

小さな小さな段差を測る

測長原子間力顕微鏡を用いた段差標準試料の校正

段差標準試料(深さ方向のスケール)は、一次元グレーティング(面内方向のスケール)とともにナノメートル計測の精度確保に不可欠な標準である。ナノメートルオーダーの寸法や形状の計測では、測定物の形状偏差や表面の微細な凹凸の影響が無視できない。産総研計量標準総合センター(NMIJ)では、これらの影響を受けにくい段差算出法を考案し、測長原子間力顕微鏡による段差校正のサービスを開始した。

Step height standards are demanded in nano-manufacturing fields. NMIJ/AIST provides the calibration service for them since 2005 with a nanometrological AFM and an AFM with differential laser interferometers (DLI-AFM). In nanometric dimensional calibrations, microasperity and form deviation of object surfaces affect measurements. We have formulated a robust calibration method for nanometrical step height standards based on ISO 5436-1.

ナノスケールの深さ標準

半導体素子やMEMSデバイス、マイクロ光学素子などの高機能化や高品質化には、その製造過程においてナノメートル(1 nm=10億分の1 m)レベルで製品の寸法や形状の評価を行い、その結果を加工工程にフィードバックすることが必要である。そうした測定には、接触・非接触式の形状測定機や電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡などが用いられるが、正確な計測を行うには、装置が適切に校正され、長さの標準についてトレーサビリティが確保されていることが不可欠である。トレーサビリティの確保は、校正された面内および深さ方向のスケール標準の測定結果に基づいている。面内方向については最小200 nmピッチの一次元グレーティング校正サービスを提供しており、現在25 nmピッチの標準試料の供給を準備している。段差標準の試料は深さ(高さ)方向

のナノメートル計測において重要な標準であり、産総研計量標準総合センター(NMIJ)でも既に供給済みの触針式段差測定(校正範囲: 0.5 μm ~ 10 μm)¹⁾、光学式段差測定(同: 20 nm ~ 0.3 μm)²⁾の校正サービスのほか、AFM(原子間力顕微鏡)方式による段差測定の校正サービス(同: 10 nm ~ 2.5 μm)を開始した。AFM方式による段差校正は、触針式校正よりも微細な段差を校正でき、さらに光学式校正とは異なって、表面の光学特性に依存しない校正ができる。この方法で供給される段差標準の試料は高さ方向の「長さ原器」として、ユーザーが持つ装置の校正に用いられる。

測長AFMによる段差校正

校正サービスは、測長AFM³⁾と差動式レーザー干渉計を搭載した差動式測長原子間力顕微鏡(DLI-AFM)⁴⁾を用いて提供している(図1)。両校正装置は

佐藤 理 さとう おさむ
osm-satou@aist.go.jp
計測標準研究部門 長さ計測科
幾何標準研究室
(つくばセンター)

Macro, Micro/Meso, Nano 領域における三次元形状・寸法の精密計測をテーマとして研究を進めている。それぞれの領域では測定に用いる原理、装置は様々であり、また支配的となる不確かさ要因も異なる。精密測定の基本原則を忠実に守った上でいかにして新しい知見を取り入れ、校正の不確かさの低減、標準供給の高度化を果たすかに取り組んでいる。

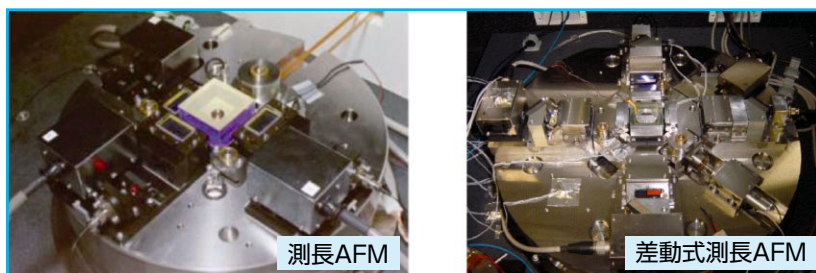
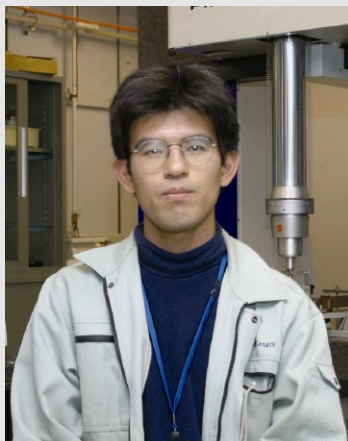


