

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3650241号
(P3650241)

(45) 発行日 平成17年5月18日(2005.5.18)

(24) 登録日 平成17年2月25日(2005.2.25)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO 1 D 5/30

GO 1 D 5/30

S

GO 1 D 5/36

GO 1 D 5/30

F

GO 1 D 5/36

B

GO 1 D 5/36

T

請求項の数 6 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平9-8377
(22) 出願日 平成9年1月21日(1997.1.21)
(65) 公開番号 特開平10-206190
(43) 公開日 平成10年8月7日(1998.8.7)
審査請求日 平成16年1月16日(2004.1.16)

(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4番2号
(72) 発明者 官島 博志
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
オリンパス光学工業株式会社内

審査官 井上 昌宏

(56) 参考文献 特開平09-014994 (JP, A)
特開昭58-105004 (JP, A)
特表平08-511639 (JP, A)
特開平7-306058 (JP, A)

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する移動スケールと、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、

光ビームの中心軸上における前記移動スケールと前記面発光半導体レーザ光源の光ビーム出射面との間の距離を L 、光ビームの波長を λ 、前記移動スケールのスケールピッチを p 、前記移動スケールのピッチ方向と光ビームの中心軸に垂直な平面のなす角を θ 、前記移動スケールのピッチ方向を光ビームの中心軸に垂直な平面に投影した方向に沿う前記面発光半導体レーザ光源の開口長を a としたとき、

$L > 0.6 a^2 / \lambda$ の場合に

$p \cdot \cos \theta < a$

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】

$0.095 a^2 / \lambda < L < 0.11 a^2 / \lambda$ の場合に、

$1.6 L / a < p \cdot \cos \theta < 2.4 L / a$

の関係を満たすことを特徴とする請求項1に記載の光学式エンコーダ。

【請求項3】

$0.095 a^2 / \lambda < L < 0.13 a^2 / \lambda$ の場合に、

$4.6 L / a < p \cdot \cos \theta < 7.4 L / a$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の光学式エンコーダ。

【請求項 4】

$0.13a^2 / L < 0.21a^2 / a$ の場合に、
 $2L / a < p \cdot \cos \theta < 4L / a$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の光学式エンコーダ。

【請求項 5】

$0.21a^2 / L < 0.3a^2 / a$ の場合に、
 $1.1L / a < p \cdot \cos \theta < 1.6L / a$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の光学式エンコーダ。

【請求項 6】

$0.3a^2 / L < 0.6a^2 / a$ の場合に、
 $1.2L / a < p \cdot \cos \theta < a$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の光学式エンコーダ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

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、各種光学部品を組み立て、調整する必要があるため、小型化、低価格化が困難であった。それに対して、本願出願人は、例えば特開平 7 - 306058 号公報に開示してあるように、面発光半導体レーザ（以下、面発光レーザと表記する）を光源とした、小型、低価格化が可能な光学式エンコーダを開発した。

【0003】

図 30 に、本願出願人が開発した面発光レーザを光源とする光学式エンコーダの構成を示す。この光学式エンコーダは、面発光レーザ 10 から出射されたビームがスケール 20 を照射し、スケール 20 によってそのビームの一部が反射あるいは透過されて光検出器 30 あるいは 30' によって検出されるよう構成されている。

【0004】

一般に、面発光レーザにおいては、その出射窓幅（開口長） a によって決定される出射ビームの広がり角が、従来の端面出射型半導体レーザと比較して小さい。このため、本願出願人が開発した光学式エンコーダにおいては、それ以前の光学式エンコーダに必要であったコリメータレンズ、インデックススケール等の部品が不要となり、小型、低コスト化が可能である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、従来の面発光レーザを用いた光学式エンコーダにおいては、光源とスケールの間隔 L がある一定距離（ a^2 / \dots ）より小さい場合は、面発光レーザによってスケール上に形成される光スポットの大きさがほぼ面発光レーザの出射窓のスケールピッチ方向の開口幅 a に等しいと仮定していたため、スケールピッチ p が取りうる値の条件を $p > a$ に限定するしかなく、これ以上スケールピッチを小さくしてエンコーダの高分解能化を実現する可能性については考慮していなかった。

【0006】

一方、エンコーダの高分解能化は工作機械、測定器等の高性能化を実現する手段として継続的に要求されており、小型、低価格の光学式エンコーダにおいても高分解能化は不可欠となっている。

【0007】

そこで、本発明は、面発光レーザを用いた光学式エンコーダにおいて、光源とスケールが比較的近接して配置された場合に、従来の光学式エンコーダと比較して、さらにスケールピッチを小さくして高分解能化を可能とする光学式エンコーダを提供することを目的とす

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 0 8 】

【 課題を解決するための手段 】

上記目的を達成するために、本発明の光学式エンコーダにおいては、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の光ビームの中心軸上における距離をL、光ビームの波長をλ、移動スケールのスケールピッチをp、移動スケールのピッチ方向と光ビームの中心軸に垂直な平面のなす角をθ、ピッチ方向を光ビームの中心軸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、 $L \leq 0.6 a^2 / \lambda$ の場合に $p \cdot \cos \theta < a$ の関係を満たすよう構成したことを特徴としている。

【 0 0 0 9 】

10

【 発明の実施の形態 】

図1は、本発明の実施の形態において、光源として用いられる面発光レーザ10の構造の一例を示した図である。図に示すように、面発光レーザ10は、活性層(発光層)11を両側から挟む多層薄膜ミラー12, 13と、さらにこの多層薄膜ミラー12, 13を挟み込む上部電極14及び下部電極15を有している。両電極14, 15間に電圧を印加すると活性層11に電流が注入され、活性層11が発光する。活性層11と多層薄膜ミラー12, 13と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、光が出射する開口16の部分のみ、上部電極14を除去してあるので、光は図に示すように膜平面に対して垂直な方向に出射する。これらの構造を実現する材料としては、例えば活性層11にGaAs、多層薄膜ミラー12, 13にp型またはn型のGaAs/AlGaAs積層膜などが挙げられる。

20

【 0 0 1 0 】

上記構成をとる面発光レーザ10の利点としては、上部電極14のパターニングにより開口16(光の放射口)の形状を自由に設計できる点がある。なお、裏面側出射光を使用する場合は、下部電極15をパターニングする。

【 0 0 1 1 】

放射光のビーム広がり、開口16の形状及び大きさによって規定される(開口16により回折が発生しビーム広がりが生ずるため)ので、開口16の設計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。したがって、適切に設計された面発光レーザ10を光源としてエンコーダを構成すれば、従来の光学式エンコーダの多くに使用されているコリメータレンズ(または集光レンズ)やインデックススケールが不要となり、きわめて小型で低価格な光学式エンコーダを実現できる。

