

VERTEX 2002

Ein Konferenzbericht von
Wolfgang Lange

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

2

- Die Konferenz
- Erfahrung mit existierenden Detektoren/Experimenten
- Neue Detektoren für zukünftige Experimente
- Verständnis von Halbleiter-Sensoren
- Neue Sensortypen und -technologien
- Fortschritte in der Ausleseelektronik
- Anwendung von Halbleiter-Sensoren außerhalb der Hochenergiephysik

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

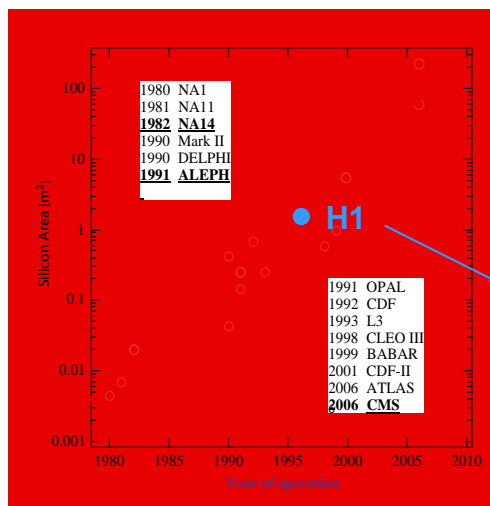
Die Konferenz

- 11. Konferenz; Charakter eines “workshop”
- nur eingeladene Teilnehmer/Vorträge
- 62 Vorträge, fast ausschließlich Ergebnisberichte
- Spektrum von Sensortechnologie bis Anwendererfahrung
- Ort: Keauhou Bay, Kailua-Kona, Hawaii



VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Detektoren und Experimente



H1 BST/FST: 288 ~150k 1.2

experiment	nb. of detectors	nb. of channels	silicon area [m ²]
CMS	15.95 k	10 × 10 ⁶	223
ATLAS	16.0/2 k	6.15 × 10 ⁶	60
AMS 2	2.3 k	196 k	6.5
DO 2		793 k	4.7
CDF SVX II	720	405 k	1.9
Babar		140 k	0.95
Aleph	144	95 k	0.49
L3	96	86 k	0.23

“Moore’s law” der Siliziumdetektoren (nach S. Schael)

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Erfahrungen mit existierenden Detektoren:

- HERA mit H1, HERA B, ZEUS: die beiden Kolliderexperimente leiden unter den Strahlbedingungen nach dem Lumi-Upgrade, HERA B hat einen funktionierenden Si-Detektor
- CDF, D0, BABAR liefern Daten, bestehende Probleme gelöst
- Probleme der einzelnen Detektoren sehr ähnlich:
 - zuverlässige und EMV-gerechte Detektormodule konstruieren (common mode, S/N)
 - Leben mit noch vorhandenen Entwurfsfehlern der ASICs (readout chips)
 - zuverlässige Miniatursteckverbinder finden
 - Materialbudget (Vielfachstreuung) minimieren
 - Strahlenschäden: strahlungsfeste Ausleseelektronik bauen
 - Alignierung bei vielen Detektormodulen aufwendig

usw. usf. DAHER enge Zusammenarbeit äußerst sinnvoll...

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

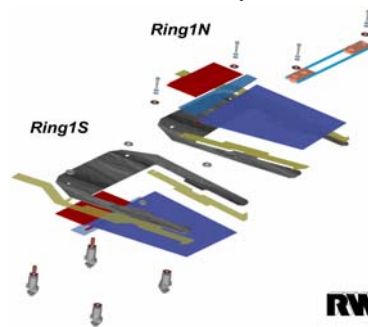
Zukünftige Experimente

- LHC: ATLAS, CMS haben eine neue Größenordnung:



CMS: Trägerstruktur aus CFK

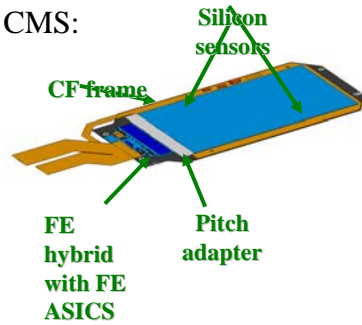
- übermannsgroß bei $\sim 10 \mu\text{m}$ Genauigkeit
- hohe Stückzahlen - industrielle Technologien
- Kollaborationen von vielen hundert Mitarbeitern erfordern Qualitätssicherungs- und Dokumentationssysteme



