

# *Sensoren und Aktoren*

Wahlpflichtfach 5. Semester Elektrotechnik

Prof. Dr. Felix Hüning

FB Elektrotechnik und Informationstechnik

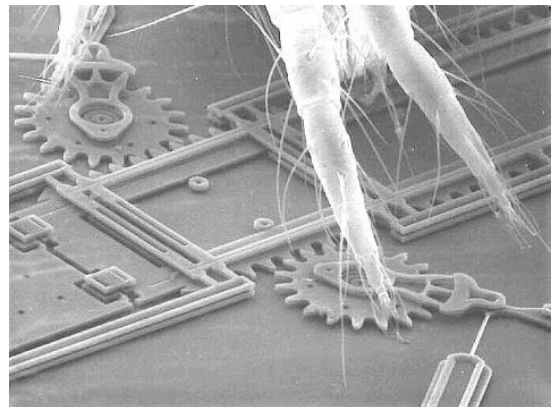
FH Aachen

Die Folien sind für den persönlichen Gebrauch im Rahmen des Moduls gedacht. Eine Veröffentlichung oder Weiterverteilung an Dritte ist nicht gestattet (F. Hüning)

- Mikromechanische Systeme

- Miniaturisierte elektro-mechanische Systeme
- Integration von mechanischen und elektrischen Bauteilen auf einem Silizium-Bauteil
  - Sensoren, Aktoren, Steuer- und Auswertelektronik (ASIC)
- Halbleiterprozesse für Herstellung
- Strukturen kleiner  $1\mu\text{m}$  für Sensoren/Aktoren möglich

**Mikromotor vs  
Milbenbein**

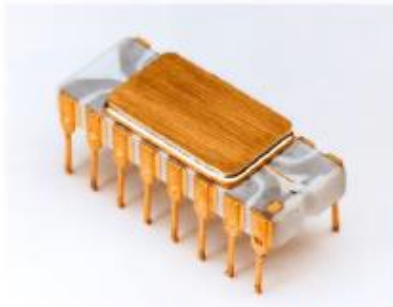


Quelle: heim.ifi.uio.no

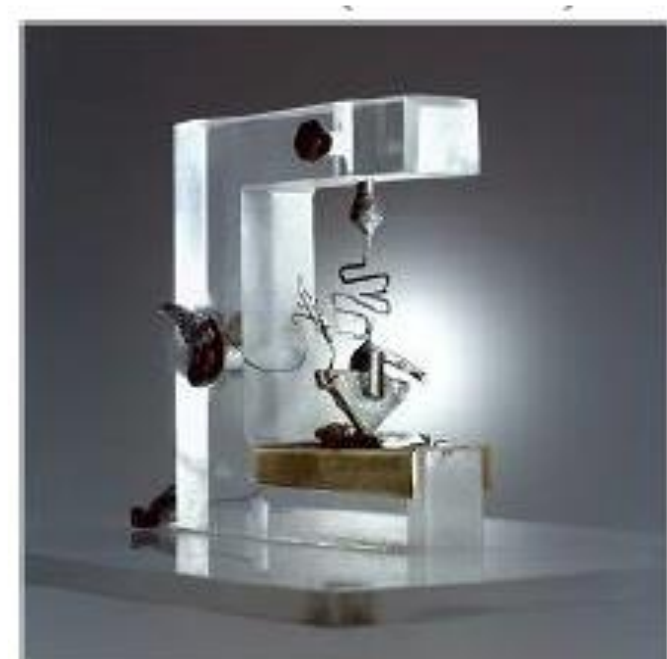
# MEMS

## Micro-Electro-Mechanical System - Mikrosystemtechnik

- 1947: Erster Ge-NPN-Transistor durch Shockley, Bardeen, Brattain
- 1958: Erster IC
- 1971: Erfindung  $\mu$ P

