





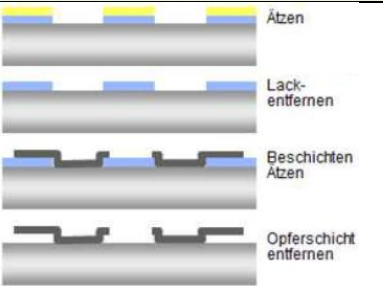
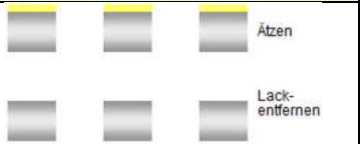
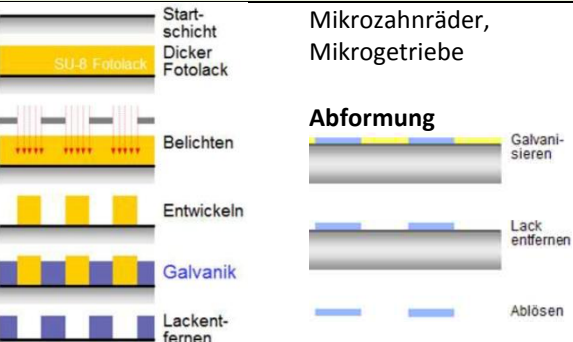


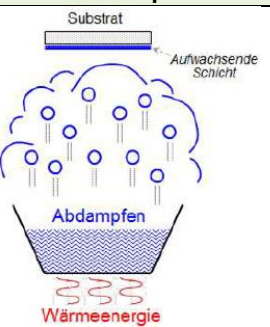
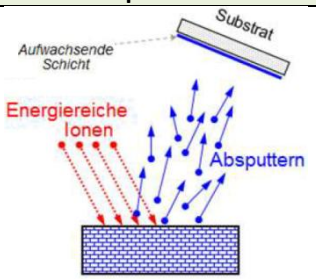
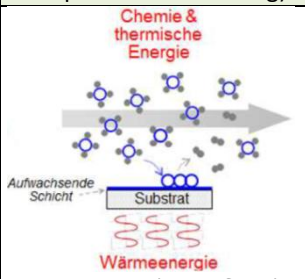
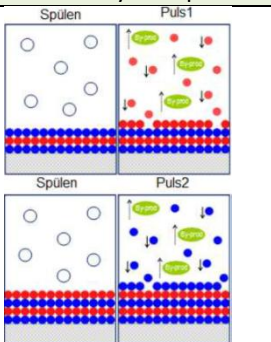
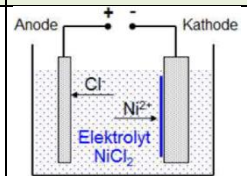
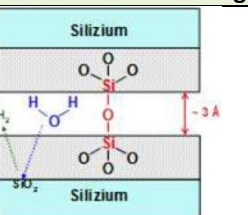
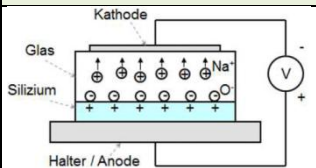
MIKROSYSTEMTECHNIK (MST)

Einführung							
Auflösungen	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						
							
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems						
Ziel	Integration elektrischer und nicht-elektrischer Funktionen						
Vorteile	Leistungsfähigkeit, Kostenreduktion, Zuverlässigkeit, Größen-/Gewichts-/reduktion und Funktionserweiterung						

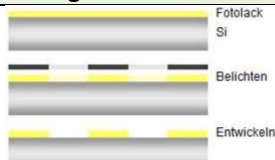
Fertigungsprozesse

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

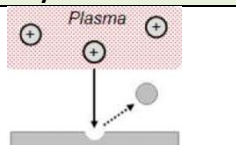
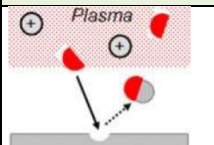
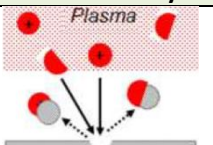
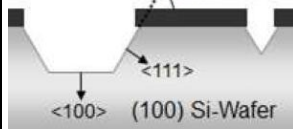

