

高出力パルスマグネトロンスパッタにより生成する プラズマ発光の分光計測

¹東京工芸大工, ²(株)アヤボ, ³東北大院理

○實方真臣¹, 西田寛¹, 平井芳拓¹, 松田広一¹, 中込雄基¹, 西宮信夫¹,
山本宏晃², 戸名正英², 塚本恵三², 大下慶次郎³, 美齊津文典³

Spectroscopy of optical emissions generated by high-power pulsed magnetron sputtering (HPPMS)

○Masaomi Sanekata¹, Hiroshi Nishida¹, Yoshihiro Hirai¹, Koichi Matsuda¹,
Yuki Nakagomi¹, Nobuo Nishimiya¹, Hiroaki Yamamoto², Masahide Tona²,
Keizo Tsukamoto², Keijiro Ohshimo³, Fuminori Misaizu³

¹ *Department of Electronics and Mechatronics, Tokyo Polytechnic University, Japan*

² *Ayabo Corporation, Japan*

³ *Graduate School of Science, Tohoku University, Japan*

【Abstract】 In the last decade, high-power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) has attracted a lot of attention, and was studied and developed actively as an ion PVD technology. More recently, reactive high-power pulsed magnetron sputtering (R-HPPMS) performed by introducing reactive gases was in the spotlight as a fine-controlled deposition technology, although the reactive plasma and the reactive deposition processes are lack of enough understanding. As a beginning of R-HPPMS study, the excitation temperature, which is the index of excited level distributions for the light-emitting species in plasma, has been estimated from the emission spectra of atoms and their ions, for the purpose of unveiling the atomic process in the plasma.

【序】 近年、従来の直流マグネトロンスパッタに比べてプラズマ内に高密度のイオンを生成可能とされる高出力パルスマグネトロンスパッタ(HPPMS)が、イオン PVD の成膜技術として注目されている^[1]。さらにごく最近では、反応性ガスを積極的に導入して行われる反応性 HPPMS (R-HPPMS) が注目され始めているが^[2]、その成膜反応素過程について十分に理解されているとはいえない。R-HPPMS 研究の前段階として、本研究では HPPMS を用いて Ti ターゲットの Ar ガススパッタにより生じるプラズマ発光に対し、発光分光計測 (Optical Emission Spectroscopy: OES) を行った。発光線の強度に対するボルツマン・プロットによって求められる励起温度から、プラズマ内の原子過程について検討を試みる。

【実験方法】 Fig. 1 に示すように、Ar ガスを 2.4 Pa 導入した真空チャンバー内に置かれた直径 2 インチの Ti ターゲットに、変調パルス高圧電源 (AXIA / Zpulsar 社) を用いてパルス電力を投入することでプラズマを生成した。Ar ガスの吹き出しによる光学窓の曇り防止機能をもつ光ファイバーユニット (Gencoa 社) に入射したプラズマの発光は、真空シールされたファイバーコネクタを通じて大気側光ファイバーへと導

かれ、CCD 分光器 (USB-2000/Ocean Optics 社) により分光測定された。真空チャンバー内に置かれた光ファイバーのステージは、ターゲットの中心から外側に 120 mm の位置に置かれ、ターゲット表面からの距離を 10 から 210 mm の範囲で直動させることが可能である。また、特定波長の発光線に対する発光強度およびその波形の測定は、波長掃引型分光器 (SG250 / 光研工業社) により、光電子増倍管からの光信号をロックイン増幅器 (LI 5640 / NF 回路社)、またはデジタルオシロスコープ (LT344 / LeCroy 社) に取り込むことによって行った。

