

Auswirkungen von Kristallgitterschäden auf die elektrischen Eigenschaften von Test-Dioden für den Ausbau des CMS-Spurdetektors

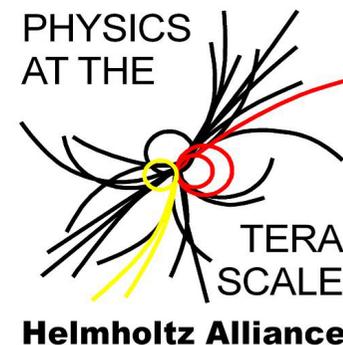
A. Junkes, J. Erfle, D. Eckstein, E. Fretwurst, T. Pöhlsen, G. Steinbrück, R. Klanner

DPG Frühjahrstagung
15.03.2011 Karlsruhe



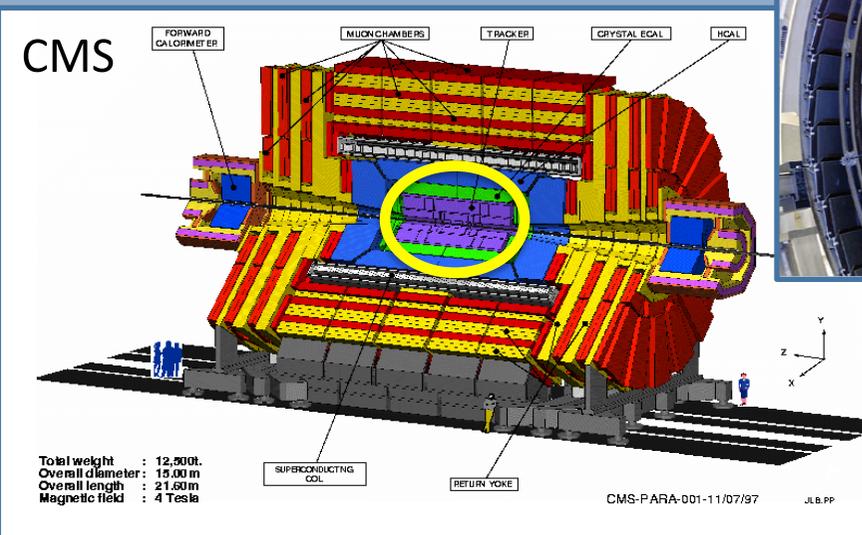
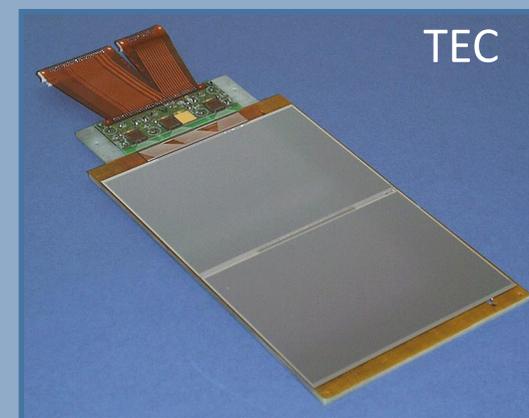
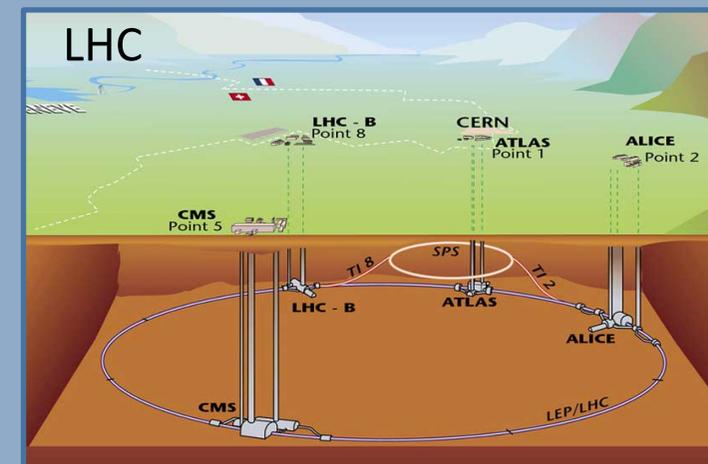
Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



Das CMS Experiment am *Large Hadron Collider*

- *LHC*: 27 km langer pp-Beschleuniger
- *high luminosity (HL) LHC* geplant für 2020
- Aktuelle CMS-Spurkammer: 214 m² Silizium
- Anforderungen an zukünftige CMS-Sensoren:
→ Hohe Strahlenhärte



Gesucht: Bestes Sensor-Material und Design
 → CMS-tracker-Testkampagne (→T66)

Test-Sensoren für den zukünftige CMS-Spurdetektor

Pad-Dioden, Streifen, Strixel, MOS.... in N-Typ und P-Typ
(mit *P-spray* und *P-stop*):

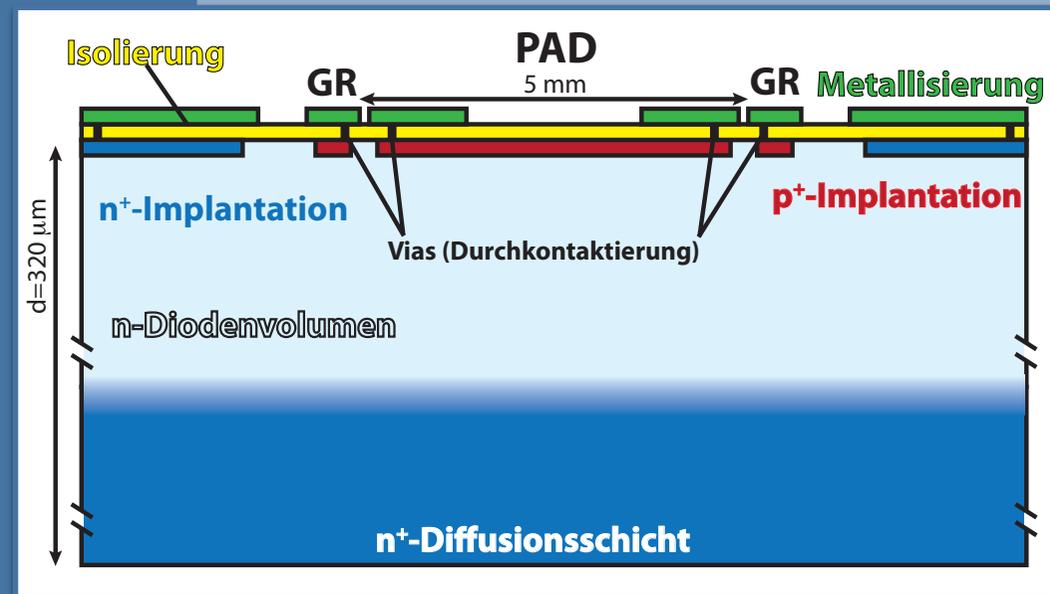
- Float Zone (120 μm , 200 μm , 320 μm)
- Magnetic Czochralski (200 μm)
- Epitaktisch gewachsen (50 μm , 70 μm , 100 μm)

Bestrahlungs-Kampagne:

- 1 MeV Neutronen am TRIGA Reaktor, Ljubljana
- 25 MeV Protonen am KIT, Karlsruhe

Messungen von:

Kapazitäts-Spannungs- (C-V) & Strom-Spannung-
Charakteristika (I-V), Ladungssammlung (CCE), Si-
Defektanalysen (DLTS, TSC)



Zielsetzung: Vollständige Charakterisierung vorhandener Silizium-
Materialien und Sensordesigns

Test-Sensoren für den zukünftige CMS-Spurdetektor

Pad-Dioden, Streifen, Strixel, MOS.... in **N-Typ** und **P-Typ**
(mit *P-spray* und *P-stop*):

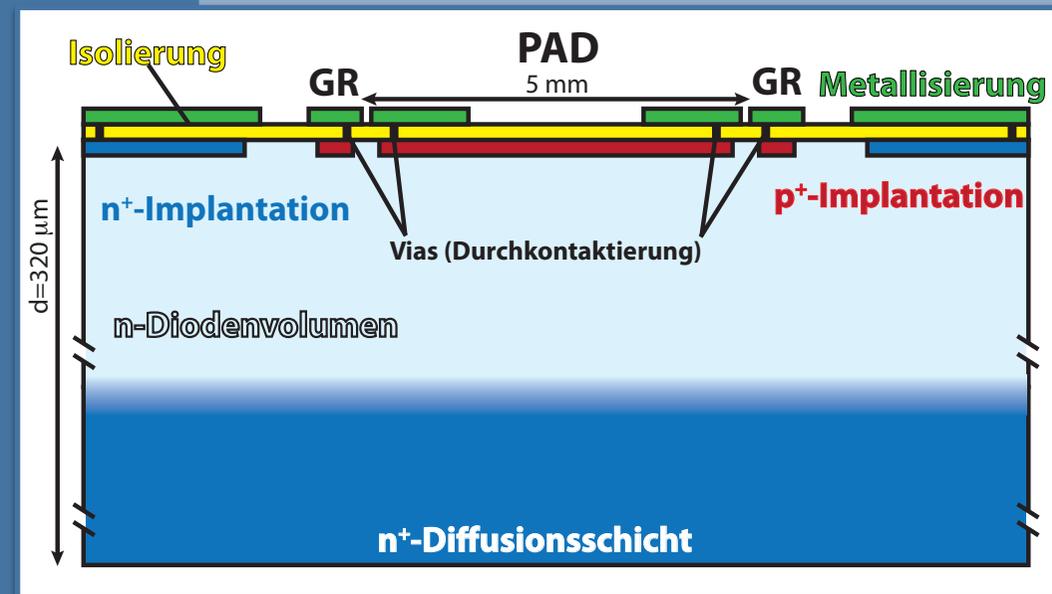
- **Float Zone (120 μm , 200 μm , 320 μm)**
- Magnetic Czochralski (200 μm)
- Epitaktisch gewachsen (50 μm , 70 μm , 100 μm)

Bestrahlungs-Kampagne:

- 1 MeV Neutronen am TRIGA Reaktor, Ljubljana
- 25 MeV Protonen am KIT, Karlsruhe

Messungen von:

Kapazitäts-Spannungs- (C-V) & Strom-Spannung-
Charakteristika (I-V), Ladungssammlung (CCE), Si-
Defektanalysen (DLTS, TSC)

