(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3560692号
(P3560692)
(45)発行日　平成16年9月2日(2004.9.2)　(24)登録日　平成16年6月4日(2004.6.4)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G01D 5/30	G01D	5/30	S
G01D 5/36	G01D	5/30	E
	G01D	5/36	T

請求項の数 16　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願平7-166214
(22)出願日　平成7年6月30日(1995.6.30)
(65)公開番号　特開平9-14994
(43)公開日　平成9年1月17日(1997.1.17)
審査請求日　平成14年6月27日(2002.6.27)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100058479
弁理士　鈴江　武彦
(72)発明者　宮島　博志
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内
(72)発明者　山本　英二
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内
(72)発明者　川窪　功
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学式エンコーダ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、

前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、スケールピッチをｐ、前記移動スケール面上でスケールのピッチ方向をベクトルＰ（以下、ベクトルＰを単にＰと表記する。）、レーザ光出射方向に垂直な平面と前記方向Ｐのなす角をθ、スケールのピッチ方向Ｐをレーザ光出射方向に垂直な平面に投影した方向の前記光源の開口長をａとしたとき、$L \geqq a^2 / \lambda$の場合に、

$p \cdot \cos\theta \geqq \lambda \cdot L / a$

（但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$、$-\pi/2 < \psi < \pi/2$）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。

【請求項２】

光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、

前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、スケールピッチをｐ、前記移動スケール面上でスケールのピッチ方向をベクトルＰ（以下、ベクトルＰを単にＰと表記する。）、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記方向Ｐのなす角をθ、スケールのピッチ方向Ｐをレーザ光出射方向に垂直な平面に投影した方向の前記光源の開口長をａとしたとき、$L < a^2 / \lambda$の場合に、

$p \cdot \cos\theta \geqq a$

（但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$、$-\pi/2 < \psi < \pi/2$）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。

【請求項３】

光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、

前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々p_x，p_y、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ_x，θ_y、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々a_x，a_yとしたとき、$L \geqq a_x^2 / \lambda$の場合に、

$p \cdot \cos\theta_x \geqq \lambda \cdot L / a_x$

（但し、$-\pi/2 < \theta_x < \pi/2$、$-\pi/2 < \theta_y < \pi/2$）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。

【請求項４】

光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、

前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々p_x，p_y、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ_x，θ_y、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々a_x，a_yとしたとき、$L \geqq a_y^2 / \lambda$の場合に、

$p \cdot \cos\theta_y \geqq \lambda \cdot L / a_y$

（但し、$-\pi/2 < \theta_x < \pi/2$、$-\pi/2 < \theta_y < \pi/2$）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。

【請求項５】

光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、

前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々p_x，p_y、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ_x，θ_y、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々a_x，a_yとしたとき、$L < a_x^2 / \lambda$の場合に、

$p \cdot \cos\theta_x \geqq a_x$

（但し、$-\pi/2 < \theta_x < \pi/2$、$-\pi/2 < \theta_y < \pi/2$）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。

【請求項６】

光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移

動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、
前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々p_x，p_y、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ_x，θ_y、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々a_x，a_yとしたとき、$L < a_y^2 / \lambda$の場合に、
$p \cdot \cos\theta_y \geqq a_y$
（但し、$-\pi/2 < \theta_x < \pi/2$、$-\pi/2 < \theta_y < \pi/2$）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。
【請求項７】
前記面発光レーザ光源が基板上に部分的に形成された傾斜面上に配置されていることを特徴とする請求項１乃至６いずれか１項記載の光学式エンコーダ。
【請求項８】
前記受光素子が前記面発光レーザ光源から放射された光の前記移動スケールによる反射光の０次回折光を受光する位置に配置されていることを特徴とする請求項１乃至７いずれか１項記載の光学式エンコーダ。
【請求項９】
前記面発光レーザ光源からの出射光のビーム形状が前記移動スケールの移動方向に対して垂直な主軸を持つ楕円形または長方形となっていることを特徴とする請求項１，２，７，８いずれか１項記載の光学式エンコーダ。
【請求項１０】
前記面発光レーザ光源の開口の形状が、楕円形または長方形となっていることを特徴とする請求項１，２，７，８いずれか１項記載の光学式エンコーダ。
【請求項１１】
前記面発光レーザ光源の開口の形状が、前記面発光レーザ光源が基板上に部分的に形成された傾斜面の傾斜方向に対して垂直な方向に主軸を持つ楕円形または長方形となっていることを特徴とする請求項７に記載の光学式エンコーダ。
【請求項１２】
前記面発光レーザ光源の開口の形状が、前記移動スケールの移動方向に対して垂直な方向に主軸を持つ楕円形または長方形となるように面発光レーザを配置したことを特徴とする請求項９または１０記載の光学式エンコーダ。
【請求項１３】
前記面発光レーザ光源を有する基板が傾斜台座の傾斜面上に配置されていることを特徴とする請求項１乃至６いずれか１項記載の光学式エンコーダ。
【請求項１４】
前記受光素子の受光面に無反射膜あるいは低反射膜を備えたことを特徴とする請求項１乃至１３いずれか１項記載の光学式エンコーダ。
【請求項１５】
前記受光素子が少なくとも２つに分割されて配置され、それぞれがπ／２だけ異なる位相の入射信号光を検出することを特徴とする請求項１記載の光学式エンコーダ。
【請求項１６】
前記受光素子が少なくとも４つに分割されて２次元的に配置され、それぞれがπ／２だけ異なる位相の入射信号光を検出することを特徴とする請求項１記載の光学式エンコーダ。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、装置の可動部分の移動量検出に用いられる光学式エンコーダに関する。
【０００２】

【従来の技術】
従来の光学式エンコーダは、半導体レーザ等の光源、光検出器（または受光素子）、回折格子、コリメータレンズ（または集光レンズ）等の部品から構成されており、小型化が困難な構造となっていた。このような例としては、例えば、特開昭６１－４２６７７号や「日経メカニカル、１９８８．７．２５　、ｐ．５４」があり、各々を図１，図２に示す。
【０００３】
（１）　特願昭６１－４２６７７号（図１参照）
レーザ１から出射した光はコリメータレンズ２で平行光になり、ビームスプリッタ３を透過して移動する回折格子４に入射する。回折格子４によって回折された光はミラー５，５’で反射され、ビームスプリッタ３で再び重ねあわされて光検出器６で検出され、その強度変化によって回折格子４の移動量を知ることができる。しかし、この構成においては、図１のようにレーザ１、コリメータレンズ２、ビームスプリッタ３等多くの部材を必要とし、エンコーダ全体はかなり大きなサイズとなり、小型の装置などに組み込むには適さない。
【０００４】
また、図１ではスケールに回折格子が使われているが、回折効果を使わず高反射率部と低反射率部を交互に配置したスケールを用いてスケールの明暗のみを検知するエンコーダも公知技術として知られている。この場合は、スケールのピッチをあまり小さくすることができないため、エンコーダとしての分解能は低下するが干渉用のミラー５，５’が不要となり小型化が可能となる。しかしながら、この場合にも光源に通常のストライプ型半導体レーザを用いる場合はコリメータレンズは必須の部材であり従来省略することはできなかった。
【０００５】
（２）　「日経メカニカル、１９８８．７．２５　、ｐ．５４」（図２参照）
光源２１から出射した光ビームがコリメータレンズ２により平行ビームに整形され、固定スケール２２、これと同じスケールピッチを有する移動スケール２３を透過し、受光部２４に達する。移動スケールが変位すると、固定スケールと移動スケールの透過可能な部分の重なりの程度が変化する。従って、受光部では移動量に応じて出力信号が変化することを利用して、変位量を計測することができる。
【０００６】
以上、図１に示す構成では、ビームスプリッタやレンズ、ミラーなどを、また図２に示す構成ではレンズや二つのスケールを空間的に高精度で配置する必要がある。従って、製作が難しく、またサイズが大きいものとならざるを得ず、更にはコストも高いものであった。
【０００７】
【発明が解決しようとする課題】
以上述べたように従来技術によるエンコーダは、端面出射型の一般的な半導体レーザ光源を用いているために小型化が困難という問題点がある。
この発明はこうした事情を考慮してなされたもので、小型化が可能な光学式エンコーダを提供することを目的とする。
【０００８】
【課題を解決するための手段】
この発明は、光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、
前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、スケールピッチをｐ、前記移動スケール面上でスケールのピッチ方向をベクトルＰ（以下、ベクトルＰを単にＰと表記する。）、レーザ光出射方向に垂直な平面と前記方向Ｐのなす角をθ、スケールのピッチ方向Ｐをレー

