

## ESPECTROMETRIA DE PARTÍCULAS CARREGADAS COM FOTODIODOS DE Si

*silicon*

Carmen C. Bueno(1,2), Josemary A. C. Gonçalves(1) e M. Damy de S. Santos(1,2)

(1) IPEN-CNEN/SP - Depto.GEP - C.P. 11049- CEP 05508-900 - SP

(2) PUC/SP - C.P. 02384 - CEP 01303-010 - SP

### ABSTRACT

Our experiments with low-cost commercial silicon PIN photodiodes have shown the possibility of their transformation for use as alpha, electrons and fission fragments detectors with a performance comparable with that obtained with surface barrier detectors which are more expensive. Utilizing the silicon photodiode with reverse bias, an energy resolution for Am-241 alpha particles of 17keV was obtained at room temperature.

### INTRODUÇÃO

Diodos especiais de Si têm sido largamente empregados na detecção e espectrometria de partículas carregadas e R-X. As diferentes técnicas de produção destes diodos têm sido aperfeiçoadas com o objetivo de minimizar as correntes de fuga e melhorar as suas características como detectores de radiação [1-5]. Contudo, as dimensões desses diodos estão ainda limitadas a poucos centímetros quadrados de área e o seu preço não é muito inferior ao dos detectores de barreira de superfície frequentemente utilizados para esse fim.

Pesquisas preliminares realizadas com fotodiodos comerciais de Si (SFH-00206), de baixo custo, do tipo PIN, demonstraram que eles apresentam características excepcionais como detectores de partículas beta individuais [6] e nos incentivaram a estudá-los na detecção direta de partículas carregadas pesadas.

Esses fotodiodos são encapsulados com uma camada de plástico, de 0,7mm de espessura, para proteção de sua superfície, dos contactos com os eletrodos e, ao mesmo tempo, para focalização da luz incidente. Essa camada pode ser atravessada por R-X de energia superior a cerca de 10keV e por elétrons de cerca de 200keV, mas não permite a sua utilização para detecção de partículas alfa ou de partículas carregadas que possuam alto poder de ionização, como ocorre com os fragmentos de fissão.

Com o objetivo de verificar as condições de resposta desses fotodiodos na espectrometria de partículas alfa, desenvolvemos uma técnica de remoção dessa camada de plástico, que não causa danos à superfície do diodo e preserva os contactos metálicos entre os eletrodos do detector. O processo de remoção inicialmente desenvolvido baseava-se no ataque químico dessa camada através de um solvente apropriado, mas causava com frequência o rompimento da ligação entre os eletrodos. Desta forma, tornou-se necessário desenvolver uma técnica de solda dos eletrodos sem aumentar a corrente de fuga do detector e portanto o ruído do sistema.

Os resultados obtidos inicialmente com radiação alfa (Am-241) foram extremamente encorajadores visto que, foi possível identificar a estrutura fina das partículas alfa provenientes desse emissor com resolução em energia comparável às obtidas com detectores de barreira de superfície (que além de importados são muito mais caros). Também foram estudadas as condições de resposta desse diodo na detecção e espectrometria de elétrons de conversão interna e fragmentos de fissão.

## ARRANJO EXPERIMENTAL

O fotodiodo de Si utilizado (Siemens- SFH00206), do tipo PIN, possuía uma área útil de 7,34mm<sup>2</sup>, capacitância de 72pF (para 0V) e correntes de fuga inferiores a 20nA.

Esse diodo, desencapsulado, foi fixado diretamente na tampa de uma câmara de aço-inox e acoplado, através de um conector especial para vácuo, ao pré-amplificador sensível à carga. A polarização do diodo foi feita através de uma resistência de 100MΩ, interna ao pré-amplificador que também permitia a entrada de sinais provenientes de um gerador de pulsos para medidas de ruído eletrônico. Os pulsos provenientes do pré amplificador eram, em seguida, enviados ao amplificador (ORTEC-572) e deste ao analisador multicanal, como mostra a figura 1.

