

# NEU IST NICHT NUR DER SENSOR

Forschung und Anwendung sind sich einig: Die Sensortechnik steht fast noch am Anfang der Entwicklung. Grund genug für das BMFT, Projekte auf diesem Sektor zu unterstützen. Eine entscheidende Rolle spielt dabei insbesondere die Verbindung mit der Mikroelektronik.

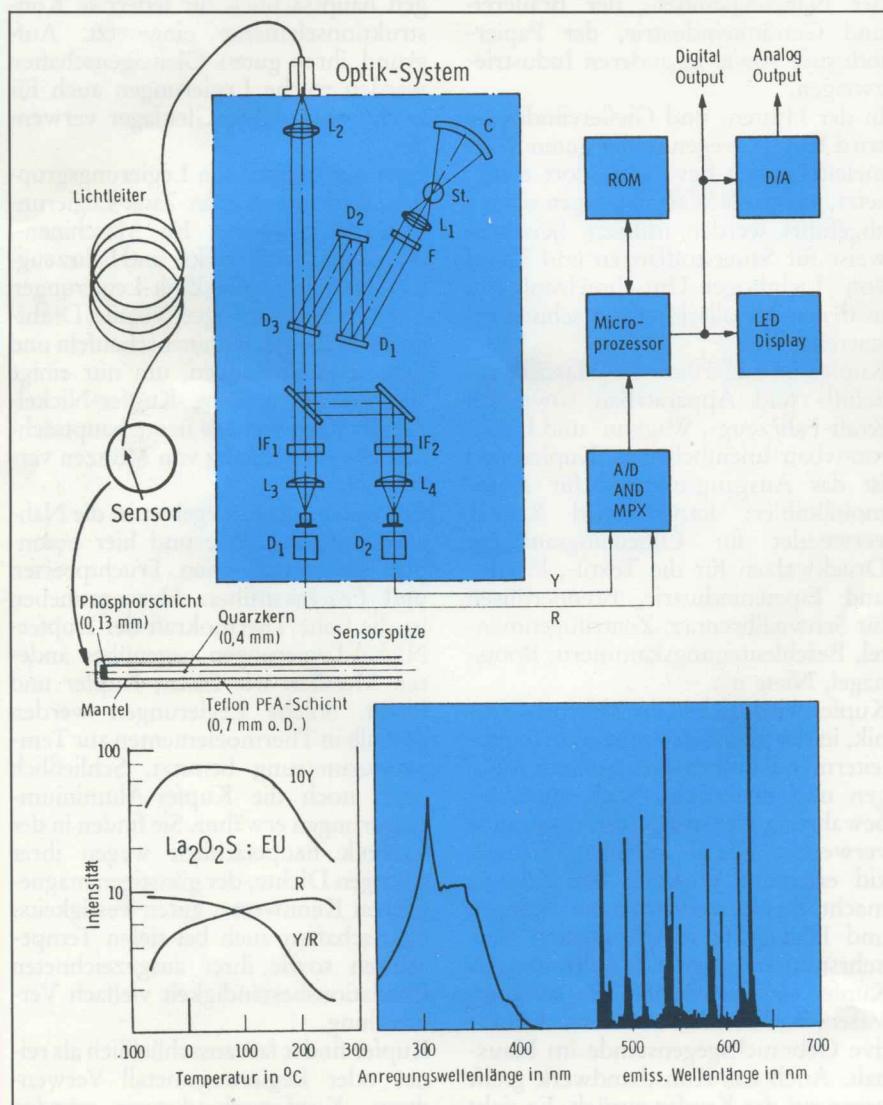


Bild 1.  
Aufbau eines  
faseroptischen  
Temperatursensors.

Jede Meßeinrichtung, die einen physikalischen, chemischen oder biologischen Zustand als elektrisches Signal abbildet, lässt sich als Sensor bezeichnen. Der Begriff des Sensors wurde insbesondere im Zusammenhang mit der Mikroelektronik geprägt, die für einen breiten Anwendungsbereich kostengünstige und möglichst kleine Meßwertaufnehmer benötigt. Solche Mikro-Sensoren, die zumeist unter Anwendung moderner Technologien hergestellt werden, ermöglichen einen effektiven Einsatz der Mikroprozessor-Technik in unterschiedlichen Anwendungsbereichen wie

- Kraftfahrzeug-Elektronik,
- Haushaltsgeräte,
- Robotik,
- industrielle Meßtechnik.

Dieser Bedeutung entsprechend wurden seit 1985 ca. 500 vorwiegend kleine und mittelständige Sensorenhersteller in der Bundesrepublik Deutschland von BMFT gefördert (1). Ziel dieses Mikroperipherik - Verbandvorhabens war der Einstieg in die modernen Miniaturisierungstechnologien zur Herstellung von mikroelektronik-kompatiblen Sensoren.

