

**Unterstützung des Entwurfsprozesses
in der Mikromechanik
durch Einsatz eines modularen Baukastensystems
am Beispiel mikromechanischer Membranen**

Dissertation

zum Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur

des Fachbereiches Maschinenwesen
der Universität Essen

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Elmar Weiss
aus Gladbeck

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. D. Bergers
Prof. Dr.-Ing. H.-J. Stracke
Prof. Dr. A. Wieck

Tag der mündlichen Prüfung: 20. März 2002

Berichte aus der Mikromechanik

Elmar Weiss

**Unterstützung des Entwurfsprozesses
in der Mikromechanik
durch Einsatz eines modularen Baukastensystems
am Beispiel mikromechanischer Membranen**

Shaker Verlag
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Weiss, Elmar:

Unterstützung des Entwurfsprozesses in der Mikromechanik durch Einsatz eines modularen Baukastensystems am Beispiel mikromechanischer Membranen/
Elmar Weiss.

Aachen : Shaker, 2002

(Berichte aus der Mikromechanik)

Zugl.: Essen, Univ.-GH, Diss., 2002

ISBN 3-8322-0119-X

Copyright Shaker Verlag 2002

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0119-X

ISSN 0947-2398

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

KURZFASSUNG

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Produkten im Maschinenbau ist zentraler Bestandteil der Produktentwicklung. Speziell der Entwicklungsprozess im Bereich der Konzept- und Entwurfsphase hat eine besondere Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der Erzeugnisse. Eine Möglichkeit zur Optimierung ist der Einsatz standardisierter Bauteile. Die Standardisierung auf Bauteilebene ist im Maschinenbau und in der Feinwerktechnik bereits die Regel, wird aber in der Mikrosystemtechnik und damit auch in der Mikromechanik zumindest zur Zeit nicht genutzt, obwohl in der MST immer wiederkehrende Bauelemente (z. B. Membranen, Balken etc.) Anwendung finden. Hinzu kommt, dass eine methodische Vorgehensweise bei der Entwicklung in der Regel nicht angewendet wird.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher, den Entwurfsprozess in der Mikrosystemtechnik durch den Einsatz eines modularen Baukastensystems zu unterstützen. Hierzu wird die Möglichkeit untersucht, erstmals auch mikromechanische Bauelemente zu standardisieren. Die Baukastendefinition wird beispielhaft an einem häufig angewendeten mikromechanischen Bauteil, der mikromechanischen Membran zur Druckmessung, vorgenommen. Durch die Verwendung des Membranbaukastens können Membranen für beliebige Anforderungen aus einer begrenzten, standardisierten Menge von Elementen schnell, kostengünstig und ohne zusätzlichen Entwicklungsaufwand mit vorausbestimmbaren Eigenschaften zusammengestellt werden.

VORWORT

Nach Abschluss meiner Dissertation ist es mir ein Anliegen, denjenigen zu danken, die zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben:

Der DFG und dem Graduiertenkolleg 384 danke ich für die Förderung, die es mir erst ermöglicht hat, diese Dissertation zu beginnen. Herrn Prof. A. Wieck vom Lehrstuhl für Angewandte Festkörperphysik der Ruhr-Universität Bochum danke ich für seinen unermüdlichen Einsatz als Sprecher des Graduiertenkollegs 384, für sein Interesse an meiner Arbeit und seine wohlwollende Unterstützung.

Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Bergers vom Lehrstuhl für Produktionstechnologie und Produktentwicklung der Universität Essen und Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-J. Stracke vom Lehrstuhl für Ingenieurinformatik der Universität Essen für die konstruktive Unterstützung meiner Dissertation sowie die Betreuung meiner Arbeit.

Dipl.-Ing. Ernst Schmidt und Dipl.-Ing. Georg Braun der Firma BMW danke ich für ihr Interesse an dem behandelten Thema. Sie haben mir die Möglichkeit eingeräumt, im BMW-Forschungs- und Innovationszentrum meine Arbeit mit praxisnahen Beispielen abzurufen. An dieser Stelle sei auch den BMW-Mitarbeitern in den Abteilungen EE-50, EE-51, EE-55 und EE-73 für ihre Unterstützung gedankt. Ausdrückliche Erwähnung verdienen an dieser Stelle Dipl.-Ing. Reinhold Maier und Dipl.-Ing. Markus Dullinger.

