



Max-Planck-Institut für Physik



Untersuchungen zur Strahlentoleranz von DEPFET Sensoren mit Röntgenstrahlung

Peter Müller

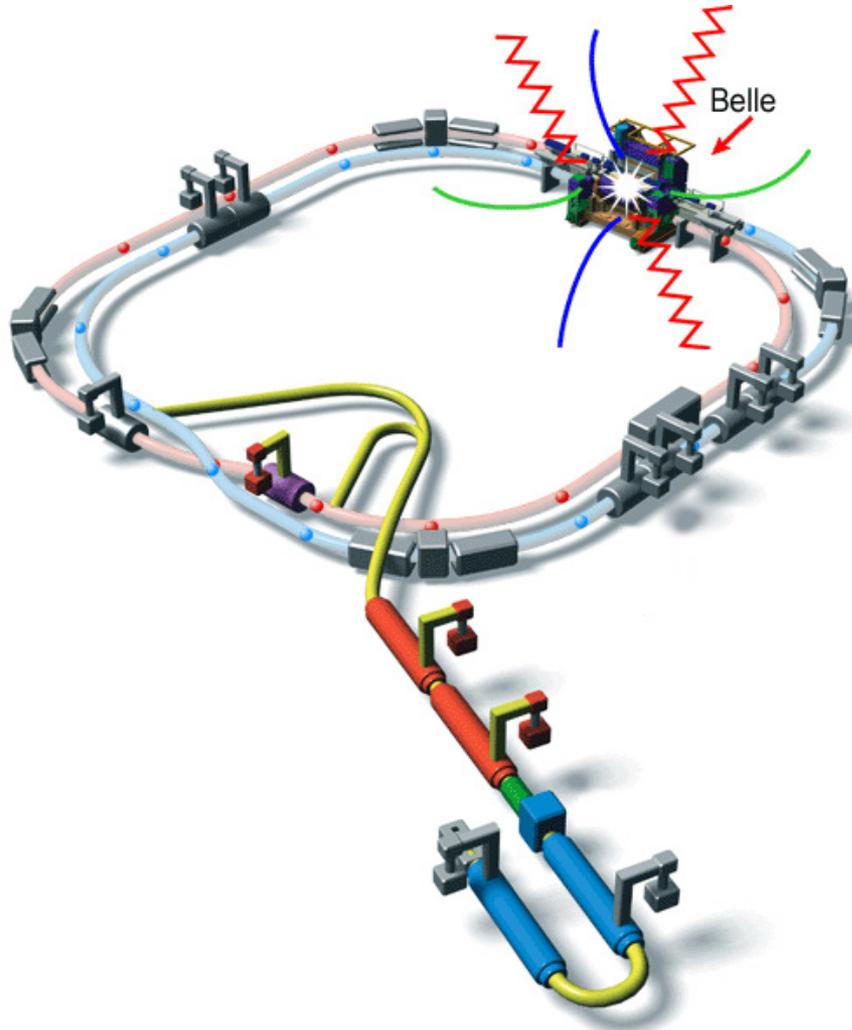
Max-Planck-Institut für Physik München

Halbleiterlabor





(Super-)KEKB



B-Fabrik
Untersuchung von CP-Verletzung

Asymmetrischer Elektron-Positron
Beschleuniger mit Umfang 3 km

Energien 7 GeV e⁻ auf 4 GeV e⁺

Y(4S) – Resonanz (10,58 GeV)
Zerfall in 2 Mesonen $\Rightarrow B^0 + \overline{B^0}$

