

「超高速・超省電力高性能ナノデバイス・システムの創製」
平成14年度採択研究代表者

大谷 俊介

(電気通信大学 教授)

「多価イオンプロセスによるナノデバイス創製」

1. 研究実施の概要

一定のエネルギー、価数をもつ低速多価イオンビームを作り、固体表面に照射しうる超高真空ビームラインを整備した。そして、照射後の固体試料を真空を保持した状態で表面の構造と物性変化を観察できる装置も整備した。

グラファイト結晶表面にキセノン元素の多価イオン（2 2 価から4 6 価）を照射した結果、イオン1 個が量子効率1 0 0 %で表面上にドット状のナノ構造を作り、その大きさは照射イオンの価数に比例することが確認された。その後、シリコン結晶を試料としてその表面でのナノプロセスをいろいろな手法を用いて調べはじめた。

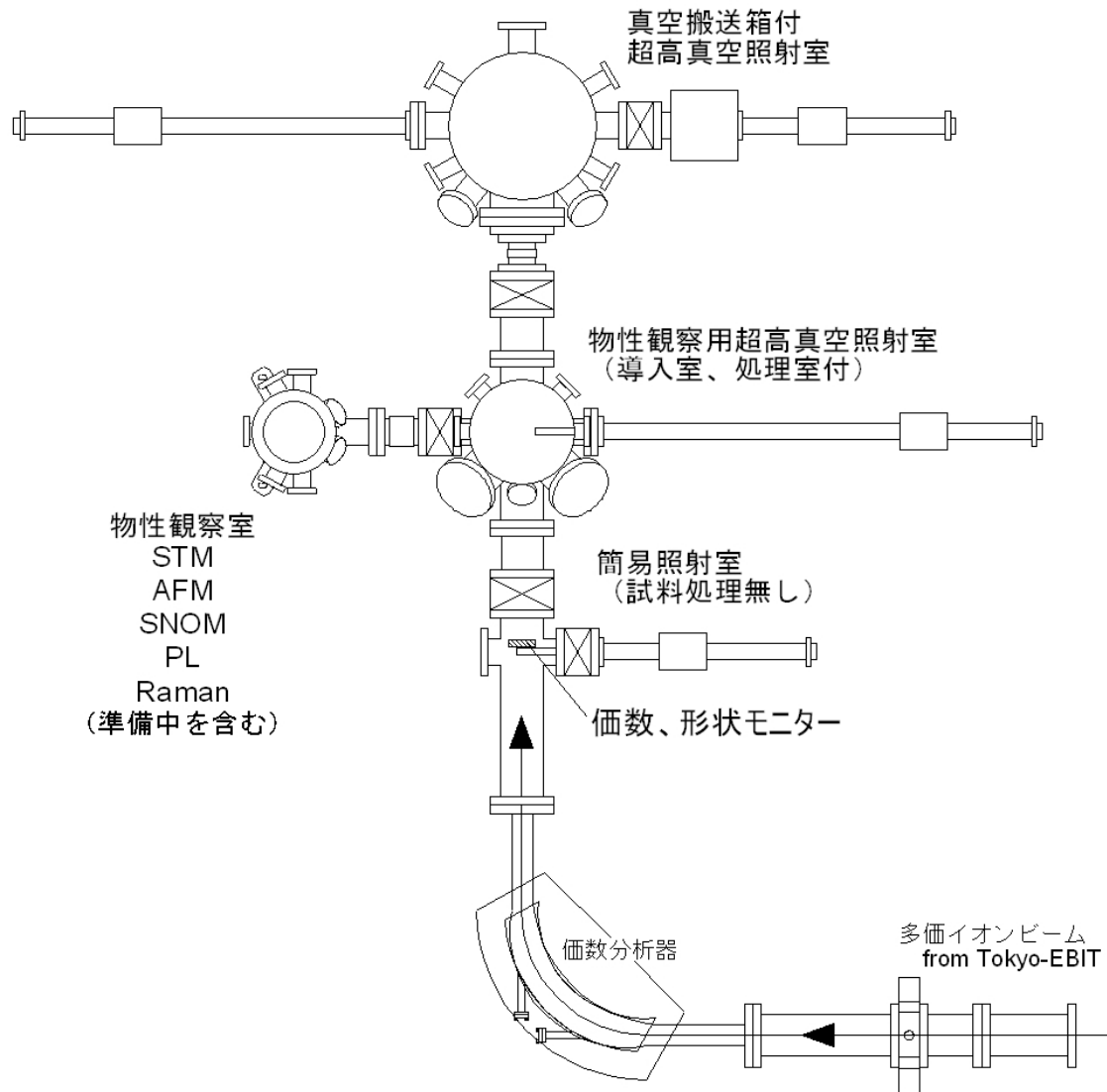
2. 研究実施内容

低速多価イオンと各種固体表面との相互作用に関する理解を深める。そして、多価イオンのもつ特異的なナノプロセス能力を利用し、表面加工、改質を行い、ナノデバイス創製への可能性を追求する。この目的のために平成1 5 年度は新たに以下に示す研究環境を整備した（図参照）。

