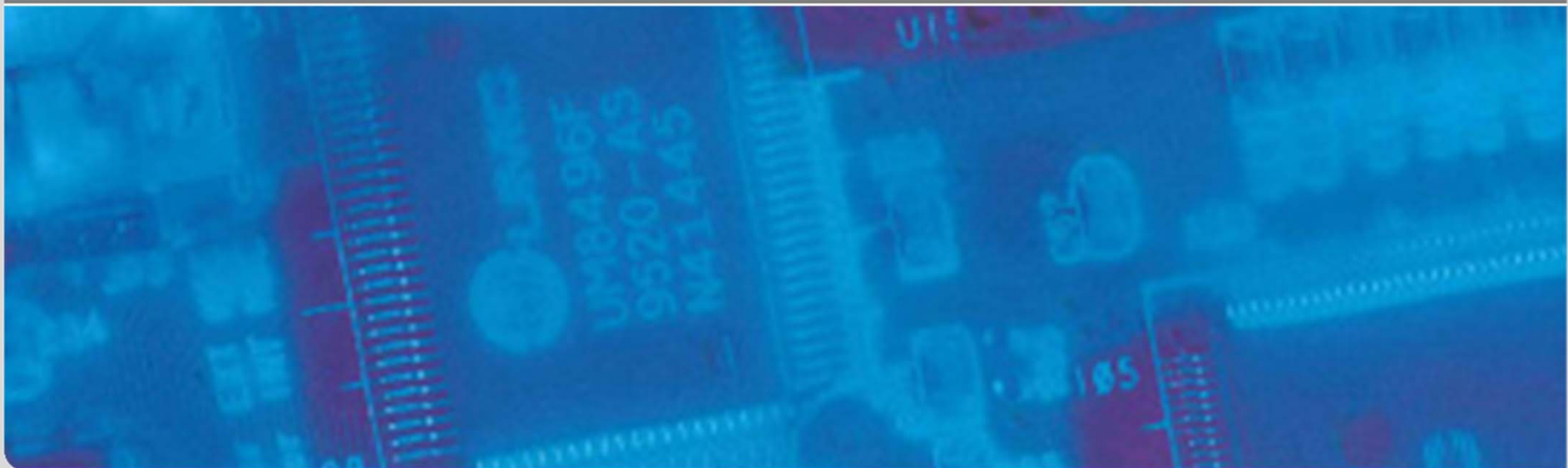


# Integrierte Intelligente Sensoren Sommersemester 2012

## 06.06.2012

**Wilhelm Stork**

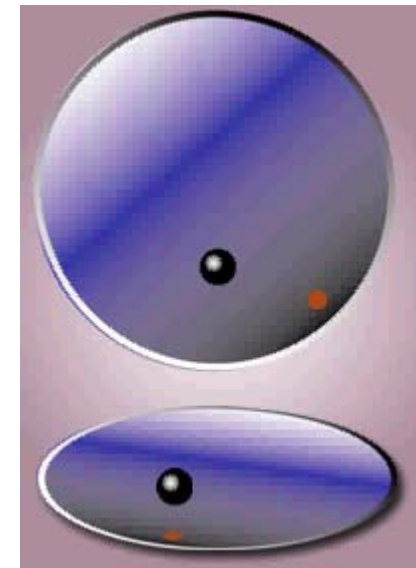
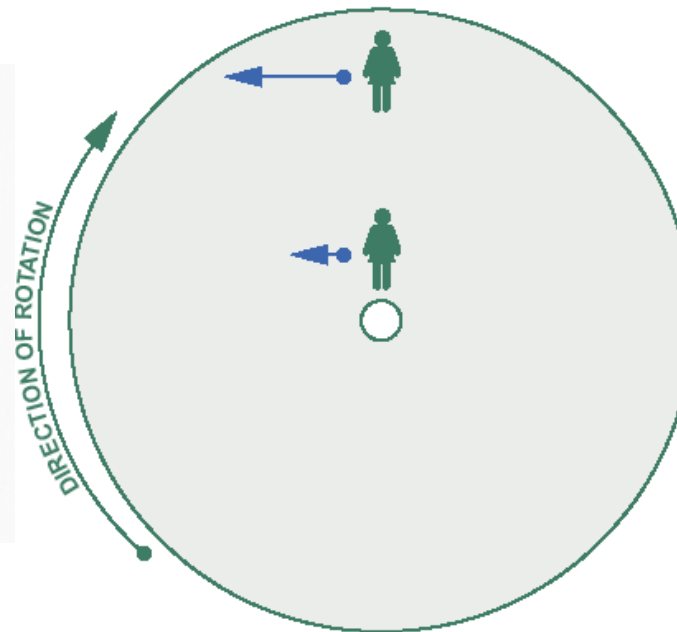
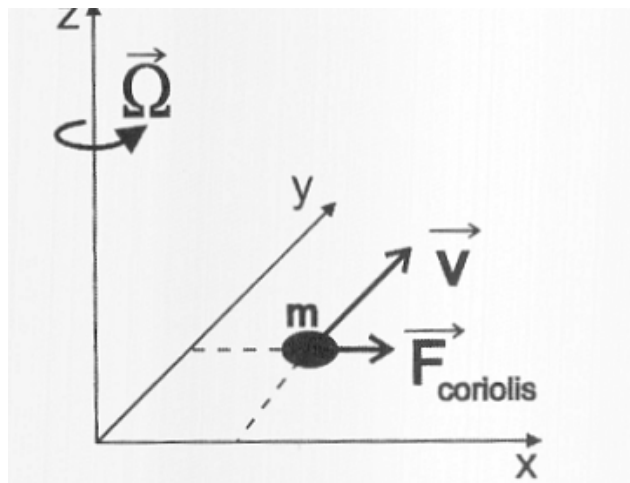
Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)



# Abgeleitete Sensoren

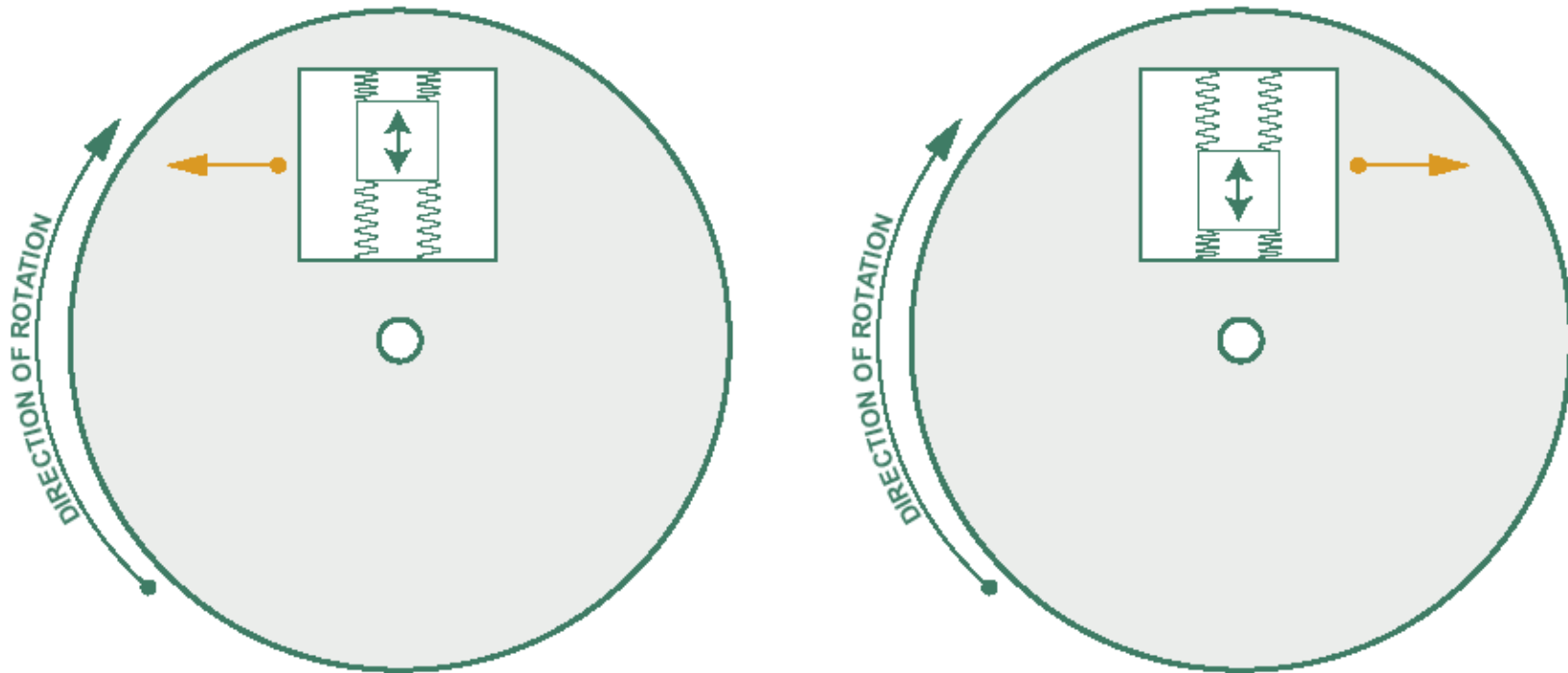
Mikromechanischer Drehratensensoren (Gyroskop)

