

「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

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プロセス能力を活用し、ナノデバイス創製への可能性を追求する。一定エネルギー、価数を持つ低速多価イオンを輸送するためのビームライン上に、3系統の超高真空照射実験室を配備した。これらを用い、グラファイトとシリコン単結晶を試料として、その表面上で起る多価イオンナノプロセスを詳細に調べた。

本年度の研究により、多価イオン照射により表面で起るナノプロセスのいくつかの興味深い現象が見出され、その物理機構も明らかになりつつある。今後は、多価イオンと表面との相互作用を応用して、半導体表面の改質によりナノデバイス創製への可能性を探索する。

2. 研究実施内容

- 1) 低エネルギー領域で、エネルギーを固定し価数の違うAr, Kr, Xeの多価イオンビーム(8価から46価まで)をグラファイト結晶表面に照射した。イオン1個の入射で形成される表面上の照射痕の形状を走査型トンネル顕微鏡(STM)で観察した。その結果、照射痕は、皆ほぼ円型の隆起構造をもっており、その高さは1nm弱で照射イオンの価数によらないが、直径の大きさは数nm以上となり価数とともに増大する明瞭な価数依存性を示し、多価イオンのもつポテンシャルエネルギーときれいな比例関係をもつことが判明した。
- 2) グラファイト表面上に生成される多価イオンの照射痕について、その格子構造がどのように変態するかをラマン散乱スペクトルを用いて調べた。照射痕には、照射する前には観測されないラマン不活性の散乱ピークが、照射による欠陥生成とともに出現することが確認された。そして、この系統的な観測からイオン照射による欠陥生成率は入射エネルギーによらず、価数すなわち多価イオンのもつポテンシャルエネルギーの増大とともに大きくなることが明らかになった。
- 3) 多価イオン照射によるグラファイトからのスパッターイオン種を観測した。その結果スパッター種の主成分は水素を包含する炭素クラスターであった。そして、クラ

スターサイズは照射イオンの価数とともに増大することが確認された。

- 4) 水素終端シリコン単結晶表面からのスパッター種の観測を行った。まずSi(111)を清浄表面にして、(7×7)構造が現れることをSTMとLEED像で確認したのち、原子状水素を導入しLEED像が(1×1)構造になることを見て表面上に水素が1原子層吸着している表面状態を生成した。その表面に入射エネルギーの等しい価数の異なる多価イオンを照射し、プロトン(水素原子イオン)、水素分子イオン、シリコンイオンのスパッター収率を測定した。その結果、水素イオンのスパッター収率は入射イオン価数の4乗程度の激しい価数依存で増大し、XeとIの50価以上ではその収率が100%を超えることが観測された。一方、シリコンイオンに関しては、収率が価数にほとんど依存しないことも明らかになった。
- 5) 同様の観測をSi(100)2×1-H, 1×1-Hでも行った。結果は4)とほぼ同じであった。結論として、物理的にも化学的にも安定な水素終端シリコン表面から確実に水素を剥ぎ取るのに高価数多価イオン照射が有効であることが明らかになった。
- 6) 上記スパッター種の観測を通して、多価イオンをプローブとする表面元素分析法は、従来の他の分析手段と比較して極めて高感度であることが確認された。

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：
 - 1) 多価イオン生成ナノ素材の物性評価
 - 2) ナノプロセス用多価イオン源の開発

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

- “Application of bulk high-Tc superconductors to electron beam ion source: present status and outlook”, N. Nakamura, M. Terada, A. Endo, Y. Nakai, Y. Kanai, K. Komaki, and Y. Yamazaki, J. of Phys.: Conference Series 2 (2004) 1-8.

- “Design of EBIS for nanoproceses using HCI”, M. Sakurai, F. Nakajima, T. Fukumoto, N. Nakamura, S. Ohtani, and S. Mashiko, J. of Phys.: Conference Series 2 (2004) 52-56.
- “Highly charged ion beams from the Tokyo EBIT for applications to nano-science and -technology”, Masahide Tona and Satoshi Takahashi, J. of Phys.: Conference Series 2 (2004) 57-64.
- “The initiation of EBIS/T-based HCI research in Japan”, S. Ohtani, J. of Phys.: Conference Series 2 (2004) 190-198.
- “Dielectronic recombination in He-like titanium ions”, B. E. O’Rourke, H. Kuramoto, Y. M. Li, S. Ohtani, X. M. Tong, H. Watanabe, and F. J. Currell, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 37 (2004) 2343-2353.

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：1件（CREST研究期間累積件数：1件）