

結晶格子を基準とした測長

—10ナノメートルオーダでの比較測長の精度の測定—

Comparison Measurement with a Crystalline Lattice as the Scale Reference

—Measurement of Accuracy for a Measurement Range of 10nm—

川 勝 英 樹*・樋 口 俊 郎**・川 合 稔*・
渡 邊 道 仁*・西 沖 暢 久***

Hideki KAWAKATSU, Toshiro HIGUCHI, Minoru KAWAI, Michihito WATANABE and Nobuhisa NISHIOKI

1. 要 旨

本研究では結晶格子を長さの基準に用いて走査型トンネル顕微鏡 (scanning tunneling microscope, STM)¹⁾で得られる像を補正する研究を行っている。実験には試料台が2個あるXYステージと、互いに独立に制御されたSTM探針2個を有するデュアルトンネルユニットSTM (DTU-STM)を用いている。現在、同一の結晶の比較測長を行い、得られる結晶像の見かけの長さの対応を調べている。いままでは、2ナノメートル四方の観察範囲でグラファイトの比較測長を行い、試料のコサイン誤差の補正と探針のドリフトによる像の歪みを補正することが測定精度を向上する上で有効であることを確認している。本報告では、13ナノメートル四方の走査範囲での実験結果を報告する。像の補正が同様に有効であることと、補正後の比較精度が測定を行う方位によらず98%以上であることを確認している。

2. 結 言

本研究は、ナノメートルオーダでの精度よい比較測長法を実現することを目的としている。そのために、トンネルユニットを2個有するデュアルトンネルユニットSTM (DTU-STM)を作製し、一方のトンネルユニットで得られる試料の像を、同時に得られる結晶の像で校正するという方法を用いている。実験装置には先に2ナノメートルでの比較測長実験を行っているDTU-STMを用いている²⁾。ただし、今回は走査速度の向上とデータ処理時間の短縮を目的としてデータ処理用コンピュータをPC286 (20MHz)からPC386 (33MHz)に変更している。走査速度の向上により、同一の範囲を走査するのに要する時間が短縮され、走査中の熱ドリフトによる像

の歪みが低減されている。

3. 実 験

3.1 実験方法

試料台を有するXYステージに10mm角の黒鉛結晶 (highly oriented pyrolytic graphite, HOPG, ユニオンカーバイド社)を固定し、2個の探針を試料に近接させて2個の結晶像を同時に取り込んだ。探針を試料に近接させるための機構としては、機械的、熱的安定性を考慮して開発した並進型インパクト機構を用いた³⁾。像の取得の数秒前後に、X方向とY方向に1軸走査を行い、X方向とY方向の試料の傾き、および、X方向とY方向へのドリフト量を測定した。これらのデータを用いて生像のコサイン誤差、および、探針と試料のドリフトによる像の歪みを補正した。

3.2 データの処理方法

約13ナノメートル四方の走査範囲で観察を行い、得られた像から結晶構造に対応した周期構造を抽出した。抽出は手作業で行った。抽出における誤差については後で論じる。2個の結晶像の見かけの長さがどの程度一致しているかを評価するために、各像に円を描き、その円の見かけの半径を結晶の格子の数を数えて算出した。算出は、45度づつ間隔をおいた8個の方位に関して行った。図1(a), (b)に一組の生像を、図1(c), (d)に生像から抽出された特徴点を、図1(e), (f)にコサイン誤差とドリフトの影響を補正した像を示す。ドリフトの量と方向は各像ごとに異なっていた。図1(g), (h)に見かけの半径の値をaからhの8個の方位に関して評価したものを示す。ここでは長さの絶対値はとりあえず問題にしておらず、一つの方位の見かけの半径を便宜上基準と定めてグラフを作成している。図1(h)は補正前、図1(g)は補正後に関する見かけの半径である。表1には、図1(g), (h)に対応する見かけの半径の一致の程度を示す。一方の像の方位ごとの見かけの半径を基準として、もう一方の見かけの半径の

