

UTILIZAÇÃO DE DIODOS DE Si PARA ESPECTROMETRIA ALFA

F. Camargo¹, Carmen C. Bueno^{1,2}, Josemary A.C. Gonçalves^{1,2} e M.D.S. Santos¹

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes, 2.242
05508-900 Butantã, São Paulo, SP, Brasil

²Departamento Física - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC/SP
Rua Marquês de Paranaguá, 111
01303-050 Consolação, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este trabalho descreve um estudo feito no sentido de identificar a origem de picos fantasmas em espectros de partículas carregadas com diodos de Si SFH00206 (Siemens) e S3590-06 (Hamamatsu). As respostas desses diodos para a espectrometria de partículas alfa indicam que ambos são adequados para medidas desta natureza com boas resoluções em energia. Por outro lado, foi identificada a presença de picos fantasmas apenas no diodo da Hamamatsu, que possui anéis de guarda na sua estrutura.

Keywords: Si Photodiodes, Alpha-Spectrometry, Semiconductors Detectors

I. INTRODUÇÃO

As técnicas de medidas nucleares que mais se desenvolveram nas últimas décadas são a espectrometria de partículas alfa e radiações eletromagnéticas devido, principalmente, ao avanço da tecnologia dos detectores semicondutores. Isso foi possível através da obtenção de materiais semicondutores com elevado grau de pureza, como o Si e Ge, aliado ao refinamento das técnicas de fabricação de detectores [1], conduzindo a detecção de radiações com resoluções em energia muito próximas ao limite mínimo teoricamente previsto considerando as flutuações estatísticas na produção dos portadores de carga no interior do semicondutor [2].

Áreas que abrangem além da Física Nuclear e de Reatores, como a Monitoração Ambiental, a Proteção Radiológica, a Física Médica, a Geofísica, etc., têm a necessidade de técnicas de medidas precisas da energia das partículas alfa, favorecendo com isso, o crescente desenvolvimento da tecnologia de detectores. Na maioria dessas aplicações citadas anteriormente, os detectores utilizados são os de barreira de superfície, que apesar de possuírem alta resolução em energia na espectrometria de radiações, são importados e de custo elevado.

Um sistema alternativo de espectrometria de partículas carregadas e radiações eletromagnéticas vem sendo desenvolvido em nosso laboratório, baseando-se em diodos de Si, que além da facilidade de operação e baixo

custo, possuem características favoráveis para a espectrometria, como baixa capacidade e corrente de fuga, permitindo a obtenção de boas resoluções em energia [3-7]. Em pesquisas preliminares, demonstramos que diodos comerciais do tipo PIN (SFH00206 da Siemens), quando desencapsulados e devidamente modificados, podem ser utilizados com sucesso também na detecção de partículas carregadas e radiações eletromagnéticas de baixa energia (até 100 keV) [8-9].

Os resultados obtidos, aliados ao crescente interesse na utilização de diodos de Si na detecção de partículas carregadas [10-14], nos motivaram a estudar características de resposta de diodos de junção na espectrometria de partículas alfa. Entretanto, encontramos na literatura [3-4] que alguns desses diodos quando empregados na espectrometria de partículas alfa, apresentam um problema relativo ao aparecimento no espectro dos chamados picos fantasmas ("ghost peaks") que se caracterizam por terem amplitudes e intensidade menores do que o correspondente à absorção total da energia. Este fenômeno, de causa desconhecida, apresentado por alguns diodos pode estar associado às características específicas de sua fabricação como também a possíveis danos de radiação produzidos no volume do detector ou nos eletrodos. Como este comportamento não foi observado em nossos resultados, procurou-se identificar a origem do problema através de um estudo detalhado sobre as características de fabricação dos diodos e a utilização de anéis de guarda nas configurações.

