

## 6.8 新しい超精密形状計測法の開発

シンクロtron放射光施設におけるコヒーレント X 線を用いた干渉実験や顕微鏡を実現するための X 線反射光学素子や次世代半導体製造技術である EUV(Extreme Ultraviolet)リソグラフィーに使用される超精密非球面ミラー等の極めて高い精度のミラーを製作するためには、加工によって得られた形状を正しく評価し、加工プロセス側にフィードバックする必要がある。そこで本プロジェクトでは、新しい原理に基づく高精度形状測定技術の開発を行っている。

### 6.8.1 超精密非球面形状測定装置の開発 [6.8.1-1~4]

高エネルギー加速器研究機構との共同研究により、傾斜角積分型測定法に基づく超精密非球面形状計測法の開発を進めている。一般的に高精度な形状測定を行うためには平面や球面を基準とした干渉計測が用いられるが、原理的に基準面との相対的な形状差を測定することから、測定可能な形状には制限があり、また絶対的な測定精度は基準面の精度に依存する。これに対して、本測定システムでは、測定対象ミラー面上における入射レーザー光と反射光とが重なるように光源の位置および角度を調整し、光入射点における光線ベクトルと法線ベクトルを一致させ、そのときの光源の動きを超高精度なゴニオメータで測定することによって $1 \times 10^{-7}$ rad 以上の絶対精度で法線ベクトルの値を得ることを目指している。この時、同様に求めたミラー面上の各点における法線ベクトルを積分することによって nm レベルの精度で任意曲面の形状を測定することができる。このような基準面を必要としない測定原理に基づく装置開発を行った。図 6.8.1 に表面形状測定の方法を示す。図 6.8.2 に、本測定装置によるミラー1の測定形状と、干渉計による測定形状を示す。本測定および干渉計による測定再現性は、それぞれ 3nm (P-V)、1nm (P-V)であった。測定データの整合性は $\pm 1.5$ nm であることがわかった。この結果より、本測定装置により、

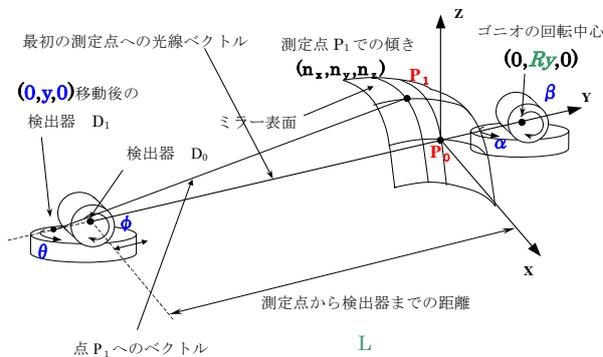


図 6.8.1 光の反射、直進性を利用した表面形状測定の方法

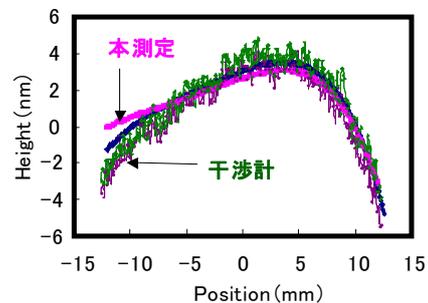


図 6.8.2 本測定装置と干渉計によるミラー形状比較

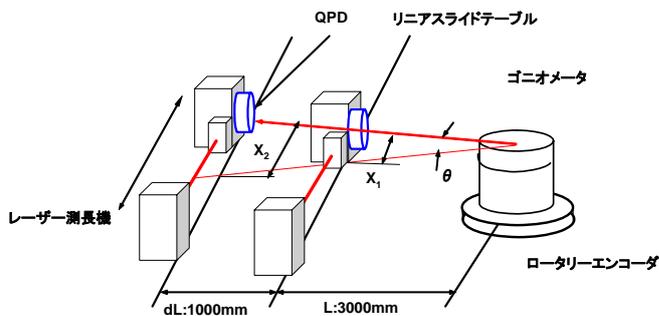


図 6.8.3 ゴニオメータ回転角度校正原理

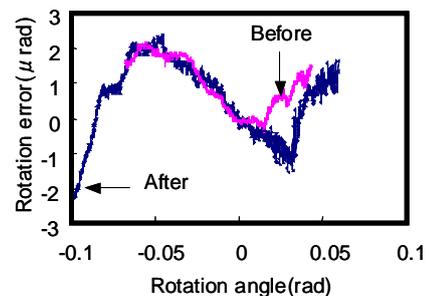


図 6.8.4 ステージ移動前後での角度校正結果

ナノメートルオーダーでの形状計測が可能であることが示された。法線ベクトルを検出するため光線の方向安定性は、30分間で $1 \times 10^{-7}$ radである。試作した測定装置のゴニオメータの運動精度は $\pm 0.5 \mu\text{rad}$ 程度であり、必要精度を達成するためには校正が必要である。そこで、光線の変位量から角度を算出する原理に基づき校正装置を製作した。図 6.8.3 にゴニオメータ回転角度の校正原理を示す。回転運動を行うゴニオメータは図 6.8.4 に示すように $5 \times 10^{-7}$ rad 範囲において $1 \times 10^{-7}$ rad の運動精度を有することを明らかにした。

本測定法を用いて各種サイズの平面ミラー、球面ミラーの形状測定と、楕円ミラー、放物面ミラーなどの非球面の形状測定を行うことができた。各ミラーのスロープの再現性を表 6.8.1 に示す。

