



Methoden der Leitfähigkeitsuntersuchung mittels Rasterkraftmikroskop und deren Anwendung auf Barium Titanat Systeme

Bernd Reichenberg

Schlüsseltechnologien / Key Technologies

Band / Volume 179

ISBN 978-3-95806-350-1

Forschungszentrum Jülich GmbH
Peter Grünberg Institut (PGI)
Elektronische Materialien (PGI-7)

Methoden der Leitfähigkeitsuntersuchung mittels Rasterkraftmikroskop und deren Anwendung auf Barium Titanat Systeme

Bernd Reichenberg

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Schlüsseltechnologien / Key Technologies

Band / Volume 179

ISSN 1866-1807

ISBN 978-3-95806-350-1

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	x
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	2
1.2 Ziele	3
1.3 Übersicht	5
2 Materialeigenschaften von Bariumtitanat	7
2.1 Kristallographische Struktur	9
2.1.1 Kristallfehler und Defekte	10
2.2 Elektronische Struktur	13
2.2.1 Allgemein	13
2.2.2 Bariumtitanat	15
2.3 Gitterdynamik für die ferro- und paraelektrische Phase	15
2.3.1 Thermische Vibrationen, die Phononen	17
2.4 Elektrische Leitfähigkeit	19
2.4.1 Volumenbegrenzter Ladungstransport	19
2.4.2 Leitfähigkeit bei Temperaturen $< 500^{\circ}\text{C}$	22
2.4.3 Leitfähigkeit bei Temperaturen zwischen 500°C und 1000°C	22

3	Grundlagen der Charakterisierung	23
3.1	Das Rasterkraftmikroskop	24
3.1.1	Betriebsmodi des Rasterkraftmikroskops	25
3.1.2	Eigenschaften der Spitze	28
3.1.3	Anwendungen des Rasterkraftmikroskops	30
3.2	Die Sekundärionen Massenspektrometrie	34
3.3	Die Röntgenbeugungsanalyse	36
3.4	Die Photoelektronenspektroskopie	37
4	Weiterentwicklung des Rasterkraftmikroskops	41
4.1	Messen der elektrischen Leitfähigkeit mit einem Rasterkraftmikroskop	42
4.1.1	Die AFM- Spitze als Nanosonde	42
4.1.2	Hochempfindliche Strom-Spannungswandler für Signale mit hochohmigen Quellwiderständen	47
4.1.3	Erweiterung eines kommerziellen AFMs zur elektrischen Untersuchung von Perowskiten	53
4.2	Messen des Oberflächenpotentials mit dem Rasterkraftmikroskop	56
4.2.1	Anforderungen bei der Messung von Perowskiten	56
4.2.2	Die parasitäre Kapazität des Cantilevers	57
4.2.3	Hochempfindliche Elektrometerverstärker für Signale mit hochohmigen Quellwiderständen	61
4.2.4	Erweiterung des Rasterkraftmikroskops	69
4.3	Gleichzeitiges Messen der lokalen Leitfähigkeit und der Piezoantwort	73
4.3.1	Erweiterung der Messhardware	74
4.3.2	Software zur Datenerfassung und Bearbeitung	76
4.4	Zusammenfassende Betrachtung der Weiterentwicklungen	77

5	Anwendung auf Bariumtitanat	79
5.1	Kristallographische Untersuchungen an Bariumtitanat Dünnschichten mittels Röntgenbeugungsanalyse	80
5.2	Die Elektronische Struktur von Bariumtitanat Dünnschichten	81
5.3	Die laterale Verteilung der chemischen Elemente von BaTiO ₃	86
5.3.1	Lateralverteilung der Elemente gemessen an stöchiometrischen Bariumtitanat Dünnschichten	86
5.3.2	Lateralverteilung der Elemente nach thermischer Reduktion von Bariumtitanat Dünnschichten	87
5.3.3	Lateralverteilung der Elemente nach Re-Oxidation von thermisch reduzierten Bariumtitanat Dünnschichten	88
5.4	Morphologie und Topographie von Bariumtitanat Dünnschichten	88
5.5	Untersuchungen der elektromechanischen und ferroelektrischen Struktur von Bariumtitanat Dünnschichten	90
5.6	Untersuchungen der elektrischen Leitfähigkeit	93
5.6.1	Leitfähigkeitsuntersuchungen an Makro-Elektroden	94
5.6.2	Heterogenität der Leitfähigkeit von Bariumtitanat	95
5.6.3	Lokale Leitfähigkeit von Bariumtitanat nach thermischer Reduktion	99
5.6.4	Korrelation zwischen Topographie und Leitfähigkeit	100
5.6.5	Statistische Auswertung des Auftretens von leitenden Pfaden	101
5.6.6	Korrelation zwischen den Defekten und der lokalen Leitfähigkeit	102
5.6.7	Limit der Skalierbarkeit aufgrund von lokal leitenden Pfaden	103
5.7	Oberflächenpotentialmessungen	106
5.7.1	Potentialmessungen an Bariumtitanat Dünnschichten	106

5.7.2	Korrelation der Potentialmessungen mit der Topographie	109
5.8	Temperaturabhängige Messungen	110
5.8.1	Dielektrische Messungen an Bariumtitanat Dünnschichten	111
5.8.2	Röntgenbeugungsanalyse an Bariumtitanat Dünnschichten (RT-300°C)	112
5.8.3	Piezoantwortsmessungen an Bariumtitanat Dünnschichten	114
5.8.4	Messungen der lokalen Leitfähigkeit an Bariumtitanat Dünnschichten	115
5.8.5	Einfluss der thermisch bedingten Verspannungen	116
5.9	Lokale Leitfähigkeit korreliert mit Piezoresponse	119
6	Zusammenfassung und Ausblick	123
6.1	Zusammenfassung	123
6.2	Ausblick	125
7	Anhang	127
	Index	127
	Abkürzungsverzeichnis	129
	Literatur	131
	Publikationsliste	143

Schlüsseltechnologien / Key Technologies

Band / Volume 179

ISBN 978-3-95806-350-1

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