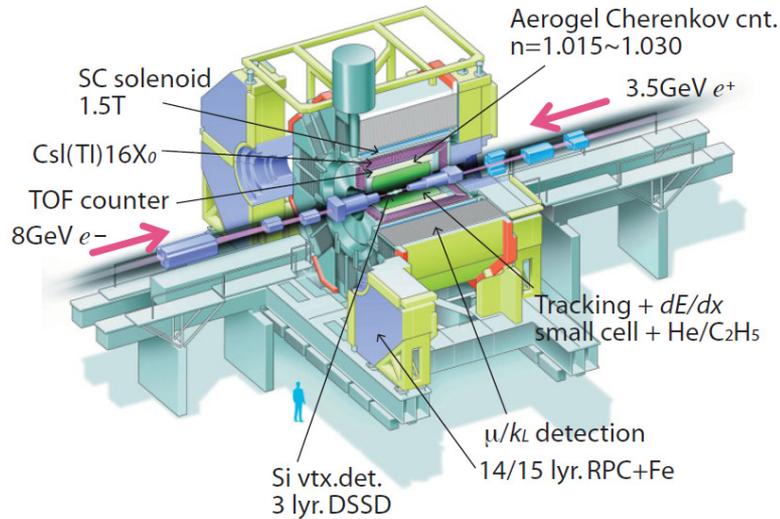
KEKB

Upgrade zu

Super-KEKB



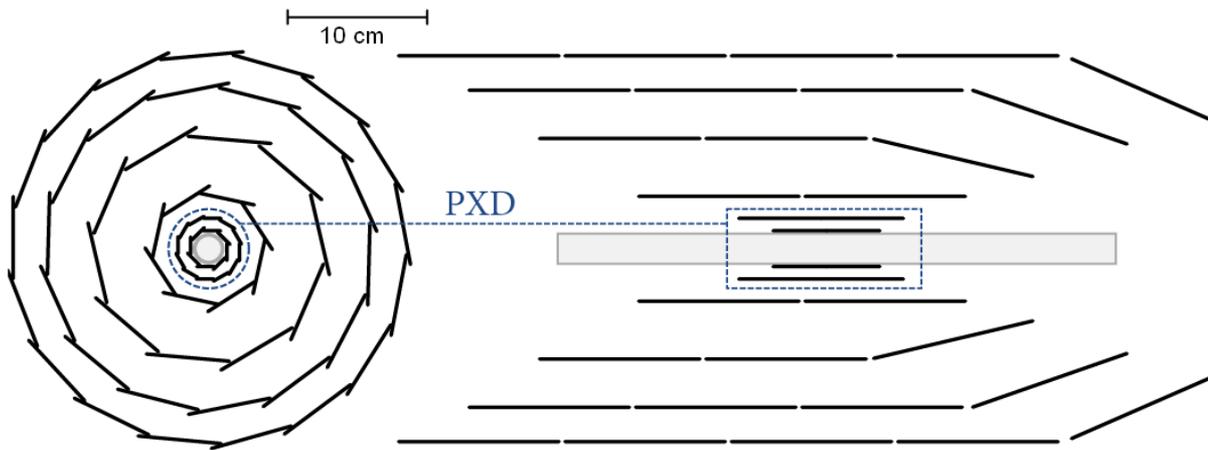
Upgrade zu Belle II



Luminositätsteigerung :
Faktor 40 auf $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Anforderungen :

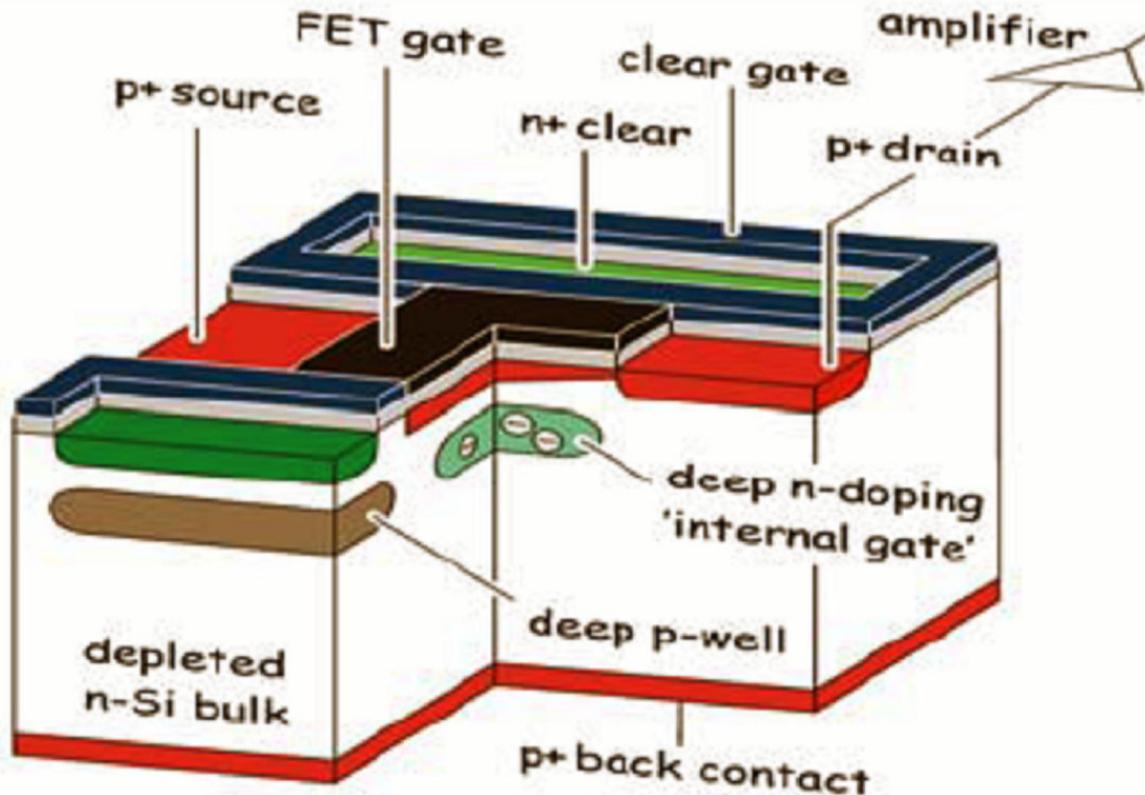
- Niedrige Okkupanz
- Strahlungsresistenz
- Dünnes Material



NEU :
2 Schichten
DEPFET Pixeldetektor

Funktionsweise des DEPFET

(Depleted P-Channel Field Effect Transistor)



