

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Technische Universität Chemnitz
Institut für Physik
Physik fester Körper
D-09107 Chemnitz

XI. Erfahrungsaustausch „Oberflächentechnologie mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen“

**Charakterisierung einer gepulsten Magnetronentladung
zur Abscheidung von MgO
mittels zeitaufgelöster Doppelsondenmessungen**

Th. Dunger, Th. Welzel, H. Kupfer, F. Richter

02.03.2004

gefördert vom BMBF: FKZ 13N8053

Gliederung

- Einleitung
- Experimenteller Aufbau
- Einfluss von Prozessgrößen
 - Pulsparameter
 - Gaszusammensetzung
- Zusammenfassung und Ausblick

Einleitung

Magnetronzerstäubung:

- negativ vorgespanntes Target
- Ionenbeschuß
- Zerstäubung des Targets

Reaktive Zerstäubung:

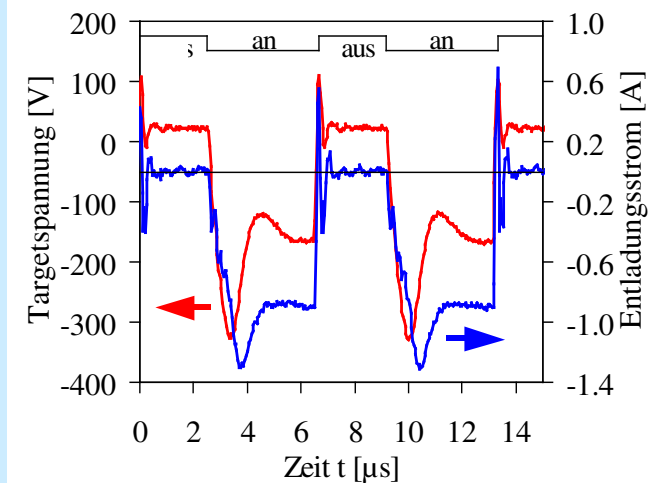
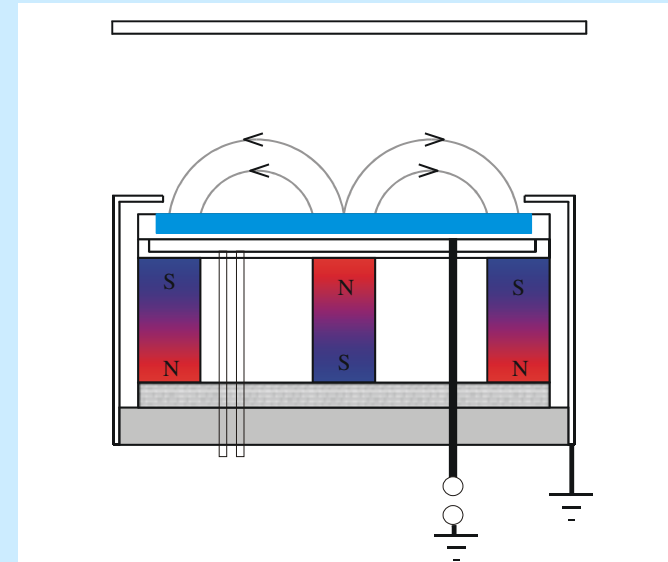
- Hinzugabe von Reaktivgasen (z.B. O_2)
- Abscheidung von isolierenden Schichten (z.B. MgO) am Ort des Substrates und auf der Targetoberfläche

Problem: Aufladung der Schicht durch Ionenbeschuß

- Entladungsinstabilitäten, el. Durchbruch der Schicht (Arcing)
- **Störung der Schichteigenschaften**

Gepulste DC-Entladung ($f = 10 \dots 500 \text{ kHz}$):

- kurzzeitig positives Targetpotential
- z.B. Abbau der Oberflächenladung

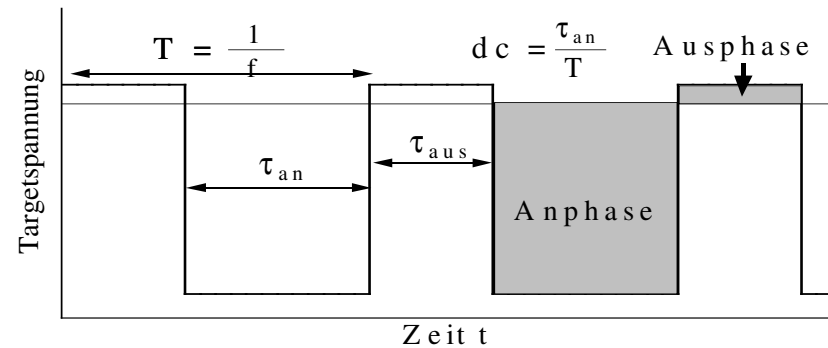


Einleitung (Diagnostik gepulster Entladungen)

