

7C-3 2光波混合を用いる正弦波状波長走査干渉法による粗面形状計測

矢後 裕章* 佐々木 修己** 鈴木 孝昌**

*新潟大学大学院自然科学研究科 **新潟大学工学部

1.はじめに

電子機器の小型化・高性能化に伴い、より高精度で高密度な部品が必要となってくる。このような部品の形状測定にはレーザ干渉計を用いるが、部品の表面形状が粗面の場合、測定物体で反射された物体光は散乱光となり、通常のレーザ干渉計では測定が困難となる。本研究では、フォトリフラクティブ結晶を用いることで物体光と参照光の波面を一致させ、より干渉信号を得やすくする。また、この2光波混合で得られた光は伝播距離の情報を保持しているため、干渉計の光源に半導体レーザを用い、正弦波状の波長走査を行うことにより粗面物体の変位による光路差変化を検出できる。そして粗面形状の測定を高精度で行う。

2.原理および実験装置

実験装置を図1に示す。図の点線で囲まれた部分は外部共振器型の半導体レーザ(LD)であり、ミラーM1を周波数 $f_b=65\text{Hz}$ で振動させて波長走査を行う。LDの中心波長は670nmである。LDからの平行光はビームスプリッタ(BS)で二分され、測定物体で反射された物体光は U_1 、ミラーM2で反射された参照光は U_2 となる。物体の像をレンズL2を用いてフォトリフラクティブ結晶(BaTiO₃)内に倍率 $M_1=1/3$ で結像する。その像をレンズL4を用いてCCD上に倍率 $M_2=3$ で結像する。

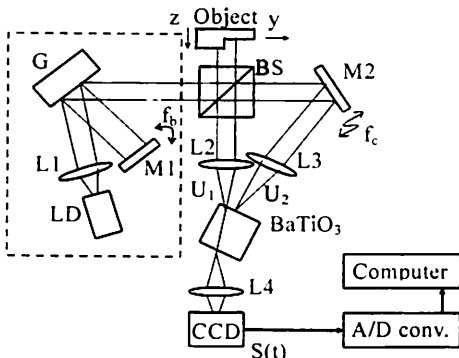


図1 実験装置の構成

図2に示すように、物体光と参照光の2つの光が干渉することにより結晶内に干渉縞ができ、これにより屈折率格子を形成する。この回折格子により、参照光の波面が物体光の波面に変換されて2つの波面が一致する。このことから容易に干渉信号 $S(t) = a\cos(Z_c\cos\omega_c t + Z_b\cos\omega_b t + \alpha)$ を得ることができる。LDの発振波長 $\lambda(t)$ は、波長走査振幅を b とすると $\lambda(t) = \lambda_0 + b\cos\omega_b t$ となる。この波長走査によって干渉信号 $S(t)$ に $Z_b\cos\omega_b t$ の項が生じる。ミラーM2を周波数 $f_c=2080\text{Hz}$ で振動させると、 $S(t)$ に $Z_c\cos\omega_c t$ の項が生じる。この干渉信号 $S(t)$ をCCDで検出する。 $S(t)$ をコンピュータに取り込み、 $Z_c\cos\omega_c t$ をキャリアとしてフーリエ変換処理を行うと $Z_b\cos\omega_b t + \alpha$ が得られ、 Z_b が求まる。 $Z_b = (2\pi b/\lambda_0^2)L$ であるため、 Z_b を測定することにより光路差 L を求めることができる。 U_1 、 U_2 の伝播距離をそれぞれ L_1 、 L_2 とすると、光路差 L は $L=L_2-L_1$ であるので、 L を求めれば測定物体の表面形状が得られる。

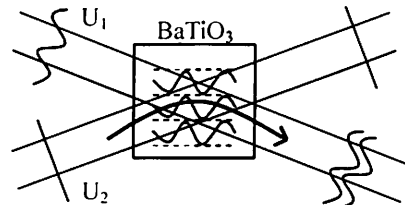


図2 フォトリフラクティブ結晶による波面変換

3.実験結果

アルミ箔を2枚重ねて作った段差形状表面を測定物体とした。測定に用いたCCDは648×494画素で、そのうち20×10画素を測定に用いた。粗面を測定したときの Z_b の時間安定度を図3に示す。測定の結果、振幅は約0.03radとなった。

