

Dipl.-Ing. T. Machleidt / PD Dr.-Ing. habil. K.-H. Franke

Einsatz der Bildverarbeitung bei der Auswertung von AFM-Dateien

1 Einleitung

Akkurate Messung im Sub- μm -Bereich ist wichtig für verschiedene wissenschaftliche und technische Probleme. Biologen, Mediziner und Chemiker würden gern Bilder von organischen Oberflächen und Molekülen vergleichen können, um Diagnosen zu stellen und Modelle zu entwickeln. Materialwissenschaftler müssen die Rauheit oder die Granularität von Oberflächen bewerten. Auch in der Halbleiterindustrie spielt die Messung im Sub- μm -Bereich eine entscheidende Rolle. Bei der Entwicklung der nächsten Generation von Chips sind Messsysteme gefragt, mit denen es möglich ist, Halbleiter-Nanostrukturen genau zu charakterisieren.

An der TU Ilmenau wurde in Zusammenarbeit mit der SIOS Messtechnik GmbH und dem Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V. eine Nanomessmaschine entwickelt, die ein Messvolumen von $25 \times 25 \times 5 \text{ mm}^3$ mit einer Auflösung von 0,1 nm messen kann [1]. Als Detektionssystem kann beispielsweise ein AtomicForceMicroscope (AFM) eingesetzt werden.

Aufgrund des Messprinzips des AFM (Tastspitzenwirkung) entstehen Messdaten, welche durch die Form der AFM-Spitze beeinflusst wurden. Der Gegenstand dieses Beitrages ist es, zu zeigen, wie diese AtomicForce-Daten mittels Bildverarbeitung verbessert werden können.

2 Mathematische Beschreibung des Messvorgangs

Will man eine metrologische Auswertung von AFM-Messungen durchführen, so müssen die Wechselwirkungen zwischen Probe und Detektionssystem berücksichtigt werden [2]. Abbildung 1 zeigt den Messvorgang mit einem AFM.

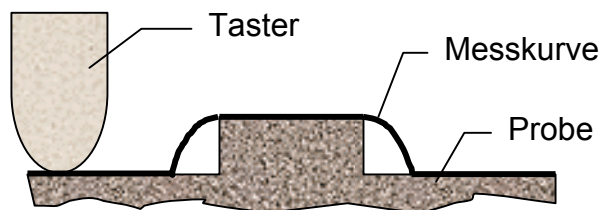


Abbildung 1: Abtastung einer Probe durch eine AFM-Spitze

Werden nur die geometrischen Effekte der Abtastung betrachtet, so können diese durch die mathematische Morphologie beschrieben werden [3, 4]. D. h. der Prozess der Abtastung ist durch eine Dilatation der Probenoberfläche mit der eingesetzten Tastspitze beschrieben.

$$I = S \oplus P, I - \text{Bild (Messwerte)}, S - \text{Probenoberfläche}, P - \text{gespiegelte Tastspitze} \quad (1)$$

Damit ergibt sich, dass AFM-Messungen bei genauer Kenntnis der Tastspitzengeometrie durch Einsatz der mathematischen Umkehrung der Dilatation (Erosion) eine Verbesserung der Messdaten erreicht werden kann.

$$S_R = I \ominus P, S_R - \text{rekonstruierte Probenoberfläche} \quad (2)$$

Notwendige Bedingung für diesen Ansatz ist die Kenntnis über die Tastspitzenform. Zur Ermittlung der Spitzegeometrie gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze, welche detailliert untersucht und bewertet wurden [3, 4].

3 Rekonstruktion der AFM-Tastspitze

Eine Möglichkeit zu einem Modell des verwendeten Tasters zu kommen, ist die Verwendung von bekannten Oberflächen, wie zum Beispiel Kalibriernormalen. Aus morphologischer Sicht sind Probe und Taster bei der Entstehung des Bildes völlig gleichwertig (Kommutativität der Dilatation). Kennt man die genaue Beschaffenheit der Oberfläche und das aus der Abtastung entstandene Bild, so lässt sich damit die Tasterform durch eine Erosion rekonstruieren. Hauptproblem bei dieser Art der Rekonstruktion ist die Herstellung eines geeigneten Kalibrierkörpers.