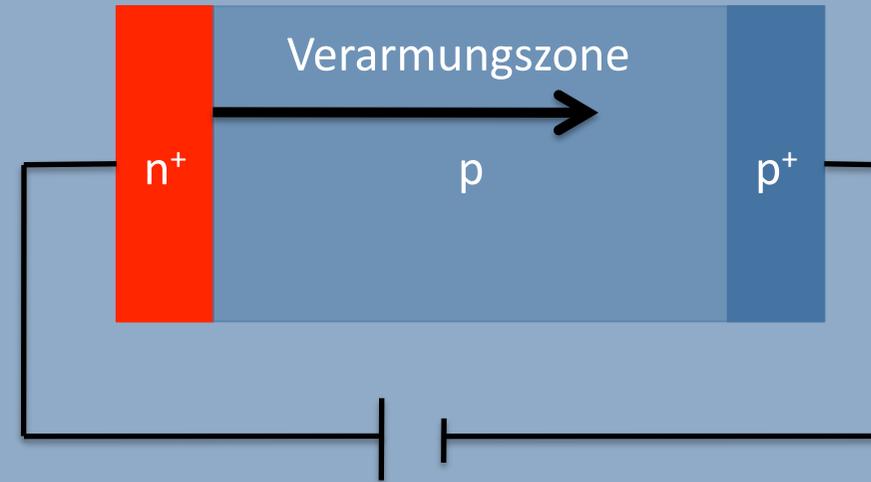
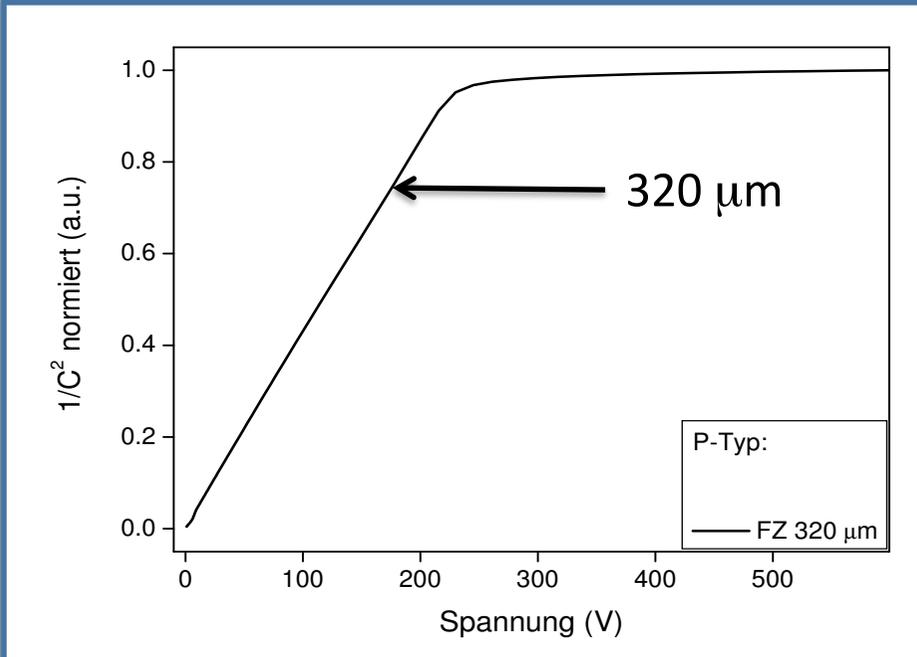


Zielsetzung: Vollständige Charakterisierung vorhandener Silizium-
Materialien und Sensordesigns