Die Schwerpunkte der Sensor-Forschung in den letzten Jahren lag auf folgenden Gebieten:

- integrierte Optik für Sensoren (Glas, Lithiumniobat),
- Glasfasersensorsystem,
- Mikromechanik-Sensoren,
- chem. Sensoren zur Messung von Gas- und Ionenkonzentrationen,
- Leistungsbauelemente,
- Aktorik für die Ölhydraulik-Pneumatik-Mikroelektronik-Systeme,
- Miniaturisierungstechniken,
- integrierte Sensorelektronik.

## Integrierte optische Sensoren

Voraussetzung für den breiten Einsatz optischer Sensoren und Sensorsysteme in der Industrie ist neben der Entwicklung verschiedener faseroptischer Sensorelemente zusätzlich die Bereitstellung einer großen Anzahl von optischen Aufbaukomponenten. Die Technologien der integrierten Optik haben einen entscheidenden Vorteil gegenüber miniaturisierten, diskret-optischen Systemen hinsichtlich der erreichbaren mechanischen Stabilität und Komplexität bei gleichzeitiger Möglichkeit der Kostenreduzierung im Herstellungsprozess. Bei der integrierten Optik (2)

ßend gebeizt und für höhere Ansprüche auch geschält. Der Walzdraht wird auf Mehrfachziehmaschinen auf das geforderte Maß gezogen. Kupfer lässt sich beim Drahtziehen mit einer Querschnittsverminderung von über 99% ohne Zwischenglühen umformen.

Beim Herstellen von Gesenkschmiedestücken werden meist Stangenabschnitte nach Anwärmen auf die Umformungstemperatur in eine den Werkstoff allseitig umschließende Hohlform, das Gesenk, eingelegt und unter dem kräftigen Druck einer Presse umgeformt.

Außer der eigentlichen Halbzeugherstellung sind noch einige Verfahren der spanlosen Formgebung von Bedeutung. Teile mit komplizierten Formen lassen sich z. B. durch Fließpressen, Sintern von Kupferpulver oder durch galvanoplastische Verfahren herstellen. Mittels der Formgebung über Metallpulver können Teile hergestellt werden, die mit anderen Verfahren nur schwer oder gar nicht zu fertigen sind. Zur Aufnahme des Kupferpulvers wird das Werkzeug zunächst in Füllstellung, zur Erzeugung des Preßkörpers in Preßstellung und schließlich zur Freilegung des Preßkörpers in Abzugsstellung gefahren. Durch den Sinterprozeß erhält der Kupferpreßling die für seinen späteren Einsatz notwendige Festigkeit. In den meisten Fällen ist der Preßling nach dem Sintern einbaufähig. Aus Kupferpulver, meist mit Zusätzen von anderen Metall- und Nichtmetallpulvern, werden z. B. Bremsbeläge, Kupplungslamellen und Teile für Büromaschinen hergestellt.

### Verwendung von Kupfer

Die Vielfalt der Verwendungsmöglichkeiten von Kupfer ist so groß, daß sie im Rahmen dieses Beitrages, ergänzt durch einige Bildbeispiele, nur unvollständig aufgezeigt werden kann.

Aufgrund seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit ist das Kupfer der bestmöglich geeignete Werkstoff für die Elektrotechnik. Heutzutage wird mehr als die Hälfte der gesamten Kupfererzeugung in der Elektrotechnik verbraucht. Bevorzugte Anwendungsbiete sind die Nachrichtentechnik, Funk und Fernsehen, die Elektronik und die elektronische Datenverarbeitung. Kupfer wird in Form von Drähten, blank und isoliert, als Einzelleiter, Litze oder Kabel verwendet, aber auch in Form von Blechen, Bändern, Folien,

Rohren, Stangen und Profilen. Es kommt in der Energietechnik in den Wicklungen elektrischer Maschinen und Spulen in Transformatoren, in Strom-Leitungssystemen, in Schaltgeräten und anderen elektrischen Installationen verschiedenster Art zum Einsatz.

Die Verfahrensindustrie setzt Kupfer wegen seiner ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit für Wärmeübertrager, Destillierkolonnen, Kühlanlagen, Rohrleitungen und Dichtungen sowie für viele andere Apparate ein. Aus den gleichen Gründen verwendet man Kupfer auch in der Erdölindustrie und bei der Gewinnung flüssiger Luft, in der Nahrungsmittel-, der Brauerei- und Getränkeindustrie, der Papierindustrie sowie in anderen Industriezweigen.

In der Hütten- und Gießereiindustrie wird Kupfer wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit bevorzugt dort eingesetzt, wo große Wärmemengen schnell abgeführt werden müssen, beispielsweise für Sauerstoffflanzen und Tiegel von Lichtbogen-Umschmelzanlagen, in denen Metallschmelzen schnell erstarren sollen.

Kupfer ist außerdem im Maschinen-, Schiff- und Apparatebau sowie im Kraft-Fahrzeug-, Waggon- und Lokomotivbau unentbehrlich. Kupferband ist das Ausgangsmaterial für Automobilkühler; ferner wird Kupfer verwendet für Ölheizungsanlagen, Druckwalzen für die Textil-, Plastik- und Tapetenindustrie, Brennerdüsen für Schweißbrenner, Zentrifugenmäntel, Beschleunigungskammern, Bootsnaßel, Niete u. a.

