

京都大学	博士 (工学)	氏名	村瀬 龍
論文題目	高速クラスター粒子の配向と構造が二次イオン放出に及ぼす効果に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、高速クラスターイオンビーム照射による固体からの二次イオン放出について、これまで未解明であった、入射クラスターの分子軸配向や幾何学的構造の違いが二次イオンの放出収量に及ぼす効果を、薄膜透過クーロン爆発法と二次イオン質量分析を組み合わせた同時測定システムを用いて、実験的に研究した成果をまとめたものであり、全7章からなる。</p> <p>第1章は序論であり、まず、本研究の背景となる高速クラスターと物質との衝突相互作用に関するこれまでの研究の現状を述べ、本研究の動機となった従来研究の課題を論じている。その課題の解決の糸口として、入射クラスターの分子軸配向と幾何学的構造が物質との相互作用に及ぼす効果を実験的に解明するという本研究の主題の重要性を述べ、最後に、本研究の意義と目的を述べている。</p> <p>第2章は本研究の実験方法であり、MV級タンデム型静電加速器を用いた高速クラスターイオンビームの発生方法、およびクラスターイオンの分子軸配向と幾何学的構造を決定するために用いた薄膜透過クーロン爆発法の原理と測定システムの詳細を述べている。本研究では、二次イオン放出の標的にアミノ酸からなる薄膜標的を用いており、先に述べた薄膜透過クーロン爆発法に用いるのに適した標的の作製方法を述べている。さらに、本研究の独自性に繋がる実験を可能にした、入射クラスターの分子軸および構造の測定と飛行時間型二次イオン質量分析の同時測定システムについて述べている。</p> <p>第3章は本研究の解析に用いた高速クラスターイオンに対する物質の阻止能について、誘電関数法に基づいた電子的阻止能の計算方法を述べている。阻止物質であるアミノ酸の誘電関数には、数式化した光学的エネルギー損失関数を用いている。また、幾何学的構造と束縛電子の空間分布を考慮した入射クラスター粒子の電荷分布を用いることで、本研究の実験条件に適用できる、高速クラスターの分子軸配向および構造に依存したアミノ酸の電子的阻止能の算出方法を述べている。さらに、先行研究との比較から、本研究の計算結果の妥当性について述べている。</p> <p>第4章は二次イオン放出における入射クラスターの分子軸配向依存性について、高速2原子炭素クラスターイオンによるフェニルアラニン薄膜標的から放出される二次イオンの収量測定の結果を述べている。得られた主な結果として、二次イオン収量が入射クラスターの分子軸の向きによって明白に変化することを観測し、ビーム進行方向に対してクラスターの分子軸が平行と垂直に配向した場合を比較すると、平行配向の方が、二次イオン収量が約1割程度多くなることを明らかにしている。この配向依存性には、クラスターが薄膜標的を透過し、出射した分解イオンの実験で求めた平均電荷に関係していることを述べている。</p> <p>第5章は二次イオン放出における入射クラスターの分子軸配向と構造依存性について、原</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	村瀬 龍
<p>原子数が 2~4 個からなる少数炭素クラスターによるグリシン薄膜からの二次イオンの収量測定の結果を述べている。原子数が 3 と 4 個からなるクラスターは直鎖構造と環状構造の 2 種類を持つため、本研究の主眼するクラスターの分子軸と構造の両方に依存した二次イオン収量の変化を実験的に捉えることが可能である。得られた主な結果として、原子数が 2~4 個の直鎖構造を持つ入射クラスターに対する二次イオン収量は、第 4 章の結果と同様に、平行配向の方が多くなることを見出し、また、二次イオン収量は、クラスターを構成する原子数 n に対して非線形的に増加することを明らかにしている。さらに、原子数が 3 と 4 個の直鎖構造と環状構造の入射クラスターに対する二次イオン収量は、垂直配向において、直鎖構造の方が多くなることを明らかにしている。以上の実験結果は、第 3 章に述べられている電子的阻止能を用いて考察がされ、入射クラスターの分子軸配向と構造の違いによる二次イオン収量の変化は、クラスターがつくるイオントラック内のエネルギー密度に関係していることを述べている。