Materialaufbau "Beschichtung"

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

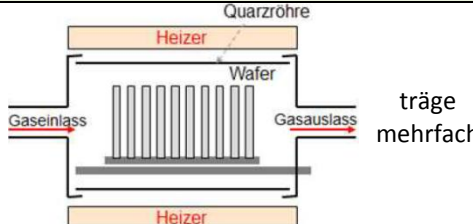
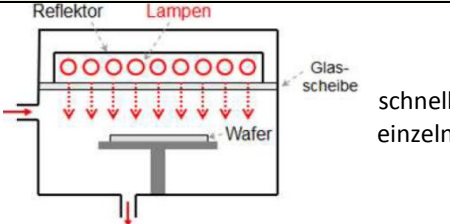

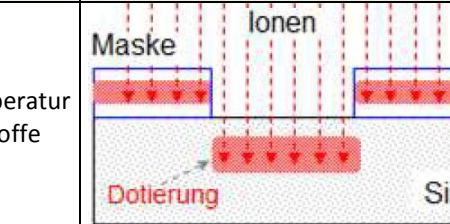
Maskierung "Lithografie"

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

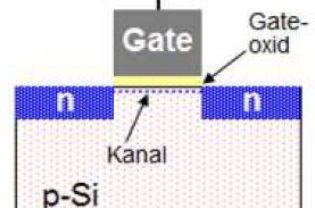
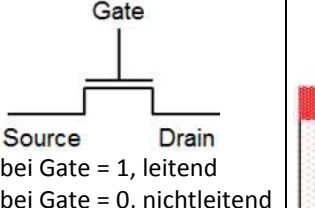
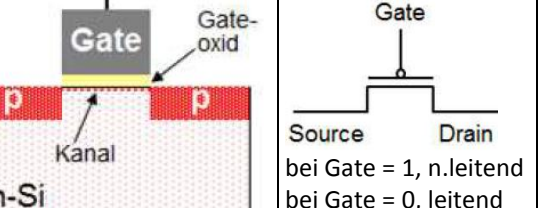
Materialabtrag "Ätzen"

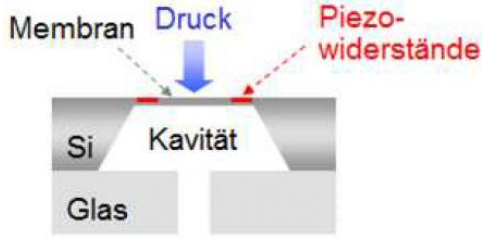
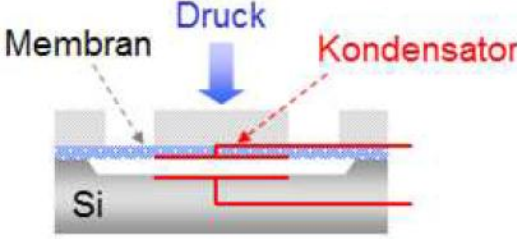
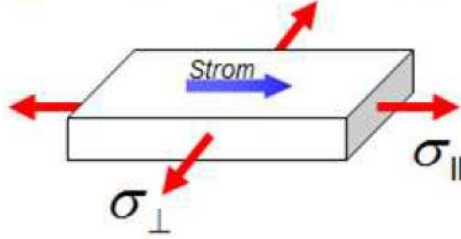
Trockenätzen		Nassätzen		Chemisch-Mechanisch Planarisieren (CMP)
Physikalisches Ätzen	Chemisches Ätzen	Anisotropes Ätzen	Isotropes Ätzen	
				
