

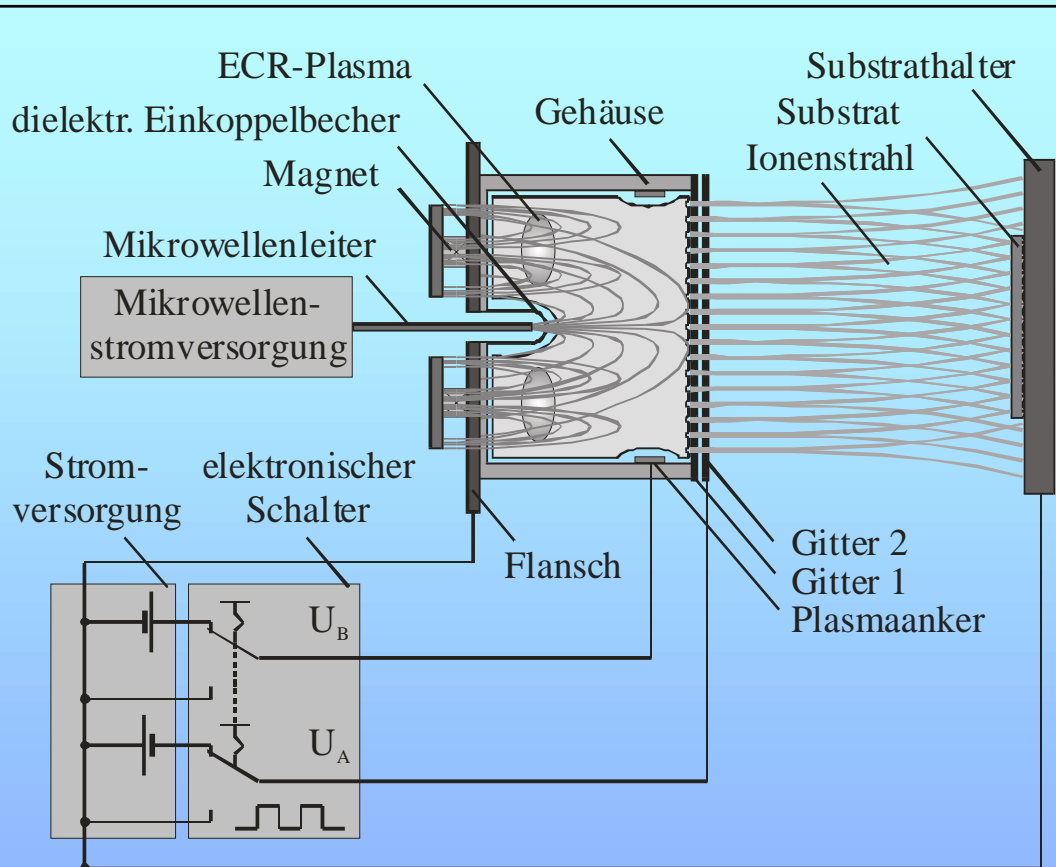
Trockenätzen von GaAs mit gepulstem Ionenstrahl: Modellierung des Abtragsprozesses

J. Dienelt, K. Zimmer, J. von Sonntag

- Rückblick
- Voraussetzung/Modellbeschreibung
- Ergebnisse und Messungen
- Zusammenfassung



Rückblick: Strahlschalter



Strahlschalter:

