

II-1. INTRODUCTION:

L'étude de la surface nécessite des activités intellectuelles sur leur propriétés diversifiées qui sont considérées comme une cartographie d'une surface. Cette surface est susceptible soit à des changements structuraux, soit à des changements locaux aux niveaux des microstructures au cours du bombardement d'ions [1] (érosion, rugosité, adhérence et l'uniformité...) qui était en suite conforme l'émission d'atomes neutres ou charges 'pulvérisation'.

Le phénomène de pulvérisation (SPUTTERING) est l'équivalent de l'éjection d'atome ou groupes d'atomes d'une cible projetés par une particule énergétique [2].

Historiquement, ce processus a été mis en 1852 [3], par W.R.Groove, et au départ, elle utilisait pour la déposition des couches minces de métal « métallisation », ce dernier était due sous l'action d'un bombardement de la cathode par des ions provenant par la décharge.

Les demandes technologiques usuelles sont devenues indispensables de voir des méthodes et mécanismes synchrones imprègnent cette progression.

II-2. Principe de la pulvérisation ionique:

II-2-1. Transfert de l'énergie de l'ion incident :

On considère une cible constituée d'atomes, frappée par un faisceau d'ions à une énergie très élevée, une partie de l'énergie du faisceau est transférée d'une manière élastique à l'atome accueilli. Pour des ions à basse énergie, une grande portion de leur énergie est attribuée à la cible électriquement en mettant les atomes de réseau en mouvement, en outre, les interactions entre les nuages électroniques sont également provoquant le freinage inélastique d'ions du faisceau. Ces interactions inélastiques sont apparentes nettement sous l'action d'ionisation de l'atome cible et le long du parcours de l'ion.

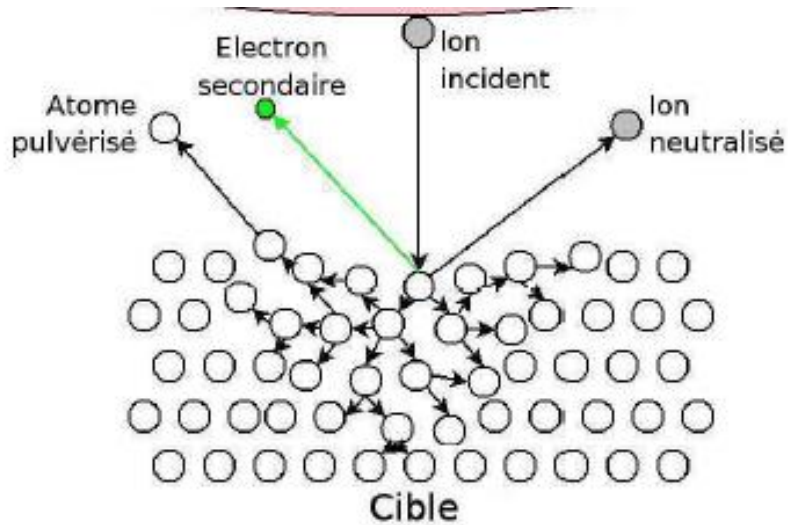


Figure II-1: Principe de base la pulvérisation ionique[2].

II-2-2. La conception de l'énergie de surface :

Les atomes en sorte de la matrice dépassent un obstacle de potentiel pour quitter la matrice. Cette potentiel est aussi dite "énergie de surface", tel qu'il joue un rôle de filtre en énergie sur les particules susceptibles d'être érodées.

En bref [4], la pulvérisation ionique s'était le résultat d'un ensemble de collisions au sein d'une cible générée par le transfert élastique de l'énergie cinétique d'un ion assez énergétique.

II-3. Le flux de pulvérisation ionique :

Avec les collisions, le flux des atomes pulvérisés est l'autre aspect important de la pulvérisation ionique. Cette quantité d'atomes arrachés serait quantifiée par le pourcentage d'érosion Y (rendement de pulvérisation), il est généralement définie comme le suivant [5] :

$$y = \text{Atomes pulvérisés} / \text{Ions incidents} \quad (\text{ii-1})$$

On voit donc , que le flux des atomes pulvérisés est caractérisé par la nature de la cible considérée ,de l'ion incident ,de son énergie et de son angle d'incidence .En conséquent, la cascade de collisions est indispensablement lié du duel ION-ATOME .