ザ光出射方向に垂直な平面に投影した方向の前記光源の開口長をａとしたとき、
Ｌ≧ａ^{2}／λの場合に、
ｐ・ｃｏｓθ≧λ・Ｌ／ａ
Ｌ＜ａ^{2}／λの場合に、
ｐ・ｃｏｓθ≧ａ
（但し、－π／２＜θ＜π／２、－π／２＜ψ＜π／２）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダである（以下は、光検出器と受光素子は同義語として記述する）。

【０００９】
また、前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々ｐ$_{x}$，ｐ$_{y}$、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ$_{x}$，θ$_{y}$、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々ａ$_{x}$，ａ$_{y}$としたとき、
Ｌ≧ａ$_{x}^{2}$／λの場合に、
ｐ・ｃｏｓθ$_{x}$≧λ・Ｌ／ａ$_{x}$
Ｌ≧ａ$_{y}^{2}$／λの場合に、
ｐ・ｃｏｓθ$_{y}$≧λ・Ｌ／ａ$_{y}$
（但し、－π／２＜θ$_{x}$＜π／２、－π／２＜θ$_{y}$＜π／２）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダである。

【００１０】
さらに、前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々ｐ$_{x}$，ｐ$_{y}$、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ$_{x}$，θ$_{y}$、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々ａ$_{x}$，ａ$_{y}$としたとき、
Ｌ＜ａ$_{x}^{2}$／λの場合に、
ｐ・ｃｏｓθ$_{x}$≧ａ$_{x}$
Ｌ＜ａ$_{y}^{2}$／λの場合に、
ｐ・ｃｏｓθ$_{y}$≧ａ$_{y}$
（但し、－π／２＜θ$_{x}$＜π／２、－π／２＜θ$_{y}$＜π／２）の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダである。

【００１１】
【作用】
この発明においては、薄膜表面から光が放射される構造の半導体光源から放射した光をスケールにおいて反射（または透過）させ、その反射光（又は透過光）を受光素子により受光する（光源の開口形状が持つべき条件については実施例の項で詳述する）。ここで、「基板」とは、誘電体基板、半導体基板のいずれかでもよい。

【００１２】
光源として面発光レーザ光源を用いることにより、数μｍないしは数百μｍ程度のビーム出射窓の大きさや形状を適切に設計することができる。従って、ビーム広がり角を制御して、数μｍないしは数百μｍ程度のビーム出射窓から鋭いビームを出射することができるため、図１や図２の例のようなコリメータレンズを省略することができる。また、面発光レーザ光源の細く鋭いビームを利用することにより、ビームを移動スケールに対して空間的に絞ることができるため、図２の例のように固定スケールが必ずしも必要でなく、固定スケールと移動スケールの高精度な配置や保持技術も必要とされない。更に、面発光レーザ光源の細く鋭いビームを利用してスケールからの反射光または透過光の明暗を検出することにより、高分解能なエンコーダを実現できる。

【００１３】
その結果、極めて小形、薄型で、かつシンプルな構成により高分解能なエンコーダを実現できる。また、レンズやそのほか多数の光学部品が必要でないので、光源から受光素子に

至る光学部品の光学的な調整の手間が簡略化され、極めて低コストなエンコーダが実現できる。

【００１４】

【実施例】

以下実施例について説明するが、その前に各実施例に共通する発明の原理について述べる。図３は、この実施例で光源として用いられる面発光レーザの構造の１例を示した図である。図のように活性層（発光層）３１を挟んで両端に多層薄膜ミラー３２が形成され、さらにこれを上部電極３３及び下部電極３４が挟みこむ構成となっている。前記上部電極３３，下部電極３４間に電圧を印加すると活性層３１に電流が注入され、活性層３１が発光する。活性層３１と多層薄膜ミラー３２により膜厚方向に共振器が形成されているため、この方向に発振が起こり、光は図のように膜平面に対して垂直な方向に出射する（光が出射する部分のみ上部電極を除去してある）。これらの構造を実現する材料としては、例えば活性層３１にＧａＡｓ、多層薄膜ミラー３２にｐ型またはｎ型のＧａＡｓ／ＡｌＧａＡｓ積層膜などが挙げられる。

【００１５】

この構造のレーザの利点として、上部電極のパターニングにより開口（光の放射口）の形状を自由に設計できる点がある。放射光のビーム広がりは開口の形状及び大きさによって規定される（開口により回折が発生しビーム広がりが生ずる）ので、開口を適当に設計することによりビーム広がりを比較的小さく抑えることができる。従って、適切に設計された面発光レーザを光源としてエンコーダを構成すれば、従来例に用いられているコリメータレンズ（または集光レンズ）が不要となり極めて小型のエンコーダを実現できる。

【００１６】

こうした構成のエンコーダについて、以下具体的な計算例をもとに説明する。面発光レーザを用い、コリメータレンズを省略してエンコーダを構成した場合の構成図を示す。図４のように、面発光レーザ４１から出射したビームをリニアスケール４２で反射（または透過）させ、反射（または透過）光を光検出器43_1（または43_2）の受光素子で受光する。ここで、「スケール」とは、反射率（または透過率）の大きな部分と、反射率（または透過率）の小さな部分が交互に規則的に配置された部材を指す。このような部材は、例えばガラス基板にＡｌなどの高反射率の薄膜を蒸着し、これをリソグラフィー技術を用いてパターニングすることで容易に実現できる。

【００１７】

なお、上記の構成において、スケールからの反射光を検出する光検出器43_1とスケールからの透過光を検出する光検出器43_2は少なくともどちらか一つあればエンコーダとして動作するので、以下の実施例においては、反射型の場合に対して記載することとするが、本発明はこれに限定されるものではなく、同様な構成で透過型の場合もエンコーダが構成可能である。

