

立教大学学術推進特別重点資金(立教 S F R)
 プロジェクト研究(自由プロジェクト研究)
 2007年度研究【経過・成果】報告書

研究課題	低エネルギーイオンビームと凝縮性固体表面の相互作用の実験的研究		
研究代表者	所属・職名	氏名	
	理学部・教授	平山 孝人	印
研究組織	所属大学名等・職名	氏名	
	立教大学・理学部・教授	平山 孝人	
	立教大学・先端科計研・博士研究員	立花 隆行	
	立教大学大学院・物理学専攻・修士2年	深井 健太郎	
	日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用部門・主任研究員	馬場 祐治	
研究期間	2007 年度	～	2008 年度
研究経費	2007 年度	年度	総計
	2,970 千円	千円	千円

研究の概要 (200～300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究は、巨大な内部エネルギーを持つ多価イオンと凝集エネルギーが非常に小さな凝縮性固体表面との相互作用の結果生成される脱離粒子の観測により、多価イオンの内部エネルギーが固体表面および固体内でどのように消費されるのかを定量的に明らかにすることを目的とする。

この研究で得られる知見は、ポテンシャルエネルギーが運動エネルギーに変換される物理的過程の解明、固体表面における原子・イオン間の相互作用の理解、固体表面における化学反応など純粋理学的な興味に加え、イオンビーム精密制御技術の開発、表面破壊を伴わない表面改質・表面加工法の新たな技術開発につながることを期待される。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

{ 多価イオン } { 凝縮性固体 } { 脱離 }

研究【経過・成果】の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究では巨大な内部エネルギーを持つ多価イオンと凝集エネルギーが小さな非常にもろい凝縮性固体表面との相互作用の結果脱離する粒子の観測により、多価イオンの持つ巨大な内部エネルギーが固体表面あるいは固体中でどのように消費されるのかを定量的に明らかにすることを目的とした研究を行っている。標的とする物質は、主に分子性固体(希ガス固体, $N_2 \cdot O_2$ など単純な分子の van der Waals 固体)を用いる。

本研究は以下の実験的研究を行っている。

1. 絶対脱離収率
2. 脱離クラスターイオンの観測
3. 脱離粒子の運動エネルギー分布の測定

以下、それぞれについての進捗状況を記す。

1. 絶対脱離収率

Ne 固体を標的として Ar^{q+} ($q = 1 \sim 6$), He^+ 入射による絶対脱離収率を測定した。 Ar^{q+} 入射の結果を図 1 に示す。入射エネルギーが 1 keV という比較的低いエネルギーでも脱離収率が 1 入射イオンあたり 3,000 原子程度と、驚くべき結果が得られた。このような巨大な脱離収率を示す例は他には無く、凝集エネルギーが非常に小さな希ガス固体を標的とした場合の特有の現象である。

入射イオンの価数を 1 価から 6 価まで変えて測定したが、絶対脱離収率には有意な差が見られなかった。この結果は、この系では入射イオンの持つ運動量による Kinetic Sputtering の寄与が主であり、Potential Sputtering 収率はそれに比べて非常に小さいことを示している。6 価イオンの持つ内部エネルギーは約 310 eV であり、Ne 固体中に励起子あるいはイオンを生成するのに必要な最低エネルギーは約 20 eV であるので、6 価イオン入射により Ne 固体中には約 15 個程度の励起子あるいはイオンが生成される。1 個の励起子・イオン生成により引き起こされる脱離収率は 1 ~ 5 原子程度である (Hirayama and Arakawa, J. Phys. Cond. Matt., 18 (2006) S1563) ので、 Ar^{6+} 入射による Potential Sputtering 収率は最大でも 100 原子程度と見積ることができる。この収率は Kinetic Sputtering の収率に比べて非常に小さいために本研究の結果では Potential Sputtering による寄与は見られなかったと考えている。

この結果は既にいくつかの学会で発表済みであり、現在欧文誌に投稿準備中である。

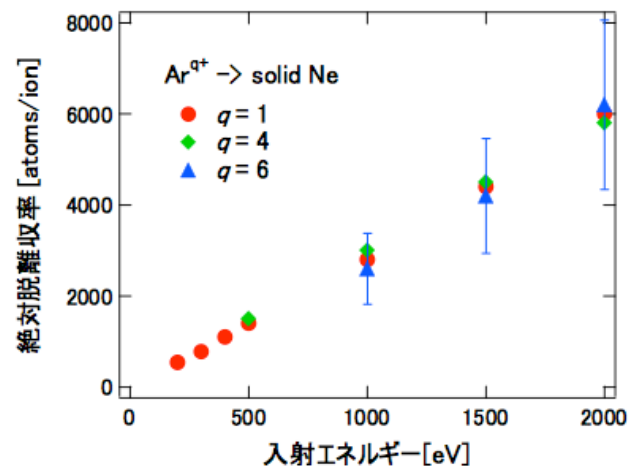


図 1. Ar^{q+} ($q = 1, 4, 6$) 入射による固体 Ne 表面からの絶対脱離収率。

2. 脱離クラスターイオンの観測

Ne 固体にイオンを入射するとクラスターイオンの脱離が観測される。我々が以前報告した結果によると、低エネルギーイオン衝撃でも Ne 固体表面からサイズ (1 粒子中の原子

