

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Mechanische Nanostrukturierung.....	3
2.1	Einführung und Motivation	3
2.2	Apparativer Aufbau.....	4
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
2.3	Strukturierung von isolierenden Festkörperoberflächen.....	11
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
2.4	Strukturierung von Metallinselfilmen.....	19
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
2.5	Zusammenfassung: mechanische Nanostrukturierung	25
3	Elektrochemische Nanostrukturierung	27
3.1	Einführung und Motivation	27
3.2	Elektrochemische Grundlagen.....	29
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

3.3	Apparativer Aufbau.....	64
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
3.4	Abscheidungsmodus und Strukturierungsmodell.....	68
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
3.5	Weitere Untersuchungen zur spitzeninduzierten Abscheidung von Kupfer	80
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
3.6	Abscheidung weiterer Metalle.....	90
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
3.7	Zusammenfassung: elektrochemische Nanostrukturierung.....	99
4	<i>Elektrochemisch hergestellte atomare Punktkontakte.....</i>	101
4.1	Einführung und Motivation	101
4.2	Erzeugung und theoretische Beschreibung von Punktkontakten.....	102
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
4.3	Apparativer Aufbau/Präparation.....	115
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

4.4	Messung quantisierter Leitwerte an elektrochemisch hergestellten Punktkontakten	124
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
4.5	Statistische Analyse von atomaren Silberkontakten	132
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
4.6	Atomares Schalten	146
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
4.7	Zusammenfassung: elektrochemisch hergestellte atomare Punktkontakte	154
5	<i>Zusammenfassung und Ausblick</i>	157
Anhang	161
	Cantilever-Datenblätter	161
	Literaturverzeichnis	165
	Danksagung	183