Verständnis des fabrikneuen Materials

Verständnis des fabrikneuen Materials

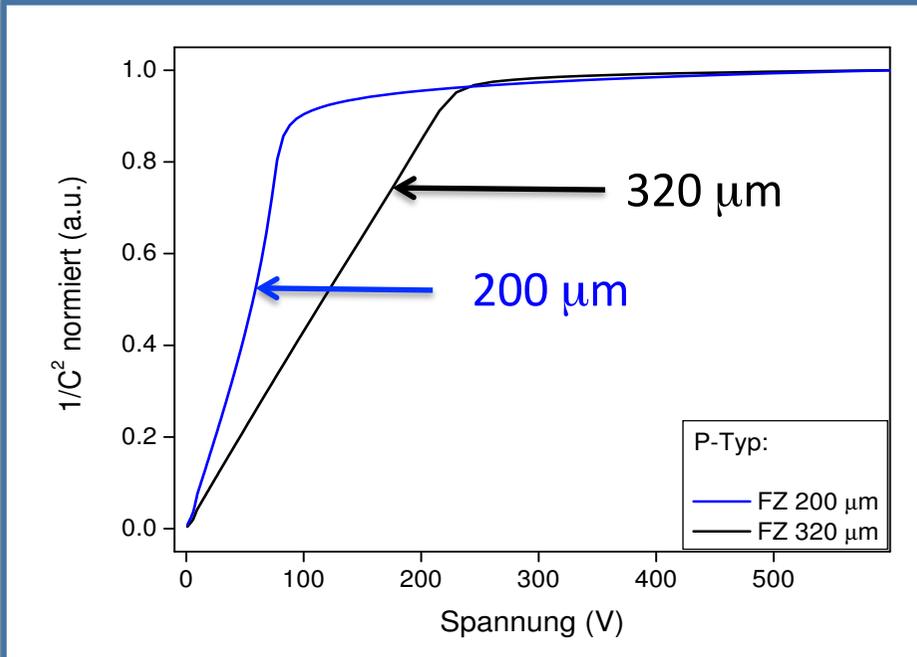
C-V Charakteristik einer P-Typ FZ Diode



- 320 μm : *ideale* C-V Kurve

Verständnis des fabrikneuen Materials

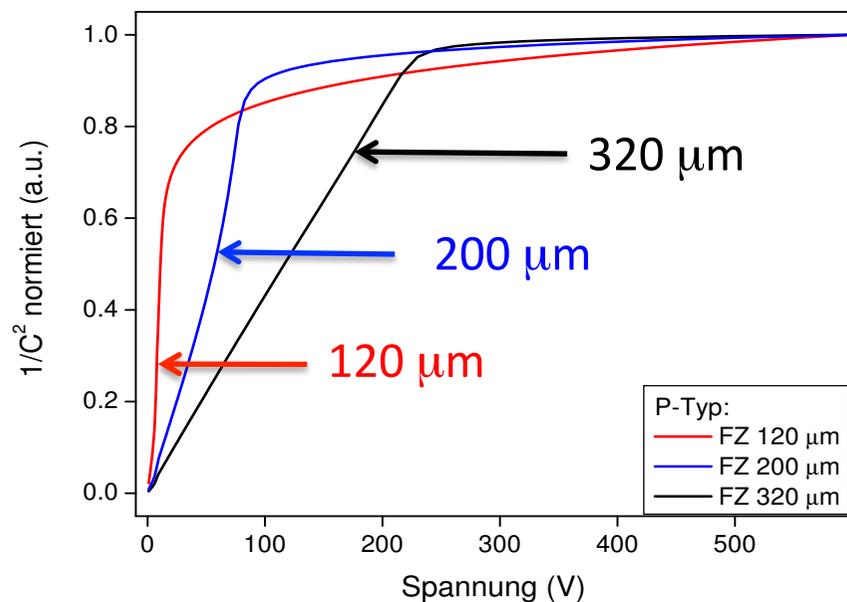
C-V Charakteristik einer P-Typ FZ Diode



- 320 μm : *ideale* C-V Kurve
- 200 μm : kein Plateau

Verständnis des fabrikneuen Materials

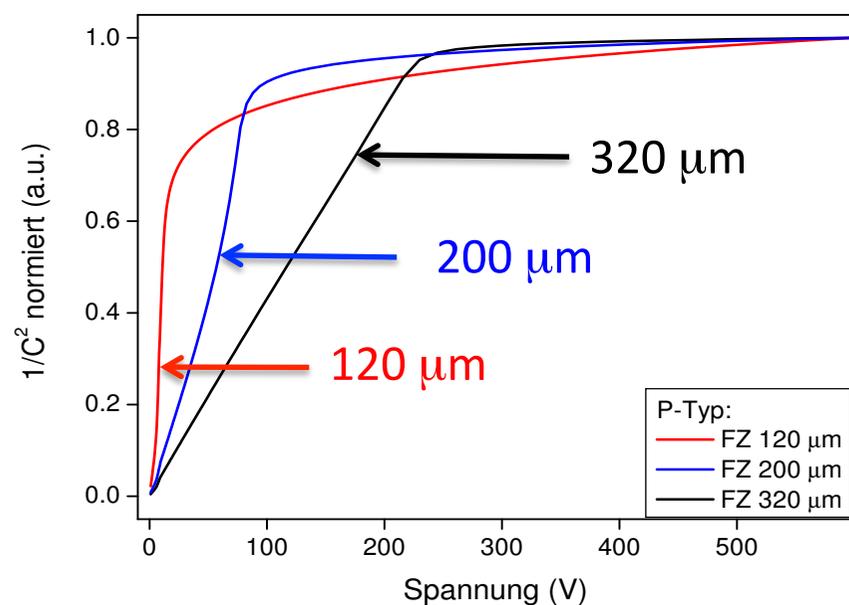
C-V Charakteristik einer P-Typ FZ Diode



- 320 μm: *ideale* C-V Kurve
- 200 μm: kein Plateau
- 120 μm: kein Plateau

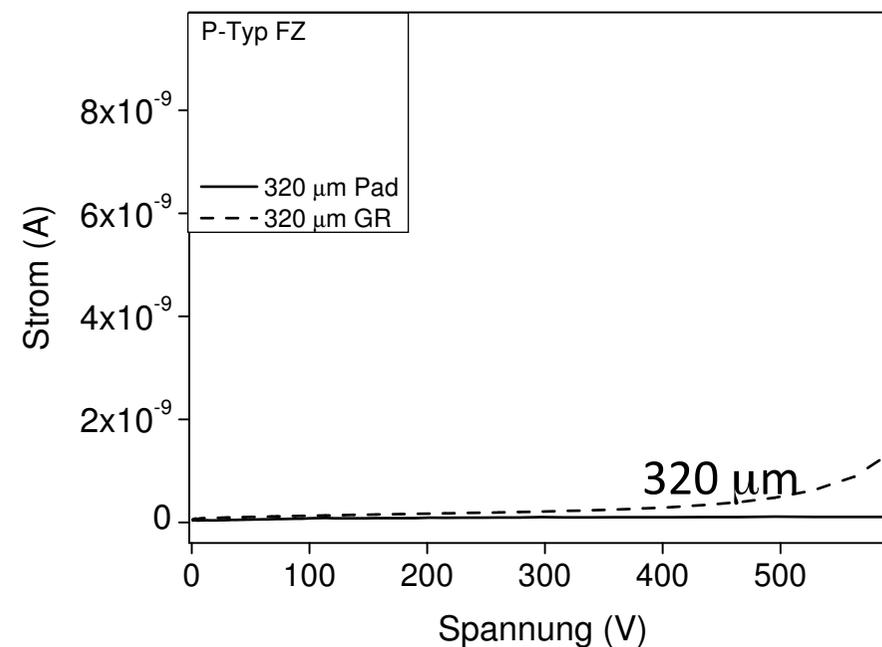
Verständnis des fabrikneuen Materials

C-V Charakteristik einer P-Typ FZ Diode



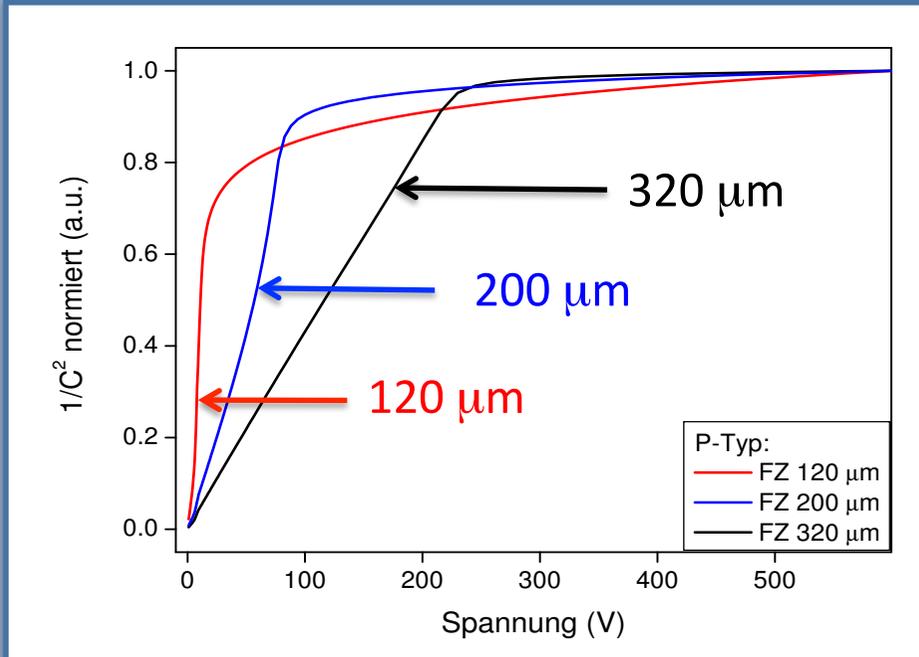
- 320 μm : ideale C-V Kurve
- 200 μm : kein Plateau
- 120 μm : kein Plateau

