

### 3 準位系からの発光強度比を利用したプラズマ中の原子空間密度の評価

薄膜・表面物性研究室 入江 早紀

T025008 Saki Irie

#### 1. 研究の背景

基底状態を含む3準位系の発光スペクトルの線強度は、基底状態の原子の空間密度の測定に利用できる。これまでこの原理より Cu 原子の密度を評価してきたが、他の原子にも適用可能かどうかを検討し、実際に Ti 原子に対する測定を行った。

#### 2. 理論

プラズマの長さを  $L$ 、324 nm の発光強度を  $I_{20}$ 、510 nm の発光強度を  $I_{21}$  とすると、これらの比は次のようになる。

$$\frac{I_{21}}{I_{20}} = \frac{a_{21} \int_0^\infty 1 - \exp\left(-k_{\nu_{21}} L \exp\left[-\left\{2\sqrt{\ln 2}(\nu - \nu_{21})/\Delta\nu_{D21}\right\}^2\right]\right) d\nu}{a_{20} \int_0^\infty 1 - \exp\left(-k_{\nu_{20}} L \exp\left[-\left\{2\sqrt{\ln 2}(\nu - \nu_{20})/\Delta\nu_{D20}\right\}^2\right]\right) d\nu}$$

$$\text{ただし } a_{nm} = \frac{c}{4\pi} \frac{A_{nm} N_n}{B_{nm} N_m - B_{nm} N_n} \quad \text{また } k_{\nu_{nm}} = \frac{2}{\Delta\nu_{Dnm}} \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \frac{c^2}{8\pi\nu_{nm}} \frac{g_n}{g_m} A_{nm} N_m \left(1 - \frac{g_m}{g_n} \frac{N_n}{N_m}\right)$$

ここで  $N_n$  と  $g_n$  は各準位の密度と統計重率、 $A_{nm}$ 、 $B_{nm}$ 、 $B_{mn}$  はアインシュタイン係数、 $\nu_{nm}$  は遷移の中心振動数、 $\Delta\nu_{Dnm}$  はピークのドップラー広がりである。

#### 3. 結果と考察

今回 NIST のデータベースを元に、種々の金属に対して上記のような三準位モデルが適用できるかどうか・計測可能かどうかを調べた。その結果、ターゲット材料が一般的に入手可能な範囲では、Ti が測定対象となりうるということがわかった。DC 放電電力 50W のスパッタプラズマの発光スペクトルより、318nm および 503nm の発光線の強度の圧力依存性を求めたのが図 1 である。これらの発光に關与する準位は図 2 に示した。

Ti でも基底状態への遷移が圧力上昇とともに相対的な減少を示す結果が得られた。ただし Cu の場合に比べてその変化は小さかった。なお各遷移におけるアインシュタイン係数は、318nm で  $A_{20}=8.00 \times 10^7 [1/s]$ 、 $B_{20}=1.54 \times 10^{20} [m^3/J \cdot s^2]$ 、 $B_{12}=2.16 \times 10^{20} [m^3/J \cdot s^2]$ 、503nm で  $A_{21}=3.87 \times 10^7 [1/s]$ 、 $B_{21}=2.96 \times 10^{20} [m^3/J \cdot s^2]$ 、 $B_{12}=4.14 \times 10^{20} [m^3/J \cdot s^2]$  であった。

参考文献 NIST Atomic Spectra Database <http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/>

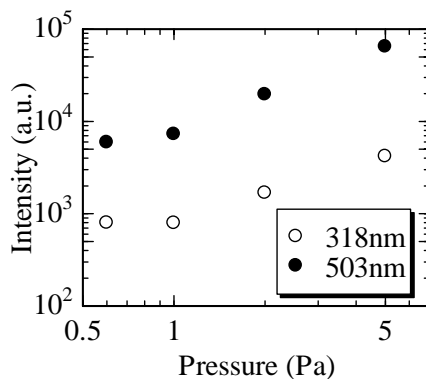


図 1 Ti 発光強度の圧力依存性

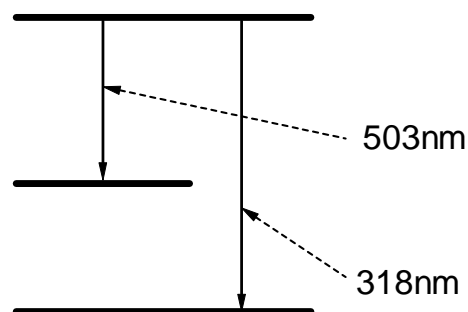


図 2 Ti の発光遷移