

Análise das Propriedades Químicas e Físicas para Revestimentos de Silicone Aplicados em Placas Modulares de LED

Lucas Lopes Mendes¹, Milena Jacques Moraes¹, Douglas Alexandre Simon^{1*}

*Orientador

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) - *Campus Farroupilha*.

Palavras-chave: Conformal coating; Painéis de LED; Silicone.

Introdução

As placas de circuito impresso (PCBs) frequentemente enfrentam problemas de falhas devido à corrosão de seus componentes, sendo essa questão especialmente comum nas terminações de componentes usados em montagem em superfície (SMD) [1]. Para lidar com esse desafio, existe o conceito de "*conformal coating*", que é um tipo de revestimento composto por uma camada fina – com espessura variando de 25 a 200 μm – e é empregado com o propósito de proteger as placas eletrônicas contra fatores agressivos presentes no ambiente. Esses fatores podem incluir esforços mecânicos, descargas elétricas, reações químicas adversas, estresse térmico, contato com solventes e outros agentes [2].

Em diversas situações, uma falha no circuito pode resultar na inutilização do dispositivo, o que por sua vez reduz sua vida útil e se torna um risco significativo em equipamentos críticos [2]. Uma das abordagens mais frequentemente adotadas para aplicar o "*conformal coating*" é a utilização de revestimentos de silicone, os quais apresentam uma propriedade de bloquear contaminantes indesejados [3]. Essas características demonstram sua importância substancial nas PCBs direcionadas ao segmento de *Light Emitting Diode* (LED).

A seleção da técnica de cura mais adequada desempenha um papel crucial na eficiência e confiabilidade do processo. Um amplo espectro de métodos de cura está disponível, englobando opções como a cura térmica, cura por umidade e cura por exposição à luz [2]. Pesquisas recentes apontam que a adoção do método de cura por UV pode resultar em uma redução significativa, chegando a 90%, nas emissões de gases de efeito estufa, quando comparado ao processo tradicional de cura térmica [4].

As placas de LED destinadas a painéis eletrônicos veiculares apresentam características e requisitos distintos em comparação com seu uso convencional. Realizar uma análise minuciosa do revestimento e compreender seu desempenho pode notavelmente aprimorar a qualidade do produto final. Essa abordagem visa satisfazer uma ampla gama de demandas por parte dos clientes, os quais, por sua vez, poderão proporcionar serviços mais eficazes à população, uma vez que esses dispositivos desempenham um papel crucial na mobilidade urbana.

Porém, os sistemas de encapsulamento de LED e as soluções empregadas para a gestão térmica, bem como os revestimentos isolantes e de proteção, frequentemente demonstram uma limitada capacidade de resistência às condições climáticas adversas e ao desgaste prematuro [6]. A utilização de revestimentos isolantes de alto desempenho pode ter um impacto significativo na extensão da vida útil dos dispositivos eletrônicos. Contudo, devido à variação na qualidade dos revestimentos isolantes disponíveis no mercado e às particularidades inerentes aos circuitos eletrônicos, a eficácia dessa proteção pode ser comprometida [7].

A propriedade de hidrofobicidade tem sido alvo de grande interesse por parte de pesquisadores, sendo explorada com entusiasmo. Essa característica atrativa tem despertado a atenção em diversos setores, como o automotivo, a indústria têxtil e os dispositivos ópticos [8]. A exposição à umidade resulta em modificações nos componentes, assim como nos resíduos presentes na superfície das placas PCB. Essas alterações acabam por desencadear o processo de corrosão [9].

Desta forma, o propósito deste estudo é realizar uma caracterização minuciosa de um revestimento de "*conformal coating*" à base de silicone, com o objetivo de avaliar sua eficácia quando empregado em placas SMD de LED utilizadas em luminosos automotivos. Esse exame estará centrado na capacidade do revestimento de proporcionar proteção contra a exposição à água. Além disso, serão conduzidas análises espectroscópicas do "*conformal coating*" após a cura, bem como a determinação do perfil de degradação térmica.

Materiais e métodos

A resina polimérica PDMS utilizada neste estudo é o silicone (Dowsil 1-2620, Dow Corning, EUA), que possui um mecanismo de cura dupla. Este revestimento é inflamável, e

durante a sua aplicação, é necessário o uso de solvente para diluição. Entre as propriedades fornecidas pelo fabricante, destacam-se a sua temperatura de transição vítrea (T_g) de 127°C , uma temperatura de uso contínuo de até 250°C , uma tensão superficial de $21,5 \text{ (mN/m)}$ e uma taxa de permeabilidade de $36.000 \text{ (P H}_2\text{O)}$.