【００１８】

また、図４ではスケールとしてリニアスケールを用いた場合を示すが、図５に示す如く光源に対して相対的に回転するロータリースケール５１を用いて対象の回転を測定することも可能である。以下の実施例においては、リニアスケールを用いた場合に対して記載することとするが、本発明はこれに限定されるものではなく、同様な構成でロータリースケールを用いた構成も可能である。

【００１９】

また、図４，図５では、光検出器43_1，43_2の受光面を光ビームの入射方向に垂直な面に対して、各々、θ_1，θ_2だけ傾斜して配置しているが、これは光検出器の受光面からの反射光が面発光レーザに帰還することによるセンサ出力の変動、即ち、戻り光による出力変動を抑制するためである。従って、受光面からの戻り光の影響がセンサ出力に対して小さい場合、例えば、受光面に無反射膜（または低反射膜）を形成した場合などでは、必ずしも$\theta_1 \neq 0$，$\theta_2 \neq 0$とする必要はない。

【００２０】

以上、図４においては、θ≠０かつψ＝０の場合について示しているが、図６にθ＝０かつψ≠０の場合について示す。本図はリニアスケール４２の面発光レーザ４１に対する姿勢（前記θ，ψで表される）が異なること、及び光検出器43_1、43_2の受光面と光ビーム入射方向に垂直な面との傾斜角をψ_1、ψ_2と定義していること以外は、図４と同一であり、構成等の説明は省略する。

【００２１】

一方、リニアスケールに照射される光の強度分布は先述したように面発光レーザの開口の形状と、リニアスケールと開口の距離で規定される。図７に示すように前記移動スケール面上でスケールのピッチ方向をＰ、前記移動スケール面上でピッチ方向Ｐと垂直な方向をＱ、レーザ光出射方向に垂直な平面と前記方向Ｐ，Ｑのなす角をそれぞれθ，ψ（但し、ψ＝０）、リニアスケール４２のピッチ方向Ｐをレーザ光出射方向に垂直な平面に投影した方向のレーザ開口長をａ、レーザとリニアスケール４２の間のレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、レーザ波長をλとすると、Ｌがａに対して十分に大きい場合（望ましくは、$L \geqq a^2/\lambda$の範囲）、スケール上のレーザビームのＰ方向のビーム径Ｗ（半値全幅）はおよそ下記数１に示す（１）式で与えられる。

【００２２】

【数１】

$$W \cdot \cos\theta \cong L\lambda / a \qquad \cdots (1)$$

但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$、$\phi = 0$

一方、$L < a^2/\lambda$の場合は、おおよそ下記数２に示す（２）式で与えられる。

【００２３】

【数２】

$$W \cdot \cos\theta \cong a \qquad \cdots (2)$$

但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$、$\phi = 0$

スケールにおける光ビームの反射（または透過）の明暗を良好な信号振幅（受光量を示す出力信号波形において極大値と極小値の差を信号振幅と定義する。）で検出するためには、スケールのピッチｐはＰ方向のビーム径Ｗより大きい方が望ましい。従って、信号振幅の大きな出力信号を得るためには、

$L \geqq a^2/\lambda$の場合には、下記（３）式

$p \cdot \cos\theta \geqq \lambda \cdot L / a$　…（３）

（但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$，ψ＝０）

$L < a^2/\lambda$の場合には、下記（４）式

$p \cdot \cos\theta \geqq a$　…（４）

（但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$，ψ＝０）

とすることが望ましい。

【００２４】

以上、図７においては、θ≠０かつψ＝０の場合について示しているが、図８にθ＝０かつψ≠０の場合について示す。これ以外の各種定義は図７に対するものと同一であるため、ここでは省略する。本図の場合、スケール上のレーザビームのＰ方向のビーム径Ｗ（半値全幅）は、ψによらず一定であるため（図８（Ａ）の正面図参照）、Ｌがａに対して十分に大きい場合（望ましくは、$L \geqq a^2/\lambda$の範囲）は、Ｗはおおよそ下記数３に示す（５）式で与えられる。

【００２５】
【数３】

$$W \cong L\lambda / a \qquad \cdots (5)$$

但し、$\theta = 0$、$-\pi/2 < \phi < \pi/2$

一方、$L < a^2/\lambda$の場合は、おおよそ下記数４に示す（６）式で与えられる。
【００２６】
【数４】

$$W \cong a \qquad \cdots (6)$$

但し、$\theta = 0$、$-\pi/2 < \phi < \pi/2$

【００２７】
図７の場合と同様に、信号振幅の大きな出力信号を得るためには、スケールのピッチｐはＰ方向のビーム径Ｗより大きい方が望ましい。従って、$L \geqq a^2/\lambda$の場合には、下記（７）式とし、
$p \geqq \lambda \cdot L / a$（但し、$\theta = 0$，$-\pi/2 < \psi$，$\pi/2$）　…（７）
$L < a^2/\lambda$の場合には下記（８）式とすることが望ましい。
【００２８】
$p \geqq a$（但し、$\theta = 0$，$-\pi/2 < \psi$，$\pi/2$）　…（８）
以上のように、$\theta = 0$，$\psi \neq 0$の場合は、ψの値によらず、式（５）～（８）が成り立つことがわかる。
【００２９】
また、図示しないが、$\theta \neq 0$，$\psi \neq 0$の場合については、図８の例で示すようにψの値に依存しないため、式（１）～（４）がθ，ψの値によらず成り立つといってよい。
【００３０】
以上は極めて粗い概算であるが、以下に回折積分を用いたスケール面上の光強度分布の厳密な計算例を図９に示す。開口長ａの光源の出射窓から出射される平面波の距離Ｌにおける光強度分布$|A|^2$は、Ｌが大きい時（$L \geqq a^2/\lambda$）には、出射窓に対応した瞳関数を空間的にフーリエ変換することにより下記数５に示す（９）式で表される。
【００３１】
【数５】

$$|A|^2 = C \left\{ \frac{\sin\{(\pi a / \lambda L) \cdot x\}}{(\pi a / \lambda L) \cdot x} \right\}^2 \qquad \cdots (9)$$

但し、出射ビームの中心をｘの原点とし、この出射面に平行にｘ軸を考える。また、Ｃはｘに依存しない定数である。
【００３２】
図９は波長$\lambda = 1\,\mu m$、開口幅$a = 10\,\mu m$、スケールと開口の距離$L = 100\,\mu m$で計算したものであるが（縦軸はＣ＝１として正規化されている）、スポット系は半値全幅で

約１０μｍとなり、光量プロファイルは図のようになる（リニアスケールと開口のなす角θは小さいと仮定し計算上無視している。また、これ以後の計算でもθ＝０の場合については記載するが、θ≠０の場合のピッチｐをｐ・ｃｏｓθと置きかえて考えればよい。）このスポットがリニアスケールに当った場合の反射光の光量は、リニアスケールの反射率分布とスポット強度分布の積をｘ軸上で積分すれば得られる（光検出器は反射光量すべてを受光できるほど十分大きいとする）。リニアスケールの反射率分布を計算上フーリエ級数で表現し、このスケールが矢印の方向に１０μｍ／ｓで移動した場合の光検出器で得られる信号光量を求めたものを図１０、図１１に示す。ここで、図１０はスケール反射率分布、図１１は検出器の受光量を示す。

