

## フラーレン負イオン源の開発

### DEVELOPMENT OF A NEGATIVE FULLERENE ION SOURCE

山田圭介<sup>#</sup>, 千葉敦也, 横山彰人, 鳴海一雅, 齋藤勇一

Keisuke Yamada<sup>#</sup>, Atsuya Chiba Akihito Yokoyama, Kazumasa Narumi, Saitoh Yuichi

Department of Advanced Radiation Technology, QST

National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

#### Abstract

We are developing a negative fullerene ion source for increasing of beam current and improving lifetime of the ion source. An ion source was designed and constructed in order to study an electron energy and electron supplying method to produce fullerene negative ion beam efficiently. Using an electron-gun to supply electrons into the ion production chamber, the C<sub>60</sub> negative ion beam current was measured in the incident electron energy range from 1 to 300 eV. In the result, the C<sub>60</sub> negative ion current was maximize when the electron energy was 300 eV. And the C<sub>60</sub> negative ion beam current at 300 eV was increased about 30 times by heating the ion production chamber.

#### 1. はじめに

クラスターイオンを物質に衝突させると、標的の原子サイズの領域に複数の原子が同時に照射されるため、高密度でエネルギーを付与することが可能である。高速 (MeV) エネルギー領域では、標的物質との相互作用において、単原子イオンの照射とは異なる照射効果が観測されており、この照射効果はクラスターサイズに伴い増加する傾向にある。そのため、TIARA タンデム加速器で加速可能な最大のサイズであるフラーレンイオンビームへの関心は高く、物質表面に与える強いインパクトや大きな集団的作用に対し、物質改質による新機性能性材料や高感度表面イメージング、遺伝子破壊による新規ゲノム創成など材料開発や分析技術、バイオ技術などの様々な分野においてその効果が期待される。

これまで、フラーレン (C<sub>60</sub>) イオンの生成は既存のセシウムスパッタイオン源で行われてきたが、得られるビーム強度が平均で 50 pA 程度と低いことに加え、時間と共に減少するという問題があった[1]。近年、我々はセシウムスパッタイオン源 (SNICS II) のスパッタロッドを小型のオープンロッドに置き換え、昇華させた C<sub>60</sub> とアイオナイザー表面又はフィラメントから放出される熱電子を利用した電子付着方式で、従来の約 1,000 倍のビーム強度を得ることに成功している[2]。しかし、タンデム加速器での荷電変換効率は 2% 程度であり、MeV エネルギーで得られる C<sub>60</sub> イオンビーム強度は最大でも数百 pA 程度である。そのため、ビーム強度増加に対する高い要望がある。我々は、イオン源で生成する C<sub>60</sub> 負イオンビーム強度の増大及びイオン源の長寿命化を目的として、電子付着方式の専用イオン源の開発を進めている。本研究では、効率的な負イオン生成を行うための電子エネルギーや供給方法を探索するため、イオン源の設計製作を行った。イオン源の構造、及び本イオン源を用いて C<sub>60</sub> 負イオン生成試験を行った結果について報告する。

#### 2. イオン源の構造

本イオン源は、昇華させた C<sub>60</sub> と低エネルギー電子をチェンバーに導入し、電子付着により負イオンを生成する。そのため、高融点材であるモリブデン製のイオン生成チェンバー、C<sub>60</sub> 試料昇華用オープン、及びイオン生成チェンバー内に電子を供給する電子源によって構成した。概略図を Figure 1 に示す。電子源は、電子ビームをイオン生成チェンバー外部から入射することで、フィラメント断線等トラブルの影響を無くし、長寿命化が期待できる電子銃を用いた。イオン生成チェンバーの内径は φ 30 mm で、電子銃側に φ 5 mm の電子ビーム導入孔、及び引出電極側に φ 5 mm の引出孔を有する。引出電極口径は 6 mm である。C<sub>60</sub> 試料昇華用オープン、SNICS II で使用していたオープンロッド[2]を使用した。

