（ 様式D－２ ）
（ 別　　紙 ）

令和６年度　海外派遣研究員研究報告書

令和６年１０月２３日

日本大学理事長　　殿
日 本 大 学 学 長　　殿

所　　属　　理工学部（理工学研究所）
資格・氏名　　准教授　　胡桃　　聡

■本報告書の内容を公表することは，了承しております。
□本報告書の内容を公表することは，差し控えください。
※いずれかにチェックし(■)提出すること

令和　６年度海外派遣研究員（　短期Ｂ　）の研究実績を，下記のとおり報告いたします。

記

１　区　　分　　短期Ｂ

２　研 究 課 題

プラズモニックマテリアルの生成プロセス技術開発と超高感度分子検出応用に関する研究

３　派 遣 期 間　　西暦２０２４年　８月１５日　～　２０２４年　９月　５日

４　派　遣　先　　ベトナム，シンガポール

※派遣先国名のみ記載すること（本注意書きは，記載時に削除してください）

５　研 究 目 的

これまでに私はシンガポール国立大学において，金属ナノ構造と光の相互作用によって機能するプラズモニックマテリアル『高配向単結晶金量子ドット/ナノ構造体 Highly-Oriented Single-Crystalline Gold Quantum-Dots and/or Nano-Construction：HOSG-QDs / NCs』を１プロセスで基板上に自己成長させることに成功し，研究成果を論文配信している。本学理工学部においても HOSG-NCs の応用として，私の研究室にあるパルスレーザ堆積装置によって HOSG-NCs を基板上へ自己成長させることに成功している。HOSG-NCs が堆積された基板のハイインパクトな産業応用としては，表面増強ラマン散乱（Surface Enhanced Raman Scattering: SERS）を利用した超高感度分子検出用基板（SERS チップ）が挙げられ，これまでに私の研究グループが主体となって本学材料創造研究センターのレーザーラマン分光装置によって HOSG-NCs に吸着させた有機試薬の SERS 測定を行い，SERS チップとしての高い増強性能を示すことを実験的に明らかにしている。本研究では，シンガポール国立大学へ訪問し，直接的に実験的・理論的な議論をすることで本学理工学部において生成した HOSG-NCs の展

望について調査をすることを主の目的とする。また，近隣のベトナムで開催される国際会議に出席し，HOSG-NCs の応用に関して情報収集することを目的とする。

６研　究　概　要

①　研究の方法

図１にシンガポール国立大学と共同研究を通して発見した金ナノ構造（HOSG-QDs）の外観と結晶性の一例を示す[1]。シンガポール国立大学で得られる金ナノ構造は基板からエピタキシャル（Volmer-Weber モード）にナノレベルで島状に配向成長しており，面心立方格子の 100 面または 111 面に高配向した結晶が反射高速電子線回折法（Reflection High Energy Electron Diffraction：RHEED）測定と X 線回折分析によって明らかにしている。図２に示すように，私の研究室においても類似の金ナノ構造（HOSG-NCs）を作製しており，111 面配向ないしは 111 面・100 面ハイブリッド構造の作製に成功している[2]が，RHEED 測定に関して研究室に測定設備がないため，X 線回折分析のみで議論をしている状況である。そのため，私の研究室に将来的に RHEED 測定のシステムを導入し HOSG-NCs の成長メカニズムを詳細に議論できるようになることを目的として，シンガポール国立大学では，現地で装置を見学したり，オペレーションしたり，実際に現地の研究員と HOSG-QDs を作製しながら，in-situ で RHEED 測定をすることで実践的に知見を得る。その一方で，シンガポール国立大学においては，HOSG-QDs の物性評価に注力をしており，その応用となる SERS チップに関する議論が乏しい。私の研究室の強みとしては，研究室で得られた金ナノ構造（HOSG-NCs）に関して，SERS チップとしてのスペックについて詳細な実験結果をまとめており，その成果を配信している[2]。そのため，HOSG-QDs の応用として SERS チップとしてのノウハウを説明し，将来的に学術論文として纏められるよう議論をする。

