

# Simulation moderierter P-Spray Isolationen in Silizium-Pixeldetektoren mit DIOS und TeSCA

L. Andricek <sup>2</sup>, M. Beimforde <sup>1</sup>, S. Bethke <sup>1</sup>, A. Macchiolo <sup>1</sup>, H.-G. Moser <sup>2</sup>,  
R. Nisius <sup>1</sup>, R.H. Richter <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Physik  
München

<sup>2</sup>Max-Planck-Institut Halbleiterlabor  
München

6.3.2008 / DPG-Tagung Freiburg



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Outline

Einleitung

Sensor Produktion

Simulationen

Dios

Gridgen

TeSCA

Ergebnisse

Resümee

## 1 Einleitung

- Sensor Produktion

## 2 Simulationen

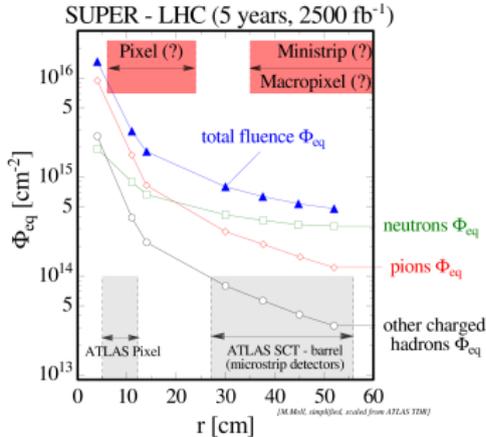
- Dios
- Gridgen
- TeSCA
- Ergebnisse

## 3 Resümee

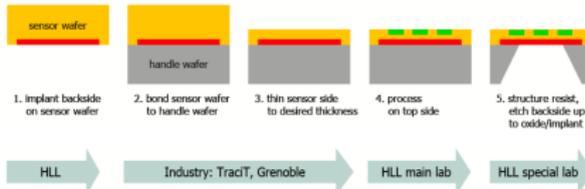


# Dünne MPP Pixeldetektoren für den SLHC

## Erwarteter SLHC Teilchenfluss:



## MPP Produktion dünner Sensoren:



## Super LHC vs. LHC:

- 10-fache Luminosität:  $L = 10^{35} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
- 5-facher integrierter Teilchenfluss:  
 $\Phi_{eq}(4\text{cm}, 5\text{Jahre}) = 1.6 \cdot 10^{16} \text{n}_{eq} \text{cm}^{-2}$

## Standard ATLAS Sensoren (250μm):

- Hohe Depletionsspannung:  $V_{fd} \gg 1\text{kV}$
- Hohe Leckströme

## MPP dünne Sensoren:

- Geringere Depletionsspannung:  $V_{fd} \propto d^2$
- Geringere Leckströme:  $I_{leak} \propto vol.$
- Geringere Si-Strahlungslänge:  
 $250+180\mu\text{m} \rightarrow 150+50\mu\text{m}$  (Sensor+chip)  
 $0.46\%X_0 \rightarrow 0.21\%X_0$
- Weniger Vielfachstreuung
- Optimierte FE-Elektronik für kleinere Signale notwendig!
- Messungen müssen klären ob dies tatsächlich so ist!



# Produktion dünner Detektoren

Einleitung  
Sensor Produktion

Simulationen

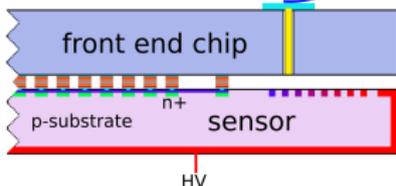
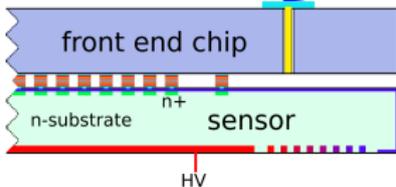
Dios

Gridgen

TeSCA

Ergebnisse

Resümee



## Das MPP Detektorkonzept:

- Dünne Sensoren + FE-Elektronik
- Neuartige Verbindungstechnologie "SLID": Solid Liquid InterDiffusion (IZM, Berlin)
- Inter-Chip Vias zur Rückseitenkontaktierung / "Stacking" (IZM)

## n-in-n und n-in-p Sensoren:

- n-in-n: standard ATLAS Pixel Sensor
- n-in-p: nur einseitige Prozessierung notwendig. Aber: großer Spannungsabfall zwischen Sensor und Elektronik!

