

# Untersuchungen zur Oberflächenschädigung von Si-Sensoren durch Röntgenstrahlung

Friederike Januschek<sup>1,2</sup>, Hanno Perrey<sup>1</sup>, Robert Klanner<sup>1</sup>,  
Eckhart Fretwurst<sup>1</sup> und Jolanta Sztuk-Dambietz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Experimentalphysik,  
Universität Hamburg

<sup>2</sup>DESY, Hamburg

3. März, DPG Freiburg 2008

# Gliederung

- 1 Einleitung
- 2 Messergebnisse
- 3 Zusammenfassung

# Gliederung

## 1 Einleitung

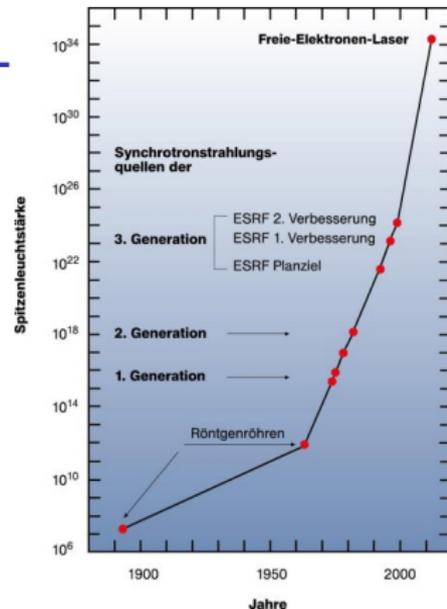
- Motivation
- Teststrukturen: „gate-controlled diodes“
- Strom- und Kapazitäts-Charakteristika von MOS-Dioden
- Versuchsdurchführung

## 2 Messergebnisse

## 3 Zusammenfassung

# Motivation: Anforderungen bei XFEL

- **Spitzenbrillanz** viele Größenordnungen über der bisheriger Röntgenquellen
- **integrierte Photonflüsse** bis zu  $10^{12} \gamma / \text{Pixel} \hat{=} 10^9 \text{ Gy} [10^9 \text{ J/kg}]$
- XFEL: **Photonenergien** im Bereich von 10 keV

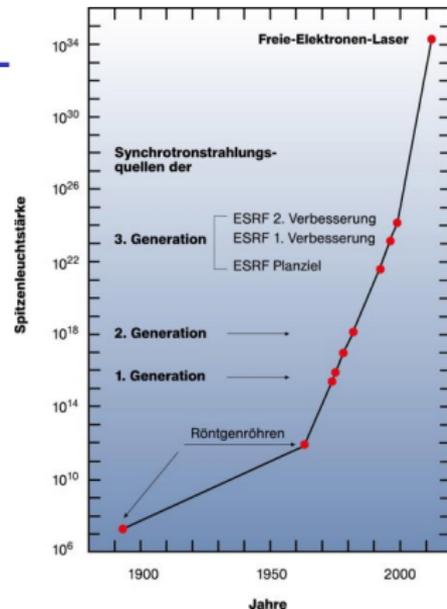


## Mögliche Effekte auf Detektoren und Elektronik

- keine Volumen-Schäden: wären erst ab  $E_\gamma \approx 300 \text{ keV}$  zu erwarten
- Ladungs-Ansammlung an Oberfläche (Si-SiO<sub>2</sub> Übergang)
  - ⇒ Verschiebung der Flachband-Spannung  $V_{FB}$
  - ⇒ hohe Feldstärken (daher Gefahr von Durchbrüchen)
- Oberflächen-Rekombination führt zu Dunkelströmen