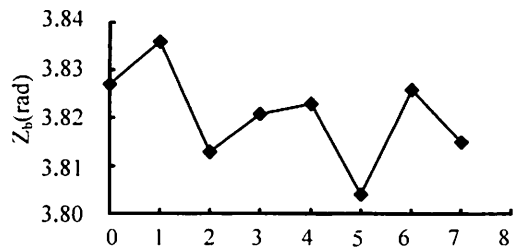


図3 Z_bの時間安定度

次に物体を図1のzの方向に変化させて測定したLと Z_b の関係を図4、5に示す。これらの直線の式を求めると $Z_b=0.018L$ となる。直線の式のyは Z_b 、xは光路差 ΔL を示している。ここから波長走査幅 $2b$ を求めると 2.57nm となった。A、B異なる2箇所測定を行ったが、 0.05rad の誤差があった。この直線の傾きを用いて距離測定を行う。

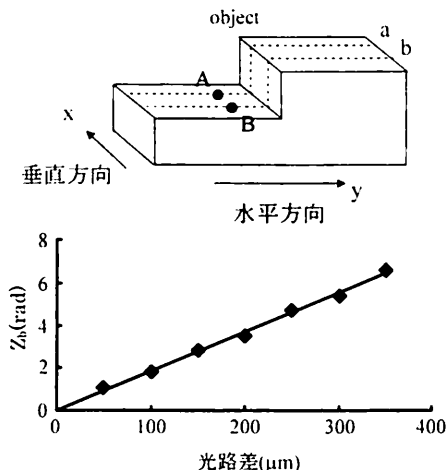


図4 Lと Z_b の関係 A

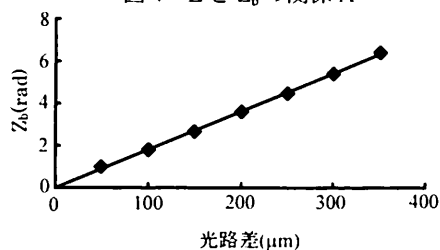


図5 Lと Z_b の関係 B

以上の結果を踏まえて、粗面の表面形状を測定した。aの位置で水平方向に段差の測定を2回行った結果を図6、7に示す。誤差は 0.05rad となった。測定誤差は約 $5\mu\text{m}$ となった。次にbの位置を水平方向に測定し、段差を測定した。それが図8である。aと比べると誤差は 0.8rad となった。測定誤差は約 $8\mu\text{m}$ となった。

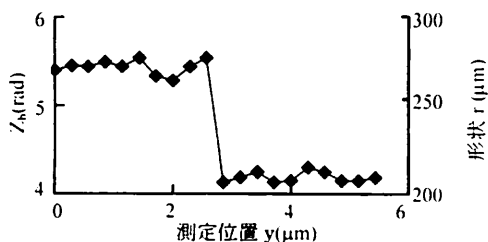


図6 直線a上の段差形状1回目

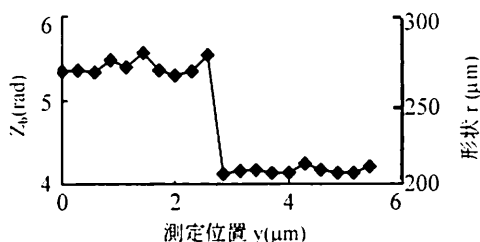


図7 直線a上の段差形状2回目

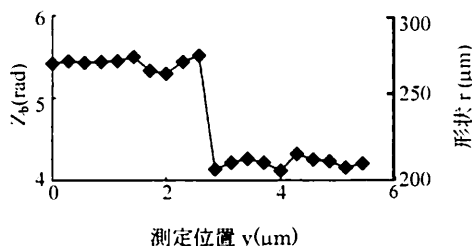


図8 直線b上の段差形状

段差形状を2次元表示したものが図9である。 Δx は垂直方向成分、 Δy は水平方向成分である。ここから求めた段差幅は $65\mu\text{m}$ となり、実際ノギスで測定した段差は約 $70\mu\text{m}$ であった。

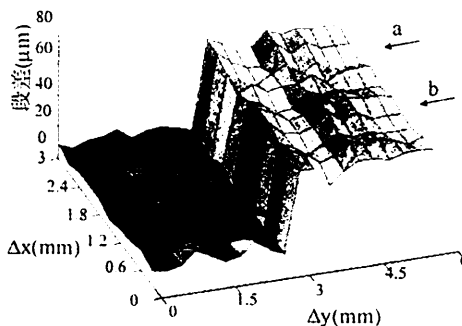


図9 2次元段差形状の測定結果

4.まとめ

フォトリラクティブ結晶を用いた干渉計によって粗面物体の段差測定を行うことができた。CCDを使用して粗面物体の段差形状を測定し、形状を表示することができた。

今後は、温度変化による変動を検出し時間安定度を向上させ、測定精度を上げる。