

## 博士論文概要

### [課程博士一覧]

- |                            |  |                   |
|----------------------------|--|-------------------|
| 塩見 準                       | 「Performance Modeling and On-Chip Memory Structures for Minimum Energy Operation in Voltage-Scaled LSI Circuits」<br>(低電圧集積回路の消費エネルギー最小化のための解析的性能予測とオンチップメモリ構造) | 平成 29 年 11 月 24 日 |
| 王 荀                        | 「Entity-Centric Discourse Analysis and Its Applications」<br>(エンティティに注目した談話解析とその応用)   | 平成 29 年 11 月 24 日 |
| 大島 諒                       | 「Study on spin-charge conversion and spin transport in two-dimensional systems」<br>(二次元電子系におけるスピン電荷変換およびスピン輸送についての研究)  | 平成 30 年 3 月 26 日  |
| 北野 圭輔                      | 「複数層一括融着による多層 3 次元フォトリソニック結晶形成に関する研究」  | 平成 30 年 3 月 26 日  |
| 釜江 典裕                      | 「動作時の性能補償に用いるセルベース設計に準拠した基板電圧生成回路」   | 平成 30 年 3 月 26 日  |
| Prasanna Raj<br>Noel Dabre | 「Exploiting Multilingualism and Transfer Learning for Low Resource Machine Translation」<br>(低リソース機械翻訳における多言語性と転移学習の活用)   | 平成 30 年 3 月 26 日  |
| 山下 翔大                      | 「Coexistence of Wireless Communication and Non-communication Systems」<br>(無線通信及び非通信システムの共存)  | 平成 30 年 3 月 26 日  |
| 堤 卓也                       | 「Field Measurement and Analysis of Next-Generation Optical Access Network with Optical Amplifiers」<br>(光アンプを適用した次世代光アクセスネットワークのフィールド測定、及び解析)                   | 平成 30 年 3 月 26 日  |
| 高橋 康輔                      | 「Camera Calibration Based on Mirror Reflections」<br>(鏡面反射を利用したカメラキャリブレーション)  | 平成 30 年 3 月 26 日  |
| KANG<br>DONGYEON           | 「Mid-Wavelength Infrared Thermal Emitters using GaN/AlGaIn Quantum Wells and Photonic Crystals」<br>(GaN/AlGaIn 量子井戸とフォトリソニック結晶に基づく中波長赤外熱輻射光源の開発)               | 平成 30 年 5 月 23 日  |
| 北村 尊義                      | 「人々の同調意識に着目した環境配慮行動促進のための情報通信技術の活用」  | 平成 30 年 7 月 25 日  |
| Elarabi Asem S<br>Amar     | 「Polarization behavior of high- $T_c$ superconducting terahertz emitters」<br>(高温超伝導体テラヘルツ光源の偏光特性に関する研究)  | 平成 30 年 9 月 25 日  |

塩 見 準 (小野寺秀俊教授)

「Performance Modeling and On-Chip Memory Structures for Minimum Energy Operation in Voltage-Scaled LSI Circuits」

(低電圧集積回路の消費エネルギー最小化のための解析的性能予測とオンチップメモリ構造)

平成 29 年 11 月 24 日授与

情報通信技術の急速な発展を背景に、省エネルギーな LSI (Large Scale Integration) の実現が求められている。規定値より低い電源電圧(例えば 400 mV)で LSI を動作させることで大幅に消費エネルギーを削減できるが、極低電圧領域では半導体加工技術に起因する LSI の性能ばらつきが顕在化して歩留まりが低下する。歩留まりを保証しながら省エネルギー動作を実現するためには、低電圧回路の性能ばらつきのモデル化が必須である。本論文では、まず以下の 2 課題に取り組み、低電圧回路の性能モデル構築および設計技術開発に取り組んだ。

**課題 1. 極低電圧動作する LSI のための遅延ばらつきモデル:** トランジスタの製造時特性ばらつきにより、論理ゲートの伝搬遅延が統計的にばらつく。論理ゲート単体の遅延ばらつき分布が明らかになると、SUM や MAX 等の統計演算を繰り返すことで回路全体のクリティカルパス遅延のばらつき分布を見積もることができる。本論文では、論理ゲートの遅延ばらつきが極低電圧領域で対数正規分布に従う事実に基づき、対数正規分布の統計演算を精度良く近似する閉形式関数を提案した(図 1 “Analytical Model”)。提案モデルに基づき、プロセッサのパイプライン段数や、次課題で述べるオンチップメモリの読み出し回路を例に、性能歩留まり(製造台数に対して要求動作速度を満たす回路の割合)を高める低電圧回路構造を明らかにした。

