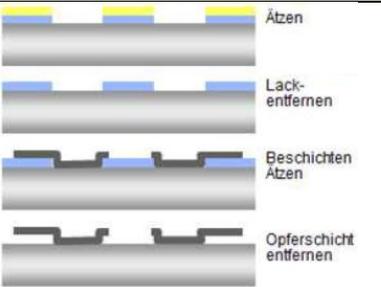
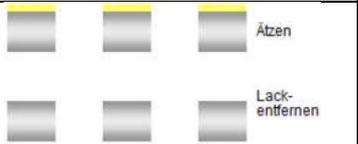


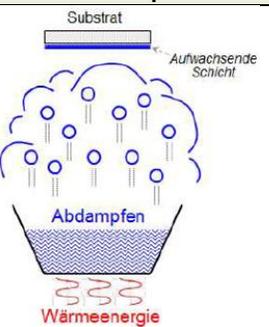
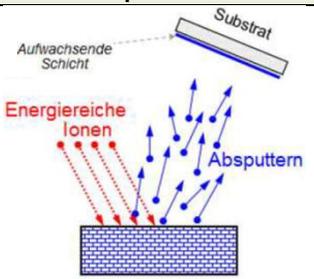
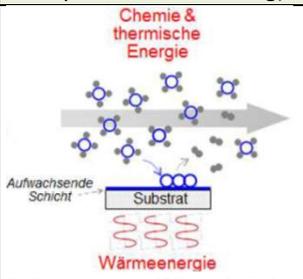
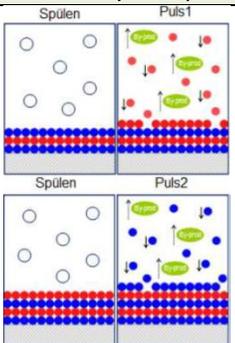
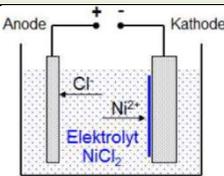
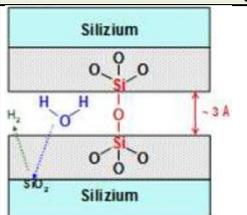
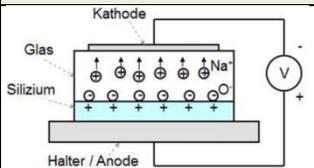
# MIKROSYSTEMTECHNIK (MST)

| Einführung  |  |  |   |         |           |   |   |
|---|--|--|---|---------|-----------|---|---|
| <b>Auflösungen</b>  | Auge – Lichtmikroskop – Elektronenmikroskop – Rastermikroskop. kleinere Strukturen-> kürzeren Wellenlängen |  | <table border="1"> <tr> <th>isotrop</th> <th>anisotrop</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table> | isotrop | anisotrop |  |  |
| isotrop   | anisotrop  |  |   |         |           |   |   |
|  |                         |  |   |         |           |   |   |
| <b>MEMS</b>   | Micro Electro Mechanical Systems   |  |   |         |           |   |   |
| <b>Ziel</b>   | Integration elektrischer und nicht-elektrischer Funktionen   |  |   |         |           |   |   |
| <b>Vorteile</b>   | Leistungsfähigkeit, Kostenreduktion, Zuverlässigkeit, Größen-/Gewichts-/reduktion und Funktionserweiterung |  |   |         |           |   |   |

