

## 4. Übungsblatt

### Aufgabe 1 – Multiple-Choice Fragen

1a) Welche Aussagen sind falsch?

- ☒ Epitaxial Lateral Overgrowth (ELO) ist ein Verfahren, welches schnell sehr defektarme epitaktische Schichten über einem vergrabenen Oxid erzeugen kann.
- ☐ Beim SIMOX Verfahren wird Sauerstoff bei erhöhter Temperatur in eine Siliziumschicht implantiert, wodurch ein vergrabenes Oxid entsteht.
- ☒ Die Kontaktbelichtung verursacht tendenziell die geringste Defektdichte im Vergleich zu den anderen beiden optischen Belichtungsverfahren auf den Proben.
- ☒ Mit der Proximitybelichtung lässt sich Aufgrund der Beugungseffekte eine bessere Strukturauflösung realisieren, als mit der Kontaktbelichtung.
- ☒ Durch die geringe Gitterfehleranpassung von Silizium auf einkristallinem Saphir (SOS) entstehen bei der Epitaxie sehr geringe Defektdichten.
- ☐ Die linsenoptische Projektionsbelichtung funktioniert mit dem „Step and Repeat“ Verfahren.

1b) Bringen Sie die Prozessschritte, die nach dem Kristallziehen zur Herstellung eines Siliziumwafers nötig sind, in die richtige Reihenfolge.

- 3 : Flat herstellen
- 6 : Läppen und CMP
- 4 : Wafer sägen
- 1 : Anfangs- und Endkonus abtrennen
- 5 : Schleifen und Verrunden der Kanten
- 2 : Runds Schleifen
- 7 : Nasschemisches Reinigen

1c) Was verbirgt sich hinter folgenden Akronymen?

- ☐ SOI: Silicon on Insulator
- ☐ EBL: Electron Beam Lithographie
- ☐ CMP: Chemisch-Mechanisches Polieren
- ☐ DoF: Depth of Focus
- ☐ SIMOX : Seperation by Implantation of Oxygen

## Aufgabe 2 – Waferherstellung – Spezialwafer

2a) Nennen Sie jeweils drei Vor- und Nachteile von SOI-Wafern.

### Vorteile

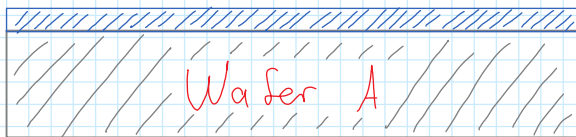
- Geringe Kapazitäten zum Substrat  $\rightarrow$  Erhöhung von Schaltgeschwindigkeit möglich
- Dielektrische Isolation der einzelnen Bauelemente
- Geringe Leckströme  $\rightarrow$  geringer Leistungsbedarf

### Nachteile

- Zusätzliche Prozessschritte bei der Substratherstellung
- Hohe Kosten
- Thermische Isolation des Chips  $\rightarrow$  Wärmeabfuhr nicht über Substrat möglich

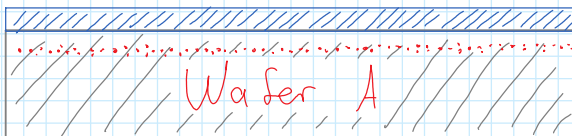
2b) Zeichnen Sie die Prozessschritte der Smart Cut Technologie und erläutern Sie diese kurz.

1) Oxidation der Watoberfläche von Wafer A



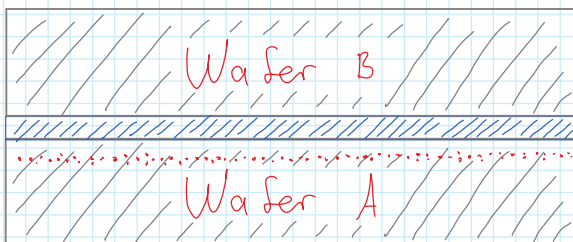
///  $\text{SiO}_2$   
/// Si

2) Implantation von  $\text{H}^+$ -Ionen in Wafer A



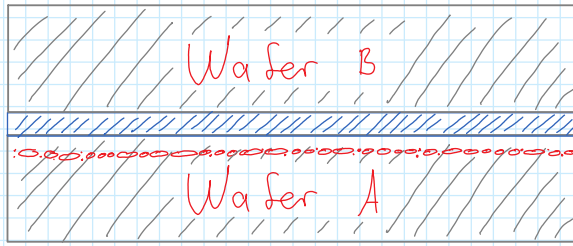
///  $\text{SiO}_2$  ::  $\text{H}^+$ -Ionen  
/// Si

