

FUNCIONAMENTO E APLICABILIDADE DO FOTODIODO NA ENGENHARIA BIOMÉDICA

W. A. D. Strasse¹,
S. F. Pichorim²,
P. Nohama³

Abstract. Photodiode is a semiconductor electronic device that converts light into electrical current. The purpose of a photoelectric sensor is to convert a light signal (light or shadow) into an electrical signal that can be processed by an electronic circuit. In the absence of light, the photodiode conducts the electric current in a single direction, presenting a very high electrical resistance in the opposite direction. When the light strikes the junction, the resistance in the opposite direction to the normal flow drops abruptly, which allows a flow of current in both directions. Photodiodes respond very quickly to variations in light, enabling the most diverse applications in the industry for this type of electronic component. The semiconductor photodiodes are used in the development of biomedical equipment for radiotherapy, radiography, oximeters, ultrasound, magnetic resonance, thermographic cameras, lasers equipment, among others. It is concluded that the photodiodes operate according to the principle that photons focusing on a semiconductor junction release charge carriers that make it possible to use this energy for health treatments and diagnosis.

Keywords — Photodiode, Biomedical instrumentation, biomedical sensor.

Resumo — O Fotodiodo é um dispositivo eletrônico semicondutor que converte luz em corrente elétrica. A finalidade de um sensor sensor fotoelétrico é converter um sinal luminoso (luz ou sombra) num sinal elétrico que possa ser processado por um circuito eletrônico. Na ausência de luz, o fotodiodo conduz a corrente elétrica num único sentido, apresentando uma resistência elétrica muito elevada no sentido oposto. Quando a luz incide na junção, a resistência no sentido oposto ao fluxo normal cai abruptamente, o que permite um fluxo de corrente nos dois sentidos. Os fotodiodos respondem muito rapidamente às variações de luz, possibilitando as mais diversas aplicações na indústria para esse tipo de componente eletrônico. Os fotodiodos semicondutores são empregados no desenvolvimento de equipamentos biomédicos de radioterapia, radiografia, oxímetros, ultrassom, ressonância magnética, câmeras termográficas, equipamentos a lasers entre outros. Conclui-se que os fotodiodos operam segundo o princípio de que fótons incidindo sobre um junção semicondutora liberam portadores de carga que possibilitam empregar esta energia para tratamentos e diagnósticos em saúde.

Palavras-chave — Fotodiodo, Instrumentação Biomédica, Sensor Biomédico.

1 Doutoranda na Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, Curitiba, Brasil
2 Professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, Curitiba, Brasil
3 Professor na Pontifícia Universidade Católica do Paraná PUCPR, Curitiba, Brasil

INTRODUÇÃO

O Fotodiodo é um dispositivo eletrônico semiconductor também denominado diodo de junção ou fotodetector que converte luz em corrente elétrica, de acordo com a representação gráfica da Figura 1 e na representação física do sensor na Figura 2.

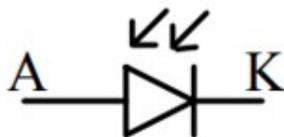


Figura 1: Representação gráfica de um fotodiodo



Figura 2: Fotodiodo

São sensíveis a energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica ou cinética e correlacionam com a grandeza física a ser avaliada [1]. A finalidade de um sensor fotoelétrico é converter um sinal luminoso (luz ou sombra) num sinal elétrico que possa ser processado por um circuito eletrônico [2], conforme a representação de um circuito elétrico equivalente demonstrado na Figura 3.

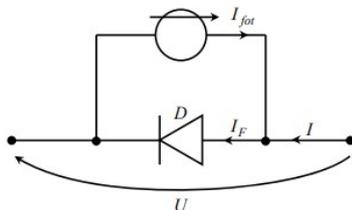


Figura 3: Circuito elétrico equivalente de um fotodiodo.

O fotodiodo tipo junção PN é a forma mais simples e usual de um dispositivo semiconductor. É constituído por em dois blocos de silício dopados com impurezas doadoras ou aceitadoras de elétrons, quando ocorre a formação junção PN, há um gradiente de concentração cruzando a junção resultante, de forma que os portadores majoritários (partículas de carga) são difundidos através da mesma, isto é, por exemplo, elétrons são difundidos do material tipo n para o material tipo p, estabelecendo uma região de depleção [2];[3]. O fotodiodo é um diodo de junção construído de forma especial, de modo a possibilitar a utilização da luz como fator determinante no controle da corrente elétrica. Quando a junção é inversamente polarizada, na ausência de luz incidente na mesma, a corrente é praticamente nula.

