



# INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

## MICROELETROMECAÂNICA (MEMS) (PQ02)



### SUA PROVA

- Além deste caderno contendo **5 (cinco)** questões discursivas **com as respectivas folhas de rascunho**, você receberá do fiscal de prova as folhas de textos definitivos;



### TEMPO

- Você dispõe de **4 (quatro) horas** para a realização da prova;
- **2 (duas) horas** após o início da prova, é possível retirar-se da sala, sem levar o caderno de questões;
- A partir dos **30 (trinta) minutos** anteriores ao término da prova é possível retirar-se da sala **levando o caderno de questões**.



### NÃO SERÁ PERMITIDO

- Qualquer tipo de comunicação entre os candidatos durante a aplicação da prova;
- Anotar informações relativas às respostas em qualquer outro meio que não seja no caderno de questões e nas folhas de textos definitivos;
- Levantar da cadeira sem autorização do fiscal de sala;
- Usar o sanitário ao término da prova, após deixar a sala.



### INFORMAÇÕES GERAIS

- Verifique se seu caderno de questões está completo, sem repetição de questões ou falhas. Caso contrário, **notifique imediatamente o fiscal da sala**, para que sejam tomadas as devidas providências;
- Confira seus dados pessoais, especialmente nome, número de inscrição e documento de identidade e leia atentamente as instruções para preencher as folhas de textos definitivos;
- Para o preenchimento das folhas de textos definitivos, use somente caneta esferográfica, fabricada em material transparente, com tinta preta ou azul;
- Assine seu nome apenas no(s) espaço(s) reservado(s) no cartão de respostas;
- Caso você tenha recebido caderno de cargo **diferente** do impresso em suas folhas de textos definitivos, o fiscal deve ser **obrigatoriamente** informado para o devido registro na ata da sala;
- O preenchimento das folhas de textos definitivos é de sua responsabilidade e **não será permitida a troca de folha de texto definitivo em caso de erro cometido pelo candidato**;
- Para fins de avaliação, serão levadas em consideração apenas os textos das folhas de textos definitivos;
- A FGV coletará as impressões digitais dos candidatos na lista de presença;
- Os candidatos serão submetidos ao sistema de detecção de metais quando do ingresso e da saída de sanitários durante a realização das provas.
- **Boa prova!**



## QUESTÃO 1

---

No processo de fabricação de sistemas micro eletromecânicos, um dos meios de obtenção é a micro usinagem.

- A) Descreva os tipos de corrosão (*etching*) úmida e seca utilizados em micro usinagem (*micromachine*).
- B) Explique os 3 subtipos da corrosão (*etching*) seca.
- C) Explique a técnica ICP-RIE.
- D) Faça uma comparação entre os dois parâmetros fundamentais do processo para os subtipos de corrosão seca e indique o tipo de perfil de corrosão para cada um dos subtipos.
- E) Indique os 3 (três) fatores que afetam a qualidade da corrosão pelo processo corrosão seca e explique sucintamente cada um dos fatores.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----

## QUESTÃO 2

---

Considere a fabricação de um sensor de pressão piezoresistivo sobre membrana resultante da corrosão úmida anisotrópica do Si monocristalino.

- A) Descreva, detalhadamente, usando os índices de Miller, a escolha de orientação cristalográfica de um *wafer* de silício e dos elementos sensores piezoresistivos posicionados sobre este *wafer*, especificamente para a fabricação de um sensor de pressão MEMS que utiliza uma ponte de Wheatstone piezoresistiva. Justifique a seleção dessas orientações com relação ao seu impacto na maximização da sensibilidade piezoresistiva (*Gauge Factor*) e na minimização da deriva térmica do dispositivo.
- B) Adicionalmente, desenhe a máscara a ser usado no processo de corrosão úmida anisotrópica – com reagente alcalino – na parte de trás deste *wafer*. Indique os planos cristalográficos, porém não se preocupe com as dimensões da máscara. Desenhe também a vista de planta e um corte da seção transversal da estrutura resultante, mostrando a membrana e a posição dos piezoresistores.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----