- Wirkprinzip: Coriolis-Kraft



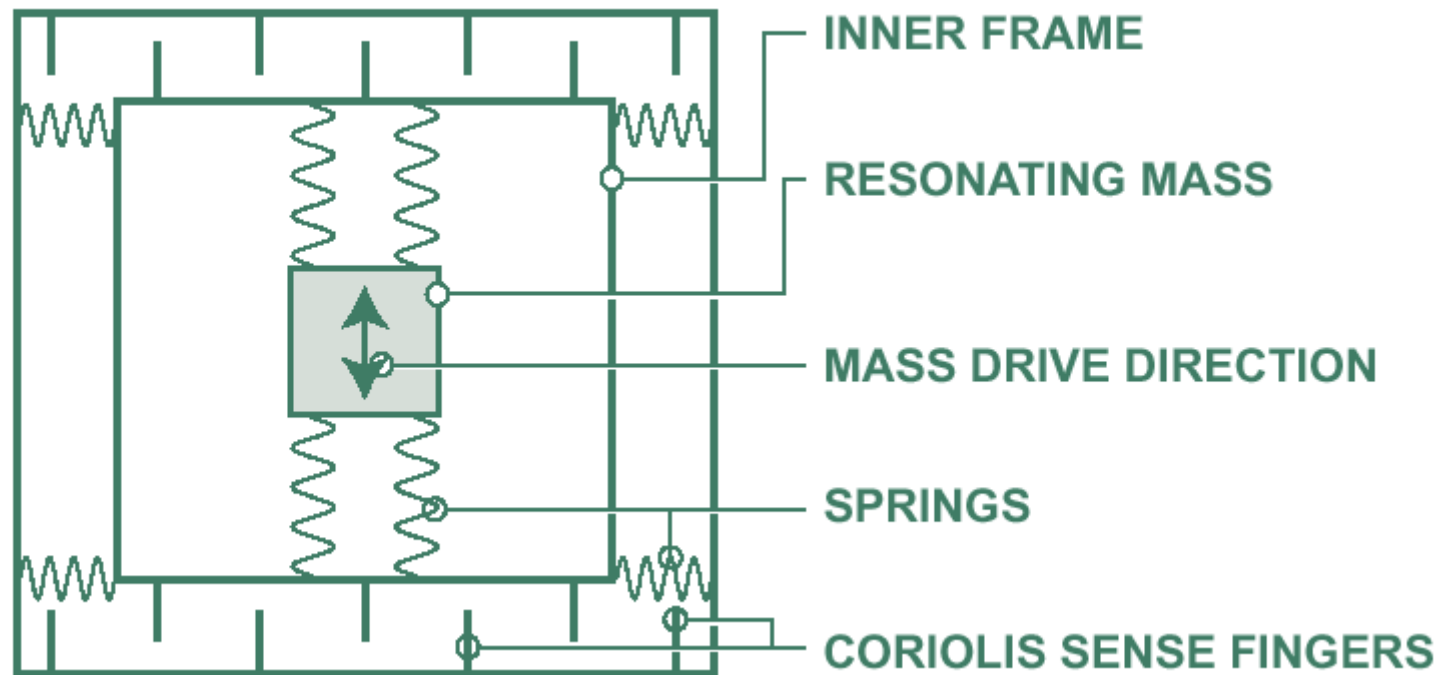
# Abgeleitete Sensoren: Drehraten-Sensoren

- Messung der Drehrate über Coriolis-Kraft



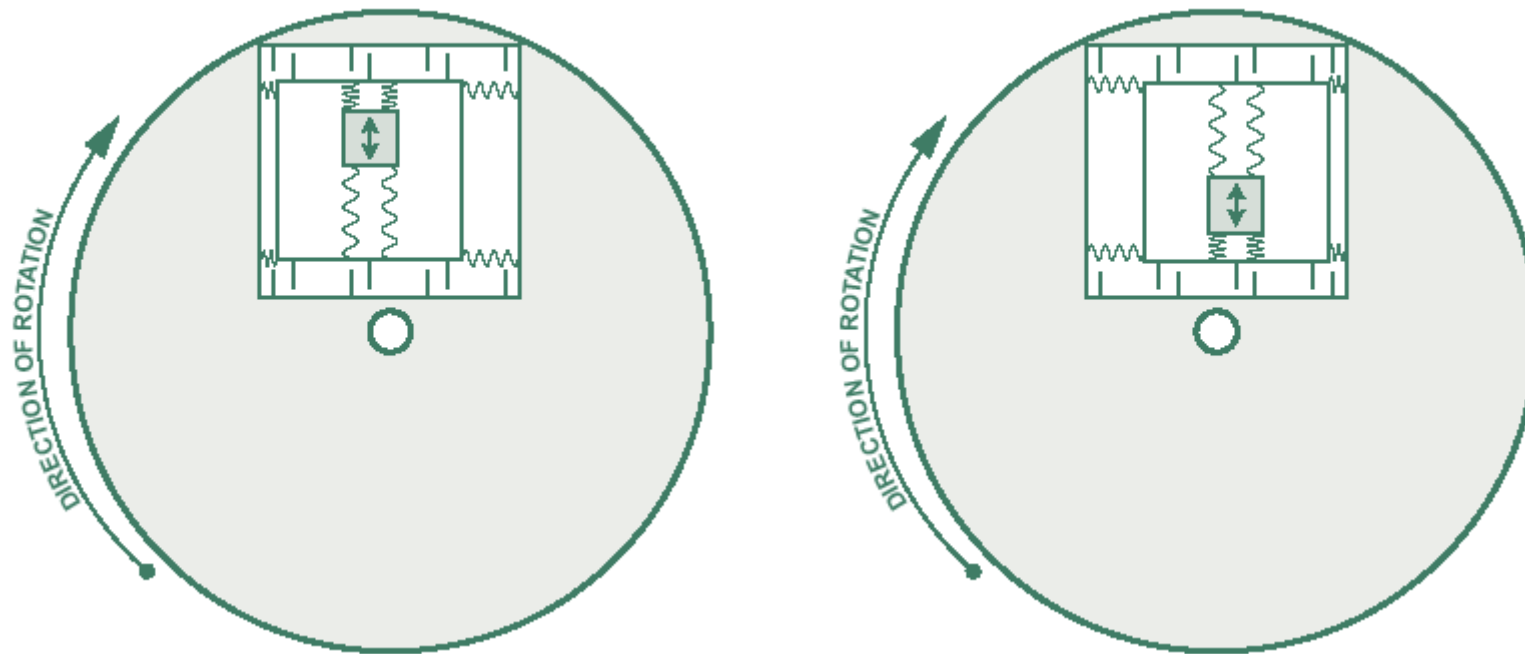
# Abgeleitete Sensoren: Drehraten-Sensoren

