



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

# **Ellipsometrie und Rasterkraftmikroskopie an Polymerfilmen**

Arbeitskreis "Weiche Materie an Grenzflächen"

Sommersemester 2022

6. Version Juni 2022  
überarbeitet von Sandra Forg

5. Version April 2022  
überarbeitet von Sandra Forg

4. Version November 2019  
überarbeitet von Sandra Forg

3. Version April 2019  
überarbeitet von Sandra Forg

2. Version März 2018  
überarbeitet von Oliver Löhmann

1. Version September 2017  
Autor\*innen: Mojdeh Heidari und Oliver Löhmann

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versuchsbeschreibung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	Polymerbeschichtung . . . . .	4
2.2	Rotationsbeschichtung . . . . .	4
2.3	Ellipsometrie . . . . .	5
2.4	Rasterkraftmikroskopie . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1	Sicherheitsaspekte . . . . .	6
3.2	Probenpräparation . . . . .	7
3.3	Ellipsometrie . . . . .	8
3.4	Rasterkraftmikroskopie (AFM) . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>12</b>

# 1 Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch werden Siliziumwafer mit Polystyrol mittels der Rotationsbeschichtung beschichtet und der Einfluss verschiedener Parameter untersucht. Dazu werden die Schichtdicken mit Ellipsometrie vermessen und die Oberflächenstruktur mittels Rasterkraftmikroskopie analysiert. Im Mittelpunkt stehen dabei die theoretischen Grundlagen von Polymerbeschichtungen, sowie die Grundlagen und Funktionsweisen der einzelnen Messmethoden. Die Versuchsergebnisse werden mit theoretischen Modellen [1, 2] verglichen:

$$h_f = (1 - c_0)h_w = (1 - c_0) \left[ \frac{3\mu_0}{2\rho\omega^2} k(c_0 - c_\infty) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

mit  $k \propto \omega^{\frac{1}{2}}$

$$\propto \mu_0^{\frac{1}{3}} \omega^{-\frac{1}{2}} (1 - c_0)(c_0 - c_\infty)^{\frac{1}{3}} = \mu_0^{\frac{1}{3}} \omega^{-\frac{1}{2}} [(c_0 - c_\infty)^{\frac{1}{3}} - c_0(c_0 - c_\infty)^{\frac{1}{3}}], \quad (2)$$

wobei  $h$  der Schichtdicke,  $\omega$  der Rotationsgeschwindigkeit und  $\mu$  der Viskosität der Lösung entspricht.

## 2 Theoretische Grundlagen

Anmerkung: In diesem Skript wird nur eine kurze Übersicht gegeben. Die ausführliche Vorbereitung ist an Hand der angegebenen Originalliteratur selbstständig zu erarbeiten.

### 2.1 Polymerbeschichtung

Miniaturisierung elektronischer Bauteile, Gewichtsreduzierung bei verbesserter mechanischer Stabilität und das Bestreben nach Platzersparnis begründen das technologische Interesse an der Herstellung von dünnen und ultradünnen Polymerschichten und -folien. Bei Schichtdicken unter 200 nm spricht man von ultradünnen Beschichtungen [1]. Sowohl für optische Sensoren als auch für die Mikroelektronik sind Polymerbeschichtungen von Interesse [1].

### 2.2 Rotationsbeschichtung

Im Laufe der Jahre wurden viele Techniken entwickelt, um Polymerfilme herzustellen. Wichtig dabei ist sowohl die Reproduzierbarkeit als auch für technische Anwendungen die Möglichkeit im Industriemaßstab zu arbeiten. Die Rotationsbeschichtung (spin coating) hat sich als eine robuste Methode etabliert, um Filme in einem großen Dickenbereich von typischerweise 10 nm bis 2000 nm zu erzeugen. Weitere etablierte Techniken sind unter anderem die Tauch-Technik (dip coating) und das Sprühverfahren (spray coating) (Seiten 1-12 der Quelle [2]).

Bei der Rotationsbeschichtung wird eine Polymerlösung auf ein festes Substrat gegeben. Dieses wird in Rotation versetzt und durch die Zentrifugalkraft wird die Lösung

gleichmäßig auf dem Substrat verteilt. In Abhängigkeit von der Konzentration der Polymerlösung, des Lösemittels und der Rotationsgeschwindigkeit entstehen homogene Beschichtungen [1].

### 2.3 Ellipsometrie

Ellipsometrie ist eine schnelle, nicht destruktive Methode um dünne Schichten zu charakterisieren. Dabei werden Schichtdicke und Brechungsindex bestimmt (Seiten 2 - 10 von Quelle [3] und Seiten 21 - 24 von Quelle [4]). Ein polarisierter Laserstrahl, erzeugt mit einem Polarisator und Kompensator, wird an einer dünnen Schicht reflektiert und die Änderung der Polarisation mit dem Analysator analysiert (Ellipsometer in PCSA-Konfiguration). Der elektrische Feldvektor kann in einen parallel zur Einfallsebene oszillierenden Anteil  $E_p$  und in einen senkrecht zur Einfallsebene oszillierenden Anteil  $E_s$  zerlegt werden. Der einfallende und reflektierte Strahl,  $\vec{E}_{\text{inc}}$  und  $\vec{E}_{\text{refl}}$ , kann über den entsprechenden Jonesvektor beschrieben werden:

$$\vec{E}_{\text{inc}} = \begin{pmatrix} |E_p^i| e^{i\delta_p^i} \\ |E_s^i| e^{i\delta_s^i} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\vec{E}_{\text{refl}} = \begin{pmatrix} |E_p^r| e^{i\delta_p^r} \\ |E_s^r| e^{i\delta_s^r} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Die Änderung des polarisierten Lichtes kann über die ellipsometrischen Winkel  $\Psi$  und  $\Delta$  beschrieben werden

$$\tan \Psi = \frac{|E_p^r|/|E_p^i|}{|E_s^r|/|E_s^i|} \quad (5)$$

$$\Delta = (\delta_p^r - \delta_s^r) - (\delta_p^i - \delta_s^i) \quad (6)$$

Unter Verwendung der ellipsometrischen Winkel  $\Psi$  und  $\Delta$  kann das Verhältnis der Reflektivitäten parallel  $R_p$  und senkrecht  $R_s$  zur Einfallsebene mit der ellipsometrischen Grundgleichung beschrieben werden:

$$\frac{R_p}{R_s} = \tan \Psi e^{i\Delta} \quad (7)$$

Hierbei sind  $\Delta$  und  $\Psi$  keine geometrischen Winkel, hängen jedoch mit den Winkeleinstellungen der beiden Polarisatoren („Analysator“ und „Polarisator“) vor und nach der Reflexion zusammen. Unter der Verwendung eines  $\lambda/4$ -Plättchens als Kompensator entsteht für die im Versuch verwendete Null-Ellipsometrie (siehe Abb. 1) folgender Zusammenhang:

$$\tan \Psi e^{i\Delta} = \frac{R_p}{R_s} = \tan A_0 \cdot \exp^{i(2P_0 + \frac{\pi}{2})} \quad \text{für } C = -45^\circ \quad (8)$$

$$\tan \Psi e^{i\Delta} = \frac{R_p}{R_s} = -\tan A_0 \cdot \exp^{i(\frac{\pi}{2} - 2P_0)} \quad \text{für } C = 45^\circ \quad (9)$$

Dabei ist  $C$  die Winkeleinstellung des Kompensators und  $P_0$  und  $A_0$  jeweils die Winkeleinstellung von Polarisator und Analysator bei kompletter Auslöschung des Lichtes.

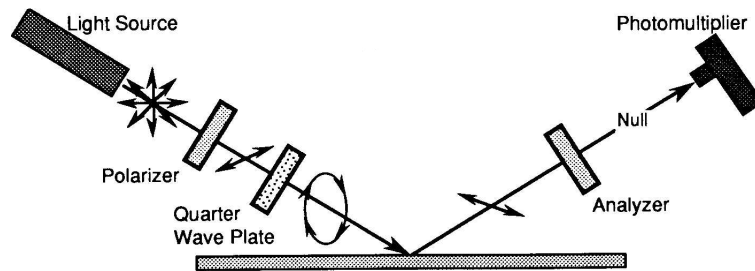


Abbildung 1: Schema der Null-Ellipsometrie: Das Licht aus einer Lichtquelle wird in einem Polarisator linear polarisiert. Eine darauffolgende  $\lambda/4$ -Platte erzeugt elliptisch polarisiertes Licht, welches an der Probe reflektiert wird. Das nach der Reflexion linear polarisierte Licht wird in einem Analysator ausgelöscht. Entnommen aus: [http://www.fis.unipr.it/~gigi/elli/principi\\_ellissometria.html](http://www.fis.unipr.it/~gigi/elli/principi_ellissometria.html)

Das folgende Video erklärt die Grundzüge der Ellipsometrie: <https://www.youtube.com/watch?v=BycPkRIutqg>. Im ersten Teil des Videos wird das Prinzip der Ellipsometrie eingeführt. Der zweite Teil zeigt die Funktionsweise eines Ellipsometers, welches nach einem anderen Prinzip arbeitet als das im Versuch benutzt wird. Das im Versuch verwendete Ellipsometer basiert auf dem Prinzip der Null-Ellipsometrie.

## 2.4 Rasterkraftmikroskopie

Die Rasterkraftmikroskopie (atomic force microscopy, AFM) ist eine Methode, um Oberflächeneigenschaften zu bestimmen. Der prinzipielle Aufbau ist in Abb. 2 zu sehen. Dabei wird mit einer Spitze ( $r < 10 \text{ nm}$ ) über die Oberfläche gerastert und auf Grund der Wechselwirkungen zwischen der Probe und der Spitze ein Bild erzeugt. Die maximale Auflösung kann einige Ångström betragen. In diesem Versuch werden die Messungen im *tapping mode* durchgeführt (Seiten 1 - 9 der Quelle [5] und Seiten 1 - 7 der Quelle [6]). Der Messbereich innerhalb einer Kraft-Abstandskurve ist in Abb. 3 dargestellt.

Das folgende Video zeigt die prinzipielle Funktionsweise eines AFM: <https://www.youtube.com/watch?v=fivhcWYEtKQ>

## 3 Durchführung

### 3.1 Sicherheitsaspekte

Informieren Sie sich vor dem Versuchstag über die Gefahren der in Tabelle 3.1 aufgelisteten Chemikalien.

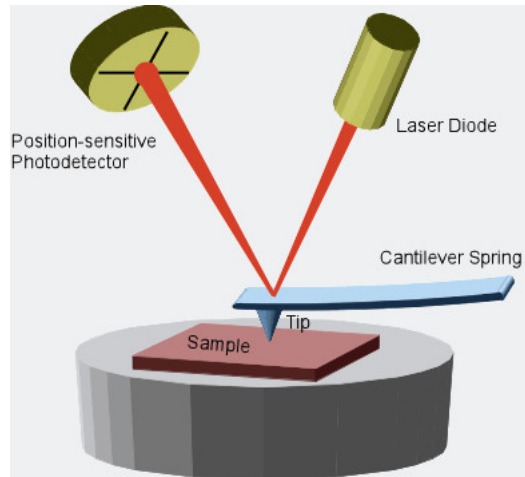


Abbildung 2: Schema der Rasterkraftmikroskopie: Die an einem Cantilever befestigte Spitze wechselwirkt mit der Probe. Ein Laser, welcher an der Rückseite des Cantilevers zu einer Photodiode hin reflektiert wird, misst die auf den Cantilever wirkenden Kräfte. Daraus kann ein Bild erzeugt werden. Entnommen aus: <https://physik.uni-greifswald.de/en/soft-matter-and-biophysics-prof-christiane-helm/methods/afm-atomic-force-microscope/>

Chemikalie	Eigenschaften	Gefahrensymbole
Silizium	100 Kristall p-Dotierung Bor	
Toluol	99 %	
Ethanol	≥ 99,8 %	
Polystyrol	$M_w \simeq 192,000$ g/mol	

Außerdem informieren Sie sich über den Umgang und die Gefahren mit Lasern der Klassen 1M und 3R. Legen Sie während des Versuches Ringe und anderen Schmuck ab und verwenden Sie während der Messungen ausschließlich geschwärztes Werkzeug und entsprechende Laserschutzbrillen. Auf kurze Hosen und offene Schuhe ist zu verzichten, lange Haare sind geschlossen zu tragen. Des Weiteren ist das Tragen von Kontaktlinsen im Labor nicht gestattet.

