



オプティカルスキッド法における反射率の 変動が与える測定誤差の補正法*

安達正明** 三木秀司*** 鈴木紀生*** 中井康秀† 川口 格††

Key words: precision roughness measurement, optical method, interference microscope, reflectivity variations, error correction method

1. 緒 言

上下振動の影響を受けない新しい高精度粗さ測定法として、オプティカルスキッド法と呼ぶ方法を我々は先に提案した¹⁾。この方法は光干渉を利用して0.4 galの定常的上下振動下において装置雑音強度0.05 nmRMSを達成できており、測定できる長さにも原理上の制限はない。このことから、短波長光学部品の形状評価等において必要性の高い縦分解能0.1 nmと広い横方向測定範囲²⁾を同時に実現できる技術として有望と考える。

しかし、提案した装置では一つの干渉状態の干渉光強度から光路差を求めて凹凸測定を行うため、測定箇所の一部に反射率の変動があるとこれが大きな測定誤差を引き起こした。

我々は、偏光を利用すると物理的には一つの干渉計で二つの干渉状態を発生させることができ、この干渉方法をオプティカルスキッド法に組み込むと、反射率の変動の影響をほぼ補正できることが分かった。そこで、この補正方法とそれを組み込んだ装置について報告する。

2. 反射率による測定誤差の補正法の原理

干渉計では、光路差が変化すると干渉光強度は図1の実線に示す変化をする。オプティカルスキッド法ではこの変化における I_{max} 、 I_{min} を粗さ計測に先だって最初に1回だけ計測する。その後、これらの値を用いて干渉顕微鏡画像全体の光強度の平均が図のP点近傍にくるように、参照面の位置をピエゾ素子を通して

コンピュータ制御する。この状態で、測定面の反射光強度が場所によらず一定であると仮定して、画像の中心に位置する測定点の光路差と、この測定点の周辺の領域における光路差を干渉光強度から同時に求める。そしてこれらの差を取ることで凹凸の測定を測定面の上下振動に影響されないで行う。以上の制御と計測を連続して繰り返しながら、測定箇所を一方方向に走査することにより粗さ曲線を得ている。

ところが走査中の一点において測定点の反射率が小さくなると、参照光量は一定でもその点における干渉光強度と光路差の関係は図1の点線のように変化してしまう。反射光強度が最初の I_{max} 、 I_{min} の計測時と同じとして干渉光強度から光路差を求めると、実際には光路差が変化していても干渉光強度が低下しP点では図1の $\Delta\phi$ の測定誤差を生じる。この時、光路差の位相が π だけ違うP'点ではこの誤差は符号が異なる $\Delta\psi$ となる。故にP点とP'点の干渉状態と同時に光路差を求めると、これらの値を用いて測定誤差を大幅に低減できると考えられる。

そこで次に $\Delta\phi$ と $\Delta\psi$ の計算を行った。まず観察面

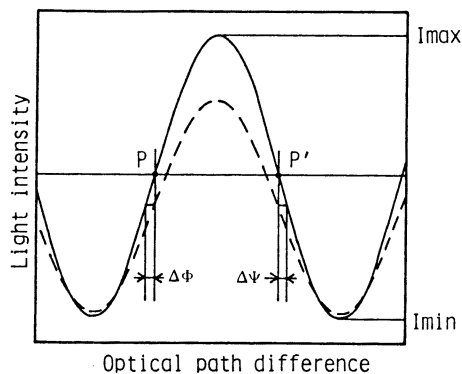


Fig. 1 Interference light intensity changes versus optical path difference. A dotted line means the change when the light intensity from a surface becomes lower

* 原稿受付 平成元年11月6日。昭和63年度精密工学会秋季大会学術講演会(昭和63年10月5日)にて発表

** 正会員 金沢大学工学部(金沢市小立野2-40-20)

*** 正会員 (株)神戸製鋼所(神戸市西区高塚台1-5-5)

† (株)レオ技研(神戸市垂水区神楽台5-22-8)

†† 正会員 大阪府立大学工学部(堺市百舌鳥梅町4-804)

