



Ciência e Tecnologia de Filmes Finos - CTFF

POSMAT / 2020

José Humberto Dias da Silva¹(responsável)

Kleper de Oliveira Rocha² (colaborador)

¹Depto. de Física / Unesp – Bauru

²Depto. de Química / Unesp – Bauru

1

1



Aula 01

* 1.1 - Motivação

* 1.2 - Introdução

* 1.3 - Programa da Disciplina & outros

2

2



Aula 01

* 1.2 - Introdução

3

3



O que são

“filmes finos” ?

Bulk (volume)

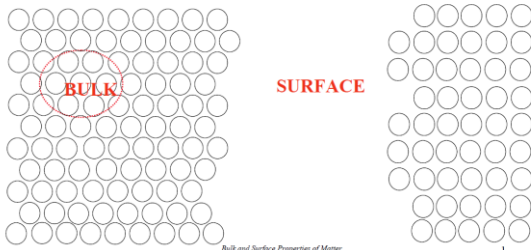
Superfícies e Interfaces

Filmes Finos

Filmes Grossos (recobrimentos “coatings”)

4

4



5

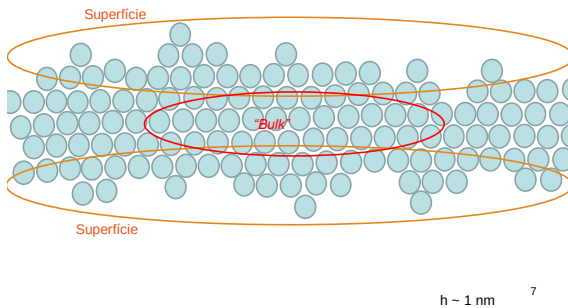
5



$h \sim 0,5 \text{ nm}$ 6

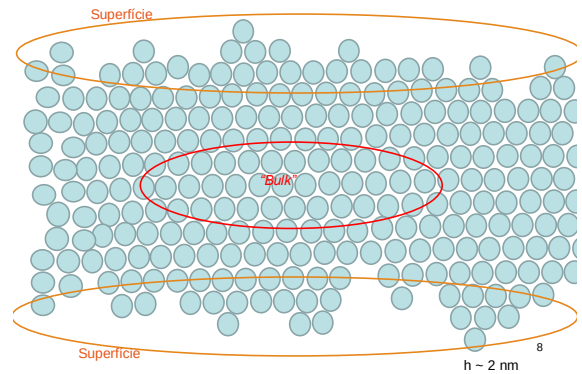
6

filme fino representação esquemática



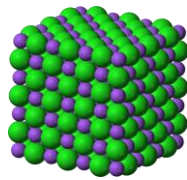
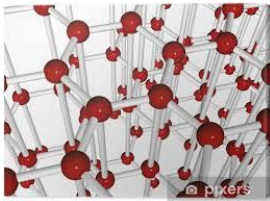
7

filme fino



8

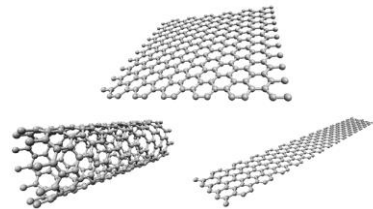
bulk / nanopartícula



9

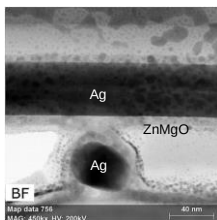
9

2D

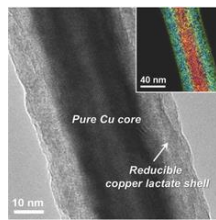


10

10



Highly transparent and thermal-stable silver nanowire conductive film covered with ZnMgO by atomic-layer-deposition
Lei Wang, Dongchun Huang, Min Li, Hua Xu, Jianhua Zou, Xiang Tao, Junbiao Pan, Aihua Liu
Journal of Physics and Chemistry of Solids
Volume 111, December 2017, Pages 329–334
<https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2017.08.009>



Reducible-Shell-Derived Pure-Copper-Nanowire Network and Its Application to Transparent Conducting Electrodes
Advanced Functional Materials (F 13 325) Pub Date: 2016-08-16, Hyunwon Heang, Arum Kim, Zhiyong Zhang, Hyeon-Chan Kwon, Sunho Jeong, Jooho Moon
DOI: 10.1002/adfm.201602094

11

11

“filmes finos”:

porções de material delimitadas por duas superfícies, cujas **propriedades físicas, químicas e estruturais** apresentam **influência importante** dessas superfícies.

