

Généralités sur les couches minces

1.1 Couches minces :

1.1.1 Qu'appelle t'on "couche mince"?

Une couche mince (thin film) est un revêtement dont l'épaisseur est faible; de quelques couches atomiques à quelques micromètres (Figure 1.1). Ce revêtement modifie les propriétés du substrat (support) sur lequel il est déposé.

Une couche mince est un liquide ou un solide tel que l'une de ses dimensions linéaires (l'épaisseur) est très petite par rapport aux deux autres dimensions. Habituellement, on classe les couches minces (arbitrairement) dans:

Couche épaisse ($D > 1$ micromètre, D : épaisseur du film)

Couche mince ($D < 1$ micromètre).

Les couches minces, typiquement ce sont des couches de 10 à 1000 nanomètres d'épaisseur. Cette faible distance entre les deux surfaces limites du matériau entraîne une perturbation des propriétés physiques selon cette dimension. Par exemple la réflexion optique ou l'absorption peuvent être maîtrisées de manière très précise, de même pour la conductivité électrique. La dureté des surfaces peut être multipliée par rapport au matériau de base en dessous. Ou la friction peut-être largement diminuée. Ou la pièce peut-être tout simplement plus jolie à regarder. Enfin, les multi-couches peuvent combiner des structures mécaniques complexes avec des propriétés électroniques, comme avec la micro-électronique et les nano-technologies.

Couche mince est une étendue de faible épaisseur d'une matière étalée sur une surface.

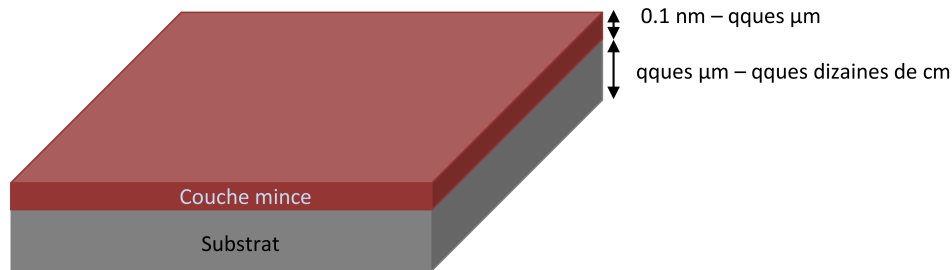


FIGURE 1.1 – Couche mince

1. L'intérêt des couches minces provient de la particularité des propriétés physico-chimiques acquise par le matériau selon cette direction. C'est pourquoi les couches minces jouent un rôle de plus en plus important en nanotechnologie.

- Une couche mince est toujours attachée à un support (substrat) sur lequel est construite.

2. Une couche mince de même matériau de même épaisseur peut avoir des propriétés physiques significativement différentes selon qu'elle sera déposée sur un substrat isolant amorphe (verre) ou un support cristallin (Si).

3. La nanotechnologie est un domaine de la science dont la vocation est l'étude et la fabrication des structures (appelées nano-objets) dont les dimensions sont comprises entre 1 et 1 000 nanomètres (nm).

1.2 Étapes typiques dans la fabrication des couches minces :

il y a toujours trois étapes dans la formation d'un dépôt en couche mince:

1. Synthèse ou création de la ou des espèces (particules) à déposer.
2. Transport de ces espèces de la source vers le substrat.

3. Condensation des particules et croissance de la couche sur le substrat.

Ces étapes peuvent être complètement séparées les unes des autres ou être superposer selon le processus suivi.

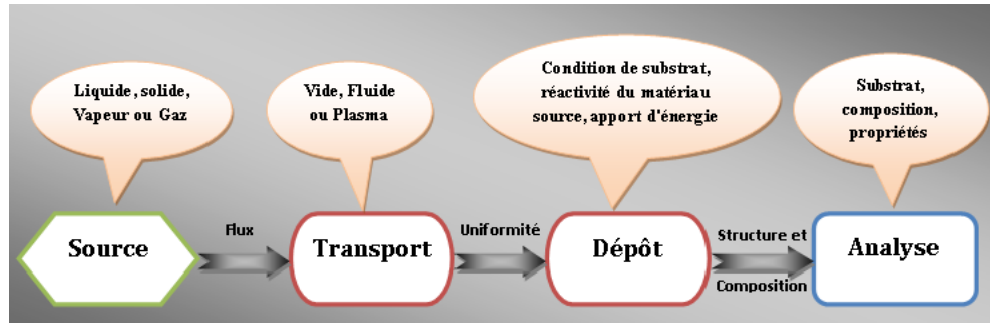


FIGURE 1.2 – Étapes typiques dans la fabrication de films minces.

