

京都大学教育研究振興財団助成事業  
成果報告書

2024年 4月 30日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 藤 洋作 様

所属部局 工学研究科

職 名 准教授

氏 名 中嶋 薫

助成の種類	令和5年度 ・ 研究活動推進助成			
申請時の科研費 研究課題名	高速C60イオンビームによる有機分子薄膜のスパッタリング過程の解明			
上記以外で助成金 を充当した 研究内容				
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名)			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) 第21回絶縁体内照射効果に関する国際学会(REI-21)			
成果の概要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)			
会計報告	交付を受けた助成金額	1,000,000	円	
	使用した助成金額	1,000,000	円	
	返納すべき助成金額	0	円	
	助成金の使途内訳	費 目	金 額	
		ターボ分子ポンプの修理	466,845 円	
		国際会議(REI-21)参加費	34,390 円	
		国際会議(REI-21)旅費(2名)	206,760 円	
		真空部品	11,605 円	
AFMプローブ		100,430 円		
共同利用設備(AFМ)利用負担金	178,000 円			
宅配便	1,970 円			
当財団の助成に ついて	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 助成いただき誠にありがとうございました。他の外部資金がない中、研究を継続することができ、令和6年度からの科研費を獲得することができました。			

## 成果の概要 / 中嶋薫

### 【研究内容】

数 100 keV から数 MeV のエネルギー領域の高エネルギー $C_{60}$  イオンビームは物質をスパッタする能力が高く、イオンビームエッチングを利用した難加工材料の表面加工や、無機物・有機物試料の高感度分析のための新規プローブとして注目を集めている。本研究では、高エネルギー $C_{60}$  イオンをプローブに用いた有機物試料の分子イメージング法の高感度化および利用促進を視野に入れて、高エネルギー $C_{60}$  イオンを有機物の薄膜試料に照射したときのスパッタリング現象の解明を目的とした。スパッタ収量の入射角依存性・照射量依存性、照射を行った試料表面の形状発展を調べた。

#### ① アミノ酸の薄膜試料のスパッタ収率の測定

イオン照射を行う標的試料として、アミノ酸（フェニルアラニン）の薄膜試料を当研究室において真空蒸着法で作製した。作製した試料を、量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所のイオン照射研究施設（TIARA）で 360 keV の高速  $C_{60}$  イオンの照射を行った。試料ごとに  $C_{60}$  イオン照射の入射角（試料の表面法線から  $0^\circ \sim 85^\circ$ ）、照射量（ $1 \times 10^{11} \sim 1.5 \times 10^{12}$  ions/cm<sup>2</sup>）を様々に変えて照射した。照射試料を当学に持ち帰り、量子理工学教育研究センター（QSEC）の加速器を利用してラザフォード後方散乱分光法（RBS）で分析した。各試料の照射前後の膜厚の変化量を測定することによって、それぞれの照射条件におけるスパッタ収率を求めた。

#### ② アミノ酸の薄膜試料のイオン照射による表面形状の発展の観察

①の  $C_{60}$  イオンの照射を行ったアミノ酸の薄膜試料について、照射後の試料を当学・「桂結」共同利用設備の原子間力顕微鏡（AFM）を用いて表面形状の観察を行った。 $C_{60}$  イオン照射の入射角、照射量による表面形状の発展の様子の違いに注目した。

### 【研究成果】

#### ① アミノ酸の薄膜試料のスパッタ収率の測定

$C_{60}$  イオン照射の入射角に対するスパッタ収率の依存性を図 1 に示す。各グラフの横軸は試料の表面法線から測った入射角、縦軸は各入射角のスパッタ収率を入射角  $0^\circ$ （垂直入射）のスパッタ収率で規格化した値（スパッタ収率比）を示している。上は  $C_{60}$  イオン照射のごく初期（ $\sim 1 \times 10^{11}$  ions/cm<sup>2</sup>）の結果、下は照射が十分進んだ後（ $\sim 1 \times 10^{12}$  ions/cm<sup>2</sup>）の結果である。どちらの結果も入射角がおおよそ  $75^\circ \sim 80^\circ$  のときにスパッタ収量が最大を示しているが、詳しく見るとスパッタ収率の入射角依存性がイオン照射（スパッタリング）の進行によって変化していることが分かる。同様の

条件で  $C_{60}$  イオン照射によってスパッタリングを行ったときにアミノ酸（フェニルアラニン）薄膜の組成変化は観察されていないので、この変化は照射（スパッタリング）に伴う表面形状の変化によって起こったと考えられる。