Nr	Type	thickness	P-spray	Planned use
1	N	75	High	Irrad
2	N	75	High	SLID/Irrad
3	N	75	High	SLID/Irrad
4	N	75	High	SLID/Irrad
5	P	75	Low	Irrad
6	P	75	Low	SLID/Irrad
7	P	75	High	Irrad
8	P	75	High	SLID/Irrad
9	P	150	Low	SLID/Irrad
10	P	150	Low	Bump/Irrad
11	P	150	High	Irrad
12	p	150	High	Bump/Irrad

## P-Spray Isolation zwischen den Pixeln:

- Verhindert Übersprechen zwischen Pixeln
- Kann gefährliche Feldstärken erzeugen
- Für die ersten 12 Wafer können 2 Isolationen implementiert werden
- "high" p-Dosis: hohe, noch durchbruch-sichere Isolation
- "low" p-Dosis: geringe Feldstärken
- **Simulationen!**



# Dios - Prozesssimulation

Einleitung  
Sensor Produktion

Simulationen

Dios

Gridgen

TeSCA

Ergebnisse

Resümee

## Simulation von Prozessschritten in der Halbleiterfertigung:

- Kommerzielle MC / FEM Simulation
- Ausgangsmaterial z.B. Silizium
- Simulation von lithographischen Prozessen, Dotierungen, etc.

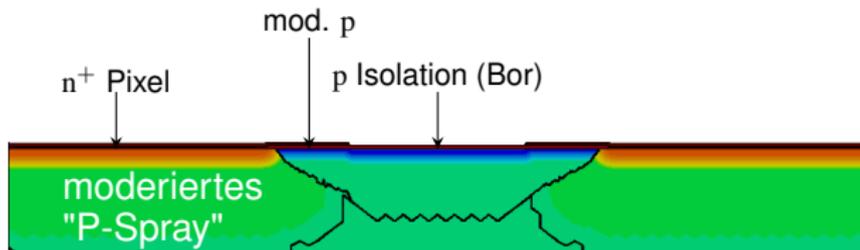
Silizium



# Dios - Prozesssimulation

## Simulation von Prozessschritten in der Halbleiterfertigung:

- Kommerzielle MC / FEM Simulation
- Ausgangsmaterial z.B. Silizium
- Simulation von lithographischen Prozessen, Dotierungen, etc.
- Querschnitt des resultierenden Dotierungsprofils



# Dios - Prozesssimulation

Einleitung  
Sensor Produktion

Simulationen

Dios

Gridgen

TeSCA

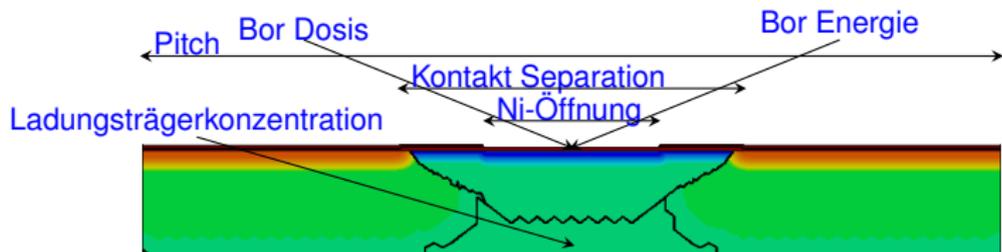
Ergebnisse

Resümee

## Simulation von Prozessschritten in der Halbleiterfertigung:

- Kommerzielle MC / FEM Simulation
- Ausgangsmaterial z.B. Silizium
- Simulation von lithographischen Prozessen, Dotierungen, etc.
- Querschnitt des resultierenden Dotierungsprofils
- Viele Parameter beliebig wählbar

