

# Caratterizzazione di rivelatori al silicio a barriera superficiale con catena analogica per lo sviluppo di un sistema per spettroscopia alfa

## Sintesi

Candidata: Giulia Cantarini Mat.866117 - tel. +39 3349906587

Relatore: Silvia Capelli

Correlatore: Claudio Gotti

18-19-20 settembre 2023

Corso di Laurea triennale in Fisica  
Università di Milano Bicocca

Nell'ambito della fisica degli eventi rari, che spesso si basa sulla ricerca di una specifica segnatura in uno spettro energetico, un aspetto importante da affrontare è quello del fondo radioattivo. Esso è principalmente dovuto a particelle ionizzanti provenienti dal cosmo (raggi cosmici), dall'ambiente sperimentale o da decadimenti dei radioisotopi che contaminano i materiali sperimentali. Gli eventi di fondo con energia nella regione di interesse possono oscurare, con le loro fluttuazioni, i segnali cercati, e quindi limitare la sensibilità sperimentale. Per questo motivo gli esperimenti volti a tali ricerche richiedono una buona schermatura dai raggi cosmici ed una selezione di materiali il più possibile radio-puri.

La ricerca di eventi rari con rivelatori privi di strati morti superficiali, come ad esempio i calorimetri scintillanti operanti a temperature criogeniche dell'esperimento CUPID, richiede che i materiali collocati in prossimità del rivelatore abbiano un elevato grado di radio-purezza anche a livello delle superfici, in quanto per tali rivelatori anche l'interazione di particelle alfa o beta può causare deposizioni energetiche nelle regioni di interesse.

L'analisi delle contaminazioni superficiali viene generalmente effettuata tramite spettroscopia alfa con rivelatori al silicio a barriera superficiale (SSB) operanti in camere a vuoto. Questa tecnica sfrutta le energie monocromatiche delle particelle alfa emesse dai diversi radionuclidi per stimarne la concentrazione superficiale sul campione. Le sensibilità di misura raggiungibili con le strumentazioni commercialmente disponibili sono dell'ordine dei  $\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$  e la massima superficie analizzabile è di  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ . Ai fini di aumentare la sensibilità di misura, si è dato il via ad un'attività di sviluppo di un sistema custom, denominato *Cameron*, con la possibilità di misurare superfici quattro volte superiori, operando quattro rivelatori SSB da  $900 \text{ mm}^2$  in contemporanea. Il segnale in uscita dai rivelatori viene poi processato da una catena di lettura costituita da un preamplificatore ed un amplificatore analogici, e da un analizzatore multi-canale interfacciato con un PC.

Il lavoro esposto in questo elaborato si inserisce nel processo già avviato relativo alla caratterizzazione del sistema. In particolare si propone di studiare la configurazione migliore in termini di distanza rivelatore-campione, di caratterizzare tre dei quattro rivelatori e di trovare le impostazioni elettroniche ottimali in termini di risoluzione energetica ottenibile. Ai fini di esaminare le prestazioni del sistema di misura ho dovuto tenere conto dei diversi fattori che peggiorano la risoluzione energetica, tra cui il rumore elettronico e le fluttuazioni statistiche sul numero di portatori prodotti dall'interazione. Per valutare separatamente tali contributi mi sono servita di due sorgenti differenti: un impulsatore di onde quadre agente direttamente sul primo stadio di elettronica, ed una sorgente di  $^{241}\text{Am}$ . Quest'ultima è caratterizzata da cinque emissioni di alfa monoenergetiche con probabilità differenti, la maggiore delle quali al picco a 5.486 MeV (86.0%).

Per valutare la configurazione geometrica migliore in termini di distanza campione-rivelatore, si sono effettuate misure con due differenti distanze della sorgente di  $^{241}\text{Am}$  dal rivelatore, constatando che la posizione più favorevole in termini di risoluzione energetica è quella che la vede più lontana dal rivelatore. Essa corrisponde infatti ad un minor angolo solido e quindi a una minore dispersione dell'energia rilasciata nello strato morto del rivelatore. Ho inoltre verificato questo risultato tramite simulazioni Monte Carlo basate su Geant4, che hanno confermato un miglioramento dell'ordine del 30%.

Ho in seguito caratterizzato i rivelatori determinando corrente di fuga e capacità di ciascuno, parametri in parte responsabili del rumore elettronico nella catena di rivelazione. Successivamente ho parametrizzato l'andamento della risoluzione in funzione del tempo di formatura dell'amplificatore e della tensione di alimentazione del rivelatore. Ciò è stato fatto analizzando la larghezza FWHM sia del picco dell' $^{241}\text{Am}$ , che di quello dell'impulsatore, affetto quest'ultimo solo da rumore elettronico. I valori di FWHM ottenuti per i tre rivelatori al picco 5.486 MeV variano in un intervallo tra i 25 e i 36 keV, corrispondente a risoluzioni percentuali tra 0.46% e 0.66%, in linea con lo stato dell'arte per rivelatori al silicio di pari area. I valori di risoluzione sono leggermente diversi per i tre rivelatori nominalmente identici; questa differenza può essere ricondotta ai diversi ordini di grandezza di corrente di fuga riscontrati a parità di temperatura.

