

PARAMETRES STARK DE QUELQUES RAIES ASYMETRIQUES DE SiII

B. FERHAT¹, R. REDON², M. RIPERT², A. BOIS² et Y. AZZOUZ¹

¹LEQ, Faculté de Physique, U.S.T.H.B, B.P. 32 El-Alia, 16111 Alger, Algérie

²PROTEE /ISO, U.S.T.V, 83957 La Garde Cedex, France

E-mail: belkacem.ferhat@gmail.com

RÉSUMÉ : Un plasma est créé par impact laser sur du silicium pur. Les raies spectrales du SiII (transitions $3s^24p - 3s^26s$, $3d^2F^0 - 4f^4G$ et $3d^2F^0 - 4f^2G$) sont observées pour des températures $T = 14000 - 18000$ K et des densités $N_e = 1.7 - 6.1 \times 10^{23}/m^3$. Les raies sont élargies par effet Stark et les profils asymétriques sont déconvolués par un modèle empirique basé sur un algorithme adapté.

MOTS-CLÉS : data atomiques, profils de raies, spectroscopie d'émission, paramètres Stark

1. Introduction

La connaissance des élargissements et des déplacements Stark du Silicium ionisé est importante pour les physiciens atomistes et pour les astrophysiciens. Le silicium joue un rôle particulièrement important dans les milieux stellaires et solaires de température comprise entre $10.000^\circ K$ et $20.000^\circ K$ car son spectre, constitué de raies d'émission dans le Visible et l'UV, y est dominant. Un manque de données expérimentales sur le silicium est indiqué par [1,2]. Des théories élaborées existent [2-10] et permettent de calculer les largeurs à mi-hauteur pour les ions faiblement et fortement chargés.

Les valeurs expérimentales publiées concernent uniquement les raies symétriques et sont décrites par une distribution lorentzienne. Seulement, le phénomène de l'asymétrie des raies est relativement peu étudié expérimentalement bien que connu depuis des dizaines d'années et que certains auteurs aient axé leur intérêt pour son étude [11 – 15]. Pour cette raison des valeurs mesurées sont d'une grande importance.

Les résultats expérimentaux fiables sont utilisés comme moyen de diagnostic et de test des théories existantes. Les expérimentateurs ont des impératifs à satisfaire pour réaliser des mesures optimales et fiables qui pourront servir de test des théories existantes (plasma à l'équilibre thermodynamique local, rapport signal/bruit bon, correction des effets externes et internes, procédure de traitement optimal).

Nous présentons ici, pour la première fois, les valeurs mesurées des demi-largeurs Stark et des déplacements de raies asymétriques de silicium une fois ionisé.

2. Dispositif expérimental et traitement de données

2.1. Dispositif expérimental

Le milieu rayonnant est obtenu à l'aide de l'impact d'un faisceau laser Nd: Yag sur du silicium solide (10 ns largeur d'impulsion, de l'énergie 300mJ) [16]. La cible est du silicium monocristallin de pureté 99,999 % sous forme cylindrique de 5 mm de diamètre et de 50 mm de longueur. La résolution finale est de 30 pm/pixel. Pour une combinaison de paramètres (énergie laser, délai), chaque spectre est enregistré en mode accumulé pour 100 impulsions

laser sur les 256 lignes de l'ICCD. Les mesures ont été répétées 20 fois et le spectre de la raie de plasma a été calculé comme le médian de ces 20 spectres.

Toutes les raies spectrales ont été corrigées par la fonction appareil du système (mesurée avec une lampe de mercure au début et la fin de chaque séquence d'acquisition. De petites quantités de xénon ont été ajoutées afin de déterminer la température (Boltzmann plot des raies du Xe II). Le mouvement hélicoïdal imposé à la cible permet une répétition quasi parfaite des propriétés spatio-temporelles du plasma. La variation de l'énergie incidente du faisceau laser permet l'obtention de plasmas avec des propriétés thermodynamiques différentes.

2.2. Traitement des données

Un programme Matlab incluant le modèle des raies, la fonction d'appareil ainsi qu'un polynôme décrivant le bruit thermique permet d'obtenir les valeurs numériques des intensités des raies aux longueurs d'onde maximales, des demi-largeurs à mi hauteur ainsi que celle du bruit de fond.

