



# Kinetic Effects in RF Discharges

Philipp Hacker

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät  
Institut für Physik  
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

3. Dezember 2017

Betreuer: Prof. Dr. R. Schneider  
Gutachter: Prof. Dr. J. Meichsner



# 1. Motivation

## 2. Experiment

## 3. Particle-in-Cell Methode

## 4. 1D Simulation

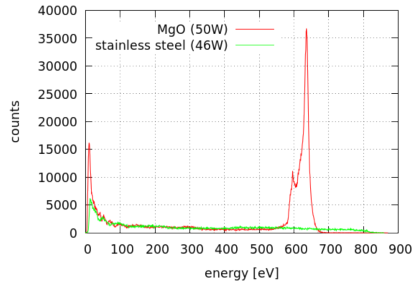
## 5. Simulationen in 2D

## 6. Ausblick

## 7. Referenzen

# Kapazitive gekoppelte RF-Plasmen

- Anwendung in Halbleiter- und Computerchip-Industrie
- in elektronegativen CCRF-Entladungen treffen schnelle Ionen auf die Elektroden
- Oberflächenprozesse an der Elektrode mit negativen Ionen

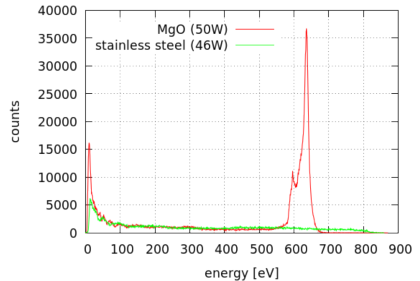


(Negative Ionen Energieverteilung in Sauerstoffentladungen) [2]



# Kapazitive gekoppelte RF-Plasmen

- Anwendung in Halbleiter- und Computerchip-Industrie
- in elektronegativen CCRF-Entladungen treffen schnelle Ionen auf die Elektroden
- Oberflächenprozesse an der Elektrode mit negativen Ionen

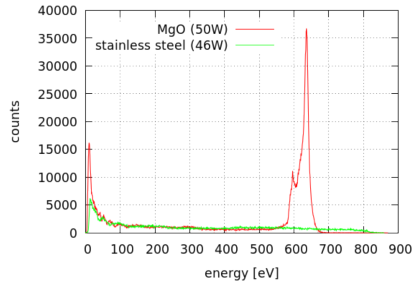


(Negative Ionen Energieverteilung in Sauerstoffentladungen) [2]



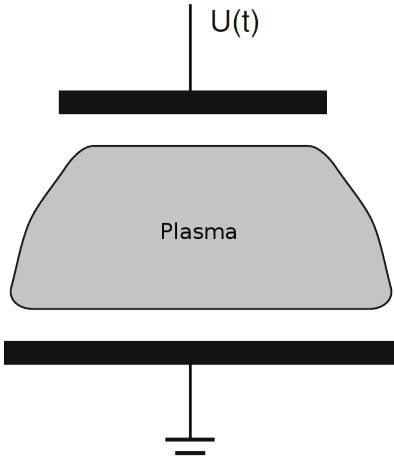
## Kapazitive gekoppelte RF-Plasmen

- Anwendung in Halbleiter- und Computerchip-Industrie
- in elektronegativen CCRF-Entladungen treffen schnelle Ionen auf die Elektroden
- Oberflächenprozesse an der Elektrode mit negativen Ionen



(Negative Ionen Energieverteilung in Sauerstoffentladungen) [2]

## Randschichteffekte



(Schema einer Entladung) [1]

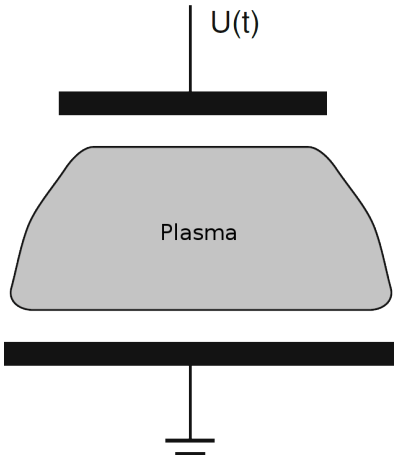
- negative Aufladung der Wände durch schnellere Elektronen  
→ Self-Bias