Vollständig verarmter Siliziumbulk

Erzeugung von e-h durch ionisierende Strahlung

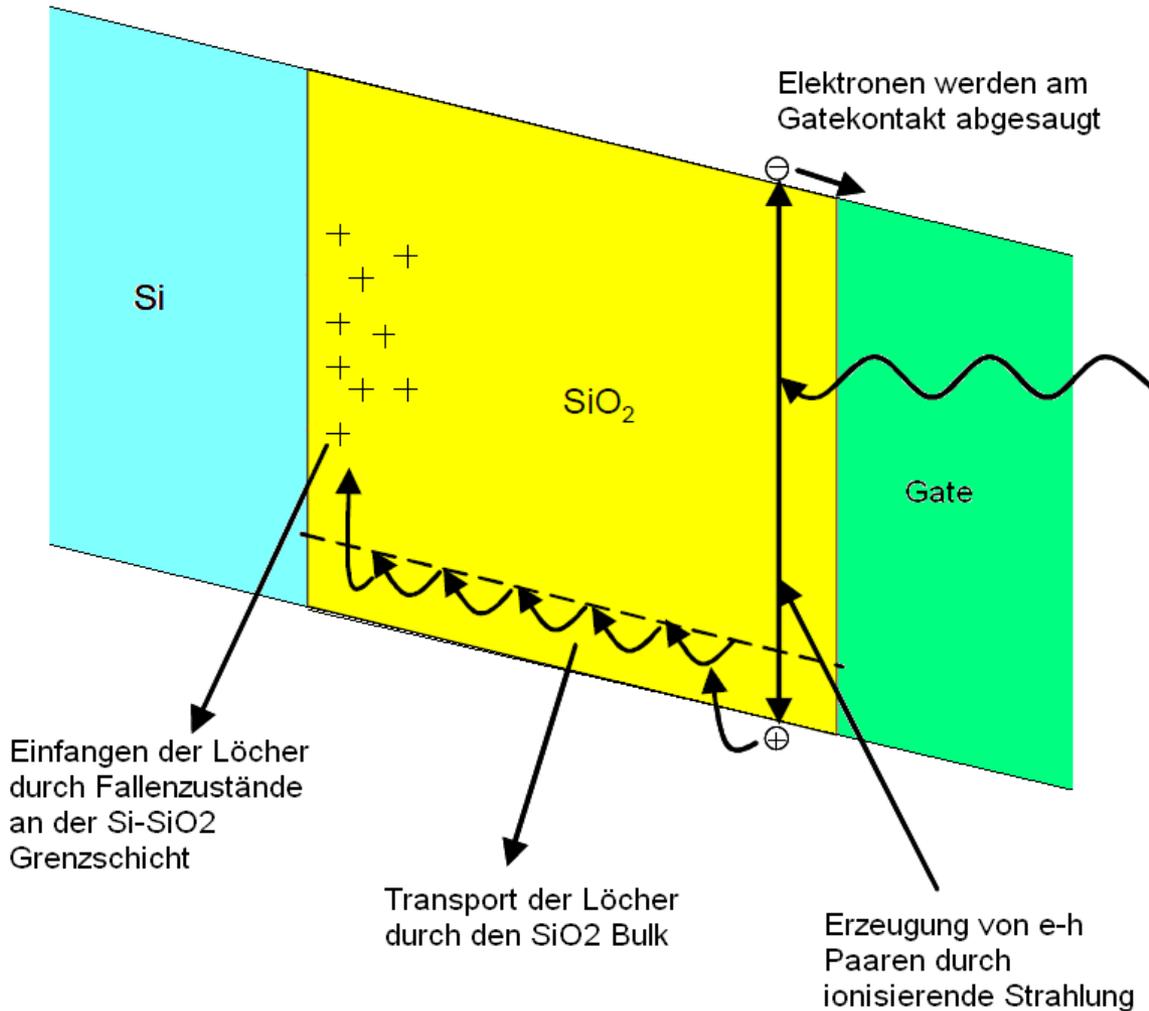
Internes Gate : Potentialminimum für Elektronen durch N-Dotierung

Ladungen im Internen Gate modulieren Drainstrom bei Auslesevorgang

Clear+Cleargate : Löschvorgang nach Auslese
⇒ Neue Messung

MOSFET Gatestrukturen (Oxiddicke ca. 200 nm)

Strahlenschäden im Oxid



Gefangene Oxidladungsträger verschieben Thresholdspannung des MOSFETs.

