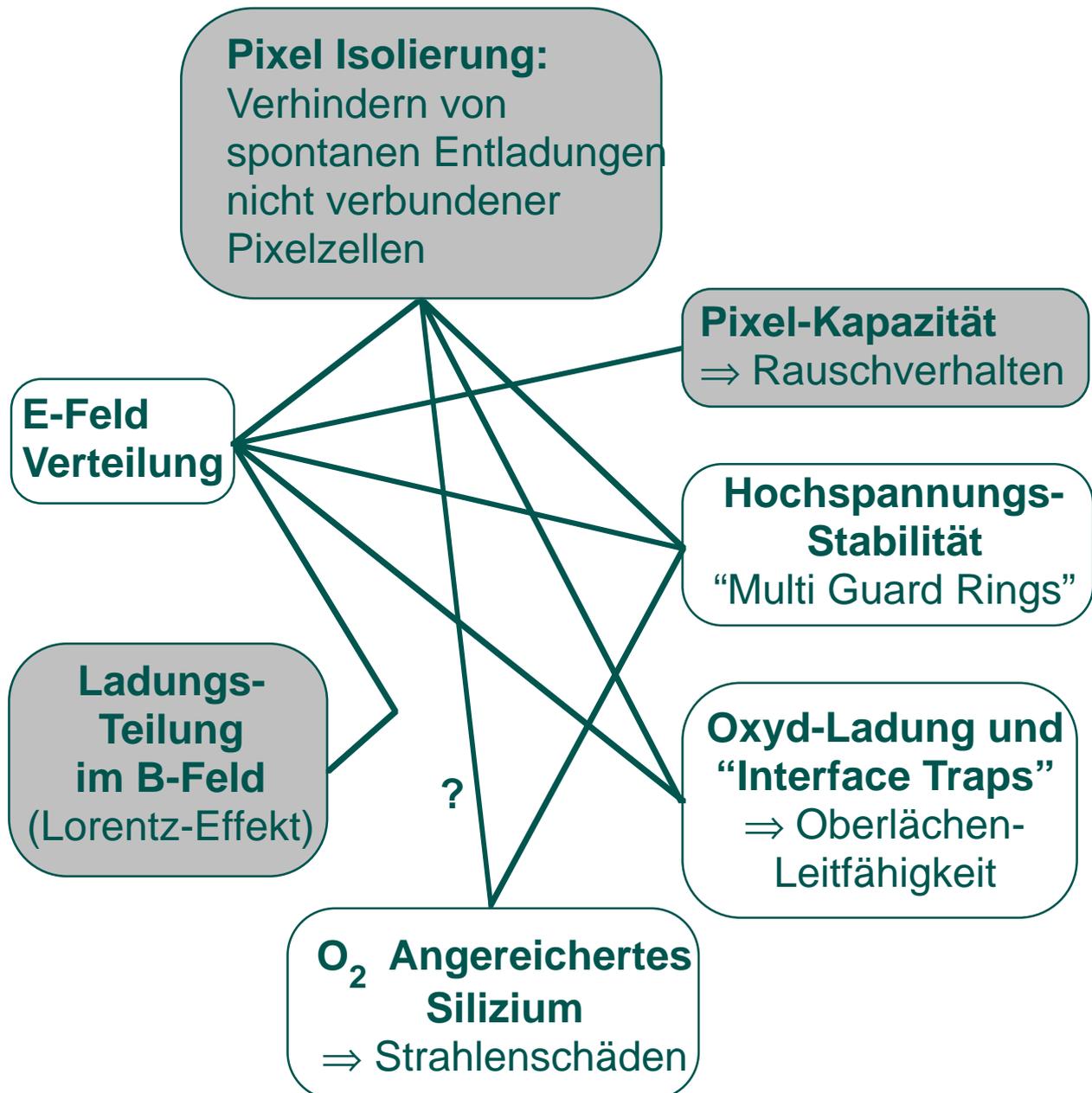


Viele Korrelierte Probleme

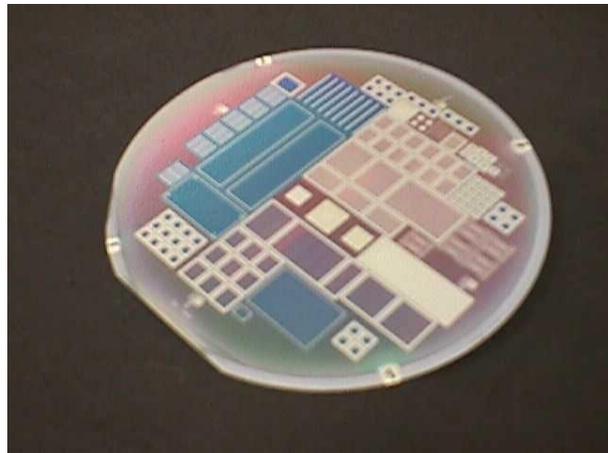
Untersuchte Themen, jeweils als Funktion der Strahlendosis und des Pixel-Designs:



Prototypen

- Masken Design
Produktion extern (2 Lieferanten/Prozesse)
- Entwicklung von Messmethoden
- Bestrahlungen am CERN (p) und am PSI (π)
- Messungen und Simulationen

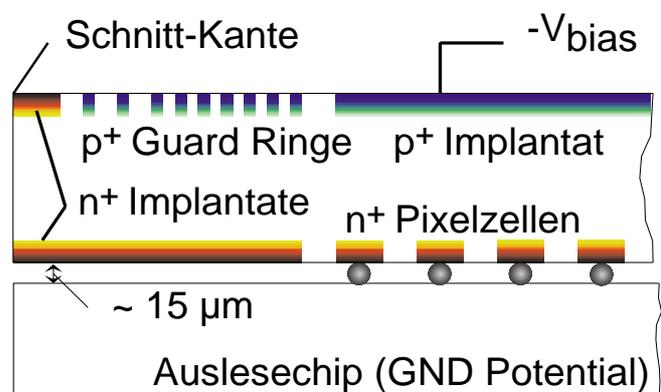
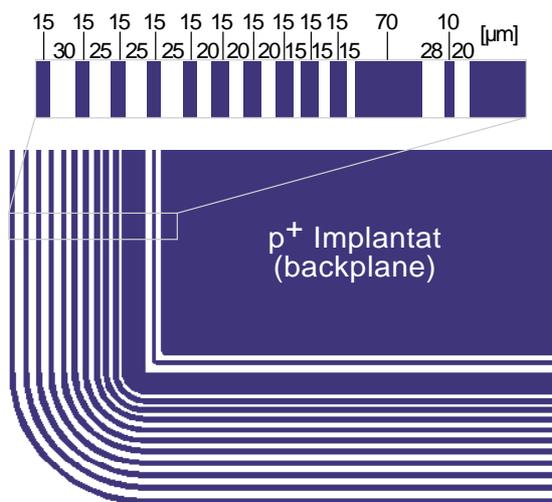
Dicke: 267 - 329 μm
 $\rho = 1.5 (2.5) \text{ k}\Omega \text{ cm}$
 $N_D = 3.2 (1.5) \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$
Standard und
Oxyd-Angereichertes
Silizium