Para preparar os corpos de prova, o revestimento foi aplicado por pulverização em placas retangulares de $195 \times 208\text{mm}$, com um espaçamento de 13mm entre LEDs, visando análises microscópicas e de hidrofobicidade. Além disso, amostras foram produzidas depositando o revestimento em filme de teflon, permitindo sua remoção posterior para avaliação pós-cura do silicone. A cura, em ambos casos, foi realizada em forno de convecção a temperatura de 60°C por 20 min .

No teste de hidrofobicidade, a formato de uma gota de água destilada sobre a superfície revestida ou não revestida de uma placa SMD foi fotografada usando uma Lupa Leica M205C, com aumento de 10 vezes. A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foi realizada na faixa de $600 \text{ a } 4000 \text{ cm}^{-1}$ usando um espectroscópio de reflexão total atenuado (FTIR-ATR) da Perkin Elmer, modelo Frontier. As características dos picos obtidos foram comparadas com a literatura.

A análise termogravimétrica (TGA) foi conduzida para avaliar a taxa de decomposição e o resíduo final do silicone após queima em atmosfera inerte. Utilizamos o equipamento TGA 4000 da Perkin Elmer, seguindo a norma ASTM D3850. As amostras foram aquecidas de 30°C a 900°C a uma taxa de 20°C/min sob atmosfera de nitrogênio.

Resultados e discussão

Espectroscopia infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), é uma técnica amplamente utilizada para caracterizar silicões e obter informações sobre sua estrutura [10]. O espectro da amostra é apresentado na Figura 1 e demonstra pico na região entre $1000 \text{ e } 1200 \text{ cm}^{-1}$, associado a ligações siloxano (Si-O-Si). Em torno de $1260\text{-}1460 \text{ cm}^{-1}$ outra banda é destacada, relacionada às vibrações das ligações C-H dos grupos metil. O pico de $1600 \text{ a } 1660 \text{ cm}^{-1}$ pode pertencer aos grupos vinil (C_2H_3), relacionada a cura da resina [9-10].

No entanto, uma análise detalhada dos picos espectrais FTIR da amostra indica que existe uma distinção de valores quando comparados com outros revestimentos. As intensidades de banda observadas são proporcionais à quantidade de material constituinte

disponível, isso pode ser explicado por customização que cada fabricante aplica ao seu produto, [10].

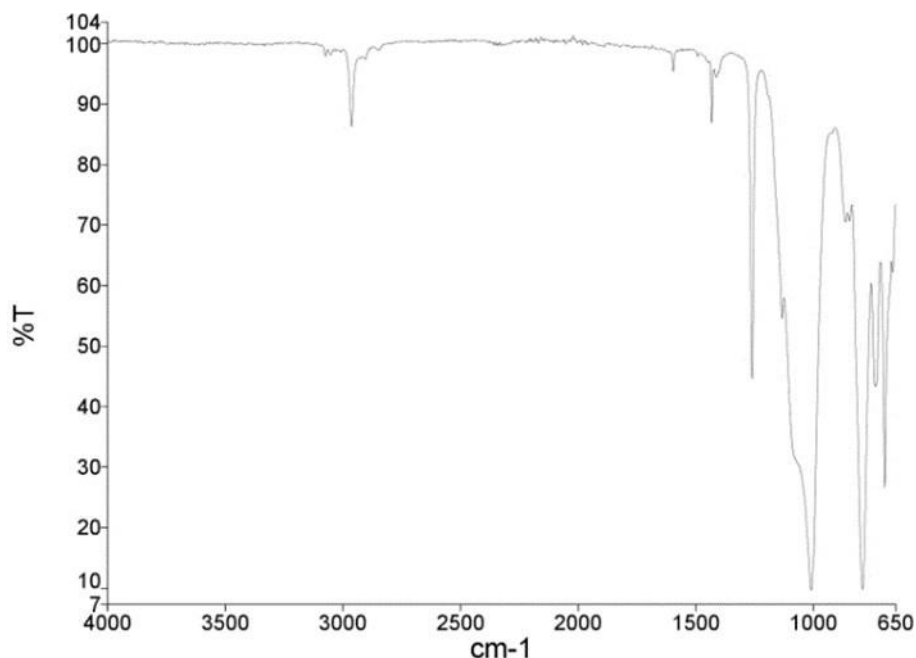


Figura 1 – Espectro de FTIR do silicone após a cura.