$$\Delta V_{Thr} \sim \frac{N_{OC} \cdot e}{C_{Ox}}$$

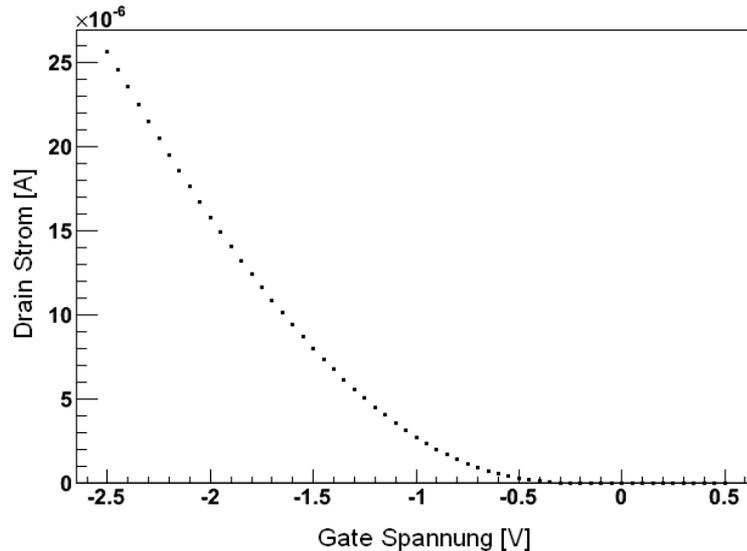
N_{OC} = Menge der Oxidladungen

C_{Ox} = Kapazität des Oxids

e = Elementarladung

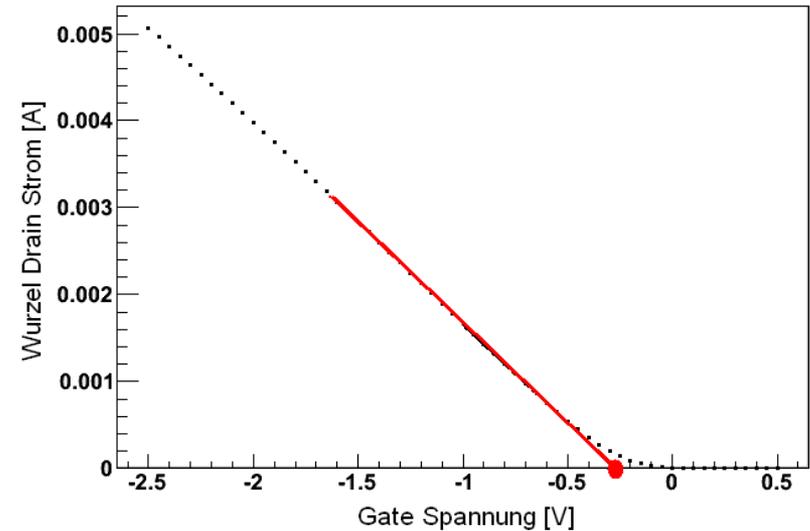


Bestimmung der Thresholdspannung



Kennlinie eines MOSFETs
(Variation der Gatespannung)