Dr.-Ing. U. Witzel vom Forschungsgebiet Biomechanik am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre an der Ruhr-Universität Bochum möchte ich an dieser Stelle besonders danken, da er stets Zeit für meine Anliegen und für wissenschaftliche Gespräche hatte. Dipl.-Ing. Frank Beneke, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionstechnologie und Produktentwicklung der Universität Essen, danke ich für seine Hilfsbereitschaft und die anregenden Diskussionen. Ferner gilt mein Dank Dipl.-Ing. Sebastian Jansen, Dipl.-Ing. Sebastian Neveling und Dipl.-Ing. Wolfgang Rieger, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben sowie Ass. Stefanie Hollmann, die das Manuskript zur Korrektur gelesen hat.

Abschließend möchte ich meinen Eltern besonders herzlich danken für die Unterstützung während der Entstehung dieser Arbeit. Ihnen sei diese Dissertation gewidmet!

MÄRZ 2002

ELMAR WEISS

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	1
1.1 Einordnung mikrotechnischer Systeme	3
1.2 Marktaussichten mikrotechnischer Systeme	4
2 Stand der Erkenntnisse	7
2.1 Werkstoffe	7
2.1.1 Halbleiter.....	8
2.1.1.1 Silizium	11
2.1.1.2 Gallium-Arsenid.....	15
2.1.2 Kunststoffe / Polymere	17
2.1.3 Formgedächtnis-Legierungen	18
2.2 Fertigungsverfahren	20
2.2.1 Ätztechnik	21
2.2.1.1 Nass-chemisches Ätzverfahren (bulk micromachining)	21
2.2.1.1.1 Isotrope Ätzverfahren	22
2.2.1.1.2 Anisotrope Ätzverfahren.....	23
2.2.1.2 Trockenätzverfahren	25
2.2.1.2.1 Ionenstrahlätzen / Sputterätzen	26
2.2.1.2.2 Plasmaätzen / reaktives Ionenätzen	26
2.2.2 LIGA	27
2.2.3 Mikrospritzgießen	30
2.2.4 Spanende Fertigung.....	30
2.2.5 Laserbearbeitung.....	31
2.2.6 Rapid Prototyping	32
2.2.6.1 Mikro-Photo-Verfestigung mittels Maskentechnik	33
2.2.6.2 Rapid Micro Product Development.....	34
2.3 Aufbau- und Verbindungstechniken	35
2.3.1 Chipmontage	35
2.3.1.1 Bonden	36
2.3.1.1.1 Anodisches Bonden.....	36
2.3.1.1.2 Silizium-Direkt-Bonden	37
2.3.1.2 Legierungstechnik	38
2.3.1.3 Löttechnik	38
2.3.1.4 Klebtechnik.....	38

2.3.2 Kontaktierung	39
2.3.2.1 Drahtkontaktierung	39
2.3.2.2 Flip-Chip-Technik.....	40
2.4 Produkte	40
2.4.1 Einordnen nach Funktionen.....	40
2.4.2 Einordnen nach mechanischen Elementen	44
2.4.3 Kraft- und Drucksensoren.....	45
2.4.3.1 Kraftsensoren.....	45
2.4.3.1.1 Dehnungsmessstreifen	46
2.4.3.1.2 Piezoelektrischer Effekt	47
2.4.3.2 Drucksensoren.....	49
2.5 Produktentwicklung	53
3 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	59
4 Allgemeine Gliederung des mikromechanischen Baukastensystems	63
5 Entwicklung eines Membran-Baukastens	67
5.1 Marktanalyse	69
5.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen	70
5.3 Baukastenstruktur entwerfen	71
5.4 Bausteine konzipieren und entwerfen	74
5.4.1 Entwurf	74
5.4.1.1 Mechanischer Teil.....	74
5.4.1.2 (Auswerte-)Elektronik	77
5.4.1.3 Werkstoffe und Fertigungsverfahren.....	77
5.4.1.4 Zusammenfassung	78
5.4.2 Berechnung und Simulation	79
5.4.2.1 Grundelement (analytische Berechnung)	79
5.4.2.1.1 Analytische Lösung mittels Membrantheorie	80
5.4.2.1.2 Analytische Lösung mittels Plattentheorie	83
5.4.2.2 Grundelement (FEM-Berechnung).....	89
5.4.2.2.1 Die Finite-Elemente-Methode.....	89
5.4.2.2.2 Genauigkeit der FEM-Berechnungen.....	91
5.4.2.2.3 Lösung mit FEM.....	93
5.4.2.3 Gesamtelement (FEM-Berechnung)	95