En partant de l'observation des spectres et après avoir essayé un grand nombre de solutions mathématiques pour la description du profil de raie, nous sommes arrivés à l'adoption d'une distribution composée de deux demi lorentziennes : l'une pour la demi-raie gauche et l'autre pour la demi-raie droite. Le fondement mathématique de cette approche incombe aux théoriciens.

La précision sur les valeurs expérimentales induite par les incertitudes propres à la technique spectrométrique est de l'ordre de 10%

3. Résultats et discussion

Des séries de spectres très stables et reproductibles ont été obtenues pour $T = 14\,000 - 18\,000$ ° K et $N_e = 1,70 - 6.10^{23}$ /m³. Les valeurs de la densité électronique sont calculées selon la formule de Griem. Un algorithme simple et adapté a permis de fitter les profils asymétriques qui sont illustrées dans les figure 1 et 2. Elles rapportent les spectres réel et traité du doublet $3s^24p - 3s^26s$ (figure.1) ainsi que ceux des raies extrêmement faibles des transitions $3d^2F^0 - 4f^4G$ et $3d^2F^0 - 4f^2G$. Les valeurs mesurées (avec une précision inférieure à 10%) des demi-largeurs des deux moitiés de 6 raies du silicium une fois ionisé ainsi que des déplacements Stark pour 8 valeurs de la température sont rapportées dans le tableau 1.

La 1^{ère} colonne indique les longueurs d'onde des maxima selon Striganov et Sventitski [18].

La 2^{ème} colonne rapporte les longueurs d'onde mesurées pour les transitions considérées.

La grandeur $\Delta\lambda$ indique le déplacement Stark mesuré et calculé par soustraction entre les valeurs des 1^{ère} et 2^{ème} colonnes.

Les intensités des maxima des raies sont rapportées dans les colonnes 4 et 5 tandis que γ_1 et γ_2 sont les deux demi-largeurs des raies déduites selon la méthode de calcul citée plus haut.

Toutes les raies observées sont asymétriques à l'exception de la raie 399,177 nm symétrique pour toutes les valeurs de température et la raie 401,622 nm qui connaît une asymétrie que pour la température de 18000°K.

A part cela, le déplacement Stark est très faible pour cette même raie 399,177 nm.

L'absence de données expérimentales et théoriques sur l'asymétrie des raies isolées pour des plasmas dans les mêmes conditions thermodynamiques rend impossible toute comparaison.

Tableau 1 : valeurs mesurées des paramètres Stark

<i>T= 14000 °K</i>	λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{\max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.292	0.022	992.64	0.142	0.637
	333.982	333.917	0.065	1900.03	0.030	0.600
	397.746	397.718	0.038	555.38	0.300	0.423
	399.177	399.160	0.017	1369.51	0.282	0.282
	399.801	399.763	0.018	788.49	0.215	0.321
	401.622	401.605	0.017	570.93	0.193	0.205
<i>T= 14500 °K</i>	Λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{\max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.308	0.006	1089.48	0.155	0.591
	333.982	333.927	0.055	2140.22	0.037	0.577
	397.746	397.699	0.047	708.76	0.301	0.472
	399.177	399.172	0.005	1674.17	0.321	0.321
	399.801	399.687	0.034	1105.54	0.049	0.414
	401.622	401.583	0.039	618.35	0.220	0.293
<i>T= 15000 °K</i>	Λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{\max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.313	0.001	1110.85	0.166	0.650
	333.982	333.920	0.062	2067.71	0.033	0.651
	397.746	397.723	0.023	663.03	0.286	0.405
	399.177	399.171	0.006	1477.58	0.316	0.316
	399.801	399.720	0.079	843.57	0.120	0.420
	401.622	401.616	0.004	581.09	0.239	0.239
<i>T= 15500 °K</i>	Λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{\max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.332	0.018	1117.29	0.202	0.654
	333.982	333.925	0.057	2075.26	0.033	0.665
	397.746	397.723	0.023	849.94	0.350	0.455
	399.177	399.182	0.005	1912.67	0.366	0.366
	399.801	399.702	0.009	1257.54	0.068	0.430
	401.622	401.612	0.0010	665.22	0.312	0.312
<i>T= 16000 °K</i>	Λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{\max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.339	0.025	1330.21	0.210	0.590
	333.982	333.916	0.066	2213.67	0.041	0.818
	397.746	397.718	0.028	843.64	0.309	0.464
	399.177	399.179	0.002	1906.77	0.364	0.366
	399.801	399.722	0.079	1220.95	0.105	0.424
	401.622	401.612	0.010	723.45	0.282	0.288

