

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5244611号
(P5244611)

(45) 発行日 平成25年7月24日 (2013. 7. 24)

(24) 登録日 平成25年4月12日 (2013. 4. 12)

(51) Int. Cl.	F I
G02B 5/04 (2006.01)	G02B 5/04 F
G02B 27/09 (2006.01)	G02B 27/00 E
	G02B 5/04 A
	G02B 5/04 B

請求項の数 34 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-546258 (P2008-546258)	(73) 特許権者	503187084
(86) (22) 出願日	平成18年12月20日 (2006. 12. 20)		カール ツァイス レーザー オプティクス ゲーエムベーハー
(65) 公表番号	特表2009-520999 (P2009-520999A)		ドイツ国 73447 オーバーコッヘン 、 カールツァイスシュトゥラーセ 2 番地
(43) 公表日	平成21年5月28日 (2009. 5. 28)	(74) 代理人	100147485
(86) 国際出願番号	PCT/EP2006/012350		弁理士 杉村 憲司
(87) 国際公開番号	W02007/071413	(74) 代理人	100134005
(87) 国際公開日	平成19年6月28日 (2007. 6. 28)		弁理士 澤田 達也
審査請求日	平成21年9月3日 (2009. 9. 3)	(74) 代理人	100147692
(31) 優先権主張番号	60/753, 829		弁理士 下地 健一
(32) 優先日	平成17年12月23日 (2005. 12. 23)	(72) 発明者	ヴィッターリ シュクロヴァー ドイツ国 89551 ケーニグスブロン ビュヘンヴェーク 7
(33) 優先権主張国	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザビームのプロファイルを形成するための光学系および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主伝搬方向に伝搬し少なくとも第1方向に角度分布を備える発散度を有する入射ビームの強度プロファイルを整形するための光学系であって、前記光学系が、前記少なくとも1方向の角度分布を除去するための少なくとも1つの角度選択光学素子を備え、

前記少なくとも1つの角度選択光学素子が、少なくとも1つの角度選択反射素子を備え、

前記少なくとも1つの角度選択反射素子が、前記少なくとも1つの角度選択反射素子の周囲に比べてより大きな光学密度を有し、

前記少なくとも1つの角度選択反射素子が、入射ビームに関して位置決めされ、これにより、前記入射ビームが、前記少なくとも1つの角度選択反射素子に入射後、該少なくとも1つの角度選択反射素子の少なくとも1つの面に所定の角度で入射し、前記角度が、内部全反射のほぼ臨界角度であり、

前記角度選択反射素子が、前記ビームの主伝搬方向に対して 0°の角度で伝搬する前記ビームの光線を少なくとも部分的にカットオフする、入射ビームを形成するための光学系。

【請求項 2】

前記少なくとも1つの角度選択光学素子が、前記第1方向にのみ前記角度分布を除去する、請求項1記載の光学系。

【請求項 3】

前記少なくとも1つの角度選択光学素子が、第2方向の前記角度分布を除去する、請求項1記載の光学系。

【請求項4】

前記第2方向が、前記第1方向に対して少なくともほぼ垂直である、請求項3記載の光学系。

【請求項5】

前記少なくとも1つの角度選択光学素子が、前記第1方向にのみ前記角度分布を除去し、前記光学系が、第2方向の前記角度分布を除去するための少なくとも1つの第2の角度選択素子をさらに備える、請求項1記載の光学系。

【請求項6】

前記少なくとも1つの面が、平面、球形、円柱形、非球形およびこれらの部分である、請求項1記載の光学系。

【請求項7】

前記少なくとも1つの面が、高反射膜により覆われている、請求項1記載の光学系。

【請求項8】

前記少なくとも1つの角度選択反射素子が、入射面を有しており、前記少なくとも1つの角度選択反射素子が、前記入射面が前記入射ビームに対してほぼ垂直に位置するように位置決めされる、請求項1記載の光学系。

【請求項9】

前記入射面が、反射防止膜により覆われている、請求項8記載の光学系。

【請求項10】

前記少なくとも1つの角度選択反射素子が、射出面を有しており、前記少なくとも1つの角度選択反射素子が、前記射出面から射出される射出ビームが前記射出面に対してほぼ垂直に位置するように位置決めされる、請求項1記載の光学系。

【請求項11】

前記射出面が、反射防止膜により覆われている、請求項10記載の光学系。

【請求項12】

前記少なくとも1つの角度選択反射素子が、プリズム、ロッド、直平行六面体、または断面が、多角形、台形または平行四辺形の少なくとも1つである面を有する物体のうち少なくとも1つを備える、請求項1記載の光学系。

【請求項13】

前記入射ビームと前記少なくとも1つの角度選択素子との相対位置が調節可能である、請求項1記載の光学系。

【請求項14】

少なくとも3つの角度選択光学素子をさらに備える、請求項1記載の光学系。

【請求項15】

入射ビームの強度プロファイルを整形し、射出ビームの強度プロファイルを形成するビーム整形光学ユニットにおいて、前記入射ビームが、少なくとも第1次元方向に前記入射ビームの発散に基づいて少なくとも一つの側に第1の強度勾配を有しており、前記ビーム整形光学ユニットが、前記射出ビームが前記少なくとも一つの側に第2の強度勾配を有するように射出ビームを形成し、前記第2の勾配が、前記第1の勾配よりも大きく、前記ビーム整形光学ユニットが、少なくとも1つの内部全反射により前記射出ビームの前記強度プロファイルを形成する、ビーム整形光学ユニット。

【請求項16】

ビームスプリッタをさらに備える、請求項15記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項17】

前記ビームスプリッタが、固体リングレーザの出力カップラーとして作用する、請求項16記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項18】

前記ビーム整形光学ユニットが、前記入射ビームの角度分布に作用する、請求項15記

10

20

30

40

50

載のビーム形成光学ユニット。

【請求項 19】

前記ビームスプリッタが、前記入射ビームを前記射出ビームと付加的なビームとに分割する、請求項 16 記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項 20】

前記付加的なビームが、付加的なビームダンプにより吸収される、請求項 19 記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項 21】

前記ビームダンプが、水冷されたビームダンプである、請求項 20 記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項 22】

前記ビーム形成光学ユニットが、一連の内部全反射により前記射出ビームの前記強度プロファイルを形成する、請求項 15 記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項 23】

少なくとも 1 つの波長に対して感応性を有する光学素子をさらに備え、これにより、分散に起因する前記入射ビームの角度広がり補正される、請求項 15 記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項 24】

前記波長に対して感応性を有する前記光学素子が、前記第 1 次元方向に対して垂直な次元方向の前記入射ビームの角度広がり補正に起因する、前記射出ビームの角度広がりをも補正する、請求項 23 記載のビーム整形光学ユニット。

【請求項 25】

主伝搬方向に伝搬し第 1 方向の角度分布を備える発散度を有する入射ビームをの強度プロファイルを整形する方法であって、前記ビームの主伝搬方向に対して 0° の角度で伝搬する前記ビームの光線を少なくとも部分的にカットオフすることによって、前記入射ビームの少なくとも 1 つの内部全反射によって、前記第 1 方向の前記角度分布を除去するステップを備える、入射ビームを形成する方法。