Camadas 2D:
Grafeno, filmes de Langmuir => monocamada.
Espessura: **0,2 nm**.

Eletrônica:
níveis eletrônicos afetados pelas superfícies => 5 a 10 nm.
Fino: 2x10 = **20 nm**.

Óptica:
Reflexões coerentes na superfícies/homogeneidade:
Fino: interferência da luz visível, 3x500 nm = **1500 nm**.

12

12



“filmes GROSSOS”:

propriedades físicas, químicas e estruturais praticamente idênticas ao bulk do material

Espessuras: geralmente maiores que $5000 \text{ nm} \equiv 5,0 \text{ }\mu\text{m}$.

recobrimento – “coating”

podem servir para recobrir materiais, ex: tintas automotivas ($100 - 200 \text{ }\mu\text{m}$, $1/10 - 2/10 \text{ mm}$).

13

13



nosso interesse principal “filmes finos” espessuras

$$0.1 \text{ nm} \leq h \leq 5000 \text{ nm}$$

$$1 \text{ }\text{\AA} \leq h \leq 5 \text{ }\mu\text{m}$$

14

14



Por que é interessante estudar CTFF?

- Aplicações
- Desafios Científicos

15

15



• Aplicações

– atuais

- eletrônica, óptica, magnetismo, mecânica bio-integração, purificação ...

– em desenvolvimento

- Nanoestruturas, morfologias superficiais, novos compostos / funcionalidades...

– necessidade crescente de novas tecnologias

- para produção de filmes e hetero-estruturas, => maior controle das nanoestruturas produzidas

16

16



• Desafios Científicos

- novos problemas / soluções em física, química e ciência dos materiais.
- aspectos inter- e multi-disciplinares
- ciência de interfaces e superfícies, inorganica-orgânica-biológica...

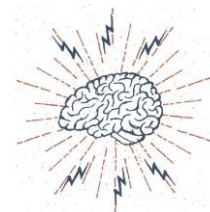
17

17



Aula 01

Motivados ??

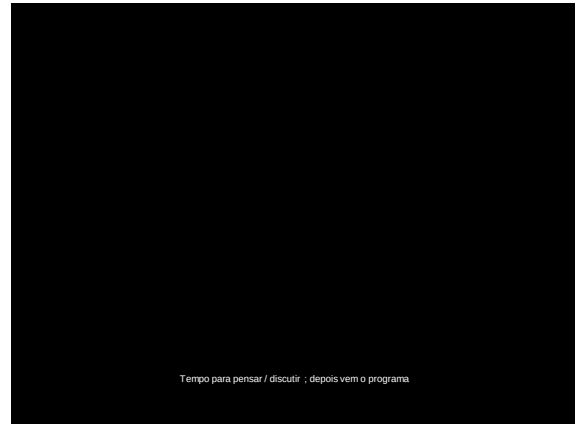


18

18



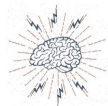
19



20



Motivação: deposição e aplicações de filmes finos



21

21



Aula 01

* 1.3 - Programa da Disciplina

22

22



Objetivos da Disciplina

- Crescimento de filmes finos
- Propriedades físicas e químicas
- Técnicas de caracterização
- Aplicações dos filmes.

=> Ciência & Tecnologia <=

23

23



Programa da Disciplina

=> Temas no papel / word

24

24

Ciência e Tecnologia de Filmes Finos

Prof. José Humberto Dias da Silva (Responsável)

Prof. Kleper de Oliveira Rocha (Colaborador)

Programa da Disciplina

2020

OBJETIVOS

Esta disciplina visa o estudo detalhado dos processos de crescimento de filmes finos. Aborda os conceitos envolvidos, as tecnologias existentes, e abrange o estudo de propriedades físicas, das técnicas de caracterização, e aplicações dos filmes finos.