# Motivation: Anforderungen bei XFEL

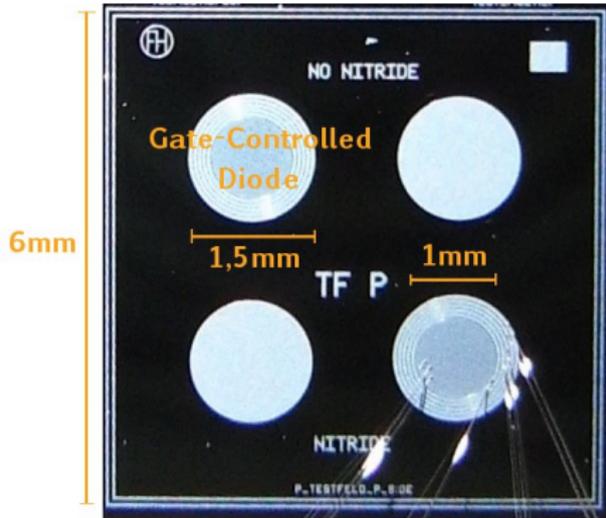
- Spitzenbrillanz viele Größenordnungen über der bisheriger Röntgenquellen
- integrierte Photonflüsse bis zu  $10^{12} \gamma / \text{Pixel} \hat{=} 10^9 \text{ Gy} [10^9 \text{ J/kg}]$
- XFEL: Photonenergien im Bereich von 10 keV



## Mögliche Effekte auf Detektoren und Elektronik

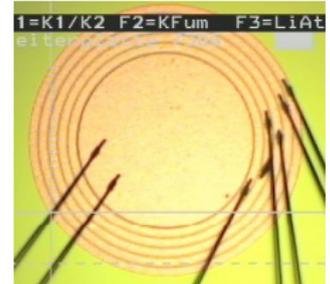
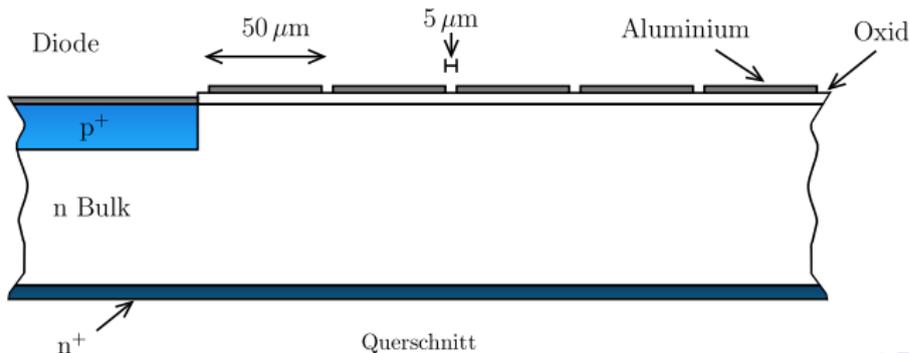
- keine **Volumen-Schäden**: wären erst ab  $E_\gamma \approx 300 \text{ keV}$  zu erwarten
- **Ladungs-Ansammlung** an Oberfläche (Si-SiO<sub>2</sub> Übergang)
  - ⇒ Verschiebung der **Flachband-Spannung**  $V_{FB}$
  - ⇒ hohe **Feldstärken** (daher Gefahr von Durchbrüchen)
- **Oberflächen-Rekombination** führt zu **Dunkelströmen**