Untersuchung von Beschichtungsplasmen

z.B. LANGMUIR-Doppelsonde

Bestimmung von n , T_e



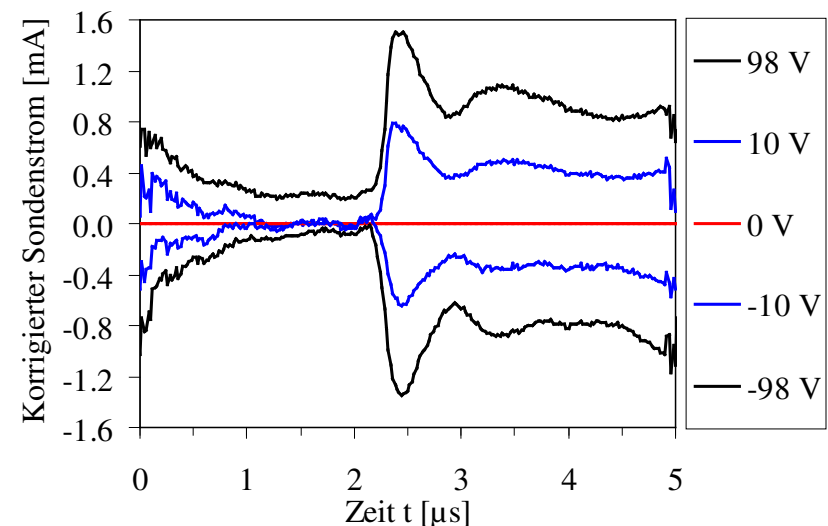
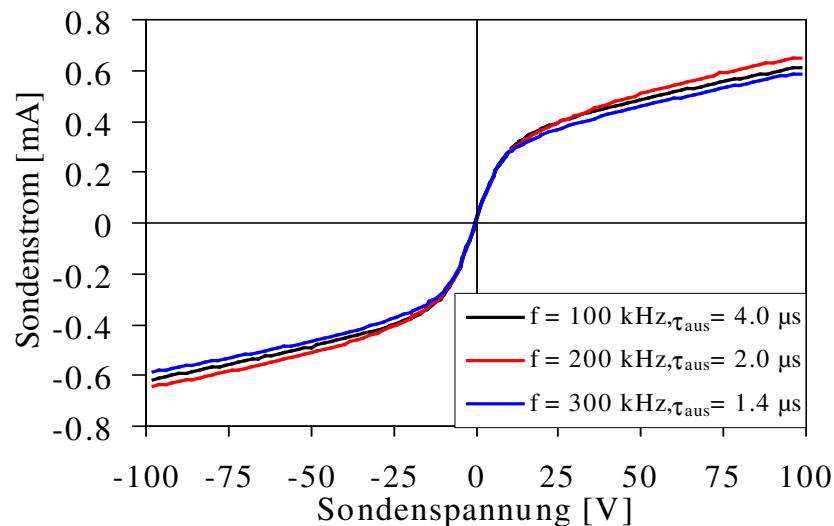
Zeitintegrierende Messung:

→ „Mittelwerte“ für n , T_e

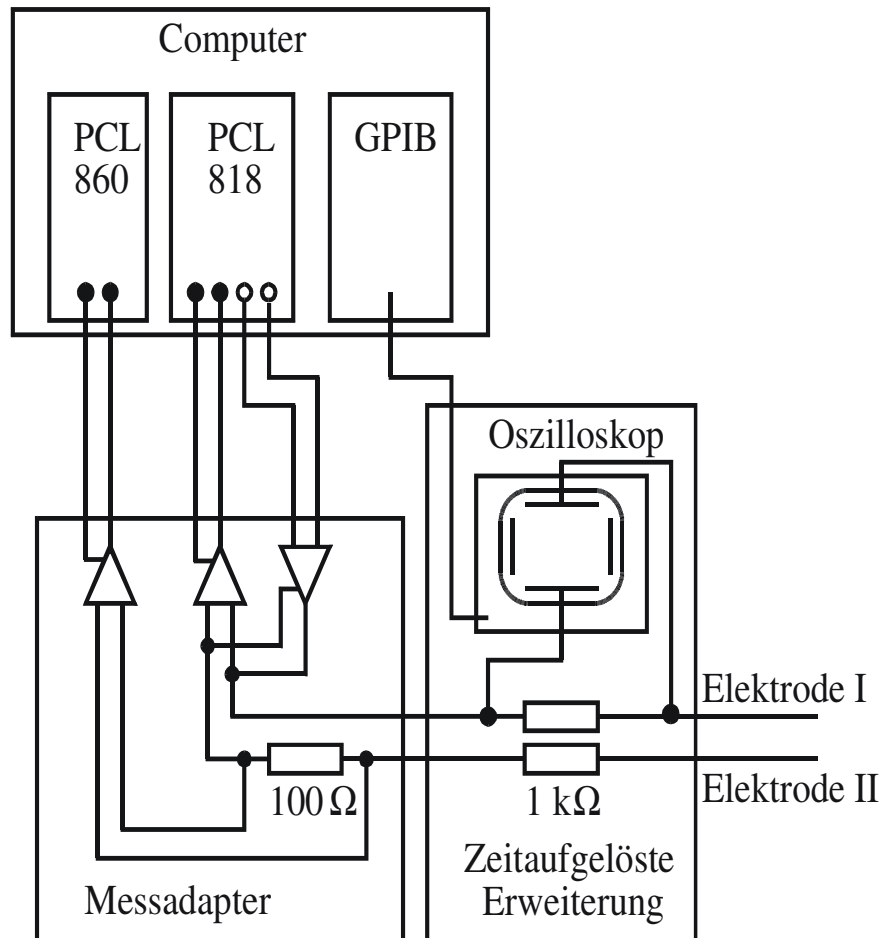
- Änderungen in den einzelnen Phasen der Entladung bleiben unzugänglich

Was passiert in den einzelnen Phasen der Entladung ?

