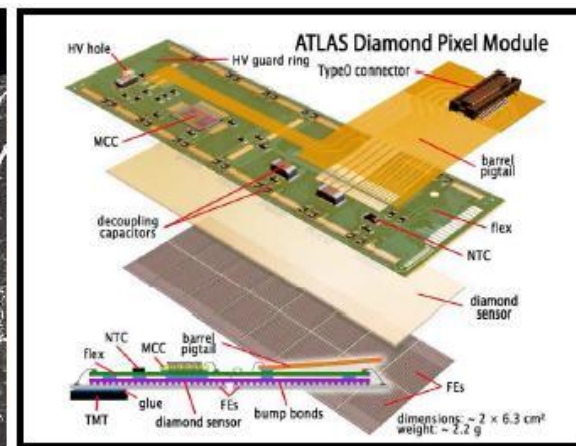
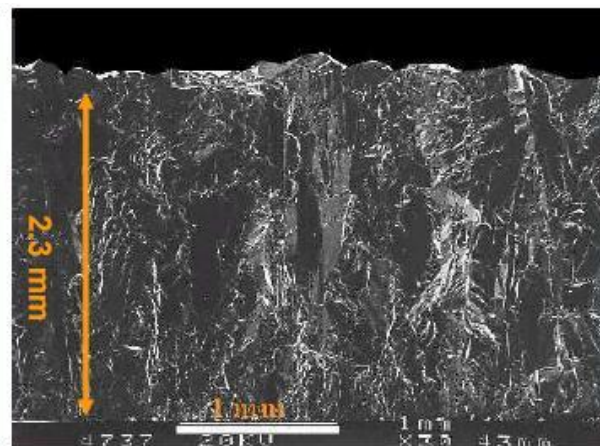
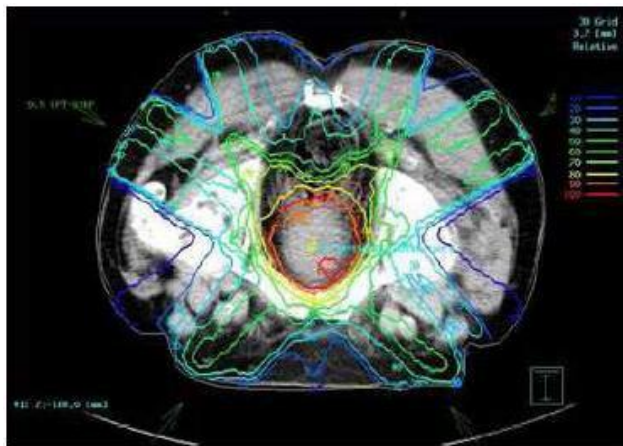


Rivelatori di radiazione basati su diamante sintetico

G. Chiodini – INFN Lecce

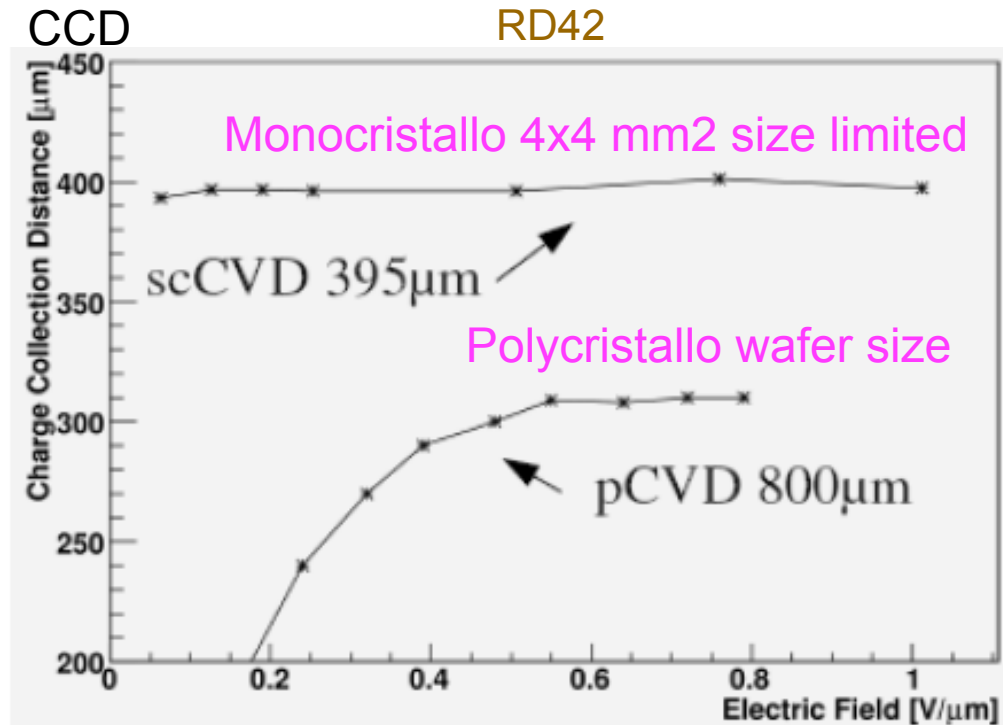


Sommario

- Introduzione
- Principio di funzionamento
- Applicazioni
- Impiego tecniche laser
- Conclusioni

Introduzione

Substrati da 4" e "freestanding" di diamante policristallino con una carica raccolta di circa 7000 elettroni sono di recente disponibili "commercialmente"



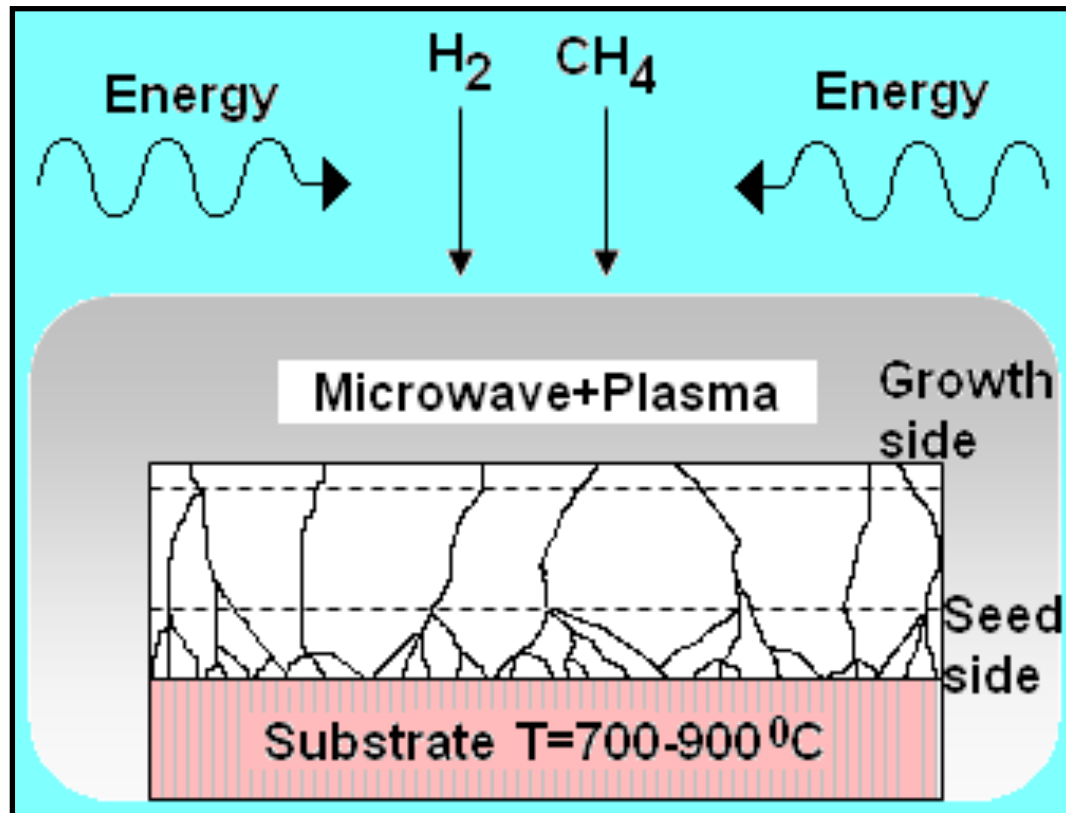
E' importante valutare la finestra di opportunita' del diamante come rivelatore di grande area in HEP e Radioterapia (tradizionalmente di dominio del Silicio)

Semiconduttori detector-grade

Property	Si	GaAs	4H-SiC	GaN	CVD Diamond	Comments
Band Gap[eV]	1.12	1.43	3.3	3.44	5.5	Solar blind
Displ. Energy[eV/atom]	13-20		25	> 19	43	Radiation hard
Mass density[g/cm ³]	2.33	5.32	3.21	6.15	3.52	
Atomic Charge	14	31/33	14/6	31/7	6	Tissue eq. (Z=7.42)
Dielectric constant	11.9	12.5	9.7	9	5.7	Low Noise
Resistivity[Wcm]	2.3x10 ⁵	10 ⁷	10 ¹¹	10 ⁶ -10 ¹²	>10 ¹¹	No dark current
Thermal conduc. (W/(cmK))	1.5	0.5	5	1.3	24	Room T operation
Breakdow Field [V/cm]	3x10 ⁵	4x10 ⁵	4x10 ⁶	4x10 ⁶	10 ⁷	
Saturated e ⁻ velocity [Km/s]	100	100	200	220	270	Fast signal
Johnson' s figure of merit	1	1.8	410	280	8200	Power x Frequency
Energy to create e-h	3.6		8.4	8.9	13	
MIP Signal [e/100mm]	8900	13000	5100	~5000	3600	Low Signal

- Il diamante ha una struttura cristallografica semplice come il Silicio
- Il diamante non e' tossico, possibile uso in vivo ed impiantato nel corpo

Chemical Vapor Deposition (CVD)



Diamante sintetico di alta purezza, di alta qualità e grande area prodotto in reattori microwave-plasma-enhanced CVD.

