

Nano-Cluster Ion Source by Plasma-Gas-Aggregation

M. Imanaka, ^{A)}H. Arai, ^{B)}T. Nakagawa, Y. Ohshiro, S. Watanabe and T. Katayama

Center for Nuclear Study, University of Tokyo, Hirosawa 2-1, Wako, Saitama 351-0198, Japan

^{A)}Institute of Physics, University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8577, Japan

^{B)}The Institute of Physics and Chemical Research, Hirosawa 2-1, Wako, Saitama 351-0198, Japan

Abstract

We are constructing and developing a new cluster ion source and a detection system. The new cluster ion source consists of a large area plasma ion source and gas aggregation cell instead of present cluster ion source configuration (magnetron ion source and gas aggregation cell). This feature allows us to produce an intense beam of cluster ions stably compared to the present ion source.

1 はじめに

原子クラスターなどのナノサイズの科学は、現在、固体物理学や電子工学など様々な分野において最先端を歩んでいると言える。原子クラスターのサイズが増加することによって、原子・分子の性質から固体結晶の性質に進化していく過程を理解することは、多くの研究者の興味となっている[1]。このような原子クラスターの研究には、当然のことながら、ナノクラスターイオン源の発展に大きく依存している[2]。ナノクラスターイオン源の開発は、ナノクラスター科学に多大なる発展をもたらす。

また、ナノクラスタービームは薄膜生成などの電子工学の分野にも、大きく貢献している。例えば、ナノクラスタービームは、1原子あたり数 eV 程度の表面吸着を可能にする[3]。このような、低エネルギー粒子を用いることによって低温で表面吸着することができ、また高密度吸着を可能にする。このような応用のために、大強度のナノクラスタービームを生成するイオン源が必要となる。

本研究で、我々は2つのタイプのナノクラスターイオン源を紹介する。一つは従来のマグネトロン型クラスターイオン源で、もう一つは現在開発をしているパルス状マイクロ波型クラスターイオン源である。

2 マグネトロン型クラスターイオン源

マグネトロン型クラスターイオン源の概念図を図1(a)[4]に示した。このイオン源は、つくばナノテクノロジー社が開発したもので、マグネトロンスパッター源と液体窒素で冷却した aggregation cell からできている。

スパッター源として、Angstrom Science 社の MAGNETRON SPUTTERING CATHODE 'ONYX-1' を用いた。図2(b)にマグネトロンの概略図を示したように、アルゴンガスをターゲットサンプルに流入するように設計してある。磁場によって、サンプル上にトーラス型のプラズマが生成される。

マグネトロンと出口スリット間の距離 L はオンライン

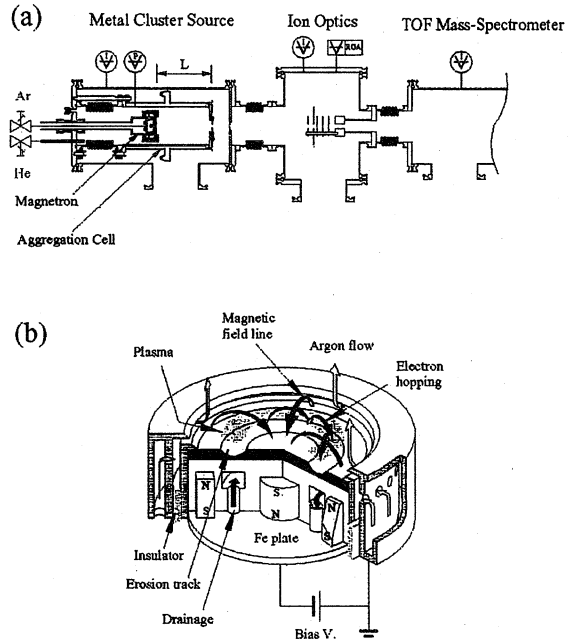


図1: (a)マグネトロン型クラスターイオン源と(b)マグネトロンスパッター源の概念図。

で調整できる。aggregation cell は二重構造になっており、液体窒素を流すことによって冷却を行う。さらに出口スリットは、絞り構造になっており、aggregation cell 内のガス圧と流速を調整することができる。通常、クラスターのガス成長過程は、十分な衝突率を得るために、0.1-2 Torr のガス圧下で起こる。