# Verwendete Teststrukturen: *gate-controlled diodes*



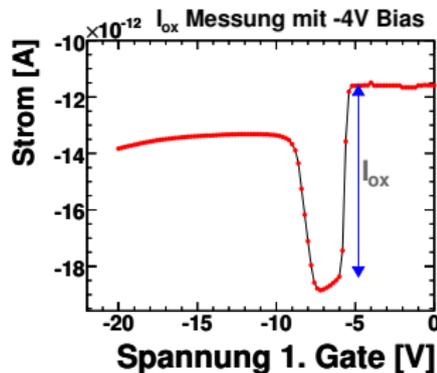
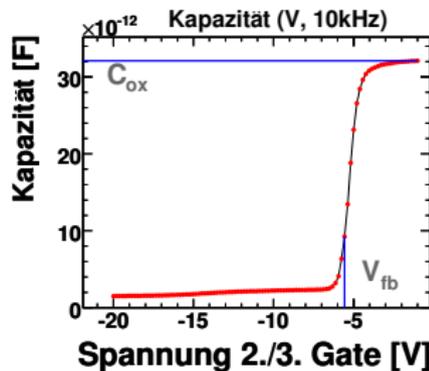
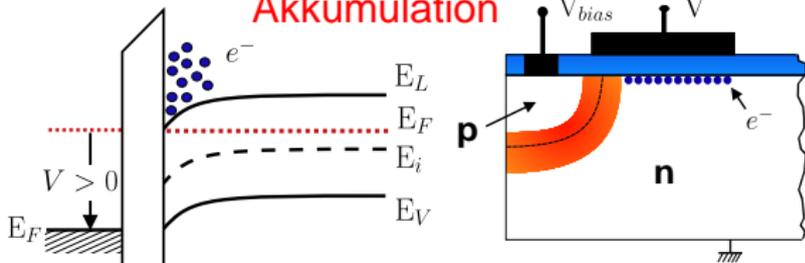
## Eigenschaften

- 5 Aluminium Gate-Ringe
- 280  $\mu\text{m}$  dick
- Gering dotiert  
→ hoher Widerstand
- 300 nm  
SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Isolatorschicht  
zwischen Gates und n-Bulk

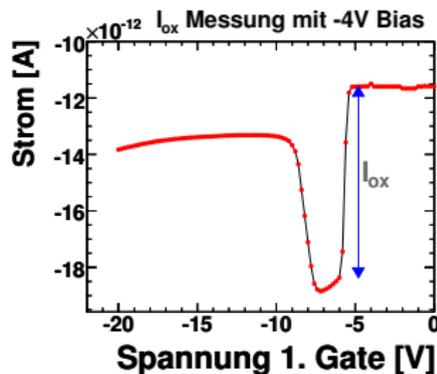
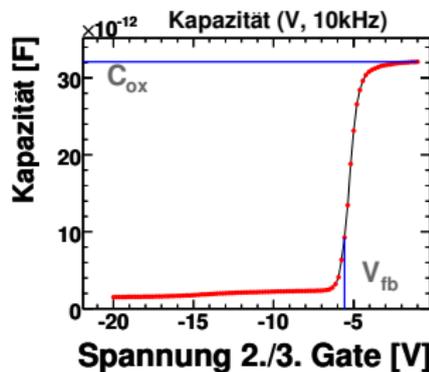
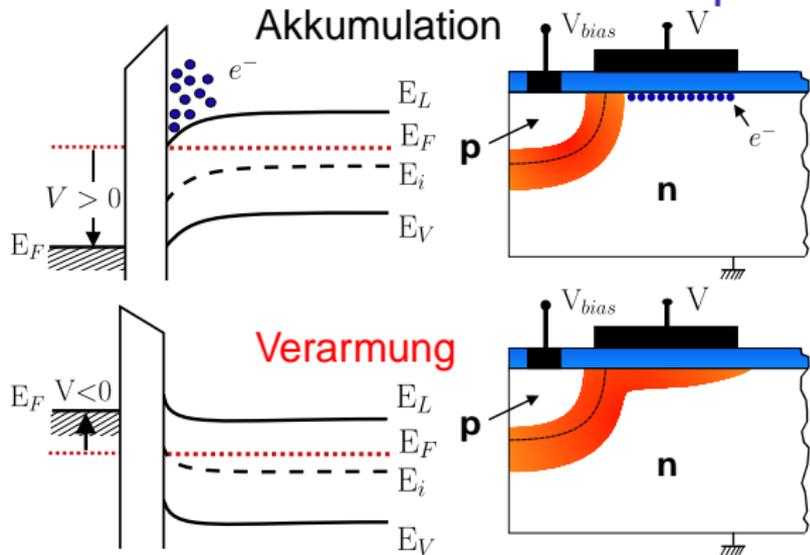