Struktur	Verwendungszweck
Diverse 22x30 Pixel Sensoren	Bondbar auf Prototyp Auslesechip
Diverse 5x5 Pixel Sensoren	Tests auf der "Probe-Station"
"Parallel Router Chip"	Messung der Pixel Kapazität
"Guard-Ring"-Test-Dioden	Hochspannungsstabilität
MOS Kapazitäten	Oxyd-Ladung und "Interface Traps"
Multi-Chip Sensoren	Bau von Mini-Modulen
52 x 53 Pixel Sensoren	Vorgesehene Auslesechip-Grösse

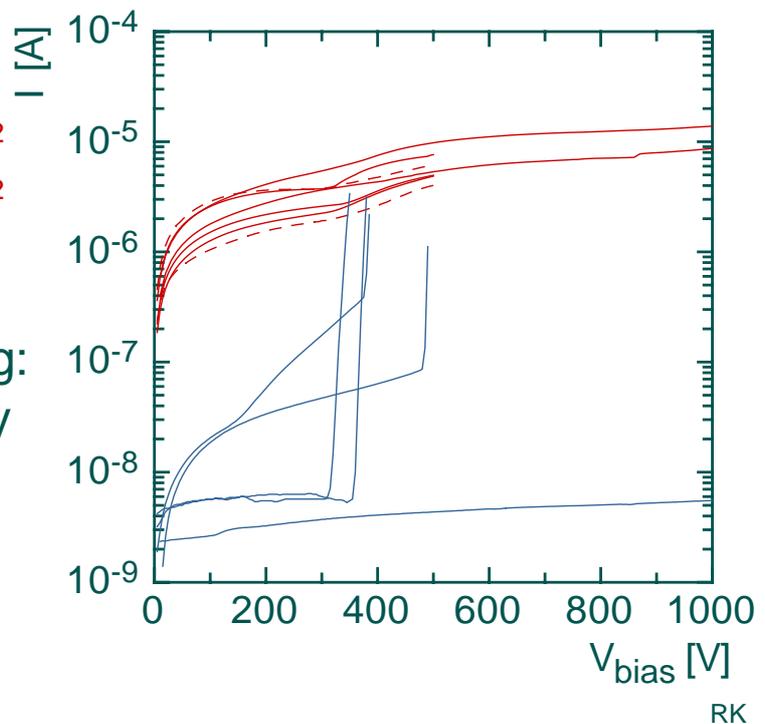
Hochspannungsfestigkeit

“Multi-Guard-Rings” für möglichst kleine Potential-Gradienten



- nach $6.5 \cdot 10^{14} \text{ p cm}^{-2}$
- nach $5.3 \cdot 10^{14} \text{ p cm}^{-2}$
- unbestrahlt

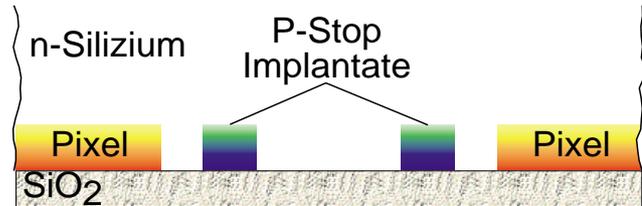
Durchbruch-Spannung:
 unbestrahlt: $V_D > 300 \text{ V}$
 bestrahlt: $V_D > 500 \text{ V}$
 (1000V)



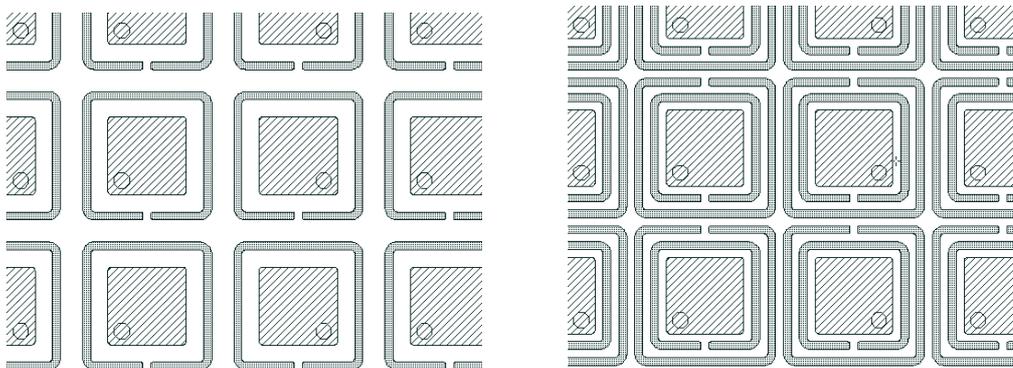
Pixel Isolierung

Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A (in print)

- n⁺ Pixel in n-Silizium
- e- Akkumulationsschicht nach Bestrahlung
- ⇒ Pixel Isolation mit p-Stop Implantaten als Ringe um die n⁺ Pixel



- Pixel mit fehlendem Kontakt zum Chip laden sich auf, spontane Entladungen (beobachtet!)
- ⇒ Isolation gezielt brechen durch Öffnen der p-Stop Ringe, um kontrolliertes Abfließen der Ladung zu ermöglichen
- ⇒ "Atoll p-Stops"



$$R_{\min} = t_{\text{int}} / C_{\text{pixel}} = 25 \text{ ns} / 25 \text{ fF} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\max} = ??? \text{ (keine spontanen Entladungen)}$$