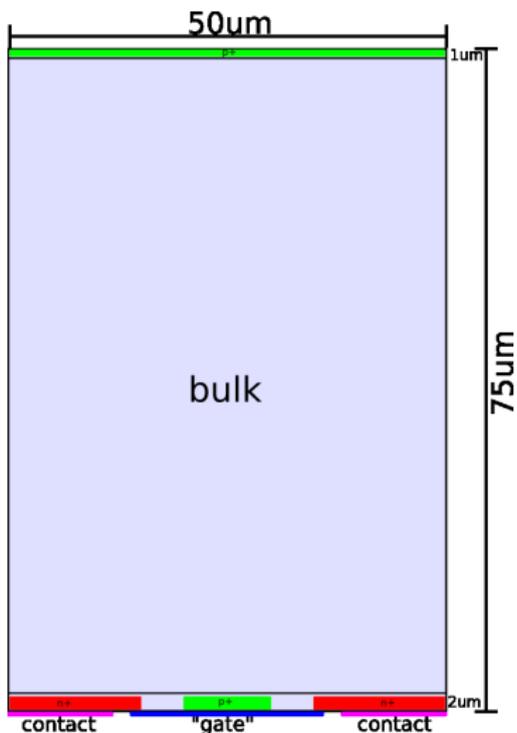
## Produktionsparameter:





# Gridgen / Trigen

## Diskretisierung des Simulationsgebietes:



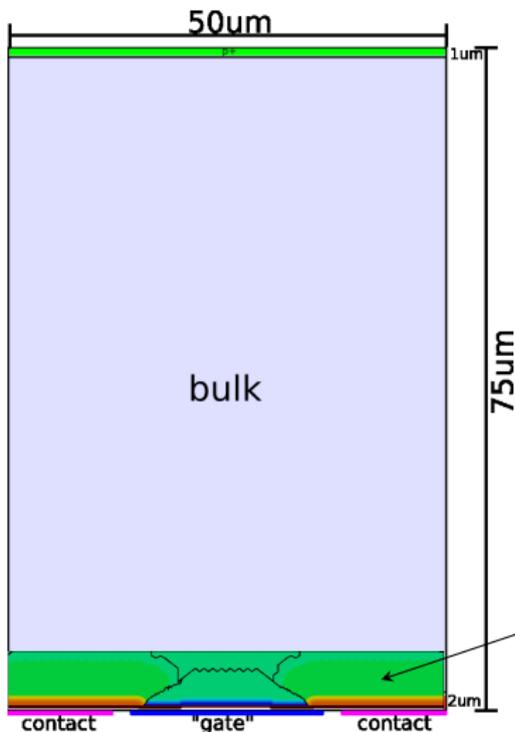
→ Standard Pixel Simulationsgebiet

→ Periodisch in "horizontaler" Richtung



# Gridgen / Trigen

## Diskretisierung des Simulationsgebietes:



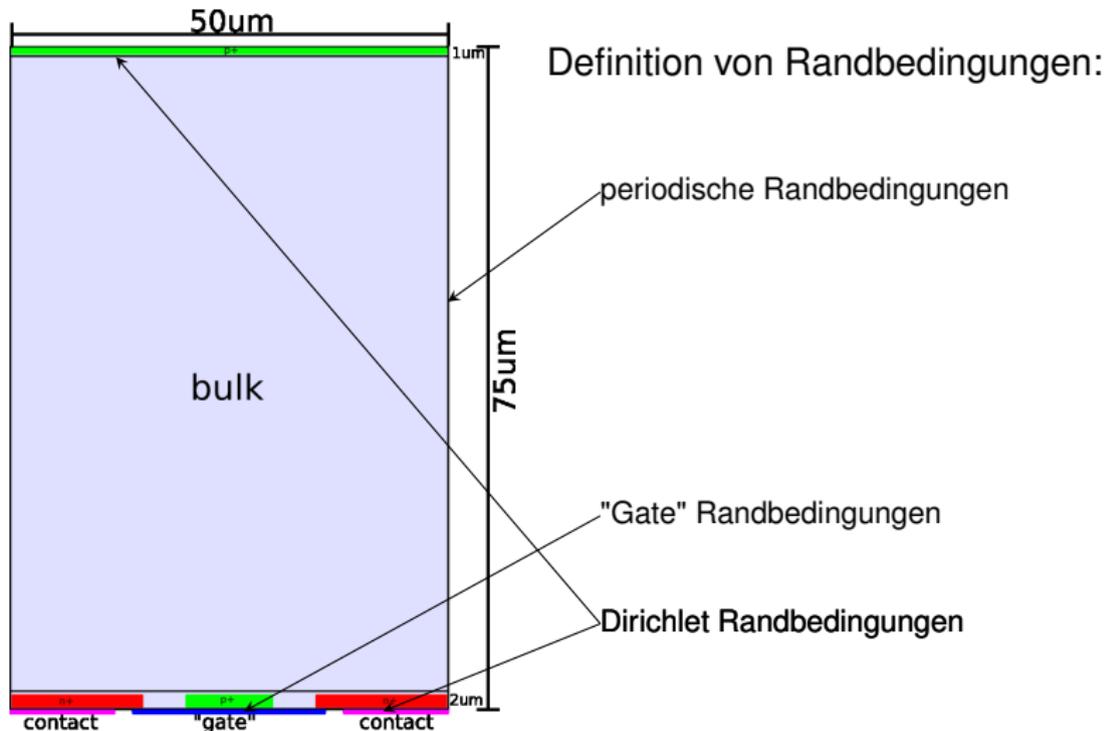
Import von Dios Dotierungsprofilen

- Standard Pixel Simulationsgebiet
- Periodisch in "horizontaler" Richtung



# Gridgen / Trigen

## Diskretisierung des Simulationsgebietes:



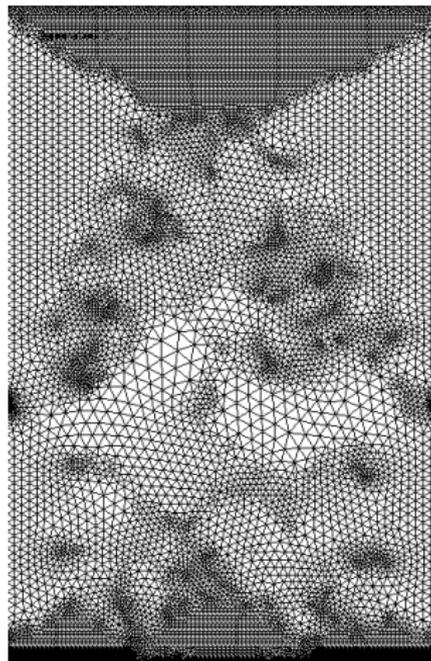
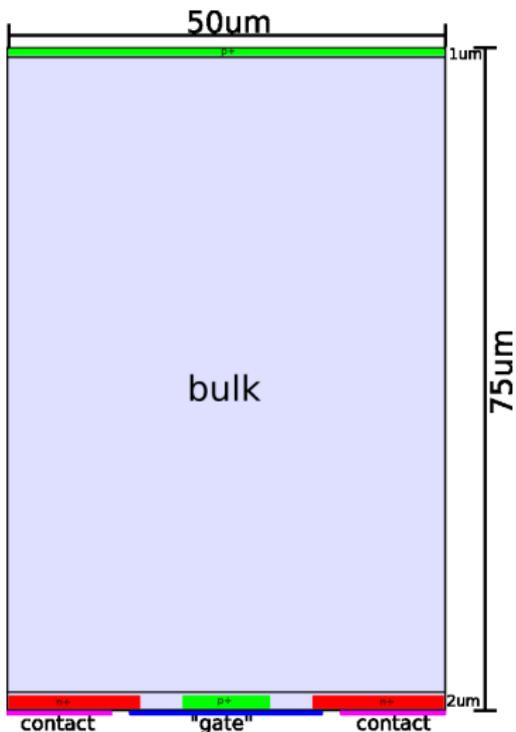
→ Standard Pixel Simulationsgebiet

→ Periodisch in "horizontaler" Richtung



# Gridgen / Trigen

## Diskretisierung des Simulationsgebietes:



- Standard Pixel Simulationsgebiet
- Periodisch in "horizontaler" Richtung

- Diskretisierung in finite Elemente
- "Kritische" Regionen feiner unterteilt



## TeSCA: Two and Three dimensional Semi-Conductor Analysis

→ Basiert auf einem phenomenologischen Gleichungssystem das 1950 von W.V. van Roosbroeck hergeleitet wurde

→ Bell Syst. Tech. J. 29, 560-562 (1950)

→ Poisson-Gleichung:

$$-\nabla(\epsilon \cdot \nabla U) = q \cdot (c + p - n)$$

→ Kontinuitätsgleichung:

$$q \cdot \frac{dn}{dt} - \nabla J_n(n, \mu_n, U, n_i) = q \cdot (G - R)$$

$$q \cdot \frac{dp}{dt} - \nabla J_p(p, \mu_p, U, n_i) = q \cdot (G - R)$$

→ Durch Lösen von gekoppelten DGL:

1) Ladungsträgerkonzentration  $n(x, y, t), p(x, y, t)$

2) Potentialverteilung  $U(x, y, t)$

3) ... daraus hergeleitete Größen (z.B. Feldstärken, etc.)

