

## ETUDE DES SPECTRES D'EMISSION D'IONS D'HELIUM LORS DE DEPOSITION SUR COUCHES MINCES

Lazhar BENMEBROUK et Fethi KHELFAOUI

*Laboratoires LENREZA et LRPPS et Département Sciences de la Matière, Faculté des Sciences et Technologies et des Sciences de la Matière, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie*

E-mail: [lazhar.benmebrouk@gmail.com](mailto:lazhar.benmebrouk@gmail.com), [fethi.khelfaoui@gmail.com](mailto:fethi.khelfaoui@gmail.com)

**RÉSUMÉ** : Dans le cadre de la caractérisation d'un plasma de décharge, nous avons réalisé une étude numérique sur des spectres expérimentaux émis par le plasma lors de déposition sur couches minces de silicium. L'objectif recherché est la détermination de la température électronique et de la densité électronique d'un plasma de décharge provoquée dans l'hélium pur avec une pression de 0.1 mb, une puissance RF (100-400W) et pour des positions ( $x = 0$ ,  $x = 3$  et  $x = 5$  cm). Les profils de raies et la connaissance de l'état d'équilibre thermodynamique du milieu sont nécessaires pour réaliser nos études. Nous nous sommes basés sur des bases des données de physique atomique des différents éléments du milieu (HeI, HeII, SiI, SiII...), et de modèle théorique et numérique pour calculer les différentes causes d'élargissements (naturel, Doppler, Stark et expérimental). Les résultats trouvés montrent que le plasma est hors équilibre thermodynamique local et la température électronique est proche de celles estimées par d'autres auteurs [1].

**MOTS-CLÉS** : profil de raie, spectroscopie des plasmas, plasma de décharge, déposition, couche mince

### 1. Introduction

Nous nous sommes intéressés à l'étude de spectres expérimentaux émis par le plasma lors de déposition sur couches minces de silicium. Les spectres expérimentaux sont ceux des travaux de recherche sur les couches minces de Mr. M. S.Aida et Mr N.Ataf [2]. Le dispositif expérimental est réalisé au niveau du laboratoire de couches minces et interfaces de l'Université de Constantine. Les profils spectraux résultants peuvent être un moyen approprié le diagnostic (détermination de la température électronique, la densité électronique,...).

Après la description du dispositif expérimental, nous avons étudié les intensités relatives des pics pour le diagnostic de la température et de la densité électronique. Nous avons étudié aussi les différents modes d'élargissements : naturel, Doppler, Stark et expérimental [3].

Nous avons élaboré un code numérique pour réaliser nos études en nous basant sur des données de physique atomique des différents éléments du milieu (HeI, HeII, SiI, SiII, SiIII).

### 2. Modèle de diagnostic

Le but de notre travail est l'étude des spectres expérimentaux obtenus. Cette étude comporte plusieurs axes. Il est nécessaire de déterminer les éléments responsables de ces émissions et les niveaux d'énergie concernés. On peut appliquer les lois d'équilibre pour estimer la température et la densité électroniques pour une certaine position de notre milieu. On peut déterminer la concentration de chaque espèce. Et, finalement on peut étudier les causes d'élargissement possibles. Nous avons élaboré un programme numérique pour faire notre étude.

### 3. Résultats et discussions

La connexion de notre programme « CCPR » avec cinq bases de données atomiques (He, He<sup>+</sup>, Si, Si<sup>+</sup> et Si<sup>++</sup>) permet de donner, d'une part, les spectres théoriques de chaque espèce et d'autre part, le spectre total du mélange selon la densité de chaque espèce.

Le tableau 1 montre le nombre des transitions radiatives dans le domaine choisi (350<sup>nm</sup> -750<sup>nm</sup>) et la concentration de chaque espèce.

À partir des spectres théoriques résultantes et après la comparaison avec les spectres Expérimentaux, nous remarquons que :

- Les positions des raies nous ont permis l'identification des différentes espèces et leur degré d'ionisation.
- Malgré la faible concentration du silicium, l'influence de ses spectres est claire
- Pour quelques raies, on constate un désaccord entre l'intensité calculée et celle mesurée.

On peut interpréter cette remarque comme suit :

Le profil expérimental correspond aux conditions d'inversion de population (hors l'équilibre thermodynamique local, alors que les populations des niveaux d'énergie calculées sont dans l'hypothèse d'un plasma à l'équilibre thermodynamique local.

- Pour les positions(x=0 et x=05cm), la température électronique augmente quand la puissance Rf augmente.
- Pour une valeur fixe de la puissance Rf (tableau 2) la température électronique dans la position x=0 est supérieure à celle dans la position x=5 ; le champ électrique dans l'espace cathodique (x=0) est supérieur à celui dans la zone anodique [4].

D'autre part, l'émission d'électrons secondaires de la cible au niveau de la cathode implique l'augmentation de la densité électronique dans la position x=0.

- Pour une puissance Rf égale à100W, on remarque que la densité électronique dans la position x=3 est inférieure à celle dans les positions x=0 et x=5, parce que ce point se trouve dans le colonne positive qui est caractérisé par un champ électrique faible [4].