- Ionen werden auf Bohm-Geschwindigkeit beschleunigt

$$v_{i,B} = \sqrt{\frac{k_B T_e}{m_i}}$$

- Asymmetrie der getriebenen/geerdten Elektroden

## Randschichteffekte



(Schema einer Entladung) [1]

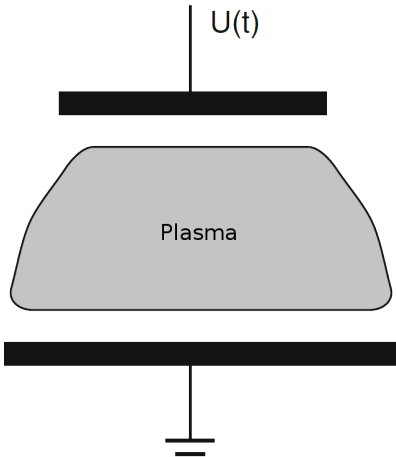
- negative Aufladung der Wände durch schnellere Elektronen  
→ Self-Bias

- Ionen werden auf Bohm-Geschwindigkeit beschleunigt

$$v_{i,B} = \sqrt{\frac{k_B T_e}{m_i}}$$

- Asymmetrie der getriebenen/geerdeten Elektroden

## Randschichteffekte



(Schema einer Entladung) [1]

- negative Aufladung der Wände durch schnellere Elektronen  
→ Self-Bias

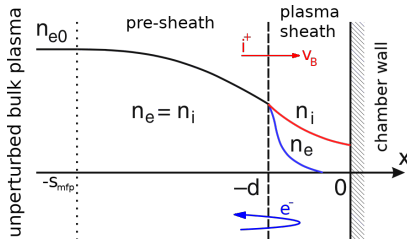
- Ionen werden auf Bohm-Geschwindigkeit beschleunigt

$$v_{i,B} = \sqrt{\frac{k_B T_e}{m_i}}$$

- Asymmetrie der getriebenen/geerdten Elektroden



## Randschichteffekte

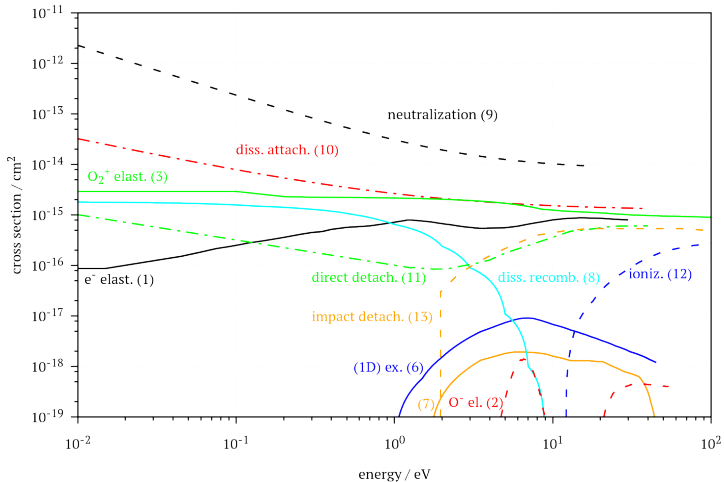


(Dichte und Potential vor einer Wand) [1]

- ...
- Kapazitive Kopplung führt zur Verschiebung des Plasma-Potentials



# Oberflächen- und Stoßprozesse



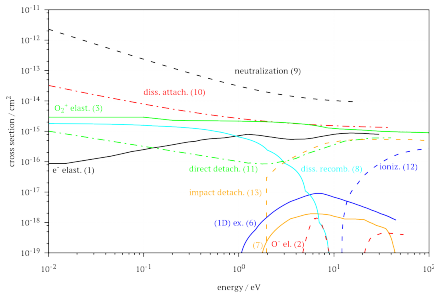
(ausgewählte Stoßquerschnitte in Sauerstoff)