A Figura 2 ilustra a termogravimetria, sendo visível que até aproximadamente 380 °C ocorre perda de massa devido à evaporação de solventes residuais ou outros componentes voláteis, correspondendo a 6,7% de massa. A decomposição térmica é caracterizada pela ruptura das cadeias poliméricas em produtos de menor peso molecular devido à exposição ao aumento da temperatura [11]. Na decomposição do elastômero de silicone ocorre a formação de dióxido de silício (SiO_2) [10], sendo percebida como a queda correspondente a 58,6 % da massa total, tendo seu pico em 497°C. O resíduo final ficou em torno de 35 %, sendo estável acima de 620 °C.

A análise do ângulo de contato do silicone pode ser sensivelmente afetada por diversos entre eles podemos destacar composição química e estado superficial, [12]. Quando o ângulo de contato entre o líquido e a superfície é superior a 90°, isso indica características hidrofóbicas, ou seja, a superfície repele a umidade e líquidos. Isso é vantajoso em aplicações onde líquidos podem causar danos ou curtos-circuitos nos componentes eletrônicos. A Figura 3 apresenta a imagem de engrandimento da gota de água sobre a placa

SMD com e sem revestimento. Fica clara a ação hidro-repelente do *coating*, pela menor área de contato entre o substrato e o líquido, indicando repulsão.

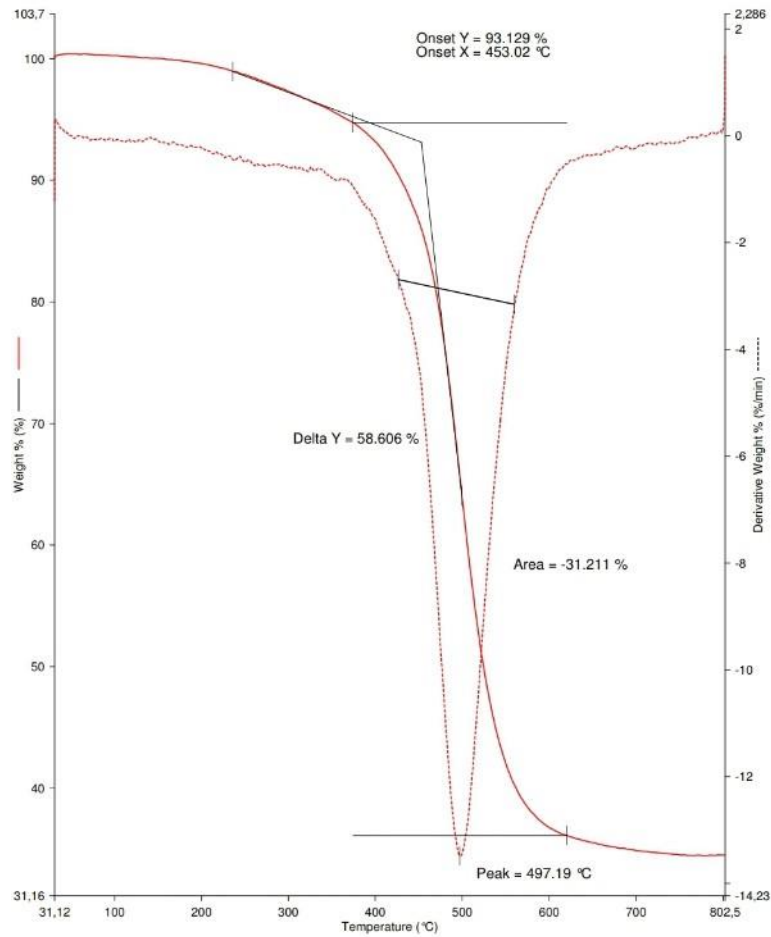


Figura 2. Termogravimetria do silicone após a cura.

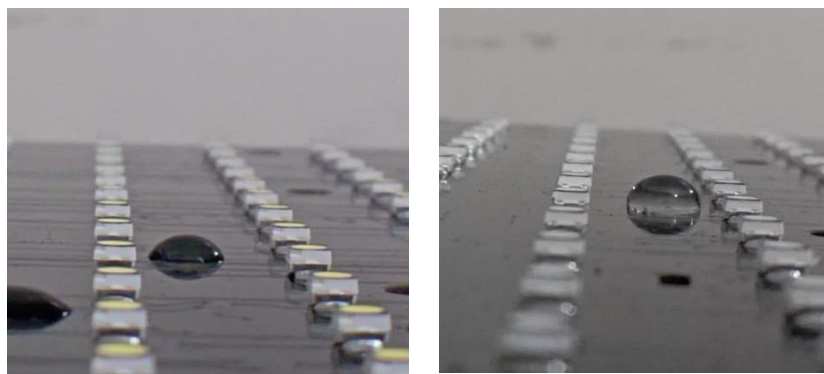


Figura 3. Micrografia da gota sobre placa SMD. À esquerda, sem revestimento. À direita, com revestimento de "*conformal coating*".