**課題 2. 極低電圧動作に適したオンチップメモリ構造:** 一般的な LSI に組み込まれている SRAM (Static Random Access Memory) は、アナログ素子を駆使したメモリ回路であるため、極低電圧領域で誤動作する問題を抱えている。SRAM の代替として SCM (Standard-Cell Memory) の研究を行った。スタンダードセルは、図 2 (a) のように高さが規格化された論理ゲートであり、デジタル集積回路の基本構成要素である。SCM はスタンダードセルのみで設計されるため、極低電圧領域における安定動作が保証される一方実装密度に乏しい。セルの高さを可能な限り低くした SCM 専用スタンダードセル構造(図 2 (b)) を提案し、既存 SCM より 20% の面積効率改善を実現した。SCM を搭載したプロセッサを商用 65-nm プロセスで試作し、300 mV の電源電圧で安定動作することを実証した。

極低電圧領域では、回路動作速度が数 MHz まで低下するため応用先が限定的である。高負荷計算に対して LSI の電源電圧 (VDD) を動的にブーストすることで、高速動作と省エネルギー動作を両立できる。上記 2 課題と並行して LSI の VDD および基板電圧 (VBB) の動的制御技術の開発に取り組んだ。VBB 制御により近年の微細プロセスの問題である漏れ電流によるエネルギー消費を効果的に削減できる。「与えられた要求動作速度のもと、消費エネルギーを最小化する VDD と VBB」を MEP (Minimum Energy Point) と本論文で定義する。計算負荷やチップ温度など、様々な稼働条件に対して LSI が常に MEP で動作するための電圧制御技術基礎理論を構築した。

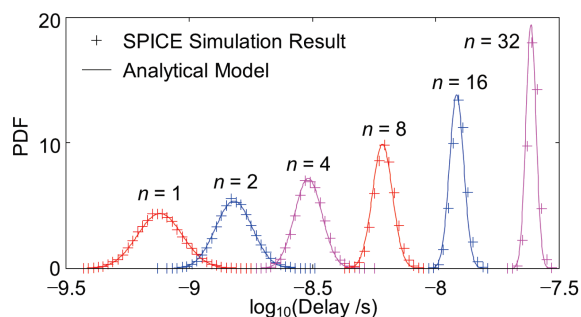


図 1: 様々な論理段数 (n) を持つバッファチェーンの遅延ばらつき分布 (PDF)。電源電圧 400 mV。

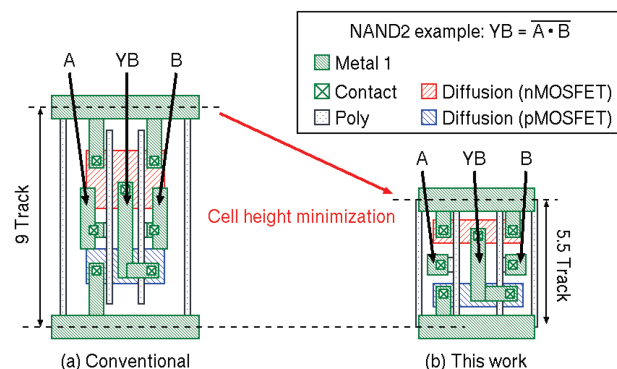


図 2: 面積効率に特化したメモリ専用スタンダードセル。

王 荀 (黒橋禎夫教授)  
 「Entity-Centric Discourse Analysis and Its Applications」  
 (エンティティに注目した談話解析とその応用)  
 平成 29 年 11 月 24 日授与

Discourse analysis is proposed to address various problems relating to building meaning from a piece of text. It aims to extract the information carried by a piece of text and present the information in a computer-understandable way. We propose a bottom-up analysis scheme of discourse understanding based on structuralism. The basic idea is to draw meaning from discourse by identifying the components of discourse and the relationships between these components.

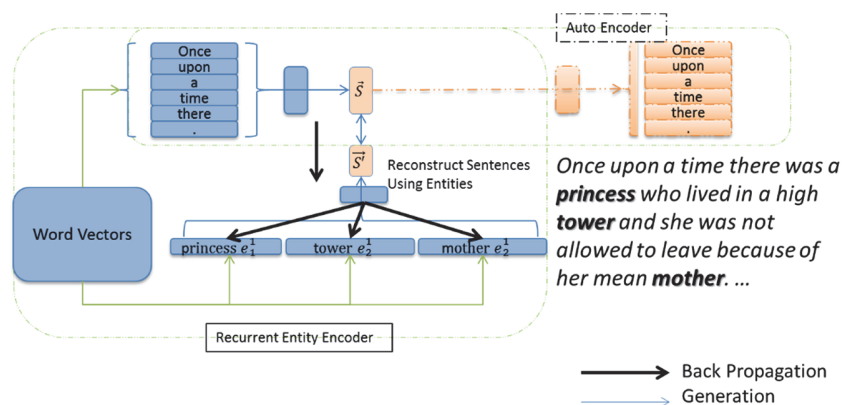


Figure 1 Recurrent Entity Encoder

Discourse corresponds to scenarios in real world. Every discourse unfolds around one or several entities and describes the state of each entity and the relations between them. Thus discourse analysis equals understanding the states of entities and their relationships.