# Oberflächen- und Stoßprozesse

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



Nr.	Reaction	Type
<b>Elastic scattering</b>		<b>Energy loss</b>
(1)	$e^- + O_2 \rightarrow O_2 + e^-$	
(2)	$O^- + O_2 \rightarrow O_2 + O^-$	
(3)	$O_2^- + O_2 \rightarrow O_2 + O_2^-$	
<b>Electron energy loss scattering</b>		<b>Energy loss</b>
(4)	$e^- + O_2 \rightarrow O_2^v + e^-$	Vibrational excitation ( $v = 1, \dots, 4$ )
(5)	$e^- + O_2 \rightarrow O_2(Ryd) + e^-$	Rydberg excitation
(6)	$e^- + O_2 \rightarrow O(1D) + O(3P) + e^-$	Dissociative excitation at 8.6 eV
(7)	$e^- + O_2 \rightarrow O_2(a^1\Delta_g, b^1\Sigma_g)$	Meta-stable excitation
<b>Electron and ion reactions</b>		<b>Creation and loss</b>
(8)	$e^- + O_2^+ \rightarrow 2O$	Dissociative recombination
(9)	$O^- + O_2^+ \rightarrow O_2 + O$	Neutralization
(10)	$e^- + O_2 \rightarrow O + O^-$	Dissociative attachment
(11)	$O^- + O_2 \rightarrow O + O_2 + e^-$	Direct detachment
(12)	$e^- + O_2 \rightarrow 2e^- + O_2^+$	Impact ionisation
(13)	$e^- + O^- \rightarrow O + 2e^-$	Impact detachment

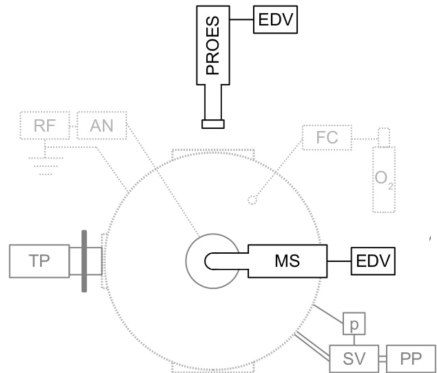
# Das Experiment

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456

- große Asymmetrie zwischen geerdeter Kammer und CCRF-Elektrode
- niedrige Gasflüsse und -drücke ( $\leq 5$  sccm, 15 Pa)
- Elektrodenabstand  $\sim 5$  cm



(Draufsicht des Experimentes) [2]

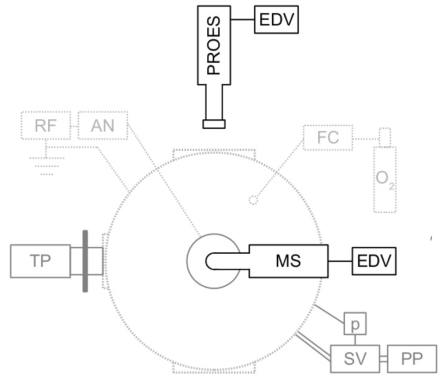
# Das Experiment

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456

- große Asymmetrie zwischen geerdeter Kammer und CCRF-Elektrode
- niedrige Gasflüsse und -drücke ( $\leq 5$  sccm, 15 Pa)
- Elektrodenabstand  $\sim 5$  cm



(Draufsicht des Experimentes) [2]

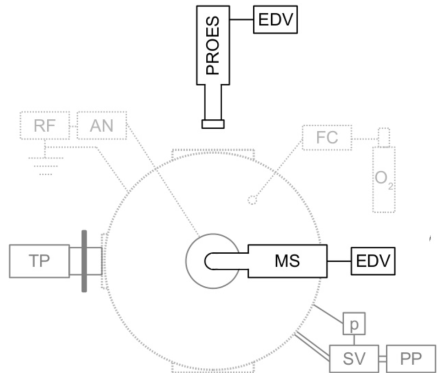
# Das Experiment

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456

- große Asymmetrie zwischen geerdeter Kammer und CCRF-Elektrode
- niedrige Gasflüsse und -drücke ( $\leq 5$  sccm, 15 Pa)
- Elektrodenabstand  $\sim 5$  cm



(Draufsicht des Experimentes) [2]

# Particle-in-Cell Methode

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Monte-Carlo Stoßroutinen

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456





# 1D Simulation

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Energieverteilungen

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Dynamik negativer Ionen

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Simulationen in 2D

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



## Vergleich mit 1D

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Negative Ionen EVF

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Asymmetrische Ranbedingungen

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Einfluss des Self Bias

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456





# Ausblick

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



# Referenzen

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456

