

ANWENDUNG VON MIKROTECHNIK (MIKROELEKTRONIK, MIKROOPTIK UND MIKROMECHANIK) IM MASCHINEN- UND GERÄTEBAU DER DDR

E. JUST

Technische Hochschule Ilmenau, Sektion Gerätetechnik, DDR
Eingegangen am 14 März 1988
Vorgelegt von Prof. Dr. O. Petrik

Abstract

Dieser Bericht wurde vorgetragen auf dem Jubiläums-Seminar „Mikrotechnik“ in Balatonfüred vom 30. Nov. bis 3. Dec. 1987 aus Anlaß des 30jährigen Bestehens des Institutes für Feinmechanik /Optik der TU Budapest (BME).

Teile des Berichtes wurden veröffentlicht in der Zeitschrift „Feingerätetechnik“, Berlin 36 (1987) 12, S. 530.

1. Definition der Mikrotechnik

Die 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts kann als Entstehungszeitraum der Mikrotechnik angesehen werden. Was wird heute unter Mikrotechnik verstanden?

Als Mikrotechnik soll hier definiert werden

- die Entwicklung, Herstellung und Anwendung kleinster Bauelemente, Schaltungen und Funktionsgruppen mit elektronischen, optischen oder mechanischen Wirkprinzipien im Mikrometerbereich bzw.
- als Oberbegriff, Gesamtheit oder Zusammenfassung der Technik von Mikroelektronik, Mikrooptik und von Mikromechanik sowie der Grenzgebiete Optoelektronik, Mechatronik und Optomechanik.

Bild 1 zeigt symbolisch die Entwicklung von der Makrotechnik zur Mikrotechnik (MT). Thermische Erscheinungen können in der Mikromechanik (MM) und magnetische Vorgänge in der Mikroelektronik (ME) erfaßt werden bzw. sollen dort enthalten sein.

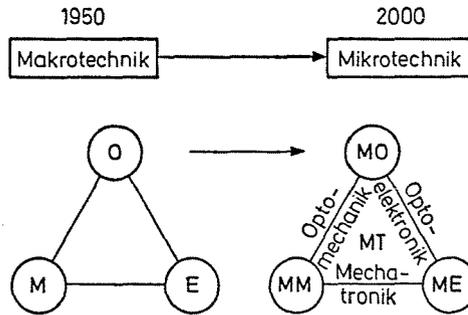


Bild. 1. Entwicklung von der Makrotechnik zur Mikrotechnik (MT).
 O=Optik, M=Mechanik, E=Elektrik/Elektronik;
 MO=Mikrooptik, MM=Mikromechanik, ME=Mikroelektronik

2. Kennzeichen der Mikrotechnik

Die Mikrotechnik geht aus der Makrotechnik hervor, erweitert, ergänzt und vervollkommnet diese und entwickelt sich zu einem eigenständigen Fachgebiet. Sie ist durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- die Abmessungen der Strukturen liegen im Mikrometerbereich und darunter; dadurch entstehen Volumen- und Masseverkleinerung der Bauelemente um Größenordnungen gegenüber der Makrotechnik und höhere Gebrauchswerte.
- Nutzung bekannter und neuer Wirkprinzipien bzw. physikalischer, chemischer und biologischer Effekte; dadurch Erweiterung der Möglichkeiten der Makrotechnik.
- Einsatz neuer Technologien, die von denen der Makrotechnik abweichen und die im allgemeinen nur ökonomisch rentabel sind, wenn massenhafte Anwendung gesichert wird.
- Eignung zur Informationsaufnahme, -übertragung, -verarbeitung oder zur Informationsausgabe.
- Anwendung als eigenständige Bauelemente oder Baugruppen bzw. als Ergänzung der Makrotechnik und dazu kompatibel.
- Mikrotechnik ist intelligenz- und arbeitsintensiv und ökonomisch nur in einer hochentwickelten Volkswirtschaft realisierbar.