→ zeitaufgelöste Messungen



Zeitaufgelöste LANGMUIR-Doppelsondenmesstechnik



Computergesteuerte Kennlinienaufnahme

- Sondenspannung [-100 V ... 100 V]
- Sondenstrom als Spannungsabfall über $R_M = 1 \text{ k}\Omega$ mit digitalem Speicheroszilloskop gemessen
- Mittelung über 20 Zyklen
- Steuerung des Oszilloskops über GPIB-Schnittstelle

Trigger:

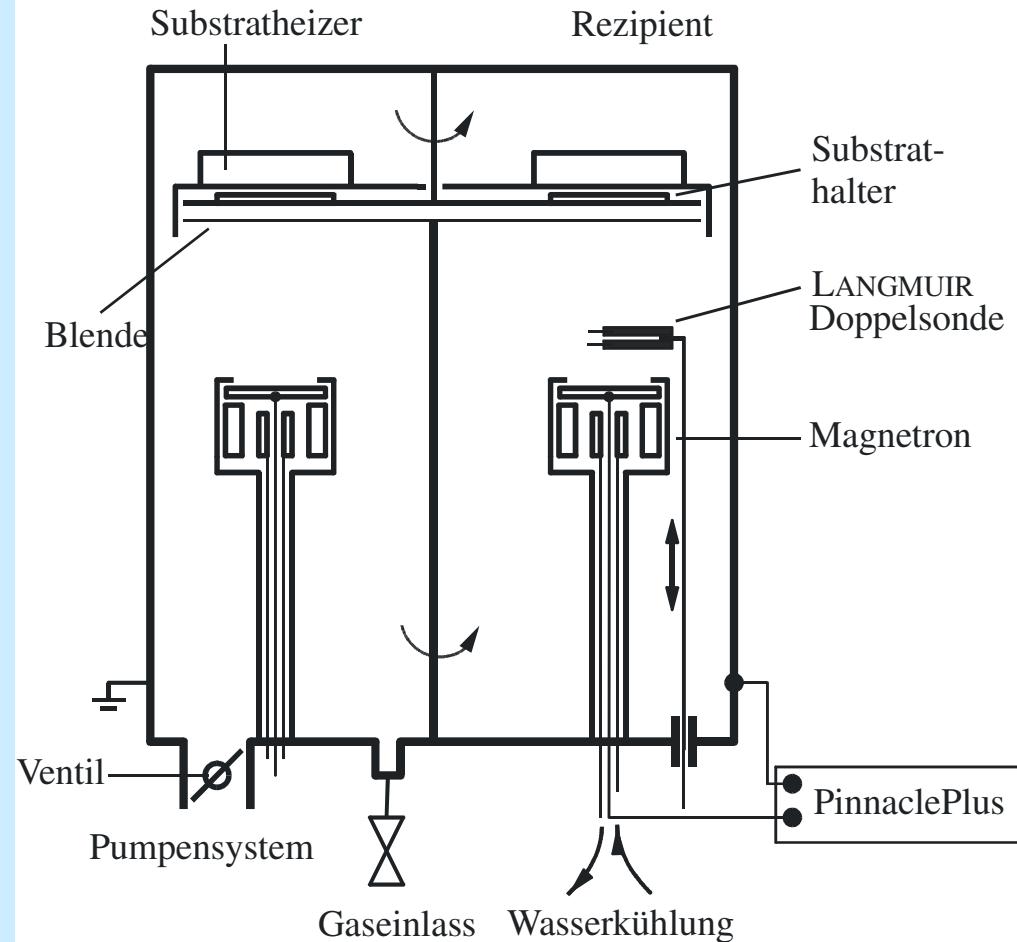
- Ausschaltflanke der Targetspannung ($U_{\text{trig}} = +50 \text{ V}$)