30

【 0 0 1 2 】

ここで、開口16の大きさによって規定される放射光のビーム広がりについて、以下に説明する。

屈折率導波構造を有する面発光レーザ10からの出射光については、図2に示すように、出射窓形状に相当する開口16に、平行な平面波を入射させた場合にほぼ近似できる。開口16を通過した後のビームの広がりについては、開口長(出射窓幅)a及び観測面と開口16との距離rが波長に対して約5倍以下の場合を除けば、フレネル-キルヒホッフ(Fresnel-Kirchhoff)の回折積分によって計算することができる。

40

【 0 0 1 3 】

即ち、開口関数を $u_0(x_0, y_0)$ 、観測面上での回折光を $u(x, y)$ とすると、

【 0 0 1 4 】

【 数 1 】

$$u(x, y) = \frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} u_0(x_0, y_0) \frac{\exp(-ikr)}{r} dx_0 dy_0 \dots\dots\dots (1)$$

【 0 0 1 5 】

と表される。

また、開口と観測点の距離がある程度以上離れている場合には、フレネル(Fresnel)回

50

折、さらにある程度以上離れている場合にはフランホーファー（Fraunhofer）回折により、ビーム広がりを計算することができ、それぞれ

【 0 0 1 6 】

【 数 2 】

$$u(x, y) = \frac{i \exp(-ikr)}{\lambda r} \int_{-\infty}^{\infty} u_0(x_0, y_0) \exp\left[-\frac{ik}{2r} \{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2\}\right] dx_0 dy_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

【 0 0 1 7 】

【 数 3 】

$$u(x, y) = \frac{i \exp(-ikr) \exp\left\{-\frac{ik}{2r}(x^2 + y^2)\right\}}{\lambda r} \int_{-\infty}^{\infty} u_0(x_0, y_0) \exp\left\{\frac{ik}{r}(x_0 x + y_0 y)\right\} dx_0 dy_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

10

【 0 0 1 8 】

と表される。

このように、面発光レーザ出射光の回折パターンは、(1)式～(3)式を用いて近似的に計算することが可能であり、開口長（出射窓幅） a 及び観測面と開口との距離 r などを考慮して用いる式を選択する。

20

【 0 0 1 9 】

本発明の実施の形態は、開口から距離が比較的小さい場合について説明するが、一般に、実際のエンコーダにおいては面発光レーザとスケールの間隔を無限に小さくすることはできず、距離 r には下限が存在し、実用上はフレネル回折の式(2)が成り立つ範囲であると考えられるので、本実施の形態では上記(2)式を用いて計算を行った。

【 0 0 2 0 】

ここで、 x 軸方向の開口幅を a とし、 y 軸方向には無限大の幅を持つ開口を用いて、その x 軸方向の回折パターンを計算する。この場合、 y 軸方向の積分領域を $-\infty \sim \infty$ とおくと、(2)式より

【 0 0 2 1 】

【 数 4 】

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{ik}{2r} y_0^2\right) dy_0 = (-ir\lambda)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

【 0 0 2 2 】

となり、

【 0 0 2 3 】

【 数 5 】

$$u(x) = \sqrt{\frac{i}{\lambda r}} \exp(-ikr) \int_{-\infty}^{\infty} u_0(x_0) \exp\left\{-\frac{ik}{2r}(x-x_0)^2\right\} dx_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

40

【 0 0 2 4 】

となる。

実際に回折パターンを計算するには数値計算をする必要があるが、

【 0 0 2 5 】

【 数 6 】

$$C(\alpha) = \int_0^\alpha \cos\left(\frac{\pi\alpha^2}{2}\right) d\alpha \quad \dots\dots\dots (6)$$

【 0 0 2 6 】

【 数 7 】

$$S(\alpha) = \int_0^\alpha \sin\left(\frac{\pi\alpha^2}{2}\right) d\alpha \quad \dots\dots\dots (7)$$

10

【 0 0 2 7 】

で表されるフレネル (Fresnel) 積分を使い、

【 0 0 2 8 】

【 数 8 】

$$u_0(x_0) = \begin{cases} 1 & \left(-\frac{a}{2} \leq x_0 \leq \frac{a}{2}\right) \\ 0 & \left(x_0 \leq -\frac{a}{2}, \frac{a}{2} \leq x_0\right) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (8)$$

20

【 0 0 2 9 】

として、 x 軸方向の積分領域を $-a/2 \sim a/2$ とすると、

【 0 0 3 0 】

【 数 9 】

$$u(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \exp(-ikr) \left[\left\{ C\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x + \frac{a}{2}\right)\right) - C\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x - \frac{a}{2}\right)\right) \right\} \right. \\ \left. - i \left\{ S\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x + \frac{a}{2}\right)\right) - S\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x - \frac{a}{2}\right)\right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (9)$$

30

【 0 0 3 1 】

となり、光強度分布は

【 0 0 3 2 】

【 数 1 0 】

$$|u(x)|^2 = \frac{1}{2} \left[\left\{ C\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x + \frac{a}{2}\right)\right) - C\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x - \frac{a}{2}\right)\right) \right\}^2 \right. \\ \left. + \left\{ S\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x + \frac{a}{2}\right)\right) - S\left(\sqrt{\frac{2}{\lambda r}}\left(x - \frac{a}{2}\right)\right) \right\}^2 \right] \quad \dots\dots\dots (10)$$

40

【 0 0 3 3 】

と表される。

50

この式は、スリットからの距離 r 、スリット幅 a および波長 λ によってその形を変えるが、

【 0 0 3 4 】

【 数 1 1 】

$$r = \frac{ma^2}{2\lambda} \dots\dots\dots (11)$$

【 0 0 3 5 】

と定義すると、(10)式におけるフレネル関数の変数は

10

【 0 0 3 6 】

【 数 1 2 】

$$\frac{2}{\sqrt{m}} \left(\frac{a}{x} + \frac{1}{2} \right), \frac{2}{\sqrt{m}} \left(\frac{a}{x} - \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots (12)$$

【 0 0 3 7 】

となり、 x/a を横軸にとり、 m をパラメータとして回折の光強度分布を記述できる。

図3に上述の方法で求めた光強度分布を示す。

【 0 0 3 8 】

20

図3(a)は、パラメータ m を変化させることで移動する、回折の光強度を観察する位置 ($a \sim g$) を示している。図3(a)において、スクリーンの背後に記した実線はスリットの幾何学的影、点線は $m > 1$ の場合の回折パターンの拡がりを示す。

【 0 0 3 9 】

図3(b)は、 m を変化させたそれぞれの観察位置 ($a \sim g$) での回折の光強度分布を、(10)式によって計算した結果を示す。 $r = ma^2/2$ であり、横軸が x/a 、縦軸が光強度を示している。図3(b)に書き込んだ記号 $a \sim g$ は、図3(a)に示した光強度分布の観察位置 ($a \sim g$) を表している。