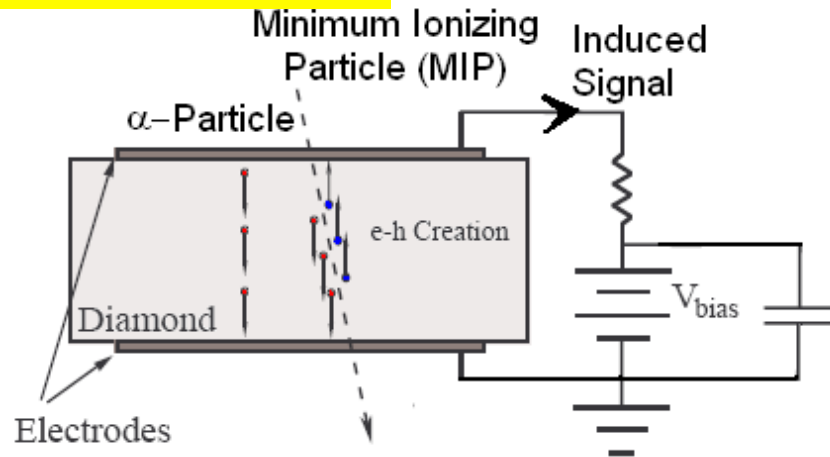
Ricetta: bassa pressione, bassa potenza, limitata velocità di crescita $\sim 1\mu\text{m/h}$.

Gradiente lineare nelle proprietà dovuto alla forma conica dei grani monocristallini.

Il polishing meccanico e chimico di entrambe le facce è un processo delicato. Contattati ohmici per evaporazione o sputtering di metalli o leghe (Cr, TiW, ...) che formano un composto con il diamante.

Principio di funzionamento

Conteggio particelle



$$dQ_c = Idt = e \frac{dx_e - dx_h}{D} = e \frac{dx}{D}$$

Carica
elementare

λ_i = libero cammino medio
(trapping e ricombinazione)

$$Q_c = \frac{\int_0^D Q_0 e^{-\frac{x}{\lambda_i}} dx}{D} = Q_0 \frac{\lambda_i}{D} (1 - e^{-\frac{D}{\lambda_i}})$$

Sorgente
alfa

$$Q_c = \sum_i \int_0^D \frac{Q_0}{D} \frac{\lambda_i}{D} (1 - e^{-\frac{x}{\lambda_i}}) dx = Q_0 \sum_i \frac{\lambda_i}{D} [1 - \frac{\lambda_i}{D} (1 - e^{-\frac{D}{\lambda_i}})] = Q_0 \frac{CCD}{D}$$

MIP

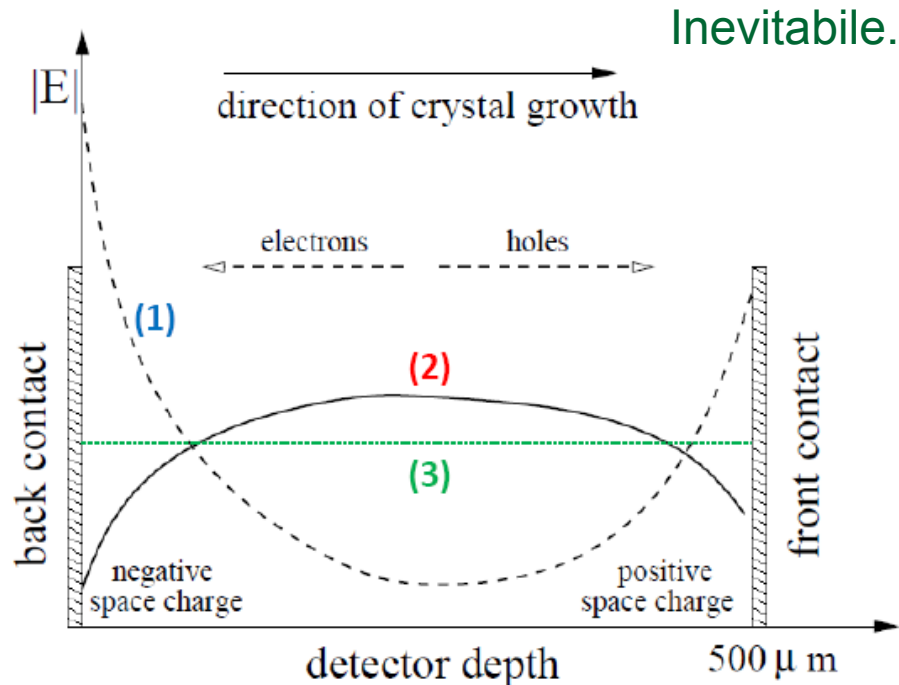
CCD = Charge Collection Distance

Camera di ionizzazione

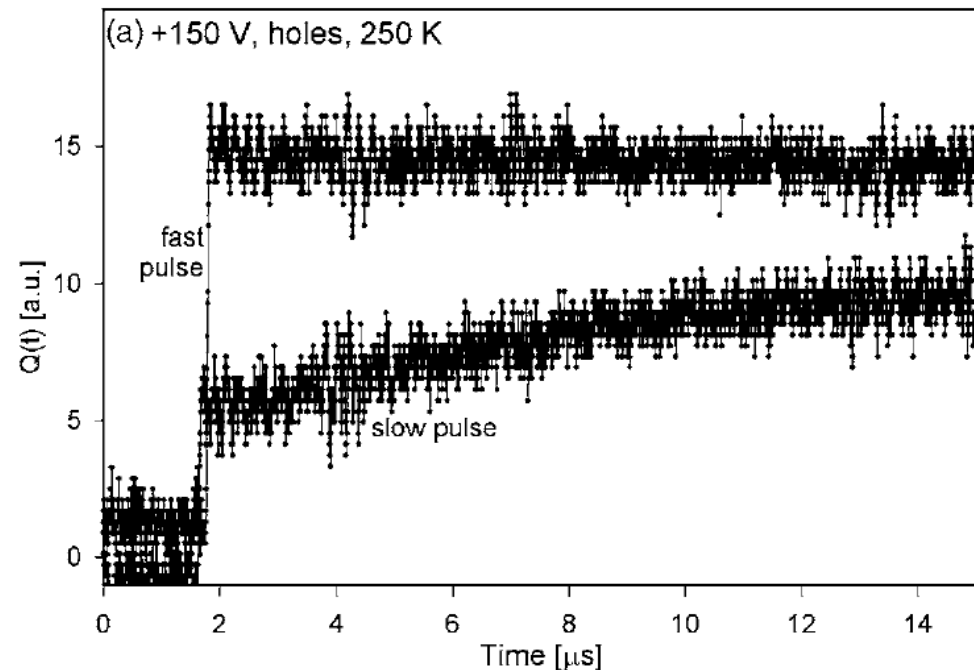
$$I_{photo-current} = eF_0 \eta_{absorption} \frac{\mu\tau E}{d} = eF_0 \eta_{absorption} \frac{\lambda}{d}$$

Polarizzazione

Campo E e CCD creano carica spaziale nel bulk.



Trapping-detrapping in impulsi con sorgente alfa



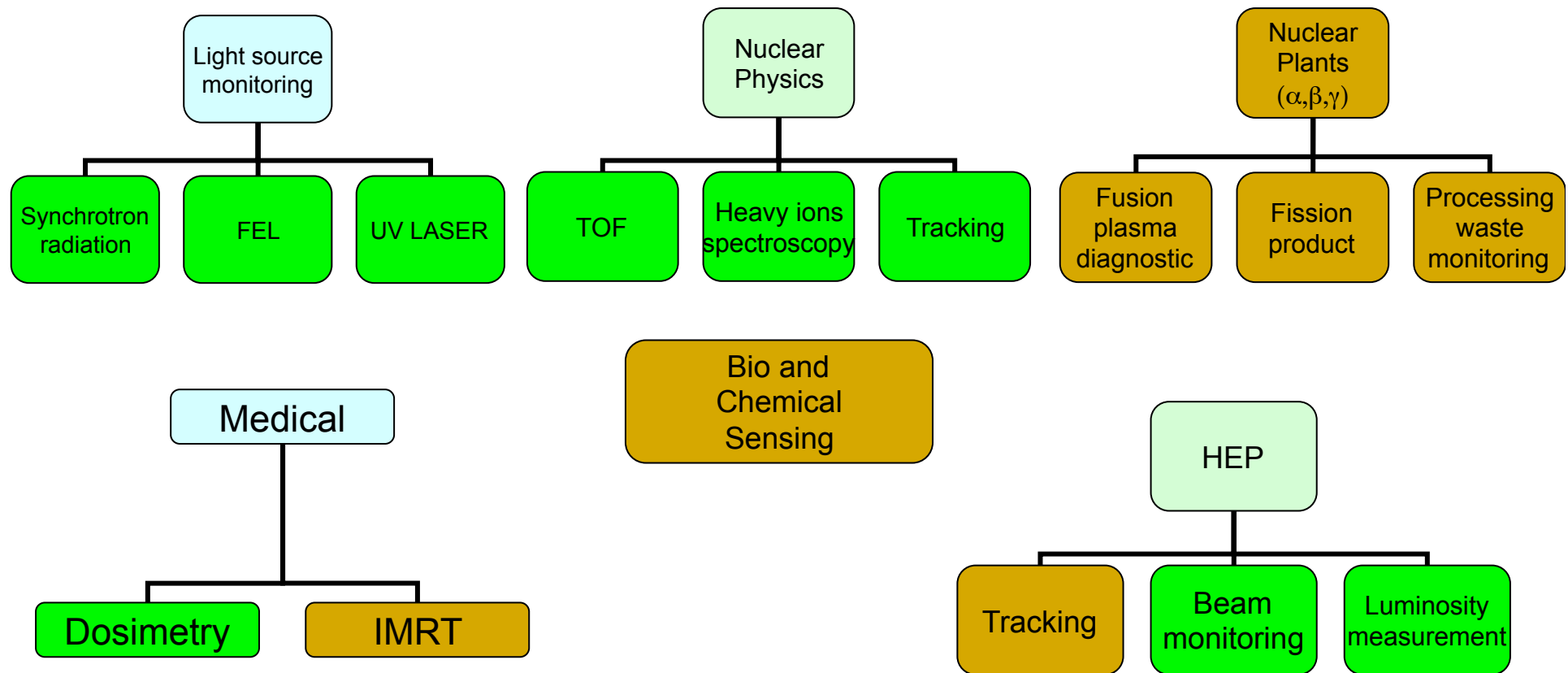
Cattivo polishing o contattatura creano carica spaziale nella interfaccia contatto-superficie.

