

# First Operation of ECRIS at KUT

百田佐多生\* 野尻洋一 斉原光和子 坂本麻子 浜川恒圭 濱口顕典

高知工科大学工学部  
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185

E-mail:\*momota.sadao@kochi-tech.ac.jp

**要約**：ナノスケールの加工や原子物理学などの基礎科学の研究のために、高知工科大学に PANTECHNIK 社製の ECR イオン源 (NANOGAN) を含む重イオンビーム発生装置を建設した。2003年1月に NANOGAN からのビーム引き出しに成功した。ビーム電流と引き出し電圧の関係は Child-Langmuir 則と一致し、ビーム引き出し系が正常に作動していることが検証された。引き出したビームを分析磁石で質量分析した結果から、NANOGAN にガス状にして導入した原子(分子)は全てイオン化されていることが確認できた。

**Abstract** : To study atomic physics and nano scale manufacturing by using the ion beam, ECR ion source produced by PANTECHNIK (NANOGAN) has been installed in Kochi University of Technology. We have gotten the first beam extracted from NANOGAN in January of 2003. The beam current measured as a function of the voltage for beam extraction is consistent with Child-Langmuir equation. It is concluded from this results that the extraction system works well. The mass spectrum of the beam extracted from NANOGAN was measured. It is concluded from these results that all of atoms and molecules, which were fed into NANOGAN as a gas, can be ionized.

## 1. はじめに

重イオンビームは原子、原子核物理学といった基礎科学の研究だけでなく、工学や生物などの広い分野に応用されている。近年、重イオンビームと物質の相互作用の研究が進み、重イオンビームはナノテクノロジーの分野への応用が始まった。つまり、重イオンビームの運動エネルギーとクーロンエネルギーを利用して、照射した物質の原子配列を変え、それに伴って物性を改変させることが可能となったのである [1], [2]。

幅広い分野へ応用可能な重イオンビームを

使った研究を行うために、高知工科大学に重イオンビーム発生装置を建設した。そして、生成された重イオンビームを観測して、重イオンビーム発生装置が正常に作動していることを検証した。

## 2. 重イオンビーム発生装置

建設した重イオンビーム発生装置は、重イオン生成系、加速系、輸送系、分析系、照射系から構成されている。特に、今回は重イオン生成系である NANOGAN (PANTECHNIK 社製, [3]) の性能を検証した。

NANOGAN は、ECR イオン源の一種である。イオン源とは、中性の原子から電荷を持つイオンを生成する装置である。特に、ECR イオン源は、中性原子から電子を2個以上はぎ取った多価イオンを高強度のビームとして取り出せる特徴を持つ。また、ガスとして導入した原子（分子）はすべてイオン化できるという一般性も併せ持っている。多価イオンの生成には、内殻電子のはぎ取りに必要な高エネルギーの電子と電子を複数個はぎ止めるために十分長い時間の空間的閉じこめが必要となる。当大学に建設した NANOGAN は、10 GHz の高周波電磁波 (RF) で電子を高エネルギーにまで加速し、永久磁石が発生するミラー磁場によってイオン、電子、中性粒子から構成されるプラズマを閉じこめている。生成された重イオンは、引き出し電極が生成する電場によって NANOGAN から引き出され、加速される。

重イオン生成系の性能

- 1) イオンビームの引き出し性能
- 2) イオン化性能

を検証するために、生成した重イオンビームを観測した。

### 3. 重イオン発生部の性能の検証

#### 3.1 イオンビームの引き出し性能

電荷を持ったイオンビームは、高電圧が印加された引き出し電極が発生する電場によってイオン源から引き出される。この引き出し電極の動作を確認するために、イオン源に Ar ガスを導入して RF によってイオン化し、引き出し電極に高電圧を印加して Ar の正イオンを引き出した。引き出したイオンビームの強度を、ファラデーカップを用いて引き出し電圧の関数として測定した。図1は RF 強度を 16W にしたときの実験結果の一例である。図1から、イオンビーム電流は引き出し電圧とともに増加し、ある電圧で飽和していることが分かる。

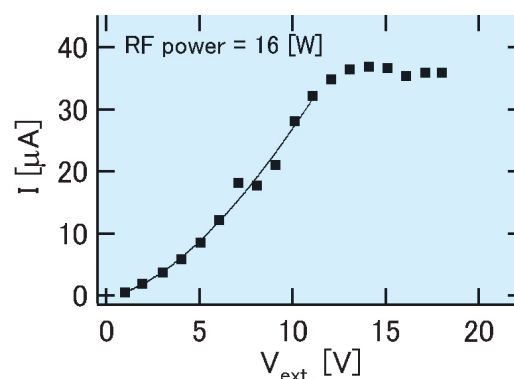


図1 引き出し電圧特性

ビーム電流の立ち上がりを指数関数  $I = AV^B$  で解析した結果が図1中の実線である。解析関数は実験結果をよく再現し、その指数部は  $B = 1.61 (10)$  となり Child-Langmuir 則 [1] から予想される値 1.5 に近い値となる。一方、イオンビーム電流の飽和値は、RF 強度の増加とともに増加した。これは、RF 強度の増加がイオン源内におけるイオン化を促進し、イオン密度が増加したことに起因する。

以上の実験結果より、引き出し電極は正常に動作していると結論づけられる。

#### 3.2 イオン化性能

2章で述べたとおり、ECR イオンは原理的にガス状で導入された原子（分子）をすべてイオン化可能で、かつ多価イオンの生成も可能である。建設した NANOGAN のイオン化性能を検証するために、NANOGAN から引きだされたビームの質量分析を行った。

電荷を持つイオンビームは、磁場中ではクーロン力によって円軌道を描く。イオンビームの質量分析は、磁場強度と円軌道の半径の積  $B\rho$  がイオンの質量と電荷の比  $A/q$  の関数になることを利用して行った。実際には、ある回転半径の軌道を描くイオンのみを選択し、そのイオン電流を磁場強度の関数として測定した。図2は、NANOGAN に Ar ガスと大気成分を導入し、RF 強度を 24W にして生成した重イオンビームの質量分析を行った結果である。

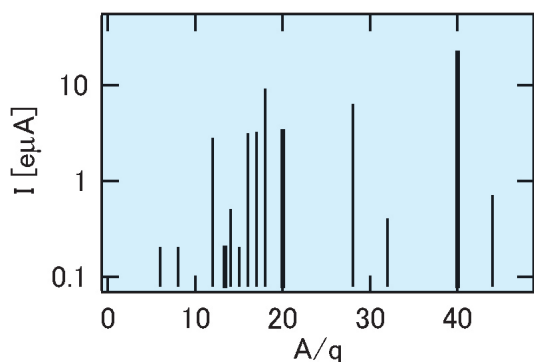


図2 測定された質量スペクトル1

図2の質量スペクトルには、太線で示されたArイオンと細線で示された大気由来のイオンが観測された。図3は、図2からArイオンのみを抜き出したものである。

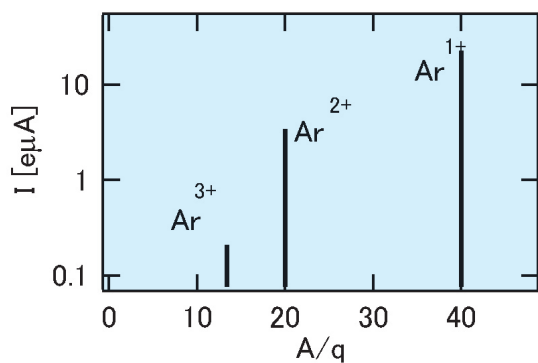


図3 測定された質量スペクトル2  
Arイオンのみ

図3から、Arの1価から3価までのイオンが生成されていることが分かる。RF強度を24Wから小さくすると、多価のArイオンのビーム強度は小さくなる。従って、より多価のイオンビームを生成するには、RFの強度をより強める必要がある。

図4は、図2から大気由来のイオンを抜き出したものである。図4には、C<sup>+</sup>、N<sup>+</sup>、O<sup>+</sup>などの単原子イオンとともに、CO<sup>+</sup>、O<sub>2</sub><sup>+</sup>などの分子イオンも観測されている。

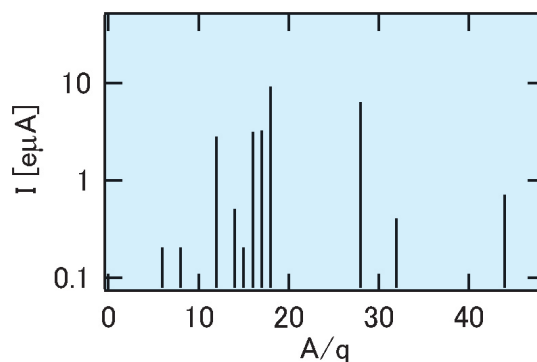


図4 観測された質量スペクトル3  
Ar以外のイオン

以上より、今回建設した重イオンビーム発生装置は導入した原子はもとより、分子をビーム化することにも成功したと結論づけられる。

### 3. まとめ

高知工科大学に建設した重イオンビーム発生装置で重イオンビームの生成に成功した。また、発生装置の重イオンビーム生成部が正常に作動していることが結論づけられた。

この重イオンビーム発生装置を使ってナノテクノロジーへの応用を推し進めるには、さらに多価の重イオンビームの発生が必要である。そのためには、NANOGANに冷却を施してより高強度のRFを印加できるようにする必要がある。また、重イオンビームの輸送系、分析系、照射系を整備する必要がある。最近、高知工科大学に設置したカーボンナノチューブ生成装置で生成されたナノチューブへの重イオンビームの照射も行う予定である。

### 文献

- [1] W.K. Chu, Y.P. Li, and J.R. Liu, Appl. Phys. Lett. 72, 246 (1998)
- [2] D.M. Longo, W.E. Benson, T. Chraska, and R. Hull, Appl. Phys. Lett. 78, 981 (2001)
- [3] <http://www.panttechnik.net>