からプレーズ角5を設定することで、エシェル型回折格子1の耐久性を改善することができる。配向比 b/a が0.0889(8.89%)となるようにプレーズ角5の初期値を79.80°に設定した。

10

【0033】

レーザ光をプレーズ面3に照射すると変形が生じ、図3においてプレーズ角が増加することに相当する配向比 b/a の変化が生じる。すなわち、プレーズ角80.49°相当よりも小さい領域では配向比 b/a は減少し、プレーズ角80.49°相当よりも大きい領域では配向比 b/a は増加する。

【0034】

図3では、配向比 b/a が8.89%を与えるプレーズ角の解は2つ存在する。図2を参照すると、本実施例で用いられるアクリル樹脂においてはプレーズ角が80.49°よりも大きい領域での配向比変化に対応した変形によって回折効率が減少することから、図3においては、80.49°よりも小さい領域においてプレーズ角5を選択する。

20

【0035】

従来のエシェル型回折格子の初期の回折効率62.3%は本実施形態のエシェル型回折格子1の初期の回折効率55.2%よりも高い。しかしながら、本実施形態の200億パルス照射時の回折効率は48.0%となり、従来例の200億パルス照射時の回折効率34.2%を大幅に上回った。例えば、回折効率35%になるまでのレーザ照射線量は従来の回折格子が190億パルスであるのに対して本実施形態のエシェル型回折格子1は360億パルスであり、1.89倍に耐久性(寿命)が改善している。以上の現象に関し、図4を用いて説明を行う。従来のエシェル型回折格子では照射に伴う格子変形により回折効率が単調減少する一方で、本実施形態のエシェル型回折格子では照射中に格子変形による回折効率の増加が生じ、結果として照射期間中の最低回折効率が従来のエシェル型回折格子よりも高くなる。これにより、長寿命化が達成される。

30

【0036】

なお、照射中の効率変化量に関して従来例では初期効率62.3%からその54.8%にあたる34.2%まで効率減少が生じておおり、図2の80.49° + 1.4° = 81.89°の約70%と対応していないように見える。しかし、これは反射面表面の組成変化など、形状変化以外の要因に起因するものと考えられる。つまり、計算結果と実際の効率変化が完全に一致しない原因は表面酸化など変形とは別の物理現象に起因する効率低下の影響と考える。

【0037】

また、照射の格子変形に関わらず使用されるプレーズ次数は変化せずに一定である。これは、図1(a)に示す入射光2の入射角度が設定された時点での角度は一定に維持され、式1からプレーズ次数mも一定に維持されるからである。

40

【0038】

格子を構成する材料によっては図2において変形が生じる方向が逆になる(即ち、レーザ照射量が増加するとプレーズ角5が減少する)場合もある。その際には、図3においてプレーズ角を従来のプレーズ角(80.49°)よりも大きい領域から選択することで回折格子の長寿命化を達成すればよい。

【0039】

本実施形態は、反射型のエシェル型回折格子1を有するエキシマレーザの製造方法としても機能する。このエキシマレーザは、193.3nm、248.4nm、308nm、

50

または351nmなどの波長を有する紫外光を発する不図示の光源と、エシェル型回折格子1を有する。そして、光源は、数式1を満足するように入射光をブレーズ面3に入射させる。

【0040】

この製造方法は、幾つかのステップを有し、各ステップは、PCなどのコンピュータ(プロセッサ)に各ステップの機能を実現させるためのプログラム(ソフトウェア)として具現化が可能である。

【0041】

まず、ユーザは、コンピュータの入力部を操作して、数式1の光源の波長(例えば、193.3nm)、ブレーズ次数m、繰り返しピッチdを入力する。適用可能な光源の波長は、ArFエキシマレーザの193.3nmやKrFエキシマレーザの248.4nmなどである。また、適用可能なブレーズ次数mの例は、ArFエキシマレーザであれば96次から114次であり、KrFエキシマレーザであれば74次から89次である。

【0042】

次に、ユーザはブレーズ次数mの回折効率aと次数(m-1)の回折効率bの配向比b/aを決定する。

【0043】

また、ユーザは回折格子の材料(上述した、基材、樹脂層、反射膜層、保護膜層)の情報を入力する。

【0044】

これらの情報が入力(取得)されると、コンピュータは、ブレーズ角(横軸)と頂角(縦軸)の関係を示した不図示のマップにおいて、設定された配向比とブレーズ面3の変形の傾向に対応して、取り得る範囲を表示(提示)する。不図示のマップは、コンピュータの不図示のメモリ(記憶装置)に予め格納されている。それに応答して、ユーザは、その範囲内で頂角6とブレーズ角5を決定(選択)する。

【0045】

なお、頂角6を先に決定した場合には図3に示すグラフからブレーズ角5を決定してもよい。図3において、ブレーズ角5を極小値を与えるブレーズ角80.49°の右側から決定するか左側から決定するかは使用材質の変形の傾向に依存する。

【0046】

その後、最初に刻印された格子をマスターとして、それを樹脂やアルミ層により転写して、構造材となるブランク(基材)に写し取ったレプリカとして使用される。

【実施例1】

【0047】

実施例1のエシェル型回折格子1においては、繰り返しピッチ7を10.7081μm(1mmあたり93.3636本)、ブレーズ次数を109次、頂角6を85.50°とする。ArFエキシマレーザの光源から発せられる波長193.3nmの光がブレーズ面3に照射される。エシェル型回折格子1は、ArFエキシマレーザにおいて狭帯域化用の反射型回折素子として用いられ、リトロー配置を有し、入射角と出射角は共に79.60度である。

