

超高精度平面度測定

(独)産業技術総合研究所

尾藤 洋一

Ultra high precision flatness measurement

Youichi Bitou

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1. はじめに

高精度な平面（真っ平らな表面）は、ものづくりの現場から先端科学に至るまで幅広い分野において必要とされている。特に、半導体や液晶といった先端的な産業においては、年々、高精度化、大口径化への要求が高まっている。高精度な平面を研磨・作製するためには、当然のことながら、その表面形状（平面度）を高精度に測定できる装置が必要である。国際半導体技術ロードマップ (ITRS: International Technology Roadmap for Semiconductors) によれば、次世代リソグラフィ技術として開発が進められている EUV においては、将来的にサブナノメートルレベルの測定不確かさで平面度を測定できる技術が必要とされている。また、次世代のウエハサイズにおいては、450 mm (18 inch) へサイズアップする方向で開発が進められており、大口径化に対応した平面度測定技術・装置も求められている。

産業技術総合研究所計量標準総合センター (National Metrology Institute of Japan: NMIJ) では国家計量機関として、フィゾー干

渉計を用い 300 mm の範囲に対して測定不確かさ 10 nm ($k=2:2\sigma$ に相当) で平面度の標準供給を行っている。しかしながら、上記の様な高精度化、大口径化の要求には現状の測定原理・装置のままでは対応が困難である。また、世界的に見ても上記の要求を満たす精度・不確かさを宣言している機関はなく、新たな計測技術の開発が必要となってくる。本報告では、平面度測定の高精度化、範囲拡大に向けた新たな計測技術及び、その計測技術を用いた超高精度ガラス平面基板の製作事例について報告する。

2. 角度測定（局部傾斜角測定）を用いた表面形状測定

一般的に、ガラスなどを用いた高精度な平面基板の平面度測定にはフィゾー干渉計が用いられている。フィゾー干渉計には、2次元の形状分布（凹凸形状：平面度）を短時間で一挙に測定できるといった長所があるが、基本的に参照平面との比較測定であるため、測定精度は参照平面の精度（平面度）に依存する。つまり、高精度な平面度測定をフィゾー干渉計で実現しようとする、高精度な参照平面が必要となるが、その高精度参照平面をどうやって担保するかという問題につきあたってしまう。

参照平面を用いずに直接表面形状を測定する方法として、角度センサを用いた計測手法が近

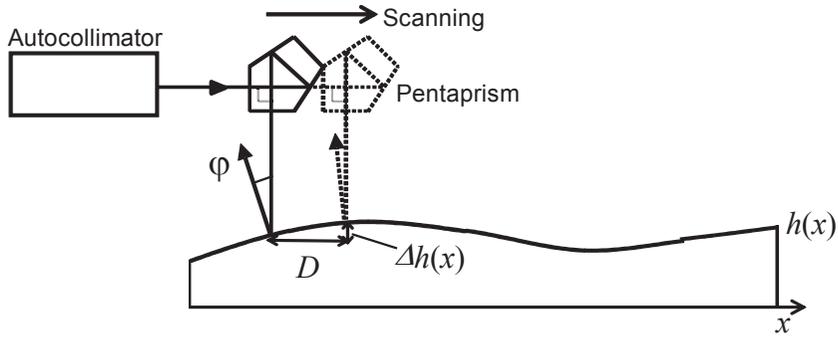


図1 オートコリメータ及びペンタプリズムを用いた局部傾斜角測定システム

年注目されている。この計測手法は、各国のシンクロトン放射光施設や一部国立標準機関において、X線集光用ミラーの計測装置や平面度校正の国家標準機として開発が進められている。本手法は、物体表面の局所的な傾斜角の変化を逐次測定していき、得られた角度変化データを積分することにより形状データを得るというシンプルな原理に基づく測定法であり、①参照平面を必要としない、②大口径の形状も測定可能、といった特徴を有する。

図1に局部傾斜角測定システムの構成図を示す。角度測定にはオートコリメータと呼ばれる市販の高精度角度測定装置を用いている。オートコリメータからの出射ビーム（角度測定ビーム）をペンタゴンプリズムの反射を介して対象表面へ照射し、ペンタゴンプリズムを機械的に走査することにより対象表面の局所的な傾斜角分布を測定する。ここで、走査前後の傾斜角変化を ϕ 、操作幅を D とすると、局所的な形状変位 Δh は、

$$\Delta h = D \times \tan \frac{\phi}{2} \quad (4)$$

と与えられ、 Δh を積分することにより形状のプロファイル（一次元）を算出することができる。

本手法により高精度な形状（平面度）測定が可能となるポイントは、ペンタプリズムの使用との角度測定精度にある。ペンタプリズム

は、45度にセットされた2つの反射面で入射ビームを折り曲げることにより、ペンタプリズムの設置角度に依らず出射ビーム角を常に90度に保つことができる。これにより、ペンタプリズムの機械的走査に伴う運動誤差の影響をほぼ除去することができる。オートコリメータに関しては、近年、市販レベルの装置においても高精度化が達成されており、角度測定の精度として0.1 arcsec以下の精度を持つオートコリメータが販売されている。これは、サンプリング間隔 $D=1\text{ mm}$ に対して0.5 nmの形状測定精度に相当する。

