

# Green Innovation Laboratory

Final Report

京都工芸繊維大学  
グリーンイノベーションラボ  
最終活動報告書

Kyoto  
Institute of  
Technology



# n ry

## グリーンイノベーションラボとは

「エネルギーの効率利用」に関する成果を發展させ、京都地域で推進されている「京都次世代エネルギーシステム創造戦略」に参画し、本学にグリーンイノベーション分野の研究拠点を確立することを旨とし、平成27(2015)年に本ラボの前身となる教育研究プロジェクトセンター「グリーンイノベーションセンター」が発足しました。その後、平成30(2018)年10月の研究力および産学連携機能強化の一環として、重点研究「ラボ」のひとつとして「グリーンイノベーションラボ」が設置されました。

本ラボでは、複数の外部資金をもとに研究者の集積を図り、パワーエレクトロニクスと高度通信機能を融合した新しい電力制御システムなどを提案し、プロトタイプ製作を進めるなど、本学の機能強化事業においてグリーンイノベーション分野の研究開発を進める中心となっています。高信頼な集積回路、メタマテリアルによる高性能アンテナ、高速大容量光通信、次世代パワー半導体材料などで世界の最先端を行く研究者が集うアクティブなラボです。

グリーンイノベーションセンター長は吉本昌広教授(現理事)が務め、ラボへの移行に伴い小林和淑教授がラボ長に就任しました。スタンフォード大学名誉教授の西義雄先生には、特任教授として学生への啓蒙活動や、本学顧問として産学連携への助言等にご協力いただいています。

令和4(2022)年度からは電気電子工学だけではなく機械工学の研究分野も取り込み、近領域の連携を目指す「京都グリーンラボ」として再出発いたします。本報告書は、グリーンイノベーションラボの終了に伴い、ラボに所属する各研究者の研究内容と成果を簡単に紹介するものです。

