

**Fachausschuß
Mikrosystemtechnik in der
VDE/VDI-Gesellschaft
Mikroelektronik
und
Hahn-Schickard-Gesellschaft
für angewandte Forschung e.V.**

Vortragsveranstaltung

Mikrosystemtechnik

**16. Januar 1991
Stuttgart-Büsnau**

Veranstalter

Fachausschuß Mikrosystemtechnik
in der VDE/VDI-Gesellschaft
Mikroelektronik
und
Hahn-Schickard-Gesellschaft
für angewandte Forschung e.V.

Programmausschuß

Dr. S. Büttgenbach (Vorsitzender)
Hahn-Schickard-Institut für Mikro-
und Informationstechnik
Roggenbachstraße 6, 7730 Villingen-Schwenningen
Telefon: 07721/2002-20

Prof. Dr. M. Glesner
Institut für Datentechnik
Karlstraße 15, 6100 Darmstadt
Telefon: 06151/16-5136

Prof. Dr. W. Menz
Institut für Mikrostrukturtechnik
Kernforschungszentrum Karlsruhe
Postfach 36 40, 7500 Karlsruhe 1
Telefon: 07247/822740

Dr. J. Schweikhardt
Robert Bosch GmbH
Postfach 10 60 50, 7000 Stuttgart 10
Telefon: 0711/811-6383

Dr. G. Wartmann
VDI/VDE-Technologiezentrum
Informationstechnik GmbH
Budapester Straße 40, 1000 Berlin 30
Telefon: 030/2609-126

Programm

Mittwoch, 16. Januar 1991

10.00 Eröffnung
W. Berger, Vorsitzender des Fachausschusses Mikrosystemtechnik der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik und Vorsitzender der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.

Einführung

10.10 Mikrosystemtechnik - die Herausforderung für rechnergestützte Entwicklungswerkzeuge
K.D. Müller-Glaser,
Universität Erlangen-Nürnberg

Entwicklungswerkzeuge für Mikrosysteme

(Sitzungsleiter: W. Menz)

10.50 Wissensbasierte Systeme in der Mikrosystemtechnologie
H. Eggert,
Kernforschungszentrum Karlsruhe

11.10 Sicherheit und Zuverlässigkeit in der Mikrosystemtechnik
W. Kuntz,
Fachhochschule Furtwangen

11.30 - 11.50 Pause

11.50 Modellierung von piezoelektrischen Wandlern in fluiden Medien
R. Lerch,
Siemens AG, Erlangen

12.10 Modellierung mikromechanischer Sensoren mit der Methode der Finiten Elemente
B. Schmidt, T. Fabula,
Hahn-Schickard-Institut für Mikro- und Informationstechnik,
Villingen-Schwenningen

12.30 Simulation von RIE- und PVD-Prozessen für Mikrosystemtechnik
I.W. Rangelow, A. Ficheltcher, P.Thoren,
R. Kassing,
Universität Kassel

12.50 - 14.00 Mittagspause

Signalverarbeitung in Mikrosystemen

(Sitzungsleiter: J. Schweikhardt)

- 14.00 Entwurf mikroelektronischer Komponenten für integrierte mechanisch-elektronische Systeme
M. Glesner, H.-J. Herpel,
Technische Hochschule Darmstadt
- 14.20 Digitale Signal-Prozessoren (DSP) für die Signalanalyse, Signalverarbeitung und Maschinensteuerung
W. Haug
IBM Deutschland GmbH, Sindelfingen
- 14.40 Informationsverarbeitung an Multi-sensoren
H.-R. Tränkler
Universität der Bundeswehr München
- 15.00 Monolithisch integrierter Silicium-Drucksensor
H.-J. Kress, F. Bantien, J. Marek, M. Willmann,
Robert Bosch GmbH, Reutlingen
- 15.20 - 15.40 Pause

Neue Anwendungen von Mikrosystemen

(Sitzungsleiter: M. Glesner)

- 15.40 Bewegliche Strukturen in LIGA Technik
P. Bley, J. Mohr,
Kernforschungszentrum Karlsruhe
- 16.00 Vakuum-Mikroelektronik - Neuland für die Mikrostrukturtechnik
T. Grandke,
Siemens AG, Erlangen
- 16.20 Mikrostrukturierte diodenlasergepumpte Festkörperlaser
P. Peuser, S. Heinemann, A. Mehnert,
N.P. Schmitt,
Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, München
- 16.40 Mikromechanische Systeme zur Untersuchung lebender Zellen
G. Fuhr, R. Hagedorn,
Humboldt-Universität, Berlin
B. Wagner, W. Benecke,
Fraunhofer-Institut für Mikrostrukturtechnik,
Berlin

- 17.00 Cochlear-Implant-Mikrosystem: Hören trotz Taubheit
K. Scherer, M. Bollerott, W. Brockherde,
G. Kellings,
Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische
Schaltungen und Systeme, Duisburg
- 17.20 Mikrostrukturierte Wärmerohre für die
thermische Entsorgung in der Mikroelektronik
W. Bier, D. Plesch, K. Schubert, D. Seidel,
Kernforschungszentrum Karlsruhe

Ausblick

- 17.40 Stand der Mikrosystemtechnik im internationalen
Vergleich
H. Seidel,
Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, München
- 18.00 Ende der Veranstaltung

Danksagung

Die Veranstalter möchten an dieser Stelle den Firmen

IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
Siemens AG, Erlangen

für die finanzielle Unterstützung zur Durchführung dieser Veranstaltung
danken. Dank gebührt auch dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung,
Stuttgart, für die Bereitstellung des Vortragssaales und der Infrastruktur.

Kurzfassung der Vorträge

Mikrosystemtechnik

die Herausforderung für rechnergestützte Entwicklungswerkzeuge

Prof. Dr.-Ing. Klaus D. Müller-Glaser
Lehrstuhl für Rechnergestützten Schaltungsentwurf
Universität Erlangen-Nürnberg

Die Mikrosystemtechnik umfaßt im wesentlichen Konzeption, Entwicklung und Fertigung "miniaturisierter intelligenter autonomer Systeme". Die wesentlichen Komponenten eines solchen Systems sind: 1) eigene Energieversorgung, 2) Sensoren zur Umwandlung physikalisch, chemischer Größen in elektrische Größen, 3) mikroelektronische, optoelektronische und mikrooptische Komponenten zur Verarbeitung der elektrischen Signale in analoger und digitaler Form einschließlich geschlossener Regelkreise, wobei mit Hilfe von 4) Aktuatoren und zugehöriger Leistungselektronik bis hin zu 5) mikromechanischen Komponenten elektrische Größen in Prozeßstellgrößen gewandelt werden, 6) programmierbare, digitale mikroelektronische Komponenten nebst umfangreicher Software insbesondere zur Gesamtsteuerung des Mikrosystems und zur Kommunikation mit anderen Mikrosystemen. Hinzu kommen schwierige Forderungen an die Aufbau-, Verbindungs- und Gehäusetechnik, um die bei Mikrosystemen geforderten minimalen Bauvolumina, höchste Zuverlässigkeit und geringen Herstellkosten zu realisieren.