【００３３】

これはスケールピッチｐ＝２０，１５，１０μｍについて計算した結果であるが、ピッチに対応した周期的な信号が得られ、この信号波形と変位量の関係を用いて、（例えば、この信号の周期をカウントしたり、あるいは、信号を変位の信号に電子的に変換すること等により）スケールの変位量を計測できる。

【００３４】

ピッチが細かくなるにつれ信号振幅（スケールから１００％反射する場合と無反射の場合の出力信号の差を１として正規化している）は小さくなる。図１０、図１１条件では、（１）式、（２）式よりビーム径Ｗはスケール上で、およそＷ＝１０μｍであるが、図１０、図１１の結果よりおよそこれと同じピッチ、即ちｐ≧Ｗの範囲であれば信号振幅が０．１程度以上が得られることがわかり、これがエンコーダの出力信号の信号振幅を一定以上に設計するための指針になると考えられる。

【００３５】

図１２にスケールピッチｐに対する信号振幅の変化を示す。図中の○印は図１０のそれぞれのｐに対応する。ｐ＝１０の場合は条件式（３）の条件の下限となる（ｐ＝Ｌλ／ａが成立する）。この場合には図よりわかるように信号振幅は全体光量の１／１０程度となり、以下の説明ではこの（信号振幅が０．１になる）状態を実用的な信号振幅の下限とみなすことにする。なお、光検出器のＳ／Ｎが高い場合には、さらに、信号振幅が０．０１でも使用可能である。この結果より先の概算による（３）式の条件が極めて妥当なものであることがわかる。

【００３６】

さらに、Ｌ＜ａ^2／λの場合にはビーム径Ｗがおよそａであることもあわせて考慮することにより、エンコーダの仕様が与えられたときに、出力信号が良好なＳ／Ｎを持つための設計条件が上記（３），（４）式により与えられる。図１３では、仮にλ＝１μｍ，Ｌ＝１００μｍの条件下でスケールピッチｐ≦３０μｍとして、信号振幅が０．１以上になるための開口長ａの範囲を示す。図１４では一例として、λ＝１μｍ，ａ＝５μｍ，１０μｍ，１５μｍが与えられた時に、スケールのピッチｐを３０μｍ以下で使用することを前提とした、（信号振幅が０．１以上となる）望ましいｐとＬの範囲を各々のａに対して斜線で示す。このように、面発光半導体レーザを光源に用いることにより、レーザ光の出射窓の径ａを広範に設計できるので、上記のようにして適切なＬ，λ，ｐ，ａの構造パラメータを決定することにより、所定の分解能をもったエンコーダが実現できる。特に、スケールピッチの細かいエンコーダをレンズを省略して実現することができるため、高分解能な光学式エンコーダの小型化や製作の簡略化が可能となる。

【００３７】

（実施例１）

図１５（Ａ），（Ｂ）を参照する。ここで、図１５（Ａ）は光学式エンコーダの側面図、図１５（Ｂ）は斜視図を示す。図１５のように部分的に凹部１３１　を形成した誘電体基板１３２　上に面発光レーザ（発光素子）１３３　及び受光素子１３４　がそれぞれ別個に接着されており、特に面発光レーザ１３３　は凹部１３１　の斜面上に置かれている。なお、図中の符番１３５　はリニアスケールである。

【００３８】

次に、この実施例１に係る光学式エンコーダの作用を説明する。面発光レーザ１３３　を出射した光はリニアスケール１３５　で反射され、０次回折光（すなわち反射光）が受光素子１３４　で受光される。面発光レーザは、先に述べたように開口の大きさその他を適切に選ぶことによりスポット広がりをある程度抑えることができ、このため従来のようなビーム整形のためのコリメータレンズなしで高分解能なエンコーダを構成することができる。なお、図１５ではスケールの移動方向とピッチの方向は紙面に平行な方向で示されているが、これらを紙面に垂直な方向としてもよい。このスケールの移動方向，ピッチ方向に関する自由度は本特許の他の実施例においても同様である。

【００３９】

従って、次のような効果がある。

部品点数が減り低コストかつ小型、薄型のエンコーダが実現できる。また、基板とスケールを平行に配置することができエンコーダ全体を小型にすることができる。更に、０次回折光を受光することにより、高次回折光を受光する場合に較べて、スケールのピッチ精度、反射率精度などに依存しにくい許容度の大きい信号検出ができる。なお、この実施例１においては、誘電体基板上に受光素子、発光素子を配置しているが、基板は誘電体に限られるわけではなく、半導体を用いてもよい。

【００４０】

半導体基板を用いる場合には受光素子または発光素子を基板上に一体形成することができるため、素子を新たに基板に接合する手間が省け製作プロセスが簡略化できるという効果がある。また、半導体基板中に信号処理回路を形成すれば、回路系も含めたより一層の小型化が可能になる。

【００４１】

以上、実施例１については、基板の一部に凹部を設けその斜面に斜めに発光素子を配置する構成をとっているが、平坦な基板を用いてもよい。

（実施例２）

図１６（Ａ），（Ｂ）を用いて説明する。

【００４２】

この実施例２は実施例１と同様の構成において、凹部を形成しない平坦な誘電体基板１３２　を用い、発光素子１３３　及び受光素子１３４　を該基板表面に形成したものである。この基板は図１６のように傾斜台座１４１　上に取付けられ、リニアスケール１３５　に対して斜めに配置される。発光素子１３３　から出射した光はリニアスケール１３５　で反射され、受光素子１３４　で受光される。この実施例２の場合は平坦な基板を使用するため、実施例１に比べて基板に凹部を形成する工程を省略できるという効果がある。

【００４３】

この場合にも、むろん実施例１と同様に、半導体基板を用いてもよい。また、この構成の場合には基板として化合物半導体を用い、表面上に気相成長法により結晶成長を行い受光素子および発光素子を一体形成してもよい。

【００４４】

なお、上記実施例１，２の各構成は、当然、各種の変形、変更が可能である。実施例１，２に共通して可能な変形例を図１７に実施例３として示す。

（実施例３）

図１７は面発光レーザ光源１３３　の開口１３３　ａを楕円形状にした例である。円形開口では十分なＳ／Ｎ比の信号が期待できない場合は、このような方法でスケールの分解能を落すことなく信号光量を増やし、Ｓ／Ｎ比を向上させることができる。なお、この実施例３では楕円形状の開口となっているが長方形の開口でも同様の効果を期待できる。図１７は実施例１に対応した図であるが、実施例２についても無論同様の変形が可能である。

【００４５】

また、これまでの実施例ではスケール移動量のみが検知され移動している向きは判別できなかったが、構成の若干の変形で簡単に移動の向き判別の機能を付け加えることができる。そのような例を以下実施例４として図１８に示す。