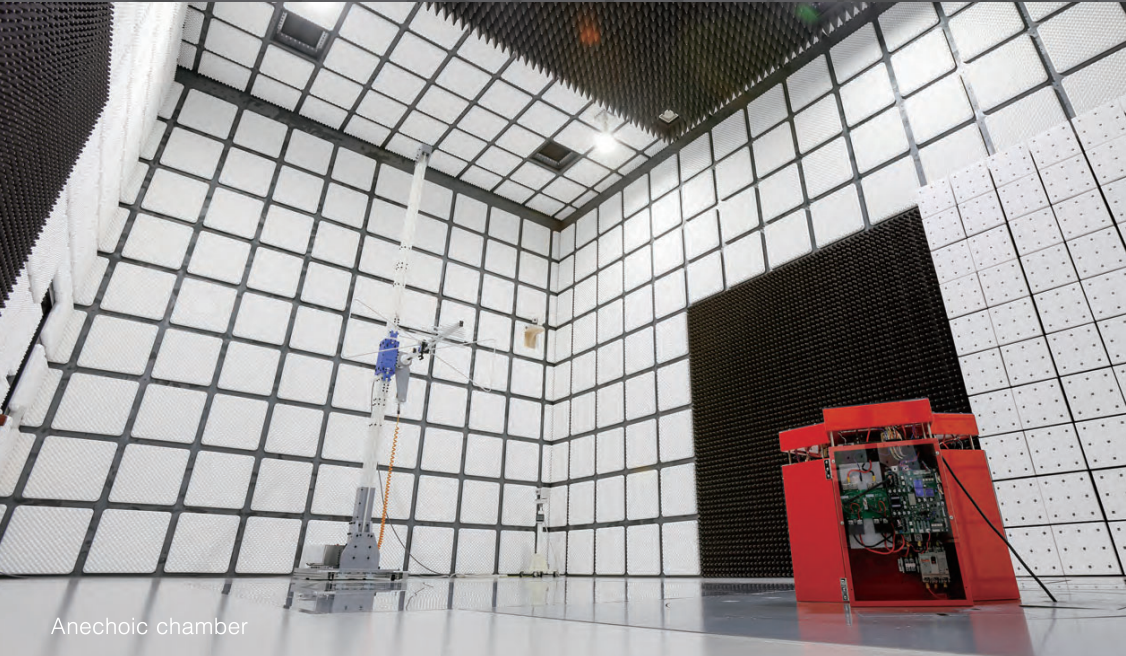


グリーンイノベーションラボ長  
小林 和淑



## 設備紹介

学内共同利用施設としてクリーンルーム、学外企業への貸出施設として電波暗室を運営し、その成果を共同研究に結びつけてポジティブフィードバックを生み、さらなる研究の発展を目指しています。



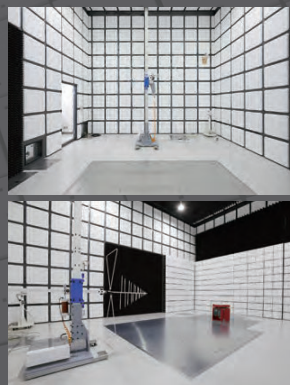
Anechoic chamber



Clean room

## 電波暗室

革新技術の開発と実装に不可欠なEMC対策に役立てていただくことを目的に、国際規格に適合した最新「電波暗室」を2018年に設置しました。EMCとは「Electromagnetic Compatibility:電磁環境適合性」と呼ばれ、これに適合するためには、電気機器が他の機器に妨害を与えるような余計な電磁波の放出を制限し、逆に他の機器からの影響に耐えられる性能を有していることが求められます。本電波暗室は、EMC試験のうち、製品の研究開発段階から重要となる放射・伝導エミッション(EMI)測定を2018年8月から開始し、2018年12月には我が国の業界自主規制であるVCCIの登録設備となりました。さらに2019年6月からは放射・伝導イミュニティ(EMS)試験を開始するなど、企業の皆様のご要望にお応えし、試験強化を行っています。



### ▼ 詳細スペック

#### 〔設備仕様〕

暗室サイズ (奥行き×幅×高さ)	9.0m×6.0m×6.0m(シールド内寸法) 8.8m×5.8m×5.6m(有効寸法)
ターンテーブル	直径1.5m(耐荷重500kg)
電波特性1	NSA:ANSI C63.4, CISPR 16-1-4
電波特性2	SWSWR:CISPR16-1-4 (1~18GHz)
電源容量	CVCD 1φ:0~240V, 12kVA, 50/60Hz CVCF 3φ:0~240V, 12kVA(線間440V), 50/60Hz 商用 100V/60Hz, 20A

#### 〔試験(測定)内容〕

放射エミッション測定	9kHz~3.6GHz
伝導エミッション測定	9kHz~30MHz
放射イミュニティ試験	IEC61000-4-3, 最大20V/m 80MHz~1GHz / (~6GHz):最大20V/m (10V/m)
伝導イミュニティ試験	IEC61000-4-6, 最大10Vemf 150kHz~230MHz
部品等の高周波特性	周波数範囲:10MHz-67GHz(90GHz)

## クリーンルーム

クリーンルームには次世代の電力変換用デバイスとして有力なGaNトランジスタ、さらなる次々世代デバイスの酸化ガリウムを試作可能な装置群が揃っています。電力変換用デバイスの作製には、高いクリーン度と高度な半導体加工設備が必要です。当クリーンルームでは、それらの作製に十分なクリーン度を維持できる環境と作製するための一貫した製造装置や評価装置を所有しており、最先端の電力変換デバイスの研究開発を推進しています。これらの装置はMEMSなどへの転用も可能であり、様々な研究者が利用しています。本クリーンルームの学内利用は、利用登録者が100名以上あり、利用回数も毎年1,500件程度あります。利用者の研究分野も電気電子工学系だけでなく、材料化学系、機械工学系の分野にわたって利用されています。