【結果・考察】ピーク電力密度 0.11 kW/cm² (平均放電電力 0.26 kW) の条件で生成したプラズマ発光に対し、ターゲット表面からの距離 42 mm において測定された発光スペクトルを Fig. 2. に示す。発光スペクトルの強度は、分光システムの光学素子の分光特性、および検出器の感度特性より補正を行った。HPPMS によって生成するプラズマが、放射過程に依存することなく衝突過程によって熱平衡状態を維持する衝突優勢プラズマであるとすると、プラズマ内においては局所熱平衡状態 (Local Thermal Equilibrium: LTE) が成り立ち、原子の電子励起準位への分布がボルツマン分布に従う形となる。そのとき、発光スペクトルの対数強度は、励起準位のエネルギーに対して負の傾きを示し (ボルツマン・プロット)、その傾きから励起温度を求めることが可能となる^[3]。今回、試験的に Fig. 2 に見られる発光線のうち帰属の明確な Ar 原子と Ti 原子の発光線を選び (図中、励起準位のエネルギーが低い方からそれぞれ L、M、H と記した)、ボルツマン・プロットした結果を Fig. 3 に示す。このときの励起温度はそれぞれ $(1.2 \pm 0.4) \times 10^3$ K (Ar)、 $(9.3 \pm 1.4) \times 10^3$ K (Ti) となった。講演では、主に 400 nm 以下に発光線を示す Ti⁺の結果も含め、発光種の示す励起温度の由来とプラズマ内における原子過程 (衝突・励起・脱励起過程) について議論する予定である。

【参考文献】

- [1] J. T. Gudmundsson *et al.* *J. Vac. Sci. Technol.* **A30**, 030801 (2012).
 [2] A. Andre *J. Appl. Phys.* **121**, 171101 (2017).
 [3] T. Fujimoto. *Plasma Spectroscopy* (Clarendon press, Oxford 2004).

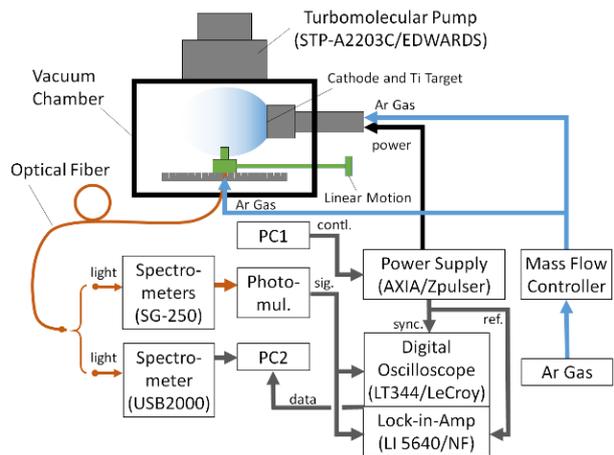


Fig. 1. Experimental Setup of OES for HPPMS.

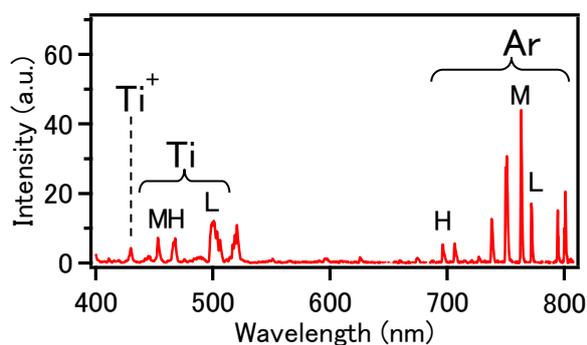


Fig. 2. Optical emission spectrum for HPPMS plasma.

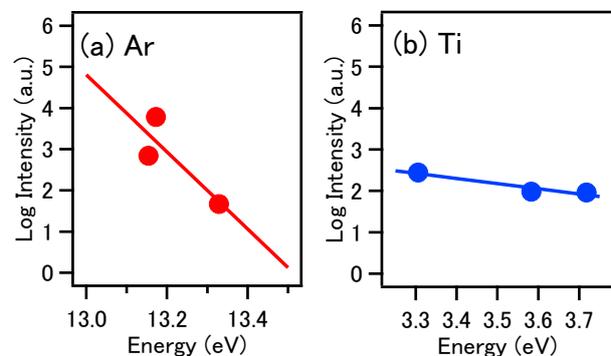


Fig. 3. Boltzmann plots for Ar (a) and Ti (b) lines.