

Avaliação da resposta de fototransistores bipolares SMT como detectores em feixes de fótons de megavoltagem gerados por um acelerador linear

J. O. da Silva^{1,2}, C. M. S. de Magalhães^{1,2}, J. A. Filho¹, L. A. P. dos Santos²,
W. M. Santos³

¹*Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, 50740-540, Recife, Brasil*

²*Laboratório de Instrumentação Nuclear, CRCN/CNEN, 50740-540, Recife, Brasil*

³*Serviço de Física Médica, Hospital Governador João Alves Filho, 49095-000, Aracaju, Brasil*

josofisico@yahoo.com.br

(Recebido em 01 de outubro de 2007; aceito em 22 de novembro de 2007)

Fototransistores bipolares comerciais têm sido usados como detectores de radiação ionizante em feixes de raios-X de baixa energia. Contudo, quando são usados em feixes de raios-x de alta energia, ocorre certa perda de sensibilidade à radiação ionizante. Este dano é cumulativo e irreversível. Existem certos fatores que produzem variações na resposta do fototransistor quando está sob radiação ionizante de alta energia, como sua tecnologia de fabricação e suas características elétricas. O objetivo deste trabalho é apresentar resultados experimentais que são usados para correlacionar as curvas de resposta de fototransistores bipolares SMT (*Surface-Mount Technology*) com sua perda de sensibilidade após a irradiação com feixes de megavoltagem produzidos por um Linac (acelerador linear).

Palavras-chave: fototransistor, dosimetria, radioterapia.

Commercial bipolar phototransistors have been used as detectors for low energy X-rays. However, when they are used in high energy X-ray beams, there is a certain loss of sensitivity to the ionizing radiation. This damage is cumulative and irreversible. There are several factors that yield variations in the phototransistor response when it is under high energy radiation, such as its fabrication technology and its electrical characteristics. The aim of this work is to present experimental results that are used to correlate the response curve of SMT (*Surface-Mount Technology*) bipolar phototransistors with their loss of sensitivity after irradiation from a Linac (linear accelerator) megavoltage beams.

Keywords: phototransistor, dosimetry, radiotherapy.

1. INTRODUÇÃO

Semicondutores têm sido usados na dosimetria de feixes de alta energia em radioterapia por muitos anos [1]. A despeito do dano causado pela radiação ionizante, os semicondutores atuam como detectores devido a seu tamanho pequeno, resistência mecânica e resposta para medidas tanto da dose como da taxa de dose, como um substituto para uma câmara de ionização. Fotodiodos de silício são reconhecidos como detectores em radioterapia, mas o MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) [2] e o transistor bipolar estão sendo estudados para este propósito. Os fototransistores apresentam leitura em tempo real e esta propriedade vem a ser uma grande vantagem quando comparado com os dosímetros termoluminescentes (TLDs).

Ao ser comparado com o fotodiodo, o fototransistor apresenta uma área sensível menor que este e ainda a propriedade da amplificação da corrente de entrada. Estas duas características o fazem um dispositivo interessante como um detector de radiação em radiologia, principalmente para dosimetria *in vivo* em tratamentos radioterápicos [3] e na medida da distribuição de dose para pequenos tamanhos de campo. Fototransistores bipolares comerciais NPN têm sido usados como detectores para feixes de raios-X na faixa de diagnóstico e sua resposta tem sido adequada nesta faixa de energia [4]. Contudo, quando eles são usados em raios-X de altas energias, como os gerados por aceleradores lineares (Linacs), ocorre uma certa perda da sensibilidade do

dispositivo à radiação ionizante. Embora este dano seja cumulativo e irreversível, existe uma forma para extrair a informação sobre a dose utilizando algoritmos matemáticos. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a resposta de fototransistores bipolares SMT (*Surface Mount Technology*) quando submetidos a feixes de fótons de alta energia gerados por um Linac e propor um método matemático para obter a dose a partir da resposta dos dispositivos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para verificar os efeitos dos feixes de raios-X de alta energia em fototransistores bipolares, um Linac Siemens-Primus foi usado. Os dispositivos usados neste trabalho são de tecnologia SMT do tipo OP520 da OPTEK[®] Technology (figura 1), que possuem área sensível menor que 1 mm². Três dispositivos possuindo correntes de escuro semelhantes foram separados de uma amostra de quarenta fototransistores de um mesmo lote. Este procedimento foi realizado para verificar se suas respostas estão correlacionadas com os seus estados elétricos iniciais. Um sub-femto-amperímetro Keithley[®] 6430 foi usado para realizar as medidas das correntes de escuro dos dispositivos.

