

Dissertation

Nanopositionier- und Nanomessmaschine

vorgelegt der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Ilmenau

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

von Dipl.-Ing. Tino Hausotte
geboren am 28.06.1969
in Weimar

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. G. Jäger, TU Ilmenau
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Hasche, PTB Braunschweig
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. W. Holzapfel, Universität Kassel

vorgelegt: 13. März 2002

verteidigt: 15. Juli 2002

Verfahrensnummer: MB 81

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen	1
1 Einleitung und Überblick	5
2 Stand der Technik	9
3 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise	19
3.1 Abbesches Komparatorprinzip	19
3.2 Designvarianten in der Koordinatenmesstechnik	21
3.2.1 Koordinatenmessgeräte	22
3.2.2 Tastschnittgeräte	22
3.2.3 Waferinspektionsgeräte	23
3.2.4 Rasterkraftmikroskop Veritekt-3	24
3.3 Prinzip des Grundaufbaus	25
3.4 Wirkungsweise als Nanopositioniermaschine	29
3.5 Wirkungsweise als Nanomessmaschine	31
4 Mechanischer und optischer Grundaufbau	33
4.1 Baugruppen des Grundaufbaus	33
4.2 Grundbett und Zerodurrahmen	34
4.3 Führungs- und Antriebssystem	35
4.3.1 Überblick zu den Linearführungen	35
4.3.2 Luftgelagerter Planarantrieb	37
4.3.3 Wälzführungen	38
4.3.4 Überblick zu den Linearantrieben	40
4.3.5 Piezoelektrische Schrittantriebe	41

4.3.6	Piezoelektrische Vibroantriebe	42
4.3.7	Elektromagnetische Linearantriebe	45
4.3.8	Aufbau des Führungs- und Antriebssystems	46
4.4	Messspiegelecke	47
4.5	Längenmesssysteme	48
4.5.1	Überblick zu den Längenmesssystemen	48
4.5.2	Aufbau der interferometrischen Längenmesssysteme	49
4.6	Winkelmesssysteme	50
4.7	Antast- und Bearbeitungssysteme	54
4.7.1	Überblick zu den Antast- und Bearbeitungssystemen	54
4.7.2	Einsetzbare Antastsysteme	56
4.8	Montage und Justierung	61
5	Elektronisches Versorgungs- und Auswertungsgerät	65
5.1	Baugruppen des Versorgungs- und Auswertungsgerätes	65
5.2	Lasereinheit	68
5.3	Interferometereinheit	70
5.4	DSP-Einheit	71
5.4.1	Struktur der DSP-Einheit	71
5.4.2	Tacho-Controller-Modul	73
5.4.3	A/D-D/A-Wandlermodul	75
5.4.4	USB-Modul	76
5.5	Motoreinheit	77
6	Messwerterfassung und -verarbeitung	79
6.1	Messwerterfassung	79
6.2	Korrektur von Längenmessabweichungen	80
6.2.1	Brechzahl der Luft	80
6.2.2	Referenzkoordinatensystem der Messspiegelecke	82
6.3	Ablaufsteuerung und Bahngenerator	84
6.4	Regelungssystem	85
6.4.1	Regelstrecken	85
6.4.1.1	Berechnungsgrundlagen des Antriebssystems	85
6.4.1.2	Übertragungsfunktion der x- und y-Achsen	86
6.4.1.3	Übertragungsfunktion der z-Achse	87

6.4.1.4	Übertragungsfunktion der Drehbewegungen	88
6.4.1.5	Einfluss der Rollreibung	89
6.4.1.6	Übertragungsfunktionen der Messsysteme und Stellglieder	90
6.4.1.7	Gesamtmodell der Regelstrecke	91
6.4.2	Regleinrichtung	93
6.5	Software der DSP-Einheit	96
6.5.1	Hauptprogramm	96
6.5.2	Interruptfunktionen	97
6.6	Steuerung und Bedienung	99
7	Messunsicherheiten	103
7.1	Frequenzstabilität der HeNe-Laser	103
7.2	Erfassung und Demodulation der Interferenzsignale	105
7.3	Winkelmess- und Antastsysteme	113
7.4	Rechentchnische Messwertverarbeitung	117
7.5	Referenzkoordinatensystem der Messspiegelecke	119
7.6	Brechzahl der Luft	121
7.7	Thermische Ausdehnung der Messanordnung	124
7.8	Winkelabweichungen	129
7.9	Zusammenfassung der Messunsicherheiten	134
8	Messtechnische Eigenschaften	139
8.1	Positions- und Winkelrauschen im statischen Zustand	139
8.2	Positionsauflösung des Antriebssystems	143
8.3	Regelungseigenschaften bei schnellen Bewegungen	144
8.4	Regelungseigenschaften bei langsamen Bewegungen	147
9	Zusammenfassung	151
A	Anhang: Positionier- und Messbefehle	159
B	Anhang: Korrekturdaten der Messspiegelecke	163
	Literaturverzeichnis	171