Drain-Source-Spannung = -5 V
Depletionsspannung = -180 V
Clearspannung = 15 V



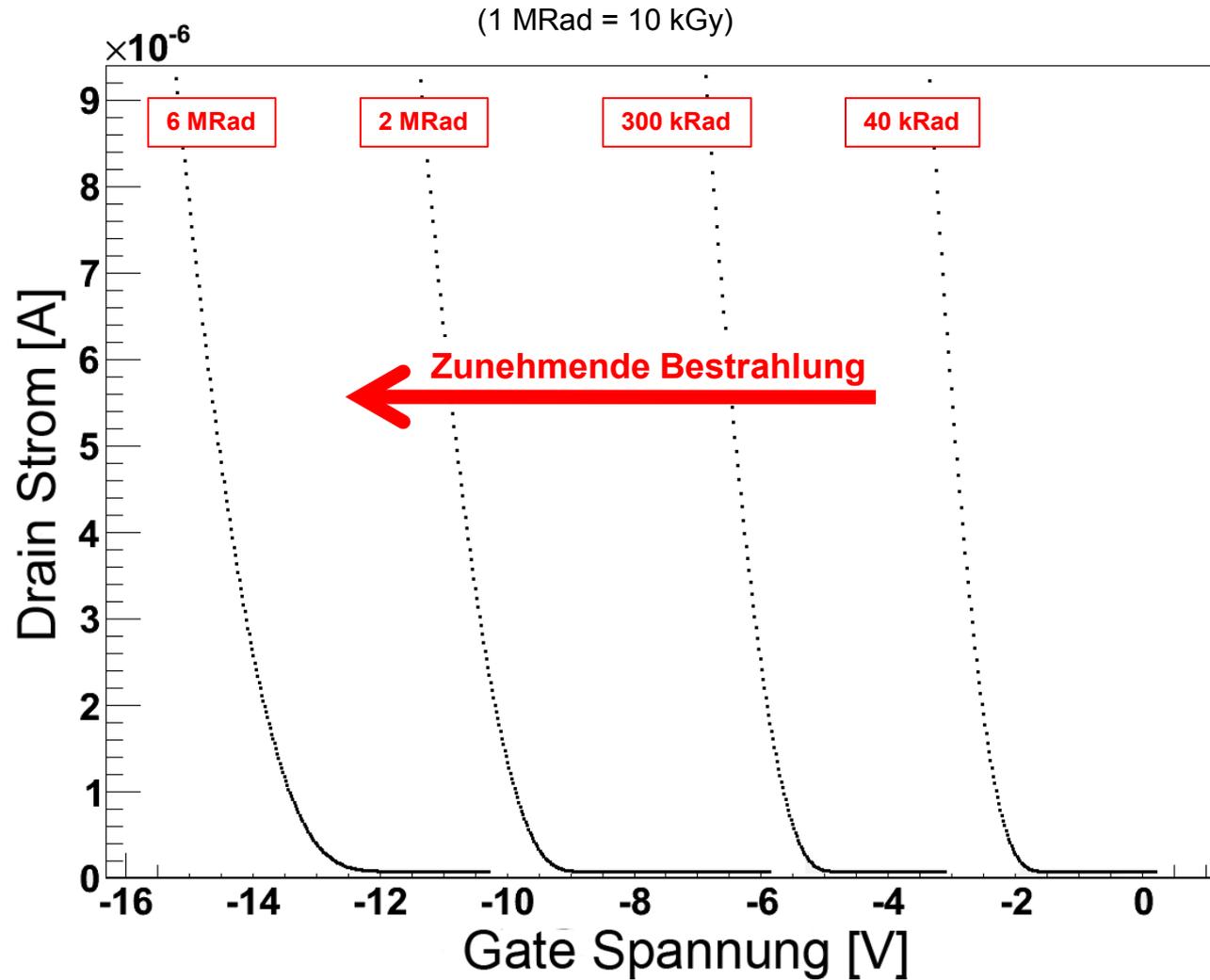
Quadratischer Anstieg von I_{DS}

=> Wurzel von Drainstrom

Schnittpunkt von Fit und X-Achse
definiert die Thresholdspannung.
(in diesem Beispiel -0.26 V)



Auswirkungen der Schäden

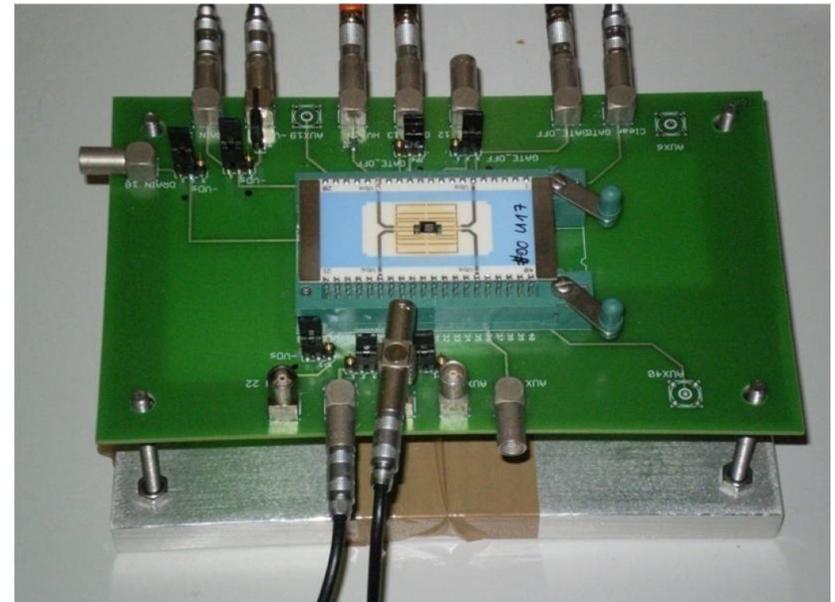




Durchführung der Bestrahlung



Röntgenanlage am KIT
Wolfram Anode
60 kV Beschleunigung
Strom 30 mA
Dosimetrie mit Simulation und RADFETs
Dosisrate 370 kRad/h



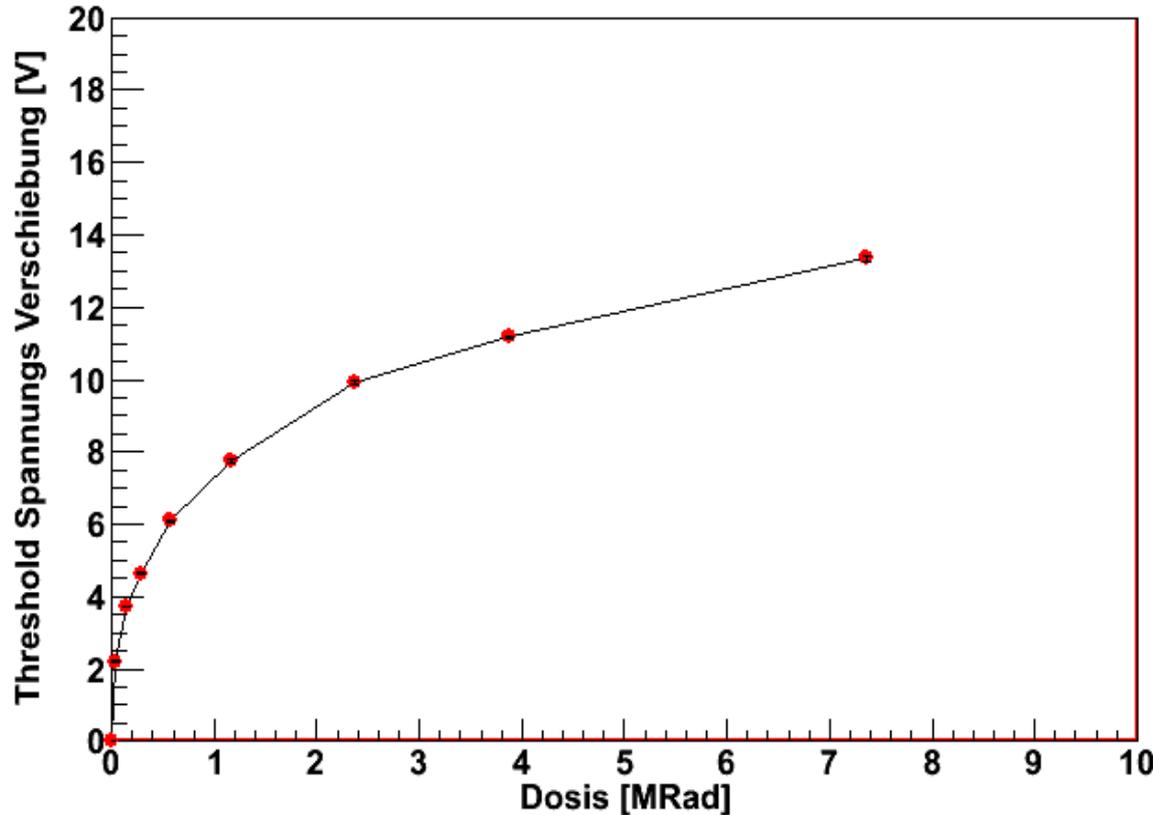
6x16 Pixel Matrix auf Bestrahlungs-Board
8 Pixel angeschlossen und gemessen
Geringe Streuung der Messwerte zwischen Pixeln
An allen Kontakten $U=0V$ während Bestrahlung