EMENTA

- Conceitos básicos: cinética dos gases; tecnologia de vácuo; mecanismos de formação de filmes finos, crescimento epitaxial.
- Processos de crescimento de filmes finos em baixas pressões: evaporação térmica; deposição de vapor químico; deposições por feixes iônicos e descargas luminescentes (plasmas). Processos em solução: método do sol-gel.
- Técnicas de caracterização estrutural, morfológica e óptica de filmes finos.
- Aplicações de filmes finos em eletrônica, óptica, endurecimento de superfícies, multicamadas ópticas e magnéticas.

Início 04/03

PROGRAMA

1. Introdução
 - 1.1. Filmes finos e aplicações.
 - 1.2. Apanhado sobre os principais processos de preparação, etapas de crescimento, processos de caracterizações, e aplicações.
2. Cinética dos Gases
 - 2.1. Gases e vapores, distribuição de velocidades, fluxo incidente
 - 2.2. Equação de Knudsen
 - 2.3. Livre caminho médio
 - 2.4. Propriedades de transporte: difusão, viscosidade, transmissão de calor
3. Tecnologia de Vácuo
 - 3.1. Sistemas de bombeamento
 - 3.2. Câmaras de vácuo
 - 3.3. Medidas de pressão

↑ Matéria P1, data: 08/04 (5 semanas)

25

26

4. Evaporação
 - 4.1. Termodinâmica da Evaporação
 - 4.2. Taxa de evaporação
 - 4.3. Fontes de evaporação
 - 4.4. Evaporação de ligas
 - 4.5. Evaporação de compostos
5. Mecanismos de Formação de Filmes
 - 5.1. Adsorção
 - 5.2. Difusão superficial
 - 5.3. Nucleação
 - 5.4. Estruturação
 - 5.5. Interfaces e stress.
 - 5.6 Energia de superfície e crescimento epitaxial.

↑ Matéria P2, data: 20/05 (6 semanas)

27

6. Principais Métodos de Caracterização de Filmes Finos
 - 6.1 Caracterização Estrutural
 - Difração, reflexão, e absorção de raios-X
 - Resistência mecânica e aderência
 - Microscopias: eletrônicas, força atômica e tunelamento. Microanálise.
 - 6.2 Caracterização Eletrônica
 - Espectroscopias de foto-emissão eletrônica (XPS-UPS)
 - Condutividade elétrica e fotocondutividade
 - 6.3 Caracterização Óptica
 - Espectrometrias de transmissão, reflexão, e absorção. Elipsometria.
 - Determinação de constantes ópticas e bandgap de semicondutores e isolantes.
 - Fotoluminescência. Espectroscopia Raman e bandas no infravermelho.
7. Deposição por Feixes Energéticos (06/06)
 - 7.1. Feixes de elétrons
 - 7.2. Plasmas a arco
 - 7.3. Lasers pulsados
 - 7.4. Bombardamento iônico e sputtering
8. Deposição por Descargas Luminescentes (10/06)
 - 8.1. Estrutura dos plasmas
 - 8.2. Sputtering DC e RF
 - 8.3. Magnetrons
9. Deposição de Vapores Químicos (13/06)
 - 9.1. Fluxo de gases
 - 9.2. Reações e difusão
 - 9.3. Modelos de reatores
10. Processos em Solução – Método Sol-Gel (data: 17/06, 24/06)
 - 10.1. Dip coating
 - 10.2. Spin coating
11. Crescimento Epitaxial (27/06)
 - 11.1. Tensão superficial, superfícies de cristais e simetrias
 - 11.2. Monitoramento in situ do crescimento
 - 11.3. Descasamento de parâmetros de rede

↑ Matéria Específica, Seminários, (2 semanas)

28

27

28

- 11.4 Morfologia superficial.
12. Aplicações de Filmes Finos (data: 01/07)
 - Recobrimento, tribologia e endurecimento de superfícies
 - Filmes foto e eletro-sensíveis
 - Transistores de filmes finos
 - Circuitos integrados
 - Multi-camadas ópticas e ferromagnéticas
 - Lasers semicondutores e comunicações ópticas

↑ Matéria P3, data: 18/06 (6 semanas)

Fechamento de Notas / Encerramento da Disciplina (data 24/06).
Exame Final (apenas p/ graduação, data 02/07).