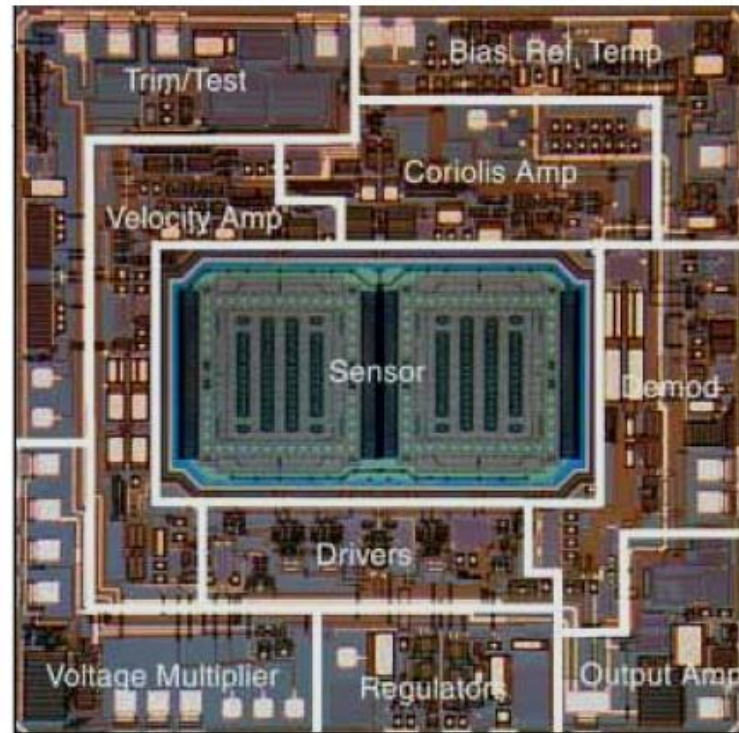


*The Intel 4004 Microprocessor and the Busicom calculator<sup>8</sup>*  
*[Photos Courtesy Intel Corporation]*



Quelle: [https://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/belllabs\\_transistor.html](https://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/belllabs_transistor.html)

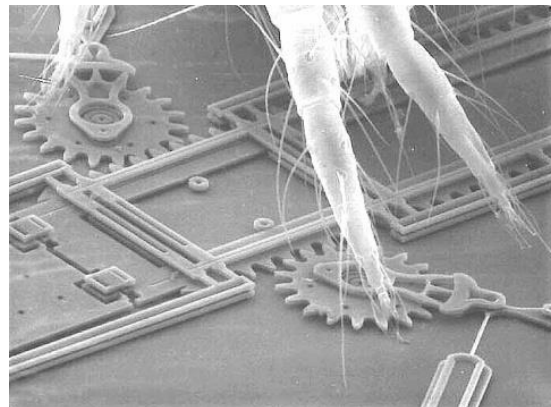
- Integration von mechanischen und elektrischen Bauteilen auf einem Silizium-Bauteil



Quelle: TU Ilmenau, Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik

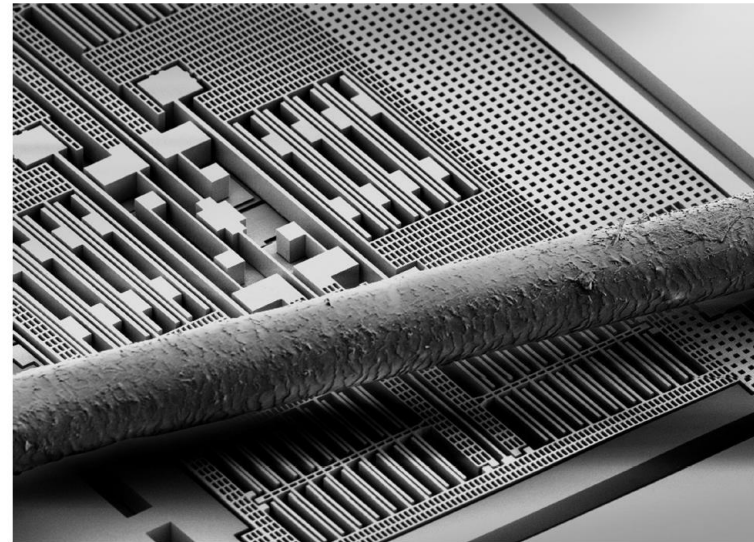
- Kleine Bauform
- Geringes Gewicht
- Hohe Leistungsfähigkeit
- Robustheit
- Zuverlässigkeit
- Hohe Auflösung
- Geringe Kosten