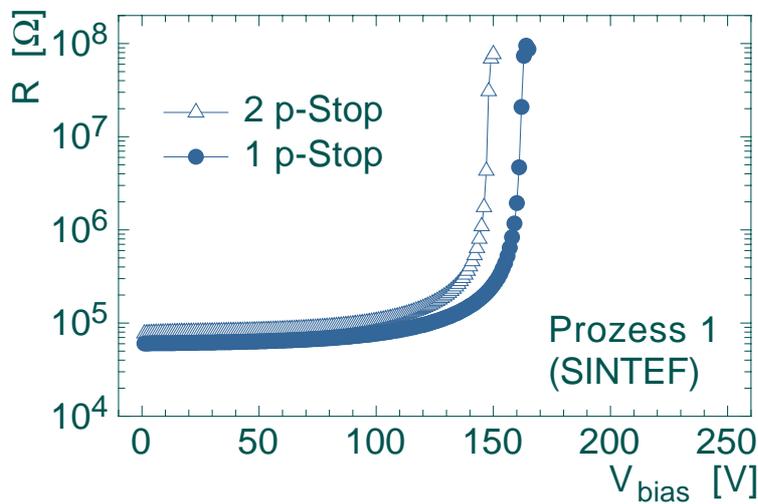
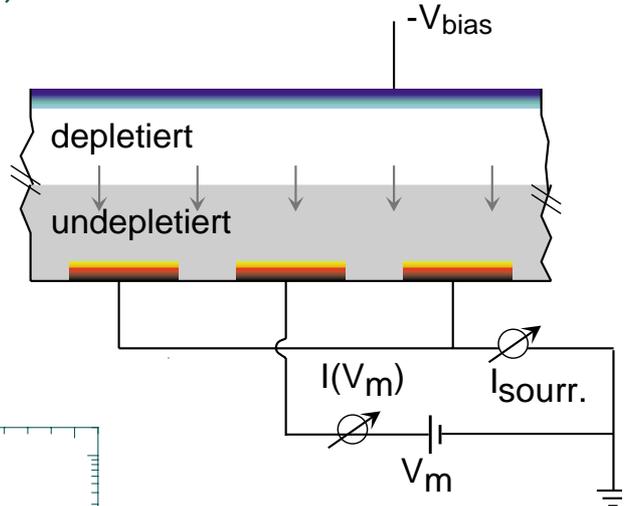
Messungen an unbestrahlten Pixelzellen

- Eine Pixelzelle mit $V_m (\leq 2V)$, alle Nachbarn auf GND,

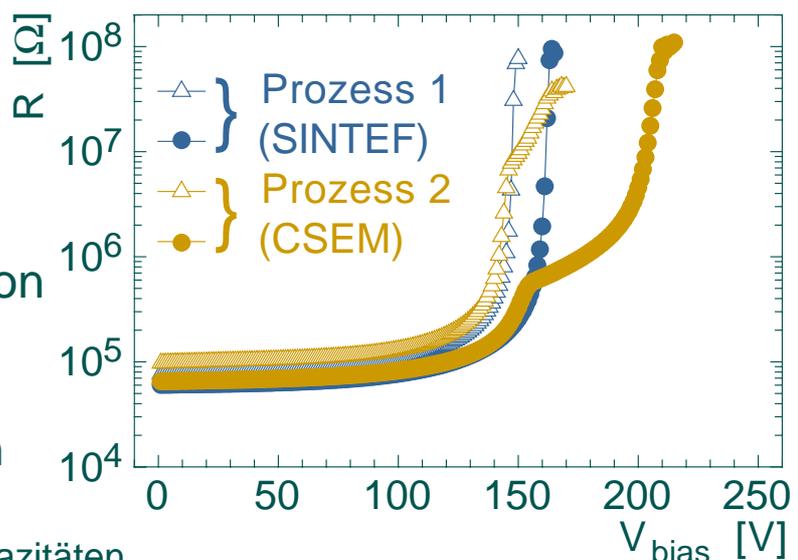
Messe $I(-V_m)$

- Leckstrom-Subtraktion durch zweimaliges Messen mit $\pm V_m$

$$\Rightarrow R = 2V_m / [I(-V_m) - I(+V_m)]$$



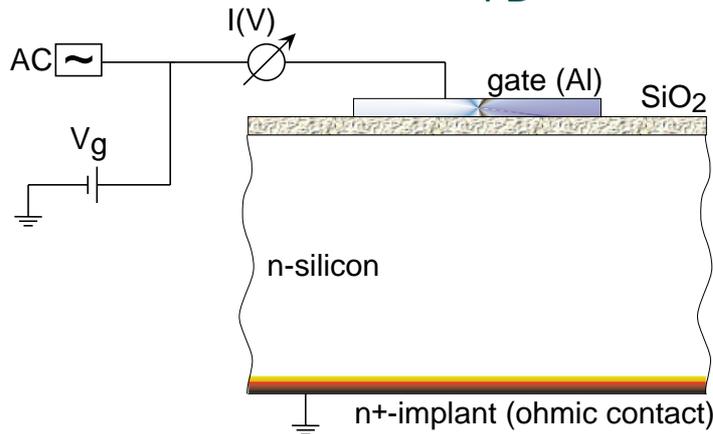
MOS* Messungen und Simulationen:
Bei Prozess 2 schon vor Bestrahlung
Akkumulations-
Schicht vorhanden



* "Metal on Silicon" Kapazitäten

MOS Messungen

MOS - "Metal on Silicon" - Kapazität zur Bestimmung von Oxyd-Ladungen (und Interface Traps) durch Messung der Flachband-Spannung ΔV_{FB}



Messprinzip:

$$Q_{ox} = C_{ox} (\Phi_{ms} - \Delta V_{FB})$$

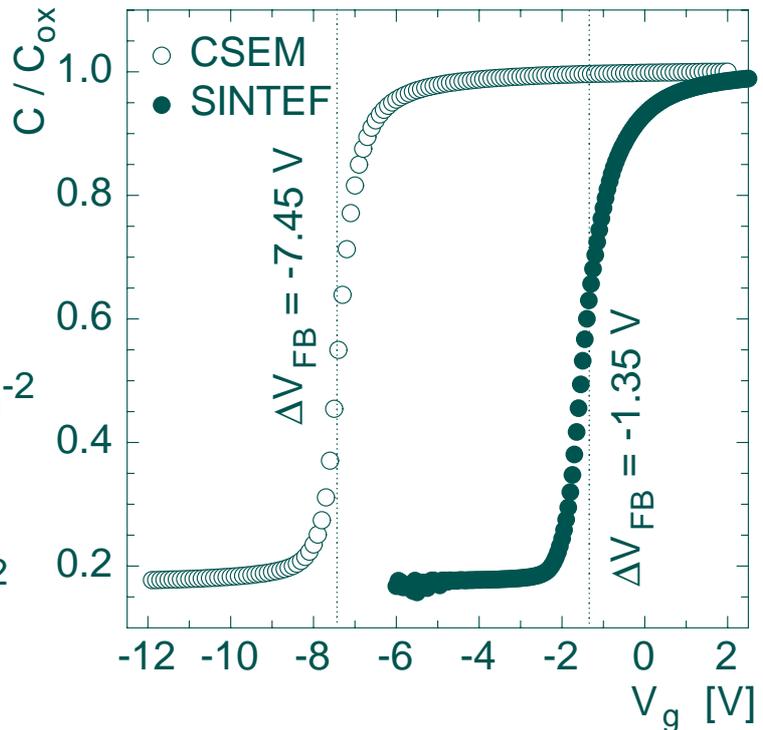
C_{ox} : Oxyd-Kapazität
 Φ_{ms} : Austrittsarbeits-Unterschied Al-Si