This thesis discusses the problems emerging in conducting bottom-up discourse analysis, including identifying components of discourse, analyzing relations between entities and building meaning representations using entities. To identify the elements in discourse, we firstly need to collect all the entities, both explicit and implicit ones. Recovering implicit elements from discourse is referred to as “empty category” detection. We use a neural network to encode tree-based features into a dense vector and predict and recover empty categories based on the vector. After collecting all the entities, we develop an entity-based meaning representation model. The proposed model encodes information into entity-centric representations. In contrast to most neural network models which rely on an encoder to represent text as vectors, and conduct reasoning or calculation (question answering/translation) using the vector representations, here we focus on using entities to represent meanings of text. With all the entities collected in text, we use a recurrent entity encoder to regenerate the text. The loss is used to update the states of entities so as to encode information contained in text into entities.

These entities and their states are then passed to downstream tasks. For example, In machine translation, the mapping of entities across languages are less volatile, say, mappings like “I-私”, “apple-林檎” always hold no matter how the context changes. External resources like dictionaries can be used to assist the mapping of entities across languages. Other information like the relationships between entities are subject to change. We use an additional relation vector to represent the volatile information. Translation is conducted from two different aspects, entity translation and relation translation. The proposed meaning representation method can also be used in other tasks like question answering as discussed in the thesis.

Our proposed entity-centric representations aim to map discourse to real world scenarios. It helps build strong and robust representations for “general-purpose”. Besides, since most knowledge bases are constructed as entity-centric, these external knowledge can be easily encoded into the proposed scheme. In the future, we will focus on improving entity-centric representations using external knowledge and the interpretability of neural models toward better discourse analysis.

Our proposed entity-centric representations aim to map discourse to real world scenarios. It helps build strong and robust representations for “general-purpose”. Besides, since most knowledge bases are constructed as entity-centric, these external knowledge can be easily encoded into the proposed scheme. In the future, we will focus on improving entity-centric representations using external knowledge and the interpretability of neural models toward better discourse analysis.

大 島 諒 (白石誠司教授)

「Study on spin-charge conversion and spin transport in two-dimensional systems」  
(二次元電子系におけるスピン電荷変換およびスピン輸送についての研究)

2018年3月26日授与

電子が有する電荷とスピンを同時に制御する研究領域であるスピントロニクスは、不揮発性メモリやスピン流を用いた低消費電力化への応用が期待されると同時に、従来エレクトロニクスとは異なる新たな固体物理学を開拓する手法の一つとなるため学術的興味を引いて止まない分野である。研究における基盤材料は金属・半導体・有機材料など多岐に渡るが、近年、二次元電子系が注目を集めている。低次元であるが故の閉じ込め効果は遍歴電子へのスピン軌道相互作用として顕在化し、スピントロニクスにおいて重要な効果がいくつも報告されている。

本研究では二次元電子系におけるスピントロニクス開発として、(i) 単層グラフェンにおけるスピン-電荷変換現象(逆スピンホール効果)の観測、および(ii) LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> (以後 LAO/STO と表記する) 界面における室温スピン輸送を達成した。ここでは研究(ii)について紹介する。LAO/STO は構成材料が酸化物絶縁体でありながら、その接合界面は金属的な電気伝導を示す。内含する豊かな電子輸送物性が報告されているが、低温で強いスピン軌道相互作用が報告されたことから良好なスピンコヒーレンスは期待されておらず、スピン輸送は未達成であった。本研究では LAO/STO 界面を用いたスピン輸送の可能性について議論し、室温でのスピン輸送観測を研究目的とする。室温スピン輸送の素子構造と結果を図1と2にそれぞれ示す。LAO/STO 上に強磁性/非磁性体電極を非局所で作製した。強磁性体中の磁化の歳差運動により LAO/STO 界面にスピン流が生成されるが、スピン流が輸送されると非局所の非磁性電極中で、スピン流由来の起電力(逆スピンホール効果)が観測される。磁化の歳差角が最大となる共鳴条件(強磁性共鳴)において最もスピン流が生成されるが、共鳴磁場( $H_{\text{FMR}}$ ) 周りで非磁性電極から逆スピンホール効果による起電力が観測された。これは LAO/STO 界面を介したスピン輸送を意味する。従来のスピン拡散モデルによる計算、および信号の輸送長依存性からスピン拡散長について見積もった結果、その長さが 340 nm となった。この長さは良好なスピン輸送媒体として用いられる銅などの金属材料と同程度である。さらに、従来材料では数 fs から数百 ps のスピン寿命(スピン偏極が破れるまでの時間)は LAO/STO 界面では 10 ns もの長さを持つことが明らかとなった。