Der Entwurf von Mikrosystemen ist gegenüber dem konventionellen Systementwurf erheblich schwieriger, da neueste, zum Teil noch wenig erprobte Technologien eingesetzt werden und die geringen Bauvolumina zu erheblich größeren, parasitären Querempfindlichkeiten aller Komponenten führen. Mikrosystementwurf ist wegen der hohen Komplexität für Entwurf, Verifikation und Test ohne Einsatz rechnergestützter Verfahren nicht wirtschaftlich durchführbar. Derzeit existieren lediglich Werkzeuge, die für den Entwurf einzelner Mikrosystemkomponenten geeignet sind. Alle diese Werkzeuge sind jedoch individuelle Werkzeuge, ohne standardisierte Schnittstellen sowie ohne gemeinsame Datenhaltung und Benutzeroberflächen. Desweiteren ist festzustellen, daß insbesondere für die frühen Phasen des Mikrosystementwurfs, nämlich die Studien-, Spezifikations- und Planungsphase, die für den technischen und wirtschaftlichen Erfolg maßgebend sind, keine oder nur völlig unzureichende Rechnerunterstützung gegeben ist. Diese Feststellung gilt nicht nur für Mikrosysteme, sondern für den Systementwurf ganz allgemein. Neue rechnergestützte Werkzeuge zur Erfassung einer vollständigen und konsistenten Anforderungsspezifikation für den Mikrosystementwurf sind notwendig. Hierfür kennzeichnend sind eine objektorientierte Modularisierung und Hierarchie sowie anwendungsspezifische Attributierung von Entwurfsobjekten zwecks Zuordnung geeigneter Werkzeuge, Personal, Entwurfsplanung sowie Verfahren zur Abschätzung relevanter Daten für die technische und wirtschaftliche Machbarkeit.

Eine besondere Problematik stellt die Simulation von Mikrosystemen dar. Wegen der oben genannten parasitären Querempfindlichkeiten der einzelnen Mikrosystemkomponenten ist es notwendig, das Mikrosystem in seiner Gesamtheit unter funktionalen, elektrischen, physikalisch-chemischen, zeitlichen und einsatzabhängigen Gesichtspunkten zu simulieren. Dies bedeutet, daß ein Simulationssystem vorhanden sein muß, das mit Hilfe von Modellen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen (Prozeß und Deviceebene, FEM-Analyse, wert- und zeitkontinuierliche Simulation elektrischer und mechanischer Größen sowie wert- und zeitdiskrete Simulation elektrischer und logischer Größen auf Strukturebene und abstrakter Verhaltensebene) simulieren kann. Die Modellierung mit entsprechender Abstraktion durch Makromodellbildung muß durchgängig möglich sein (Multi-Level, Mixed-Mode Simulation).

Ein besonders gravierendes Problem für die Entwicklung und Fertigung stellt der Test und die Diagnose von Mikrosystemen dar. Aufgrund der Schnittstellen zur Umwelt mit physikalisch-chemischen Größen aber auch der vielfältigen internen Schnittstellen mit digitalen und analogen elektrischen Größen sowie systemeigenen Zeitkonstanten, die über 10 Größenordnungen reichen können (Picosekunden Laufzeiten bei digitaler Logik einerseits und Zeitkonstanten im Millisekunden- oder Sekundenbereich andererseits bei geschlossenen Regelkreisen), ist der testfreundliche Entwurf von Mikrosystemen sowie die Entwicklung und der Einsatz geeigneter Testsysteme eine unabdingbare Voraussetzung für die geforderte Zuverlässigkeit insbesondere bei sicherheitskritischen Mikrosystemanwendungen. Insbesondere ist zu beachten, daß für den Test und die Diagnose von Mikrosystemen keine Standardtestsysteme vorhanden sind, es muß also i.a. eine geeignete Test- und Diagnoseumgebung mit der eigentlichen Mikrosystementwicklung parallel entwickelt werden.

Wissensbasierte Systeme in der Mikrosystemtechnologie

Dr. Horst Eggert
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Institut für Datenverarbeitung in der Technik
Postfach 3640, W-7500 Karlsruhe

Zusammenfassung:

Mikrotechnik kann definiert werden als eine Kombination verschiedener Mikro-techniken, unter Anwendung von Systemtechniken der Informatik mit dem Ziel, neuartige Produkte (Mikrosysteme) zu erhalten.

Mikrosysteme können aufgrund ihrer zu erwartenden hohen Komplexität, insbesondere durch die starke interdisziplinäre Vernetzung, nur aus einer "gesamtheitlichen Sicht" heraus, unter Kenntnis aller informationstechnischen Verknüpfungsfunktionen erfolgreich entwickelt werden.

Gesamtheitliche Sicht bedeutet dabei, daß eine Systemanalyse gleichermaßen die *Mikrotechniken* (z.B. Fertigungsverfahren, Verhalten der Mikrostrukturkörper, Aufbau- u. Verbindungstechniken) sowie eine sachgerechte Komposition weiterer Teilsysteme, bestehend aus *Halbleiterbausteinen* und *Softwarebausteinen* berücksichtigen muß.

Es liegt in der Natur komplexer Systeme, daß eine Expertise nur iterativ erstellt werden kann, wobei sich bei unstrukturierter Vorgehensweise die Fehlerhäufigkeit erhöht und es auch nicht verhindert werden kann, daß diese Fehler u. U. in den Systementwurf bis hinein in das implementierte System übertragen werden.

Zur frühzeitigen Fehlervermeidung wird vorgeschlagen, bereits die Expertise für Mikrosysteme sowie für Fertigungssysteme in *wissensbasierten Systemen* abzu-legen. Die Gesetze der Aussagen- und Prädikatenlogik erzwingen dabei von Anfang an eine streng methodische Vorgehensweise, z.B. durch die Formulierung von Klassen, Unterklassen (Vererbung) und Regeln.

Eng verwandt mit diesen Konzepten ist die *objektorientierte Programmierung*, die im Gegensatz zur prozeduralen Programmierung nicht kontrollflußorientiert ist, sondern auf Nachrichten basiert, die zwischen Objekten ausgetauscht werden.

Mit Hilfe geeigneter Programmierungsumgebungen (Shells) lassen sich auf diese Weise unmittelbar im Rahmen der Systemanalyse Expertisen erstellen, die als sogen. *Prototypen* auf Rechnern ablauffähig sind.

Diese Prototypen können dann z.B. Koordinationsaufgaben zwischen Teilprozessen in einem Fertigungsprozeß für Mikrostrukturen erfüllen oder auch eine rechnergestützte Simulation von Mikrosystemen durchführen.

Entscheidend ist dabei, daß ein wissensbasiertes System *offen* ist, d.h. man kann es in "horizontaler Richtung" beliebig erweitern und in "vertikaler Richtung" ist es in der Lage, Funktionen bereitzustellen, die später in einem Zielsystem ablaufen können.

Sicherheit und Zuverlässigkeit in der Mikrosystemtechnik

Zuverlässigkeit ist kurz die Zeitkomponente der Qualität. Komponenten der Mikrosystemtechnik werden sich in ihren Ausfallraten nicht von bisherigen Bauteilen unterscheiden. Fehler sind unabwendbar. **Sicherheit** ist die Fähigkeit eines Systems, bei Ausfall oder Störung gefährliche Auswirkungen für den Menschen zu vermeiden. Je höher die Zuverlässigkeit, desto höher die Sicherheit. Fehlertolerante Systeme erfordern einen erheblichen Aufwand.

Für eine Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit werden heutzutage mit großem Aufwand Maßnahmen eingesetzt wie aktive und passive Redundanz, zusätzliche diversitäre und nichtdiversitäre Kanäle, Selbsttest, Burn-in, Fertigungstest.

Ziel muß es sein, **fehlertolerierende** Systeme mit geringem Zusatzaufwand herzustellen. Die Mikrosystemtechnik bietet hierzu ideale Voraussetzungen, da sie der Natur nahe kommende Möglichkeiten bietet. Beispiele sind:

- **Fehlertolerierender Sensor**

Aus einer großen Zahl gleicher Sensoren werden die defekten eliminiert.