からの反射光の複素振幅 $A(x, t)$ を、振幅の絶対値 a 、干渉光の波数 k 、角周波数 ω 、測定面の凹凸 $h(x)$ を用いて次のように表す。

$$A(x, t) = a \exp[i\{-2kh(x) - \omega t\}]$$

同じく参照光の複素振幅 $B(t)$ を、振幅の絶対値 b 、位相 δ を用いて

$$B(t) = b \exp[i\{\delta - \omega t\}]$$

と表す。すると、P点での干渉光強度 $I_p(x)$ は $\delta = \pi/2$ とすると次式となる。

$$I_p(x) = |A(x, t) + B(t)|^2 \\ = a^2 + b^2 - 2ab \sin\{2kh(x)\}$$

この $I_p(x)$ より $\sin\{2kh(x)\}$ を求めると

$$\sin\{2kh(x)\} = -\frac{I_p(x) - (a^2 + b^2)}{2ab} \quad (1)$$

となる。いま反射率に変動があり、振幅の絶対値が a から $a(x)$ になった時、 $h(x)$ は本当は

$$\sin\{2kh(x)\} = -\frac{I_p(x) - \{a(x)^2 + b^2\}}{2a(x)b} \quad (2)$$

で計算されるべきである。式(2)で計算すべき所を式(1)で計算して得られた凹凸を $h'(x)$ とすると、式(2)の $h(x)$ との関係は両式から $I_p(x)$ を消去して次式となる。

$$\sin\{2kh'(x)\} = \frac{a(x)}{a} \sin\{2kh(x)\} - \frac{a(x)^2 - a^2}{2ab} \quad (3)$$

ところで P' 点近傍では、 $2kh(x)$ と $2kh'(x)$ の位相が共に π だけ違うためこの関係が次のようになる。

$$\sin\{2kh'(x)\} = \frac{a(x)}{a} \sin\{2kh(x)\} + \frac{a(x)^2 - a^2}{2ab} \quad (4)$$

いま、 $\Delta\phi$ と $\Delta\psi$ を解析的に取り扱うため、測定面の粗さが小さいとして $\sin\{2kh(x)\} \approx 2kh(x)$ と近似すると(波長を 546 nm, $h(x)$ を 9.0 nm とすると $2kh(x) \approx 0.21$ となり、この近似は 0.7% の誤差しか生じない)、P点近傍では式(3)より

$$2kh'(x) = \frac{a(x)}{a} 2kh(x) - \frac{a(x)^2 - a^2}{2ab}$$

となる。故に $\Delta\phi$ は次式となる。

$$\Delta\phi = 2kh'(x) - 2kh(x) \\ = \left\{ \frac{a(x)}{a} - 1 \right\} 2kh(x) - \frac{a(x)^2 - a^2}{2ab} \quad (5)$$

同様に $\Delta\psi$ は式(4)より次式となる。

$$\Delta\psi = \left\{ \frac{a(x)}{a} - 1 \right\} 2kh(x) + \frac{a(x)^2 - a^2}{2ab} \quad (6)$$

式(5)、(6)において測定面と参照面は反射率が同程度として $a \approx b \approx a(x)$ とすると第1項は第2項の $2kh(x)$

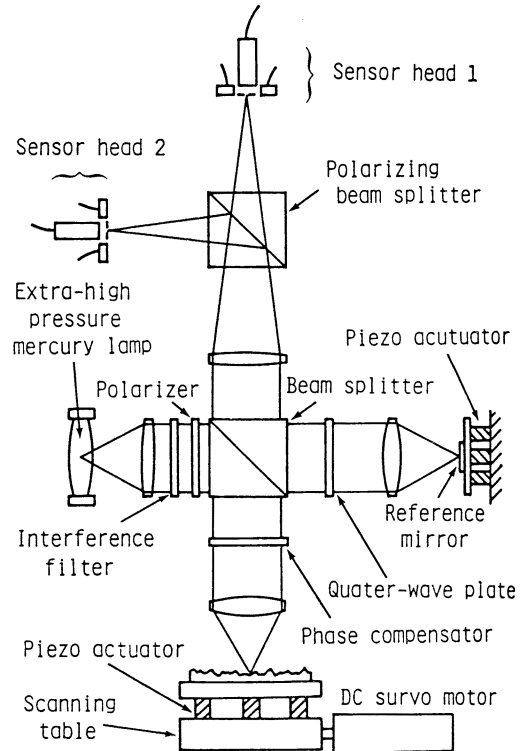


Fig. 2 An optical system of the profilometer which is not affected by the reflectivity variations on a surface: Sensor head 1 detects the interference light intensity of the point P. Sensor head 2 detects that of the point P'

倍であり、 $2kh(x) < 0.2$ の場合には 1/5 倍以下となる。 $h(x)$ がより小さくなれば、大きさのほとんどは第2項が占めるようになり、P点と P' 点での誤差は絶対値がほぼ等しく、符号が逆の成分として影響することが分かる。