CSEM:

$$Q_{ox} = 15.8 \cdot 10^{10} \text{ q cm}^{-2}$$

SINTEF:

$$Q_{ox} = 2.5 \cdot 10^{10} \text{ q cm}^{-2}$$



⇒ CSEM hat viel höhere Oxyd-Ladungs-Dichte als SINTEF
 ⇒ Höhere Akkumulations-Schicht Konzentration bei CSEM

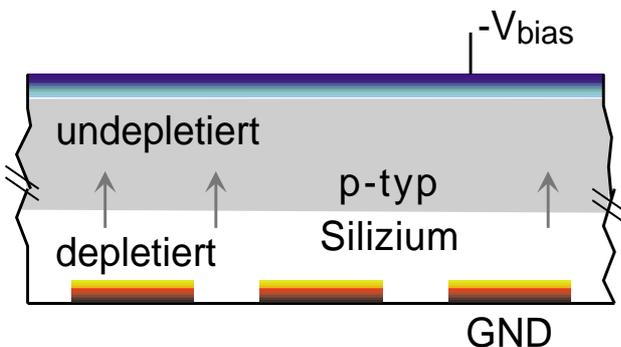
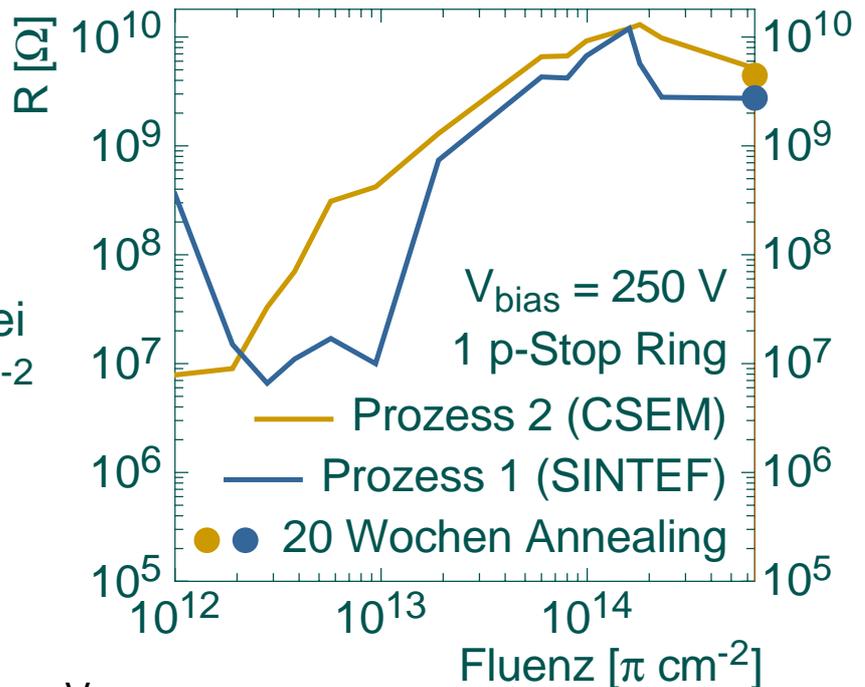
Messungen nach Bestrahlung

Reduziert die e^- Akkumulation an der Grenzfläche den Inter-Pixel Widerstand R?

⇒ Ja, aber nur bei niedrigen Fluenzen*, danach starker Anstieg

Typ Umkehrung bei $2.1(3.6) \cdot 10^{13} \pi \text{ cm}^{-2}$ (gemessen)

⇒ Depletionszone wächst von der Pixel Seite her

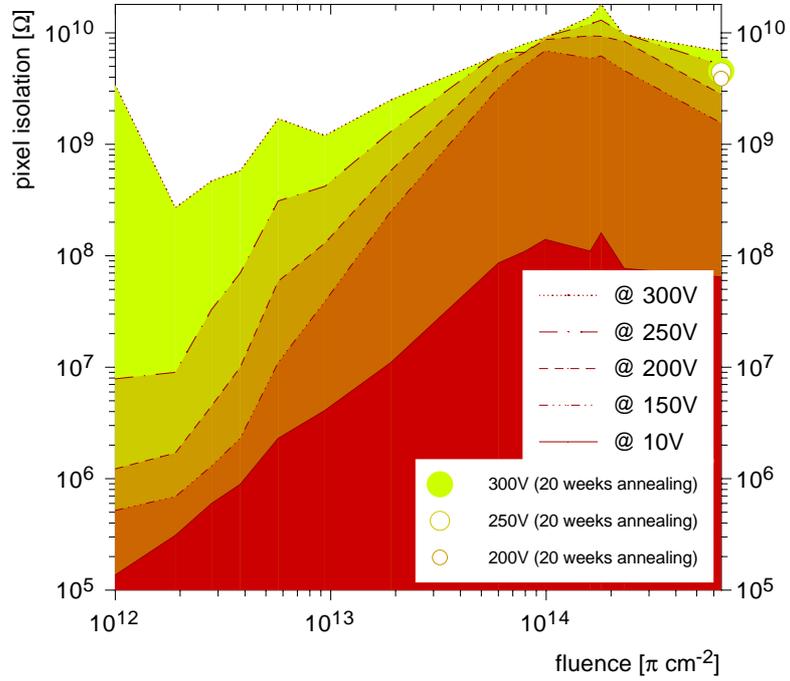


⇒ Depletionszone stark genug, um akkumulierte e^- zu verdrängen
("Pinch-Off", $V_{\text{p-stop}} \approx 120\text{V}$)