### Mikromotor vs Milbenbein



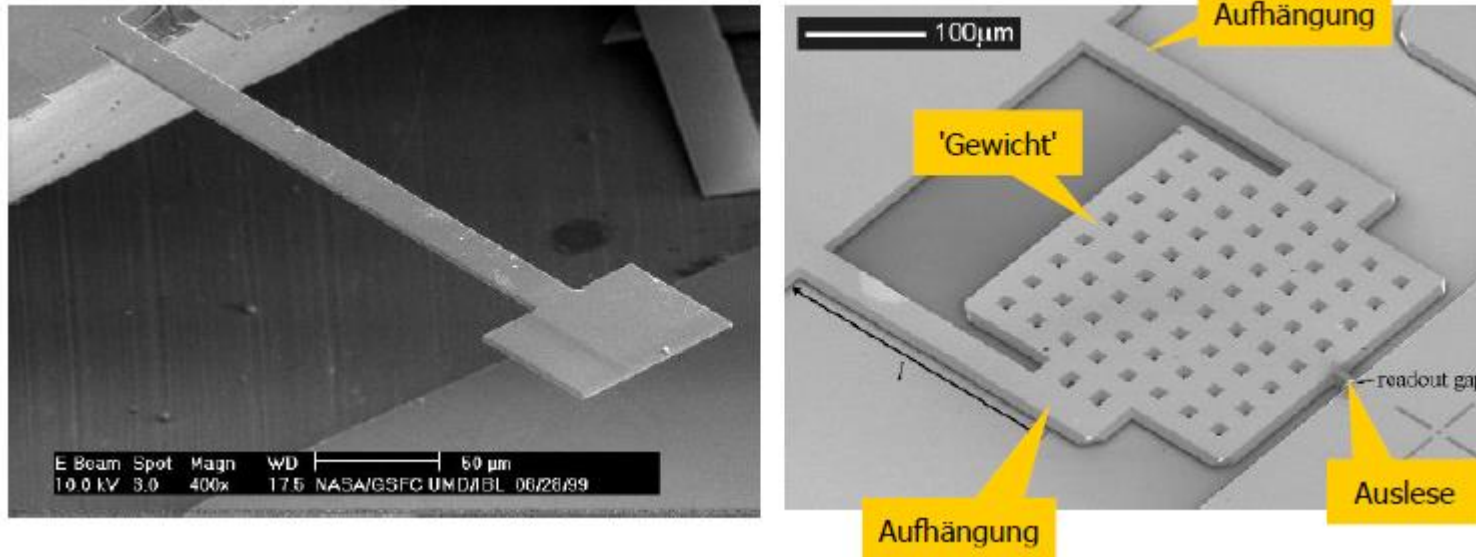
Quelle: heim.ifi.uio.no

### 3D-Beschleunigungs- sensor vs Haar



Quelle: Bosch Sensortec

- Für geeignete Sensoren und Aktoren werden bewegliche und frei tragende Strukturen benötigt



Quelle: Fischer, Uni Mannheim

- Herstellung von MEMS ist komplex und benötigt zahlreiche unterschiedliche Prozessschritte in der Produktion
- Wichtige Verfahren:
- Bulkmikromechanik
  - Strukturen werden durch selektives Ätzen direkt in Einkristall-Siliziumwafer hergestellt
  - Dicken und laterale Abmessungen  $< 1 \mu\text{m}$
- Oberflächenmikromechanik
  - Strukturen werden auf Oberfläche von Einkristall-Siliziumwafern aufgebaut
  - Strukturgrößen kleiner als bei Bulk-MEMS

