

## 脱離現象を通して観る希ガス固体と低速イオンとの相互作用

立花 隆行  
平山 孝人

〈東京理科大学理学部第二部物理学科 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3 e-mail: tachiban@rs.kagu.tus.ac.jp〉

〈立教大学理学部物理学科 171-8501 東京豊島区西池袋 3-34-1 e-mail: hirayama@rikkyo.ac.jp〉

イオンの入射によって生じる多様な現象に対する機構の解明は、様々なイオン種と固体との組み合わせにおいて進められてきた。本稿では、数 keV 程度の低速  $\text{Ar}^{q+}$  ( $q \leq 7$ ) イオンを希ガス固体に入射した際に、表面上から脱離する粒子の観測をおこなった結果について紹介し、希ガス固体に特徴的なクラスター・イオンの脱離や、入射イオンの価数に依存する脱離現象について概説する。

## 1. はじめに

加速したイオンを固体に入射すると、イオンの散乱や固体への付着堆積、あるいは固体を構成する原子分子の脱離、電子・光子の放出といった現象に伴い、固体の組成、構造、結合状態が変化し、物性の改質が引き起こされることがある。これらの現象の解明は、基礎物理学的な興味だけではなく、機能性材料の開発、表面分析技術、薄膜製作技術などにおいて重要であるために、応用的利用の観点からも精力的におこなわれてきた<sup>1, 2)</sup>

研究の目的によって試料とされる物質は多種多様であるが、希ガス固体は、化学的に不活性であること、電子構造が孤立原子のそれと似ていることから、イオンと固体との相互作用の機構を単純化して考察出来る利点を持つ試料として用いられてきた。これまでに、希ガス固体を対象とした種々の実験的研究が進められているが、イオンとの相互作用における動的過程については、主に脱離する粒子の観測から議論がされてきた<sup>3, 4)</sup> 脱離粒子には、基底状態や励起状態の中性原子、イオン、クラスターなどが含まれ、それらに対して脱離の機構が調べられている。

また、近年のイオン源に関する技術的発達に伴い、多価イオンと物質との相互作用に関する研究に盛んになってきた。多価イオンとは、中性原子から複数個の電子を剥ぎ取ったイオンであり、イオン化エネルギーの総和に等しい静電的内部エネルギーを持つ。例えば、 $\text{Ar}^+$  の静電的内部エネルギーは 17.8 eV であるが、 $\text{Ar}^{7+}$  では 434 eV、 $\text{Ar}^{18+}$  まで電離が進めば、14.4 keV にもなる。この性質から物質に対する反応性に優れ、1 個の多価イオンを固体表面上に入射すれば、静電的内部エネルギーが表面との相互作用に費やされる結果、表面微小領域の幾何学的構造や電子状態に劇的な変化を生じることが知られている<sup>5, 6)</sup> さらに、表面上に形成される構造体の大きさは、入射イオンの価数に強く依存することが確認されている。1 価イオン入射とは本質的に異なる表面改質効果は、物質の微細加工技術の新しい手法として関心が持たれており、ナノテクノロジーの分野に応用を試みる研究も展開されている。その一方で、多価イオンと固体表面との相互作用については、固体上での静電的内部エネルギーの散逸過程や表面構造の変形過程など、不明な部分が多い。多価イオンの機能を効果的に利用するには、これらの相互作用の理解が必要不可欠である。

多価イオンの静電的内部エネルギー消費に起因する固体

表面上からの粒子の脱離は、ポテンシャルスパッタリングと呼ばれ、1 価イオン入射による脱離とは区別される。この現象は、物質への静電的内部エネルギー付与効果と直接関係していることから、様々な多価イオン種と固体の組み合わせにおいて観測が進められている<sup>7)</sup> しかしながら、希ガス固体を含めた凝縮性固体を試料とした実験の報告は僅かしかなく、研究の進展が待たれている。

本稿では、4.9K に冷却した銅基板上に凝縮させた希ガス固体 (Ne 固体) に、数 keV の  $\text{Ar}^{q+}$  ( $q \leq 7$ ) イオンを入射した際に脱離する粒子の観測を行った結果について紹介し、特徴的なクラスター・イオンの脱離や、ポテンシャルスパッタリングの現象について解説する。