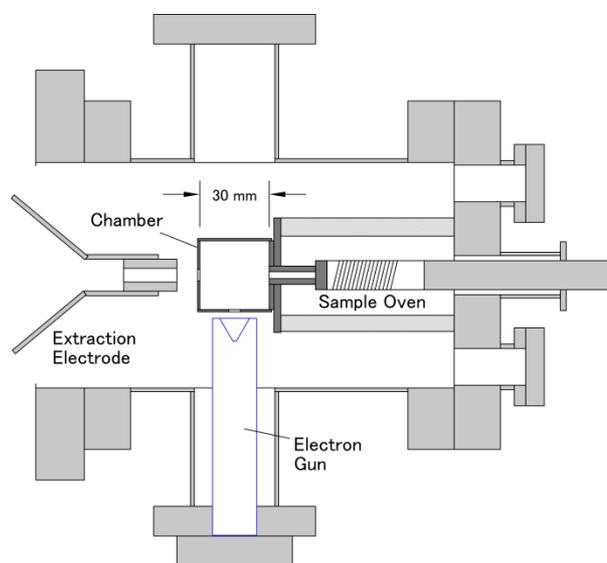


Figure 1: Schematic layout of the ion source.

<sup>#</sup>yamada.keisuke@qst.go.jp

### 3. 負イオン生成試験

製作したイオン源を、質量分析電磁石を備えたテストベンチに搭載し、負イオン生成試験を行った。入射する電子エネルギーに対する  $C_{60}$  負イオン生成量を調べるため、電子源として、電子銃 (Kimball Physics Inc. FRA2X-1) を使用した。本電子銃から生成する電子ビーム電流を測定した結果、エネルギー 5 eV で約 15  $\mu$ A であった。電子銃先端とイオン生成チェンバー間隔は 4 mm で、チェンバー内への電子ビームの入射効率は約 90% であった。イオン化試料として、 $C_{60}$  粉末 (純度 >99.5%、100 mg) をオープンに装填した。イオン源に引出電圧 -3 kV を印可し、引出電極及びビームラインを接地して、生成した負イオンを引き出した。引き出された負イオンビームはアインツェルレンズで収束させ、曲率半径 300 mm の 90 度分析電磁石で質量分析した。イオンビーム強度は分析電磁石の焦点に設置したファラデーカップで測定した。イオン源及びビームラインのベース真空度は  $10^{-5}$  Pa 以下である。

### 4. 実験結果及び検討

オープン温度 550°C、イオン生成チェンバーに供給する電子ビームのエネルギーを 1~300 eV の範囲で変化させたときの  $C_{60}$  負イオンビーム強度を Figure 2 に示す。電子エネルギーが 5 eV 付近で極大となった。 $C_{60}$  の電子付着断面積は、10 eV 以下の低エネルギー電子に対して大きいため [3]、入射した電子ビームが直接  $C_{60}$  に付着して負イオンが生成したものと考えられる。また、20 eV 以上では電子エネルギーが増加するにつれて  $C_{60}$  負イオンビーム強度も増加する傾向であり、電子エネルギー 300 eV において最大となった。300 eV では電子付着断面積が小さいことから、 $C_{60}$  と衝突せずに通過した電子ビームが、モリブデン製のイオン生成チェンバー内壁に衝突した際に放出される二次電子が  $C_{60}$  に付着し負イオンが生成したと考えられる。さらに、引出電源の極性を反転し、+3 kV で正イオンを引き出し、電子エネルギーに対する  $C_{60}^+$  正イオンビーム強度を Figure 2 にプロットした。 $C_{60}$  はイオン化ポテンシャルが 7.58 eV [4] であり、本イオン源でも電子エネルギーが 10 eV 以上で  $C_{60}^+$  が増加していき、50 eV 以上でほぼ一定となる。正イオンのビーム強度は負イオンの約 10 倍程度であるため、電離で放出された低エネルギー電子も負イオンの生成に寄与しているものと考えている。得られる  $C_{60}$  負イオンビーム強度は電子エネルギー 300 eV で約 300 pA であった。更に、オープンで昇華させた  $C_{60}$  を効率よく使用するため、イオン生成チェンバーをタンタル線ヒーターで 450°C 以上に加熱し、チェンバー内壁に付着した  $C_{60}$  を再び昇華させた結果、電子エネルギー 300 eV で  $C_{60}$  負イオンビーム強度は約 10 nA と、30 倍程度に増加した。また、イオン生成後のイオン生成チェンバー外の電子銃や引出電極への汚れの付着は殆どなかった。