Da rigettare.

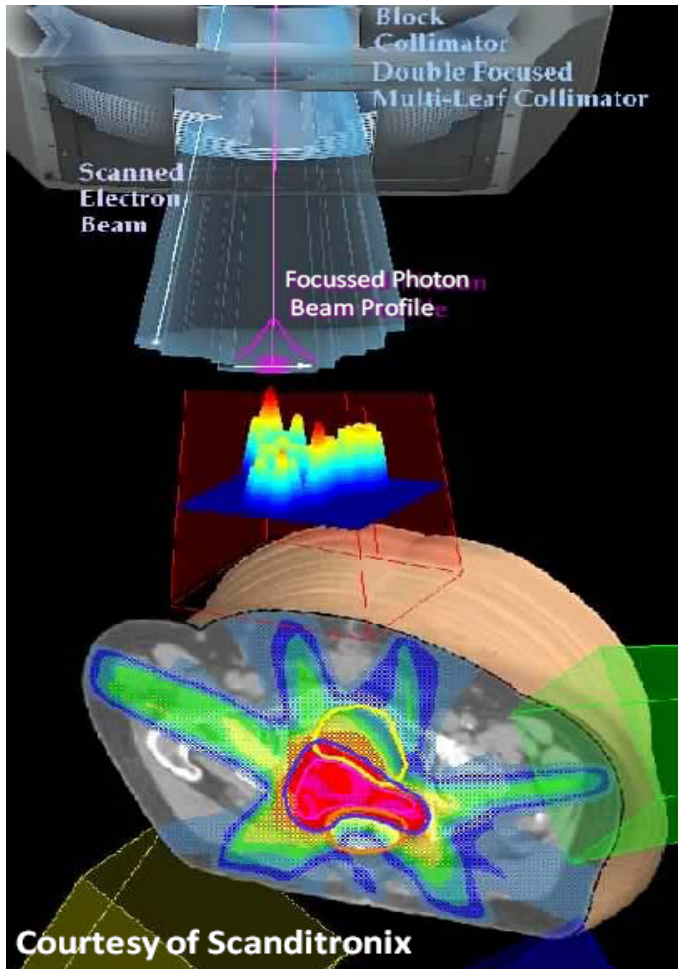
M. Marinelli et al.,
Diamond & Related Materials 10, 645 (2001)

Applicazioni

- Tipo di radiazione: deep UV, X, α , β , γ , MIP, ioni, neutroni
- Modi di funzionamento: conteggio particelle singole, camera a ionizzazione a stato solido, fotocorrente (zero bias), termo and foto luminescenza, scintillazione.



Dosimetro bidimensionale al diamante per IMRT (radio terapia ad intensita' modulata)



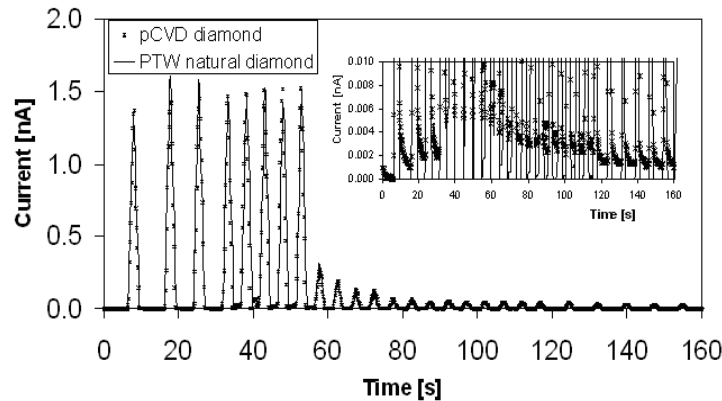
Vantaggi:

- Rad-Hard
- Linearita'
- Tessuto equivalente (Z=6)

Svantaggi:

- Coda nella risposta dinamica

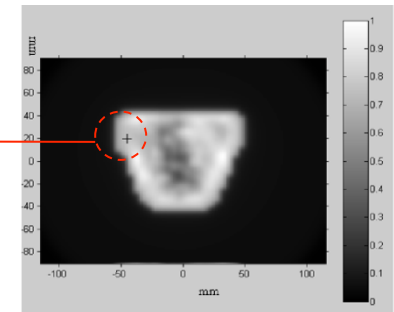
Diamanti pCVD and PTW
in campo IMRT "step and shoot"



M. Bruzzi et al.,
Diamond &
Related Materials
20, 84(2011)

**A Zero bias
(regime
fotovoltaico) il
trapping e' nullo**

**Sviluppo prototipo
scala reale in
DIAPIX WP2 CSN5**



Diamanti in HEP

Exp.	Application	# ch	cm ²	FE	Year
Babar	BCM	12	12	DC	2002
CDF	BCM	13	16	DC	2006
ATLAS	BCM	8	7.7	MIP	2008
ATLAS	BLM	12	32	DC	2008
CMS	BCM	32	7.7	MIP/DC	2009
CMS	PLT	200 k	30	Pixel	2012
ATLAS	DCM	730 k	90	Pixel	2013

Table 2: Diamond detector built and proposed for beam monitoring and luminosity measurements (PLT and DCM).

R&D di successo iniziato negli anni 90

Modulo a pixel di diamante ATLAS

RD42 ha realizzato, irraggiato e testato prototipi di pixel ibridi poly e monocristallini di diamante per superLHC impiegando gli sviluppi fatti per i pixel al Silicio



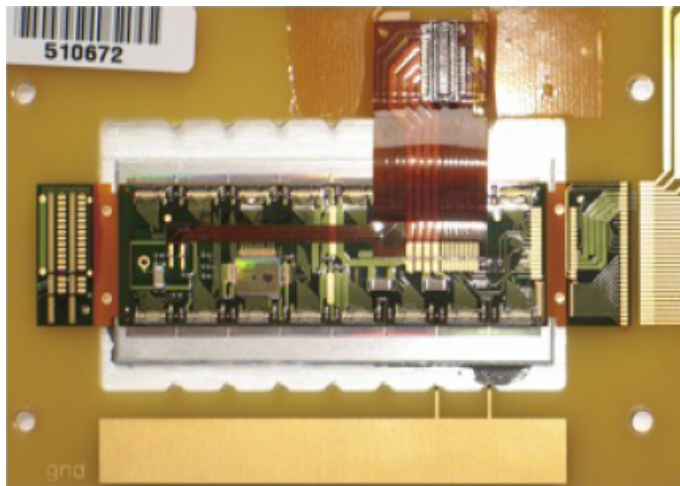
4" Wafer poly diamond



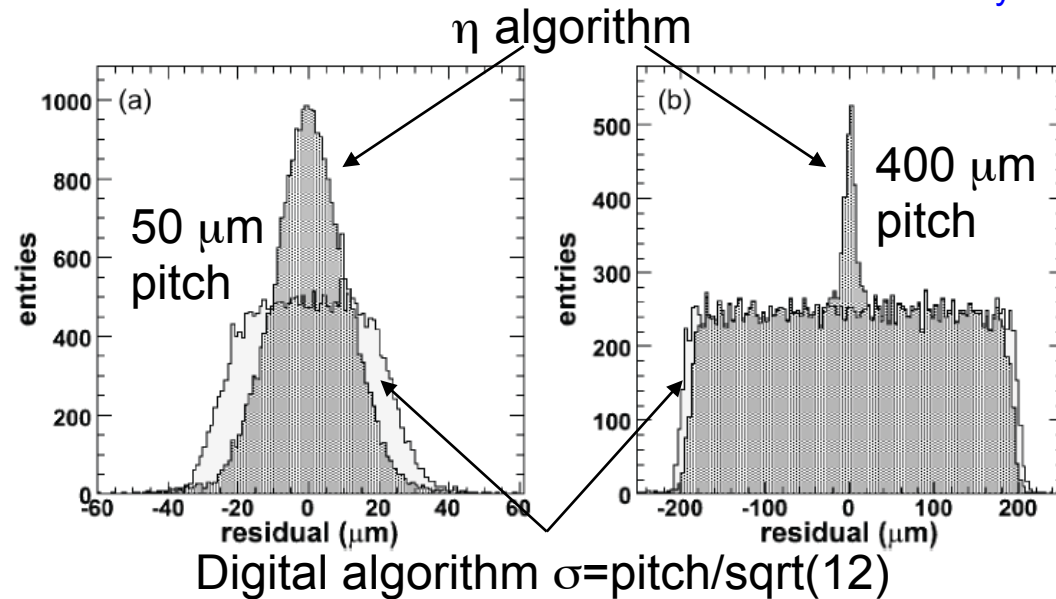
2cm x 6.3cm diamond sensor
TiW metalization by IZM