II. ARRANJO EXPERIMENTAL

Após um detalhado estudo dos vários tipos de diodos tipo PIN existentes no mercado, os fotodiodos escolhidos para serem utilizados como detectores de radiação foram: SFH00206 Siemens e S3590-06 Hamamatsu, por apresentarem características favoráveis como: pequena corrente de fuga, baixa capacidade da junção e maior área efetiva. A Tabela 1 mostra as principais características fornecidas pelos respectivos fabricantes para os fotodiodos SFH00206 e S3590-06 a 0 V.

TABELA 1. Características dos fotodiodos a 0 V.

Fotodiodo	Área (mm ²)	Capacidade (pF)	Corrente de Fuga (nA)
SFH00206	7,0	78,5	0,15
S3590-06	81,0	30,0	2,0

Os fotodiodos independentemente foram montados na parte interna da tampa de uma câmara de aço inox na qual se fazia vácuo da ordem 10⁻⁶ mbar. O detector foi polarizado reversamente através de uma resistência de 100 MΩ, interna ao pré-amplificador sensível a carga (Ortec 142A), o qual estava acoplado diretamente na parte externa da câmara, através de um conector BNC. Os impulsos elétricos provenientes do pré-amplificador eram posteriormente formatados e amplificados por um amplificador linear (Ortec 572) dotado de controles variáveis de ganho e constante de tempo. Os sinais elétricos provenientes do amplificador eram enviados a um analisador multicanal (Ortec Spectrum Ace - Maestro). A Figura 1 representa, na forma de diagrama de blocos, o equipamento utilizado para a medida da espectrometria de partículas alfa.

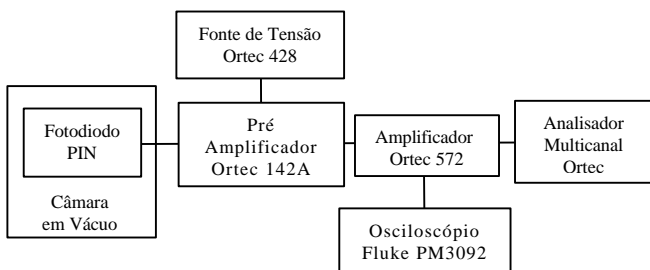


Figura 1. Diagrama de Blocos da Eletrônica utilizada nas medidas de Espectrometria Alfa.

Para realizarmos as medidas de espectrometria de partículas alfa, a fonte utilizada foi uma fonte mista de ²³⁹Pu, ²⁴¹Am e ²⁴⁴Cm. A Tabela 2 apresenta a meia-vida e a energia dos isótopos em questão [15].

TABELA 2. Características dos alfa-emissores.

Isótopo	Meia Vida	Energia (MeV)	Intensidade Relativa
²³⁹ Pu	24,1 anos	5,103	11,0 %
		5,142	15,0%
		5,155	73%
²⁴¹ Am	455 anos	5,442	12,5 %
		5,484	85,2 %
²⁴⁴ Cm	17,8 anos	5,763	23,6 %
		5,806	76,4 %

Por outro lado, para a medida da eficiência intrínseca relativa de detecção do fotodiodo para partículas alfa, foi utilizado uma fonte radioativa de ²⁴¹Am. Neste caso, os impulsos elétricos provenientes do amplificador eram enviados a um analisador monocanal (Canberra SCA 2030) cujo nível de discriminação foi previamente ajustado para cortar o ruído eletrônico oriundo do sistema. Os sinais elétricos com amplitudes superiores ao nível de discriminação selecionado eram contados em um Scaler (Ortec 994). A Figura 2 ilustra o equipamento utilizado nesta medida.

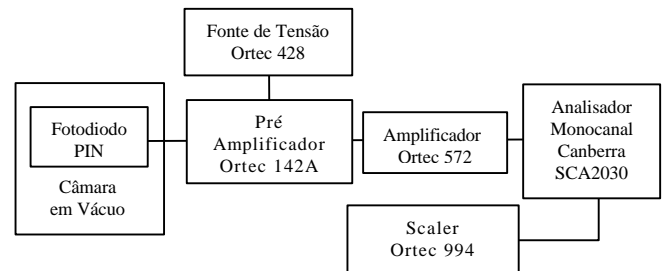


Figura 2. Eletrônica usada na medida da Eficiência Intrínseca Relativa.