次に、オープン温度 570°C、電子エネルギー 300 eV で生成した負イオンのマススペクトルを Figure 3 に示す。入射する電子エネルギー及びタンタル線ヒーターによる加熱の有無にかかわらず、同様のマススペクトルが得られた。 $C_{60}$  が解離した C、 $C_2$  やフラグメントイオンは殆ど見ら

れず、生成する負イオンの 98% 以上が  $C_{60}$  であり、高いイオン生成効率を有することが分かった。

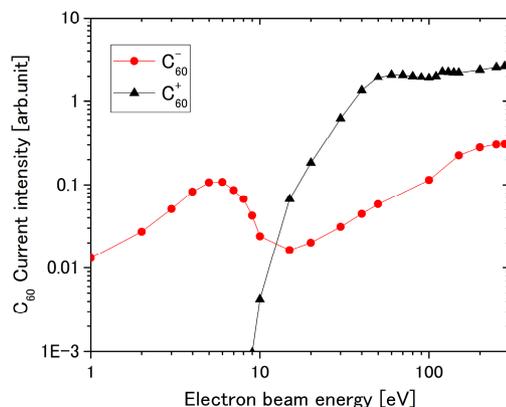


Figure 2: Intensity of  $C_{60}$  ion beam as a function of electron beam energy. Red and black curves are  $C_{60}^-$  and  $C_{60}^+$  beams, respectively.

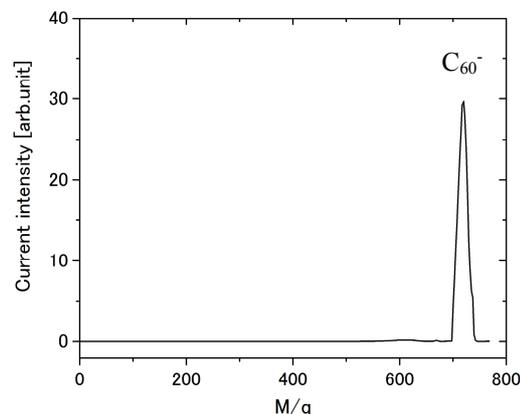


Figure 3: Mass to charge ratio of negative ion beam.

### 5. まとめ

電子付着によるフラーレン負イオン生成に適した電子エネルギーを探索するため、電子銃で電子供給するイオン源を設計・製作し、電子エネルギーを 1~300 eV の範囲で変えて  $C_{60}$  負イオンビームの生成試験を行った。その結果、300 eV において最大の 300 pA となった。更に、イオン生成チェンバーを加熱してその内壁に付着した  $C_{60}$  を再昇華させることで、300 eV においてビーム強度が約 30 倍になった。今後供給する電子ビーム電流の増加及び外部磁場印加等により、 $C_{60}$  負イオンビーム強度増加を図っていく予定である。

### 参考文献

- [1] B. Waast *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 382, 348 (1996).
- [2] 千葉敦也 他: 第 28 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集 pp.53-56 (2015).
- [3] J. Huang *et al.*, J. Phys. Chem. 99, 1719 (1995).
- [4] J. de Vries *et al.*, Chem. Phys. Lett. 188, 159 (1992).