- Messung der Drehrate über Coriolis-Kraft

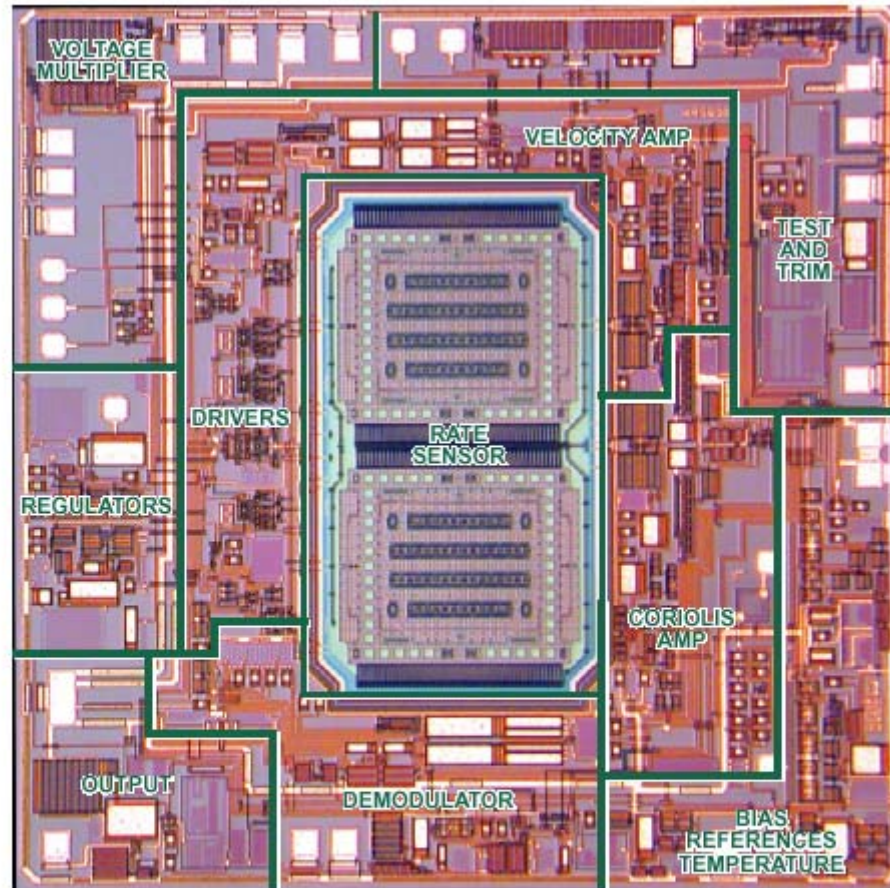


# Abgeleitete Sensoren: Drehraten-Sensoren

- Messung der Drehrate über Coriolis-Kraft



# Abgeleitete Sensoren: Drehraten-Sensoren

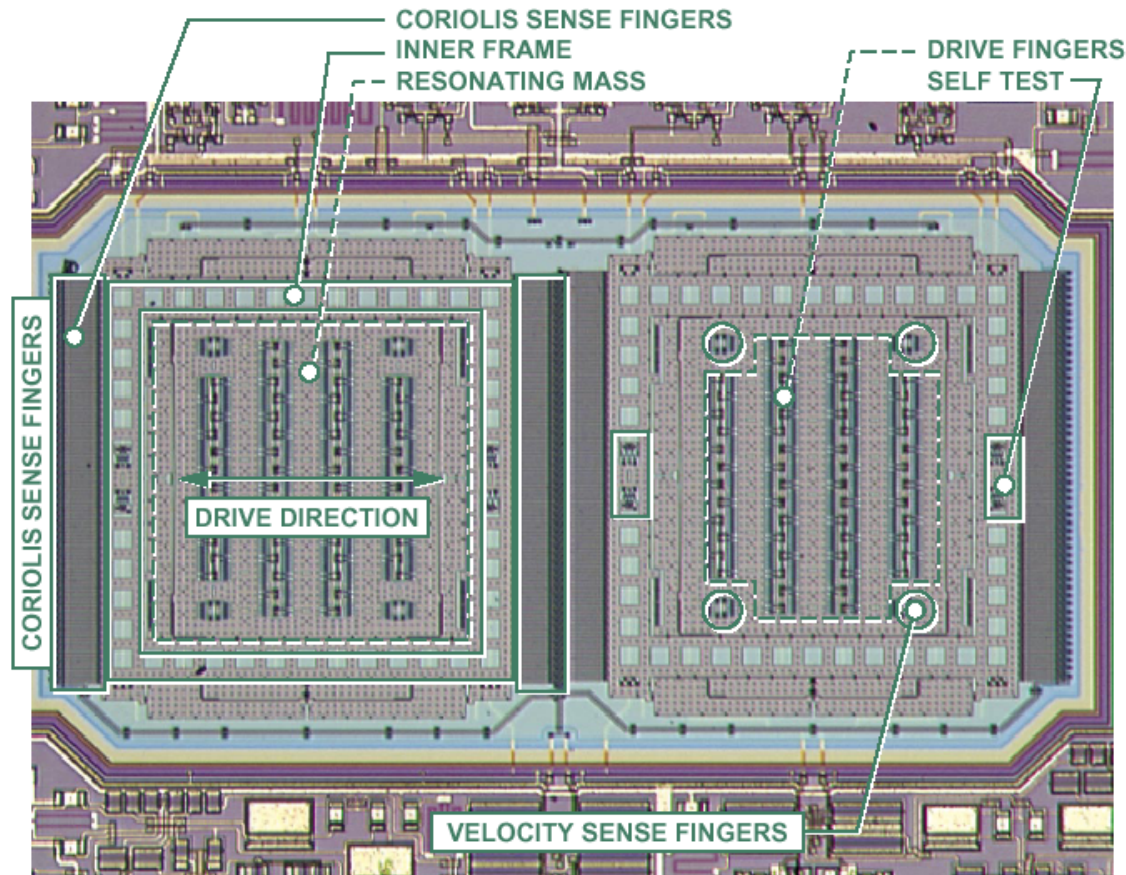


Drehraten-Sensor  
(Analog Devices)

Figure 7. Photograph of ADXRS gyro die, highlighting the integration of the mechanical rate sensor and the signal conditioning electronics.



# Abgeleitete Sensoren: Drehraten-Sensoren



Drehraten-Sensor  
(Analog Devices)

Figure 6. Photograph of mechanical sensor. The ADXRS gyros include two structures to enable differential sensing in order to reject environmental shock and vibration.