Au contraire, le flux des atomes pulvérisés ne correspond plus du flux d'ions. Il nécessite afin de l'extraire des atomes cible du puits de potentiel qu'identifier la cible une quantité de mouvement capable de transmettre assez d'énergie à des atomes recueilles.

Par ailleurs, on trouve des formules théoriques aident nous de développer les calculs permettant d'obtenir le coefficient de pulvérisation, ces formules nécessitent des paramètres que l'on peut pas connaître à priori, et ne sont pas prédictives. Inversement elles permettent d'interpoler ou d'extrapoler des données empiriques. Parmi ces formules, la formulation de **Bohdansky**[6] qui détermine le flux de pulvérisation au-dessus du seuil d'érosion :

$$Y(E, \theta^\circ) = k \cdot E [1 - (E_{th}/E)^{2/3}] \cdot (1 - E_{th}/E)^2 \quad (\text{ii-2})$$

Une énergie seuil existe réellement, elle attribuée par l'énergie de surface. Bohdansky proposa une loi pour calculer E_{th} , en introduisant l'énergie de surface et

$$y = 4M_1M_2 / (M_1 + M_2)^2 \quad (\text{ii-3})$$

Avec : y transfert maximum d'énergie.

$$E_{th} \begin{cases} E_s / y(1-y) & \text{pour } M_1/M_2 < 0.2 \\ 8E_s(M_1/M_2)^{2/3} & \text{pour } M_1/M_2 > 0.2 \end{cases} \quad (\text{ii-4})$$

La formule de Bohdansky est très satisfaisante à basse énergie, mais l'écartement au-delà de keV. Dans ce cas, la détermination de la fonction $Y(E, \theta^\circ)$ nécessite quatre paramètres [7] : E_{th} , Q , f , et θ_m .

Donc, la formule de amamura est couramment utilisée [8] pour définir ces paramètres :

$$y(E, \theta) = y(E, 0^\circ) \cdot [(\cos(\theta))^f \exp(f(1 - (\cos(\theta))^f) \cos(\theta_m))] \quad (\text{ii-6})$$

Avec : f et θ_m sont deux paramètres d'ajustement.

A vois thermodynamique, Sigmund arrive a résoudre l'équation de Boltzmann en considérant un nombreuse approximations (approximation de collisions binaires, milieu infini)qui donne la relation pour le coefficient de pulvérisation[9].

$$\text{La formule de Sigmund est : } Y = \frac{0.042}{U_s} \alpha \left(\frac{M_2}{M_1} \right) . S_n(E) \quad (\text{ii-7})$$

II-3-1. Le flux de pulvérisation et l'angle d'incidence :

L'incidence angulaire a une influence considérablement importante sur l'efficacité du rendement de pulvérisation. Quand l'angle d'incidence croit, l'existence de la cascade de collisions de la surface souscrit à élevé la probabilité de rendement comme l'indique la relation :[10]

$$Y(\theta) = Y_0 (\cos \theta)^{-n} \quad (\text{ii-8})$$

Avec : Y_0 : Taux de pulvérisation sous incidence normale.

θ : Angle d'incidence, et n:l'indice de diffraction.

D'autre côté, lorsqu'on a un gap énergétique très cour , le flux de pulvérisation sera varié beaucoup moins et chute forcément avec une angle d'incidence .

Au fur et à mesure, les recherches sur les procédés de pulvérisation s'appuient sur un grand nombre de mécanismes et techniques typiquement concernant : le libre parcours moyen entre deux particules et le rendement de pulvérisation.

Pour une détermination empirique de rendement de pulvérisation, nous nous citons les principales techniques habituelles [10] :

1ère technique : s'intéresse a mesurer le rendement suivant des bouleversements de l'objet avant et après l'éclairage .Afin de calculer la quantité de particules éjectées.

2ème technique : il s'agit une caractérisation par la spectroscopie de masse pour la composition du flux de particules, soit d'ions secondaires (SIMS), soit d'atomes neutres secondaires (SNMS).

