

A RADIAÇÃO IONIZANTE REDUZ A EFICIÊNCIA DE UM FOTOTRANSISTOR

Natália Rosa Andrade Lopes¹, Roberto Baginski Batista Santos²

¹ ETEC Lauro Gomes

² Departamento de Física, Centro Universitário FEI
natyandradelopes@gmail.com e rsantos@fei.edu.br

Resumo: Apresentamos neste trabalho de iniciação científica do Ensino Médio os passos que demos para montar um acoplador optoeletrônico usando um LED e um fototransistor comerciais de baixo custo, para irradiar o fototransistor usando uma dose de raios X e para fazer a caracterização elétrica do acoplador determinando a razão de transferência de corrente entre o LED e o fototransistor, o que permitiu avaliar a redução da eficiência deste componente, provocada pela radiação ionizante.

1. Introdução

Transistores bipolares de junção são dispositivos formados por três regiões de semicondutores extrínsecos, chamadas emissor (E), base (B) e coletor (C) [1]. No caso de um transistor bipolar de junção do tipo NPN, o emissor é uma região com dopagem do tipo N, a base possui dopagem do tipo P e o coletor possui dopagem do tipo N [1]. Um transistor bipolar de junção possui duas junções PN, uma entre o emissor e a base e outra entre a base e o coletor. Em cada uma das junções, há uma região de depleção, onde não há portadores de carga livres [1].

Fototransistores são transistores bipolares de junção em que a base é mantida em estado flutuante (floating), isto é, não é polarizada externamente e a injeção de cargas na base é obtida pelo efeito fotoelétrico ao submeter o dispositivo a luz com comprimento de onda entre 400 nm e 1000 nm para o silício em temperatura ambiente. A figura 1 ilustra um fototransistor NPN.

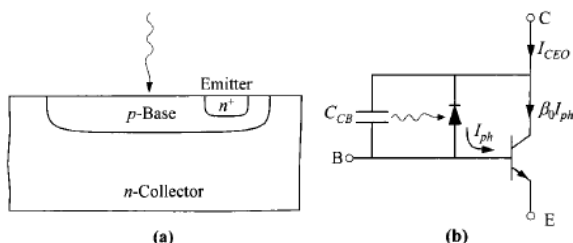


Figura 1. Diagrama de um fototransistor NPN.

Em um fototransistor, a base costuma ser muito grande para aumentar a quantidade de luz que atinge a junção base-coletor e o coletor costuma ser polarizado positivamente em relação ao emissor (regime ativo). As lacunas geradas por efeito fotoelétrico na região de depleção da junção base-coletor são aprisionadas na base [1]. A acumulação destas cargas positivas aumenta o potencial elétrico na base e facilita o fluxo de elétrons do emissor para o coletor, resultando em uma corrente de elétrons grande provocada por uma pequena corrente de lacunas, isto é, a corrente do coletor é proporcional à intensidade da luz que chega à junção base-coletor [1].

A eficiência quântica $\eta = I_C/e\Phi$ é uma grandeza que caracteriza a capacidade que um dispositivo optoeletrônico tem de converter um fluxo de fótons Φ em um fluxo de portadores de carga I_C/e , onde e é a carga elementar e I_C é a corrente do fototransistor.

A radiação ionizante possui grande capacidade de alterar o estado físico de um átomo e causar a perda de elétrons, gerando portadores de carga livres no interior do material [2]. A radiação ionizante pode aparecer como radiação eletromagnética (raios X e raios gama) ou como partículas (elétrons, prótons, partículas alfa ou íons pesados).

Efeitos de dose total ionizante (TID – total ionizing dose) são produzidos em um dispositivo semicondutor irradiado por raios X. Estes efeitos são causados pelo aprisionamento de cargas geradas pela radiação nas regiões de óxido do dispositivo, em que a mobilidade dos portadores de carga é baixa, ou nas regiões de interface, em que a densidade de defeitos e armadilhas para cargas é maior [2].

O aprisionamento de carga elétrica nestas regiões afeta o campo elétrico que age sobre os portadores de carga e modifica a mobilidade destes portadores de carga [2]. Estes efeitos modificam as características elétricas dos dispositivos semicondutores. Radiações como raios X são usadas para estudar este tipo de efeito pois podem ser usadas em taxas de dose controladas. Neste trabalho, apresentamos o estudo dos efeitos de dose total ionizante produzida por raios X sobre um fototransistor comercial de baixo custo sensível ao infravermelho.

2. Metodologia

Montamos um acoplador optoeletrônico simples usando um LED infravermelho TIL32 e um fototransistor TIL78 sensível ao infravermelho. O circuito de testes foi montado em uma protoboard. Chegar na versão final do circuito de testes levou mais tempo do que o planejado inicialmente porque foi preciso aprender muitos detalhes do funcionamento do fototransistor para poder escolher a configuração adequada.

O fototransistor foi montado em uma configuração de coletor comum ou seguidor do emissor (figura 2).

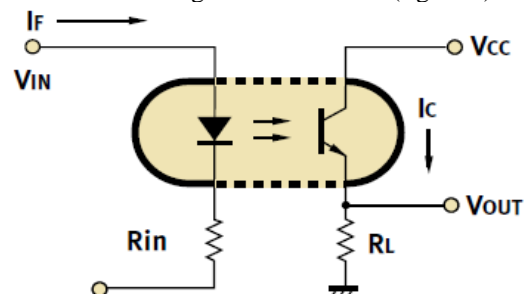


Figura 2. Esquema de um acoplador optoeletrônico com fototransistor na configuração de coletor comum.