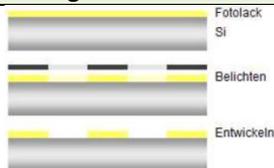
## Fertigungsprozesse

| Einteilung  |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
| Oberflächen-Mikromechanik<br>(Surface Mikromachining)<br>Struktur auf dem Silizium  | Volumen-Mikromechanik<br>(Bulk Mikromachining)<br>Struktur im Silizium  | LIGA, Spritzguss<br>(Lithographie, Galvanoformung, Abformung)<br>Struktur ohne Silizium   | Packaging: Aufbau- und Verbindungstechnik  | Mechanische Mikrobearbeitung  |
|  <p>Drucksensor, CMOS Prozess<br/>Günstige Massenfertigung</p> |  <p>Günstige Massenfertigung</p> |  <p>Mikrozahnräder, Mikrogetriebe<br/><b>Abformung</b><br/>Galvanisieren, Lack entfernen, Ablösen</p> | <p>Einhausung eines Chips<br/>Ankopplung an die Aussenwelt</p> <p><b>Dickschichttechnik</b><br/>Siebdruck<br/>Trocknen<br/>Brennen (Sintern)</p> | <p><b>Spanende Mikrobearbeitung</b><br/>Bohren, Fräsen, Drehen, Sägen, Schleifen</p> <p><b>Funkenerosion</b><br/>Senkerodieren, Drahterodieren</p> <p><b>Laserschneiden/-bohren</b><br/><b>Spritzgiessen</b></p> <p>Prägen, Polieren, Läppen, Ultraschallbohren</p> |

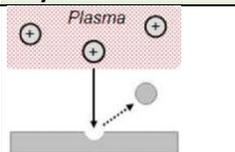
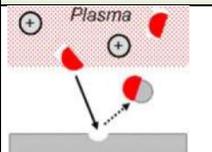
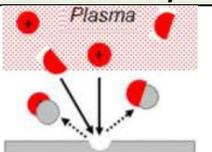
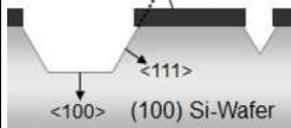
## Materialaufbau "Beschichtung"

| PVD (physikalische Gasabscheidung)  |   | CVD (chemische Gasphasenabscheidung)   | ALD (Spezialfall d. CVD)<br>Atomic Layer Deposition  | Galvanik  | Wafer-Bonding   |   |
|---|---|--|--|---|---|---|
| Verdampfen  | Sputtern  |  |  |   | Silicon Fusion Bonding  | Anodisches Bonden   |
|  <p>vergl. Wasserdampf</p> |  <p>Plasma wird erzeugt<br/>vergleiche Sandstrahlen<br/>Plasma = ionisiertes Gas</p> |  <p>Präkursorgas (Silan <math>SiH_4</math>)<br/>diffusions- oder /reaktionslimitiert</p> |  <p>sehr kontrolliert<br/>geringe Wachstumsrate</p> |  <p>neutralisierte Atome<br/>-&gt;Oberfläche</p> |  <p>Kovalente Bindungen<br/>verbinden von Siliziumwafern<br/>müssen planar und partikelfrei sein</p> |  <p>Silizium + Glas<br/>durch Spannung + Wärme<br/>müssen planar und partikelfrei sein</p> |

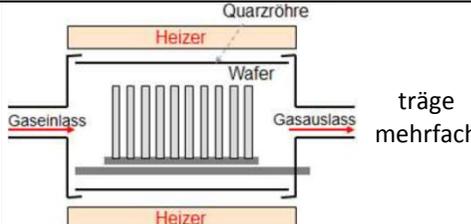
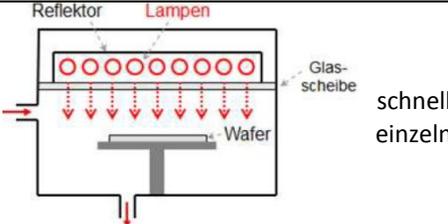
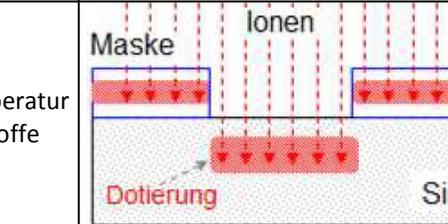
**Maskierung "Lithografie"**