Elektroden

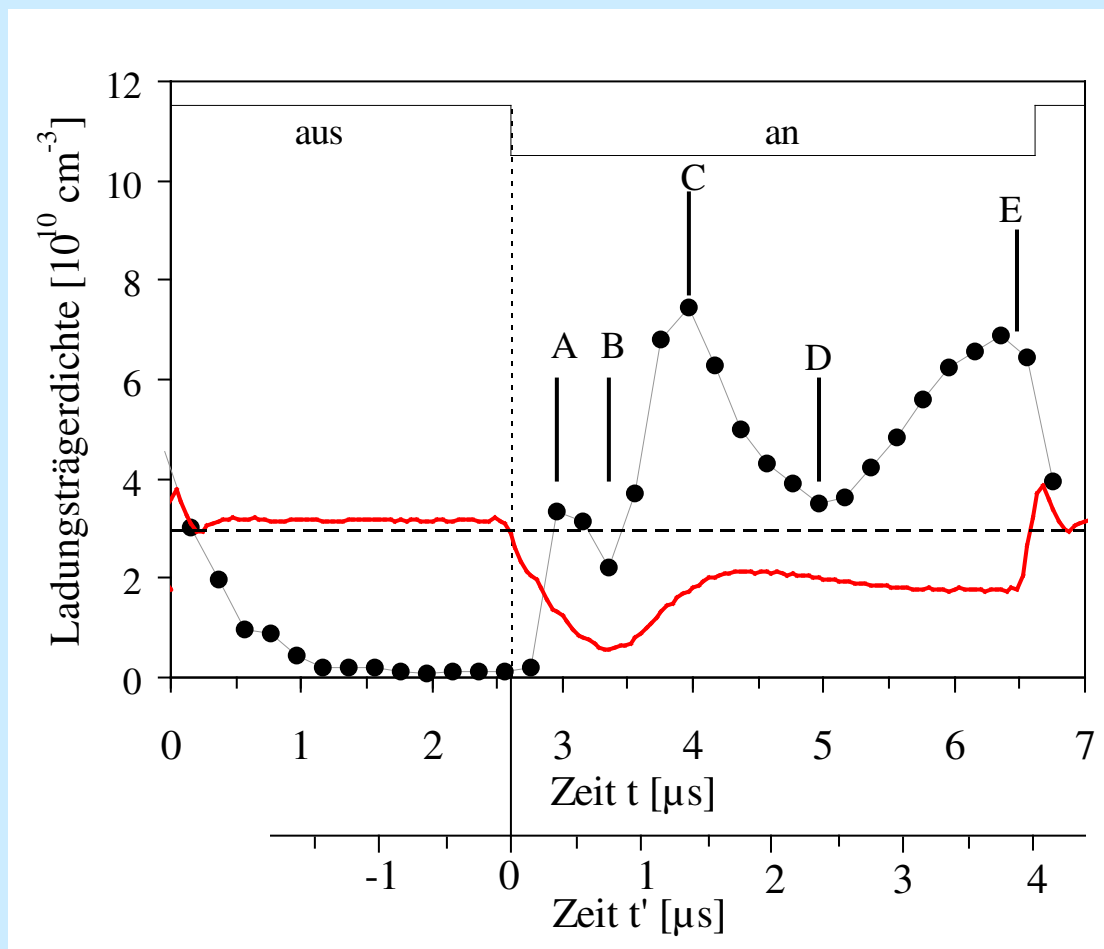
- Wolfram, $\varnothing = 0.5 \text{ mm}$, $l = 10 \text{ mm}$

Experimenteller Aufbau

- zylindrisches Magnetron
 $\varnothing = 100 \text{ mm}$ (Mg-Target)
- Pinnacle Plus 5 kW (Advanced Energy)
- Pulsparameter:
Frequenz: $f = (100 - 350) \text{ kHz}$
Auszeit: $\tau_{\text{aus}} = (0.5 - 5.0) \mu\text{s}$
- Arbeitsdruck $p = 0.4 \text{ Pa}$ (konst.)
- Gas: 50 sccm Argon + Sauerstoff
- float. Substrathalter, $d_{\text{TS}} = 80 \text{ mm}$
- Doppelsonde:
 - 52 mm über dem Target
 - parallel zur Targetoberfläche



Typischer Zeitverlauf der Ladungsträgerdichte



Ausphase:

- exponentieller Abfall
($\alpha \approx 490 \text{ ns}$)
- keine Abhängigkeit von f ,
 $\tau_{\text{aus}}, F_{\text{O}_2} / (F_{\text{Ar}} + F_{\text{O}_2})$

Anphase:

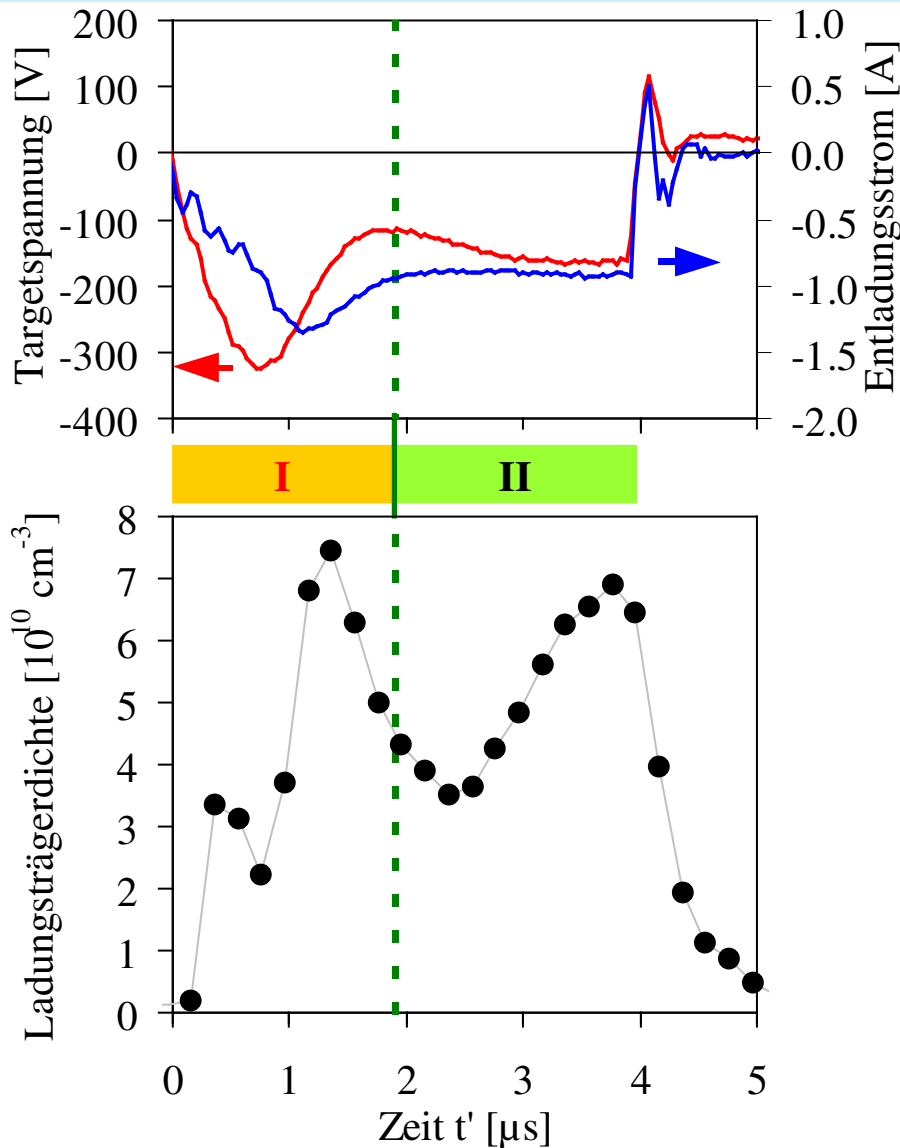
- strukturierter Verlauf
- charakteristische Extrema Y
($n(Y), t'(Y)$)