そこで、P、 P' の二つの干渉状態において干渉光強度を同時に測定し、それらの光路差を平均することによって、 $\Delta\phi$ と $\Delta\psi$ を大幅に打ち消すことが可能となり、反射率にあまり影響されないで精度良く測定点の光路差を求めることができる。

3. 測定装置の構成

波長板は偏光方向により屈折率が異なるため、我々は波長板を用いることにより、一つの干渉計内で偏光方向により光路差が異なる二つの干渉状態を同時に実現できると考えた。

作製した装置を図2に示す。基本光学系にリニーク型の干渉顕微鏡を用いる。超高压水銀灯からの光を干渉フィルタに通して準単色光 ($\lambda = 546 \text{ nm}$) にしたものを偏光板を用いて水平方向から $\pi/4$ の方向の直線

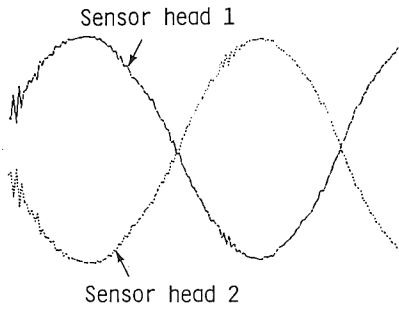


Fig. 3 A signal of the sensor head 1 and that of the sensor head 2 when the reference mirror is moved by a piezo actuator

偏光にする。参照光路に $\lambda/4$ 波長板を挿入してあり、直線偏光の内、水平偏光成分ならびに垂直偏光成分に関して、往復で位相が π だけずれた二つの参照波面が作られるようにしている。観測光路中の位相補正板はガラス板であり、 $\lambda/4$ 波長板による干渉像のひずみを補正している。測定面からの反射光には水平偏光成分と垂直偏光成分に位相差はほとんどなく、参照光の同じ偏光方向成分の光と干渉した後、偏光ビームスプリッタにより分離される。そして、それぞれのセンサヘッドで測定点と周辺部の干渉光強度が測定される。ここでピエゾ素子は先にも述べたが、一方の干渉計をP点近傍に制御するためのアクチュエータである。これらの制御方法と粗さ測定方法の詳細は前の報告を参照されたい¹⁾。

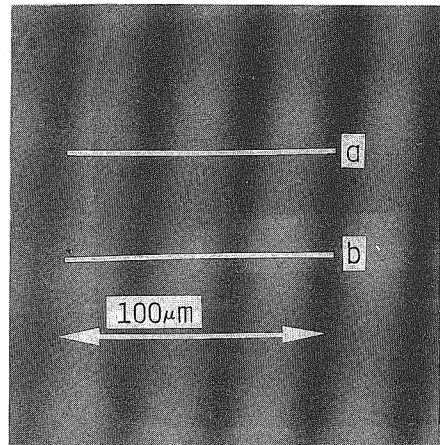


Fig. 4 An interference microscope photograph of a rigid disk head : Lines a, b are paths where the profiles are measured

4. 反射率の異なる試料の測定結果

まず、この装置でピエゾ素子を駆動し光路差を強制的に変化させた場合にセンサヘッド1と2で同時に測定される干渉光強度の変化を調べた。結果を図3に示す。ほぼ正確に光路差が π だけずれている二つの干渉状態が実現されていることが分かる。

次に、反射率が場所によって変化している試料として固定磁気ディスクヘッド³⁾を取り上げて形状測定を行った。このヘッドは磁気記録部に2種類の材料を用いており、場所によって反射率が異なっている。この