3) Bonden von Wafer B auf Wafer A



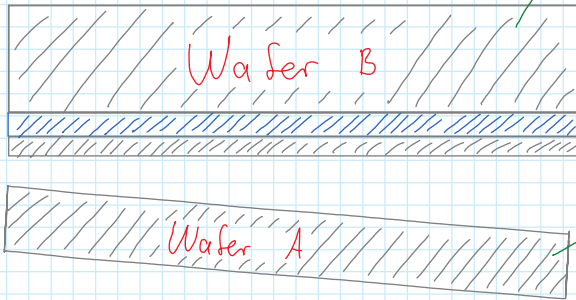
///  $\text{SiO}_2$  ::  $\text{H}^+$ -Ionen  
/// Si

4) Bläschenbildung der  $H^+$ -Ionen bei  $500^\circ C$



///  $SiO_2$  ::  $H^+$ -Ionen  
 /// Si  $\approx H_2$  Bläschen

5) Smart Cut Trennung



///  $SiO_2$   
 /// Si

Wird Wafer B  
im nächsten Prozess

### Aufgabe 3 – Strukturierung – Fotolack und Belichtung

3a) Warum ist es wichtig, dass die Absorption von Fotolack nach der Belichtung abnimmt?

Die erhöhte Transmission von belichtetem Lack ermöglicht die Belichtung von darunterliegenden Lack (vor allem bei dicken Lackschichten).

Würde die Transmission abnehmen und die Absorption zunehmen bei belichtetem Lack, würde das gesamte Licht in der obersten Lackschicht absorbiert und darunterliegende Bereiche würden unbelichtet bleiben.

- 3b) Durch Messung der Restlackdicken wurden für einen Fotolack die Kenngrößen  $D_0=35 \text{ mJ/cm}^2$  und  $D_{100}=30 \text{ mJ/cm}^2$  ermittelt. Bei der Kontaktbelichtung mit einer Quelle der Leistungsdichte  $20 \text{ mW/cm}^2$  soll eine auf der Fotomaske  $3 \mu\text{m}$  breite Struktur in den Fotolack übertragen werden. Der Verlauf der Leistungsdichte im Bereich der Maskenkante kann Abbildung 1 entnommen werden. Bestimmen Sie die optimale Belichtungszeit, bei der die Lackstruktur genau  $3 \mu\text{m}$  breit wird.

