G. Henze, M. Köhler, J. P. Lay (Hrsg.)

Umweltdiagnostik mit Mikrosystemen

WILEY-VCH

Weinheim · New York · Chichester · Brisbane · Singapore · Toronto

Inhaltsverzeichnis

Anschriften der Autoren XVII

Abkürzungsverzeichnis XXI

Einführung 1
Jan Peter Lay

Literatur 9

1 Chipbauelemente 11
J. Michael Köhler

1.1 Mikrosystemtechnik in der Umweltanalytik 14
Oleksandr Shulga und Karl Cammann

1.1.1 Umweltanalytik und Mikroanalysesysteme 14
1.1.2 Impediometrische Ionensensoren 18
1.1.3 Impediometrische Gassensoren 23
Literatur 31

1.2 Mikrofluidsysteme in der Umweltanalytik 33
Andreas Schütze

1.2.1 Anwendungsperspektiven mikrofluidischer Systeme in der Umweltanalytik 33
1.2.1.1 Vorteile mikrofluidischer Systeme gegenüber konventioneller Analytik 33
1.2.1.2 Potentielle Einsatzfelder mikrofluidischer Systeme 35
1.2.1.3 Widerstände bei der Einführung von Mikrofluidtechnologien 39
1.2.2 Applikationsbeispiele mikrofluidischer Systeme in der Umweltanalytik 45
1.2.2.1 Mikrofluidik im Labor 45
1.2.2.2 Mikrofluidik im Feldeinsatz 48
1.2.3 Schlußfolgerung und Ausblick 56
Literatur 56

1.3 Fluidhandling in der Umwelttechnik mit Hilfe mikrostrukturierter Komponenten 59
Norbert Schwesinger

1.3.1 Probleme bei der Nutzung mikrostrukturierter Komponenten in der Umweltdiagnostik 60
1.3.2 Transport flüssiger Substanzen im Mikrobereich 62
1.3.2.1 Pumpprinzipien in der Mikrotechnik 63
1.3.2.2 Piezoelektrisch angetriebene Mikropumpen 63
1.3.2.3 Dynamische Mikropumpen auf Si-Basis 65
1.3.2.4 Mikropumpen mit nichtelektrischem Antrieb 67
1.3.3 Steuern von Flüssigkeitsströmen mit Hilfe mikrostrukturierter Bauelemente 70
1.3.4 Dosieren von Flüssigkeiten 72
1.3.5 Fluidische Verbindungstechniken für Mikrokomponenten 75
1.3.6 Fluidhandlingtechniken für die Umweltanalytik 77
Literatur 77

1.4 Thermoelektrische Transducer für kalorische Messungen auf Mikrochips 79
Martin Zieren und J. Michael Köhler

1.4.1 Kalorisches Messen in ökologisch relevanten Bereichen 80
1.4.2 Thermoelektrische Transducer für analytische Anwendungen 82
1.4.3 Chipkalorimeter auf der Basis von BiSb/Sb-Dünnschicht-Thermosäulen 85
1.4.3.1 Transducer-Konzepte 85
1.4.3.2 Präparationstechniken 86
1.4.3.3 Integrale kalorische Messungen in Tropfen auf einer freitragenden Membran 88
1.4.3.4 Reaktions-Monitoring in Tropfen auf freitragenden Membranen 89
1.4.3.5 Scanning-Kalorimetrie 90
1.4.3.6 Integrierter kalorimetrischer Durchflußtransducer 91
1.4.3.7 Kalorische Detektion in Mikrokanalreaktoren 92
1.4.4 Schlußfolgerungen und Ausblick 94
Literatur 96

1.5 Dünnschicht-Mikroelektroden 99
J. Michael Köhler, Wolfgang Fritzsche und Antje Wiegand

1.5.1 Eigenschaften von Mikroelektroden 99
1.5.2 Präparation und Anwendung von Dünnschicht-Mikroelektroden 101
1.5.3 Platin-Dünnschicht-Mikroelektroden 103
1.5.3.1 Anordnungsvarianten 103
1.5.3.2 Präparationstechniken 106

1.5.3.3 Angewandte Methoden zur Charakterisierung 107
1.5.3.4 Ergebnisse 107
1.5.4 Diskussion 110
1.5.5 Schlußfolgerungen und Ausblick 114
Literatur 116

2 Miniaturisierte elektrochemische Analytik 119
Günter Henze

2.1 Voltammetrische Spurenanalyse mit Mikroelektroden 121
Jörg Schiewe, Allen M. Bond und Günter Henze

2.1.1 Mikroelektroden 121
2.1.2 Mikroelektroden-Arrays 124
2.1.3 Herstellung und Charakterisierung von Mikroelektroden und -arrays 127
2.1.4 Applikationen und Beispiele 130
2.1.5 Zusammenfassung 136
Literatur 137