<i>T= 16500 •K</i>	Λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.343	0.029	1227.92	0.226	0.610
	333.982	333.923	0.011	2232.04	0.037	0.734
	397.746	397.732	0.014	882.00	0.421	0.502
	399.177	399.177	0.000	2122.96	0.360	0.363
	399.801	399.717	0.084	1269.38	0.115	0.457
	401.622	401.608	0.014	770.82	0.301	0.302
<i>T= 17000 •K</i>	Λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.334	0.020	1258.51	0.203	0.749
	333.982	333.937	0.045	2241.20	0.038	0.754
	397.746	397.736	0.010	883.98	0.419	0.482
	399.177	399.186	0.009	2070.74	0.401	0.401
	399.801	399.705	0.096	1325.40	0.080	0.487
	401.622	401.612	0.010	770.20	0.310	0.321
<i>T= 18000 •K</i>	λ_0 (nm)	λ_m (nm)	$\Delta\lambda$(nm)	I_{max} (r.u)	γ_1 (nm)	γ_2 (nm)
	333.314	333.429	0.115	1247.80	0.480	0.556
	333.982	333.926	0.056	2186.86	0.049	0.905
	397.746	397.766	0.020	968.62	0.365	0.443
	399.177	399.181	0.004	2490.60	0.310	0.310
	399.801	399.799	0.002	1498.47	0.252	0.348
	401.622	401.562	0.060	901.17	0.195	0.426