### ▼ 詳細スペック

#### ● クリーンルーム

面積	16m×16m(256m <sup>2</sup> )
設定温湿度	20°C、40%

#### ● 実測のクリーン度 (Fed.Std.209E)

A室(評価・分析エリア、ドライエッチングエリア)	クラス1000
B室(成膜エリア)	クラス100
C室(フォトソグラフィエリア)	クラス100

#### ● 装置群(23台)

マスクライナー/酸アルカリおよび有機ドラフト/ドライエッチング装置/EB蒸着装置/スパッタ装置/走査型電子顕微鏡/X線回折装置/X線光電子分光装置/段差膜厚計 など

## 小林・古田グループ



小林 和淑 教授  
電気電子工学系



古田 潤 助教  
電気電子工学系

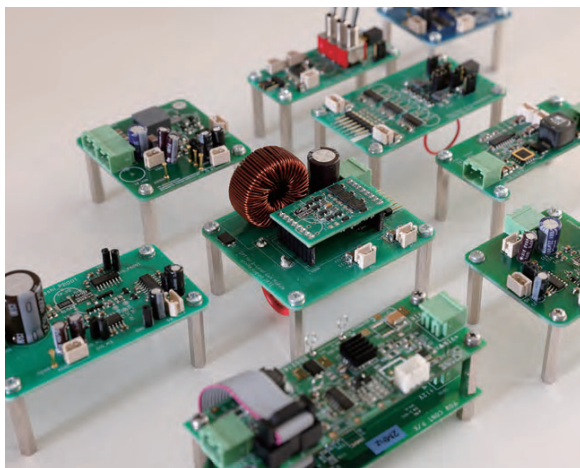
### 集積回路の信頼性と ワイドギャップ半導体向け ゲートドライバ

我々の研究グループでは集積回路(LSI)の信頼性とワイドギャップ半導体向けのゲートドライバの研究を推進している。集積回路の信頼性に関する研究は、ソフトウェアによる一時故障とBTI(バイアス温度不安定性)による経年劣化に二分される。ソフトウェアとは宇宙から降り注ぐ中性子やLSIのパッケージから放射されるα線によってLSI内の記憶素子の値が反転する現象である。LSIの微細化や大規模化によりソフトウェアによる一時故障は大きな問題となっている。特に、安全性を担保しなければならない自動車や医療機器向けのLSIでは対策は必須である。スーパーコンピュータ 富岳のような超大規模な計算機システムではソフトウェア対策を施さないとすぐにシステム停止に追い込まれる。2017年度よりJSTのOPERAプロジェクトの一つとしてQiSS(量子アプリ共創コンソーシアム)を立ち上げ、産官学でソフトウェアに取り組んでいる。本研究グループでは国内外の複数企業との共同研究を行っており、京都地盤のROOM株式会社とは自動車向けのオーバーヘッドの小さいソフトウェア対策技術に関する共同研究を行っている。

SiCやGaNなどのワイドギャップ半導体によるパワーデバイスを用いた電力変換回路は高い変換効率を実現でき、グリーンイノベーションラボの推進する「グリーンな社会」に不可欠のデバイスである。本研究グループではベルギーのimecの協力のもと、GaNを用いてパワーデバイスとそれを駆動するゲートドライバを集積化したGaN ICの試作を行った。GaN ICを使った超小型のDC/DCコンバータの試作も行った。



ソフトウェア実験の様子



パワエレ測定用のプリント基板

#### 特筆すべき研究成果

- ▶ 対ソフトウェアフリップフロップBCDMRRFが共同研究先の宇宙用FPGAに採用された
- ▶ ソフトエラーに関する研究が評価され、小林和淑教授が電子情報通信学会 第24回エレクトロニクスサイエティ賞を受賞(2021年9月)
- ▶ 集積回路の経年劣化に関する研究発表でICMTS(International Conference on Microelectronic Test Structure) Best Paper Awardを受賞(2019年3月)
- ▶ ソフトエラーのシミュレーション方法に関する研究発表でBest Poster Paper Award of 2013 International Reliability Physics Symposiumを受賞(2014年6月)