【請求項 26】

前記内部全反射について発散作用を補正するステップをさらに備える、請求項 25 記載の方法。

【請求項 27】

前記第 1 方向に対して直交する方向の前記内部全反射について前記入射ビームの直交発散作用を補正するステップをさらに備える、請求項 25 記載の方法。

【請求項 28】

長方形の輪郭を有するレーザービームに対して、前記第 1 方向、および該第 1 方向に直交する第 2 方向に前記入射ビームの発散度を補正するステップをさらに備える、請求項 27 記載の方法。

【請求項 29】

固体リングレーザの発散度を減じるために用いる、請求項 27 記載の方法。

【請求項 30】

材料加工のための薄型レーザービームを生成するための光学系において、請求項 1 に記載の光学系を備える、光学系。

【請求項 31】

非晶質シリコン薄膜の配向結晶化のために使用される、請求項 30 記載の光学系。

【請求項 32】

入射ビームの分散および発散度を補正するための装置において、請求項 1 に記載の光学系を用いる、装置。

【請求項 33】

長方形の輪郭を有するレーザービームの直交方向の発散度を補正するための装置において、請求項 1 に記載の光学系を用いる、装置。

10

20

30

40

50

【請求項 3 4】

固体リングレーザの発散度を減じるための装置において、請求項 1 の光学系を用いる、装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、2005年12月23日に出願された米国特許仮出願第60/753,829号の優先権を主張している。

【0002】

本発明は、概して光ビーム、特にレーザ光ビーム整形の分野に関する。より具体的には、本発明は、光学系、光学ユニットおよび入射ビーム、特に入射レーザビームの整形法に関する。このような光学系、光学ユニット、および上述のような方法は、材料加工、例えば非晶質シリコン薄膜の配向結晶化に用いられる薄型レーザビームを形成するために特に有用である。さらに、本発明による光学系、光学ユニットおよび方法は、例えば固体リングレーザに用いることもできる。

【背景技術】

【0003】

通常のレーザは、巨視的な尺度では、横断面で見た場合に鮮鋭なエッジを有する正確に平行に見える光ビームを生成する。しかしながら、微視的な尺度では、レーザビームには固有発散度がある。すなわち、ビームは光線の束であると考えられ、これらの光線は、互いにわずかに異なった伝搬方向を有している。このように、レーザビーム強度の角度分布のプロファイルは、レーザビームの主伝搬方向（角度 0° ）に最大値を有し、この最大値の両側に傾斜（角度 0° ）を有する。レーザビームの自然な発散度または角度広がりにより、レーザビームのエッジは、必ずしも鮮鋭ではなく、幾分不鮮明になっている。

【0004】

多くの光学的用途、例えば半導体のアニーリングなどのレーザ用途のためには、ビームの発散度が極めて低いことが必要とされる。

【0005】

通常は、視野絞りが、光学系の視野を制限するために用いられる（例えば、Handbook of Optics, OSA, Eds. W.G. Driscoll and W. Vaughan, McGraw Hill, 1978, p. 2-52, W. J. Smith, Modern Optical Engineering, 3rd Ed., McGraw Hill, 2000, Ch. 6, p. 141-143 参照）。このアプローチは、空間フィルタ処理に基づいている。すなわち、ダイアフラムまたはスリットが、光学系が結像しようとする対象の大きさを減じる。

【0006】

特に、米国特許第5,721,416号明細書が、高出力レーザビームから照射面に鮮鋭な照射線を生成するための光学装置を開示している。この公知の装置は、空間フィルタ処理に基づいている。この鮮鋭な照射線は、長軸および短軸を含む。この光学装置は、結像および均一化光学系のアナモルフィックな設定を備え、これにより、レーザビームの結像および均一化が長軸および短軸方向に独立して行われる。短軸方向にレーザビームを結像および均一化するためにはスリットが均一に照射され、スリットが縮小光学系により照射面に結像される。このように、この公知の光学系もレーザビーム形成のためにスリットを用いる。

【0007】

このような視野絞りをを用いる光学系はかなり良好に機能するにもかかわらず、スリットまたは視野絞りの使用は、幾つかの欠点を有する。欠点の1つは、このようなシステムが、高エネルギー密度のビームを必要とする用途で用いられる場合に生じる。ビームの高エネルギー密度により、視野絞りの本体は、著しく高温に加熱され、視野絞りまたはスリットに歪みをもたらす。その結果、ビーム整形が不正確になる。さらに、光ビームの極めて鮮鋭なエッジを形成するためには、視野絞りまたはスリットは、入射ビームを所望のよう

10

20

30

40

50

に整形することができるように、高精度に機械加工された鮮鋭なエッジを備えているように製造される必要がある。

【0008】

米国特許第4,060,308号明細書が、光ファイバ内への、および/または光ファイバからの光学エネルギーを結合するための角度選択カプラーを開示している。このカプラーは、光伝送の複数の高次モードを光励起させるように変更された光ファイバの部分からなっており、それぞれのモードは、ファイバ軸に対して所定の伝搬角度により規定されている。一実施形態では、結合部分は、単一ストランドのガラスファイバ導波路を備えており、この導波路は、長さ方向に沿ってテーパされている。テーパ部分の存在は、外部光源からの光線を所定の伝搬角度でファイバ内に結合することを可能にする。この文献は、鮮鋭なエッジを有するレーザを形成するための技術課題には取り組んでいない。

10

【0009】

公知の光学系および方法の上記欠点により、空間フィルタ処理に頼らずに入射ビームを整形するための光学系および方法に対する需要が依然としてある。

【0010】

【特許文献1】米国特許第5,721,416号明細書

【特許文献2】米国特許第4,060,308号明細書

【非特許文献1】Handbook of Optics, OSA, Eds. W.G. Driscoll and W. Vaughan, McGraw Hill, 1978, p. 2-52, W.J. Smith, Modern Optical Engineering, 3rd Ed., McGraw Hill, 2000, Ch. 6, p. 141-143)

20

【発明の開示】

【0011】

発明の概要

そこで本発明の課題は、角度分布を備えた発散度を有する入射ビームを整形するための光学系において、光学系が用いる物理的效果が、従来技術のものとは異なっているものを提供することである。

【0012】

さらに本発明の課題は、角度分布を備えた発散度を有する入射ビームを整形するための光学系において、高出力および/または高エネルギー密度を備えた入射ビームを整形することのできるものを提供することである。

30

【0013】

本発明の別の課題は、発散度を有する入射ビームを整形するための光学系において、従来技術による解決策に比べて熱衝撃が著しく低減されているものを提供することである。

【0014】

本発明のさらなる課題は、照射線の、鮮鋭なエッジを有する面の幅と長さを減じることができる光学系を提供することである。

【0015】

本発明のさらなる課題は、光学系において、面上に幅と長さを備える照射線を生成することができ、長さが幅の数百倍の高いアスペクト比を有し、鮮鋭なエッジを有しているものを提供することである。

