

## T 64: Strahlenhärte von Halbleiterdetektoren II

Zeit: Donnerstag 16:45–19:15

Raum: HG ÜR 6

T 64.1 Do 16:45 HG ÜR 6

**Dünne Silizium-Sensoren und 3D-Integration für den ATLAS Pixel-Detektor am Super LHC** — ●MICHAEL BEIMFORDE<sup>1</sup>, LADISLAV ANDRICEK<sup>2</sup>, SIEGFRIED BETHKE<sup>1</sup>, ANNA MACCHIOLO<sup>1</sup>, HANS-GÜNTHER MOSER<sup>2</sup>, RICHARD NISIUS<sup>1</sup> und RAINER RICHTER<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Physik, München — <sup>2</sup>MPI Halbleiterlabor, München

Mit dem geplanten Luminositäts-Upgrade des LHC Beschleunigers am CERN, Super LHC, wird die Intensität der sekundären Hadronen im ATLAS Spurdetektor um bis zu den Faktor zehn steigen. Hierfür müssen neue strahlenresistente Pixelsensoren entwickelt werden, da die derzeitigen 250  $\mu\text{m}$  dicken Silizium-Sensoren aufgrund steigender Dunkelströme, niedriger Sammeleffizienzen und hoher Depletionsspannungen nicht effizient betrieben werden können.

Das Max-Planck-Institut für Physik entwickelt unter Benutzung neuartiger Herstellungsverfahren gedünnte Sensoren (75  $\mu\text{m}$  und 150  $\mu\text{m}$  Dicke), deren Funktion nach intensiver Bestrahlung weniger beeinträchtigt wird. Die Verbindung der Sensoren und Auslesechips zu Detektormodulen geschieht durch eine innovative vertikale Integrations-Technologie, dem ICV-SLID Verfahren.

Neben neuen Ergebnissen zur Effizienz und Positionierungsgenauigkeit des SLID Verfahrens werden vor allem Ladungsmessungen von dünnen bestrahlten Sensoren vorgestellt. Diese zeigen eine erhöhte Sammeleffizienz im Vergleich zu Sensoren üblicher Dicke.

T 64.2 Do 17:00 HG ÜR 6

**Ladungsmultiplikation in hochbestrahlten epitaktischen Siliziumdioden** — ●JÖRN LANGE, JULIAN BECKER, ECKHART FRETWURST, ROBERT KLANNER und GUNNAR LINDSTRÖM — Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg

Der geplante Ausbau des LHC auf eine zehnfach höhere Luminosität von  $L = 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Super-LHC) erfordert eine bisher unerreichte Strahlenhärte der Siliziumdetektoren, um einer erwarteten Fluenz von bis zu  $\Phi_{eq} = 1.6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  im innersten Pixel-Bereich standzuhalten. Dabei ist der Einfang freier Ladungsträger an strahlungsinduzierten Defekten in der Silizium-Bandlücke der limitierende Faktor, da hierdurch die Ladungssammleffizienz (CCE) stark reduziert wird. Neuere Messungen deuten jedoch auf eine höhere Ladungssammlung als zunächst erwartet hin. Insbesondere in hochbestrahlten dünnen Dioden wurde bei hohen Spannungen bis zu 1000 V sogar  $CCE > 1$  gemessen. Unter diesen Voraussetzungen wird also der Ladungseinfang durch Ladungsmultiplikation überkompensiert, da die Kombination aus dünnen Sensorschichten und hohen strahlungsinduzierten Raumladungsdichten zu hohen elektrischen Feldstärken führt. In dieser Arbeit wurden die Ladungsmultiplikations-Eigenschaften von 75, 100 und 150  $\mu\text{m}$  dünnen epitaktischen Dioden bei sehr hohen Fluenzen bis zu  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$  und Spannungen bis 1000 V mit Hilfe der Transient Current Technique (TCT) und CCE-Messungen mit  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen und Laserlicht (670, 830, 1060 nm) untersucht.