# Drehratensensor

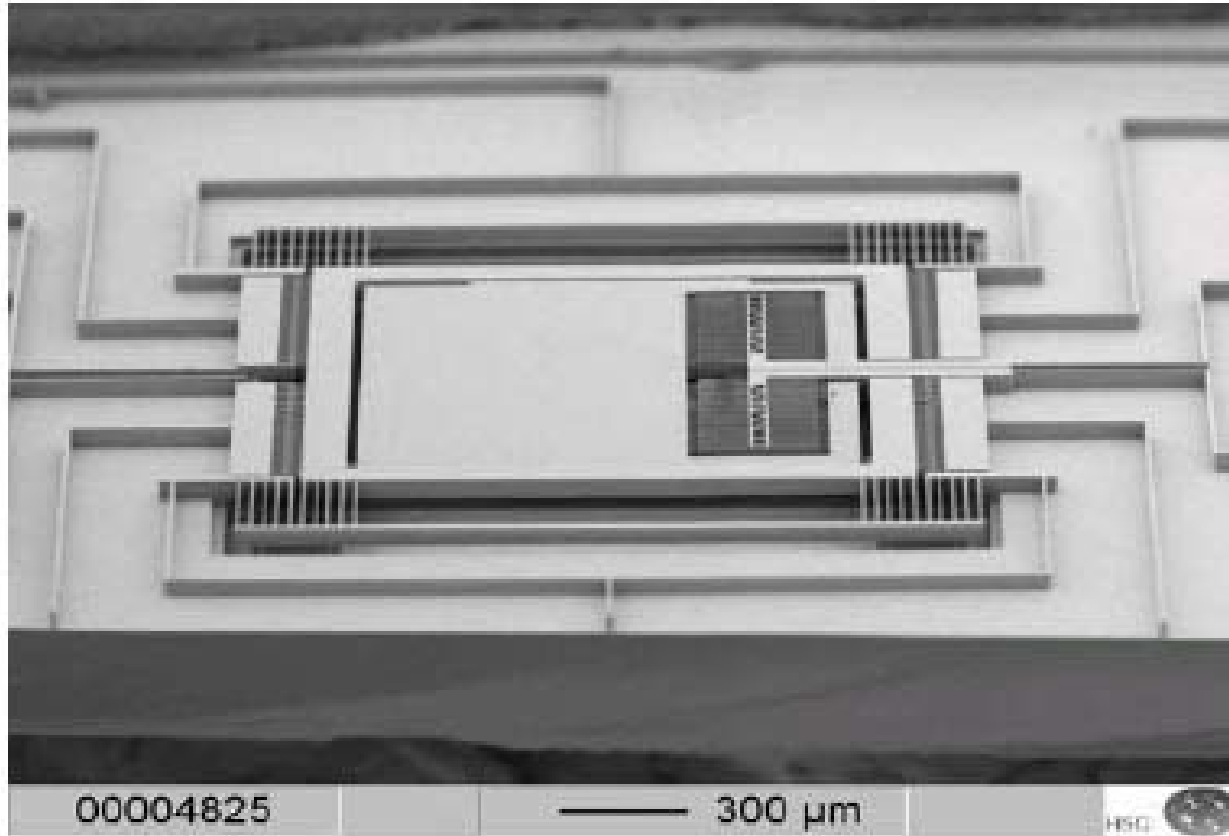
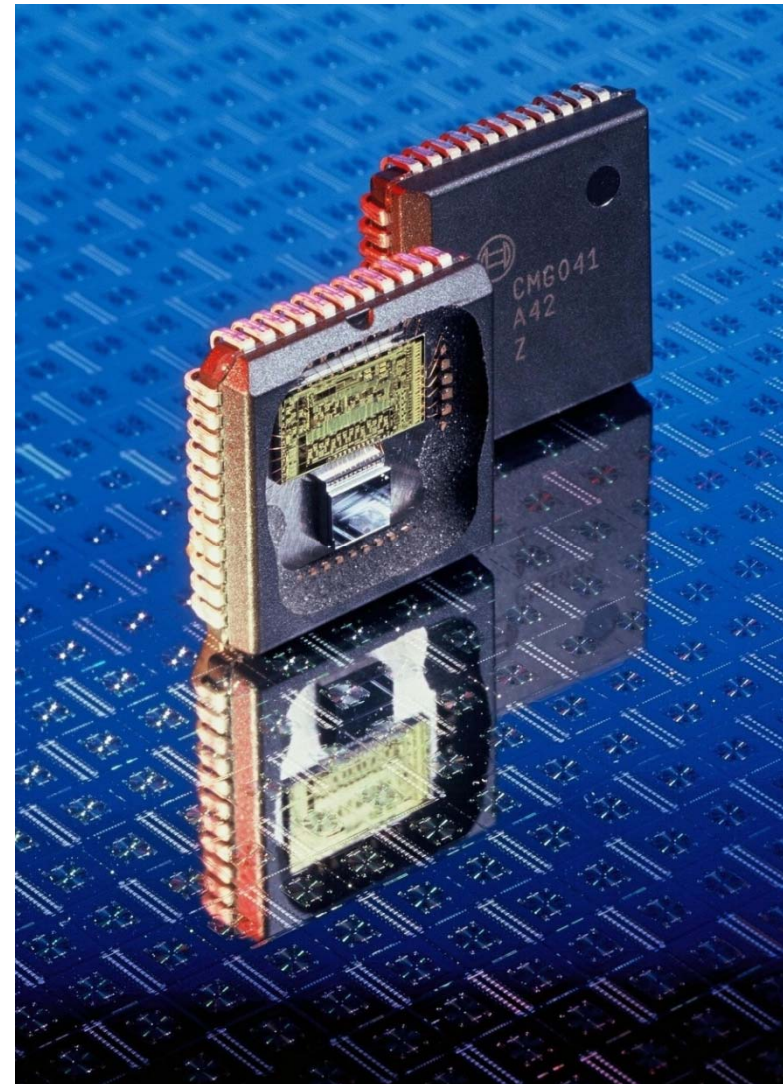


Foto eines Drehratensensors mit Kammantrieb /40/

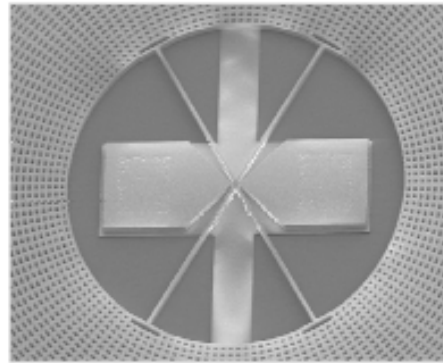


# Drehratensensor Bosch

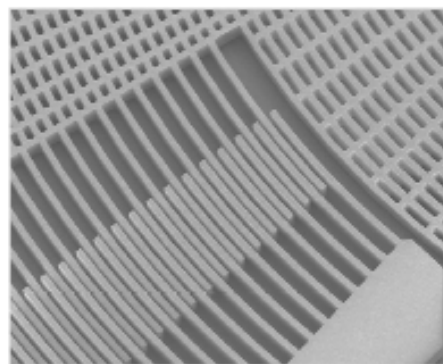


# Bosch Drehratensensor

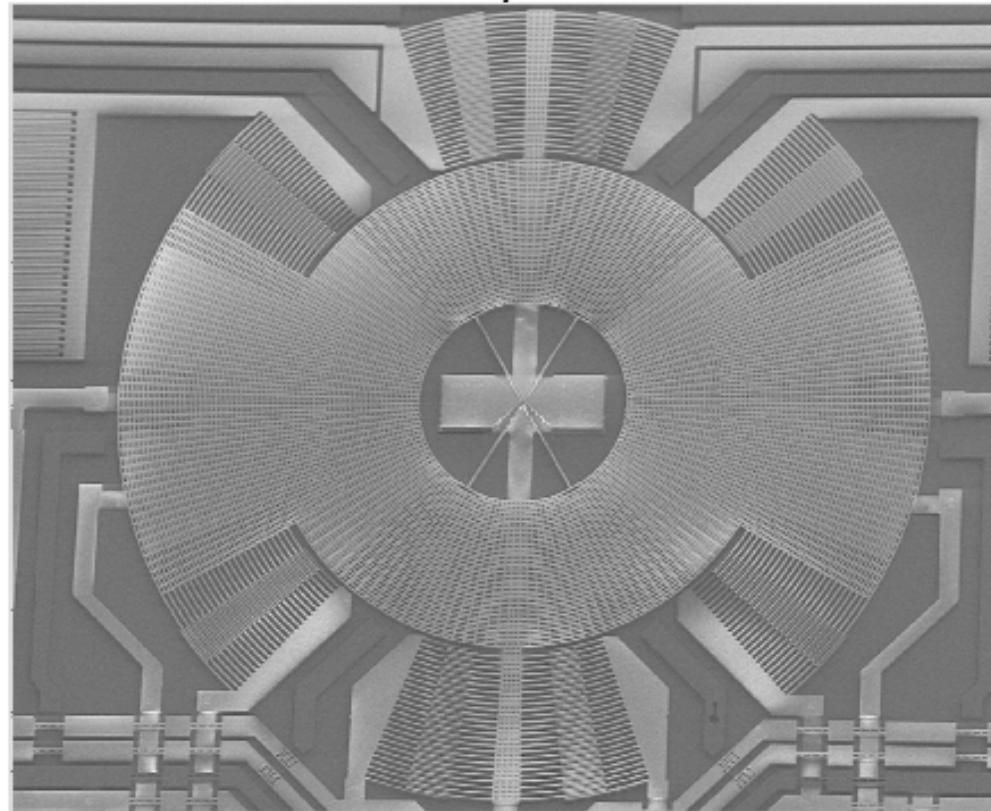
Ansicht der Mikrostrukturen aus Poly-Silizium