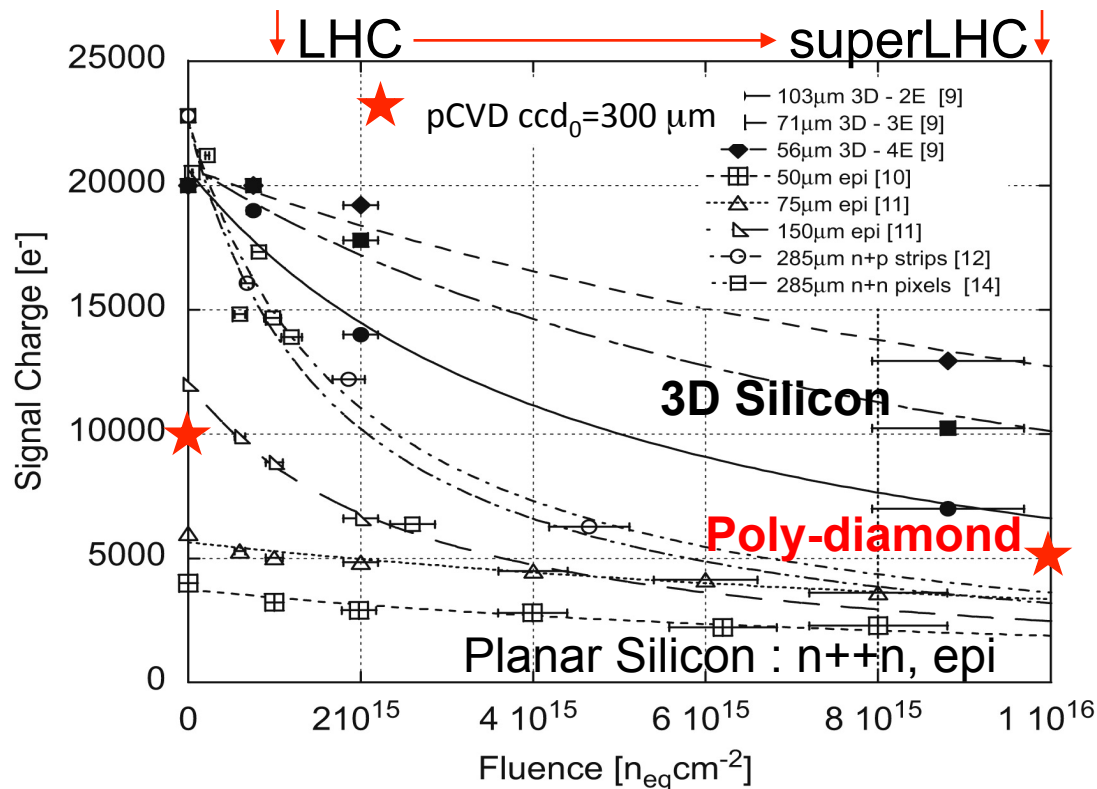
16 FE chip FE-I3 SnPb bump-bonded to diamond sensor by IZM



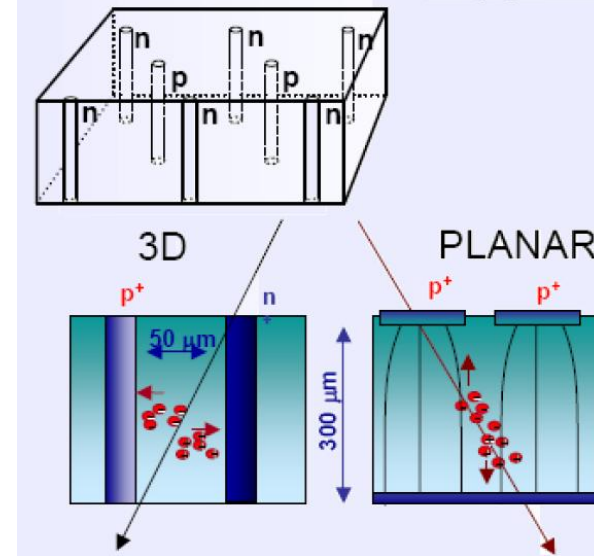
ATLAS diamond pixel module full equipped



Ultra-radhard pixel al diamante



Sensori Si 3D gli unici competitori:
Distanza di raccolta <<
Lunghezza deposizione carica



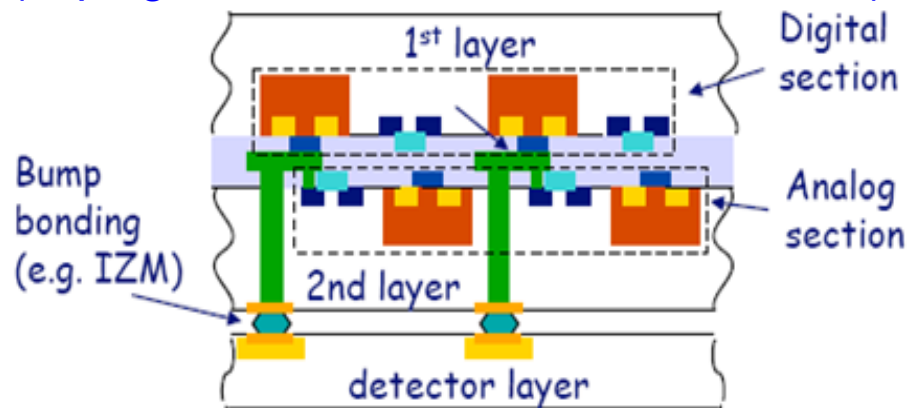
- Il diamante e' un buon candidato per rimpiazzare il Silicio in condizioni estreme.
- Necessario FE a basso rumore ($\sim 100 e^-$) e bassa soglia ($< 1000 e^-$).
- Rivelatori al diamante costruiti con FE sviluppato per Silicio.

Nuova generazione di FE

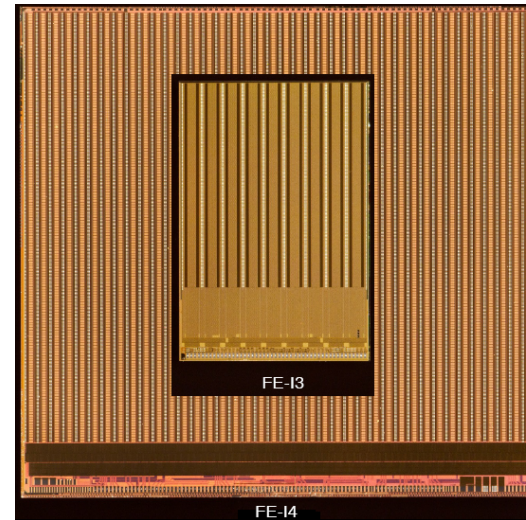
Tecnologia CMOS di integrazione verticale 3D (VIPIX in CSN5 V. Re et al.)

Tenere parte analogica e digitale separata su differenti tiers per eliminare cross-talk attraverso l'alimentazione ed il substrato.

SuperB pixel chip per sensori al Si ad alta resistività: 32x128 celle di 50x50 μm^2 .
(impiego anche in DIPIX WP1 in CSN5)



Nuovo chip FE-I4 per upgrade pixel ATLAS
Processo IBM 130 nm CMOS(2009):



Grande area:
2x1.9cm²

Piccoli pixel:
250x50 μm^2

Celle digitali standard:

- Power distribution ottimizzata
- Eccellente isolamento dal substrato: M8 copre tutta la parte digitale ed è connesso a deep implant T3 con cui forma una gabbia di Faraday.

Risoluzione temporale

http://www-physics.lbl.gov/~spieler/NSS_short-course/NSS02_Pulse_Processing.pdf

Time walk: correggibile con tecniche constant fraction e/o analisi forma d'onda

→ Fast ADC

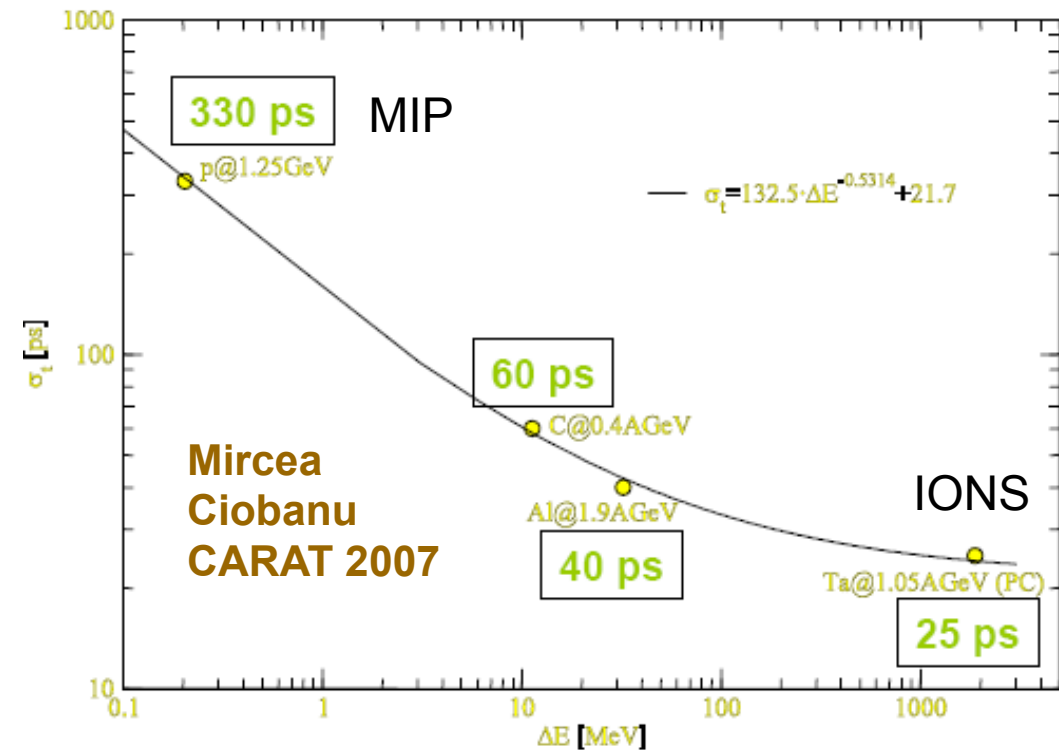
Time jitter: si riduce con: basso rumore, segnale veloce e alto guadagno

→ Fast Charge Sensitive Amplifier + Fast Voltage Amplifier

$$\sigma_t = \frac{\sigma_V}{\left. \frac{dV}{dt} \right|_{thr}} \approx \frac{\sigma_V t_0}{V_0}$$

- Rise time rivelatore non misurabile
- σ_t dominata dall'elettronica

DIAPIX WP5 in CSN5



Tecniche laser per rivelatori a diamante

RAPSODIA in CSN5 (G. Parrini et al.)

