

大学院教育支援機構 企業寄附奨学制度（DDD） 報告書

氏名	加藤 雅大
研究科・専攻	エネルギー科学研究科 エネルギー変換科学専攻
修士/博士・学年	修士 1 年
支援企業名	日本ガイシ株式会社

奨学金を得て行った研究の成果

研究概要

本奨学金を得て行った研究は「**ナノ金属の疲労挙動解明**」である。現代においては、半導体素子が自動車やスマートフォンなど様々な場面で使用されている。半導体素子内部には 10 nm 程度の寸法の**ナノ金属**が多数存在し、これらは熱や振動による機械的な**繰り返し負荷**を受け続けている。繰り返し負荷による損傷を**疲労**と呼ぶが、ナノ金属の機械特性については現在でも未解明なことが多く、**疲労挙動**についても**未知**である。ナノ金属の疲労挙動を解明できれば、**半導体素子の信頼性向上**に大きく寄与できる。しかし、ナノ金属の疲労挙動を評価する実験は極めて困難であり、世界的に成功例がない。本研究では、ナノ金属に対する疲労試験手法を新たに開発し、ナノ金属の疲労挙動を明らかにすることを目的とする。

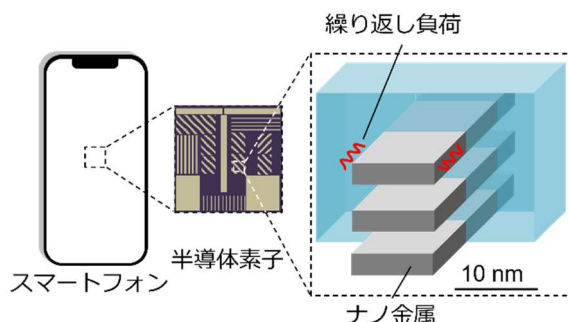


図 1 ナノ金属の利用例

研究手法

ナノ金属の疲労挙動を明らかにするため、引張負荷と圧縮負荷を交互に繰り返し与える**引張圧縮繰り返し負荷試験**を行う。試験においては、ナノサイズの試験片を**破損させずに作製**することおよびナノメートルの精度で**正確に負荷を与え続ける**ことが極めて困難であった。そこで、金（Au）を試験対象材料とし、独自に設計したシリコン（Si）のフレームを利用する手法を開発した。開発した手法は、Si のフレームの弾性変形を利用して Au ロッドを**一度引張破断**させ、その先端同士を接触によって**再結合**させることでナノ試験片を作製し、その後繰り返しの引張圧縮負荷を与えるというものである。この手法により、直径約 **16 nm** の試験片に対して振幅約 2 nm の引張圧縮繰り返し負荷を与えることに成功した。

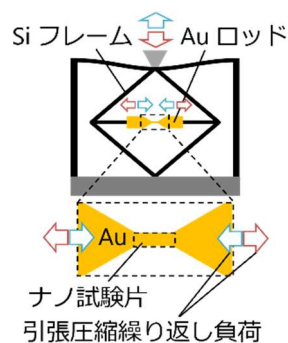


図 2 開発した手法の模式図

研究結果

図 3 は透過型電子顕微鏡による試験のその場透過観察像を示す。試験の結果、ナノ試験片は繰り返し負荷によって局所的に径が細くなり、約 8 nm にまで細くなって以降は繰り返し数を増やしても**可逆的に変形を繰り返す**様子が観察された。この挙動は径が数 nm にまで収縮したことで、原子の流動性が高まり、液体的に振舞うようになるナノ金属特有の性質に起因するものであると考えられる。

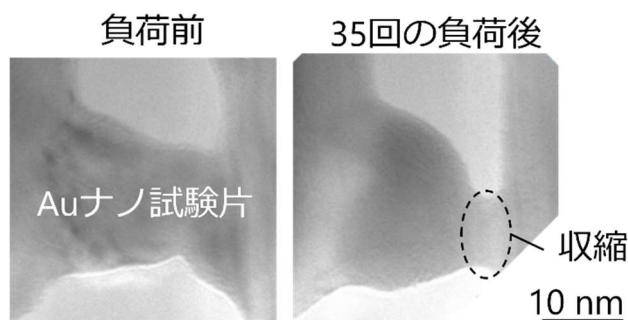


図 3 試験のその場透過観察像

奨学金受給期間における研究業績

学会発表

- [1] 加藤雅大, 他. 「10 ナノ Au 単結晶に対する引張圧縮繰返し負荷試験のその場透過観察」. 日本材料学会第 10 回材料 WEEK, 2024/10/8-10 (京都) . 口頭発表
- [2] M. Kato, *et.al.* “Incredible Tolerance to Fatigue Damage Exhibited by 10 nm-class Gold Single Crystal”. 7th International Conference on Materials and Reliability. 2024/12/3-6 (Busan, Korea). Oral presentation

受賞

- [1] M. Kato, *et.al.* Outstanding paper Award. “Incredible Tolerance to Fatigue Damage Exhibited by 10 nm-class Gold Single Crystal”. 7th International Conference on Materials and Reliability. 2024/12/3-6 (Busan, Korea).