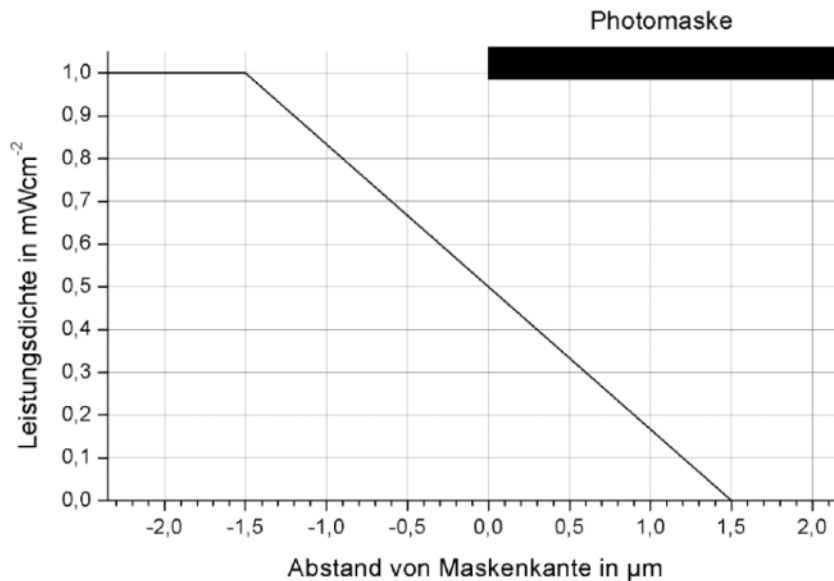


Abbildung 1: Verlauf der Leistungsdichte des Lasers an der Maskenkante

Gegeben:  $D_{100} = 35 \text{ mJ/cm}^2 \Rightarrow$  Dosis, bei der der Lack sich komplett löst  
 $D_0 = 30 \text{ mJ/cm}^2 \Rightarrow$  Dosis, bei der der Lack komplett unlöslich bleibt  
 $I_0 = 20 \text{ mW/cm}^2 = 20 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{s} \Rightarrow$  Leistung der Lichtquelle

Gesucht:  $t_{\text{opt}} \Rightarrow$  optimale Belichtungszeit

Ansatz: Bei der Energie  $D_0$  wird der Lack vollständig gelöst

$\hookrightarrow$  Dosis am Rand der Maske soll  $D_0$  entsprechen

$D_{100} = I_{\text{rel}} \cdot t_{\text{opt}}$  mit  $I_{\text{rel}} \hat{=}$  Leistungsdichte am Rand der Maske

$I_{\text{rel}} = F(\Delta x) \cdot I_0$  mit  $F(\Delta x) \hat{=}$  Funktion der relativen Leistungsdichte in Abhängigkeit von  $\Delta x$

$I_{\text{rel}} = F(0) \cdot I_0 = 0,5 \cdot 20 \text{ mW/cm}^2 = 10 \text{ mW/cm}^2 \Rightarrow$  Leistungsdichte am Rand ( $\Delta x=0$ )

$$t_{\text{opt}} = \frac{D_{100}}{I_{\text{rel}}} = \frac{35 \text{ mJ/cm}^2}{10 \text{ mW/cm}^2} = 3,5 \text{ s}$$

3c) Wie verändert sich die Größe der Lackstruktur bei einer Über- bzw. Unterbelichtung von 10 %?

Ansatz: Bestimmung von  $\Delta x$  bei 10% längerer und kürzerer Belichtung

Formeln:  $I_{rel} = \frac{D_{100}}{t}$  ;  $I_{rel} = F(\Delta x) \cdot I_0 \Rightarrow$  gleichsetzen

$$\Rightarrow \frac{D_{100}}{t} = F(\Delta x) \cdot I_0 \Rightarrow F(\Delta x) = \frac{D_0}{t \cdot I_0}$$

- Bestimmung der Belichtungszeiten

Überbelichtung:  $t_+ = 110\% \cdot t_{opt} = 3,85s$

Unterbelichtung:  $t_- = 90\% \cdot t_{opt} = 3,15s$

- Aufstellen einer Geradengleichung für  $F(\Delta x)$

$$F(\Delta x) = 0,5 - \frac{1}{3\mu m} \cdot \Delta x \quad (\text{ableiten aus Grafik})$$

- Bestimmung der Werte von  $F(\Delta x)$

$$\text{Überbelichtung: } F_+(\Delta x) = \frac{D_{100}}{t_+ \cdot I_0} = \frac{5}{11}$$

$$\text{Unterbelichtung: } F_-(\Delta x) = \frac{D_{100}}{t_- \cdot I_0} = \frac{5}{9}$$