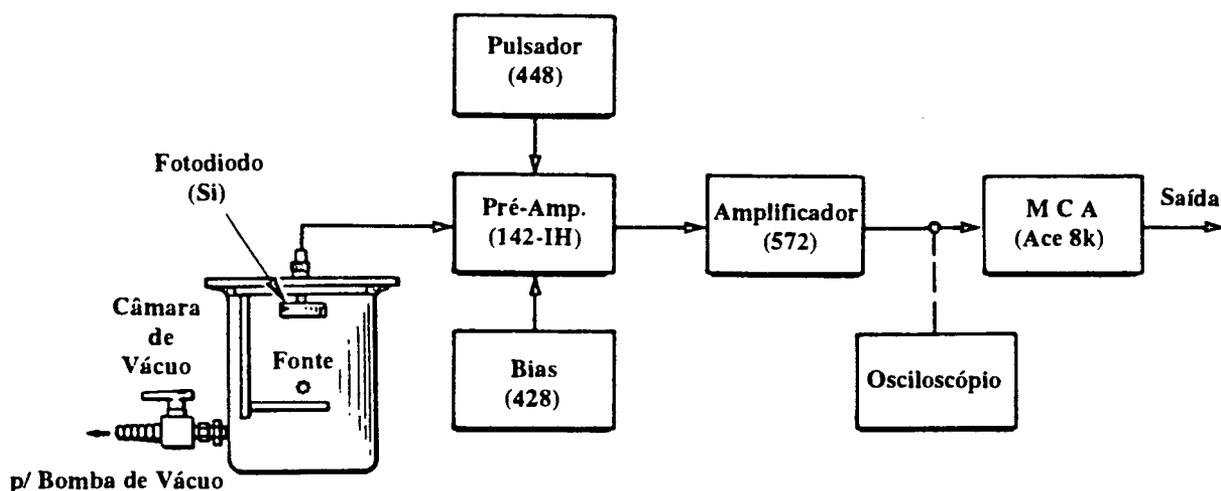


FIGURA 1 - Diagrama de Blocos do Equipamento utilizado

Inicialmente utilizou-se uma fonte radioativa mista (Pu-239, Am-241 e Cm-244), situada a 2,0cm do detector, e estudou-se, à temperatura ambiente e pressão de 10<sup>-5</sup> mmHg, as condições de

resposta do diodo em função da tensão de polarização. Os resultados experimentais demonstraram que em ausência de tensão é possível distinguir as partículas alfa dos três emissores, mas não é nítida a separação das linhas alfas da estrutura fina de cada um dos elementos. Este fato pode ser explicado pela coleta parcial de cargas produzidas na zona de depleção, associada à grande capacitância do diodo (72pF) nestas condições o que piora a relação sinal-ruído. Com o aumento da tensão, a capacitância do diodo diminui mas aumenta a corrente de fuga do detector principalmente aquela devida ao movimento dos portadores minoritários na região de depleção. Desta forma, existe uma tensão para a qual a superposição dos efeitos citados anteriormente conduz a uma maior relação sinal-ruído e portanto a uma melhor resolução em energia do detector. Em nossas medidas, o melhor resultado, (FWHM = 17keV) para a linha alfa de 5,486MeV do Am-241, foi obtido com a tensão de 28V. A figura 1 representa o espectro da fonte mista obtido com o detector polarizado reversamente com 28V e demonstra nitidamente a separação das linhas alfa do Pu, Am e Cm. Este resultado é melhor do que os obtidos com detectores de barreira de superfície frequentemente empregados em espectrometria de radiação alfa.

Em seguida estudaram-se as condições de resposta desse detector para fragmentos de fissão utilizando uma fonte de Cf-252. Como a densidade de formação dos pares elétrons-lacunas é muito maior neste caso, tornou-se necessário determinar as condições experimentais que permitiriam discriminar os fragmentos leves dos pesados, considerando-se a condição de coleta total da carga espacial produzida na zona de depleção. De fato, em ausência de tensão, observou-se apenas um pico alargado devido aos fragmentos de fissão, mas com o diodo polarizado com 28V (figura 2) foi possível identificar os picos correspondentes aos fragmentos leves e pesados. Foi feita uma comparação da amplitude dos pulsos devidos aos fragmentos com os das partículas alfa provenientes do Am-241,