BIBLIOGRAFIA

- 1) * D.L. Smith. Thin Film Deposition: Principles and Practice. McGraw Hill, Boston, 1995, 616p. (*texto)
- 2) K.S. See Harsha. Principles of Physical Vapor Deposition of Thin Films. Elsevier, Amsterdam, 2006.
- 3) L. Meisel and R. Glang. Handbook of Thin-Film Technology. McGraw Hill Book Co, New York, 1970.
- 4) M. Ohring. The Materials Science of Thin Films. Academic Press, San Diego, USA, 1992.
- 5) L.B. Freund, S. Suresh. Thin Film Materials. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2003.
- 6) B. Chapman. Glow Discharge Processes. John Wiley & Sons, New York 1980, 405p.
- 7) Artigos de revistas científicas da área: Thin Solid Films, Journal of Applied Physics, Journal of Materials Sciences, e outros.

29

Resumindo....

deposição
caracterização
propriedades
aplicações

filmes finos



30

29

30



Proposta de Avaliação

- Formas:
 - Provas escritas (três)
 - Seminário

Pesos =>

31

31



Avaliação:

- Parte Geral
 - Prova 1 (temas: 1 a 3 – peso 2)
 - Prova 2 (temas: 4 e 5 – peso 4)
 - Prova 3 (temas: 6 a 12 – peso 2)
 - Seminário (15 a 20 min – peso 2)

32

32



Ciência e Tecnologia de Filmes Finos – 2019 / POSMAT

Critério de Notas / Conceitos

- 8,6 a 10,0 – A
- 7,0 a 8,5 – B
- 5,0 a 6,9 – C

(C aceitável só para graduação, em último caso, posgrad nem pensar, Ok???)

33

33



Aula 01

* 1.3 - outros

34

34



Ciência e Tecnologia de Filmes Finos – 2019 / POSMAT

Site da disciplina:

<https://silvajhd.wixsite.com/meusite/c-t-filmes-finos>

Livros: Smith e Ohring (pdf)

35

35



Ciência e Tecnologia de Filmes Finos – 2019 / POSMAT

Tarefas:

Ler Cap. 1 do Smith (antes da aula de 4ª feira).

36

36

Agora:
Tempo para seus comentários
/ dúvidas / perguntas

37

37

Espero que vocês gostem
e aprendam muito !!

38

38

Fim da Aula 01

Grato pela atenção!

39

39

Tempo para pensar / discutir : depois vem o programa

40

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Serão utilizados quatro instrumentos de avaliação:

1. Prova escrita 1 (P1). Sobre os tópicos 1 a 3 do programa.
 2. Prova escrita 2 (P2). Sobre os tópicos 4 a 6 do programa.
 3. Seminários individuais de 20 minutos versarão sobre os temas 7 a 12 (S).
 4. Perguntas e respostas sobre os seminários (PR).
- Média Final = $P1 \cdot 0,2 + P2 \cdot 0,4 + S \cdot 0,2 + PR \cdot 0,2$**

Estudantes da Posgrad:

Notas/conceitos: 10,0 a 8,6 – A; 8,5 a 7,0 – B; 6,9 a 5,0 – C

Estudantes da Graduação:

Notas/conceitos: 5,0 a 10,0 (aprovado).

Recuperação

Durante o semestre letivo, os estudantes que não atingirem rendimentos esperados nas avaliações regulares realizarão estudos dirigidos complementares. Em cada tópico os estudantes apresentarão monografias e/ou seminários e/ou listas de exercícios, das matérias indicadas pelo professor.

Exame Final (data: 05/07).

O exame final, será oferecido aos estudantes que não tenham alcançado a nota para aprovação ao final do semestre. A nota final do estudante (NF) será obtida pela expressão: $NF = (MFs + EF)/2$, onde: MFs é a média final do semestre e EF é a nota do exame final.

41