- Berechnung von  $\Delta x$  aus der Geradengleichung von  $F(\Delta x)$

$$\text{Überbelichtung: } \Delta x = \frac{3}{22} \mu m \approx 0,136 \mu m$$

$$\text{Unterbelichtung: } \Delta x = -\frac{1}{6} \mu m \approx -0,167 \mu m$$

- Bestimmung der Strukturweite

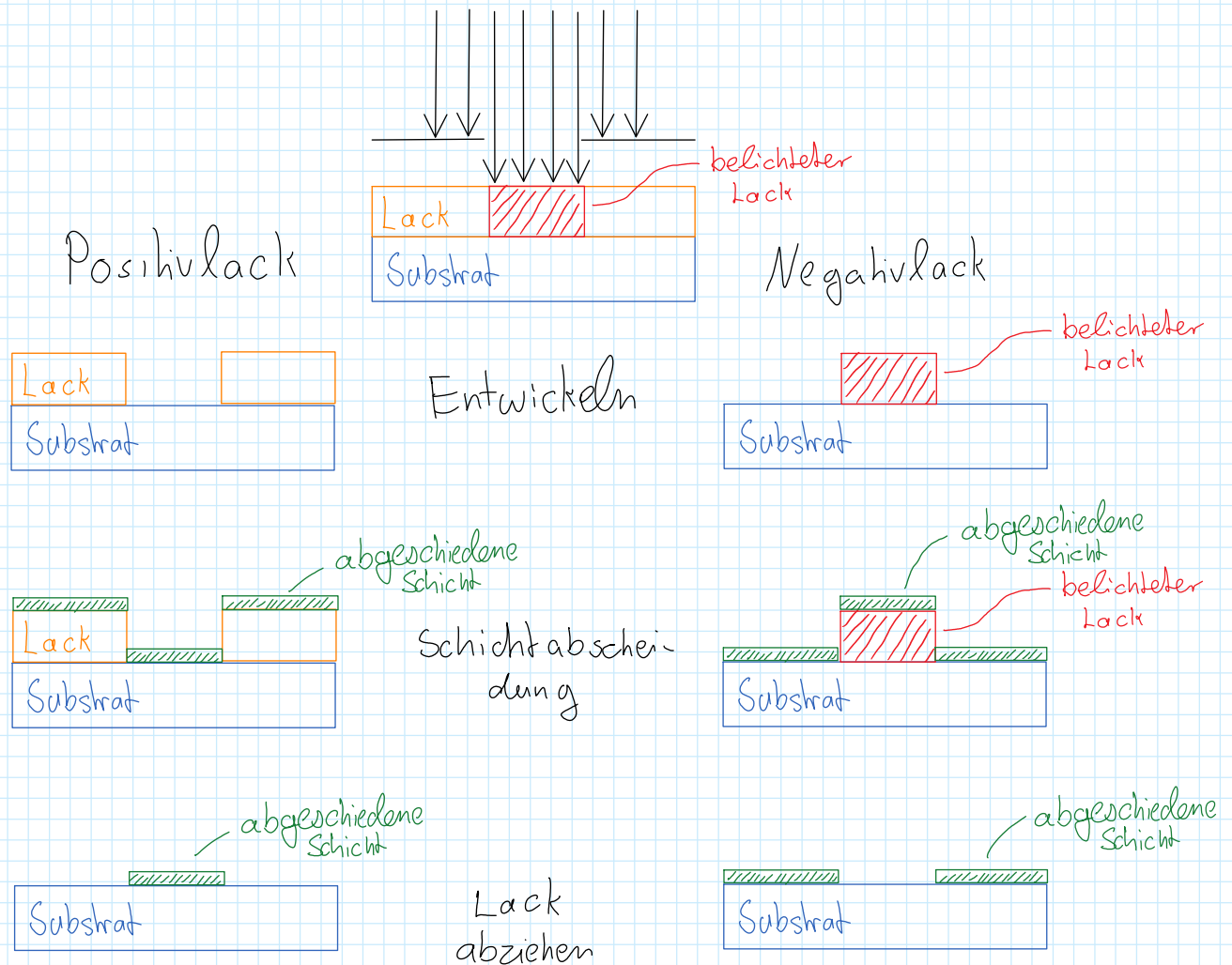
↳ Gewünschte Strukturweite von  $3\mu m$  wird durch Über-/ Unterbelichtung verändert

↳ Achtung!  $\Delta x$  gibt Abweichung auf einer Maskenseite an  $\rightarrow$  Faktor 2

$$\text{Überbelichtung: } 3\mu m + 2 \cdot 0,136 \mu m = 3,272 \mu m$$

$$\text{Unterbelichtung: } 3\mu m + 2 \cdot (-0,167 \mu m) = 2,666 \mu m$$

- 3d) Skizzieren Sie die typischen Prozessschritte eines Lift-Off Prozesses und nennen Sie die Vor- und Nachteile eines Lift-Off Prozesses.