Nesta configuração, a saída do fototransistor vai do estado desligado (sem corrente) para o estado ligado (com corrente) quando o infravermelho incide sobre a região sensível do dispositivo. Para fazer o fototransistor operar no modo ativo, com uma resposta proporcional à luz incidente, usamos um resistor de resistência $R_L = 1,0 \text{ k}\Omega$ e tensão DC entre $V_{CC} = 2,5 \text{ V}$ e $V_{CC} = 10,0 \text{ V}$. Desta forma, $V_{CC} > R_L I_C$ mesmo se a corrente I_C chegasse a miliampere. Já o LED foi conectado em série a um resistor de resistência $R_{in} = 220 \Omega$ e alimentado por outra fonte de tensão DC entre $V_{in} = 2,5 \text{ V}$ e $V_{in} = 10,0 \text{ V}$.

O próximo passo foi descobrir um modo de direcionar a luz emitida pelo LED para o fototransistor, de modo que o mesmo conseguisse captar o máximo de luz possível com reprodutibilidade, pois o alinhamento entre o LED e o fototransistor variava muito a cada vez que o fototransistor era removido e colocado de volta em seu lugar. Cortamos um pequeno pedaço de canudo plástico e o usamos como uma guia para garantir que o LED e o fototransistor estavam sempre alinhados da mesma maneira (figura 3).

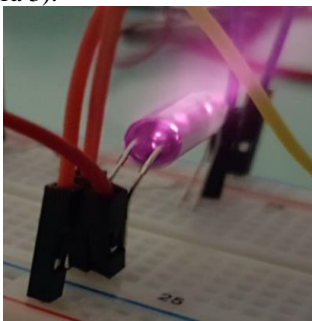


Figura 3. Fotografia do acoplador optoeletrônico mostrando o alinhador feito de canudo plástico.

Foi realizada uma irradiação do fototransistor no difratômetro Shimadzu XRD6100 do Laboratório de Efeitos da Radiação Ionizante (LERI) da FEI. Foi usada corrente de 10 mA, tensão de 20 kV e distância da saída do feixe ao dispositivo de 12 cm com taxa de dose de 26,23 krad/h para raios X de energia efetiva igual a 10 keV. O dispositivo foi irradiado por 2 minutos e 17 segundos e recebeu uma dose de 1,0 krad.



Figura 4. Medidas de corrente dos dispositivos.

Três conjuntos de medidas elétricas foram feitos 3 dias, 10 dias e 31 dias após a irradiação. Quando não estava sendo usado, o fototransistor era mantido desligado

e em temperatura ambiente. Estas medidas foram comparadas com medidas feitas antes da irradiação. A figura 4 mostra a configuração usada para as medidas de corrente, na qual foram usadas duas fontes de tensão DC para que a corrente no LED e a tensão do fototransistor fossem controladas separadamente e mantidas nos mesmos níveis usados antes da irradiação

3. Resultados

Para avaliar os efeitos da radiação ionizante sobre o fototransistor, adotamos como figura de mérito a razão de transferência de corrente CTR (Current Transfer Ratio) que é definida como

$$CTR = I_C / I_F \quad 1$$

e que é a razão entre a corrente do I_C do fototransistor e a corrente I_F do LED. A CTR é uma medida proporcional à eficiência quântica η porque o fluxo de fótons Φ gerado pelo LED é proporcional à corrente I_F do LED.

A tabela I mostra a CTR medida antes da irradiação ($CTR_{pré}$) e 31 dias após a irradiação (CTR_{31}), para três valores diferentes de tensão de alimentação.

Tabela I. Razão de transferência de corrente antes da irradiação e 31 dias após a irradiação

V/V	$CTR_{pré} \times 10^3$	$CTR_{31} \times 10^3$	%CTR
2,5	2,821	2,316	-17,9
5,0	5,135	4,074	-20,7
10,0	9,360	8,163	-12,8

Analisando os valores da tabela I, podemos observar que a razão de transferência de corrente é degradada pelos efeitos da radiação ionizante. Isso significa que a radiação reduz a eficiência da conversão de fótons em portadores de carga no fototransistor.

4. Conclusões

Durante a iniciação científica, conseguimos montar um acoplador optoeletrônico simples usando um LED e um fototransistor comerciais de baixo custo. Fizemos a caracterização elétrica do sistema, obtendo a razão de transferência de corrente. Irradiamos o fototransistor usando uma dose de raios X e conseguimos observar a degradação da razão de transferência de corrente do acoplados optoeletrônico, causada pela redução da eficiência quântica do fototransistor.

5. Referências

- [1] S. M. Sze, K. K. Ng, Physics of Semiconductor Devices. 3.ed. Wiley, 2007.
- [2] J. R. Schwank et al., IEEE Transactions on Nuclear Science 55, 1833 (2008).

Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI pelo uso das instalações e dos equipamentos usados para a irradiação e a realização das medidas elétricas, ao aluno Felipe Barros (FEI) pela orientação e auxílio durante a irradiação e à ETEC Lauro Gomes pela oportunidade de participar de uma iniciação científica em parceria com a FEI com apoio do CNPq.

¹ Aluna de IC – Ensino Médio do CNPq. Projeto com vigência de 04/2017 a 07/2018.