100 μm



50 μm

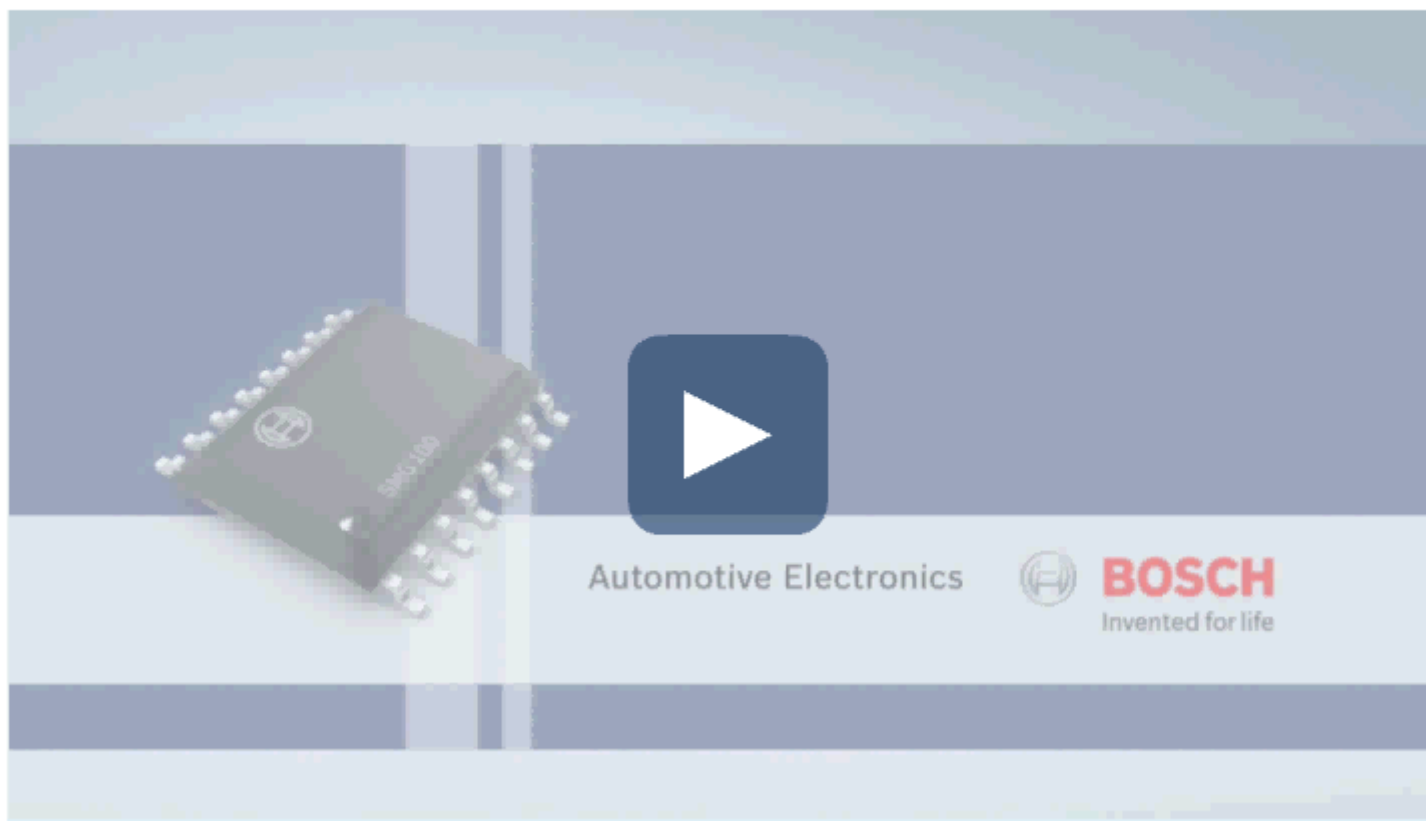


500 μm

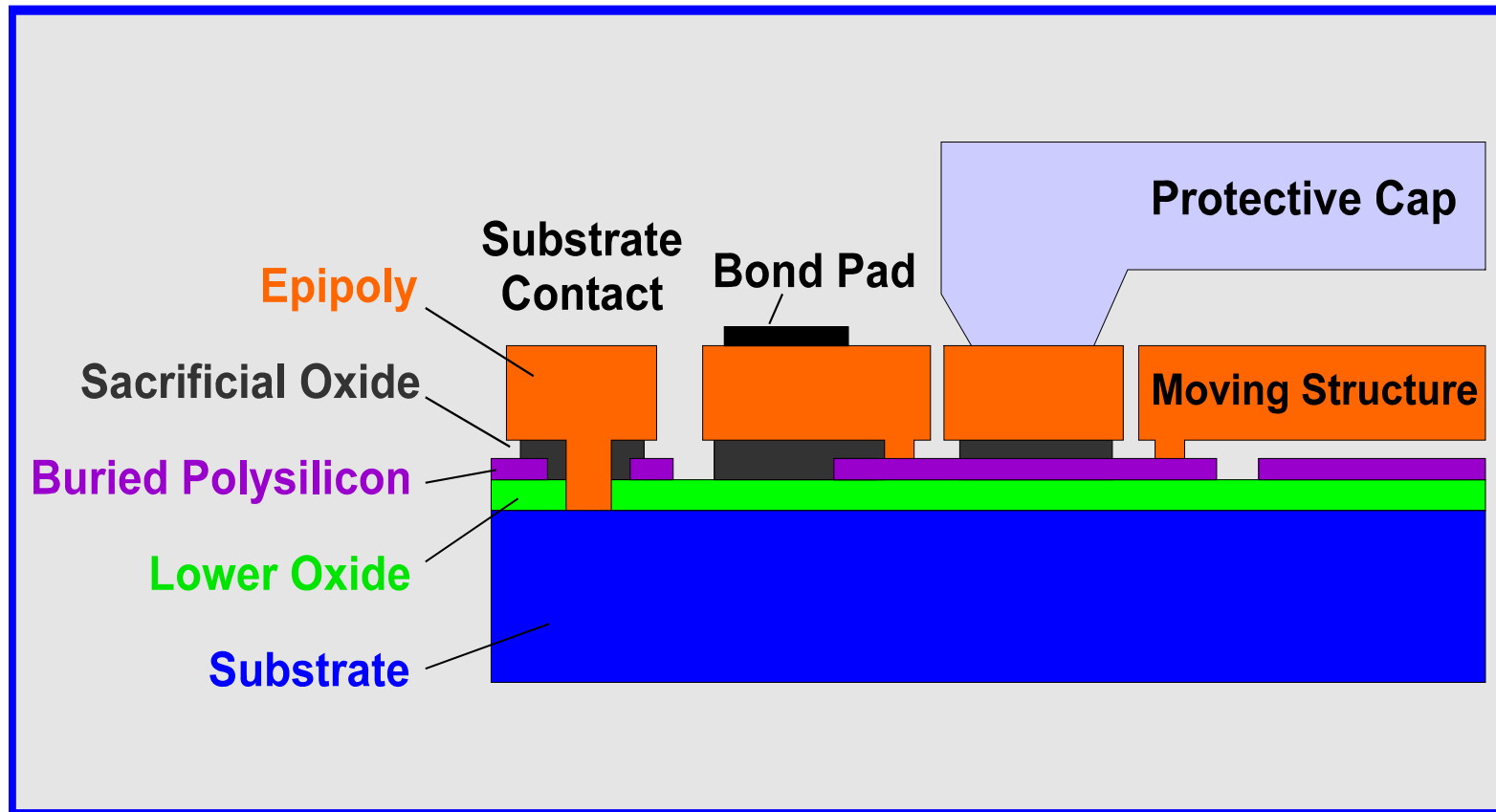
Quelle: Illing, Bosch GmbH

# Bosch Drehratensensor

Angular-rate sensor SMG10x for rollover applications

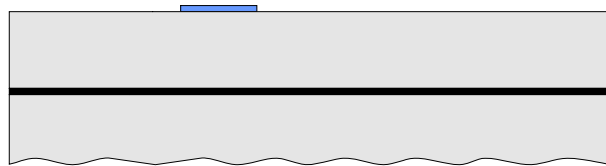


# Gyro process: The Bosch process



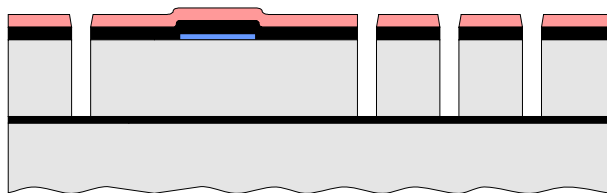
Robert Bosch GmbH

## Gyro process: SOI technology



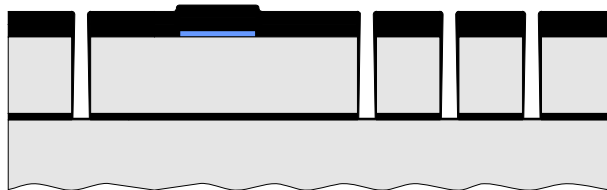
SOI-substrate, buried oxide 0,6  $\mu\text{m}$ , structure layer 15 $\mu\text{m}$

