

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

i

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

v

1 Einführung, Grundlagen und Stand der Technik	1
1 Einleitung	3
1.1 Einordnung	3
1.2 Motivation	4
1.3 Zielstellung	4
1.4 Aufbau der Arbeit	5
2 Bedeutung der Infrarotspektroskopie	7
2.1 Grundlagen	7
2.2 Molekülspektren	9
2.3 Anwendungsgebiete	10
2.4 Anwendungsbeispiel Anästhesiegasmessung	11
3 IR-Spektrometer und Analysatoren	15
3.1 Grundbegriffe und Definitionen	15
3.1.1 Spektrales Auflösungsvermögen und Filterkenngrößen	16
3.1.2 Optischer Durchsatz	17
3.1.3 Signal-Rausch-Verhältnis	19
3.1.4 Erfassbarer Spektralbereich	20
3.1.5 Transmission	20
3.2 IR-Detektoren und Strahlungsquellen	21
3.2.1 IR-Detektoren	21
3.2.2 IR-Strahler	23
3.3 Klassische Spektrometer	24
3.3.1 Gitterspektrometer	24
3.3.2 FOURIER-Transform-Spektrometer	25
3.4 Filterbasierte Systeme	28
3.4.1 Filterfotometer	28
3.4.2 Spektrometer mit durchstimmbarem Filter	30
3.4.3 Lineare VerlaufsfILTER	32

3.4.4	Vergleich filterbasierter Systeme	34
3.5	Miniaturisierung von IR-Spektrometern	38
3.5.1	Motivation und Entwicklungstrends	38
3.5.2	Limitierungen	39
3.5.3	Schlussfolgerungen und Vergleich der Gerätetypen	43
4	Theorie des FABRY-PÉROT-Interferometers	47
4.1	Grundgleichungen des FPI	47
4.2	Nutzung als durchstimmbares Filter	50
4.3	Einfluss der Phasendispersion	53
5	Reflektoren für FPI	57
5.1	Grundlegende Anforderungen	57
5.1.1	Optische Anforderungen	57
5.1.2	Technologische Anforderungen	58
5.2	BRAGG-Reflektor	58
5.2.1	Grundlagen	58
5.2.2	Beispielhafte Implementierungen	61
5.2.3	Wellenlängenabhängigkeit der Reflektoreigenschaften	63
5.3	Mehrbandreflektoren	65
5.4	Fehlanpassung der Reflektoren	67
5.5	Schichtmaterialien	67
5.6	Kompensation der Schichtspannungen	70
5.7	Optimierungsmethoden für den Dünnschichtentwurf	71
6	Eigenschaften realer FABRY-PÉROT-Filter	73
6.1	Oberflächendefekte	73
6.1.1	Verwölbung	76
6.1.2	Schiefstellung	77
6.1.3	Rauheit	79
6.2	Öffnungswinkel und Aperturfinesse	80
6.3	Überlagerung von Defekten	82
6.4	Einfluss der wellenlängenabhängigen Eigenschaften der Reflektoren	85
6.5	Streuverluste	86
6.6	Schlussfolgerungen für den Entwurf	87
7	Elektrostatische Aktuierung	91
7.1	Grundanordnung	91
7.2	Statisches Verhalten	92
7.3	Dynamisches Verhalten	93
7.4	Schlussfolgerungen für den Entwurf	94
8	Stand der Technik	95
8.1	Mikromechanische FP-Filter	95

8.1.1	Einteilung nach Herstellungstechnologie	95
8.1.2	FP-Filter in Oberflächenmikromechanik	97
8.1.3	FP-Filter in Volumenmikromechanik	103
8.2	Anästhesiegasmonitore	111
II	Entwurf, Herstellung und Charakterisierung	115
9	Zielstellung	117
9.1	Ausgangspunkt und Limitierungen	117
9.2	Lösungsansätze	119
9.3	Anwendung in einem Anästhesiegasmonitor	119
9.4	Präzisierung der Anforderungen	120
9.4.1	Optischer Entwurf	120
9.4.2	Elektromechanischer Entwurf und Herstellungstechnologie	122
9.4.3	Detektor und Sensormodul	123
9.4.4	Zusammenfassung der Anforderungen	123
9.5	Weiteres Vorgehen	124
10	Entwurfssystematik für Mikro-FABRY-PÉROT-Filter	125
11	Optischer Entwurf eines Dualband-μFP-Filters	127
11.1	Grobentwurf	127
11.1.1	Schichtmaterialien	127
11.1.2	Wahl der Basisschichtfolge	128
11.1.3	Festlegung der Zielparameter	129
11.2	Optimierter Entwurf	130
12	Elektromechanischer Entwurf	135
12.1	Grundaufbau des Filters	135
12.2	Antriebsdimensionierung	136
12.3	Abschätzung der dynamischen Eigenschaften	138
13	Herstellung von Dualband-μFP-Filtern	139
13.1	Strukturierte Abscheidung der optischen Schichten	139
13.2	Herstellungstechnologie der μ FP-Filter	140
14	Charakterisierung von Prototypen	145
14.1	FTIR-Spektrometer	145
14.2	Charakterisierung der Reflektoren	146
14.2.1	Reflexionsmessungen	146
14.2.2	Oberflächentopografie	149
14.3	Charakterisierung der FP-Filter	150
14.3.1	Spektrale Eigenschaften von Prototypen	151

14.3.2 Detaillierte Analyse eines ausgewählten Filters	152
14.3.3 Abhängigkeit vom Öffnungswinkel	158
14.3.4 Statisches Durchstimmverhalten	158
14.3.5 Dynamische Eigenschaften	161
14.3.6 Temperaturabhängigkeit der Zentralwellenlänge	163
14.4 Bewertung und Optimierungspotential	165
15 Mikrospektrometermodul	167
15.1 Grundkonzept	167
15.2 Blockungsfilter und Strahlteiler	168
15.3 Pyroelektrischer Detektor	171
15.4 Aufbau- und Verbindungstechnik	172
15.5 Charakterisierung der Prototypen	175
15.5.1 Empfindlichkeit und Rauschen	175
15.5.2 Spektrale Charakterisierung	177
15.6 Anwendungsnahe Testmessungen	178
16 Zusammenfassung und Ausblick	187
16.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	187
16.2 Optimierungspotential	188
16.3 Ausblick	189
16.4 Danksagung	192
Literaturverzeichnis	193
Lebenslauf	211
III Anhang	213
Umrechnung von Wellenzahl- in Wellenlängenintervalle	215
Strahlungsgrößen	215
Detektorkenngrößen	216
Simulations und Analysesoftware	217