# MOS-Dioden: Strom- und Kapazitäts-Charakteristika

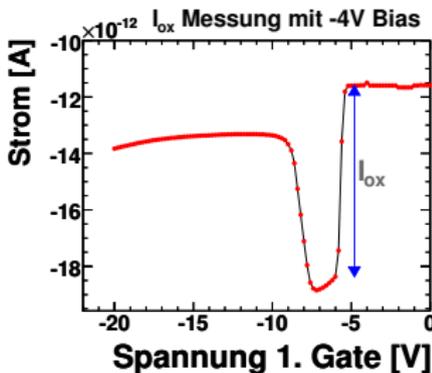
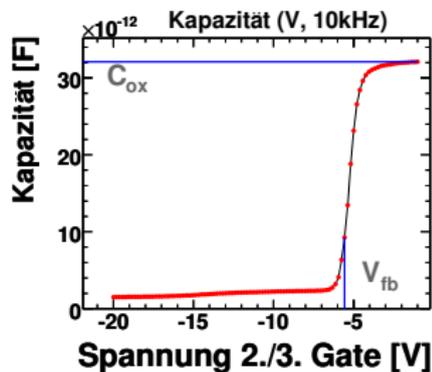
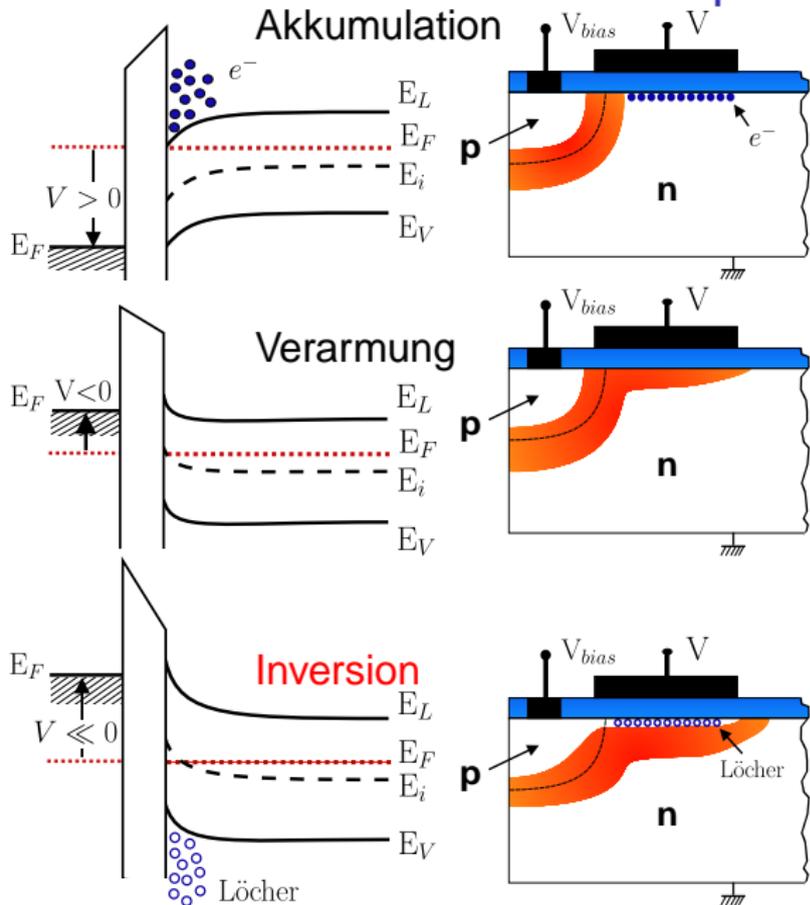
Akkumulation



