

Strahlenharte Pixelmodule für Detektoren am SLHC



**DPG Frühjahrstagung
Freiburg - 6. März, 2008**

Richard Nisius (MPP München)

`nisius@mppmu.mpg.de`

präsentiert von Michael Beimforde



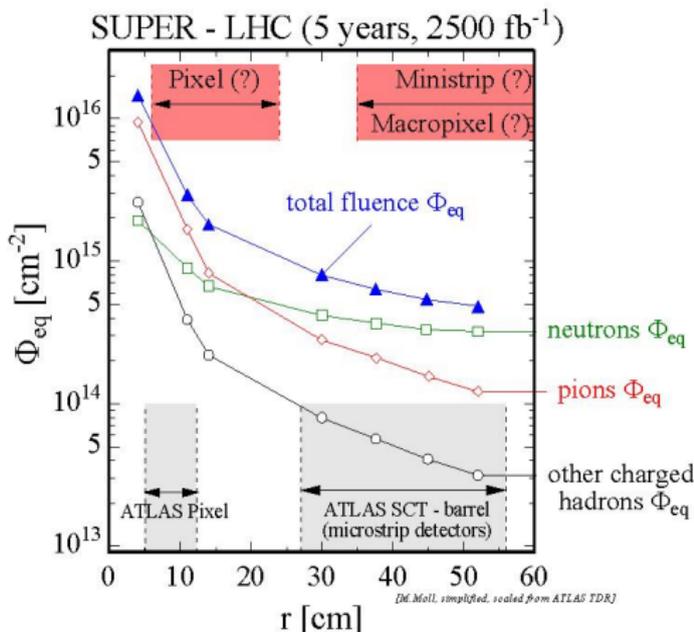
Die Änderungen der Konditionen von LHC zu SLHC

LHC Konditionen

- Start 2008
- Luminosität: $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Integrierte Luminosität (10y):
 $\mathcal{L}_{\text{int}} = \int dt L = 500 \text{ fb}^{-1}$
- Teilchenfluss: $\Phi_{\text{eq}}(4 \text{ cm}) = 3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$
- Trefferdichte: 0.5–1 k Spuren pro Ereignis

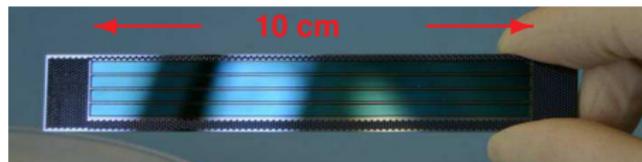
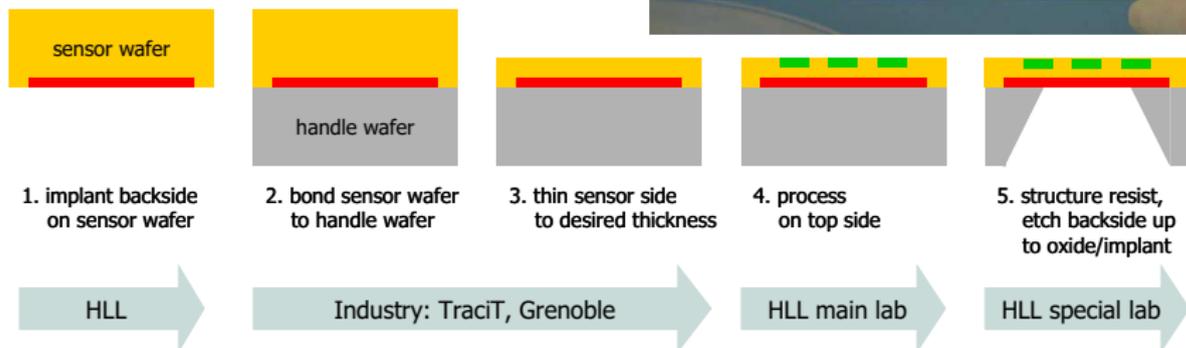
SLHC Konditionen