## 門・黄グループ



門 勇一 教授  
電気電子工学系



黄 品諭 特任助教  
電気電子工学系



電力ルータの動作性能評価

### 研究内容

## 次世代直流マイクログリッドを構成する電力ルータの研究開発

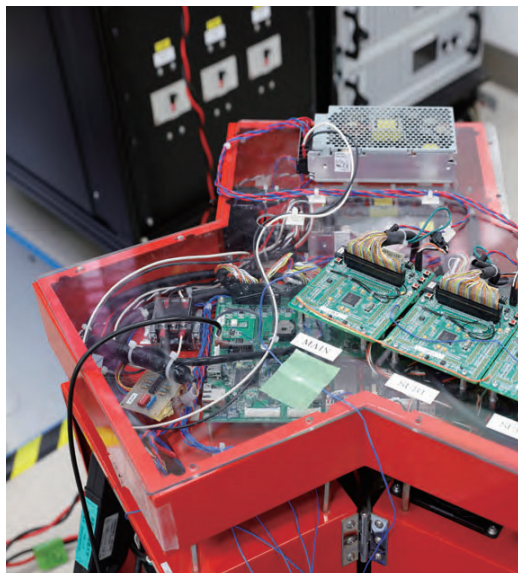
持続可能な地球環境実現に向けて、再生可能エネルギー源の大量導入は焦眉の課題であり、電気自動車の加速的普及が確実にになっている。それに伴う課題解決には、現在の交流系統と連系する機能を有する地産地消型の直流マイクログリッドが有効である。本研究グループは京都のパートナー企業と連携して、上記の自律分散型の直流マイクログリッドの構成に最適な3ポート電力ルータの研究開発を推進している。経済産業省や環境省の国家プロジェクトの支援を受けながら、基本機能を確証する試作機から実フィールドでの実証実験に使える実用機の開発に成功している。

現在は、電力ルータのさらなる高機能化・高性能化・小型化を目指し、日本発のGaN素子の適用、および制御への「機械学習モデル」の適用に関する研究開発を推進している。特に、将来の直流電力シェアリングサービスを担う直流マイクログリッドに適用する電力ルータの制御法を従来の「電気工学」と情報工学の「深層学習」の分野融合で確立することを目指している。

本研究グループでは、若手研究者や大学院生が研究開発の推進を通して以下の3つの力を身につけることを目標とし、研究成果の社会実装を目指してきた。【①世の中の流れを読む力】；地球温暖化防止、少子高齢化対策、レジリエンス向上等の課題認識と、産業のデジタル化とサービス化の流れを理解し、社会実装するプロダクトの価値をデザイン。【②桁違いの価値創造力】；リニアな改善でなく、コストの1桁削減、効率の1桁改善等の桁違いの価値創造を狙うマインドを形成。【③リソースを呼び込む計画書を立案する力】；4つの視点“Social needs” “Approach” “Merit” “Positioning”→“SAMP”を明確にして研究計画書や事業化計画書を立案する力。

### 特筆すべき研究成果

- ▶ 経済産業省・NEDO支援の「多様な電力融通システムを実現するSiC・GaNパワーデバイスを用いたY字電力ルータ基本セルの研究開発(2015～2017年度)」でプロトタイプ試作に成功し、経産省・戦略的基礎技術高度化支援事業・テーマ名「直流電力変換装置の高効率・省エネ化の実用化研究(2019～2021年度)」によりY字電力ルータの実用機の開発に成功。2022年度からスマートグリッドへの展開に向けた実証実験フェーズに入る