## 2. 希ガス固体からのクラスターイオンの脱離

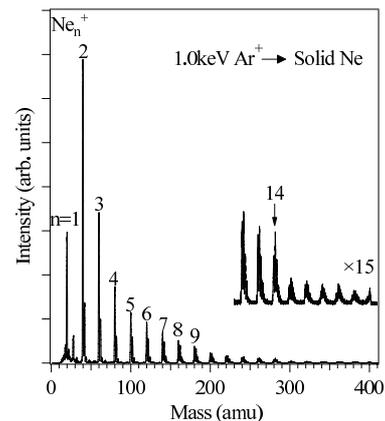


図1 Ne 固体 (500ML) から 1.0keV の  $\text{Ar}^+$  入射によって脱離するイオンの質量スペクトル<sup>8)</sup>

イオン入射による希ガス固体からの粒子の脱離現象の特徴の1つに、クラスターイオンの脱離が挙げられる。図1(a)は、1.0keV に加速した  $\text{Ar}^+$  入射によって Ne 固体上から脱離するイオンを、四重極質量分析計 (QMS; Quadrupole Mass Spectrometer) を用いて測定した結果である<sup>8)</sup> Ne 固体の平均膜厚は 500 原子層 (ML; mono-layer) である。等間隔に連続した質量ピークは、 $\text{Ne}^+$  とクラスターイオン、 $\text{Ne}_n^+$  ( $n = 2 - 20$ )、からの信号である。QMS の測定範囲では  $\text{Ne}_{20}^+$  までのイオンしか確認できないが、飛行時間法による測定によって、クラスターサイズ  $n$  の最大値は 100 以上に達することが明らかとなっている<sup>9)</sup> 脱離する粒子の中にクラスターが含まれることは、金属、半導体、アルカ

リハライド，有機分子などを試料とした場合にも観測されている．しかしながら，1.0keVの低速イオン入射で，しかも，非常に脆い希ガス固体から巨大なクラスターイオンが脱離することは，大変興味深い現象である．本稿では最初に，1価イオン入射によるクラスターイオンの脱離現象について調べた内容について紹介する．

イオン入射による粒子の脱離機構の初期には，イオンの持つ運動エネルギーの損失過程が関わってくる．数keV程度のイオン入射の場合，イオンは試料原子との衝突を繰り返して，徐々に運動エネルギーを失いながら固体中に侵入していく．ここでの衝突には，大雑把に分けて，イオンが試料原子の電子を励起・電離する電子的衝突過程と，試料原子との核的衝突(弾性衝突)過程がある．

電子的衝突過程においては，放出2次電子の影響も含めて，試料表面層近傍の電子励起を經由して生じる脱離，すなわち電子遷移誘起脱離(DIET; Desorption Induced by Electronic Transitions)の現象<sup>10)</sup>を考慮しなければならない．DIETの現象自体は，数十から数百eVの電子線を試料固体に照射すると，顕著に観測されることが知られている．そこで，300eVの電子線照射によってNe固体から脱離するイオンの測定を試みた結果， $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 4$ )の脱離は観測出来たものの， $n \geq 5$ のクラスターイオンの信号については確認することは出来なかった<sup>8)</sup>つまり，DIETの現象が関与する可能性があるのは，サイズの小さいクラスターイオンの脱離のみであると言える．

核的衝突から生じる脱離では，試料原子が真空中に弾き出される，いわゆる物理スパッタリングの現象が広く知られている．この過程では，まず，入射イオンとの衝突によって格子点から弾き出された試料原子が，他の試料原子と衝突を起こす．さらに，玉突き衝突の要領で試料原子同士の衝突が連鎖的に起こり(衝突カスケード)，その衝突領域が表面まで到達すると，表面を構成している原子の弾き出しが起こるとされている<sup>11)</sup>もし，このような弾き出しの機構によって，Ne固体の一部分がクラスターイオンとして脱離するのであれば，同時に中性クラスターの脱離も生じるはずである．しかしながら，QMSのイオン化室を利用した脱離中性粒子の測定において，観測される主な粒子はNeモノマーであり，それに比べて著しく強度の小さい $Ne_2$ ダイマー以外，クラスターの信号を確認することはできない<sup>8)</sup>クラスターの脱離はイオンでのみ確認出来ることから，Ne固体から直接クラスターイオンが生成するのではなく，脱離してくるイオンがクラスターを形成する過程が存在すると考えられる．