表 6.8.1 各種ミラーのスロープ測定再現性

ミラー	1	2	3	4	5	6
材質	SiC	SiO <sub>2</sub>	Si (Pt コーティング)	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> (Al コーティング)	SiO <sub>2</sub>
形状	平面	平面	楕円	平面	球面 (R=300mm)	放物面 (f=150mm)
サイズ	Φ30×10t mm	460×50× 30mm <sup>3</sup>	100×50× 10mm <sup>3</sup>	1000×50× 50mm <sup>3</sup>	φ76×10t mm	φ360mm
測定範囲	25mm	320mm	80mm	700mm	30mm	30mm
測定再現性	0.1μrad	0.2μrad	0.27μrad	0.22μrad	0.5μrad	0.02μrad

各種ミラーを高精度に形状測定するためにはミラーの保持方法が重要である。測定試料を多数点支持して変形することなく固定するため、多数の穴のあいた真空チャックを製作して、多孔質テフロンをミラーと

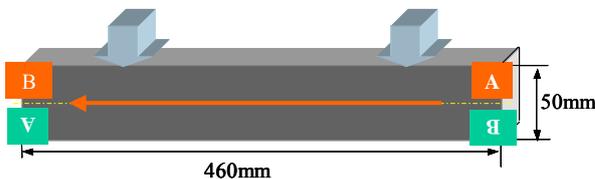


図 6.8.5 460mm 平面ミラー保持概略図と左右を入れ替えた時のミラー位置

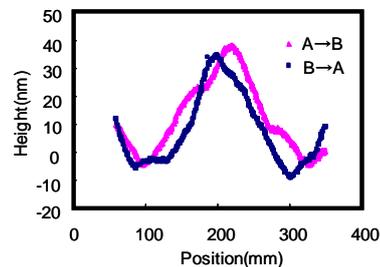


図 6.8.6 ゴニオメータ校正後の左右を入れ替える前後での差分により算出した形状比較

チャックの間に挿入し、図 6.8.5 に示すような長さ 460mm の平面ミラー(ミラー2)を測定して真空チャックの性能を評価した結果、測定の再現性は 6nm であった。平面ミラーの左右を入れ替えて測定した結果、ゴニオメータの角度補正をおこなうことにより、320mm の範囲において $\pm 0.5 \mu\text{rad}$ 、形状にして $\pm 10\text{nm}$  で一致した。図 6.8.7 に X 線集光用楕円ミラー(ミラー3)計測時の保持写真を示す。ミラーを 4 箇所(上下 2 箇所)重力によるひずみ量が最小になる位置で支持している。100mm の範囲で  $15 \mu\text{m}$  の深さをもつ X 線集光用楕円ミラーを測定した結果、 $0.4\text{nmrms}$  の繰り返し性と、日を変えて測定した場合の再現性  $3\text{nmrms}$  を達成した。また RADSI 法と比較した結果、 $5\text{nm}$  (PV) で一致した。

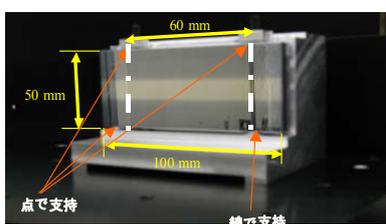
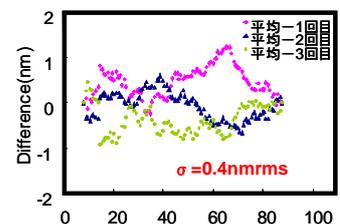
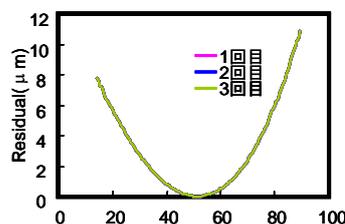


図 6.8.7 X 線集光用楕円の写真



(a)差分法による形状算出結果 (b)3 回の平均値との形状誤差

図 6.8.8 X 線集光楕円ミラー測定繰り返し性

図 6.8.9 に示す 1000mm 巨大平面ミラーを測定した結果、図 6.8.10 に示すように 4nmrms の繰り返し性、9nmrms の再現性を達成した。ミラーサイズが大きくなり重くなると、2 点を支持する保持方法では、保持地点でのたわみが大きくなることが分かった。

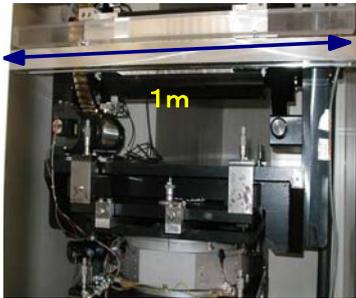


図 6.8.9 1000mm 巨大平面ミラーのセットアップ

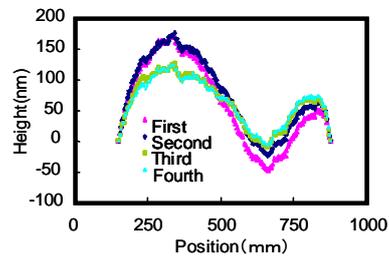
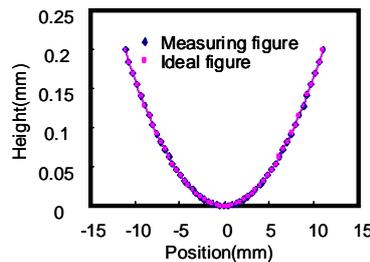


図6.8.10 巨大平面ミラー測定結果  
(差分法により算出した4回の形状)

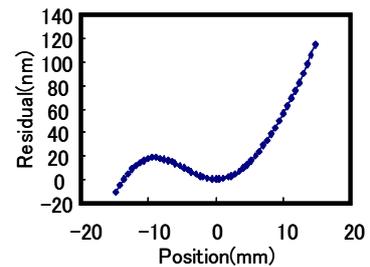
図 6.8.11 に示す曲率半径 304mm の球面ミラーを測定した結果、30mm の範囲において  $0.5\mu\text{radrms}$  の再現性を達成した。曲率が非常に大きいため、反射したビームが安定せず、平面に比べ再現性が悪化する結果となった。しかし、入反射光を一致させることに成功しており、本測定装置により他測定器では測定が困難である形状のミラーを測定できることが分かった。ミラー形状は、図 6.8.12(a)のように 20mm の範囲で 0.2mm の深さをもっていることが分かる。図 6.8.12(b)に示すように理想と測定形状の誤差は 140nm (P-V) である。