Der wahre Wert wird aus vielen Sensoren durch Bildung von Mittelwert und Streuung berechnet.

Bei Ausfall wird auf einen Ersatzsensor umgeschaltet.

Es werden unterschiedliche Meßprinzipien realisiert.

- **Fehlertolerierender und testbarer Aktor**

Nicht ein einziger Aktor ist maßgebend, sondern die Summenwirkung vieler Einzelaktionen (Magnete, Motoren, Anzeigen).

Überwachung der Aktoren durch Sensoren.

- **Einbau von Testfunktionen**

Selbsttest entdeckt Ausfälle, bevor sie sich auswirken können, das System kann sich reparieren oder neu konfigurieren, u.U. mit geringerer Leistungsfähigkeit (graceful degradation).

- **Einbau von Teststrukturen bei jedem Element**

Herstellungsfehler können leichter und exakter entdeckt werden.

- **Auswerteelektronik**

Redundante Verarbeitung, redundante Speicherung und redundante Übertragung. "Meßwerte" können durch Modellbildung redundant gewonnen werden.

Infolge der Kleinheit und geringen Kosten der Einzelmaßnahmen ergeben sich Ansätze für Lösungen, die bisher für nicht realisierbar gehalten wurden. In diesem intelligenten Systementwurf müssen Sensoren, Aktoren, Verarbeitungs- und Übertragungseinheit als System und nicht als Einzelkomponenten betrachtet werden.

Modellierung von piezoelektrischen Wandlern in fluiden Medien

R. Lerch, SIEMENS-Forschungszentrum Erlangen

Piezoelektrische Stoffe werden in Form von Einkristallen, Keramiken und Polymeren in verschiedenen Bereichen der Mikrosystemtechnik als Materialien zur Wandlung von mechanischer in elektrische Energie bzw. umgekehrt eingesetzt. Als Beispiele können unter anderem die Sensoren auf Oberflächenwellenfilterbasis, mikrostrukturierte Ultraschall-Wandler oder auch piezoelektrische Silizium-Mikrophone angeführt werden. Es wird ein Modellierungsverfahren vorgestellt, das die hochgenaue Rechnersimulation mikrosystemtechnischer Piezo-Komponenten ermöglicht. Dabei wird die oft vorhandene Interaktion zwischen dem Wandler und dem ihn umgebenden gasförmigen oder fluiden Medium berücksichtigt. Das Verfahren basiert auf piezoelektrischen und fluiden finiten Elementen. Piezoelektrische finite Elemente beschreiben sowohl die mechanischen als auch die elektrischen Vorgänge innerhalb des Wandlers, während die fluiden Elemente die mechanischen Reaktionen des Umgebungsmediums behandeln. Dieses Modellierungsverfahren dient einerseits als Komponente des computerunterstützten Designs und trägt andererseits erheblich zu einem tiefergehenden physikalischen Verständnis bei. Es werden Anwendungen für die Modellierung akustischer Sensoren bzw. Aktoren, wie beispielsweise Ultraschall-Arraywandler, vorgestellt. Es besteht bei allen Anwendungsbeispielen quantitative Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment. Fernerhin werden künftige Trends dieses neuen Bereiches des computerunterstützten Designs diskutiert.

Modellierung mikromechanischer Sensoren mit der Methode der Finiten Elemente

Th.Fabula, B.Schmidt

Hahn-Schickard-Institut für Mikro- und Informationstechnik,
Villingen-Schwenningen

Im Hahn-Schickard-Institut wird das kommerzielle FEM-Programmsystem ANSYS für den Entwurf und die Auslegung von mikromechanischen Sensoren eingesetzt. Im Vordergrund stehen statische und dynamische Berechnungen an unterschiedlichen Sensorstrukturen, die z.T. anisotropes Materialverhalten (Silizium, Quarz) und den Einfluß verschiedener physikalischer Größen (z.B. Temperatur) berücksichtigen. Als Beispiele werden die Berechnungen von Silizium-Drucksensoren und von resonanten Quarz-Kraftsensoren aufgeführt.

Bei den statischen Berechnungen wird am Beispiel eines Drucksensors der Einfluß der Strukturgeometrie auf die Auslenkung und den Spannungszustand der Silizium-Membran aufgezeigt. Die Ergebnisse geben z.B. Aufschluß über eine günstige Anordnung der piezoresistiven Bauelemente, die Empfindlichkeit und den linearen Bereich des Drucksensors.

Bei den dynamischen Berechnungen sind die Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen (Modalanalyse), die Kraft-Frequenz-Kennlinie (Kraftempfindlichkeit) und das Frequenzgangverhalten (Amplitudenspektrum) bei resonanter Anregung des Kraftsensors von Interesse. Die Anregung der resonanten Sensoren erfolgt z.B. thermisch oder piezoelektrisch, so daß die Kopplung verschiedener Felder (Wärmefeld-Struktur, Piezoelektrizität etc.) mit berücksichtigt werden muß. Der Einfluß der Temperatur auf die Resonanzeigenschaften der Sensorstruktur können ebenfalls mit berücksichtigt werden.

SIMULATION VON TROCKENÄTZ- UND ZERSTREUBUNGSDEPOSITION PROZESSEN FÜR MIKROSYSTEMTECHNOLOGIE

I.W.Rangelow, A.Ficheltscher, P.Thoren*
Uni Kassel, Inst. für Tech. Physik, * VDI-Bremen

In den letzten zehn Jahren gewinnen Simulationsmodellrechnungen für die Unterstützung von Design und Herstellungstechnologie von Halbleiterbauelementen zunehmend an Bedeutung. In den USA ist diese kreative Disziplin unter der Bezeichnung Semiconductor Devices and Technology Computer-Aided Design -abgekürzt TCAD- bekannt. Seit kurzem werden Simulationsmodelle auch für die komplette Fertigung und sogar für die Arbeit im Reinraum entwickelt. Derartige Simulationsrechnungen dienen zur Optimierung des Fertigungsprozesses durch Erhöhung der Ausbeute und Zuverlässigkeit von Halbleiterbauelementen.