【００４６】
（実施例４）
実施例４の構成を図１８に示す。この実施例４は実施例１と同様の構成において、受光素子１３４　を１３４　ａ，１３４　ｂに２分割したものである。一定の間隙を有してこのように受光素子を２分割することにより、受光素子に入射する信号光の位相を図１９に示すようにπ／２だけずらすことができる。受光素子１３４　ａに入射する信号に対して受光素子１３４　ｂに入射する信号の位相は、スケールが図中右方向に移動する場合はπ／２進み、左方向に移動する場合はπ／２遅れるので、信号処理により両者の位相関係を判別することにより移動の向きの判別ができる。なお、この２つの信号の位相差は必ずしもπ／２に設定する必要はなく、位相差がｎπ（ここで、ｎ＝０，±１，±２…）とならないような一定の値であれば移動の向きの判別が可能である。
【００４７】
また、このような向き判別機能は１次元に限られるわけではなく、受光素子を４分割することにより容易に２次元に拡張できる。なお、実施例４についても、当然ながら基板材料、スポット形状等については実施例１～３と同様の変形が可能である。
【００４８】
これまでの実施例ではスケールの１次元的な変位量しか検出できなかったが、若干の構成変更により２次元的な変位検出を可能にすることができる。これを以下の実施例５として図２０に示す。
【００４９】
（実施例５）
反射率または透過率の異なる２次元的なパターンを形成したスケール１８１　に対して、面発光半導体レーザ光源からのビームを照射し、この時の反射光または透過光を受光素子４３$_1$　，または受光素子４３$_2$　で受光する。前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面との距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々ｐ$_x$　，ｐ$_y$　、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ$_x$　，θ$_y$　、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々ａ$_x$　，ａ$_y$　としたとき、
Ｌ≧ａ$_x$^{2}　／λの場合に、ｐ$_x$　・ｃｏｓθ$_x$　≧λ・Ｌ／ａ$_x$　、
Ｌ≧ａ$_y$^{2}　／λの場合に、ｐ$_y$　・ｃｏｓθ$_y$　≧λ・Ｌ／ａ$_y$　、
Ｌ＜ａ$_x$^{2}　／λの場合に、ｐ$_x$　・ｃｏｓθ$_x$　≧ａ$_x$　、
Ｌ＜ａ$_y$^{2}　／λの場合に、ｐ$_y$　・ｃｏｓθ$_y$　≧ａ$_y$
（但し、－π／２＜θ$_x$　＜π／２、－π／２＜θ$_y$　＜π／２）
の関係を満たすように設計することによりエンコーダからの出力の信号振幅を適正なレベルに設計できる。面発光半導体レーザ光源を用いることにより、レーザ光の出射窓の径や形状を広範に設計できるので、レンズを必ずしも必要とせずに互いに異なる特定方向の所定の分解能をもったエンコーダが実現できる。また、特定方向のスケールピッチの細かいエンコーダをレンズを省略して実現することができるため、高分解能な光学式エンコーダの小型化や製作の簡略化、低コスト化が可能となる。
【００５０】
以下、この発明に係る光学式エンコーダについてまとめると、次に示す構成，作用，効果を有する。
１．
（構成）光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備することを特徴とする光学式エンコーダ。
【００５１】
（作用）この発明においては、面発光半導体レーザ光源から放射された光をスケールに照射し、スケールで反射または透過された光を受光素子により受光し、スケールで反射また

は透過された光を受光素子により受光し、スケールの変位量を計測する。
【００５２】
（効果）面発光半導体レーザ光源に用いることにより、レーザ光の出射窓の径を広範に設計できるので、レンズや固定スリットを必ずしも必要とせずに所定の分解能をもったエンコーダを実現できる。特に、スケールピッチの細かいエンコーダをレンズを省略して実現することができるため、高分解能な光学式エンコーダの小型化や製作の簡略化、低コスト化が可能となる。
【００５３】
２．
（構成）前記面発光半導体レーザ光源と前記移動スケールは、前記面発光半導体レーザ光源から出射するレーザビームが、レンズや固定スリット等のビーム成形のための光学部品を介さないで、直接、移動スケールを照射するように配置されている前記１．記載の光学式エンコーダ。
【００５４】
（作用）この発明においては、面発光半導体レーザ光源から放射された光をスケールに照射し、スケールで反射または透過された光を受光素子により受光し、スケールで反射又は透過された光を受光素子により受光し、スケールの変位量を計測する。
【００５５】
（効果）レンズや固定スリットを必要とせずに所定の分解能をもったエンコーダを実現できるため、高分解能な光学式エンコーダの小型化や製作の簡略化、低コスト化が可能となる。
【００５６】
３．
（構成）光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、
前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、スケールピッチをｐ、前記移動スケール面上でスケールのピッチ方向をＰ、前記移動スケール面上でピッチ方向Ｐと垂直な方向をＱ、レーザ光出射方向に垂直な平面と前記方向Ｐ，Ｑのなす角をそれぞれθ，ψ、スケールのピッチ方向Ｐをレーザ光出射方向に垂直な平面に投影した方向の前記光源の開口長をａとしたとき、$L \geqq a^2 / \lambda$の場合に、
$p \cdot \cos\theta \geqq \lambda \cdot L / a$
（但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$、$-\pi/2 < \psi < \pi/2$）
の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。
【００５７】
（作用）この発明においては、面発光半導体レーザ光源から放射された光をスケールに照射し、スケールで反射または透過された光を受光素子により受光し、スケールの変位量を計測する。
【００５８】
（効果）$L \geqq a^2 / \lambda$の場合に、面発光半導体レーザ光源を用いることにより、レーザ光の出射窓の径を広範に設計できるので、レンズや固定スリットを必ずしも必要とせずに所定の分解能をもったエンコーダを実現できる。特に、スケールピッチの細かいエンコーダをレンズを省略して実現することができるため、高分解能な光学式エンコーダの小型化や製作の簡略化、低コスト化が可能となる。
【００５９】
４．
（構成）光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光