【 0 0 4 0 】

以下、本実施の形態に係る光学式エンコーダに適用した場合を具体的に説明する。

30

図4～図6に、本実施の形態に係る、面発光レーザ10を用いた反射式エンコーダの構成を示す。図4は、面発光レーザを用いた反射式エンコーダの斜視図、図5は、光ビームの中心軸を通りY軸に垂直な平面における断面図、図6は、X軸方向から見た側面図を示している。なお、スケール20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であり、例えば、ガラス基板などの低反射率の基板にA1などの高反射率の薄膜を蒸着し、これをリソグラフィ技術を用いてパターンングすることにより作成できる。

【 0 0 4 1 】

上記構成において、面発光レーザ10から出射したビームをスケール20で反射させ、反射光を光検出器30の受光素子で受光する。スケール20の移動により反射光の強度が変

40

化するので、光検出器30の出力からスケールの移動量を検出できる。

【 0 0 4 2 】

スケールに照射される光の強度分布は、先述したように、出射窓形状に相当する開口16に平行な平面波を入射させた場合にほぼ近似できるため、面発光レーザの開口16の形状、寸法及びスケールと開口間の距離とで規定される。

【 0 0 4 3 】

本実施の形態では、図6に示すように、光ビームの中心軸上における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 、スケール20のスケールピッチを p 、スケール面上でピッチ方向と光ビームの中心軸に垂直な平面のなす角を θ 、スケール20のピッチ方向を光ビームの中心軸に垂直な平面に投影した方向にお

50

る光源の開口幅を a とし、光源から距離 L のレーザ光出射方向に垂直な平面上における、スケール 20 のピッチ方向 P をこの平面に投影した方向の光強度分布を、(2) 式を用いて計算する。

【0044】

波長 = $1 \mu\text{m}$ 、開口幅 $a = 30 \mu\text{m}$ の面発光レーザを用い、 L を $85.5 \mu\text{m} \sim 900 \mu\text{m}$ の間で変化させたときに得られる光強度分布の数値計算例を図 7、図 11 ~ 図 28 の (a) に示す。 $L = ma^2/2$ であり、横軸は $x (\mu\text{m})$ 、縦軸は光強度 (arb.) を表している。ここで、 L (スケール 20 と出射面との距離) が極端に小さい場合には、先述したように (2) 式において使用する仮定 (近似) が成り立たず、(2) 式では光強度分布の計算ができなくなるので、ここで示した L の最小値 ($85.5 \mu\text{m}$) 付近が、(2) 式を適用できる L の下限値である。

10

【0045】

上記した方法で計算される光強度分布を有するスポットが、スケール 20 に照射されて得られる反射光の光量は、スケール 20 の反射率分布とスポット強度分布との積を x 軸上で積分すれば得られる。ここでは、計算を簡単にするために、スケール 20 の透過部、反射部における反射率をそれぞれ 0, 1、光検出器 30 は反射光量を全て受光できるよう十分大きいものと仮定する。

【0046】

また、スケール 20 が移動した場合に起こる反射光の光量変化は、スケール 20 の反射率分布を与える位置を変化させればよい。例えば、図 7 (a) における光強度分布に対して、 $p = 10 \mu\text{m}$ のスケール 20 を使用したときの反射光量の変化は、スケール 20 の反射率分布を図 8 (a) ~ (e) のように移動させ、それぞれの反射率分布と図 7 (a) の光強度分布の積を積分すれば求められる。すなわち、図 8 (a) ~ (e) 中に斜線で記した部分の面積を合計することにより、それぞれのスケール位置における反射光量が求められる。

20

【0047】

以上のようにして、スケール 20 が 1 ピッチ分 ($10 \mu\text{m}$) 移動したときに得られる反射光量の変化を図 9 に示す。これが、スケール移動時のエンコーダ信号に相当し、この最大値と最小値の差がエンコーダ信号の p - p 振幅 (以下単に振幅と表記する) に相当する。また、図 9 中 (a) ~ (e) で示した点は、それぞれ図 8 (a) ~ (e) の場合に得られる信号に相当する。

30

【0048】

上述した方法で、図 7 (a) に示した光強度分布の場合について、スケールピッチ p を開口幅 a と等しい $30 \mu\text{m}$ から $2 \mu\text{m}$ 単位で小さく変化させ、それぞれのスケールピッチにおいて、スケール 20 を移動させた際に得られるエンコーダ信号の振幅を計算した結果を図 7 (b) に示す。

【0049】

図 7 (b) から、光強度分布とスケールピッチ p がある特定の関係 (この場合、 $p = 10 \mu\text{m}$ 、および $14 \mu\text{m}$ 、 $p = 22 \mu\text{m}$) を満たすときに、 $p = a$ の場合よりも大きい振幅が得られる場合があることが分かる。このことより、従来の光学式エンコーダよりもスケールピッチを小さくすることが可能であること、すなわち、光源とスケールの間隔 L がある一定距離 ($a^2/2$) より小さい場合にも、 $p = a$ として、従来よりも高分解能を有するエンコーダが得られる可能性があることがわかる。

40

【0050】

ここで、スケールピッチと振幅の関係をより詳細に理解するために、図 7 (b) において振幅の極大が見られる $p = 6 \mu\text{m}$ 、 $18 \mu\text{m}$ の場合について、光強度分布とスケールピッチの関係を図 10 (a) ~ (d) に示す。これを見ると、振幅が大きい場合には、スケールの隣接する反射部 (あるいは透過部) が、光強度分布の極大が見られる位置にそれぞれ一致するか、あるいは近い位置にあることがわかる。

【0051】

50

例えば、 $p = 6 \mu\text{m}$ の場合(図10(a))では、スケール反射部がそれぞれ中央、両側の1番目、3番目の計5カ所の極大値の位置にほぼ一致しており、この場合の反射光量(斜線部の面積の合計)はかなり大きい。一方、スケールが半ピッチ($3 \mu\text{m}$)移動した場合には、以上に示した5カ所の極大値はスケール透過部と一致するために、反射光量は小さくなる。スケールが移動する際の反射光量の最大値と最小値の差がエンコーダ信号の振幅となるため、 $p = 6 \mu\text{m}$ の場合には大きい振幅が得られることがわかる。

【0052】

また、 $p = 18 \mu\text{m}$ の場合(図10(d))においては、スケール反射部が両側の1、2、3番目の極大値をすべてカバーする位置にあるため、反射光量が大きくなり、スケール20が半ピッチ移動した場合(図10(c))の反射光量の差をとると、大きい振幅が得られる。

10

【0053】

以上のように、大きい振幅を得るためには、基本的には、光強度分布の極大が見られる位置にスケール20の同位相の部分(例えば反射部)がほぼ一致するように(極大値間の距離がスケールピッチ p の整数倍)スケールピッチ p を決定すればよい。但し、光強度分布のプロファイルが必ずしも対称な形でないため、極大値間の距離が必ずしもスケールピッチ p の整数倍となるとは限らず、多少のずれがある方がより大きな振幅が得られる場合もある。