| Fotolithografie   |  | Belichtung            |                   |           |
|---|--|-----------------------|-------------------|-----------|
|  | Coating: Beschichtung mit Fotolack durch Aufschleudern<br>Expose: Belichtung<br>positiv: Belichteter Bereich entfernen<br>negativ: Belichteter Bereich belassen<br>Development: Entwickeln | Schattenbelichtung    | Kontaktbelichtung |           |
|   |  |                       | Abstandbelichtung |           |
|   |  | Projektionsbelichtung |                   |           |
|   |  | direkt auf dem Wafer  | (1:1)             | < 1µm     |
|   |  | kein direkter Kontakt | (1:1)             | wenige µm |
|   |  | optische Projektion   | (4:1)             | grösser   |

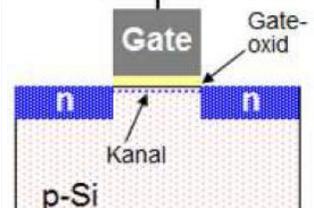
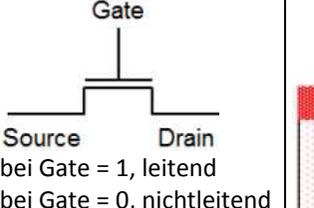
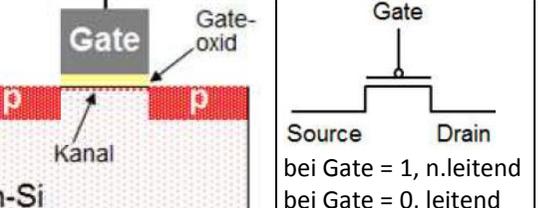
**Materialabtrag "Ätzen"**

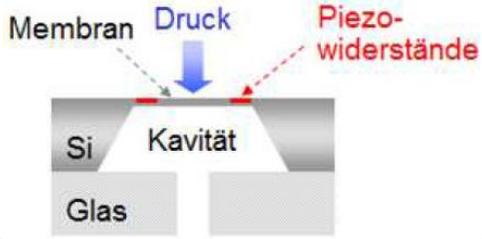
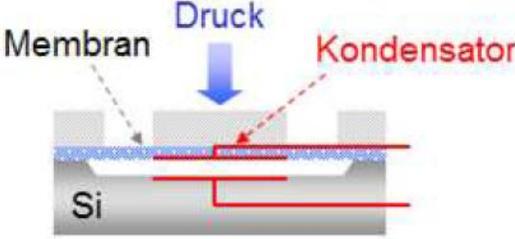
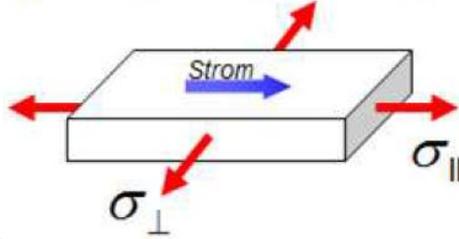
| Trockenätzen   |   | Nassätzen   |   | Chemisch-Mechanisch Planarisieren (CMP)   |
|--|---|---|---|---|
| Physikalisches Ätzen   | Chemisches Ätzen  | Anisotropes Ätzen   | Isotropes Ätzen   |   |
|  |  |  |  |    |
| Sputtern, Ionenätzen   | Plasmaätzen (Radikale)  | Reaktives Ionenätzen (RIE) flexibel, vielseitig                                   | zweistufig Ätzen-Abscheiden   | SiO <sub>2</sub> mit Flusssäure (HF)<br>Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> mit Phosphorsäure<br>Aluminium mit Wasser, Phosphor-/Salpetersäure |
| Grabenbildung<br>abgeschrägte Wand   | Isotrop   | anisotrop, einstellbar<br>häufig angewendet                                       | tieferer Strukturen<br>Seitenwand   | Schleifmittel Slurry  |
|  |   |   | 50-70°C<br>stark richtungsabhängig  |   |

