

RUB

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

# Fachlabor – Versuch „Photolithographie“

# Bedarf Reinraumtechnologie

Ein **Reinraum** ist ein Raum, in dem die Konzentration luftgetragener Teilchen so gering wie nötig gehalten wird.

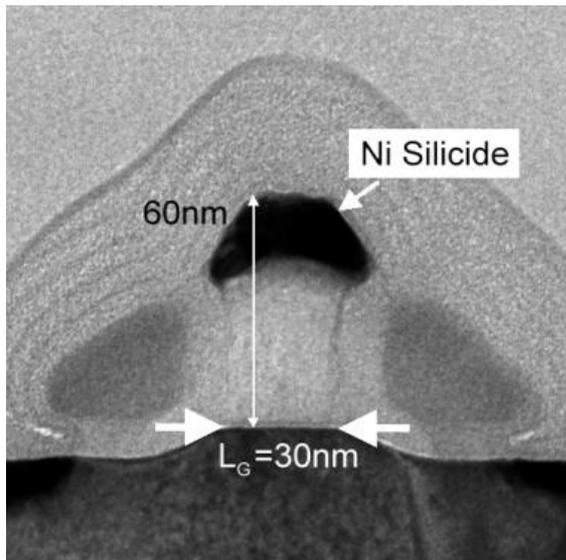
- Reduzierung des Partikelgehaltes der Umgebungsluft durch entsprechende Filter
- Verwendung partikelarmer bzw. partikelreduzierter Materialien, Medien und Prozessanlagen



**Partikel, die größer sind als 1/10 der minimalen Strukturabmessungen, können zu einem Ausfall der Bauelemente führen.**

# Reinraum - Kontamination

Transistor: < 100 nm



Staub: ca. 10  $\mu\text{m}$



⇒ Faktor 100 !

## Wesentliche Parameter für Reinräume

- Partikelzahl pro Volumen
- physikalische Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftströmung, Strömungsform, Geschwindigkeit, Gebäudevibrationen)

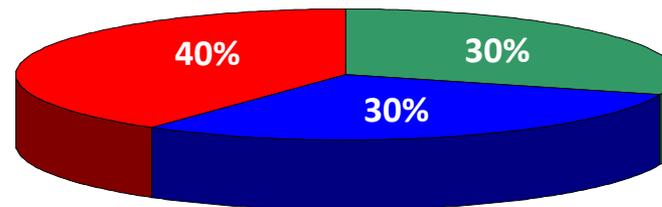
Partikelemissionen bei verschiedenen Bewegungen

Bewegungsart	Emission von Partikeln ( $d_p > 0.5 \mu\text{m}$ ) pro Minute	
	in Straßenkleidung	einteilige Schutzkleidung mit Kopf-, Mund- und Nasenbedeckung
Sitzen ohne Bewegung	$3 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^3$
Kopfbewegung	$6 \cdot 10^5$	$10^4$
Bewegung des Körpers	$10^6$	$3 \cdot 10^4$
langsames Gehen	$3 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^4$
schnelles Gehen	$6 \cdot 10^6$	$10^5$

Kontaminationsquellen

Prozessanlagen

verwendete Medien



Reinraumpersonal

1 Kubikfuß normale Luft (28,3 Liter) enthält ca. 1 Mio. Schmutzpartikel.



# Reinraumklassen

Üblich ist die Kennzeichnung der Reinraumklasse über die maximal zulässige Anzahl von Partikeln (einer best. Größe) pro Volumen.

Reinraumklassen nach ISO 14644-1			
Klasse	Partikel je m <sup>3</sup> ;		
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm
ISO 1	10	2	
ISO 2	100	24	10
ISO 3	1.000	237	102
ISO 4	10.000	2.370	1.020
ISO 5	100.000	23.700	10.200
ISO 6	1.000.000	237.000	102.000

ISO EN 14644

US Federal Standard 209 (veraltet)

Klasse	Klasse
ISO 1	-
ISO 2	-
ISO 3	1
ISO 4	10
ISO 5	100
ISO 6	1.000
ISO 7	10.000
ISO 8	100.000
ISO 9	-

ISO 4 → max. 10.000 (=10<sup>4</sup>) Partikel (> 0,1µm) pro m<sup>3</sup>

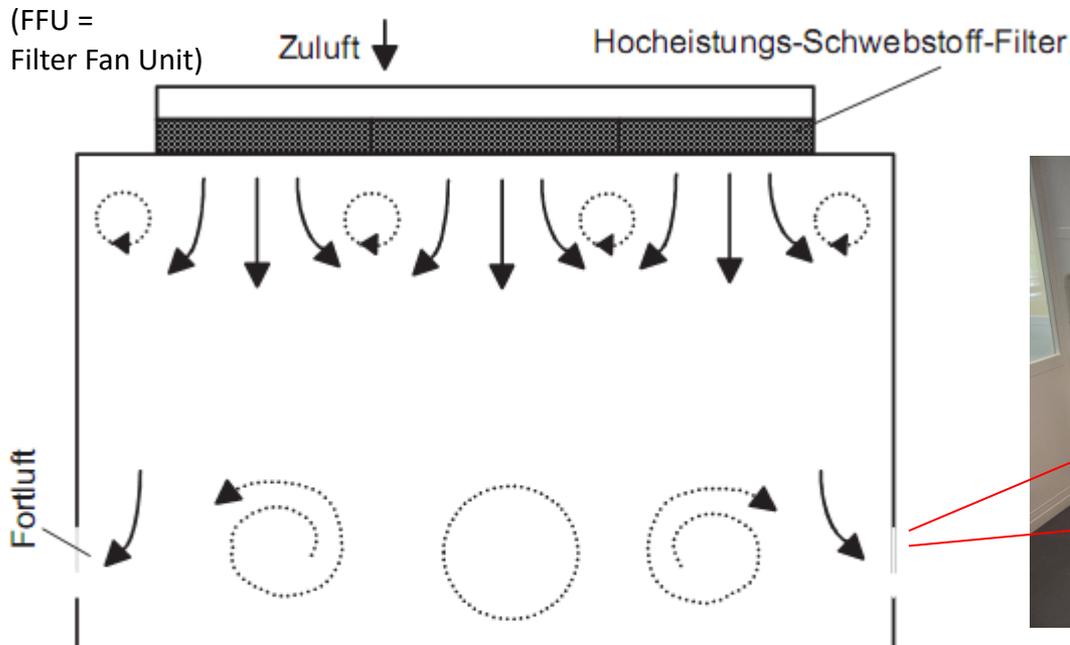
Klasse 1000 → max. 1.000 Partikel (> 0,5µm) pro ft<sup>3</sup>