3. Gesetze der Mikrotechnik

3.1. Gesetze der Mikromechanik (MM)

Die Gesetze der Makrotechnik (Makromechanik): das Gravitationsgesetz, die Axiome der klassischen Mechanik, der Impulssatz, der Drehimpulssatz, die Festigkeits- und Elastizitätsgesetze sowie die Gesetze der Wärmeleitung und Wärmeausdehnung gelten auch für die Mikromechanik, wenn

die Strukturabmessungen im ($\mu\text{m}\dots\text{nm}$)-Bereich liegen ($1\text{ nm}=10^{-3}\mu\text{m}=10^{-6}\text{ mm}=10^{-7}\text{ cm}$)

und diese damit groß sind gegenüber den Atomabmessungen (Atomdurchmesser ca. $0.1\text{ nm}=10^{-7}\text{ mm}=10^{-8}\text{ cm}=10^{-10}\text{ m}=1\text{ \AA}$) bzw. wenn die Strukturbreiten aus hinreichend viel (>100) Molekülschichten bestehen.

Bei Strukturabmessungen im μm -Bereich kann mit der vollen Gültigkeit der Gesetze der Makromechanik gerechnet werden.

3.2. Gesetze der Mikrooptik (MO)

Hier werden Gesetze der Optik benötigt, die für optische Sensoren, für Lichtleiter und für kleinste Anzeige-Elemente (LED) gelten. So betragen die Daten in der Lichtleitertechnik z. B.

- Durchmesser von Lichtleitfasern (Glasfasern) $2\dots100\mu\text{m}$
- Wellenlänge 820 nm (Kurzstrecken) bzw. 850 nm (Nachrichtentechnik)
- Frequenz $10\text{ kHz}\dots300\text{ MHz}$.

Im einzelnen sind bei Lichtwellenleitern (Monomod-Lichtleiter) die Durchmesser $2\dots4\mu\text{m}$ (Kern) bzw. $100\mu\text{m}$ (Mantel). Die Gesetze der geometrischen Optik sind nicht anwendbar. Es müssen die Gesetze der Wellenoptik (für Probleme der Interferenz der Beugung, der Polarisation, der Brechung und der Reflexion) sowie die der Elektronenoptik (für Sender/Koppler/ Empfänger) angewandt werden. Die Kompatibilität (Anpassung) und die Wechselwirkung müssen mit erfaßt werden (integrierte Optik). Gesetze der Quantentheorie sind wirksam.

3.3. Gesetze der Mikroelektronik (ME)

In der Mikroelektronik liegen die Strukturabmessungen im μm -Bereich. Es erreichen

- | | |
|--|--------------------------|
| die Licht- bzw. die Elektronenstrahl-Lithografie | $5\dots0,2\mu\text{m}$ |
| die Dünnschichttechnik (Dünnschichttechnik) | $1\dots0,01\mu\text{m}$ |
| die Dickschichttechnik (Dickschichttechnik) | $20\dots30\mu\text{m}$. |

Hier gelten die Gesetze der Elektronik für das Energie-Bändermodell (Elektronenleitung, Löcherleitung). Die physikalische Grenze liegt bei $0,02 \mu\text{m}$. Dieses Gebiet wird weiterentwickelt zur Molekular-Elektronik. Dort beruht die Wirkungsweise auf atomaren Effekten; die Abmessungen liegen im nm-Bereich und es gelten die Gesetze der Atomphysik.

4. Voraussetzungen der Mikrotechnik

Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit Mikrotechnik eingeführt, entwickelt und umfassend genutzt werden kann?

1. Die Herstellung verschiedener Werkstoffe wie Silizium, Germanium, Sinterkeramik und Glas in höchster Reinheit muß möglich sein.
2. Ein hohes Niveau der Makrotechnik, d. h. der Präzisionstechnik und der Automatisierung muß gegeben sein.
3. Erfahrungen in den Technologien von Teilgebieten der Mikrotechnik, z. B. in der Mikroelektronik, müssen vorhanden sein.
4. Bedarf, Unterstützung durch wirtschaftsleitende Organe und Engagement von Wissenschaft und Industrie für diese neue Technik müssen vorliegen.