図2に生成されたクラスターイオンの質量分布を測定するための、飛行時間(TOF)質量分析器の概念図を示した。Stephen[5]の報告以来、TOF 質量分析はナノクラスター科学において一般的な手法となっている。イオンの加速電極は、二つの MOSFET スイッチによってパルス電圧を印加され、start 信号と同期させている。飛行距離は約 50cm となっている。マイクロチャンネルプレート(MCP)[6]からの出力信号はマルチストップ time to digital converter(TDC)

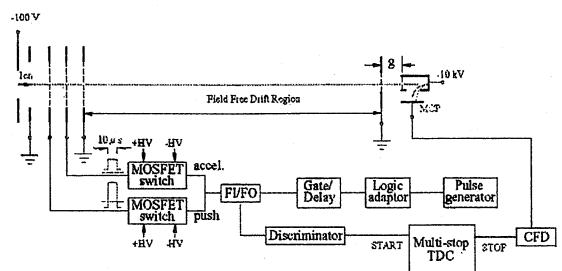


図2: TOF 質量分析器の概念図

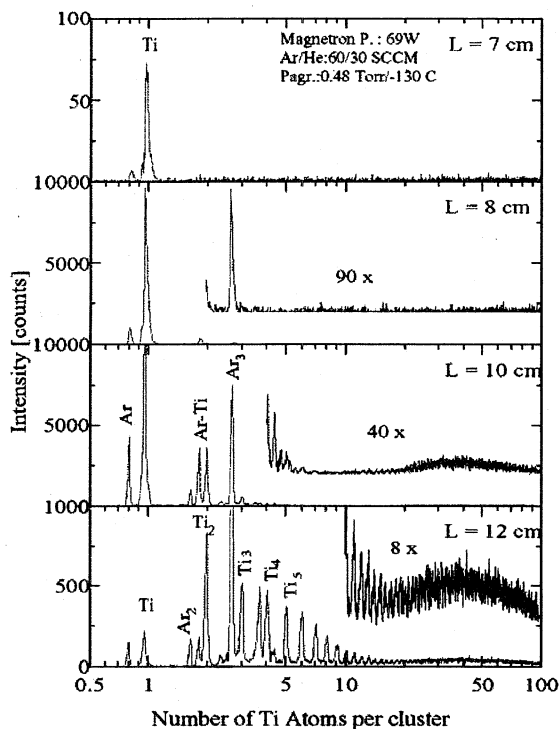


図3: Ti クラスターの質量スペクトル。

の stop 信号として入力される。

図3に、Ti クラスターイオンの質量スペクトルを示した。それぞれ、aggregation 領域 L が 7cm、8cm、10cm と 12cm のときのスペクトルを示した。この図から、aggregation 領域 L が増加するにつれて、大きいサイズのクラスターの強度が比較的増強しているのがわかる。

以上のように、現在のマグネトロン型クラスターイオン源は、ナノクラスターの基礎研究などにとても有益な装置となっている。しかし、産業応用に使用するのには、幾つかの問題を持っている。一つは、イオン源の運転時間が短い(約半日)ことである。二つ目は、クラスターイオンのビーム強度が、まだまだ少ないことである。例えば、約 $10\mu\text{A}$ 以下のビームしか生成できない。これらの問題の要因は、マグネトロンがサンプルの一部、つまりトーラス状の部分しか、スパッターしないことにある。もう一つの問題は、クラスターイオンビームが不安定になることがある。というのは、サンプルがスパッターによって削れ、変形することによって、プラズマが不安定に陥るからである。

3 新型ナノクラスターイオン源

前章で述べたように、これらの現在のクラスターイオン源の問題を解決するため、我々はまずサンプルからのスパッター率を増強させ、安定化させる必要がある。第二にクラスターイオン源の運転寿命を長くする必要がある。さらに、マグネトロン型イオン源と同じく 0.1-2Torr の高ガス圧下でプラズマを点火させる必要がある。

このような要求を満たすために、新型ナノクラスターイオン源の、イオンあるいは中性粒子の生成部として、

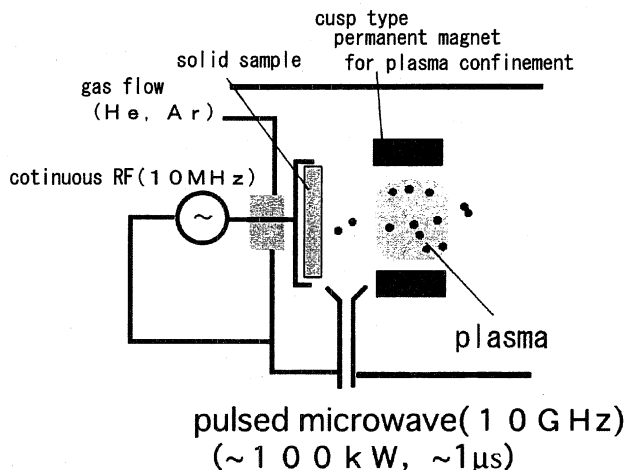


図4: 新型ナノクラスタープラズマ源の概念図

我々はパルス状マイクロ波型プラズマ源を採用した。このプラズマ源は高密度・安定なプラズマを、サンプル形状・材質の関係なく生成することができる。さらに、サンプルの全面をスパッターできる程度の、大きなプラズマを生成できる。従って、非常に大強度・安定・長寿命のプラズマ源を実現できると考えている。

新型ナノクラスターイオン源は、従来のマグネトロンクラスターイオン源と同じ、液体窒素で冷却した aggregation cell を採用する予定である。

パルス状マイクロ波型プラズマ源は理化学研究所で既に開発され、詳細は参考文献[7]、[8]に示されている。このプラズマ源は、高パワー(～100kW)・短パルス(～0.05-1.0μs)の10GHzのマイクロ波を導入することでプラズマの点火をしている。プラズマは、マルチ型カusp磁場によって閉じ込められるので、電子・イオン密度は、数100μsのオーダーで安定している[7]。このパルス状マイクロ波を数10kHz以上の繰り返し周波数で導入することで、準 cw プラズマを実現できると見込んでいる。

我々は、この新型クラスター源によって、以下のような改良点が予想している。

- 金属のサンプルだけではなく、絶縁物サンプルを用いてナノクラスターイオンを生成することができる。
- 非常に長時間(たとえば、1週間以上)で、安定したナノクラスタービームを作ることが可能になる。
- 大強度のクラスターイオンビーム(例えば、1原子あたり10mA)を生成できる。

4 まとめ

我々は、従来のマグネトロン型ナノクラスターイオン源を用いて、クラスターイオンビームを生成するのに成功した。しかし、産業応用に向けて、より大強度で安定なビームをつくり、より長時間の運転時間を実現するために、我々は現在新型ナノクラスターイオン源(パルス状マイクロ波クラスターイオン源)を開発をしている。このナノクラスターイオン源は、1週間以上の運転時間を実現し、1原子あたり10mA以上の安定ビームを生成することを見込んでいる。

5 ACKNOWLEDGEMENT

この研究は、つくばナノテクノロジー社、あるいは筑波大学との共同研究によって行っている。特につくばナノテクノロジー社の C.-K. Chung 博士、H. Suzuki 博士や S.-M. Lee 教授のサポートで、マグネトロン型ナノクラスターイオン源の運転とデータ収集が可能になった。

参考文献

- [1] H. Haberland in Clusters of atoms and molecules I, edited by H. Haberland, Springer, Berlin (1995) 207.
- [2] H. Haberland, K. Karrais and M. Mall, Z. Phys. D 20 (1991) 413.
- [3] I. Yamada, J. Matsuo, N. Toyoda, T. Aoki, E. Jones and Z. Insepov; Int. Conference of Similarities and differences between atomic nuclei and clusters, AIP conference proceedings 416 (1998) p310.
- [4] C. K. Chung, Ph.D. Thesis, University of Tsukuba (2001).
- [5] W. E. Stephens, Phys. Rev. 69 (1946) 691.
- [6] J. L. Wizza, Nucl. Instrum. Methods, 162 (1979) 587.
- [7] S. Bhattacharjee, T. Nakagawa, M. Kase, A. Goto and Y. Yano, RIKEN Accel Prog. Rep. 33 (2000) 200.
- [8] S. Bhattacharjee, H. Amemiya and Y. Yano, J. Appl. Phys. 89 (2001) 3573.