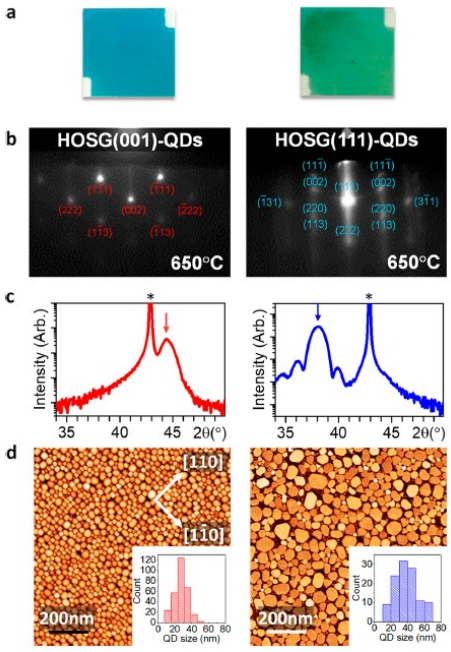


図１　これまでにシンガポール国立大学と共同で明らかにした HOSG-QDs の物性評価結果
a：試料の外観写真，b：RHEED 測定結果，c：X 線回折結果，d：試料の表面観察結果およびサイズ分布

②　渡航先での活動内容

シンガポールでの滞在期間は，兼ねてから私の研究室と共同研究をしているシンガポール国立大学ケントリッジキャンパスを拠点として，物理学科のアンドリーボ教授の研究室を訪問し，これまで私の研究室で得られた金属ナノ構造に関する物性評価結果や，SERS 測定結果および SERS チップとしての性能評価に関して意見交換をした。

さらに当初の研究目的を達成するため，シンガポール国立大学ケントリッジキャンパス内の研究施設（Singapore Synchrotron Light Source：SSLS）で現地研究員（ジョーン博士）の協力の元，RHEED システムの詳細についてレクチャーを受けて，実際にパルスレーザ堆積法によって金属ナノ構造（プラズモニックマテリアル）の生成および RHEED 測定の体験（基板の結晶面の測定，面心立方格子の 100 面の測定，同 111 面の測定，基板の加熱有無による影響等の測定）をした。RHEED システムの機種選定法や，取り扱い上の注意点，特に研究で使用する金から得られる RHEED 像の特徴と，解析方法，成長メカニズムを生でモニタリングできたことは貴重な経験となった。試料においては，アンドリーボ教授，ジョーン博士の協力の元，原子間力顕微鏡を用いて表面観察をした。基板の種類と得られる金属ナノ構造の形状についてジョーン博士および私共にエキサイトさせられるような測定結果が得られた。

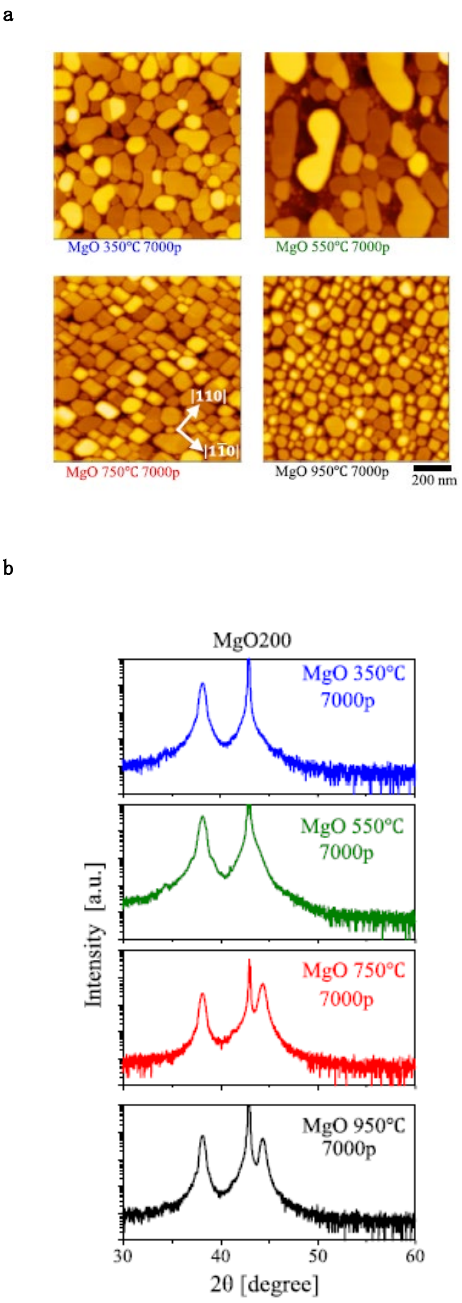


図 2　研究室で得られた HOSG-NCs の物性評価結果　a：試料の表面観察結果，b：X 線回折結果

SSLS では，金属ナノ構造の研究に従事する学生や研究員が数名いたため，私の SERS チップに関する知識についてレクチャーをした。例えば，現状の SERS チップの製造方法として，金・銀薄膜を基板上へ成膜し，これを電子線リソグラフィーによってナノ微細加工をしたり，化学的手法によってナノピラーなどを得たりする方法が主流であることを説明した。また現行の SERS チップの作製方法の問題点として，量産性に優れないこと，化学的・機械的強度に乏しいことが挙げられ，実際に浜松フォトニクス社等から金・銀ナノ構造体が加工された SERS チップが商用化されているが，大気開放した際にこれらの構造体表面が酸化によって劣化したり，サイズも数ミリ以内と微小であったりなど汎用性が低いことを説明した。それに対してシンガポール国立大学や私の研究室で得られる金ナノ構造の特徴やこれまでの問題点を解決するポテンシャルがあることなど研究背景について情報交換した。その後，SERS 性能評価をするにあたり，得られる測定結果の特徴（図 3）やその技術的な方法について，参考文献[2]の内