源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、
前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、スケールピッチをｐ、前記移動スケール面上でスケールのピッチ方向をＰ、前記移動スケール面上でピッチ方向Ｐと垂直な方向をＱ、レーザ光出射方向に垂直な平面と前記方向Ｐ，Ｑのなす角をそれぞれθ，ψ、スケールのピッチ方向Ｐをレーザ光出射方向に垂直な平面に投影した方向の前記光源の開口長をａとしたとき、$L < a^2 / \lambda$の場合に、
$p \cdot \cos\theta \geqq a$
（但し、$-\pi/2 < \theta < \pi/2$、$-\pi/2 < \psi < \pi/2$）
の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。
【００６０】
（作用）この発明においては、面発光半導体レーザから放射された光をスケールに照射し、スケールで反射または透過された光を受光素子により受光し、スケールの変位量を計測する。
【００６１】
（効果）$L < a^2 / \lambda$の場合に、面発光半導体レーザ光源を用いることにより、レーザ光の出射窓の径を広範に設計できるので、レンズや固定スリットを必ずしも必要とせずに所定の分解能をもったエンコーダを実現できる。特に、スケールピッチの細かいエンコーダをレンズを省略して実現することができるため、高分解能な光学式エンコーダの小型化や製作の簡略化、低コスト化が可能となる。
【００６２】
５．
（構成）光源に対して相対的に移動し、反射率または透過率の異なる領域が規則的に形成された移動スケールと、この移動スケールの一部を照射するための面発光半導体レーザ光源と、前記移動スケールからの反射光または透過光を受光するための受光素子を具備する光学式エンコーダにおいて、
前記移動スケールと面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面とのレーザ光の出射の中心軸上における距離をＬ、光ビームの波長をλ、互いに異なる特定方向のスケールピッチを各々p_x，p_y、レーザ光の出射方向に垂直な平面と前記２つの特定方向のなす角をθ_x，θ_y、前記移動スケールの各々のピッチ方向に対する前記光源の開口長を各々a_x，a_yとしたとき、
$L \geqq a_x^2 / \lambda$の場合に、$p_x \cdot \cos\theta_x \geqq \lambda \cdot L / a_x$、
$L \geqq a_y^2 / \lambda$の場合に、$p_y \cdot \cos\theta_y \geqq \lambda \cdot L / a_y$、
$L < a_x^2 / \lambda$の場合に、$p_x \cdot \cos\theta_x \geqq a_x$、
$L < a_y^2 / \lambda$の場合に、$p_y \cdot \cos\theta_y \geqq a_y$
（但し、$-\pi/2 < \theta_x < \pi/2$、$-\pi/2 < \theta_y < \pi/2$）
の関係を満たすことを特徴とする光学式エンコーダ。
【００６３】
（作用）この発明においては、面発光半導体レーザ光源から放射された光を、反射率または透過率の異なる２次元的なパターンを形成したスケールに照射し、スケールで反射または透過された光を受光素子により受光し、スケールの変位量を２次元的に計測する。
【００６４】
（効果）面発光半導体レーザ光源を用いることにより、レーザ光の出射窓の径を広範に設計できるので、レンズや固定スリットを必ずしも必要とせずに所定の分解能をもったエンコーダを実現できる。特に、スケールピッチの細かいエンコーダをレンズを省略して実現することができるため、高分解能な光学式エンコーダの小型化や製作の簡略化、低コスト化が可能となる。
【００６５】
６．

（構成）前記面発光レーザ光源が基板上に部分的に形成された傾斜面上に配置されていることを特徴とする前記１．～前記５．いずれか記載の光学式エンコーダ。但し、基板の傾斜面は、化学エッチング、機械的な切削加工など、どのような方法によって形成してもよい。

【００６６】

（作用）こうした構成の光学式エンコーダにおいては、薄膜表面から光が放射される構造の半導体光源が基板上に部分的に形成された傾斜面に設置されており、この光源から放射した光をスケールに反射させ、その反射光を、受光素子により受光する。

【００６７】

（効果）従って、基板をスケールに対して平行に配置することができ、エンコーダ全体の厚さを薄くすることができる。

７．

（構成）前記受光素子が光源から放射された光のスケールによる反射光の０次回折光を受光する位置に配置されていることを特徴とする前記１．～前記６．いずれか記載の光学式エンコーダ。

【００６８】

（作用）こうした構成の光学式エンコーダにおいては、薄膜表面から光が放射される構造の半導体光源が基板上に部分的に形成された傾斜面に設置されており、この光源から放射した光をスケールに反射させ、その０次回折光を受光素子により受光する。

【００６９】

（効果）従って、０次回折光を受光することにより、スケールのピッチ精度、反射率精度などに依存しない許容度の大きい信号検出ができる。

８．

（構成）光源からの出射光のビーム形状がスケールの移動方向に対して垂直な方向に主軸を持つ楕円形または長方形となっていることを特徴とする前記１．～前記７．いずれか記載の光学式エンコーダ。

【００７０】

（作用）こうした構成の光学式エンコーダにおいては、光源から放射した楕円形の放射光をスケールに反射させ、その反射光を、受光素子により受光する。

（効果）従って、スケールの分解能を落とすことなく信号光量を増やすことができ、Ｓ／Ｎ比の良い信号検出ができる。

【００７１】

【発明の効果】

以上詳述した如くこの発明によれば、従来必要としたレンズや固定スリットを省略して極めて小形，薄型で部品点数を少なくできるとともに、光源とレンズの光学的な調整の手間がなく極めて低コストで生産でき、更には構成の若干の変形で簡単に移動方向の判別機能を付け加えることができる信頼性の高い光学式エンコーダを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】従来の光学式エンコーダの説明図。

【図２】従来の他の光学式エンコーダの説明図。

【図３】面発光レーザの構造を示す模式図。

【図４】リニアスケールを用いた場合の光学式エンコーダの説明図。

【図５】ロータリースケールを用いた場合の光学式エンコーダの説明図。

【図６】リニアスケールを用いた、図４のエンコーダとは異なる他の光学式エンコーダの説明図。

【図７】この発明の光学式エンコーダの構造を示す模式図。

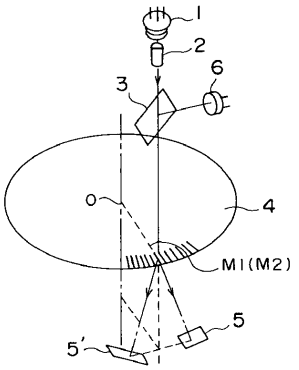
【図８】本発明に係る、図７の光学式エンコーダとは異なる他の光学式エンコーダの構造を示す模式図を示し、図８（Ａ）は正面図、図８（Ｂ）は側面図。

【図９】リニアスケール上の光強度分布図。

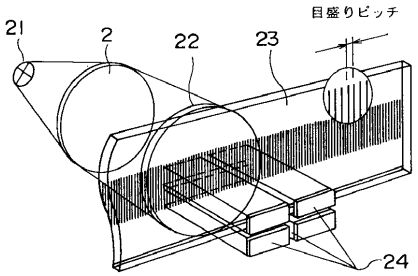
【図１０】スケールピッチに対するスケール反射率の特性図で、図１０（Ａ）はスケール

ピッチ（ｐ）が２０μｍの場合、図１０（Ｂ）はｐ＝１５μｍの場合、図１０（Ｃ）はｐ＝１０μｍの場合。
【図１１】スケールピッチに対する受光量の特性図で、図１１（Ａ）はｐ＝が２０μｍの場合、図１１（Ｂ）はｐ＝１５μｍの場合、図１１（Ｃ）はｐ＝１０μｍの場合。
【図１２】スケールピッチｐと信号振幅の関係を示す図。
【図１３】エンコーダの成立する範囲を示す図。
【図１４】移動スケールと面発光半導体レーザの光ビーム出射面との距離Ｌとスケールピッチとの関係を示す特性図であり、図１４（Ａ）は光ビームの波長λ：１μｍ，光源の開口長ａ：５μｍの場合、図１４（Ｂ）はλ：１μｍ，ａ：１０μｍの場合、図１４（Ｃ）はλ：１μｍ，ａ：１５μｍの場合。
【図１５】この発明の実施例１に係る光学式エンコーダの説明図であり、図１５（Ａ）は側面図、図１５（Ｂ）は斜視図。
【図１６】この発明の実施例２に係る光学式エンコーダの説明図であり、図１６（Ａ）は側面図、図１６（Ｂ）は斜視図。
【図１７】この発明の実施例３に係る光学式エンコーダの斜視図。
【図１８】この発明の実施例４に係る光学式エンコーダの斜視図。
【図１９】受光される信号を計算したグラフ。
【図２０】この発明の実施例５に係る光学式エンコーダの説明図。
【符号の説明】
３１…活性層（発光層）、
３２…多層薄膜ミラー、
３３…上部電極、
３４…下部電極、
４１…面発光レーザ、
４２，５１，１３５　，１８１　…スケール、
４３，43_1　，43_2　…光検出器、
１３１　…凹部、
１３２　…誘電体基板、
１３３　…面発光レーザ、
１３４　，１３４ａ，１３４ｂ…受光素子、
１３５　…リニアスケール、
１４１　…傾斜台座。