1985 wurde an der Universität in Kassel mit der Entwicklung von Simulationsmodellen auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie begonnen. In dieser Zeit wurden Modelle für eine Computersimulation im Rahmen einer Kooperation mit der Fa. Siemens für Mbit DRAM's entwickelt. Sie sollten zur Optimierung von Bauelementen (z.B. latch-up Simulation) und zur Verbesserung von technologischen Schritten (z.B. Trockenätzen, Deposition, Implantation) dienen. Unter dem Begriff Mikrosystemtechnologie werden alle Technologien aus Mikroelektronik, Optoelektronik, Mikromechanik, also aus allen Gebieten der Mikrosystemtechnik, zusammengefaßt. Deshalb können entwickelte Simulations-"Werkzeuge" aus der Mikroelektronik auch erfolgreich in der Mikrosystemtechnologie eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang wird das an der Universität Kassel entwickelte Simulationsprogramm SPEED (Simulation of Profile Evolution by Etching and Deposition) präsentiert. Die Zielsetzung war, in modularer Form sukzessive ein Simulationsprogramm zu erstellen, welches einerseits die wichtigsten Strukturierungsverfahren wie Ionenstrahlätzen und Reaktiv-Trockenätzprozesse und andererseits auch die Deposition von Schichten simulieren kann. Der Schwerpunkt wurde zunächst auf die Simulation der Schichtdeposition gelegt. Konkret sollte damit die Aufstäubung von Aluminiumschichten zur Herstellung von Kontaktlöchern mit Sub- μ m Durchmesser optimiert werden. In diesem Prozeß ist es wünschenswert, Kantenbedeckungen unterschiedlicher Topologien an beliebigen Stellen eines Wafers durch Simulationsrechnungen vorhersagen zu können. Die Simulation eines solchen Depositionsprozesses umfaßt daher die Berechnung der Quellenverteilung aus experimentellen Ergebnissen und die Vorhersage der zeitlichen Entwicklung der Topologie. Kernstück des Simulationsmodells ist daher ein erweiterter String-Algorithmus, der die Veränderung der Profiloberfläche durch Verschiebung der Segmente entsprechend der berechneten Depositionsrate darstellt. Dieser Algorithmus kann daher in gleicher Weise für die Berechnung der Profilentwicklung in Ätzprozessen benutzt. Auf dem Gebiet der Ätzprozessen konnten Ionenstrahlätzprozesse ("ion milling") und ionenunterstützte Reaktiv-Ätzprozesse simuliert werden. Die Simulation von "ion milling" - Prozessen ermöglicht die dreidimensionale Berechnung der Profilentwicklung unter Wirkung einer a priori berechneten (mithilfe eines Trim-Programms) oder gemessenen Ätzrate. Dazu können optional Effekte wie Redeposition, Trenching, Shadowing, sowie Rotation und Kippung des Substrates berücksichtigt werden. Dagegen ist die Simulation eines plasmaunterstützten Ätzprozesses wegen der Vielzahl der zu berücksichtigenden physikalischen Prozesse, der Sensibilität des Systems und der gegenseitigen Wechselwirkung der vielen Parameter eine sehr komplexe Aufgabe. Die Modellierung eines solchen Prozesses erfordert zunächst dessen Unterteilung in Teilbereiche. Sie sind separat simulierbar, hängen aber über bestimmte Variable und Parameter voneinander ab. Diese Teilbereiche umfassen zunächst die Prozesse im Plasmawinneren, die durch Plasma-Elektrodynamik und Gaskinetik beschrieben werden können. Sie sind besonders zur Charakterisierung der Ionen- und Reaktivteilchen-Generationsprozesse und allgemein der Reaktionen im Plasma von Bedeutung. Der nächste Teilprozeß ist der Transport der Neutralteilchen und Ionen vom Plasma durch den Dunkelraum zur Substratoberfläche, wo dann in einem weiteren Prozeß die Reaktion an der Substratoberfläche beschrieben wird. Die aufgrund dieser Reaktion (Ätzen) erfolgende Topologieänderung kann wieder durch entsprechende Segment-verschiebungen erfaßt werden. Der Schwerpunkt der Simulationsarbeit lag zunächst auf der Modellierung des Ionentransports vom Plasma durch den Dunkelraum als dem Prozeß, der maßgeblich die Energie und Ausrichtung der Ionen bestimmt. Die Energie bestimmt in einem ioneninduzierten Ätzprozeß wiederum primär die Anisotropie. Darüberhinaus erfordert auch die Modellierung der Reaktionsprozesse an der Substratoberfläche die Kenntnis der Ionenenergie und Ausrichtung. Mithilfe des entwickelten Programmmoduls für die Simulation des Ionentransport durch den Dunkelraum (MCSOID) konnten bereits nützliche Ergebnisse über die Abhängigkeit der Ionenenergie und Ausrichtung von Prozessparametern wie Druck, Frequenz und eingespeister Leistung erzielt werden. Darüberhinaus konnte auch die Bedeutung des Ionentransportprozesses für die Topologieentwicklung in RIE-Prozessen demonstriert werden. Die Simulationsergebnisse zeigten dabei gute Übereinstimmung mit entsprechenden REM-Aufnahmen. Derzeit wird an einem Programmmodul gearbeitet, welches die Reaktionsprozesse an der Substratoberfläche unter Berücksichtigung der mit MCSOID berechneten Parameter berechnen soll, welches einen weiteren Schritt zur ganzheitlichen Simulation von plasmaunterstützten Ätzprozessen darstellt.

Entwurf mikroelektronischer Komponenten für integrierte mechanische- elektronische Systeme

H.-J. Herpel, M. Glesner
Technische Hochschule Darmstadt
Fachgebiet Mikroelektronische Systeme
Karlstraße 15
D-6100 Darmstadt
Tel.: 06151/16-5136

Zusammenfassung

Die Mikroelektronik hat in den vergangenen Jahren erheblich zur Entwicklung neuer Produkte im Bereich des Maschinenbaus und der Kfz-Technik beigetragen. Durch die Verwendung neuer Sensoren und anwendungsspezifischer integrierter Schaltungen können sogenannte mechatronische Systeme erheblich leistungsfähiger aufgebaut werden. Zur Förderung dieser neuen Technologien wurde an der TH Darmstadt der Sonderforschungsbereich 241 „IMES“¹ eingerichtet.

Ein mechatronisches System besteht aus einer mechanischen und einer mikroelektronischen Komponente, die über Koppelglieder (Sensoren und Aktoren) miteinander verbunden sind. Die mikroelektronische Komponente des Gesamtsystems hat i.A. die Aufgabe die Sensorsignale aufzunehmen, in eine Eingangsgröße für einen Regler umzurechnen und die mechanische Komponente entsprechend eines vorgegeben Algorithmus über Aktoren zu beeinflussen. Entsprechend dieser Aufgaben kann die mikroelektronische Komponente in entsprechende Teilfunktionen zerlegt werden: analoge Signalaufbereitung, digitale Signalverarbeitung und Kommunikation mit einem übergeordneten System. In diesem Beitrag sollen die grundlegenden Schritte beim Entwurf anwendungsspezifischer Mikrocontroller für die Teilfunktion „Digitale Signalverarbeitung“ beschrieben werden. Insbesondere soll dabei am Beispiel eines Zustandsvariablenfilters auf die Schritte zur Optimierung des vorgegebenen Algorithmus und die Echtzeit-Verifikation des Algorithmus eingegangen werden. Ein Zustandsvariablenfilter (ZVF) führt eine Tiefpassfilterung durch und erzeugt dabei die höheren Ableitungen des gefilterten Signals direkt. Diese werden bei der Parameterschätzung für mechanische Systeme wie z.B. Verbrennungsmotoren und adaptive Stoßdämpfer benötigt. Der Algorithmus in Gleitkomma-Arithmetik ist für eine Integration nur bedingt geeignet, da Gleitpunktrechenwerke sehr komplexe und flächenintensive Elemente sind. Festkommarechenwerke sind weniger flächenintensiv, so daß der dadurch eingesparte Platz zur Integration von Systemkomponenten wie Programm- und Datenspeicher sowie Steuerlogik für die analoge Teilfunktion verwendet werden kann. Dies führt zu einer Verminderung der Zahl der Komponenten und damit zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit. Die grundlegenden Schritte beim Entwurf des Mikrocontrollers sind: Beschreibung und Verifikation des Algorithmus in einer Hochsprache, Umsetzung des Gleitkomma-Algorithmus in Festkommaformat und Bestimmung der optimalen Wortbreite unter Vorgabe des Dynamikbereiches und der Genauigkeit, Verifikation des optimierten Algorithmus direkt am Prozeß in Echtzeit, Festlegung der Architektur und des Befehlssatzes des Mikrocontrollers und physikalischer Entwurf. Für jeden dieser Schritte stehen entsprechende Werkzeuge zur Verfügung: Funktionelle Simulatoren für die ersten beiden Schritte des Entwurfsprozesses, ein Emulationssystem für die Echtzeitverifikation bestehend aus PC-AT, Signalprozessorkarte und Software zur Umsetzung der Hochsprachenbeschreibung in lauffeit-optimalen Code für die DSP-Karte und ein Silicon-Compiler zur automatischen Umsetzung der in dem manuellen Synthese-Prozeß entwickelten Architektur in ein Layout. Parallel zu der Implementierung der Mikrocontroller-Architektur in Silizium wird eine Software-Entwicklungsumgebung bestehend aus Assembler, Simulator auf Assemblerquelltextebene und Hochsprachen-Compiler entwickelt.