Para aprofundar a investigação da hidrofobicidade em resinas de silicone em, em trabalhos futuros serão realizadas análises após a exposição das placas SMD à agentes agressivos e ao passar das semanas. Isso ajudaria a determinar se a degradação da resina afeta sua hidrofobicidade ao longo do tempo.

Conclusão

Neste trabalho foi investigado o efeito de um *coating* de silicone sobre placa SMD. A espectroscopia FTIR apontou a presença de ligações siloxano, grupos metil e vinil, enquanto a termogravimetria indicou a formação de dióxido de silício durante a decomposição térmica. Além disso, a análise do ângulo de contato demonstrou a eficácia do revestimento de "*conformal coating*" na criação de uma superfície hidro-repelente. Futuros estudos que considerem a exposição a agentes agressivos e o envelhecimento das placas SMD são necessários para compreender melhor a durabilidade dessa hidrofobicidade ao longo do tempo. Essas descobertas são fundamentais para aplicações eletrônicas onde a proteção contra umidade é essencial.

Referências

1. SINGH, Prabjit; PALMER, Larry; GAYNES, Michael. Conformal Coating Characterization Using Stacked Silver Thin Films. In: 2020 Pan Pacific Microelectronics Symposium (Pan Pacific). IEEE, 2020. p. 1-8.
2. PFEIFFENBERGER, Neal T.; BIRIA, Saeid. Enhanced UVA LED-Cured Conformal Coatings for Printed Circuit Boards. In: 54th International Symposium on Microelectronics. International Symposium on Microelectronics, 2021. p. 000281-000285.
3. JANKAUSKAITĖ, Virginija et al. UV-curable aliphatic silicone acrylate organic-inorganic hybrid coatings with antibacterial activity. *Molecules*, v. 22, n. 6, p. 964, 2017.
4. DONG, Fei et al. Effects of curing conditions on structural evolution and mechanical properties of UV-curable polyurethane acrylate coatings. *Progress in Organic Coatings*, v. 114, p. 58-67, 2018.

5. Ngo, Ich Long, Hosung Jang, Chan Byon, and Byeong Jun Lee. "Experimental Study on Thermal Performance of SMD-LED Chips under the Effects of Electric Wire Pattern and LED Arrangement." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 127 (2018): 746-57.

6. ZHENG, Xiaoqiang et al. Fabrication of UV-curable fluorosilicone coatings with impressive hydrophobicity and solvent resistance. *Progress in Organic Coatings*, v. 144, p. 105633, 2020.

7. MEHR, M. Yazdan; VAN DRIEL, W. D.; ZHANG, GuoQi. Degradation and Failures of Polymers Used in Light-Emitting Diodes. In: *Reliability of Organic Compounds in Microelectronics and Optoelectronics: From Physics-of-Failure to Physics-of-Degradation*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 241-257.

8. WERTZ, J. T. et al. Metal particulate-containing conformal coatings for improved IT hardware reliability in harsh environments. *Journal of Materials Science*, v. 52, p. 2879-2888, 2017.

9. MANTIS, Ioannis et al. Effect of intrinsic PCB parameters on the performance of fluoropolymer coating under condensing humidity conditions. *Microelectronics Reliability*, v. 122, p. 114158, 2021.

10. HAN, Ruijie et al. Research on the preparation and thermal stability of silicone rubber composites: A review. *Composites Part C: Open Access*, v. 8, p. 100249, 2022.

11. MEHMOOD, Basharat; AKBAR, Mohammad; ULLAH, Rahmat. Accelerated aging effect on high temperature vulcanized silicone rubber composites under DC voltage with controlled environmental conditions. *Engineering Failure Analysis*, v. 118, p. 104870, 2020.

12. EMELYANENKO, Alexandre M. et al. Reinforced superhydrophobic coating on silicone rubber for longstanding anti-icing performance in severe conditions. *ACS applied materials & interfaces*, v. 9, n. 28, p. 24210-24219, 2017.