研究【経過】成果】の概要 つづき

数) 100を超える非常に大きなクラスターイオンが脱離することがわかっている。脱離クラスターイオンのサイズ分布を詳細に測定したところ、サイズが大きい ($n > 3$) 場合はそのサイズ分布は入射イオンの運動エネルギーのみに依存するが、サイズが小さい場合は入射イオンの価数 (ポテンシャルエネルギー) に大きく依存することがわかった。これを利用して得られた固体Ne表面からのポテンシャルスパッタリング収率 Y_{PS} の入射イオンのポテンシャルエネルギー依存性を図 2 に示す。 Y_{PS} は入射イオンの運動エネルギーに依存しているが、その傾きは同じであり、この傾きは純粋にポテンシャルスパッタリングの寄与を表していることがわかる。現在、このグラフの縦軸の絶対値を入れるための新しい測定を試みているところである。

この結果は2008年9月に行われる予定の多価イオン物理学に関する国際会議 (HCI-2008) で発表予定であり、同時に欧文誌への投稿も準備している。

3. 脱離粒子の運動エネルギー分布の測定

上に記したクラスターイオンの脱離機構を明らかにするため、脱離クラスターイオンの運動エネルギー分布および脱離収率の膜厚依存性を測定した。1keV Ar^+ 衝撃による脱離クラスターイオンの積分型運動エネルギー分布の結果を図 3 に示す。この結果から小さな ($n = 1, 2$) クラスターイオンと大きな ($n > 3$) クラスターイオンでは明らかに運動エネルギー分布が違い、それぞれ別の機構により脱離していることを強く示唆している。またクラスターイオン脱離収率の膜厚依存性の結果からもサイズが小さい時と大きい場合で顕著な違いが観測された。

1987年にUrbassekは、入射イオンと固体を構成する原子が衝突し、その後起きる衝突カスケードにより高温・高密度の気体の領域が生成し、その気体が真空中に噴出する、というGas-flowモデルを提唱した(H. Urbassek, Nucl. Instrum. Meth. B22, (1987) 480.)。今回の我々の観測結果はこのモデルが適応可能かどうかを現在検討中である。

この研究の予備的結果は既に邦文誌に公表済みであり、詳細な解析が終わり次第欧文誌に公表予定である。

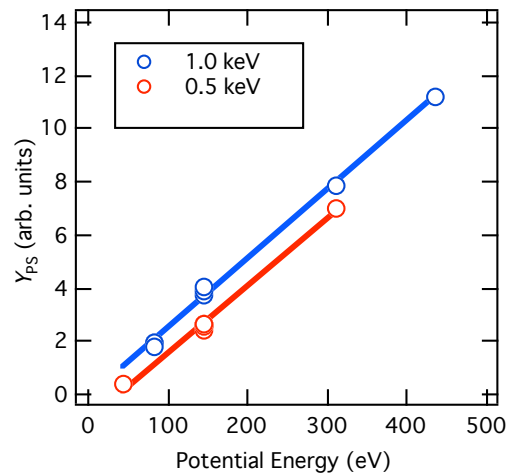


図 2. Ar多価イオン入射によるNe固体表面からのポテンシャルスパッタリング収率。

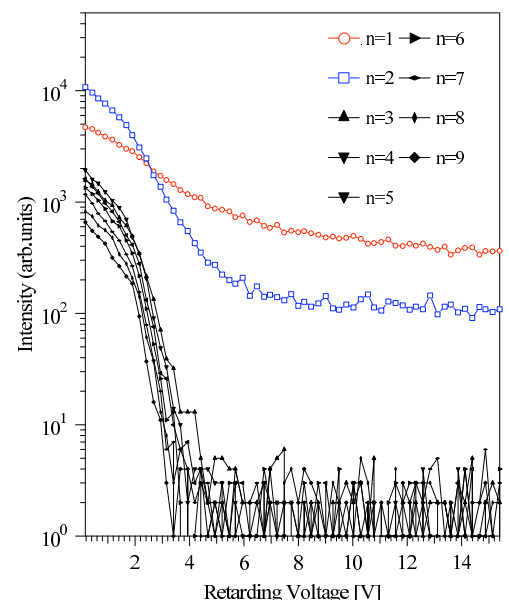


図 3. 1 keV Ar^+ 衝撃により固体Neから脱離するクラスターイオンの運動エネルギーのサイズ依存性。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)