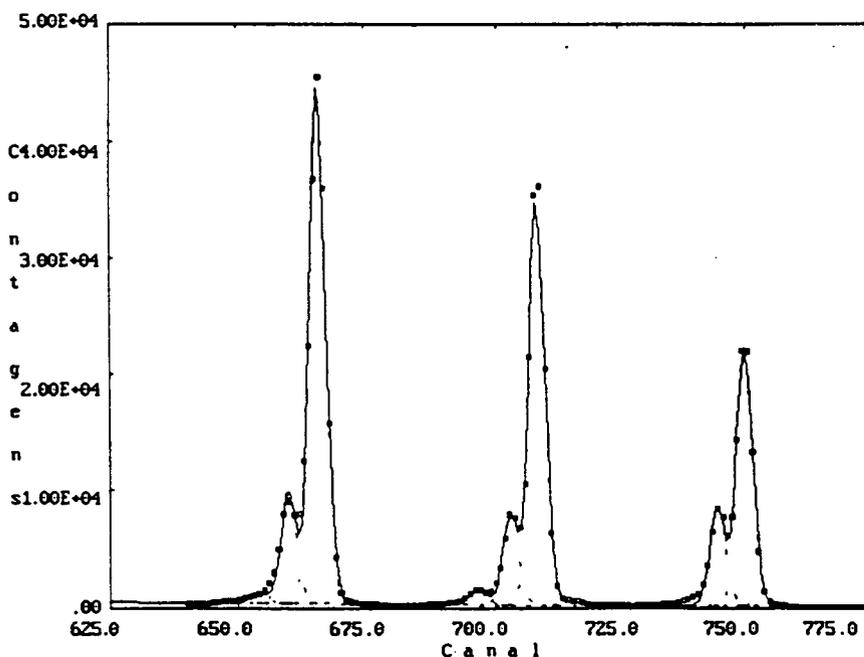


FIGURA 2 - Espectro de Partículas Alfa da Fonte Mista (Pu-239, Am-241 e Cm-244)

indicando nitidamente o defeito de amplitude do pulso (Pulse Height Defect). Este efeito tem sua origem nas diferenças fundamentais que existem entre os mecanismos de perda de energia das partículas alfa e fragmentos de fissão, pois estes perdem energia também em colisões com núcleos, o que não conduz à formação de pares elétrons-lacunas. Desta forma, as amplitudes dos pulsos devidos aos fragmentos de fissão são menores que as esperadas para partículas alfa de mesma energia.

Posteriormente verificou-se a possibilidade de utilizar esse diodo na detecção e espectrometria de elétrons de conversão interna. Como eles possuem zonas de depleção com espessuras inferiores à  $50\mu\text{m}$ , a espectrometria de elétrons de conversão interna limita-se a energias inferiores à  $300\text{keV}$ . Em sendo assim, utilizou-se uma fonte de Ba-133, cujo espectro obtido com tensão de  $28\text{V}$ , está representado na figura 3. Nota-se um grande número de pulsos de pequena amplitude correspondentes a elétrons que não perderam toda sua energia na camada de depleção. Por outro lado, os picos devidos à absorção total de energia são discriminados, permitindo a identificação das duas linhas de elétrons de conversão (energias de  $266\text{keV}$  e  $319\text{keV}$ , respectivamente).

