

Estudo de materiais de interface térmica baseados em grafeno

Palavras-Chave: GRAFENO, INTERFACE TÉRMICA, FILMES FINOS CONDUTORES

Autores:

Luis Felipe Brentegani [UNICAMP]

Prof. Dr. Stanislav Mochkalev (orientador) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

A dissipação do calor produzido durante o funcionamento de vários equipamentos elétricos e eletrônicos se torna uma necessidade fundamental com processo contínuo de diminuição de tamanhos dos dispositivos. Recentemente, apareceu uma nova demanda que está crescendo rapidamente, para aplicação de materiais condutores de calor em interfaces térmicas das luminárias públicas de alta potência fabricadas com LEDs (*Light Emitting Diodes*). Estes dispositivos sofrem as consequências de degradação causada pelo aquecimento durante o uso. Para evitar a degradação e perda de potência, são utilizados materiais de interface térmica na forma de placas finas flexíveis que ficam entre o substrato do LED e a placa de dissipadora de calor. A principal tarefa das placas de interface térmica é conduzir calor na direção vertical, proporcionando alta condutividade térmica do material (pelo menos, $k_{\perp} \cong 5 - 10 \text{ W/m.K}$) e baixa resistência de contatos térmicos com superfícies de placas de metal. Os novos materiais compósitos baseados em

nanomateriais gráfiticos são caracterizados por alta condutividade térmica e boa conformidade em contatos com superfícies rugosas de metais e podem ser utilizados com sucesso nestas aplicações. Apesar disso, tais materiais são rígidos e inflexíveis, e, portanto, somente materiais compósitos com ligantes orgânicos líquidos utilizando formas nanoestruturadas dos materiais gráfiticos permitem fabricar pastas, filmes ou placas flexíveis combinando ao mesmo tempo a condutividade térmica bastante alta e baixa resistência dos contatos térmicos com superfícies de metais.

A partir dos valores de variação de temperatura pelo tempo das extremidades das amostras obtidos em ensaios experimentais, é possível calcular o valor de condutividade térmica k a partir da equação de Fourier (para ensaios em vácuo e/ou de curta duração), onde Q é o valor de calor fornecido à amostra, A é a área de secção transversal, l é o comprimento da amostra e ΔT é a variação de temperatura entre os extremos da amostra. Além disso, para o cálculo da condutividade térmica em ensaios

de maior duração, utilizamos também a equação de difusividade térmica α , sendo a densidade da amostra ρ conhecida e c calculada a partir das proporções de cada componente da amostra.

Equação 1

$$Q = \frac{k A \Delta T}{l}$$

Equação 2

$$\alpha = \frac{k}{\rho c}$$

Nessa etapa do projeto, investigamos a viabilidade de três diferentes técnicas para obtenção dos parâmetros necessários para medidas térmicas e nos aprofundamos em um dos métodos, de medida indireta, com processamento de imagem e reconhecimento de caracteres; técnica esta que apresentou resultados promissores.

METODOLOGIA:

A primeira etapa do projeto consistiu no estudo dos fenômenos de condução térmica no vácuo e no ar, nas propriedades físicas teóricas do nanografite e como consegui-las de forma adequada.

Foram realizados testes experimentais iniciais de forma manual com o uso de dois termopares (um em cada extremidade da amostra), cronômetro e um hot plate (responsável pelo aquecimento de um dos lados dos filmes) em amostras controle de condução térmica já conhecida, como o cobre.

Os primeiros resultados foram coerentes com o esperado, obtendo valores de condutividade térmica de 355 W/m.K (valor bulk: 401 W/m.K, [Wikipédia, 2022]) para as amostras de cobre, isto é, na ordem de

grandeza esperada, e valores de 4 a 10 W/m.K para amostras com porcentagens de grafite variadas, que foram analisadas em ambiente de vácuo.

Apesar da simplicidade dos testes iniciais, notou-se que o uso de termopares e multímetros é uma estratégia viável no caminho para a criação do processo experimental almejado, que ainda não é bem consolidado por ser uma área de pesquisa muito recente.

Foram estudados três métodos automatizados que viabilizassem a realização de muitas medidas de forma repetida, rápida e precisa, necessidade atual no ramo da pesquisa experimental para estar na vanguarda das tecnologias.