Saldatura die Silicio
su Diamante

Appl. Phys. Lett. **96**, 031901 (2010)

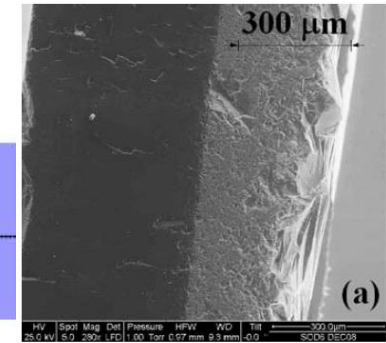
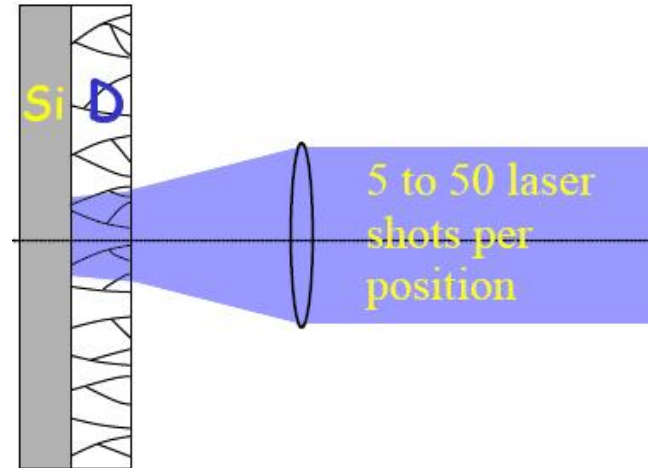
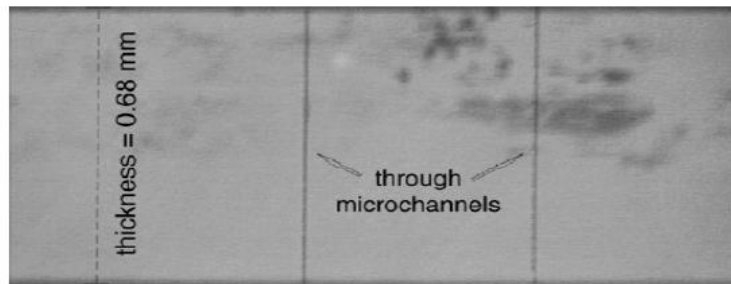


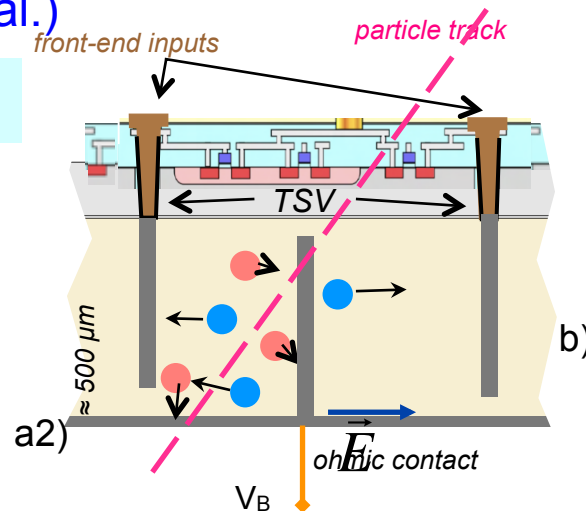
FIG. 1. SEM images of a bonded silicon (right side) diamond (left side) interface.

CHIPSODIA in CSN5 (G. Parrini et al.)

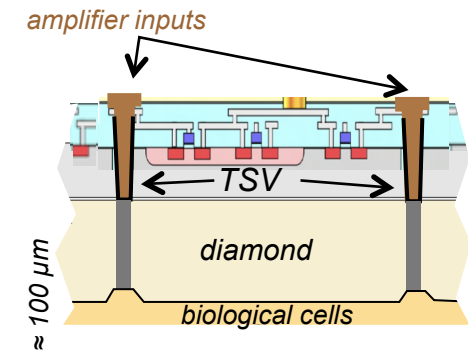
Elettrodi grafiteci 3D in diamante



T.V. Kononenko et al., "Femtosecond laser microstructuring in the bulk of diamond"
Diamond and Related Materials, **18**, (2009) 196-199



Sensore 3D al diamante



Matrice di
microelettrodi per
biologia

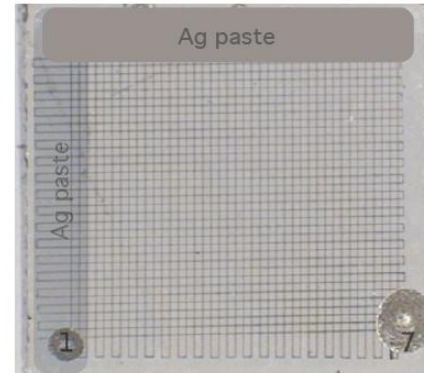
Contatto ohmico su diamante con laser

Laser writing micrometrico su superficie diamante

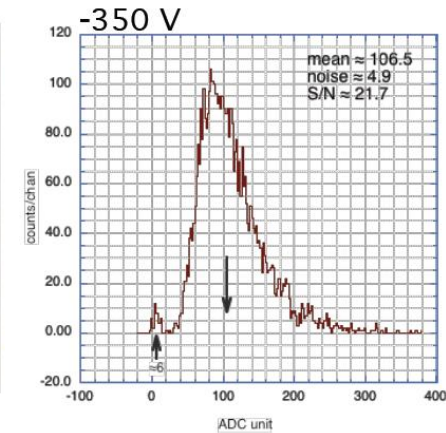
CHIPSODIA in CSN5 (G.Parrini et al.)

Risposta a beta simile a contatto Ti-Au

Presentato a RD11 6-8 Luglio 2011 Firenze



5x5x0.5mm³

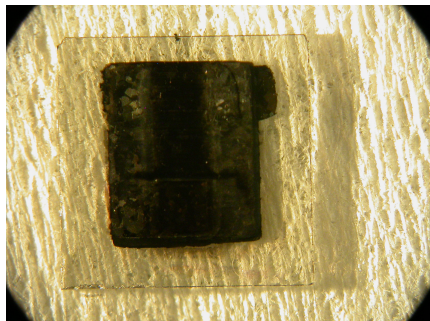


Risposta a beta

DIAPIX WP4 in CSN5

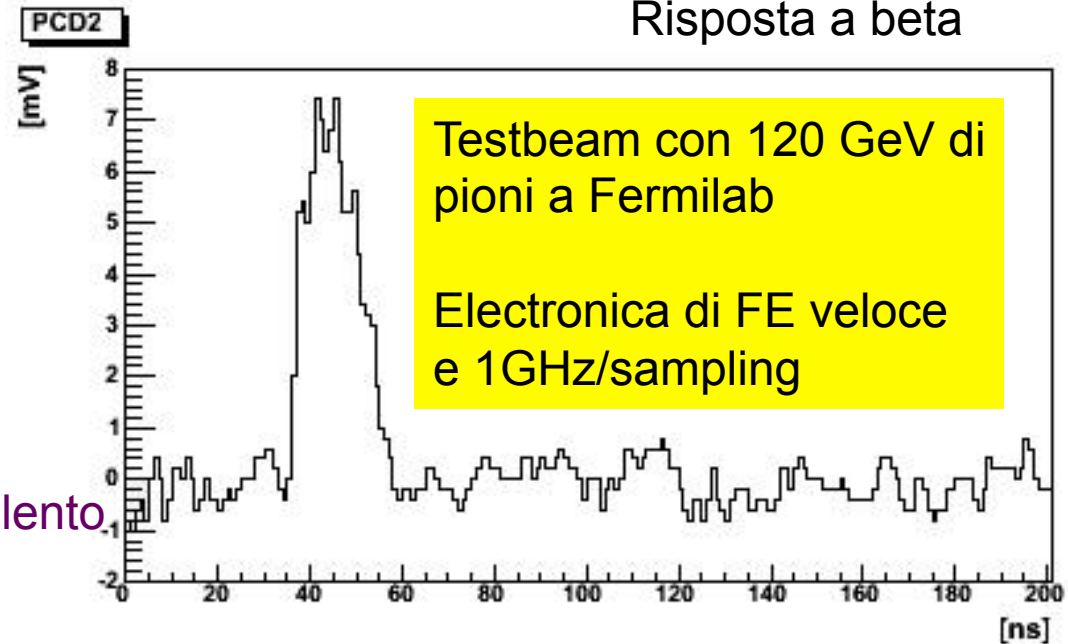
Risposta a gamma e pioni simile a contatto commerciale

Risultati recenti non pubblicati



5x5x0.3mm³

Realizzato al laboratorio laser ad eccimeri della Università' del Salento (M. Martino).



Conclusioni

- Wafer di 6" di diamante CVD policristallino sono disponibili con Charge Collection Distance di almeno 250 μm
- 4mmx4mm di diamante CVD monocristallino con caratteristiche ideali sono disponibili (DIAPIX WP3 valuta nuovi fornitori)

- Diamante CVD diamond e' stato dimostrato essere ultra-radiation hard (funziona dopo 10^{16}p/cm^2)
- Diamante CVD usato con successo come beam monitoring mentre per applicazioni di tracking e' necessario l'impiego di elettronica innovativa a bassa soglia (VIPIX e DIAPIX WP1 in CSN5).

- In costruzione primo prototipo di grande dimensioni reali di dosimetro 2D per IMRT (DIAPIX WP2 in CNS5 M. Bucciolini et al.)

- Impiego di laser impulsato nella tecnologia dei rivelatori al diamante puo' aprire nuove prospettive (sviluppo introdotto da Rapsodia in CSN5, G. Parrini et al.)

QCD @ Work

International Workshop on Quantum Chromodynamics Theory and Experiment

VI edition

Lecce - Italy, June 18 - 21, 2012



International Advisory Committee

G. Altarelli (Roma 3 U. and CERN)
R. Casalbuoni (Firenze U.)
F. Ferroni (Roma Sapienza U. and INFN)
R. Gatto (Geneva U. - chairman)
U. Heinz (Ohio State U.)
M. Mangano (CERN)
N. Paver (Trieste U.)
M. Shifman (Minnesota U.)
G. Sterman (SUNY Stony Brook)
S. Stone (Syracuse U.)