</p> <p>第 6 章は二次イオン放出における入射クラスターの分子軸配向とエネルギー依存性について、高速 2 原子炭素クラスターイオンによるグリシン薄膜標的から放出される二次イオンの収量測定の結果を述べている。クラスターの入射エネルギーを変化させると、薄膜内でクラスターを構成する原子同士の距離が変化することに着目し、第 4 章に述べた二次イオン放出におけるクラスターの分子軸配向依存性が、クラスターを構成する原子の距離がどの程度接近した場合に起こるかを論じている。得られた主な結果として、薄膜内でのクラスターを構成する原子同士の距離が離れると、二次イオン放出におけるクラスターの分子軸配向依存性が現れないことを述べている。この要因は、クラスターを構成する個々の原子によるトラックの重なり度合いに応じてトラック内のエネルギー付与量が変わるためであると結論づけている。この研究で得られた知見は、高速クラスターによる物質への照射効果の研究において、これまで未解明であった高速クラスター照射の近接効果の起源の解明に繋がるものと述べている。</p> <p>第 7 章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、高速クラスターイオンビームを固体表面に照射した際に生じる二次イオン放出について、入射クラスターの分子軸配向や構造が二次イオン放出に及ぼす効果を、物理的に解明することを目標に研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 高速 2 原子クラスターイオンビームの分子軸配向が二次イオン放出に及ぼす効果について、MeV の C_2^+ ビームをフェニルアラニンからなる生体分子薄膜標的に照射し、ビーム軸に対する C_2 の分子軸の向きと二次イオン収量の関係を調べている。ビーム軸に対して分子軸が平行と垂直に配向した場合を比較すると、平行配向の方が、二次イオン収量が約 1 割程度多くなることを見出し、この結果は、クラスターの分子軸配向に対する物質の阻止能とは逆の結果を示すことを明らかにしている。
2. 高速クラスターの分子軸配向と構造が二次イオン放出に及ぼす効果について、原子数が 2～4 個からなる MeV の C_n^+ ($n = 2, 3, 4$) ビームをグリシンからなる生体分子薄膜標的に照射し、クラスターの分子軸の向きおよび構造と二次イオン収量の関係を調べている。直鎖構造を持つ C_n^+ ($n = 2, 3, 4$) ビームの配向依存性は、上記 1 と同様に、平行配向の方が、二次イオン収量が多くなることを見出している。さらに、直鎖構造と環状構造を持つ C_n^+ ($n = 3, 4$) ビームに対する二次イオン収量は、直鎖構造の方が多くなることを見出している。得られた実験結果を解釈するために、誘電関数法による高速クラスターに対するグリシンの阻止能からクラスターイオンが付与したトラック内の電子励起エネルギーを定量的に評価し、トラック内のエネルギー密度と二次イオン収量が正の相関を示すことを明らかにしている。
3. 高速 2 原子クラスターの入射エネルギーが二次イオン放出の分子軸配向依存性に及ぼす効果について、入射エネルギーによるクラスターのトラック構造の変化と二次イオン収量の関係を調べている。上記 1 と 2 の二次イオン収量の分子軸配向依存性は、調べた入射エネルギーの範囲において、低エネルギーでは見られないが、高エネルギーになるにつれて現れることを見出している。この入射エネルギー依存性は、クラスターを構成する個々の原子によるトラックの重なり度合いに依存したトラック内のエネルギー付与過程に関連していることを明らかにしている。

本論文は、これまでの研究で未解明であった高速クラスター照射による二次イオン放出過程における近接効果の起源を、クラスターの分子軸配向と構造を決定できる測定システムを構築したことで明らかにしたものであり、学術上、実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、令和 4 年 2 月 17 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。