【0054】

なお、実際にエンコーダを使用する際には、スケール反射光より得られる例えば擬似正弦波信号をさらに電氣的に分割してより高分解能を得る方法が一般的に用いられており、エンコーダの高分解能化を検討する場合には、信号分割を含めた分解能を最適化する必要がある。そこで、エンコーダ信号が与えられた際に可能な分割数は、エンコーダ信号の振幅に比例するものと考えられるため、高分解能化を図るためには、エンコーダ信号の振幅を確保しながら、スケールピッチ p を小さくすればよい。

20

【0055】

よって、図7(b)のプロット上で、振幅/ p (プロット上の点から原点まで引いた直線の傾き)の値が最大となる点において最小分解能が得られると考えられる。この考え方を適用すると、図7(b)の場合には、 $p = 6 \mu\text{m}$ 付近、及び $p = 16 \sim 18 \mu\text{m}$ 付近において振幅/ p が最大になり、これらの場合に最小分解能が得られることがわかる。

30

【0056】

また、従来の光学式エンコーダ($p = 30 \mu\text{m}$)の場合よりも高分解能が得られる範囲は、プロット上の $p = 30 \mu\text{m}$ の点と原点を結んだ線よりも、プロットが上にある場合に相当し、図7(b)の場合には、 $6 \mu\text{m} < p < 10 \mu\text{m}$ 、 $14 \mu\text{m} < p < 24 \mu\text{m}$ において、従来例よりも高分解能が得られていることが分かる。すなわち、信号分割を考慮すると、 $p = 30 \mu\text{m}$ の場合と比較して、振幅の絶対値が小さい場合でも、振幅/ p が大きければより高分解能が得られることになる。

【0057】

以下同様にして、図11~図28のそれぞれ図(a)に示す光強度分布に対して、エンコーダ信号の振幅を各スケールピッチについて計算した結果を図6~図28のそれぞれ図(b)に示す。これを見ると、図11~図25の(b)においては、それぞれ $p < a$ の範囲で、 $p = a$ の場合よりも高分解能が得られる条件が見られるが、図26(b)ではほぼ $p = a$ の場合が高分解能化の最適条件であり、図27(b)、図28(b)においては、 $p > a$ において最適条件が存在するものと予想され、少なくとも $p = a$ においては、 $p = a$ が最適条件となることがわかる。

40

【0058】

なお、ここまでの説明では、 $\theta = 0$ の場合について示したが、 $\theta = 0$ の場合は、図29に示すように、スケールパターンを光ビームの中心軸に垂直な平面上に投影する場合と等価であるものと仮定し、 $p \cdot \cos \theta$ を等価的なスケールピッチであるものとする、同様に最適な分解能が得られる条件を決定することが可能である。ここで、 $\theta = 0$ の場合は p

50

・ $\cos \theta = p$ であるため、 $p \cdot \cos \theta$ を使って全ての場合を表現することが可能である。

【0059】

以上の説明から明らかなように、光源とスケール20が比較的近接した場合に関して、 $p \cdot \cos \theta < a$ で分解能を最適化する条件が得られる。これに関して、以下にLの値による場合分け(パラメータmを変化させる)を行い、それぞれに関する最適条件が得られる範囲について説明する。

[1] $L = 0.095a^2 / \lambda \sim 0.11a^2 / \lambda$ (図7, 図11, 図13)の場合
 図7(a)は $L = 0.095a^2 / \lambda$ 、図11(a)は $L = 0.1a^2 / \lambda$ 、図12(a)は $L = 0.11a^2 / \lambda$ の場合の光強度分布を示している。

10

【0060】

$L = 0.095a^2 / \lambda$ では、図7(a)に示すように、光軸上に光量の極大値が見られ、さらに、光軸を挟んで両側距離 L / a の場所にそれぞれ光量の極小値、光軸両側距離 $2L / a$ 、 $3L / a$ 、 $4L / a$ 付近にそれぞれ極大値が見られる。

【0061】

ここからLを増加させると、図11(a)に示すように、次第に光軸上の極大値の光強度は減少し、 $L = 0.11a^2 / \lambda$ 付近では、図12(a)に示すように光軸上の極大値はほぼ消滅する。また、光軸両側距離 $2L / a$ 、 $3L / a$ 、 $4L / a$ の極大値は、 $2L / a$ の極大値を除いて、光強度がかなり低下する。

【0062】

以上のように、 $0.095a^2 / \lambda < L < 0.11a^2 / \lambda$ の範囲においては、光軸上および光軸両側距離 $2L / a$ の極大値が支配的であり、これらの極大値付近にそれぞれスケールの同位相の部分(例えば反射部)が配置されるような関係の時に、大きい振幅が得られると考えられる。

20

【0063】

以上の考え方で、図7(b), 図11(b)及び図12(b)を参照して、高分解能化に適した条件を数式で表現すると、

$$1.6L / a < p \cdot \cos \theta < 2.4L / a$$

$$(0.095a^2 / \lambda < L < 0.11a^2 / \lambda)$$

となる。

30

[2] $0.095a^2 / \lambda < L < 0.13a^2 / \lambda$ (図7, 図11~図14)の場合
 図7(a)は $L = 0.095a^2 / \lambda$ 、図11(a)は $L = 0.1a^2 / \lambda$ 、図12(a)は $L = 0.11a^2 / \lambda$ 、図13(a)は $L = 0.125a^2 / \lambda$ 、図14(a)は $L = 0.13a^2 / \lambda$ の場合の光強度分布を示している。

【0064】

$0.095a^2 / \lambda < L < 0.11a^2 / \lambda$ の範囲において、回折パターンは、上記[1]に示したように変化する。さらにLを増加させていくと、図13(a)に示すように、光軸上の極大値は消失して極小値となり、かつ光軸両側距離 L / a の位置の極小値は極大値となり、光強度が増加する。また、光軸両側距離 $2L / a$ 、 $3L / a$ 、 $4L / a$ の極大値は観察されるが、光強度は低下する。

40

【0065】

そして、さらにLを増大させていくと、 $L = 0.13a^2 / \lambda$ 付近で、図14(a)に示すように光軸両側距離 L / a の位置の極大値が支配的になり、それまで支配的であった光軸両側距離 $2L / a$ の極大値における光強度を上回る。

【0066】

以上のように、 $0.095a^2 / \lambda < L < 0.13a^2 / \lambda$ の範囲においては、少なくとも光軸両側距離 $2L / a$ の極大値が支配的であり、この極大値付近にそれぞれスケールの同位相の部分(例えば反射部)が配置されるような関係の時に、大きい振幅が得られると考えられる。

【0067】

50

以上の考え方で、図7(b)、図11~図14のそれぞれ図(b)を参照して、高分解能化に適した条件を数式で表現すると、

$$4.6L/a \cdot p \cdot \cos \quad 7.4L/a \\ (0.095a^2/L \quad 0.13a^2/L)$$

となる。

[3] $0.13a^2/L \quad 0.21a^2/L$ (図14~図17)の場合

図14(a)は $L=0.13a^2/L$ 、図15(a)は $L=0.15a^2/L$ 、図16(a)は $L=0.2a^2/L$ 、図17(a)は $L=0.21a^2/L$ の場合の光強度分布を示している。