40

【0016】

本発明のさらなる課題は、材料加工、特に基材をアニールするためのレーザアニリング装置において使用するための薄型レーザビームを整形する光学系を提供することである。

【0017】

本発明のさらなる課題は、材料加工、特に基材をアニールするためのレーザアニリングおよび走査装置に用いるための光学系において、レーザビームが、基材の表面に関して走査されるものを提供することである。

【0018】

さらに本発明の課題は、角度分布を備えた発散度を有する入射ビームを整形するための

50

光学系において、使用される物理的効果が、従来技術のものとは異なっているものを提供することである。

【0019】

さらに本発明の課題は、角度分布を備えた発散度を有し、高出力および/または高エネルギー密度を有する入射ビームを整形する方法を提供することである。

【0020】

本発明の別の課題は、発散度を有する入射ビームを整形する方法において、従来技術による解決策に比べて熱衝撃が著しく低減される方法を提供することである。

【0021】

本発明のさらなる課題は、面に幅と長さを備える照射線を生成することができ、この照射線が鮮鋭なエッジを有することができる方法を提供することである。

10

【0022】

本発明のさらなる課題は、面に幅と長さを備える照射線を形成することができる方法において、照射線が、長さが幅より数百倍大きい高いアスペクト比を有し、照射線が鮮鋭なエッジを有する照射線の形成法を提供することである。

【0023】

本発明の一実施態様によれば、入射ビームを整形するための光学系において、入射ビームは、少なくとも第1方向に角度分布を備える発散度を有し、この場合に、光学系は、少なくとも第1方向の角度分布を除去するための少なくとも1つの角度選択光学素子を有している。

20

【0024】

本発明の別の実施態様によれば、入射ビームの強度プロファイルを整形し、射出ビームの強度プロファイルを形成するビーム整形光学ユニットが提供され、この場合に、入射ビームは、少なくとも第1次元方向における入射ビームの発散に基づく第1の強度勾配を少なくとも1つの側に有し、ビーム整形光学ユニットは、射出ビームが第2の強度勾配を少なくとも1つの側に有するように射出ビームを形成し、この場合に第2の勾配は第1の勾配よりも大きく、ビーム整形光学ユニットが少なくとも1つの内部全反射により射出ビームの強度プロファイルを形成する。

【0025】

本発明のさらに別の実施態様によれば、第1方向に角度分布を備えた発散度を有する入射ビームを整形する方法が提供され、この方法は、第1方向の角度分布を除去するステップを含む。

30

【0026】

本発明によるアプローチは、例えば、視野絞りまたはスリットの形の空間選択式装置とは対照的に、入射ビームの発散度を減じるための角度選択式装置を用いることに基づいている。本発明による方法は、物理的な鮮鋭なエッジが高エネルギー密度で露出される必要がないという利点を有する。このようにして、高出力レーザービームに抵抗する光学素子に対する要求が著しく減じられる。

【0027】

好ましい実施形態では、本発明のシステムおよび方法は、内部全反射(TIR)の角度選択特性に基づいている。すなわち、ビームは、高屈折率を備える材料内を、より低い屈折率を有する材料とのインターフェースに伝搬し、入射角が内部全反射角度と呼ばれる所定の臨界角度を超過した場合にこのインターフェースで反射される。ビームの主伝搬方向に対して0°の角度で伝搬するビームの光線は、少なくとも部分的にこのようなインターフェースを介して透過され、これにより、除去されるか、または換言すれば、カットオフされる。

40

【0028】

台形または長方形の横断面を有するビームを生成することが意図される場合には、本発明は、例えば所定の一方に発散度を減じることを可能にし(例えば、米国特許第5,721,416号明細書により知られているような、例えば視野絞りにより形成されるスリ

50

ットの代替)、例えば、直交方向の発散度には影響しない。2つの(例えば直交する)次元方向のためにこのような2つの装置を組み合わせることで、ビームの両方の(すなわち、直交する)横断面次元のために発散度を独立して調整することを可能にする。

【0029】

さらなる特徴および利点が、以下の説明および添付の図面により明らかになる。

【0030】

例示的な実施形態を図面に示し、これらの図面を参照してより詳細に説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

図1は、入射ビーム12を整形するための光学系または光学ユニット10を概略的に示している。図1の実施形態に関して説明する本発明の原理は、本明細書に記載する他の全ての実施形態についても有効である。

10

【0032】

入射ビーム12は、矢印14の方向に伝播する。ビーム12は、入射ビーム12の主伝播方向(矢印14)に対して平行に延びる2本の線16および18、ならびに、伝播方向(矢印14)に対して平行ではなく、この伝播方向に対してわずかに発散している、2つの限界線20および22によって示されている。このように、入射ビーム12は、図1の図平面内に位置する第1方向xに発散度を有している。この発散度により、入射ビーム12は、グラフ24によって示されるような角度強度分布を示しており、この場合、強度Iは、伝播方向(矢印14)をゼロとする角度 に対してプロットされている。グラフ24が示すように、最大強度は角度 = 0の場合であり、強度は角度 0 に対しては傾斜を有している、すなわち、有限の勾配を有している。その結果、入射ビーム12は、方向xには鮮鋭なエッジを有しておらず、エッジは幾分不鮮明になっている(smear out)。

20

【0033】

線20は、第1方向xについて、入射ビーム12の一方側のエッジを形成しており、線22は、入射ビーム12の反対側で対向するエッジを形成している。方向xは、例えば、入射ビーム12の幅方向であってよい。

【0034】

平行する線16および18が第1方向すなわちx次元方向においてビーム12の2つの鮮鋭なエッジを形成するように、入射ビーム12が整形されていることが望ましい。入射ビーム12をこのように整形するために、光学系すなわちユニット10が設けられている。

30

【0035】

光学システム10は、少なくとも1つの角度選択光学素子を備え、この実施形態では2つの角度選択光学素子26および28が示されている。これらの角度選択光学素子26および28は、角度選択的に反射する素子、特にプリズム30および32である。プリズム30は、3つの面34、36および38を備え、一方では面34と面36とが、かつ他方では面34と38とが、45°の角度で交差する。このように、プリズム30は直角プリズムであり、面36および38は、直角を挟む面を形成し、面34は斜面を形成している。

40

【0036】

プリズム30および/またはプリズム32は、他の任意の適宜な光学素子、例えば、ロッド状、プレート状、直平行六面体状、多角状に形成された光学素子、台形、平行四辺形の光学素子などによって置き換えられてもよい。

【0037】

面36はプリズム30の入射面であり、面38は射出面を形成している。

【0038】

同様に、プリズム32は、3つの面40、42および44を有しており、一方では面40と面42とが、かつ他方では面42と面44とが、45°の角度で交差する。プリズム32の面40は入射面を形成し、面44はプリズム32の射出面を形成している。

50

【 0 0 3 9 】

プリズム 3 0 および 3 2 は、例えば、1 よりも大きい屈折率を有する媒体から形成されている。プリズム 3 0 および 3 2 は、ビーム 1 2 の波長に対して透過性の任意の適宜な材料、特にシリカ、フッ化カルシウムなどから形成されていてよい。

【 0 0 4 0 】

特に、プリズム 3 0 および 3 2 の面 3 4 および 4 2 は、周辺環境 4 6 に対するインターフェースを形成している。周辺環境 4 6 は、例えば空気であり、空気は、プリズム 3 0 および 3 2 の媒体の屈折率よりも低い屈折率を有する。