図2に産業技術総合研究所において開発された局部傾斜角測定を用いた平面度測定装置の様子を示す。本装置では、ペンタゴンプリズムの代わりに、中空タイプのペンタゴンミラーを用いている。ステージ（ペンタゴンミラー）の駆動範囲は1 mであり、ライン形状測定ではあ

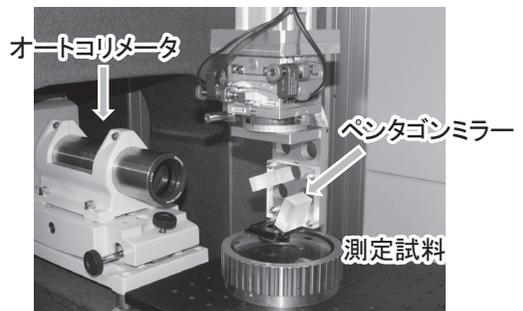


図2 産総研で開発された局部傾斜角測定を用いた平面度測定装置の様子

るが、300 mmのプロファイルに対して、 ± 1 nm以下という再現性を達成している。

3. 超高精度ガラス平面基板の作製

今回開発した超高精度平面度測定装置を用いて、(株)テクニカルと共同で超高精度ガラス平面基板の開発にも取り組んだ。テクニカル社は、プリズムを中心に様々な光学部品を製造しており、独自の研磨技術を有している。しかし、研磨した平面を高精度で評価することが難しかったため、達成できる精度には限界があった。そこで、産総研による平面形状の評価結果をもとに、独自の技術を用いて超高精度平面ガラス基板の研磨に取り組んだ。

さらに、研磨した平面ガラス基板の保持機構も併せて開発した。枠材に低熱膨張材を用い、保持位置を工夫することで設置時の変形やたわみの発生を抑え、研磨時の平面度を損なうこと

なく他の装置に組み込める状態で $\lambda/100$ (約6.3 nmの凹凸)の平面度を達成した(直径100 mm:有効径90%)。これは、関東平野の広さに対して5 mm程度の凹凸に相当する。これにより、開発した超高精度平面ガラス基板を参照平面として、製造ラインで用いられる市販のフィゾー干渉計に組み込むだけで、その測定精度を大きく向上させることができる。製造工程における平面度の測定・評価精度が向上したことで、平面鏡やプリズムといった光学部品をこれまでにない加工精度で提供することが可能となる。

4. おわりに

ものづくりの世界では、よく「測れないものは作れない」と言われる。特に、精密なものづくりの現場において、高精度な測定・評価技術は必要不可欠である。ナノレベルの高精度平面もその一例であり、研磨技術よりもむしろ測定技術の方がそのカギをにぎっている。今回、比較測定法である従来の測定技術(フィゾー干渉法)ではなく、角度測定を利用した絶対平面測定技術を開発し、ナノレベルのガラス平面基板の作製に成功した。今後は、さらに大型の超高精度平面基板(直径150 mm)の開発に取り組む予定である。また、産総研では、今秋頃を目途に今回開発した超高精度平面度測定装置を用いて平面度の校正サービスを開始する予定である。

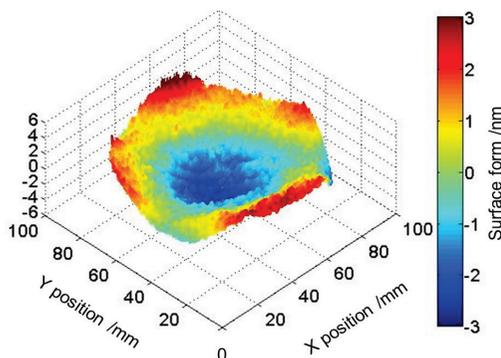
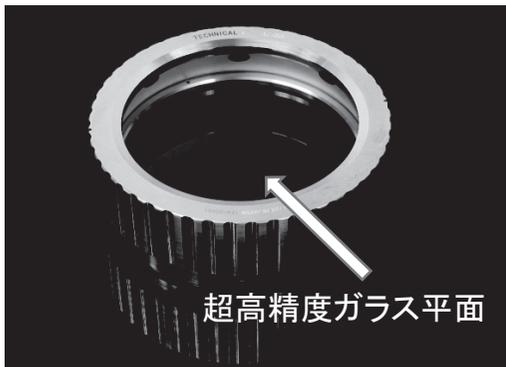


図3 開発した超高精度平面基板(直径100 mm)(上)とその平面形状(下)

参考文献

1. 尾藤洋一, 近藤余範: “高精度平面形状計測”, OPTRONICS No. 380, (2013) 71-77.
2. Y. Bitou and Y. Kondo, “High-lateral-resolution scanning deflectometric profiler using a commercially available autocollimator,” Meas. Sci. Technol. 25, 095202 (2014).
3. Y. Kondo and Y. Bitou, “Evaluation of the deformation value of an optical flat under gravity,” Meas. Sci. Technol. 25, 064007 (2014).