- Start 2016?
- Luminosität: $L = 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Integrierte Luminosität (5y):
 $\mathcal{L}_{\text{int}} = \int dt L = 2500 \text{ fb}^{-1}$
- Teilchenfluss: $\Phi_{\text{eq}}(4 \text{ cm}) = 1.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$
- Trefferdichte: 5–10 k Spuren pro Ereignis



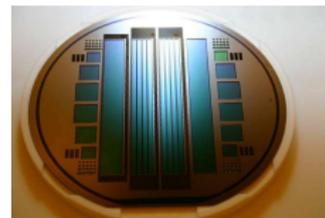
Die immense Bestrahlung und erhöhte Trefferdichte erzwingt neue Detektorkonzepte.

MPP Produktion dünner Sensoren



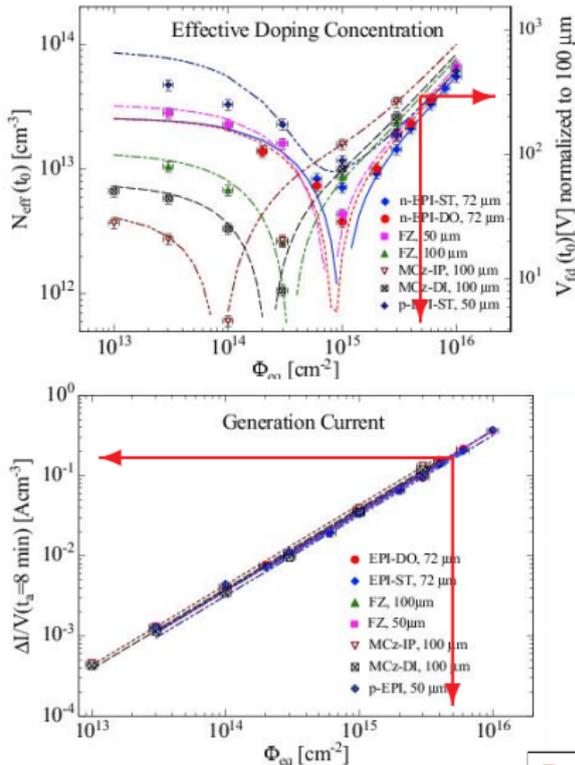
Einige Details

- Die Produktion wurde erfolgreich mit Dioden durchgeführt.
- Die Durchbiegung durch Gravitation ist kleiner als $20 \mu\text{m}$.
- Die aktive Dicke wird auf die gewünschte Signalgröße abgestimmt.
- Der Prozess führt zur Sauerstoffanreicherung der Sensoren.
- Zur Zeit produzieren wir Pixeldetektoren mit dieser Technik.
- Der HLL Prozess der Rückseitenätzung muss in die Industrie transferiert werden.



Der Prozess ist eingeführt, muss aber noch optimiert werden.

Verarmungsspannung Leckströme, Rauschen und Leistungsaufnahme



E. Fretwurst et al.

Verarmungsspannung

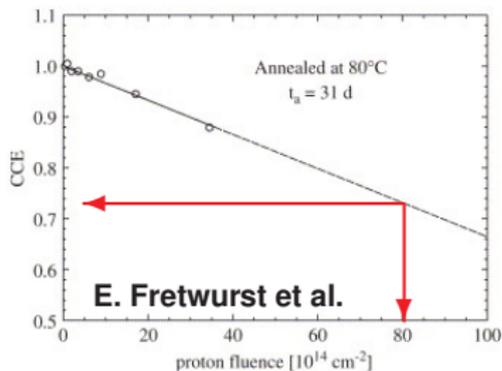
- Nutzen des positiven Ausheilungseffektes ergibt:
 $V_{\text{dep}}(100 \mu\text{m}) \approx 300 \text{ V}$ bei $\Phi_{\text{eq}} = 5 \cdot 10^{15} / \text{cm}^2$.
- $V_{\text{dep}} \propto d^2$, mit $d = 75, 100, 125, 250 \mu\text{m}$
 $V_{\text{dep}}(d) = 170, 300, 470, 1875 \text{ V}$