【 0 0 4 1 】

好ましくは事前にコリメートされた入射ビーム 1 2 は、まず入射面 3 6 を介して、ビーム偏向を回避するために好ましくは直角にプリズム 3 0 に入射する。プリズム 3 0 は、入射ビーム 1 2 が、面 3 4 の内部全反射 (T I R) の角度に近い入射角で面 3 4 に入射しているように位置決めされ、設計される。T I R 角度よりも大きい角度で面 3 4 に入射している入射ビーム 1 2 の光線は、入射ビーム 1 2 の線 1 6 , 1 8 および 2 2 によって示されている光線の場合のように、面 3 4 で反射される。反射されたビームは、1 6 a , 1 8 a および 2 2 a で示されている。

10

【 0 0 4 2 】

T I R 角度よりも小さい角度で表面 3 4 に入射している入射ビーム 1 2 の光線は、面 3 4 を介して (少なくとも部分的に) 透過される。これは、入射ビーム 1 2 の線 2 0 によって示される光線の場合である。すなわち、入射ビーム 1 2 の一方側では発散する光線は、第 1 のプリズム 3 0 によって除去されるか、またはカットオフされる。透過された光線は符号 2 0 a で示されている。

20

【 0 0 4 3 】

発散線 2 2 によって示された入射ビーム 1 2 の光線も同様に T I R 角度よりも大きい角度で面 3 4 に入射しており、これにより、面 3 4 で反射されることに留意されたい。このように、プリズム 3 0 は入射ビーム 1 2 の角度分布を方向 x にすなわち x 次元方向で見て一方側 (線 2 0) でのみ除去し、他方側 (線 2 2) は、プリズム 3 0 によってカットオフされない。

【 0 0 4 4 】

第 2 のプリズム 3 2 は、第 1 方向すなわち x 次元方向の角度分布の他方側を整形する効果を有する。図 1 に見ることができるよう、面 3 4 で反射された後には、線 2 2 , 2 2 a に従った光線は、面 4 2 の T I R 角度よりも小さい角度でプリズム 3 2 の面 4 2 に入射し、これにより、面 4 2 を介して (少なくとも部分的に) 透過される (線 2 2 b によって示す) 。このようにして、入射ビーム 1 2 の他方のエッジの発散部分は、プリズム 3 2 によってカットオフされる。これにより、射出ビーム 4 8 が生じ、角度分布は、第 1 方向すなわち x 次元方向の両方の側でカットオフされる。グラフ 5 0 は、射出ビーム 4 8 の角度強度分布を示している。角度分布の勾配は、入射ビーム 1 2 の角度分布の勾配より大きいことがわかる。

30

【 0 0 4 5 】

面 3 4 および / または面 4 2 は、平坦な形状を有していてもよいが、球面、円柱、非球面、またはその他の形状を有していてもよいことを理解されたい。

40

【 0 0 4 6 】

面 3 4 および面 4 2 への入射ビーム 2 0 の入射角は、両矢印 5 6 および 5 8 に従ってプリズム 3 0 および 3 2 を回転制御するためのアクチュエータ 5 2 および 5 4 によって調節することができる。プリズム 3 0 および 3 2 の回転角度の制御は、ビーム 1 2 の角度分布またはスペクトルがプリズム 3 0 および 3 2 によってどの程度カットオフされるかを決定するために用いることができる。両方のプリズム 3 0 および 3 2 の回転角度は、任意の望ましい値まで入射ビーム 1 2 の発散度を減じることを可能にする。さらにより小さい発散度を有する射出ビーム 4 8 の発散プロファイルを示す、グラフ 5 0 の破線 6 0 による角度強度分布は、表面 3 4 および 4 2 における入射角が幾分大きくなるように両方のプリズム

50

30および32が回転された場合に得られる。

【0047】

透過された、すなわち、除去された部分（線20a；22b）は、アクチュエータ52および54のフィードバック制御のために検出器55、56によって捕捉することができ、これにより、プリズム30および/またはプリズム32の回転位置が調節されるか、または、望ましいビーム形状が得られ、この場合にビーム形状の制御は、所望であればビーム12の両方の側に対して互いに独立して行うことができる。

【0048】

このような回転制御は、以下に示す好ましい実施形態のいずれにも同じように適用することができ、TIR面34および42の入射角を制御するほかの方法があることが当業者には明らかであり、（例えば、ビームをプリズム30および32内に反射するミラーの配向を変更するなど）、これらの方法は、本明細書に記載のいずれの実施形態とも組み合わせることができる。

10

【0049】

さらに、好ましくはそれぞれのビーム位置に対して直交しているプリズム30および32の入射面36および40ならびに射出面38および44は、システム10内の光学的損失を減じるための反射防止（AR）膜により被覆されてもよい。

【0050】

角度分布の勾配を増大させるためには、TIRを利用した角度フィルタを、適宜に高い反射性の（HR）膜により面34および42を被覆することにより強化することもできる。

20

【0051】

図1は、第1方向すなわちx次元方向の角度分布の除去またはカットオフに関して示しているが、図2は、第1方向すなわちx次元方向に直交する第2方向すなわちy次元方向の角度分布を備えた発散度を有する入射ビーム12を整形するための光学系10'を示している。第2の次元方向yは、次元方向xの入射ビーム12の幅よりも百倍大きくてもよい入射ビーム12の長さを規定している。例えば、入射ビーム12は、約15μmよりも小さい、方向xの伸びを有し、入射ビーム12は、少なくとも約300mmの、第2方向の伸びを有してよい。

【0052】

30

光学系10'は、再び2つのプリズム30'および32'を備えており、これらの2つのプリズムは、TIR面34'および42'がプリズム30および32のTIR面34に対して直交しているように配置されている。プリズム30'および32'の除去またはカットオフ効果は、プリズム30および32の除去またはカットオフ効果と同じ原理に基づいているので、上記を参照されたい。

【0053】

光学系10'は、光学系10と直列に配置されていてもよく、これにより、射出ビーム48は、光学系10'に対しては入射ビーム12を形成する。

【0054】

グラフ24'は、第2方向すなわちy次元方向の入射ビーム12の角度強度分布を示しており、グラフ50'は、方向yに両側でビーム48'の鮮鋭なエッジを示す射出ビーム48'の角度強度分布を示している。

40

【0055】

光学系10および光学系10'を通過した後は、ビーム12は、両方向すなわちx方向およびy方向で、いずれの場合も両方の側を整形されている。

【0056】

図3は、面34および42または面34'および42'のようなTIR面のHR膜の効果を示している。図3は、反射率（%で表す）が、HR膜を被覆された溶融シリカインターフェースへの入射角（角度で表す）に対してプロットされている。反射率は、約42.6224°のTIRの臨界角度からは100%であり、約0.0005°の範囲で30%

50

まで低下する。このように、適宜なHR膜は、TIRの角度フィルタ効果を高める。

【0057】

図4は、入射ビーム62の強度プロファイルの形成に用いられる光学系60の別の実施形態を示しており、この実施形態は、図1および図2の実施形態のような角度フィルタと同じ原理に基づいている。光学系60と光学系10および10'との相違は、射出ビーム64の伝播方向が、入射ビーム62の伝播方向に対して平行していることである。

