

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	ii
Kurzfassung	ix
Abstract	xi
Symbolverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Halbleiterfertigung	2
1.2 Motivation: Lagerlose Hochtemperaturpumpen in der Halbleiterindustrie	4
1.3 Stand der Technik	5
1.3.1 Lagerlose Scheibenläufermotoren	5
1.3.2 Konventionelle Pumpen für aggressive Fluide	6
1.4 Zielsetzungen der Arbeit	8
1.5 Aufbau der Arbeit	9
1.6 Publikationen	10
2 Der lagerlose Scheibenläufermotor	13
2.1 Koordinatensysteme	15
2.2 Definition der Statorströme und des Regelschemas	16
2.3 Kraftbildung im lagerlosen Scheibenläufermotor	19
2.3.1 Passive Kraftbildung	20
2.3.2 Aktive Kraftbildung	24
2.3.3 Lagerkraft Erzeugung	31
2.3.4 Drehmomentbildung	33
2.4 Zusammenfassung	35
3 Problematik bei hoher Temperatur	37
3.1 Temperaturabhängigkeit der passiven Steifigkeiten im lagerlosen Motor	39

3.2	Temperatureinfluss auf die Drehmoment- und Lagerkraftbildung	41
3.3	Auswirkungen auf die Stabilität des Radiallagers	42
3.4	Temperaturabhängige Verluste	44
3.4.1	Kupferverluste	44
3.4.2	Eisenverluste	46
3.4.3	Pumpkopfverluste	49
3.5	Kühlung der Maschine	50
3.6	Temperaturabhängigkeit der Sensorik	51
3.7	Zusammenfassung	52
4	Die Temperaturverteilung im Motor	53
4.1	Wärmequellen	53
4.2	Wärmetransport	55
4.2.1	Wärmeleitung	57
4.2.2	Konvektion	61
4.2.3	Wärmestrahlung	65
4.3	Thermisches Modell	68
4.3.1	Temperaturpunkte in den thermischen Modellen	69
4.3.2	Evaluation des thermischen Modells	71
4.3.3	Verifikation des thermischen Modells	73
4.4	Zusammenfassung	74
5	Sensorik	75
5.1	Winkelsensoren	75
5.2	Radialpositionssensoren	78
5.2.1	Konventionelle Radialpositionssensoren	80
5.2.2	Sensoren für Edelstahlpumpköpfe	81
5.3	Zusammenfassung	96
6	Winkelsensorlose Regelung	99
6.1	Bestimmung des Rotorwinkels bei Stillstand und kleiner Drehzahl	100
6.1.1	Initialwinkelbestimmung	100
6.1.2	Gesteuerter Betrieb	101
6.1.3	Berechnung des Rotorwinkels aus Maschinenanisotropien	102
6.1.4	Modellbasierter Winkelschätzer	103
6.1.5	Verifikation	109

6.2	Hochgeschwindigkeitswinkelschätzer	112
6.2.1	Grundwellenmodell der PMSM	112
6.2.2	Minimalgeschwindigkeit	113
6.2.3	Direkte Flussintegration	114
6.2.4	Vergleich mit dem modellbasierten Beobachter	116
6.2.5	Umschaltvorgänge	118
6.3	Zusammenfassung	120
7	Realisierung	121
7.1	Materialien	122
7.2	Motorenprototypen	125
7.2.1	Vergossener Motor	126
7.2.2	Unvergossener Motor	127
7.3	Aktive Kühlkonzepte	128
7.4	Hydraulische Bauelemente	130
7.4.1	Pumpköpfe	131
7.4.2	Verbindungselemente	133
7.5	Zusammenfassung	134
8	Hochtemperaturexperimente	137
8.1	Experimentalaufbau	137
8.2	Pumpentests	141
8.2.1	Vergossene Pumpe	142
8.2.2	Unvergossene Pumpe	143
8.3	Zusammenfassung	144
9	Zusammenfassung und Ausblick	147
9.1	Zusammenfassung	147
9.2	Ausblick	148
A	Anhang	151
	Literaturverzeichnis	155
	Abbildungsverzeichnis	165
	Tabellenverzeichnis	169
	Lebenslauf	171