

SYNOPSIS: In this paper we study a lens driving type Laguerre-Gauss beam system having high resolving power of the lateral displacement. By detecting intensity distribution of the optical beams through two photo-detectors, the spot positions can be determined precisely.

1. あらまし: ガウスビームが入射して、ラゲール・ガウスビームに変換されて出射するように2つのGRINレンズを配置する。GRINレンズの光軸からのずれに応じて出射角が変化するので、光路長と出射角との積で与えられる変位量を精密に測定することを考察している。その結果、5 nmの分解能があることを示している。

2. まえがき: ガウスビームのスポット強度分布をプッシュプル増幅的に評価することにより、スポットの微小変位を精密に測定できる。本論文ではラゲール・ガウス分布について、スポットの微小変位の精密測定方式を考察する。

例えば、活断層の微小変位や樹木の成長速度の精密な測定などを目的として、1つのGRINレンズを固定し、他のGRINレンズを可動部に設置して、ガウスビームを入射させ、ラゲール・ガウスビームとして出射するように配置する。出射角は2つのGRINレンズからのずれに応じて、出射角が変化するので、出射スポットの変位はその出射角と光路長との積で与えられる。なお光スポットの変位量を目視することにより、0.1 μm の相対変位量を観測できる。さらに、2つのフォトランジスタを用い、空間的にずらし、位相を反転しプッシュプル増幅的に検出することにより、5 nmの分解能があることを示している。

3. 光学系の構成とラゲール・ガウスビームの表示

Fig. 1 に示す光学系において、平行入射光線

が再び平行光線として出射するように2つのGRINレンズ L_1 、 L_2 を配置する。

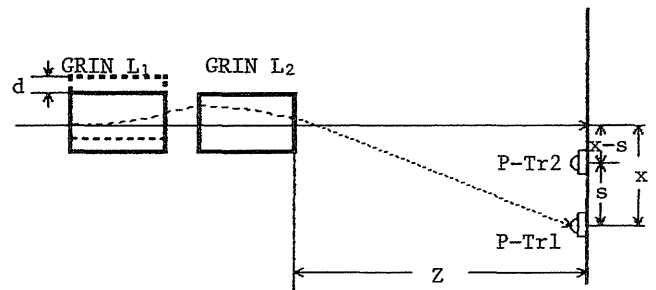


Fig. 1 問題の光学系

L_1 が d だけ変位するとスクリーン上の像の変位は、 $x = |C| \cdot d \cdot Z$ で与えられる。ここに、 C はレンズの光線マトリクス (A, B, C, D) の要素 C である。今、 L_1 の出射光線が構成する最大解像力像面付近を、 L_2 で観測するとその出射光は、ラゲール・ガウス分布となる。Fig. 2 に、出射光による回折格子像を投影している。格子上的明暗が反転しているのは、同心円的な明暗の縞とともに位相も変化していることを示している。Fig. 3 は強度分布の1例をフォトランジスタで走査し観測したものである。

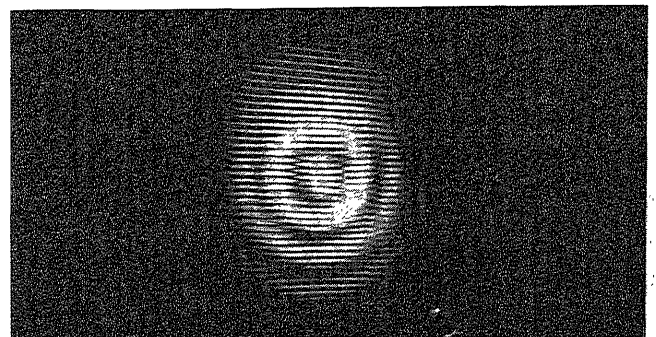


Fig. 2 回折格子のフーリエイメージを含んだラゲール・ガウスビーム

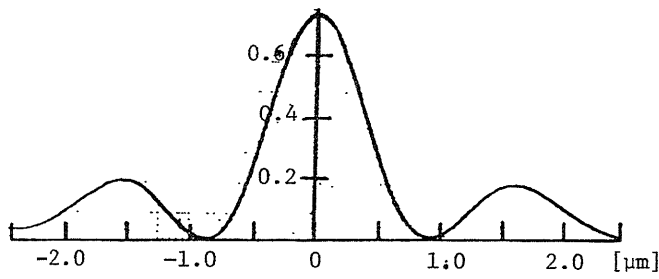


Fig. 3 倍率2万倍の時の光スポットの強度分布(ホトトランジスタの出力対変位; ラゲール・ガウスモードの係数: $b_0 = -0.073, b_1 = 1.0$)