1.3 Histoire des couches minces

Les couches minces sont utilisées depuis plusieurs décennies dans un grand nombre d'applications :

Les couches minces remontent à l'antiquité. Historiquement introduits par voie liquide en couches épaisses avec la galvanoplastie du cuivre et des métaux précieux puis, au siècle dernier, par l'électrolyse industrielle dans le domaine de la décoration, avant de s'étendre à la protection contre la corrosion et à l'obtention de dépôts durs, les couches minces ont en parallèle - au milieu des années 1950 - connu un essor important dans le domaine de la microélectronique avec les technologies de mise en oeuvre sèches (PVD, CVD, plasmas) permettant des dépôts et des définitions de motifs (gravure) en couches minces. Avec ces technologies facilitant l'intégration, les microprocesseurs ont atteint l'asymptote prédite par les lois de Moore avec des dimensions critiques atteignant 20 nanomètres en production industrielle. Ces procédés par voie sèche sont aujourd'hui transposés dans des secteurs émergents : nanoélectronique, photovoltaïque, microsystemes électromécaniques (Mems), microfluidique, biopuces ou nanobiologie...

- Fin du 19^{ème} siècle - Propriétés inhabituelles des dépôts sur les parois de tubes à décharge en verre: propriétés optiques et électriques (P. Drude, Ann. der Physik, 36 (1889) 532)

-
- 1927 - Diffraction électronique sur les films minces (Davison - Germer)
 - 1930 - Application pratique: miroirs de surface à haute réflectivité sur des substrats non conducteurs
 - 1940 - Le développement des techniques de vide pour le dépôt de films minces (PVD); - la microscopie électronique (Ruska); - Le développement de la micro-électronique a comme point de départ et l'invention des premiers transistors.
 - 1958- Les premiers circuits intégrés apparus en utilisant principalement les matériaux en couches minces tels que des couches de métal, des couches de semi-conducteurs, des revêtements d'oxyde diélectrique, etc. . .
 - 1960 - Microscopie électronique in situ (Bassett, Pashley, Poppa, Póczy, Honjo); décoration de surface (Bassett, Bethge, Distler); la technique de l'ultra-vide; méthodes analytiques de surface: spectroscopie Auger, LEED, SEM, ESCA; modèle de zone de structure: compilation des résultats expérimentaux (Movchan-Demchishin)
 - 1970 - Haute résolution (également surface d'imagerie) et analytique TEM (Halle School); Dépôt chimique en phase vapeur (CVD); Simulation par ordinateur: construction d'une structure atomique (atome par atome) (Gilmer Bennema, Barna, Thomas et al; Dirks Leamy) L'épitaxie par jets moléculaires (MBE); Fabrication des films de nanocomposites;
 - 1980 - Techniques d'imagerie de surface à résolution atomique: STM, AFM (Binnig Röhrer)
Epitaxie de couche atomique; Analyse de la perte d'énergie des électrons - balayage dédié TEM;
 - 1990 - aberration corrigée ultra haute résolution analytique TEM (urbain);
 - 2000 - Apparition des techniques in situ (UHV TEM, STM rapide, synchrotron)

1.4 Application des technologies des couches minces

Les couches minces sont généralement utilisées pour améliorer les propriétés de surface des solides: La transmission, la réflexion, l'absorption, la dureté, la résistance à

l'usure, la corrosion....., le comportement électrique d'une surface de matériau massif peut être amélioré en utilisant une couche mince. La nanotechnologie est également basée sur la technologie des couches minces.

Les couches minces ont des applications dans de très nombreux domaines (Figure 2.6), tels que l'automobile, l'aéronautique, l'ingénierie industrielle ou électrique, le sport, l'électronique, l'armement, etc., permettant l'amélioration de la qualité et des performances des pièces.

- **Optique:** Filtres optiques, Laser, revêtements pour les miroirs, couches réfléchissantes, couches absorbantes, revêtements anti-reflets pour les lentilles,
- **Électronique:** diodes électroluminescentes organiques, contacts électriques, résistances, capteurs piézoélectriques, diélectriques, semi-conducteurs, supraconducteurs
- **Mécanique:** Revêtements tribologiques, couches résistantes à l'usure, à l'érosion et à l'abrasion, les barrières de diffusion, les outils de coups spéciaux, ...
- **Magnétisme:** Stockage et lecture d'informations (mémoire d'ordinateur), disque dur, mémoire vive RAM, dispositifs de sécurité, capteurs, ...
- **Chimie:** couches anticorrosion, revêtements catalytiques,
- **Médecine:** Composants biomatériaux: valve cardiaque, organe artificiels, protection des pièces implantées dans le corps humain, capteurs neurologiques ...
- **Décoration:** Revêtements pour horloges.
- Matériaux supraconducteurs : SQUIDs...
- **Optoélectronique :** Détecteurs, composants photovoltaïques. cellules photovoltaïques....