5.4.2.3.1 Membran mit Unterlegelement „Bohrung“	96
5.4.2.3.2 Membran mit abgeschrägtem Unterlegelement	98
5.4.2.4 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse.....	101
5.5 Baukasten ausarbeiten.....	101
5.5.1 Modulare Montage.....	101
5.5.2 Qualitätssicherung.....	102
6 Der Membranbaukasten in der Praxisanwendung.....	105
6.1 Übersicht über Fahrzeug-Bremsanlagen.....	105
6.1.1 Konventionelle Fahrzeug-Bremsanlage.....	106
6.1.2 Brake-by-Wire.....	107
6.2 Anwendungsfelder von Bremspedalkraftsensoren.....	109
6.2.1 Einsatzfelder in konventionellen Fahrzeugbremsen.....	109
6.2.2 Einsatzfelder in Brake-by-Wire-Bremsanlagen.....	109
6.3 Technische Vorgaben.....	110
6.3.1 Allgemeine Vorgaben	110
6.3.2 Konkrete Vorgaben.....	111
6.3.3 Einbauort des Sensors	112
6.3.3.1 Kraftverteilung auf einem Fahrzeugbremspedal	112
6.3.3.2 Modifiziertes Bremspedal.....	115
6.4 Konzeption des mikromechanischen Drucksensors	116
6.5 Zusammenfassung	118
7 Einsatz des Membranbaukastens in rechnerbasierten Anwendungen.....	119
7.1 Prinzipieller Aufbau	119
7.1.1 Expertensystem mit Datenbank „Membranbaukasten“	121
7.1.2 Datenbank „Sensoren“	124
7.1.3 Datenbank „Physikalische Effekte“	125
7.2 Prototypische Umsetzung	126
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	129
Anhang.....	131
ANSYS-Dateien	131
Membran (Grundelement).....	131
Membran mit gebohrtem Unterlegelement	133

Membran mit abgeschrägtem Unterlegelement.....	135
Ergebnisse der FEM-Berechnungen	138
Membran (Grundelement)	138
Membran mit gebohrtem Unterlegelement.....	139
Membran mit abgeschrägtem Unterlegelement.....	139
Abdrücke der Pedalkraftmessung mit Fuji-Film	140
Glossar	143
Literaturverzeichnis	149

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1.1 Kombiniertes Beschleunigungs- und Drehratensensor
- Abbildung 1.2 Größenbereiche von Produkten im klassischen Maschinenbau, in der Feinwerktechnik, in der Mikromechanik und der Natur
- Abbildung 2.1 Monolithisch integrierter Drucksensor: Die Druckmembran im Zentrum des Sensorchips ist von der Auswertelektronik umgeben.
- Abbildung 2.2 Einheitszelle von Silizium
- Abbildung 2.3 Lage der (233)-Ebene
- Abbildung 2.4 Miller'sche Indizes wichtiger Ebenen im Silizium
- Abbildung 2.5 Wafer mit Flats
- Abbildung 2.6 Kristallstruktur von Gallium-Arsenid
- Abbildung 2.7 PMMA
- Abbildung 2.8 Schematische Darstellung des Einweg-Formgedächtnis-Effektes
- Abbildung 2.9 Schematische Darstellung des Zweiweg-Formgedächtnis-Effektes
- Abbildung 2.10 Anteile der Fertigungsverfahren in der Mikrosystemtechnik 1995
- Abbildung 2.11 Isotrop geätzte Struktur
- Abbildung 2.12 Ätzrate für (100)-Silizium als Funktion der KOH-Konzentration bei 60 °C und 80 °C
- Abbildung 2.13 Relative Ätzrate für (100)-Silizium in Abhängigkeit von der Bordotierung bei verschiedenen KOH-Konzentrationen
- Abbildung 2.14 Ionenstrahlätzanlage
- Abbildung 2.15 Prinzipielle Anordnung beim reaktiven Ionenätzen und Plasmaätzen
- Abbildung 2.16 LIGA-Verfahren
- Abbildung 2.17 Mikromotor mit Kunststoff-Zahnradern, im LIGA-Verfahren hergestellt
- Abbildung 2.18 Stereolithographie
- Abbildung 2.19: Beispiele für mit dem RMPD-Verfahren hergestellte Produkte
- Abbildung 2.20 Beispiele metallischer Systemträger für elektronische Schaltungen oder mikromechanische Bauelemente