質量スペクトルの測定から推測される $Ne_n^+$ のサイズによる脱離機構の違いは，脱離の運動エネルギー分布に反映される．運動エネルギーの絶対値測定は，希ガス固体表面の帯電や試料と検出器間の接触電位差など不確定要素のため

困難だが<sup>12)</sup>，分布の特徴から脱離機構を推測することは可能である．図2は，試料固体とQMSの間に設置されている金属メッシュに印加した阻止電位を走査することにより， $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 9$ )の積分型エネルギースペクトルの測定を行った結果である<sup>8)</sup>

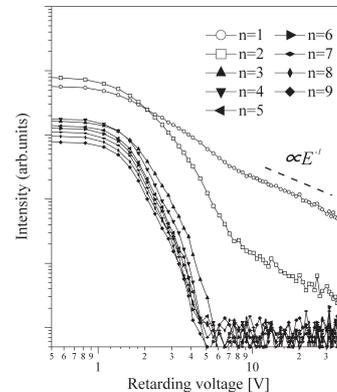


図2 Ne 固体(120ML)から，1.0keVの $Ar^+$ 入射によって脱離する $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 9$ )の積分型運動エネルギースペクトル<sup>8)</sup>

$Ne_n^+$  ( $3 \leq n \leq 9$ )のエネルギー分布は，2eV以下の低エネルギー成分が主であるのに対して， $Ne_n^+$  ( $n = 1, 2$ )の高エネルギー側は，40eV以上に渡ってtailを引いている．真空中に物理スパッタされる粒子の運動エネルギー分布は，このtail部分の様にエネルギー幅の広い構造を持つことが知られている<sup>13)</sup>一方， $Ne_n^+$  ( $3 \leq n \leq 9$ )の分布に物理スパッタリングの特徴が含まれないことは，クラスター形成と脱離が別の過程を經由して生じることを示唆している．

絶対脱離収率とは，入射粒子1個あたりの平均脱離粒子数のことを示す．試料の特性を表すものとして示されることが多いが，脱離現象を定量的に把握する上でも重要な意味をもつ．図3は，Ne固体に $Ar^{q+}$  ( $q = 1, 4, 6$ )を入射した際の，実験容器内のNeガスの分圧変化と排気系の実効排気速度から見積もった絶対脱離収率である<sup>14)</sup>価数依存性

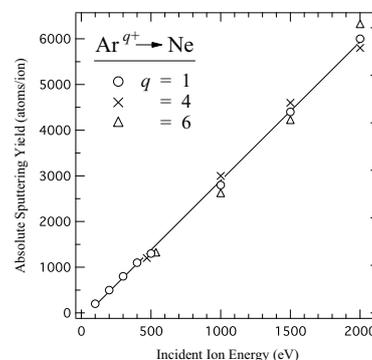


図3  $Ar^{q+}$  ( $q = 1, 4, 6$ )入射によるNe固体(500ML)からの絶対脱離収率<sup>14)</sup>各測定点での誤差の見積もりは， $\pm 40\%$ である．

については後述するが，例えば，入射エネルギーが1.0keV

の場合、1 イオン入射あたりに約 3,000 もの粒子が Ne 固体から脱離する。同様なイオン入射条件で、金属を試料とした場合の絶対脱離収率は数原子程度であることから、この結果がいかに大きな値であることがわかるであろう。イオン入射によって固体表面上から脱離する粒子の大部分は中性であるために、Ne 固体から脱離してくるイオンの周辺には、クラスターを形成するのに十分な量の Ne 原子が存在することになる。