# Lufttechnische Aufbereitung

## 1. Turbulente Mischlüftung

gefilterte Zuluft wird intensiv mit der Raumluft vermischt

- Verdünnungseffekt
- Abnahme der Partikeldichte

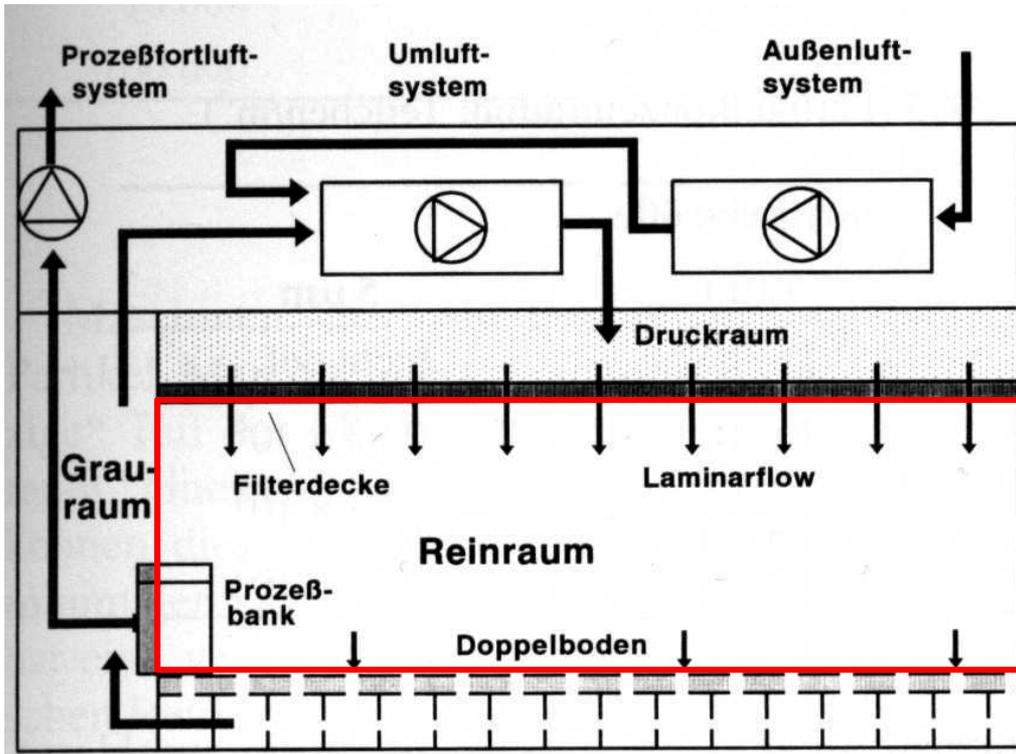


Überströmgitter

# Lufttechnische Aufbereitung

## 2. Turbulenzarme Verdrängungsströmung (Laminar Flow), für Reinheitsklassen ISO <= 5

Luft strömt laminar senkrecht durch den Reinraum (ca. 0.45 m/s). Dabei werden Schmutzpartikel entlang der Stromlinien abtransportiert. Anschließend wird sie durch einen gelochten Bodenbelag gedrückt und in Luftführungs Kanälen zurück in den Aufbereitungsraum oberhalb der Filterdecke transportiert.

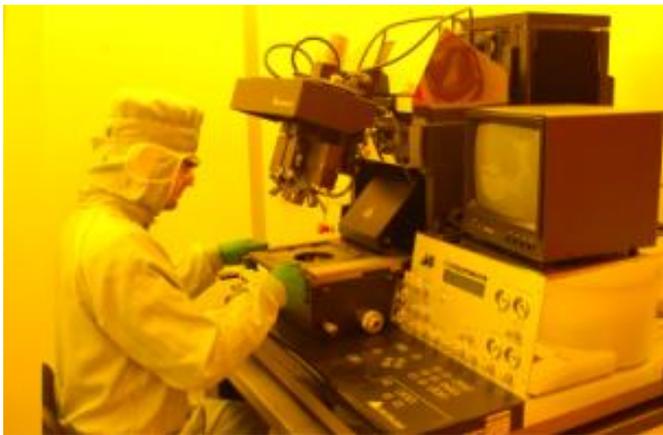
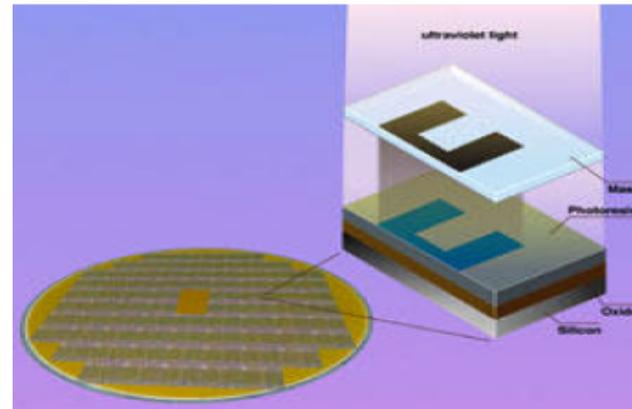


Doppelboden



# Einleitung Photolithographie

- Schlüsseltechnologie für Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Strukturierung durch Licht
- großflächige Belichtung
- Auflösung ca. 1  $\mu\text{m}$

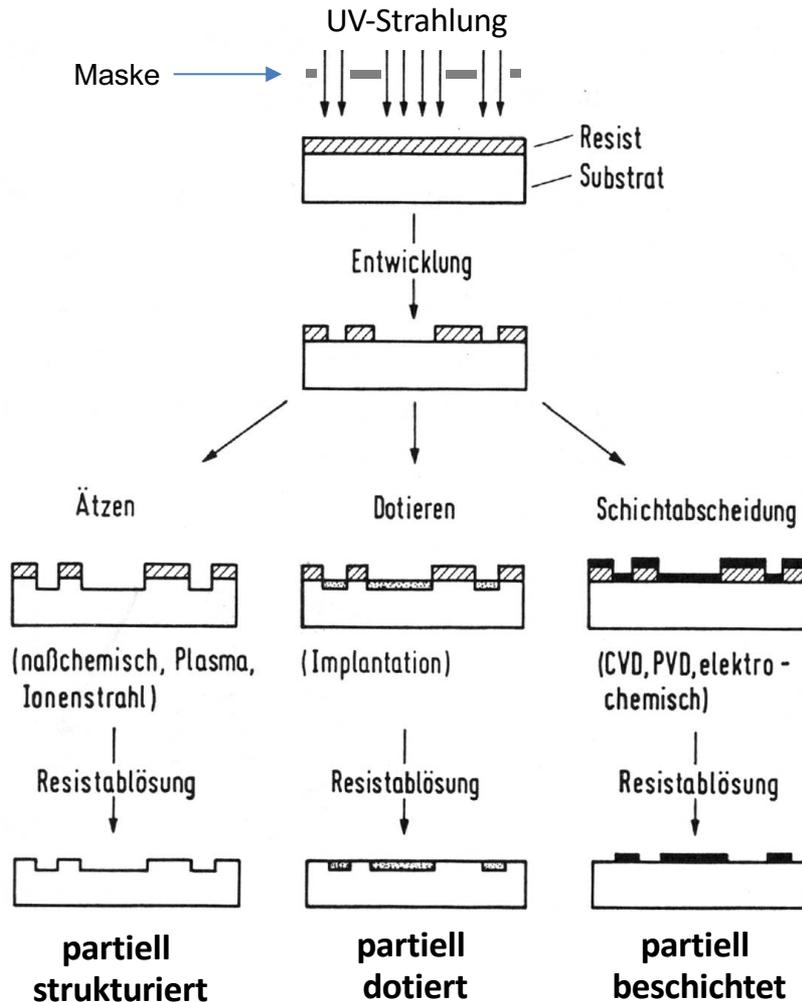


Gelblicht-Umgebung in der Photolithographie im RR

## Erforderliche Reinraumklassen für verschiedene Prozessschritte in der Mikrosystemtechnik

Prozessschritt	Reinraumklasse
<b>Photolithographie</b>	<b>10.....100</b>
Abscheideprozesse	100.....1000
Nass-chemische Prozesse (Ätzen, Reinigen)	100.....1000
Plasmaprozesse (Ätzen, Plasmaätzen)	1000...10000
Analytik und Messmittel	1000...10000
Servicebereich (Medienversorgung, Vakuumpumpen, elektronische Ausstattung, Abgasentsorgung)	1000...10000

# Erzeugung von Mikrostrukturen durch Photolithographie und weitere Prozessschritte



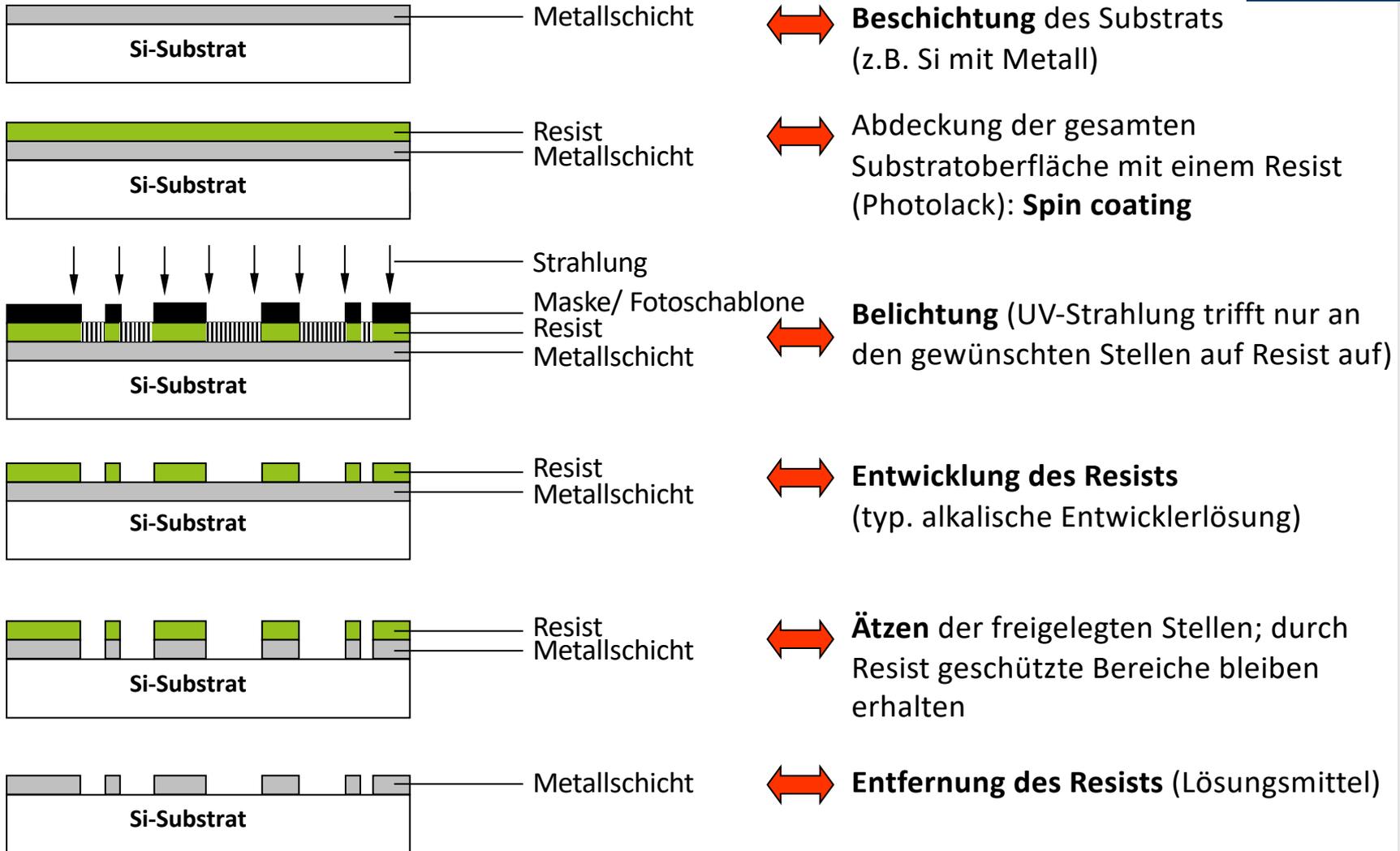
Resist muss gegenüber dem Strukturübertragungsprozess widerstandsfähig (resistent) sein.  
 $T_{\text{Prozess}} < 200^{\circ}\text{C}$  (Polymer)

# Verfahrensablauf der Photolithographie

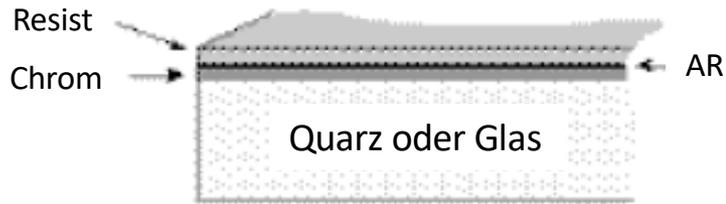
- Substratvorbereitung (priming)
- Resistaufbringung (Spin Coating)
- „Softbake“
- Belichtung
- „Hardbake“ (oder „Post-exposure bake“)
- Entwicklung
- „Final bake“
- Strukturübertragung
- Entfernung unbenötigten Resists („stripping“)

# Ablauf eines Photolithographieprozesses

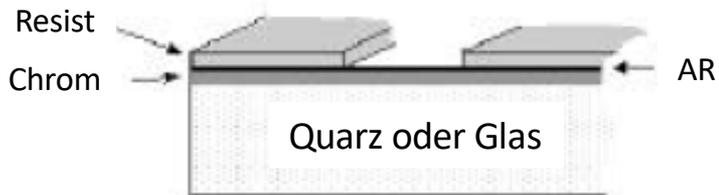
(mit anschließendem Ätzprozess)



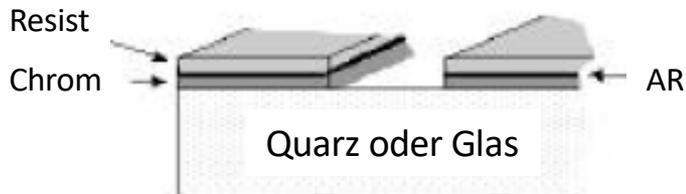
# Masken für die Photolithographie



BLANK



After Exposure and Development



After Etch



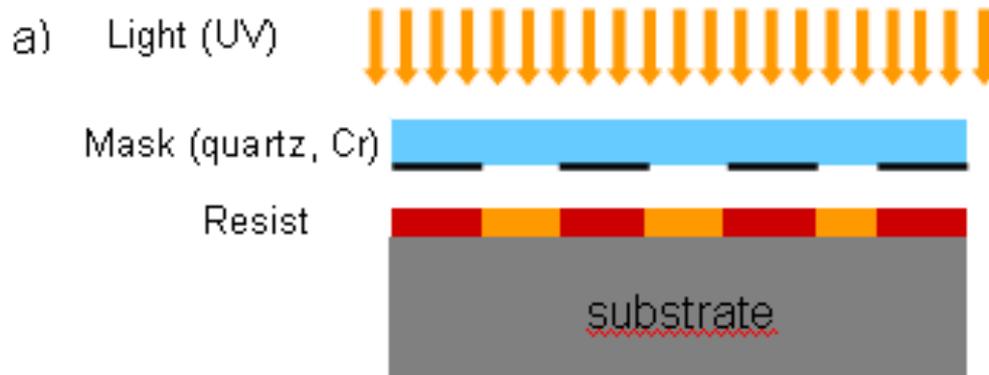
Resist Removed

Masken für die Photolithographie sind Platten aus **Quarz** oder **Glas** mit einer **Chrombeschichtung** die selektiv mittels Elektronenstrahlschreiben oder Laserbelichtung (geringere Auflösung) strukturiert werden.

Die Cr-Schicht ist mit einer Antireflexionsschicht (**AR**) und einer Photoresistlage beschichtet. Das Substrat mit diesen Schichten wird auch als „**Blank**“ bezeichnet.

# Photolithographie: Resisttypen

Resist = Photoresist = Photolack  
= lichtempfindliches Polymer



Belichtung



Positiver Photolack

positive Resists:  
belichtete Flächen werden entfernt



Negativer Photolack

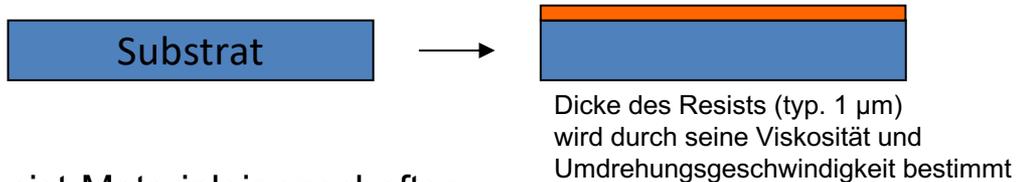
negative Resists:  
belichtete Flächen werden unlöslich  
(bleiben stehen)

Entwicklung

# Herstellung von Resistschichten: Spin-Coating

**Resist (Photolack):** widerstandsfähiges, photostrukturierbares, mehrkomponentiges Polymer-System bestehend aus schichtbildendem Polymer, Lösungsmittel und photoempfindlicher Komponente (DNQ)

**Photolack (Resist)** wird auf ein Substrat (z.B. Si-Wafer) aufgeschleudert



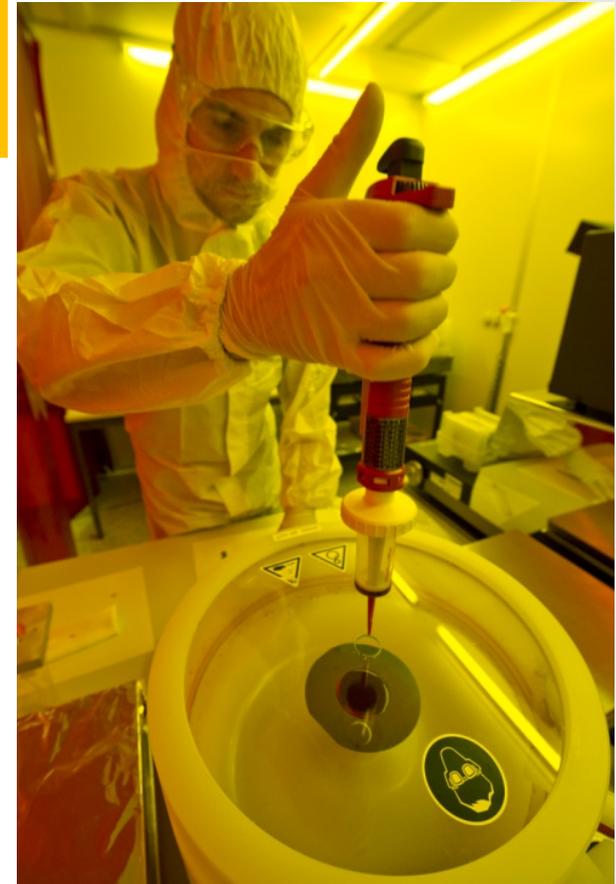
Resist-Materialeigenschaften

Molekulargewicht, Viskosität, Dampfdruck

Prozessparameter

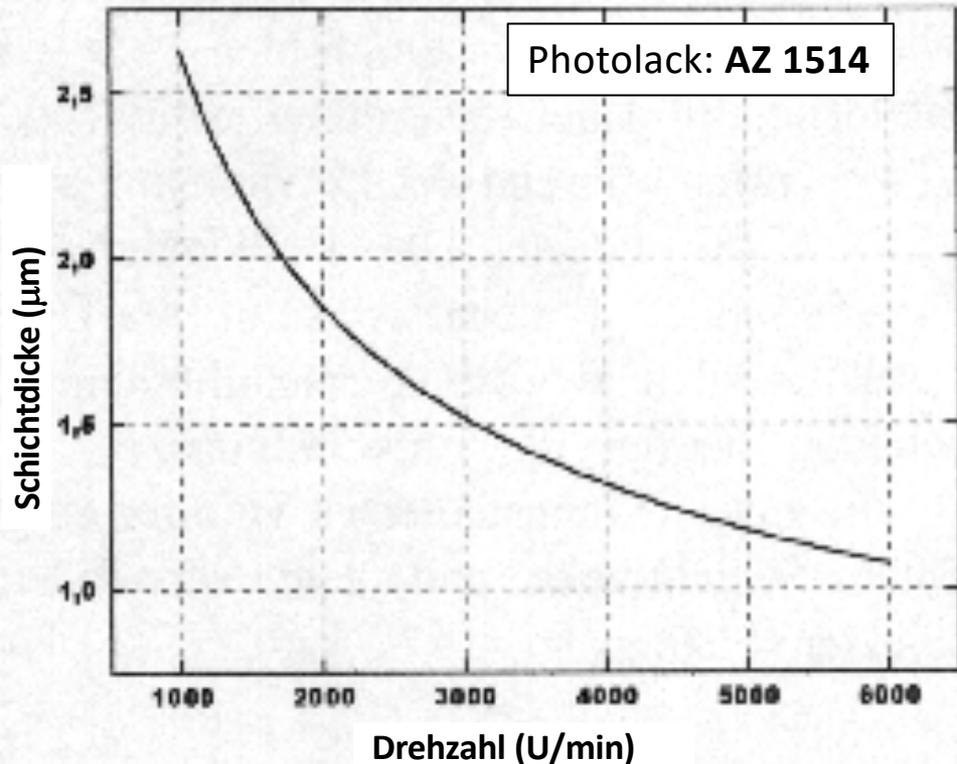
Geschwindigkeit, Beschleunigung, Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit

Lösungsmittel: z.B. **PGMEA** (*2-Methoxy-1-methylethylacetat*), mit 55-85 % Hauptbestandteil



Manuelle Lackaufbringung (z.B. 2 ml für 4-Zoll Wafer)

# Spin Coating: Schleuderkurven



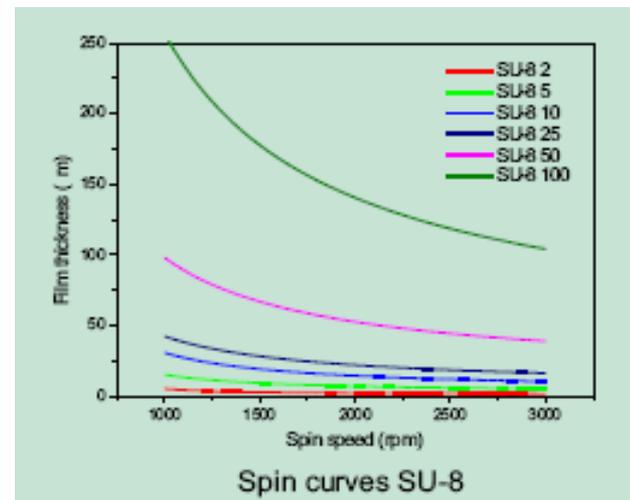
Die **Dicke  $d$**  des Resists (typ. einige  $\mu\text{m}$ ) wird durch seine Viskosität (**Verhältnis Feststoffgehalt  $S$  zu Lösungsmittel**) und die **Umdrehungsgeschwindigkeit  $u$**  (typ. 1000 bis 6000 U/min) bestimmt. Zentrifugalkraft  $\leftrightarrow$  Verdampfungsrate

$$d \propto S^2 / \sqrt{u}$$

Schleuderzeit: typ. 30-40 s

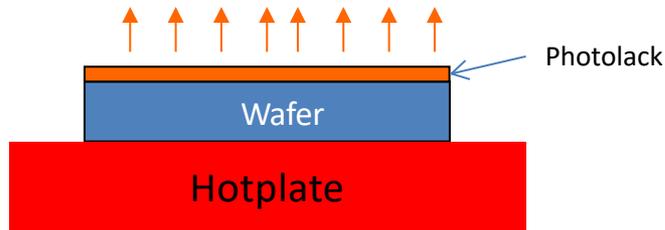
Sobald das Lösungsmittel verdampft ist, endet die Ausdünnung durch Zentrifugalkraft

Dicke Resistschichten (z.B. 30  $\mu\text{m}$ ): durch kurzzeitiges Aufschleudern bei niedrigen Umdrehungszahlen



# Herstellung von Resistschichten: „Soft bake“

Prozessschritt nach dem “spin coating”,  
Reduzierung der Lösungsmittelkonzentration



- Lösungsmittelkonzentration:  
von 65-85% zu 10-20%
- Vermeidung des Klebens an der Maske
- Unzureichendes Softbake kann zu  
Blasenbildung oder Spannungsrissen führen

