

DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DE TRANSDUTORES TÉRMICOS PARA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ÓPTICA

Tiago Gonçalves Faria¹, Megaron Zanforlin Amparo², Leandro Procópio Alves³,
Viviane Pilla⁴, Egberto Munin⁵

^{1,2} Graduação em Engenharia Aeroespacial
Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, FEAU
UNIVAP - São José dos Campos – SP – Brasil

^{3,4,5} Laboratório de Biofotônica e Óptica não linear
Laboratório de Biosensores
IP&D Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento
UNIVAP - São José dos Campos – SP – Brasil

tiago_gfaria@hotmail.com, leandro@univap.br, vpilla@univap.br, munin@univap.br

Resumo- O sensor térmico que utiliza termopares associados (termopilha) transforma calor em sinais elétricos. Este sensor é utilizado para medir a potência de diversos tipos de lasers; o mesmo utiliza um transdutor feito de um disco de grafite, no qual são soldados os termopares. O objetivo deste trabalho é estabelecer um procedimento de fabricação para o transdutor utilizado em medidores de potência de luz. Para isso foram construídas pastilhas de grafite fabricadas por prensagem a frio a partir do pó. A solda metal grafite exige tecnologia específica nem sempre disponível nos laboratórios. Foi então iniciado o estudo de um transdutor híbrido metal-grafite, o qual permitiria o uso de solda metal-metal dos termopares, mais facilmente executável. Devido à fácil disponibilidade, bem como propriedades mecânicas e térmicas favoráveis decidiu-se utilizar a liga estanho-chumbo junto ao grafite. A pastilha foi fabricada e houve sucesso da solda dos termopares na pastilha. Os parâmetros usados para fabricação dos discos de grafite e dos discos híbridos metal-grafite, bem como os resultados obtidos, são apresentados no trabalho.

Palavras-chave: Sensor térmico, grafite, termopar, medidor de potência óptica, estanho

Área de conhecimento: Engenharia

Introdução

Um termopar é um dispositivo eletrônico que converte energia térmica em energia elétrica. A associação de termopares em séries ou em paralelo é chamada de termopilhas. As termopilhas são utilizadas quando um único termopar não gera o rendimento desejado. A associação em série de termopares aumenta a diferença de potencial fornecida pelo conjunto, permitindo a medida de diferenças de temperaturas muito pequenas. Um transdutor comercial de disco de grafite, com 17 termopares em série, pode apresentar sensibilidade da ordem de 500 μ W na medida de potência de luz.

O transdutor a termopilhas absorve a radiação incidente de um laser e a transforma em calor. A diferença entre a temperatura medida e a ambiente é convertida num sinal elétrico pelo conjunto de termopares. A temperatura ambiente de referência é geralmente tomada a partir de uma massa metálica com boa inércia térmica. Sensores térmicos são ideais para medidas da potência de lasers de ondas contínuas, para média de potência em lasers pulsados e para o total de energia de uma série de pulsos ou um único pulso.

Esses tipos de sensores trabalham num amplo alcance espectral (200nm a 20 μ m). Eles têm uma resposta espacial uniforme e não são afetadas com a mudança do tamanho, posição ou uniformidade do feixe. No sensor há uma pastilha composta de grafite puro que recebe a radiação. O grafite é um dos alótropos do carbono. Ao contrário do diamante (outro alótropo do carbono) ele é um condutor elétrico. Essas características se devem à organização dos átomos da substância. Com seu aspecto enegrecido característico, se aproxima do absorvedor óptico perfeito, aliado a propriedades térmicas e mecânicas favoráveis à aplicação alvo deste estudo.

Este trabalho tem como objetivo a fabricação, por prensagem a frio, de uma pastilha para ser utilizada como transdutor em medidores de potência de luz.

Materiais e Métodos

Para fabricação da pastilha, foi utilizado grafite em pó do tipo lubrificante, facilmente encontrado em chaveiros. A massa de grafite foi pesada com uma balança da marca Mettler Toledo, modelo AG245, com resolução de 0,1mg. A prensa

utilizada foi da marca Perkin Elmer, com capacidade de 15 toneladas, mostrada na Figura 1. A incerteza da leitura no manômetro da prensa é de 0,5 tonelada (metade da menor divisão).



Figura 1: Prensa utilizada na prensagem a frio dos materiais para fabricação das pastilhas. Capacidade: 15 toneladas.

Após vários testes nos quais a pastilha prensada se apresentava frágil, com propriedades mecânicas inadequadas, foi adotado um período de secagem do grafite numa estufa à 100°C para remoção de umidade. Foi utilizada uma estufa Fanem, modelo Orion 515, com significativo incremento na qualidade da pastilha fabricada. Outra mudança de processo que foi adotada com resultados positivos foi a utilização da técnica de prensagem a vácuo, recurso disponível no pastilhador utilizado. Assim foram obtidas pastilhas com porosidade reduzida, diâmetro de 13mm e espessura dependente da quantidade de material prensado.