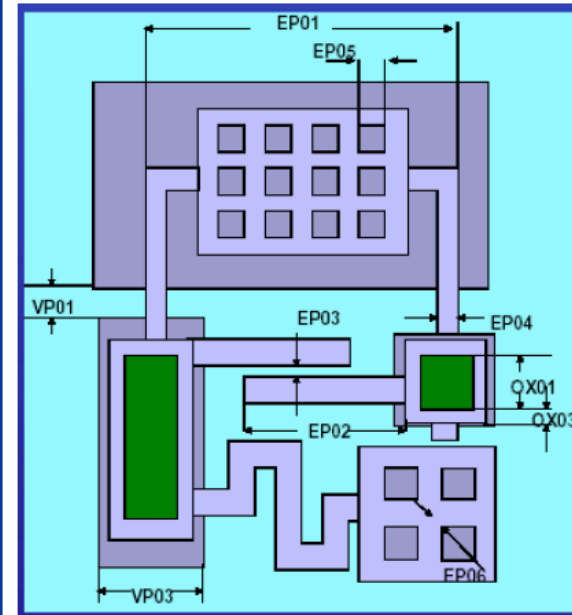
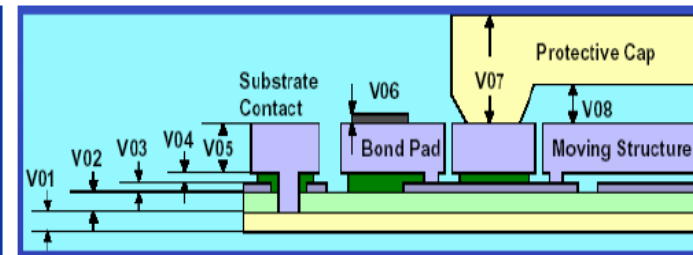


- Größenordnungen der Oberflächentechnik und prinzipieller Aufbau (Dimensionen in  $\mu\text{m}$ )

Rule	Description	Dimension
V01	Wafer	$675 \pm 15$
V02	Pad Oxide	$2.5 \pm 0.15$
V03	Buried Polysilicon Layer	$0.45 \pm 0.05$
V04	Sacrificial Oxide	$1.6 \pm 0.2$
V05	Epitaxially grown Polysilicon	$10.3 \pm 1.0$
V06	Metallization	$1.3 \pm 0.2$
V07	Cap Wafer	$380 \pm 15$
V08	Cavern	$75 \pm 25$

Rule	Description	Layout
EP01	Free Structure (fixed on both sides)	$< 1000$
EP02	Free Structure (fixed on one side)	$< 400$
EP03	Spacing between EP structures	$> 2.0$
EP04	Width	$> 3.0$
EP05	Etch hole	$> 4.0$
EP06	Width for structures that are to be released after sacrificial oxide etch	$< 5.8$



- Merkmale der Technologien

<b>Merkmal</b>	<b>Bulk-Mikromechanik</b>	<b>Oberflächenmikromechanik</b>
Substrat	Si	Si / beliebig
Typ. Laterale Strukturgröße	> 10 $\mu\text{m}$	1-2 $\mu\text{m}$
Typ. Strukturtiefe	> 100 $\mu\text{m}$	< 10 $\mu\text{m}$
Herstellungsaspekte	Bearbeitung von Vor- und Rückseite, Formen an Ätzprozess gebunden	Bearbeitung von einer Seite; beliebige Strukturformen, mech. Beanspruchung in der Funktionsschicht kritisch
Anwendung	Drucksensoren, hochempfindliche Beschleunigungssensoren	50 g Beschleunigungssensoren, Drehratensensoren, Mikromotoren

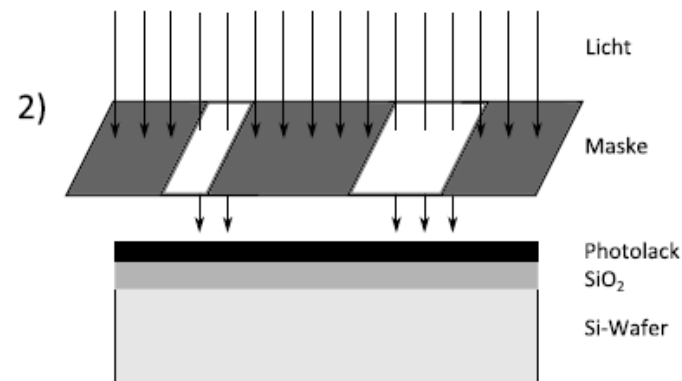
# MEMS

## Herstellung

- Herstellung von beweglichen und frei tragenden Strukturen durch geeignete Prozessschritte, z.B. bei Oberflächen-Mikromechanik