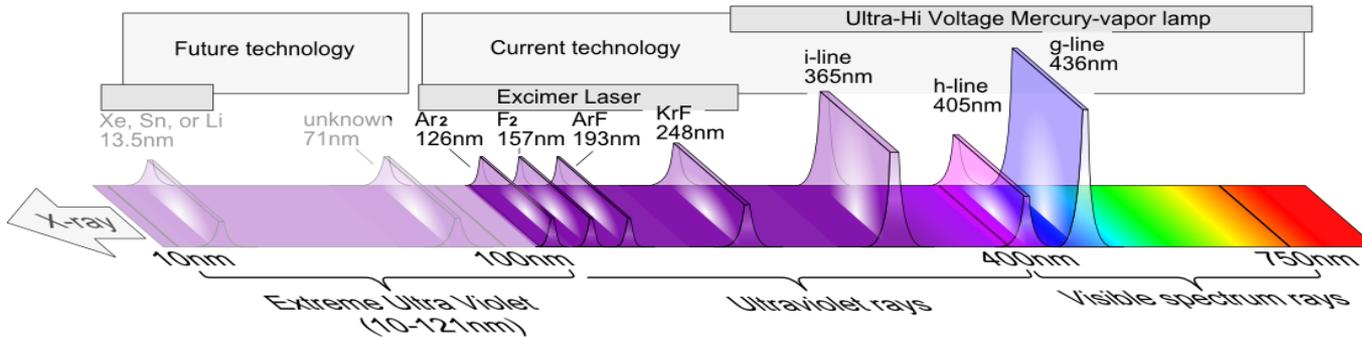
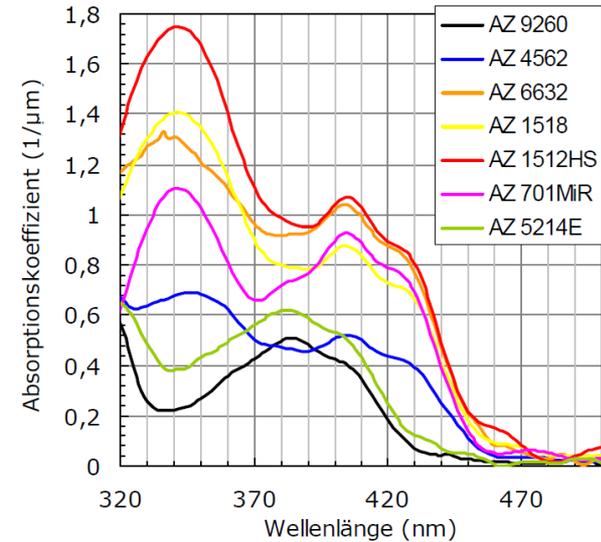


- typische Hotplate Temperaturen:  
90 – 110°C
- Prozesszeit hängt von der Schicht-  
dicke ab (60 s – 10 min)

# Belichtung von Resistschichten

Die Empfindlichkeit von Resists liegt üblicherweise im UV-Bereich und nimmt für den langwelligen Teil des Lichts stark ab.

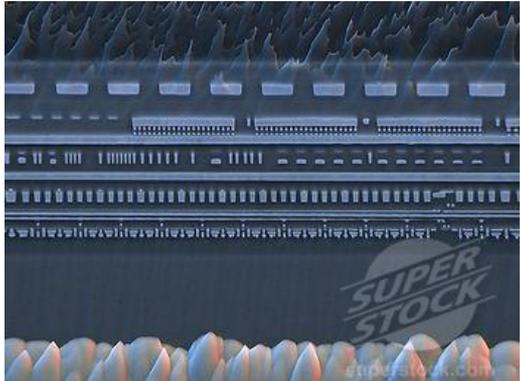
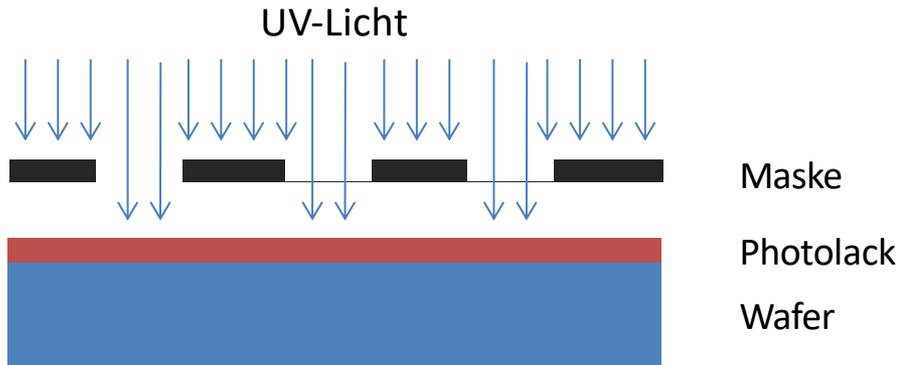
Daher kann man Resist im Gelblicht handhaben, ohne ihn ungewollt zu belichten.



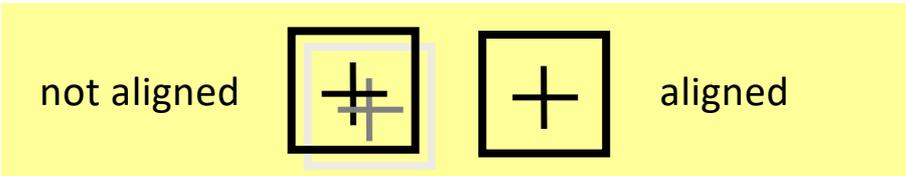
- Quecksilber-Bogen-Lampe**
- i-Linie (365 nm)
  - h-Linie (405 nm)
  - g-Linie (436 nm)

# “Mask-aligning” und Belichtung

Belackter Wafer und Maske (Cr auf Glas) werden unter dem Lichtmikroskop zueinander ausgerichtet und anschliessend großflächig homogen mit UV-Licht belichtet.