3ème technique : désignée par la méthode « collecteur » ,tel qu'un matériau attire les extrès de cible ,ces particules condensent sur le plan de ce matériau .La détection des nucléons se fait : par SIMS , AES (spectroscopie d'électrons Auger).[11] ...etc.

II-3-2. La nature des particules éjectées :

Durant le déplacement de divers particules vers l'extérieure de la cible, et après un certain nombre de collisions, on venus de filtrer ces particules éjectés chacun a leur nature, tel que les ions incidents sont de nature excités ou stables, ainsi que la cible sera les transporter et neutraliser. La nature donc était métallique a l'état fondamentale.(80% , 95%).[12]. Par contre une très faible quantité contient : ions, électrons et protons sera réémet (<10%) a cause de leur potentiel d'interaction avec la surface qui est plus important que celui des atomes.

On conclut donc que les particules éjectées sont des atomes neutres à l'état initial.

II-4. Les applications du processus de la pulvérisation ionique :

L'intérêt technologique et industriel du processus de pulvérisation ionique a prouvé essentiellement à ses nombreuses utilisations.

Dans cette optique, on aura mentionné quelques applications :

- L'élaboration et la synthèse des films minces.
- Amélioration des variantes propriétés des métaux ex : le Fe , Co , Ni ont été déposer pour des couches avec des propriétés magnétiques.
- A l'utilisation de la propulsion a plasma sur les satellites et sondes spatiales.

Nous avons maintenant manifesté les caractérisations fondamentales de cuivre (**Cu**) et argon (**Ar**) utilisées pour le synthétiser en couche mince, en outre nous citons les différentes applications qui résumant l'utilité de ce métal.

II-5. Définition d'un cuivre :

Le cuivre est un élément chimique de symbole **Cu** et de numéro atomique **Z=29**. Naturellement présent dans la fraîche terrestre, il est moins abondant. On trouve usuellement le cuivre, comme la plupart des métaux à usage industriel ou commercial, sous une forme poly cristalline à grains fins, en suite, il possède une conductivité thermique et électrique [13]. Ce

métal très pur et très résistant à la corrosion, mais aussi très mouillée. On va détailler par la suite les différentes propriétés.

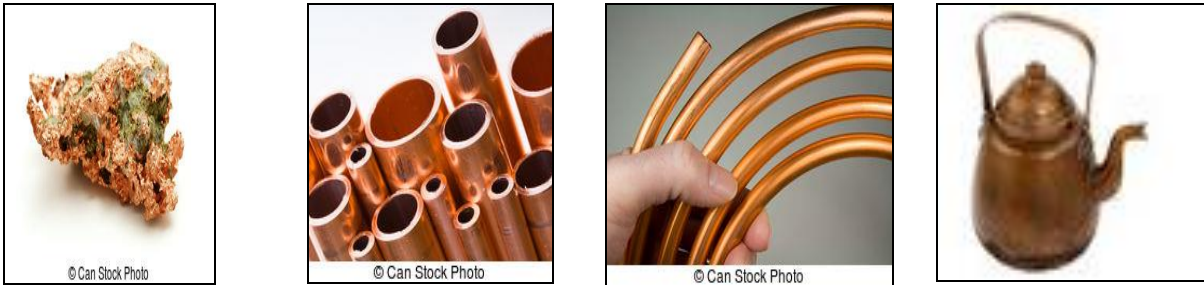


Image II-2 : Les différents états possibles de Cuivre.

Symbole	Numéro atomique Z	Masse atomique g/mole	Rayon atomique pm	Rayon de van der Wall pm	Groupe, bloc, période
CU	29	63,546	135	140	11,d,4

Tableau II-3: L'identification de cuivre.

II-5-1. Propriétés physiques :

On résume quelques caractéristiques apparaître dans la liste suivante :

État ordinaire	Solide.
Masse volumique	= 8,96 g·cm ⁻³ .
État(s) d'oxydation	= 2 , 1.
Dureté (Mohs)	= 3.
Volume molaire	= 7,11×10 ⁻⁶ m ³ ·mol ⁻¹ .
Vitesse du son	= 3 570 m·s ⁻¹ .
Clivage	absent.