産学協同の取組における成果

研究発表および座談会

研究発表では京都大学 OB を含む日本ガイシ株式会社の社員様と学生数名に対して、自身の研究成果についてプレゼンテーションを行った。本発表は、自分とは専門分野が異なる方々に対する発表であったため、誰にでも伝わるプレゼンになるよう内容を工夫した。専門用語を可能な限りかみ砕いて説明することはもちろん、特に構成にこだわることで伝わりやすい発表になるよう意識した。想像しやすい例から導入し、一つ一つの内容を順に追って確実に理解してもらいながら研究内容、結果にまでつながるように、丁寧かつ論理的な流れで説明を行った。これらの工夫の甲斐もあって、プレゼンテーション終了後にはポジティブなフィードバックを頂き、自信につながった。加えて、発表終了後の質疑応答では、自分の専門分野の中にいるだけでは気づくことのできない異分野の方々の視点を様々知ることができ、研究に対する視野が広がった。普段の研究活動の中では、今回のように異なる専門分野の方へ発表する機会は滅多にないため、貴重な機会となった。この研究発表で得られた経験は今後の研究活動の糧にしていきたい。

座談会ではご紹介いただいた企業情報を基に、会社の事業戦略および事業内容、業務内容、キャリアなどについて意見交換を行い、多くの情報を得ることができた。企業がどのような戦略の下に事業を展開し、そこに向けてどのように技術開発を進めているかなど、大学の中だけでは知り得ないことについてお話を伺うことができたことは良い経験だった。また、企業での研究業務の内容や生活についても多くお話を伺うことができ、イメージが難しい企業研究者としての働き方を解像度高く知ることができ、自身のキャリアを考える上での貴重な材料となった。

会社見学

会社見学では、研究室の同期とともに、日本ガイシ株式会社の本社に伺い、企業・製品紹介と工場見学を実施して頂いた。企業・製品紹介では、開発された様々な製品の実物に触れながら、質問も交えつつ詳しい説明を頂き、製品一つ一つの理解を深めることができた。普段なかなか目にしない場所で活躍している数多くの製品を知ることができ、技術・社会に対する視野が広がった。また、驚くほど精巧に作られた製品を実際に目にし、企業の技術力の高さを実感した。さらに、フィルタから電池まで多岐にわたる製品を見て展開する事業の幅広さも実感した。工場見学では、実際の製造ラインを見学しながら各工程について詳しい説明を頂いた。見学の中で、モノづくりの難しさや奥深さを実感すると同時に、工場の随所に存在する工夫を知り感心した。また、高品質の製品を量産することの裏側には様々な研究開発の積み重ねがあったことを想像することができた。

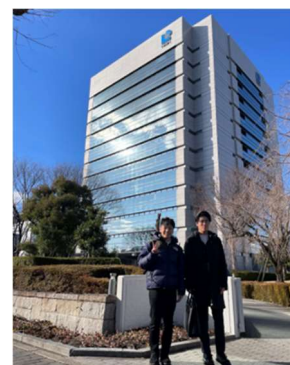


図 4 会社見学の様子

今後の展望

これまでの研究により直径 10 nm 程度の Au は、繰り返し負荷の下で液体的かつ可逆的な変形挙動を示し、繰り返し負荷によって損傷しない（疲労しない）可能性を示した。本研究の展望は次の 2 つである。

1. 分子動力学シミュレーション（Molecular dynamics : MD）を活用した実験結果の詳細解明
2. 微小電気機械システム（Micro electro mechanical systems : MEMS）による高サイクル疲労試験実施

1 について、これまでの研究で得られた実験結果からは、主に試験片の形状に関する情報しか得ることができず、実験結果単独で現象のメカニズムの特定に至ることは難しい。しかし、原子を 1 つ 1 つモデル化してシミュレーションを行う MD を利用することで、変形の際の各原子の挙動を詳細に解析することができ、実験だけではわからない部分を明らかにすることができる。今後は MD もうまく活用しながら、実験およびシミュレーションの両側面からナノ金属の繰り返し変形特性のメカニズム特定にアプローチしたいと考えている。

2 について、上記の実験手法では、実験装置の動作安定性の関係で、実現可能な繰り返し負荷回数は 100 回程度である。しかし、疲労現象についての議論を行うためには少なくとも 10^4 回程度の繰り返し負荷が望まれる。このような繰り返し数の多い高サイクル疲労試験を実現するため、疲労試験機能を有する MEMS を新規に開発して疲労試験の実施を目指す。MEMS とは、ミリメートルオーダーのチップの中に微小な動作機構や回路を集積させたデバイスであり、これを利用することで、高サイクルの疲労試験であっても安定的に繰り返し負荷を与え続けることができる。MEMS の開発はこれまでの研究と並行して進めてきており、デバイスの完成、予備試験の実現まで到達している。今後は開発したデバイスを用いて高サイクル疲労試験を実施したいと考えている。

本奨学金のご支援を頂いた結果、研究活動に集中して取り組むことができ、上記のような成果を得ることができました。このような制度を設けてくださった京都大学大学院教育支援機構およびご支援を賜りました日本ガイシ株式会社様にはこの場を借りて深く御礼申し上げます。