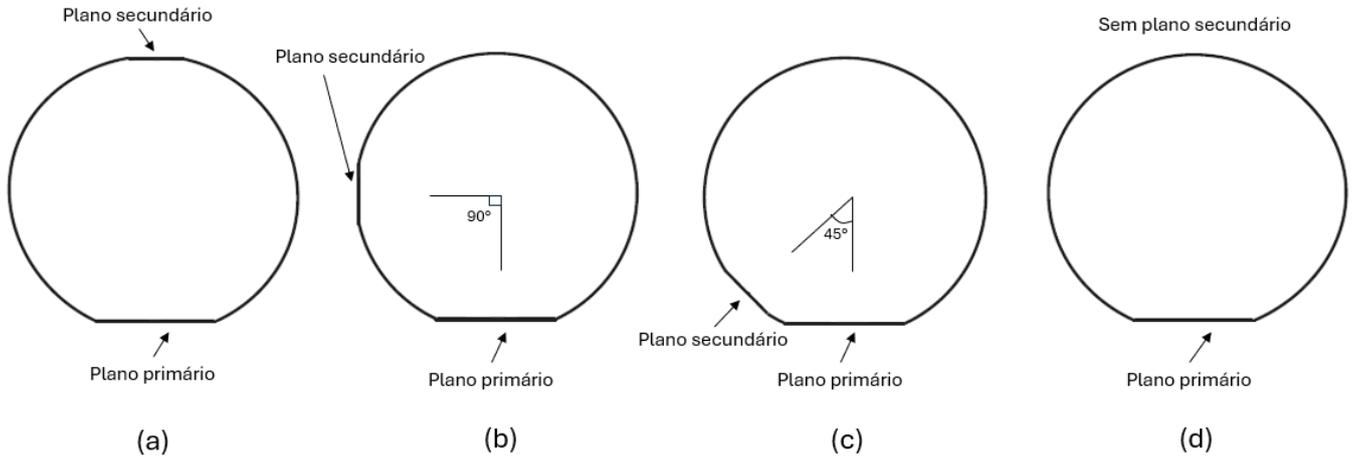
**QUESTÃO 3**

O silício vendido comercialmente no formato de *wafers* apresenta propriedades específicas para o desenvolvimento dos sistemas microeletromecânicos (MEMS).

A) Discorra sobre a microestrutura do *wafers* de silício monocristalino.

B) Na Figura 1 são apresentados esquematicamente quatro formatos de *wafers* de silício de dimensões 100mm (4 pol) de diâmetro.

Figura 1 – Tipos de *wafers* de Silício – 4 pol.



Apresente as principais diferenças entre os quatro *wafers* (a, b, c e d) apresentados na Figura 1.

C) Indique como cada *wafer* (a, b, c e d) representado na figura 1 é conhecido comercialmente.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----

## QUESTÃO 4

---

- A) Explique, sucintamente, o efeito piezoelétrico.
- B) Cite pelo menos 2 (duas) aplicações do efeito piezoelétrico em MEMS. Justifique.
- C) Cite um material piezoelétrico cristalino e um método comumente utilizado para sua deposição na forma de filme para a fabricação de MEMS sobre um substrato de silício.
- D) Como pode ser feita a caracterização estrutural, ou seja, da estrutura cristalina do filme depositado?
- E) Cite pelo menos 2 (duas) propriedades elétricas relevantes a serem medidas em filmes piezoelétricos e explique como executar essas medições.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----

## QUESTÃO 5

---

A produção de MEMS está baseada em equipamentos que são usados em processos de produção de semicondutores. Imagina que você tem uma linha de produção que trabalha com fotomáscaras de 4 polegadas e tem todo o equipamento necessário para a deposição de filmes de metal e fotolitografia, inclusive *stepper 1:5*, equipamento de corrosão de plasma, equipamento com magnetron, evaporadora de metais, entre outros.

Com essas condições você precisa fabricar três tipos de estruturas interdigitais que servirão como MEMS capacitivos.

Os parâmetros de estruturas são:

- a) Dimensões 30x10mm. Linha = espaço = 20 micra.
- b) Dimensões 10x5mm. Linha = espaço = 1,5 micra.
- c) Dimensões 1x0,5mm. Linha=espaço = 0,3 micron.

Espessura de metal tem que estar na faixa 200-300nm. Precisão de largura de linha +/- 10%.

**Usando os equipamentos listados anteriormente e adicionando outros necessários, descreva uma linha de produção para cada tipo de MEMS, apresentando uma breve justificativa para o uso de cada equipamento incluído no processo.**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----





Realização