$\epsilon$ : dielektrische Konstante

$q$ : Elementarladung

$\mu_n, \mu_p$ : Beweglichkeiten

$n, p$ : Elektron-, Lochdichte

$c = n_d - n_a$ : Netto Dotierungskonzentration

$n_i$ : intr. Ladungsträgerdichte

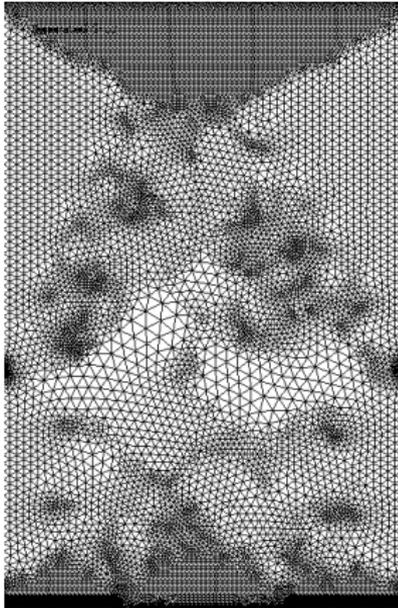
$J_n, J_p$ : Stromdichten

$G, R$ : Generations-, Rekombinationsraten

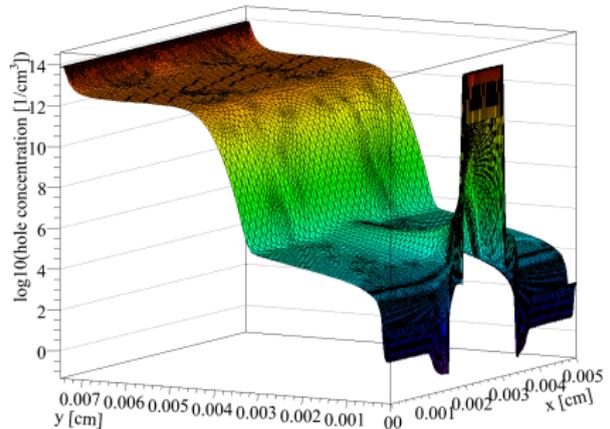


# TeSCA - Finite Elemente Simulation

Die DGL werden diskretisiert und für jeden Gitterpunkt ausgewertet.



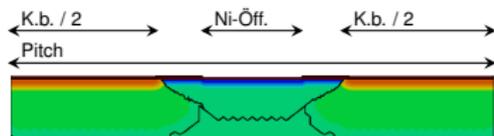
Hole concentration, p-type Si, partial depletion



Jedem Knoten auf dem Gitter aus finiten Elementen wird ein Lösungsvektor  $(n_i, p_i, U_i)$  zugeordnet.



# Simulationsparameter



## Simulierte Sensor Geometrien:

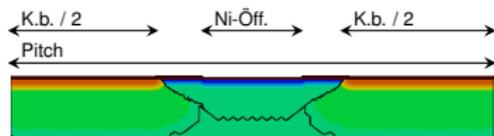
Name	Pitch [ $\mu\text{m}$ ]	Kontaktbreite [ $\mu\text{m}$ ]	Ni-Öffnung [ $\mu\text{m}$ ]	Sensordicke [ $\mu\text{m}$ ]
503010_75	50	30	10	75
503606_75	50	36	06	75
503006_75	50	30	06	75
502410_75	50	24	10	75
802024_75	80	20	24	75
803024_75	80	30	24	75
802000_75	80	20	00	75

## Material- und Bestrahlungsszenarien:

Name	Bulkdotierung [ $1/\text{cm}^3$ ]	Oberflächenladung [ $1/\text{cm}^2$ ]
fresh n-type	$1.3 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{11}$
surface charge (n)	$1.3 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{12}$
close to type inversion (n)	$1.5 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{12}$
fresh p-type	$-2.8 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{11}$
surface charge (p)	$-2.8 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{12}$
high radiation (n, p)	$-4.0 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{12}$