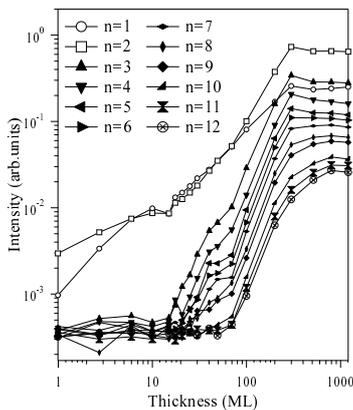


図 4:  $Ne_n^+$  脱離収率の膜厚依存性.<sup>8)</sup>

Ne 固体の厚みを変化させたときの  $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 12$ ) 脱離収率をプロットしたものを図 4 に示す。<sup>8)</sup>  $Ne_n^+$  ( $n = 1, 2$ ) の信号は平均膜厚 5 ML 以下でも観測されるに対して、 $Ne_n^+$  ( $n \geq 3$ ) については 30 ML 程度でわずかに検出されはじめる。数層の膜厚で観測される  $Ne_n^+$  ( $n = 1, 2$ ) については、DIET あるいは物理スパッタリングの機構によって試料表面近傍から脱離するものだと考えられる。さらに膜厚を増加させると、収率の増加とともに観測されるクラスターの最大サイズが序々に増え、100 ML 付近で  $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 12$ ) の信号が確認出来るようになる。脱離収率とサイズ分布は、800ML 以上の膜厚でほぼ一定となる。この結果から、Ne 固体内部での衝突現象が、クラスターイオンの生成と脱離に結び付くことがわかる。

希ガス固体内部での衝突領域から効率良く粒子が脱離することは、分子動力学法によるシミュレーションによる研究によって予測されている。<sup>15)</sup> そのなかでは、凝集エネルギーが非常に小さい希ガス固体 (Ne の場合、0.02 eV) に 1.0keV の粒子を入射すると、固体内部に形成される高密度の衝突カスケード領域が高温・高圧のガス状となる結果、試料内部からの表面破壊がおり、同時に多量の試料原子が真空中へ噴流する様子が描写されている。

気相中でのクラスター形成過程は、三体衝突を初期反応とした粒子間の衝突による結合反応として知られている。<sup>16)</sup> シミュレーションの結果と実験結果を踏まえれば、イオン入射によって Ne 固体内部から噴流する粒子流のなかで、核

となるイオンが周辺の原子と衝突を繰り返し、巨大なクラスターイオンを形成することが推測出来る。この観点からすれば、膜厚増加に伴い脱離収率とクラスターサイズの最大値が増加するのは、試料固体中の衝突カスケード領域が拡大して、噴流する気体密度が高くなるためだと考えられる。また、膜厚 800 ML 以上で観られる脱離収率の飽和は、希ガス固体中の衝突カスケード領域のよりも試料体積の方が十分大きくなったためだと解釈出来る。

クラスターイオンの脱離は、他の希ガス (Ar, Kr, Xe) 固体を試料とした場合にも観測されている。さらに、クラスターのサイズ分布と脱離収率が、希ガス固体の種類、入射イオン種、入射イオンエネルギーなどに強く依存することが明らかになってきた。今後、これらの依存性の詳細な観測から、脱離機構に関する有益な情報が得られることを期待している。

### 3. 希ガス固体上でのポテンシャルスパッタリング

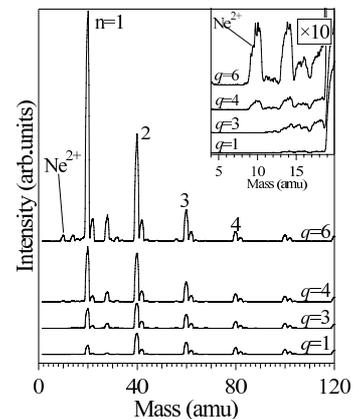


図 5 Ne 固体 (500ML) に 1.0keV の  $Ar^{q+}$  ( $q = 1, 3, 4, 6$ ) を入射した時に脱離するイオンの質量スペクトル。

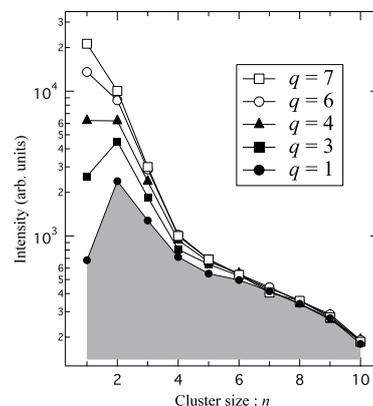


図 6 クラスターサイズ  $n$  に対する  $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 10$ ) の脱離イオン収率の価数依存性.<sup>9)</sup>