Einfluss der Prozessparameter

$f, dc, \tau_{\text{aus}}, \text{Gas}$
auf
 $n(Y)$ und $t'(Y)$

$\langle P \rangle = 100 \text{ W}, f = 150 \text{ kHz}, \tau_{\text{aus}} = 2.6 \mu\text{s}, p = 0.4 \text{ Pa}, F_{\text{Ar}}/F_{\text{O}_2} = 50 / 10$

Zeitliches Verhalten der Ladungsträgerdichte in der Anphase



Unterteilung der Anphase in
zwei Bereiche (100 W)

I. Zünden

U und I : jeweils ein Maximum

$$U_{\max} (t' \approx 0.8 \mu\text{s}) \approx -325 \text{ V}$$

$$I_{\max} (t' \approx 1.1 \mu\text{s}) \approx -1.4 \text{ A}$$

LTD : Maxima A und C

II. Übergang zur stationären Entladung

U und I : näherungsweise konst.

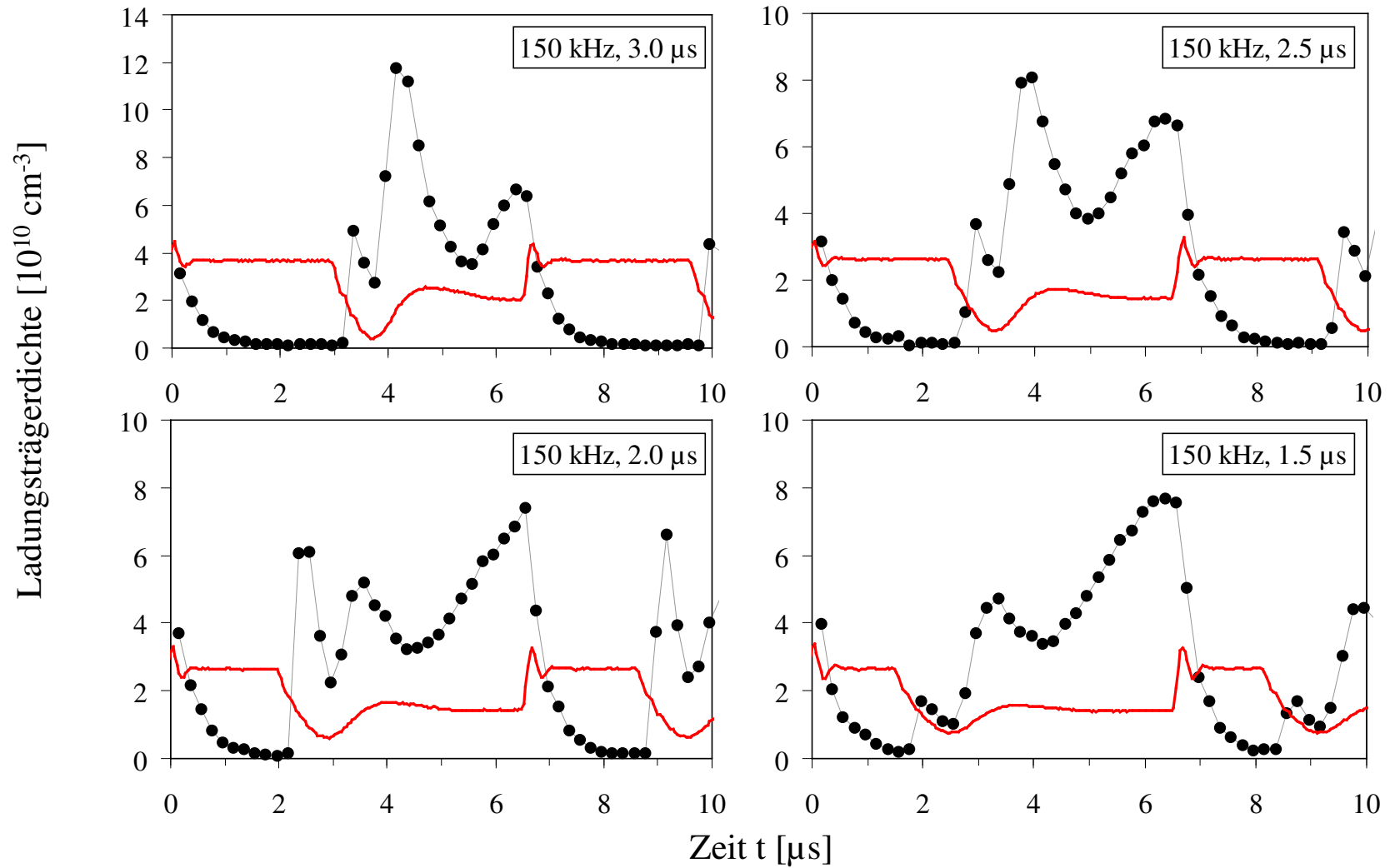
$$U (t') \approx -160 \text{ V}$$

$$I (t') \approx -0.9 \text{ A}$$

LTD : D und E

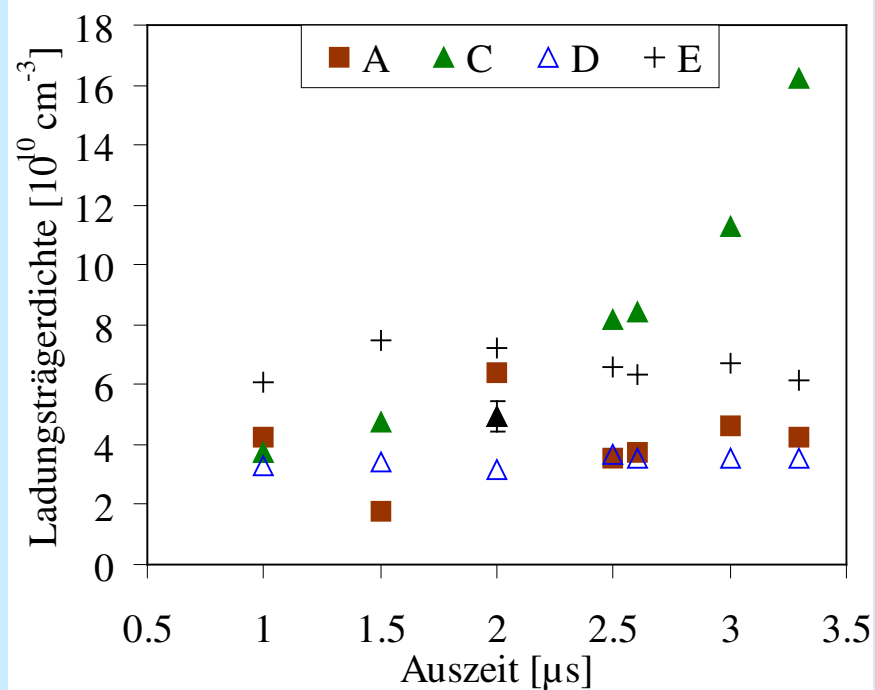
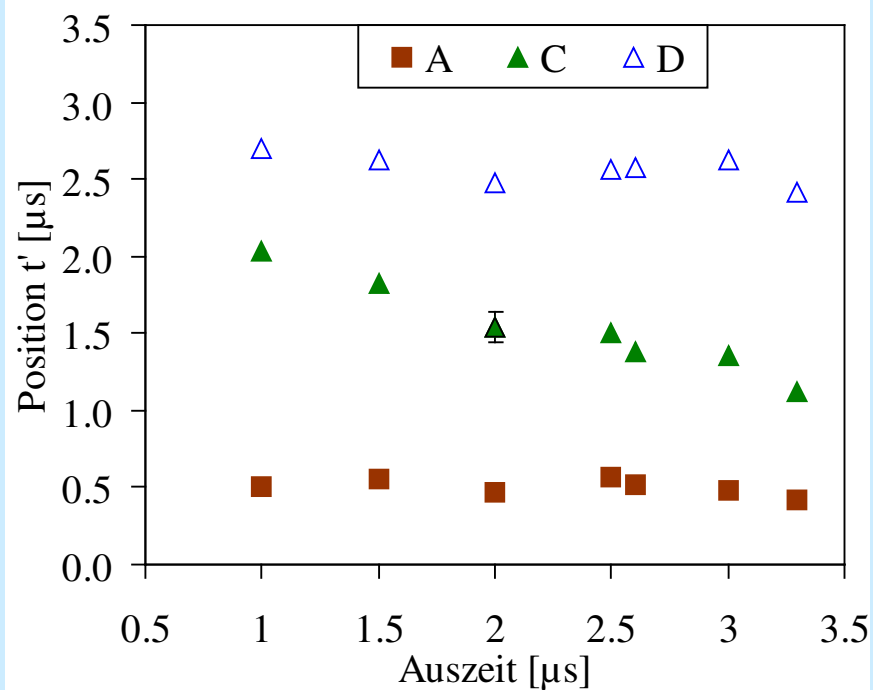
$\langle P \rangle = 100 \text{ W}$, $f = 150 \text{ kHz}$, $\tau_{\text{aus}} = 2.6 \mu\text{s}$
 $p = 0.4 \text{ Pa}$, $F_{\text{Ar}}/F_{\text{O}_2} = 50/10$

Zeitliche Änderung der Ladungsträgerdichte ($f = 150 \text{ kHz}$)



$\langle P \rangle = 100 \text{ W}$, $p = 0.4 \text{ Pa}$, $F_{\text{Ar}} / F_{\text{O}_2} = 50 / 10$