T 64.3 Do 17:15 HG ÜR 6

**Teststrahlungsmessungen von n-in-p Streifendetektoren** — ●LIV WIHK, MICHAEL KÖHLER, KARL JAKOBS, ULRICH PARZEFALL und JOCHEN DINGFELDER — Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Bei dem für 2019 geplanten Luminositätsupgrade des LHC zum sLHC erwartet man, dass die Ereignisrate im ATLAS Detektor um einen Faktor zehn steigen wird. Dies führt zu Fluenzen, die um mehr als eine Größenordnung höher sind als am LHC. Daher werden Siliziumdetektoren benötigt, die strahlenresistent sind als die bisher in ATLAS genutzten. Die Entwicklung besonders strahlenharter Siliziumdetektoren für das Upgrade des ATLAS-Spurdetektors ist daher essentiell.

In diesem Vortrag werden Teststrahlungsmessungen von bestrahlten und unbestrahlten planaren n-in-p FZ Streifendetektoren aus dem offiziellen ATLAS-Prototyp-Programm vorgestellt. Die Teststrahlungsmessung wurde mit Hilfe des Helsinki Beam Teleskops durchgeführt, welches analoge CMS-Auslesechips nutzt. Die Detektoren wurden mit Fluenzen bis zu  $\Phi_{eq} = 3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  bestrahlt, dies liegt in der Größenordnung der erwarteten Dosis für die inneren Streifenlagen am sLHC. In diesem Vortrag wird insbesondere auf die Ladungssammleffizienz, das Signal-zu-Rausch-Verhältnis und Auflösungsvermögen der Detektoren eingegangen.

T 64.4 Do 17:30 HG ÜR 6

**Untersuchungen zur Generation von Donatoren nach Elektronenbestrahlung in n-Typ Siliziumdioden** — ●ALEXANDRA JUNKES<sup>1</sup>, ECKHART FRETWURST<sup>1</sup>, GUNNAR LINDSTRÖM<sup>1</sup> und IOANA PINTILIE<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg — <sup>2</sup>National Institute of Materials Physics, RO-77125 Bukarest, Rumänien

Der geplante Ausbau des Large Hadron Collider (LHC) zum Super Large Hadron Collider (sLHC) erfordert eine weitere Erhöhung der Strahlentoleranz der Siliziumsensoren in den Spurdetektoren der verschiedenen Experimente (z.B. CMS und ATLAS).

Dies kann durch ein geeignetes "defect engineering" nur dann erreicht werden, wenn die den Strahlungsschädigungseffekten zugrundeliegenden Defekte und deren Erzeugungsmechanismen bekannt sind. Hierzu wurden Untersuchungen zur Defektcharakterisierung mit Hilfe der Thermally Stimulated Current (TSC) Methode an n-leitenden Siliziummaterialien mit unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen durchgeführt. Die Dioden wurden mit Elektronen unterschiedlicher Energie (6 MeV, 15 MeV und 900 MeV) bestrahlt. Besonderes Augenmerk wird auf einen strahleninduzierten Donator ( $E(30K) : E_C - 0.1 \text{ eV}$ ,  $s_n = 2.3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ ) gelegt, der eine Schlüsselrolle bei der Unterdrückung der Inversion in epitaktischem Silizium von n- zu p-Material nach der Bestrahlung mit geladenen Hadronen spielt. Wir konnten eine Energieabhängigkeit für die Generierung dieses Defektes beobachten und versuchen Rückschlüsse auf seine Zusammensetzung zu finden.

T 64.5 Do 17:45 HG ÜR 6

**Vorstellung einer vollautomatisierten Messstation zur Untersuchung der Ladungssammlung bestrahlter Streifensensoren und erste Messergebnisse** — TOBIAS BARVICH, FELIX BÖGELSPACHER, ALEXANDER DIERLAMM, MARTIN FREY, THOMAS MÜLLER, ●TANJA PFISTER, PIA STECK und THOMAS WEILER — Institut für Experimentelle Kernphysik, KIT

Hinsichtlich des kommenden LHC Upgrades zum SLHC (Super Large Hadron Collider) werden strahlenhärtere Sensoren benötigt. Um diese Eigenschaft testen zu können, wird die Ladungssammleffizienz untersucht. Im Rahmen von RD50 wurde ein kompaktes und transportables Auslesesystem für Silizium Streifensensoren entwickelt. Diese kommen in Spurdetektoren der Experimente am LHC bereits zum Einsatz. Das System wurde am Institut für Experimentelle Kernphysik des KIT in einen neuen Messaufbau integriert. Der Aufbau beinhaltet einen Sr-Quellen- und einen Laser-Scan Modus. Das entwickelte Kühlsystem erreicht Temperaturen zwischen  $-40$  und  $+40^\circ\text{C}$  und kann mittels Peltier Elementen auch Annealingphasen der Sensoren erlauben. Per LabView Oberfläche können beide Setup Varianten über Präzisionsverfahrtische angefahren werden und automatisierte Messungen bei gezielt gewählten Temperaturrampen sowie Spannungsrampen gestartet werden. Erste Kalibrationsmessungen wurden durchgeführt und erste Messungen werden vorgestellt.