Os métodos estudados foram:

- **Eletrônica + Arduino.** O uso da plataforma de prototipagem Arduino, juntamente com amplificadores operacionais para amplificar o sinal produzido pelos termopares do tipo K, com coeficiente de Seebeck de 40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, até valores na faixa sensível do Arduino, armazenando e processando os dados coletados em software.
- **OCR + Python.** O uso de gravações em vídeo da variação dos valores de tensão do termopar no lado não excitado da amostra, extraindo a resposta térmica da amostra a partir do processamento de cada frame do vídeo, em linguagem python, com o uso de filtragem e processamento de imagem da biblioteca opencv e da teoria de OCR (*Optical Character*

Recognition) para extração dos valores de um display específico.

- **Multímetro Keithley.** O uso do multímetro Keithley, cuja sensibilidade é da ordem de microvolts, possibilita a captação de variações de um quarto de grau celsius. A extração temporal das amostras era um desafio pois o dispositivo não tinha uma interface de comunicação serial.

De todos os métodos estudados, o método com uso de eletrônica se mostrou ineficiente devido à altas sensibilidade à ruídos eletromagnéticos presentes no laboratório, gerando grande imprecisão na coleta dos dados, como mostrado na figura 1.

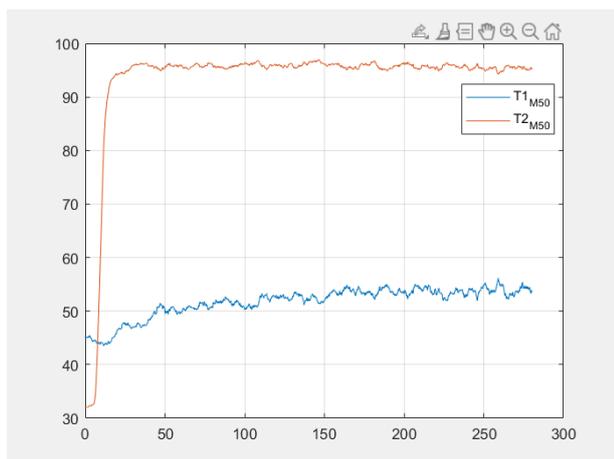


Figura 1 – Coleta de dados com a primeira metodologia. No eixo horizontal temos o tempo decorrido (s) e no eixo vertical a temperatura (°C) da amostra, sendo azul a extremidade teste e vermelho a extremidade de aquecida.

Em contrapartida, o método de reconhecimento de caracteres por processamento de imagem somado ao uso de multímetros de maior precisão se mostrou promissor para os testes rápidos, conseguindo precisão e poucas divergências nos resultados, como mostrado nas figuras 2 e 3.

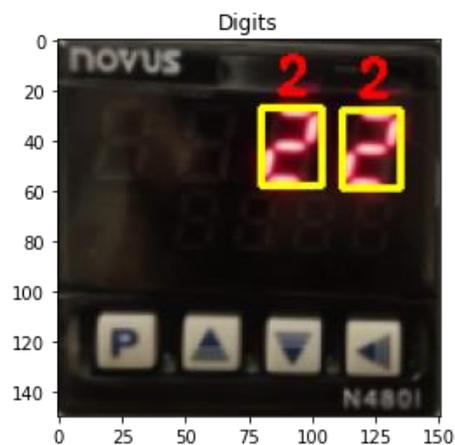


Figura 2 – Exemplo do processamento de imagem em um display de sete segmentos com baixa precisão.

Para este método são gravados vídeos com a câmera fixada em frente ao display desejado durante o experimento; de cada vídeo, são extraídos frames com taxa definida pelo usuário que são processados e geram vetores com os valores comportamentais da variação temperatura sentida pelos sensores termopares da amostra.

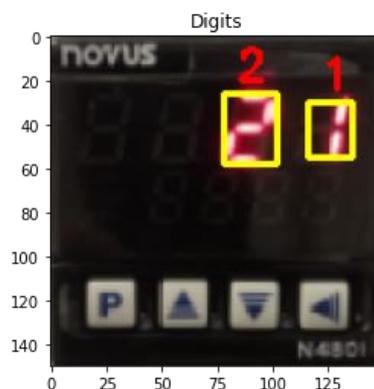


Figura 3 – Segundo exemplo do processamento de imagem para display de sete segmentos com baixa precisão.

A extração dos valores de temperatura via OCR foi mais simples para o display de sete segmentos que em comparação ao display do multímetro Keithley, cuja principal dificuldade enfrentada foi a detecção das bordas do display, necessária para o reconhecimento de caracteres em seu conteúdo. Apesar disso, foi possível a detecção das bordas do display por filtragens

na imagem. Um exemplo do uso desta técnica em um frame, para detecção das bordas do display, é mostrado na figura 4 onde se pode perceber claramente os vértices de suas extremidades.