II-5-2. Propriétés chimiques :

Le métal de cuivre classé Parmi les 'métaux de transition'. [14] et cristallise selon la structure 'cubique a face centré' (c.f.c.) avec le paramètre de maille $a=0,362\text{nm}$.et la maille élémentaire peut être décrit par 4 atomes de cuivre.

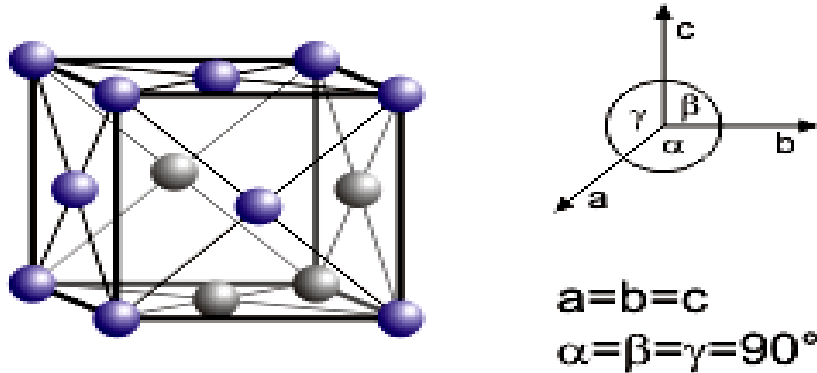


Image II-4 : Le schéma de la maille du cuivre.

La compacité du cristal : c'est le rapport du volume occupé par les atomes au volume de la maille. Donc à partir le volume de la maille conventionnel de Cu : $4,6656 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$. La compacité de cuivre est égale 0,74.

II-5-3. Propriétés optiques :

Transparence : opaque.

Trait : rouge métallisé, rouge pâle.

Éclat : métallique.

Fluorescence : aucune.

II-6. Définition d'argon:

Nom, symbole, numéro	Argon, Ar, 18.
Série chimique	Gaz rare.
Groupe, période, bloc	18, 3, p.
Couleur	Incolore.
Masse atomique	39.948

Structure cristallin Cubique à faces centrée.

II-6-1. Propriétés physiques :

État ordinaire Gaz (non magnétique).
Volume molaire = $22,414 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$.
Vitesse du son = $319 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Références

- [1] N. Moncoffre N.These 1986 IPN Université Claude Bernard Lyon I France.
- [2] W.R. Grove, Philos. Mag. 5, 203 (1853).
- [3] C.Vitelaru thèse en co-tutelle Université Paris -Sud 11,LPGP-210, Campus d'Orsay France.
- [4] M.T. Robinson, in: R. Behrisch (Ed.), 'Sputtering by Ion Bombardment I', Topics in Applied Physics, Springer, Berlin, 1981, p.16.
- [5] Philibert, Vignes, Brechet, Combrade, Métallurgie:du minerai au matériau <<Cohésion, structure et propriétés physique>>,Editeur Masson, p249.
- [6] L.Pauling Journal of the American Chemical Soceity Vol54, p3570-3582(1932).
- [7] W. Eckstein, Sputtering yields, Vacuum 82 (2008) 930–934
- [8] J.Bohdansky,J. Roth, H. Bay, J. Appl. phys.51(1980)2861 et 52 (1981) 1610.
- [9] D.Rosenberg, G.K. Wehner J. Appl.Phys. Vol 33 No 5 1962.
- [10] Y. Yamamura Radiation effects, 1984, Vol. 80,pp 57-72.
- [11] J.E. Mahan, A.Vantomme, 'A simplified collisional model of sputtering in the linear cascade regime' J.Vac. Sci. Techno. A 15(4), Jul/Aug 1997.
- [12] P. Sigmund, Phys. Rev., 187, p.768, 1969.
- [13] K.Wasa, M. Kitabatake, H. Adachi, 'Thin film Materials technology sputtering of compound Materials', Springer, 2004.
- [14] C.H. Townes, 'Theory of cathode sputtering in low voltage discharge', Phys. Rev. 65, 319-327 (1944).