T 64.6 Do 18:00 HG ÜR 6

**Messung der Ladungssammlung in planaren Siliziumstreifendetektoren an einer Betaquelle** — ●MICHEL WALZ, MICHAEL BREINDL, KARL JAKOBS, MICHAEL KÖHLER, ULRICH PARZEFALL, JENS PREISS und LIV WIHK — Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Etwa zehn Jahre nach dem im November 2009 erfolgten Start des Large Hadron Colliders (LHC) soll ein Upgrade vorgenommen werden, das es ermöglicht, die Luminosität um den Faktor zehn zu erhöhen. Die gleichermaßen ansteigende Strahlungsbelastung stellt eine große Herausforderung für die Detektoren dar, besonders für die nahe am Kollisionspunkt befindlichen Komponenten wie den Spurdetektor.

In Freiburg werden daher unter anderem Prototypen von planaren Siliziumstreifendetektoren getestet, die potentiell extrem strahlenhart sind. Dabei liegt ein Schwerpunkt momentan auf n-in-p-Sensoren. Sie versprechen im Vergleich zu den im ATLAS-Streifendetektor eingesetzten p-in-n-Sensoren ein höheres Signal nach der Bestrahlung, sowie eine schnellere Ladungssammlung und bessere Funktion bei unvollständiger Verarmung. Für die Messungen werden die am sLHC zu erwartenden Strahlenschäden, wie Ladungseinfang, steigender Leckstrom und Anstieg der Verarmungsspannung, durch Bestrahlung der Prototypen mit Protonen erreicht.

In diesem Vortrag werden Ergebnisse von Messungen mit einer Sr90-

Quelle vorgestellt, bei denen die Ladungssammlung der Sensoren im Mittelpunkt steht. Dabei wird auch auf das verwendete ALiBaVa-Auslesesystem eingegangen, das aufgrund seiner analogen Auslese eine direkte Ladungsmessung ermöglicht.

T 64.7 Do 18:15 HG ÜR 6

**Ladungssammlung in epitaktischen Siliziumdetektoren nach Neutronbestrahlung** — •THOMAS PÖHLSSEN, JULIAN BECKER, ECKHART FRETWURST, ROBERT KLANNER und JÖRN LANGE — Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg

Untersucht werden Siliziumdetektoren, die zukünftig am LHC eingesetzt werden könnten. Nach dem nächsten Luminositäts-Upgrade (sLHC) wird die Strahlenbelastung für die innersten Detektoren auf ca.  $1.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  in 5 Jahren steigen.

Ladungsträgereinfang aufgrund von Strahlenschäden sorgt für Signalabschwächung und begrenzt somit die Funktionalität der eingesetzten Detektoren. Epitaktische Siliziumdioden sind ein guter Kandidat für strahlenharte Dioden am sLHC.

75 bis 150  $\mu\text{m}$  dicke epitaktische Siliziumdetektoren nach Neutronbestrahlung mit Fluenzen bis  $4 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  wurden mit der Transient Current Technique (TCT) untersucht. Beobachtete Strukturen im TCT-Signal (zwei Maxima) konnten unter der Annahme einer quadratischen Feldverteilung im Detektor simuliert werden. Die Feldabhängigkeiten der Einfangwahrscheinlichkeiten wurden bestimmt.

Die Messergebnisse und die Simulationen werden vorgestellt und diskutiert.