Una volta determinate le condizioni di lavoro ottimali ed individuato il rivelatore con miglior risoluzione energetica, ho acquisito ed analizzato lo spettro di emissione di una sorgente di  $^{224}\text{Ra}$  affacciata al rivelatore. Mi sono focalizzata in particolare sulla forma dello spettro alfa+beta del decadimento in cascata  $^{212}\text{Bi}$ - $^{212}\text{Po}$ , possibile indicatore della dimensione della zona attiva del rivelatore, valutata dell'ordine dei 250  $\mu\text{m}$  alla tensione di lavoro scelta.

# Characterization of silicon surface barrier detectors with analogic chain for the developement of an alpha spectroscopy system

## Summary

18-19-20 September 2023

Bachelor Degree in Physics  
University of Milan Bicocca

In the field of rare events physics, which often relies on detecting a specific signature in an energy spectrum, the radioactive background is an important issue to address. Radioactive background is primarily due to ionizing particles coming from the cosmos (cosmic rays), the experimental environment or from decays of radioisotopes in the experimental materials. The background events having energy in the region of interest can obscure, with their fluctuations, the searched signals, and therefore limit the experimental sensitivity. For this reason the experiments aimed to such research require a good cosmic ray shielding and a selection of materials as radio-pure as possible.

The research of rare events with detectors without surface dead layer, such as the scintillating calorimeters working at cryogenic temperatures of the CUPID experiment, requires that the materials placed in proximity of the detector are extremely radio-pure even at the surface level, as for this detectors even the interaction with alpha or beta particles can cause energetic depositions in the region of interest.

The analysis of surface contaminations is generally carried out through alpha spectroscopy with silicon surface barrier detectors (SSB) operating in vacuum chambers. This technique exploits the monochromatic energies of the alpha particles emitted by different radionuclides to evaluate their superficial concentration on the sample. The sensitivity measurement attainable with commercially available instrumentation is in the order of  $\mu Bq/cm^2$  and the maximum analyzable area is of  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ . For the purpose of increasing measurement sensitivity, it was given the go-ahead to initiate the development of a custom system, referred to as *Camerona*, with the possibility of measuring surfaces four times bigger, by operating four SSB detectors of  $900 \text{ mm}^2$  simultaneously. The output signal is processed by a reading chain consisting of analog preamplifier and amplifier, and a multi-channel analyzer interfaced with a PC.

The work exposed in this paper is part of the activities already in process regarding the characterization of the system. In particular, it aimed to

study the best configuration in terms of detector-sample distance, to characterize three of the four detectors, and to find the optimal electronic settings in terms of achievable energy resolution. For the purpose of examining the performance of the measurement system, I had to take into account several factors that worsen the energy resolution, including the electronic noise and the statistical fluctuations in the number of carriers produced by the interaction. To evaluate the contributions separately, I made use of two different sources: a square-wave impulse generator acting directly on the first stage of electronics, and a source of  $^{241}\text{Am}$ . The latter is characterized by five monoenergetic alpha emissions with different probabilities, the largest of which peaked at 5.486 MeV (86.0%).

In order to evaluate the best geometrical configuration in terms of sample-detector distance, measurements were made with two different distances of the source of  $^{241}\text{Am}$  from detector, finding that the appropriate position in terms of energy resolution is the farthest from the detector. The largest relative distance corresponds in fact to a lower solid angle and therefore to less dispersion of the energy lost in the dead layer of the detector. I also verified this result by Monte Carlo simulations based on Geant4, which confirmed an improvement of the order of 30%.

I subsequently characterized the detectors by determining leakage current and capacitance of each, parameters partly responsible for the electronic noise in the detection chain. Next, I parameterized the resolution trend as a function of the amplifier shaping time and the detector supply voltage. The analysis was done by measuring the FWHM width of both the peak of the  $^{241}\text{Am}$  and the one of the impulse generator, the latter being affected only by electronic noise. The FWHM values obtained for the three detectors at the 5.486 MeV peak range between 25 and 36 keV, corresponding to percentage resolutions between 0.46% and 0.66%, in line with the state of the art for silicon detectors of the same area. The resolution values are slightly different for the three nominally identical detectors; this difference can be traced to the different order of magnitude of leakage current resulted at the same temperature.

Once I determined the optimal working conditions and identified the detector with the best energy resolution, I acquired and analyzed the emission spectrum of a detector-facing source of  $^{224}\text{Ra}$ . I focused in particular on the shape of the alpha+beta spectrum of the  $^{212}\text{Bi}$ - $^{212}\text{Po}$  cascade decay, a possible indicator of the size of the detector's active layer, estimated to be the order of 250  $\mu\text{m}$  at the chosen supply voltage.