Local Organizing Committee

L. Angelini, G.E. Bruno (Bari U.)
G. Chiodini (INFN Lecce)
P. Colangelo (INFN Bari)
C. Corianò (UniSalento)
D. Creanza (Bari Polytech.)
F. De Fazio, E. Nappi (INFN Bari)

Scientific secretariat

L. Delle Rose, N. Orlando, M. Serino (UniSalento) F. Giannuzzi, S. Nicotri (Bari U.)

www.ba.infn.it/~wqcd/2012/

workshop.qcd@ba.infn.it



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



UNIVERSITÀ
ALDO MORO



Supporting institutions

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Università del Salento - Lecce
Università degli Studi "Aldo Moro" - Bari
Dipartimento di Fisica - Lecce
Dipartimento interateneo di Fisica - Bari

low energy and nonperturbative QCD - advances in perturbative QCD
heavy quarks - hot and dense QCD - holographic methods for QCD



Back-up

Introduzione

Substrati da 4" e "freestanding" di diamante policristallino con una carica raccolta di circa 7000 elettroni sono di recente disponibili "commercialmente"

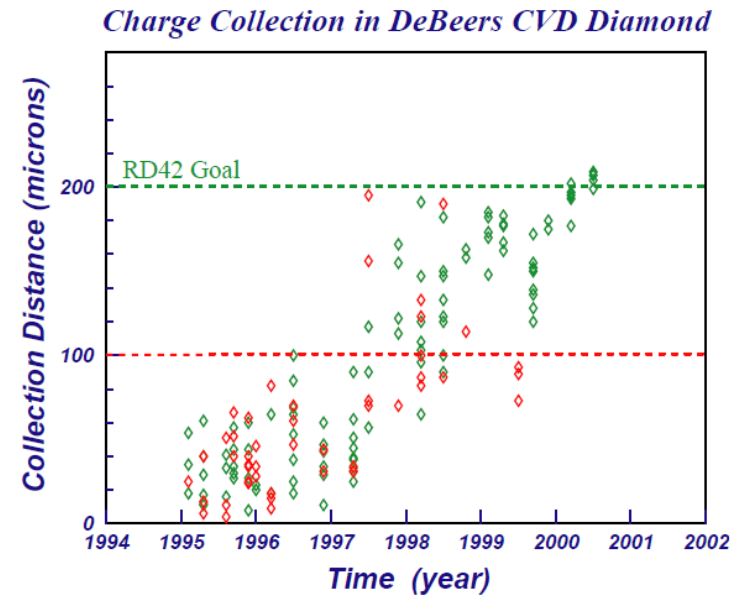


Fig. 4. Charge collection distance in De Beers CVD diamond samples since 1995.

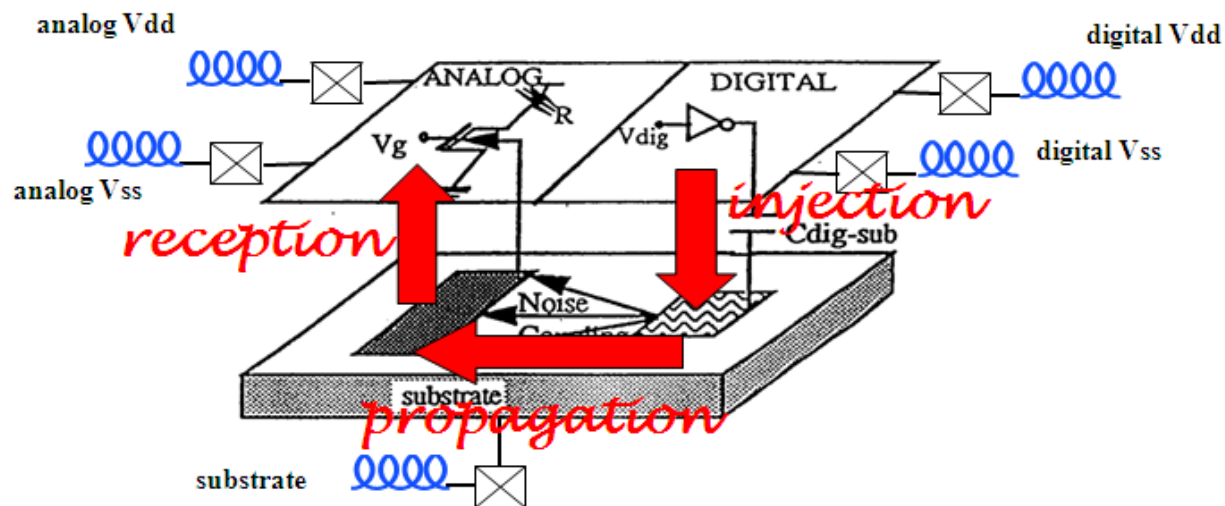
E' importante valutare la finestra di opportunita' del diamante come rivelatore di larga area in HEP e Radioterapia (tradizionalmente di dominio del Silicio)

On chip analog-digital coupling

It is the limiting factor for today FE electronics

Digital switching noise

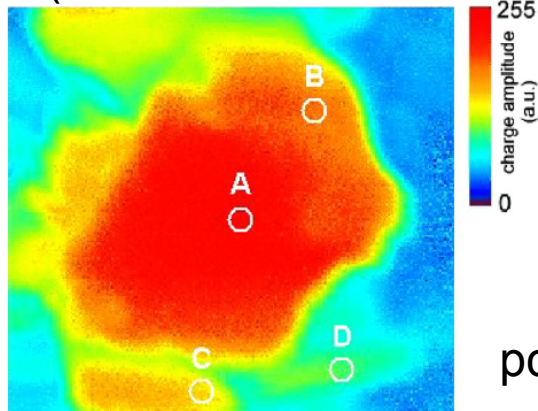
- ❖ besides thermal noise, there are interference noise sources !
- ❖ large example: supply/substrate noise in mixed-signal SoC : digital switchings affect analog performance



Uniformita' nella risposta

Micro IBIC (Ion Beam Induced Charge)

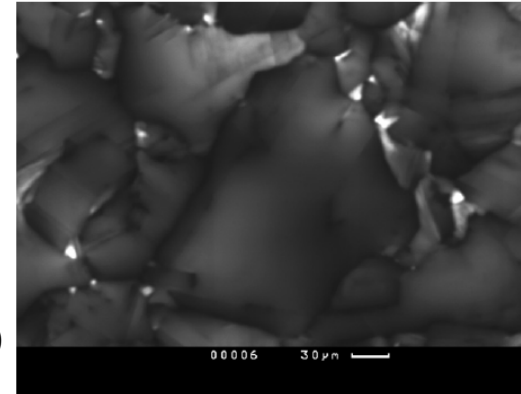
Frontal:
•2MeV p
•370 V



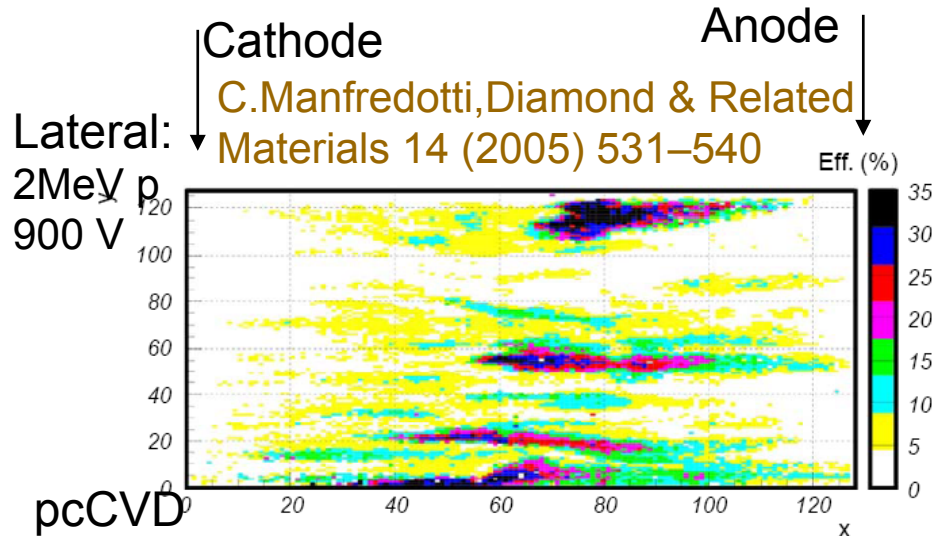
P.J. Sellin et al.,
NIMB 260 (2007)
293–298