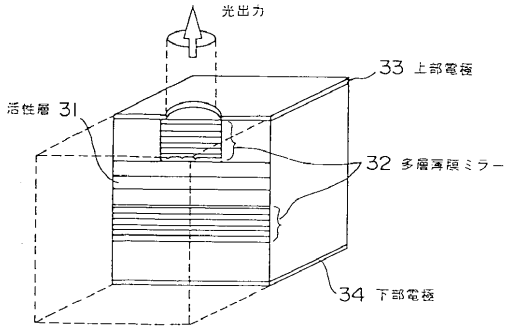
【図１】



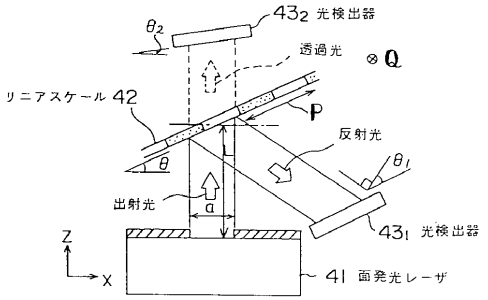
【図２】



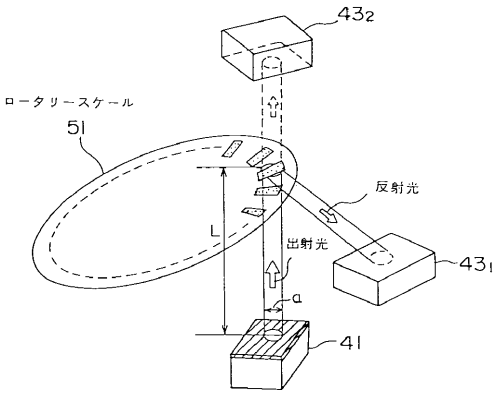
【図３】



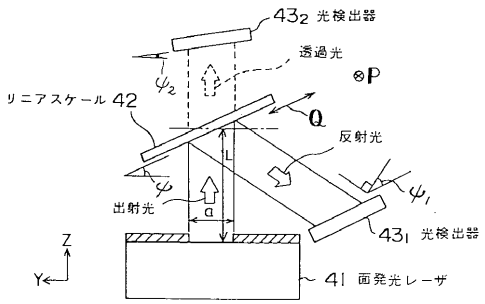
【図４】



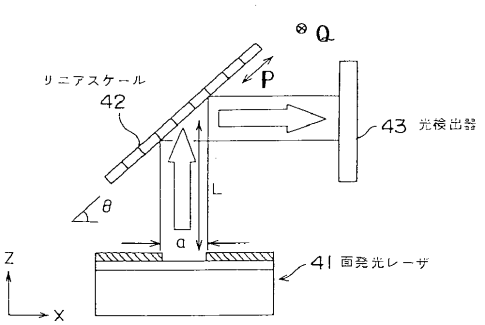
【図５】



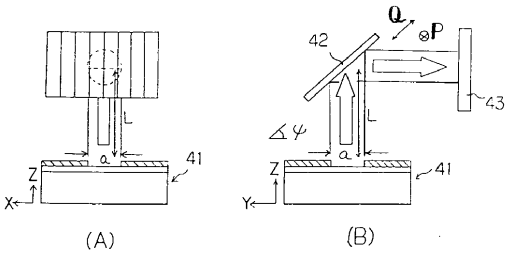
【図６】



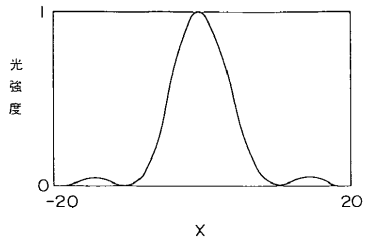
【図７】



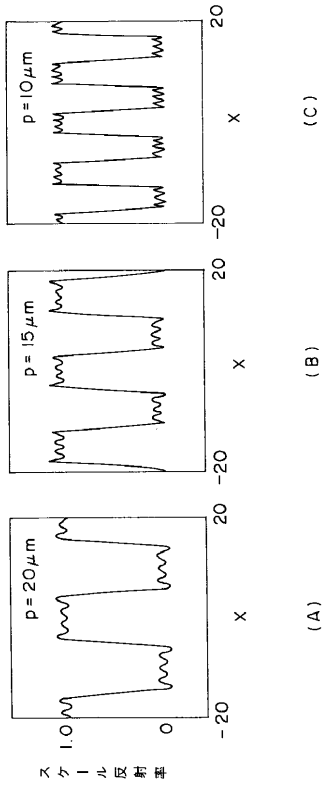
【図８】



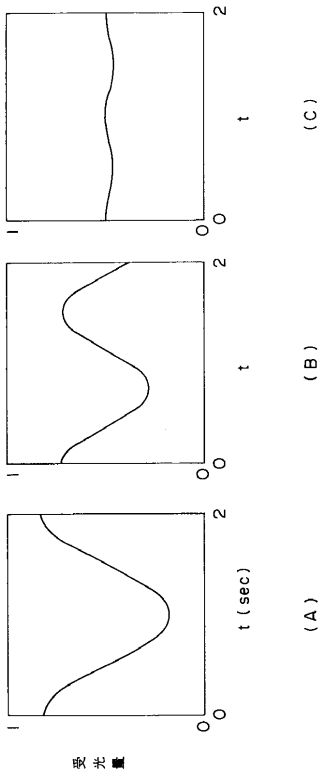
【図９】



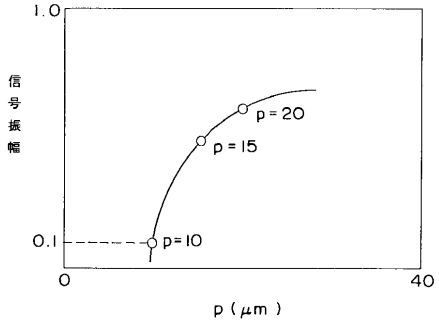
【図１０】



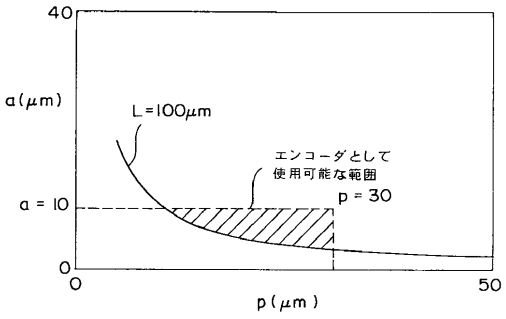
【図１１】



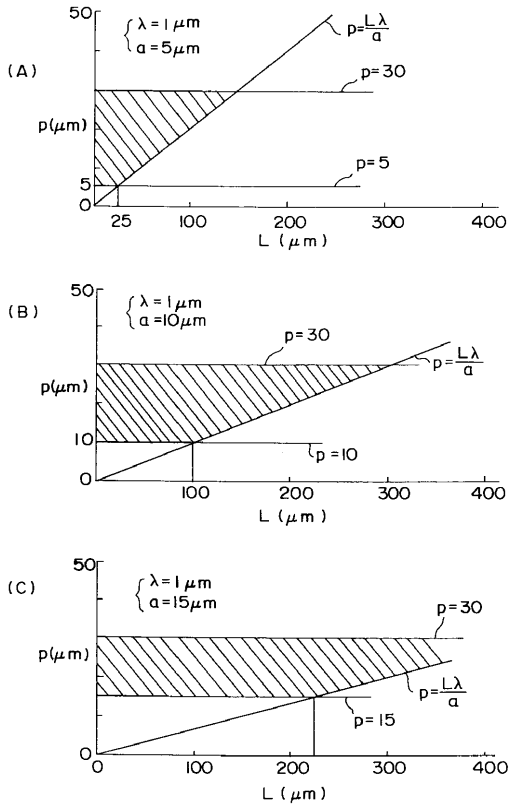
【図１２】



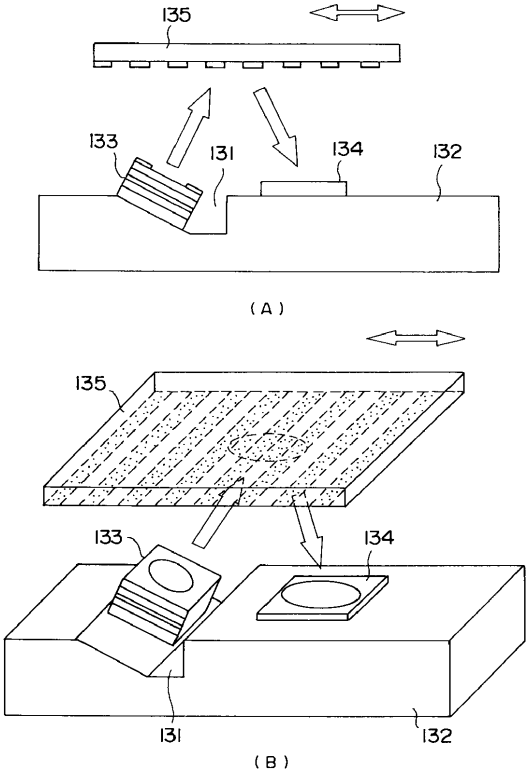
【図１３】



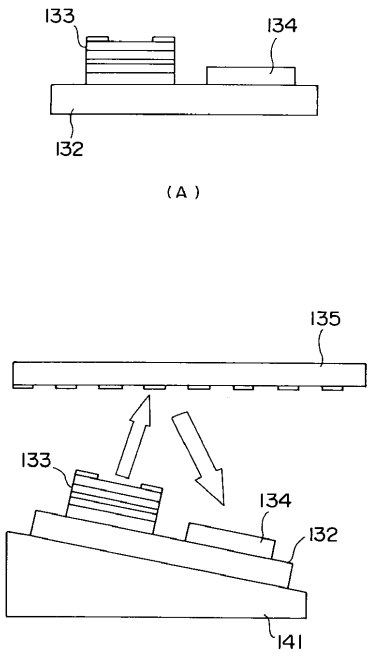