2.2 Stripping Voltammetrie mit modifizierten „Thickfilm"-Graphitelektroden 139
Khiena Z. Brainina, Natascha Stojko, Christiane Faller und Günter Henze

2.2.1 Herstellung und Charakterisierung von Thickfilm-Graphitelektroden 139
2.2.2 Elektrochemisch *in situ* modifizierte Thickfilm-Graphitelektroden 142
2.2.2.1 Mit Quecksilber *in situ* modifiziert 142
2.2.2.2 Mit organischen Verbindungen *in situ* modifiziert 144
2.2.3 Manuell modifizierte Thickfilm-Graphitelektroden 150
2.2.4 Zusammenfassung und Ausblick 156
Literatur 157

2.3 Amperometrischer Mikrosensor für *in situ*-Messungen von Schwefelwasserstoff in Gewässern und Sedimenten 158
Paul Jeroschewski

2.3.1 Schwefelwasserstoff in aquatischen Systemen 158
2.3.2 Bestimmungsmöglichkeiten von gelöstem H_2S/Sulfid 161
2.3.3 Amperometrischer H_2S-Mikrosensor 165
2.3.3.1 Sensorprinzip und Realisierungsvarianten 165
2.3.3.2 Aufbau des Mikrosensors und Durchführung der Messungen 168
2.3.3.3 Eigenschaften und Leistungsparameter 169
2.3.4 Messung hochaufgelöster H_2S-Konzentrationsprofile in Sedimenten und Biofilmen 174
2.3.5 Ausblick 176
Literatur 178

2.4 Ionensensitive Transducer für miniaturisierte Analysesysteme 181
Werner Hoffmann

2.4.1 Miniaturisierung potentiometrischer Sensoren 181
2.4.1.1 Planare Festkörper-ISE 182
2.4.1.2 Ionensensitive Feldeffekttransistoren 186
2.4.2 Dünnschicht-Elektroden für die Voltammetrie 190
2.4.3 Integriertes Mikroanalysesystem 193
2.4.4 Ausblick 199
Literatur 199

2.5 Miniaturisierte Enzym-Analysesysteme 201
Stephanus Büttgenbach, Christian Robohm und Ursula Bilitewski

2.5.1 Grundlagen der Enzym-Analytik 202
2.5.2 Miniaturisierte Komponenten für Enzym-Analysesysteme 208
2.5.2.1 Miniaturisierungstechnologien 208
2.5.2.2 Mikroflieẞkanäle und Enzymreaktoren 208
2.5.2.3 Pumpen und Ventile 212
2.5.2.4 Durchflußsensoren 216
2.5.3 Anwendungen 216
2.5.4 Ausblick 221
Literatur 222

2.6 In situ konditionierbare und kalibrierbare Sensorsysteme für die Umwelt- und Prozeßanalytik 225
Uwe Spohn, Bodo Fuhrmann, Elmar Weckenbrock, Eugen Most, Dirk Janasek und Dieter Beckmann

2.6.1 Automatische *in situ*-Kalibrierung von Biosensoren 227
2.6.1.1 Grundlagen und Prinzip 227
2.6.1.2 Standardaddition durch inverse Fließinjektionsanalyse 228
2.6.1.3 Multiple Standardaddition 230
2.6.1.4 Doppellumige Tauchmeßsonden 233
2.6.1.5 Zur präzisen Detektion von Wasserstoffperoxid 235
2.6.1.6 Amperometrische Detektion von Wasserstoffperoxid und Phenol 239
2.6.2 Fluorimetrisch-gasdialytische Sensoren mit *in situ*-Konditionierung 241
2.6.2.1 *In situ* konditionierbare Sensoren für flüchtige Substanzen 241
2.6.2.2 Die Bestimmung von Ammoniak/Ammonium 243
2.6.2.3 Die Bestimmung von H_2S/HS^- 248
2.6.2.4 Die Bestimmung von HSO_3^-/SO_3^- 251
2.6.3 Schlußfolgerungen und Ausblick 253
Literatur 254

2.7 Amperometrische Enzymsensoren 257
Bernd Gründig

2.7.1 Grundlagen amperometrischer Enzymsensoren 260
2.7.1.1 Arbeitselektrodenmodifizierung und Redoxmediatoren 261
2.7.1.2 Vorgänge an amperometrischen Sensoren mit Enzymschicht 263
2.7.1.3 Enzyme und Enzymsysteme für amperometrische Biosensoren 265
2.7.1.4 Transducerentwicklungen für Enzymsensoren 266
2.7.2 Enzymsensorentwicklungen 268
2.7.2.1 Enzymatische Wasserstoffperoxidsensoren 268
2.7.2.2 Enzymatische Phenolsensoren 269
2.7.2.3 Enzymatische Phosphatsensoren 274
2.7.2.4 Enzymatische Nitrit- und Nitratsensoren 277
2.7.2.5 Enzymatischer Harnstoffsensor auf der Basis eines amperometrischen Ammoniumsensors 283
2.7.2.6 Enzymatische Sulfitsensoren 285
2.7.2.7 Amperometrische Enzymsensorprinzipien zur Detektion weiterer umweltrelevanter Stoffe 286
2.7.2.8 Enzymatische Hemmstoffsensoren 288
2.7.3 Schlußfolgerungen und Ausblick 290
Literatur 291