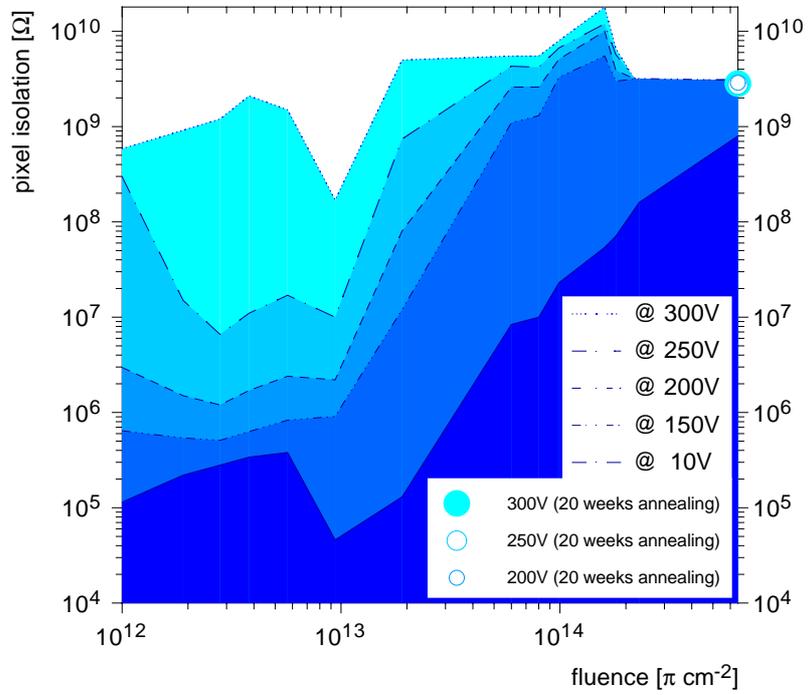
Trotz sehr hohem Inter-Pixel Widerstand R nach $6 \cdot 10^{14} \pi \text{ cm}^{-2}$ keine spontanen Entladungen beobachtet
⇒ **Atoll p-Stop Ringe funktionieren**

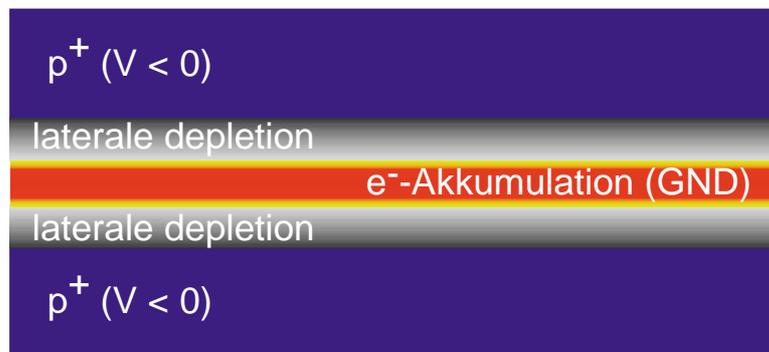
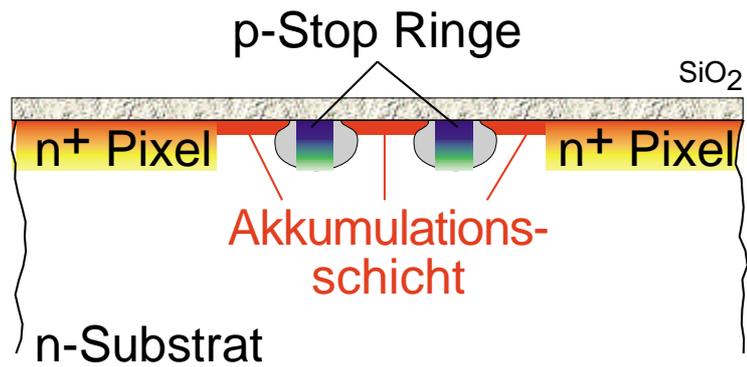
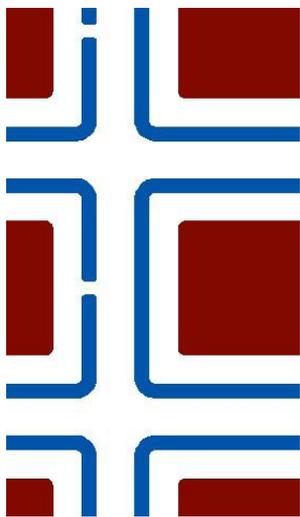
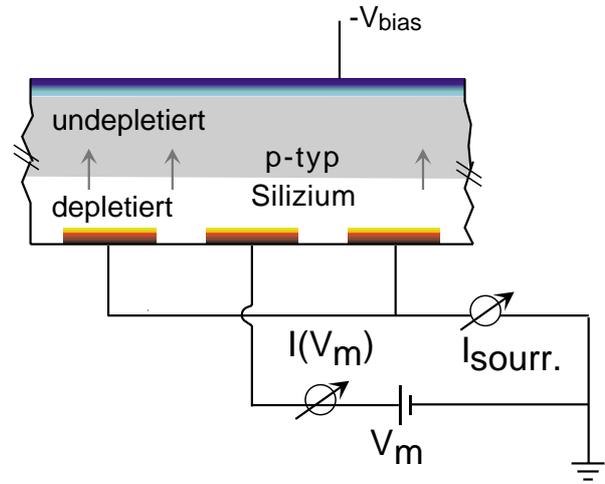
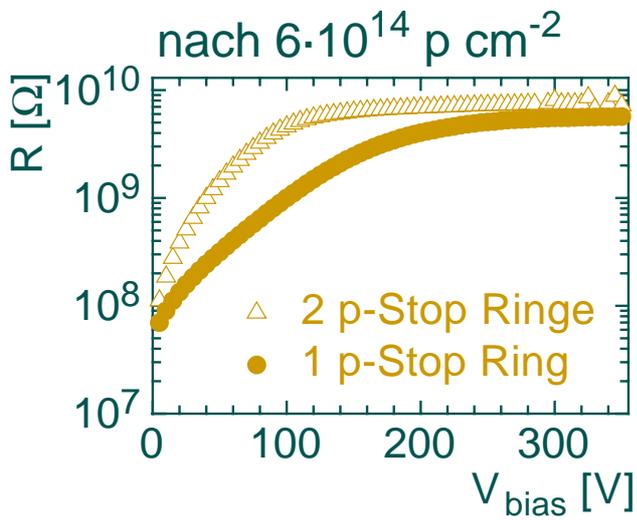
* Fluenz: zeitintegrierter Fluss

CSEM 7888SR



SINTEF 7888SR oxygenated





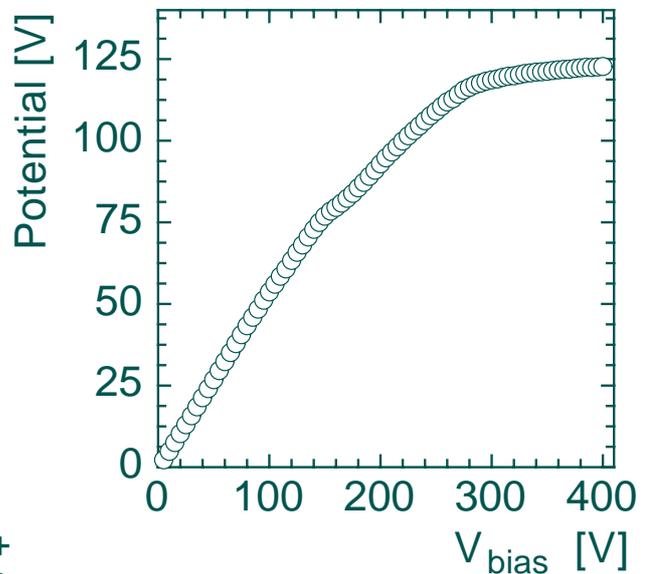
Spontane Entladungen wegen hohem Inter-Pixel Widerstand?