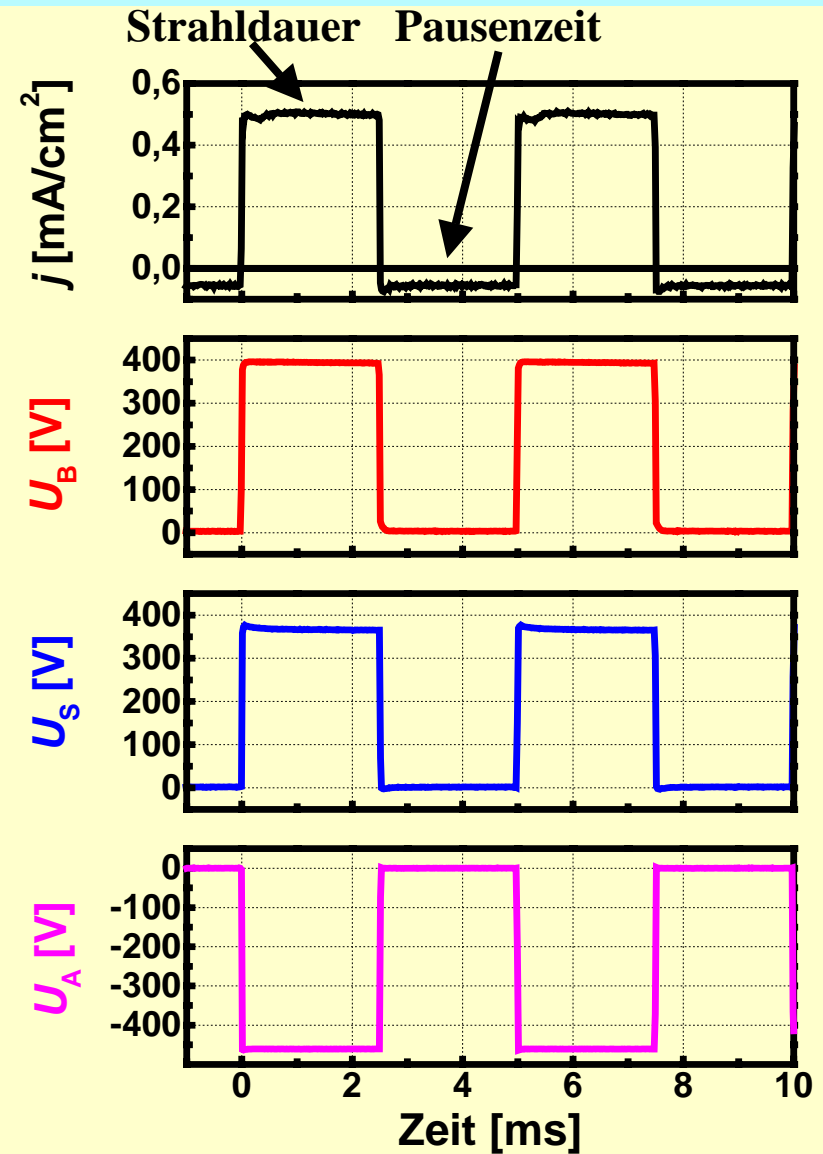
$$50 \leq f \leq 10000 \text{ Hz}$$

$$0,1 \leq dc \leq 0,9$$

ECR-Ionenstrahlquelle:

$$100 \leq U_B \leq 1200 \text{ V}$$

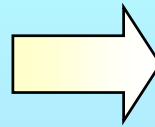
$$0,2 \leq j \leq 1 \text{ mA/cm}^2$$



Chemisch unterstütztes Ionenstrahlätzen (CAIBE)

Chemischer Anteil (CDE):

- Chlorderuck
- Oberflächentemperatur
- Kristallinität



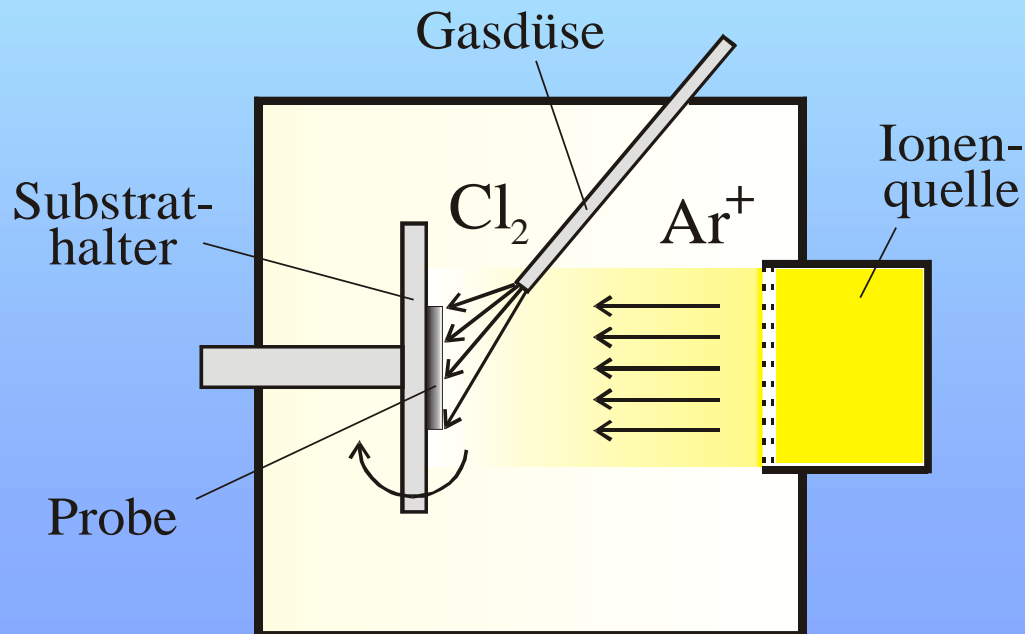
Physikalisch-chemischer Anteil:

- Synergie
- Ionenstrahlinduzierte Effekte
- verstärkte Abtragswirkung

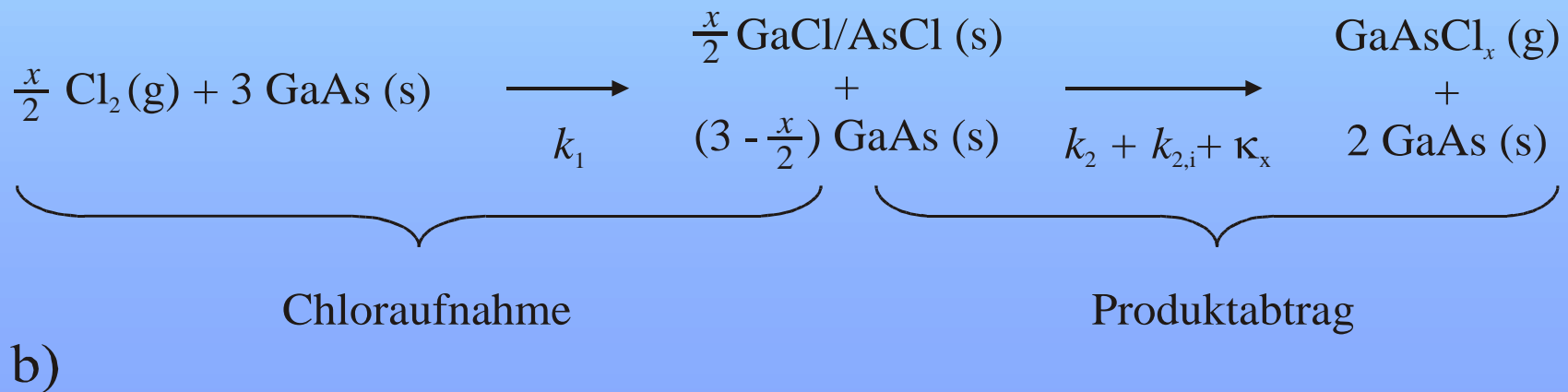
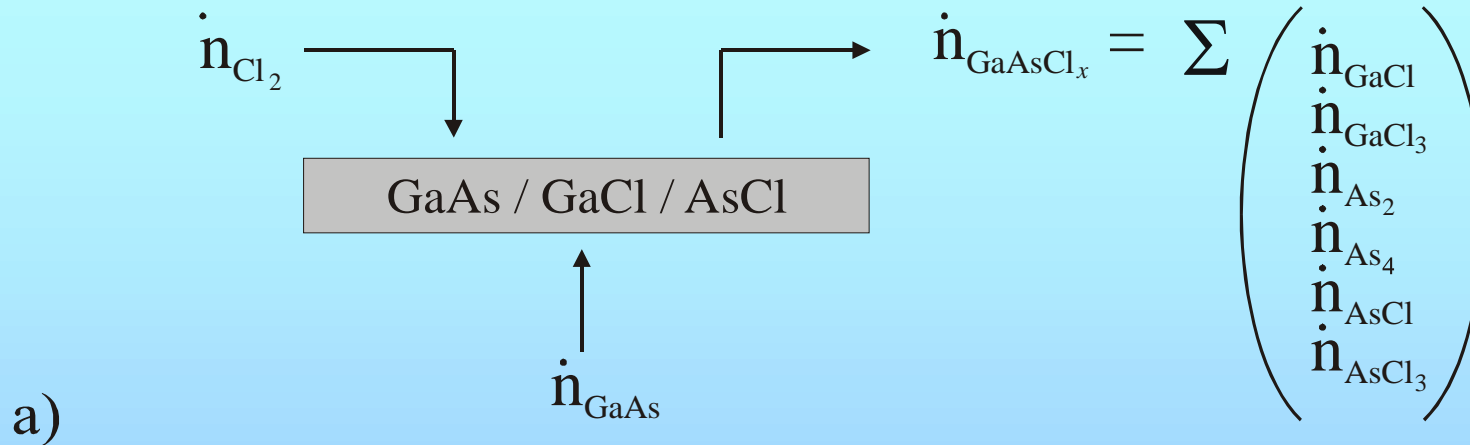