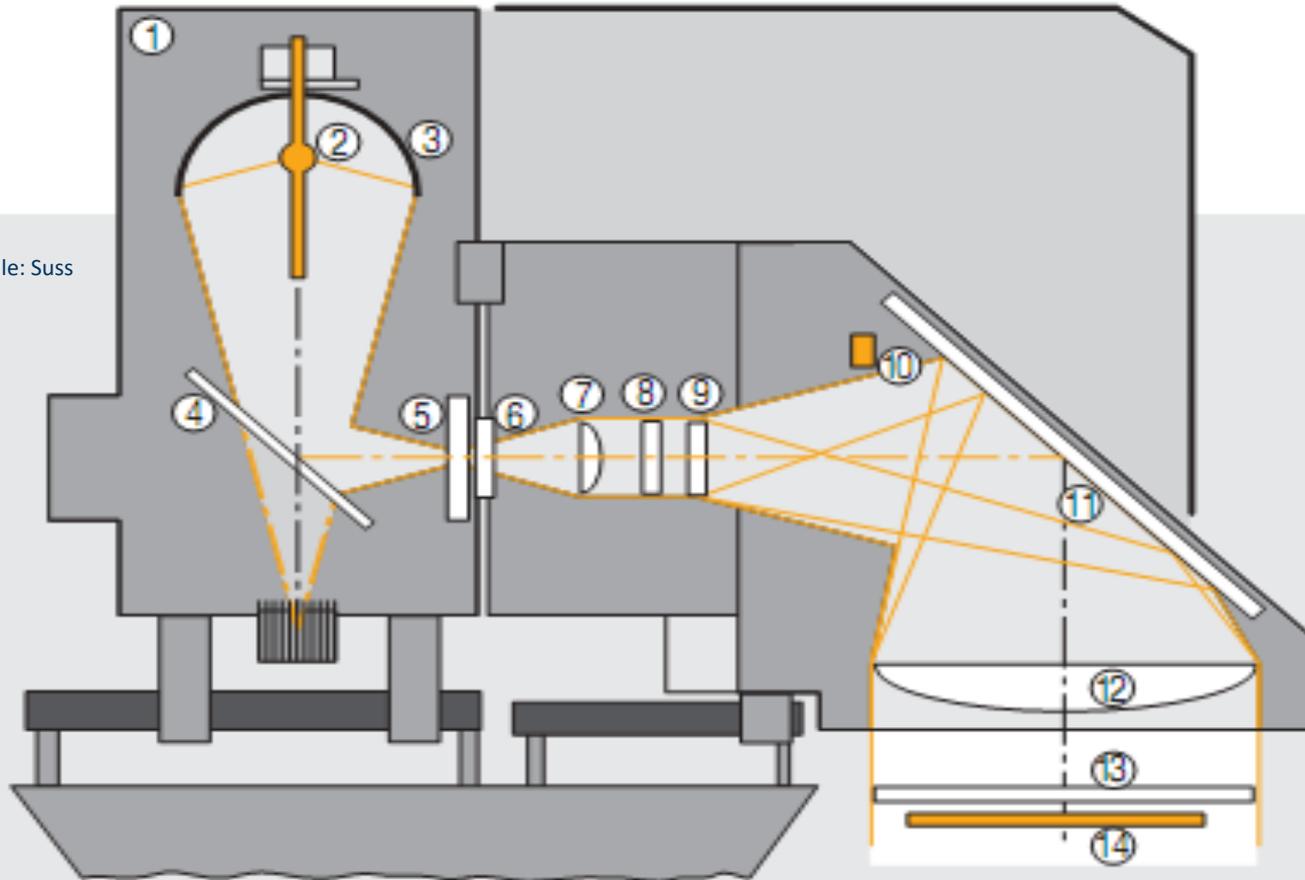
**Maske:** fix  
**Wafer:** kann in 3 Richtungen bewegt werden (x, y,  $\theta$ )



- Auflösung 0,7  $\mu\text{m}$  – 7  $\mu\text{m}$
- z.B. 350 W UV Lampe (i- und g-Linie, 365 nm – 405 nm)
- Intensität 10 mW/cm<sup>2</sup>
- hard-, soft-, proximity-, und Vakuumkontakt möglich

# Mask-Aligner

Quelle: Suss



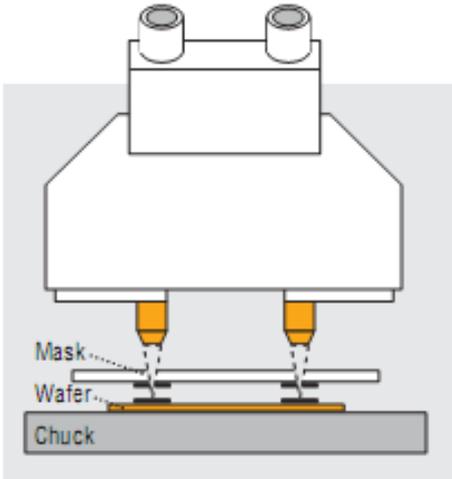
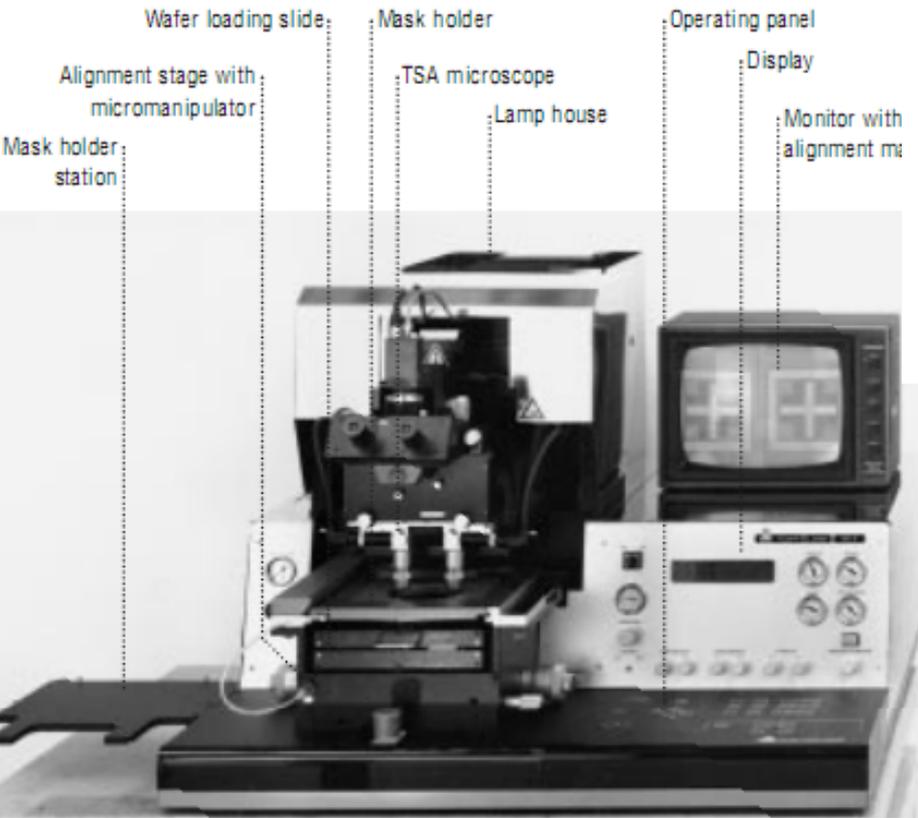
- |   |                    |    |                |    |                    |
|---|--------------------|----|----------------|----|--------------------|
| 1 | Lamp house         | 6  | "Fly's Eye"    | 11 | Front mirror       |
| 2 | High pressure lamp | 7  | Condenser lens | 12 | Front lens         |
| 3 | Ellipsoid mirror   | 8  | Lens plate 1   | 13 | Mask               |
| 4 | Cold light mirror  | 9  | Lens plate 2   | 14 | Wafer or substrate |
| 5 | Shutter            | 10 | UV-sensor      |    |                    |