Ergebnis : Thresholdverschiebung



Threshold Verschiebung



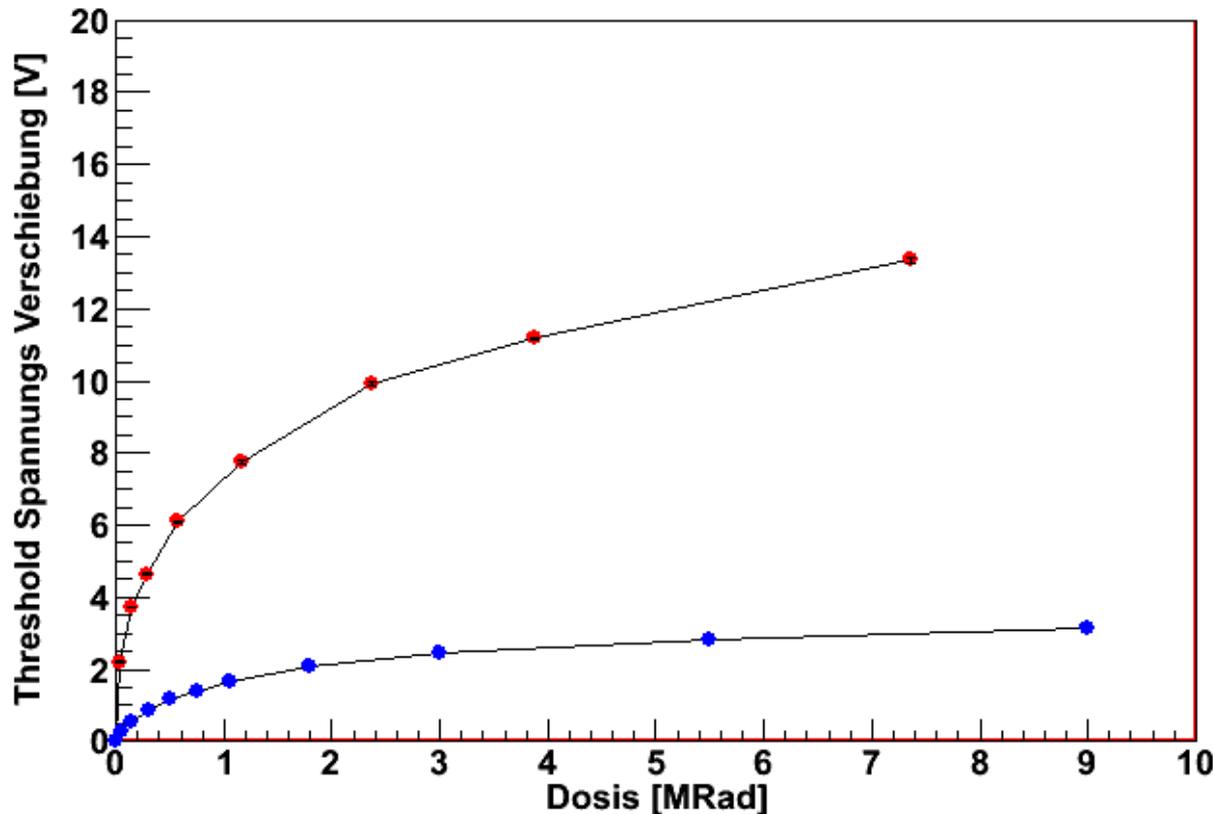
Erwartete Dosis :
um 3 Mrad/Jahr

Große Thresholdverschiebung
→
Technologische Probleme
bei hoher Ausleserate



Dünnere Oxide ?