¹IMES ist die Abkürzung für Integrierte mechanische - elektronische Systeme

Digitale Signal Prozessoren (DSP) für die Signalanalyse, Signalverarbeitung und Maschinensteuerung

Walter Haug, IBM Deutschland,
7032 Sindelfingen, Max-Eyth-Straße 8

Im Zuge des technischen Fortschritts werden auch an Maschinensteuerungen immer höhere Ansprüche bezüglich Genauigkeit, Geschwindigkeit und Flexibilität gestellt, im besonderen, wenn die zu steuernde Maschine für die Herstellung zukünftiger High-Tech-Produkte verwendet werden soll.

Um die Genauigkeit einer Maschine zu verbessern, muß es möglich sein, statische und dynamische Fehler zu korrigieren.

Statische Fehler können in einer zu definierenden Zeitsequenz 'off-line' erfaßt werden, kurz die Maschine wird kalibriert.

Dynamische Fehler müssen während die Maschine arbeitet in 'real-time' erfaßt, verarbeitet, ausgewertet und korrigiert werden, oder falls möglich, kann ein Modell erstellt werden, an Hand dessen ein programmierter Algorithmus Störeinflüsse kompensiert oder zumindest reduziert.

Ferner müssen alle beweglichen Teile, die Einfluß auf die gewünschte Präzision der Maschine haben, mit hoher Effektivität und Geschwindigkeit geregelt werden.

In der folgenden Tabelle sind wichtige Funktionen der Steuerung einer auf Genauigkeit ausgelegten Maschine aufgeführt:

Funktion	Datenaufbereitung	Steuerungsaufgabe
Arbeitssignal erzeugen	Parameter	* Signalgenerierung
Kalibrierung beachten	Korrekturtabelle	* Tab. lesen, interpolieren
Dynamisches Korrektur Modell einrechnen	Modelltabelle Parameter	* Tabelle lesen, interpolieren u. modifizieren
Dynamische Fehler korrigieren	* Signalerfassung, Filterung, Signalauswertung	* Signalgenerierung
versch. Regelungen	Messwerterfassung	* Regelalgorithmen

Die mit einem Stern gekennzeichneten Datenaufbereitungs- und Steuerungsaufgaben lassen sich alle für die Hardware eines digitalen Signalprozessors (DSPs) optimieren, da sich im Grunde jeder Algorithmus in eine Form bringen läßt, die von den mächtigsten Instruktionen eines DSPs (parallel multipizieren, addieren, Bufferindex berechnen und zwei Daten holen in zus. 100 ns) unterstützt wird.

Natürlich haben die DSPs auch entscheidende Nachteile. Die Daten müssen wegen der Festpunkt-Arithmetikeinheit des DSPs normiert werden. Ferner brauchen die Algorithmen die Daten in definierter Reihenfolge, um eine effiziente Speicheradressrechnung durchzuführen. Da der adressierbare Speicher relativ klein ist können keine großen Datensätze und Programme geladen werden.

Trotzdem wiegt die sehr kurze Instruktionszeit von 100 ns die oben genannten Nachteile auf, da ansonsten ein Teil der Steuerung mit analoger Elektronik ausgeführt werden müßte. Der Einsatz von DSPs, zumindest als Funktionsrechner, trägt erheblich zur Steigerung der Flexibilität und Stabilität einer Maschine bei. Der Vortrag verdeutlicht dies am Beispiel einer Elektronen Strahl Belichtungsmaschine.

Informationsverarbeitung an Multisensoren



Prof. Dr.-Ing. H.-R. Tränkler

Institut für Meß- und Automatisierungstechnik
Universität der Bundeswehr München
D-8014 Neubiberg bei München

Informationsverarbeitung in Mikrosystemen ist notwendig, um die von Sensorelementen gelieferten Einzelsignale zielgerichtet aufzubereiten und/oder die Stellsignale für die Aktoren abzuleiten. Multisensoren haben dabei die Aufgabe, einen nutzbaren Informationsgehalt zu erzeugen oder zu erhöhen (Intelligenz im engeren oder weiteren Sinne).

Multisensoren werden dabei gewöhnlich als Sensorvielfach aufgefaßt, das am gleichen Ort angeordnet oder aber örtlich verteilt ist. Die Einbeziehung eines zeitlichen Signalvielfachs unter den Oberbegriff Multisensoren erweist sich als sinnvoll, wenn zur Prädiktion oder zur dynamischen Korrektur von Sensorsignalen die Vorgeschichte einbezogen werden soll.

Wesentliche Anwendungsbereiche für die Informationsverarbeitung an Multisensoren sind:

- Skalierung und Einflußgrößenkorrektur
- Entflechtung für mehrdimensionale Zielgrößen
- Array-/Matrix-Anwendungen
- Objekterkennung und -identifikation
- Diagnosesysteme (Wissensbasierte Systeme)
- Kriech- und Hysteresekorrektur
- Zuverlässigkeitssteigerung durch redundante und/oder diversitäre Systeme

Intelligente Sensorsysteme bilden eine wesentliche Grundlage für die Mikrosystemtechnik. Die mikrotechnisch bedeutsamen Gebiete der Elektronik, Mechanik und Informationstechnik führen zu Mikrosystemen, die makrotechnisch auch das Gebiet der Mechatronik befruchten können.

Monolithisch integrierter Silizium-Drucksensor

H.-J. Kress, F. Bantien, J. Marek, M. Willmann

ROBERT BOSCH GMBH

Geschäftsbereich K8
Entwicklung Sensoren
Tübinger Str. 123
7410 Reutlingen

Zusammenfassung

Ein vollintegrierter Silizium-Drucksensor für Automobilanwendungen wird vorgestellt. Die Signalverarbeitungselektronik ist gemeinsam mit dem piezoresistiven Wandlerelement auf demselben Substrat integriert. Ausgehend von einem $3\mu\text{m}$ CMOS-Prozeß schließen sich an die weitgehend unveränderte Prozeßfolge zur Herstellung der Auswerteschaltung die mikromechanischen Prozeßschritte an. Die Membran wird hergestellt in (100)-Silizium mittels anisotropen Ätzens in KOH. Zur exakten Definition der Membrandicke wird ein elektrochemischer Ätzstop eingesetzt.

Die auf dem Sensorchip integrierte CMOS-Auswerteschaltung dient dem Abgleich von Prozeßtoleranzen bezüglich Signaloffset und -empfindlichkeit sowie der Kompensation der zugehörigen Temperatureinflüsse. Der Temperaturgang der Signalempfindlichkeit wird kompensiert mittels temperaturabhängiger Verstärkung, der Temperaturgang des Offsets wird durch Addition einer temperaturproportionalen Spannung ausgeglichen. Der Abgleich der Korrekturgrößen erfolgt direkt auf dem Sensorchip mit Hilfe eines einfachen Trimmverfahrens.