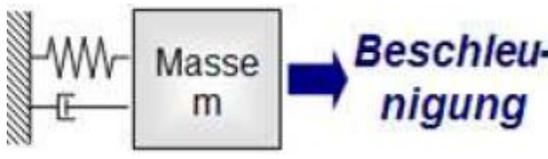
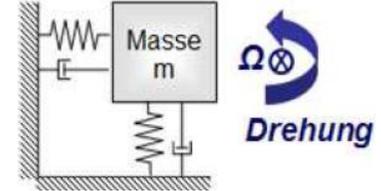
**Materialumwandlung**

| Tempern   |   | Dotieren   |  |
|---|---|--|--|
| Ofen  | RTA   | Diffusion  | Implantation   |
|  |  |  |  |
| träge<br>mehrfach   | schnell<br>einzeln  | hohe Temperatur<br>Dotierstoffe  | Raumtemp.<br>Beschuss<br>elektr. Feld  |
| mittels Anneal (Temperung)  |   | Maskierung -> Beschränkung   |  |

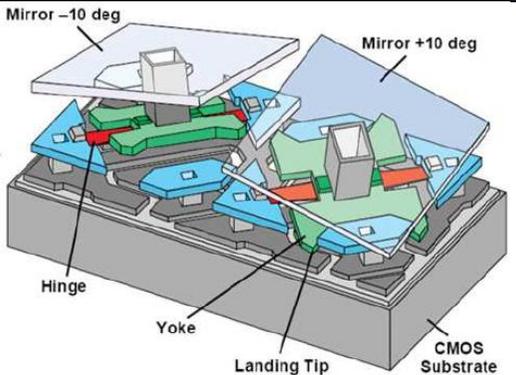
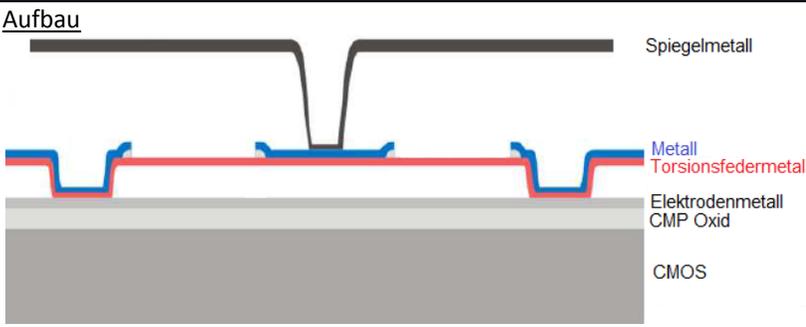
**Mikroelektronik (MOS-Transistor (Feldeffekttransistoren FET))**

| NMOS   | PMOS  | Querschnitt  | Herstellung CMOS   |
|--|---|--|--|
|  |  |  | CVD + RIE[Gate] + n-Dot<br>CVD[Oxid] + RIE[Wand] + n-Dot<br>PVD – Ti Schicht<br>Tempern<br>CMP |
| Source<br>Drain<br>bei Gate = 1, leitend<br>bei Gate = 0, nichtleitend             | Source<br>Drain<br>bei Gate = 1, n.leitend<br>bei Gate = 0, leitend                 | Elektronenstrom durch Kanal  |  |