Sputtern, Ionenätzen	Plasmaätzen (Radikale)	Reaktives Ionenätzen (RIE) flexibel, vielseitig	zweistufig Ätzen-Abscheiden	Ätzen von SiO ₂ mit Flusssäure (HF) Si ₃ N ₄ mit Phosphorsäure Aluminium mit Wasser, Phosphor-/Salpetersäure
Grabenbildung abgeschrägte Wand	Isotrop	anisotrop, einstellbar häufig angewendet	tieferen Strukturen Seitenwand	Schleifmittel Slurry

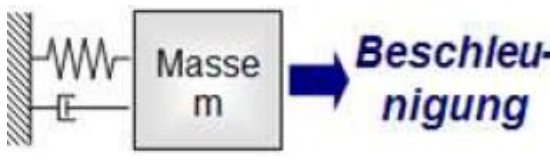
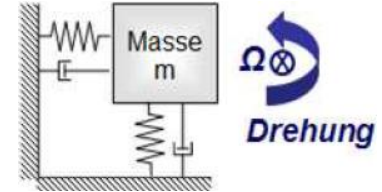
Materialumwandlung

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

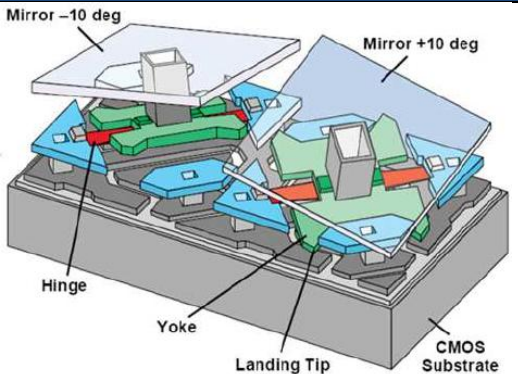
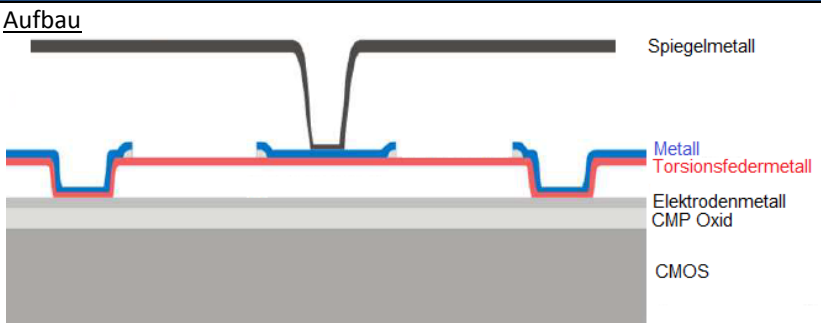
Mikroelektronik (MOS-Transistor (Feldeffekttransistoren FET))

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

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

Beschleunigungs- und Drehratensensoren		Beschleunigungssensor	Drehratensensor (Gyroskope)
 <p>Masse m Beschleunigung</p>	<p>gedämpfter harmonischer Oszillator (PT2) kapazitive (Standard), piezoresistive Wandler</p> <p>Volumen: Si-Masse an Federbalken Planar: Sensormasse mit Fingerstrukturen</p>	 <p>Masse m Drehung</p>	<p>zwei gekoppelte PT2-Elemente Kopplung der Oszillatoren durch Corioliskr. Corioliskraft = senkrecht auf zur Bewegung 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 Mirror +10 deg Hinge Yoke Landing Tip CMOS Substrate</p>	<p><u>Eigenschaften</u> Elektrostatische, digitale Ansteuerung 2 Schaltstellungen Jeder Spiegel ist ein Pixel Grauskala über PWM Sequentielle Farbmischung über Farbrad</p>	<p><u>Aufbau</u></p>  <p>Spiegelmetall Metall Torsionsfedermetall Elektrodenmetall CMP Oxid CMOS</p>	<p><u>Herstellung</u> drei Metallebenen 6 Fotomasken</p> <p>CMP -> optische Qualität CMOS -> SRAM-Speicher</p> <p>Pasmaveraschung der Opferschichten</p>