

## 山梨県若者海外留学体験人材育成事業 (大学生等コース) 留学結果報告書

今回、「山梨県若者海外留学体験人材育成事業 (大学生等コース)」及び「官民協働留学支援制度トビタテ! 留学 JAPAN 日本代表プログラム」よりご支援頂き、実現した留学では、以下を目的とし活動を行った。

● 本留学の目的

現在の主流であるシリコンを用いたデバイスの抱える問題である、微細化、性能の向上の限界を突破するために電子の持つ電荷とスピンの両方の特性を用いたスピントロニクスデバイスを実現することである。そのためにはデバイス中での電子スピンのふるまいを明らかにする必要があり、所属する山梨大学白木研究室が所有するオリジナルの装置「多探針走査型トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscope: STM)」を応用することで、そのふるまいを解明できると考えている。本留学の目的は、デバイス中での電子スピンの特性を解明すべく、スピン測定、制御の分野において、世界的にも第一人者であるオハイオ州立大学 Roland Kawakami 教授の元で、測定対象となる材料に強磁性体層と非磁性体からなる電極を取り付けスピン注入及び検出を行う「グラフェンスピンバルブデバイス」の作成及び測定技術、ノウハウの習得をすることである。また、作成したデバイスを持ち帰り、帰国後、電極部分をプローブ(探針)に置き換えることで電極の位置に依存しない、2次元的に自由度の高い測定を行うことである。さらに、ただ研究活動を行うだけでなく、得られた成果の情報、自分の考えを発信し、アイデンティティを発揮できるグローバルな人材、国際人になることである。

上記の目的に沿い、留学を通して学んだこと及び学んだことを今後どのように活かすかを以下に記す。

● 留学を通して学んだこと

➤ 研究に関する内容

1. STMでの測定技術

本留学及びそれに係る研究の目的である、スピンのデバイス中でのふるまいの測定を実現する装置のとして、現在所属する、山梨大学白木研究室のオリジナルの装置「多探針走査型トンネル顕微鏡」がある。留学先の Kawakami 研究室は一般的に普及している LT-STM (Low-Temperature STM) (図 1) を所有しており、STM (トポグラフィ及びスペクトロスコーピーイメージの取得、磁場印加状態 ( $\sim 1\text{T}$ ) での測定等) およびその他の測定機器 (低速電子線回折装置、オージェ電子分光法装置、スパッタ・アニール、パイロメータ等) の測定技術、原理等を習得した。また、今後、多探針 STM に実装が必要となる液体ヘリウム・液体窒素の取り扱い、及び、それらを用いての低温環境 ( $77\sim 4\text{K}$ ) での装置特性及びそれに伴う測定技術の習得を行った。



図 1. LT-STM

## 山梨県若者海外留学体験人材育成事業 (大学生等コース) 留学結果報告書

## 2. スピンバルブデバイスの作成

スピンのデバイス中でのふるまい (スピンの輸送特性) の測定を実現するために、原子 1 層分の炭素からなるシート状の素材「グラフェン」を用いて作成する「グラフェン スピンバルブデバイス」の作成及びそれに付随する技術 (強磁性体の微細加工、分子線エピタキシー法など) やノウハウ、グラフェンの物性などの知識の習得を行った。本研究において、グラフェンをスピンバルブデバイスの材料とした背景には、グラフェン中においてスピンは拡散長が長い、スピンの寿命が長い、比較的高温でも動作するなどの優位性があるためである。

## 3. スピンバルブデバイスの測定

グラフェン スピンバルブデバイスの測定には Kawakami 研究室独自の測定系が用いられている。本留学では、グラフェン スピンバルブデバイスを日本に持ち帰った後、多探針 STM で測定するのに必要な測定系の構築、装置の改良に向けて、測定系の構成、各測定装置の原理などを学んだ。また、Kawakami 研究室で作成中であり、今後、多探針 STM に組み込みが必要な磁場印加用コイル、サンプルホルダー及び冷却機構 (クライオスタッド) の作成に加わり、帰国後の改良に向けて作成工程、手法などを学んだ。

留学期間後半では、自らが作成したグラフェン スピンバルブデバイスを測定し、測定手法を身につけた (図 2)。さらに、作成に参加した磁場印加用コイル、サンプルホルダー及び冷却機構 (クライオスタッド) を用いて、新規に測定系の構築を行った。



図 2. デバイス測定中の様子

## 4. 真空装置の改善・改良

多探針 STM 及び LT-STM は超高真空と言われる特殊な環境下で測定を行うことが望ましいが、超高真空環境の作成及び、真空装置の取り扱いには大気環境下での測定装置とは異なる注意事項が無数にある。本留学期間中は、LT-STM での測定を通してその注意事項について学んだと同時に、機械的な改善、改良を行い、測定のみならず、真空部品の機械的な加工についても学んだ。具体的には、STM に試料を入れる部分 (ロードロック) に真空環境を保持した状態で試料を輸送できる機構を取り付けたとともに、その試料を導入するための、サンプル移動アームの設計、加工を行った。

## 1. 真空中でのサンプル輸送

作成を行うとともに、原理や特性について学んだ、グラフェン スピンバルブは大気環境下では劣化が進み、また、静電気や振動によって構造が破壊される可能性が高い。そのため、グラフェン スピンバルブデバイスを固定した状態で、真空を維持したまま日本に輸送する手法について学