Kupfer wird auch in der Mikroelektronik, in der Halbleitertechnik, in Supraleitern, in Kühlkreisen nuklearer Anlagen und neuerdings auch zur Aufbewahrung der nuklearen Abbrände verwendet. Die als auffallend bakterizid erkannte Wirkung des Kupfers macht Kupferwerkstoffe für Stangen und Haltegriffe in öffentlichen Verkehrsmitteln geeignet. Metallwaren aus Kupfer wie Teewärmer, Teeglashalter, Vasen, Backformen usw. sind dekorative Gebrauchsgegenstände im Haushalt. Auch das Kunsthandwerk greift gerne auf das Kupfer zurück. Es sieht gut aus und seine Umformbarkeit ist so groß, daß Zwischenglühen nur in Ausnahmefällen nötig sind. Deshalb ist es ein beliebter Werkstoff für Treibarbeiten.

Bei modernen Bauten wird Kupfer in

Form von Blech und Band oft als Werkstoff für Dacheindeckungen, Dachentwässerungen und Wandverkleidungen für innen und außen verwendet.

Ein großer Teil des erzeugten Kupfers wird zur Herstellung von Legierungen verwendet. Die »Zinnbronzen«, die Kupfer-Zinn-Legierungen haben einem ganzen Zeitalter der Menschheitsgeschichte – der Bronzezeit – ihren Namen gegeben. Nachweislich wurden die ersten Bronzegegenstände wie Urnen, Schmuck, Münzen und sogar Waffen in Ägypten vor nahezu 5000 Jahren verwendet. Heute werden Kupfer-Zinn-Legierungen hauptsächlich für federnde Konstruktionselemente eingesetzt. Aufgrund ihrer guten Gleiteigenschaften werden solche Legierungen auch für hochbeanspruchte Gleitlager verwendet.

Eine der wichtigsten Legierungsgruppen sind die Kupfer-Zink-Legierungen, das Messing. Im Maschinen-, Apparate-, Kraftwerks- und Fahrzeugbau finden Kupfer-Zink-Legierungen Verwendung für Lager, Ventile, Drahtgewebe, Rohre, Rubinenschaufeln und Schmierstoffleitungen, um nur einige Beispiele zu nennen. Kupfer-Nickel-Legierungen werden heute hauptsächlich zur Herstellung von Münzen verwendet.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Nahrungsmittelindustrie und hier besonders Zuckerraffinerien, Fruchtpressen und Fruchtsaftfilter. Hervorzuheben ist die hohe Thermokraft der Kupfer-Nickel-Legierungen gegenüber anderen Metallen wie Eisen, Kupfer und Platin. Solche Legierungen werden deshalb in Thermoelementen zur Temperaturmessung benutzt. Schließlich seien noch die Kupfer-Aluminium-Legierungen erwähnt. Sie finden in der Technik hauptsächlich wegen ihrer geringen Dichte, der günstigen magnetischen Kennwerte, guten Festigkeiteigenschaften auch bei tiefen Temperaturen sowie ihrer ausgezeichneten Oxidationsbeständigkeit vielfach Verwendung.

Kupfer findet fast ausschließlich als reines oder Legierungs Metall Verwendung. Kupferverbindungen werden nur selten, und zwar als Kupfersulfat, Kupferoxychlorid und Kupfercyanid benutzt. Ihr Einsatzgebiet liegt hauptsächlich auf dem Gebiet der Holzkon servierung und der Schädlingsbekämpfungsmittel. Prof. Kurt Hamerak

werden die verschiedenen optischen Bauteile wie Strahlteiler, Intensitätsmodulatoren, Fokussierungselemente und ähnliches auf einem Substrat in Planartechnik integriert. Die Basiskomponenten sind Wellenleiter, deren optische Führungseigenschaften durch dielektrische Schichten oder Streifen mit höherem Brechungsindex als benachbarte Bereiche definiert sind.

Die technologischen Grundlagen zur Herstellung kostengünstiger, aktiver und passiver Komponenten in integrierter Optik sind das Ziel verschiedener Forschungsvorhaben, die sich auf die Basismaterialien Lithiumniobat und Glas konzentrieren.

Die Attraktivität von Lithiumniobat als Basismaterial für die integrierte Optik beruht darauf, daß neben passiven optischen Komponenten auch aktive Elemente, wie z. B. Intensitätsmodulatoren oder Schalter, realisiert werden können. Das Ziel eines Verbundvorhabens mit diesem Schwerpunkt ist es, alle notwendigen technologischen Prozessschritte in geschlossener Form zu entwickeln und sie an einigen ausgewählten Komponenten zu testen. Im einzelnen ergeben sich in diesem Vorhaben fünf Arbeitsschwerpunkte:

*Kristallzucht:* Entwicklung und Bereitstellung von reproduzierbaren Herstellungsverfahren für das Substratmaterial Lithiumniobat.