- Abbildung 2.21 Prinzip der Drahtkontaktierung
- Abbildung 2.22 Drahtkontaktierung mittels Thermokompressionsverfahren und Ultraschallverfahren
- Abbildung 2.23 Prinzip des Flip-Chip-Verfahrens
- Abbildung 2.24 Schematische Darstellung eines Sensors
- Abbildung 2.25 Aufbau eines Folien-DMS
- Abbildung 2.26 Widerstandsänderung durch mechanische Dehnung
- Abbildung 2.27 Arten des piezoelektrischen Effektes
- Abbildung 2.28 Longitudinaleffekt bei Quarz
- Abbildung 2.29 Piezoelektrischer Effekt
- Abbildung 2.30 Differential-Kondensator
- Abbildung 2.31 Differentialkondensator in einer Wechselspannungsbrücke
- Abbildung 2.32 Mittlere Auslenkung einer Membran
- Abbildung 2.33 Phasen und Arbeitsschritte beim methodischen Konstruieren
- Abbildung 3.1 Vorgehensweise zur Optimierung der Konzept- und Entwurfsphase für mikromechanische Druckmembranen
- Abbildung 4.1 Grafische Darstellung der allgemeinen Gliederung von Produkten zur späteren Verwendung von Baukastensystemen
- Abbildung 5.1 Systematisches Vorgehen zur Baukastenkonstruktion
- Abbildung 5.2 Funktionsstruktur als Basis für die Festlegung von Funktionsbausteinen eines mikromechanischen Membranbaukastens für Drucksensoren
- Abbildung 5.3 Baustruktur eines mikromechanischen Membranbaukastens auf Basis der Funktionsstruktur
- Abbildung 5.4 Verschiedene Möglichkeiten zur Detektion der Membrandurchbiegung
- Abbildung 5.5 Mechanische Zusatzelemente zur Modifizierung der Membran
- Abbildung 5.6 Elektronik für die Membran
- Abbildung 5.7 Baustruktur des Membranbaukastens
- Abbildung 5.8 Abmessungen der Membran für die Berechnungen
- Abbildung 5.9 Freigeschnittenes Membranstück