Potential eines bestrahlten, nicht kontaktierten Pixles

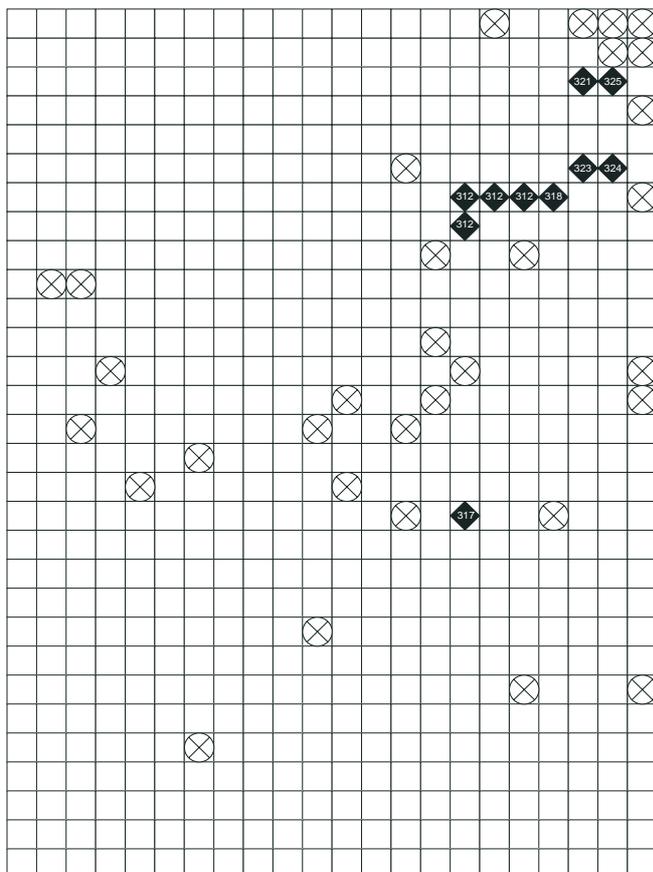
($6 \cdot 10^{14} \text{ p cm}^{-2}$)

⇒ Saturation bei 125 V

⇒ Hoch genug für spontane Entladung?



22x30 Pixel Ensemble (Sensor + Auslesechip) nach $6 \cdot 10^{14} \text{ p cm}^{-2}$



Messungen an gebondeten Ensembles (Sensor + Chip):

⊗: fehlende Kontakte

◆: Durchbrüche

(hoher Strom)

- Durchbrüche nicht mit fehlenden Kontakten korreliert
- Durchbrüche alle bei gleicher Spannung, keine neuen Durchbrüche für höhere V_{bias}
- Durchbrüche sind keine spontanen Entladungen
- Offene p-Stop Ringe erfüllen Funktion.

Ladungs-Teilung im B-Feld

Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A (in print)

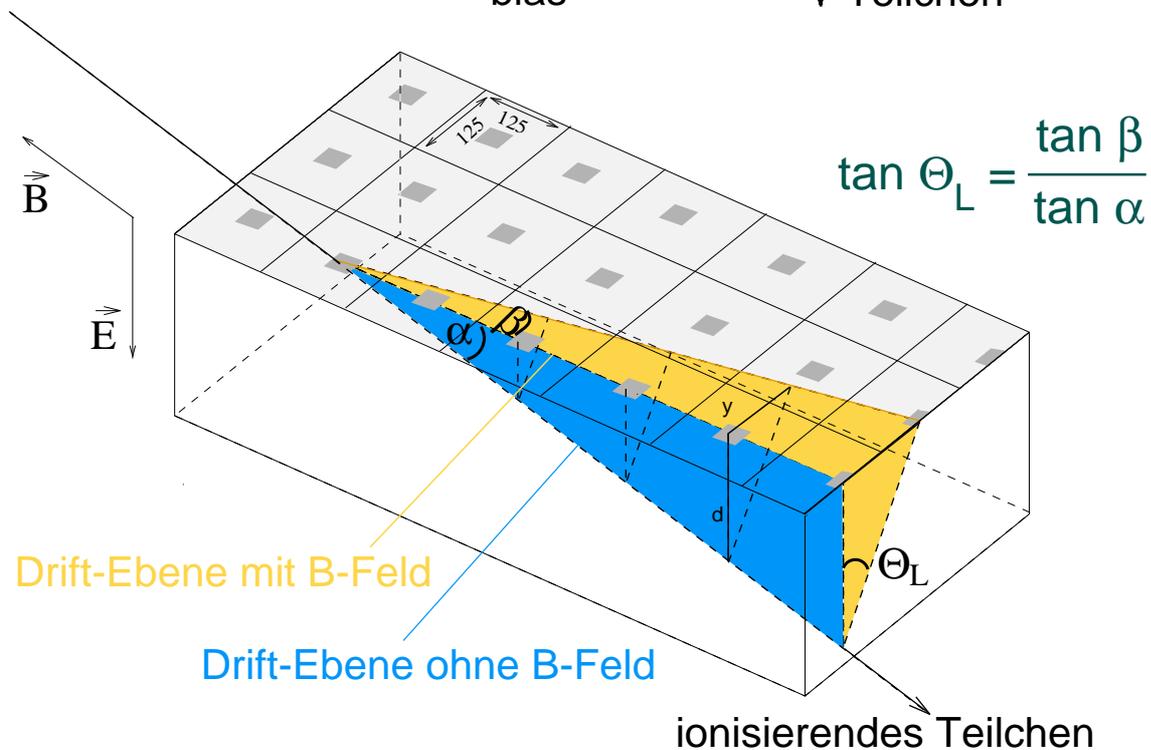
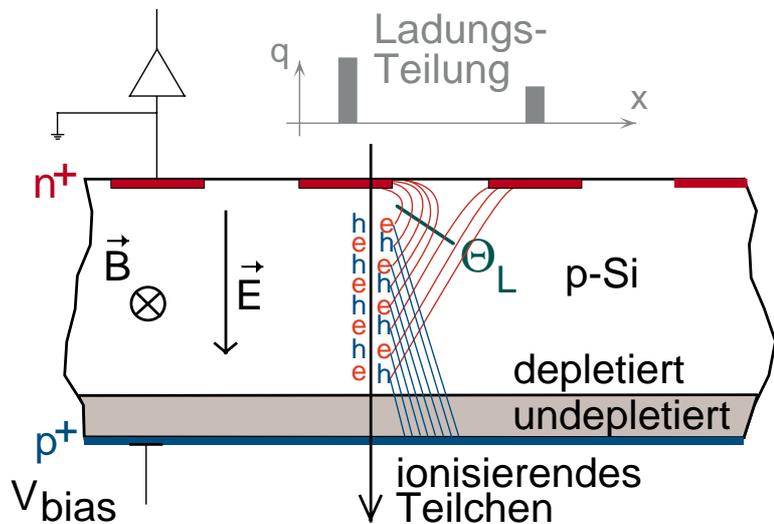
Verbesserte Ortsauflösung σ