*Verarbeitungstechnik:* Entwicklung reproduzierbarer Strukturierungs- und Dotierungsprozesse zur Herstellung der optischen Wellenleiter; Verfahren zur Oberflächenbearbeitung; Verfahren zum Aufbringen der dielektrischen und metallischen Schichten auf dem Substrat.

*Device Modelling:* Theoretische Modelle zur Optimierung der Architektur integriert-optischer Komponenten.

*Meßtechnik:* Entwicklung standardisierter Meßverfahren zur Charakterisierung der Komponenten.

*Hybridtechnologie:* Entwicklung von Aufbau-, Klebe- und Fügetechniken zur Kopplung integriert-optischer Komponenten mit faseroptischen und opto-elektronischen Bauelementen.

### Faseroptische Sensoren

Faseroptische Sensoren und Sensorsysteme bieten Lösungsmöglichkeiten für Probleme in der industriellen Meßtechnik an, die zur Zeit mit konventionellen Mitteln gar nicht oder nur mit erheblichem Aufwand lösbar sind. Da-

bei werden vor allem die spezifischen Vorteile optischer Sensoren ausgenutzt wie:

- Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen,
- Sicherheit im explosionsgefährdeten Bereich,

- Widerstandsfähigkeit gegenüber korrosiver oder chemisch aggressiver Umgebung,
- kleiner, kompakter Aufbau des Sensorskopfes,
- hohe Meßempfindlichkeit.

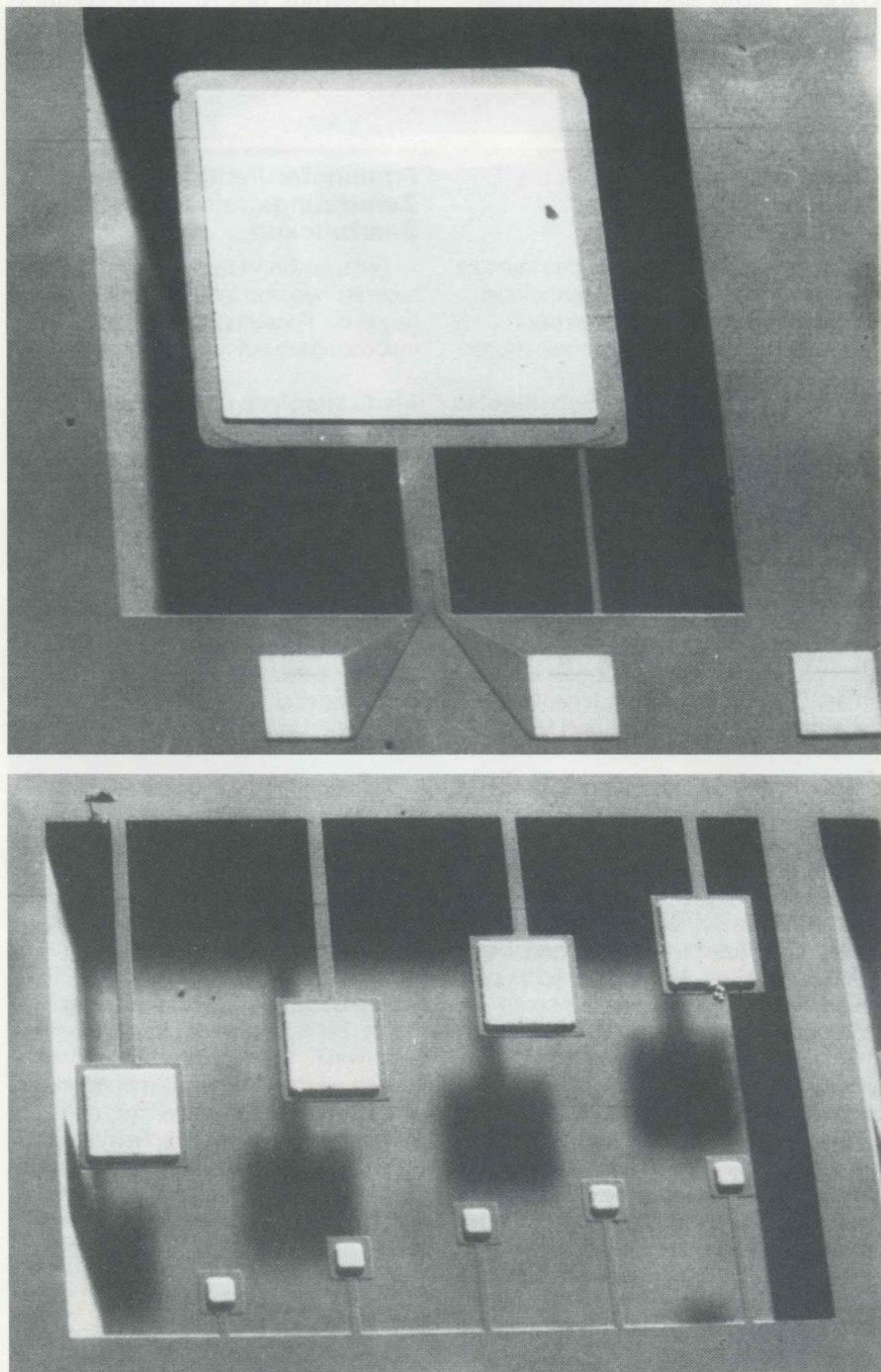


Bild 2.  
Aufbau eines  
Beschleunigungssensors.