Strom-Spannungs Charakteristik

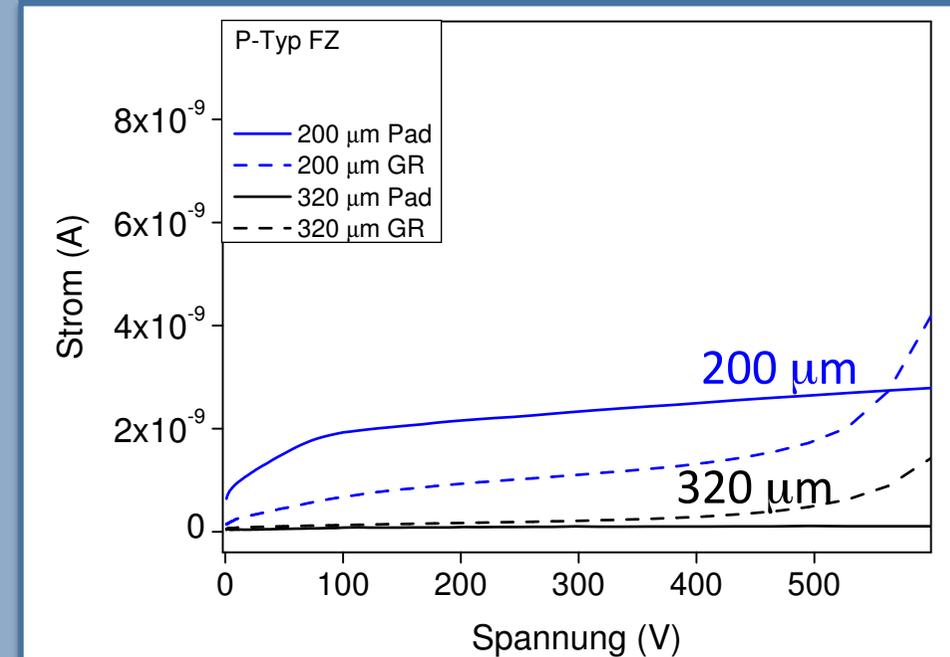


Verständnis des fabrikneuen Materials

C-V Charakteristik einer P-Typ FZ Diode



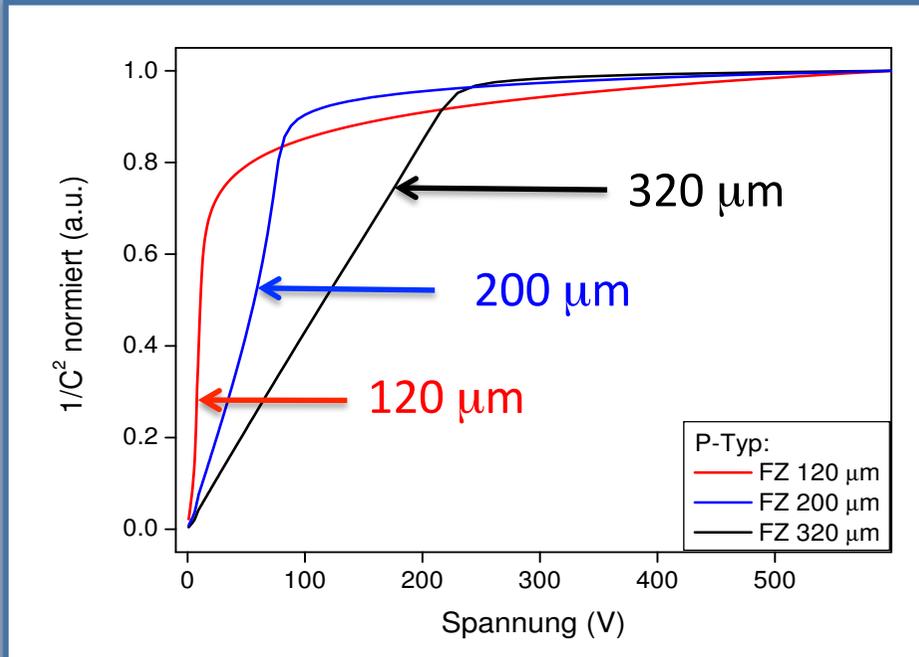
Strom-Spannungs Charakteristik



- 320 μm : *ideale* C-V Kurve
- 200 μm : kein Plateau
- 120 μm : kein Plateau

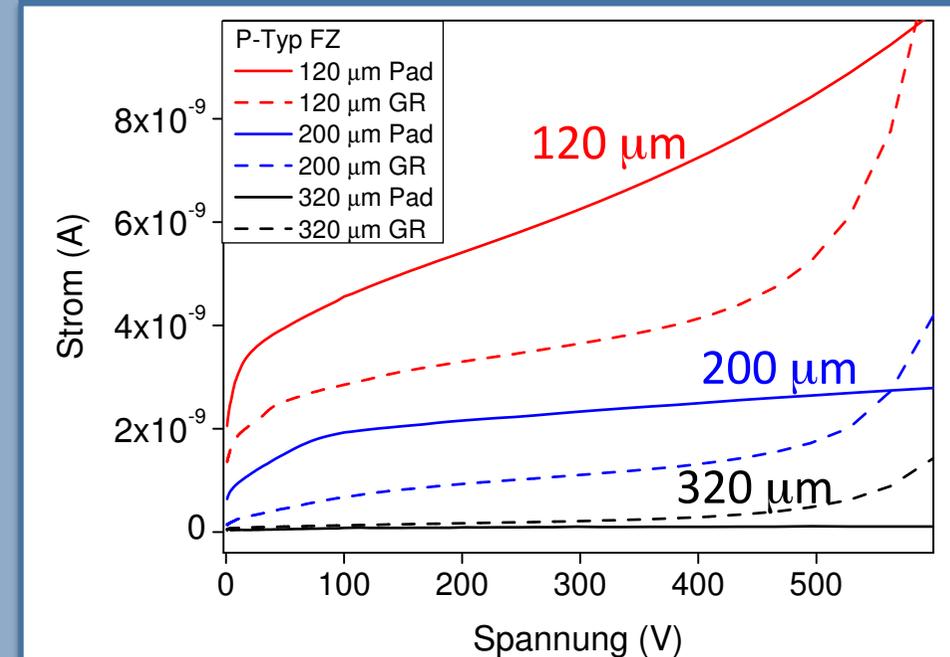
Verständnis des fabrikneuen Materials

C-V Charakteristik einer P-Typ FZ Diode



- 320 μm : ideale C-V Kurve
- 200 μm : kein Plateau
- 120 μm : kein Plateau

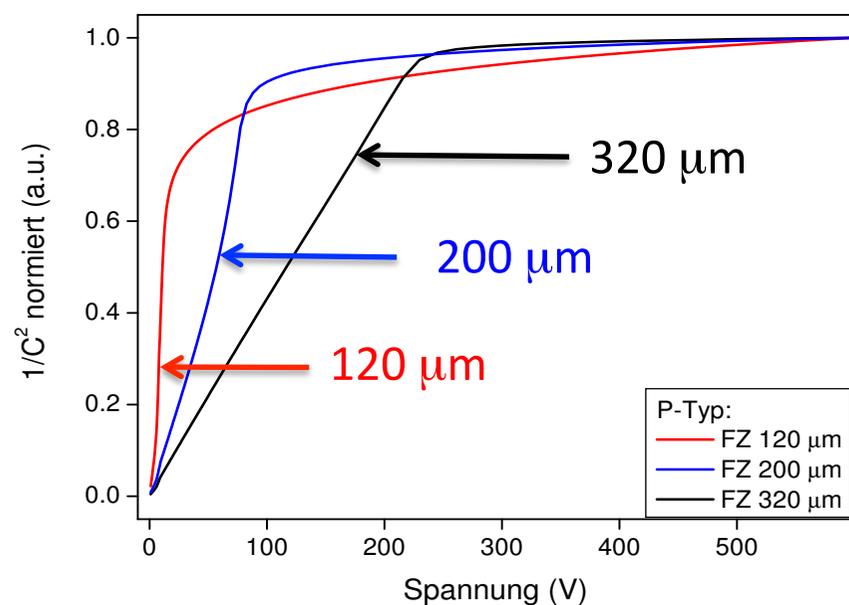
Strom-Spannungs Charakteristik



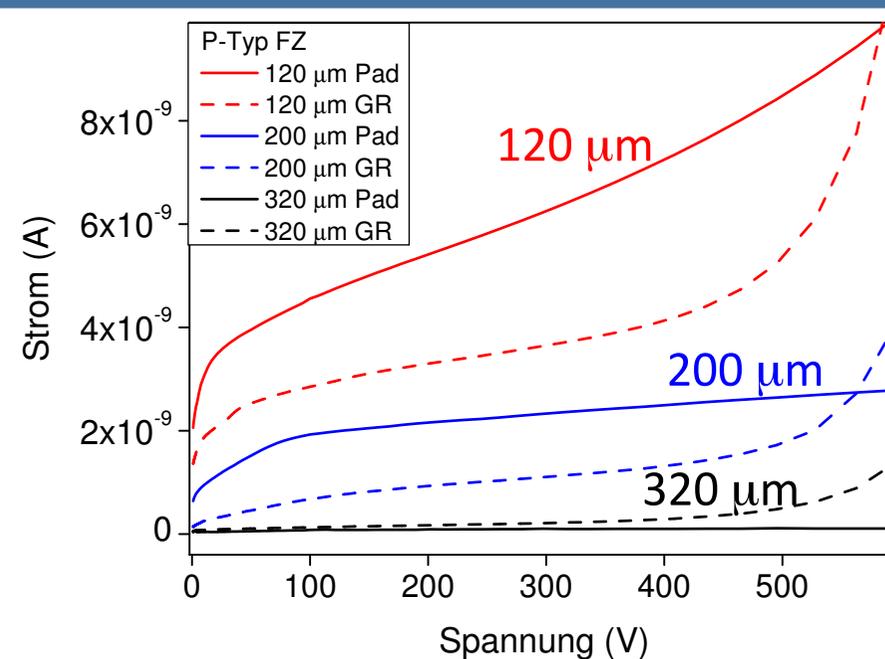
- Höherer Strom bei geringerem Volumen
- Andersherum erwartet

Verständnis des fabrikneuen Materials

C-V Charakteristik einer P-Typ FZ Diode



Strom-Spannungs Charakteristik



Mögliche Ursachen:

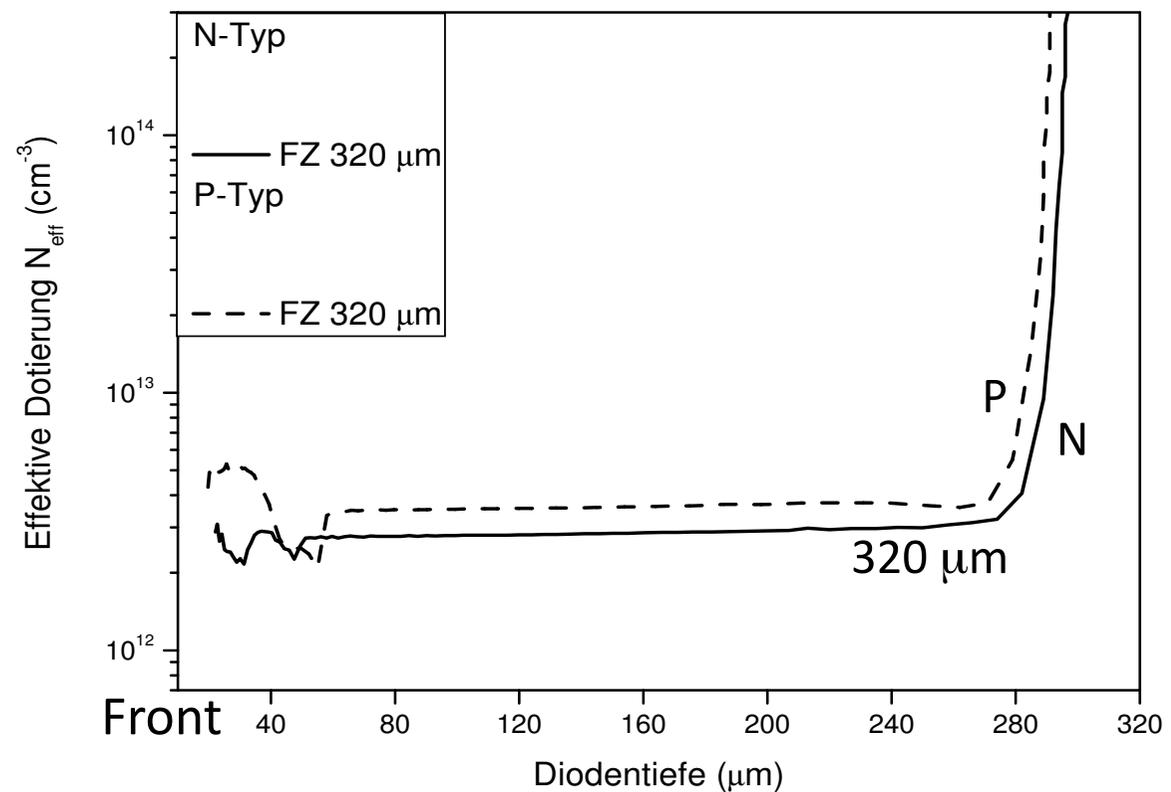
- Kristalldefekte im Dioden-Volumen
- Oberflächen- und Randeffekte

Tiefenprofil der Dotierungskonzentration

Berechnung des N_{eff} -Tiefenprofils via:

$$\frac{d(1/C^2)}{dV} = - \frac{2}{A^2 \epsilon \epsilon_0 q_0 |N_{\text{eff}}|}$$

N_{eff} -Tiefenprofil aus C-V Messungen



Tiefenprofil der Dotierungskonzentration

Berechnung des N_{eff} -Tiefenprofils via:

$$\frac{d(1/C^2)}{dV} = - \frac{2}{A^2 \epsilon \epsilon_0 q_0 |N_{\text{eff}}|}$$

N_{eff} -Tiefenprofil

N-Typ Sensoren:

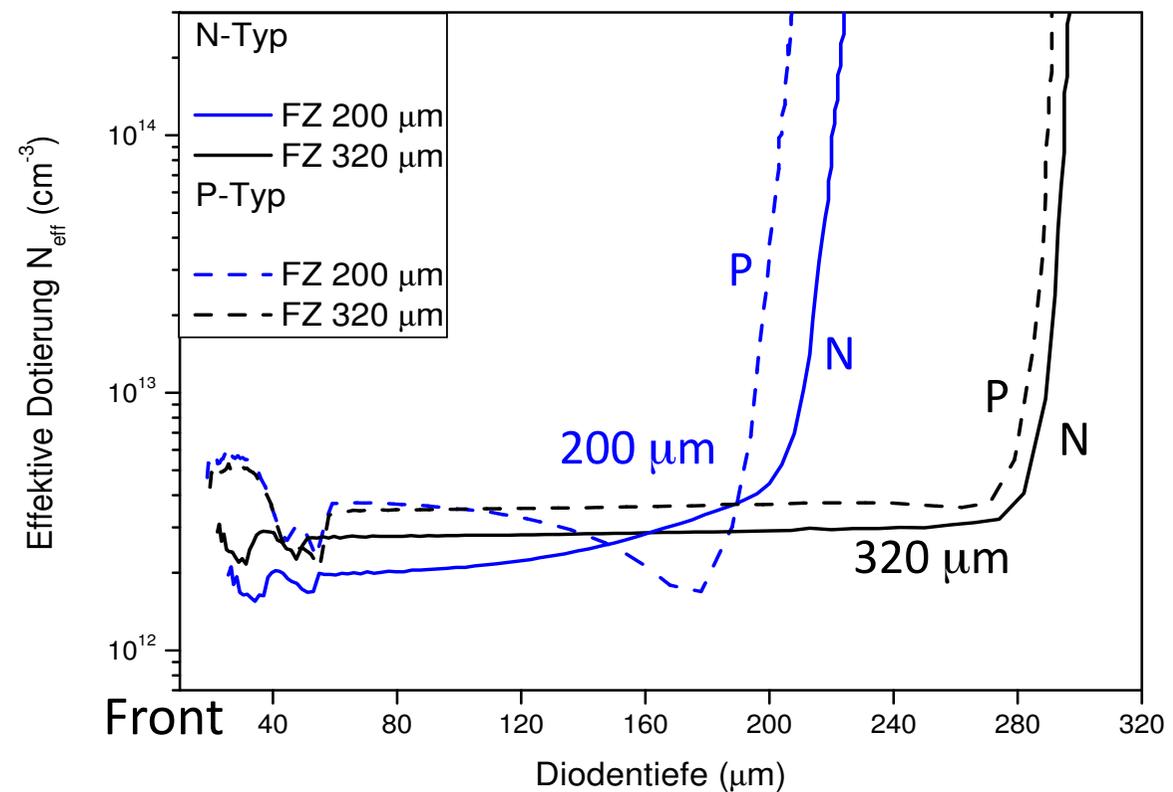
- Anstieg der Dotierung in Richtung Rückimplantation

P-Typ Sensoren:

- Dotierungsabfall an der Rückimplantation

Insbesondere bei dünnen Dioden

N_{eff} -Tiefenprofil aus C-V Messungen



Tiefenprofil der Dotierungskonzentration

Berechnung des N_{eff} -Tiefenprofils via:

$$\frac{d(1/C^2)}{dV} = - \frac{2}{A^2 \epsilon \epsilon_0 q_0 |N_{\text{eff}}|}$$