A medida da corrente de fuga dos fotodiodos foi efetuada através da queda de potencial que ela provoca ao passar por uma resistência de 1 MΩ, interna à fonte de tensão (Ortec 428) utilizada, conforme a Figura 3.

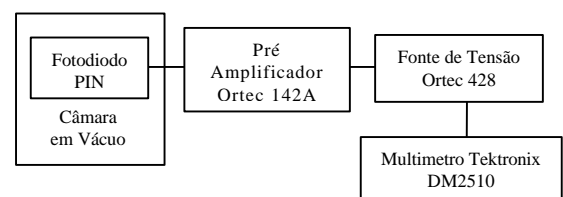


Figura 3. Diagrama de Blocos da Eletrônica empregada para a medida da Corrente de Fuga.

III. RESULTADOS OBTIDOS

Corrente de Fuga. As Figuras 4 e 5 representam a corrente de fuga em função da tensão reversa de polarização, respectivamente, para os Fotodiodos S3590-06 da Hamamatsu e SFH00206 da Siemens.

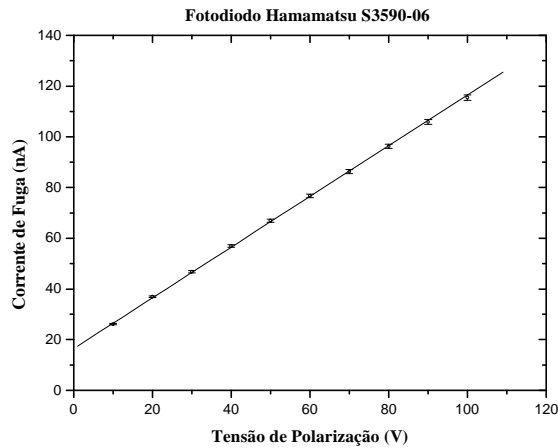


Figura 4. Corrente de Fuga em função da Tensão de Polarização (temperatura ambiente).

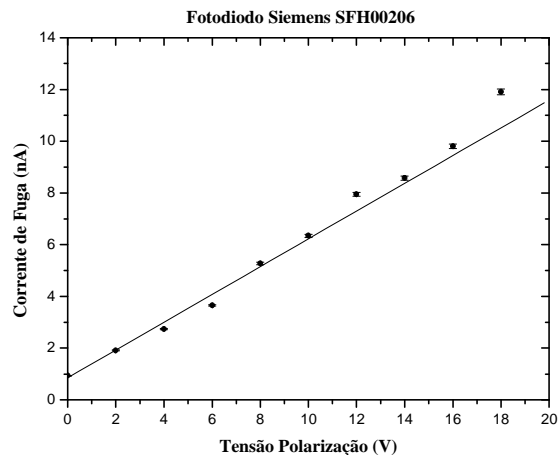


Figura 5. Corrente de Fuga em função da Tensão de Polarização (temperatura ambiente).

Os resultados obtidos mostram que as correntes de fuga para os dois fotodiodos variam linearmente com a tensão de polarização. É de se notar que para ambos os fotodiodos a corrente de fuga não ultrapassa cerca de 10^{-7} A. O fotodiodo S3590-06 apresentou uma corrente de fuga 10 vezes maior que a do SFH00206, devido a sua maior área útil de detecção.

Eficiência Intrínseca Relativa. Os resultados do estudo da eficiência intrínseca relativa do detector para o fotodiodo S3590-06, são apresentados na Figura 6.