次に、希ガス固体に、 $Ar^{q+}$  ( $q \leq 7$ ) を入射した際に観測される脱離現象について述べる。一般的な解釈によれば、多

価イオンが固体表面に近づくと、中性化過程により、表面の局所的な部分から複数の電子が多価イオンへ移行する.<sup>17)</sup> さらに、電子移行によって多重高励起状態となった多価イオンが固体表面と衝突すると、静電的内部エネルギーが電子の放出や表面の電子の励起に費やされる。<sup>7)</sup> これらの過程が、ポテンシャルスパッタリングが生じる要因となる。

静電的内部エネルギーに起因する電子の励起に誘起されるポテンシャルスパッタリングは、励起エネルギーが脱離粒子の運動エネルギーへ転換する過程などについて、DIETと同一視出来る部分がある。しかしながら、表面微小領域内での高密度な励起状態形成や、それに伴う劇的な表面構造の変化は、多価イオン入射に特有の現象である。さらには、多価イオンが試料固体内に侵入した際に形成される格子欠陥が、ポテンシャルスパッタリングの過程に関与することもある。<sup>18)</sup> 様々に複雑な現象が絡んでいる機構を明らかにすることは容易ではないが、幾つかのイオン種と固体との組み合わせにおいては脱離モデルが提案されるなど、徐々に解明が進んできている。

ポテンシャルスパッタリングの機構については、主として、脱離収率の入射イオン価数依存性から議論されることが多い。なかでも、様々な試料に対する絶対脱離収率の系統的な測定によって、価数依存性の特徴と特定の脱離機構の関係が結びつけられている。<sup>7)</sup> しかしながら、Ne 固体の絶対脱離収率の測定 (図 3) では、入射イオン価数に対して有意な差は見られず、それらの結果との比較は出来ない。これは、先に述べた様に、入射イオンの運動エネルギー損失過程から生じる脱離収率が圧倒的に大きいために、たとえ多価イオンの静電的内部エネルギーの全てが粒子の脱離に消費されると仮定しても、その寄与を観測することが難しいためである。<sup>14)</sup>

一方、脱離イオンの観測には、ポテンシャルスパッタリングの影響が明確にあらわれる。図 5 は、Ne 固体 (500ML) に 1.0keV の  $Ar^{q+}$  ( $q = 1, 3, 4, 6$ ) を入射したときに脱離するイオンの質量スペクトルである。それぞれ、入射イオン量で規格化をしている。 $Ar^{q+}$  の価数に応じて、 $Ne_n^+$  のピーク強度分布が著しく変化の様子がわかる。 $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 10$ ) の脱離収率をサイズ  $n$  ごとにプロットしたものが図 6 である。入射イオンの価数が高いほど、 $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 6$ ) の脱離収率については増加する傾向があり、ポテンシャルスパッタリングからの寄与が確認出来る。それに対して、 $Ne_n^+$  ( $n \geq 7$ ) の収率には、価数依存性が顕著に見られないことから、サイズの大きいクラスターイオンの脱離は、1 価の  $Ar^+$  入射の場合と同様に、入射イオンの運動エネルギー損失過程から生じると考えられる。

ポテンシャルスパッタリングによる脱離収率 (PSY; Potential Sputtering Yield) を評価するためには、運動エネルギー散逸からの脱離の寄与を取り除く必要がある。ここで、

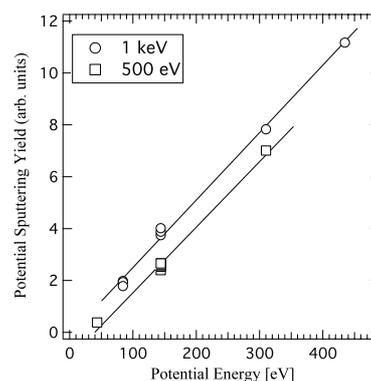


図 7 1.0keV の  $Ar^{q+}$  入射によって Ne 固体表面から脱離するイオンのポテンシャルスパッタリング収率.<sup>9)</sup>

1 価の  $Ar^+$  入射の場合について考えてみる。 $Ar^+$  の内部エネルギーは 15.8 eV であり、Ne 固体中に励起子 (17.1 eV) や  $Ne^+$  (21.6 eV) を生成するのに必要なエネルギーより低い。つまり、 $Ar^+$  を Ne 固体に入射しても、ポテンシャルスパッタリングによるイオン脱離は生じないと考えられる。この仮定に基づけば、図 5(b) の  $Ar^{q+}$  ( $q \geq 2$ ) 入射の結果から、 $Ar^+$  の結果 (図中の shaded area) を差し引くことで、入射した  $Ar^{q+}$  の価数 (あるいは、静電的内部エネルギー) と脱離する  $Ne_n^+$  との相対的な PSY の関係が得られる事になる。