O termopar utilizado foi do tipo E (Cromo/Constantan), com elevado potencial termoelétrico comparativamente a outros tipos de termopares, sendo assim muito conveniente para detectar pequenas variações de temperatura (4). Os termopares foram adquiridos junto a Omega Engineering, Inc., com diâmetro de 0.005 polegadas, ou seja, 127µm.

Para realizar a solda dos termopares aos discos fabricados, foi utilizada uma máquina de solda a ponto da marca Kernit, modelo Pontomatic (Figura 2). Não houve sucesso na soldagem dos

termopares diretamente ao grafite com o instrumento de solda utilizado. Como solução, foi proposta a fabricação de uma pastilha híbrida metal-grafite, na qual os termopares poderiam ser soldados na face metálica da pastilha. A decisão sobre qual metal seria utilizado para a fabricação da pastilha híbrida junto com o grafite foi tomada a partir de pesquisa sobre características dos metais, analisando sua condutividade térmica, capacidade calorífica, calor específico, propriedades mecânicas favoráveis para prensagem, dentre outras, e também a fácil disponibilidade comercial. Após esta análise, o metal escolhido foi o estanho.



Figura 2: Máquina de solda a ponto utilizada para soldagem dos termopares à pastilha fabricada.

Para realização dos testes utilizamos uma liga de estanho e chumbo (Sn/Pb) do tipo utilizado para soldagem de componentes eletrônicos da marca Cobix, sendo sua composição 63% estanho e 37% chumbo. Os testes iniciais de prensagem da liga estanho-chumbo, sem o grafite, apresentaram bons resultados, o que permitiu avançar para a fabricação da pastilha híbrida.

Para a fabricação da pastilha híbrida, primeiramente o grafite em pó foi prensado obtendo-se uma pastilha de grafite. Em uma segunda etapa, o estanho foi prensado sobre a pastilha pré-formada de grafite. Como resultado, obteve-se uma pastilha uniforme com uma face de grafite, adequada para absorção da luz a ser medida, e com uma face metálica, adequada para a solda dos termopares. Foram observados melhores resultados quando a liga estanho-chumbo foi submetida ao processo de fusão com um ferro de solda previamente à prensagem. A fusão prévia permite separar da liga os aditivos que favorecem a soldagem de dispositivos eletrônicos, mas que para a presente aplicação funcionam como impureza e atrapalham a adesão grafite-metal.

Após o sucesso na fabricação da pastilha híbrida, iniciou-se o processo de solda dos termopares na pastilha. A solda dos termopares foi

realizada com sucesso no lado metálico da pastilha.

Resultados

Foram realizados variados testes de fabricação de pastilhas com grafite somente, empregando diferentes massas de grafite, com ou sem secagem prévia na estufa, com prensagens feitas a vácuo ou não, diferentes pressões na prensagem e diferentes tempos de prensagem [5]. A tabela 1 sintetiza os resultados dos testes realizados.

A amostra 7A foi obtida com maior sucesso e utilizada nos procedimentos seguintes. A figura 3 mostra a pastilha 4A, a qual está estável, porém visualmente com maior porosidade superficial. A figura 4 mostra a pastilha 7A, estável e homogênea. Nestas pastilhas de grafite puro não foi possível soldar os termopares utilizando o instrumento de solda a ponto disponível, fato que conduziu ao desenvolvimento das pastilhas híbridas.

A tabela 2 sintetiza os testes de prensagem da liga estanho-chumbo.



Figura 3 - Amostra 4A. Pastilha de grafite prensada com 10ton por 10min, sem vácuo. Espessura: 400 µm.



Figura 4 - Amostra 7A Pastilha de grafite prensada com 15 ton por 10min, com vácuo. Espessura: 500 µm.

Tabela 1 – Resultados obtidos na fabricação de pastilhas de grafite

Amostra	Massa de Grafite (mg)	Pressão/Tempo (ton/min)	Espessura da pastilha (µm)	Condição Mecânica da pastilha	Superfície da pastilha	Uso da Estufa (°C/min)	Uso de Vácuo
1A	110	5/5	300	danificada	-	-	-
2A	182	7/5	600	estável	heterogênea	-	-
3A	182	10/10	600	estável	heterogênea	-	-
4A	110	10/10	400	frágil	heterogênea	-	-
5A	110	10/10	400	frágil	heterogênea	100/20	-
6A	183	10/10	600	estável	homogênea	100/20	sim
7A	155	15/10	500	estável	homogênea	100/30	sim

Tabela 2 – Resultados obtidos na fabricação de pastilhas de liga estanho-chumbo.