N_{eff} -Tiefenprofil

N-Typ Sensoren:

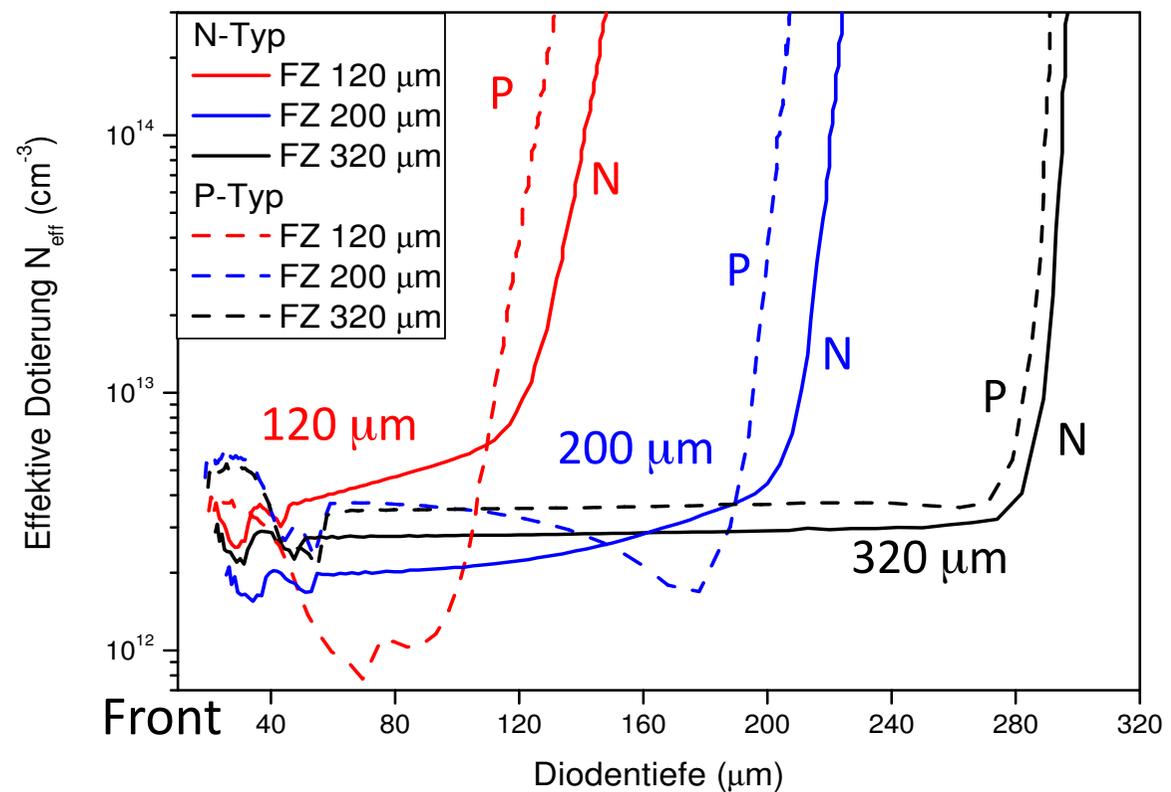
- Anstieg der Dotierung in Richtung Rückimplantation

P-Typ Sensoren:

- Dotierungsabfall an der Rückimplantation

Insbesondere bei dünnen Dioden

N_{eff} -Tiefenprofil aus C-V Messungen



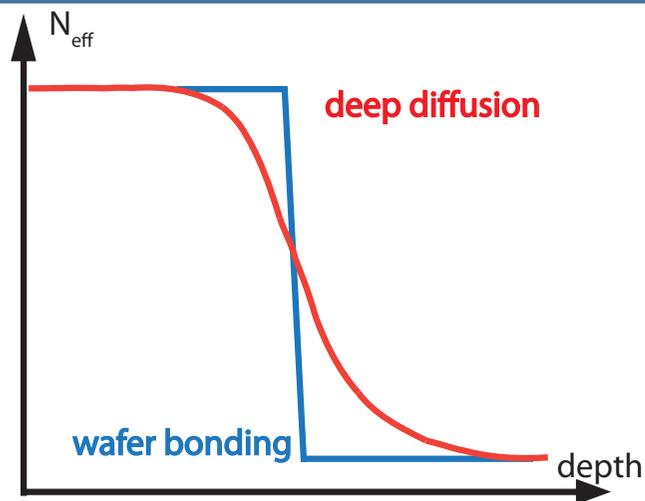
Tiefenprofil zeigt starke Inhomogenität

Tiefenprofil der Dotierungskonzentration

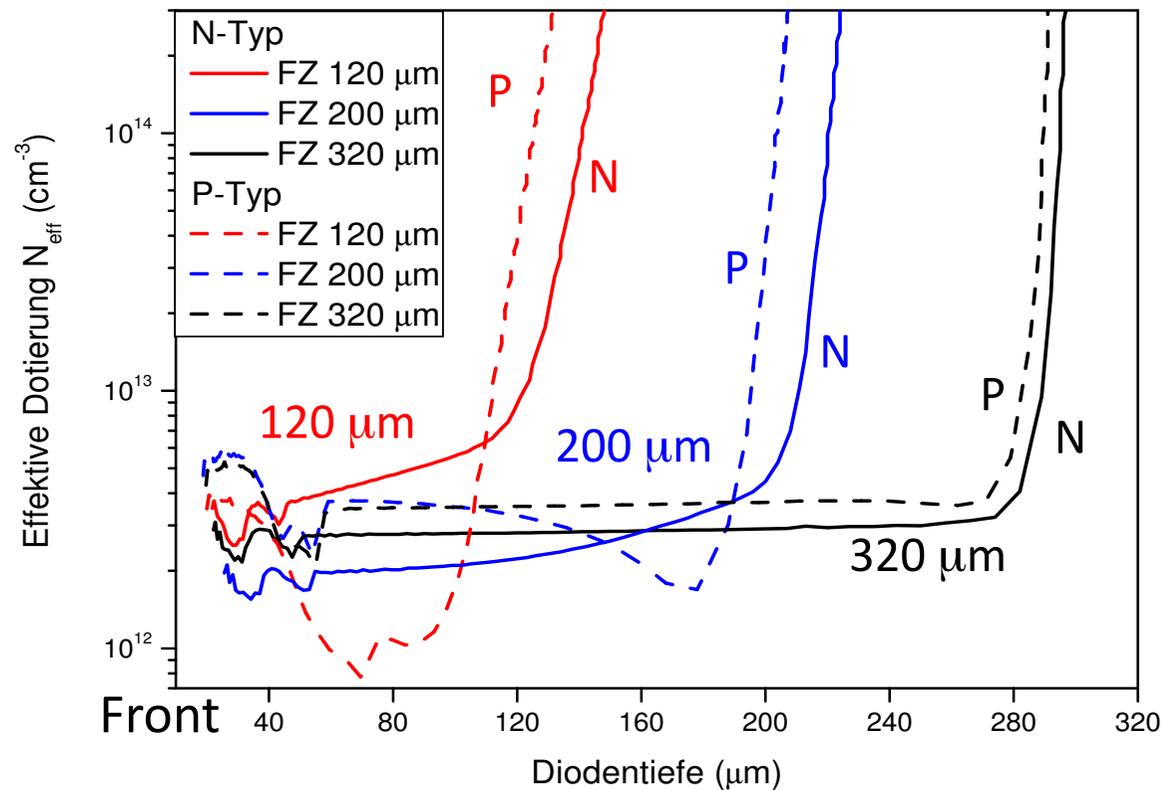
Berechnung des N_{eff} -Tiefenprofils via:

$$\frac{d(1/C^2)}{dV} = - \frac{2}{A^2 \epsilon \epsilon_0 q_0 |N_{eff}|}$$

Ursache: *deep diffusion* Prozess



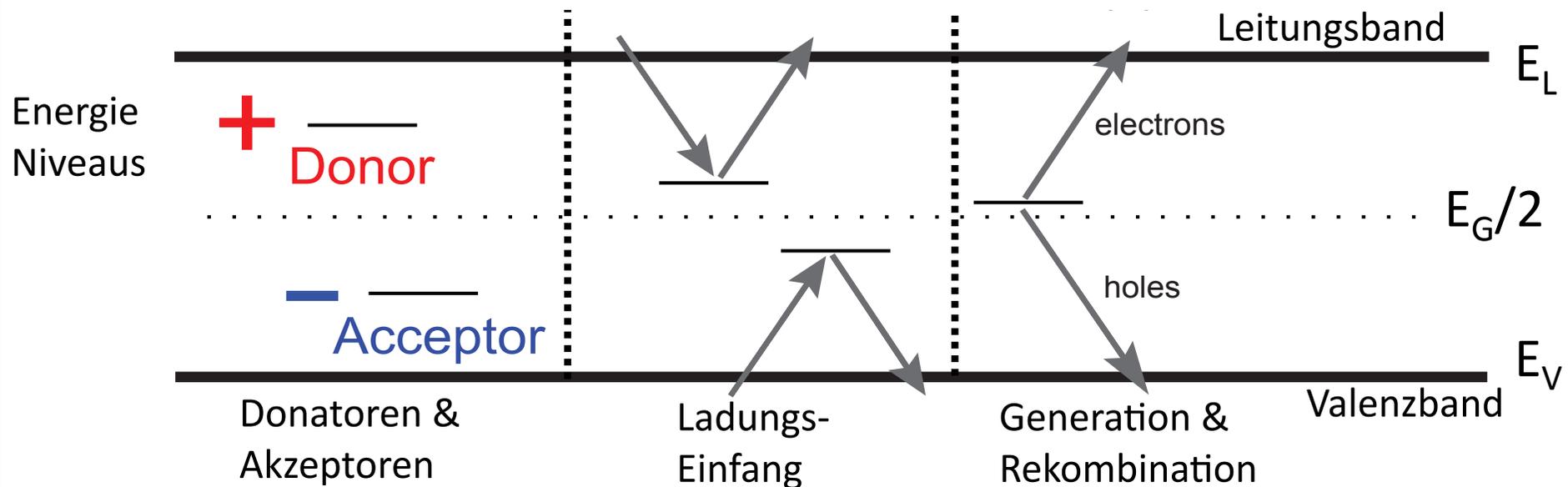
N_{eff} -Tiefenprofil aus C-V Messungen



Tiefenprofil zeigt starke Inhomogenität

Einfluß von Defekten auf Dioden-Eigenschaften

Wird beschrieben von der Shockley-Read-Hall Statistik



Bei RT geladene Defekte

→ $N_{\text{eff}}, V_{\text{dep}}$

(Akzeptoren in der unteren & Donatoren in der oberen Hälfte der Bandlücke)