2.8 Wafer-kompatible Immobilisierung von biologischen Erkennungskomponenten 304
Katja Habermüller, Christine Kranz und Wolfgang Schuhmann

2.8.1 Anforderungen an die sichere Immobilisierung biologischer Erkennungselemente 304
2.8.2 Nicht-manuelle Immobilisierungsverfahren 305
2.8.2.1 Lithographische Verfahren 305
2.8.2.2 Druckverfahren 308
2.8.2.3 Elektrokoagulation 310
2.8.2.4 Lokale elektrochemische Polymerisation 310
2.8.3 Multischicht-Biosensoren auf der Basis leitender Polymere 312
2.8.3.1 Interferenzeliminierung 313
2.8.3.2 Verstärkungsmechanismen 314
2.8.3.3 Vorteile eines Multischicht-Aufbaus für die Entwicklung eines Phenolsensors 315
2.8.4 Zusammenfassung und Ausblick 319
Literatur 319

3 Miniaturisierte Gassensorik 325
Jan Peter Lay

3.1 Halbleitergassensorik für komplexe Gasgemische in der Umwelt 328
Volker Uwira und Claus-Dieter Kohl

3.1.1 Verfahren zur Verbesserung von Multisensoren 328
3.1.2 Halbleitergassensoren zur Branderkennung 335
3.1.3 Ausblick 338
Literatur 339

3.2 Signalgewinnung in Gassensor-Systemen 340
Michael Horn und Alexander Czajor

3.2.1 Eigenschaften und Verbesserungsmöglichkeiten von Gassensoren 340
3.2.1.1 Eigenschaften von Gassensoren 340
3.2.1.2 Möglichkeiten zur Verbesserung der Sensor-Eigenschaften 343
3.2.1.3 Vorteile miniaturisierter Komponenten 344
3.2.2 Modelle von Gassensoren 347
3.2.2.1 Gassensoren ohne Stoffumsatz 348
3.2.2.2 Gassensoren mit Stoffumsatz 349
3.2.3 Kalibrierung und Rekalibrierung von Gassensoren 351
3.2.3.1 Gassensoren ohne Stoffumsatz 352
3.2.3.2 Gassensoren mit Stoffumsatz 353
3.2.4 System zum Betrieb von Sensoren 356
3.2.4.1 Meßschaltungen 357
3.2.4.2 Kommunikation 365
3.2.4.3 Konfigurationsdaten 367
3.2.5 System zur Entwicklung, Anpassung und Erprobung von Gassensorsystemen 368
3.2.6 Derzeitiger Stand 374
Literatur 374

3.3 Thermochemische Sensoren für die Gasanalytik 376
Johannes Lerchner und Gert Wolf

3.3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen der thermochemischen Detektion 377
3.3.2 Aufbau thermochemischer Gassensoren 380
3.3.2.1 Konstruktionsprinzipien 380
3.3.2.2 Typen thermochemischer Gassensoren 381
3.3.3 Ein thermochemischer Sensorarray für die Detektion organischer Dämpfe 387
3.3.4 Schlußfolgerungen und Ausblick 393
Literatur 394

3.4 Massensensitive Sensoren – von 10 MHz QMB Resonatoren zu 1 GHz-Bauteilen 396
Franz L. Dickert und Wolfgang Greibl

3.4.1 Bauteile 396
3.4.2 Materialien 403
3.4.3 Molekulares Prägen [13] 406
3.4.4 Vergleich zwischen QMB- und SAW-Resonatoren 408
3.4.5 Messungen mit molekular geprägten Polymeren 409
3.4.6 Zusammenfassung und Ausblick 411
Literatur 412

3.5 Faseroptische Sensoren zur Messung von Gasen und Dämpfen 414
Günter Schwotzer und Reinhardt Willsch

3.5.1 Lichtleitfasern 414
3.5.2 Wirkprinzipien faseroptischer Sensoren 418
3.5.3 Ausgewählte faseroptische Gassensoren 426
3.5.4 Ausblick 433
Literatur 434

3.6 Miniaturisierte Infrarot- und Wärmeleitfähigkeitssensoren 437
Gerhard Wiegleb

3.6.1 Infrarot-Gassensoren 437
3.6.2 Wärmeleitfähigkeitssensoren 449
3.6.3 Ausblick 455
Literatur 456

Index 457