O fotodiodo é um diodo de junção construído de forma especial, de modo a possibilitar a utilização da luz como fator determinante no controle da corrente elétrica. Quando a junção é inversamente polarizada, na ausência de luz incidente na mesma, a corrente é praticamente nula.

O feixe de luz incidente na junção tem efeito semelhante ao da corrente de base em um transistor convencional, Quando a luz incide exatamente na junção, a resposta do fotodiodo é maior, reduzindo-se rapidamente de cada lado da junção, à medida que se afasta dela. Os fotodiodos respondem muito rapidamente às variações de luz. Respostas a centenas de megahertz são possíveis, possibilitando as mais diversas aplicações para esse componente[1];[4].

CARACTERÍSTICAS

Em se considerando um fotodiodo ideal, a corrente reversa é independente da tensão reversa, sendo que essa corrente é proporcional somente a taxa de geração óptica conforme demonstrado na Figura 4, onde pode ser observado que quanto maior a intensidade de radiação incidente, maior é a fotocorrente reversa, varia linearmente com o fluxo luminoso [5].

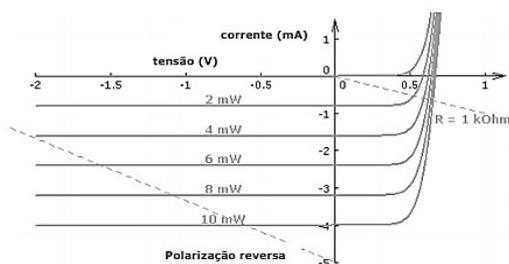


Figura 4: Curva característica ou curva VI de um fotodiodo ideal – A corrente no sentido inverso, modifica-se com a incidência da luz.

Os foto-diodos podem ser usados tanto no modo foto-condutivo como foto-voltaico. O princípio de funcionamento é simples de se entender: Quando luz incide numa junção semicondutora, portadores de carga são liberados. Nessas condições temos a manifestação de dois fenômenos que podem ser utilizados na prática. Na ausência de luz, o fotodiodo conduz a corrente elétrica num único sentido, apresentando uma resistência elétrica muito elevada no sentido oposto. Quando a luz incide na junção, a resistência no sentido oposto ao fluxo normal cai abruptamente, o que permite um fluxo de corrente nos dois sentidos.

Um deles é que a resistência no sentido inverso da junção iluminada diminui e o outro é que aparece uma tensão no dispositivo. Se o sensor aproveitar a variação da resistência inversa com a luz no modo de operação, dizemos que ele opera no modo foto-condutivo [1]. Se ele aproveitar a tensão gerada com a luz, dizemos que ele opera no modo foto-voltaico.

a) Sensibilidade

Sensibilidade de um sensor fotoelétrico nos diz de que modo a grandeza associada em sua saída varia com a intensidade de luz que incide nesse sensor.

De uma forma geral, a maioria dos sensores usados nas aplicações eletrônicas são extremamente sensíveis no sentido de que basta apenas um fóton para que já possamos ter uma variação sensível da grandeza associada.

O aproveitamento dessa sensibilidade, na maioria dos casos vai depender muito mais da sensibilidade do circuito usado no processamento dos sinais desse sensor [1].

b) Resposta Espectral

Diferentemente do olho humano, a maioria dos sensores fotoelétricos podem "ver" muito mais do que os nossos olhos. Em outras palavras, esses sensores em sua maioria podem perceber tanto radiação infravermelha como ultravioleta [1].

c) Velocidade

Em muitas aplicações os sensores devem detectar variações muito rápidas de luz (ou sombra), como no caso da leitura de código de barras, controles de velocidade de máquinas, encoders ópticos, links por fibra óptica e outras aplicações. Nem todos os sensores existentes podem responder a essas variações rápidas ou modulação das fontes de luz. No entanto, para os sensores lentos existem aplicações importantes como àquelas que exigem o manuseio de correntes intensas no controle de automatismos baseados em luz e sombra, etc. [1].

