

モアレ縞による回折光を用いた 高精度位置決め方法

河合 滋・窪田恵一・太田義徳

日本電気(株)光エレクトロニクス研究所

〒213 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

周期性のある2枚の縞を重ね合わせると、それらの縞の差周波数を成分とするモアレ縞が生じる。たとえば、2枚のゾーンプレートを重ね合わせた場合には、同心円状のモアレ縞が得られる。このとき、一方のゾーンプレート(基準ゾーンプレート)を固定し、他方のゾーンプレート(配置ゾーンプレート)を移動させると、モアレ縞は、配置ゾーンプレートの移動に比例して動く。このことを利用して、同心円状モアレ縞の中心をある定められた位置に合わせることによって、配置ゾーンプレートの位置を決めることができる。本方法は、この原理を応用し、2枚のゾーンプレートに単色光を入射させて生じる収束回折光の集光点の位置を測定して、配置ゾーンプレートの位置を決めるものである。

原点にある焦点距離 f_1 の基準ゾーンプレートと座標 (ξ, η) にある焦点距離 f_2 のゾーンプレートを重ね合わせたときのモアレ縞は次式で表わされる。

$$(x \pm g\xi)^2 + (y \pm g\eta)^2 = 2n\lambda g f_2 + C \quad (1)$$

ここで、正号は2枚のゾーンプレートを 180° 回転させて重ね合わせた場合、負号は同じ向きに重ね合わせた場合に相当する。また、 C は f, ξ, η の関数、 g は移動倍率 $(=f_1/(f_2 \mp f_1))$ である。(1)式より、モアレ縞の移動量は、配置ゾーンプレートの移動量の g 倍に等しい。このとき、重ね合わせた2枚のゾーンプレートに単色光を入射させると、2回の回折によって、収束光が生じる。モアレ縞が、2枚のゾーンプレートの差周波数によって生じているので、この収束光は、モアレ縞がレンズとして作用していると考えられる。モアレ縞

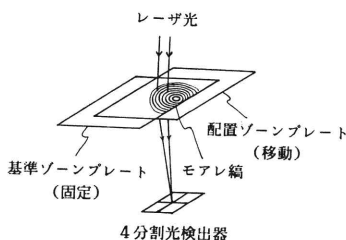


図1 位置決め方法の原理

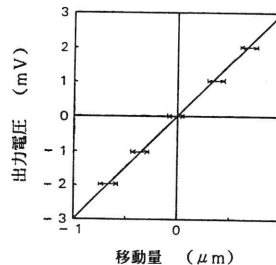


図2 配置ゾーンプレートの移動量と光検出器の出力の関係(移動倍率1)

が、配置ゾーンプレートの移動に比例して動くことから、回折光の収束点もまた、配置ゾーンプレートの移動に比例して動く。したがって、収束点に分割光検出器などを置いて、その位置を測定することによって、配置ゾーンプレートの位置を決めることができる。図1に、この位置決め方法の原理を示す。重ね合わせた2枚のゾーンプレートに対して、垂直にレーザー光を入射させ、4分割光検出器を回折光の収束点に置いて、その位置を検出する。収束光の位置より配置ゾーンプレートのずれ量を計算し、その位置を決めることができる。

平面波を入射させて、無収差の球面波を再生させるには、モアレ縞が IZP (interferometric zone plate) の位相分布をもつ必要がある。2枚のゾーンプレートの位相の関係を $\phi_2 = m\phi_1$ と置くと、モアレ縞が IZP である条件より、移動倍率は $g = m/(1 \pm m)$ で表わされる。ここで、正号の場合には $m = \infty$ (単純格子に相当)、負号の場合には $m (< 1)$ が1に近い場合が最適である。

この位置決め方法の原理を確認するために、移動倍率を表わす式の正号の場合の最適条件である単純格子を基準ゾーンプレートとして用い、位置決め精度を実測した。ゾーンプレートに He-Ne レーザー光を照射し、収束点において、+1次回折光を2分割光検出器で測定した。配置ゾーンプレートの移動に対する2個の光検出器の作動出力を図2に示す。測定の結果、移動倍率1の場合、配置ゾーンプレートを $0.1 \mu\text{m}$ の精度で位置決めできることがわかった。さらに、ゾーンプレートを最適化して、移動倍率100のモアレ縞が得られれば 10 nm 以下の位置決めが可能である。

この位置決め方法は、超 LSI のマスクアライナや精密計測装置に応用できるものと思われる。

文 献

1) 河合 滋, ほか: 光学, 14 (1985) 298.