

## 研究成果報告書

研究テーマ (和文)	原子分解能電界電子顕微鏡の開発		
研究テーマ (英文)	Development of atomic-resolution field emission microscopy		
研究期間	2018 年 ~ 2021 年	研究機関名	東京大学/Ludwig-Maximilians University
研究代表者	氏名	(漢字)	柳澤 啓史
		(カタカナ)	ヤナギサワ ヒロフミ
		(英文)	Hirofumi Yanagisawa
	所属機関・職名	東京大学/日本科学技術振興機構・特任研究員/さきがけ専任	
共同研究者 (1名をこえる場合は、別紙追加用紙へ)	氏名	(漢字)	大門 寛
		(カタカナ)	ダイモン ヒロシ
		(英文)	Hiroshi Daimon
	所属機関・職名	公益財団法人豊田理化学研究所フェロー	

概要 (600字~800字程度にまとめてください。)

ナノスケールに先鋭化された金属針に強電界を印加するとその針先端から電子が放出される。放出された電子は放射状に広がり、それを観測することで針先端のナノの情報を得ることができる。これは顕微鏡法として用いられ、電界電子顕微鏡法(FEM)と呼ばれている。FEMの空間分解能は1,2nm程度であるが、本プロジェクトでは我々のこれまで培ったレーザー誘起電界電子顕微鏡の技術・知識をもとに、原子分解能電界電子顕微鏡法を開発することを目的とした。実験は、軟X線を針に集光し、針中の電子を励起し、その電子を観測することで行われる。この時に、X線をナノスケールに集光し、またそのゾンプレートや針を超高真空下においてサブナノメートルのスケールで位置制御するシステムを構築する必要がある。(その他、装置全体の位置制御や試料を極低温に冷却する機能を搭載する必要がある。)このようなシステムを設計し、本助成金を用いて開発した。開発したシステムを用いた原子分解能顕微鏡の実証実験は放射光施設にて2022年7月に行われる予定である。提案した顕微鏡が実現すれば、1生体分子を非破壊で観測する世界初の手法となる。

以上の実験は放射光施設のみで可能であるが、我々の実験室にても、FEMを用いて1分子の観測が可能であることが我々の研究で分かってきた。FEMで用いられる針先に分子を蒸着すると、2つ葉や4つ葉といった特徴的な電子放出パターンが得られることが70年前よりわかっていた。一方で、その像の解釈は70年間はっきりしてこなかった。本プロジェクトにおいて我々は実験と分子動力学的計算を行うことで、針先端の強電場下での分子配列を決定することに成功した。この結果観測されているパターンが1分子から出ていることを明らかにした(成果はScientific Reportsに掲載)。また、そのパターンが分子の分子軌道を表していることを明らかにした(現在論文投稿中)。

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）						
雑誌	論文課題	Field emission microscope for a single fullerene molecule				
	著者名	Hirofumi Yanagisawa et. al.	雑誌名	Scientific Reports		
	ページ	2174～	発行年	2 0 2 2	巻号	12
雑誌	論文課題	Laser-induced field emission from a tungsten nano-tip by circularly-polarized femtosecond laser pulses				
	著者名	Hirofumi Yanagisawa et. al.	雑誌名	Physical Review B		
	ページ	045406～	発行年	2 0 2 0	巻号	101
雑誌	論文課題					
	著者名		雑誌名			
	ページ	～	発行年		巻号	
図書	書名					
	著者名					
	出版社		発行年		総ページ	
図書	書名					
	著者名					
	出版社		発行年		総ページ	

英文抄録（100語～200語程度にまとめてください。）

This project aims to develop an atomic-resolution field emission microscopy (FEM). Applying strong electric fields on a sharp metallic tip drives electron emission from a tip apex. The emitted electrons propagate radially from the apex and magnify the nanoscopic information on the tip, which serves as electron microscopy, known as FEM. The spatial resolution of FEM is limited to 1-2 nm. In order to achieve atomic-resolution FEM, we need to engineer the momentum distribution and energy of the emitted electrons and our idea is to modify those electron parameters by irradiation of X-ray onto the tip apex. We have constructed an ultra-high vacuum system to perform FEM experiments with X-rays using the Sumitomo funds. This July, the first experiment is scheduled to be conducted in a synchrotron facility (UVSOR). In addition to the development of the new vacuum system, we have clarified the physics of electron emission patterns from molecules in FEM, which has remained shrouded in mystery for over 70 years. We summarized this work in two papers and published one in Scientific Reports. (The other one was submitted to a journal.)

共同研究者	氏名	(漢字)	奥田太一	
		(カタカナ)	オクダ タイチ	
		(英文)	Taichi Okuda	
	所属機関・職名		広島大学・教授	
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)	ペーター フォールナー	
		(英文)	Peter Feulner	
	所属機関・職名		Technical University Munich, Professor	
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				