Une grande variété de matériaux sont utilisés pour produire les couches superficielles. Citons les métaux, alliages, composés réfractaires (oxydes, nitrures, carbures), les composés intermétalliques (Ga Ag) et les polymères.

1.5 Aperçu sur les méthodes de déposition des couches minces :

Les couches minces sont généralement obtenues par des techniques des dépôts atomistiques physiques ou chimiques à partir de phase vapeur, ces techniques atomistiques

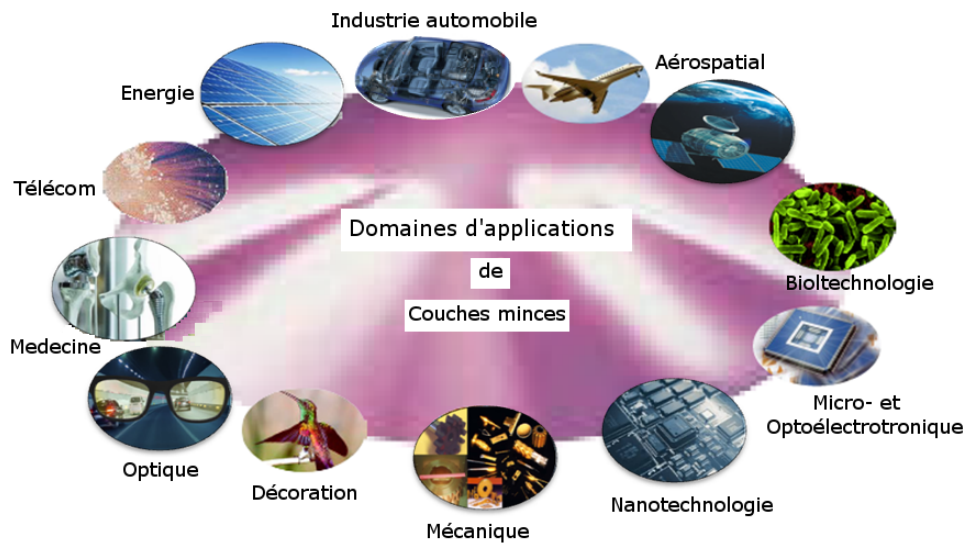


FIGURE 1.3 – Les Domaines d'applications des couches minces

incluent entre autres:

- **Les techniques PVD** (physical vapor deposition): La source du matériaux à déposer est un solide et aucune réaction chimique impliquée, les techniques qui appartiennent à l'ensemble des procédés PVD sont.

- L'évaporation par effet joule
- L'évaporation à l'aide du faisceau d'électrons (EB PVD, electron beam physical vapor deposition);
- Pulvérisation cathodique;
- Ablation laser (PLD, pulsed laser deposition),

- **Les techniques CVD** (chemical vapor deposition):

Les gaz réactifs introduits dans une chambre, les réactions chimiques se produisent sur la surface de la plaquette conduisant au dépôt d'un film solide. Les méthodes utilisent ce type de processus de dépôt sont:

- CVD thermique;

• CVD assisté par laser de façon thermique ou photochimique (LCVD, laser chemical vapor deposition);

- Low-Pressure CVD (LPCVD)
- CVD assisté par plasma PECVD Plasma-Enhanced CVD)
- CVD à pression atmosphérique APCVD (Atmospheric-Pressure CVD)
- CVD métallorganique MOCVD (Metal-Organic CVD)
- Dépôt par couche atomique Atomic Layer Deposition (ALD)

Les vapeurs de matériaux constitutifs créés à l'intérieur d'une chambre, et la condensation se produit sur la surface de la plaquette conduisant au dépôt d'un film solide. L'évaporation et la pulvérisation cathodique sont les plus couramment utilisés pour déposer les métaux.

Toutes les méthodes ont leurs limitations spécifiques et impliquent des compromis en ce qui concerne les spécificités du processus, les limites du matériau du substrat, les propriétés attendues du film et le coût. Cela rend difficile la sélection de la meilleure technique pour une application spécifique. Evaporation thermique.