Belichtung erfolgt immer „von oben“

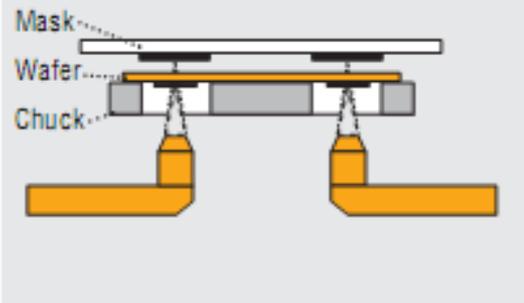
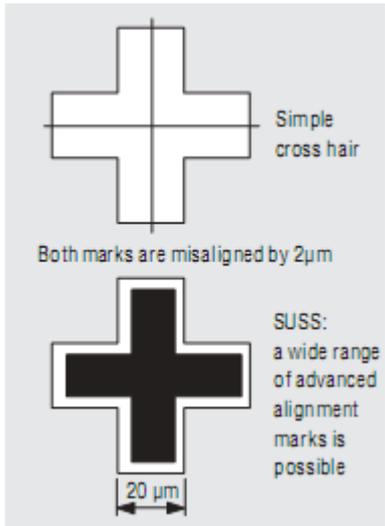
# Mask-Aligner



**Maske:** fix  
**Wafer:** kann in 3 Richtungen bewegt werden (x, y,  $\theta$ )



Principle of TSA splitfield microscope

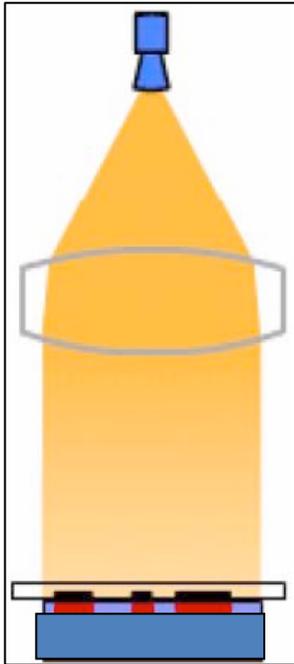


Principle of BSA splitfield microscope

BSA: Back Side Alignment

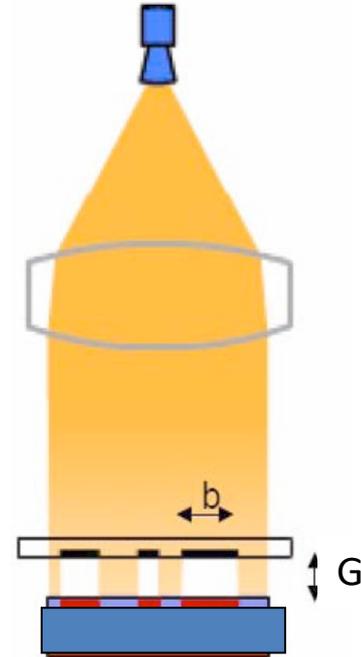
# Belichtungsarten (Mask Aligner)

## Kontaktbelichtung



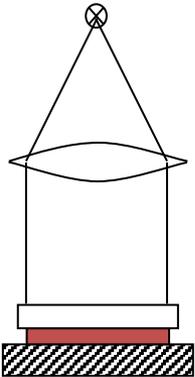
- Maske berührt Wafer
- Vorteil:  
geringste Auflösungsverluste,  
da keine Lichtbeugung
- Nachteil:  
Gefahr von Kontaktschäden

## Proximitybelichtung



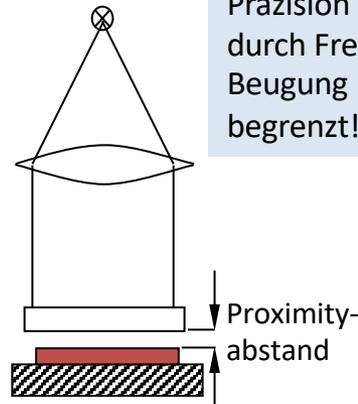
- Maske wird im Abstand von ca. 10-50  $\mu\text{m}$  über dem Photolack positioniert (Proximity-Gap)
- Proximity-Gap schützt Maske und Resist vor Beschädigungen
- Vorteil:  
höhere Maskenlebensdauer
- Nachteil:  
geringere Strukturauflösung

## Kontaktbelichtung



= Sonderfall der Proximity-Belichtung mit  $G=0$

## Proximitybelichtung



Präzision wird durch Fresnel-Beugung begrenzt!

minimal erreichbare Linienbreite  $L$ :

$$L = 1,5 \sqrt{\lambda \left( G + \frac{d}{2} \right)}$$

$\lambda$ : Wellenlänge

(g-Linie 436nm, i-Linie 365 nm, KrF-Laser 248 nm, ArF 193 nm)

$d$ : Resistdicke

$G$ : Proximity-Abstand (gap)

Bsp1:  $\lambda = 436\text{nm}$ ,  $d = 1\mu\text{m}$ ,  $G = 0\mu\text{m}$   
 $\Rightarrow L = 0,7\mu\text{m}$

Bsp2:  $\lambda = 436\text{nm}$ ,  $d = 1\mu\text{m}$ ,  $G = 10\mu\text{m}$   
 $\Rightarrow L = 3,2\mu\text{m}$

# Nach der Belichtung: “Hard bake”

weitere Reduktion des Lösungsmittelgehalts  
(von 4-7% auf 2-5%)

Temperatur: 10-20°C höher als beim “prebake”

Stabilisierung der entwickelten Lackstruktur  
für anschließende Prozesse

- Entfernung von Lösungsmitteln, Entwickler und Wasser
- typisch: 100-130°C, 30 min



- typische “Hotplate”-  
Temperaturen:  
100 – 130°C
- “Hard bake” (30 s – 5 min)  
Prozesszeit hängt von  
Resistdicke und -art ab

# Lift-off-Verfahren



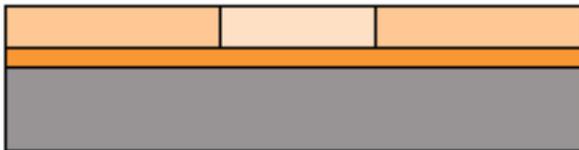
1. Coat and prebake LOR

LOR ist KEIN photosensitiver Lack !!



2. Coat and prebake imaging resist

2. Lackschicht > photosensitiv !!



3. Expose imaging resist



4. Develop resist and LOR. LOR develops isotropically, creating a bi-layer reentrant sidewall profile

LOR wird von Entwickler isotrop entwickelt



5. Deposit film. The re-entrant profile ensures discontinuous film deposition.



6. Lift-off bi-layer resist stack, leaving only desired film.

Lift-Off wird eingesetzt wenn:

- keine Ätzung der zu strukturierenden Schicht möglich ist
- $T_{\text{Prozess}} < 200^{\circ}\text{C}$  (Polymer)

Quelle: [http://www.microchem.com/products/pdf/lor\\_data\\_sheet.pdf](http://www.microchem.com/products/pdf/lor_data_sheet.pdf)