

ESTUDO DO SUBSTRATO KAPTON NA PERFORMANCE DE TERMOPILHAS
DE FILMES FINOS

JOAO FRANCISCO ESCOBEDO*
JOSE MARIO D. DE MELO**
SERGIO CARLOS ZILIO***

* DEPTO. DE FISICA E BIOFISICA - UNESP - BOTUCATU - SP

** POS-GRADUACAO - ENERGIA NA AGRICULTURA - UNESP - BOTUCATU

*** INSTITUTO DE FISICA E QUIMICA DE SAO CARLOS - USP - S. CARLOS

RESUMO

Termopilhas de filmes finos preto/branco de configuração disco concêntrico ($\phi = 25$ mm), contendo 36 termopares de bismuto/antimônio foram elaboradas em quatro (4) substratos de Kapton (filme de poliimida): 200 MT ($e=50\mu\text{m}$); 200 HN ($e=50\mu\text{m}$); 100HN ($e=25\mu\text{m}$) e 50HN ($e=12,5\mu\text{m}$). As termopilhas instaladas em radiômetros solares foram submetidas a testes experimentais a nível de campo, determinando-se: a sensibilidade de resposta e constante de tempo. Os resultados obtidos confirmaram a dependência entre sensibilidade de resposta e constante de tempo: a termopilha em substrato de Kapton 200 MT apresentou maior velocidade de resposta e a termopilha em HN maior na sensibilidade. Entre termopilhas de substratos Kapton HN, a sensibilidade de resposta cresceu em função do decrescimento da capacidade térmica, enquanto, a constante de tempo ocorreu o inverso.

Para uso na radiometria solar, os substratos de Kapton apresentaram

resultados dentro dos limites estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia, estando portanto apropriados a serem utilizados como substratos de termopilhas de filmes finos, umas com maiores velocidade e outras melhores para sensibilidade de resposta.

INTRODUÇÃO

Quando um fluxo de radiação do tipo periódico $\phi(\omega) = \phi_0 \exp[j\omega t]$ incide no absorvedor de uma termopilha de capacidade térmica $H(\text{J/K})$ e condutância térmica $K(\text{W/K})$ para a fonte fria na temperatura ambiente, o aumento de temperatura ΔT calculado através do balanço de energia é dado por: /1,2/

$$\Delta T = \Delta T_0 \cdot \exp[-(K/H)t] + \theta_0 \cdot \exp[j\omega t] / [K + j\omega H] \dots\dots\dots 1$$

O primeiro termo da equação é a parte transiente do aquecimento e quando o tempo aumenta este termo decresce exponencialmente tendendo a zero. Assim

ele pode ser eliminado sem nenhuma perda na variação de temperatura ΔT . Assumindo que ϵ é a emissividade do absorvedor, podemos escrever que a variação de temperatura ΔT devido ao fluxo de radiação incidente é:

$$\Delta T = \epsilon \phi_0 \exp [j\omega t] / [K + j\omega H] \dots\dots\dots 2$$

tomando o módulo da expressão temos que:

$$\Delta T = \epsilon \phi_0 / K \cdot [1 + \omega^2 (H/K)^2]^{1/2} \dots\dots\dots 3$$

A relação (H/K) possui dimensão de tempo e é denominada constante de tempo (τ). Como $1/e$ é aproximadamente igual a 0.368 a constante de tempo fica definida como o tempo necessário para que a milivoltagem gerada alcance 0.632 vezes o seu valor de equilíbrio. Este parâmetro determina a velocidade de resposta do sensor ou instrumento que dele faz uso. Se a condutância térmica for elevada, a termopilha responderá rapidamente (constante de tempo baixa). Se contudo, a termopilha possuir grande capacidade térmica (H), sua resposta temporal será lenta (constante de tempo elevada). Com

$$\tau = H/K \dots\dots\dots 4$$

a equação (3) pode ser escrita como:

$$\Delta T = \epsilon \phi_0 / K \cdot [1 + \omega^2 \tau^2]^{1/2} \dots\dots\dots 5$$

Se N for o número de termopares e α a constante termoelétrica (V/C) dos dois metais da termopilha, de acordo com o princípio de Seebeck a tensão gerada é proporcional a variação de temperatura ΔT é dada por:

$$\Delta V = N \alpha \Delta T \dots\dots\dots 6$$

Substituindo (5) em (6) temos que:

$$\Delta V = N \alpha \phi_0 \epsilon / K \cdot [1 + \omega^2 \tau^2]^{1/2} \dots\dots\dots 7$$

A relação $\Delta V/\phi_0$ é denominada responsividade (R) e define a amplitude do sinal gerado em Volts por Watts da potência radiante incidente. Para frequências de resposta muito baixa, o produto $\omega \tau$ é muito menor que 1, ou $\omega \tau \ll 1$ de forma que a equação 6 pode ser expressa por:

$$R = \frac{N \alpha \epsilon}{K} \dots\dots\dots 8$$

Termopilhas de baixa condutividade térmica e elevados número de termopares, constante termoelétrica, emissividade, geram alta responsividade. Nestas condições a equação (4) nos mostra que temos uma limitação prática na performance pois a termopilha terá uma constante de tempo elevada.