Doping for contact, Depo and structure Al



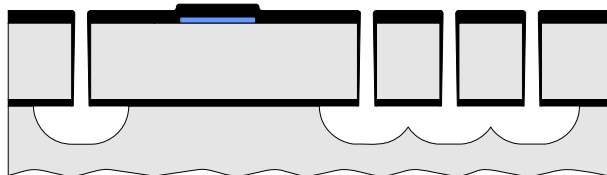
Mask: PECVD Oxide and resist

Si-RIE etch. Stop at buried oxide

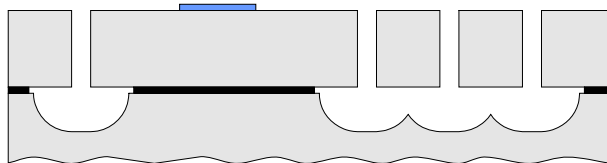


Remove resist, Depo PECVD oxide

Remove oxide at the bottom of the trenches by anisotropic RIE

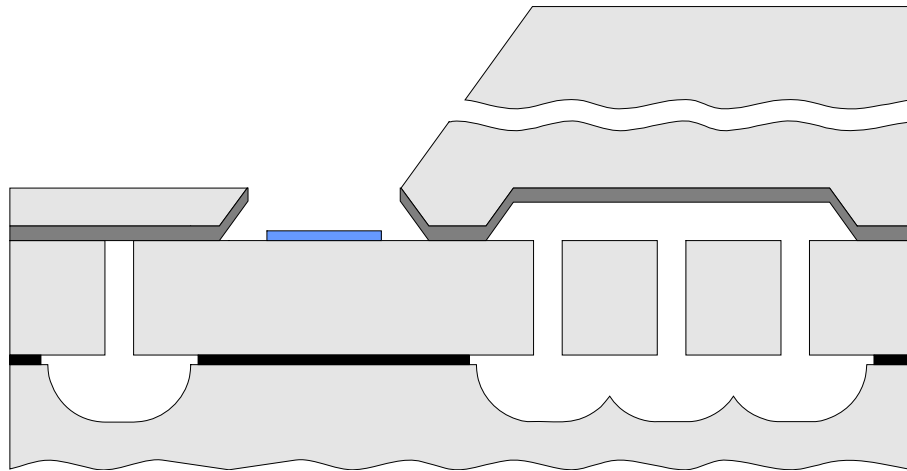


Set structure free: Isotropic Si etch



Remove the  $\text{SiO}_2$

## Gyro side view



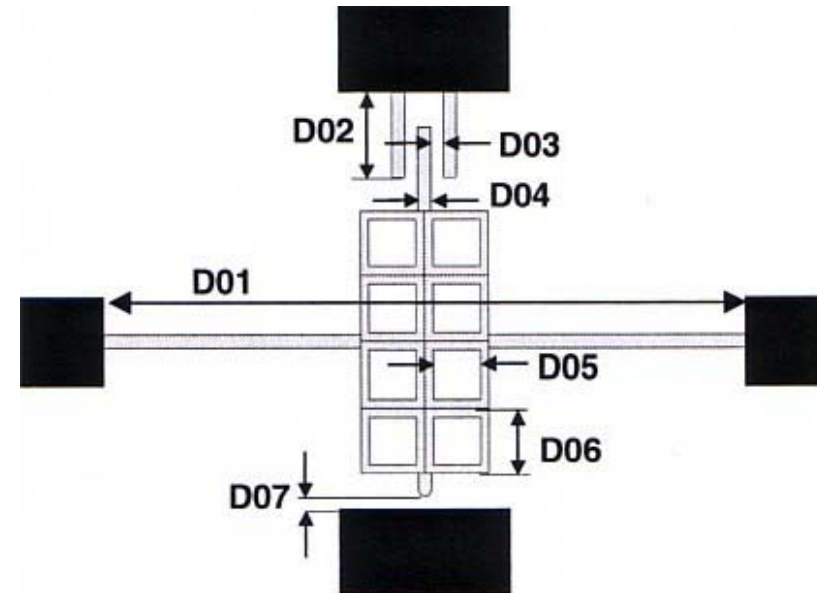
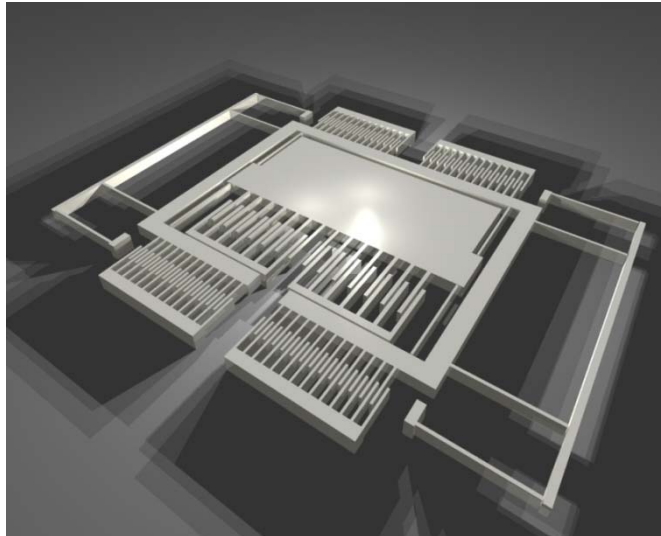
Preparing the cap: 2 KOH etch steps, Sputter pyrex

Join by anodic bonding

Bilder Prozess und Designrules: M. Braxmaier, HSG-IMIT



# Designrules

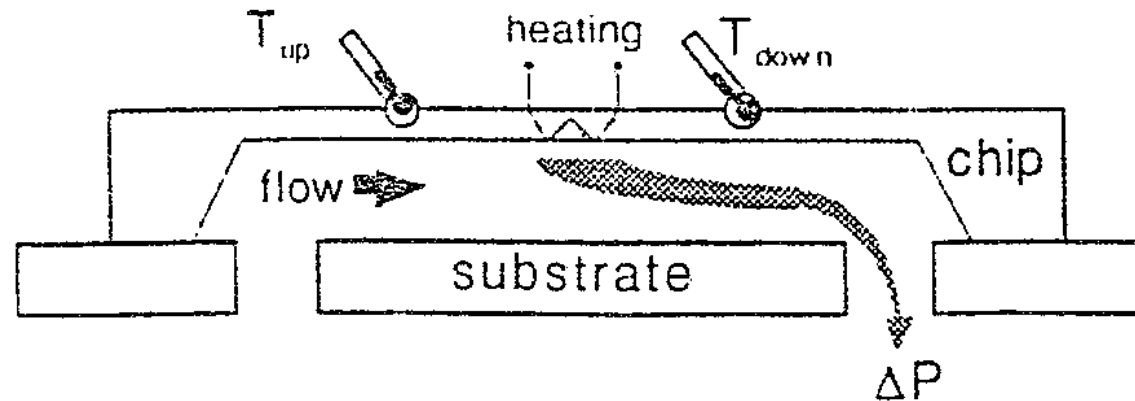


Regel	Beschreibung	Layout [ $\mu\text{m}$ ]	Struktur [ $\mu\text{m}$ ]
D01	Zweiseitig gehalterte, bewegliche Struktur	< 1000	< 1000,6
D02	Einseitig gehalterte, bewegliche Struktur	< 500	< 500
D03	Trenchbreite	> 2,0	> 2,3
D04	Strukturbreite	> 2,0	> 1,7
D05	Ätzloch	11	> 11,3
D06	Einheitszellenbreite bzw. -länge	15	15
D07	Stopperabstand	> 1,5	> 1,5