このことは、直角をなす2つのプリズム66および68が入射ビーム62に対してどのように配置されることにより達成される。すなわち、プリズム66の斜面70が入射面を形成し、第1の面72がプリズム66のTIR面を形成し、これにより、入射ビーム62の一方側で角度強度分布が除去され、かつ斜面74が第2のプリズム68の入射面を形成し、第1の面76がプリズム68のTIR面を形成するように配置される。プリズム66および68の斜面70および74は、プリズム66および68のそれぞれの入射面を形成しているだけではなく、プリズム66および68のそれぞれの射出面をも形成しており、これにより、入射ビーム62の伝播方向に対して平行な伝播方向を有する射出ビーム64が生じる。

10

【0058】

グラフ78は、入射ビーム62の角度強度分布を示しており、グラフ80は、射出ビーム64の角度強度分布を示している。射出ビーム64は、1次元、すなわち、図4の図平面で両側に鮮鋭なエッジを示している。

【0059】

20

図5は、入射ビーム92を整形する光学系90の別の実施形態を示している。この光学系92も、角度選択光学素子、特に角度選択反射素子94を用いて、TIRを利用して入射ビーム92の角度分布96を除去する。光学素子94は、周辺媒体100、例えば空気の屈折率よりも高い屈折率を有する光学媒体を備える極めて平坦な平行したプレートまたはロッド98である。光学素子98の媒体は、この場合にも入射ビーム92の波長に対して透過性の任意の適宜な材料を備えてよい。

【0060】

光学素子98は、2つのTIR面102および104を有しており、これらのTIR面は、HR膜により被覆されていてもよい。光学素子98は、一方側、すなわち、線106により示された側で入射ビーム92の角度分布96を除去し、角度分布は、線108により示された他方側では除去されない。入射ビーム92が面102または面104に入射する度に、TIRの臨界角度よりも小さい角度で面104および102に入射しているように発散度を有する、入射ビーム92の光線は、面102および104を介して少なくとも部分的に透過され、ビームダンプ、例えば水冷されたビームダンプ101によって吸収されることができる。射出ビーム112は、光学素子98の射出面110から放出され、射出ビーム112の一方側に鮮鋭なエッジを示す角度強度分布114を有している。

30

【0061】

この実施形態は、ビーム92を整形するために多重TIR（ここでは4つの折れ目を備えるTIR）を使用する。

【0062】

40

図6は、光学系90に変更を加え、光学系90'の形態で示したものである。光学エレメント98に加えて、別の光学素子118を備えている。この光学素子118は、光学素子98と直列に配置された面平行のプレートとして形成され、かつ光学素子98に対して90°だけ回転されている。光学素子98は、入射ビーム92の一方側で角度分布96を除去し、光学素子118は、他方側、すなわち、ビーム92、より正確には射出ビーム112の反対側で角度分布を除去し、これにより、図6に示すような強度分布120が生成され、この場合に、最終的な射出ビーム112'は両側に鮮鋭なエッジを有している。

【0063】

図5および図6に示した光学素子98および/または光学素子118には、図1および図2に示した実施形態に類似した回転制御部が設けられていてもよく、これにより、射出

50

ビーム 1 1 2 および / または 1 1 2 ' の輪郭形状が調節されることを理解されたい。

【 0 0 6 4 】

さらに、光学素子 1 1 8 の面 1 0 2 , 1 0 4 ならびに対応 T I R 面は、H R 膜によって被覆されていてもよく、光学素子 9 8 の入射面 1 0 9 および射出面 1 1 0 ならびに光学素子 1 1 8 の対応する入射面および射出面は、H R 膜により被覆されてもよい。

【 0 0 6 5 】

図 7 は、少なくとも第 1 方向の角度分布を備える発散度を有する入射ビーム 1 3 2 の形成に用いられる光学システム 1 3 0 の別の実施形態を示している。グラフ 1 3 4 は、入射ビーム 1 3 2 の角度強度分布を示している。

【 0 0 6 6 】

光学系 1 3 0 は、角度選択式の 4 つの光学素子、特に角度選択反射素子、この場合には、4 つの直角プリズム 1 3 6 , 1 3 8 , 1 4 0 , 1 4 2 を備えている。

【 0 0 6 7 】

プリズム 1 3 6 および 1 3 8 は、図 1 の光学系 1 0 のプリズム 3 0 および 3 2 と同様に配置されている。プリズム 1 3 6 および 1 3 8 の斜面は、T I R 面として配置されている。

【 0 0 6 8 】

入射ビーム 1 3 2 の伝播方向に見て、プリズム 1 4 0 はプリズム 1 3 8 の後方に配置されており、プリズム 1 4 0 にはプリズム 1 4 2 が続き、プリズム 1 4 2 から、ビーム 1 3 2 は再びプリズム 1 3 6 内に向けられている。

【 0 0 6 9 】

入射ビーム 1 3 2 は、まず面 1 4 4 の縁領域でプリズム 1 3 6 の入射面 1 4 4 に入射する。プリズム 1 3 6 の T I R 面 1 4 6 から出発して、ビーム 1 3 2 は、図 7 に示した矢印に従って、4 つのプリズム 1 3 6 ~ 1 4 2 を介した経路をたどる。図 7 に示したように、射出ビーム 1 4 8 が、入射ビーム 1 3 2 の伝播方向に対して平行な方向にプリズム 1 4 2 から出射されるまで、ビーム 1 3 2 はそれぞれのプリズムを 3 回通過する。射出ビーム 1 4 8 を光学系 1 3 0 から取り出すためには、射出ビーム 1 4 8 が両方のプリズム 1 3 6 および 1 3 8 の間を通過するのに十分な距離だけ、プリズム 1 3 6 とプリズム 1 3 8 とが互いに離間される。

【 0 0 7 0 】

光学系 1 3 0 は、多数の T I R を使用して、1 方向すなわち x 次元方向の角度分布を除去またはカットオフする効果を高める。特に、光学系 1 3 0 は、グラフ 1 5 4 により示されるように、両方の側 1 5 0 および 1 5 2 で上記方向すなわち x 次元方向の角度分布を除去またはカットオフする。

【 0 0 7 1 】

プリズム 1 3 6 ~ 1 4 2 の T I R 面は H R 膜により被覆されていてもよく、プリズム 1 3 6 ~ 1 4 2 の入射面および射出面は反射防止膜により被覆されていてもよく、これにより、光学系 1 3 0 において損失が阻止されることを理解されたい。

【 0 0 7 2 】

図 8 は、光学系 1 3 0 に対してわずかに変更された光学系 1 3 0 ' を示している。この光学系 1 3 0 ' では、2 つのプリズム 1 4 0 および 1 4 2 が 1 つの逆反射プリズム 1 5 6 によって置き換えられており、これにより、入射面および射出面の数が減じられ、ひいては光学系 1 3 0 ' において損失が減じられる。