4. 具体的測定例と考察

4-1. ラゲール・ガウスビームの表示式

ビームウエストの位置で、ラゲール・ガウス分布は、次式で表示される。

$$\Phi(x) = \sum_m b_m \Psi_m(x) \quad (m=0, 1, 2, \dots) \quad \dots \dots (1)$$

$$\Psi_m(x) = L_m(x) \exp(-x^2/2) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$L_m(x) = \sum_{p=0}^m (-1)^p * m C_{m-p} * (x^{2p}/p!) \quad \dots \dots (3)$$

$$x = \sqrt{2}r/w \quad (w: \text{スポットサイズ}) \quad \dots \dots (4)$$

なお、 b_m はビームの強度分布の状態に応じて定まる係数(Fig. 3の例では、 $b_0 = -0.073, b_1 = 1.0$ である。)である。

4-2. 2個のホトトランジスタによるスポットの変位検出方式

NA=0.64, |C|=0.672/mmのGRINレンズを用いると、Z=29.762mの時のレンズL₁の変位の倍率は20,000倍になる。2つのホトトランジスタの位置を左右にづらして、光スポットの出力を求める。それぞれの出力を、 $V_1(x), V_2(x-s)$ とし、それらの差と和の比から位置xの関数として、次式を得る。

$$U(x, s) = \{ V_1(x) - V_2(x-s) \} / \{ V_1(x) + V_2(x-s) \} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、適当なsを定めると、位置xに対してUが直線的に変化する領域がある。Fig. 3の強度分布をモデルとして、2つのホトトランジスタの特性が等しいと仮定し、 $U(x, s)$ を考察する。Fig. 4に、モデル化された振幅の振幅分布、強度分布、及びスポット変位に対する出力関数 $U(x, 0.49)$ の特性を示している。

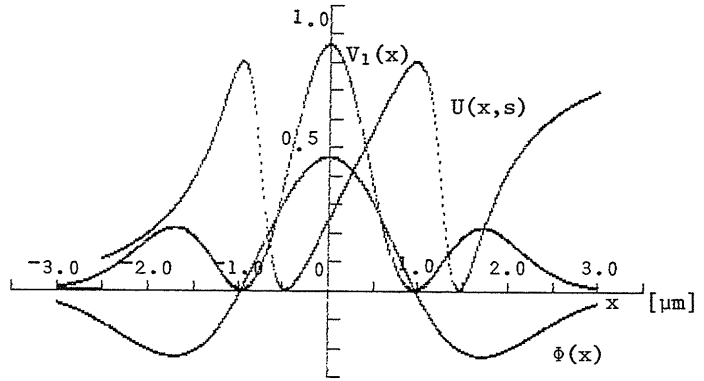


Fig. 4 振幅・強度分布ならびに出力関数特性 $U(x, 0.49)$ より、 x_0 を中心として最小二乗法を用いて近似直線 $f(x)$ を求め、 $U(x, 0.49)$ との差を誤差関数

$$E(x, 0.49) = | f(x) - U(x, 0.49) | \quad \dots \dots \dots (6)$$

と定義する。Fig. 5、Fig. 6に誤差関数を100倍、1000倍した特性をそれぞれ示している。

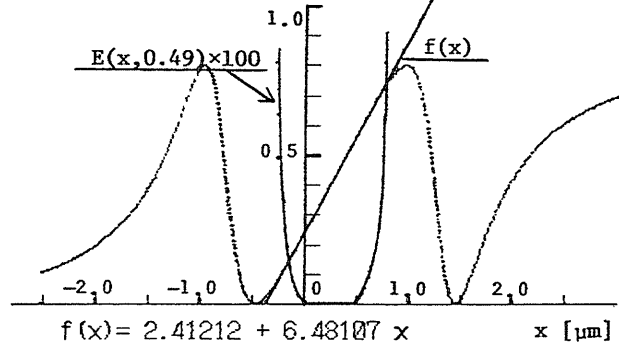


Fig. 5 $x_0 = 0.25$, 近似幅を0.4としたときの誤差

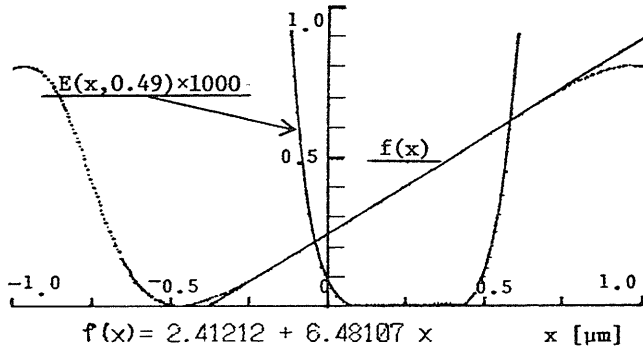


Fig. 6 $x_0 = 0.25$, 近似幅を0.4としたときの誤差

4-3. 考察

特性の等しい2つのホトトランジスタのそれぞれの出力の差と和の比を求めることにより、ビーム強度の変動による誤差は打ち消される。

Fig. 5より、 $x = 0.4 \mu\text{m}$ の範囲では誤差が1%以下であるから、分解能は $0.01 \mu\text{m}$ 以下である。Fig. 6では $x = 0.3 \mu\text{m}$ の範囲では誤差が0.1%以下であるから5nm以下の分解能が期待できる。