Der Einführung faseroptischer Meßsysteme stehen allerdings drei Hemmnisse entgegen. So existieren zwar für fast alle industriell relevanten Meßgrößen Lösungen in der optischen Fasertechnologie, doch sind dies häufig lediglich Labor- bzw. Funktionsmuster. Darüber hinaus sind optische Sensorsignalübertragungsstrecken (analoge Signalübertragung vorwiegend) häufig

nicht streckenneutral. Einflüsse, wie Faserknickung, alternde Steckerverbindungen u.ä., können die Sensorsignale drastisch verfälschen. Zum dritten ist der Zusammenschluß vieler faseroptischer Sensoren zu einem Gesamtsystem Voraussetzung zur Verbesserung des Kosten-/Leistungsverhältnisses.

Es ist das Ziel des Forschungsvor-

habens »Strecken neutrale und bus-kompatible faseroptische Sensorsysteme«, faseroptische Sensorfamilien, modulare Aufbaukonzepte und Standardschnittstellen zwischen faseroptischen Sensoren und opto-elektronischen Bauelementen zu entwickeln, faseroptische Sensorsysteme für den industriellen Einsatz zu qualifizieren und ihre Leistungsfähigkeit in ausgewählten Anwendungsbereichen nachzuweisen. Bislang sind dazu eine Reihe von Konzepten oder Laborversionen unter isolierten Bedingungen untersucht worden. Eine Prüfung unter praxisnahen Anforderungen steht noch aus. Daneben werden in dem Verbundvorhaben Fragen der Querempfindlichkeit, der Sensorkonfektionierung, der Zuverlässigkeit und des Langzeitverhaltens faseroptischer Sensoren behandelt.

In diesem Verbund arbeiten ein Institut und sechs Unternehmen aus verschiedenen Branchen (Luftfahrt, Kfz, Schiffsbau, chemische Anlagen, Elektrotechnik) zusammen. Die einzelnen aufeinander abgestimmten Entwicklungsziele der Verbundpartner lassen sich zu folgenden Arbeitsschwerpunkten zusammenfassen:

- Weiterentwicklung faseroptischer Sensoren gemäß industrieller Anforderungsprofile und gemäß der Forderung nach Streckenneutralität und Betrieb in einem Sensorsystem,
- Entwicklung und Test verschiedener Konzepte zur Erlangung der Streckenneutralität der faseroptischen Sensorsysteme (spektral breitbandige Codierung, Zwei-Wellenlängenverfahren, Faser-Fabry-Perot-Verfahren, Zeitbereichscodierung, »Aktiver«-Modul mit optisch-elektrisch-optischer Wandlung),
- Entwicklung von modular strukturierten Sensorfamilien,
- Demonstration vernetzter faseroptischer Sensorsysteme in einigen ausgewählten Anwendungsfeldern wie Bergbau, chemische Industrie, Werkzeug-, Schiff- und Automobilbau.

#### Beispiel:

#### Faseroptischer Temperatursensor

Das Prinzip des faseroptischen Temperatursensors beruht auf dem temperaturabhängigen Intensitätsverhalten verschiedener Fluoreszenzlinien bestimmter Phosphormaterialien. Der