実際に、0.5keV と 1.0keV の  $Ar^{q+}$  ( $n \leq 7$ ) 入射による  $Ne_n^+$  ( $n = 1 - 10$ ) の脱離収率測定から、PSY を見積もった結果を図 7 に示す。<sup>9)</sup> 横軸は入射する  $Ar^{q+}$  の内部エネルギーで、縦軸は PSY として見積もった信号数の総和である。内部エネルギーに対して、PSY は直線的に増加することがわかる。 $Ar^{q+}$  の入射エネルギーによって PSY の相対値に若干の違いがあるのは、イオンと試料原子との衝突による影響も含めて、運動エネルギー損失からの寄与を完全に引き切れていない可能性がある。それでも、PSY の増加の割合は入射エネルギーによらないことから、この直線的な依存性は、Ne 固体上でのポテンシャルスパッタリングの機構の特徴を反映していると考えられる。

PSY を見積もった結果から、脱離過程について幾つかの推測や他の結果との比較が可能になる。静電的内部エネルギーに対する PSY の直線的依存性は、アルカリハライド結晶に  $Ar^{q+}$  ( $q \leq 9$ ) を入射した際の絶対脱離収率の測定でも観測される。<sup>7)</sup> この結果については、多価イオン入射によって固体中に形成される励起子や正孔が崩壊する過程において、試料原子の脱離が生じると結論されている。また、図 7 の PSY と横軸との交点に着目すれば、この値は  $Ne_n^+$  のポテンシャルスパッタリングを引き起こす静電的内部エネルギーの閾値に相当する。0.5keV 入射の場合で約 40eV であるが、これは、Ne 固体のバンドギャップエネルギーの約 2 倍の値である。さらに、Ne 固体を試料とした DIET の研究結果と照らし合わせれば、Ne 固体中の 2 電子励起状態生

成から自動電離過程を経由したイオン脱離を誘起するエネルギー閾値に近い<sup>19)</sup> 但し、0.5keV 入射における PSY の測定にも運動エネルギー損失からの脱離の寄与が残っている可能性があるため、より正確な閾値を求めるには、多価イオンの入射エネルギーを極力抑えた上で測定をおこなう必要がある。

ポテンシャルスパッタリングの過程は、2 価イオンの脱離からも窺える。図 5(a) の質量スペクトルから、 $Ar^{q+}$  ( $q \geq 4$ ) の入射でのみ、 $Ne^{2+}$  の脱離が観測されることがわかる。希ガス固体を対象とした DIET の研究において、1 価イオンの脱離が起こる初期励起状態は複数存在するが、2 価イオンの脱離を引き起こすためには、試料固体中に 3 価イオンを生成することが唯一の条件であることが知られている。<sup>20)</sup> つまり、入射多価イオンの持つ静電的内部エネルギーの大きさによっては、試料 Ne 原子の 3 重電離を引き起こし、その結果として  $Ne^{2+}$  の脱離が起こることが考えられる。

希ガス固体と多価イオンとの相互作用に関する研究は、最近になってようやく着手された。ポテンシャルスパッタリングの現象は、脱離イオンの観測から確認されたものの、その詳細な機構の解明は今後の課題である。最近の実験から、脱離イオンの運動エネルギー分布や脱離収率の試料膜厚依存性が、入射イオンの価数に依存することがわかってきた。次のステップとして、これらの観測および、1 価イオン入射による脱離、あるいは電子線や光子の入射による DIET の結果との比較から、希ガス固体上におけるポテンシャルスパッタリングの理解を深めることを目指す。