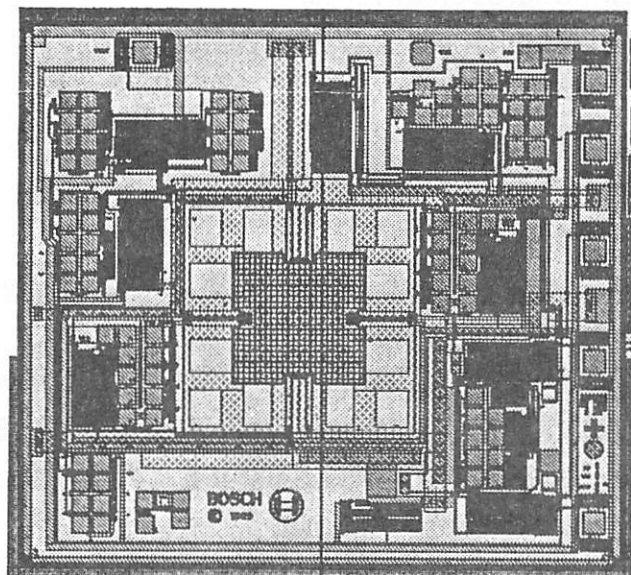


Abbildung 1: Plot des integrierten Sensorchips

Bewegliche Strukturen in LIGA-Technik
P. Bley, C. Burbaum, J. Mohr, U. Wallrabe
Kernforschungszentrum Karlsruhe
Institut für Mikrostrukturtechnik

Als Alternative zur Silizium-Mikromechanik wird im Kernforschungszentrum Karlsruhe das LIGA-Verfahren entwickelt, dessen wesentliche Fertigungsschritte die Lithographie mit Synchrotronstrahlung, die Galvanoformung und die Abformtechnik darstellen /1/. Mit diesem Verfahren ist es möglich, dreidimensionale Strukturen beliebiger lateraler Gestalt in einer Höhe von mehreren hundert Mikrometern und mit minimalen Abmessungen im Mikrometerbereich herzustellen. Als Materialien können Metalle, Metallegierungen, Kunststoffe und Keramik verwendet werden. Die wirtschaftliche Verwertung des Verfahrens erfolgt durch die Firma MicroParts.

Im Laufe des letzten Jahres wurde das LIGA-Verfahren so weiterentwickelt, daß auch Mikrostrukturen mit frei beweglichen Teilen hergestellt werden können /2/. Dazu werden die feststehenden Teile der Mikrostruktur direkt auf einer massiven Grundplatte und die beweglichen Teile auf einer Zwischenschicht, einer sogenannten Opferschicht, aufgebaut. Am Ende des Herstellungsprozesses wird die Opferschicht, die sich unter den Mikrostrukturen befindet, selektiv entfernt. Erste Beispiele für solche beweglichen Mikrostrukturen sind Beschleunigungssensoren, Mikrofedern zur Fixierung von optischen Fasern und Mikroturbinen.

Bei Beschleunigungssensoren, die einen 3-4 μm schmalen Spalt zwischen einer schwingender Masse und einer feststehenden Gegenelektrode besitzen, wurde die Änderung der Kapazität bei Beschleunigungen nachgewiesen /3/.

Diese Messungen an Beschleunigungssensoren aus Nickel und erste Messungen der Eigenschaften von Nickelfedern zur Fixierung von optischen Fasern /4/ ergaben etwa den gleichen Elastizitätsmodul für das galvanisch abgeschiedene Nickel wie für Bulk-Material.

Die kleinsten bisher mit dem LIGA-Verfahren hergestellten Turbinen haben einen Durchmesser von nur 130 Mikrometern und eine Höhe von 150 μm . Die Form der Schaufeln und der Lager kann dabei beliebig gewählt werden, beispielsweise gekrümmte Schaufeln und Achsen, die einen genoppten Querschnitt haben. Durch extrem kleine Lagerspiele von ca. 3 μm konnten eine große Laufruhe und eine lange Betriebszeit erreicht werden. Die gemessenen Drehzahlen liegen dabei im Bereich von 1000 Umdrehungen pro Sekunde. Diese durch einen Gastrom angetriebene Mikroturbinen bilden die Vorstufe für elektrisch angetriebene Mikromotoren.

- /1/ E.W. Becker, W. Ehrfeld, P. Hagmann, A. Maner, D. Münchmeyer: Herstellung von Mikrostrukturen mit großem Aspektverhältnis und großer Strukturhöhe durch Röntgentiefenlithografie mit Synchrotronstrahlung, Galvanoformung und Kunststoffabformung (LIGA-Verfahren); KfK-Bericht 3995, Kernforschungszentrum Karlsruhe, (1985).
- /2/ J. Mohr, C. Burbaum, P. Bley, W. Menz, U. Wallrabe: Movable Microstructures Manufactured by the LIGA Process as Basic Elements for Microsystems; MICRO SYSTEM Technologies 90; 1 st Int. Conf. Micro, Electro, Opto, Mechanic Systems and Components, Berlin, 10.-13. Sept. 1990, H. Reichl ed., Springer Verlag 1990, pp. 529-537.
- /3/ C. Burbaum, J. Mohr, P. Bley, W. Ehrfeld: Fabrication of Capacitive Acceleration Sensors by the LIGA Technique; EUROSENSORS IV, 1.-3. October 1990, Karlsruhe; Sensors and Actuators, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, New York; (to be published).
- /4/ A. Rogner, W. Ehrfeld, D. Münchmeyer, P. Bley, C. Burbaum, J. Mohr: Flexible Microstructures for Fiber-Chip-Coupling; MICROMECHANICS EUROPE 1990 (MME '90), 2 nd Workshop on Micromachining, Micromechanics and Microsystems, Berlin, 26.-27. November 1990; (to be published).

Vakuum-Mikroelektronik

T. Grandke

Forschungslabor der Siemens AG

Erlangen

Unter dem Begriff *Vakuum-Elektronik* werden Komponenten und Systeme zusammengefaßt, in denen der Stromtransport im Vakuum eine wesentliche Rolle spielt (z.B. Trioden, Kathodenstrahlröhren). Die treibende Kraft für Innovationen auf diesem Gebiet geht von der modernen Mikrostrukturtechnik aus, die es jetzt ermöglicht, entsprechende Komponenten in extrem miniaturisierter Form zu realisieren. Insbesondere die Verfügbarkeit von mikrostrukturierten Feldemissionskathoden, die erstmals elektronische Feldemission bei Spannungen von weniger als 100 Volt ermöglichen, stellt einen entscheidenden Fortschritt dar.

Die Anwendungen dieses noch sehr jungen Gebietes, der *Vakuum-Mikroelektronik*, lassen sich zur Zeit bestenfalls ansatzweise abschätzen. Sie reichen von integrierten Triodenschaltungen, die unempfindlich gegen hohe Temperaturen und Strahlungsbelastung sind, über Hochfrequenzverstärkerschaltungen bis hin zu kalten Kathoden für Mikrowellensenderöhren oder Vakuumdisplays, um nur einige zu nennen. Auch völlig neuartige Sensorstrukturen sind prinzipiell denkbar. Die Erarbeitung der notwendigen physikalischen Grundlagen sowie der Anwendungskonzepte erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedensten Fachrichtungen wie Metall- und Halbleiterphysik, Oberflächenphysik, Plasmaphysik, Hochfrequenztechnik und Mikrostrukturtechnik.