$$\begin{aligned} N_{OC} &\sim d_{Ox} \\ C_{Ox} &\sim 1/d_{Ox} \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \Delta V_{Thr} \sim \frac{N_{OC} \cdot e}{C_{Ox}} \sim d_{Ox}^2$$



Erste Messungen
an dünnen Oxiden
mit MOS-Kapazitäten

Flachbandverschiebung
(MOS-Cap)
 $\hat{=}$
Threshold Verschiebung
(MOSFET)

Fertigung von DEPFETs
mit dünnen Oxiden 2010



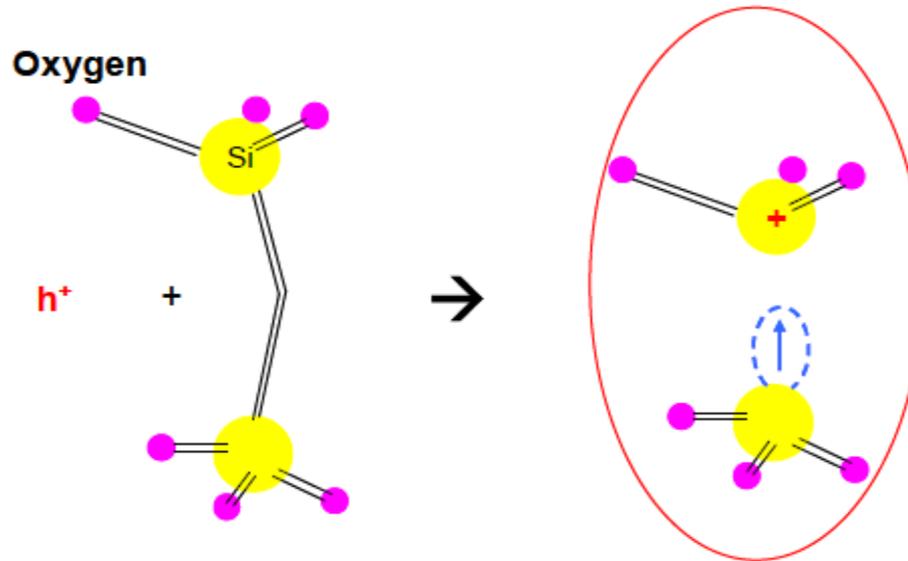
- Ende -



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit.



Backup : Oxid Traps



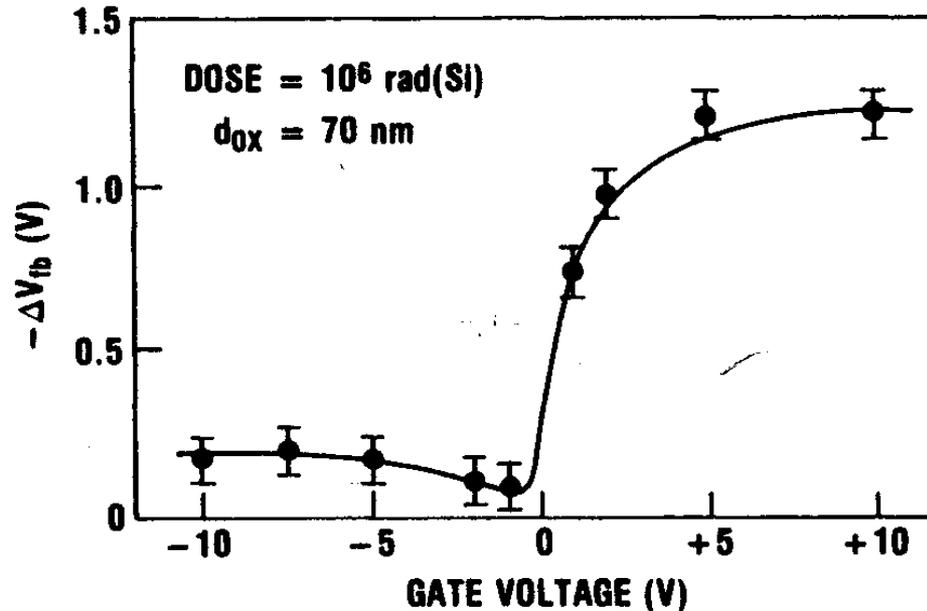
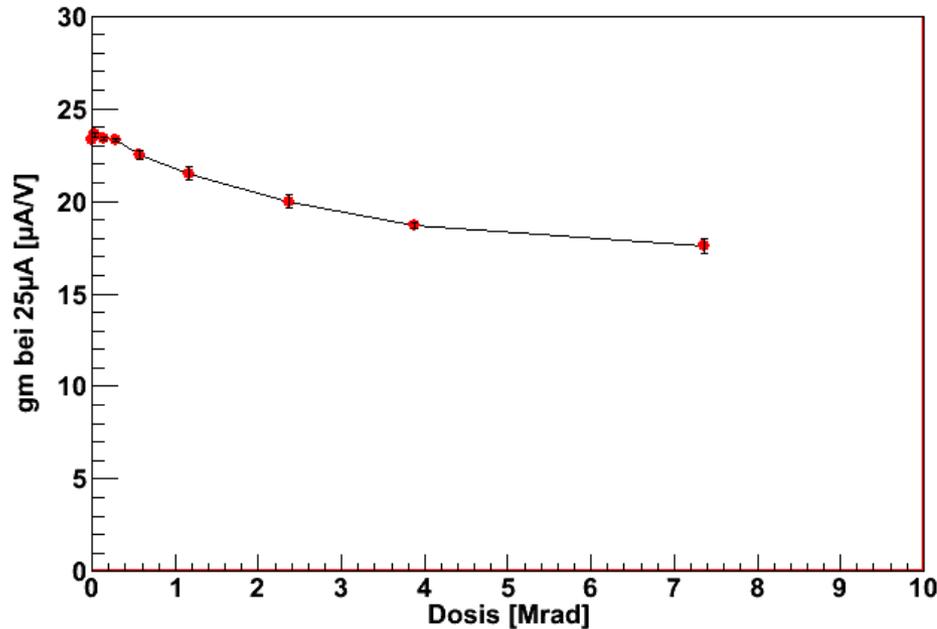