ohne B-Feld: $\sigma = \text{Abstand} / \sqrt{12} \approx 40 \mu\text{m}$

mit B-Feld: Schwerpunktsberechnung $\Rightarrow \sigma = \approx 15 \mu\text{m}$

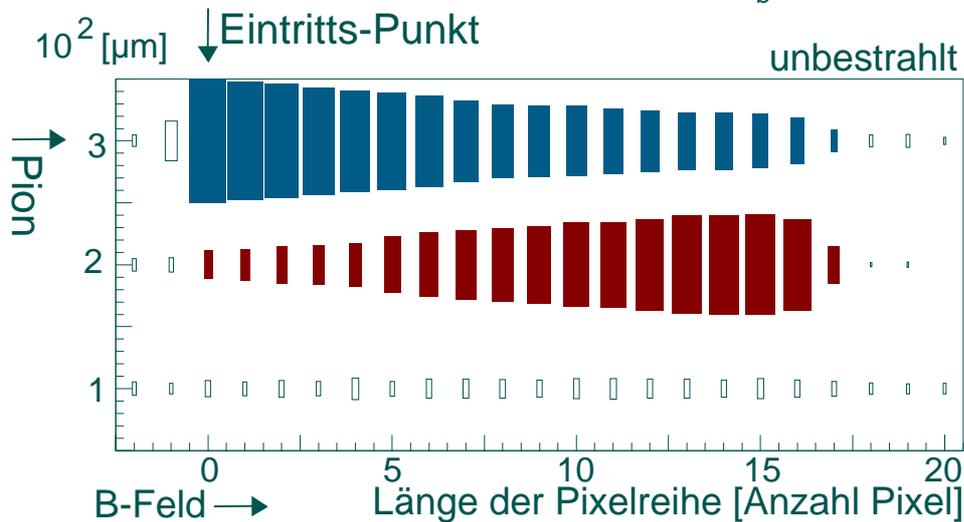
CMS: $B=4\text{T}$

Θ_L : Lorentz-Winkel



Resultate:

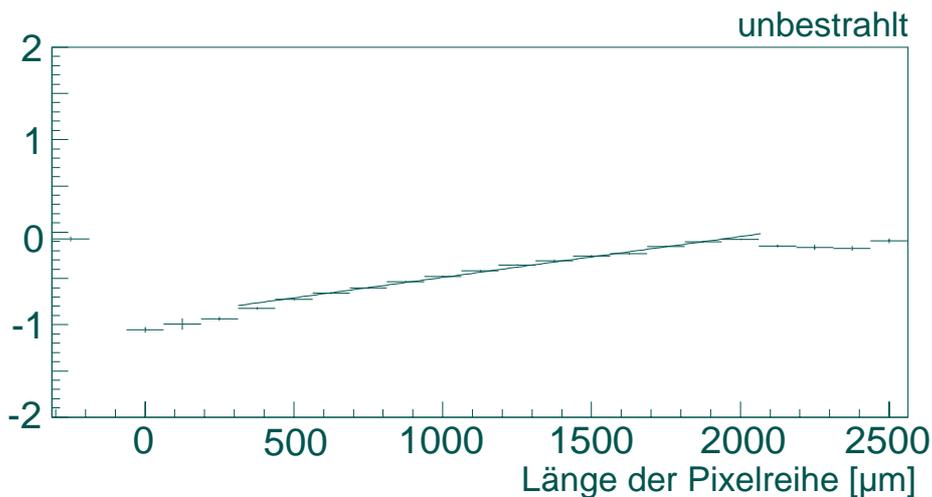
	unbestrahlt	bestrahlt
B =	3T	3T
T =	20°C	-3°C
V _b =	144V	256V



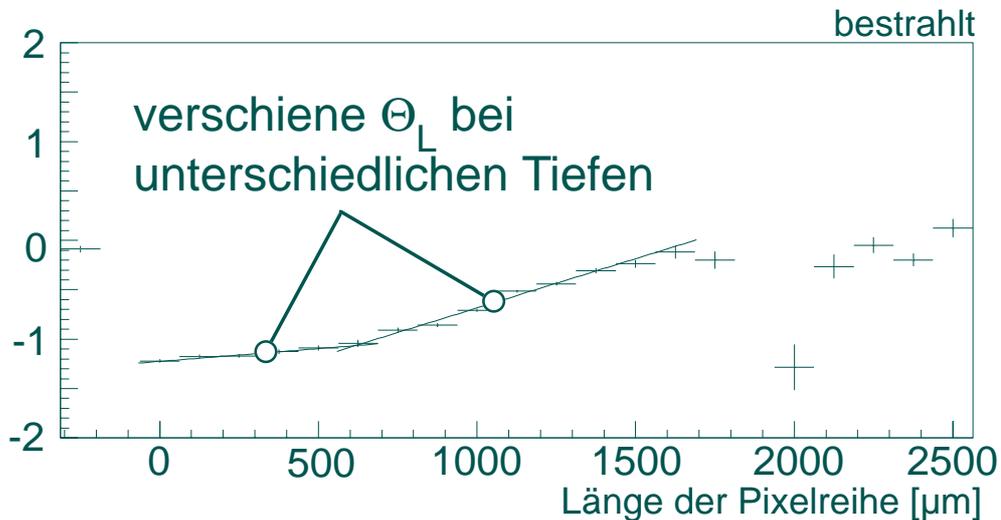
$$A = \frac{(Q_n - Q_i)}{(Q_n + Q_i)}$$

$Q_{i(n)}$: Ladung gesammelt auf **Impakt-** (Nachbar-) Pixel Reihe \Rightarrow Winkel β aus der Steigung von A

Benötigt genaue Spurmessung \Rightarrow Strahlenteleskop mit $\sigma=1\mu\text{m}$