Mikrostrukturierte Diodenlaser-gepumpte Festkörperlaser

P. Peuser, S. Heinemann, A. Mehnert, N.P. Schmitt

Messerschmitt-Bölkow-Blohm München
Zentrale Technologieforschung, ZTA

Durch die optische Anregung geeignet dotierter Laserkristalle mit modernen Diodenlasern wird gegenüber konventionellen Festkörperlasern eine sehr weitgehende Miniaturisierung möglich. Dies führt zu hybrid aufgebauten kompletten Lasersystemen, bei denen sowohl die Laserdiode als auch die Transferoptik, der Laserkristall, weitere, durch die Anwendung bestimmte Intra-Cavity-Elemente, Mikrokanal-Kühlung, optische Diagnose-Elemente und Sensoren, mechanische Aktuatoren sowie die Regelelektronik auf einem Substrat integriert sind: Ein komplettes Mikrosystem auf einem Chip.

Mit den Fertigungsverfahren der Mikrosystem-Technologie kann die hybride Integration aller Elemente auf einer Mikrobank durchgeführt werden. Mit Hilfe einer "intelligenten" Systemsteuerung kann somit ein funktionsoptimiertes Produkt erzeugt werden, das verschiedene Betriebsarten gestattet und dessen Gesamtfunktion über die Lebensdauer optimal ist. Diese Laser können den Leistungsbereich bis zu einigen Watt cw beziehungsweise mehreren Kilowatt für gepulste Systeme abdecken, wobei Wellenlängenbereiche vom sichtbaren bis zum augensicheren infraroten Gebiet möglich sind.

Gegenüber der Verwendung der Diodenlaser alleine können trotz der höheren Komplexität entscheidende Vorteile ins Feld geführt werden, wie erheblich bessere Strahlqualität, Divergenz, Linienbreite (bis zu 10^{20} -fach höhere spektrale Strahldichte), erheblich größere Pulsleistungen (mehr als 10^4 -fach), größere mittlere Leistungen durch Integration vieler Laserdioden beim optischen Pumpvorgang, wesentlich bessere Frequenzstabilität und einen erheblich erweiterten Wellenlängenbereich.

Es wird über erste Versuchsaufbauten und Laborergebnisse berichtet. Diese haben gezeigt, daß sich durch die Miniaturisierung selbst noch zusätzlich neue, interessante Lasereigenschaften ergeben können.

MIKROMECHANISCHE SYSTEME ZUR UNTERSUCHUNG LEBENDER ZELLEN

G. FUHR, R. HAGEDORN
Humboldt-Universität, Sektion Biologie
Invalidenstr. 42, O - Berlin 1040
Tel.: 0372 / 2897 - 2338

B. WAGNER, W. BENECKE
Fraunhofer-Institut für Mikrostrukturtechnik
Dillenburger Str. 53, 1000 Berlin 33
Tel.: 030 / 82998 - 310, Fax: 030 / 82998 - 199

In zunehmendem Maße wird bei genetischen und biotechnologischen Verfahren mit vereinzelt, in Flüssigkeit suspendierten, tierischen als auch pflanzlichen Zellen gearbeitet, die nach bestimmten Merkmalen getrennt, vermessen oder verändert werden. Entsprechende Verfahrensschritte erfordern eine sichere Manipulation und Lokalisierung der Zellen im Mikrometerbereich, wofür zur Zeit nur teilweise praktikable Lösungen vorliegen.

Zwei Gesichtspunkte lassen Strukturen, wie sie mit Hilfe der Technologien der Mikromechanik erzeugt werden können, zur Lösung dieser Aufgaben als besonders aussichtsreich erscheinen. Zum einen haben sich hochfrequente elektrische Felder geringer Amplitude als belastungsarm und für alle der oben genannten Anwendungen geeignet erwiesen (elektrisch induzierte Zellfusion und Membranpermeation, dielektrophoretische Zellsammlung, dielektrische Einzelspektroskopie). Zum anderen entsprechen die Abmessungen von Zellen in etwa denen der Halbleitermikrostrukturen, so daß sich dem jeweiligen Zelltyp angepaßte Elektrodenkonfigurationen und Oberflächenprofile erzeugen lassen. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten der Charakterisierung und Mikro-manipulation einzelner Zellen.

Im Vortrag werden Prototypen mikrostrukturierter Systeme vorgestellt:

1. Meßkammern zur Applikation rotierender elektrischer Felder (Einzelzellspektroskopie)
2. Elektrodenanordnungen zur berührungslosen linearen Bewegung einzelner Zellen mit Hilfe wandernder Hochfrequenzfelder

Dazu werden mit Gold abgeformete Elektroden phasenverschoben mit Rechtecksignalen (1 kHz ... 300 MHz) einer Amplitude von 2 bis 15 V angesteuert. Das erste Verfahren kann zur Vitalitätsprüfung, dem Testen von Pharmaka, der Registrierung physiologischer Zellveränderung und vielleicht auch als komplexer Biosensor genutzt werden, während mit dem zweiten Verfahren neue Möglichkeiten der Mikro-manipulation kleinster dielektrischer Partikel in schwachen Elektrolytlösungen aufgezeigt werden. Biologische als auch technische Anwendungen werden diskutiert (Partikelseparationskammern und elektrische Filter, Partikelhalterung in freier Lösung und Drehung um wählbare Achsen, Flüssigkeitspumpen und Mikromotoren).

COCHLEAR-IMPLANT-MIKROSYSTEM: Hören trotz Taubheit

K. Scherer, M. Bollerott, W. Brockherde, G. Kellings

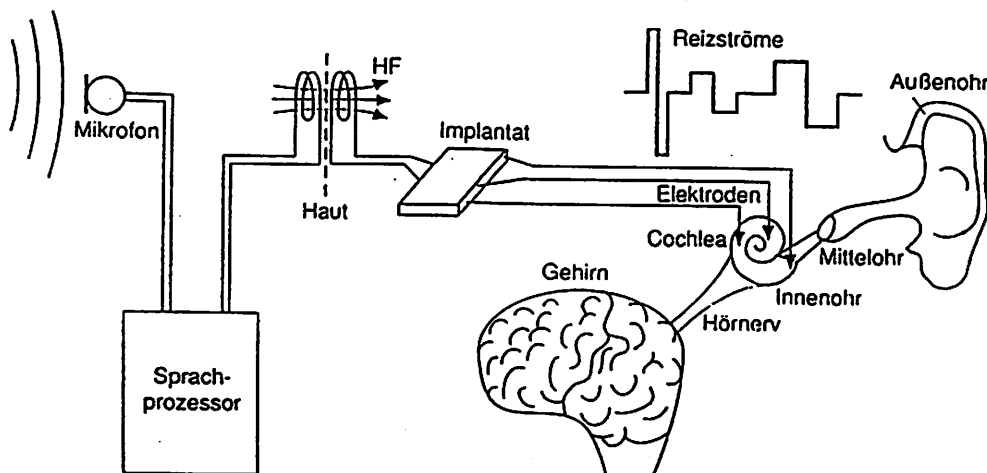
*Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme
D-4100 Duisburg 1, Finkenstr. 61, Tel. 0203 / 3783-0*

Zusammenfassung

Cochlear-Implant-Systeme bzw. Ohrprothesen geben nach einer Operation und einer Rehabilitationsphase völlig tauben Menschen ein Hörvermögen mit in den meisten Fällen zumindest ausreichender Sprachverständlichkeit. Cochlear-Implant-System stellt einen bypass-artigen elektronischen Ersatz für die bei tauben Menschen defekten Signalverarbeitungsorgane im Mittelohr und/oder Innenohr dar.