高精度電力制御ボード

## 西中・(吉本)グループ



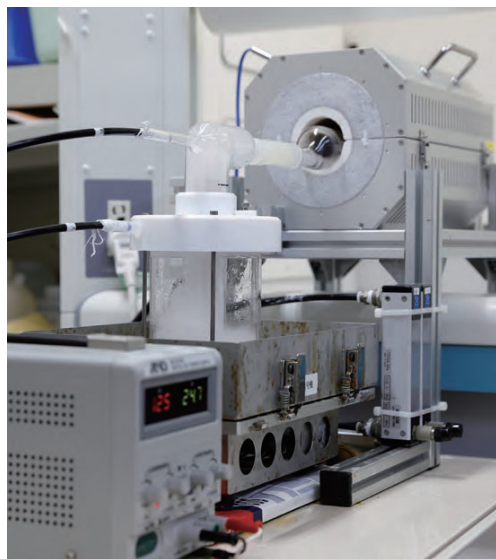
西中 浩之 准教授  
電気電子工学系

研究内容

### ミストCVD法による ワイドバンドギャップパワー半導体 製造技術

当研究グループではGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の超低損失パワー半導体応用に向け、結晶成長技術やデバイス化に関する研究を推進している。このGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は5つの結晶構造を持つことが知られており、それぞれの特徴に合わせたデバイスの検討が進んでいる。当研究グループでは、メンバーが開発したミストCVD法という手法を用いて、全ての結晶構造の形成が可能である。特に中でも強誘電特性を持つκ-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のHEMTに関する研究を主に進めている。このκ-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はGaNを超える低オン抵抗とパワーデバイスの安全性を担保できるノーマリーオフ動作が可能であることから、GaNを超える次世代HEMTが実現できるとされており、グリーンイノベーションラボの推進するエネルギーの超低損失社会に向けてゲームチェンジングテクノロジーになりうる材料である。

当研究グループではミストCVD法の開発も進めており、パワーデバイス材料のGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>だけでなく、FeRAMとして



ミストCVD法の成膜

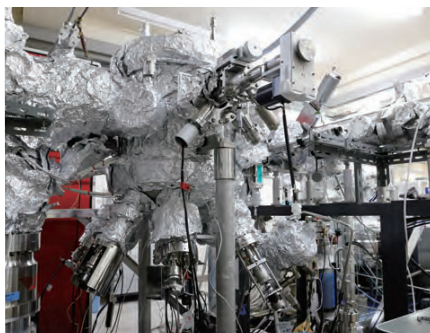
利用可能なHfO<sub>2</sub>や透明導電膜であるITOやInGaO<sub>3</sub>などの形成の検討も行っている。

現在、このGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やミストCVD法について複数の企業と共同研究を行っている。その他、NEDOの官民による若手研究者発掘支援事業やJSTのA-STEP機能検証フェーズなどに採択された。

その他3つの海外の研究機関とGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やミストCVD法について共同研究を進めており、サンプル提供やミストCVD法の技術指導などを行っている。

#### 特筆すべき研究成果

- ▶ Springerより発刊の“Gallium Oxide (Higashiwaki and Fujita eds.)”に分担執筆した書籍が出版(2020年4月)
- ▶ 「次世代パワー半導体の開発・評価と実用化(岩室監修)」に分担執筆した書籍が出版(2022年2月)
- ▶ 「国立大学で工学を学ぼうvol.1.2」に研究紹介が掲載(2022年1月)
- ▶ 応用物理誌にグループの研究が研究紹介として掲載(2021年6月)