# Mikromechanische Flusssensoren

- Messung kleinster Flüssigkeits- und Luftdurchflüsse
- Anwendungen:
  - Mikrodosierung (z.B. Medikamentengabe)
  - Chemische Analysetechnik
- Methoden:
  - Thermische Strömungsmessung (Energieverlust durch vorbeiströmendes Material)
  - Laufzeitverfahren (auch thermische Laufzeitmessung)
  - Kraft- / Druckmessung (Element im Strom)

# Mikromechanische Flusssensoren

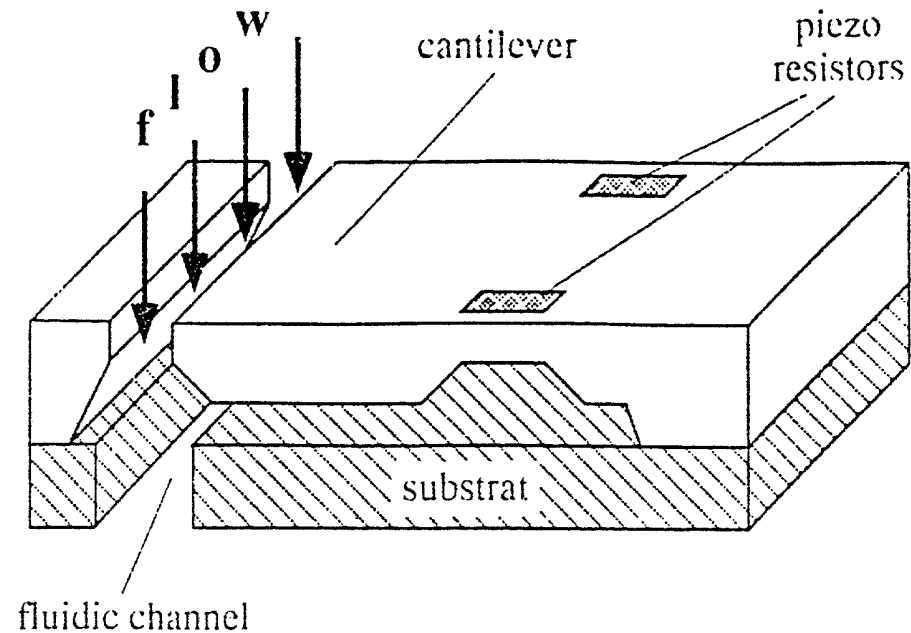


Betrieb:

- Laufzeitmessung ( Heizung mit 5 Hz Signal )
- Temperaturdifferenzmessung ( konstante Heizung )

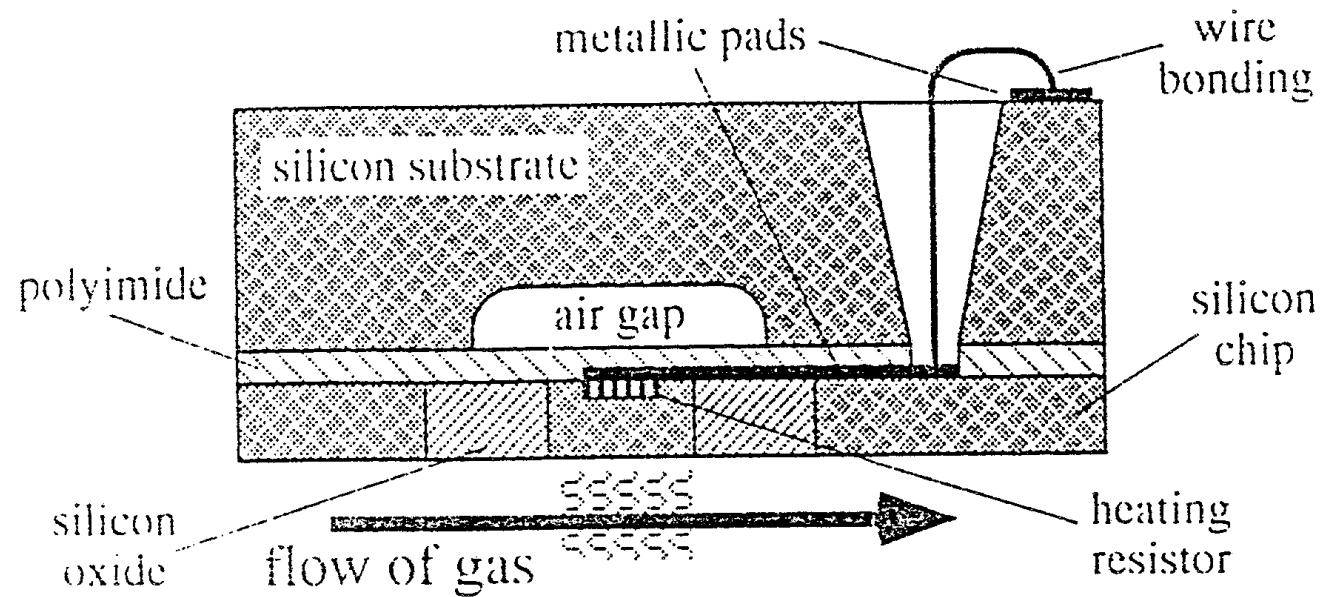
Sehr hohe Empfindlichkeit / kleiner Arbeitsbereich

# Mikromechanische Flusssensoren





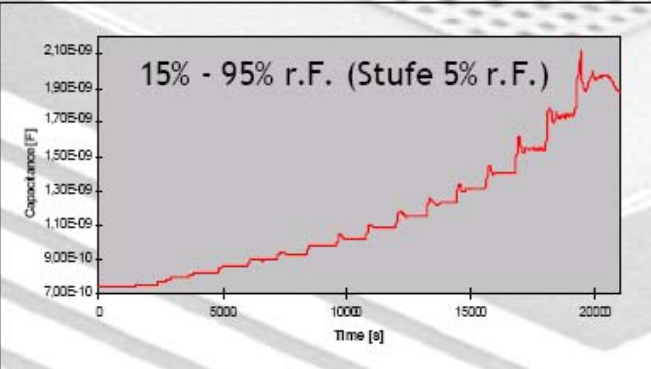
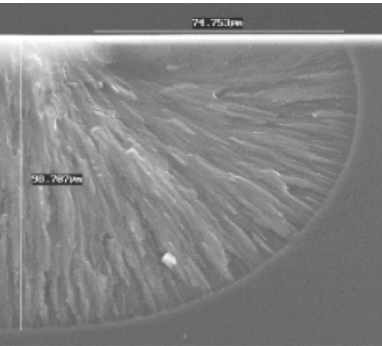
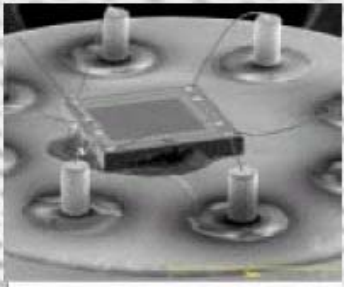
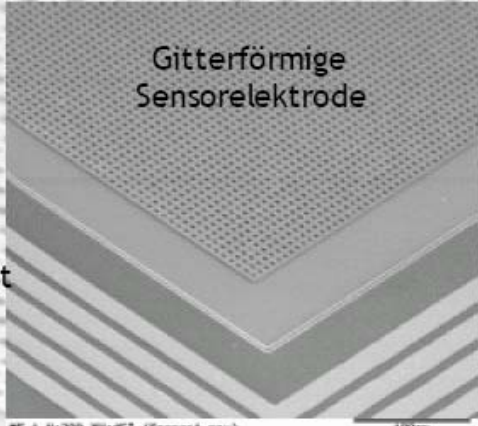
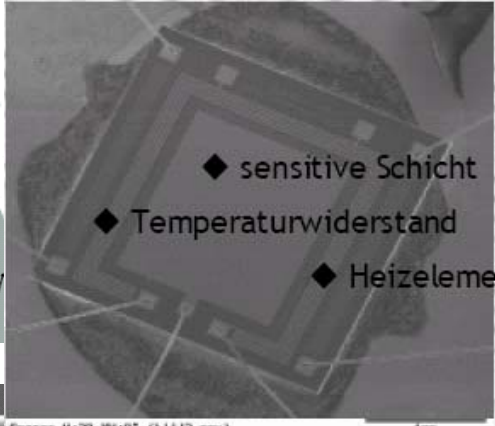
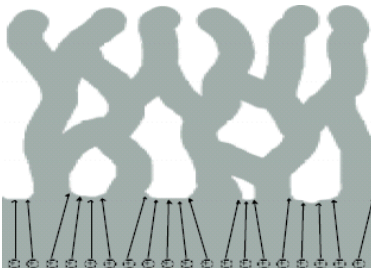
Piezoresistive Messung des Strömungswiderstands  
( geringe Empfindlichkeit / grosser Arbeitsbereich )