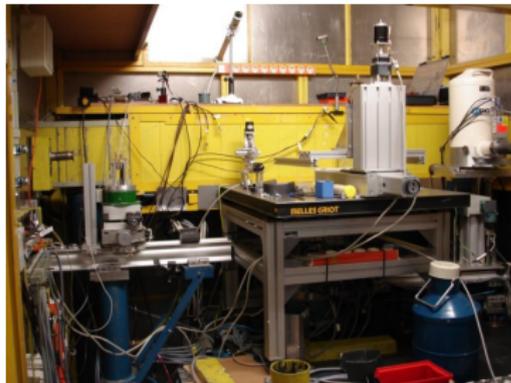
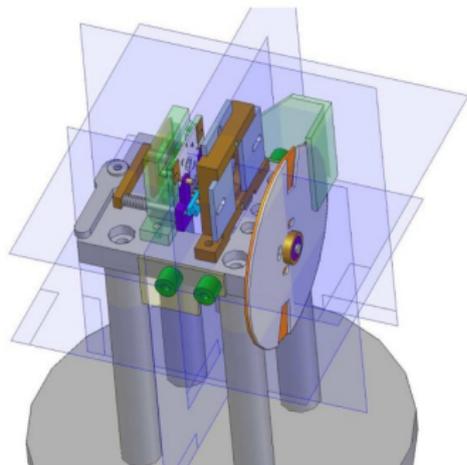
# MOS-Dioden: Strom- und Kapazitäts-Charakteristika



# MOS-Dioden: Strom- und Kapazitäts-Charakteristika



# Versuchsdurchführung



## Bestrahlung

Von August – Dezember 2007 wurden 8 *gate-controlled* Dioden bestrahlt:

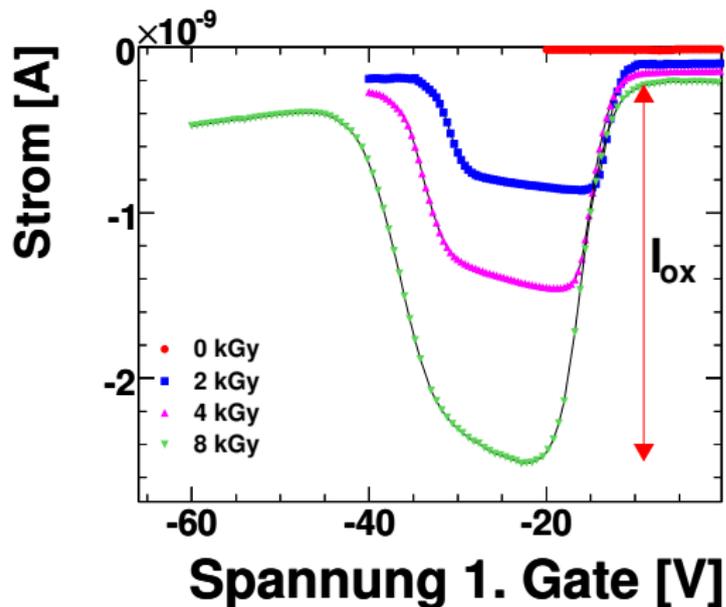
- 4 Dioden in 11 gleichen Schritten  
**1 kGy → 1 MGy**
- 4 Dioden in bis zu 10 Schritten  
**bis 1 GGy**
- Dosisrate einstellbar zwischen  
 $\sim 0.5 \text{ kGy/s}$  und  $\sim 150 \text{ kGy/s}$

Insgesamt wurden über 70 Bestrahlungen und Messungen durchgeführt.