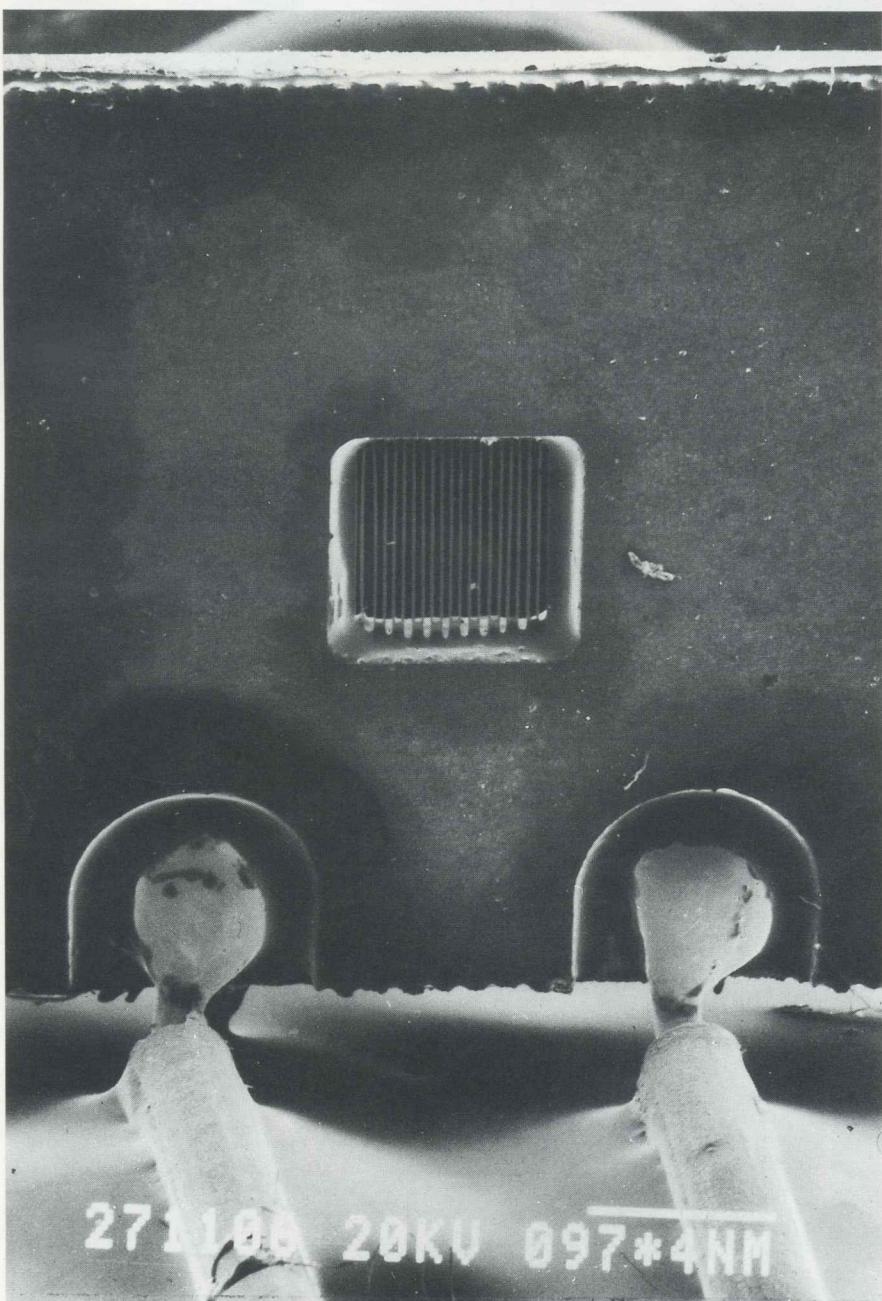


Bild 3.  
Wärmeleitfähigkeitssensor  
zur Erfassung  
von Wasserstoff in  
Gasgemischen.

Aufbau des Temperatursensors ist in Bild 1 zu sehen. Über ein Abbildungssystem ( $L_1$ , F,  $D_1 \dots D_3$ ,  $L_3$ ) wird die von der Strahlungsquelle (St) ausgehende UV-Strahlung in einen Lichtleiter fokussiert. Am Ende des Lichtleiters befindet sich eine 0,13 mm dicke Phosphorschicht ( $\text{La}_2\text{O}_3\text{S:Eu}$ ), die mit der UV-Strahlung zur Fluoreszenz angeregt wird. Die daraus resultierende Fluoreszenzstrahlung liegt im Spektralbereich von 500 ... 600 nm.

Diese Strahlung gelangt dann wiederum durch den Lichtleiter in das Optik-System. Aus der zurückreflektierten Fluoreszenzstrahlung werden durch die Filter  $IF_1$  und  $IF_2$  zwei Linien Y und R herausgefiltert, aus denen elektronisch das Verhältnis Y/R gebildet wird. Dieses Verhältnis ist eine monotone Funktion der Temperatur im Bereich von  $-50 \dots 250^\circ\text{C}$ . Die Auflösung beträgt  $0,1^\circ\text{C}$  bei einer Genauigkeit von  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

## Mikromechanische Sensoren

Die Technologie der Silizium-Mikromechanik bietet die Möglichkeit, dreidimensionale Strukturen wie Membranen oder einseitig eingespannte Biegebalken herzustellen. Die Dicke dieser Strukturen kann dabei bis hinunter zu 1  $\mu\text{m}$  betragen, bei einer lateralen Ausdehnung von 0,1 bis 1 mm. Anordnungen dieser Art dienen als Sensorlemente vornehmlich für mechanische Meßgrößen wie Beschleunigung, Schwingungsfrequenz oder Druck.

Bei der Herstellung von mikromechanischen Bauelementen aus Silizium benutzt man neben bekannten fotolithographischen Verfahren im wesentlichen selektive, anisotrope Ätzverfahren. Bei dieser speziellen Technik ist die Ätzgeschwindigkeit bis zu einem Faktor 200 unterschiedlich in Abhängigkeit von der Kristallorientierung und Dotierung des Grundmaterials mit Fremdatomen. Durch zeitlich begrenztes Einwirken der Ätzlösung auf den Kristall lassen sich so komplexe, dreidimensionale Strukturen erzeugen. Die Vorteile der Technologie der Silizium-Mikromechanik gegenüber konventionellen Technologien zur Messung mechanischer Größen bestehen in der Verwendung kristallinen Siliziums, einem Material mit hoher Härte und vernachlässigbarem Kriechen, in der Miniaturisierung der mechanischen Komponenten, in ihrem geringen

Gewicht und in der Möglichkeit rationeller Fertigung im »Nutzen«. Darüber hinaus bietet diese Technologie die Möglichkeit, sowohl das Sensorlement als auch die für eine Signalvorverarbeitung notwendigen Schaltungen auf einen Baustein monolithisch zu integrieren.