Für die Blind Tip Rekonstruktion benötigt man keinen solchen Kalibrierkörper zur Rekonstruktion der Tastspitze. Es wird lediglich eine Probe mit hohen, steilen, abgegrenzten Strukturen gefordert. Bei diesem Verfahren macht man sich den Sachverhalt zu nutze, dass jeder Bildbereich vom Taster erzeugbar sein muss. Damit kann aus dem Messergebnis ein maximaler Taster berechnet werden. In Abhängigkeit von der vorgegebenen Probe ist dieser mit dem realen Taster nahezu identisch [4]. Beide Verfahren sind sehr anfällig gegenüber Störungen, d.h. typische Störungen in AFM-Aufnahmen müssen durch geeignete Filterverfahren vorher eliminiert werden [3].

4 Ergebnisse der Rekonstruktion der AFM-Tastspitzen (Blind Tip Rekonstruktion)

Die Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der AFM-Spitzenrekonstruktion. Der vom Hersteller angegebene Öffnungswinkel der Tastspitze beträgt ca. 90 Grad. Der berechnete Taster kann in der Folge zur Rekonstruktion der Probenoberfläche verwendet werden.

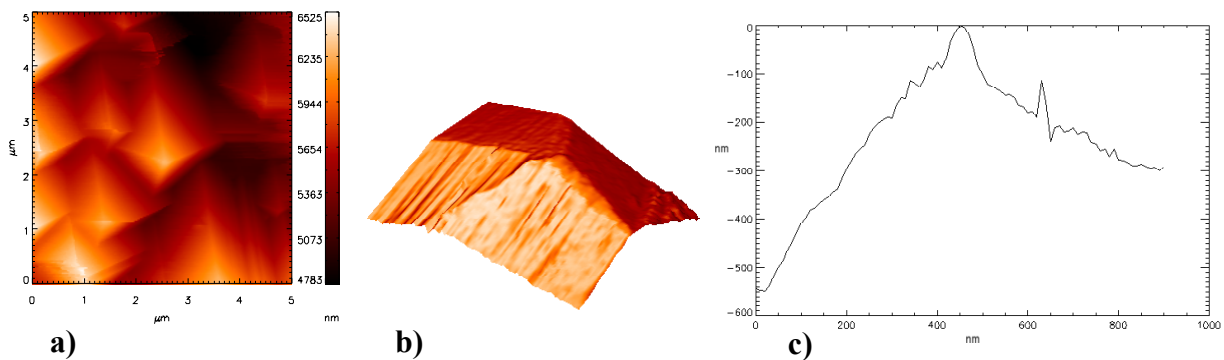


Abbildung 2: a) AFM-Aufnahme, b) über Blind Tip Rekonstruktion errechnete Tastspitze, c) X-Schnitt der Tastspitze (Öffnungswinkel zwischen 90 und 100 Grad)

Literaturhinweise:

- [1] G. Jäger; E. Manske; T. Hausotte, H. Büchner: „Nanomessmaschine zur abfehlerfreien Koordinatenmessung“, tm 7-8/2000, S.271-278
- [2] Machleidt T.; Franke K.-H.: „Sensornahe Messdatenerfassung und Verarbeitung von 3D-Punktwolken“, 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau, 2002
- [3] N. Apel: „Entwicklung von Softwarekomponenten zur Rekonstruktion der Tasterform von Rasterkraftsensoren“, Studienarbeit, Institut für Graphische Datenverarbeitung, TU Ilmenau, 2003
- [4] J.S. Villarrubia: “Algorithms for scanned probe microscope image simulation, surface reconstruction, and tip estimation”, Journal of Research of the National Institut of Standards and Technology 102 425, (1997)

Autorenangaben:

Dipl.-Ing. T. Machleidt
 TU Ilmenau, FG Graphische Datenverarbeitung,
 SFB 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“
 Gustav-Kirchhoff-Straße 5, D-98693 Ilmenau
 Tel.: +49 / 3677 / 2010304 Fax: +49 / 3677 / 2010302
 E-mail: torsten.machleidt@tu-ilmenau.de

PD Dr.-Ing. habil. K.-H. Franke
 TU Ilmenau, FG Graphische Datenverarbeitung
 SFB 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“
 PF 100565, D-98684 Ilmenau
 Tel.: +49 / 3677 / 2010301 Fax: +49 / 3677 / 2010302
 E-mail: karl-heinz.franke@prakinftu-ilmenau.de