| Drucksensoren  |  | Piezoresistiver Effekt   | Typen   |                      |                           |       |                   |                  |             |
|--|--|--|---|----------------------|---------------------------|-------|-------------------|------------------|-------------|
| <p><b>Piezoresistiver Sensor</b><br/>Volumen-Mikromechanik</p>  <p>Membran <b>Druck</b> Piezo-widerstände<br/>Si Kavität<br/>Glas</p> | <p><b>Kapazitiver Sensor</b><br/>Oberflächen-Mikromechanik</p>  <p>Membran <b>Druck</b> Kondensator<br/>Si</p> | <p>Verspannung -&gt; Änderung der Leitfähigkeit</p>  <p>Strom <math>\sigma_{\perp}</math> <math>\sigma_{\parallel}</math></p> | <table border="1"> <tr> <th>n - Typ</th> <th>p - Typ</th> </tr> <tr> <td>100</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>KOH inkompatibel</td> <td>-&gt; Standard</td> </tr> </table>  | n - Typ              | p - Typ                   | 100   | 110               | KOH inkompatibel | -> Standard |
| n - Typ  | p - Typ  |  |   |                      |                           |       |                   |                  |             |
| 100  | 110  |  |   |                      |                           |       |                   |                  |             |
| KOH inkompatibel   | -> Standard  |  |   |                      |                           |       |                   |                  |             |
| <p>Kavität durch RIE<br/>Piezowiderstände auf der Oberseite der Membran<br/>Piezoresistiver Effekt -&gt; richtungsabhängig</p>   | <p>Opferschicht aus Oxid</p>   | $\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta R}{R} = \pi_{\parallel} * \sigma_{\parallel} + \pi_{\perp} * \sigma_{\perp}$ <p><math>\parallel = \text{longitudinal}</math><br/><math>\perp = \text{transversal}</math></p>  | <table border="1"> <tr> <td><math>\frac{\Delta R}{R}</math></td> <td>prop. Widerstandsänderung</td> </tr> <tr> <td><math>\pi</math></td> <td>Materialkonstante</td> </tr> <tr> <td><math>\sigma</math></td> <td>Zugspannung</td> </tr> </table> | $\frac{\Delta R}{R}$ | prop. Widerstandsänderung | $\pi$ | Materialkonstante | $\sigma$         | Zugspannung |
| $\frac{\Delta R}{R}$   | prop. Widerstandsänderung  |  |   |                      |                           |       |                   |                  |             |
| $\pi$  | Materialkonstante  |  |   |                      |                           |       |                   |                  |             |
| $\sigma$   | Zugspannung  |  |   |                      |                           |       |                   |                  |             |

| Beschleunigungs- und Drehratensensoren   |  | Beschleunigungssensor   | Drehratensensor (Gyroskope)   |
|--|--|---|---|
|  <p>Masse m <b>Beschleunigung</b></p> | <p>gedämpfter harmonischer Oszillator (PT2)<br/>kapazitive (Standard), piezoresistive Wandler</p> <p>Volumen: Si-Masse an Federbalken<br/>Planar: Sensormasse mit Fingerstrukturen</p> |  <p>Masse m <b>Drehung</b></p> | <p>zwei gekoppelte PT2-Elemente<br/>Kopplung der Oszillatoren durch Corioliskr.<br/>Corioliskraft = senkrecht auf zur Bewegung<br/>Oberflächen und Volumentechnologie</p> |

**differentieller Kondensator:** Auslenkung proportional zur Spannung.  
**Ankerpunkte:** - meist etwas vertieft, da dort das Subtrat bis an den Boden geht.

| Mikrospiegel - Digital Micromirror Device (DMD)  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  <p>Mirror -10 deg<br/>Mirror +10 deg<br/>Hinge<br/>Yoke<br/>Landing Tip<br/>CMOS Substrate</p> | <p><u>Eigenschaften</u><br/>Elektrostatische,<br/>digitale Ansteuerung<br/>2 Schaltstellungen<br/>Jeder Spiegel ist ein Pixel<br/>Grauskala über PWM<br/>Sequentielle Farbmischung<br/>über Farbrad</p> | <p><u>Aufbau</u></p>  <p>Spiegelmetall<br/>Metall<br/>Torsionsfedermetall<br/>Elektrodenmetall<br/>CMP Oxid<br/>CMOS</p> | <p><u>Herstellung</u><br/>drei Metallebenen<br/>6 Fotomasken</p> <p>CMP -&gt; optische Qualität<br/>CMOS -&gt; SRAM-Speicher</p> <p>Pasmaveraschung der Opferschichten</p> |