- 1) Tokyo EBITと呼ばれる多価イオン生成・閉じ込め装置から多価イオンをビームとして引き出し、固体表面に照射するためのビームラインを改造した。その結果、従来より幅広いエネルギー範囲の多価イオンを取り扱うことができ、ビーム強度も約3 0 倍に増加した。
- 2) 多価イオンを固体表面に照射する超高真空系を整備した。これには、試料表面の加熱機構、照射位置、角度などを制御する駆動機構が付設されている。
- 3) 照射後の試料を、真空保持のまま移送し、走査プローブ顕微鏡で表面の構造変化を調べる機構を整備した。
- 4) グラファイト結晶表面にキセノン多価イオンを照射し、多量の2 次電子放出特性を利用し、その検出による単一イオンの入射を確認した。そして、トンネル顕微鏡 (STM) を用いた観測により、多価イオン1 個の入射により表面上にナノ構造変化が現れることを確認した。そのナノ構造のサイズはイオン種によりほぼ同一で、価数に比例して増大することが見いだされた。

- 5) ビームライン下流に別系統の真空系を用意し、いろいろな照射実験が行えるようにした。そこには、高速反射電子回析装置(RHEED)が付設され、試料表面の結晶性を調べられる。それをを用いて、Si(111)の7×7構造などが明瞭に確認された。
- 6) 上記真空系には、試料運搬用真空箱が付設され、照射試料をそこに収納し、真空保持のまま別の真空系に運ぶことができる。
- 7) 新たにクライオスタット付超高真空フォトルミネセンス測定装置を製作した。これに上記試料運搬真空箱を用いて運ばれた多価イオン照射のグラファイト結晶を取り付け、532nm CWレーザー照射を行った。その結果、照射前には見られなかったダイヤモンド様および歪んだsp混成軌道によるラマン・ストークス線が出現することを見出し、多価イオン照射により結晶格子構造が変態することを確認した。
- 8) Si(100) [Pドープn型、1Ωcm] にキセノン4 4 価イオンを照射した(照射密度 $10^{11}/\text{cm}^2$)。現在なお調査確認中であるが、照射痕はクレーター状になっていると思われる。また、照射試料を大気中に出し、その表面を波長可変、CW、フェムト秒レーザーを用いてフォトルミネセンスの観測をはじめた。

多価イオンビーム照射実験ライン



3. 研究実施体制

Aグループ

- ① 研究分担グループ長：大谷俊介（電気通信大学レーザー新世代研究センター、教授）
- ② 研究項目：
 - 1) 単一イオン入射技術の確立
 - 2) ナノ構造生成の物理機構の解明

3) 多価イオン生成ナノ素材の物性評価

Bグループ

- ① 研究分担グループ長：櫻井 誠（神戸大学理学部、助教授）
- ② 研究項目：多価イオン生成ナノ素材の物性評価

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- Analysis of resonance transition in X-ray spectra of electron interaction with highly charged iron ions
Y. M. Li, D. Kato, H. Watanabe, B. O'Rourke, H. Kuramoto, F. J. Currell, C. Yamada and S. Ohtani
J. Plasma and Fusion Res. 79(1), 52-60, 2003
- X-Ray spectroscopy of high-Z highly charged ions with the Tokyo EBIT
N. Nakamura, D. Kato and S. Ohtani
Nucl. Instrum. Methods B 205C, 57-61, 2003
- Dielectronic recombination in highly charged He-like ions
B. E. O'Rourke, F. J. Currell, H. Kuramoto, Y. M. Li, S. Ohtani, X. M. Tong and H. Watanabe
Nucl. Instrum. Methods B 205, 378-381, 2003
- The measurement of the electron impact ionization cross section of hydrogen-like ions
H. Watanabe, F. J. Currell, H. Kuramoto, Y. M. Li, S. Ohtani, B. E. O'Rourke and X. M. Tong
Nucl. Instrum. Methods B 205, 417-420, 2003
- The 1s Lamb shift in hydrogen-like rhodium measured with an electron beam ion trap
N. Nakamura, T. Nakahara and S. Ohtani
J. Phys. Soc. Jpn, 72, 1650-1654, 2003
- Towards a measurement of the n=2 Lamb shift in hydrogen-like nitrogen using an electron beam ion trap
K. Hosaka, D. N. Crosby, K. Gaarde-Widdowson, C. J. Smith, J. D. Silver, E. G. Myers, T. Kinugawa and S. Ohtani
Hyperfine Interactions 146/147, 59-65, 2003

(2) 特許出願

なし

