Caratterizzazione delle prestazioni e possibili applicazioni astrofisiche di sensori SiPM sensibili a radiazione UV

G. Ambrosi (1), M. Caprai (1), E. Fiandrini (1,2), M. Ionica (1), L. Tosti (1,2), V. Vagelli (1,2)

INFN - Sezione di Perugia (1), Università degli studi di Perugia (2)

Abstract

Caratterizzazione dei Silicon Photo-Mutiplier (SiPM) della Fondazione Bruno Kessler (FBK,Trento)[1]. Lo studio verte sui dispositivi NUV-HD (Near Ultraviolet - High Density) sviluppati per operare in maniera ottimale nel vicino UV (intorno ai 420nm).

Introduzione

Il SiPM è un fotorivelatore a semiconduttore ad alte prestazioni, come l'alta amplificazione del segnale ($\sim 10^6$) e gli ottimi tempi di risposta ($\sim 4ns$). É tipicamente utilizzato nella rivelazione di fotoni dove è richiesta una forte sensibilità anche a luminosità molto basse. Il sensore è una matrice composta da un numero molto elevato (nell'ordine di 10^3unità$/mm^2$)

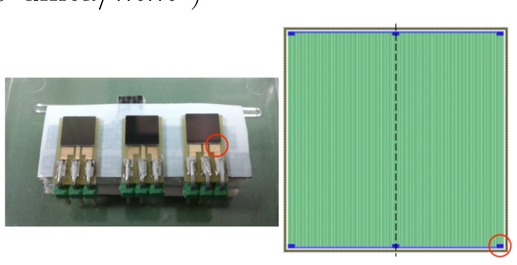


Figure 1: SiPM assemblati su PCB custom e dettaglio dell'area attiva del sensore

di Single Photon Avalanche Diodes (SPAD) in parallelo che lavorano in Geiger-mode.

Sensori e Analisi

I sensori utilizzati sono SiPM NUV-HD (Near UltraViolet - High Density) progettati e fabbricati presso FBK. Ogni SiPM è composto da 40394 SPAD da $30 \times 30\mu m^2$ per un area totale di rivelazione di circa $6 \times 6mm^2$. Gli SPAD presentano un'impiantazione p_+n_-, per favorire l'assorbimento dei fotoni ultravioletti vicino alla zona di amplificazione. Ciò garantisce una efficienza di rivelazione (Photon Detection Efficency, PDE) massima intorno a 420 nm.

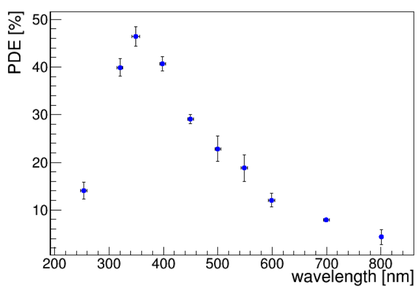
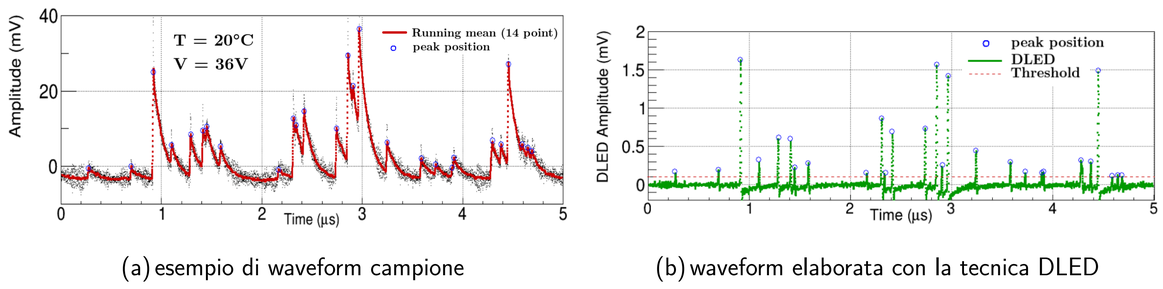


