

## 超臨界・液体アルゴン中のカーボンナノチューブ電極による放電の発光分光測定 Optical Emission Spectroscopy of Discharges with Carbon Nanotube Electrodes in Supercritical and Liquid Argon

東大院新領域 <sup>○</sup>宗岡 均, 黒田 知暉, 伊藤 剛仁, 寺嶋 和夫

The Univ. of Tokyo, <sup>○</sup>Hitoshi Muneoka, Tomoki Kuroda, Tsuyohito Ito, Kazuo Terashima

E-mail: muneoka@plasma.k.u-tokyo.ac.jp

**【背景・目的】** 近年、液体や超臨界流体(SCF: Supercritical fluid)状態を含む高密度媒体中におけるプラズマは、その応用範囲の広さから盛んに研究されている[1]。一般にこのような高密度媒体中での放電には高い印加電圧が必要とされるが、本研究室ではこれまでにカーボンナノチューブ(CNT)を電極として用いて電界電子放出を促進することで、高密度の窒素やアルゴン中において低い印加電圧で安定した放電を達成した[2]。高密度窒素中ではオーロラの緑色と同波長の発光(557 nm)のみが確認され、不純物レベルの酸素原子に由来していると考えられる。一方で、高密度アルゴン中では発光強度が窒素中の発光よりも強く、制動輻射とみられる連続スペクトルが観測されることが報告されている。これらの放電は、気体から液体にわたる2桁以上の広い流体密度範囲において、一定の印加電圧で数十時間以上にわたり安定に維持することができた。これまでに高密度 N<sub>2</sub> 中において、不純物とみられる酸素原子との結合による ON<sub>2</sub> エキシマー様の発光(557nm 付近)の強度は窒素密度に大きく依存しないことを示した[3]。さらに、流体密度上昇に伴い557 nm 付近の発光スペクトル形状が変化し、気相で確認される ON<sub>2</sub> エキシマーから凝縮相中の O 原子の発光に特徴的な形状に遷移することから、放電空間が熱化(低密度化)することなく凝縮相を保っていることを明らかにした。一方、CNT 電極を用いた同種の放電において、CNT 電極からの電界電子放出の寄与の影響の評価や、電子密度、電子温度等の基礎的なパラメーターの評価はできていなかった。

以上を背景として、本研究では、電子温度等の評価等を通じて CNT 電極を用いた放電現象の解明を進めることを目的として、SCF・液体状態を含む高密度アルゴンにおいて発光分光測定を実施した。

**【実験方法】** CNT を垂直配向させた銅基板(VACNT 電極)と酸化インジウムスズ(ITO)薄膜付きガラス板(100 μm)で作製した誘電体バリア放電電極(Fig.1)を、クライオスタット内の高圧セルに設置した。純度99.99995%のAr(臨界点:150.9 K, 4.9 MPa)を温度107~156 K、圧力2~7 MPaで保持し、電極に交流電圧(周波数5 kHz、電圧1.3~3.0 kV)を印加することで放電を生成し、発光分光測定(OES)を行った。

**【結果・考察】** 高密度 Ar 中の放電の写真を Fig.2(a)に示すように、VACNT 電極の周縁部を主として白色の発光が確認された。また、OES の結果、制動輻射とみられる連続スペクトルと共に、Ar や不純物由来の O 原子由来とみられるピークなど、複数の発光ピークが確認された。電圧・電流、時間分解 OES で得られた発光強度の1周期分の経時変化の例を Fig.2(b)に示す。VACNT 電極がカソードとなり CNT から電子が放出される極性となるのは、Fig.2(b)の後半(100-200 μs)である。流体密度に依らず連続スペクトルは後半で強くなる傾向が見られた一方、O 原子由来とみられる557 nm 付近のピーク強度は逆の傾向を示し、電界電子放出が作用しない極性でもプラズマ中の各種反応が進んでいることが示唆された。本発表では更なる結果と共に詳細を報告する。

**【謝辞】** 本研究の一部は JSPS 科研費 21K18614 の助成を受けたものである。

**【引用文献】** [1] S Stauss, H Muneoka, and K. Terashima. Plasma Sources Sci. Technol. **27** (2018) 023003.

[2] H. Muneoka R. Ohta, S. Stauss, and K. Terashima, Plasma Sources Sci. Technol. **28** (2019) 075014.

[3] 黒田 知暉, 宗岡 均, 伊藤 剛仁, 寺嶋 和夫, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 2022年9月20日, 20a-A105-2.

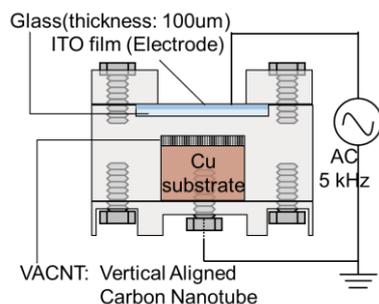


Fig.1 Schematic of electrodes using vertical aligned carbon-nanotube electrode

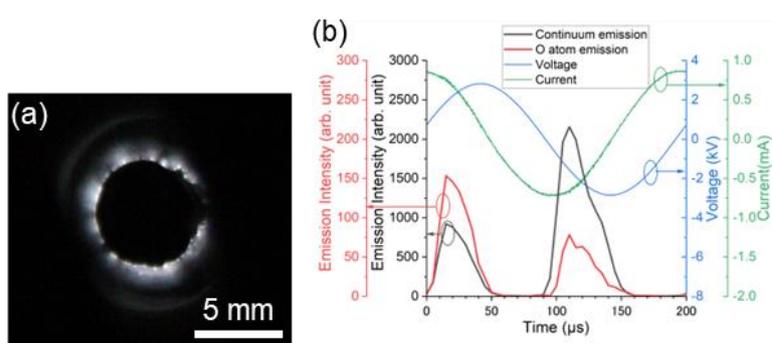


Fig.2 (a) Photograph of discharge, (b) Time variation of voltage, current, and emission intensities of O atom(540-570nm) and continuum spectra.