Physikalischer Anteil (IBE):

- Ionenenergie
- Stromdichte
- Einfallswinkel



CAIBE-Abtragsmodell



Modellgleichungen

Bilanz

Chloraufnahme:

Produktabtrag:

$$\frac{2}{x} \dot{n}_{Cl_2} = \frac{2}{x} \dot{n}_{GaCl/AsCl} + \dot{n}_{GaAsCl_x}$$
$$\dot{n}_{GaAsCl_x} = \dot{n}_{GaAs}$$

Kinetik

Chloraufnahme:

Produktabtrag:

$$R_{auf} = J \cdot k_1 \cdot (1 - \theta) \cdot p$$
$$R_{ab} = J \cdot (k_2 + k_{2,i} + \kappa_2) \cdot \theta + \kappa_0 \cdot (1 - \theta)$$

Bedeckungsgrad:

$$\theta = \frac{N_{GaCl/AsCl}}{N_{ges}}$$

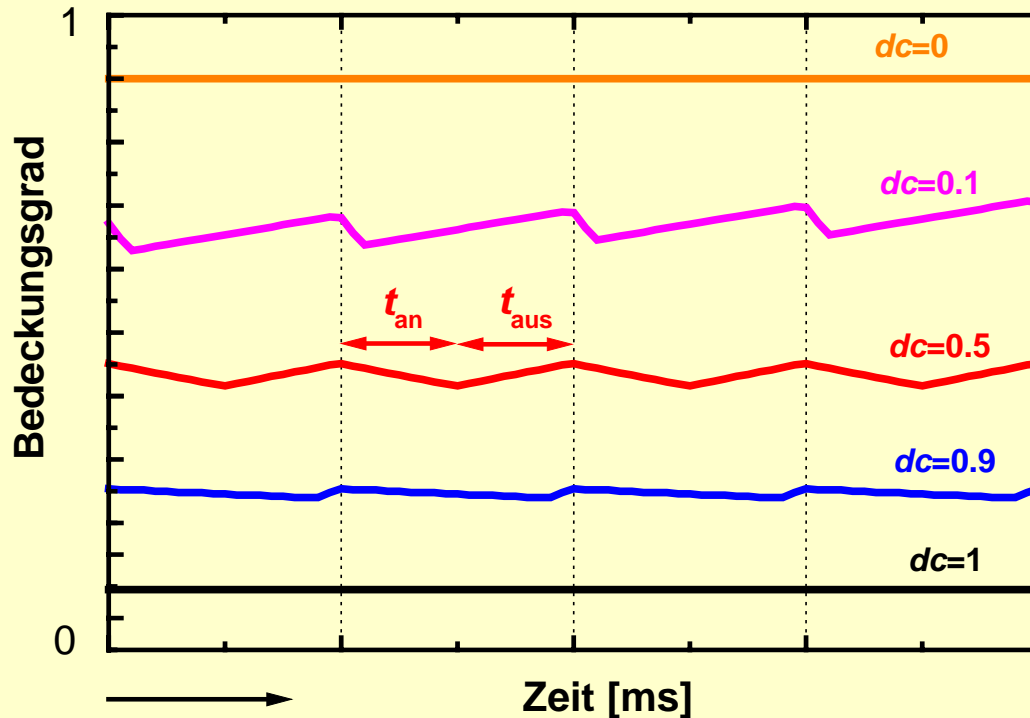
DGL 1. Ordnung:

$$\frac{d\theta}{dt} + \left(k_1^* \cdot p + \frac{x}{2} \cdot k_2^* \right) \cdot \theta - k_1^* \cdot p = 0$$

resultierende Ätzrate:

$$ER = \frac{dz}{dt} \sim R_{ab}$$

Chlorbedeckungsgrad



$$\frac{d\theta}{dt} + \left(k_1^* \cdot p + \frac{x}{2} \cdot k_2^* \right) \cdot \theta - k_1^* \cdot p = 0$$

Lösung für Rechteckfunktion:

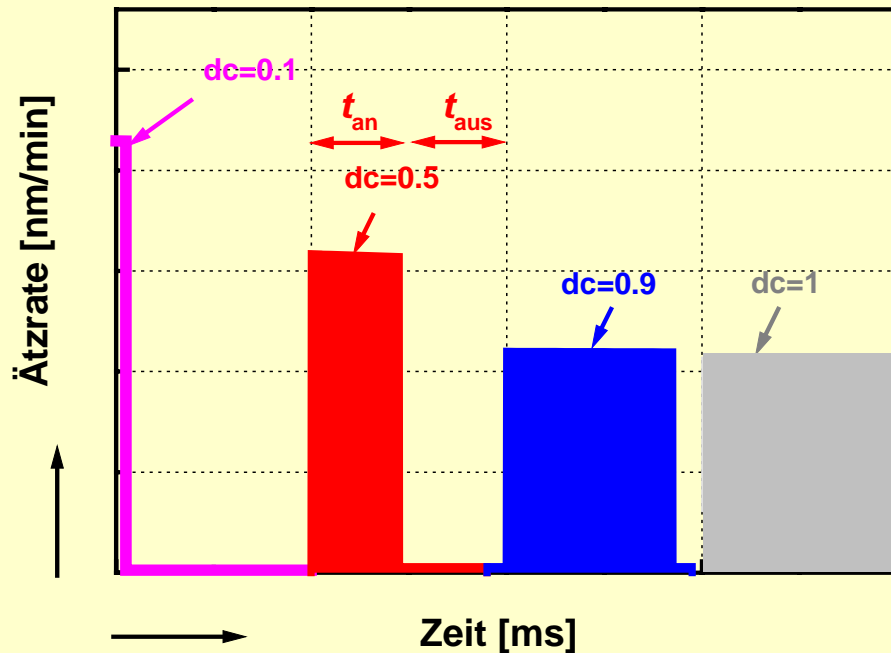
- numerisch
- analytische

Strahldauer $\rightarrow \theta_{aus}(t)$

Pausenzeit $\rightarrow \theta_{an}(t)$

- Pausenzeit: CDE-Prozess, nur Adsorption von Chlor, $\theta \uparrow$
- Bestrahlungszeit: CAIBE-Prozess, Ionenbeschuss, $\theta \downarrow$
- Bedeckungsgrad \uparrow wenn $dc \downarrow$,
- zusätzlicher Einfluss durch Prozessparameter (T, p, E, ϕ, j)

