

## 研究

2 光束走査型レーザーヘテロダイン干渉による  
ギャップの精密測定法

藤 田 宏 夫

シチズン時計(株)技術研究所 〒359 所沢市下富 840

(1992年9月17日受付, 1992年11月19日受理)

Precise Gap Figure Measurement Method Using Laser  
Heterodyne Interferometry with Two-Beam Scanning

Hiroo FUJITA

Technical Laboratory, Citizen Watch Co., Ltd.,  
840, Shimotomi, Tokorozawa 359

(Received September 17, 1992; Accepted November 19, 1992)

A 3-D surface profile measurement system for measuring step-height and lateral dimension of a gap with submicron size and its experimental results are described. This system is based on the differential heterodyne with two-beam-scanning. The two beams at different frequencies are generated from an acoustooptic deflector by driving an electrical signal which has two frequency components. The two beams with preferable synthetic light intensity distribution are scanned on the gap at  $0.02 \mu\text{m}$  step distance. The AC and DC signal components of the reflected light signal are detected individually at the same time. From the phase change of the AC signal, the step-height is measured with accuracy of  $\pm 1 \text{ nm}$ . From the light intensity change of the DC signal, the gap dimension is measured with accuracy of  $\pm 20 \text{ nm}$ .

## 1. はじめに

サブミクロン領域までに微細加工された3次元形状を持つパターン寸法、段差の両方を工業計測の場でインライン測定するニーズが高まっている。寸法、高さ形状の両方を光学的に測定する装置としてレーザー走査型共焦点顕微鏡<sup>1-3)</sup>がある。これは、微小スポットに集光したレーザー光を走査し、物体面からの反射光を対物レンズに対して物体面と共役点となる位置(再結像位置)でピンホールを通して点検する。ピンホールを用いないで反射光を面検出する非共焦点系と比べると、共焦点系では最大で2倍程度分解能が向上し、回折限界を超えたサブミクロン領域での寸法測定が可能である。

この共焦点系では物体表面からの反射光のうちで焦点位置からの反射光だけをピンホールを通して選択的に検出するため、オプティカルセクションングとして高さ形状測定に応用される<sup>4)</sup>。この高さ分解能は照射ビームの

焦点深度、物体面を焦点方向に移動させる単位距離に応じて決まるが、対物レンズで決まる焦点深度の制約により実用上の高さ分解能は  $0.2 \mu\text{m}$  程度である。

高さ変化を数 nm の分解能で測定するには光ヘテロダイン干渉法<sup>5-7)</sup>が有効である。これは周波数の異なる2光波を干渉させて差周波数のビート信号を検出し、ビート信号の位相変化から高さ形状を測定する。しかしヘテロダイン干渉をサブミクロン領域での寸法測定に応用した例は今まで報告されていない。基材部上に形成された反射率の異なる微細なギャップの寸法が  $1 \mu\text{m}$  以下で、基材部とギャップとの段差が数十 nm であるとき、従来はレーザー走査型共焦点顕微鏡で寸法を測定し、光ヘテロダイン干渉法で段差を測定していた。別々の測定装置を必要とするため、一つの測定装置で寸法と段差が測定できることが望まれていた。

われわれは、音響光学素子(AO)を用いた2光束走査型レーザーヘテロダイン干渉計<sup>8,9)</sup>をベースとし、一

つの測定装置で寸法と段差の両方を同時に測定する新規な測定法を開発した。特定の合成強度分布を持つ2ビーム光を精密に走査し、ギャップからの反射光信号の交流成分と直流成分を分離して個別に検出する。交流信号の位相から段差を測定し、直流信号の反射光強度から寸法を測定する。本測定法の最大の特徴はサブミクロン寸法測定を可能にしたことである。従来の寸法測定ではパターンのエッジを検出することが必要で、共焦点顕微鏡を用いた場合でも、パターンの反射率分布によって変化する反射光強度信号を2値化して半値幅からエッジを検出していた。しかし、サブミクロン寸法になると半値幅と寸法が比例しなくなり、正確な寸法測定ができなくなるという欠点が生じる。本測定では2値化を行わず、2ビーム光の走査に伴って変化するヘテロダイン干渉光の直流成分の極大、極小強度値から寸法を測定する。