【0068】

$L=0.13a^2/L$ からLの値を増加すると、図15(a)に示すように、いったん光軸両側 L/a の位置の極大値が支配的となるが、さらにLを増加させると、図16(a)に示すように、再び光軸上の極小値が極大値になる。そして、 $L=0.21a^2/L$ 付近で、図17(a)に示すように光軸上の極大値と光軸両側 L/a の位置の極大値の光強度がほぼ等しくなる。

【0069】

以上のように、 $0.13a^2/L \quad 0.21a^2/L$ の範囲においては、光軸両側 L/a の位置の極大値が支配的であり、この極大値付近にそれぞれスケールの同位相の部分(例えば反射部)が配置されるような関係の時に、大きい振幅が得られると考えられる。

【0070】

以上の考え方で、図14~図17のそれぞれ図(b)を参照して、高分解能化に適した条件を数式で表現すると、

$$2L/a \cdot p \cdot \cos \quad 4L/a \\ (0.13a^2/L \quad 0.21a^2/L)$$

となる。

[4] $0.21a^2/L \quad 0.3a^2/L$ (図17~図20)の場合

図17(a)は $L=0.21a^2/L$ 、図18(a)は $L=0.225a^2/L$ 、図19(a)は $L=0.25a^2/L$ 、図20(a)は $L=0.3a^2/L$ の場合の光強度分布を示している。

【0071】

$L=0.21a^2/L$ からLの値を増加させると、図18(a)~20(a)に示すように、再び現れた光軸上の極大値の光強度が増加し、支配的になっていく。また、光軸両側 L/a の位置の極大値は次第に目立たなくなり、図20(a)に示すように、 $L=0.3a^2/L$ 付近においては、極大値が殆ど見られなくなる。

【0072】

以上のように、 $0.21a^2/L \quad 0.3a^2/L$ の範囲においては、光軸上の極大値が支配的であるが、光軸両側 L/a の位置の極大値の影響も無視できない。従って、以上の3カ所の極大値付近にそれぞれスケールの同位相の部分(例えば反射部)が配置されるような関係の時に、大きい振幅が得られると考えられる。

【0073】

以上の考え方で、図17~20の(b)を参照して、高分解能化に適した条件を数式で表現すると、

$$1.1L/a \cdot p \cdot \cos \quad 1.6L/a \\ (0.21a^2/L \quad 0.3a^2/L)$$

と表される。

[5] $0.3a^2/L \quad L$ (図20~図28)の場合

図20(a)は $L=0.3a^2/L$ 、図21(a)は $L=0.35a^2/L$ 、図22(a)は $L=0.375a^2/L$ 、図23(a)は $L=0.4a^2/L$ 、図24(a)は $L=0.5a^2/L$ 、図25(a)は $L=0.55a^2/L$ 、図26(a)は $L=0.6a^2/L$ 、

10

20

30

40

50

図27(a)は $L = 0.75 a^2 /$ 、図28(a)は $L = 1.0 a^2 /$ の場合の光強度分布を示している。

【0074】

$L = 0.3 a^2 /$ から L の値を増加させると、図21～図25のそれぞれ図(a)に示すように光軸両側 L / a の位置に極小値が現れ、光軸上の極大値がさらに支配的になる。さらに、先に述べたように、 $L = 0.6 a^2 /$ を越えると、図26～図28に示すように、もはや $p \cdot \cos < a$ の条件では高分解能化に適した条件は見られなくなり、 $p \cdot \cos a$ に最適条件が見られるようになる。

【0075】

このように、 $0.3 a^2 / < L < 0.6 a^2 /$ の範囲においては、光軸上の極大値が支配的であるため、この極大値のスポット幅に対してスケールピッチを最適な条件で決定すればよい以上の考え方で、図20～図25のそれぞれ図(b)を参照して、高分解能化に適した条件を数式で表現すると、

$$1.2 L / a < p \cdot \cos < a$$

$$(0.3 a^2 / < L < 0.6 a^2 /)$$

となる。

以上[1]～[5]で説明したように、本実施の形態においては、従来 $p \cdot \cos a$ の条件で使用されてきた光学式エンコーダでは、分解能の限界があったのに対し、従来開示されていなかった $p \cdot \cos < a$ の条件において $p \cdot \cos a$ の条件の時よりも、高分解能を有するエンコーダを得ることができる。

【0076】

なお、本実施の形態では、反射式のエンコーダに本願発明を適用した場合を説明したが、透過型エンコーダにも同様に適用することができる。

【0077】

【発明の効果】

このように本発明によれば光源とスケールの間隔が近接している場合に、従来のエンコーダと比較して、高分解能を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、発明の実施の形態に係る面発光レーザの構成を示す図、

【図2】図2は、開口からの放射光の広がりの説明するための図

【図3】図3(a)は、回折光強度を観察する位置を示す図、図3(b)は、それぞれの観察位置での光強度分布を示す図、

【図4】図4は、発明の実施の形態に係る光学式エンコーダの構成を示す斜視図、

【図5】図5は、発明の実施の形態に係る光学式エンコーダの構成を示す断面図、

【図6】図6は、発明の実施の形態に係る光学式エンコーダの構成を示す側面図、

【図7】図7(a)は、 $L = 0.095 a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図7(b)は、 $L = 0.095 a^2 /$ の場合のスケールピッチと $p - p$ 振幅の関係を示す図、

【図8】図8(a)～(e)は、 $p = 10 \mu\text{m}$ のスケールが移動する際の反射光量の変化を説明するための図、

【図9】図9は、 $p = 10 \mu\text{m}$ のスケールが移動したときに得られる反射光量の変化を示す図、

【図10】図10(a)、(b)は、 $p = 6 \mu\text{m}$ のスケールが移動する際の反射光量の変化を説明するための図、図10(c)、(d)は、 $p = 18 \mu\text{m}$ のスケールが移動する際の反射光量の変化を説明するための図、

【図11】図11(a)は、 $L = 0.1 a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図11(b)は、 $L = 0.1 a^2 /$ の場合のスケールピッチと $p - p$ 振幅の関係を示す図、

【図12】図12(a)は、 $L = 0.11 a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図12(b)は、 $L = 0.11 a^2 /$ の場合のスケールピッチと $p - p$ 振幅の関係を示す図、

【図13】図13(a)は、 $L = 0.125 a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図13(b)は、 $L = 0.125 a^2 /$ の場合のスケールピッチと $p - p$ 振幅の関係を示す

