

## 整合器一体型小型マイクロ波プラズマ源によるラジカルビームの生成と評価 Production and evaluation of radical beams generated in tuner integrated compact microwave plasma sources

島袋祐次<sup>1</sup>, 奥村友喜<sup>1</sup>, 高橋秀典<sup>2</sup>, 岩本慎一<sup>2</sup>, 田中耕一<sup>2</sup>, 和田元<sup>1</sup>

Yuji Shimabukuro<sup>1</sup>, Tomoki Okumura<sup>1</sup>, Hidenori Takahashi<sup>2</sup>, Shinichi Iwamoto<sup>2</sup>, Koichi Tanaka<sup>2</sup>, and Motoi Wada<sup>1</sup>

同志社大学大学院 理工学研究科<sup>1</sup>, 島津製作所 田中耕一記念質量分析研究所<sup>2</sup>  
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University<sup>1</sup>  
Koichi Tanaka Mass Spectrometry Research Laboratory, Shimadzu Corporation<sup>2</sup>

### 1. 研究背景

様々な疫病に関与していると考えられているタンパク質の翻訳後修飾は、不安定であるため解析が困難であった。高橋らによって考案されたHAD (Hydrogen Attachment/Abstraction Dissociation) 法[1]では、水素原子をタンパク質に照射することで、翻訳後修飾を保持したまま断片化を誘導している。電気的中性粒子と生体物質との反応は、疫病の超早期発見のための診断装置の可能性を大きく広げることになると考えられている。新しい反応を実現するために、メンテナンスフリーで多種ラジカル種を広いエネルギー範囲で生成できる小型高効率プラズマ源の開発を行っている[2,3]。本講演では、ラジカルビーム生成源の詳細及び、生成したラジカルを測定するための電気的中性粒子の新規検出手法について論じる。

### 2. 高性能ラジカルビーム源の開発

水素原子の生成で汎用される熱解離反応は、高温部品を利用しているために短寿命である。マイクロ波プラズマを用いれば、メンテナンス性に富み、不純物の混入を抑えて多種ラジカルを生成できる。中性粒子を用いた各種生体物質の断片化反応はラジカル温度に依存することがこれまでの研究で示されており[4]、広いエネルギー範囲でのラジカル生成が重要である。我々は2.45 GHzのマイクロ波を利用して容量型と局所誘導型の2種類のラジカルビーム源を開発し、それぞれ高温/低温のラジカル生成に成功した。

### 3. 電気的中性活性種の評価法

#### 3.1 フラーレンに対する原子付着反応

四重極イオントラップ(QIT)では、RF電場と静電場を利用して真空中でイオンを保持することができる。水素原子はエネルギーに依らず容易にフルーレンに付着すること[5]が知られている。しかし、他の原子・ラジカル種についての報告は無い。我々はQITで保持したフルー

レンに対して開発したラジカル源より原子及びラジカル種を照射することにより、窒素原子や酸素原子がフルーレンに付着することを確認している。そこで、QITでフルーレンを保持する時間を変化させた際の、付着する原子の数を測定することより、定量的に原子・ラジカルの輸送効率を調査することができる。

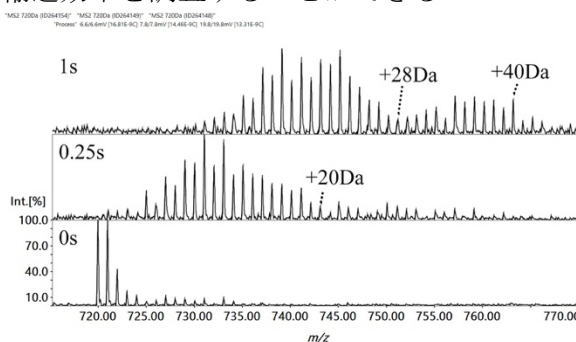


Fig. 1. Product ion spectra of reactive species attachment to  $C_{60}^{+}$  using locally inductively coupled plasma of  $H_2O$  vapor.

#### 3.2 酸化物半導体を用いた直接的観測

中性粒子の温度や密度の測定にはレーザー誘起蛍光法が利用されるが、計測系が複雑化する上に高価である。酸化物半導体表面に対する水素原子化学吸着に伴う導電率の変化を利用した水素原子検出器が過去に報告されている[6]。そこで我々は、独自にNiOやZnOの薄膜をDCマグネトロンスパッタリング法で成膜し、安価かつ容易に製作可能な新規中性粒子検出手法の開発に向けて取り組んでいる。

- [1] H. Takahashi *et al.*, *Anal. Chem.* **88**, 3810 (2016).
- [2] Y. Shimabukuro *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**(1S), 01AA02 (2018).
- [3] Y. Shimabukuro *et al.*, *Anal. Chem.* **90**, 7239 (2018).
- [4] D. Asakawa *et al.*, Dissociation of hydrogen-abundant peptide radical formed by hydrogen attachment in gas phase. International Mass Spectrometry Conference, Florence, Italy, Aug. 29<sup>th</sup>, 2018, WOr.08.
- [5] P. Demirev, *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **14**, 777 (2000).
- [6] K. Harvey *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **54**, 1117 (1983).