# Gliederung

- 1 Einleitung
- 2 Messergebnisse**
- 3 Zusammenfassung

# Dosisabhängigkeit der Oberflächenstroms $I_{ox}$

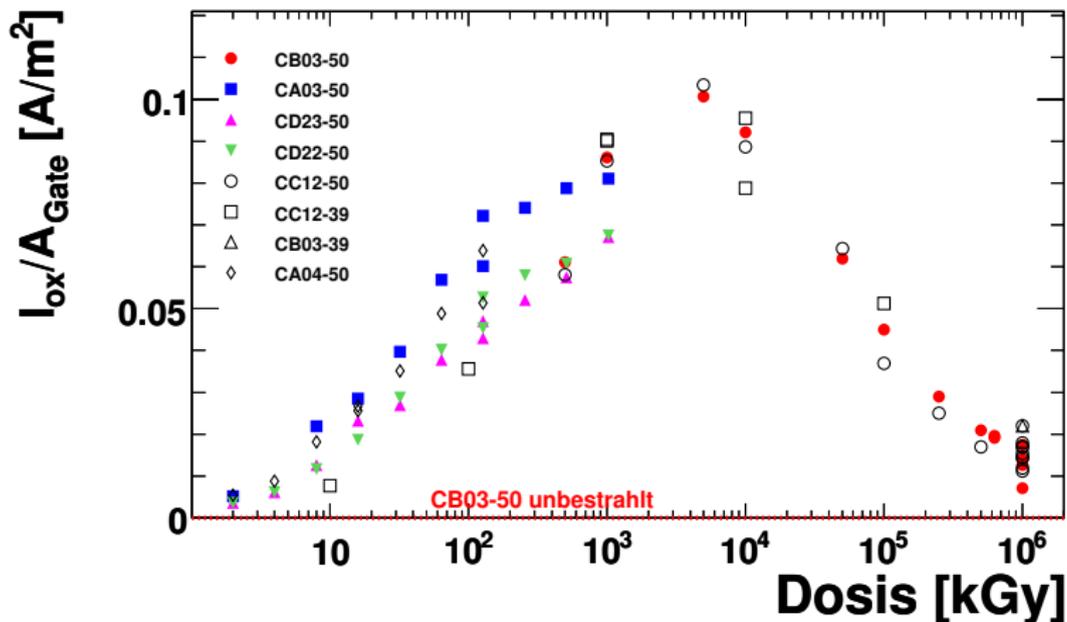


## Strom als Funktion der Spannung am 1. Gate

- aufgetragen für drei Bestrahlungsschritte einer Diode (CD22-50)
- Pfeil signalisiert, wo Oberflächenstrom  $I_{ox}$  gemessen wurde

Oberflächenstrom  $I_{ox}$  steigt mit der Dosis!

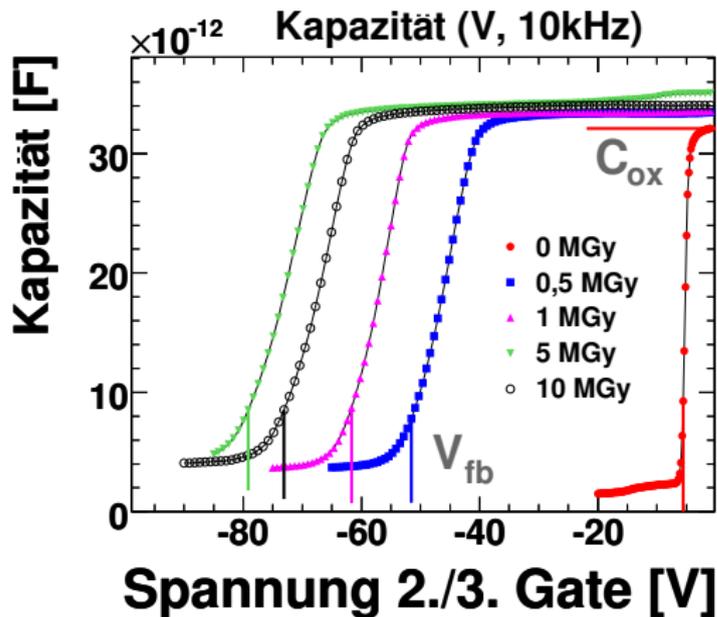
# Dosisabhängigkeit des Oberflächenstroms $I_{ox}$



## Oberflächenstromdichte $I_{ox}/A_{Gate}$ als Funktion der Dosis

- $I_{ox}/A_{Gate}$  wächst um mehr als zwei Größenordnungen
- Oberflächenstrom ist **begrenzt** → bis 1 GGy kein Problem mit Dunkelströmen!