10

20

30

40

50

図、

【図14】図14(a)は、 $L = 0.13a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図14(b)は、 $L = 0.13a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図15】図15(a)は、 $L = 0.15a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図15(b)は、 $L = 0.15a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図16】図16(a)は、 $L = 0.2a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図16(b)は、 $L = 0.2a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図17】図17(a)は、 $L = 0.21a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図17(b)は、 $L = 0.21a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図18】図18(a)は、 $L = 0.225a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図18(b)は、 $L = 0.225a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図19】図19(a)は、 $L = 0.25a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図19(b)は、 $L = 0.25a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図20】図20(a)は、 $L = 0.3a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図20(b)は、 $L = 0.3a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図21】図21(a)は、 $L = 0.35a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図21(b)は、 $L = 0.35a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図22】図22(a)は、 $L = 0.375a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図22(b)は、 $L = 0.375a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図23】図23(a)は、 $L = 0.4a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図23(b)は、 $L = 0.4a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図24】図24(a)は、 $L = 0.5a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図24(b)は、 $L = 0.5a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図25】図25(a)は、 $L = 0.55a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図25(b)は、 $L = 0.55a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図26】図26(a)は、 $L = 0.6a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図26(b)は、 $L = 0.6a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図27】図27(a)は、 $L = 0.75a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図27(b)は、 $L = 0.75a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図28】図28(a)は、 $L = 1.0a^2 /$ の場合の光強度分布を示す図、図28(b)は、 $L = 1.0a^2 /$ の場合のスケールピッチと p - p 振幅の関係を示す図、