T 64.8 Do 18:30 HG ÜR 6

**Application of Diamond and Sapphire Sensors in Beam Halo Monitor for FLASH** — •ALEXANDR IGNATENKO<sup>1,2</sup>, HANS HENSCHL<sup>1</sup>, WOLFGANG LANGE<sup>1</sup>, WOLFGANG LOHMANN<sup>1</sup>, and SERGEJ SCHUWALOW<sup>1</sup> — <sup>1</sup>DESY, Zeuthen, Platanenallee 6 — <sup>2</sup>NC PHEP BSU, Minsk, Bogdanovich Str. 153

Safe electron beam dumping at FLASH is supported by a beam halo monitoring system. The sensors positioned inside the beam pipe have to withstand high radiation doses. We used 300  $\mu\text{m}$  thick pCVD diamond and 500  $\mu\text{m}$  thick single crystal sapphire sensors of  $12 \times 12 \text{ mm}^2$  area. Samples of such sensors have been irradiated in a high intense electron beam at S-DALINAC and found to tolerate doses up to 10 MGy with moderate signal degradation.

During the upgrade of the FLASH beam dump line in the summer 2009 a module carrying 4 diamond and 4 sapphire sensors was installed in the beam pipe, commissioned and successfully operated.

In the talk the system is described and the results from the data

taken in the "9 mA run" in September 2009 are given.

T 64.9 Do 18:45 HG ÜR 6

**Development of radiation hard Si sensors for science at XFEL** — •AJAY KUMAR SRIVASTAVA<sup>1</sup>, ECKHART FRETWURST<sup>1</sup>, ROBERT KLANNER<sup>1</sup>, HANNO PERREY<sup>1</sup>, IOANNA PINTILIE<sup>2</sup>, THORBEN THEEDT<sup>1</sup>, and JIAGUO ZHANG<sup>1,3</sup> — <sup>1</sup>Institute for Experimental Physics, Detector Laboratory, University of Hamburg, Hamburg 22761 — <sup>2</sup>National Institute of Material Physics, RO-77125 Bucharest, Romania — <sup>3</sup>Marie Curie Initial Training Network (MC-PAD)

Science at the European XFEL requires precision pixel detectors which withstand a dose of up to 1 GGy of 12 keV photons. CMOS test structures (CMOS capacitors and CMOS gated diodes) have been irradiated and capacitance-voltage (C/V), conductance-voltage (G/V), current-voltage (I/V) and Thermally Depolarization Relaxation Current (TDRC) measurements have been performed. From these measurements oxide charge densities ( $N_{ox}$ ) and interface densities ( $D_{it}$ ) have been extracted, implemented into the semiconductor device simulation program Synopsys-TCAD. On this basis the measurements on the test structures could be reproduced. This experience is used to design radiation tolerant sensors.

T 64.10 Do 19:00 HG ÜR 6

**Untersuchung des Plasmaeffekts in Silizium-Sensoren** — •JULIAN BECKER, DORIS ECKSTEIN, GEORG STEINBRÜCK und ROBERT KLANNER — Universität Hamburg, Institut für Experimentalphysik, Detektorlabor, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

Am europäischen XFEL werden Röntgenstrahlungspulse kurzer Dauer ( $\approx 10 \text{ fs}$ ) mit extrem hoher Intensität erzeugt werden (monoenergetische Photonen, einstellbar von 1 keV bis 12 keV). Diese hohen Intensitäten erzeugen in Silizium-Sensoren, die zum Nachweis der gestreuten Photonen verwendet werden ein Elektron-Loch-Plasma, dessen Einfluss auf die Pulsform und Ladungsverteilung untersucht wurden.

Mittels Messungen an Steifensensoren wurden Ladungssammlungszeiten und räumliche Antwortfunktionen für Sensoren von 280  $\mu\text{m}$  und 450  $\mu\text{m}$  Dicke bei Ladungsträgerdichten bis zu  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  gemessen. Zur Erzeugung der Ladungsträger wurden fokussierte Laser unterschiedlicher Wellenlängen verwendet (660nm, entspricht 1 keV Photonen und 1015 nm, entspricht 12 keV Photonen).

Es zeigt sich, dass es bei hohen Dichten aufgrund von Plasmaeffekten zu einer Erhöhung der Ladungssammlungszeit und einer räumlichen Verbreiterung der gemessenen Ladungswolke kommt. Diese Effekte lassen sich durch Erhöhung der angelegten Spannung so weit reduzieren, dass sie keinen Einfluss auf die Messungen am XFEL haben.