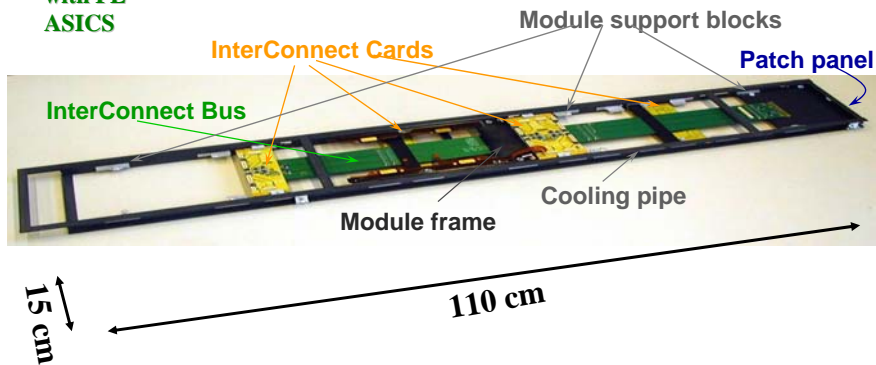
RWTH
Physics AC-I

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

CMS:



- 6,136 Thin sensors, 18,192 Thick sensors
- 6,136 Thin detectors (1 sensor)
- 9,096 Thick detectors (2 sensors)
- 3112 + 1512 Thin modules (ss + ds)
- 5496 + 1800 Thick modules (ss + ds)
- 9,648,128 strips = electronics channels
- 75,376 APV chips
- 25,000,000 Bonds
- 210 m² of silicon sensors (162m² + 48m²)



VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

7

Weitere Entwicklungsrichtungen:

- Pixeldetektoren für extreme Spurdichten (ATLAS: gutes S/N, aufwendiges Auslesen; Kollisionen von schweren Ionen)
- Integration von Pixeldetektoren und CCD-Ausleseelektronik
- Arbeiten im Vakuum, dE/dx (HERMES Recoil, AMS)
- Arbeiten unter hoher Strahlungsbelastung (LHC)
- Einsatz bei tiefen Temperaturen (Strahlungshärte, Heilung)
- Silizium-Driftkammern (langsam - aber weniger Kanäle)
- Einführung von „sparse mode“ readout -> Einbindung in Triggerentscheidung (Voraussetzung: low common mode)

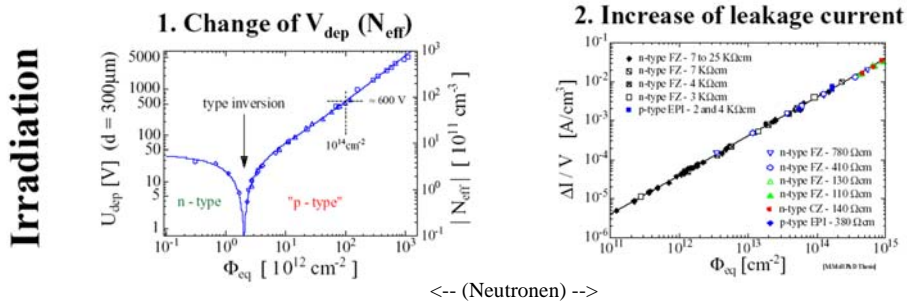
- Detailverbesserungen durch besseres Verständnis (Layout, Versorgung verbessern S/N, höhere Taktraten usw.)

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

8

Verständnis von Sensoren:

- Langzeitstabilität und Strahlungshärte
- RD 42 (CERN, „Rose“): umfangreiche Studien

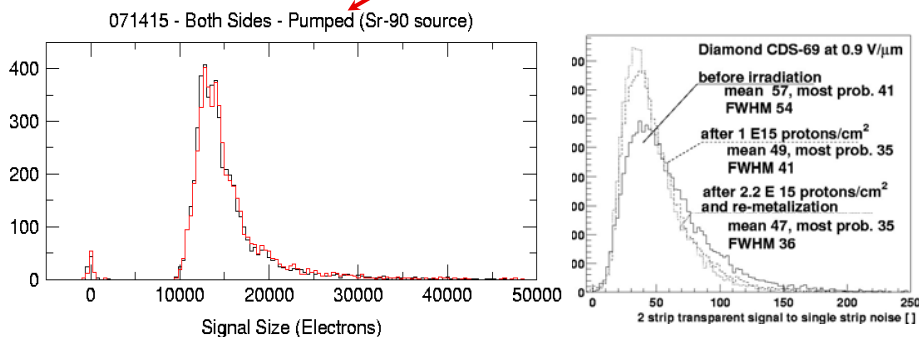


- Suche nach strahlungshartem Silizium (O_2 , Cz-Verfahren) bis zu 10^{16} n/cm²

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Alternative: Sensoren auf Diamantbasis:

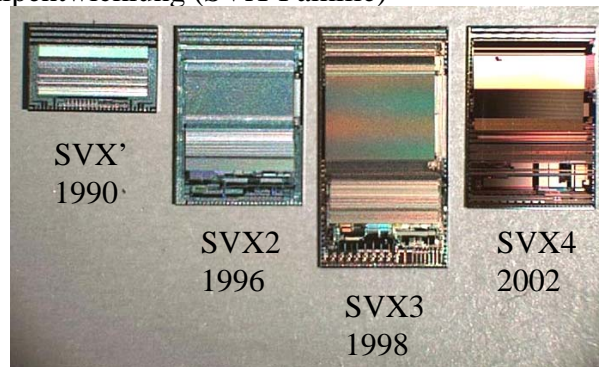
- polykristallin, abgeschieden aus der Dampfphase (CVD)
- sehr hohe Strahlungsfestigkeit ($> 10^{15}$ n/cm² ohne Vorkehrung)
- Nachteil: Kosten, Technologie (derzeit kleine Flächen), Materialverständnis (trapping? charge collection distance)



VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Fortschritte in der Ausleselektronik:

- Chipentwicklung (SVX-Familie)



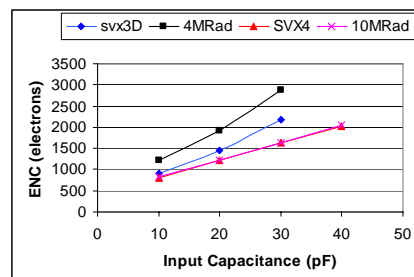
• Design Team (7 ASIC Designer + Support):

- **LBNL:** Brad Krieger (lead designer), Jean-Pierre Walder (ADC), Henrik von der Lippe (I/O pads), Emanuelle Mandelli (full chip simulation)
- **FNAL:** Tom Zimmerman (preamp & pipeline), Jim Hoff (pipeline logic)
- **U. of Padova:** Stefania Alfonsi (FIFO)

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Ergebnisse der SVX 4 - Entwicklung:

- Gesamter SVX4 chip wurde vor der Fertigung simuliert. Die Frage "kann man es simulieren?" wechselt zu "was soll simuliert werden?" --> Industriestandards!
- Dadurch: erster produzierter Chip funktionierte bereits (s.a. PRO/A, H1, technisches Seminar 2001)
- Auftretende Fehler waren nicht in der Simulation erfaßt.
- Durch 0.25 μm -Technologie inhärente Strahlungshärte

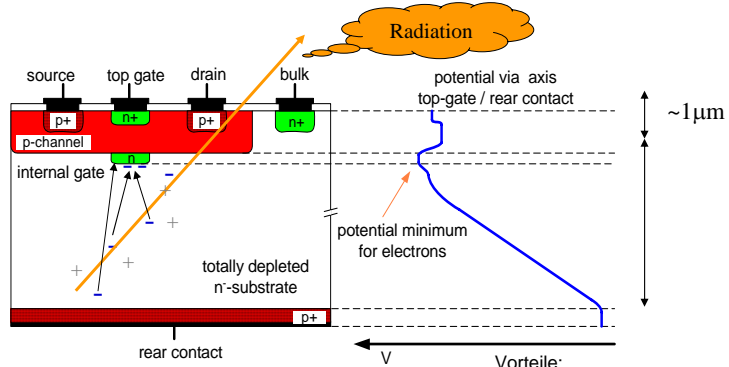


Rauschverhalten von SVX3 / 4 in Abhängigkeit von der Eingangskapazität (SVX4 ist „radhard“)

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Neue Sensor-Technologien:

DEPFET: **DEP**(leted)**F**(ield)**E**(ffect)**T**(ransistor) MPI München, Lutz / Kemmer



- FET integriert auf hochohmigem n-Substrat
- Sammlung der Elektronen auf dem internen Gate
- Modulation des Drainstromes durch die Signalladung

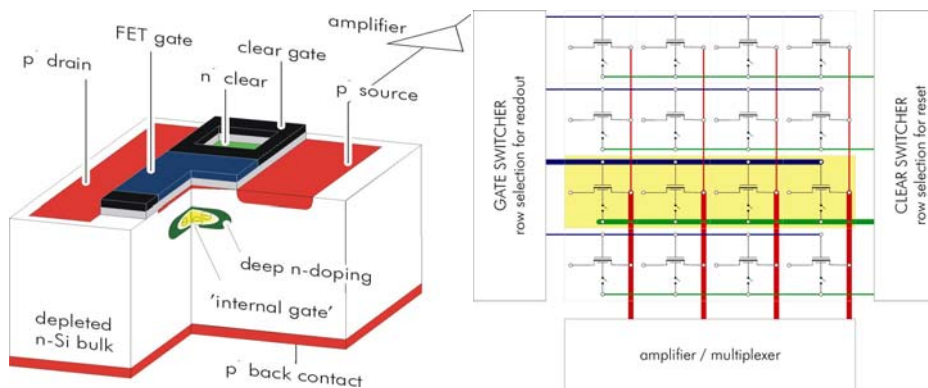
- Vorteile:
- Verstärkung der Signalladung am Entstehungsort
=> keine Übertragungsverluste
 - volles empfindliches Volumen im Substrat
 - sehr kleine Eingangskapazität
=> geringes Rauschen

