



京都大学大学院 工学研究科 高等研究院

# 先端ナノミクス研究部門

研究部門代表：山田 啓文（電子工学専攻）

## 本研究部門の目的と主要構成員

本研究部門では、領域横断的なナノ科学・ナノテクノロジーを総合的・多元的に進める研究「ナノミクス」の基盤構築と体系化を推進し、世界を先導する先進的なナノミクス研究拠点を構築することを目標としている。本研究部門における活動は、以下の2つの研究グループで、研究、人材育成、学術支援・交流の側面から種々のプロジェクトを推進する。

- (1) ナノ合成・計測・分析領域グループ: 原子・分子スケールで構造制御された高度機能ナノ材料の合成・計測・分析の推進
- (2) ナノ加工・システム設計領域グループ: 高度機能ナノ材料を構造化したナノデバイス・ナノシステムの構築

運営委員: 山田 啓文(工・電子工学), 小林 圭(工・電子工学), 川上 養一(工・電子工学), 杉村 博之(工・材料工学)  
田中 勝久(工・材料化学), 大北 英生(工・高分子化学), 土屋 智由(工・マイクロエンジニアリング)

工学研究科: 22名, 化研: 1名, 再生医科研: 2名, iCeMS: 1名, 国際高等教育院: 1名, 京都先端大: 2名, 工繊大: 1名, 阪大: 2名, 神大: 3名, 千葉工大: 1名, 山口大: 1名, University of Southampton: 1名(計38名)

## 令和2年度の研究活動

これまで上記2つの研究グループによるナノミクス分野の研究を推進すると同時に、教育、技術支援、学術交流の各グループの活動を維持し、ナノミクス分野の基盤構築に向けて活動を行った。また、本学ナノテクノロジーハブ拠点との連携を通じて、ナノミクス分野の基盤確立に向けた活動も積極的に進めている。各研究グループの研究活動の分野は、対象材料的にも研究手法的にも極めて広範なナノ科学・技術領域に及ぶが、そのいくつかの研究例を下記に記載する。

本研究部門全体の連携活動として、例年、部門構成員を主体とする若手研究者交流会の主催、および海外派遣支援を積極的に進めており、年度当初は同様な計画を実施する予定であったが、コロナ禍の影響もあって、オンラインによる研究交流会に切り替えるとともに、海外派遣支援は次年度以降に実施することとした。教育活動としては、Nanotech CUPAL事業と連携して、博士課程学生や若手研究者に高度な要素技術の習得とその実践的トレーニングの場を提供し、人材育成・キャリアアップを積極的に展開している。

## 外部資金

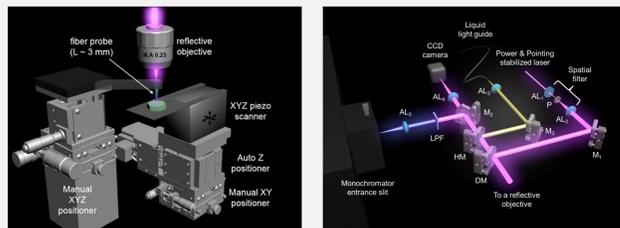
- ・ 微細加工ナノプラットフォームコンソーシアム「ナノテクノロジープラットフォーム」 土屋 智由(H24~H33)
- ・ 科研費基盤研究(S)「高分解能原子間力顕微鏡・分光法による生体分子間認識・相互作用力の直接可視化」 山田 啓文(H29~H33)
- ・ 科研費特別推進研究「発光シンセサイザー: 究極の発光デバイス創成を目指して」 川上 養一(R2~R6)

## 令和2年度の研究活動及び主な成果

### 超ワイドギャップ半導体の光物性解明に向けた 深紫外近接場光学顕微鏡の開発 石井良太、船戸 充、川上養一

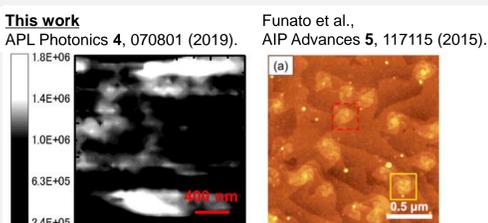
窒化アルミニウムガリウム (AlGaN) やダイヤモンドといった超ワイドギャップ半導体の光物性を解明するために、210 nmの励起波長を有する深紫外近接場光学顕微鏡の開発を行った。

#### 深紫外近接場光学顕微鏡



CWチタンサファイアレーザの第4高調波を励起光源とし、ビーム強度・位置安定化光学系を後段に備えることで、長時間単光に耐える励起光学系を構築した。また、ソラリゼーション効果の小さい深紫外光ファイバープローブを開発し、自由空間と光ファイバープローブの光結合には反射型対物レンズを用いた。これらにより、深紫外分光で問題となる、励起光源の強度・光路不安定性、光劣化効果、および大きな色収差を解決した。

