

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Mechanische Nanostrukturierung.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Einführung und Motivation .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Apparativer Aufbau.....</b>	<b>4</b>
2.2.1	Das Rasterkraftmikroskop .....	4
2.2.1.1	Funktionsweise.....	4
2.2.1.2	Spitze-Probe-Wechselwirkungen .....	5
2.2.1.3	Betriebsmodi .....	8
2.2.2	Das Strukturierungs-AFM .....	9
2.2.2.1	Experimenteller Aufbau und Steuerung .....	9
2.2.2.2	Cantilever .....	10
<b>2.3</b>	<b>Strukturierung von isolierenden Festkörperoberflächen.....</b>	<b>11</b>
2.3.1	Glimmer.....	11
2.3.2	DC-Strukturierung von Glimmeroberflächen .....	12
2.3.3	AC-Strukturierung von Glimmeroberflächen .....	14
2.3.3.1	Einfluss der Strukturierungsparameter.....	16
2.3.3.2	Zeitliche Stabilität der hergestellten Nanostrukturen .....	18
<b>2.4</b>	<b>Strukturierung von Metallinselfilmen.....</b>	<b>19</b>
2.4.1	Übertragung des Verfahrens auf metallische Strukturen .....	19
2.4.2	Präparation der Goldinselfilme.....	19
2.4.3	DC-Strukturierung von Goldinselfilmen .....	20
2.4.4	AC-Strukturierung von Goldinselfilmen .....	22
2.4.4.1	Herstellung von Nanodevices.....	22
2.4.4.2	Diffusion und Reintegration.....	23
<b>2.5</b>	<b>Zusammenfassung: mechanische Nanostrukturierung .....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>Elektrochemische Nanostrukturierung .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Einführung und Motivation .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Elektrochemische Grundlagen.....</b>	<b>29</b>
3.2.1	Theorie.....	29
3.2.1.1	Begriffsdefinition Elektrochemie .....	29
3.2.1.2	Elektrochemische Doppelschicht .....	31
3.2.1.3	Nernstsche Gleichung .....	33
3.2.1.4	Überpotentialabscheidungen .....	34
3.2.1.5	Dynamik elektrochemischer Prozesse.....	35
3.2.1.6	Wachstumstypen der Metallabscheidung .....	46
3.2.2	Elektroden und Potentialkontrolle .....	49
3.2.2.1	Potentialverläufe an der Elektrode .....	49
3.2.2.2	Drei-Elektroden-Anordnung und potentiostatische Kontrolle .....	50
3.2.2.3	Standard- und Referenzelektroden .....	52
3.2.3	Potentiostat .....	53
3.2.4	Zyklische Voltammogramme .....	55
3.2.4.1	Verfahrensweise .....	55
3.2.4.2	Deckschichtdiagramme .....	58
3.2.5	Elektrochemische Verfahren zur Nanostrukturierung .....	60
3.2.5.1	Einleitung .....	60
3.2.5.2	Elektrochemische Rastersondenverfahren .....	60
3.2.5.3	Strukturierungsexperimente mit SECM und ECSTM .....	61
3.2.5.4	Strukturierungsexperimente mit dem Elektrochemischen Rasterkraftmikroskop .....	62

<b>3.3</b>	<b>Apparativer Aufbau.....</b>	<b>64</b>
3.3.1	Aufbau und Funktionsweise des Elektrochemischen Rasterkraftmikroskops .....	64
3.3.2	Elektrochemische Zelle und Cantilever.....	65
3.3.2.1	Aufbau der elektrochemischen Zelle.....	65
3.3.2.2	Cantilever und Cantilever-Halter .....	66
3.3.2.3	Tip-Artefakte in der elektrochemischen Zelle.....	66
3.3.3	Substrat-Präparation .....	67
<b>3.4</b>	<b>Abscheidungsmodus und Strukturierungsmodell.....</b>	<b>68</b>
3.4.1	Elektrochemisches System zur Abscheidung von Kupfer auf Goldoberflächen .....	68
3.4.1.1	Elektrolyt zur elektrochemischen Kupferabscheidung.....	68
3.4.1.2	Elektroden zur elektrochemischen Kupferabscheidung .....	68
3.4.1.3	Eigenschaften der elektrochemischen Abscheidung von Kupfer auf Goldsubstraten ..	68
3.4.2	Elektrochemische Abscheidung von Kupferinselfilmen.....	70
3.4.3	AFM-spitzeninduziertes Abscheiden einzelner Kupferinseln .....	72
3.4.4	Diskussion des Strukturierungsmechanismus .....	77
<b>3.5</b>	<b>Weitere Untersuchungen zur spitzeninduzierten Abscheidung von Kupfer .....</b>	<b>80</b>
3.5.1	Sequentielles Schreiben durch Selbstpassivierung .....	80
3.5.2	Löschen und Reversibilität .....	83
3.5.3	Selektivität.....	85
3.5.4	Langzeitbeobachtung und Export aus dem Elektrolyten .....	86
<b>3.6</b>	<b>Abscheidung weiterer Metalle.....</b>	<b>90</b>
3.6.1	Einleitung .....	90
3.6.2	Abscheidung von Silber.....	90
3.6.2.1	Elektrolyt zur elektrochemischen Silberabscheidung .....	90
3.6.2.2	Elektroden zur elektrochemischen Silberabscheidung .....	91
3.6.2.3	Elektrochemische Abscheidung von Silber auf Goldsubstraten.....	91
3.6.2.4	Spitzeninduzierte Abscheidung von Silber .....	92
3.6.3	Abscheidung von Nickel.....	93
3.6.3.1	Einleitung .....	93
3.6.3.2	Elektrolyt zur elektrochemischen Nickelabscheidung .....	93
3.6.3.3	Elektroden zur elektrochemischen Nickelabscheidung.....	94
3.6.3.4	Eigenschaften der elektrochemischen Abscheidung von Nickel.....	94
3.6.3.5	Zyklisches Voltammogramm der Nickelabscheidung auf polykristallinem Gold.....	95
3.6.3.6	Spitzeninduzierte Abscheidung und selektives Auflösen von Nickel .....	97
<b>3.7</b>	<b>Zusammenfassung: elektrochemische Nanostrukturierung.....</b>	<b>99</b>
<b>4</b>	<b><i>Elektrochemisch hergestellte atomare Punktkontakte.....</i></b>	<b>101</b>
<b>4.1</b>	<b>Einführung und Motivation .....</b>	<b>101</b>
<b>4.2</b>	<b>Erzeugung und theoretische Beschreibung von Punktkontakten.....</b>	<b>102</b>
4.2.1	Theoretische Modelle .....	102
4.2.1.1	Einleitung .....	102
4.2.1.2	Klassischer Fall: Maxwell-Leitfähigkeit .....	103
4.2.1.3	Semiklassische Näherung für ballistische Kontakte: Sharvin-Leitfähigkeit .....	103
4.2.1.4	Landauer-Büttiker-Formel .....	104
4.2.1.5	Das Freie-Elektronen-Modell atomarer Kontakte .....	106
4.2.1.6	Leitwert-Moden in einatomaren Kontakten .....	112
4.2.2	Methoden zur Erzeugung von Quantenpunktkontakten.....	113
4.2.2.1	Einleitung .....	113
4.2.2.2	Verfahren zur mechanischen Erzeugung metallischer Punktkontakte .....	114
4.2.2.3	Elektrochemisch abgeschiedene atomare Kontakte .....	114
<b>4.3</b>	<b>Apparativer Aufbau/Präparation.....</b>	<b>115</b>
4.3.1	Messaufbau.....	115
4.3.2	Messelektronik und Kontrolle der Potentiale .....	116
4.3.3	Präparation der Elektroden .....	118
4.3.4	Isolation der Elektroden und elektrochemische Leckströme .....	121
4.3.5	Aspekte der mechanischen, thermischen und chemischen Stabilität .....	122

<b>4.4</b>	<b>Messung quantisierter Leitwerte an elektrochemisch hergestellten Punktkontakten .....</b>	<b>124</b>
4.4.1	Einleitung .....	124
4.4.2	Elektrochemisches System zur Silberabscheidung .....	124
4.4.3	Elektrochemische Abscheidung atomarer Silberkontakte .....	125
4.4.4	Höhere Leitwertniveaus .....	127
4.4.5	Langzeitstabilität .....	128
4.4.6	Reproduzierbare Stufen .....	129
4.4.7	Zusammenfassung .....	131
<b>4.5</b>	<b>Statistische Analyse von atomaren Silberkontakten .....</b>	<b>132</b>
4.5.1	Einleitung .....	132
4.5.2	Verfahren zur Auswertung von Leitwertniveaus .....	132
4.5.3	Leitwerte bis $6 G_0$ und elektronische Schaleneffekte .....	133
4.5.4	Zeitstabilität der Leitwertniveaus .....	139
4.5.5	Struktureller Schaleneffekt .....	141
4.5.6	Zusammenfassung .....	145
<b>4.6</b>	<b>Atomares Schalten .....</b>	<b>146</b>
4.6.1	Einleitung .....	146
4.6.2	Spontanes bistabiles Schalten .....	146
4.6.3	Gezieltes atomares Schalten .....	148
4.6.3.1	„Trainieren“ von Kontaktkonfigurationen durch Zyklisieren .....	148
4.6.3.2	Periodisches Schalten .....	149
4.6.3.3	Gezieltes Ansteuern .....	152
4.6.4	Zusammenfassung der Experimente zum bistabilen Schalten .....	154
<b>4.7</b>	<b>Zusammenfassung: elektrochemisch hergestellte atomare Punktkontakte .....</b>	<b>154</b>
<b>5</b>	<b><i>Zusammenfassung und Ausblick .....</i></b>	<b><i>157</i></b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>161</b>
	<b>Cantilever-Datenblätter .....</b>	<b>161</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>165</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>183</b>