### 3.2 Probenpräparation

Schneiden Sie mit Hilfe eines Glasschneiders Siliziumsubstrate der Abmaße  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ . Anschließend werden die Träger mit Reinstwasser abgespült und 5 Minuten in Ethanol

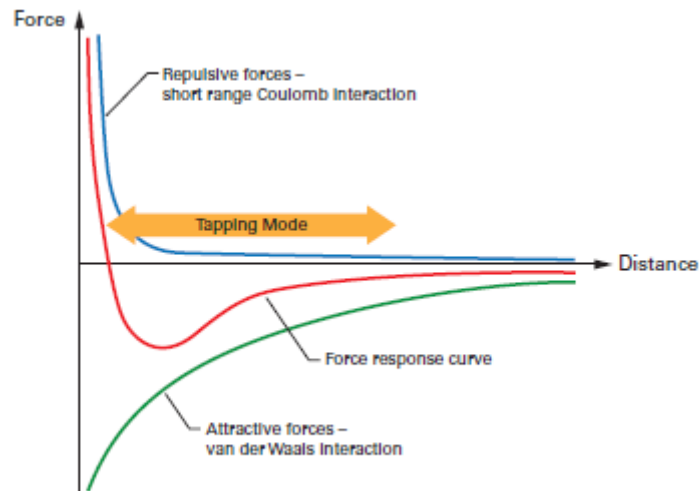


Abbildung 3: Kraft-Abstandskurve: Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Spitze und Probe. Entnommen von <https://www.bruker.com/products/surface-and-dimensional-analysis/atomic-force-microscopes/afm-application-notes/an133-introduction-to-brukers-scanasyst-and-peakforce-tapping.html>

im Ultraschallbad gereinigt.

Die zur Verfügung gestellte Polystyrol-Stammlösung hat eine Konzentration von 100 g/L. Stellen Sie daraus jeweils 10 mL mit folgenden Konzentrationen her: 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L und 25 g/L. Überlegen Sie sich vor der Versuchsdurchführung eine geeignete Verdünnungsreihe.

Die gereinigten und getrockneten Siliziumträger werden mittels Rotationsbeschichtung mit Polystyrol beschichtet. Dazu werden die Träger mittig auf dem Halter platziert und vollständig mit der jeweiligen Lösung benetzt. Die Rotationsgeschwindigkeit beträgt 2000 rpm und die Beschichtungsdauer 30 s. Um die Abhängigkeit der Schichtdicke von der Rotationsgeschwindigkeit zu bestimmen, werden außerdem zwei weitere Träger mit der Lösung von 15 g/L bei folgenden Rotationsgeschwindigkeiten beschichtet: 1000 rpm und 3000 rpm.

### 3.3 Ellipsometrie

Alle Proben werden mindestens an 5 verschiedenen Punkten vermessen. Zur Vorbereitung der Messung müssen die Stromquellen für den Laser, den Polarisator und den Analysator eingeschaltet werden. Anschließend wird die Software *Multi70* verwendet und der Modus *Alignment* ausgewählt. Der *Angle of incidence* wird auf 70° eingestellt und die Probe wird mittig auf dem Probenstisch platziert.

Für optimale Ergebnisse muss die Probe ausgerichtet werden. Dazu wird der Detektor



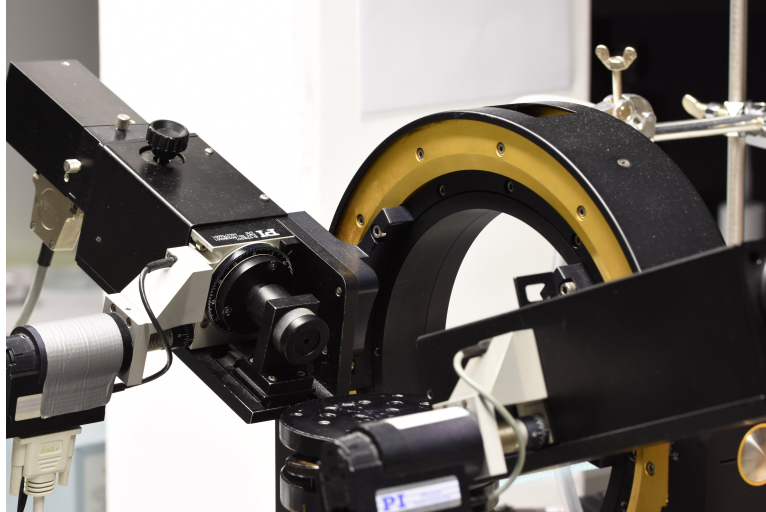


Abbildung 4: Ellipsometer Multiskop von Optrel

entfernt und durch das Rohr mit Fadenkreuz ersetzt. Der Shutter wird geöffnet und die Reflexion des Laserstrahls beobachtet. Der Probenstisch kann sowohl in der Höhe verschoben als auch in der Ebene gekippt werden. Die Probe ist optimal ausgerichtet, wenn der reflektierte Laserstrahl mittig auf dem Fadenkreuz zu sehen ist. Der Shutter wird geschlossen und das Sehrohr durch den Detektor ausgetauscht. Für die Feinausrichtung wird der Menüpunkt *Sample alignment* in der Software ausgewählt. Der Shutter wird geöffnet. Nun sind auf dem Bildschirm zwei Ringe zusehen. Diese geben die Detektorposition sowie die Position des Laserstrahls an. Optimale Ergebnisse werden erzielt, wenn beide Ringe möglichst gut übereinander liegen. Dazu wird nochmal die Neigung des Probenstückes angepasst.

Der Menüpunkt wird geschlossen und *Ellipsometry* aufgerufen. Der Unterpunkt *Algorithm* wird auf *Zone 1/3* gestellt und *Find null setting* ausgewählt. Für einen gegebenen Kompensatorwinkel von  $C = -45^\circ$  sind für jeweils zwei Polarisator- und Analysator-einstellungen die Bedingungen für Nullellipsometrie gegeben (Zone 1 und Zone 3). Das Programm minimiert die Laserintensität auf dem Detektor durch Drehen von Analysator und Polarisator. Anschließend wird über den Befehl *Measure* die Messung gestartet, wobei sowohl in Zone 1 als auch in Zone 3 gemessen wird. Dann können die beiden Werte  $\Delta$  und  $\Psi$  notiert werden, sofern die beiden Polarisatorwinkel aus Zone 1 und 3 ca.  $90^\circ$  und die des Analysators ca.  $180^\circ$  Unterschied betragen. Ist dies nicht der Fall muss die Messung wiederholt werden und der Laser gegebenenfalls nachjustiert werden. Der Shutter wird geschlossen, die Probe verschoben, der Shutter wieder geöffnet und der nächste Punkt auf der Probe vermessen. Vermessen Sie möglichst einen Punkt in der Mitte der Probe und die weiteren 4 am Rand der Probe und notieren Sie sich die jeweilige Position. Ist die Probe vollständig vermessen wird der Shutter geschlossen und das Programm *Ellip* ausgewählt. Überprüfen Sie ob die Einstellungen von Winkel und

Wellenlänge für Ihren Versuch stimmen und laden Sie über *Load layer model* das Model *Praktikum* aus dem Pfad C:\MultiAlt\Praktikum\PS. Im Bereich *Simulation Parameter* können die theoretischen Werte ermittelt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die erwarteten Messwerte innerhalb der Grenzen liegen. Über den Menüpunkt *Multi* können die letzten 30 Messwerte aus dem Messprogramm eingelesen werden. Wählen Sie den zu fittenden Datensatz aus der Tabelle aus. Über den Menüpunkt *Fit data set* wird Ihr Datensatz an das Model gefittet.

Notieren Sie sich die Schichtdicke  $h$  und den Brechungsindex  $n$ . Achten Sie auf die Abweichung von Messdaten und Fitdaten  $\Delta - \Delta^\circ$  und  $\Psi - \Psi^\circ$ . Sind die Abweichungen größer als  $0,01^\circ$ , kontrollieren Sie Ihre Messdaten und Fits und schließen Sie mögliche Fehlerquellen aus. Ist die Probe vollständig ausgewertet, kann die nächste Probe auf dem Proben Tisch platziert werden. Nun kann direkt mit der Feinausrichtung über das Menü *Alignment* und den Menüpunkt *Sample alignment* in der Software gestartet werden.

Alle Proben werden wie oben beschrieben vermessen. Die Messdaten und Fitdaten werden notiert.

### 3.4 Rasterkraftmikroskopie (AFM)

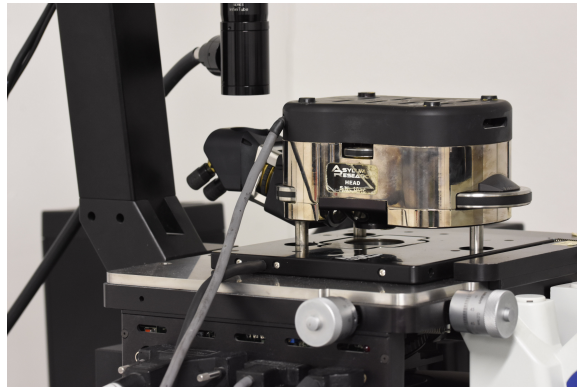


Abbildung 5: Rasterkraftmikroskop MFP-3D der Firma Asylum Research

Nun werden 3 selbst ausgewählte Proben vermessen, die zuvor an mindestens 5 Punkten im Ellipsometer vermessen wurden.

Um die Probe im Gerät zu positionieren, wird zunächst der Messkopf abgenommen und umgedreht neben dem Gerät abgelegt. Die Probe wird auf einem Objektträger mittig positioniert und auf der silbernen Scannerplatte platziert. Der Objektträger wird mit 2 Magneten fixiert und darf nicht über den Scannertisch hinaus ragen. Dann wird sichergestellt, dass die Abstandshalter (legs) am Messkopf maximal ausgefahren sind. Der Messkopf wird oberhalb der Probe positioniert. Mit Hilfe der Libelle wird während der gesamten Ausrichtung sichergestellt, dass der Messkopf in Waage steht. Die externe

Lichtquelle wird angeschaltet und das Programm *Asylum Research* wird geöffnet. Im Menü wird *Standard* → *topography* → *AC Air topography* ausgewählt.

Es öffnen sich verschiedene Fenster und über den Button *Video Window* kann eine Liveansicht des Federbalkens (Cantilever) eingeschaltet werden. Am hinteren Teil des Messkopfes (siehe Abb. 6) wird der Fokus Kamera so positioniert, dass der Cantilever mittig und scharf im Bild zu sehen ist. Die Stellräder *LDX* und *LDY* am Messkopf verändern die Laserposition. Der Laser wird mittig im vorderen Teil des Cantilevers so positioniert, dass der Wert *SUM* im Panel *Sum and Deflection meter* maximiert wird. Er sollte mindestens 6 V betragen. Mit dem Rad *PD* wird der Wert *Deflection* zu null gebracht um die Reflexion des Lasers mittig auf dem Detektor zu positionieren. Anschließend werden die Resonanzfrequenz und die Federkonstante des Cantilevers bestimmt. Dazu wird die Lichtquelle ausgeschaltet und im Reiter *Thermal* im *Master Panel* die Funktion *GetReal Probe Panel* ausgewählt. Hier wird der richtige Cantilever ausgewählt (AC-160 TS) und die Kalibrierung gestartet. Nach Abschluss der Kalibrierung erscheinen die Werte im *Master Panel*. Nun muss noch die Anregung des Cantilevers eingestellt werden. Dazu wird im Reiter *Tune* der Button *auto tune* ausgewählt. Dadurch wird die Anregung des Cantilevers so eingestellt, dass die freie Amplitude 1 V beträgt und der Cantilever in 90° Phasenverschiebung zur Anregung schwingt. Die Lichtquelle wird wieder eingeschaltet und folgende Messparameter im Reiter *Image* festgelegt: Scan size 10 x 10 µm, Points & Lines 256, ScanRate 1 Hz, Setpoint 800 mV und Integral Gain 20. Weiterhin wird ein Bildname und der Speicherort (D:\Results\Praktikum\Semester\Gruppenname) unter *Path* festgelegt.



Abbildung 6: Draufsicht Messkopf

Nun kann der Cantilever an die Probe heran geführt werden. ACHTUNG: Bei zu weitem Herunterfahren droht die Zerstörung des Cantilevers. Daher ist hier besondere Vorsicht geboten. Außerdem ist darauf zu achten, dass der Messkopf in Waage bleibt. Im Panel *Sum and Deflection Meter* die Option *Engage* ausgewählt. Der Piezokristall ist jetzt maximal nach unten ausgelenkt. Der Messkopf wird nun solange mit den entsprechenden Rädern nach unten gefahren bis der Cantilever mit der Probe in Wech-

selwirkung tritt. Der Messkopf wird weiter hinunter gefahren bis die Anzeige *Z Voltage* um die 70 mV anzeigt. Der Piezokristall befindet sich nun in mittlerer Position und kann den maximalen Höhenunterschied scannen. Mit dem Button *Frame up/down* kann die Messung gestartet werden. Im Fenster *Height retrace* ist der Oberflächenscan zu verfolgen. Die roten und blauen Linien sollten möglichst übereinander liegen um eine gute Bildqualität zu erreichen. Bildoptimierungen werden zusammen mit der Assistentin/dem Assistenten durchgeführt.

