

京都大学	博士 (工 学)	氏名	市木 和弥
論文題目	Study on Size Effect of Cluster Ion Beam Irradiation (クラスターイオンビーム照射におけるサイズ効果の研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、クラスターと固体との相互作用理解のため、クラスターイオン衝突によるスパッタリング、二次イオン放出、表面損傷および表面モフォロジーにおけるクラスターのサイズ効果の評価を行いその成果をまとめている。論文は6章から成っている。以下に各章に分けて本論文の概要を説明する。</p> <p>第一章は序論であり、単原子-固体間の相互作用およびクラスター-固体間の相互作用の特徴と差異について記述している。また、過去に報告されているクラスターと固体との相互作用に関する研究に言及し、クラスターイオン衝突が持つサイズ効果について述べている。さらに本論文で題材としているガスクラスターイオンに関する研究の歴史的経緯および産業的な将来性について説明した後、最後に本研究の目的と意義を述べている。</p> <p>第二章では、本研究で用いたクラスターイオンのサイズ選別の原理および手法と実際にサイズ選別を行ったクラスターイオンを用いたスパッタリングに関して記述している。無機試料である Si ではスパッタリング収率は、一原子あたりのエネルギーが等しい単原子イオンによるスパッタリング収率にクラスターサイズおよびサイズ効果を表す非線形ファクターを乗ずることで定式化できることを明らかにしている。さらに、非線形ファクターはイオン衝突により変位した固体内原子の回復に強く起因すること、クラスターサイズが 10 以上では飽和することを示した。また、入射クラスターイオンのサイズの$-1/3$ 乗に比例してスパッタリング閾エネルギーが減少することを実験的に明らかにしている。有機試料である PMMA (polymethylmethacrylate) ではクラスターイオンのエネルギーの大半がスパッタリングに利用されており、スパッタリング収率はクラスターの全エネルギーのみで決定されることを示した。</p> <p>第三章は、二次イオン放出に関する章であり、まずサイズ選別したクラスターイオンを用いた飛行時間型二次イオン質量分析の原理および手法について記述している。Si の二次イオン収率は入射クラスターイオンの一原子あたりのエネルギーで整理可能であり、二次イオン放出の閾エネルギーよりも十分大きな 40eV/atom 以上のエネルギー領域ではスパッタリング収率とほぼ比例の関係にあることを示している。また、Si のダイマーやトライマーといった多量体二次イオンの割合は入射クラスターイオンの一原子あたりのエネルギーが低くなると増加することを明らかにし、クラスターイオン衝突で放出される多量体二次イオンは直接固体表面から放出されていることを示した。さらに一原子あたりのエネルギーが低いクラスターイオンを衝突させることでポリマー (PMMA)、有機半導体 (Alq3) およびアミノ酸 (Arginine, Phenylalanine) の分子構造を破壊せずにスパッタすることが可能であることを実験的に明らかにしている。</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	市木 和弥
<p>第四章では、クラスターイオン衝突による表面原子の変位および表面損傷について記述している。エリプソメトリーを用いた表面分析により、クラスターイオン衝突による Si の表面変位原子数はクラスターの持つ全エネルギーのみで決定することを明らかにし、エネルギーの大半が変位に用いられていることを示した。この結果は分子動力学シミュレーションでの報告および第二章で示されたスパッタリングの非線形ファクターの飽和と合致している。また X 線光電子分光分析および深さ方向の二次イオン質量分析を用いて、有機試料表面の分子構造がクラスターイオン照射によりほぼ損傷しないことを実験的に明らかにしている。C_{60} などの小さなクラスターでは一原子あたりのエネルギーが高すぎるため有機試料の低損傷スパッタリングは困難であり、ガスクラスターを使った有機試料の加工や分析への有用性を示している。</p> <p>第五章では、巨大なクラスターイオン衝突の特徴の一つである表面モフォロジーの変化について記述している。イオンビームを照射した試料表面を原子間力顕微鏡で観察することにより、無機試料、有機試料共に照射するクラスターの構成原子あたりのエネルギーの増加に伴い照射後の表面の平坦度が悪くなることを示した。さらに、クラスターイオンビーム照射後の Si の表面平坦度はスパッタリング収率の $1/3$ 乗に比例することを明らかにした。すなわち、クラスターイオンビーム照射による表面荒れはイオン衝突によって表面に形成されるクレーター状の照射痕に起因することを示している。</p> <p>第六章は総括であり、本論文で得られた結果を要約し、今後の展望について述べている。</p>			

氏名	市木 和弥
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は極めて質量が大きいためこれまで実現困難であったクラスターイオンビームのサイズ分離を実現し、クラスターイオンビーム照射におけるサイズ効果を明らかにした報告である。本研究ではサイズ選別したクラスターイオンを固体表面に照射することによるスパッタリング、二次イオン放出、表面損傷および表面モフォロジーについて評価した。得られた主な結果は下記の通りである。

1) クラスターイオンのスパッタリング収率は、クラスターを構成する一原子あたりのエネルギーおよび固体表面に付与するエネルギー密度で整理できることを明らかにした。また、スパッタリング収率が単原子イオンによるスパッタリング収率にクラスターサイズおよびサイズ効果を表す非線形ファクターを乗することで定式化できることを見出した。さらに、非線形ファクターは構成原子数が数百以上のクラスターイオン衝突では飽和すること、スパッタリング閾エネルギーは入射クラスターの構成原子数の $-1/3$ 乗に比例して減少することを示した。

2) クラスターイオン衝突により固体表面から放出される二次イオンには、ダイマーやトライマーといった多量体二次イオンが単原子イオン衝突と比較して多く含まれる。多量体二次イオンの割合はクラスターイオンの一原子あたりのエネルギーの減少に伴い増加することを示し、固体表面から多量体の状態で直接脱離していることを明らかにした。

3) クラスターイオン衝突による表面損傷量はクラスターの持つ全照射エネルギーで一意に表わせることを示し、衝突したクラスターが持つエネルギーの大半が表面原子の変位に用いられていることを明らかにした。

4) クラスターイオンビーム照射後の平坦度はスパッタリング収率の $1/3$ 乗に比例していることを示し、巨大なクラスターイオン衝突による表面荒れは固体表面に形成されるクレーター形状だけで決まることを明らかにした。

5) 一原子あたりのエネルギーが低いクラスターイオンの衝突により有機試料表面の分子構造が破壊されないことを示し、クラスターイオンを用いることで低損傷での有機試料のスパッタリングや二次イオン分析が可能であることを明らかにした。

以上、本論文はクラスターイオンビームと固体との相互作用の理解に大いに寄与すると考えられる。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24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い、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。