# Dosisabhängigkeit der MOS-Kapazität

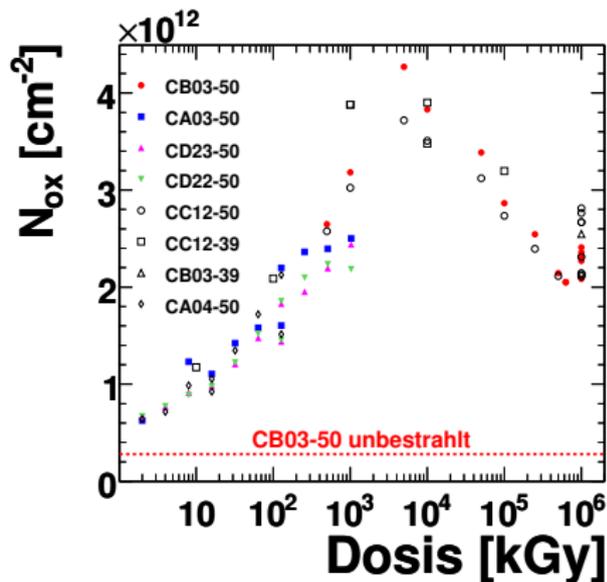
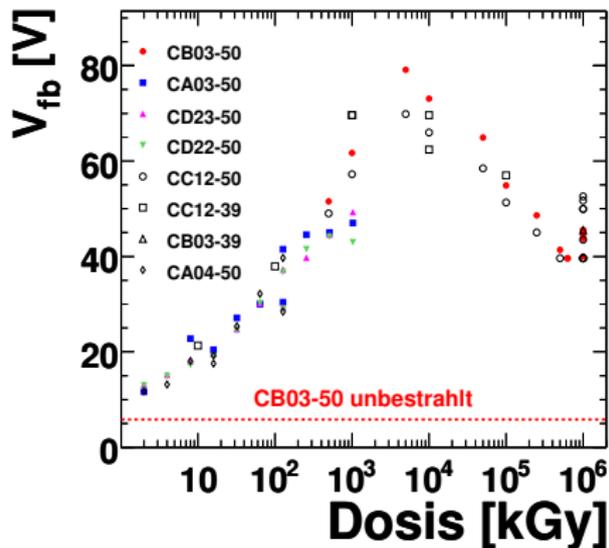


## Kapazität als Funktion der Spannung am 2. und 3. Gate

- aufgetragen für 5 Bestrahlungsschritte einer Diode (CB03-50)
- Linien markieren  $C_{ox}$  (horizontal) und  $V_{fb}$  (vertikal)

Flachbandspannung  $V_{fb}$  verschiebt sich mit der Dosis!

# Dosisabhängigkeit der Flachbandspannung $V_{fb}$



Flachbandspannung  $V_{fb}$  und Oxid-Ladungsdichte  $N_{ox}$   
als Funktion der Dosis

- Anstieg um etwa eine Größenordnung
- Oxid-Ladungsdichte ist **begrenzt** → bis 1 GGy kein Problem!

# Gliederung

- 1 Einleitung
- 2 Messergebnisse
- 3 Zusammenfassung**

# Zusammenfassung

- Gate-Controlled Dioden wurden mit Röntgenstrahlung bis zu einer **Dosis von 1 GGy** bestrahlt
- **Deutlicher Anstieg** von  $I_{ox}$ ,  $V_{fb}$  und  $N_{ox}$  gemessen
- Dennoch sind  $I_{ox}$ ,  $V_{fb}$  und  $N_{ox}$  **begrenzt**
- Erwarten **prinzipiell kein Problem** bei hohen Dosen
- Andere Detektoren und Elektronik müssen überprüft werden