半導体形成装置

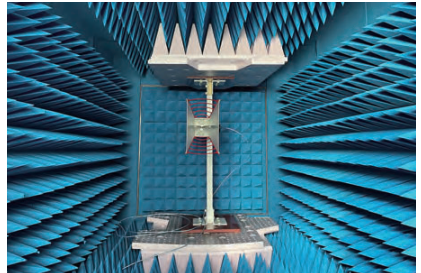
## 上田・黒澤グループ



上田 哲也 教授  
電気電子工学系



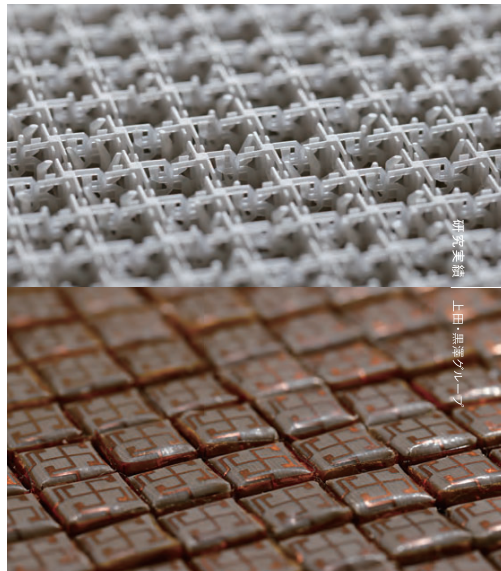
黒澤 裕之 助教  
電気電子工学系



アンテナ放射測定の様子

### 電磁メタマテリアルと 次世代無線通信システムへの応用

当該研究グループでは、電磁波の波長に比べて十分小さなスケールの単位要素からなる人工媒質の「メタマテリアル」とその応用に関する研究を行っている。このうち、順方向と逆方向の間で伝搬特性が異なる「非相反メタマテリアル」は、伝送電力の向きに関係なく、波数ベクトルの空間分布を自由に設計、動的に操作可能な性質を有する。無線通信システムではビーム走査アンテナとしてフェーズドアレーアンテナの使用が前提となっているが、多数のアンテナ素子の各位相を独立に制御する必要があり、多数同時接続、低遅延性などの要求に応えるためには、給電構造・システムのさらなる簡素化が望まれる。一方、漏れ波アンテナは一本の伝送線路からなる簡素な構造であるが、放射効率が低く、動作周波数の変動によりビーム方向が変化するビームスキントの問題がある。本研究では、漏れ波アンテナに非相反メタマテリアルを適用し、従来構造では廃棄されていた電力の再利用とビームスキント低減機能を併せ持つ漏れ波アンテナ、ビーム走査と偏波面回転機能を併せ持つアンテナ、さらに、非相反メタマテリアルをリング構造に適用し、サブ波長サイズで軌道角運動量(OAM)モードの動的切り替えが可能なアンテナを提案している。アンテナ以外のマイクロ波回路応用としては、結合線路からなる2周波4ポートサイクリータの提案も行っている。相反性のメタマテリアルとしては、この他、ゼロ屈折率を利用した超薄型あるいは超広帯域メタアンテナ、さらに電磁環境、電磁波伝搬制御を実現するための偏波回転板として、カイラルメタサーフェスの新しい構成法の提案も行っている。これらの研究成果は、科研費基盤研究(B)、総務省SCOPE委託研究、企業との共同研究として実施して得られたものである。



カイラルメタサーフェスの構造

#### 特筆すべき研究成果

- ▶ 分担執筆の書籍「Nanomagnetic Materials: Fabrication, Characterization and Application (A. Yamaguchi, A. Hirohata, and B. Stadlereds.)」がELSEVIERより出版(2021年7月)
- ▶ 分担執筆の書籍「Electromagnetic Metamaterials: Modern Insights into Macroscopic Electromagnetic Fields (K. Sakoda ed.)」がSpringerより出版(2019年9月)
- ▶ 分担執筆の書籍「高周波対応部材の開発動向と5G、ミリ波レーダーへの応用」が技術情報協会より出版(2019年1月)
- ▶ 科学情報出版の月刊誌「EMC」に研究紹介が掲載(2021年8月)
- ▶ 日本工業出版の月刊誌「光アライアンス」に研究紹介が掲載(2019年7月)