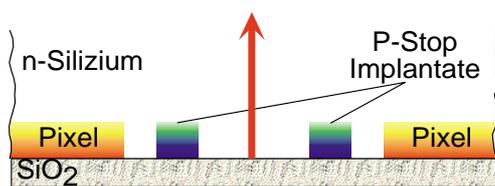


unbestrahlt (3T): $\Theta_L = (18.2 \pm 1.2)^\circ$

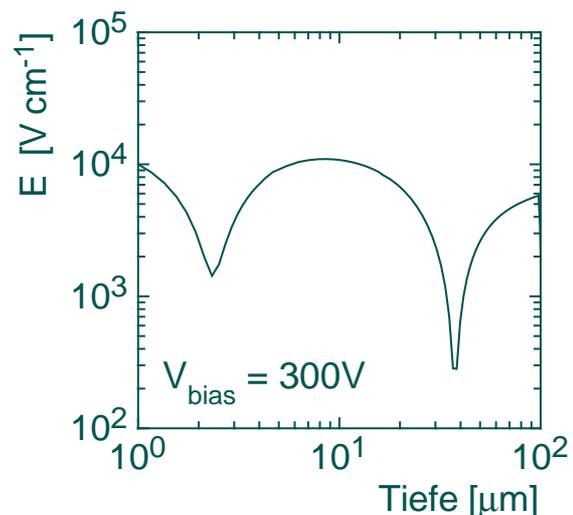


bestrahlt (3T): $(6.2 \pm 3.0)^\circ \leq \Theta_L \leq (26.8 \pm 3.6)^\circ$

Simulationen: kleinerer Θ_L (flache Steigung)
 verursacht durch Zonen hoher elektrischer
 Feldgradienten zwischen den Pixel Implantaten
 \Rightarrow Ladungs-Teilung tiefenabhängig
 \Rightarrow Trajektorien-Berechnung komplizierter



Simulierte Feldstärke
 zwischen zwei Pixel-
 Implantaten als Funktion
 der Sensor-Tiefe



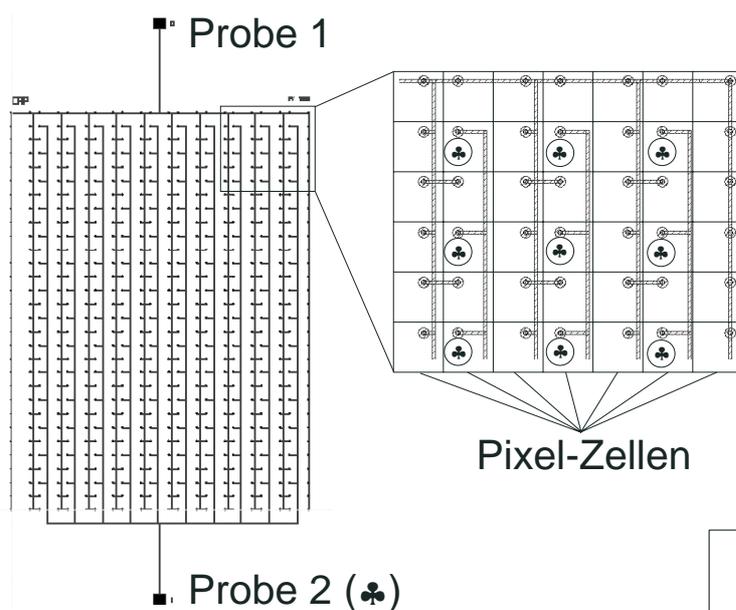
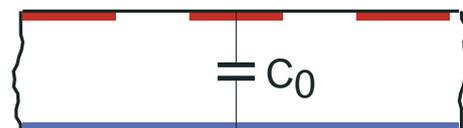
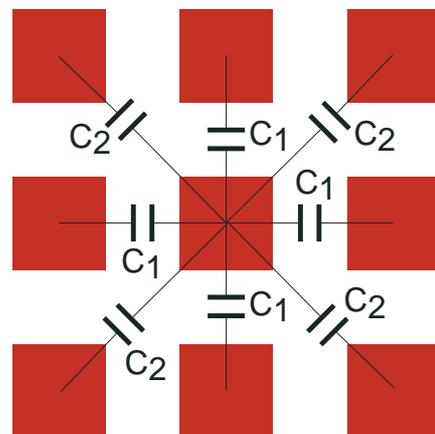
Pixel Kapazität

- Dominiert Verstärker-Rauschen
- Erstmessung für n^+ Pixel in n-Silizium

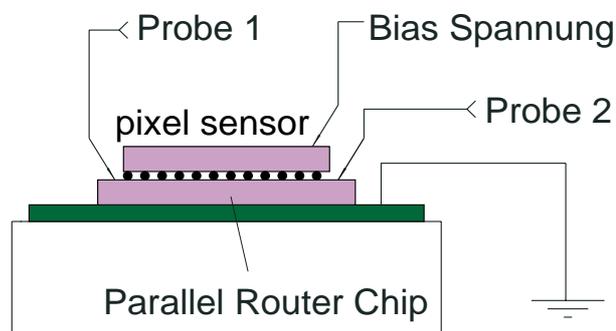
$$C_{\text{tot}} = C_0 \text{ (zur Rückseite)}$$

$$+ 4 C_1 \text{ (nächste Nachbarn)}$$

$$+ 4 C_2 \text{ (diagonale Nachbarn)}$$



140 Pixel parallel geschaltet mit "Parallel Router Chip"



Für volle Depletion

$$C_{\text{pixel}} = (25.7 \pm 1.8) \text{ fF}$$

(Pixel mit zwei p-Stop Ringen)

Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A (in print)

Schlussfolgerungen

Pixel-Isolation (nach Bestrahlung)

R höher als erwartet (einige $G\Omega$), trotzdem keine spontanen Entladungen

⇒ Hoher Widerstand ist verstanden

⇒ R ist nicht zu hoch

⇒ Offene p-Stop Ringe funktionieren

Pixel-Kapazität

$C_{\text{pixel}} = (25.7 \pm 1.8) \text{ fF}$ (Erstmessung)

⇒ kleiner als erwartet, ...

Guard Ring Design

Erfüllt Spezifikationen, kann so verwendet werden.

Ladungs-Teilung

Immer noch genügend nach Bestrahlung, jedoch kein uniformer Lorentz-Winkel mehr durch Zonen mit hohen elektrischen Feldgradienten

Trajektorien-Berechnung wird komplizierter

Sauerstoffangereichertes Silizium

Hemmt Auswirkungen von Strahlenschäden ("β-Parameter")

⇒ Keinen Einfluss auf Pixel-Isolierung (Oberfläche),
aber Einfluss auf Bulk.