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

...vom einzelnen DEPFET zum Pixeldetektor:

- MOS Transistor statt des JFET
- Eine Pixelgröße von ca. 20 x 20 µm² kann bei Strukturbreiten von 3 µm erreicht werden

- kleine Verlustleistung
- fast random access to specific array regions



VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Spezialfall: dünne Sensoren

Dicke der Detektorregion : 50µm
 des Rahmens : 350µm
 Größe: 8cm x 1cm

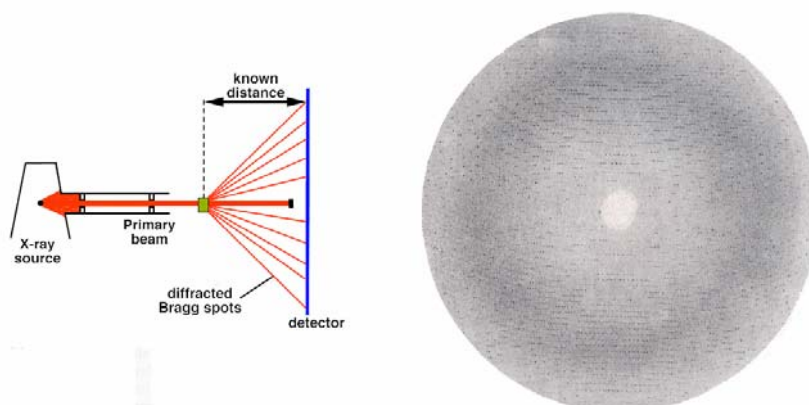


Wafer-Bonding – MPI f. Festkörperstrukturphysik, Halle
 Wafer-Schleifen (Grinding) – SICO GmbH, Jena
 Anisotropes Ätzen – CiS gGmbH Erfurt, MPI Halbleiterlabor München

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Halbleiterdetektoren außerhalb der Hochenergiephysik

- Vermessung von Bragg-Diagrammen mit HLD (Kristallographie, Biologie/ Biochemie)
- Problem: Energie der Röntgenquanten (keV-Bereich < 1 MIP) => geringes Rauschen wichtig

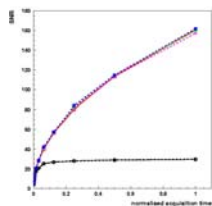


VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

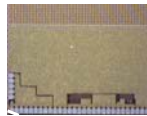
Medizinische Applikationen:

typische Forderungen für "Röntgen-Anwendungen".

- räumliche Auflösung 20...80 pixels/mm
- hohe Kontrastauflösung (unterschiedliche Gewebe) <3%
- gleichförmige Eigenschaften über die gesamte Detektorfläche
- Patientendosis <3 mGy
- Typische Fläche (klassischer Röntgenfilm): (18 x 24 bzw. 24 x 30) cm²
- einfache Handhabung, kleine Baugröße
- stabile Funktion
- keine Kühlung (Raumtemperatur)
- kostengünstig



S/N für Photoncounting
(@ 8.5 keV ... 17 keV)



MEDIPIX 2 Sensor

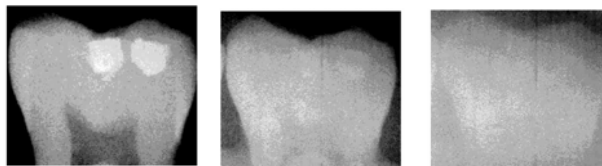


VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Anwendungsbeispiel MEDIPIX 2:

Verminderung der Patientendosis

Kommerzielles
CCD-System



MEDIPIX
System



160 μ Gy

80 μ Gy

40 μ Gy

VERTEX 2002: Konferenzbericht • Technisches Seminar im DESY Zeuthen am 3. 12. 2002 • W. Lange

Zusammenfassung:

- große Systeme erfordern industrielle Planung und Produktion (LHC-, Tevatron und Schwerionen- Experimente, ...TESLA)
- dafür keine „neuen“ Komponenten, aber Großserien
- Elektronik ab $< 0.25 \mu\text{m}$ strahlungshärter (dmill...)
- Forschung auf dem Gebiet der Strahlungsfestigkeit von Si-Sensoren
- Diamantsensoren als Alternative stehen erst am Anfang
- Schaltkreisentwurf schließt an Industrieniveau an (keine „genialen Tüftler“ mehr - Ingenieursarbeit)
- neue Technologien verbinden Sensor und Preamp (DEPFET) oder nutzen Großserientechnologie (CMOS-Pixel - Kamera-Chip)
- medizinische Anwendungen stehen vor dem Durchbruch (leistungsfähiger, weniger belastend für den Patienten, „maschinenlesbar“, schneller)