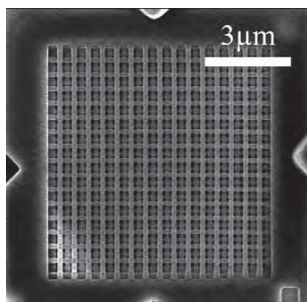
## 北村・高橋グループ



北村 恭子 准教授  
電気電子工学系



高橋 駿 助教授  
電気電子工学系



三次元フォトニック結晶の電子線顕微鏡画像

### ナノフォトニクス

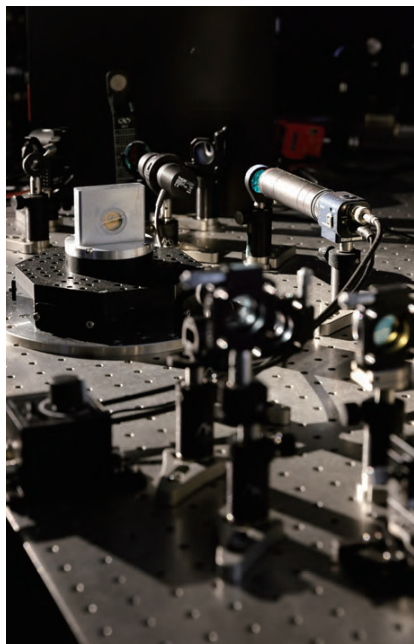
我々の研究グループでは、ナノスケールの周期性を有する半導体フォトニック結晶を利用して、新たな光デバイスの開発を推進している。特に3次元フォトニック結晶では、光をナノスケールの3次元微小領域に閉じ込めて制御可能なため、低消費電力での究極的な光制御が期待できる。本学オープンファシリティセンターの共用クリーンルームにおけるTEOS-CVD装置を利用した成膜や、化合物半導体エッチング装置を利用した

非等方エッチング、酸・有機ドラフトを利用したウェットエッチングによって、半導体ナノ加工を行い、高分解能走査電子顕微鏡で観察した。クリーンルームでのナノ加工後、光学顕微鏡観察下でのマイクロマニピュレーション法によって、3次元構造を形成した。作製した試料に対する光学測定によって、光を3次元的に閉じ込めたナノ共振器の実現を観測することに成功した。

国際研究会「Nano-optics & photonics young researchers meeting」を年に一度開催(コロナ禍下を除く)した。研究会においては、国内外の著名な研究者や若手の研究者を招き、最先端のフォトニクス分野の講演および議論を行った。招待講演を契機として、オランダTwente大学のWillem L. Vos教授と共同研究を開始し、フォトニック結晶設計における数値計算や、光の反射率の系統的な実験などについて学術論文を出版したほか、複数の国際学会発表も行った。同研究会にて招待講演いただいた、カナダOttawa大学のJ. Upham 博士の所属するR. Boyd教授のグループに博士前期課程の学生が2週間滞在し研究活動を行った。

#### 特筆すべき研究成果

- ▶ 平成28年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞 (2016年4月)
- ▶ コニカミノルタ科学技術振興財団 コニカミノルタ画像科学奨励賞 優秀賞(2017年2月)
- ▶ 電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ レーザ量子エレクトロニクス研究会 奨励賞を受賞(2018年12月)
- ▶ 第4回JSAPフォトニクスワークショップ(主催:応用物理学会フォトニクス分科会)優秀ポスター賞を受賞(2019年11月)
- ▶ 第2回 兵庫・関西 キャタピラーSTEM賞 優秀賞(2020年2月)
- ▶ JSST Workshop Outstanding Presentation Award(2021年5月)
- ▶ JSST Workshop Student Presentation Award(2021年5月)



光学測定系



# Green Innovation Laboratory

# Final Report

京都工芸繊維大学  
グリーンイノベーションラボ

Address 〒606-8585  
京都市左京区松ヶ崎橋上町1

Tel./Fax 075-724-7452

Mail 電気電子工学系 小林 和淑 教授  
kazutoshi.kobayashi@kit.ac.jp