# Simulationsparameter



## Simulierte Sensor Geometrien:

Name	Pitch [ $\mu\text{m}$ ]	Kontaktbreite [ $\mu\text{m}$ ]	Ni-Öffnung [ $\mu\text{m}$ ]	Sensordicke [ $\mu\text{m}$ ]
503010_75	50	30	10	75
503606_75	50	36	06	75
503006_75	50	30	06	75
502410_75	50	24	10	75
802024_75	80	20	24	75
803024_75	80	30	24	75
802000_75	80	20	00	75

## Material- und Bestrahlungsszenarien:

Name	Bulkdotierung [ $1/\text{cm}^3$ ]	Oberflächenladung [ $1/\text{cm}^2$ ]
fresh n-type	$1.3 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{11}$
surface charge (n)	$1.3 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{12}$
close to type inversion (n)	$1.5 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{12}$
fresh p-type	$-2.8 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{11}$
surface charge (p)	$-2.8 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{12}$
high radiation (n, p)	$-4.0 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{12}$

... Analyse der Auswirkungen von verschiedenen Bor Implantationsparametern auf die Isolationseigenschaften.



# Ergebnisse

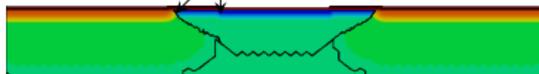
## Simulation von über 1000 Parameter-Kombinationen mit Dios/Gridgen/TeSCA:

→ Bias Spannungen: 0 ... 200 V

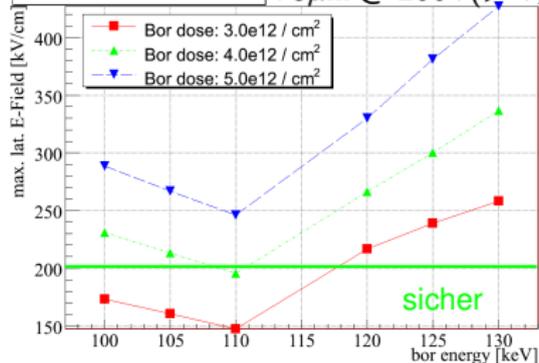
- Suche nach kritischen **Feldstärken**
- Übergänge zwischen Dotierungsgebieten gefährlich

- Bestimmung des **Isolationsvermögens**
- Abhängig von der Potentialdifferenz zwischen Kontakt und Isolation

höchste Feldstärken



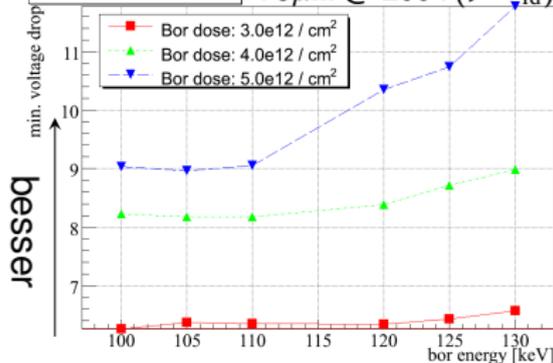
Maximum electric fields **75 μm @ 200V (> V<sub>fd</sub>)**



Potentialdifferenz



Isolation capability **75 μm @ 200V (> V<sub>fd</sub>)**



# Ergebnisse

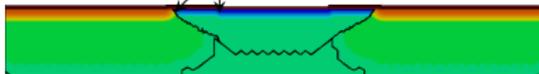
## Simulation von über 1000 Parameter-Kombinationen mit Dios/Gridgen/TeSCA:

→ Bias Spannungen: 0 ... 200 V

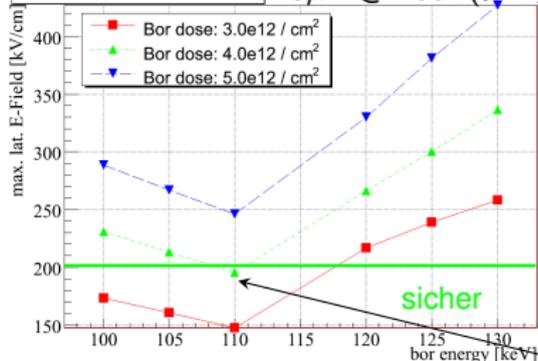
- Suche nach kritischen **Feldstärken**
- Übergänge zwischen Dotierungsgebieten gefährlich