*東京大学生産技術研究所 第2部

**東京大学工学部

***(株)ミットヨ

研 究 速 報

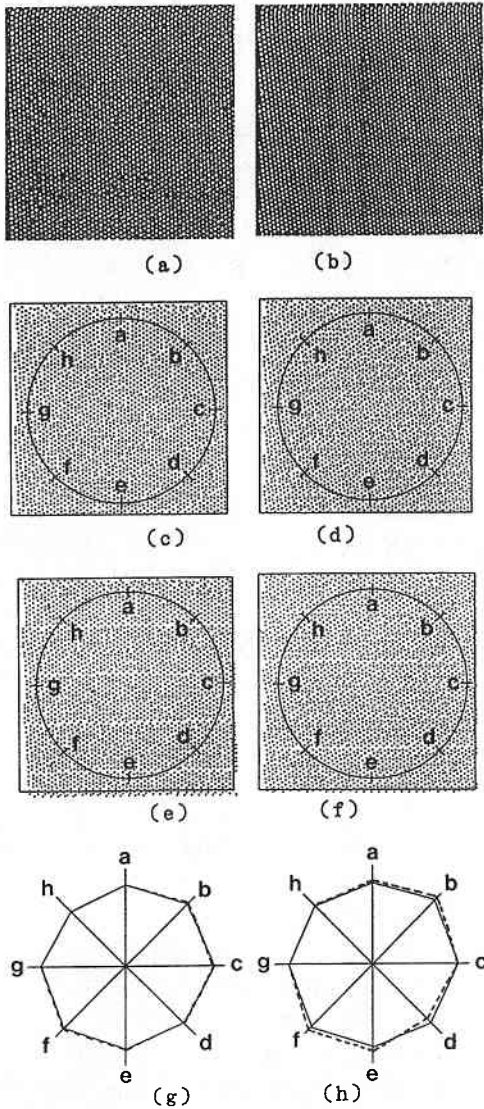


図1 黒鉛結晶(HOPG)を用いた比較測長精度の測定実験結果。(a), (b)生像, (c), (d)生像から抽出した特徴点, (e), (f)コサイン誤差とドリフトの影響を補正した像の特徴点, (g)補正した一組の像から算出される方位ごとの見かけの半径, (h)一組の生像から算出される方位ごとの見かけの半径(一方の像を基準としている。絶対寸法はここでは問題としていない)。

表1 各方位における見かけの半径の差(%). 一方の像を基準として算出したもの

方位	a	b	c	d	e	f	g	h
補正前	2.4	4.3	0	-0.5	4.5	2.2	0	-2.4
補正後	0	-2.2	2.3	0	2.3	2.2	0	0

誤差を示している。

3.3 考察

表1から、像の補正を行うことが見かけの長さを向上する上で有効であることがわかる。この結果は以前の2ナノメータ四方の走査範囲での実験結果と同じである。誤差の程度は2%であった。特徴点の抽出には格子状の網目を像に掛けて特徴点の近傍の格子点を選ぶという方法を現在とはっている。この方法では、網目の粗さと走査範囲から算出すると最大で0.4%の誤差が生じ得ることになる。今までの実験の問題点と課題を列挙する。

- (1) 実験数が少なく、統計的考察がない。
- (2) 手作業で特徴点を抽出しているので多くの実験例を処理するためには時間がかかる。ソフトウェアによる特徴点抽出は有効であると考え⁴⁾。この場合、重心算出のための網掛けの選び方によって得られる結果は多少変化することが考えられる。しかし、測定範囲が大きいほど、一格子中の原子の位置の評価の誤差の影響は小さくなる。たとえば、格子間隔を0.2ナノメータとし、原子の位置の評価の誤差が格子間隔の1/10の0.02ナノメータだとすると、200ナノメータの走査範囲での誤差は、測定範囲の両端での誤差を考えると、 $0.02 \times 2 / 200 \times 100 = 0.02\%$ となる。
- (3) まだ実験と考察を行っていない誤差要因として、XYステージの各軸間の干渉や真直度の測定が挙げられる。たとえば、2%の誤差を生じ得るXY干渉の程度を算出し、その干渉の程度が測定可能な測定方法を選択して実験を行うことが課題として挙げられる。装置固有の測定精度をこの比較測長法に持ち込むことを認めることになるが、XYステージの各軸間の干渉を定量的に把握し、その量をもとに像の補正を行い、像の一致の更なる向上を得ることが期待される。現在は4本の単ピエゾ素子を直交する形状でXYステージに接着している。X線干渉実験などに用いられているステージで、構造的に軸間干渉の生じにくいものを今後採用する必要がある。
- (4) 100ナノメータオーダでの比較測長を結晶と結晶、結晶と人工加工物で行う。人工加工物の寸法評価の場合は、試料の端面のアスペクト比や探針の形状の影響が大きくなるため、どこを被測定物の端面とするかが問題となる。電子顕微鏡による回路パターンの寸法評価の研究では端面検出の分解能の評価が行われている。
- (5) 黒鉛以外の試料のスケールとしての評価。

4. 結 言

デュアルトンネルユニットSTMと黒鉛結晶を用いて13ナノメータ四方での観察を行い、同時に得られた結晶像から見かけの長さの一致の程度を評価した。その結果、

コサイン誤差とドリフトによる像の歪を比較に先だって補正することが有効であることを確認した。ただし、この実験では、結晶像の特徴点の抽出を手作業で行っており、それによる誤差は最大0.4%である。今後の課題として、ステージのXY干渉の測定とそれに基づいて像を補正することが比較精度を向上することの確認、および、ハードウェアとソフトウェアの改善により、数100ナノメートルオーダの走査範囲での同様の実験を実現することが挙げられる。

謝 辞

本STMの作製にあたりご協力をいただきました株式会社松下電工の児島肇氏、株式会社ミットヨの山口靖之

氏に感謝いたします。本研究の研究費の一部は選定研究費および、科学研究費補助金によって賅われています。

(1993年3月11日受理)

参 考 文 献

- 1) G. Binnig and H. Rohrer, *Helev. Phys. Acta* 55, 526 (1982).
- 2) 川勝, 樋口, 川合, 西沖, 1991年度精密工学会秋季学術講演会講演論文集, 911, 精密工学会, (1991).
- 3) 川勝, 樋口, 川合, 西沖, 1991年度精密工学会秋季学術講演会講演論文集, 907, 精密工学会, (1991).
- 4) 明田川, 高田, 弘津, 中山, 小林, 1992年度精密工学会春季学術講演会講演論文集, 精密工学会, (1992).