In dem entwickelten Cochlear-Implant-System wird hierzu das über ein Mikrofon (= Sensor) gewandelte Sprachsignal einem in SMD-Technik realisierten Sprachprozessor zugeführt. Der Sprachprozessor bildet dabei in vereinfachter Weise die Funktion der frequenzanalysierenden Hörschnecke (Cochlea) nach. Die so gewonnenen Energie- und Frequenzparameter des Sprachsignals werden einem HF-Trägersignal aufmoduliert. Dieses Trägersignal gelangt über eine Sendespule durch die Haut (transkutan) zu einer hinter dem Ohr implantierten Empfänger-Stimulator-Kapsel (Implantat). Das Trägersignal dient neben der Übertragung der analysierten Sprachsignalparameter auch zur Energieversorgung der gesamten Implantatelektronik. Diese Elektronik wurde am Duisburger Fraunhofer-Institut in einem CMOS-ASIC monolithisch integriert. Über den Empfängerteil der Implantatelektronik gelangen die Sprachsignalinformationen zu einem Steuerprozessor der über digital einstellbare Stromquellen die Reizströme auf 16 in einer Knochenschicht oberhalb der Cochlea einoperierte Elektroden leitet. Die Stromquellen mit den Elektroden stellen somit die Akteure des Mikrosystems dar. Die Reizströme (1-500 uA) stimulieren die noch intakten Hörnervenenden. Hierdurch werden beim Patienten reproduzierbare Höreindrücke erzeugt.

Am Dürener St. Marien-Hospital wurden unter der Leitung von Prof. Banfai mittlerweile über 10 Patienten erfolgreich mit dem Duisburger System versorgt.



FUNKTIONSPRINZIP EINES CI-SYSTEMS

Mikrostrukturierte Wärmerohre für die thermische Entsorgung in der Mikroelektronik

W. Bier, D. Plesch, K. Schubert *, D. Seidel
Institut für Mikrostrukturtechnik, * Hauptabteilung Versuchstechnik
Kernforschungszentrum Karlsruhe

Bei der zukünftig weiter zunehmenden Schaltungsverdichtung in der Digital-elektronik hat die Verminderung der Verlustwärme mit der Verkleinerung der Bauelemente und ihres Abstandes voneinander nicht Schritt gehalten. Die Folge ist eine Zunahme der Wärmestromdichte an den Chipoberflächen. Heute sind Werte um 10 W/cm^2 erreicht. Zukünftige Logikschaltungen werden ein Mehr-faches davon aufweisen. Solche Leistungsdichten können bei Beachtung maximal zulässiger Sperrschichttemperaturen nicht mehr durch Luftkonvektion abgeführt werden. Schon vor 10 Jahren haben namhafte Computerhersteller in bestimmten Fällen die Flüssigkeitskühlung bei Mittel- und Großrechnern eingeführt.

Eines der Probleme der thermischen Entsorgung ist die Wärmeübertragung aus der elektronischen Schaltung an die Peripherie des Schaltungsaufbaus. Hier bie-tet sich das Wärmerohr als ein Bauelement an, das formgeometrische Anpas-sungsfähigkeit mit kleinem Temperaturverlust verbindet.

Die von der Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH und der Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, Ottobrunn, gemeinsam entwickelten Miniaturwärme-rohre mit rechteckigem Querschnitt zeichnen sich durch eine auf der Innenseite der Rohrwände mit profilierten Mikrodiamanten eingearbeitete Mikrorillen-struktur ¹⁾ aus, in welcher die Kapillarkräfte den Transport der Wärmeträger-flüssigkeit bewirken. Typische Abmessungen der bisher untersuchten Mikrostruk-turen liegen bei Rillenbreiten von $30 \mu\text{m}$ und $120 \mu\text{m}$, mit Stegbreiten zwischen den Rillen um $30 \mu\text{m}$.

Bisher wurden Wärmerohr-Versuchsmuster aus Kupfer mit unterschiedlichem inneren Aufbau realisiert, die die gleichen äußeren Abmessungen besitzen: Breite 7 mm, Dicke 3 mm, Länge 120 mm. Der Wärmeträger ist Wasser. Über die Ergebnisse der Versuchsreihen wird berichtet: z. B. wird bei einer Heiz- und Kühl-fläche von je 2 cm^2 , einer Heizflächentemperatur von 89°C und einer Kühl-flächentemperatur von 64°C eine Wärmeleistung von 40 W erreicht. Das ist um den Faktor 24 mehr als bei einem vergleichbaren Massivkörper aus Kupfer.

Eine Steigerung dieser Leistung, beispielsweise durch Optimierung der Füllmenge und der Rillengeometrie, wird für möglich erachtet.

1) K. Schubert; W. Bier; G. Linder; D. Seidel
Profilierte Mikrodiamanten für die Herstellung von Mikrostrukturen.
Industrie Diamanten Rundschau, 23 (1989) S. 204-08

STAND DER MIKROSYSTEMTECHNIK IM INTERNATIONALEN VERGLEICH

H. Seidel

Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH
D-8000 München 80, Postfach 801109

Unter dem Begriff der Mikrosystemtechnik werden weitgespannte Aktivitäten zusammengefaßt, die sich mit unterschiedlichen Mikrotechnologien und deren Verknüpfung mit Systemaspekten beschäftigen. In diesem Beitrag soll der Schwerpunkt der Betrachtung auf die Mikromechanik und ihre Querverbindungen zur Mikroelektronik und Systemtechnik eingeengt werden. Weltweit konzentrieren sich die diesbezüglichen Aktivitäten schwerpunktmäßig auf wenige Regionen: USA und Japan sowie im europäischen Raum im wesentlichen Skandinavien, West- und Mitteleuropa. Wesentliche Informationsforen sind zwei internationale Konferenzserien (Transducers und MEMS) sowie drei regionale (Euroensors, Hilton Head Island Workshop und Sensor Symposium of Japan).

Im kurzen Überblick soll versucht werden, anhand einiger exemplarischer Beispiele den internationalen Stand in den Feldern technologische Grundlagen, systemtechnische Aspekte sowie Anwendungen in der Sensorik, Aktorik und höherer Systemintegration aufzuzeigen.

Wesentliche Themen im Technologiebereich sind u. a. "Surface Micromachining", das LIGA Verfahren, Quarz-Mikromechanik sowie anisotrope, elektrochemische Ätztechnik, die mit regional unterschiedlicher Intensität betrieben werden. Im Systemtechnik-Bereich konzentrieren sich die Arbeiten auf die Entwicklung von Simulationswerkzeugen, die jedoch zumeist auf bestimmte Teilaspekte begrenzt und bis heute nur schwer miteinander verknüpfbar sind. Sensorische Anwendungen stehen eindeutig im Mittelpunkt der Mikrosystemtechnik und sind in punkto Kommerzialisierung am weitesten fortgeschritten. Am Beispiel der Drucksensoren zeichnet sich eine Miniaturisierungstendenz in Analogie zur bekannten Gordon-Moore Kurve der IC-Technologie ab. Im Bereich der Aktorik liegt ein wesentlicher Anwendungsschwerpunkt bei Mikroventilen und -pumpen, während die Einsatzmöglichkeiten für Mikromotoren noch weitgehend unklar sind. Mikrosysteme mit höherer Komplexität und Vernetzung unterschiedlicher Funktionen existieren nur in ersten Ansätzen. Die Integration sensorischer und elektronischer Funktionen wurde im Laborstadium an vielen Beispielen demonstriert, hat jedoch im allgemeinen noch nicht die Schwelle zur kommerziellen Rentabilität erreicht.