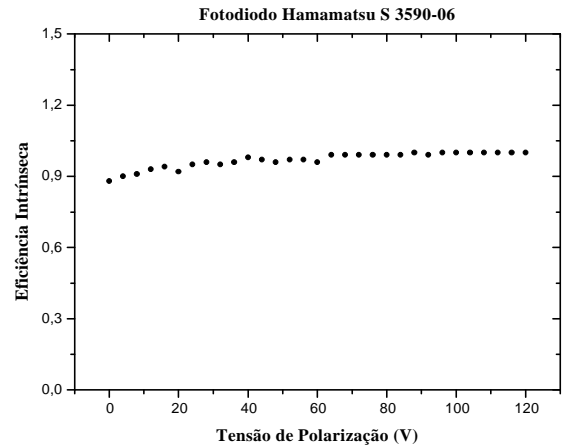


Figura 6. Eficiência Intrínseca Relativa do detector em função da Tensão de Polarização (temperatura ambiente).

A Figura 6 mostra que a eficiência intrínseca relativa aumenta com a tensão de polarização do detector, observando-se que para tensões superiores a 16 V há uma saturação da curva devida a absorção total da energia da partícula na zona de depleção do fotodiodo. Isto significa que todos os impulsos gerados pela passagem das partículas alfa têm amplitudes superiores ao nível de discriminação, sendo portanto contados.

Espectro em Energia. Os espectros em energia para a fonte mista para os fotodiodos S3590-06 (Hamamatsu) e SFH00206 (Siemens), estão representados nas Figuras 7 e 8, onde são indicados os picos correspondentes a cada elemento (^{239}Pu , ^{241}Am e ^{244}Cm).

A análise destes espectros evidencia que o fotodiodo da Hamamatsu apresenta a formação de picos fantasmas com pequena intensidade, sendo perfeitamente discriminados os picos de absorção total do ^{239}Pu , ^{241}Am e ^{244}Cm . As resoluções em energia obtidas para o fotodiodo S3590-06 Hamamatsu, da ordem de 30 keV, são ligeiramente melhores do que as correspondentes ao fotodiodo Siemens SFH00206 (~80 keV). Entretanto, este último não apresenta a formação de picos fantasmas em concordância com resultados anteriormente obtidos em nosso laboratório [8].

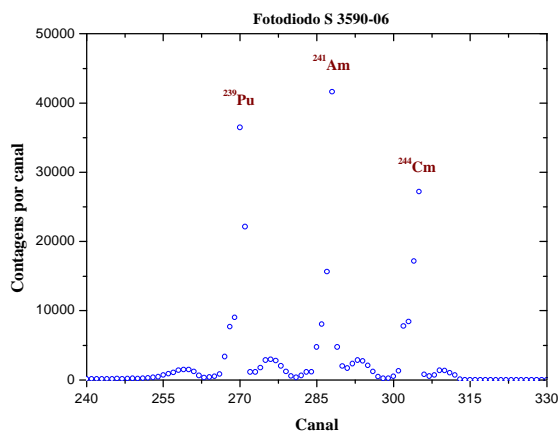


Figura 7. Espectro da Fonte Mista para o Fotodiodo S3590-06 (a 100V e temperatura ambiente).

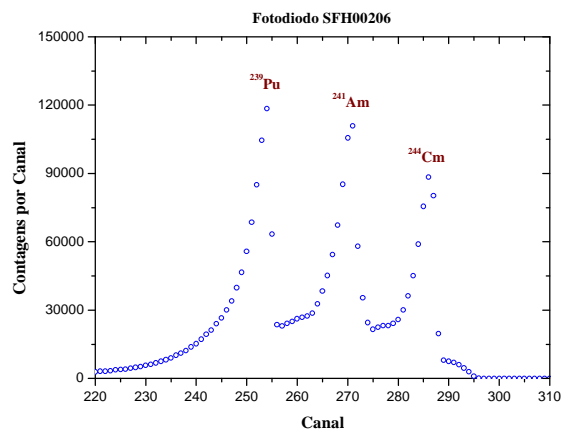


Figura 8. Espectro da Fonte Mista para o Fotodiodo SFH00206 (a 16V e temperatura ambiente).

