

SENSOR DE PRESSÃO FABRICADO POR ABLAÇÃO A LASER

Maria Fernanda Oliveira Santos¹

maria.santos286@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de São Paulo - DSE/CPS

Igor Yamamoto Abê

Escola Politécnica USP-LME

Marcelo Bariatto Andrade Fontes

bariatto@fatecsp.br
Faculdade de Tecnologia de São Paulo - DSE/CPS

1. Introdução

O processo de microfabricação utilizando tecnologia MEMS permite a produção de componentes em larga escala, com baixo tempo de resposta, elevada eficiência e reprodutibilidade com baixo custo. Em microsensores de pressão, a utilização de piezoresistores localizados em membranas de silício representa o padrão industrial [1].

Para a fabricação do sensor mencionado, é usualmente utilizada a corrosão de silício em soluções alcalinas de KOH (hidróxido de potássio), com taxas de corrosão geralmente de 1µm/min, função das condições de processo [2]. Todavia, em substituição do KOH, surge a alternativa da técnica de ablação por laser de alta potência. O uso desse equipamento possibilita uma redução substancial no tempo exigido pelo processo de corrosão [3], tendo o efeito de uma corrosão feita de maneira mais rápida e uniforme, dependendo das necessidades específicas do processo,

O objetivo deste trabalho é caracterizar o processo de corrosão e sua uniformidade em 16 membranas em uma lâmina de silício por ablação a laser, alcançando a profundidade de 200µm visando a fabricação de um sensor de pressão.

2. Metodologia

Inicialmente foi elaborado um modelo de máscara com o software AutoCAD, com a finalidade de dar as coordenadas para o equipamento executar o processo de ablação a laser (LPKF Protolaser U3), Figura 01a.

O procedimento foi aplicado a regiões específicas de uma lâmina de silício oxidado (100), tipo P, com diâmetro de 10 cm),

previamente determinadas pelas coordenadas geradas no AutoCAD. A ablação foi realizada por meio de múltiplas incidências do laser de 355 nm (UV-A) nos eixos X e Y em um quadrado com dimensões de 5x5 mm.

Os parâmetros operacionais incluíram uma frequência de 100 kHz, potência de 3,2 W, velocidade de varredura de 100 mm/s e 10 repetições, totalizando um tempo de processamento de 7 minutos por membrana.

Durante o processo, foram definidas 16 estruturas, distribuídas em 4 colunas nomeadas por "A, B, C, D" sendo cada estrutura processada de maneira sequencial, com intervalos de 10 minutos entre etapas, permitindo que a lâmina retornasse à temperatura ambiente antes de cada novo ciclo de ablação.

Após a conclusão da ablação, a lâmina foi imersa em uma solução de hidróxido de potássio (KOH) a 85% e 80 °C por 15 minutos, com o objetivo de remover a estrutura colunar gerada durante o processo de ablação a laser, Figura 01b.

Posteriormente, a espessura das membranas e a profundidade atingida foram determinadas por medições com micrômetro de alta precisão, Figura 01c. Adicionalmente, foi realizada uma análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para caracterização detalhada das estruturas resultantes, com foco na avaliação das superfícies e da morfologia das membranas após os processos de ablação e corrosão.

Figura 1 - Equipamentos utilizados no processo de fabricação da membrana do sensor de pressão a) laser, b) reator de KOH e c) micrômetro de mesa.



Fonte: Fernanda, M. (2024).

3. Resultados

Os resultados obtidos após cada repetição estão apresentados na Tabela 01, onde se observa um aumento progressivo da profundidade com o incremento das repetições, atingindo profundidades de 181 μm após 7 minutos de ablação.

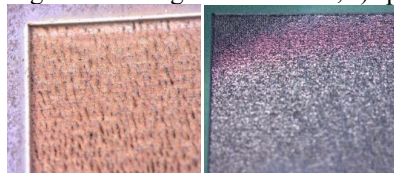
Tabela 01 - Valores obtidos após cada repetição, tempo de repetição e espessura de cada membrana.