【図29】図29は、スケールのピッチ方向と光ビームの中心軸に垂直な平面のなす角を説明するための図、

【図30】図30は、従来の光学式エンコーダの構成を示す図である。

【符号の説明】

- 10 面発光レーザー
- 16 開口
- 20 スケール
- 30 光検出器

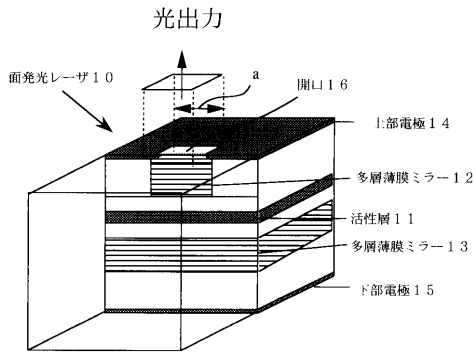
10

20

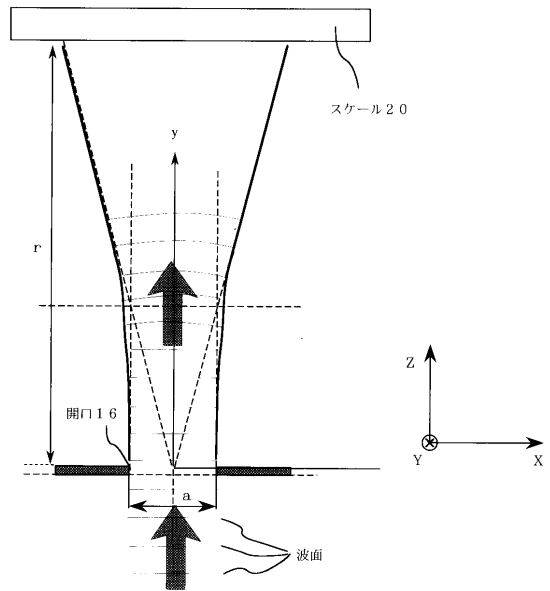
30

40

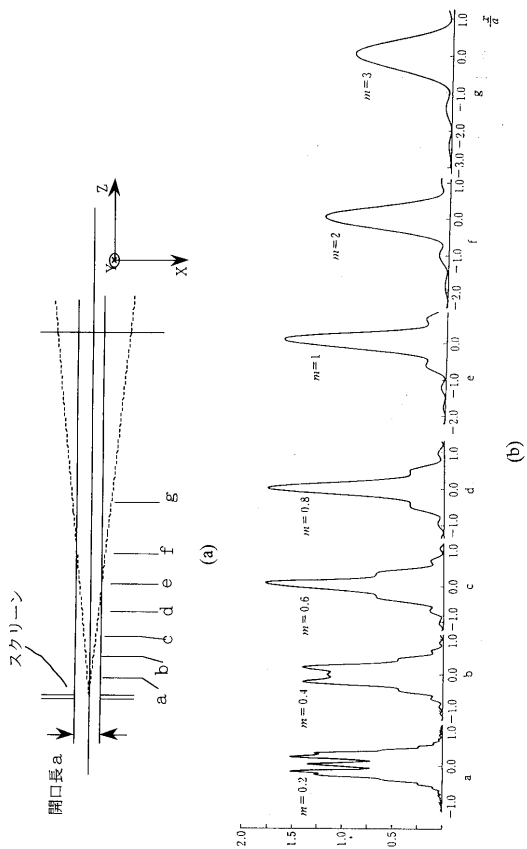
【 図 1 】



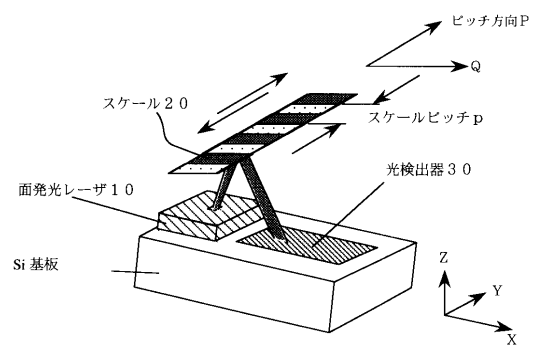
【 図 2 】



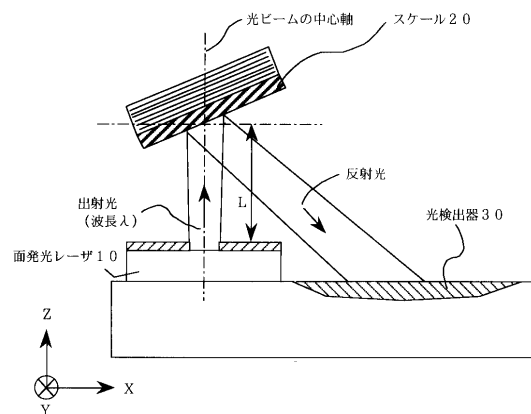
【 図 3 】



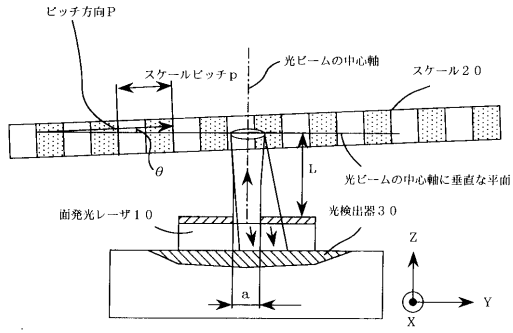
【 図 4 】



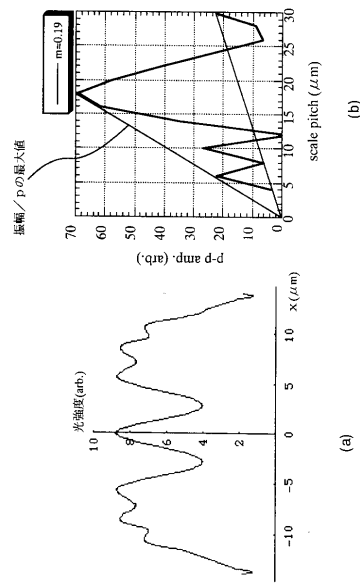
【 図 5 】



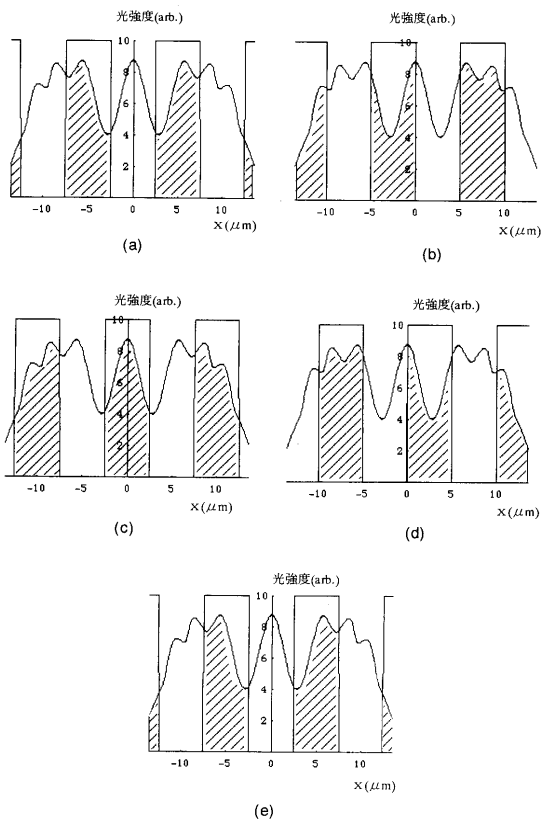
【 図 6 】



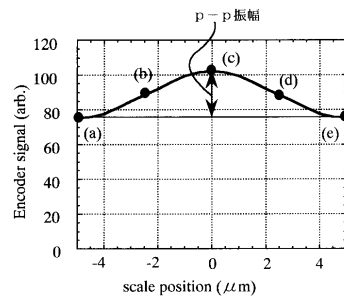
【 図 7 】



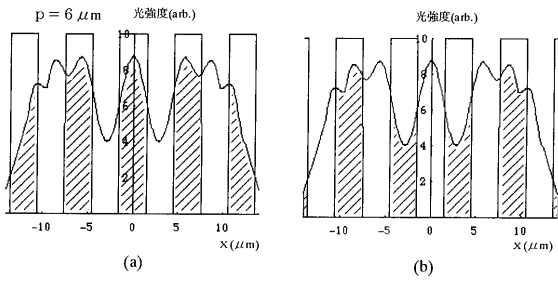
【 図 8 】



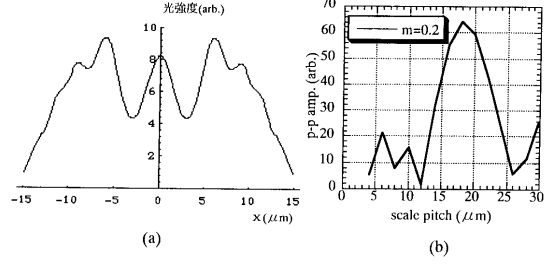
【 図 9 】



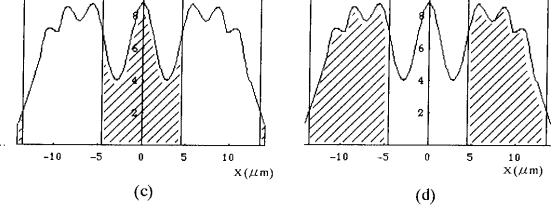
【 図 1 0 】



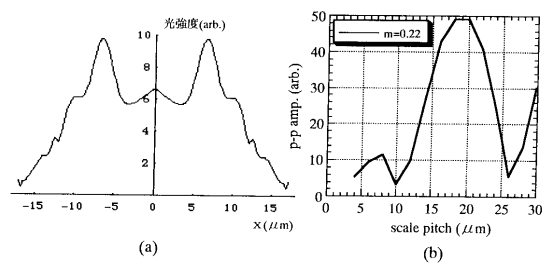
【 図 1 1 】



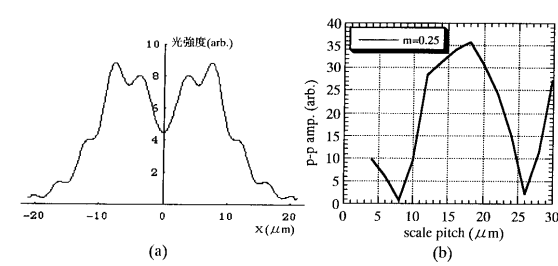
【 図 1 2 】



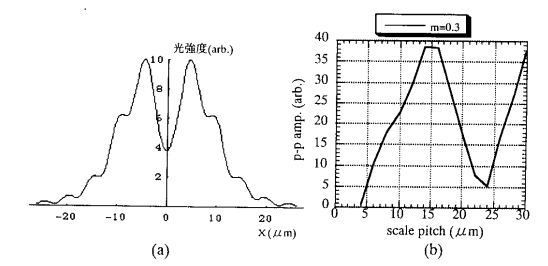
【 図 1 2 】