APLICAÇÕES NA ENGENHARIA BIOMÉDICA

A Engenharia Biomédica é um área de conhecimento científico que utiliza saberes de física, fisiologia, eletrônica (analógica e/ou digital), programação em linguagem de alto nível (desenvolvimento de instrumentação virtual), processamento digital de sinais, e desenvolvimento de equipamentos e sensores biomédicos [6]

Atualmente o desenvolvimento tecnológico está permitindo diagnósticos cada vez mais precisos e com maior rapidez, proporcionando ao paciente segurança e bem-estar com exames menos invasivos.

Inúmeras são as contribuições dos componentes eletrônicos no avanço da Engenharia Biomédica no auxílio de diagnósticos mais precisos por meio de equipamentos médicos hospitalares desenvolvidos com alta tecnologia. Semicondutores são empregados no desenvolvimento desses equipamentos, como por exemplo: equipamentos de radioterapia, radiografia, oxímetros, ultrassom, ressonância magnética, câmeras termográficas, equipamentos a lasers entre outros.

O Fotodiodo também é usado em: mísseis guiados por laser, alarmes, comunicação óptica através do ar, sistemas automotivos de anticollisão, radares ópticos, alinhamentos a laser, sistemas de controle e receptor em sistemas de fibra óptica [7].

Dentre estas tecnologias na área da saúde destaca-se a Termografia Médica pode ser utilizada para investigar uma ampla variedade de condições clínicas [8] e possui uma elevada especificidade diagnóstica [9]. Devido à sua capacidade de captação de imagem, a seleção de regiões de interesse (ROIs) permite uma avaliação da distribuição de temperatura da pele humana em diferentes áreas, que podem ser analisadas simultaneamente [10].

Outra vantagem é a portabilidade das câmeras que podem ser usadas em diversas condições e locais [11]. Dentre elas, estudos metabólicos, avaliações de condições inflamatórias e avaliação de dores e traumas [12], acupuntura [13], distúrbios neurológicos [14], [15], reumatológicas, musculares, doenças vasculares, patologias urológicas, ginecológicas, ortopédicas, medicina dentária [16], na área dermatofuncional [17], assim como monitorar lesões ósseas [18]; [19], avaliar a

Revista Kur'yt'yba - 2020

síndrome fibromiálgica [20]), estudo de prevenção de úlcera por pressão [21], lesões do sistema musculoesquelético [22]; [23], prevenindo processos inflamatórios [24] utilizada como método de apoio ao diagnóstico de lesão muscular em atletas [9];[2] e medicina esportiva [15], método complementar no apoio à avaliação pericial para definição de capacidade ou incapacidade para o trabalho [25], avaliação em perícias de doentes com fibromialgia [16], e ainda tratando-se de um método capaz de localizar e quantificar objetivamente reações inflamatórias do sistema musculoesquelético [12].

Outra importante aplicabilidade na Engenharia Biomédica são os equipamentos oxímetros de pulso que dependem do vermelho e de LEDs infravermelhos e um fotodiodo para medir a transmitância entre tecidos e estimar a saturação funcional de oxigênio.

Atualmente, estudos estão sendo feitos para o desenvolvimento de oxímetros de pulso de múltiplos comprimentos de onda para aumentar a precisão diagnóstica [27]. O oxímetro de pulso mede a saturação de oxigênio no sangue, e usualmente o parâmetro é indicado como %SpO₂ ou %SaO₂ (oximetria dupla).

O oxímetro de pulso é um método não invasivo que pode ser usado em ambiente clínico[28]. Aplicando-se luz com diferente comprimento de onda numa parte do paciente (geralmente a ponta dos dedos ou lóbulo da orelha), a relação entre a quantidade de desoxihemoglobina e oxihemoglobina pode ser obtida usando um fotodiodo como transdutor. O fotodiodo é um elemento que converte a intensidade luminosa em um nível de tensão [29];[30].

Um oxímetro de pulso utiliza um LED vermelho com comprimento de onda de 660nm e um LED infra-vermelho com comprimento de onda de 910nm. Esses comprimentos de onda são usados porque a hemoglobina desoxigenada tem uma alta absorção em torno de 660nm e a hemoglobina oxigenada em 910nm. Geralmente o dedo é colocado entre a fonte luminosa (LED vermelho e infravermelho) e um transdutor (fotodiodo) conforme demonstrado nas Figuras 4 e 5.