Os fototransistores foram submetidos a feixes de fótons de 6 MV. As medidas foram realizadas com cada dispositivo localizado no isocentro do equipamento numa distância fonte-eixo de 100 cm. O tamanho de campo utilizado foi de 10×10 cm². Após uma pré-irradiação de 10 Gy em cada dispositivo, uma dose total de 100 Gy foi aplicada neles, sendo a taxa de dose de 200 cGy/min constante durante todo o experimento. Essa precisão no valor da dose é assegurada pela calibração do Linac. Eles foram, individualmente, colocados num simulador de PMMA (polimetilmetacrilato) de 30×30×20 cm³ (figura 2) e conectados ao eletrômetro Flip-Flop[®], com precisão de 5% na leitura da corrente [5] (figura 3). As medidas foram realizadas durante as irradiações e um computador de instrumentação foi usado para registrar a leitura dos fototransistores com o programa DoseX[®].

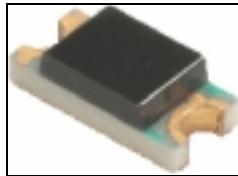


Figura 1: Fototransistor SMT OP520[®] Dimensões (L×A×P): 1,50×1,10×3,10 mm.



Figura 2: Ilustração do simulador de PMMA usado.

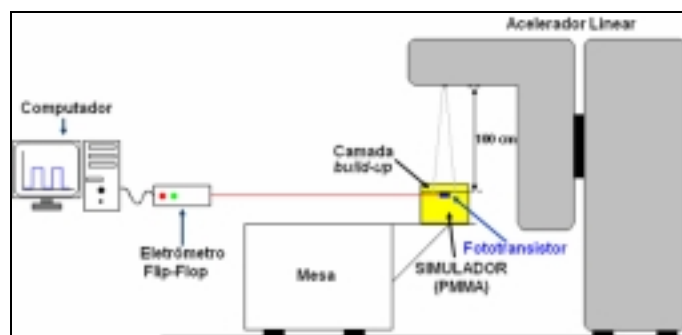


Figura 3: Esquema do arranjo experimental utilizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico na figura 4 mostra a leitura de um fototransistor em função da dose de entrada. Observa-se que ocorre uma perda de sensibilidade do dispositivo à dose depositada nele e que este comportamento é linear. Existe uma correlação entre a dose e a corrente elétrica do dispositivo sob teste, então, é necessário avaliar se todos os dispositivos seguem a mesma curva e se as curvas têm a mesma inclinação. Esta análise é apresentada na figura 5 e pode ser observado que dois deles (FT01 e FT02) têm praticamente a mesma resposta e o FT03 tem uma sensibilidade diferente à radiação ionizante do feixe empregado. Embora os três dispositivos tenham a mesma corrente de escuro, que foi usada como um parâmetro para considerar a similaridade entre eles, estes resultados mostram que provavelmente existe outro fator que causa este comportamento.

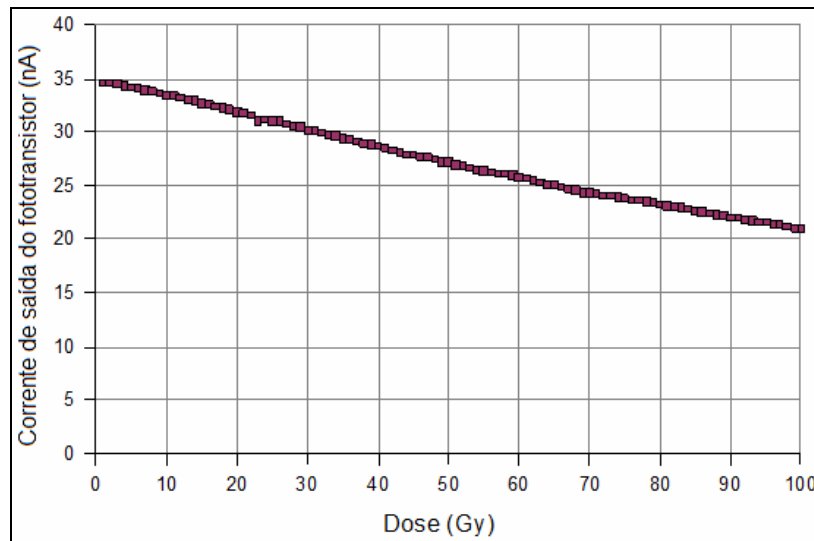


Figura 4: Corrente de saída do fototransistor OP520 quando irradiado com um feixe de fótons de 6 MV gerados por um Linac.