本報告では段差、寸法の同時測定を可能にする測定原理と装置構成について述べ、磁気ヘッドのギャップ計測に応用したときの測定結果を示す。

## 2. 測定原理とシステム構成

Fig. 1 に開発した測定装置のシステムブロック図を示す。2光束走査型ヘテロダイン干渉では、周波数が異なり接近した光路で進行する二つのレーザー光を発生させること<sup>8-10)</sup>、および反射光を精密に検出するために2ビーム光の精密な走査が必要である。これらの要求を満たすために本システムでは AO を用いた。

高周波数  $f_a$  と低周波数  $f_m$  の交流信号に対して振幅変調を行い、2周波数成分  $f_a \pm f_m$  を持つ信号で AO を駆動すると、AO からは周波数が異なる2ビーム光が発生する。周波数  $f_a$  は2ビーム光走査を制御し、周波数  $f_m$  は2ビーム光分離を制御する<sup>9,10)</sup>。2ビーム光をビームスプリッター (BS) で2方向に分割し、BS で反射し

た2ビーム光を受光器 R で検出して参照光信号を作成する。この参照光信号は位相検出の際の基準位相を与える。BS を透過して進行する2ビーム光を対物レンズで微小スポットに集光して物体面上に照射する。物体面上での2ビーム光の個々のビームのピーク強度間距離は周波数  $f_m$  に比例する。 $f_m$  を制御してピーク強度間距離を個々のビームスポット径以下の距離にし、2ビーム光の合成強度分布を特定の分布に設定する。物体面で反射した2ビーム光はもとの光路を逆進して BS で反射され、受光器 S で検出して反射光信号を作成する。

振幅  $A_1, A_2$ , 周波数  $\omega_1, \omega_2$ , 位相  $\phi_1, \phi_2$  を持つ2ビーム光の複素振幅を

$$\begin{aligned} E_1(x, t) &= A_1(x) \exp \{i[\omega_1 t + \phi_1(x)]\} \\ E_2(x, t) &= A_2(x) \exp \{i[\omega_2 t + \phi_2(x)]\} \end{aligned} \quad (1)$$

としたとき、2ビーム光が干渉したときの強度  $I$  は、

$$\begin{aligned} I(x, t) &= A_1^2(x) + A_2^2(x) \\ &\quad + 2A_1(x)A_2(x) \cos[\Delta\omega t + \Delta\phi(x)] \end{aligned} \quad (2)$$

となる。 $\Delta\omega, \Delta\phi$  は2ビーム光の間の周波数差、位相差で、 $\Delta\omega = 4\pi f_m$ ,  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$  である。

(2)式は直流成分  $A_1^2(x) + A_2^2(x)$  に交流成分  $2A_1(x)A_2(x) \cos[\Delta\omega t + \Delta\phi(x)]$  が重畳された信号である。受光器 R, S で検出される参照光信号、反射光信号は同一の周波数成分を有するが、振幅、位相は異なる信号である。参照光信号については交流成分のみを検出する。反射光信号については直流成分と交流成分を分離して個別に検出し、直流成分から寸法を測定、交流成分の位相変化から段差を測定する。

直流成分は2ビーム光が照射された位置での反射光強度を表し、表面の反射率分布と、ガウス型分布が合成された2ビーム光の合成強度分布に応じて変化する。ヘテロダイン干渉では位相検出が主であるが、強度検出を行う例として、光ヘテロダインレーザー顕微鏡がある<sup>11,12)</sup>。

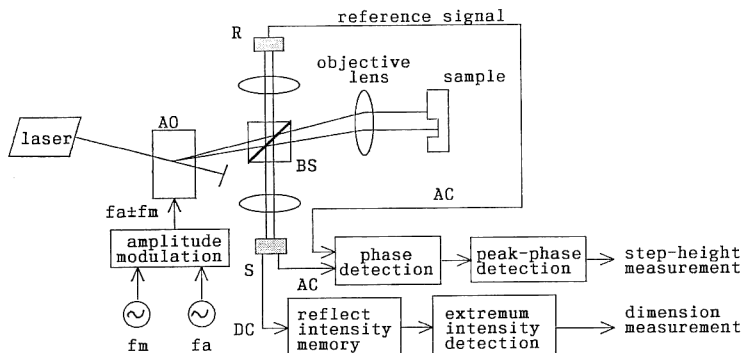


Fig. 1 Block diagram of step-height and lateral dimension measurement system based on two-beam scanning type differential laser heterodyne method.