Diese Bedingungen sind in der Volkswirtschaft der DDR erfüllt. Damit ist zu erwarten, daß sich die Mikrotechnik bei uns umfassend durchsetzen wird. 4 Fachtagungen „Anwendung der Mikroelektronik und Optoelektronik im Maschinen- und Gerätebau“ mit etwa 200 Vorträgen legen davon Zeugnis ab. Hierbei hat die Mikroelektronik-Anwendung bereits einen hohen Stand erreicht, die Mikrooptik tritt in die Phase der industriellen Nutzung und die Mikromechanik steht noch mehr am Beginn ihrer Entwicklung.

5. Technologien der Mikrotechnik

Die in der Mikrotechnik angewandten Technologien richten sich nach den zu verarbeitenden Werkstoffen, nach der Art der Wirkprinzipien bzw. Art der Bauelemente (mikroelektronisch/mikrooptisch/mikromechanisch), nach den Produktionsstückzahlen (Kosten) und nach der Qualität (Reproduzierbarkeit der Eigenschaften). Es existieren industriell ausgereifte technologische Verfahren bis zu Verfahren im Labormaßstab. Hier seien genannt

- die Silizium-Technologie (Fotolithografie/Ätztechnik/Schichtabscheidung),
- die Dünnschicht-Technologie
- die Dickschicht-Technologie
- die Folien-Technologie
- die Faser-Technologie und
- die Sinter-Technologie.

6. Beispiele zur Mikrotechnik

Es gibt heute sehr viele Beispiele, die zur Mikrotechnik gerechnet werden können.

Aus der Mikroelektronik seien genannt Chips mit 10^6 und mehr Bauelementen, 1-Mbit- und 4-Mbit-Speicherschaltkreise, 8-bit-, 16-bit und 32-bit-Mikroprozessoren, Mikrorechner mit der Leistungsfähigkeit früherer Großrechner, Halbleiterspeicher, Digitalschaltkreise, Analogschaltkreise, Leistungstransistoren, Schalttransistoren, Sensoren für physikalische Größen ohne und mit eingebautem Verstärker: Siehe Bild 2a. In das Gebiet der Mikrooptik gehören optoelektronische Sensoren (Fotodioden), CCD-Zeilen, CCD-Matrizen, Lichtleiter (Faseroptik), Optokoppler, Licht-Emitter-Dioden (LED-Anzeige-Elemente), Bildplatten (LCD-Bildschirme), Laser-Drucker, Laser-Mikrobearbeitung (gravieren, bohren, schweißen). Siehe Bild 2b.

Zur Mikromechanik zählen Sensoren für Kraft, Druck, Beschleunigung, Temperatur, Gaskonzentration, Feuchte (auf der Basis von Si-Elementen, Folien, akustischen Oberflächenwellen oder der Sintertechnik); mikromechanische Relais; Mikromotoren. Beispiel siehe Bild 2c.

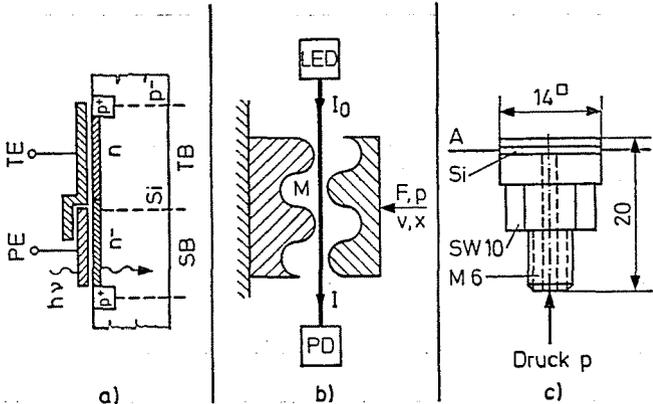


Bild 2. Beispiele zur Mikrotechnik

- | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| a) CCD-Element (ME) | b) Lichtleiter (MO) | c) Drucksensor (MM) |
| PE = Photoelektrode | LED = Lichtemitterdiode | Si = Silizium-Biegeplatte |
| TE = Transferelektrode | PD = Photo-Detektor | mit Widerstandsbrücke |
| SB = Sensorbereich | I = Intensität | A = elektr. Anschlüsse |
| TB = Transportbereich | M = Monomodalfaser | SW = Schlüsselweite |