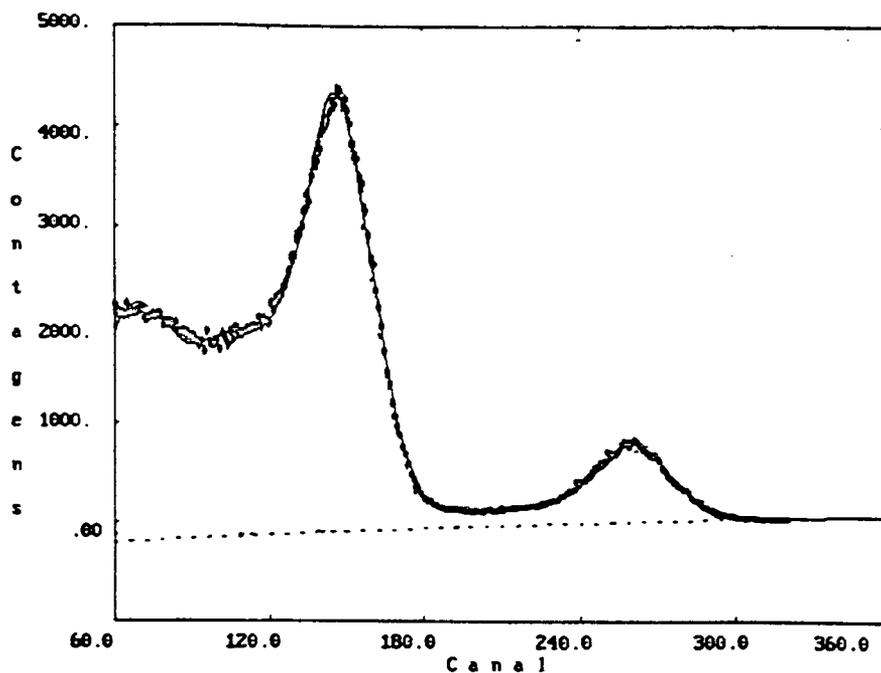


FIGURA 3 - Espectro de Elétrons de Conversão Interna da Fonte de Ba-133

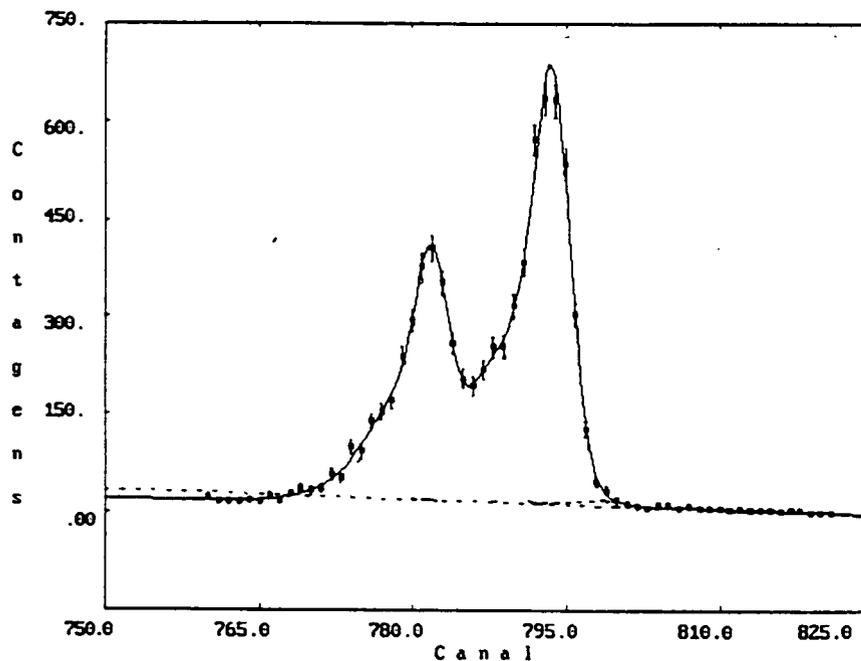


FIGURA 4 - Espectro de Fragmentos de Fissão da Fonte de Cf-252

## CONCLUSÃO

Os estudos realizados com o fotodiodo (SFH-00206), de baixo custo, empregado com modificações na detecção e espectrometria de partículas carregadas leves e pesadas, indicaram que este deve representar uma alternativa economicamente vantajosa em relação aos detectores de barreira de superfície frequentemente utilizados em espectrometria dessas radiações.

Por outro lado, como demonstraram-se as boas condições de resposta desse diodo para partículas alfa e fragmentos de fissão, será possível empregá-lo também na detecção de nêutrons através de reações  $(n,\alpha)$  e  $(n,f)$  produzidas em conversores apropriados como os de boro e urânio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Burger and Y. Beroud, Nucl. Instr. and Meth. 226, 45-9, 1984.
- [2] S. Holland, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol39(5), 1259-62, 1992.
- [3] J.S. Iwaczyk, Nucl. Instr. and Meth. A322, 543-50, 1992.
- [4] V.V. Gostilo, Nucl. Instr. and Meth. A322, 566-8, 1992.
- [5] J. Friese, A. Gillitzer, H.J. Korner and M.R. Maier, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol 40(4), 339-43, 1993.
- [6] C.R. Caetano, Uso de Fotodiodos de Si para Detecção de partículas beta individuais- Dissertação de Mestrado- PUC/SP (1992).