【 0 0 7 3 】

図 9 は、光学系 1 3 0 ' ' の別の実施形態を示している。この実施形態は、図 7 または図 8 の光学系 1 3 0 または 1 3 0 ' のさらなる改良形である。光学系 1 3 0 ' ' の場合には、光学系 1 3 0 の 2 つのプリズム 1 4 0 および 1 4 2 または光学系 1 3 0 ' の逆反射プリズム 1 5 6 が、2 つのミラー 1 5 8 , 1 6 0 によって置き換えられている。ミラー 1 5 8 および 1 6 0 は、ミラー 1 5 8 および 1 6 0 による角度フィルタがないのでビーム整形自体には貢献しないことに留意されたい。ミラー 1 5 8 および 1 6 0 は、折り返しミラ

10

20

30

40

50

ーとしてのみ働く。

【0074】

図10は、入射ビーム192の形成に用いられる光学系またはユニット190の別の実施形態を示している。

【0075】

光学系190は、ビーム192の1方向、例えば、x方向またはy方向に入射ビーム192の角度分布194を角度フィルタ処理するためにTIRを再び使用する。

【0076】

光学系190は第1の光学素子196を備え、この光学素子は、2つの平行したTIR面198および200を有しており、これらのTIR面は、射出ビーム204の角度分布を示すグラフ202によって示されるように、一方側で入射ビーム192の角度分布194を除去する。

10

【0077】

光学素子196は、互いに平行なさらなる2つの面206および208を有する長方形のプレートとして形成されており、これにより、光学素子196を通過するビーム192が折り曲げられる。光学素子196内のビーム192のビーム経路が、小さい矢印により図示されている。射出ビーム204は、光学素子196の射出面210を介して出射される。光学素子196は、一方側でのみ入射ビーム192の角度分布を除去するのに効果的である。反対側でも角度分布を除去するために、第2の光学素子212が設けられている。この光学素子212は、ビーム192の反対側で角度分布が除去されるように2つのTIR面214および216を有している。光学素子212は、光学素子196と直列に配置されており、射出ビーム204は、光学素子212に関しては入射ビームである。

20

【0078】

最後の射出ビーム218は、グラフ220により示されるような角度分布を示す。光学素子212は、光学素子196と同一に設計されていてもよく、この場合、光学素子212は、図平面で見て光学素子196に関して90°の角度だけ回転されている。

【0079】

図11は、光学系230の別の実施形態を示している。この実施形態は、光学系190の複数の光学素子196および214を使用し、入射ビーム192と比較して射出ビームの角度分布の勾配をさらに高める。入射ビーム192は、光学素子196, 212, 232, 234を通過し、後段の光学素子から射出ビーム236として射出する。

30

【0080】

図10によれば、ビーム192は、それぞれの光学素子196~234を数回通過し、これにより、多数のTIRによる射出ビーム236の強度分布の勾配を高める。さらに光学系230は、射出ビーム236が入射ビーム192と同じ方向に、しかも方向のずれなしに伝搬することを可能にする。

【0081】

図12は、図11の光学系230を使用するが、光学素子196, 212, 232および234の間に配置された能動媒体238を有する光学系230'を示している。このように、光学系230'は、一方向に発散度が減じられたレーザービームを生成するリングレーザーとして使用することもできる。部分反射器240を出力カプラーとして使用することもできる。三次元の構成を利用して、両方の直交方向(xおよびy)の発散度を減少させることもできる。

40

【0082】

上記実施形態はそれぞれ、ビームの両方向(xおよびy)に入射ビーム、特に任意の長方形断面を有する入射ビームの発散度が減じられるように、直交する平面の形に互いに組み合わせることができることを理解されたい。

【0083】

既に述べたように、上記の全ての実施形態は、角度分布の傾斜度を高めるためのHR膜、および、光学系において光学損失を減じるためのAR膜を備えていてもよい。

50

【 0 0 8 4 】

さらに、図 1 (検出器 5 5 , 5 6 、アクチュエータ 5 2 , 5 4) に関して既に記載したように、上記実施形態のそれぞれは、能動的な安定化技術を備えていてもよく、これにより、上記のようなプリズムまたはプレートのような T I R 活性の光学素子の角度分布が自動的に調節される。例えば、T I R 面で透過された入射ビームの一部が、フォトダイオードまたは 1 次元または 2 次元フォトダイオードアレイまたは C C D カメラなどの感光性の装置 (例えば、検出器 5 5 , 5 6) によって受信されてもよい。この装置からの情報は、角度分布の傾斜を調節するために圧電またはステップモータのような幾つかの能動的な機械素子、例えば、図 1 のアクチュエータ 5 2 および 5 4 のためのフィードバック信号として用いることができる。

10

【 0 0 8 5 】

上記光学系は、好ましくはアニール装置または別の材料加工装置および技術、例えば、無結晶シリコン薄膜の配向結晶化のために用いられ、この場合には、本発明の原理に従って整形された照射線が、加工される基材上で走査される。

【 0 0 8 6 】

次に分散および直交発散作用の補正するための手段を図 1 3 ~ 図 1 6 に関して説明する。

【 0 0 8 7 】

整形されるビームが単色ではない場合には、光学素子 (例えば図 1 の光学系 1 0 のプリズム 3 0 および 3 2) のバルク材料および膜が設けられている場合には膜内の分散を考慮する必要がある。

20

【 0 0 8 8 】

図 1 3 は、被覆された T I R インターフェース (例えば、図 1 の T I R 面 3 4) の典型的な分散を示している。

【 0 0 8 9 】

反射率の角度依存性は、異なった波長に対して本質的に同じであるが、光学材料の分散により反射カーブは、わずかに異なる角度にずらされる。

【 0 0 9 0 】

内部全反射のための臨界角度 θ_{TIR} は、

$$\sin \theta_{TIR} (\lambda) = 1 / n (\lambda)$$
 により求められ、
 $n (\lambda)$ は、それぞれの波長における屈折率であり、臨界角度 (および反射率カーブ) は、図 1 3 にみることができるよう、概してより短い波長ではより小さい角度にずれる。

30

【 0 0 9 1 】

補正手段が提供されていない場合には、非単色光照射のための上記実施形態に記載のように、この分散効果は発散度減衰素子 (例えば、図 1 のプリズム 3 0 および 3 2) の角度分解能を著しく制限する。しかしながら、ビームが実際の発散度減衰素子、例えばプリズム 3 0 および 3 2、または図 5 のロッドまたはプレート 9 8 を通過する前後に分散プリズムを用いることにより、補正をすることが可能である。補正プリズム (および実際の発散度減衰素子の入射面) に対する入射角は、異なる波長を有するビームが最後の補正プリズムの後に再び同じ方向に沿って進むが、しかし、それぞれの波長のためにそれぞれの T I R 角度で T I R 面に入射するように選択される必要がある。

40

【 0 0 9 2 】

分散補正を行うための入射角の組み合わせには広範な選択がある。しかしながら、発散度減衰素子の入射面における屈折の分散作用は、上記課題を達成するためには、決して十分ではないことに留意すべきである。その理由は、このような分散効果は、より大きい入射角の場合により強く、T I R のための臨界角度よりも小さい角度の単一屈折の場合には、単一屈折の分散効果は不十分なことである。それゆえ、発散度減衰素子のための分散素子が必要である。同様に、発散度減衰素子の射出面における屈折は、補償のためには十分な分散を生じないので別の分散素子が必要である。