- Abbildung 5.10 Besselfunktionen
- Abbildung 5.11 Biegelinie der analytisch berechneten Membran
- Abbildung 5.12 Grundelement (Schema)
- Abbildung 5.13 Diskretisierung bei der FEM-Berechnung
- Abbildung 5.14 Die Membran als Finite-Elemente-Modell (Grundelement)
- Abbildung 5.15 FEM-Berechnung eines Grundelements (Knotenverschiebung / Membrandurchbiegung)
- Abbildung 5.16 Membrandurchbiegung des Grundelementes
- Abbildung 5.17 Zugspannungen in der Membran (Unterseite) bei einem Druck von 8bar
- Abbildung 5.18 Membran mit gebohrtem Unterlegelement (Schema)
- Abbildung 5.19 FEM-Ergebnisplot (Membrandurchbiegung) einer Membran mit adaptiertem gebohrtem Zusatzelement
- Abbildung 5.20 Durchbiegung der Membran mit gebohrtem Unterlegelement (FEM Berechnung)
- Abbildung 5.21 Membran mit abgeschrägtem Unterlegelement (Schema)
- Abbildung 5.22 Element-Aufbau des FEM-Modells für eine Membran mit schrägem Zusatzelement
- Abbildung 5.23 Durchbiegung von Grund- mit Zusatzelement (FEM-Berechnung)
- Abbildung 5.24 Durchbiegung von Membranen (FEM Berechnung) mit schrägen Unterlegelementen im Vergleich zu Membranen ohne Unterlegelement (Referenz)
- Abbildung 5.25 Justagehilfe bei der Montage von Grund- und Zusatzelement
- Abbildung 6.1 Kraftfahrzeug-Bremsanlage
- Abbildung 6.2 FUJI-Druckmessfolie
- Abbildung 6.3 Modifiziertes Bremspedal im Kfz zur Kraftverteilungsmessung
- Abbildung 6.4 Vorbereitung der FUJI-Druckmessfolie für den Test
- Abbildung 6.5 FUJI-Folie nach einer Messfahrt (Testperson männlich, Fahrstrecke 40 km, Stadtverkehr)
- Abbildung 6.6 Prototyp eines Bremspedals mit Kraftmessvorrichtung
- Abbildung 6.7 Messkurve des gesuchten Drucksensors zur Pedalkraftmessung

- Abbildung 6.8 Wunschverlauf und tatsächlicher Verlauf der Membrandurchbiegung
- Abbildung 7.1 Wissensbasierte rechnerunterstützte Konstruktionsumgebung
- Abbildung 7.2 Konstruktionsschritte im Expertensystem „Membran-Baukasten“
- Abbildung 7.3 Auszug aus der objektorientierten Struktur des Membran-Baukastens
- Abbildung 7.4 Informationen der „Sensor-Datenbank“ am Beispiel eines Druck-Sensors
- Abbildung 7.5 Wissensbereitstellung eines physikalischen Effektes am Beispiel „Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Werkstoff und Geometrie“
- Abbildung 7.6 Dateneingabe zur Membranauslegung im CAD-System
- Abbildung 7.7 Designvorschlag des Expertensystems
- Abbildung 7.8 Zusatzinformationen aus einer externen Datenbank (hier Sensor-Datenbank)

FORMELZEICHEN

a	Gitterabstand
A	Fläche
A	Fläche der Kondensatorplatten
\bar{A}	Geladene Fläche
B_i	„Muss-Baustein“ eines Baukastens
C	Kapazität
C_Δ	Kapazität bei geändertem Plattenabstand
C_{ij}	Elastizitätskoeffizienten
C_x	Konstanten
d	Abstand zwischen zwei benachbarten, parallelen Gitterebenen
d	Membrandurchmesser
d	Mechanischer Spannungsvektor
D	Plattensteifigkeit
\bar{D}	Elektrische Flussdichte
E	Elastizitätsmodul
$E_{[hkl]}$	Elastizitäts-Modul in Richtung der Ebene [hkl]
E_g	Bandabstand
F	Kraft
h	Membrandicke
h	Miller'scher Index
I	Strom
k	Miller'scher Index
k	Empfindlichkeit der Dehnungsmessstreifen
K	Biegesteifigkeit
l	Miller'scher Index
n_i	Eigenleitungsträgerdichte
p	Druck

\bar{Q}	Ladung der Fläche A
r	Radius
R	Radius
R	Widerstand
R_a	Rauhigkeit
R_0	Widerstand im ungedehnten Zustand
s	Länge des Widerstandes
S_{ij}	Nachgiebigkeitskoeffizienten
t	Membrandicke
U	Spannung
w	Durchbiegung / Biegelinie
w_{\max}	Maximale Durchbiegung
w_h	Homogener Anteil der DGL
w_p	Inhomogener Anteil der DGL
x	Koordinate
x	Abstand der Kondensatorplatten
XB_i	„Kann-Baustein“ eines Baukastens
(hkl)	Kristallebene
[hkl]	Richtungsvektor im Kristall
{hkl}	Kristallographisch gleichwertige Ebenen im Kristall
α	Winkel zwischen Kristallebenen
ε	Dehnung
ε_0	Absolute Dielektrizitätskonstante
ε_r	Relative Dielektrizitätskonstante
φ	Winkel
σ_0	Vorspannung
$\vec{\sigma}$	Mechanischer Spannungsvektor
μ_n	Elektronenbeweglichkeit