Estes dados, apesar de preliminares, nos levam a acreditar que a origem dos picos fantasmas deve estar relacionada com a presença de anéis de guarda no fotodiodo da Hamamatsu S3590-06. Estudos sobre a identificação das causas deste fenômeno estão em andamento em nosso laboratório, para a sua melhor compreensão.

IV. CONCLUSÃO

As respostas do fotodiodos SFH00206 (Siemens) e S3590-06 (Hamamatsu) para a espectrometria de partículas alfa indicam que ambos são adequados para as medidas desta natureza com boas resoluções em energia. Por outro lado, foi identificada a presença de picos fantasmas no fotodiodo Hamamatsu, que possui anéis de guarda na sua estrutura. No fotodiodo da Siemens, que revelou resoluções em energia ligeiramente piores do que os da Hamamatsu, não foram observados os picos de absorção parcial de energia das partículas alfa.

A origem destes picos está sendo inicialmente atribuída à presença de anéis de guarda, mas estudos elaborados estão em andamento para a melhor compreensão deste fenômeno.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Khodim et al, **Silicon avalanche photodiodes for particle detector: modelling and a fabrication**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A465, p 253-256, 2001.
- [2] E. Steinbauer et al, **Energy resolution of silicon detectors: approaching the physical limit**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. B85, p 642-649, 1994.
- [3] D. Kollwe, **Performance of 10x10 mm² PIN silicon photocells used as high resolution charge particle detectors**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A254, p 637-638, 1987.
- [4] P.H. Gooda and W.B. Gilboy, **High resolution alpha spectroscopy with low cost photodiodes**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A255, p 222-224, 1987.
- [5] G. Casse et al, **Scanning of irradiated silicon detectors using alpha particles and low-energy protons**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A434, p 118-130, 1999.
- [6] A. Chambaudet et al, **Study of the response of silicon detectors for alpha particles**, Radiat. Measur., vol. 28, p 127-132, 1997.
- [7] C.P. Allier et al, **Comparative Study of Silicon Detectors**, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 45(3), p 576-580, June 1998.
- [8] C.C. Bueno, J.A.C. Gonçalves and M.D.S. Santos, Nucl. Instrum. and Meth., **The performance of low-cost commercial photodiodes for charged particle and X-ray spectrometry**, vol. A371, p 460-464, 1996.
- [9] C.C. Bueno, J.A.C. Gonçalves, R.R. Magalhães e M.D.S. Santos, V Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, CD-ROM, Rio de Janeiro, 2000.
- [10] B. Alessandro et al, **Design an operation of a fast high-granularity silicon detector system in a high-radiation environment**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A409, p 167-172, 1998.
- [11] G. Gorfine et al, **Capacitance of silicon pixels**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A 460, p 336-351, 2001.
- [12] B. Alessandro et al, **Analysis of radiation effects on silicon strip detectors in the NA50 experiment**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A432, p 342-357, 1999.
- [13] V. Boncini et al, **Laboratory and test beam results from a large-area silicon drift detector**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A439, p 476-482, 2000.
- [14] W. Dabrowski et al, **Study of spatial resolution and efficiency of silicon strip detectors with charge division on readout**, Nucl. Instrum. and Meth., vol. A383, p 137-143, 1996.
- [15] AEA TECHNOLOGY. **Source Certificate n° 104820 – GE 149**. AEA Technology QSA GmbH, Germany, 1998.

ABSTRACT

In this paper we describe studies concerning the origin of the ghost peaks in charged-particle spectra using silicon photodiodes SFH00206 (Siemens) and S3590-06 (Hamamatsu). The results obtained in alpha spectrometry show good energy resolution for both diodes and indicate they are suitable for this kind of measurement. On the other hand, ghost peaks were only found with the Hamamatsu diode, probably due to the presence of guard rings in its structure.