この顕微鏡では参照光と反射光の波面が合致するときの交流成分の強度を測定しているが、直流成分は単なるバイアス項として計測には用いられていなかった。本測定システムにおける直流成分  $A_1^2(x) + A_2^2(x)$  は2乗和で変化するため、積で変化する交流振幅  $2A_1(x)A_2(x)$  よりも感度良く表面の反射率分布が測定できる。

2ビーム光を物体面上で走査したとき、各走査位置で検出される反射光強度をメモリー回路に記憶する。走査の一周期では特定のW型形状を持つ反射光強度パターン信号が検出される。この反射光強度パターン信号において、2ビーム光の中心およびピーク強度位置がギャップの中央部に照射された位置での反射光強度値を検出する。この強度は反射光強度パターン信号の強度変化が極値となる位置で得られ、極大と極小強度の二つの強度を持つ。この極値強度はギャップ寸法、反射率差に応じて固有の値をとり、極値強度を寸法に変換する。

交流信号成分は周波数  $2f_m$  のビート信号で、通常のヘテロダイン干渉で検出される信号である。参照光信号の位相  $\phi_r$  は一定値、反射光信号の位相  $\phi_s$  はギャップ段差に応じて変化するため、位相  $\phi_r$  を基準としたときの位相  $\phi_s$  の変化を検出して段差を測定する。 $\lambda$  をレーザー光の波長としたとき、2ビーム光の光路長差(段差)  $\Delta h$  と位相  $\phi_s$  の変化  $\Delta\phi_s$  の関係は

$$\Delta h = \lambda \Delta\phi_s / 4\pi \quad (3)$$

で表される。波長が 633 nm の He-Ne レーザーを用いた場合、位相の  $1^\circ$  は 0.88 nm (1/720 波長) に相当する。位相変化を  $|\pi|$  の範囲で検出すると、 $|\lambda/4|$  ( $\sim 0.15 \mu\text{m}$ ) までの段差が測定できる。直流の反射光強度検出と同じく各走査位置で検出された位相データをメモリー回路に記憶し、位相変化のピーク値を検出する。この位相ピークは2ビーム光の各ピーク強度位置がギャップの中心位置に照射されたときに得られる。2ビーム光の各々が基材部に照射されているときの基準位相とピーク位相

の差の位相からギャップ段差を測定する。

### 3. 2 光束走査型ヘテロダイン干渉計の光学系

Fig. 2 に本測定装置の光学系の構成を示す。AO は Intraaction Corp. の ADM-40 を用いた。ADM-40 はキャリア周波数  $f_c$  が 30~50 MHz の範囲で変化し、回折1次光の偏向角度が 3.25 mrad 変化する。直流電圧を電圧制御発振器で周波数  $f_a$  の交流信号に変換して走査を制御するが、本システムでは 1 V の振幅を持つランプ波信号の電圧幅を 1/2000 分割 (0.5 mV ステップ) して2ビーム光をステップ状に走査する。

$f_1 \sim f_7$  は各種レンズで、このうち  $f_1, f_4$  はシリンドリカルレンズ、他は凸レンズである。He-Ne レーザー光源から放射された 2 mW 強度で直線偏光のレーザー光はレンズ  $f_1, f_2$  により紙面に平行な面内に広がり、紙面に垂直な面内に集光するシートビームに変換されて AO に入射する。AO は通常の回折1次光がさらに  $\pm 1$  次光に分離された2ビーム光を発生する。シートビームはレンズ  $f_3, f_4$  により再び円形ビームに変換され、発散光として偏光ビームスプリッター (PBS) に入射する。シリンドリカルレンズ  $f_1, f_4$  の屈折作用面は互いに直交する方向に設定し、レンズ  $f_3, f_4$  の共通焦点位置に反射ミラー (M) を設置する。PBS により 20% 程度反射された2ビーム光をレンズ  $f_7$  で集光して受光器 R で検出し、交流の参照光ビート信号を作成する。PBS を透過した 80% 程度の強度を持つ2ビーム光をレンズ  $f_5$  でコリメートして  $1/4$  波長板を透過させ、対物レンズ  $f_6$  (NA = 0.45) で微小なスポットに集光してギャップ上を走査する。ギャップから反射した2ビーム光を受光器 S で検出して反射光ビート信号および反射光強度信号を検出する。ギャップ上を走査する2ビーム光の走査距離  $D_a$  および2ビーム光のピーク強度間距離  $D_p$  は

$$D_a = f_3 \cdot f_6 \cdot \theta_i / f_5$$

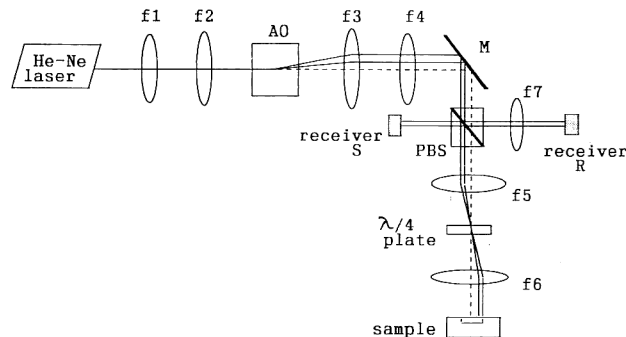


Fig. 2 Optical arrangement of the measurement system.

$$D_p = 2D_a \theta_m / \theta_t \quad (4)$$

で表される。ここで  $f_3, f_5, f_6$  はそれぞれレンズ  $f_3, f_5, f_6$  の焦点距離,  $\theta_t$  は2ビーム光の全偏向角度 (3.25 mrad),  $\theta_m$  は2ビーム光の分離角度である。  $\theta_m$  は周波数  $f_m$  が 100 kHz のとき  $\sim 30 \mu\text{rad}$  程度である。

本光学系では走査距離  $D_a$  を  $40 \mu\text{m}$  に設定し,  $0.02 \mu\text{m}$  ステップ距離で2ビーム光を走査する。ギャップ上での2ビーム光は  $1 \mu\text{m}$  程度の距離に分離され, ほとんど同一の光路を進行する。したがって焦点方向の振動が生じて2ビーム光の間では互いにキャンセルされ, 振動の影響を受けにくい。そのため光学系は簡易的な防振台上に設置するだけでよい。

本光学系では受光器 R, S に入射する2ビーム光は走査に応じて受光器上での入射位置が変化すること, および2ビーム光の干渉波面を検出するために, ピンホールを用いた共焦点系の構成ができない。そのため反射光を集点位置からわずかにはずれた位置で面検出する非共焦点検出とするが, 物体面に対しては実質的に再回折面での検出であり, 特に寸法測定に関してはギャップの幾何学的変化に対応する反射光強度が検出できる。

#### 4. 寸法と段差の同時測定結果

Fig. 3 にギャップの形状例とその面上で走査する2ビーム光の強度分布波形を示す。測定対象は磁気ヘッド (MH) のトラック部に形成されたギャップ部の段差および寸法である。トラック部とギャップ部は反射率, 材質硬度が異なる部材で構成されている。トラック表面を研磨加工するとき, ギャップ部はトラック部表面から数

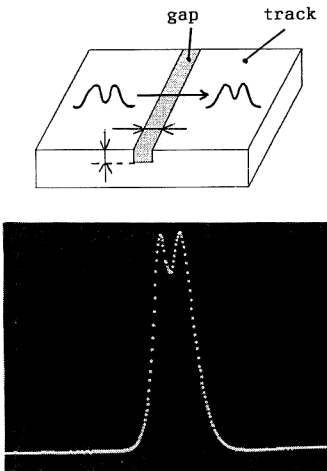


Fig. 3 Schematic gap pattern of the magnetic head and waveform of synthetic light intensity distribution of the irradiating two beams.

十 nm 程度の窪みが生じる。磁気記録特性を高めるためにはこの段差が小さいこと, ギャップ幅はサブミクロン寸法にする必要がある。2ビーム光を構成する個々のビームのビーム直径 (13.5% の強度点) は  $2 \mu\text{m}$  で, ピーク強度間距離を  $1.5 \mu\text{m}$  程度に設定したときの合成強度分布は M 型形状となる。このときの周波数  $f_m$  は 250 kHz である。この2ビーム光を  $0.02 \mu\text{m}$  ステップで走査する。

Fig. 4 に検出された位相変化と反射光強度変化を示し, 比較用に同じ試料を原子間力顕微鏡 (AFM) で測定した結果を Fig. 5 に示す。寸法は走査型電子顕微鏡 (SEM), 段差は AFM で比較した。ギャップ段差は 16 nm, ギャップ寸法は  $0.76 \mu\text{m}$  である。本測定は差動型であるため, 得られる位相は高さ変化の微分となる。2ビーム光の間の位相差は, 一方のビームがトラック面上, 他方のビームの強度最大部がギャップ中央部に照射されているとき最大になり, このときの位相差が段差に相当する。この照射状態は1回の走査で2回存在し, 位相変化の正負のピークになる。ピーク間位相差は  $38^\circ$  で, その距離は 34 nm である。トラック部に2ビーム光が照射されているときの基準位相は表面粗さなどの影響で変動するため, 本測定ではピーク間位相差の半分の

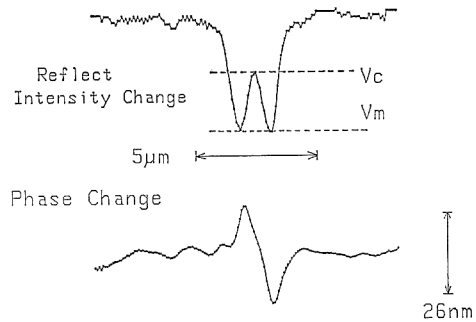


Fig. 4 Experimental results of the phase change and the reflected light intensity change obtained from the gap shown in Fig. 3.

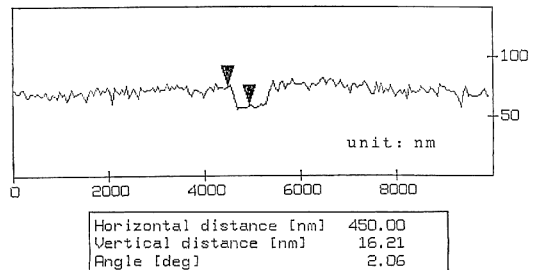


Fig. 5 Measurement result of step-height and lateral dimension of the gap using AFM.

位相差から段差を測定した。したがってギャップ段差による位相差は  $19^\circ$  で  $17\text{ nm}$  となり、AFM による測定と  $1\text{ nm}$  の差であった。なお、本測定における位相検出分解能は  $0.1^\circ$  ( $\sim 0.1\text{ nm}$ ) である。AFM のプローブ先端径は  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  で、 $\sim 5\text{ nm}$  のトラック表面粗さが  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  の横分解能で測定されている。これに対して本測定では照射ビーム直径が  $2\text{ }\mu\text{m}$  であるため、照射スポットの内部で表面粗さによる位相変化が平均化されてしまい、微小な位相変化検出の横分解能が低下してしまうという問題点が残るが、平均としてのギャップ段差が測定される。

このギャップ段差測定では一方のビームのピーク強度位置がギャップ中心に照射された状態で、他方のビームの強度の高い領域がギャップ段差部に照射されないように2ビーム光の強度分布を設定することが必要である。

ピーク強度間距離がビームスポット径の50%以下になれば実質的に1ビーム光の状態になり、一方のビームのピーク強度部がギャップ段差部に照射されているとき、他方のビームの強度最大部も同時に段差部に照射されることになる。この場合は検出される位相差は実際の位相差よりも小さくなる。本例では検出した位相変化波形の二つの位相ピーク間の距離は2ビーム光のピーク強度間距離に等しいため、位相情報からは寸法測定ができない。ギャップ寸法が照射ビーム径より大きくなれば、位相のピーク間距離は寸法に対応し、位相ピーク位置から寸法が測定できる<sup>9)</sup>。

直流の反射光強度を検出したときの反射光強度パターン信号 (RIP 信号) は走査の一周期でW型のパターンを示す。それはギャップ部の反射率がトラック部の反射率よりも低いためである。この RIP 信号で極小強度値  $V_m$  と極大強度値  $V_c$  を検出する。ここで極値強度は強度の絶対値ではなく、2ビーム光の両方がトラック面上にあるときの基準強度に対する相対強度で表す。極小強度  $V_m$  は2ビーム光の一方のビームの強度最大部がギャップの中心位置に照射されているときに得られ、極大強度  $V_c$  は2ビーム光の中心位置がギャップ中央部に照射されているときに得られるが、極値強度は2ビーム光の強度分布、ギャップ寸法、部材の反射率に応じて変化する。各反射率ごとに極値強度は寸法に対して固有の値をとる。

本例では極大強度  $V_c=91.8\%$ 、極小強度  $V_m=83.9\%$  である。このとき、極大強度  $V_c$ 、極小強度  $V_m$  の強度変化の1%はそれぞれ  $0.08\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.04\text{ }\mu\text{m}$  に相当し、反射光強度を10ビットのA/Dコンバーターで検出したとき極値強度の検出分解能は0.2%である。測定の繰

返し安定度は極小強度  $V_m$  の場合に  $\pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ 、極大強度  $V_c$  の場合に  $\pm 0.04\text{ }\mu\text{m}$  であった。ギャップ反射率が未知の場合は後述するように極大、極小強度の両方を検出する必要があるが、反射率が既知で一定の場合には、寸法への変換精度の良い極小強度  $V_m$  のみを検出して寸法を測定することもできる。

## 5. 極値強度検出による寸法測定

Fig. 6 に RIP 信号のシミュレーション波形例を示す。ここでは、トラック部に対するギャップ部の相対反射率を  $r_g$  ( $r_g < 1$ ) とし、単一のガウス型強度分布のビーム直径 (13.5% 強度) を1に規格化したときの2ビーム光のピーク強度間距離を  $D$  ( $D < 1$ ) とする。同じくギャップ寸法を単一のビーム直径に対する相対寸法  $g$  ( $g < 1$ ) で表す。照射2ビーム光の強度分布に対するギャップ部の反射率変化の幾何学的関係から定まる反射光強度について計算した。

波形の横軸は2ビーム光の走査距離、縦軸は相対的な反射光強度で、トラック面上での反射光強度を100%とした。波形は  $r_g=0.25$ 、 $D=0.7$  の場合に、寸法  $g$  をパラメータとしたときの RIP 信号の形状変化を表す。寸法  $g$  が大きいときはV型であるが、寸法が小さくなると従ってW型パターンに変化し、極値強度も寸法  $g$  に応じて変化する。同じ寸法に対しては、 $D$  が小さくなると RIP 信号はV型であるが、 $D$  が大きくなるとW型に変化するとともに極大、極小強度の差が大きくなる。RIP 信号は2ビーム光の強度分布、ギャップ寸法に応じて各種の形状、極値強度をとるため、測定感度の良い極値強度が検出できるように2ビーム光のピーク強度間距離  $D$  を設定する。なお、W型パターンの極小強度間距離は

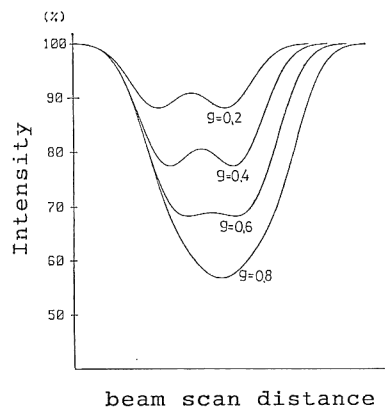
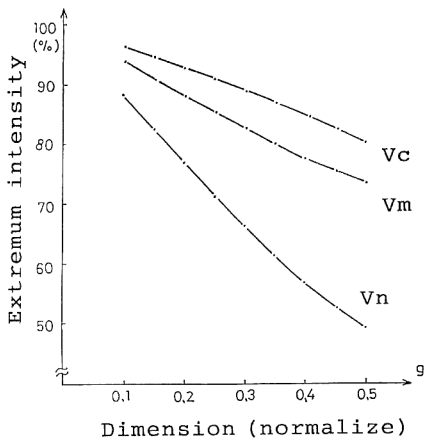


Fig. 6 Simulational reflected light intensity pattern obtained when scanning the two-beam on the gap shown in fig. 3.

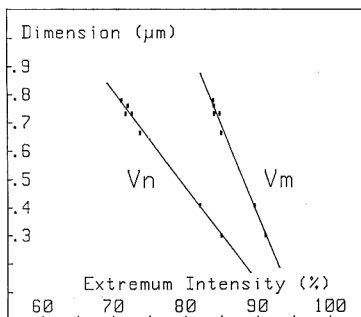


**Fig. 7** Simulational result of the correlation between dimension and extremum light intensity of the W-type reflected light intensity pattern signal.

2ビーム光のピーク強度間距離になる。

**Fig. 7** に極値強度と寸法の関係のシミュレーション例を示す。極値強度  $V_c$ ,  $V_m$  はピーク強度間距離  $D=0.8$ ,  $r_g=0.25$  の場合である。比較のために1ビーム光走査を行ったときに得られるV型RIP信号による極小強度  $V_n$  も示す。寸法  $g$  が  $0.15 < g < 0.4$  の場合には三つの極値強度は実質的に寸法に比例して変化し、寸法への変換感度は  $V_n$ ,  $V_m$ ,  $V_c$  の順に高い。本光学系ではビームスポット径は  $\sim 2\mu\text{m}$  であるため、 $0.3\sim 0.8\mu\text{m}$  の範囲で極値強度が寸法に比例する。

**Fig. 8** に極値強度と寸法の相関の測定結果を示す。用いたMHのギャップ反射率が既知で一定の場合は極小強度  $V_m$  を検出した。比較のためにV型パターンの極小強度  $V_n$  の相関も示す。いずれの強度についてもリニアリティーの相関が良く、偏差は  $\pm 0.02\mu\text{m}$  以内である。一般的にはV型パターンでの極小強度  $V_n$  のほうが

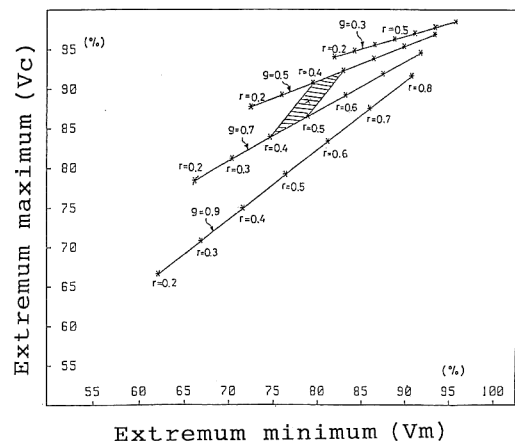


**Fig. 8** Experimental result of the correlation between the dimension and extremum light intensity.

寸法変化に対する極値強度の変化が大きく、寸法への変換精度が高い。寸法、段差の同時測定の場合は2ビーム光走査が必要であるが、別々の測定でも良いときは1ビーム光走査を用いればさらに精度の良い測定ができる。本光学系は反射光を面検出する非共焦点型検出のため、共焦点型で点検出する場合に比べてRIP信号の幅方向での強度変化がブロードとなる。このときRIP信号の幅情報から寸法を測定すると分解能が低下する。しかし、本測定ではRIP信号の縦情報である反射光強度検出を行い、照射スポット内に単一のパターンしか含まれていないために、 $0.3\mu\text{m}$  までリニアリティーの良い寸法測定が可能になる。

2ビーム光走査を用いた寸法測定の特徴を示す。基材部に対するギャップの反射率が未知の場合でも、極大強度  $V_c$  と極小強度  $V_m$  の二つの極値強度の相関から反射率と寸法を分離して検出することができる。Fig. 7 と Fig. 8 に示した寸法と極値強度の相関では反射率が既知である必要があり、反射率が変化するときには新たにその反射率での相関測定を要する。