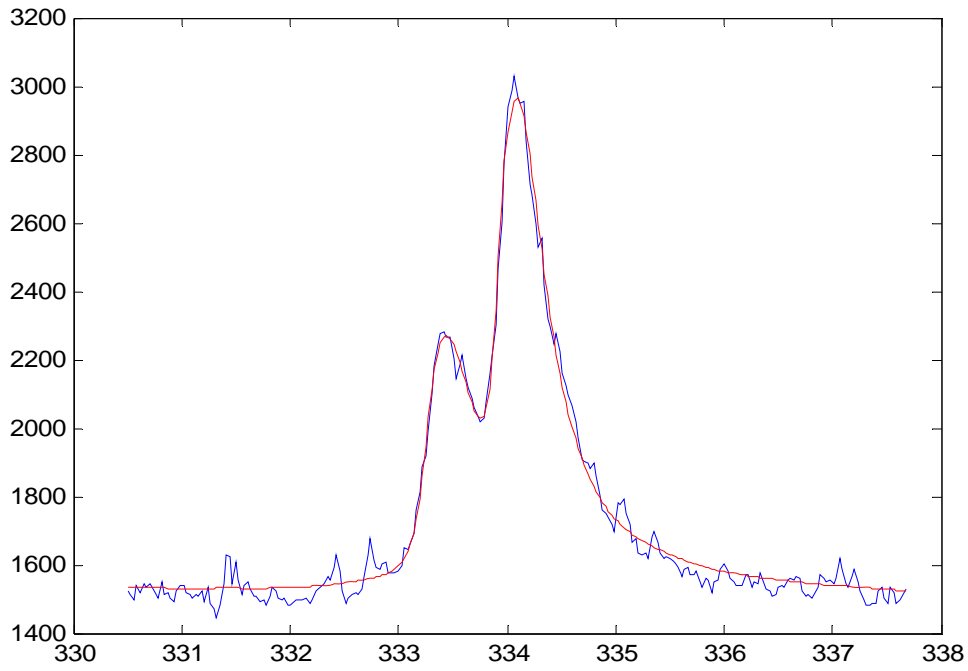


Figure 1 : spectre réel et spectre synthétisé des transitions $3s^24p - 3s^26s$

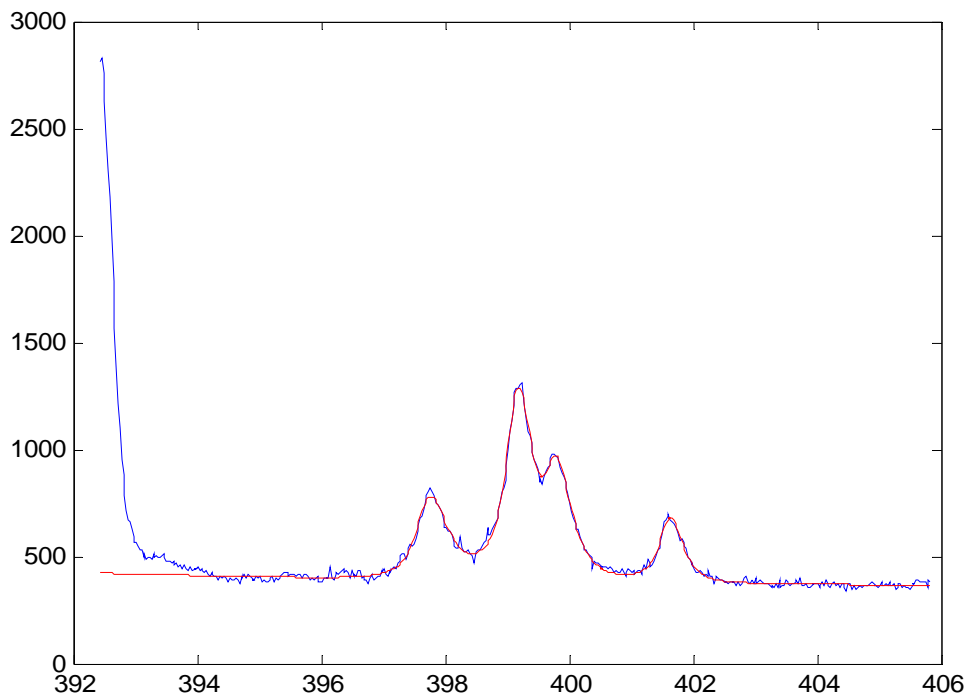


Figure 2 : spectre réel et spectre synthétisé des transitions $3d^3^2F^0 - 4f^4G$ et $3d^3^2F^0 - 4f^2G$

Références

1. Lanz.T, Artru.M.C, 1985, *Physica Scripta* 32,115
2. Lesage, A. & Redon, R. 2004, *A&A*, 478, 765
3. Griem.H.R, 1968, *Phys.Rev*, 165,258
4. Griem.H.R, 1947, *Spectral line broadening by plasmas* (New York, Academic press)
5. Sahal-Brechot.S, 1969a, *A&A*, 1, 91
6. Sahal-Brechot.S, 1969b, *A&A*, 2,322.
7. Lanz.T,Dimitrievic.M.S.,Artru.M.C,A&A, 192,249, 1988
8. Ralchenko Yu.V., Griem.H.R, Igor Bray, *JQSRT*, 81, 371, 2003
9. Ralchenko Yu.V., Griem.H.R, Igor Bray and Dimitri.V.Fursa, *Phys. Review A*, 59, 3, 1999
10. Alexiou, S. 1997, in 13th Int. Conf. on Spectral Line Shapes, ed. M. Zoppi and L. Ulivi,
11. Ciurylo.Raman, *Physical Review A*, vol. 58, Issue 2, pp. 1029-1039
12. Torres. J., Palmarès. J.M., Gigolos. M.A., Gamero. A., Sola. A. , Van der Mullen, J.J.A.M. ,*Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 63 (9), p.939, Sep 2008
- 13.Nikolic. D., Djurovic. S., Mijatovic. Z. , Kobilarov. R. , Vujiic. B. and Irian. M., *JQSRT*, 86 (3), p.285, Jul2004
- 14.Günter, Sibylle / Könies, Axel , *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 52 (6), p.819, Dec 1994
- 15.Szudy, J. ,Baylis, W. E. , *JQSRT*, 17 (5), p.681, May 1977
16. Matheron, P., Escarguel, A., Redon, R., Lesage, A., & Richou, J. 2001, *J. Quant. Spectrosc. Radiat.Transfer*, 69, 535
17. Deron, C., Perrin, M-Y., & Soufiani, A. 2005, in 6th World Conference on Experimental Heat Transfer,Fluid Mechanics and Thermodynamics, Matsushima, Miyagi, Japan
18. Striganov, A.R., & Sventitskii, N.S. 1968, in *Tables of Spectral lines of Neutral and Ionized Atoms*,IFI/Plenum
19. Ralchenko, Yu., Kramida, A.E., Reader, J., and [NIST ASD Team](#) (2008). *NIST Atomic Spectra Database* (version 3.1.4), [Online] [2008, February 11]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD