

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung und Problemstellung</b>	<b>6</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>9</b>
2.1 Anwendungsfelder und Anforderungen für chemische Sensoren	9
2.2 Chemische Sensoren auf IDK-Basis	10
2.2.1 Temperatur- und Feuchteabhängigkeit	11
2.2.2 Betrieb mehrerer Gassensoren in einem Sensor-Array	16
2.3 Konzepte zur Realisierung chemischer Mikrosensoren	17
2.4 Modellierung und Simulation von Komponenten	18
2.4.1 Trends bei Modellierung und Simulation	18
2.4.2 Beispiele für thermische Modellierung und Simulation	21
<b>3 Mikrogassensor-Array</b>	<b>28</b>
3.1 Aufbau des Sensor-Arrays	28
3.1.1 IDKs	29
3.1.2 Stege als mechanische Barrieren für die IDK-Beschichtung	30
3.1.3 Temperatursensoren	32
3.1.4 Heizelement	32
3.2 Regeln beim Entwurf von Sensor-Array-Mustern	33
3.2.1 Aufbau- und Verbindungstechnik	33
3.2.2 IDK-Strukturen auf dem Sensorchip	34
3.2.3 Integrierte Temperatursensoren	35
3.2.4 Heizelementstruktur Mäander	37
<b>4 Thermische Modellierung und Simulation von Mikrosensoren</b>	<b>39</b>
4.1 Modellierung	39
4.1.1 Grundbegriffe der Wärmelehre	39
4.1.2 Ableitung der thermischen Modellgleichungen	43

4.1.2.1	Wärmeleitung	45
4.1.2.2	Wärmeübergang	48
4.1.2.3	Wärmestrahlung	50
4.1.2.4	Wärmequellen	50
4.1.3	Thermisches 3D-Modell für ein Volumenelement	52
4.1.4	3D-Modellgleichungen für die Simulation	52
4.2	Simulation und Simulationsablauf	55
4.2.1	Simulationsvorlauf	56
4.2.1.1	Eingabe komplexer Strukturen	57
4.2.1.2	Überblick über die Programme des Simulationsvorlaufs	59
4.2.2	Simulationsrahmenprogramm "SIM"	62
4.2.3	Simulationsaufwand	64
4.2.3.1	Örtliche Diskretisierung	64
4.2.3.2	Zeitliche Diskretisierung und numerische Stabilität	64
4.2.3.3	Zeitliche Diskretisierung und Integrationsverfahren	71
4.2.3.4	Simulationsrechner	72
5	<b>Bestimmung von Modellparametern der Sensor-Arrays</b>	<b>74</b>
5.1	Simulationsparameter für das Sensor-Array	74
5.1.1	Thermografiemessungen und Ergebnisdarstellungen	74
5.1.2	Gütekriterien zur Ermittlung der $\alpha$ - und $\lambda$ -Werte	80
5.1.3	Algorithmus zur iterativen Bestimmung von $\alpha$ und $\lambda$	82
5.1.4	Näherungsformeln für die Gütekriterien	83
5.1.5	Bestimmung der $\alpha$ - und $\lambda$ -Werte für das Sensor-Array	90
5.2	Bestimmung von Parametern zum Betrieb der Sensor-Arrays	94
5.2.1	Kalibrierrandbedingungen	95
5.2.2	Einstellung definierter Kalibriertemperaturen	95
5.2.3	Kalibriersystem	100

5.2.4	Meßablauf an einem Temperaturmeßpunkt	102
5.2.5	Ermittlung des Kalibrierdatensatzes	103
5.2.6	Bestimmung der Modellparameter	104
5.2.7	Sensor-Array-Datensätze	107
<b>6</b>	<b>Sensorsystem</b>	<b>112</b>
6.1	Bestandteile des Sensorsystems	112
6.2	Softwarestruktur des Sensorsystems	114
6.3	Meßelektronik zur Sensorsignalverarbeitung	116
6.3.1	Meßelektronik zur Erfassung der IDK-Kapazitäten	116
6.3.2	Meßelektronik zur Erfassung der Sensorchip- temperaturen	118
6.4	Temperaturregelung	120
6.4.1	Aufbau des Temperaturregelkreises	120
6.4.2	Stabilität des Temperaturregelkreises	121
6.4.3	Bestimmung der besten Reglereinstellung	123
6.5	Zusammenfassung	130
<b>7</b>	<b>Ergebnisse zum Entwurf und zur Charakterisierung des Sensor-Arrays</b>	<b>134</b>
7.1	Charakterisierung der Sensor-Arrays und Ableitung von Entwurfsregeln	134
7.1.1	Temperaturverteilung längs der Sensorchipdicke	135
7.1.2	Charakterisierung der integrierten Temperatursensoren	139
7.1.3	Charakterisierung des Sensorsystems zur Thermostatisierung der Sensor-Arrays	143
7.1.4	Thermische Verluste des Sensorchips über die Glasfüße	146
7.2	Optimierung der Hezelementstruktur	148
7.2.1	Synthese der optimierten Hezelementstruktur Spirale	149
7.2.2	Vergleich zwischen Simulations- und Meß- ergebnissen	153
7.3	Vergleich der Ergebnisse für die Hezelementstrukturen Mäander und Spirale und Ableitung von Entwurfsregeln	154

7.4	Zusammenfassung und Ausblick	161
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>163</b>