



非接触三次元ナノ形状測定法の開発

大阪大学 大学院工学研究科 附属超精密科学研究センター
遠藤勝義

1. はじめに

第三世代放射光施設や X 線自由電子レーザー (X-ray Free Electron Laser ; XEEL) や波長 13.5 nm の極紫外光を用いたリソグラフィ (Extreme Ultraviolet Lithography ; EUVL), 天体望遠鏡, 人工衛星搭載望遠鏡, また, 医療機器や高級カメラ, プロジェクター等の多くのデジタル映像機器からは, 多種多様な形状を持ついわゆるフリーフォーム高精度ミラー・レンズ等の光学素子が要請されている。具体的には, 第三世代放射光施設や XEEL の硬 X 線, EUVL の軟 X 線領域の次世代高精度ミラーは, 非球面量 15 μm 以上に対して形状誤差 1 nmPV の精度が求められている。天体望遠鏡でも, 分解能を向上するために開口数が大きくなる。現在では, 直径 30 m の主鏡を持つ TMT (Thirty Meter Telescope) が計画されている。主鏡は, 82 種類 492 枚の対角が 1.44 m の六角形のセグメント鏡からなる。主鏡全体は双曲面であり, 各セグメント鏡は非軸・非球面形状である。セグメント鏡は従来技術による加工が可能ではあるが, 最終的に必要なナノ精度のフリーフォーム形状測定法が確立されていない。さらに, 人工衛星搭載望遠鏡光学素子は, 球面と比較して明るさと解像度が向上し, 光学系の小型化と軽量化が図れることから, 非球面ミラーが必要となる。この場合, 非球面量は 100 μm を超え, 形状誤差も 10 nmPV 以下が要求される。

このような次世代超高精度ミラー・レンズ製作のためには, 超精密加工技術と超高精度計測技術の大幅な進展が不可欠であり, 計測技術は加工技術に対して 1 桁以上高い精度が要求される。ところで, 空間波長 1 mm 以下の表面粗さやうねりの計測技術は, 原子スケールの分解能をもつ走査型トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡, 走査型白色干渉顕微鏡等があり, 現状でも要求精度を満たしている。一方, 空間波長 1 mm 以上の形状測定技術には, 位相シフトフィゾー干渉計やスティッチング干渉計, 三次元測定機等があるが, 必ず基準面や基準となる直線運動機構が必要であり, 要求されるフリーフォームで 1 nmPV の形状測定精度を満たしていない。このように, 次世代高精度ミラー製作に不可欠なフリーフォームの形状を 1 nmPV 以上の精度で測定できる形状測定法は現時点では皆無である。

そこで, これら次世代高精度光学素子を製作するためには, 平面から平均曲率半径 10 mm 以下の非球面, フリーフォームの形状を, 測定精度 1 nm PV 以上, スロープエラー 0.1 μrad 以下, 測定時間 10 min/sample 以下で測定できる法線ベクトル追跡型非接触三次元ナノ形状測定法の開発¹⁻¹⁵⁾ について紹介する。なお, 本測定法は, 広く一般に用いられている干渉法と異なり, 基準面や基準となる直線運動を必要としない形状測定法である。さらに, 測定原理から測定物のサイズに制限が無い。

2. 非接触三次元ナノ形状測定法の原理

放射光や XFEL, EUV リソグラフィから要請される最大サイズ 1000 mm \times 300 mm (EUVL の場合 ϕ 300 mm) の次世代高精度ミラーや民生用の平均曲率半径 10mm 以下の高精度レンズの形状誤差を 1 nmPV の精度で様々な大きさの非軸・非球面 (フリーフォーム) の形状を測定できる方法確立しなければならない。巨大天体望遠鏡でも, サイズが 1 m を超える非軸・非球面形状セグメント鏡