pcCVD

Cathode-Luminescence

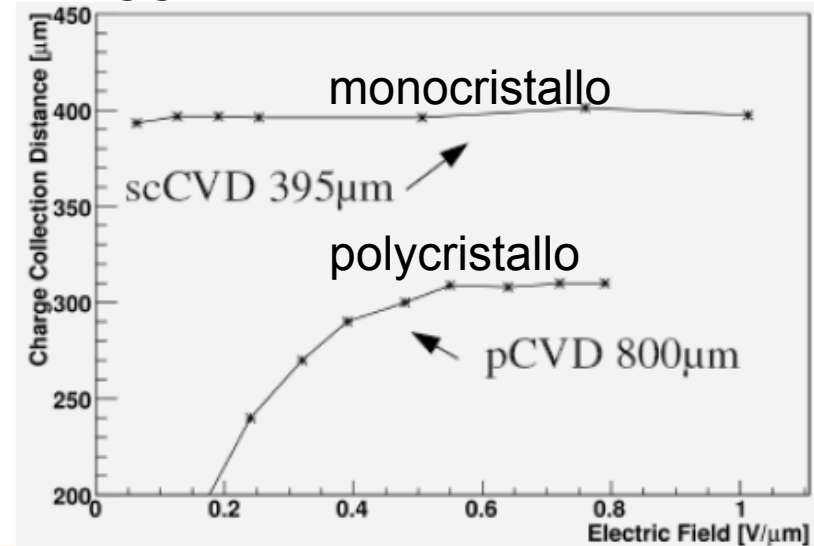


pcCVD



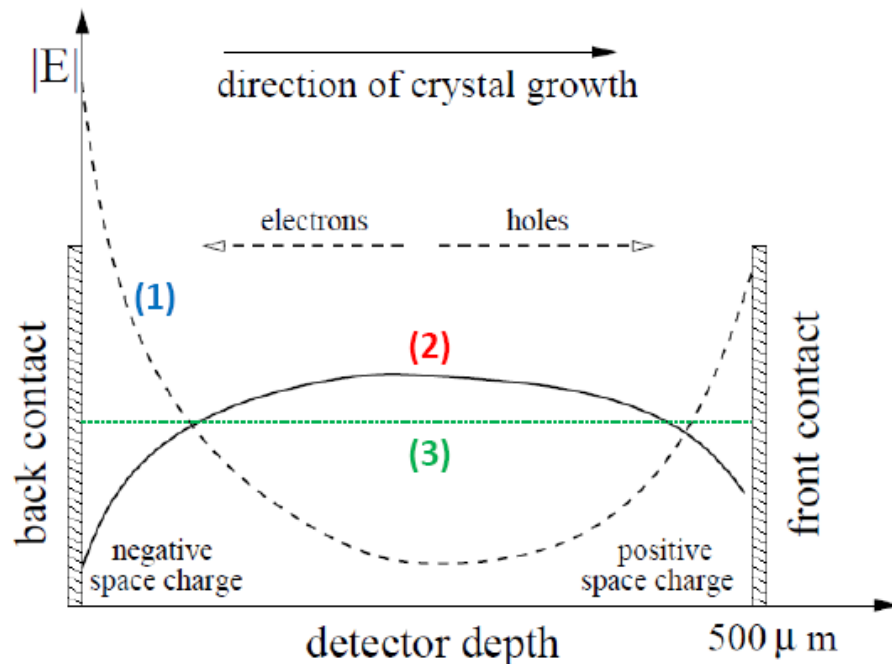
CCD

RD42

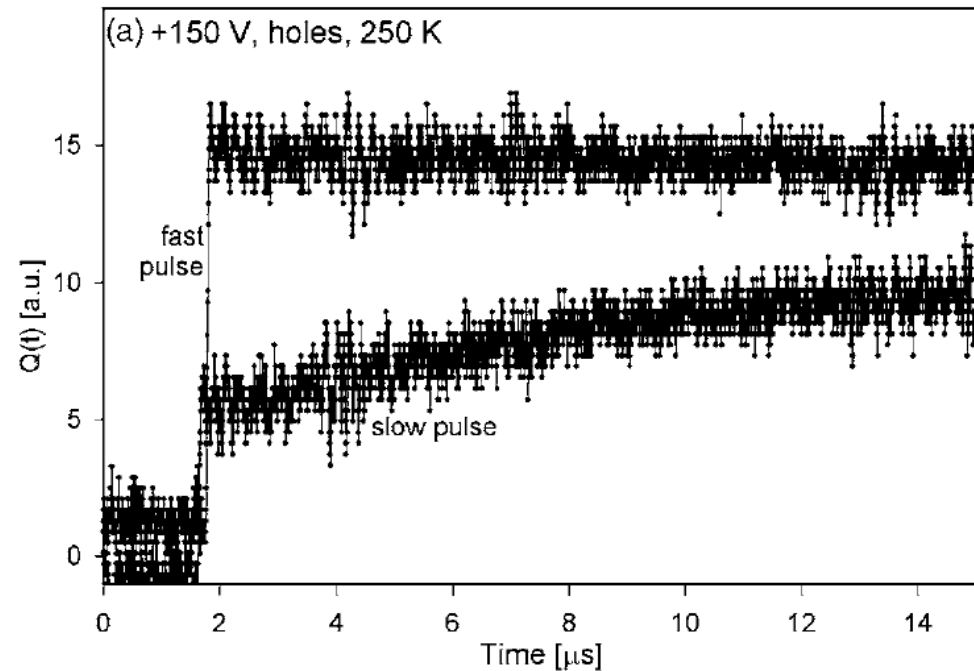


Polarizzazione

E e CCD creano carica spaziale nel bulk



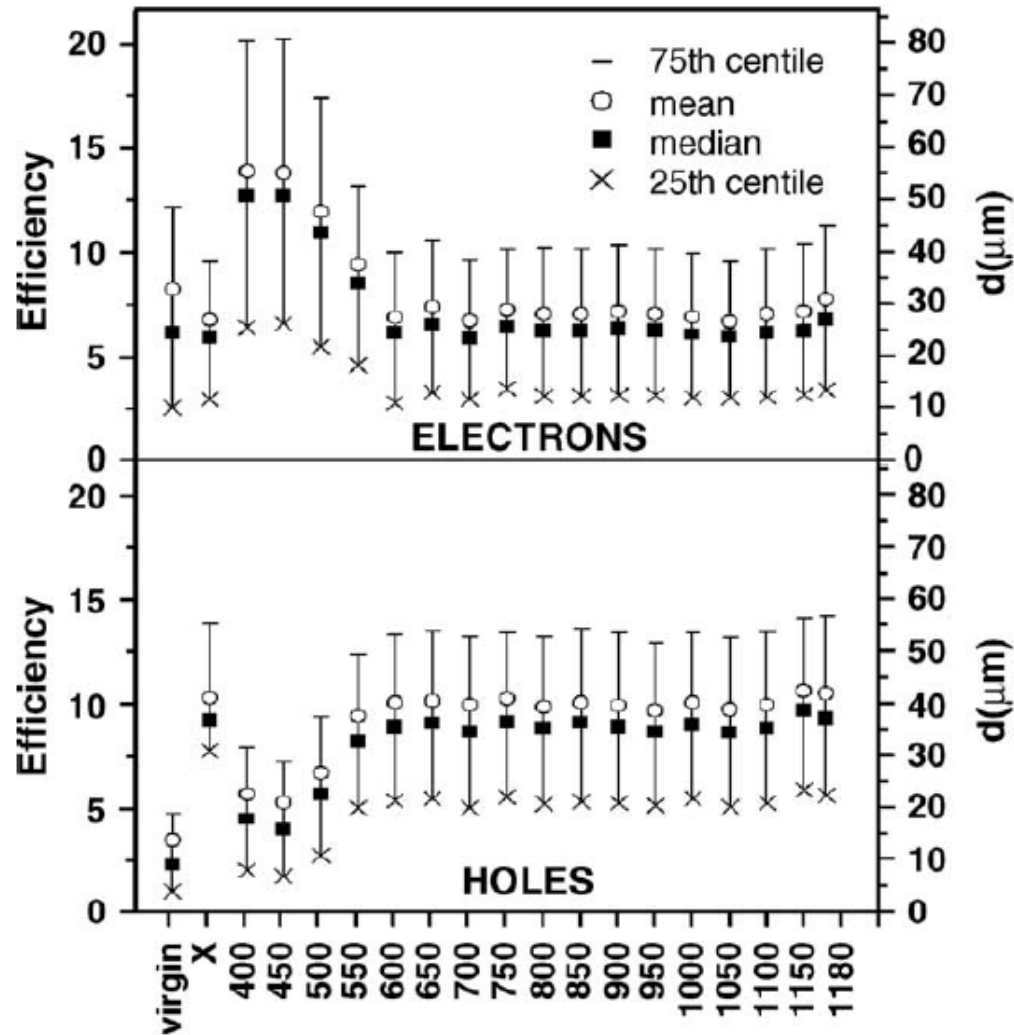
Trapping-detrapping in impulsi con sorgente alfa



