

## Examen final (Mai 2024)

### Elaboration des couches minces et techniques expérimentales.

- 1) Définir une couche mince et donner ses caractéristiques. (2pts)
- 2) Quel matériel faut-il pour produire et mesurer un vide primaire? Si la pression diminue d'un facteur 1000 de quel facteur varie le libre parcours moyen ? (2pts)
- 3) Expliquer le principe sur lequel sont basés les manomètres à thermocouple et de Pirani. Préciser la différence entre les deux manomètres. (2pts)
- 4) On veut déposer un oxyde métallique en couche mince sur du verre. Lesquelles de ces méthodes peut-on utiliser (**justifier**) : Evaporation par effet joule, Pulvérisation Cathodique, Electrodeposition et Spray-Pyrolyse. (2pts)
- 5) Quel paramètre faut-il fixer pour définir la **vitesse** de dépôt dans la Pulvérisation Cathodique (TP1) et le Spray-Pyrolyse (TP3)? Quel paramètre détermine alors l'**épaisseur** ? (2pts)
- 6) La double pesée effectuée lors du dépôt d'une couche mince donne  $\Delta m = 1 \text{ mg}$  sur un substrat de (2cm x 2cm) ; calculer l'épaisseur de la couche (en nm) si la masse volumique de la couche est  $\delta = 19.3 \text{ g/cm}^3$ . (2pts)
- 7) Lors du TP3 quelle méthode a été utilisée pour déposer ZnO sur du verre et l'appareil utilisé pour mesurer la transmittance? **Expliquer** les différences entre les spectres de transmittance mesurés sur le verre et ZnO+verre (seuil d'absorption,  $T_{\max}$ ). (2pts)
- 8) **Expliquer** les principes de mesure d'épaisseur par microbalance en quartz et par profilométrie mécanique. (2pts)
- 9) Quelle est la différence entre l'**épitaxie** et un dépôt de couche mince ordinaire ? Quelles précautions prendre pour une **hétéro-épitaxie** ? (2pts)
- 10) A quoi sert la photolithographie ? Citer ses étapes essentielles. (2pts)

## Réponses abrégées

1. Matériau solide solidaire d'un substrat dont l'une des 3d (l'épaisseur) est fortement réduite (qq nm – qqµm) (1pt)  
Bidimensionnalité, anisotropie, effet du substrat, sensibilité aux polluants, croissance de zéro en forme d'îlots. (4x0.25pt)
2. Pour un montage simple il faut : Table et cloche(0.25pt), pompe à palettes(0.5pt), manomètre Pirani(0.5pt) joints, tubes renforcés, vannes (0.25pt) Le libre parcours moyen augmente 1000x. (0.5pt)
3. La mesure du vide primaire est basée sur la diminution des échanges thermique avec un filament chaud jauge (1pt) mesure de température Thermocouple (0.5pt) ou mesure de résistance électrique pour Pirani (0.5pt) .
4. Evaporation par effet Joule **non** car les oxydes sont réfractaires (0.5pt) Pulvérisation cathodique **oui** mais RF (0.5pt), Electrodeposition (**non**) car le verre est isolant (0.5pt), Spray-Pyrolyse (**oui**) (0.5pt)
5. Pulvérisation Cathodique : le courant ionique entre les électrodes (0.75pt), Spray-Pyrolyse : la concentration du spray (distance et vitesse spray fixes) (0.75pt). Le temps de dépôt détermine alors l'épaisseur (0.5pt).
6.  $d = \frac{\Delta m}{\delta \cdot S}$  (1pt) =  $\frac{10^{-3}}{19.3 \cdot 4} 10^7 = 129.5nm$ (1pt) .
7. Dépôt par spray pyrolyse (0.5pt) spectromètre UV-Visible (0.5pt)  
Verre nu : seuil ~ 320nm ( $E_g=4eV$ )  $T_{max} \sim 90\%$  (Refl) (0.5pt)  
ZnO/Verre : seuil ~ 380nm ( $E_g=3.25eV$ )  $T_{max} \sim 80\%$  (Refl+Diff) (0.5pt)
8. Microbalance mesure la masse **m** de la CM: la fréquence d'oscillation du quartz diminue avec la masse ajoutée par le dépôt d'une couche mince. L'épaisseur **d** est déduite par la relation **d=m/ρ.S.** (1pt); Le profilomètre mesure la différence de marche entre la couche et le substrat nu. **d=Z<sub>moy</sub>(CM) -Z<sub>moy</sub>(sub)** (1pt).
9. L'épitaxie est un dépôt de couche mince monocristalline sur un substrat monocristallin qui fait office de germe (1pt). Pour une hétéro-épitaxie la structure cristalline, le paramètre de maille et le coefficient de dilatation de la couche déposée doivent être comparables à ceux du substrat hôte. (1pt)
10. Créer un motif précis sur une couche mince (0.5pt).  
Les étapes essentielles: étaler et recuire la résine (0.25pt), Masque (0.25pt), Insolation UV ou RX (0.25pt), Révélation (développement) (0.25pt), gravure sèche ou humide (0.25pt), nettoyage résine résiduelle (0.25pt).