Figure 2: efficienza di rivelazione al variare della lunghezza d'onda incidente

L'analisi dati è stata effettuata su set di waveforms (Es. Fig.3) contenenti i segnali amplificati con un circuito

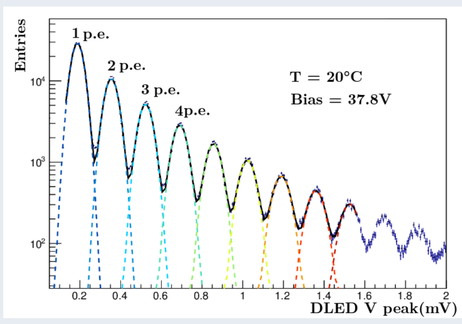


(a) esempio di waveform campione (b) waveform elaborata con la tecnica DLED

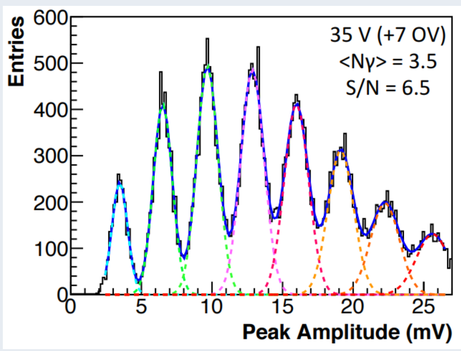
Figure 3: segnale del SiPM amplificato con AdvanSiD ASD-EP-N (current to voltage TIA) ed elaborato con la tecnica DLED.

a transimpedenza (Transimpedance Amplifier,TIA) AdvanSiD[2] e acquisite attraverso un oscilloscopio. Per sopprimere l'effetto di sovrapposizione dei picchi (pile up), dovuto al tempo di recupero del segnale, i dati raccolti sono stati elaborati con la tecnica DLED (Differential Leading Edge Discrimination) [3].

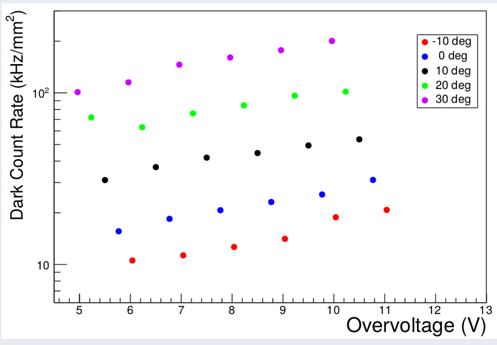
Risultati Importanti



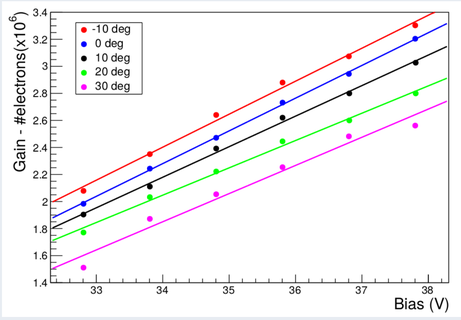
(a) Spettro di risposta del SiPM in condizioni di buio, temperatura ambiente (unità di DLED)



(b) Spettro di risposta del SiPM a laser impulsato (407nm), temperatura ambiente



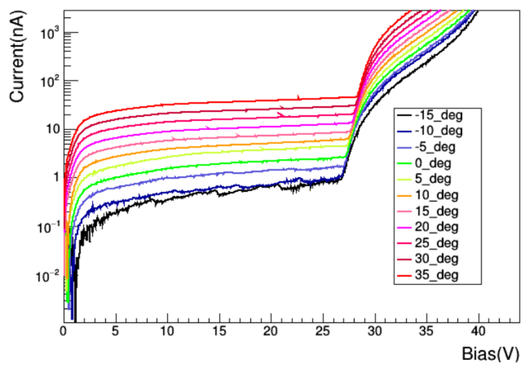
(c) Dark Count Rate (DCR)



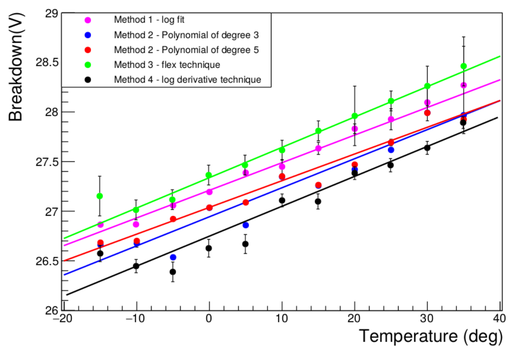
(d) Guadagno del dispositivo

Caratterizzazione

- Il DCR assume valori inferiori a $200kHz/mm^2$ per le varie temperature impostate e inoltre per $T < 25°C$ il DCR non supera i $100kHz/mm^2$.
- Il guadagno (a $20°C$) è di $\sim 2 \times 10^6$ con una variazione di $0.22 \times 10^6/V$.
- Le variazioni della tensione di Breakdown sono inferiori a $30mV/°C$ (Fig.4)



(e) curva caratteristica del SiPM a varie temperature



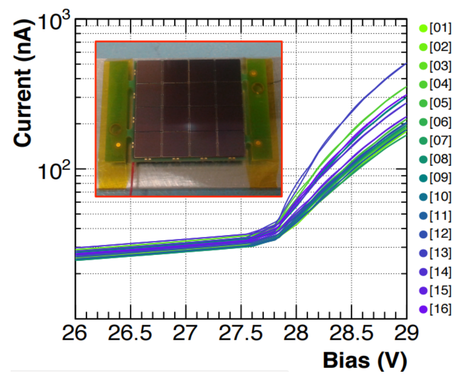
(f) relazione tra tensione di Breakdown e temperatura

Figure 4: variabilità in temperatura della tensione di Breakdown (confronto tra varie definizioni operative di Breakdown)

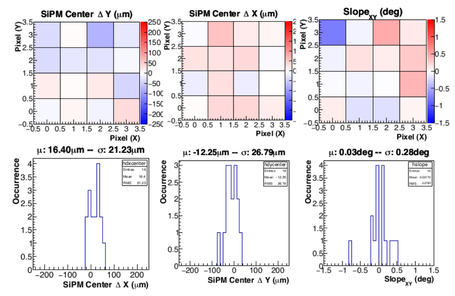
Le caratteristiche di alto guadagno e basso rumore, insieme a una contenuta variabilità della tensione di Breakdown in temperatura, la possibilità di risolvere anche segnali di singolo fotone e soprattutto la PDE ad alte frequenze, rendono il SiPM un ottimo strumento di rivelazione di fotoni ultravioletti. Per questi motivi è in corso lo studio per un possibile utilizzo di questi dispositivi nel piano focale di telescopi Cherenkov per l'individuazione indiretta degli sciami atmosferici.

Assemblaggi

Assemblando matrici di SiPM è possibile realizzare rivelatori con una grande area di rivelazione e alta densità di area attiva, come richiesto ad esempio sui piani focali dei telescopi Cherenkov. La sezione INFN di Perugia sta assemblando e testando una configurazione di matrici di SiPM per telescopi Cherenkov. Ciascuna matrice alloggia 16 sensori SiPM. I sensori sono disposti in una geometria a scacchiera, con una separazione tra i bordi di $500\mu m$. Per ogni matrice si procede allo studio metrologico e delle caratteristiche elettriche per garantire l'omogeneità della geometria e delle prestazioni.



(a) omogeneità della tensione di Breakdown dei sensori di una matrice



(b) verifica dell'allineamento dei 16 sensori di una matrice

Referenze

[1] *www.fbk.eu.*

[2] *http://advansid.com/.*

[3] A.Gola et all. *IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE*, 59(2, pag.358), 2012.

[4] Luca Tosti (Tesi Magistrale) 2016.

[5] Valerio Vagelli IFAE 2017.

Contact Information

- Email: Luca.Tosti@pg.infn.it