Repetições	Tempo (min)	Espessura (μm)	Profundidade de corrosão (μm)
0	00:00	400	0
1	01:08	380	20
2	01:59	357	43
3	02:49	342	58
4	03:40	315	85
5	04:32	278	122
6	05:22	257	143
7	06:13	231	169
8	07:03	219	181

Fonte: Fernanda, M. (2024).

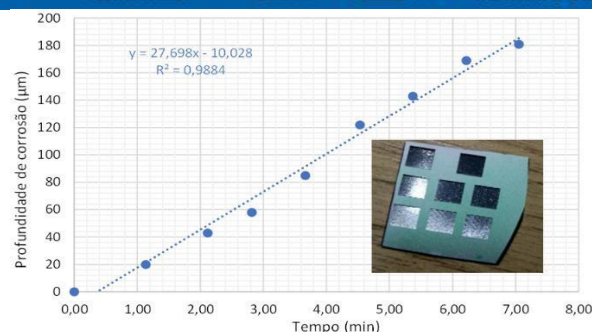
Após esse processo, as amostras foram submetidas a 15 minutos de corrosão em solução de KOH para suavização das colunas geradas, conforme ilustrado na Figura 02. A espessura final obtida em função do tempo de corrosão está indicada na Figura 03.

Figura 02 - Imagem da amostra, a) após laser e b) após KOH.



Fonte: Fernanda, M. (2024).

Figura 03 - Espessura da lâmina de Si pelo tempo de corrosão e lâmina finalizada com todas as repetições.



Fonte: Fernanda, M. (2024).

Na análise das 16 membranas corroídas, Figura 04a, verificou-se que as espessuras das membranas apresentaram variação de 198 a 240 μm , Tabela 02, com média de 206 μm , mediana de 205 μm , moda de 200 μm e desvio padrão de 11 μm , Tabela 03, valores que estão em concordância com os resultados observados por meio da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Figura 04 - a) Imagem das 16 membranas após o processo de ablação a laser, b) Imagem MEV de uma das membranas.



Fonte: Fernanda, M. (2024).

Tabela 02 - Valores das espessuras, em micrômetros, obtidos após finalização do processo de cada membrana.

Col. A	Col. B	Col. C	Col. D
200	205	200	200
199	215	205	240
198	200	202	222
210	200	200	200

Fonte: Fernanda, M. (2024).

Tabela 03 - Valores da média, mediana, moda e desvio padrão, das medidas da Tabela 1, em micrometros.

Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão
206	205	200	11

Fonte: Fernanda, M. (2024).

4. Conclusão

Por meio deste estudo, foi possível estabelecer que a ablação a laser acelera significativamente o processo de corrosão em comparação com a corrosão realizada apenas com KOH. Enquanto o KOH corrói aproximadamente 1 $\mu\text{m}/\text{min}$, o processo a laser atinge uma taxa de corrosão de cerca de 27,7 $\mu\text{m}/\text{min}$, demonstrando sua eficiência superior. As espessuras das membranas

variaram entre 198 e 240 μm , com média de 206 μm , mediana de 205 μm , moda de 200 μm e desvio padrão de 11 μm .

A técnica de ablação a laser provou ser eficaz ao atingir uma espessura de 200 μm em um tempo significativamente menor que os métodos tradicionais, assegurando homogeneidade e precisão nas amostras. A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), corrobora a exatidão das medidas realizadas com o micrômetro de mesa, destacando a precisão e a eficácia da técnica aplicada no estudo.

Referências

- [1] Madou, M.; Fundamentals of Microfabrication and Nanotechnology, Third Edition, Volume One, Two and Three, CRC Press, 2011.
- [2] Colombo, F., Carreño, M. N.; Visualização atomística em processos de corrosão anisotrópica

de silício. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/gmsGY>>. Acesso em: 10 ago. 2024.

- [3] Santos, M.F.O. et al.; Fabricação de Membranas de Silício por Ablação a Laser para Sensores de Pressão MEMS. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, BT56, p.11, 2023.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Microeletrônica (LME/EPUSP) pela realização das medidas e empréstimo de equipamentos.

Ao Dr. Abrão Chiaranda Merij, do Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (FATEC-SP), pelas medidas no MEV.

¹Aluna de Iniciação Científica da FATEC-SP com Bolsa PIBIC – CNPq