

**Eine Nanopositioniervorrichtung mit
integrierten piezoresistiven Sensoren für
Hochgeschwindigkeits-
Rastersondenmikroskopie-Anwendungen**

Elshad Guliyev



**Universitätsverlag Ilmenau
2012**

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

- Tag der Einreichung: 9. Juli 2010
1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Rangelow
(Technische Universität Ilmenau)
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Manske
(Technische Universität Ilmenau)
3. Gutachter: Dr. Norbert Lenk
(AJ IDC Geräteentwicklungsgesellschaft mbH,
Langwiesen)
- Tag der Verteidigung: 23. Juni 2011

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag

Herstellung und Auslieferung

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

www.mv-verlag.de

ISBN 978-3-86360-033-4 (Druckausgabe)

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2011000543

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Probleme des Hochgeschwindigkeits-Rasterkraftmikroskop-Systems	2
1.2. Stand der Technik.....	4
1.3. Ziel und Aufgaben der Arbeit	7
1.4. Vorgehensweise	9
2. Grundlagen	11
2.1. Grundlagen der Rasterkraftmikroskope	11
2.1.1. Aufbau.....	11
2.1.2. Betriebsmoden	13
2.1.3. Abbildungsgeschwindigkeit des AFM.....	13
2.1.4. Positioniervorrichtungen für AFM.....	15
2.1.5. Prinzipien der Hochgeschwindigkeits-Positioniervorrichtungen.....	17
2.2. Materialverhalten.....	20
2.2.1. Metalle	21
2.2.2. Silizium.....	22
2.2.3. Piezoresistiver Effekt	25
2.2.4. Keramische Werkstoffe.....	28
2.3. Piezoelektrizität und piezokeramische Aktoren	29
2.3.1. Piezoelektrizität.....	29
2.3.2. Piezokeramische Antriebe.....	30
2.3.3. Betriebsarten von Piezoaktoren - statisch oder dynamisch?	32
2.3.4. Verluste und Wärmeentwicklung in Piezoaktoren.....	33
2.4. Festkörpergelenke	34
2.4.1. Verformung der Festkörpergelenke	35
2.5. Schlussfolgerungen aus den Grundlagen.....	39
3. Konzept der neuen x-y-Nanopositioniervorrichtung	41
3.1. Vorüberlegungen	41
3.2. Spezifikation der Nanopositioniervorrichtung	42
3.3. Vorüberlegungen zu den Realisierungen.....	42
3.4. Grundkonstruktion der Nanopositioniervorrichtung	45
4. Berechnung und Analyse der Positioniervorrichtung.....	47
4.1. Berechnungsschema der Positioniervorrichtung	47
4.1.1. Systemdefinierung	47
4.1.2. Reibungsbedingte Vorspannung an den Ω -förmigen Elementen.....	49
4.1.3. Strukturverteilung der Federn	51
4.1.4. Bestimmung der Elastizität der Vorrichtung.....	53
4.2. Erzwungene Schwingung der Vorrichtung - Konzept zur Steuerung	56

4.3. Strukturmechanische Analyse der Vorrichtung.....	62
4.3.1. Festlegung der Materialkenndaten	62
4.3.2. Modellerstellung.....	64
4.3.3. Ergebnisse der Berechnungen	65
4.3.4. Modalanalyse.....	68
4.4. Zusammenfassung des 4. Kapitels.....	70
5. Entwurf und Charakterisierung des Auslenkungssensors.....	71
5.1. Sensordesign und Funktionsweise.....	71
5.1.1. Physikalischer Entwurf.....	72
5.2. Piezoresistive Auslesung der Verschiebung des Objektträgers.....	77
5.3. Qualitativer Vergleich des Sensorverhaltens.....	79
5.3.1. Verhalten der Piezowiderstände in der Vollbrückenordnung.....	80
5.3.2. Verhalten der Piezowiderstände in der Viertelbrückenordnung.....	81
5.4. Zusammenfassung des 5. Kapitels.....	82
6. Technologie der Herstellung und Realisierung.....	83
6.1. Herstellungstechnologie der Grundkonstruktion.....	83
6.2. Packaging der Grundkonstruktion.....	85
6.3. Anbringen der elektrischen Anschlüsse.....	88
7. Erprobung und Bewertung der Nanopositioniervorrichtung.....	89
7.1. Messungen zur Charakterisierung der Nanopositioniervorrichtung.....	89
7.1.1. Beschreibung der Messeinrichtung	90
7.1.2. Messungen zur Charakterisierung des Sensorverhaltens.....	92
7.1.3. Frequenzabhängigkeit der Amplitude	95
7.2. Erprobung der Nanopositioniervorrichtung in einem AFM-System	96
7.2.1. Beschreibung des Systems	96
7.2.2. Kalibrierungsmuster	97
7.2.3. Messungen zur Geschwindigkeitserprobung.....	99
7.3. Zusammenfassung des 7. Kapitels.....	101
8. Zusammenfassung und Ausblick.....	103
Literaturverzeichnis.....	107
Abbildungsverzeichnis	113
Thesen.....	117