図 6.8.11 曲率半径 304mm の球面ミラーの保持



(a)理想形状と測定形状



(b)理想と測定形状の誤差

図 6.8.12 球面ミラー形状

図 6.8.13 に示すような軸外し放物面ミラーの測定を試みた結果、以下のような点が問題となった。

1)ミラーの傾斜が大きくなりレーザーが安定しない、2)手動計測で測定を行ったため、データの平均ができなかった、3)ゴニオメータのキャリブレーション可能範囲を超えていた、4)放物面ミラーの形状精度は数  $10\mu\text{m}$  であった。しかし、今回の実験で放物面上に照射したレーザーが、光学系の検出器に戻ってくることを確認できたことから、本装置を用いて  $f=150\text{mm}$  の軸外し放物面ミラーのスロープ計測が可能であることが分かった。

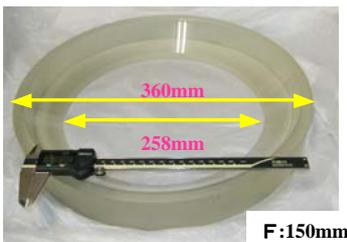
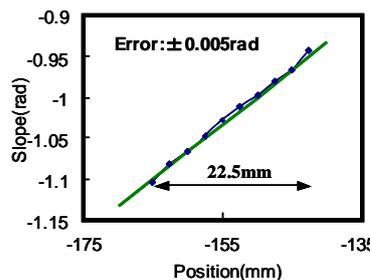
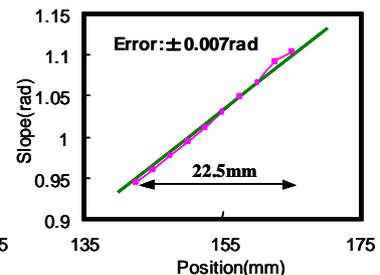


図 6.8.13 放物面ミラーの写真



(a)ミラー左側ライン



(b)ミラー右側ライン

図 6.8.14 軸外し放物面の本測定装置による測定スロープ

本研究により、他測定器では測定が困難である自由曲面ミラーの形状を測定するために原理と導出法を確立した。また以前からの問題であった、ゴニオメータの回転誤差について角度校正を行い、100mm以下の平面に近い形状のミラーであれば、5nm(PV)以下の精度で測定が可能であることを明らかにした。さらに巨大なミラーや曲率の大きなミラーをナノメートルオーダーで測定するためには、1)ゴニオメータの広範囲、高精度での校正、2)測定環境がさらに安定した場所への設置、3)誤差が最小となる形状導出法、が今後の課題といえる。

#### 参考文献

- [6.8.1-1] Y. Higashij, Y. Takaie, K. Endo, T. Kume, K. Enami, K. Yamauchi, K. Yamamura, K. Ueno, Y. Mori: A New Designed High-Precision Profiler, SPIE Annual Meeting(Optics & photonics) Proceedings, San Diego, USA, (2005).
- [6.8.1-2] Higashi, Y. Takaie, K. Endo, T. Kume, K. Enami, K. Yamauchi, K. Yamamura, K. Ueno, Y. Mori, :A new Designed High-Precision Profiler – Study on Mandrel measurement-, XRM2005 International Meeting Proceedings Himeji, Japan, (2005)
- [6.8.1-3] Yasuo Higashi et al.: SRI2006, Proc. of the Ninth International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, May28-June2, DAEGU, EXCO, KOREA, (2006).
- [6.8.1-4] Y. Higashi et al.: Extended Abstracts of International 21st Century COE Symposium on Atomistic Fabrication Technology, (2006).

## 6.8.2 光ファイバ先端から発せられる光の回折球面波を計測基準とした Phase-Shifting Point Diffraction Interferometer の開発[6.8.2-1]

PDI 干渉計は、次世代半導体デバイス作製のための高精細リソグラフィ装置として注目されている、極紫外リソグラフィ (Extreme Ultraviolet Lithography; EUVL) 装置の結像性能評価法や、同装置の光学系を構成する非球面ミラーの形状計測を中心として、アメリカの LLNL や LBNL などを中心に研究がなされている。我々は、HeNe レーザーに結合された 2 本の光ファイバ先端それぞれが作り出す点光源を、参照および診断の球面波源として利用することで、他の PDI 研究には見られない、開口数の大きな光学系の形状計測に対応でき、しかも被検面の形状情報を持つ波面に余計な情報が重乗しない干渉配置をとる、新しいタイプの PS-PDI 装置を開発している。この装置を用いて、直径 200 mm、曲率半径 1500 mm の凹面ミラーの形状計測を行ないながら、サブ nm オーダーの計測精度とその高い再現性を目指している。計測再現性の定量的な評価の一例として、5 回計測して求めた平均形状値と、この 5 回のうちの代表的な形状値との偏差量を求め、そのヒストグラム (0.5 nm ステップ) を図 6.8.15 に示す。この図から、計測値は面全体にわたっておよそ  $\pm 2$  nm ( $\sim \pm \lambda/300$ ) 程度変動していることが分かった。またこの図の作成に用いた全データ (約 100,000 点) の rms 値より、0.86 nm 程度 ( $\sim \lambda/735$ ) の計測再現性であることが分かった。

球面、非球面を問わず大口径光学素子の絶対形状計測が可能な PS/PDI 装置の開発を行なった。位相シフト干渉計測における大きな誤差要因である不要な干渉縞の発生を防ぐ対策を施した。すなわち、被計測ミラーから戻ってくる球面波と参照球面波とで生成される干渉縞を、FOP (Fiber Optic Plate) 上に発生させた。FOP は、光ファイバをバンドルして整形されたイメージ伝送板であり、発生させた干渉縞を裏面に転送する。FOP 裏面の干渉縞は、干渉性が非常に落ちるので、カメラレンズ + CCD カメラにより撮影する際に、各部の端面反射などにより発生していた不要な干渉縞群が観測されなくなった。また、CCD カメラを電子シャッター式に交換し、ピエゾステージの移動方法の改良を行なうことで、PS/PDI 装置を構成するコンポーネントから振動発生源をほぼ完全に除去することができた。この結果、 $\phi 200$  mm、曲率半径 1500 mm の凹面鏡の連続計測における再現性は 0.38 nm rms に達した。こうした結果を受けて、計測に用いている 2 つのファイバ光源同士の干渉縞を位相シフト計測することで、PS/PDI 装置の現状で

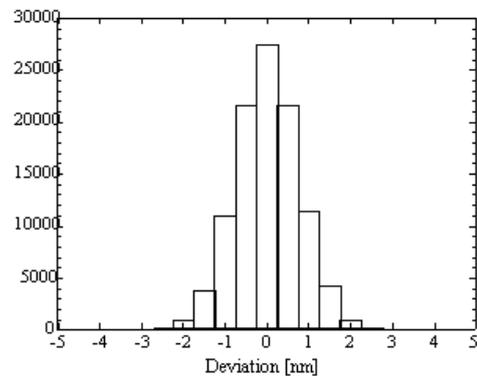


図 6.8.15 直径 200 mm 曲率半径 1500 mm の凹面鏡の形状を計測した際の計測値の再現性を示すヒストグラム。約 10 万点の計測値について rms 値で 0.86 nm の再現性を実現できた。

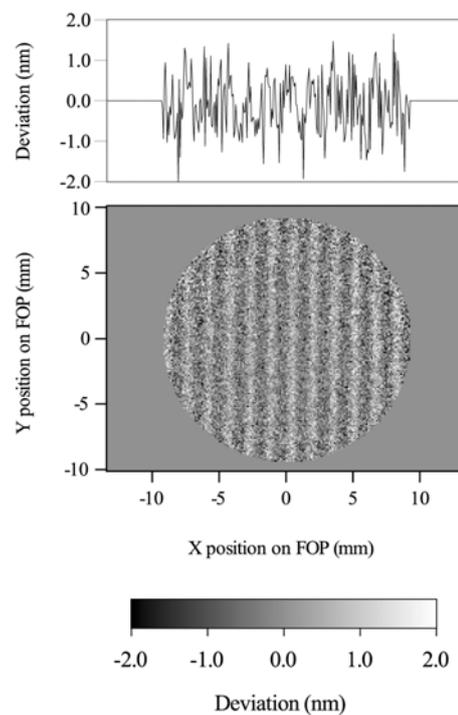


図6.8.16 2つのシングルモード光ファイバからの回折球面波同士を位相シフト干渉計測することにより評価した本PS/PDI装置の誤差分布。FOPに起因する誤差分布および振動による誤差分布を除去した結果得られた。

の計測精度評価を行なった。この評価結果から、(1)FOP に起因した特有のパターン誤差、(2)建物の定常的な揺れに起因する誤差を除去した結果、装置としての計測精度は、ミラー計測の場合 0.35 nm rms と見積もられた(図 6.8.15 参照)。これは、有限な計測時間において侵入してくると思われる、建物振動の突発的な成分の影響が消えないためと考えている。本装置は、非球面度の高い面の計測に用いる際には、計測結果へ表面形状が直接には反映されない。そこで、計測結果から被計測面の形状を精度良く再現する手法として、Helmholz-Kirchhoff積分に基づく、位相解析プログラムを開発した。通常の PS/PDI 計測で得られる初期位相分布データに加えて、干渉縞を発生させている被計測面からの診断光の強度分布をも計測し、同プログラムで解析することで、非球面度の高い被計測面の形状も計測(再現)できる手法を開発できた。今後、実用面(放物面など)を使って同手法の有効性を確認してゆく。

#### 参考文献

[6.8.2-1] T. Matsuura et al., Optical Review, submitted.

### 6.8.3 近赤外光干渉計によるシリコン平面ミラーの絶対形状測定[6.8.3-1]

近年、半導体デバイス、光学レンズ、ミラー等のナノメートルレベルの極めて高い表面形状精度を有する機器要素の実現に向けて、高精度加工された加工面を評価する形状測定法の研究が進められている。しかし、これまでの基準面形状からの偏差を測定する方法は、測定精度が基準面の形状精度に依存するという欠点を有しているため、基準面の絶対形状測定を行うことによって高精度化を図ることが、先端機器要素の実現とこれらを用いた科学技術の発展に不可欠となってきている。本研究は、放射光用ミラーなどに用いられる単結晶シリコン平面ミラーの絶対形状精度を、近赤外のレーザーと検出器を用いた干渉法で三面合わせを行うことによって、ナノメートルの高い精度で測定しようとするものである。

図 6.8.17 に示すようにシリコンが透明な波長 1310 nm の近赤外半導体レーザーを光源とし、この近赤外域で感度を持つ近赤外 CCD カメラを受光器とした近赤外光位相シフトフィゾー干渉計

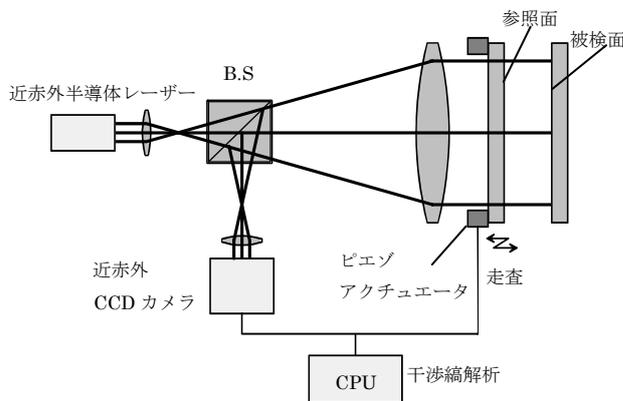


図 6.8.17 近赤外フィゾー干渉計の構成

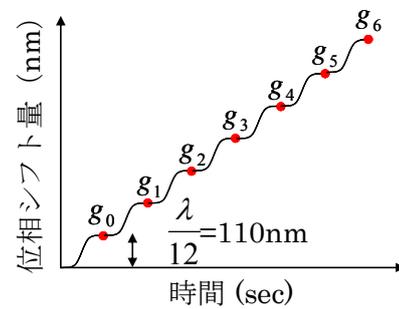


図 6.8.18 位相シフト波形

を製作し、従来の可視干渉計では不可能であった被測定面であるシリコン平面ミラーそのものを透過側参照面とした干渉縞測定を実現した。三枚の試料の内、二枚の組み合わせを変えて三回の位相シフト干渉測定（三面合わせ法）を行い、7 バケット法で解析することにより、基準平面より高い精度で三枚の試料全ての中心線のラインの絶対形状を測定することができる。参照面内、被検面内に生じる干渉縞ノイズを抑制するため、参照面、被検面の裏面にシリコン酸化膜を形成し、反射防止膜とすることで干渉縞コントラストを低下させている。参照

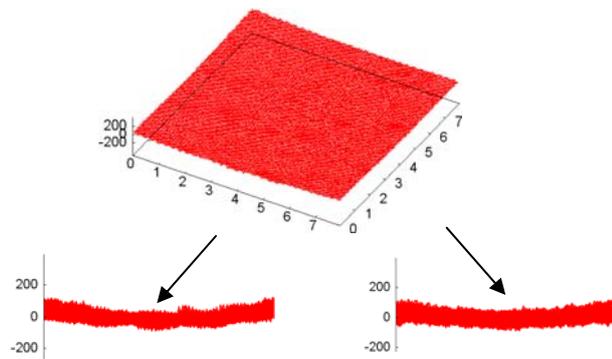


図 6.8.19 相対形状の傾き補正

面はピエゾアクチュエータにより光軸にそって図 6.8.18 に示すように階段状に位相シフトした。位相シフトの計算上の位置分解能は 0.17nm である。本研究では、参照面の移動開始時と終了時に加速度による参照面の振動が生じないように参照面を移動させている。近赤外干渉計を用いてシリコンミラーの相対形状を測定し、相対形状の高さの最小二乗値が最小になるように傾き補正を行った。図 6.8.19 に示すように十分に傾き補正されていることが分かる。相対形状の測定を連続して 16 回行い、三面合わせ法により y 軸上の絶対ライン形状を求めた。A、B、C 各面の絶対ライン形状の測定結果を図 6.8.20 に示す。各面毎の 16 回の測定結果はほとんど重なっており、測定再現性が良いことが分かる。相対形状の連続する 2 回の測定再現性として図 6.8.21 に示すよう

に最大最小高さ（PV 値）1.8~3.2nm、RMS 値 0.34~0.55nm を得ており、シリコン平面ミラーの形状がナノメートルレベルの高い精度で測定できていることが分かる。

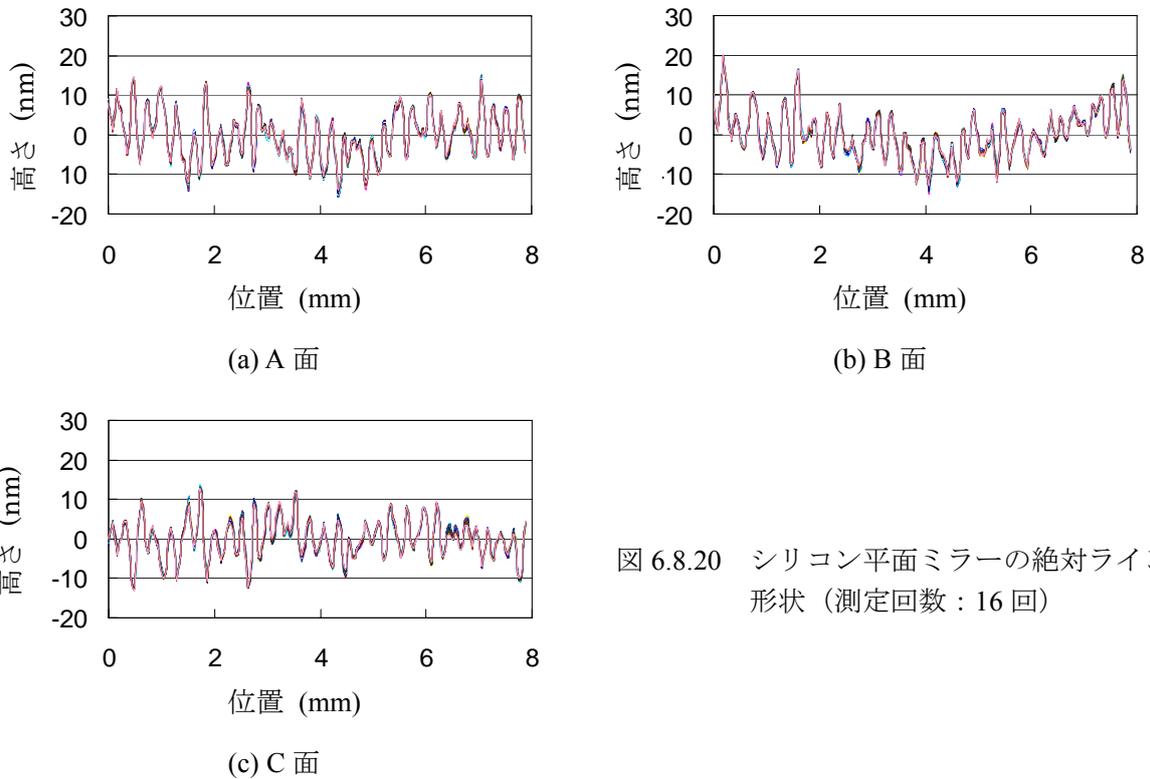


図 6.8.20 シリコン平面ミラーの絶対ライン形状（測定回数：16 回）

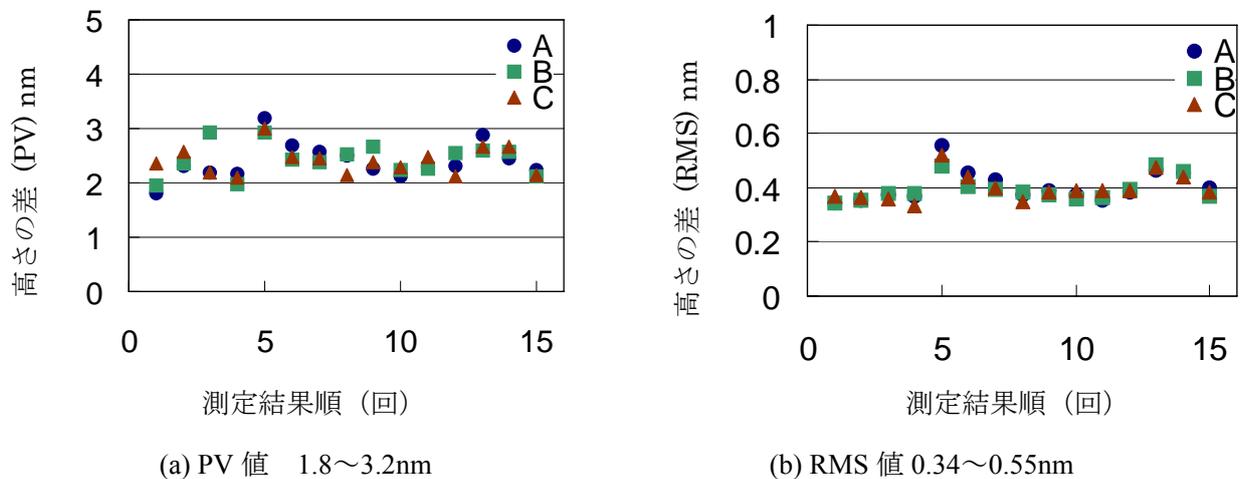


図 6.8.21 絶対ライン形状の連続する 2 回の測定再現性（測定回数 16 回）

近赤外干渉計を用いてシリコンミラーの相対形状測定を行い、三面合わせ法により絶対ライン形状を求めた。評価法として絶対ライン形状の再現性を調べた結果、PV 値で  $\lambda/300$  以下、RMS 値で  $\lambda/2000$  にすることができた。今後は三交点基準法を用い、絶対ライン形状を重ね合わせることによってシリコンミラーの絶対平面形状測定を行う。

参考文献

[6.8.3-1] Noritaka AJARI, et al., Extended Abstracts of International 21st Century COE Symposium on

Atomistic Fabrication Technology, 2006.

#### 6.8.4 近赤外顕微鏡を用いた貼り合わせ SOI ウエハの界面欠陥測定法の開発

近年 LSI の微細化、高集積化に伴いより信頼性の高い故障診断システムの開発が必要とされており、近赤外レーザーを用いた欠陥評価の研究が多数行われている。また、マイクロメートルオーダーの欠陥を形状と成因で分類し、評価する研究も行われている。Silicon-on-Insulator (SOI) ウエハの主要な欠陥には微粒子、ボイド、ピンホールがあり、これらの欠陥はデバイスの性能に影響する。微粒子は、埋め込み酸化膜の絶縁破壊を引き起こす。ボイドはウエハの間の接着力を減少させ、SOI ウエハの電気特性を低下させる。ピンホールが存在すると、埋め込み酸化膜の絶縁耐電圧を低下させ、デバイス生産の歩留まり低下の直接的な原因となる。パターン付き SOI 技術は、基板 Si と SOI 層の間に埋め込み酸化膜の厚さのギャップを形成し、RF パワーデバイスの自己加熱効果の抑制や、流速センサーに用いられている。

本研究は、近赤外顕微鏡を用いて、貼り合わせ SOI ウエハを観察し、貼り合わせウエハ作製工程における微粒子の混入、貼り合わせによる空気の閉じ込め等の原因により界面に生じるボイドの形状を特定し、その発生原因を検討し、形状解析することを目的としている。また、近赤外散乱トポグラフィと、近赤外顕微鏡の透過および反射観察の組み合わせによって貼り合わせ SOI ウエハの埋め込み酸化膜のパターンのエッジ、マイクロメートルオーダーの、界面内の微粒子、埋め込み酸化膜のピンホールについて評価を行う。

##### (1) 貼り合わせ SOI ウエハのシリコン-SiO<sub>2</sub> 界面欠陥の形状解析 [6.8.4-1,2]

貼り合わせ SOI ウエハは、2 枚の Si(100)ウエハを超清浄洗浄した後、1 枚をウェット酸化して、もう 1 枚と直接貼り合わせ、アニール処理 (1000°C、5 分) をして SOI ウエハを作製した。作製した SOI ウエハの貼り合わせ面を近赤外顕微鏡と干渉フィルター、近赤外 CCD カメラを用いて透過観察した。観察に用いた光学系は、干渉フィルターを用いて赤外光源のコヒーレンス長を制御することで、ウエハの表面と裏面では干渉を起こさず、貼り合わせ面のボイドの表面間でのみ干渉させることができる。観察されたボイドの直径は 50 $\mu$ m から 20mm であった。観察した大きなボイドの干渉縞の光強度データを元にしたボイドの形状測定結果と、ボイドの形状を、円板に集中荷重もしくは分布荷重がかかったときのたわみと考えると計算した結果を図 6.8.22 に示す。両者を比較すると、観察されたボイドの形状は分布荷重がかかったときの円板のたわみによく一致していることから、ボイドの発生原因は分布荷重に相当するガス、もしくは水分子が界面に閉じ込められたことにより発生したものであると考えられる。

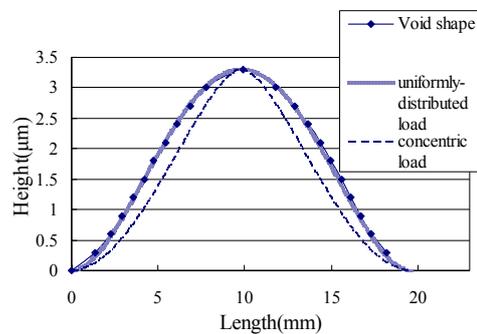


図 6.8.22 ボイド形状の測定値と円板のたわみ計算値

##### (2) 近赤外光トポグラフィと近赤外顕微鏡による貼り合わせ SOI ウエハのパターン付埋め込み酸化膜の評価

埋め込み酸化膜パターン付き SOI ウエハはシリコン直接貼り合わせ(SDB)法により作製した。SDB 法は簡単、低コストで、高品質に製造できるため、SOI の貼り合わせ技術としてよく用いられている。本実験で用いたウエハは、Cz、4 インチ、P ドープ n 型の両面研磨、Si(100)ウエハである。Si ウエハは、Total Room Temperature Wet Cleaning 法で洗浄し、洗浄後 1 分以内に酸化装置に移して、1000<sup>L</sup>でウェット酸化し、約 200nm の酸化膜を形成した。酸化膜の厚さは エリプソメータで測定した。Si ウエハに形成した酸化膜にフォトリソグラフィでパターンを付け、洗浄した Si ウエハと重ねて、窒素ガス中で 1000<sup>L</sup>で 5 分間加熱して貼り合わせた。ウエハの全体の厚さは約 1000 $\mu$ m である。図 6.8.23 に貼り合わせ SOI ウエハのパターン付埋め込み酸化膜の評価装置の概略図を示す。評価装置は、反射および透過近赤外顕微鏡と近赤外光および可視光散乱

の光源のレーザー、400nm から 1650nm までの波長の光に感度を持つ近赤外 CCD カメラにより構成され、観察像は CCD カメラからフレームメモリを通してパソコンにデジタル記録した。近赤外レーザーは直線偏光のレーザーダイオードで波長は 1310nm である。可視レーザーの波長は 650nm、近赤外顕微鏡の光源の波長は反射、透過共、干渉フィルターを通し、1200nm である。図 6.8.24 にパターン埋め込み酸化膜付き SOI ウエハ試料を示す。Si のバンドギャップ以下で、Si が

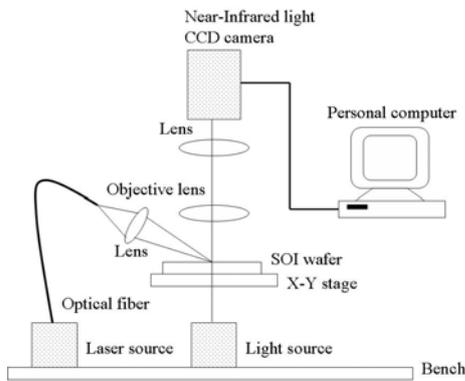


図 6.8.23 近赤外光トポグラフィと近赤外顕微鏡を組み合わせたシステムの概略図

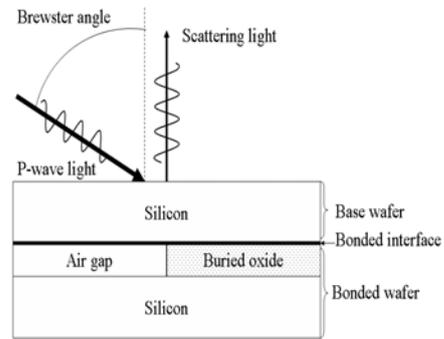


図 6.8.24 パターン埋め込み酸化膜付き SOI ウエハの近赤外光散乱の概略図

透明な波長 1310nm の近赤外レーザーを、表面反射を最小にするために、ブルースター角で、貼り合わせ SOI ウエハの基板ウエハ表面側から入射した。ウエハは斜め入射による表面および裏面からの散乱を低減するために基板側も、埋め込み酸化膜付きの貼り合わせ面側も両面研磨ウエハを用いた。図 6.8.25 に貼り合わせ SOI ウエハのパターン付き埋め込み酸化膜のエッジの観察結果を示す。図 6.8.25



図 6.8.25 貼り合わせ SOI ウエハの埋め込み酸化膜パターンのエッジの光散乱トポグラフィおよび顕微鏡透過観察結果

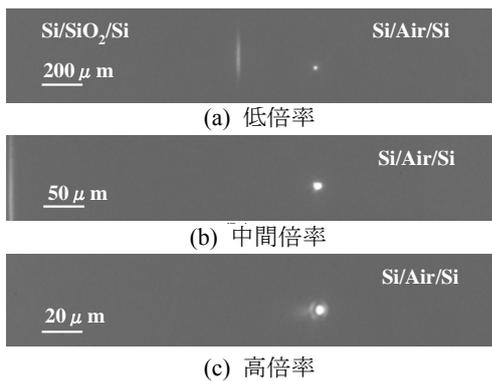
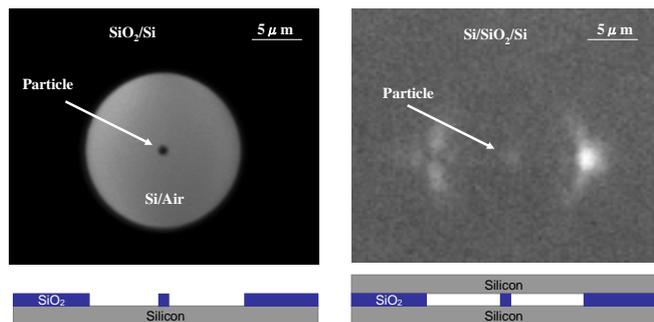