【0048】

レーザ照射前においてブレーズ次数である109次の回折効率aとその1次低次側に同時発生する108次の回折効率bの配向比b/aは0.0889となるようにブレーズ角5を設定した。実施例1のエシェル型回折格子1は図4に示す特性を示した。

【0049】

以上、本実施形態について説明したが、本発明は本実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0050】

エシェル型回折格子はエキシマレーザの共振器に適用することができる。

10

20

30

40

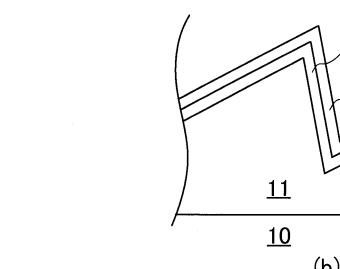
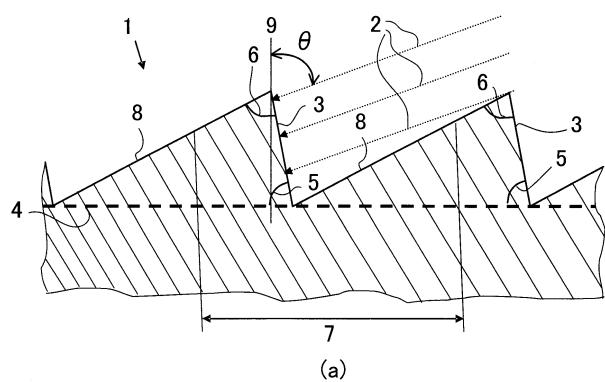
50

【符号の説明】

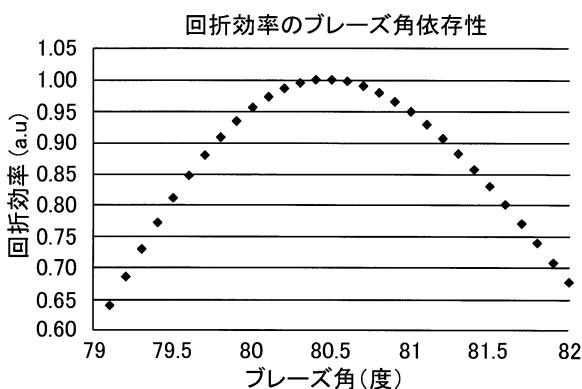
【0051】

1...エシェル型回折格子(ブレーズ型回折格子)、2...入射角(反射角)、3...ブレーズ面、5...ブレーズ角(パラメータ)、6...頂角(パラメータ)、7...繰り返しピッチ、8...カウンタ面、9...格子法線

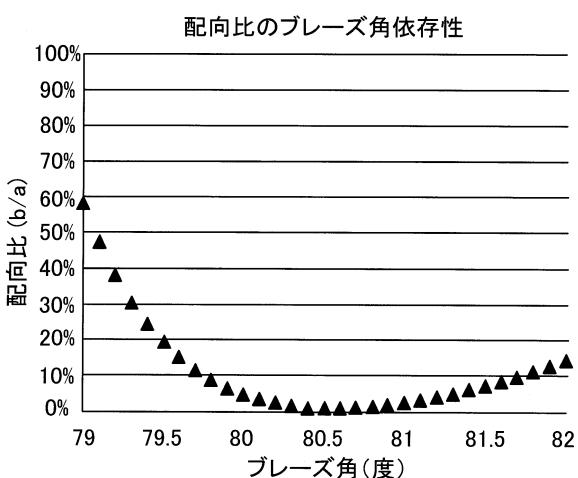
【図1】



【図2】

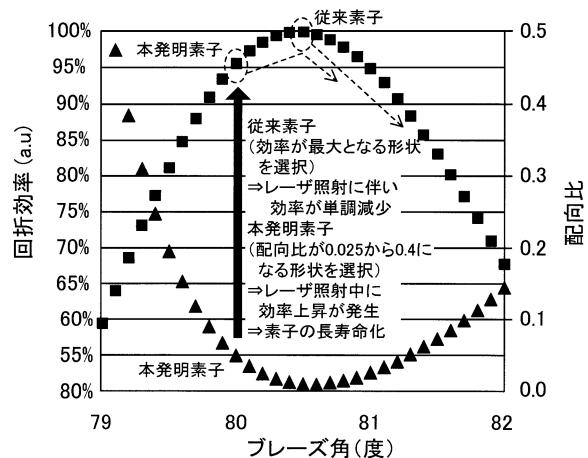


【図3】



【図4】

本実施例における回折効率、配向比のブレーザ角依存性



フロントページの続き

審査官 加藤 昌伸

(56)参考文献 米国特許出願公開第2003/0151816(US, A1)

特許第4549019(JP, B2)

特開2000-089011(JP, A)

特開2000-214315(JP, A)

特開2002-006126(JP, A)

特開平07-261010(JP, A)

米国特許出願公開第2010/0328775(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 5/18

G02B 5/32