Assim sendo, de acordo com as equações (4) e (8) a escolha de parâmetros para uma termopilha de aplicação específica consiste basicamente em selecionar adequadamente o número de termopares, tipos dos metais, capacidade e condutividade térmica do absorvedor. Para alguns tipos de aplicações é interessante termos responsividade elevada e baixa constante de tempo, e outras aplicações o contrário como os radiômetros solares. Por evaporação dos metais é possível selecionar os parâmetros citados /3/. Em trabalhos anteriores /4, 5/ obtivemos termopilhas com 36 e 60 termopares de bismuto/antimônio em substratos de vidro, kapton, acrílico e mylar, e os resultados mostraram que o Kapton é o que melhor se adaptou em termos de sensibilidade, constante de tempo Considerando que

atualmente existem disponíveis no mercado vários tipos de Kapton, cada qual com propriedades de capacidade e condutividade térmica diferentes, objetivou-se no presente trabalho estudar a performance de quatro tipos de Kapton, visando otimizar as características operacionais das termopilhas para uso específico na radiometria solar.

DESCRIÇÃO DAS TERMOPIILHAS

As termopilhas neste trabalho possuem as seguintes especificações: tipo disco-concêntrico; diâmetro $\phi = 25\text{mm}$; número de termopares 36; par metálico bismuto/antimônio $\alpha = 109\mu\text{V}/\text{C}$ e espessura de filme fino 3000 Å. A figura (1) mostra em detalhe o esquema completo da termopilha. É composta do extrator de calor (alumínio anodizado), absorvedor térmico (revestimento absorvedor preto fosco e refletor esmalte branco), substrato (Kapton) e circuito de termopares. Nesta configuração (preto/branco) o circuito de termopares está posicionado na face inferior do substrato, tendo na face superior o absorvedor preto/branco ordenadamente depositado na forma de discos: preto fosco na bateria de junções ativas e branco refletor nas junções passivas. O substrato está centrado no extrator e prensado por um anel externo ficando totalmente esticado, livre de rugosidade semelhante a um tamborim.

Quatro substratos de Kapton foram utilizados para depósitos do circuito de termopares: KAPTON 200MT; KAPTON 200 HN; KAPTON 100HN e KAPTON 50HN. A diferença entre os dois primeiros está na condutividade térmica: $K(\text{MT}) = 0,34 \text{ W/mK}$ e $K(\text{HN}) = 0,12 \text{ W/mK}$, enquanto entre os tipos HN a diferença está na capacidade térmica (espessuras de 50 μm , 25 μm , 12,5 μm , respectivamente). As termopilhas foram

elaboradas conforme metodologia desenvolvida por Escobedo /3/. Foi utilizada para produção de filmes finos uma evaporadora BALZER BAK 600 do I.F.Q.S.C./USP/SÃO CARLOS.