Dünne SiO<sub>2</sub>-Opferschicht  
Photolack zum Strukturieren  
des SiO<sub>2</sub>

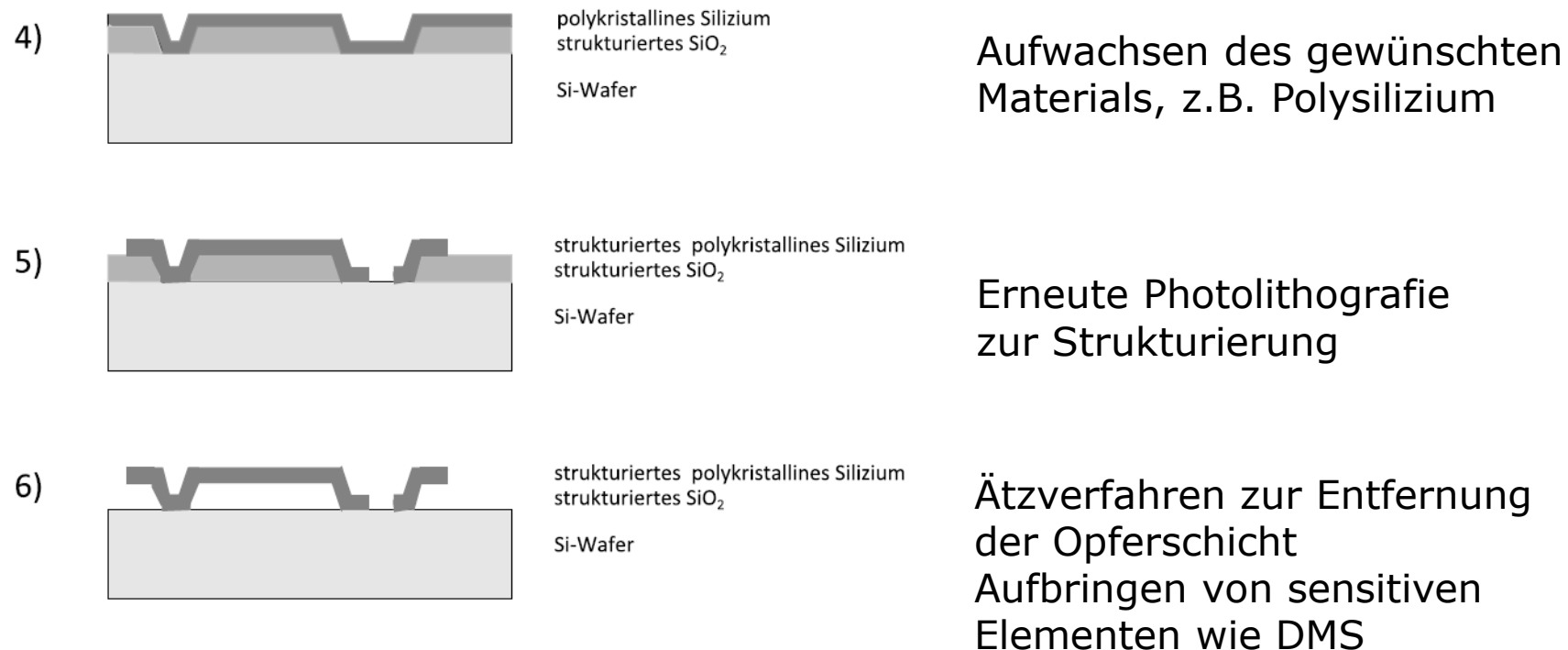


Maske mit der zu erzeugenden  
Struktur  
Belichtung (Photolithografie)  
Entwicklung des Photolacks



Ätzverfahren zur Entfernung  
des Photolacks  
Ätzverfahren zur Strukturierung  
des SiO<sub>2</sub>

- Herstellung von beweglichen und frei tragenden Strukturen durch geeignete Prozessschritte, z.B. bei Oberflächen-Mikromechanik



FH Aachen  
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik  
Prof. Dr. rer. nat. Felix Hüning  
Eupener Straße 70  
52066 Aachen  
T +49 (0)241 6009 51979  
F +49 (0)241 6009 52191  
huening@fh-aachen.de  
www.huening.fh-aachen.de