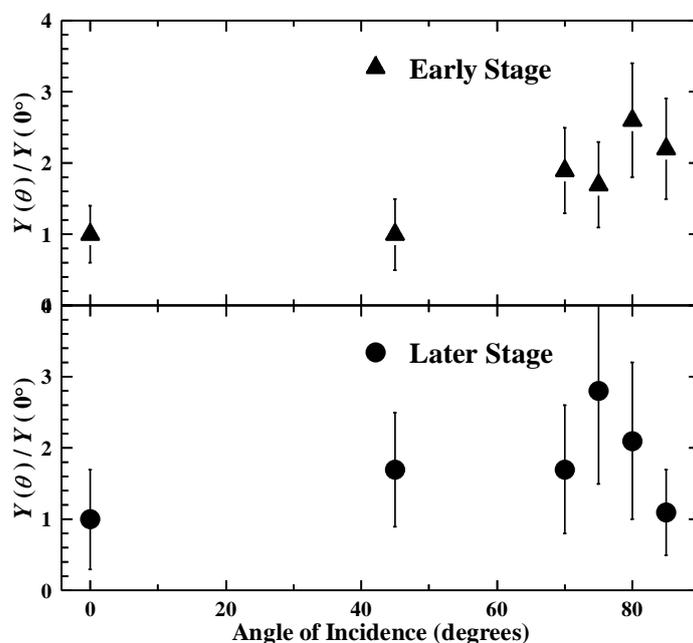


図1 照射のごく初期（上）と照射が十分進んだ後（下）のスパッタ収率の入射角依存。

## ② アミノ酸の薄膜試料のイオン照射による表面形状の発展の観察

真空蒸着法によって作製したアミノ酸の薄膜試料（照射前）の表面粗さは試料ごとに大きく異なっていたが、 $C_{60}$  イオン照射が進行するにつれて照射角度に依存する一定の表面形状が発展していく様子が観察された。図2は入射角  $85^\circ$  で照射した試料の未照射部の表面（左）、照射部（照射量  $\sim 1.5 \times 10^{12}$  ions/cm<sup>2</sup>）の表面（右）のAFMの凹凸イメージを示している。右の図に示した矢印は試料表面に投影した  $C_{60}$  イオンの入射方向を表している。未照射部の表面の凹凸が等方的であるのに対して、斜めから照射した試料表面には表面に投影した  $C_{60}$  イオンの入射方向に沿って伸びる明瞭な筋状構造が発展していることが分かる。上でも述べたように、こうしたスパッタリングの進行にともなう表面形状の発展が、スパッタ収率の照射量による変化をもたらしていると考えられる。しかしながら、未照射部の表面が元から非常に粗い表面になっており、その初期形状が初期のスパッタリング現象に少なからず影響していることが推測される。

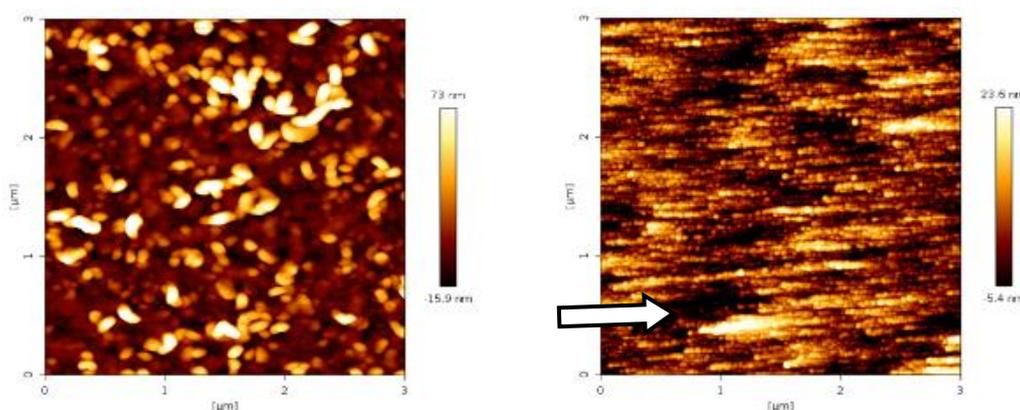


図2 未照射部（左）、照射部（右、入射角 85°）の AFM の凹凸イメージ。

本研究の成果の一部について、令和 5 年 9 月 3 日から 9 月 8 日に九州大学医学部百年講堂（福岡市）で開催された第 21 回絶縁体内照射効果に関する国際学会（21st International Conference on Radiation Effects in Insulators : REI-21）において、下記のポスター発表を行った。

- ・ Sputtering of Phenylalanine Films Bombarded with Sub-MeV  $C_{60}$  Ions

K. Kinomura, T. Taneichi, S. Takeuchi, K. Nakajima

また本研究の成果は、当研究室の木野村賢の修士学位論文としてまとめられた。

- ・ 木野村賢 令和 5 年度修士学位論文（2024）

高速  $C_{60}$  イオン照射によるアミノ酸薄膜のスパッタリングの初期過程

### 【今後の見通し】

助成を受けた研究課題については令和 6 年度以降も研究を継続する。新たに令和 6 年度から 3 年間の科研費（基盤研究（C））の助成を受けることになったほか、継続して量子科学技術研究開発機構・高崎量子技術基盤研究所の施設共用、本学・量子理工学教育研究センターの加速器の共同利用、本学「桂結」の共同利用施設の利用等によって研究を推進する。

本研究を通じて明らかになった、 $C_{60}$  イオン照射によるスパッタリングの進行にともなうスパッタ収率の変化、表面形状の発展の相互の関係について調べるとともに、スパッタリングの進行モデルの構築と高速  $C_{60}$  イオン照射によるスパッタリング機構の解明を目指す。