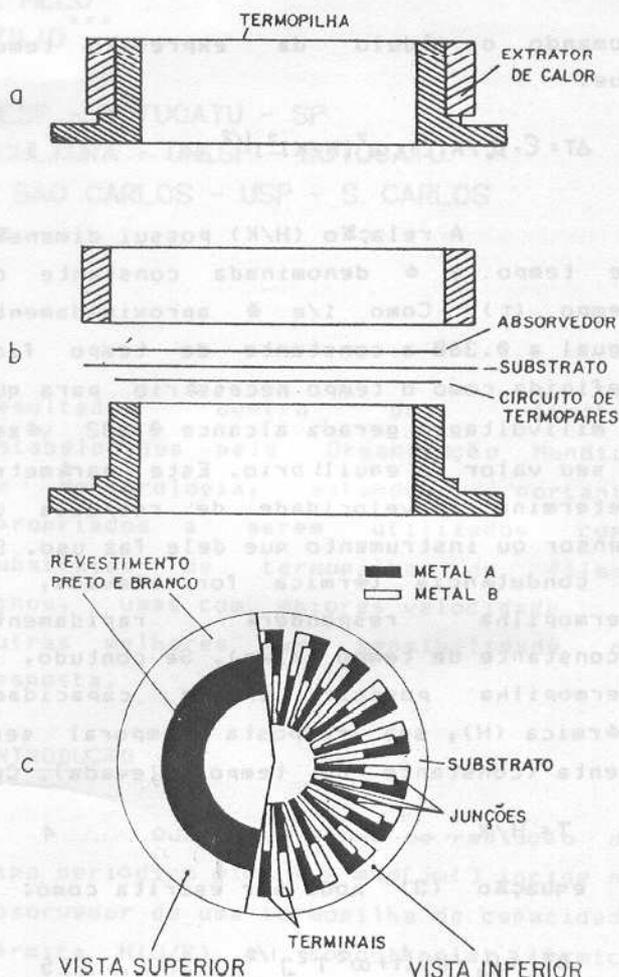


Figura (1) - a) esquema da Termopilha disco-concêntrico; b) vista explodida; c) vista superior e inferior.

CALIBRAÇÃO

A calibração foi realizada a nível de campo-luz solar, determinando-se a sensibilidade de resposta e constante de tempo. Nos testes comparativos para

obtenção da sensibilidade as termopilhas foram posicionadas lado a lado, (tomando-se como referência termopilha da KIPP-ZONEN), e os sinais gerados foram registrados simultaneamente para mesma intensidade solar. Na determinação da constante de tempo as termopilhas foram submetidas a estímulos de luz que produziram curvas de aquecimento e quando cessados os estímulos, curvas de resfriamento. Utilizamos para aquisição dos dados nos multímetros 4.1/2 dígitos e registradores potenciométrico.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras a seguir mostram os resultados obtidos com as quatro (4) termopilhas. Na figura (2) estão representadas as curvas de respostas das termopilhas de mesma capacidade térmica e condutividade térmica diferentes, ou seja, substratos 200MT e 200HN, para um mesmo estímulo de luz. Na figura (3) estão representadas as curvas de respostas das termopilhas de mesma condutividade térmica e capacidade térmica diferentes, ou seja, substratos 200HN, 100HN e 50HN. Em ambas figuras, no eixo das coordenadas encontram-se as milivoltagens geradas pelas termopilhas e no eixo das abcissas o tempo decorrido em segundos.

Calculando para cada curva das figuras (2) e (3), a constante de tempo (τ), e sensibilidade de resposta (S_i) usando a constante de calibração do KIPP-ZONEN $S_i = 13,04 \times 10^{-6} \text{ Vm}^2/\text{W}$ temos os resultados no quadro 1.

Os dados apresentados no quadro para constante de tempo e sensibilidade confirmam as previsões das equações (4) e (8). A constante de tempo decresceu no sentido da menor capacidade térmica para o substrato HN e para o Kapton de maior

condutividade térmica. O melhor valor atingido - 2,5s, foi alcançado pelos dois tipos de Kapton - o de maior condutividade térmica e o de menor capacidade térmica, mostrando certa compensação entre as duas propriedades. A sensibilidade de resposta foi crescente no sentido da menor capacidade térmica e maior condutividade térmica. Numericamente, qualquer dos tipos

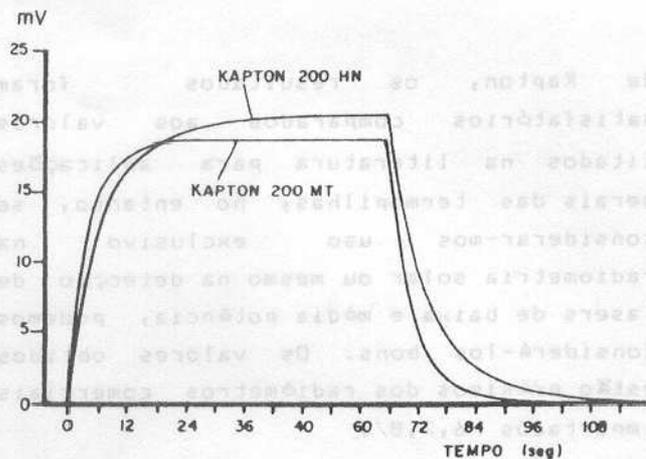


Figura (2) Curvas de respostas das termopilhas em substratos de Kapton 200HN e 200MT para um mesmo estímulo luminoso.