Figura 4: Oxímetro de pulso portátil de dedo.
Fonte: Adaptado de Richar Ademir Marques



Figura 5: Oxímetro de pulso portátil de pulso
Fonte: Adaptado de Richard Ademir Marques

Revista Kur'yt'yba - 2020

O oxímetro pode ser dividido em um bloco analógico, onde os sinais analógicos são amplificados e amostrados para a conversão em um sinal digital, e um bloco a ser implementado em software, onde o sinal digital é processado. A figura 6 abaixo demonstra o diagrama de blocos do oxímetro de pulso.

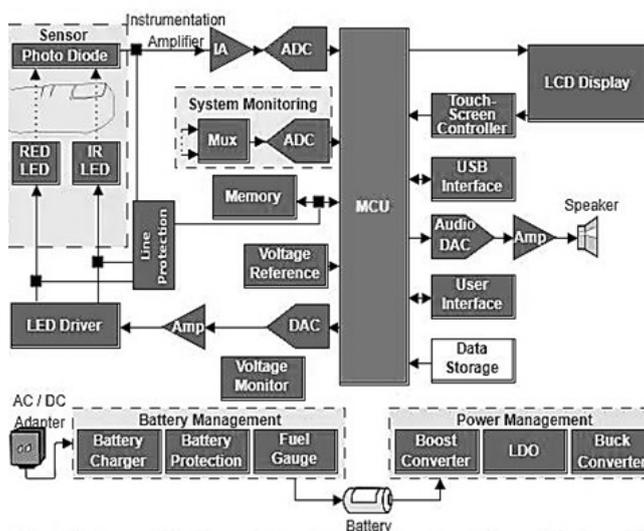


Figura 6: Diagrama de blocos do oxímetro de pulso.

A oximetria de pulso tem sido amplamente utilizada no seguimento hospitalar, graças a tecnologia do microprocessador projetado para a melhoria do sensor do paciente e algoritmos de processamento de dados. Beneficiando praticamente todo tipo de pacientes, aplicada em anestesia geral, unidades de cuidado intensivo (UTI, berçário), transporte (interno e externo (ambulância, aéreo), laboratório de diagnóstico, homecare, avaliação de fluxo sanguíneo, parada cardiopulmonar, asma, ressonância magnética entre outras utilizações.

CONCLUSÃO

Por meio desta pesquisa pode-se concluir, que o fotodiodo tem grande aplicação nos sistemas de comunicação de dados por meio luminoso, por se tratar de um excelente conversor de luz em sinal elétrico.

A tecnologia oferecida pela eletrônica aplicada à medicina tem se tornado cada vez mais importante no cuidado com os pacientes. Paralelamente tem aumentado as possibilidades de diagnóstico não invasivo, tratamento e melhora da qualidade de vida dos mesmos.

O investimento em pesquisas que integrem a ação microscópica da eletrônica com os princípios de fisiologia humana e os princípios da fotônica são relevantes como novas tecnologias em saúde.

Dessa forma possibilitando avanços no desenvolvimento de equipamentos pela Engenharia Biomédica bem como o processamento cada vez adequado dos sinais biológicos pelos fotosensores e transdutores.

REFERÊNCIAS

1. WENDLING, Marcelo. Sensores. **Universidade Estadual Paulista. São Paulo**, v. 2010, p. 20, 2010.
2. NCB. Instituto Newton Braga. Acesso em: 23 abr. 2018.<http://www.newtonbraga.com.br/>
3. ACERBI, Fabio et al. Transfer-Gate Region Optimization and Pinned-Photodiode Shaping for High-Speed TOF Applications. In: **International Image Sensor Workshop (IISW-2017)**. 2017. p. 145-148.
4. FERREIRA, Pietro Maris. **Instrumentação de Sensores de Imagem IR InGaAs PIN QWIP em Modo de Corrente**. 2008. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.
5. Paschotta, R. Disponível em: <http://www.rp-photonics.com/photodiodes.html>. [Acessado em 26/04/2018]
6. DOS SANTOS, Israel Schimitz et al. DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE EMISSOR-RECEPTOR INFRAVERMELHO PARA APLICAÇÃO DA TÉCNICA FNIR. **Cippus**, v. 2, n. 2, p. 65-77, 2013.
7. Sensor Fotodiodo. Acesso em: 23 abr. 2018.<http://www.eletrica.ufpr.edu/sensores>.
8. WEBB, S. The physics of medical imaging. Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1988.
9. BANDEIRA, F.; NOHAMA, P.; MOURA, M. A. M. D.; NEVES, E. B. A termografia no apoio ao diagnóstico de lesão muscular no esporte. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.20, p.59-64, 2014.
10. GERRETT, Nicola; OUZZAHRA, Yacine; REDORTIER, Bernard; VOELCKER, Thomas; HAVENITH, George. Female thermal sensitivity to hot and cold during rest and exercise. *Physiology & behavior*, v. 152, p. 11-19, 2015. ISSN 0031-9384.
11. HILDEBRANDT, Carolin; RASCHNER, Christian; AMMER, Kurt. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*, v. 10, n. 5, p. 4700-4715, 2010.
12. BRIOSCHI, M. L.; YENG, L. T.; PASTOR, E. M. H.; TEIXEIRA, M. J. Utilização da imagem infravermelha em reumatologia. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v. 47, p. 42-51, 2007.
13. FREIRE, F. C.; BRIOSCHI, M. L.; NEVES, E. B. Avaliação dos Efeitos da Acupuntura no IG4 (Hégu) por Termografia de Infravermelho. *Pan American Journal of Medical Thermology*, v. 2, n. 2, p. 63-69, 2015.
14. DOS SANTOS, E. B. et al. Risco de Acidente Vascular Encefálico: avaliação pela termografia cutânea por radiação infravermelha. *Pan American Journal of Medical Thermology*, v. 1, n. 1, p. 23-30, 2014.
15. CÔRTE, A. C. R.; HERNANDEZ, A. J. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 22, n. 4, p. 315-319, 2016.