Amostra	Massa da Liga (mg)	Pressão / Tempo (ton/min)	Espessura da pastilha (µm)	Condição Mecânica da pastilha	Superfície da pastilha	Uso de Vácuo
1B	132	10/10	200	danificada	-	sim
2B	182	10/10	300	estável	homogênea	sim
3B	196	5/5	300	danificada	-	-
4B	270	10/5	500	danificada	-	-

Na figura 5 temos a imagem da pastilha 2B, estável e homogênea; as manchas escuras são devidas aos aditivos presentes na liga, necessários para o processo de soldagem de componentes eletrônicos, mas indesejáveis para a presente aplicação.

Após os testes isolados com os materiais descritos nas tabelas 1 e 2, i.e liga metálica ou grafite, foram feitos os testes para a fabricação da pastilha híbrida, a qual foi fabricada da seguinte forma: primeiro a pastilha de grafite foi feita,

segundo os padrões da amostra 7A e, posteriormente, o estanho foi prensado sobre a pastilha de grafite.

Com a pastilha híbrida pronta, a solda dos termopares foi feita com sucesso na face metálica, utilizando o equipamento de solda – a - ponto mostrado na figura 2. A figura 6 mostra alguns termopares já soldados na pastilha.



Figura 5 – Amostra 2B. Pastilha da liga estanho-chumbo



Figura 6 – Pastilha híbrida com termopares soldados. Vista do lado metálico.

Discussão

A tabela 3 mostra o calor específico e a densidade para alguns materiais tomados para efeito de comparação. Na terceira coluna desta tabela está a quantidade de calor Q necessária para elevar a temperatura de uma pastilha com as dimensões fabricadas neste trabalho, i.e. 13mm de diâmetro e uma espessura de referência de 100 μm . Para estes cálculos foram utilizadas as equações básicas da termologia [6]:

$$Q = mc\Delta T = \rho Vc\Delta T \quad (1)$$

onde m é a massa, c é calor específico, ρ é a densidade, V é o volume e ΔT é a variação de temperatura

Tabela 3. Calor específico c e densidade ρ para alguns materiais de interesse. Q é a quantidade de energia estimada para elevar a temperatura de uma pastilha em 1 K.

	c (kJ/kg.K)	ρ (10^3 Kg/m ³)	Q (mJ)
Grafite (Carbono)	0,71	1,8	17
Estanho	0,21	7,3	20
Chumbo	0,13	11,3	19
Alumínio	0,91	2,7	32
Cobre	0,39	8,9	45
Ouro	0,13	19,3	33

Pode-se notar na tabela que os valores de energia necessários para elevar em 1°C a temperatura de uma pastilha com as dimensões já citadas são bastante próximos. Pastilhas de metal puro não seriam adequadas para um transdutor cujo desempenho depende da absorção de luz, pois os metais têm alto coeficiente de reflexão. Entretanto, o recobrimento do metal com grafite devolve ao dispositivo sua capacidade de absorção da energia luminosa a ser medida. Desta forma, as pastilhas híbridas desenvolvidas neste trabalho têm grande potencial para aplicações tecnológicas. Neste trabalho foi aplicada, por técnica de prensagem a frio, uma camada metálica sobre uma pastilha de grafite previamente fabricada. Uma técnica alternativa de fabricação seria fazer deposição a vácuo (*sputtering*) de grafite sobre uma pastilha metálica, o que permitiria a fabricação de pastilhas mais finas e com maior sensibilidade.

Conclusão

No presente trabalho, foi desenvolvida com sucesso uma pastilha híbrida grafite-metal para uso como elemento transdutor em medidores de potência de luz. A adição de uma camada metálica permite o uso de tecnologias de soldagem mais simples para anexação dos termopares à pastilha, já que a solda do termopar diretamente ao grafite exige técnicas de solda mais elaboradas.

Referências

- Thermopile - From Wikipedia, the free encyclopedia (<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermopile>)
- Introduction to Laser Beam and Spectral Measurement, Cap 43.4 ; Fundamentals of Power and Energy Measurement ; Catalog Melles Griot The Practical Application of Light V.10 (2007)
- Tipos e Propriedades do Grafite (<http://www.grafite.com/grafite.htm#type>)
- Tipos de Termopares ; CONSISTEC Soluções em Temperatura (<http://www.consistec.com.br/paginas/informacoestecnicas/termopares/tipos.html>)
- CAVALHEIRO, A.C.V. Construção, Estudo Analítico e Aplicação Físico-Química do Eletrodo Pt|Hg|Hg₂C₂O₄|Grafite, em Meio Aquoso de NaClO₄ e NaNO₃ 2001. Dissertação (Mestrado em Química), Instituto de Química da UNESP.
- HALLIDAY, D. ; RESNICK R. ; WALKER J. Fundamentals of Physics Extended. 4 ed. , 1993