Tiefe Defekte

→ CCE

(Flache Niveaus rekombinieren und tragen nicht bei)

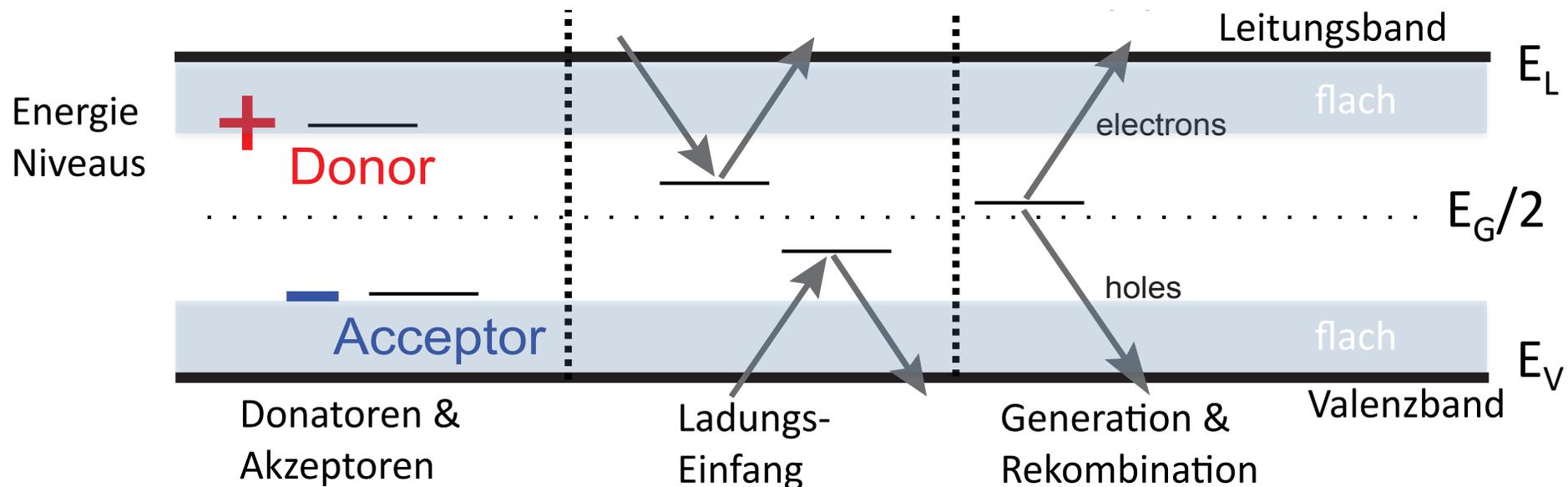
Niveaus in der Mitte der Bandlücke können den Strom erhöhen

→ I_{leak}

(Tiefe Niveaus besonders effektiv)

Einfluß von Defekten auf Dioden-Eigenschaften

Wird beschrieben von der Shockley-Read-Hall Statistik



Bei RT geladene Defekte

→ $N_{\text{eff}}, V_{\text{dep}}$

(Akzeptoren in der unteren & Donatoren in der oberen Hälfte der Bandlücke)

Tiefe Defekte

→ CCE

(Flache Niveaus rekombinieren und tragen nicht bei)

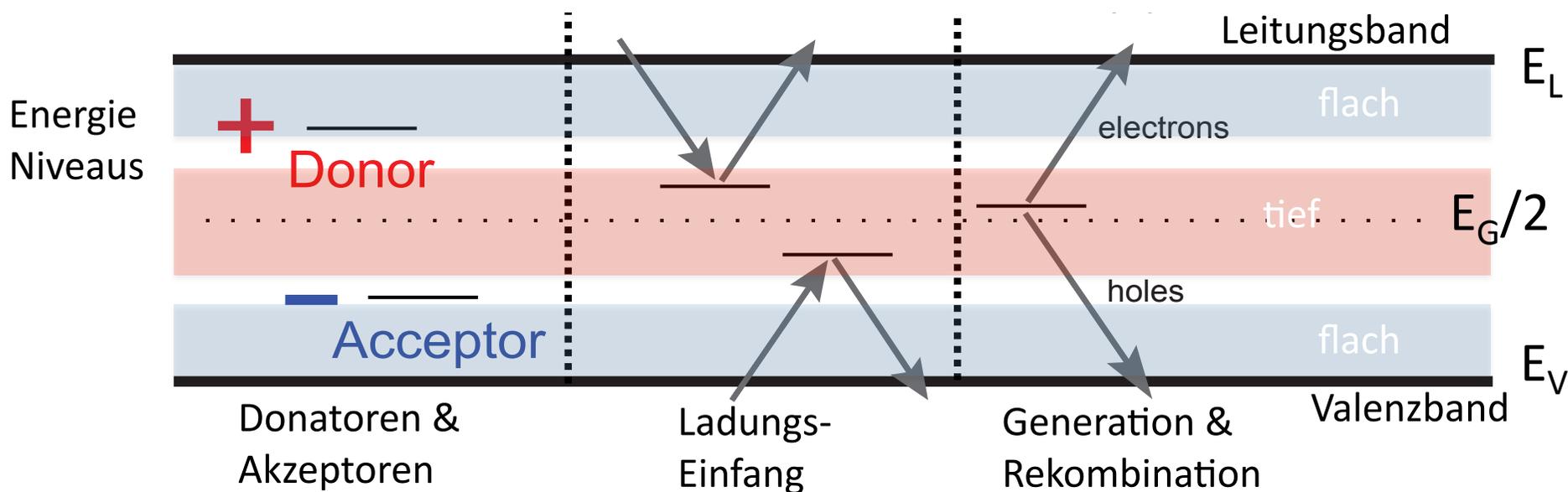
Niveaus in der Mitte der Bandlücke können den Strom erhöhen

→ I_{leak}

(Tiefe Niveaus besonders effektiv)

Einfluß von Defekten auf Dioden-Eigenschaften

Wird beschrieben von der Shockley-Read-Hall Statistik



Bei RT geladene Defekte

→ N_{eff} , V_{dep}

(Akzeptoren in der unteren & Donatoren in der oberen Hälfte der Bandlücke)

Tiefe Defekte

→ CCE

(Flache Niveaus rekombinieren und tragen nicht bei)

Niveaus in der Mitte der Bandlücke können den Strom erhöhen

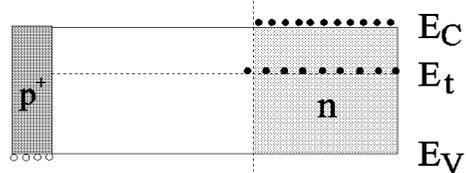
→ I_{leak}

(Tiefe Niveaus besonders effektiv)

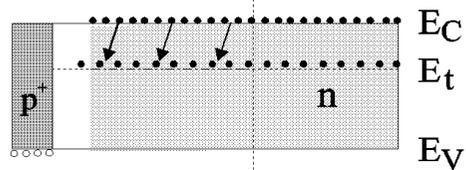
Deep Level Transient Spectroscopy

DLTS Prinzip (Elektronen)

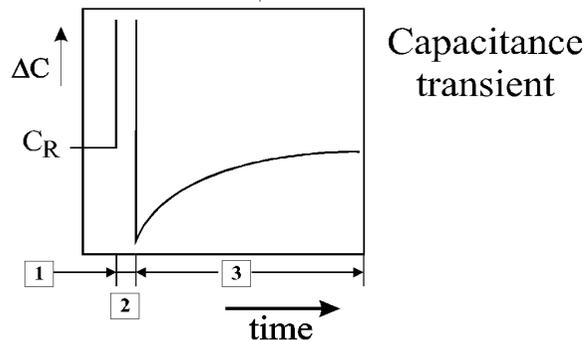
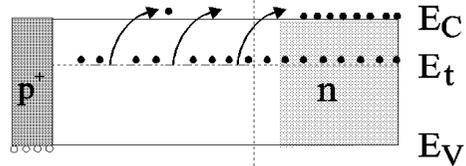
1 Quiescent reverse bias (V_R)



2 Majority carrier pulse (V_P)



3 Thermal emission of carriers (V_R)



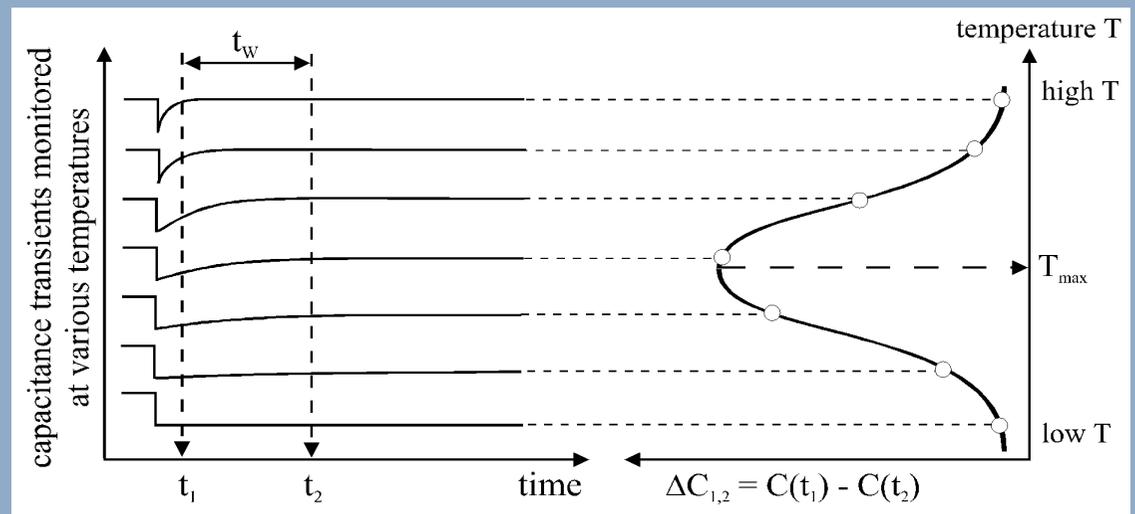
Messung von Kapazitätstransienten während eines T-Scans

1. Diode in Sperrrichtung
 2. Füllen der Defekte mit Ladungsträgern während T-Scan
 3. Emission der gefüllten Defekte → Kapazitätsänderung
- Kapazitätstransienten messen als Funktion von T

- Transiente folgt:
- Analyse der Transiente
- Konzentration mittels:

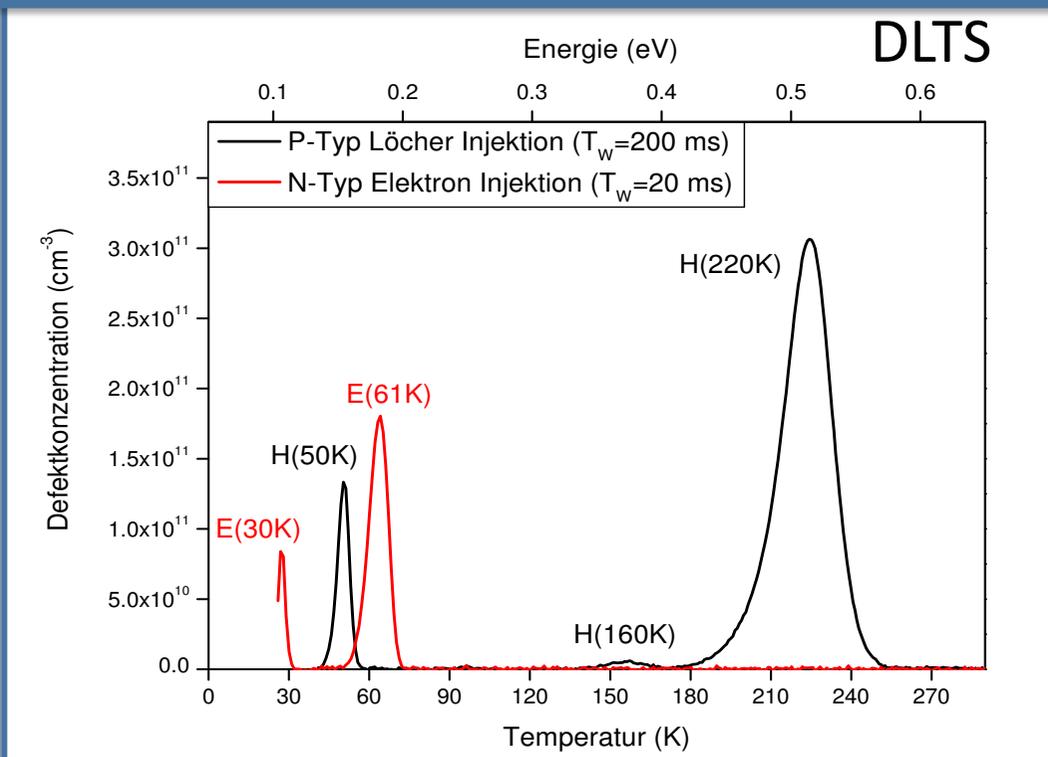
$$\Delta C = \Delta C_0 \exp(-e_n t)$$

$$N_t \approx 2N_D \frac{\Delta C}{C_0}$$

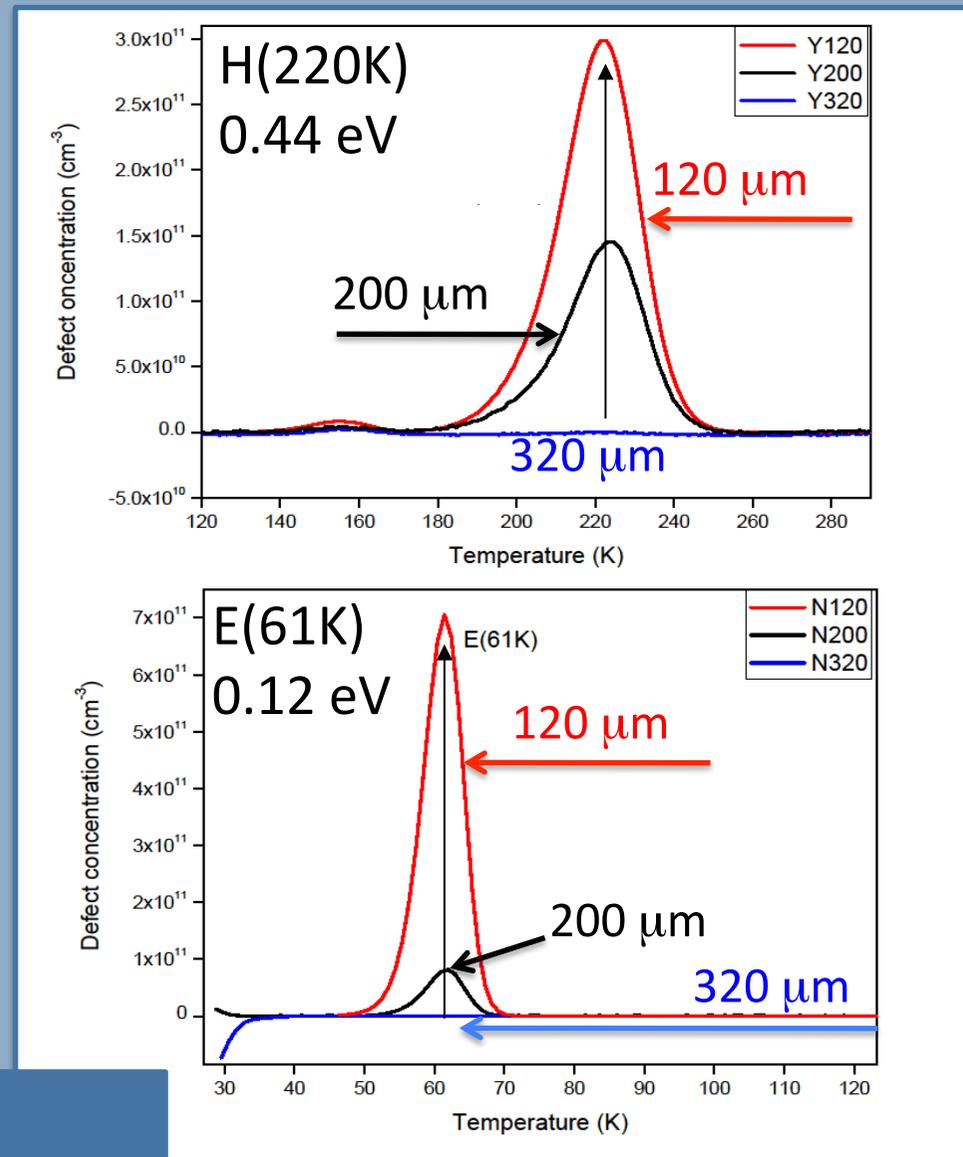


Bildung von Defekten durch Prozessierung

Kristalldefekte im FZ Silizium



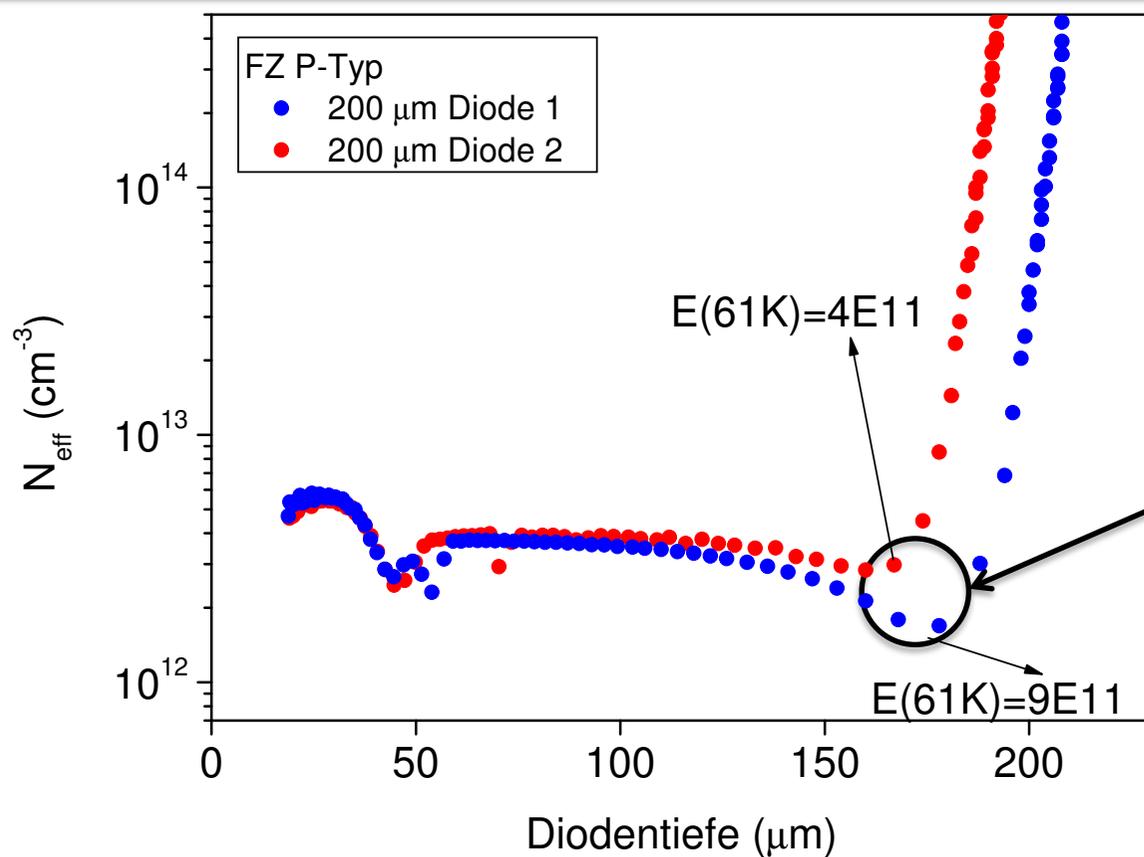
H(220K) in P-Typ: Strom Generator bei 0.44 eV
 E(61K): Donator, generiert pos. Raumladung



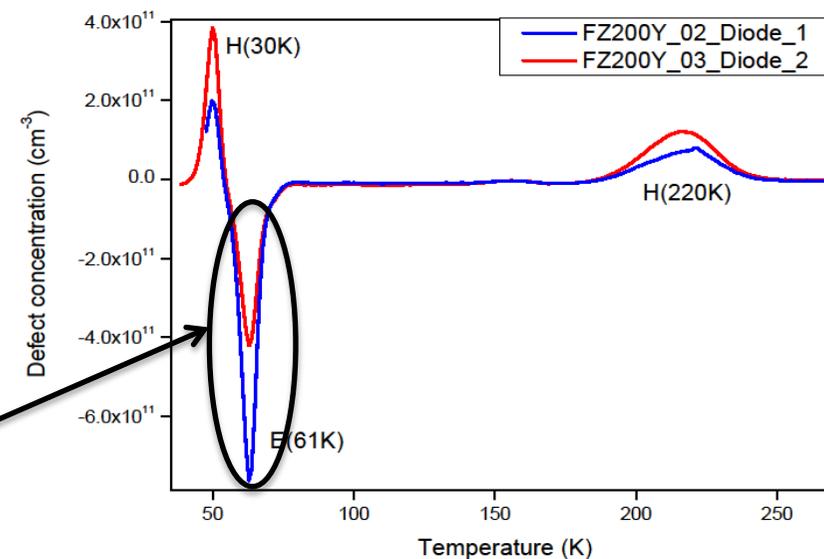
Diodendicke und Defektkonzentration korrelieren

Auswirkungen des E(61K)-Donators

N_{eff} Tiefenprofile von P-Typ Dioden aus C-V



N_{eff} Tiefenprofile von P-Typ

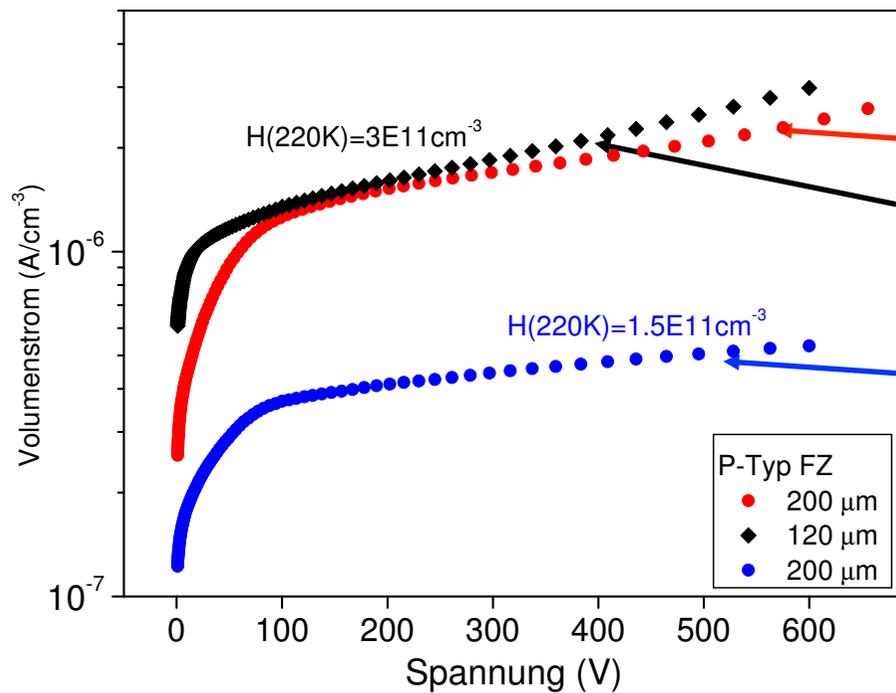


Auswirkung von Donator E(61K)
 Reduzierung von N_{eff} in P-Typ Material
 Anstieg von N_{eff} in N-Typ Material

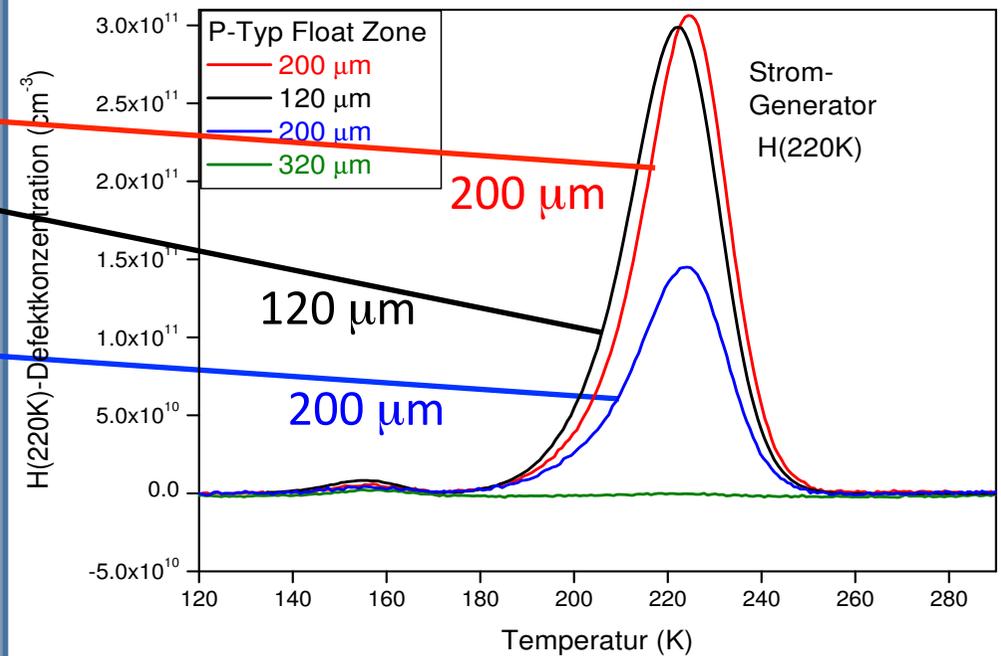
Deep diffusion Prozess erzeugt Donator mit Einfluß auf N_{eff}

H(220K) erzeugt Strom

I-V Messungen



DLTS Messungen



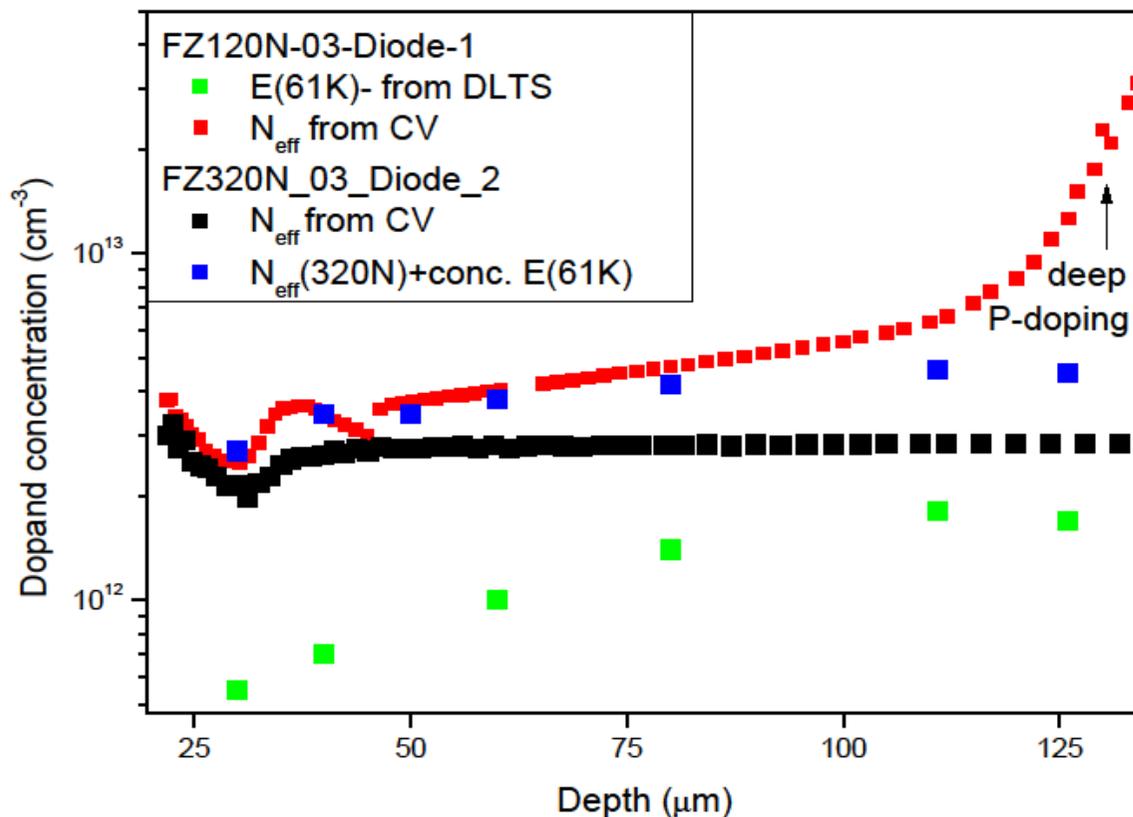
- Defektkonzentration skaliert mit Stromgeneration
- Volumen-Defekte erklären Diodeneigenschaften!

Zusammenfassung

- Dioden aus neuem Herstellungsprozess auf N- und P-Typ FZ Silizium zeigen ungewöhnliche Abhängigkeit von Diodendicke und
 - der effektiven Dotierungskonzentration
 - der Stromgeneration
- Materialdefekte erzeugt durch neuen *deep diffusion* Prozess konnten mittels DLTS ermittelt werden
- Volumen-Defekte erklären
 - N_{eff} -Profil
 - Zunahme des Sperrstroms, Verhalten nach Verarmung bleibt ungeklärt

Tiefenprofil des E(61K)-Defektes

Konzentration des E(61K)-Defektes (DLTS)



- Anstieg des Tiefenprofils der Konzentration des E(61K)-Defektes zur Rückseite
- $[\text{E}(61\text{K})] + N_{\text{eff}}$ aus C-V (FZ Diode mit $d=320 \mu\text{m}$)
- Ergebnis reproduziert N_{eff} aus C-V für Diode mit $d=120 \mu\text{m}$

E(62K) verantwortlich für Inhomogenität an der Rückseite!