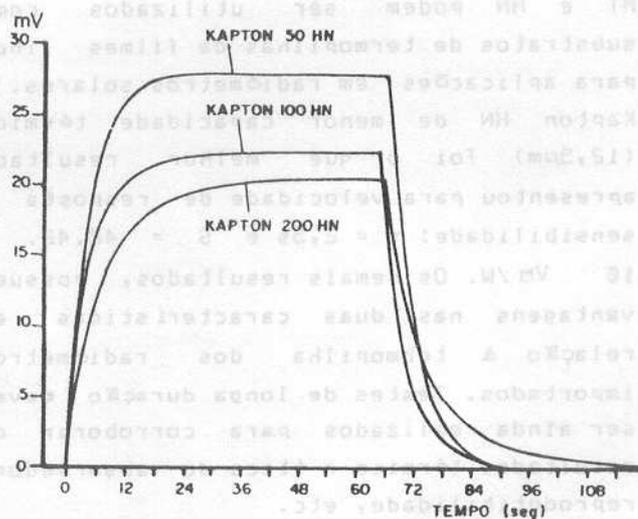


Figura (3) Curva de resposta das termopilhas em substratos de Kapton HN nas espessuras de 50 µm e 12,5 µm para o mesmo estímulo luminoso.

| Termopilha | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Substrato | KAPTON 200MT | KAPTON 200HN | KAPTON 100HN | KAPTON 50HN |
| espessura | $e=50\mu\text{m}$ | $e=50\mu\text{m}$ | $e=25\mu\text{m}$ | $e=12,5\mu\text{m}$ |
| $S(\text{Vm}^2/\text{w})$ | $29,8 \times 10^{-6}$ | $34,9 \times 10^{-6}$ | $36,6 \times 10^{-6}$ | $42,4 \times 10^{-6}$ |
| $\tau(\text{s})$ | 2,50 | 3,60 | 2,95 | 2,50 |

Quadro I - Sensibilidade de resposta (Vm^2/W) e constante de tempo (s)

de Kapton, os resultados foram satisfatórios comparados aos valores citados na literatura para aplicações gerais das termopilhas, no entanto, se considerarmos uso exclusivo na radiometria solar ou mesmo na detecção de lasers de baixa e média potência, podemos considerá-los bons. Os valores obtidos estão próximos dos radiômetros comerciais importados /6,7,8/.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos podemos concluir que: o Kapton dos tipos MT e HN podem ser utilizados como substratos de termopilhas de filmes finos para aplicações em radiômetros solares. O Kapton HN de menor capacidade térmica ($12,5\mu\text{m}$) foi o que melhor resultado apresentou para velocidade de resposta e sensibilidade: $\tau = 2,5\text{s}$ e $S = 42,42 \times 10^{-6} \text{Vm}^2/\text{W}$. Os demais resultados, possuem vantagens nas duas características em relação à termopilha dos radiômetros importados. Testes de longa duração devem ser ainda realizados para corroborar os resultados térmica e ótica do absorvedor, reprodutibilidade, etc.

AGRADECIMENTOS - FAPESP (91/388370); FUNDUNESP (388/91) CNPq (302 624/8870); A. A. Martins, J. C. Dmodei e E. T. Silva pelo auxílio financeiro e técnicos do trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. BUDDÉ, W. Physical detectors of optical radiation. Orlando: Academic Press 1983.
2. DERENIAK, E. L., CROWE, D.G. Optical radiation detectors New York: John Wiley - Sons 1984.
3. ESCOBEDO, J.F. Refrigeração com uso de energia solar. São Carlos: USP, 1987, 195p. Tese (Doutorado em Ciências Física Aplicada) - I.F.Q.S.C. USP. 1987.
4. ESCOBEDO J.F., PASSOS, E.F., VIEIRA A.C. Construção de termopilhas para radiômetros solares. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS TÉRMICAS. 2, 1988. Águas de Lindóia. Anais.... Águas de Lindóia S.B.E.M. 1988p. 113-116.
5. ESCOBEDO, J.F.; LAGE, G., MARTINS, A.A. Termopilhas Preto/branco de Filmes Finos e aplicação em piranômetro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS TÉRMICAS. 3 ITAPEMA. Anais ITAPEMA S.B.E.M. 1990p. 469-474.
6. COULSON, N. SOLAR AND TERRESTRIAL RADIATION: methods and measurements London: Academic Press. 1975.
7. ROBINSON, N. Solar Radiation. Amsterdam. Elsevier, 1966.
8. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Measurement of radiation and sunshine. In: Guide to Meteorological instruments and observing practices. 2 ed. Geneve. 1985.