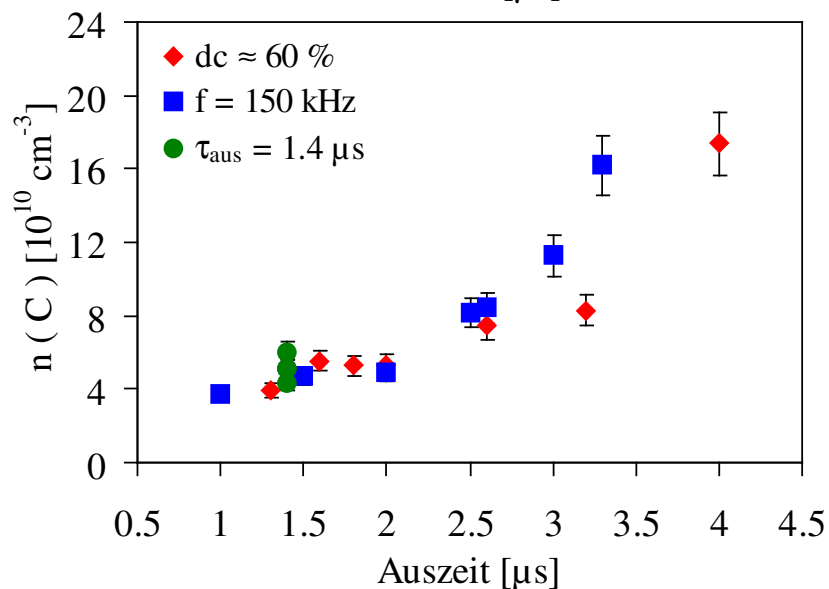
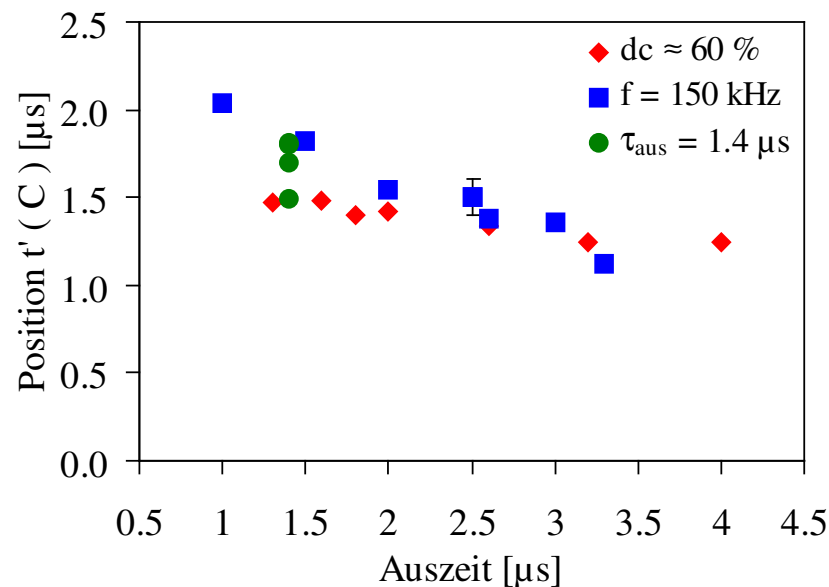
Zeitliche Position und Höhe der Extrema ($f = 150 \text{ kHz}$)



- starke Änderung von **C** bei Erhöhung von τ_{aus}
($t'(C)$ nimmt ab; $n(C)$ nimmt zu)
- $t'(A)$ und $t'(D)$ unbeeinflusst
- $n(D)$ und $n(E)$ konstant, $n(A)$ keine klare Aussage möglich

$\langle P \rangle = 100 \text{ W}$
 $p = 0.4 \text{ Pa}$
 $F_{\text{Ar}} / F_{\text{O}_2} = 50 / 10$

Welche Pulsparameter beeinflussen das Verhalten von C ?



$n(C)$ und $t'(C)$ für verschiedene Pulsparameter-Variationen:

$f = \text{konst.} = 150 \text{ kHz}$, $\tau_{\text{aus}} = (1.0 \dots 3.3) \mu\text{s}$

$dc = \text{konst.} = 0.6$, $f = (100 \dots 300) \text{ kHz}$

$\tau_{\text{aus}} = \text{konst.} = 1.4 \mu\text{s}$, $f = (150 \dots 300) \text{ kHz}$

Das Verhalten von C wird durch die Auszeit bestimmt.

Je länger τ_{aus} , desto zeitiger und größer ist C.

Verhalten von $|U_{\text{max}}|$:

zeitliche Position $t'(U_{\text{max}})$ nimmt ab,

linearer Anstieg bei Erhöhung von τ_{aus}

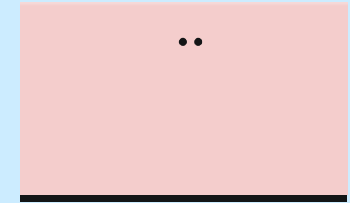
Verhalten von $|I_{\text{max}}|$:

zeitliche Position $t'(I_{\text{max}})$ nimmt ab

Zunahme bei Erhöhung von τ_{aus}

Ausgangspunkt:

- homogenes Plasma ($n_{\text{aus}} \sim 10^9 \text{ cm}^{-3}$) zum Beginn der Anphase



Annahmen:

- Vernachlässigung des Magnetfeldes
- abruptes Anlegen einer konstanten negativen Spannung an das Target