μ_p	Beweglichkeit der Löcher
ρ	Dichte
$\sigma_{0,2}$	Streckgrenze bei 0,2% Dehnung
Δ	Laplace-Operator
ΔC	Kapazitätsänderung
Δs	Längenänderung durch Dehnung
Δx	Abstandsänderung der Kondensatorplatten
λ	Wellenlänge
ν	Poissonzahl

ABKÜRZUNGEN

ABS	Anti-Blockier-System
AVT	Aufbau- und Verbindungstechnik
BEM	Boundary-Elemente-Methode
BKV	Bremskraft-Verstärker
BMW	Bayerische Motoren-Werke
CA	Kalifornien (California)
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAN	Controller-Area-Network
CD	Compact Disc
CH ₃ COOH	Essigsäure
CMOS	Komplementär-symmetrischer Metall-Oxid-Halbleiter (Complementary Symmetry-Metal Oxide Semiconductor)
CPU	Prozessor (Central Processing Unit)
CuAlNi	Formgedächtnismetall auf Kupferbasis (enthält weiterhin Aluminium und Nickel)
CuZnAl	Formgedächtnismetall auf Kupferbasis (enthält weiterhin Zink und Aluminium)
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft e.V. (Bonn)
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DMS	Dehnungsmessstreifen
DSC	Dynamische Stabilitätskontrolle (Dynamic Stability Control)
E46	BMW 3er-Baureihe (Baujahr 1998 bis heute)
E-Modul	Elastizitätsmodul
EDP	Ethylendiamin-Pyrocatechol
EHB	Elektro-hydraulische Bremse
EMB	Elektro-mechanische Bremse
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm

FEM	Finite-Elemente-Methode
FGL	Formgedächtnislegierung
GaAs	Gallium-Arsenid (Halbleiter)
GB	Gigabyte
GF	Grundfunktion
HF	Fluorwasserstoff (in Wasser gelöst: Flusssäure)
HNO ₃	Salpetersäure
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
ILT	Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen
IMT	Institut für Mikrotechnik, Karlsruhe
IPA	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart
IPT	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie, Aachen
ISO	International Organization for Standardization
KOH	Kaliumhydroxid
krz	kubisch-raumzentriert
kfz	kubisch-flächenzentriert
LIGA	Lithografie, Galvanoformung und Abformung (mikromechanisches Herstellungsverfahren)
LiOH	Lithiumhydroxid
MB	Megabyte
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MKS	Mehrkörpersystem
MPL	Mikro-Photo-Verfestigung mittels LCD-Maskentechnik (mikromechanisches Herstellungsverfahren)
MST	Mikrosystemtechnik
NaOH	Natriumhydroxid
NiTi	Nickel-Titan-Legierung (Formgedächtniswerkstoff)
OP	Operation
Pkw	Personenkraftwagen

PMMA	Kunststoff P olymethyl m etacrylat
PVDF	P olyvinylidenfluorid
RAM	Hauptspeicher (R andom A ccess M emory)
RIE	Reaktives Ionenätzen (R eactive I on E tching)
RMPD	R apid M icro P roduct D evelopment (mikromechanisches Herstellungsverfahren der Firma microTEC in Duisburg)
r. F.	relative F euchte
SDB	S ilizium- D irekt- B onden
SEMI	S emiconductor E quipment and M aterial I nstitute
SF	S onderfunktion
Si	S ilizium (Halbleiter)
StVZO	S traßenverkehrs- Z ulassungs- O rdnung
TMAH	Tetramethylammonium-Hydroxid
VDI	V erein D eutscher I ngenieur e
ZE	Z entrale E ingangsgröße
ZE	Z usatzelement