Leckströme, Rauschen und Leistungsaufnahme

- $I_{\text{leak}}/V = \alpha \cdot \Phi_{\text{eq}}$, $\alpha(T = 20^\circ \text{C}) \approx 4 \cdot 10^{-17} \text{ A/cm}$.
- $I_{\text{leak}} \propto d$, Noise $\propto \sqrt{I_{\text{leak}} \tau_f}$, $W_{\text{pix}} = V_{\text{dep}} I_{\text{leak}} \propto d^3$.
- Bei $x \cdot y \cdot d = (50 \cdot 250 \cdot d) \mu\text{m}^2$, $T = -7^\circ \text{C}$
 $\tau_f = 200 \text{ ns}$ und $\Phi_{\text{eq}} = 5 \cdot 10^{15} / \text{cm}^2$.
- Mit: $d = 75, 100, 125, 250 \mu\text{m}$
 $I_{\text{leak}}(d) = 14, 18, 23, 45 \text{ nA}$.
 Noise(d) = 92, 106, 119, 168 ENC. Das Rauschen ist zur Zeit 150/200 ENC vor/nach Bestrahlung.
 $W_{\text{pix}}(d) = 2, 5, 11, 85 \mu\text{W}$.

Bessere Operationsbedingungen für dünne Sensoren.

Dünne Sensoren - Signalhöhe und Strahlungslänge



Ladungssammlungseffizienz (LSE=CCE)

- Die gemessene LSE ist 73%, für 50 μm dicke MPP p-in-n Dioden bei $\Phi_{\text{eq}} = 5 \cdot 10^{15} / \text{cm}^2$.

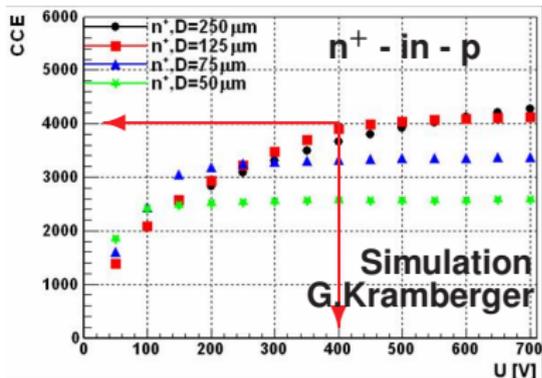
Die erwartete Signalhöhe

- Die Herausforderung besteht in der Kleinheit des Signals von z.B. $\mathcal{O}(4000) e^-$ bei $V_{\text{bias}} = 400$ V, $d = 125 \mu\text{m}$ und $\Phi_{\text{eq}} = 5 \cdot 10^{15} / \text{cm}^2$.
- Messungen müssen klären ob dies tatsächlich so ist.

Si-Strahlungslänge

- Die jetzige Si-Strahlungslänge ist etwa 0.46% X_0 für: 250 μm (Sensor) + 180 μm (chip).
- Die mögliche Si-Strahlungslänge ist etwa 0.21% X_0 für: 150 μm (Sensor) + 50 μm (Chip).

Auf kleinere Signale optimierte Elektronik ist nötig.

