

氏 名	にの みや さとし 二 宮 啓
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2383 号
学位授与の日付	平 成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 原 子 核 工 学 専 攻
学位論文題目	高速重イオン照射による電子的スパッタリングの機構に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 今 西 信 嗣 教 授 伊 藤 秋 男 教 授 山 本 克 治

論 文 内 容 の 要 旨

エネルギーをもったイオンを固体に照射すると固体表面から中性粒子やイオンが放出する。入射イオンのエネルギーが比較的低い数10keV程度までの場合、エネルギー付与は弾性衝突によることから核的スパッタリングと呼ばれ、その機構も明らかであり、幅広く利用されている。一方、入射イオンのエネルギーが数100keVを超えると、二次粒子は電子へのエネルギー付与を介して生じるため、電子的スパッタリングと呼ばれる。原子移動に至る電子から原子へのエネルギー移行は非常に複雑であり、未解明のままである。本論文は、高速重イオンによる電子的スパッタリング機構を明らかにすることを目的に、物性の異なる試料を用い二次イオンの質量分布および放出エネルギー分布測定について行った研究をまとめたものである。以下の7章で構成されている。

第1章では、電子的スパッタリングの機構に関するこれまでの研究を概観するとともに問題点を提起しながら、本研究の必要性と意義を示している。

第2章では、イオンビーム、電子ビームおよびレーザを固体に照射した場合の二次粒子放出現象についてこれまでに得られている知見を取りまとめている。イオンビームによるスパッタリングでは弾性衝突過程、高速重イオン照射、低速多価イオン照射それぞれについて放出過程の理論模型および実験結果を詳しく紹介している。さらにイオン照射の場合との比較の観点から、電子やレーザを照射した場合の二次粒子放出に関するこれまでの研究を概括している。

第3章では、数100keVから数MeV程度の重イオンを固体試料に照射したときに放出する二次イオンの測定方法について詳しく述べている。核的スパッタリングから電子的スパッタリングへと放出機構が移行していく過程を実験的に明らかにするために、とくにこのエネルギー領域を選んだこと、またスパッタリング機構と固体物性との相関を調べるため、物性が大きく異なる動体、半導体、不導体試料とともに物性のよく似たⅢ-V族化合物半導体試料を実験対象として選んだことを述べている。

第4章では、実験で得られた二次イオン飛行時間スペクトルから質量を同定する方法について詳しく説明している。また各試料から放出される二次イオンの質量分布について全般的な特徴を示している。

第5章では、スパッタリングにより放出される二次イオンのうち、単原子イオンについての結果を提示するとともに、単原子イオンの放出機構について考察している。Al、Siおよび化合物半導体試料から放出する1価の単原子イオンの放出エネルギー分布は、電子的エネルギー付与が支配するエネルギー領域においても、線形衝突カスケード模型でよく再現されることを見出している。不導体試料の Al_2O_3 や SiO_2 から生成する1価の単原子イオンの放出エネルギーはそれらに比べ非常に低く、自己捕獲励起子が関わるイオン放出であるとの結果を得ている。化合物半導体から放出されるV族のイオン収率は電子的阻止能に強く依存することを見出し、固体表面から出射する際のイオン化の過程で正孔の多重生成が強く寄与すると提案している。多価イオンについては、放出エネルギー分布や放出率のエネルギー依存性は試料の物性によらず、その放出エネルギー分布の最確値や平均値はイオンの価数にはほぼ比例することを見出し、入射イオンによる固体内原子の反跳と電離し

た原子同士のクーロン反発とが複合して二次イオンが放出するという新しい機構を提案している。

第6章では不導体および化合物半導体で観測されたクラスターイオンに関する実験結果を提示するとともに、その放出機構について固体物性と関係づけて詳しく考察している。 SiO_2 においては、クラスターの放出率は電子的阻止能およびサイズのべき関数で表されることから、高速重イオン照射により生じた二次電子が入射イオンの飛跡周辺の結合を部分的に切断した結果、クラスターが放出すると結論づけている。 Al_2O_3 においては、クラスター放出率がサイズに関して指数関数的に減少すること、クラスターの放出エネルギーがサイズに依存して増加することから、分子や分子片が放出直後真空中で凝集しクラスターを形成するというモデルを提案している。化合物半導体について、高速重イオン照射によりクラスターイオンが生成することを始めて示した。Ⅲ族元素のみから構成されるイオンとⅤ族元素を含むイオンの放出率は入射エネルギーに対し異なった依存性を示すことを見出し、イオン化ポテンシャルの高いクラスターイオンについては、1価のイオンで見られたと同様、正孔の多重生成がイオン化率に強く寄与することを明らかにしている。また化合物半導体においては、クラスター放出率のサイズ依存性が入射エネルギーによらない一定のべき乗の減少傾向を示すことから、イオン照射による高密度電子励起により固体の表面構造が不安定となり、クラスターが放出すると提案している。さらに、バンドギャップ、電子や正孔の移動度がクラスター放出過程に寄与することを明らかにしている。

第7章はまとめであり、本研究で得られた知見をまとめるとともに研究の意義と将来展望について言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、数100keV以上の入射エネルギー領域で支配的となる重イオンから電子へのエネルギー付与に起因する二次粒子放出機構つまり電子的スパッタリングの機構を明らかにすることを目的に、物性の異なる試料についての二次イオンの質量分布および放出エネルギー分布測定に関して行った研究をまとめたものであり、主な成果は以下のとおりである。

- 1) 電子スパッタリングにより放出される二次イオンのうち、多価単原子イオンについては、放出率や放出エネルギーの入射エネルギー依存性が試料によらないこと、また放出エネルギーが価数に比例することを見出し、入射イオンによる反跳と電離の複合作用により多価単原子イオンが放出することを明らかにした。
- 2) クラスターイオンの放出機構は試料の物性に強く依存することを示した。

(1) SiO_2 試料の場合、その放出率は電子的阻止能およびクラスターサイズのべき関数で表されることを示し、高速重イオン照射により生じた二次電子が入射イオンの飛跡周辺の結合を切断することによりクラスターが放出することを明らかにした。

(2) Al_2O_3 試料においては、クラスター放出率がサイズに対して指数関数的に減少すること、クラスターの放出エネルギーがサイズに依存して増加することから、分子あるいは分子片が凝集してクラスターを形成することを示した。

(3) Ⅲ-Ⅴ族化合物半導体について、高速重イオン照射により半導体からクラスターイオンが生成することを始めて見出した。族化合物半導体について、高速重イオン照射により半導体からクラスターイオンが生成することを始めて見出した。イオン入射により生じる高密度電子励起により化合物半導体の構造が不安定となり、クラスターが放出し、その一部が多重正孔の作用による表面電離によりイオン化するという機構を提案している。さらに、バンドギャップ、電子や正孔の移動度がクラスター放出過程に寄与することを明らかにした。

以上要するに、本論文は、高速重イオンによる電子的スパッタリング機構に関する未解決な問題について重要な知見を得たものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。