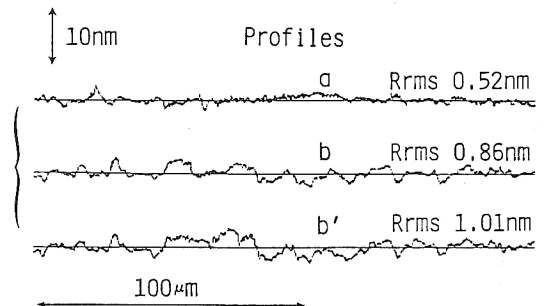
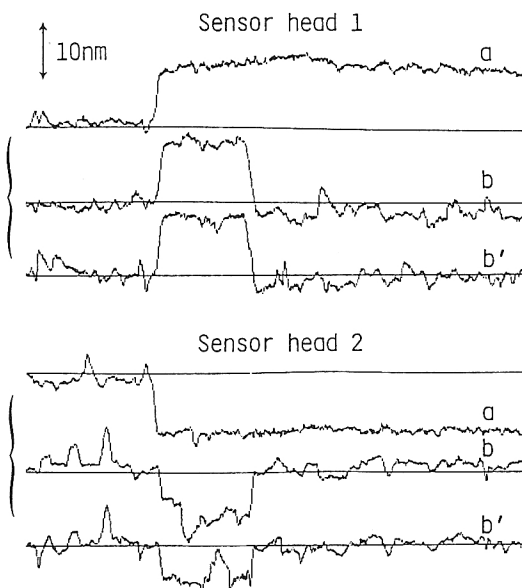


Fig. 5 The signals of the sensor head 1 and those of the sensor head 2. Profiles are calculated from the both signals : a and b mean the measured paths in Fig. 4 and b' means nearly the same path as b

干渉顕微鏡写真を図4に示す。干渉じまの変化から材料の境界ではあまり段差を持たず反射率のみ変化していることが分かる。この表面の形状を線a, bの2つの経路に沿って測定した。結果を図5に示す。b'はb近傍での繰返し測定結果である。センサヘッド1のみから求められた見掛けの光路差は、反射率が異なる場所に大きな矩形段差を持つ。しかし、 π だけ位相差が異なるセンサヘッド2から求められた見掛けの光路差と平均すると(平均をプロファイルとして示した)、矩形段差は消えほぼ平坦な表面形状が得られる。この形状は線a, bの2つの測定経路ともほぼ同じである。この結果は図4の干渉じまが意味するほぼ平坦な形状と矛盾なく一致する。

なお、反射率の変動率は図5の結果から逆算すると27%と見積られた。

5. 結 言

上下振動の影響を受けないで高精度に粗さ曲線を測

定する方法として、先に提案したオプティカルスキッド法¹⁾では、測定点の反射率の変動により測定誤差が生じた。この誤差を補正するための方法とその結果について述べた。結果を以下にまとめる。

- (1) 波長板と偏光を利用することにより、物理的に一つの干渉計を用いて二つの干渉状態を実現できることが分かった。
- (2) (1)の方法をオプティカルスキッド法に組み込むことにより、反射率による測定誤差の大幅な補正が行い得た。

参 考 文 献

- 1) 安達正明, 三木秀司, 中井康秀, 川口 格: 上下振動の影響を受けない粗さ測定法(第1報), 精密工学会誌, **56**, 1 (1990) 140.
- 2) 宮田威男: 超精密加工技術と短波長光学部品への応用, 応用物理, **58**, 6 (1989) 842.
- 3) 固定ディスクヘッド (HRHCA 1 Series), アルプス電気(株)製.

編 集 後 記

技術の発達の歴史は素材ぬきには語れない。我々の目の前にある便利な道具はある種の素材からできている。産業革命が素材あつての技術であったように、今後の技術の発展も素材にかかっているといて過言でない。以前のような有機・無機といった化学の分類の枠をこえて、遺伝子工学を応用した分子設計技術による先端材料の開発が進む中で、現在開発中の新素材の数はおよそ計り知れない。しかしこうした先端材料の設計製造技術の詳細が明らかにされている例はほとんどない。

本特集は会誌編集委員会で話題になったプラスチック素材やその技術を林編集幹事と筆者が共同でまとめたものである。特集の意図はプラスチック技術の展望を始めて、既に実用化されたエンジニアリングプラスチックあるいは機能性高分子の例や複合化技術、将来技術などの解説と、当面の課題であるプラスチック廃棄物の処理問題を取り上げて、その現状と将来を探ろうとしたものである。

執筆依頼作業を進める段階で、この素材についてもはや全体をレビューすることがきわめて困難になってきている

ことを知り、改めて技術の進歩の早さに驚いている。こんにち新素材に限らずあらゆる種類の情報は計算機の容量を制限しなければデータベースとしていくらかでも蓄えることができる状況にある。しかしこれを有効に活用するための総合化技術ははなはだ遅れている。蓄積され続ける膨大な資産を利用しやすい形で残すにはどうしたらよいかを早急に検討することが今後の我々の重要な課題となろう。そうでないとこれを次世代に引き継ぐとき、相続税の対象にもならない二束三文の値打しかない『粗大ゴミ』ということになりかねない。(本間 恭二)

