

# MERIT 長期海外派遣報告書

13期生 理学系研究科物理学専攻 小西研究室

袴田 祐生

派遣先：東フィンランド大学物理数理学科 Yuri Svirko 教授

派遣期間：2024年6月10日 - 6月29日、8月3日 - 8月10日

## はじめに

私の所属している研究室は、実験を通して光物性に関する理解を深めることを目的として活動しており、研究テーマは多岐に及びます。私は、光の波長程度の小さな構造体により光の伝搬特性を制御するメタマテリアルという分野の研究をしています。今回、派遣先で私を受け入れてくださった Svirko 先生も研究分野のひとつにメタマテリアルを挙げており、弊研究室とは共同研究を行っております。私は、メタマテリアルの研究を遂行するうえで、物理学的な理論と光学実験だけではなく、サンプルに微細加工を施す技術の習得も重要だと考えており、この機会を利用しました。派遣先である東フィンランド大学には、世界でもここにしかない自作の化学気相成長装置（CVD）があり、特殊な炭素膜をナノメートルオーダーの厚さで均一に基板上に蒸着させることができます。今回は CVD の技術を学び、弊研究室と東フィンランド大学の共同研究テーマである THz 広帯域完全吸収体を作製するために、フィンランド・ヨエンスーに行きました。

## 風土

フィンランドの6月は夏と認識されていますが、5月中旬まで雪が降っていたとのことで、日は温かいものの夕方には日本の初春のようなひんやりとした優しい風が印象的でした。特出すべきは白夜です。深夜の12時から2時間ほど少し暗くなる程度で常に明るい状態が続きました。10月ごろには逆に真っ暗な日が続く極夜が始まるなど独特な風土を兼ね備えています。物価は他のヨーロッパ諸国よりも高く、外食は日本の3-5倍程度かかります。

## 本研究の背景

テラヘルツ（THz）波は、電磁波の中で 100 GHz から 10 THz の領域に位置し、赤外線とマイクロ波の中間に位置しています。この範囲の波長は、様々な技術的応用が期待されています。特に、非破壊検査やサブミリ波天文学において重要な役割を果たし、次世代の高速無線通信技術にも応用が見込まれています。テラヘルツ波を利用するためには、専用の光学素子が必要となりますが、その際にフレネル反射による大きな損失が問題となります。

## Hz 帯用モスアイ反射防止構造の利点

THz 帯用のモスアイ反射防止構造は、波長程度の微細なピラミッド構造から成り、気相に対する構造体の空間的な占有体積率が連続的に変化します。これにより、広い周波数帯域にわたって実効的な屈折率を連続的に変化させることができ、フレネル反射を抑え、高い透過性を実現します。この技術は、特に高感度の THz 波測定や天文学の分野で重要です。私の属する小西研は、レーザー加工によって THz 帯で動作するモスアイ反射防止構造を作製する技術を有しており、構造体の設計最適化と天文学応用に関する研究を行っています。



## 本研究の目的

### Pyrolyzed Carbon (PyC) 薄膜の応用

薄膜構造を利用した効率的な吸収体の作製は既に知られており、特に Pyrolyzed Carbon (PyC) は THz 領域における非常に広い帯域での吸収が期待されています。東フィンランド大学では、PyC の理論的および実験的な研究が進められています。今回の研究では、モスアイ構造に PyC 薄膜を組み合わせることで、今までにない非常に広帯域な領域で入射光を完全に吸収するデバイスの作製を目指していました。事前のシミュレーションにより、モスアイ構造表面に均一な PyC 薄膜を蒸着することで、1THz-10THz の間で吸収率 99.8%以上が実現できることが確認され、必要な膜厚も決定されていました。

## 本研究活動における成果

国際派遣により、小西研が作製したモスアイ構造に対して、東フィンランド大学の CVD を使用して PyC の蒸着を行いました。蒸着後には、現地の測定系を用いて光学応答を測定し、吸収性能の変化を確認しました。現在はより高度な測定のためリトアニア Center for Physical Sciences and Technology (FTMC) 協力のもと、より広帯域での吸収性能を測定しています。

## 国際会議での発表と今後の展望

8月3日から一週間、フィンランド・クオピオで行われた国際会議「Nanocarbon Photonics and Optoelectronics 2024」に参加し、これまでの研究内容をポスター発表で紹介しました。この会議を通じて、炭素によるナノフォトンクス研究に特化した情報や自身の研究テーマに関するアイデアを得ることができました。特に、FTMC の研究者と直接議論をし、今後追加検証すべき測定条件やサンプルの管理など綿密な情報共有できました。

## まとめ

今回の研究活動を通じて、モスアイ構造と PyC 薄膜の組み合わせによる広帯域な完全吸収体の作製に成功しました。また、国際会議での発表を通じて、他の研究者との交流や新たな知見の獲得ができました。今後は、さらに多くの応用可能性を探り、THz 波技術の発展に貢献していきたいと考えています。

## 謝辞

このような機会を用意してくださった指導教官の小西先生に感謝いたします。また、手厚いサポートをしてくださった Svirko 先生と実験に協力してくださった Georgy 先生グループの皆様感謝いたします。そしてこのような場を設けてくださった MERIT に感謝いたします。



(中央) Yuri Svirko 教授  
(右) 実験に用いた CVD 装置



Georgy Fedorov 教授 (写真中央) に休日  
に連れて行ってもらったリコ国立公園。  
夏であったがとても涼しく、美しい風景  
が広がっていた。