50

【0093】

角度スペクトルの両側で発散度を減じる2つの素子246, 248のためには、図14に示されているように、全部で4つの補正プリズム150, 152, 154, 156を用いることができる。

【0094】

分散効果の補正には、プリズム以外の分散素子、例えば反射または透過格子などを使用することもできる。

【0095】

多色光照射のための分散効果の補正については既に説明した。このような補正が必要なのは、内部全反射のための臨界角度が放射線の屈折率ひいては波長に依存しているからである。

10

【0096】

しかし、厳密に単色光照射の場合にも、上記の発散度減衰は、入射ビームの角度スペクトルが入射面に対して垂直な方向に極めて狭幅である場合にのみ良く機能する。さもなければ、TIRインターフェース面の傾斜角と直交方向のポインティング角とが、角度よりも大きいTIRインターフェース面の入射角を共に決定する(図15参照)。角度は、

$\sin^2 \theta = \sin^2 \alpha + \sin^2 \beta \cos^2 \alpha$ により関連づけられる。

【0097】

前記の角度は、図15に示されており、長方形は、TIR面を示している。

20

【0098】

すなわち、入射角は、直交角度に依存しており、それぞれの直交角度が所定の直交発散範囲をカバーするためには異なる傾斜角が必要となる。この状況は、多色光照射の場合の分散効果に類似しており、したがって、分散効果に関する同じ補正機構を直交発散作用の補正に用いることができる。このことは、図16を参照して以下のとおりわかる。

【0099】

上記で説明した名称を用い、単一平面での屈折を考えると、傾斜角度の平面の投影により見た場合、投影された屈折の角度は、直交入射角に依存しており、屈折の法則は(投影角度に対して、および直交角度に依存して)変更された形式で書き直すことができることが示され、：

30

【数1】

$$\sin \beta'(\gamma) = \frac{\sin \beta}{n(\gamma)}$$

この場合、実効屈折率 $n(\gamma)$ は、次のように直交角度に依存している：

【数2】

$$n(\gamma) = \frac{n}{\cos \gamma} \cdot \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \gamma}{n^2}}$$

40

【0100】

この変更された屈折の法則を用いて任意の直交角度のビームを通常のように投影図で追跡することができる。唯一の相違は屈折率 n であり、屈折率 n は、直交入射角および潜在的には波長にも依存している。いずれの場合にも、上記のように分散効果(図14参照)を修正するために補正が可能であり、任意の屈折分散補正された装置も直交発散度のために補正される。

【図面の簡単な説明】

【0101】

50

【図1】本発明の原理を説明する好ましい一般的な実施形態による発散度を有する入射ビームを整形するための光学系を示す図である。

【図2】入射ビームを整形する光学系の別の実施形態を示す図である。

【図3】内部全反射（TIR）表面における高屈折率被覆の効果を示すグラフである。

【図4】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態を示す図である。

【図5】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態を示す図である。

【図6】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態を示す図である。

【図7】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態を示す図である。

【図8】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態を示す図である。

【図9】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態を示す図である。

【図10】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態を示す図である。

【図11】入射ビームを整形する光学系の別の好ましい実施形態であり、図10の光学系が積み重ねられた配置図である

【図12】リングレーザとして用いられる、図11の光学系の変形した形態を示す図である。

【図13】波長およびTIRインターフェースの入射角の関数として示す反射率の3次元プロット図である。

【図14】分散作用の補正要求が満たされている、入射ビームを整形するための光学系を示す図である。

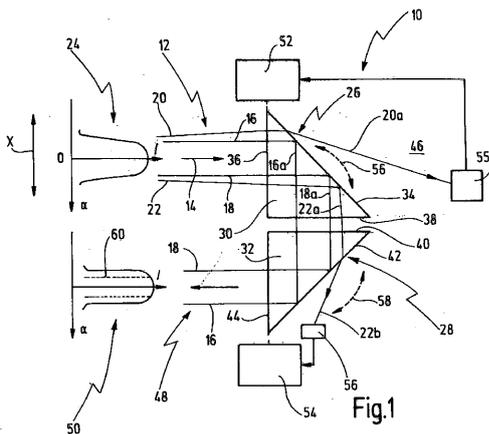
【図15】ビーム整形に対する直交発散作用を示すTIRインターフェースの概略図である。