Revista Kur'yt'yba - 2020

16. LOURENÇO, R. C. B. O uso da imagiologia por termografia em medicina dentária – Revisão bibliográfica. 2016. 32 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Dentária) - Universidade Fernando Pessoa, Faculdade Ciências da Saúde, Porto, 2016.
17. COSTA, R. F. de A. et al. Comparação da termografia cutânea após aplicação da massagem modeladora, endermoterapia e eletrolipólise. *ConScientiae Saúde*, v. 15, n. 2, 2016.
18. NÓBREGA, F. S. Avaliação da interação biológica entre polímero de poliuretana de mamona acrescido de carbonato de cálcio e tecido ósseo de equinos. 2014. 156f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-graduação em Clínica-Cirúrgica Veterinária, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, 2014.
19. RING, E. F.; AMMER, K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement*, v. 33, n. 3, p. R33-R46, 2012.
20. BRIOSCHI, M. L. et al. Modulação da Dor na Síndrome Fibromiálgica: um Distúrbio Termo regulatório? *Pan American Journal of Medical Thermology*, v. 1, n. 2, p. 71-80, 2015a.
21. ITAKURA, D. A. Alterações térmicas na região sacral com diferentes colchões utilizados na prevenção de úlceras por pressão. 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Saúde) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2012.
22. BALBINOT, L. F. Termografia computadorizada na identificação de trigger points miofasciais. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências do movimento humano - biomecânica, Santa Catarina: UDESC, Florianópolis, 2006.
23. BANDEIRA, F.; MOURA, M. A. M.; SOUZA, M. A.; NOHAMA, P.; NEVES, E. B. Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.18, n.4, p. 246-251, 2012.
24. BRIOSCHI, M. L.; YENG, L. T.; PASTOR, E. M. H.; TEIXEIRA, M. J. Utilização da imagem infravermelha em reumatologia. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v. 47, p. 42-51, 2007.
25. BRIOSCHI, M. L. et al. Examen de termometría cutánea infrarroja en la evaluación del pie diabético. *Revista Podologia*, Campinas, v. 1, n. 30, p. 4-21, 2010.
26. BRIOSCHI, M. et al. Índice termográfico em perícias de pacientes com fibromialgia. *Associação Brasileira de Termologia*, p.1, 2015b.
27. Steven J. Barker, Phd., M.D., Jeremy Curry, M. D., Daniel Redford, M.D., Scott Morgan, B.S., "Measurement of Carboxyhemoglobin by pulse oximetry": A Human Volunteer Study. *Anesthesiology* 2006;105(5): 892-897.
28. WEBSTER, Jonh G. Design of Pulse Oximeters. 1 ed. Taylor & Francis Group, 1997. 260 p. MOORE, James; ZOURIDAKIS, George. Biomedical Technology and Devices. 1 ed. CRC Press LLC, 2003. 860 p.
29. J.P. Welch, R. DeCesare, D.H. Hess, Pulse oximetry: Instrumentation and clinical application, *Respiratory Care* 35 (6) (1990).