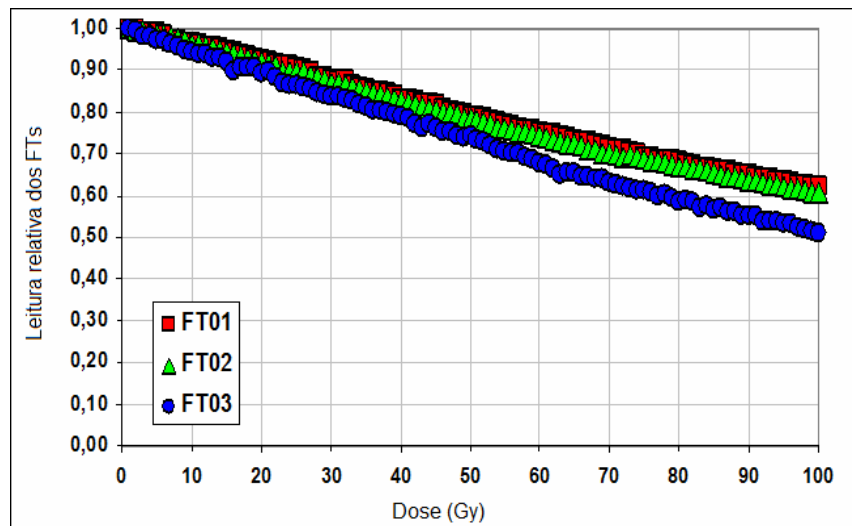


Figura 5: Curvas de resposta relativa de três fototransistores (FTs) com relação à dose para um feixe de fótons de 6 MV.

Estamos estudando se outros parâmetros (como o ganho do fototransistor) influenciam na resposta do FT03 em relação ao FT01 e FT02, mas isto foge do objetivo deste trabalho e ainda não existem muitos resultados para concluir isto. Na verdade, na literatura não existem textos suficientes sobre o comportamento de fototransistores bipolares como detectores de radiação ionizante nas condições propostas neste trabalho.

Um modelo simples é proposto para obter o valor da dose, D , em tempo real:

$$D = k \left(1 - \frac{i}{i_0} \right) \quad (1)$$

Onde i_0 e i são as correntes inicial e final do fototransistor, respectivamente. Para os dois dispositivos que apresentam a mesma resposta (FT01 e FT02), têm-se $k = 250$ e para o FT03, $k = 200$.

4. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que este tipo de dispositivo, fototransistor SMT, pode ser usado como dosímetro se suas respostas forem conhecidas a partir de uma expressão linear simples para fornecer o valor da dose em tempo real.

Este tipo de detector apresenta pequenas dimensões e suas outras características sugerem que seu uso como dosímetro é possível como ferramenta complementar na verificação da dose em radioterapia.

-
1. RIKNER, G.; GRUSELL, E. General specifications for silicon semiconductors for use in radiation dosimetry. *Physics in Medicine and Biology*. 32:1109-1117 (1987).
 2. EHRINGFELD, C.; SCHMID, S.; POLJANC, K.; KIRISITS, C.; AINGINGER, H.; GEORG D. Application of commercial MOSFET detectors for *in vivo* dosimetry in the therapeutic x-ray range from 80 kV to 250 kV. *Physics in Medicine and Biology*. 50:289-303 (2005).
 3. SCALCHI, P.; FRANCESCON, P. Calibration of a MOSFET detection system for 6-MV *in vivo* dosimetry. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*. 40:987-993 (1998).
 4. SANTOS, L. A. P.; SILVA JUNIOR, E. F.; VILELA E. Filtered X-ray beam dosimetry from 10^{-3} to 10^2 Gy dose range by using phototransistors. *Radiation Protection Dosimetry*. 80:145-148 (2002).
 5. SANTOS, L. A. P.; PI0006352-5, *Revista INPI*. 1569 (2001)