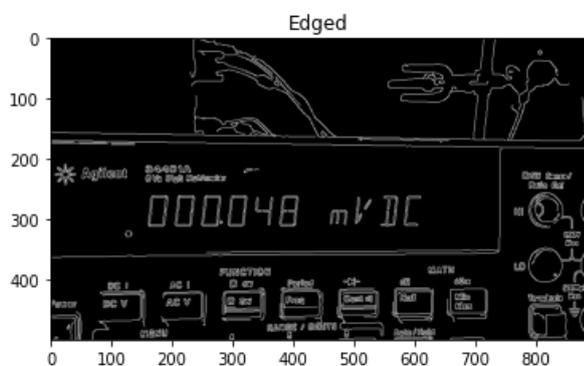


Figura 4 – Exemplo da filtragem de um frame para reconhecimento de borda do display do multímetro de precisão.

Além desta metodologia para a realização de testes, também foi necessária uma preparação prévia das amostras para melhorar o contato com as interfaces metálicas de aquecimento. Esta parte foi realizada com uso de um pistão pneumático que aplica um peso de até 100 quilogramas em 2 centímetros de diâmetro, mostrado em ação na figura 5.



Figura 5 - Representação do acionamento do pistão (ao centro do dispositivo)

Este pistão será acionado por um botão de gás comprimido e pode ter sua força de acionamento variada, sendo utilizado durante os testes para garantir a maximização e/ou uniformização da área de contato entre as interfaces dissipadoras de calor (representadas na figura por duas barras metálicas) e as amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados de condutividade térmica obtidos para as amostras estiveram na faixa de 5 a 10 W/m.K com realização dos testes experimentais em ambiente com perdas, antes da implementação do uso do pistão hidráulico – responsável por atenuar a diferença dos resultados devido à variação da área de contato entre as medidas. Pode-se notar que os resultados são promissores, pouco abaixo do que o esperado e podendo ser melhorados com a implementação desta próxima etapa.

Vale ressaltar que devido ao fato de a área de pesquisa ainda estar em ascensão, o aprofundamento nas diferentes metodologias de experimentação fez-se necessário e o uso da técnica de reconhecimento de caracteres por processamento de imagem somado ao uso de multímetros de alta sensibilidade aparenta ser uma boa estratégia para a realização de medidas rápidas.

Além disso, esta solução apresenta um custo muito inferior que a aquisição de equipamentos mais modernos com interface de comunicação – possibilitando coleta de dados em tempo real – e pode impulsionar a

realização de pesquisas experimentais em laboratórios repasses de verba mais restritos.

Uma otimização do processo experimental através de *OCR* poderia ser realizada utilizando algoritmos de *Deep Learning*, possibilitando o reconhecimento de uma maior gama de displays e topologias de números, em situações mais diversas de iluminação e posicionamento da câmera.

Na atual implementação é utilizada a estratégia de mapeamento de sete regiões de cada enquadramento de dígito, mostrando boa performance em display de 7 segmentos, mas havendo probabilidade de erros em caso de algum tipo de reflexão na tela do display.

CONCLUSÕES:

A metodologia de experimentação para o estudo de materiais compósitos gráfiticos de interface térmica a partir de *OCR* é uma estratégia promissora e pode proporcionar medidas rápidas e precisas, tão necessárias para avanço contínuo em áreas experimentais de pesquisa.

Além disso, os resultados preliminares de condutividade térmica dos filmes flexíveis destes compósitos indicam que estes podem ser bons substitutos aos produtos do mercado tradicional, com as vantagens de serem feitos a partir do grafite – material abundante, de fácil acesso e baixo custo no Brasil.

BIBLIOGRAFIA:

AI-HARTOMY, Oscar. **Influence of grafite nanosheets on the structure and properties of pvc-based nanocomposites.**

Journal of Applied Polymer Science, 2011

CHUNG, D. **A review of exfoliated grafite.**

Journal of Materials Science, 2016

KEOSONG HU, D. C. **Flexible grafite modified by carbono black paste for use as a termal interface material.** Carbon, 2011

NISTA, S. V. G. **Thin film conductive composites based on graphite nanoplatelets for heating applications.**

Symposium on Microelectronics Technology and Devices (SBMicro), 2019

WIKIPÉDIA. **Condutividade térmica.**

Wikipédia, a enciclopédia livre, 2022.