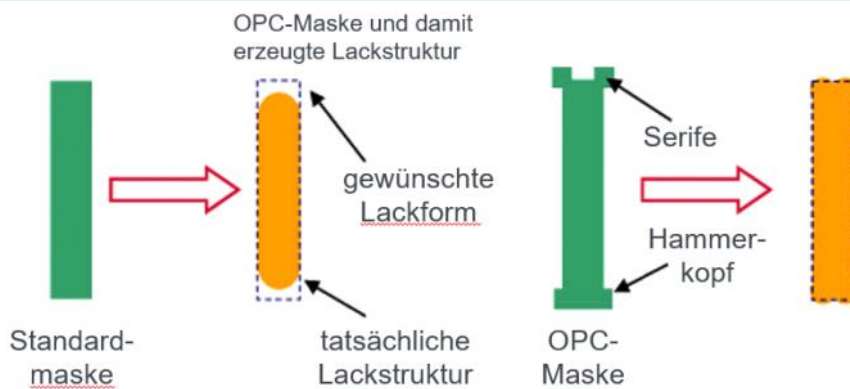
- Vorteile:**
- Leichte Strukturierung nicht/schwer ätzbarer Schichten
  - genaue Strukturierung von Schichten, die beim Ätzen geringe Selektivität aufweisen
  - gleicher Prozess für alle Materialien
- Nachteile:**
- steile Lackflanken nötig, damit der Lack abziehbar bleibt
  - Prozesstemperatur beim Abscheiden begrenzt (durch Glasübergang des Lackes)



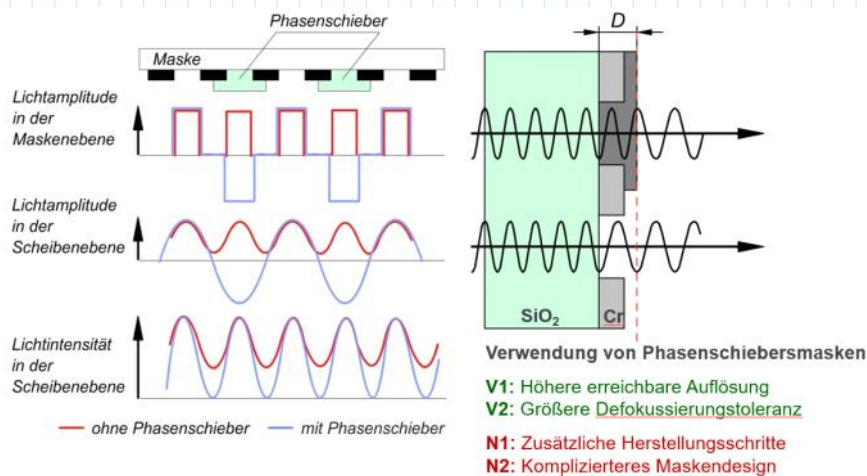
3e) Nennen und erklären Sie drei Verfahren, welche zur Steigerung der erreichbaren lithografischen Auflösung eingesetzt werden.

### 1) Optical Proximity Correction

- Maßnahmen zum Ausgleich der Beugungseffekte vor allen and Ecken in der Maske
- Hinzufügen bzw. Weglassen von kleinen Strukturen zum Ausgleich von Beugungsphänomenen



### 2) Verwendung von Phasenschiebermasken



### 3) Verwendung von Immersionsflüssigkeiten mit $n > 1$

$$- NA = n \cdot \sin(\alpha) : n \uparrow \rightarrow NA \uparrow$$

$$- w_{\min} = k_1 \cdot \frac{\lambda}{NA} : NA \uparrow \rightarrow w_{\min} \downarrow$$

$\Rightarrow$  mit steigendem Brechungsindex sinkt die minimale Größe der erreichbaren Strukturauflösung