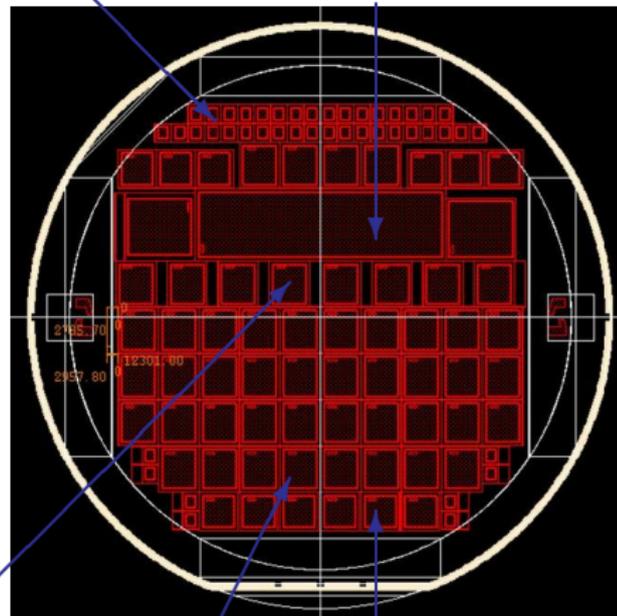


Die nahe Zukunft

- In ATLAS, wird diese R&D von den Univs BN, DO and Oslo, IZM, Interon, und dem MPP München vorangetrieben.
- Zusätzlich gibt es innerhalb von RD50 Zusammenarbeit mit CERN, HH und Ljubljana bei dünnen planaren Sensoren.
- Für diese R&D werden neu produzierte ATLAS FE-I3 Chips benötigt.
- Eine Kleinserie von n-in-n and n-in-p Wafern von $75 \mu\text{m}$ und $150 \mu\text{m}$ Dicke sind in Produktion.
- Es wurden Teststrukturen entwickelt die mit dem ATLAS FE-I3 chips, und einem Spezialchip von Interon verbunden werden.

Interon Chip: Ladungsteilung, LSE, ...

ATLAS Modul: Bump Bonding



A. Macchiolo

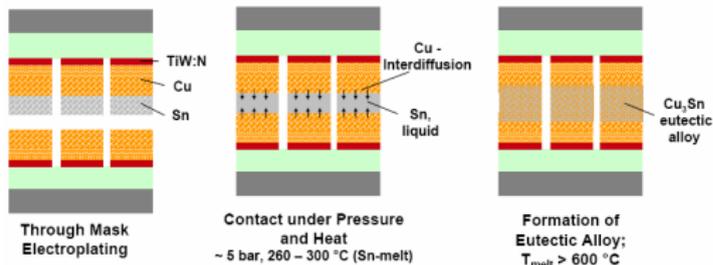
ATLAS Chip: SLID, ICV

Teststrukturen: Dioden, SLID
Ministreifen: Pixelisolation

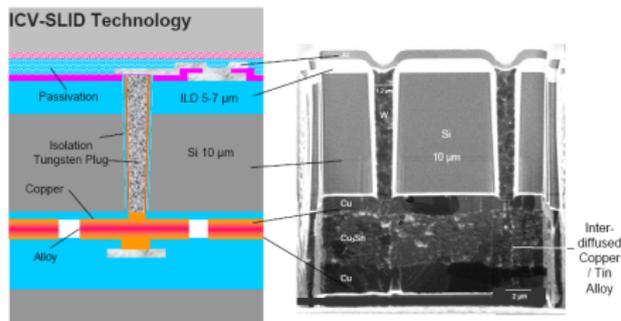
Die Wafer haben die ersten Schritte durchlaufen und warten zur Zeit auf die Oxidation.

Der IZM Ansatz zur 3D-Integration

IZM



IZM



Solid Liquid Inter Diffusion (SLID)

(eine Alternative zum Bump Bonding)

- TiW Lage als Diffusionssperre
- Cu + Sn Lagen \rightarrow Cu₃Sn Legierung
- Padabstände sind iW durch die pick & place Genauigkeit limitiert.