7. Anwendungsgebiete der Mikrotechnik

Die Mikrotechnik wird zur Zeit durch verschiedene Einrichtungen vertreten.

- DDR: Wiss. Gesellschaft Meßtechnik/Automatisierung
 Fachverband Elektrotechnik/Elektronik
 Fachverband Maschinenbau/Gerätetechnik
 Physikal. Gesellschaft/Fachverband Optik

Ungarn: Verein Meßtechnik/Automatisierung (MATE)
im Verband Techn. u. Wiss. Vereine (MTESZ)
[Konferenz MECHATRONINFO '86].

Gebiet/Elemente	Maschinenbau	Gerätebau
<i>Mikroelektronik</i> (ME) DDR 1986: > 100 · 10 ⁶ Stück Schaltkreise	Meßtechnik Automatisierung Rechner/Speicher CAP/CAD/CAM/CIM	Meßtechnik Computertechnik Steuerungen Bürotechnik
<i>Mikrooptik</i> (MO) DDR 1985: Lichtleiter-Produktion 1986: 28% Steigerung	visuelle Sensoren Lichtleiter Laser-Mikrobearbeitung	visuelle Sensoren Anzeige-Elemente Laser-Drucker Informationsverarb.
<i>Mikromechanik</i> (MM) DDR 1987: Labor 1989: Prod.-Beginn	Sensoren MM Baugruppen Techn. Diagnostik	Sensoren Relais/Mikromotoren Biomechanik

Informationsdienste:

VEB Applikationszentrum Elektronik Berlin >10⁴ Informationen/Jahr
IWT im VEB Kombinat Robotron Dresden >10⁵ Dokumentationen
Bibliografie AGT im VEB Kombinat EAW Berlin >10⁴ Nachweise/Jahr.

8. Forschung (Entwicklung) Produktion für Mikrotechnik

In der DDR sind zahlreiche Einrichtungen an der Mikrotechnik beteiligt:

Gebiet	Forschung/Entwicklung	Produktion
Mikroelektronik (ME)	Akademie der Wissensch. Universitäten/Hochsch. ZFT Mikroelektronik	VEB Komb. Mikroelektronik (11 Betriebe, 52 000 Mitarbeiter)
Mikrooptik (MO)	Akademie der Wissensch. Universitäten/Hochsch. FZ Carl Zeiss JENA	VEB CZ JENA, WF Berlin VEB Präcitronik Dresden VEB Studioteknik Berlin
Mikromechanik (MM)	Akademie der Wissensch. Universitäten/Hochsch. TUD/TUK/THI	VEB Kombinat Elektron. Bauelemente Teltow, VEB Komb. KW Hermsdorf

9. Ausblick zur Mikrotechnik

Die Mikrotechnik steht am Anfang einer stürmischen Entwicklung. Es sind noch viele spektakuläre Ergebnisse zu erwarten. Leistungen der Natur/Biologie werden technisch nachgebildet werden. Es wird für möglich gehalten, in den nächsten Jahren unter anderem dreidimensionale mikroelektronische Schaltkreise zu erzeugen, mikrooptische Computer zu entwickeln, mikromechanische Baugruppen und mikrotechnische Geräte herzustellen.

Damit werden für die Meßtechnik, für die Rechentechnik, für Steuerungen und Automatisierung neue leistungsfähige Lösungen entstehen.

Dr. Ervin JUST, TH Ilmenau, DDR