### Beispiel:

#### Beschleunigungssensor

In Bild 2 ist ein Silizium-Beschleunigungssensor mit galvanisierter Goldmasse zur Erhöhung der Empfindlichkeit dargestellt. Die sensiven Piezowiderstände befinden sich am Anfang des Steges, wo die größten mechanischen Spannungen auftreten. Die Kantenlänge der Ätzgrube beträgt 1,5 mm. Im unteren Bildteil sind Siliziumzungen mit unterschiedlichen Steglängen und Goldmassen zur frequenzselektiven Erfassung von Vibrationen dargestellt. Die Längen der Zungen bewegen sich zwischen 0,2 mm und 1,7 mm bei einer Dicke von 4  $\mu\text{m}$ . Die Eigenresonanzen liegen zwischen 0,1 kHz und 10 kHz.

#### Chemische Sensoren

Für kostengünstige Sensoren zur Bestimmung der jeweils aktuellen Konzentration definierter chemischer Stoffe in Gasen oder Flüssigkeiten besteht ein hoher Bedarf. Anwendungsfelder wären u. a. die Prozeßtechnik mit Auswirkungen auf Energie- und Rohstoffeinsparungen, die Umweltmeßtechnik zur frühzeitigen Erkennung von Umweltunfällen sowie der Einsatz in Kleinheizungen und Kraftfahrzeugen. Mit heute verfügbaren Meßsystemen können schon wegen der geometrischen Abmessungen und der sehr hohen Preise nur stichprobenartige Messungen durchgeführt werden. Die Aktivitäten zielen auf Sensoren, die z. B. der zur Motorsteuerung eingesetzten Lambda-Sonde vergleichbar sind. So sollten die Sensoren in Miniaturisierungstechnologien wie Dickschicht-, Dünnfilm-, Halbleiter- oder davon abgeleiteter Hybridtechnik herstellbar sein, um dadurch die geometrischen Abmessungen und den Preis auf ein vertretbares Maß zu verringern.

Bei Gassensoren in Dünnfilmtechnik arbeiten zwei Unternehmen und drei Institute zusammen. Die Arbeiten konzentrieren sich auf:

- Entwicklung gassensitiver Schichten und deren Optimierung in Richtung Selektivität,
- Untersuchungs- und Analysenmethoden zur Aufklärung der grundlegenden physikalischen Phänomene bei Halbleitergassensoren,
- Dünnfilmverfahren zur Herstellung gassensitiver Schichten.

## Grundlage chemischer Sensoren auf der Basis von Festelektrolyten

Hier arbeiten drei Institute zusammen. Die Arbeiten konzentrieren sich auf:

- Erprobung moderner Analyseverfahren zur Untersuchung der Struktur der sensiven Oberfläche (u. a. ortsaflösende Elementaranalyse, Tiefenprofile, Oberflächenstruktur) und deren Auswirkungen auf die Wechselwirkungen zwischen Meßgas und sensiver Schicht,
- Wechselwirkung zwischen Volumen- und Oberflächenvorgängen bei Festelektrolyten, Einfluß von Defektstrukturen, Ladungsträgertransport in polykristallinen Materialien,
- Grundlagen für kostengünstige Herstellungsverfahren mit einem Schwerpunkt bei der Dickschichttechnik.

## Gassensitive Feldeffekt-Transistoren

Im Rahmen dieses Verbundvorhabens untersuchen fünf Institute arbeitsteilig verschiedene Konzepte für gassensitive Feldeffekttransistoren (sog. GasFET's), insbesondere für Abgase aus Verbrennungsvorgängen.

Die Arbeitsschwerpunkte sind:

- Auswahl und Konstruktion geeigneter sensiver Schichten, insbesondere sensitive Heteropolysiloxane,
- Design und Aufbau von Feldeffekttransistorstrukturen und Entwicklung geeigneter Verfahren zum Aufbringen der Schichten,
- Entwicklung und Test geeigneter Raumgate-Strukturen und Methoden zur Rückseitenkontaktierung,
- Aufbau eines Meßlabors zur Vermessung der verschiedenen Gassensoren, insbesondere mit der Möglichkeit sehr schneller Gaswechsel zur Messung der Ansprechgeschwindigkeit.

## Beispiel: Wasserstoffsensor

Wasserstoff besitzt gegenüber den anderen Gasen eine sehr große Wärmeleitfähigkeit. Durch eine thermische Abkühlungsmethode lässt sich diese Eigenschaft mit einem miniaturisierten Sensor (Bild 3) zur Bestimmung des Wasserstoffgehalts in Gasgemischen ausnutzen. Die aktive Fläche des Sensors ist  $1 \text{ mm}^2$ .