#### AlGaN単一量子井戸構造からの局在発光の可視化

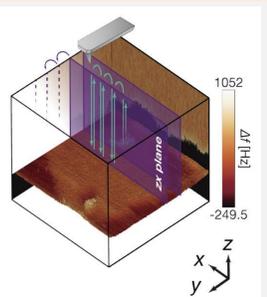


AlGaN単一量子井戸構造のらせん転位に起因する局在発光を可視化することに成功した。また、本顕微鏡の空間分解能は150 nmより良いと見積もられた。本顕微鏡は、2020年時点で、世界最短波長で動作する深紫外近接場光学顕微鏡となっている。

### DNAオリガミを用いた生体分子の固定化および その液中周波数変調AFM評価 山本 悠樹

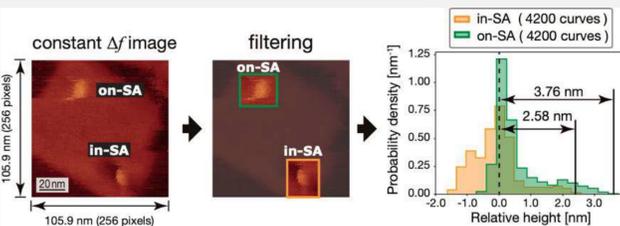
原子間力顕微鏡 (AFM) を用いた単一生体分子計測を実現するため、モデル分子であるstreptavidin (SA) タンパク質分子をDNAオリガミを用いて固定化し、液中周波数変調AFM (FM-AFM) を用いて評価した。

#### 液中FM-AFMによる3次元フォースマッピング



DNAオリガミに窓構造を設けて、この窓部を試料基板の露出領域とすることで、SA分子を異なった2つの領域 (DNAオリガミ窓内部とDNAオリガミ面上) に固定化した。これら分子上の3次元周波数シフト (フォース) マップを測定し、データを再構成することで、等周波数シフト面 (表面形状) データを得た。

#### 高さヒストグラムを用いた分子変形解析



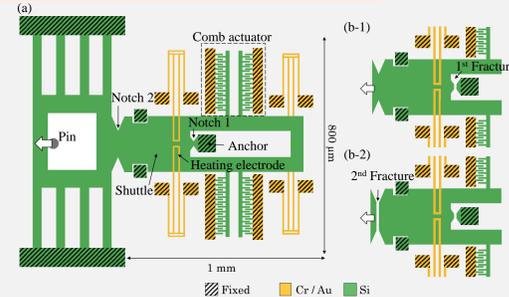
Jpn. J. Appl. Phys. 59, S1103 (2020).

DNAオリガミ窓内部およびDNAオリガミ上のSA分子の形状高さヒストグラムを解析した結果、DNAオリガミ上に結合したSA分子は固定化が弱く、AFM探針の微弱な接触力によっても分子が変形することが判明した。一方、分子を強く固定したDNA窓内部の領域の計測では変形が生じないことから、液中FM-AFMによる試料形状の変形を計測することによって、その分子の固定状態を評価できることが示された。

### SOI-MEMSにより作製された へき開面ナノギャップ間の熱輸送測定 霜降 真希

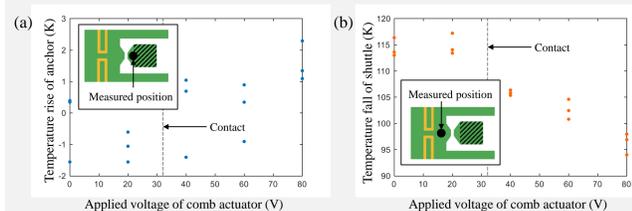
熱電発電に代わる高性能熱発電として期待される近接場効果を用いた真空ナノギャップ熱電子発電には、10nm以下の狭間隔かつ大面積平滑面を有するナノギャップの製造とその熱輸送特性の測定が必要となる。我々はSOI-MEMSデバイス上で、単結晶シリコンのへき開により創製する手法を提案し、65nmの初期間隔、30μm<sup>2</sup>の対向面を有する従来よりも大面積なナノギャップを作製した。また、デバイスに一体化した静電アクチュエータを用いてギャップ間隔を制御し、抵抗加熱で生じた温度差を顕微ラマン分光で測定し、熱輸送の間隔依存性を評価した。

#### ナノギャップ創製・熱輸送測定デバイス



ナノギャップデバイスはSOIウエハ (活性層5μm) を用いて作製した。ナノギャップは外部の圧電アクチュエータにより駆動されたピンにより中央のシャトル部分に引張力を印加し、シャトル - アンカー間でへき開し作製した。ギャップ作製後、静電アクチュエータによりギャップ間隔の制御とシャトル上に延伸した電極を用いてシャトル側の加熱を行う。

#### 温度差測定によるギャップ間熱輸送評価



ギャップ両側の温度測定により、ギャップを狭めることによってシャトル側で温度低下が見られた。熱解析によりこの温度変化はギャップ間の近接場放射による熱輸送が支配的である可能性が高い。