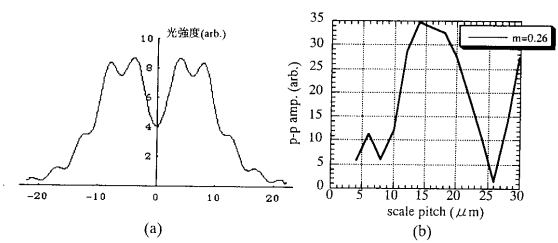
【 図 1 3 】



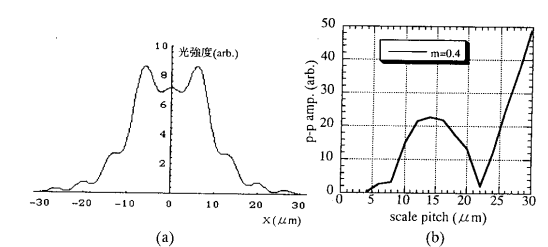
【 図 1 5 】



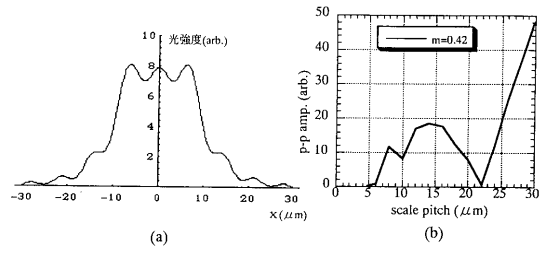
【 図 1 4 】



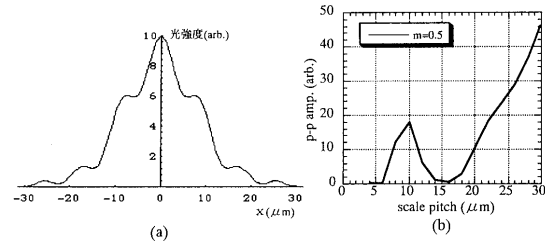
【 図 1 6 】



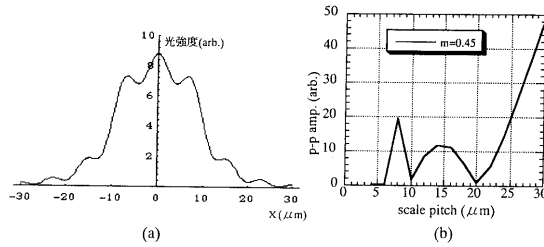
【 図 17 】



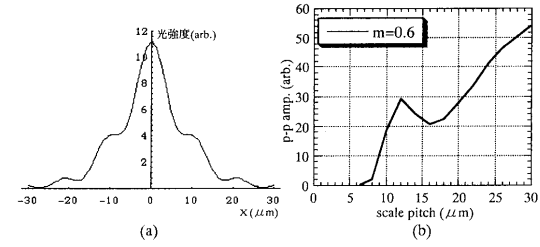
【 図 19 】



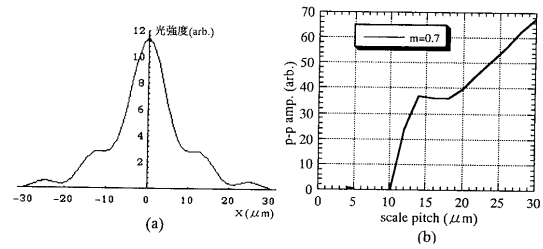
【 図 18 】



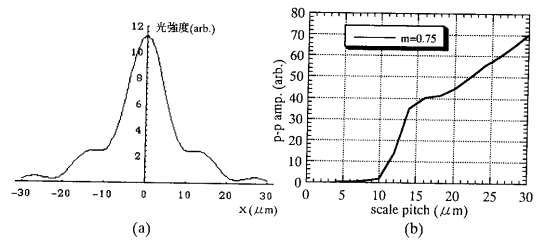
【 図 20 】



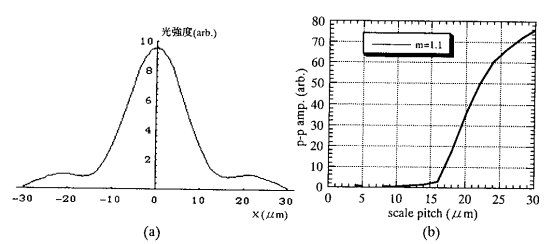
【 図 21 】



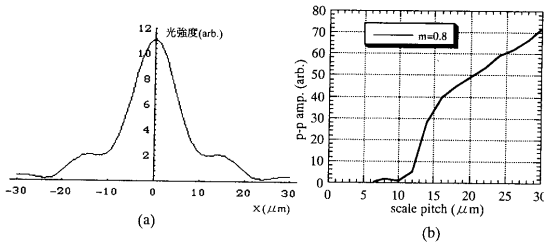
【 図 22 】



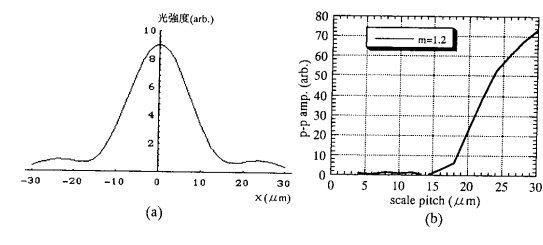
【 図 25 】



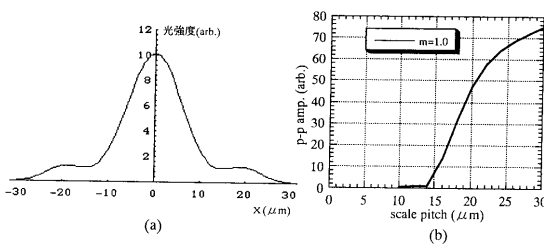
【 図 23 】



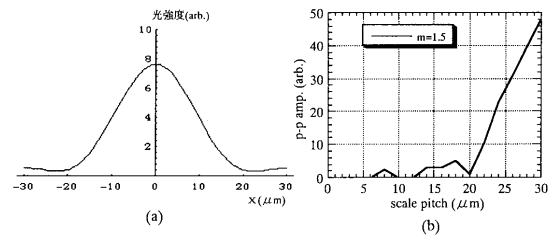
【 図 26 】



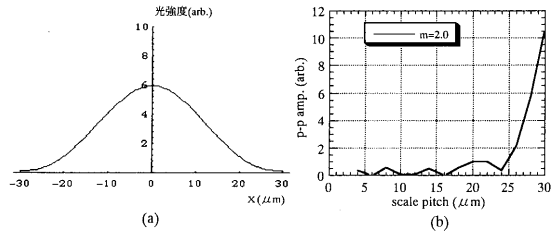
【 図 24 】



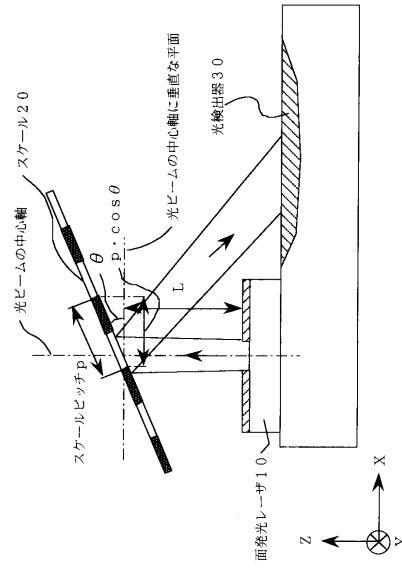
【 図 27 】



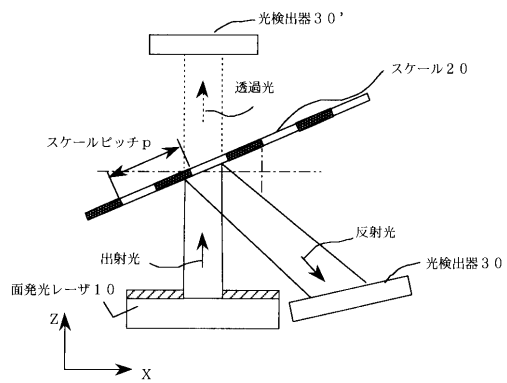
【 図 28 】



【 図 29 】



【 図 30 】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01D5/26~5/38

G01B11/00~11/30