Nach der Messung wird der Messkopf mit den entsprechenden Rädern (Auf die richtige Drehrichtung achten!) von der Probe entfernt und schließlich vom Gerät entnommen. Die Probe wird gewechselt und die Messparameter wieder auf die Anfangseinstellungen gebracht. Eine erneute Kalibrierung ist nicht nötig. Jedoch müssen Amplitude und Phase überprüft werden. Falls es starke Abweichungen gibt, muss der Laser wieder richtig positioniert werden und erneut der Cantilever getunt werden. Anderenfalls kann der Cantilever direkt wieder an die Probe geführt werden.

Abschließend werden die Rauigkeiten der einzelnen Proben bestimmt. Dazu wird das entsprechende Bild über *AFM Analysis* und *Browse saved data* aufgerufen. Über den Button *M* (Modify) muss das Bild zunächst bearbeitet werden. Im Reiter *Planefit* kann die Kippung der Probe ausgeglichen werden. Weitere eventuelle Bearbeitungsschritte werden mit der Assistentin/ dem Assistenten besprochen. Über den Button *A* (Analyse) kann die mittlere Rauigkeit (RMS - root mean square) auf drei  $1 \times 1 \mu\text{m}$  großen Bereichen bestimmt werden. Für jeden Wert gilt ein Fehler von 80 pm. Aus den drei Werten kann ein entsprechender Mittelwert gebildet werden. Es werden alle ermittelten Rauigkeiten notiert sowie eine Bilddatei pro Probe gespeichert.

## 4 Auswertung

Fassen Sie kurz Ihre Versuchsdurchführung zusammen und gehen Sie dabei vor allem auf Abweichungen vom Skript ein. Geben Sie ihren Messwerte tabellarisch sowie in einer geeigneten graphischen Darstellung wieder. Bestimmen Sie die Exponenten  $a$  und  $b$  der Gleichung 10, um einen Zusammenhang der Schichtdicke  $h$  mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  und der Konzentration  $c$  zu bestimmen.

$$h \propto \omega^a \propto c^b \quad (10)$$

Vergleichen Sie diese mit theoretischen Modellen und diskutieren Sie eventuelle Abweichungen. Diskutieren Sie auch die aus der Ellipsometrie bestimmten Messwerte für den Brechungsindex.

Bestimmen Sie die Rauigkeit der mittels Ellipsometrie vermessen Proben. Diese kann direkt über die Standardabweichung der Schichtdicken für jede Probe bestimmt werden. Vergleichen Sie die Werte mit denen aus den AFM-Messungen. Beschreiben Sie etwaige Unterschiede. Beschreiben Sie außerdem die Oberflächentopographien aus den AFM-Messungen.

Befassen Sie sich außerdem mit der korrekten Darstellung eines Versuchsprotokolls. Hierzu gehören auch formale Konventionen. Als Anhaltspunkt kann Ihnen die FP Gedan-

kenstütze dienen: [https://www.ipkm.tu-darmstadt.de/media/ipkm/studium\\_ipkm/f\\_praktikum/fprakt/Gedankenstuetze\\_FPProtokoll.pdf](https://www.ipkm.tu-darmstadt.de/media/ipkm/studium_ipkm/f_praktikum/fprakt/Gedankenstuetze_FPProtokoll.pdf) .

## Literatur

- [1] David B. Hall, Patrick Underhill, and John M. Torkelson. Spin coating of thin and ultrathin polymer films. *Polymer Engineering & Science*, 38(12):2039–2045, 1998.
- [2] K. Norrman, A. Ghanbari-Siahkali, and N. B. Larsen. Studies of spin-coated polymer films. *Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C: Phys. Chem.*, 101:174–201, 2005.
- [3] H. Motschmann and R. Teppner. Ellipsometry in interface science. *Max-Planck-Institut für Grenzflächenforschung, Gollm.*
- [4] Tobias Holmgaard Jesper Jung, Jakob Bork and Niels Anker Kortbek. Detection of nanostructures. Technical report, Aalborg University; Institute of Physics and Nanotechnology, 2004.
- [5] Ricardo Garcia and Rubén Pérez. Dynamic atomic force microscopy methods. *Surface Science Reports*, 47(6):197 – 301, 2002.
- [6] E. Meyer. Atomic force microscopy. *Progress in Surface Science*, 41(1):3 – 49, 1992.