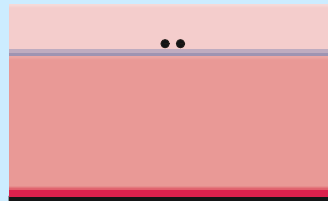
Anlegen der negativen Targetspannung

- Abstoßung der Elektronen von der Kathode
- Ionisation des Arbeitsgases

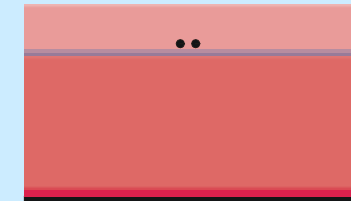
- Beschleunigung von Ionen zur Kathode
- Zerstäubung des Targets und Emission von Sekundärelektronen
- Ionisation des Arbeitsgases



Beobachtung von A



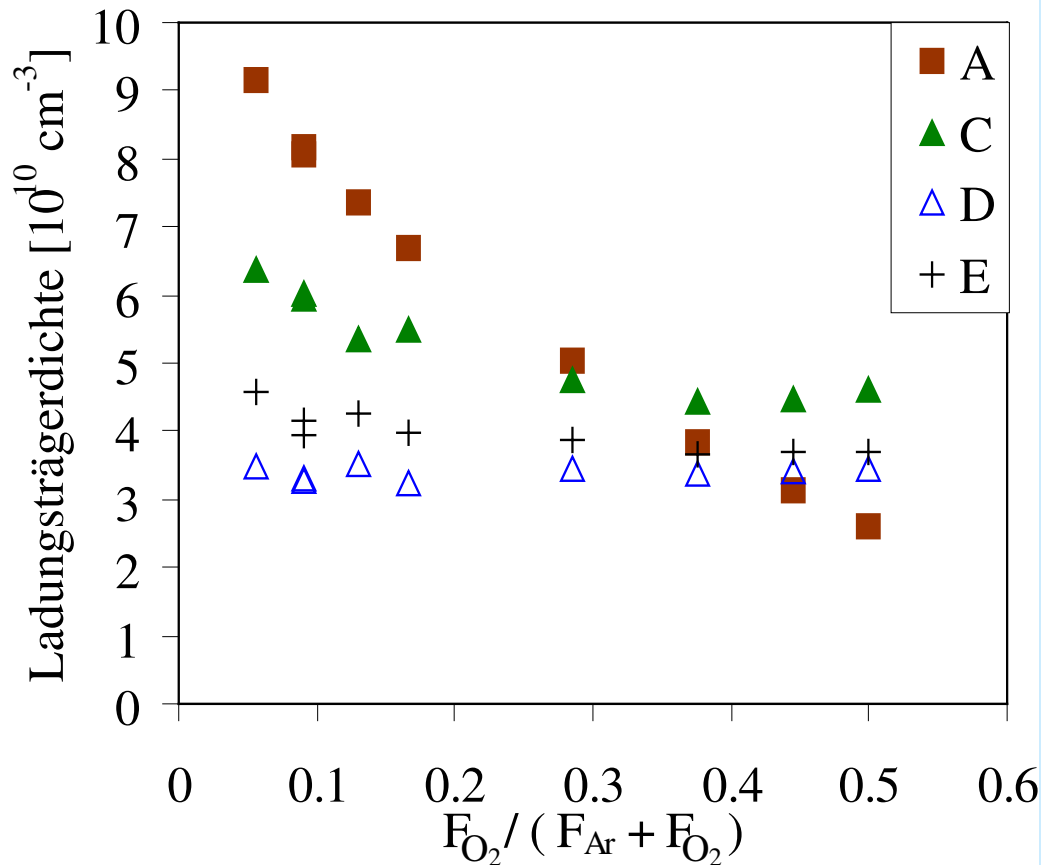
Beobachtung von C



Minima: Verarmung an Elektronen (**B**) und Ionen (**D**) vor der Kathode

stationäre Entladung (**D** → **E**)

Einfluss auf das Maximum A



$t'(Y)$: unabhängig vom O_2 –
Gehalt

$n(Y)$:

$n(A)$: starke Abnahme mit zu -
nehmendem O_2 – Gehalt

$n(C)$: Abnahme bis $\sim 20\%$ O_2

$n(D)$ und $n(E)$ konstant

$\langle P \rangle = 100 \text{ W}$, $f = 200 \text{ kHz}$, $\tau_{\text{aus}} = 2.0 \mu\text{s}$,
 $p = 0.4 \text{ Pa}$, $F_{Ar} = 50 \text{ sccm}$

→ geringer O_2 - Gehalt führt zu höherem n beim „Zünden“

$n(A)$ auch von Pulsparametern beeinflusst

→ A dominiert bei höheren Frequenzen ($f \geq 200 \text{ kHz}$) und kurzen Auszeiten → ?

Zusammenfassung und Ausblick

- Zeitaufgelöste Sondenmessungen liefern detaillierten Einblick in einzelne Phasen der Entladung
- Maximum C maßgebliche von der Auszeit beeinflusst
- Gaszusammensetzung beeinflusst das Zünden der Entladung

- Vergleich mit anderen Diagnostikverfahren (zeitaufgelöste OES)
- Ausbau der Modellvorstellungen
- Verbesserung und Weiterentwicklung der Messtechnik
 - Verfälschung der Sondenspannung durch Messwiderstand