Cattivo polishing o contattatura creano carica spaziale sulla superficie

M. Marinelli et al.,
Diamond & Related Materials 10, 645 (2001)

Pumping e de-pumping



C.Manfredotti, Diamond & Related Materials 14 (2005) 531–540

- X-ray or Beta (1-10 Gy)
- Light (VI or UV)
- Temperatura

Stato di pumping permene per mesi

Rivelatore di neutroni

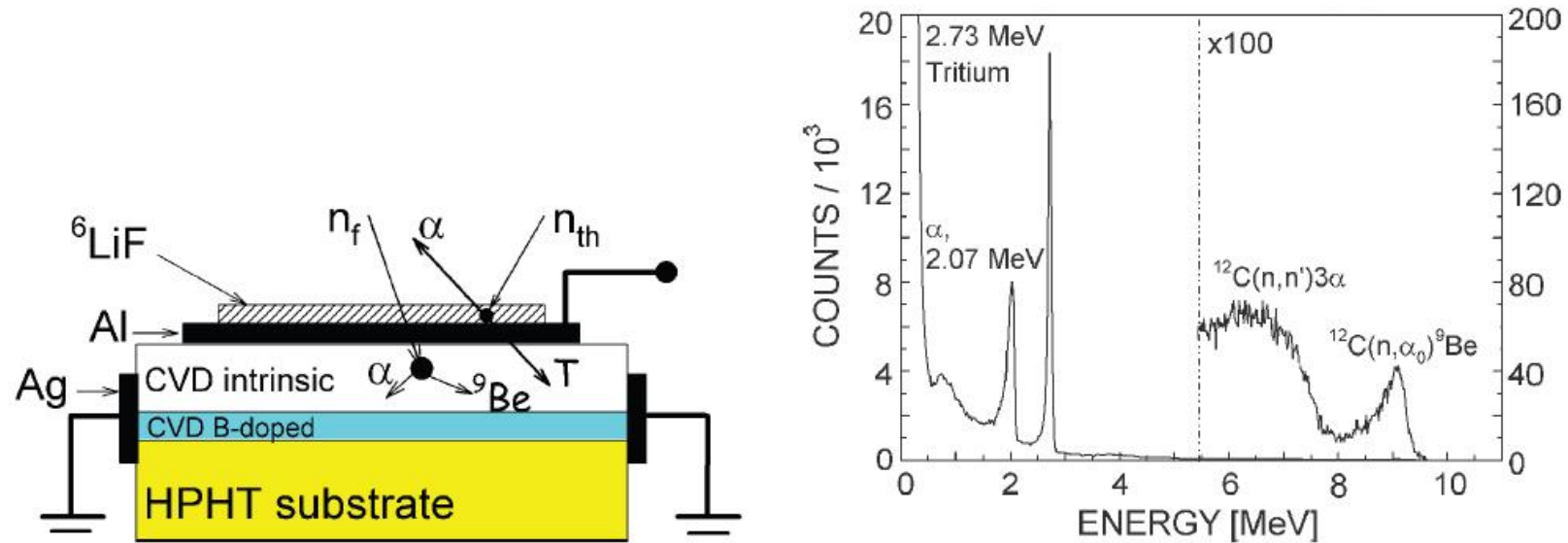


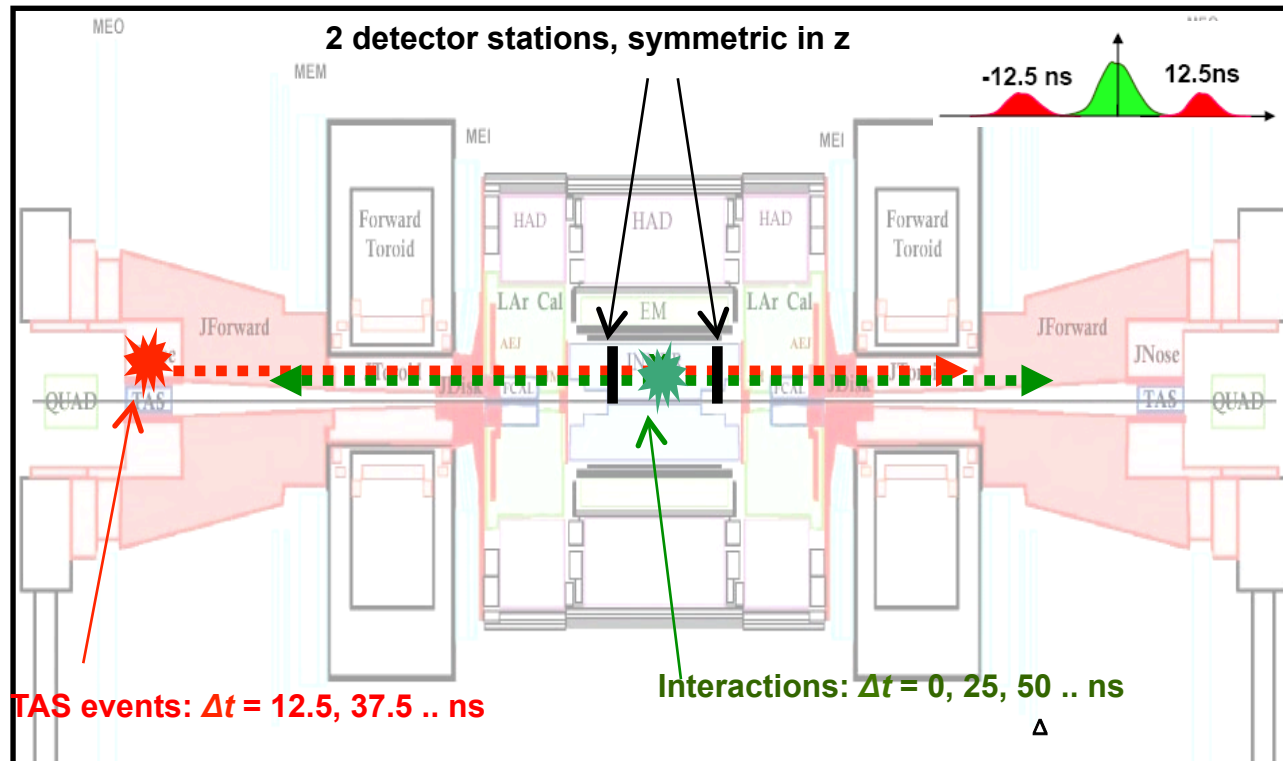
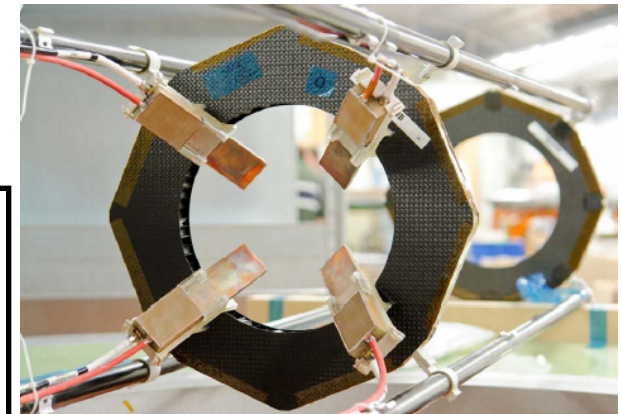
Figure 8. (left) CVDD neutron detector simultaneously detecting thermal and fast neutrons. (right) Thermal-neutron (left graph) and fast-neutron spectra (right graph), respectively. (Courtesy of Gianluca Verona-Rinati, University Roma Tor Vergata.).

Nuclear Physics News, Vol. 19, No. 2, 25 (2009)

ATLAS Beam Condition Monitoring

- Single particle Counting
- Pulse height measurement
- Time-of-flight (BG separated from pp)

4 stations each side
 $|z|=1.83$ m $r=5.5$ cm



- Bunch-to-bunch luminosity
- LVL1 trigger
- Suppression:
 - Beam halos
 - Gas interaction
 - TAS (Target Absorber Secondaries) scrapping

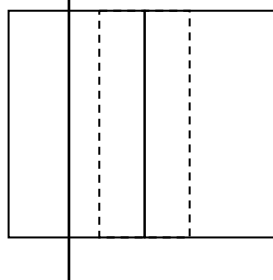
ATLAS pixel diamond tracking

Residuals= $X_{\text{track}} - X_{\text{meas}}$

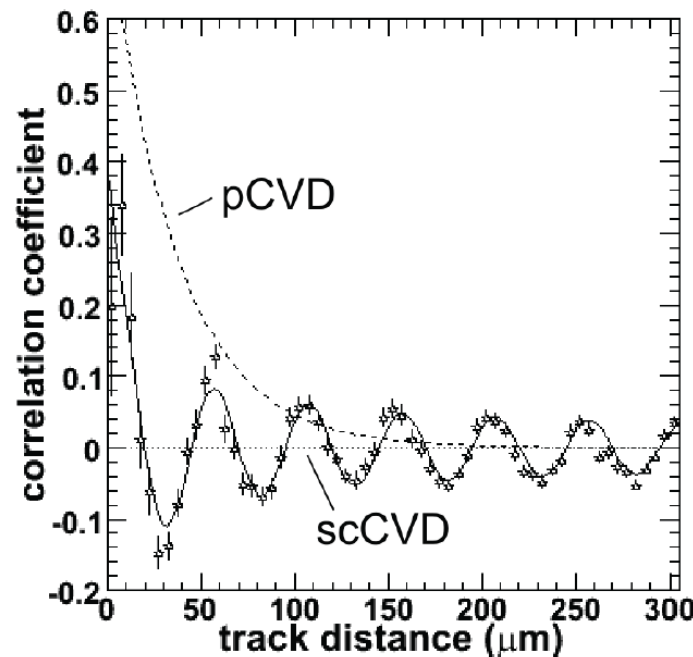
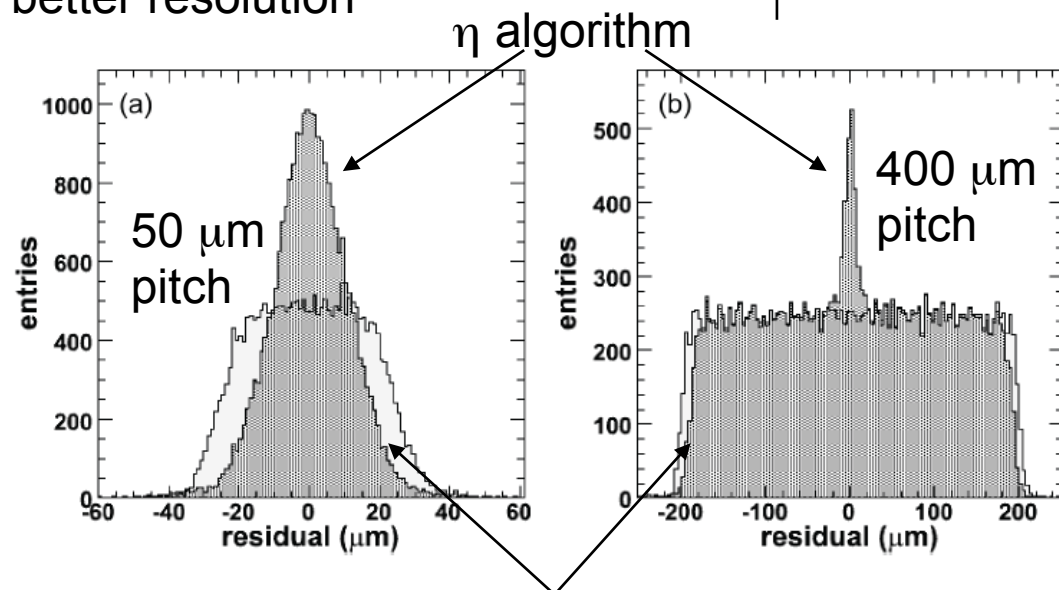
Typical module resolution $10 \mu\text{m}$

Lower threshold better resolution

Charge-sharing region



Residual linear correlation between two consecutive tracks in bad quality poly crystal shows the existence of lateral polarization field



Digital algorithm $\sigma = \text{pitch} / \sqrt{12}$

... questioni aperte

Il rivelatore al diamante e' semplice ma ...

- crescere materiale di buona qualita'
- polishing
- contattatura
- packaging
- front-end avanzato

ulteriori commenti

- specifico alla applicazione
- deve valere il costo (10 x Silicio)
- produzione in grandi quantita' da dimostrare
- E6-DDL (Bristol) in pratica unico fornitore (DIAPIX WP3 in CSN5)