- Bestimmung des **Isolationsvermögens**
- Abhängig von der Potentialdifferenz zwischen Kontakt und Isolation

höchste Feldstärken



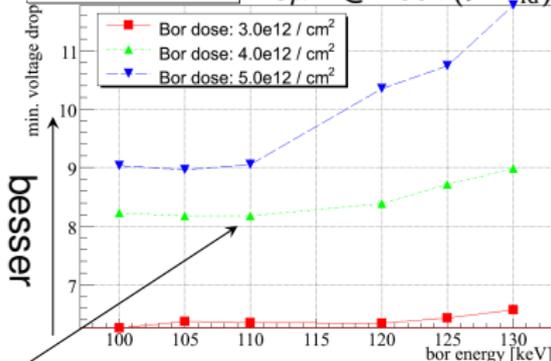
Maximum electric fields **75 μm @ 200V (> V<sub>fd</sub>)**



Potentialdifferenz



Isolation capability **75 μm @ 200V (> V<sub>fd</sub>)**



"high" p-Dosis: moderate Feldstärke, hohe Isolation



# Ergebnisse

## Simulation von über 1000 Parameter-Kombinationen mit Dios/Gridgen/TeSCA:

→ Bias Spannungen: 0 ... 200 V

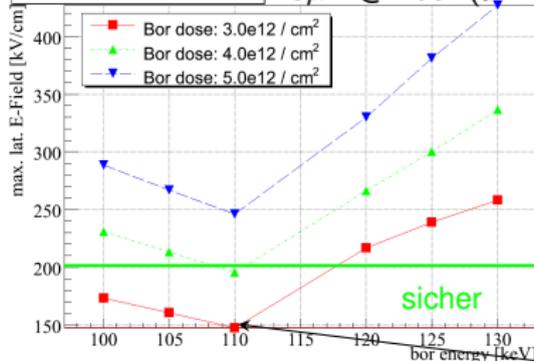
- Suche nach kritischen **Feldstärken**
- Übergänge zwischen Dotierungsgebieten gefährlich

- Bestimmung des **Isolationsvermögens**
- Abhängig von der Potentialdifferenz zwischen Kontakt und Isolation

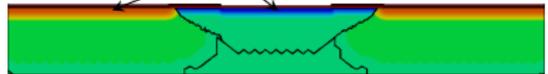
höchste Feldstärken



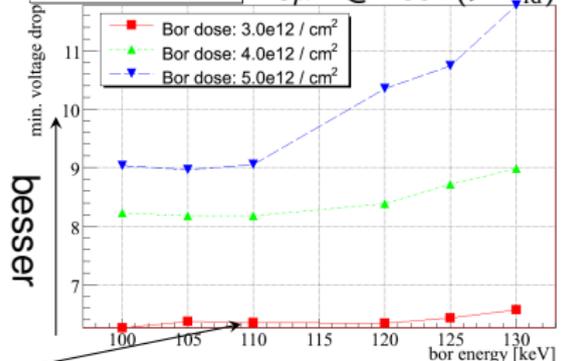
Maximum electric fields 75µm @ 200V (> V<sub>fd</sub>)



Potentialdifferenz



Isolation capability 75µm @ 200V (> V<sub>fd</sub>)



mögliche "low" p-Dosis: niedrige Feldstärke, geringe Isolation



# Resümee

## Zusammenfassung

- Es wurden Simulationen durchgeführt, um 2 geeignete Parameter-Sets für die P-Spray Isolation der 12 Sensorwafer zu finden.
- Eine der zwei Isolationen ist für ein bestmögliches Isolationsvermögen vor und nach Bestrahlung optimiert ("high"). Die erwarteten Feldstärken liegen bei dieser noch unterhalb der vorgegebenen Grenzwerte.
- Die zweite Isolation soll für niedrigste Felderstärken, speziell in n-in-p Sensoren vor der Bestrahlung optimiert sein ("low"). So wird gewährleistet, dass in jedem Fall unbestrahlte n-in-p Prototypen getestet werden können.

## Nahe Zukunft

- Zunächst wird die Einsatzfähigkeit der SLID-Verbindungstechnologie und der Inter-Chip Vias mit Teststrukturen untersucht.
- Im Anschluss sollen die n-in-n und n-in-p Sensoren mit passender Ausleseelektronik verbunden werden, um weitere Tests in Hinblick auf den potentiellen SLHC Einsatz durchzuführen.