# Mikromechanische Gasflussmessung



- Thermisches Messprinzip
- (Schnitt durch kreisförmigen Sensor)

# Poröses Silizium als Basis für kapazitive Feuchtesensoren



Elektrochemischer Ätzprozess



## Typische Ausfallursachen

- Korrosion: Degradation von Metallen oder Metallverbindungen. Gefährlich sind Strom (galvanische Korrosion) und Verbindungen zweier verschiedener Metalle (lokale galvanische Elemente)
- Silicium Ätzen durch alkalische Lösungen
- Polymer Auflösung
- Eindringen von Feuchtigkeit, Lösungsmitteln und Treibstoff
- Bruch von Die und Wire Bonds
- Ermüdungsbruch
- Kriechen

# Systemtest

- H3TB (High humidity, high temperature with bias)
  - T= 80°C, RH = 90%, Betriebsspannung, Zeit: 1000 Stunden
  - Ausfallursachen: Drift durch Ioneneffekte, Parameter instabil, Feuchte, Korrosion
  
- Temperatur Wechseltest
  - -40°C - +125°C; Verweilzeit 15 min, Anstiegs/ Abfallzeit 5 min. 1000 Zyklen
  - Ausfallursachen: Ermüdung von Bonds (die and wire), Degradation des Gels, Rissbildung

# Systemtest

- Mechanischer Schock:
  - Beschleunigung 1500g, 3 Achsen, Zeit=0,5ms, 5 Schläge
  - Ausfallursachen: Bonds, Bruch des Gehäuses, Bruch der Membran
  - Einfachversuch: Sturz aus 1 m Höhe auf Stahl oder Beton =1000g
  
- Überlast
  - Druck erhöhen bis die Membran bricht
  - Ausfallursache: Membran, Die bond

# Systemtest

- Beschleunigte Alterung:
  - Arrhenius Ansatz für die Rate (Ereignis/Zeit).
  - Ursprung ist die chemische Kinetik. Gut für Vorgänge, die durch Diffusion oder ähnliche Prozesse limitiert werden, wie z.B. das Versagen von Mikroelektronik. Bei mechanischem Versagen zweifelhaft

$$Rate \quad R = R_0 e^{\frac{E_a}{kT}}$$

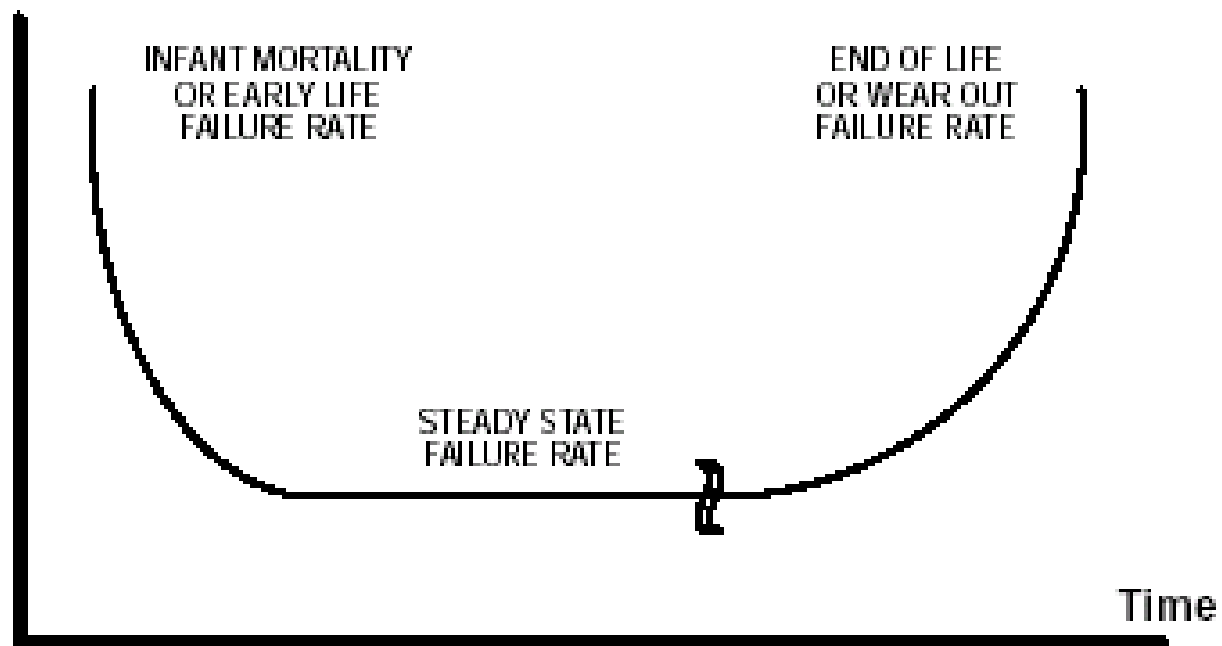
Ea: Aktivierungsenergie

k: Boltzmannkonstante

# Lifetime modelling

„Badewannenkurve für Ausfallrate vs Lebenszeit

## Product Failure Rate



# Warum integrieren?

- Vorteile integrierter Systeme
  - Viel Funktion auf wenig Raum
  - Plug and play: Normierte Kennlinie. Z.B. Drucksensor: Si. Streuung: +/- 1%. Integrierter Sensor: +/-0,1%.
  - EMV (elektromagnetische Verträglichkeit): Das kleine Sensorsignal muss nur über einen sehr kurzen Weg
  - Herstellungskosten
  - Zuverlässigkeit: Systeme fallen an Schnittstellen aus. z.B.: Gesputterte Verbindungen sind zuverlässiger als gelötete.



# Monolithische und hybride Integration

- Für hybride Integration spricht:
  - Entwicklungsaufwand geringer
  - Designfreiheit größer
  - Zwei getrennte Prozesse mit verschiedenem Generationenwechsel
  - Ausbeute: Auswahl getrennt, höhere Gesamtausbeute
- Für monolithische Integration spricht:
  - Potentiell sehr billig, aber erst bei sehr großer Stückzahl
  - Kleine Signale gehen direkt in Elektronik. Geringe parasitäre Kapazitäten
- → Monolithische Integration wird eingesetzt wenn:
  - Die Stückzahl sehr groß ist (>1 Mio/Jahr)
  - Die Kapazität der Bondpads zu groß ist (Beschleunigungssensor)
  - Die Signale nur durch Multiplexen übertragen werden können, da zu viele Bondpads nötig wären (Multimirror Device)
  - Das System extrem klein sein muss

## Fragen Mikromechanik

- Welche mikromechanische Sensoren kennst du ?
- Welche unterschiedliche Fertigungsvarianten kennst du ?
- Welche Fertigungsvarianten kommen wann zum Einsatz ?
- Welche Ausleseprinzipien kennst du ?
- Welche Vor- und Nachteile haben sie ?