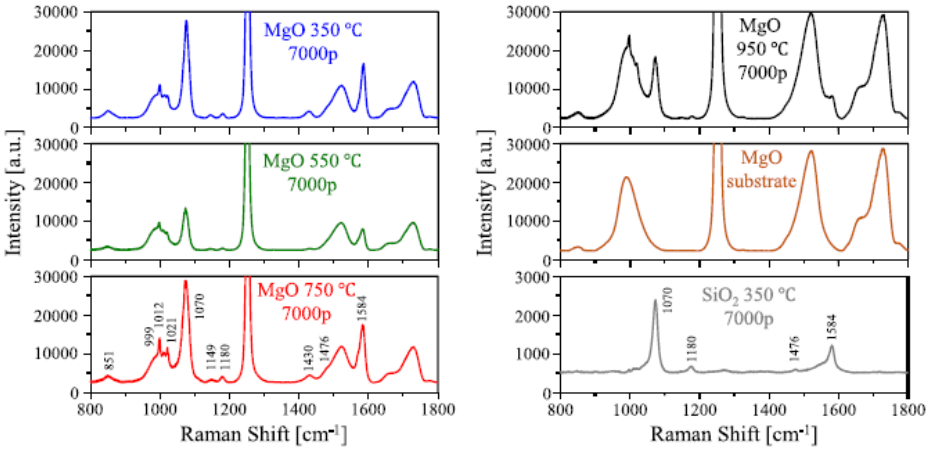


図 3 研究室で得られた HOSG-NCs の SERS チップ性能評価結果

容を紹介しながらレクチャーをした。本海外派遣期間の終盤において，私の研究室の修士２年の学生１名がシンガポール国立大学へ訪問したいと申し出があったため，本学生をシンガポール国立大学内へ招き現地学生間で技術交流をした。

この有機的な交流を通じて，海外学術論文の共同執筆をスタートし，その途中インドネシアのバンドン工科大学のユディ教授とも SNS を通じて情報交換をして草稿を書き上げた。

研究室オリジナルのプラズモニック金属ナノマテリアルを次世代エネルギーの発展に貢献させるために，ダナンで 2024 年度次世代エネルギー機構におけるナノ流体応用に関する国際会議（International Conference on Application of Nanofluids in Renewable Energy Systems (ICANRES-24)に参加し，次世代エネルギーのトレンドを調査した。さらにプラズモニック金属ナノマテリアルの応用について意見交換をした。

７　研究結果・成果

上述の通り，本海外派遣研究において，金属ナノ構造を作製する過程で，図 1～3 に関連した RHEED 像や表面観察結果を得た。この成果はシンガポール国立大学，バンドン工科大学，日本大学３校の共同成果として論文投稿を進めている。RHEED システムに関しては，私の研究室への導入をするために機種選定等を進める。実際に調達するために金額的に外部資金の獲得がマストとあるため，それには投稿を進めている論文の掲載が支援となることから，これに注力する。ダナンでの国際学会で調査したことで得られた知見から，本研究で使用している金属ナノ構造を太陽電池の高効率化や，光触媒反応の機能性向上に向けて応用研究をスタートする。

最後に，これまで説明した通り，私は本海外派遣研究員の制度がなければ成しえない多くの貴重な経験をした。このような機会をご提供頂いた関係者の皆様に深く感謝する。

[1] B. L. Ong, M. A. Naradipa, A. D. Fauzi, M. A. Majidi, C. Diao, S. Kurumi, P. K. Das, C. Xiao, P. Yang, M. B. H. Breese, S. W. Ong, K. M. Tan, E. S. Tok, and A. Rusydi, Nano Lett., vol. 21, p. 7448 (2021).

[2] S. Kurumi, K. Sugawa, K. Takase, Y. Darma, T. Sagara, K.-i. Matsuda, K. Suzuki, B. L. Ong and A. Rusydi, Appl. Phys. Lett., vol. 123, p. 053502 (2023).

以　上