#### 4. おわりに

イオン入射による固体表面からの粒子の脱離現象は、単純な構造を持つ希ガス固体を試料とした場合に限っても、複雑かつ多様である。これまでの研究によって、1 価イオン入射によるクラスターイオンの脱離現象については、その脱離機構の概要が見えてきた。しかし、ポテンシャルスパッタリングの機構を解明しようという研究はようやく緒に就いたばかりである。これらの脱離機構の理解は、より複雑な系からの脱離現象を把握していく上でも、基本的な手掛かりとなる。

本研究を進めるにあたり、装置開発と実験を共同で進めてきた、小泉哲夫氏、古橋治氏、藤田慎也氏、深井健太郎氏に深く感謝する。

#### 参考文献

- 1) Sputtering by Particle Bombardment III: Characteristics of Sputtered Particles, Technical Applications, edited by R. Behrisch and K. Wittmaack (Springer, Berlin, 1991).
- 2) H. Gnaser; Low-Energy Ion Irradiation of Solid Surfaces (Springer: Berlin, 1999).
- 3) D. David, T. Magnera, R. Tian, D. Stulik and J. Michl: Nucl. Instr. Meth. B **14** (1986) 378.

- 4) J. Schou, O. Ellegaard, H. Sørensen and R. Pedrys: Nucl. Instr. Meth. B **33** (1988) 808.
- 5) T. Meguro, A. Hida, M. Suzuki, Y. Koguchi, H. Takai, Y. Yamamoto, K. Maeda and Y. Aoyagi: Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 3866.
- 6) M. Tona, H. Watanabe, S. Takahashi, N. Nakamura, N. Yoshiyasu, M. Sakurai, T. Terui, S. Mashiko, C. Yamada and S. Ohtani: Surf. Sci. **601** (2007) 723.
- 7) F. Aumayr and H. Winter: Phil. Trans. R. Soc. Lond. A **362** (2004) 77.
- 8) T. Tachibana, K. Fukai, T. Koizumi and T. Hirayama: J. Phys. Cond. Matt. **22** (2010) 475002.
- 9) K. Fukai, S. Fujita, T. Tachibana, T. Koizumi and T. Hirayama: J. Phys. Cond. Matt. **22** (2010) 084007.
- 10) T. Mayday: Surf. Sci. **299/300** (1994) 824.
- 11) P. Sigmund: Nucl. Instr. Meth Phys. Res. B **27** (1987) 1.
- 12) S. Jinno, T. Isozaki, I. Naemura, T. Koizumi and T. Hirayama: Nucl. Instr. Meth Phys. Res. B **269** (2011) 1007.
- 13) M. Thompson: Phil. R. Soc. Lond. A **362** (2004) 5.
- 14) S. Fujita, K. Fukai, T. Tachibana, T. Koizumi and T. Hirayama: J. Phys. Conf. Ser. **163** (2009) 012083.
- 15) H. Urbassek, W. Hofer: Det kongelige Danske Vid. Selsk. Mat. Fys. Medd. **43** (1993) 97.
- 16) K. Wegner, P. Piseri, H. Vahedi Tafreshi and P. Milani: J. Phys. D **39** (2006) R439.
- 17) J. Burgdörfer, P. Lerner and F. W. Meyer: Phys. Rev. A **44** (1991) 5674.
- 18) G. Hayderer, S. Cernusca, M. Schmid, P. Varga, HP. Winter, F. Aumayr, D. Niemann, V. Hoffmann, N. Stolterfoht, C. Lemell, L. Wirtz and J. Burgdörfer: Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 3530.
- 19) P. Wiethoff, H. Ehrke, D. Menzel and P. Feulner: Phys. Rev. Lett. **74** (1995) 3792.
- 20) G. Dujardin, L. Philippe, M. Rose, T. Hirayama, M. Ramage, G. Comtet and L. Hellner: Appl. Phys. A **66** (1998) 527.

(2011 年 6 月 18 日原稿受付)

### Desorption from rare gas solids induced by low energy ion impact

Takayuki Tachibana and Takato Hirayama

abstract: Ion-solid interactions are the foundation that underlies the numerous applications in the science and engineering fields. Rare gas solids are interesting materials for investigating the mechanism of the interactions because of their simplicity and because their electronic structures resemble those of isolated atoms. In this article, we introduce the results for the observation of the desorbed species from solid Ne by low energy  $Ar^{q+}$  ion ( $q = 1 - 7$ ) impact.