## 山梨県若者海外留学体験人材育成事業(大学生等コース) 留学結果報告書

び、それを元にサンプル輸送用のコンテナを作成した。これにより、帰国後、多探針 STM の改良及び、測定に向けての測定系の構築が完了次第、Kawakami 研究室より、グラフェンスピンバルブデバイスを輸送して頂き、共同研究として研究を行うことが可能になった。

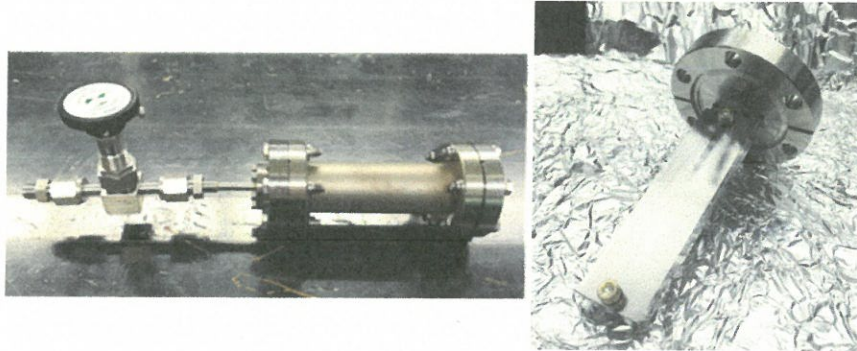


図3. 作成した真空サンプル輸送用コンテナ

➤ グローバルな人材、国際人に向けて

1. 異文化に対する理解

これまで、所属する大学等で行ってきた海外から日本に来た学生との交流では、各国の文化に断片的にしか触れることはなく、特に、パーソナリティの部分においては、文化や国民性に依存するものではなく、個人の性格や考え方に依存する部分が多いように感じていた。しかし、今回の留学では自らが異文化に飛び込こむことで、それまでの交流とは異なり、現地の学生、参加したイベントの参加者、ホストファミリーなど、多くの人との交流を通じて、より国民性や文化が反映された、本質部分に近い異文化に触れることが出来た。その一例として、2016年11月に実施されたアメリカ大統領選挙がある。私の留学先であったオハイオ州は、大統領選において重要な州に位置づけられており、特に関心が高く、それに伴ってか、日常的に政策やその影響についての議論がなされており、日本の様々な選挙とは異なるものを感じることができた。

また、異文化に入り受け身でいるだけでなく、日本文化を発信する活動も行った。具体的には小規模ではあるものの、日本食を提供するイベントを行った(図4)。



図4. 日本食(弁当)をテーマにした日本文化紹介イベントの様子

## 山梨県若者海外留学体験人材育成事業 (大学生等コース) 留学結果報告書

## 2. 情報発信

留学期間中は定期的に研究の進捗報告のプレゼンテーションやミーティング、報告書の提出があり、自身の研究の成果や進捗を口頭での発表や、文書によって報告する機会や他の研究の成果や進捗を聞くといったが多数あった (図5)。それにより、文章や発表資料、発表中のジェスチャーなど、自身の成果を正確にかつ、わかりやすく伝える手法や、英語での発表、文書の作成などの、情報発信能力を高めることができた。また、留学先である、オハイオ州立大学物理学部では、定期的に外部の研究者を招待し、研究紹介を行う機会が設けられており、自分の専門分野に以外の研究者の話聞くことでさらに多くの情報発信の技術や手法を学ぶことが出来た。



図5. 進捗報告ミーティングの様子

## ● 留学を通して学んだことを今後どのように活かすか

## ➤ 研究において

本留学を通して身につけた上記の技術、ノウハウを元に多探針 STM の改良及び測定系の構築を進め、自作した真空サンプル輸送用コンテナによって輸送したグラフェンスピナルバルブデバイスの測定を行う。これにより、デバイス中でのスピンのふるまいを明らかにし、将来的にはグラフェンに測定試料をグラフェンに限定せず、デバイス中でのスピンのふるまいを測定可能な装置を作成し、シリコンを用いたデバイスの抱える問題である、微細化、性能の向上の限界を突破するスピントロニクスデバイス実現の一翼を担いたいと考えている。

そのために、今後も Kawakami 研究室との連携を継続し、更に、他の研究室で行われている研究を取り入れより、有用な装置を早期に実現したい。現在は、測定に必要な探針を提供して頂けるよう、東京大学長谷川研究室とコンタクトを取っている。

## ➤ グローバル人材に向けて

今回の留学を通して身につけた、伸ばした、英語力を含む「コミュニケーション能力・協調性」、「情報発信能力」を活かして、自身の研究成果を国際学会への参加や、論文の作成によって広く発信して行きたいと考えている。また、引き続き国際交流活動への参加、イベントの企画を行っていきたい。

## ➤ その他

本留学で学んだこと、経験したことは研究において、グローバル人材として以外にも人間的な裾野を広げ、今後、社会に出ていく上で重要な経験になっていくであろうと感じている。私の場合、「山梨県若者海外留学体験人材育成事業 (大学生等コース)」及び「官民協働留学支援制度トビタテ! 留学 TAPAN 日本代表プログラム」の支援なしでは金

山梨県若者海外留学体験人材育成事業(大学生等コース) 留学結果報告書

銭的な理由から「留学」を実現し、このような経験をするのは難しかった。そのため、今後は上記のような支援制度があること、また、留学によって得られる経験の素晴らしさ、多様性を広めていく活動を行い、私のように、金銭的に自費での留学の実現が難しく、留学自体を半ば諦めている学生にはたらきかけていきたい。