## Leistungshalbleiter

Neben der spektakulär verlaufenden Entwicklung auf dem Gebiet der Mikroelektronik-Bauelemente (höchste Integration, geringste elektrische Leistung) hat – von der Öffentlichkeit weitgehend unbemerkt – eine kaum weniger dramatische Entwicklung der Halbleitertechnologie für hohe zu schaltende Ströme und Spannungen, der Leistungselektronik, eingesetzt.

Die großen Vorteile der Mikroelektronik beim Bau von Anlagen und Maschinen können erst mit dem Einsatz von Leistungshalbleitern einer neuen Generation richtig genutzt werden.

Solche modernen Leistungsbauselemente (z. B. GTO-Thyristoren oder DMOS-Power-Devices) erfordern aus der Mikroelektronik adaptierte, auf die speziellen Gegebenheiten der Lei-



Bild 4.  
Miniaturisierter  
Temperatursensor in  
Dünnschichttechnik.

stungselektronik hin weiterentwickelte Verfahren.

Diese Verfahren sind z. B.:

- Neue Rechenprogramme zum Prozeß- und Device-Modelling, d. h. zur Computer-Simulation der einzelnen Herstellungsprozessschritte und ihrer Auswirkungen auf die Strukturen im Bauelement (z. B. Dotierungsprofile, Trägerlebensdauerprofile) und zur Computer-Simulation der elektrischen Eigenschaften spezieller Bauelementekonzeptionen und ihrer Varianten.
- Neue Meßverfahren zur Charakterisierung von Bauelementen und zur Aufklärung von Schwachstellen und Ausfallursachen (z. B. Zündausbreitung bei GTO's, lokale Wärmeverlastung).
- Neue Gehäuse- und Montagetechnologien, z. B. neue Lotverfahren als Voraussetzung für moderne hybrid aufgebaute Module.
- Neue Verfahren zur Dotierung, Trägerlebensdauerinstellung, Passivierung, Metallisierung.

## Aufbau- und Verbindungstechnik für moderne Mikroperipherik-Komponenten

Moderne Leistungsbauselemente mit höheren Leistungsdichten, anwendungsspezifische Schaltungen mit wachsenden Anschlußzahlen und größeren Chipflächen, moderne Module und Sensoren mit miniaturisierter Signalvorverarbeitung verlangen neue Aufbau- und Verbindungstechniken, insbesondere auch die gleichzeitige Berücksichtigung der elektrischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften eines Aufbaus. Mit steigenden Packungsdichten und Verarbeitungsgeschwindigkeiten müssen Wechsellastfestigkeit, Thermospannungen, Führung auf die elektrischen Eigenschaften stärker berücksichtigt werden als gegenwärtig bei klassischen Aufbauten mit DIL-Gehäusen und kassierten Leiterplatten.

Folgende vier Anwendungsebenen sind zu berücksichtigen:

- Chip-Fügetechniken,
- Chip-Gehäusetechniken, kleine Baugruppenträger,
- Gehäuse-Fügetechniken,
- Großflächige Baugruppenträger.

Dabei bestimmen neue Materialien und Verfahren in den folgenden Teilgebieten wesentlich die Leistungsmerkmale und damit die Kosten moderner Mikroperipherikkomponenten:

- *Werkstoffe* (organisch, anorganisch) mit z. B. besser angepaßten thermischen Ausdehnungskoeffizienten und besserer Wärmeleitfähigkeit.
- *Oberflächentechnik* (Kondensation, Dickfilm, Direktes Beschichten, Chemisches Metallisieren) für neue Strukturierungsverfahren.
- *Fügetechnik* (Diebonding, Inner/Outer-Lead Bonding, Weichlöten und Leitkleber) angepaßt an die neuen Anforderungen und Geometrien der Aufbausysteme.
- *Entwurfswerkzeuge* (CAE: Entwicklung, Simulator, Test; CAD: Design und Designverifikation für eine integrierte Beschreibung der elektrischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften eines Gesamtsystemaufbaus),
- *Fertigungstechnik* (CAM, CIM) zum integrierten und automatisierten Fertigungsablauf.

Diese Gebiete werden im ersten Ansatzen von fünf Instituten und sieben Unternehmen im Rahmen von fünf Verbundvorhaben bearbeitet.

Die Arbeitsschwerpunkte sind:

- neue Metallisierungsverfahren auf neuen Keramik-Substratmaterialien,
- Substratmaterialien mit Metallkern und Dielektrika,
- leitfähige Kleber,
- Unedelmetall-Dickschichtpasten,
- verbesserte Lötverfahren für neue Bauelementeaufbauten (z. B. SMD).

In Verbindung mit mehreren neuen Verbundvorhaben befindet sich ein Ausbau der Forschungsinfrastruktur mit Einrichtung von Instituten für den Technologie-Transfer und Forschungseinrichtung in Vorbereitung.

Gerhard Wiegbleb

## LITERATUR

- (1) Lentz, J.: Erster Erfahrungsbericht zum Förderschwerpunkt Mikroperipherik – Verbundvorhaben des BMFT. VDI/VDE Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, Berlin!
- (2) Wiegbleb, G.: Integrierte Optiken in der Nachrichtentechnik. Funkschau 1984/4 (43 bis 47).