- En ce qui concerne l'élargissement des raies (tableau 3) on remarque que :

La contribution de la largeur naturelle est négligeable.

La largeur Stark est supérieure à celle de Doppler.

La contribution de l'effet Stark augmente quand la densité électronique augmente.

**Tableau 1 : nombre de transition**

type	He	He <sup>+</sup>	Si	Si <sup>+</sup>	Si <sup>++</sup>
Nombre de transition	119	242	119	128	304
concentrations	44.0	55.9	0.04	0.06	0.007

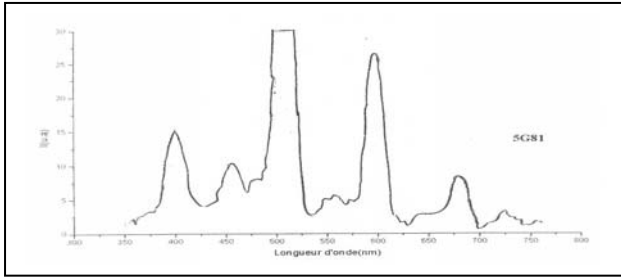


Figure 2 : spectre expérimental

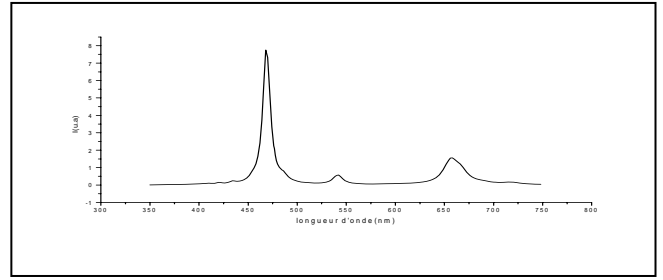


Figure 3 : Spectre Théorique

Tableau 2: Des valeurs numériques de la température et de la densité électronique dans les positions  $x=0$ ,  $x=3$  et  $x=5$  pour différentes valeurs de la puissance  $P_{Rf}$

Position $x$ (cm)	Puissance $P_{Rf}$ (w)	Température électronique $T_e$ (ev)	Densité électronique $N_e$ ( $cm^{-3}$ ) $\times 10^{12}$
0	100	4.49	7.786
	200	4.50	7.792
	300	4.56	7.843
	400	/	/
3	100	4.344	7.651
	200	4.512	7.805
	300	4.407	7.713
	400	4.492	7.787
5	100	4.447	7.748
	200	4.466	7.765
	300	4.551	7.836
	400	4.557	7.841

Tableau 3 : Les effet d'élargissement de quelques raies spectrales et leurs valeurs calculées à demi- hauteur (pour une pression de 0.1mb, une puissance de 100w et une position  $x=5$ cm)

$\lambda$ ( nm)	$\Delta\lambda_N$ Naturel	$\Delta\lambda_D$ Doppler	$\Delta\lambda_S$ Stark
396.580He	$0.61 \cdot 10^{-6}$	0.041	0.071
447.273He	$0.26 \cdot 10^{-5}$	0.0464	0.091
587.724He	$0.129 \cdot 10^{-4}$	0.0609	0.157
668.000He	$0.15 \cdot 10^{-4}$	0.069	0.203
468.6800He+	$0.24 \cdot 10^{-4}$	0.0486	0.106

#### 4. Conclusions

Notre étude nous a permis de calculer des spectres théoriques. Ces spectres sont en bon accord avec les spectres expérimentaux d'une chambre de décharge provoquée dans l'hélium pur avec une pression de 0.1mb, une puissance Rf de 100W et pour une position  $x=5\text{cm}$ . Les spectres théoriques contiennent la contribution des élargissements naturel, Doppler, Stark et expérimental. Le calcul a permis l'estimation des températures et des densités électroniques ( $T=4.45\text{eV}$  et  $N_e=7.75\times 10^{12}\text{ cm}^{-3}$ ). Les résultats trouvés montrent que le plasma est hors équilibre thermodynamique local et la température électronique est proche de celles estimées par d'autres auteurs [1]. Le calcul des rapports entre les intensités des pics nous a permis de calculer le taux de chaque espèce (d'atomes ou d'ions) dans le plasma (44.00 % He, 55.90 %  $\text{He}^+$ , 0.04 % Si, 0.06 %  $\text{Si}^+$  et 0.007 %  $\text{Si}^{++}$ ).

#### Références :

- [1] Mr L. Benmebrouk, Thèse de Magister de, Université de Ouargla, Algérie ; mai 2003
- [2] N.Attaf, L.Hadjeris, M.S. Aida et N. Messai, "Diagnostic de l'interaction plasma d' Argon cible de silicium par spectroscopie à émission optique"; Communication présentée au CMMF, Tlemcen, Algérie
- [3] Mr. F. Khelfaoui, Thèse de Doctorat de Université de Provence, France ; 1991
- [4] A.-M. Pointu ; "Plasmas Froids de décharge"; Technique de l'Ingénieur, D2 830