【図１４】



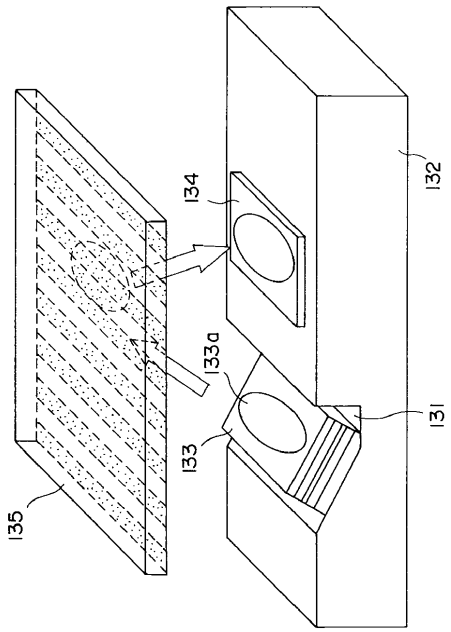
【図１５】



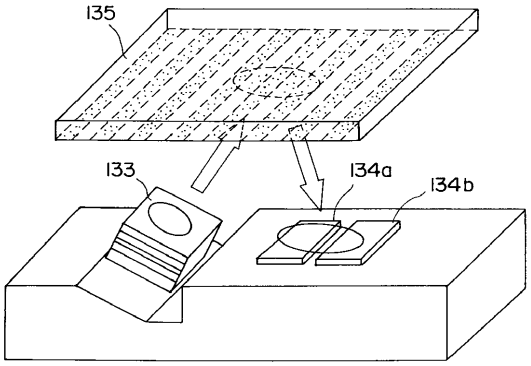
【図１６】



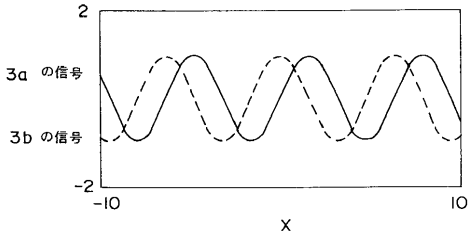
【図１７】



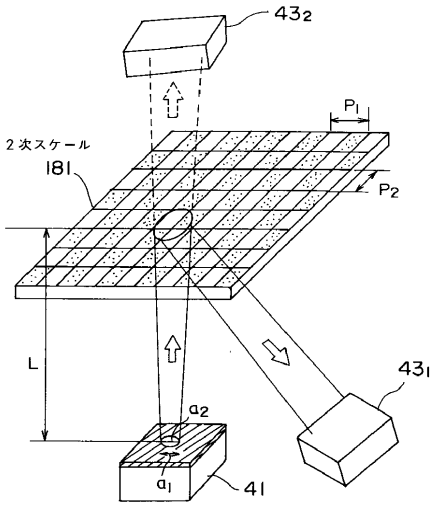
【図１８】


135
133
134a
134b

【図１９】


2
3a の信号
3b の信号
-2
-10
10
X

【図２０】


43₂
P₁
2次スケール
181
P₂
L
43₁
a₂
a₁
41

フロントページの続き

審査官　井上　昌宏

(56)参考文献　特開昭６０－０６７８２２（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－２２１６２１（ＪＰ，Ａ）
特開平３－９２７１６（ＪＰ，Ａ）
特開平４－３６３０８３（ＪＰ，Ａ）
特開平３－１３８５６６（ＪＰ，Ａ）
特開平５－６６１３６（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－１９５１１８（ＪＰ，Ａ）
特開平６－２０４５０８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01D5/26～5/38
G01B11/00～11/30