Zeitverlauf der CAIBE-Ätzzrate



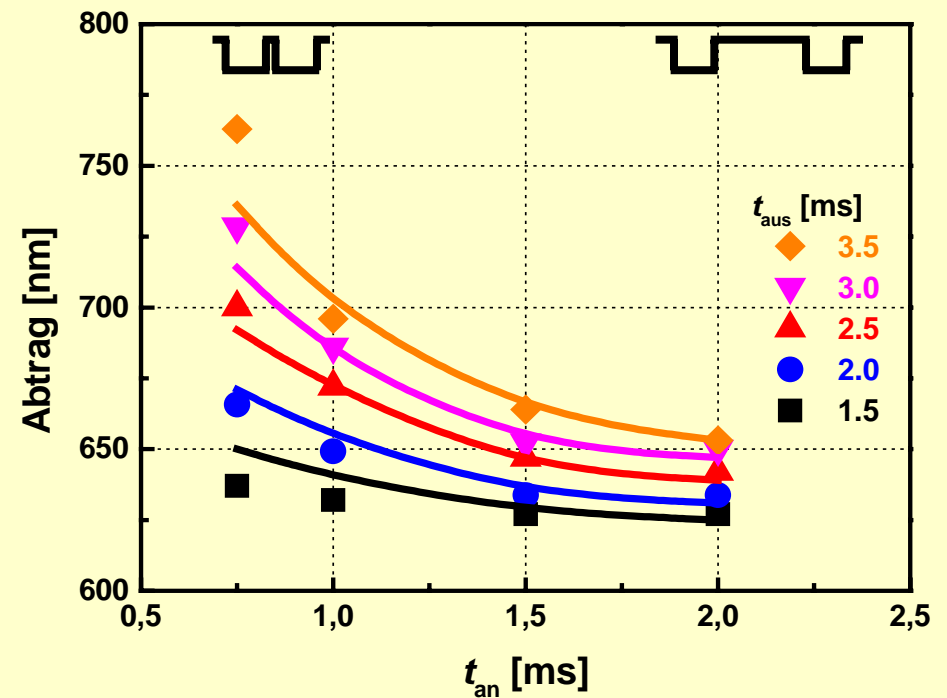
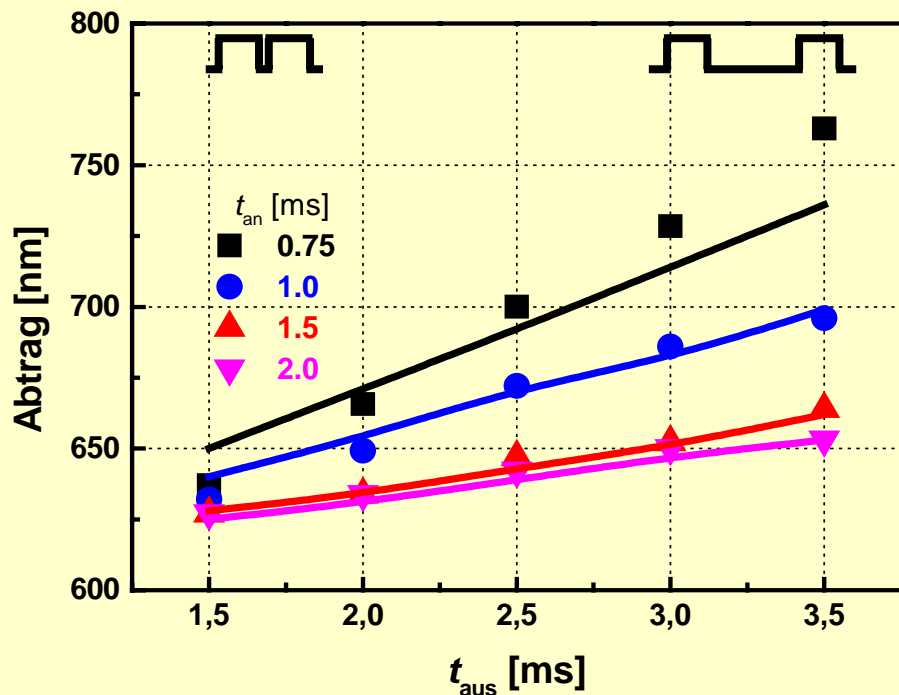
$$ER_{an} = [k_2^* \cdot \theta_{an} + \kappa_0 \cdot (1 - \theta_{an})] \cdot d_{(hkl)}$$

$$ER_{aus} = [k_2 \cdot \theta_{aus}] \cdot d_{(hkl)}$$

$$z = n \cdot \int_0^{t_{an}} ER_{an} \cdot dt + n \cdot \int_0^{t_{aus}} ER_{aus} \cdot dt$$

- Berechnung der Ätzzrate für Pausenzeit und Strahldauer
- Ätzzrate \uparrow wenn Bedeckungsgrad \uparrow
- bei gleicher Ionenfluenz erhöht sich die Abtragstiefe
- bei $T=300$ K kein Abtrag während Pausenzeit

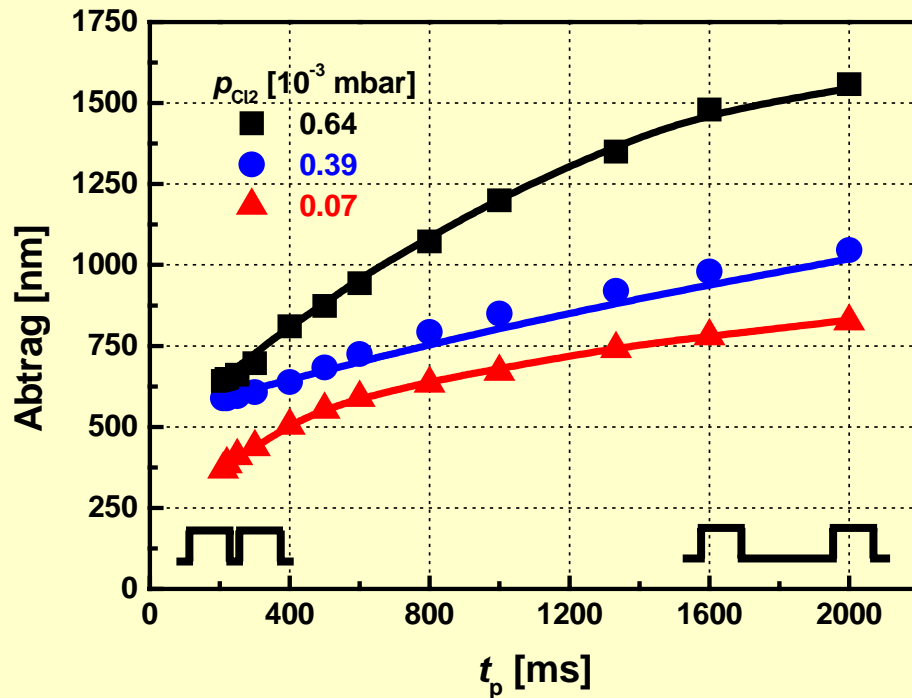
CAIBE von GaAs (Pausenzeit und Strahlzeit)