②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)

③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)

④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

1. 雑誌論文 (査読付き)

- ・希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの運動エネルギー分布測定, 立花隆行, 深井健太郎, 藤田慎也, 小泉哲夫, 平山孝人, J. Vac. Soc. Jpn. **51**, (2008) 138.
- ・Desorption of cluster ions from adsorbed methane under cryogenic condition by low-energy ion irradiation, A. Narita, M. Honda, N. Hirao, Y. Baba, T. Yaita, Appl. Surf. Sci., in press.
- ・Photon stimulated ion desorption from condensed thiolane photoexcited around the S 1s-edge, M.L.M. Rocco, T. Sekiguchi and Y. Baba, J. Electr. Spectr. Rel. Phen. **156-158**, (2007) 115.

2. 図書

無し

3. シンポジウムなど

- ・低速イオン衝撃による希ガス固体表面からの脱離過程, 平山孝人, 第31回原子衝突研究協会研究会, シンポジウム「イオン-表面相互作用」, 2006年8月, 岡崎コンファレンスセンター (招待講演)

4. その他 (国内学会・国際学会における発表)

- ・Desorption of the cluster ions from the surface of solid Ne induced by low energy ion impact, T. Tachibana, K. Fukai, T. Koizumi and T. Hirayama, The 25th European Conference on Surface Science, (July 2008, Liverpool), to be presented.
- ・Formation of molecular ions and neutrals with covalent bond from frozen methane under cryogenic condition by ion irradiation, A. Narita, Y. Baba, T. Sekiguchi, I. Shimoyama, M. Honda, N. Hirao, T. Yaita, T. Hirayama, and T. Tachibana, The 25th European Conference on Surface Science, (July 2008, Liverpool), to be presented.
- ・希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの観測, 立花隆行, 深井健太郎, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会2008年第63回年次大会, 2008年3月, 近畿大学本部キャンパス, 24aRB-4
- ・多価イオン入射による希ガス固体からのポテンシャルスパッタリング, 深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会2008年第63回年次大会, 2008年3月, 近畿大学本部キャンパス, 24aRB-3
- ・電子エネルギー損失分光法を用いたArクラスターの電子的励起過程の実験的研究, 関塚達也, 窪寺隼人, 堺聡史, 立花隆行, 平山孝人, 日本物理学会2008年第63回年次大会, 2008年3月, 近畿大学本部キャンパス, 26aRA-11
- ・希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの運動エネルギー分布測定, 立花隆行, 深井健太郎, 小泉哲夫, 平山孝人, 第48回真空に関する連合講演会, 2007年11月, 学習院大学
- ・多価イオン-希ガス固体衝突における脱離2次粒子の観測, 深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会2007年第62回年次大会, 2007年9月, 北海道大学
- ・希ガスクラスターにおける電子的励起過程の実験的研究, 堺聡史, 窪寺隼人, 関塚達也, 立花隆行, 平山孝人, 日本物理学会2007年第62回年次大会, 2007年9月, 北海道大学
- ・多価イオン-希ガス固体表面衝突における2次イオン測定, 深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 第32回原子衝突研究協会研究会, 2007年8月, 東京工業大学

研究【経過・成果】の詳細

<申請当初の計画・目的の達成度>

計画した研究項目にそれぞれについて新しい実験結果が得られ、当初の予定通りに研究が進んでいる。第2年度はこれらのより詳細・系統的な測定を続けると同時に、結果の解析を行う予定である。

<優れた成果があがった点>

本研究で新たに得られた成果は以下の点である。

- ・希ガス固体からの絶対脱離収率が驚くべき大きさを持つことを明らかにしたこと。
- ・ポテンシャルスパッタリング収率を測定する新しい方法を見いだしたこと。
- ・脱離クラスターイオンの脱離機構の解明の糸口がつかめたこと。

<問題点>

現状の測定システムではサイズの大きなクラスターイオンの検出が難しい。以前行っていた飛行時間法も同時に利用することにより、相補的な測定を行うことで解決したいと考えている。

<外部資金への応募状況・応募予定、および研究期間終了後(最終年度終了後)の展望>

科学研究費「基盤B」に申請中である。また、今年度中にいくつかの財団の研究助成へ応募する予定である。

<その他(本資金制度等について、ご意見・ご要望等がありましたらご記入下さい)>

本資金は研究に特化した非常に使いやすい制度であるので、今後より拡充されることを強く望みます。ただし、この経過・成果報告書で「図・グラフを使用しない」という決まりは、特に理系の報告書にとっては不必要だと思います(というか、グラフを使わずにどのように結果を説明すれば良いのでしょうか?)。

※ この(様式4)は、研究評価のために使用するものであり、公表はしません。