**Fig. 9** に2ビーム光のピーク強度間距離  $D=1$  の場合の極値強度  $V_m$ ,  $V_c$  の相関のシミュレーション結果を示す。規格化寸法  $g$  をパラメータとしたとき各々の直線上の各点には相対反射率  $r_g$  が図のように対応し、各直線の傾きおよび長さは寸法  $g$  に応じて異なる。斜線で示された領域内の×印で示した極値強度が検出されたときは、補間演算によって寸法  $g$  と反射率  $r_g$  を分離して検出する。この特性は単に寸法測定のみならず材質の同定に利用できる利点がある。しかし、寸法  $g$  が小さくな



**Fig. 9** Simulational correlation between extremum minimum and maximum light intensity. From this correlation dimension and reflectivity of the gap are measured individually.

るに従って反射率変化に対する極値強度の変化, 特に極大強度の変化が小さくなり, 寸法と反射率の分離検出が困難になってくる. 例えば  $D < 0.6$  になると  $g < 0.5$  の場合には, 寸法  $g$  と相対反射率  $r_g$  を分離して検出できなくなる. 寸法が小さいときは NA の大きい対物レンズを使用して照射ビーム径を小さくし, 等価的に  $g$  が大きくなる状態で測定する必要がある.

## 6. ま と め

2 光束走査型ヘテロダイン干渉計を用い, ギャップからの反射光信号の交流成分の位相と直流成分の反射光強度を分離検出して段差, 寸法を精密に測定するシステム構成, 測定結果を示した. AO から発生せられた 2 ビーム光のピーク強度間距離を個々のビーム直径の 75% 程度に設定し, 2 ビーム光を  $0.02 \mu\text{m}$  ステップで走査することで, ギャップ段差を  $\pm 1 \text{ nm}$  精度, 寸法を  $\pm 20 \text{ nm}$  精度で同時に測定することが可能となった. 特に寸法測定では反射光強度パターン信号の極値強度を検出することで, エッジを検出しなくてもリニアリティーの良い寸法測定が可能になる. 本研究を進めるにあたり, AFM, SEM による相関測定にご協力いただいた当所・材料解析グループの渡辺悟りリーダー, 試作センター青木泰氏に感謝します.

## 文 献

- 1) T. Wilson and C. J. R. Sheppard: *Theory and Practice of Scanning Optical Microscopy* (Academic Press, London, 1984).
- 2) 河田 聡, 南 茂夫: “光学走査顕微鏡”, 光学, **18**(1989) 380-391.
- 3) ゴードン・キノ, ティモシ・コール: “共焦点走査型光学顕微鏡”, バリテイ, **5**, No. 3 (1990) 12-21.
- 4) 大出孝博: “走査型カラーレーザ顕微鏡”, O plus E, No. 99 (1988) 79-86.
- 5) G. E. Sommargren: “Optical heterodyne profilometry,” Appl. Opt., **20** (1981) 610-618.
- 6) 中島俊典: “ヘテロダイン干渉法”, 光学, **9** (1980) 266-274; “光ヘテロダイン法とはなにか”, O plus E, No. 150 (1992) 81-84.
- 7) 大谷幸利, 吉澤 徹: “光ヘテロダイン干渉計測技術”, O plus E, No. 150 (1992) 85-90.
- 8) H. Chung, L. M. Walpita and W. S. C. Chang: “Simplified differential phase optical microscope,” Appl. Opt., **25** (1986) 3014-3017.
- 9) 藤田宏夫: “音響光学素子を用いたビーム走査式差動型ヘテロダイン干渉法による 3 次元表面形状計測”, 光学, **21** (1992) 327-332.
- 10) W. Baronian: “Acoustooptic bragg diffraction device and their applications,” IEEE '74 Region Six Conf., pp. 70-77.
- 11) 尾崎政男, 藤井陽一: “2 個の光電子増像管を用いたヘテロダインレーザ顕微鏡”, 第 8 回レーザ顕微鏡研究会講演論文集 (1991) pp. 42-47.
- 12) 小松進一: “ヘテロダインプローブによるレーザ顕微鏡”, O plus E, No. 150 (1992) 115-121.