【図16】入射ビームに対する直交発散作用を説明するための別の概略図である。

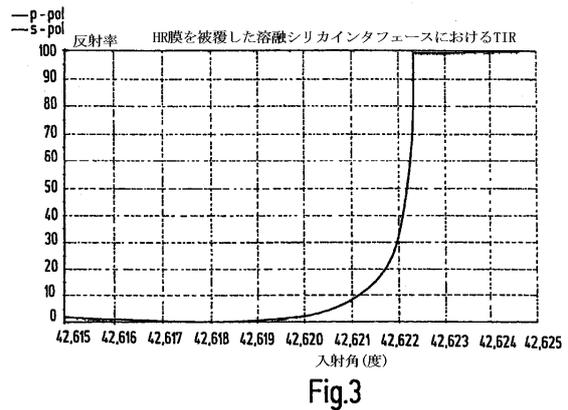
10

20

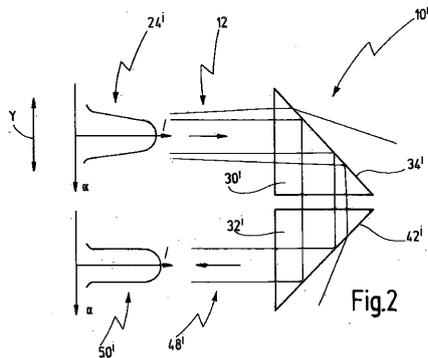
【図1】



【図3】



【図2】



【 図 4 】

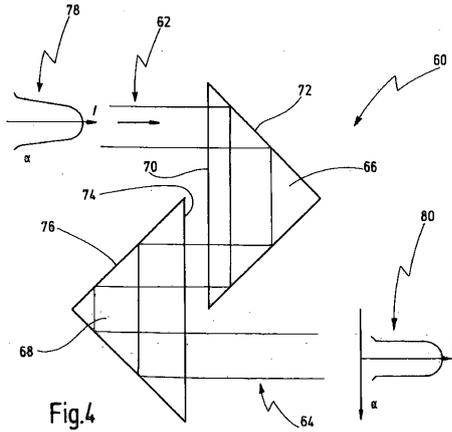


Fig.4

【 図 5 】

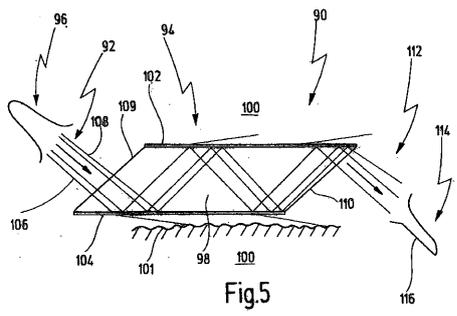


Fig.5

【 図 8 】

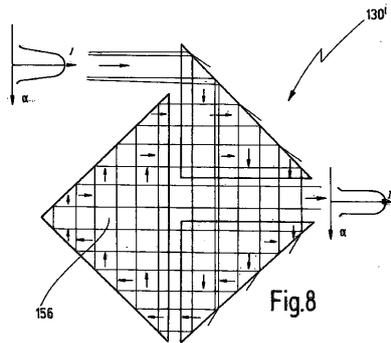


Fig.8

【 図 9 】

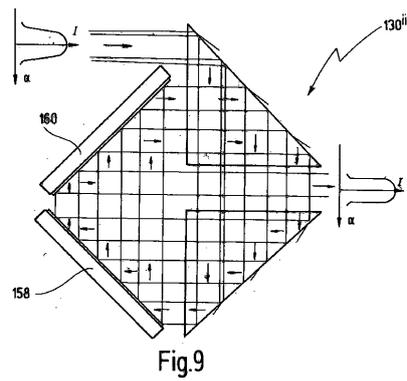


Fig.9

【 図 6 】

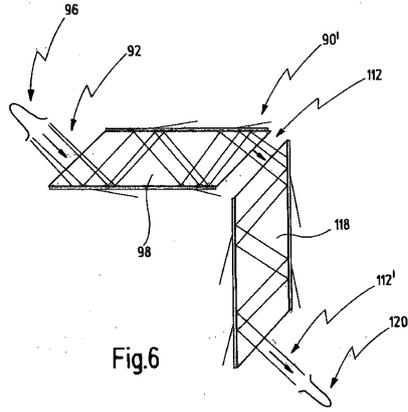


Fig.6

【 図 7 】

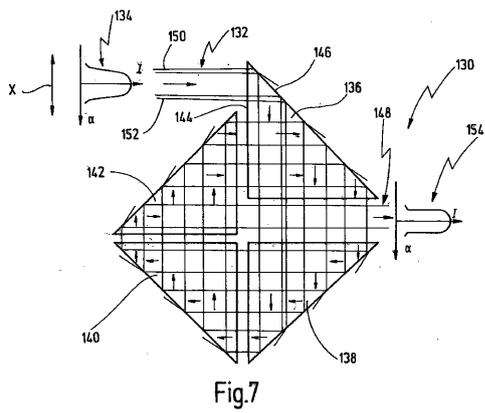


Fig.7

【 図 10 】

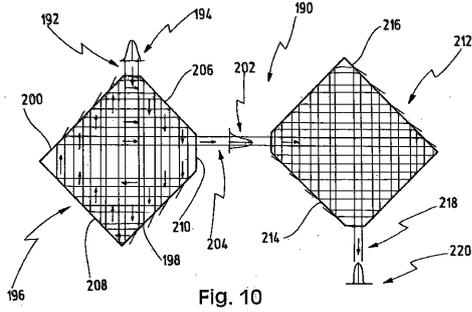


Fig. 10

【 図 11 】

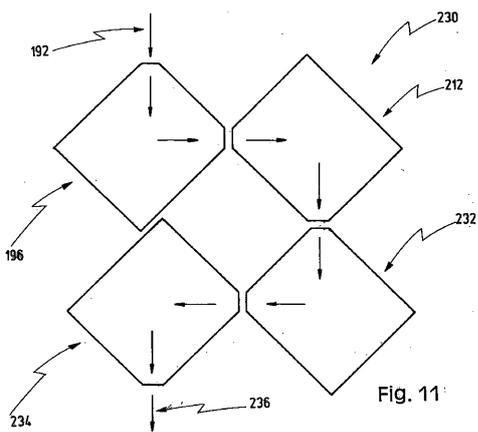
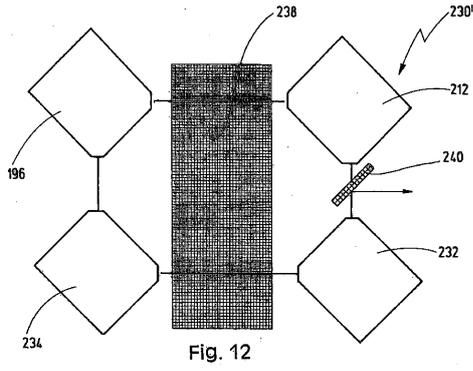
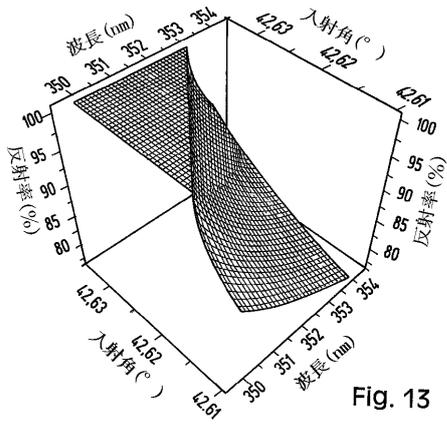


Fig. 11

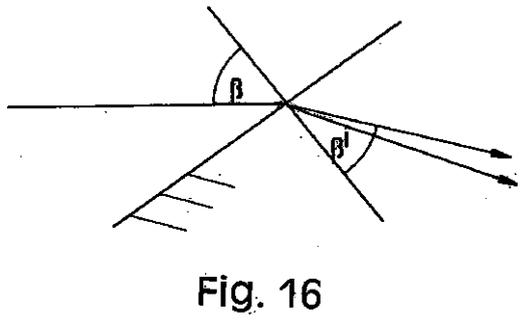
【 図 1 2 】



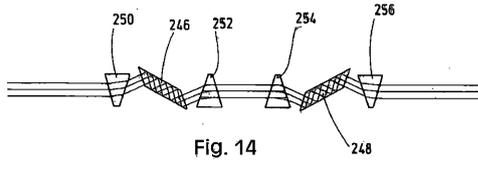
【 図 1 3 】



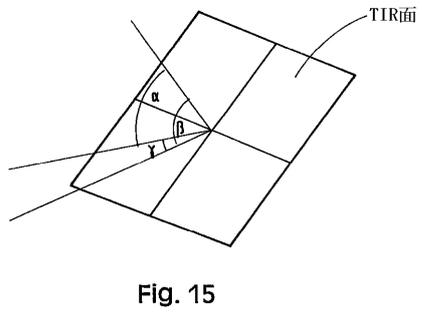
【 図 1 6 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ホルガー ミュンツ
ドイツ国 7 3 4 3 3 アーレン ケールナーシュトラッセ 3
- (72)発明者 ミヒェル レ マイレ
ドイツ国 7 3 4 4 7 オベルコッヘン マイゼンガッセ 1
- (72)発明者 クリスチャン ホーゼ
ドイツ国 8 9 2 3 1 ノイ - ウルム ヴィブリンガー シュタイク 3 3

審査官 大隈 俊哉

- (56)参考文献 特開2001 - 201716 (JP, A)
特開平2 - 7236 (JP, A)
特開昭61 - 168141 (JP, A)
特開平2 - 166783 (JP, A)
特表2008 - 505495 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 B 5 / 0 4 ~ 5 / 0 6
G 0 2 B 2 7 / 0 9