図 6.8.26 マイクロメートルオーダーの微粒子の観察結果



(a) FIB 像 (b) 近赤外散乱トポグラフィ

図 6.8.27 FIB で作製した微粒子 (700nm) の観察結果

は近赤外トポグラフィ像と透過顕微鏡像を同時に観察したもので、右下側が酸化膜層である。入射方向と垂直な方向に明るい散乱光が観察され、平行な方向には散乱光は観察されなかった。垂直方向の散乱光と平行に平行な線が観察されたが、これは回折または多重反射によるものと考えられる。図 6.8.26 (a)、(b)、(c)に SOI ウエハの埋め込み酸化膜の Air gap の位置に観察された点像

表 6.8.2 マイクロメートルオーダーの微粒子の観察

観察条件 (光源波長)		内部	表面
散乱	近赤外光 (1310nm)	○	○
	可視光 (650nm)	×	○
透過 (1200nm)		×	×
反射 (1200nm)		×	×

を示す。この点像は表 6.8.2 に示すように可視光源の場合には散乱光が観察されないことから、表面に付着した微粒子ではなく、Air gap 内の微粒子であると考えられる。また近赤外顕微鏡の透過および反射では最高倍率でも観察されなかったことから微粒子の直径は顕微鏡の最高分解能の  $0.9\mu\text{m}$  以下であると考えられる。近赤外散乱トポグラフィでは顕微鏡の分解能以下の微粒子でも観察できることを確かめるために、図 6.8.27(a)に示すように埋め込み酸化膜を FIB で加工して直径  $700\text{nm}$  の円板状の微粒子を作製した。図 6.8.27(b)に微粒子の近赤外散乱トポグラフィ像を示す。埋め込み酸化膜パターンのエッジと同様に、微粒子の位置を確認するために埋め込み酸化膜に作製した外側の穴のエッジに入射方向に垂直な明るい散乱光が観察され、穴の中央に微粒子の像が観察された。図 6.8.28(a)はピンホールの近赤外光散乱トポグラフィと透過観察を、図 6.8.28(c)は

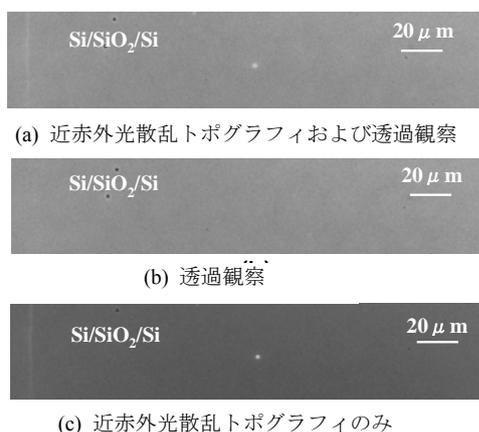


図 6.8.28 マイクロメートルオーダーのピンホールの観察結果

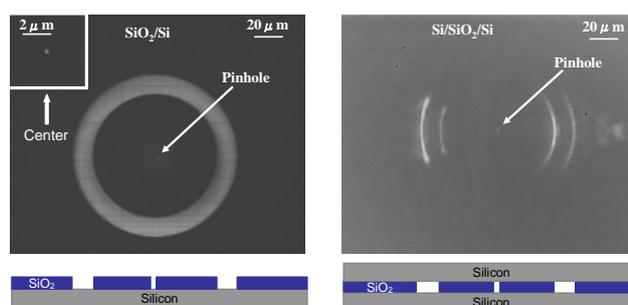


図 6.8.29 FIB で作製したピンホール (500nm) の観察結果

近赤外トポグラフィ像を示す。中央の点像は埋め込み酸化膜層に観察され、おもて面および裏面からの可視光入射による散乱光が観察されなかったことから表面に付着したパーティクルではなく、埋め込み酸化膜に生じたピンホールであると考えられる。また、図 6.8.28(b)のように透過観察できなかったことからピンホールの直径は顕微鏡の最高分解能以下であると考えられる。顕微鏡の分解能以下のピンホールでも観察できることを確かめるために、図 6.8.29(a)に示すように埋め込み酸化膜を FIB で加工して直径  $500\text{nm}$  のピンホールを作製した。図 6.8.29(b)にピンホールの近赤外散乱トポグラフィ像を示す。外側の円のエッジの散乱像の中央にピンホールによる点像が見えているのが分かる。

貼り合わせ SOI ウエハのパターン付き埋め込み酸化膜を、近赤外光散乱トポグラフィと近赤外顕微鏡システムにより観察し、マイクロメートルオーダーの微粒子とピンホールを観察することができた。本方法は、貼り合わせ SOI ウエハのパターン付き埋め込み酸化膜の評価に有効である。

- [6.8.4-1] N. Ajari, J. Uchikoshi, T. Hirokane, K. Arima, and M. Morita, *Jpn. J. Appl. Phys.* , **46**, 1994 (2007).
- [6.8.4-2] X. Wu, J. Uchikoshi, T. Hirokane, R. Yamada, K. Arima and M. Morita, 2007 SSDM Meeting (2007).