Korrelation zwischen Clusterdefekten und Sperrstrom in Siliziumdetektoren

D. Eckstein¹ E. Fretwurst¹ <u>A. Junkes</u>¹ I. Pintilie^{1,2}

¹Institut für Experimentalphysik - Detektorlabor Universität Hamburg

> ²NIMP Bucharest-Magurele

DPG-Frühjahrstagung, München 2009







| Motivation | Messverfahren | Ergebnisse | Zusammenfassung |
|------------|---------------|------------|-----------------|
| ●○○ | 00 | 000 | o |
| Motivation | | | |



LHC-Ausbau

| LHC | sLHC |
|--|--|
| $L = 10^{34} cm^{-1} s^{-1}$ | $L = 10^{35} cm^{-1} s^{-1}$ |
| 10 Jahre 500 <i>fb</i> ⁻¹ | 5 Jahre 2500 <i>fb</i> ⁻¹ |
| \Downarrow | \Downarrow |
| $\Phi(r = 4cm)$ | $\Phi(r = 4cm)$ |
| $\approx 3\times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ | $\approx 1,6\times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ |

Large Hadron Collider (LHC)

Proton-Proton-Collider Luminosität: $10^{34} cm^{-1}s^{-1}$ Bunch crossing: 25 ns Ereignisrate: $10^9 s^{-1}$



| Motiva | tion |
|--------|------|
| 000 | |

Auswirkungen hadronischer Strahlenschäden

Makroskopische Beobachtung

- Anstieg des Sperrstroms
- Anstieg der Verarmungsspannung
- Anstieg des Ladungsträger Trappings
- Inversion

Folgeprobleme

Abnahme des Signal- zu Rauschverhältnis (S/N)

Mikroskopische Beobachtung

Dominanz von Clusterdefekten "cluster related defects"

Fragestellung

Korrelation von mikroskopischen und makroskopischen Beobachtungen? z.B.: Korrelation Sperrstrom und Clusterdefekte ⇒ Annealing Experimente
 Motivation
 Messverfahren
 Ergebnisse
 Zusammenfassung

 oo
 oo
 oo
 oo
 oo

Strahlenschäden im Detektor

Punktdefekte & Cluster



Punktdefekte (Beispiele)

Leerstelle-Sauerstoffkomplex (VO_i) Doppel-Leerstelle (V_2)



Custerdefekte

- Zusammensetzung ungeklärt vermutlich Leerstellen (*V_n*)
- Messverfahren: DLTS/TSC



Vorraussetzungen

- Einfangs- und Emissionswahrscheinlichkeit beschrieben von Shokley-Read-Hall Statistik
- Parameter $\sigma_{n,p}$ und E_a



Messung des Umladeverhaltens:

- Abhängig von der Temperatur
- Messung von Kapazitäts Transienten
- Bestimmung der Defektkonzentration aus Signalhöhe



| Motivation | Messverfahren | Ergebnisse | Zusammenfassung |
|----------------|---|---------------------|-------------------|
| | ○● | 000 | o |
| $\Phi_{eq.} >$ | $10^{12} \text{ cm}^{-2} \Rightarrow T$ | hermally Stimulated | Current technique |

Vorraussetzungen

- Einfangs- und Emissionswahrscheinlichkeit beschrieben von Shokley-Read-Hall Statistik
- Abhängig von σ_{n,p} und E_a



- Defekte bei tiefen T durch Ladungsträgerinjektion füllen
- Messung des Emissionsstroms als Funktion von T
- Integral über TSC-Strom gibt Defektkonzentration



| Motivation | Messverfahren | Ergebnisse | Zusammenfassung |
|----------------|--|---------------------|-------------------|
| | ⊙● | 000 | o |
| $\Phi_{eq.} >$ | $10^{12} \text{ cm}^{-2} \Rightarrow \text{T}$ | hermally Stimulated | Current technique |

Anmerkung

- Nur elektrisch aktive Defekte messbar
- Nicht alle Defekte verursachen Anstieg des Sperrstroms
- Zuordnung durch annealing Experimente

- Defekte bei tiefen T durch Ladungsträgerinjektion füllen
- Messung des Emissionsstroms als Funktion von T
- Integral über TSC-Strom gibt Defektkonzentration



| Motivation | Messverfahren | Ergebnisse | Zusammenfassung |
|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 000 | oo | ●oo | o |
| Korrelation voi | n Cluster- und St | romausheilung | |

DLTS-Studie an MCz, $\Phi_{eq.} = 3 \times 10^{11} n/cm^2$



Korrelation nicht notwengigerweise linear!

| Motivation | Messverfahren | Ergebnisse | Zusammenfassung |
|------------------|---------------------|------------|-----------------|
| 000 | oo | o●o | o |
| Bistabilität vor | E4 <i>a</i> und E4b | | |

Bistabil heißt die Defektkonfiguration wechselt

- E4a/E4b nach 120 Minuten bei 80°C elektrisch inaktiv
- Rückgewinnung möglich durch hohen Durchlassstrom



Annealing Verfahren

- Isochronales Annealing
- Injektion von 1 A Durchlassstrom
- Isothermales Annealing

| Motivation | Messverf 00 | ahren | Ergebnisse oo● | Zusammenfassung o |
|------------|----------------|-------|-------------------|----------------------|
| - · · · | | | | |

Direkte Korrelation sichtbar durch Bistabilität

'Ein-' und 'Ausschalten' von E4a/E4b und I_{dep}



Bistabilität unabhängig von Sauerstoffgehalt im Material oder Art der Bestrahlung

Spekulationen

Mögliches 'defect engineering'

- Einbringung von passivierenden Verunreinigungen
- Beispiel: Wasserstoff

| Motivation | Messverfahren | Ergebnisse | Zusammenfassung |
|------------|---------------|------------|-----------------|
| 000 | oo | ooo | |
| | | | |

Zusammenfassung

- Clusterdefekte und Sperrstrom sind korreliert
- Bistabilität von E4a/E4b zeigt direkte Korrelation

Ausblick

- Untersuchungen zur Zusammensetzung der Cluster
- Identifizierung von E4a/E4b
- 'defect engineering' mit passivierenden Verunreinigungen

Ergebnisse

Zusammenfassung o

Annealing Experimente

Warum Temperung?

 Erwärmen beschleunigt die Ausheilung

- Zeitliche Defekteintwicklung
- Ermöglicht Messung von Langzeitszenarien in verkürzter Zeit

Möglichkeiten

- isothermale Ausheilung (*T* = const.)
 Zeitliche Entwicklung bei konstanter Temperatur
- isochronale Ausheilung (t = const.)
 Entwicklung der
 Temperaturabhängigkeit
 bei konstantem
 Zeitintervall