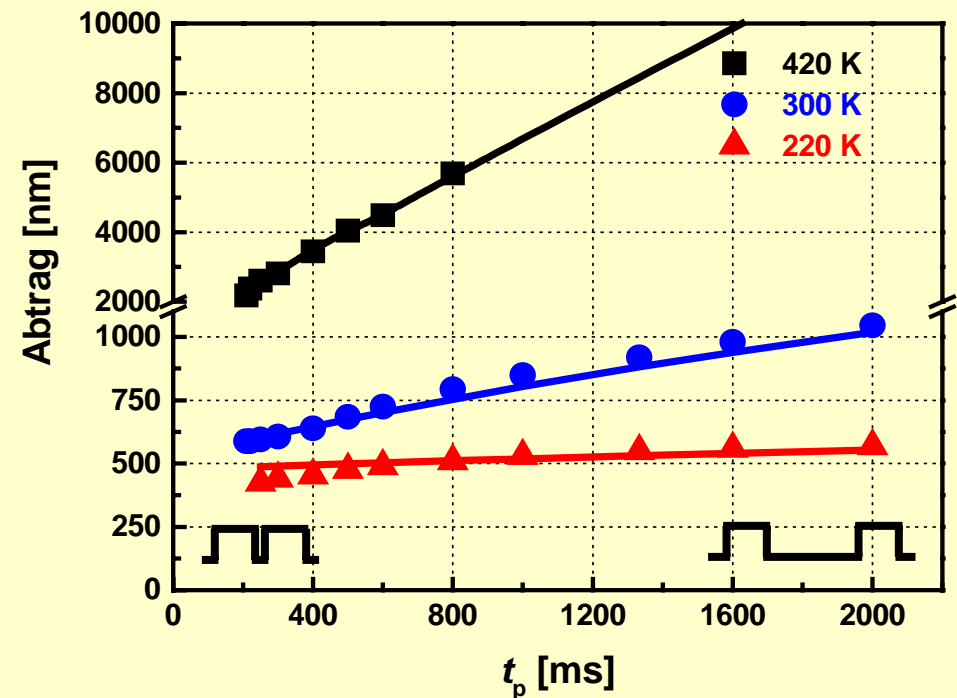
$E=400$ eV, $j=0,5$ mA/cm², $p=0,39 \times 10^{-3}$ mbar, $t_e=200$ s

- konstante Ionenfluenz
- Pausenzeit ↑, Bedeckungsgrad ↑, Abtrag ↑
- Strahldauer ↑, Bedeckungsgrad ↓, Abtrag ↓
- gute Übereinstimmung mit den Modellberechnungen

CAIBE (Chlordruck und Oberflächentemperatur)



$E=400$ eV, $j=0,5$ mA/cm², $T=300$ K, $t_e=200$ s



$p=0,39 \times 10^{-3}$ mbar

- Chlordruck \uparrow , Bedeckungsgrad \uparrow
- größerer Abtrag bei gleicher Ionenfluenz
- Temperatur \uparrow , zusätzlicher Abtrag in Pausenzeit
- ionenstrahlinduzierte Einfluss wird deutlicher

Zusammenfassung

- Rückblick auf Funktionsweise des elektrischen Strahlschalters
- Modellansatz zur Beschreibung des CAIBE-Prozesses
- Modellierung des Abtrages für verschiedene Prozessparameter
- gute Übereinstimmung mit den Experimenten
- Aussagen über den Prozessablauf/ionenstrahlinduzierte Effekte

Danksagung

- K. Zimmer,
 - H. Neumann,
 - F. Scholze
 - B. Dathe,
 - J. Von Sonntag
- ... und viele mehr