図1 表面微細形状の校正装置

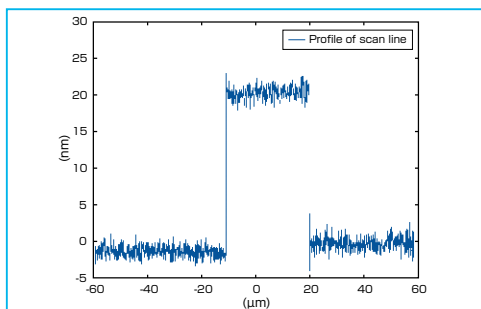


図2 差動式測長 AFM で測定した微小段差の断面形状

ともにステージ変位量をレーザー干渉計によって直接測定する方式をとっており、分解能が 0.04 nm で長さの標準にトレーサブルな測定が行える。

微小な段差を測る

AFM 方式による段差測定が主に対象とするのは、寸法値が 10 nm から 100 nm 程度の大きさの世界である。図2は公称値 20 nm の段差標準試料を差動式測長 AFM で測定した結果である。このオーダーの寸法を測定する場合、測定物の形状偏差や表面の微細な凹凸の影響が無視できない。この試料の場合、表面の微細な凹凸の大きさは 2 nm 程度であり、これは段差寸法値の 10 % 程度となる。このような場合、寸法としてどのような全体寸法(最大内接寸法、最小外接寸法など)を用いるかによって校正結果が異なる。ここでは最小二乗寸法を校正する場合をみてみよう。

従来の規格(ISO 5436-1)では、試料の設置誤差を取り除くために傾き補正を行い、各走査線ごとに段差底面と上面それぞれに対して傾きの等しい最小二乗直線をあてはめ、2 直線間の距離を最小二乗段差とする(図3)。しかし、微小段差の測定では段差値と試料の形状偏差量、表面の微細な凹凸の大きさがほぼ同じオーダーになるため、適切な傾き補正が困難である。また、前述した試料のように走査線方向に段差寸法値の 10 % 程度の微細な凹凸がある場合、それと直行する方向(奥行き方向)

にも同程度の大きさの微細な凹凸がある。さらに奥行き方向の各場所で段差値が変化する。

このような試料を測定すると、測定の繰り返し性が悪く、結果として校正値の不確かさが大きくなる。そこで従来の規格を拡張し、測定値の傾き補正を必要とせず、かつ表面の微細な凹凸や奥行き方向の段差値の変化の影響を受けにくい算出方法を用いた。具体的には、段差の底面と上面に対して共通の法線ベクトルを持つ最小二乗平面を求め、2 平面間の距離をその領域における最小二乗段差とした(図4)。この手法を用いることにより、小さな不確かさでの段差の校正が可能になった。また、ある幅を持つ面領域に対して校正値を与えることができるようになった。

ナノの長さ標準の高度化へ

微小な寸法や微小な形状の測定の需要は高まっており、測定機を校正するための標準に求められる不確かさも、より小さなものが求められている。ナノメートル領域の標準を小さい不確か

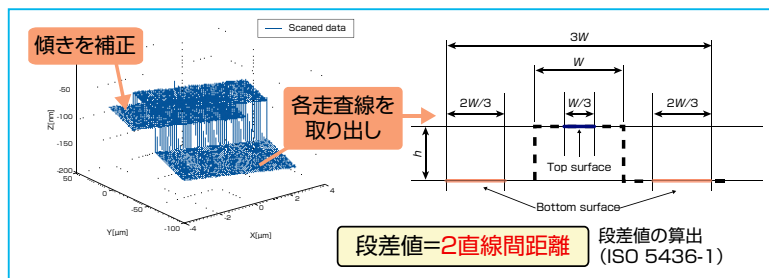


図3 段差値の算出方法 (ISO 5436-1 準拠)
段差幅の 3 倍 (3 W) を走査したデータから段差値を算出する。

さで値付けするには、形状偏差や表面の微細な凹凸が寸法に対して無視できないオーダーになるため、これらを考慮した校正手法の選択が重要である。AFM 方式による段差校正サービスでは、従来の規格を拡張し、表面の形状の影響を受けにくい校正法を考案した。現在、標準の供給開始に向けて準備している他のナノメートル領域の標準(線幅、二次元グレーティング)に対する校正に関しても同様に、不確かさの小さい校正方法を考案し高度な標準を提供していく考えである。

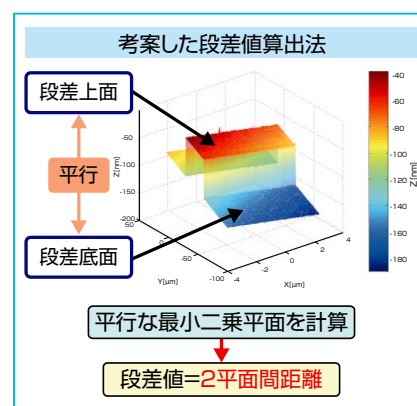


図4 ノイズに強い段差値の算出方法

関連情報：

- 1) 直井一也：“触針式段差・深さ校正技術の開発” AIST Today, vol. 2, No.12, pp. 36-37, 2002
- 2) 土井琢磨：“光学的微小段差校正技術の開発” AIST Today, vol. 2, No.12, pp. 36, 2002
- 3) S. Gonda, T. Doi, T. Kurosawa, Y. Tanimura, N. Hisata, T. Yamagishi, H. Fujimoto, and H. Yukawa, "Real-time, interferometrically measuring atomic force microscope for direct calibration of standards," Review of Scientific Instruments, vol. 70, pp. 3362-3368, 1999
- 4) I. Misumi, S. Gonda, Q. Huang, T. Keem, T. Kurosawa, S. Aya, H. Sumitani, and K. Takamasu, "Less than 100 nm pitch measurements using a nanometrological AFM with differential laser interferometers," presented at First International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology, 2004