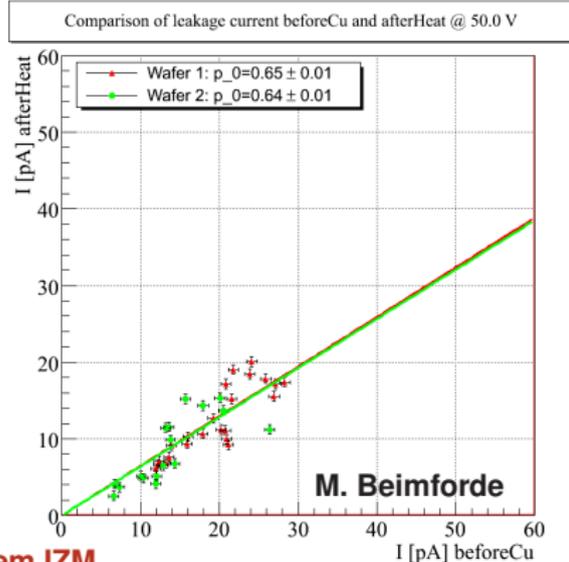
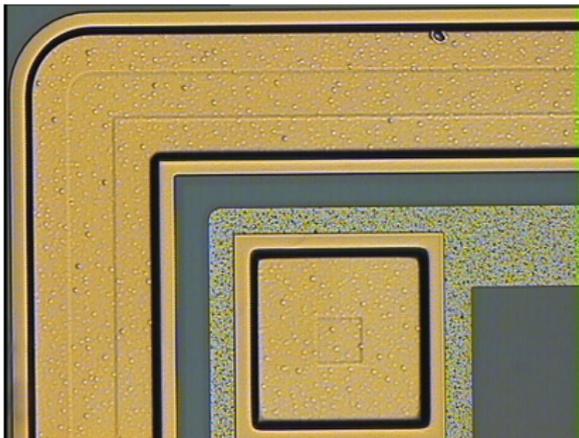
Inter Chip Vias (ICV) + SLID

(das 3D-Integrationskonzept)

- TiW layer als Diffusionssperre
- W plug mit Durchmesser von 2 μm und einem Aspektverhältnis von 8:1.
- Die Größe der Pixel kann bis zu 20 \times 20 μm klein sein.
- Das Stapeln von mehreren Chiplagen ist möglich.

Diese IZM Technologie wird für eine mögliche Nutzung beim SLHC Ausbau untersucht.

SLID-Verbindung - der Status



Erste Untersuchungen zusammen mit dem IZM

- Zwei Wafer mit kleinen Dioden wurden am HLL vorbereitet und am IZM mit TiW, Cu and Sn, behandelt, wie für den SLID Prozess vorgesehen.
- Die Leckströme vor und nach der Behandlung sind klein und stabil. Das bedeutet, dass kein Cu in den Sensor eindiffundiert ist.

Diese ersten Resultate sind sehr ermutigend.

Zusammenfassung und Ausblick

Dünne Sensoren

- Falls planare Sensoren bei SLHC zum Einsatz kommen sollten die Möglichkeiten des Abdünnens evaluiert werden.
- Dünne Sensoren haben im Vergleich zu Dicken einige Vorteile im Betrieb, z.B. niedrigere Verarmungsspannung, Leckströme und Schrotrauschen.
- Die vorhergesagte Signalhöhe dünner Sensoren nach hoher Bestrahlung muss noch experimentell überprüft werden.
- Die Produktion einer Kleinserie in n-in-n und n-in-p Technologie, basierend auf dem MPP Prozess mit Dicken von $75 \mu\text{m}$ and $150 \mu\text{m}$ ist im Gange.
- In jedem Falle, brauchen planare Sensoren Elektronik die für kleinere Signalhöhen optimiert ist.

Verbindungstechnologie und 3D-Integration

- Die Entwicklung der SLID Verbindungstechnologie und der 3D-Integrationstechnologie wird mit dünnen planaren Sensoren vorangetrieben.

$10^{15} / \text{cm}^2$

$5 \cdot 10^{15} / \text{cm}^2$

Vielleicht sehen wir einiges davon schon beim b-layer upgrade

$10^{16} / \text{cm}^2$