Fig. 3.30 Radiation-induced ΔV_{fb} in an MOS capacitor as a function of gate bias during irradiation. (From Derbenwick and Gregory [134], © 1975 IEEE. Reprinted with permission.)



Backup : Verstärkung

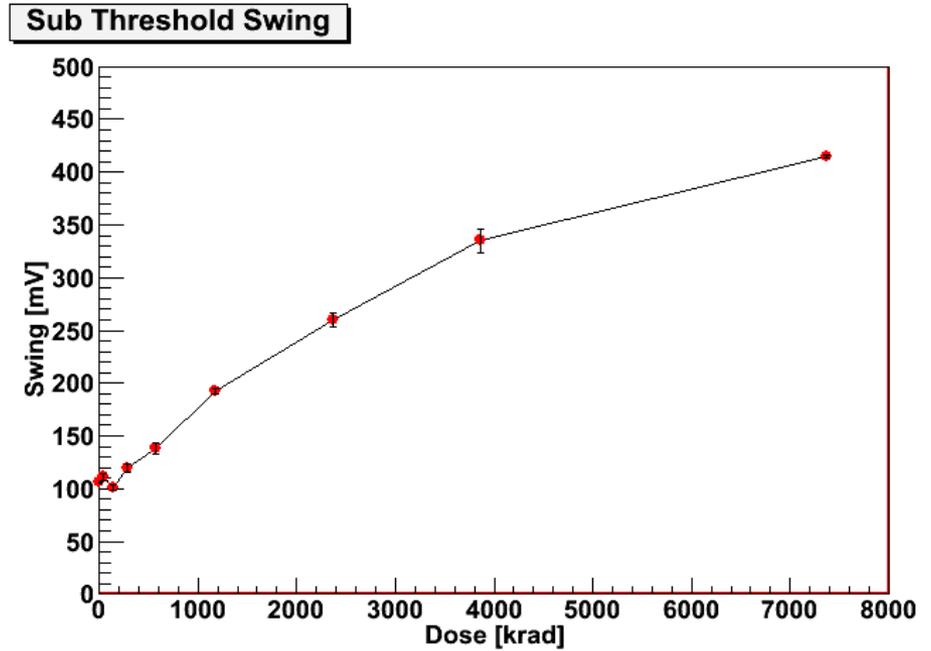
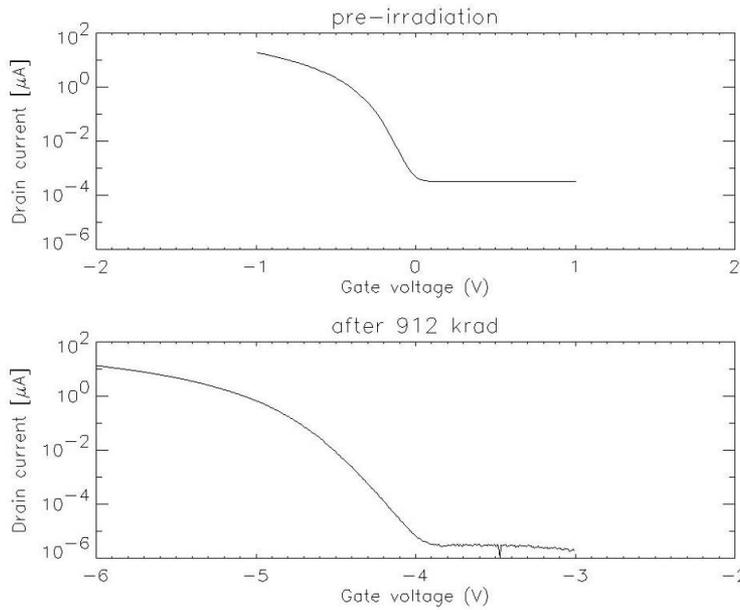
Externe Verstärkung



$$\text{Externe Verstärkung : } g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_G}$$
$$\text{Interne Verstärkung : } g_q = \frac{\partial I_D}{\partial Q_{\text{int}}} = \frac{g_m}{C_{Ox}}$$



Backup : Sub Threshold Swing





Max-Planck-Institut für Physik

Backup : Annealing