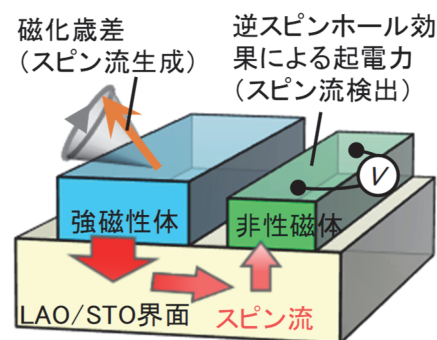


図1 スピン輸送実験の素子構造

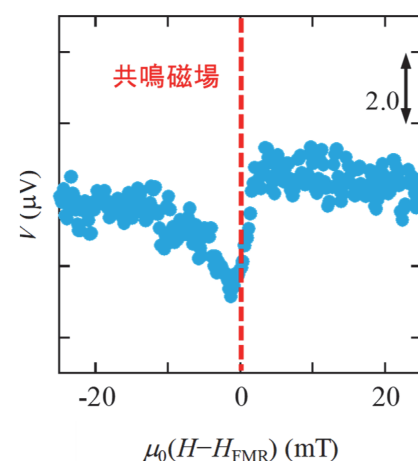


図2 非磁性電極から得られる起電力

## 北野圭輔（野田進教授）

## 「複数層一括融着による多層3次元フォトニック結晶形成に関する研究」

平成30年3月26日授与

本論文は3次元フォトニック結晶による低損失光制御の実証に向けた基盤技術として、3次元フォトニック結晶を高速に作製する技術を開発し、多層3次元フォトニック結晶による低損失光制御の実証結果をまとめたものである。

光通信帯域の光の波長オーダーの周期構造を有した、立体的な人工ナノ構造である3次元フォトニック結晶は、光導波や光共振器を立体的に形成・配置可能という特徴を有するものの、一般に形成が困難であるという課題を抱える。本論文では立体光制御を実現したウエハ融着による作製法を進展させ、3次元フォトニック結晶の高速な作製法の開発と多層3次元フォトニック結晶における光伝搬、光共振現象を実証したものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 順次行われてきた融着工程を、複数層一括して行うことで融着回数を1/6以下とする3次元構造の作製手法（図1）を開発した。特に、基板サイズの拡大による融着の可否と融着時の位置合わせについて詳細に検討し、開発に成功した。
2. 内部に空隙を形成した32層の3次元フォトニック結晶を形成し、実験評価した。具体的には、空隙を伝搬した光を出力するための積層型斜め導波路を、3次元フォトニック結晶内に数十 $\mu\text{m}$ 離して複数配置し、空隙へ光を入力した。その結果、各出力導波路から光が出射される様子を観測し3次元フォトニック結晶内部の空隙を介した光伝搬の実証に成功した。
3. 32層の3次元フォトニック結晶を形成し、内部に形成した光導波路と光共振器について実験評価した。形成した光導波路について、光学特性を評価した結果、透過率が導波路形成によって増大することを示し、32層の積層導波路を介して光が導波することを示した。また、32層のフォトニック結晶内部に形成された共振器は、従来の16層構造の共振器と比較して、一桁高い光閉じ込め効果を示すことを実証した。

以上の成果は高品質な多層3次元フォトニック結晶を高速に作製可能とするものであり、これまでの作製方法が抱えていた課題を克服するものであるといえる。さらに、多層の3次元フォトニック結晶における光伝搬、共振現象を実証しており、更なる層数の増加により3次元フォトニック結晶による物理限界が明らかになると期待される。

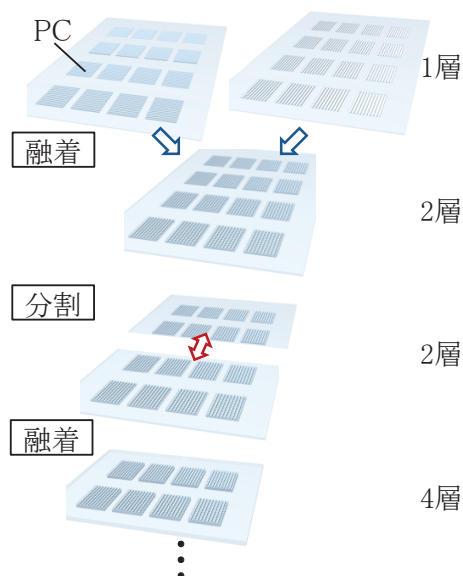


図1 複数層一括融着による3次元フォトニック結晶作製法模式図。

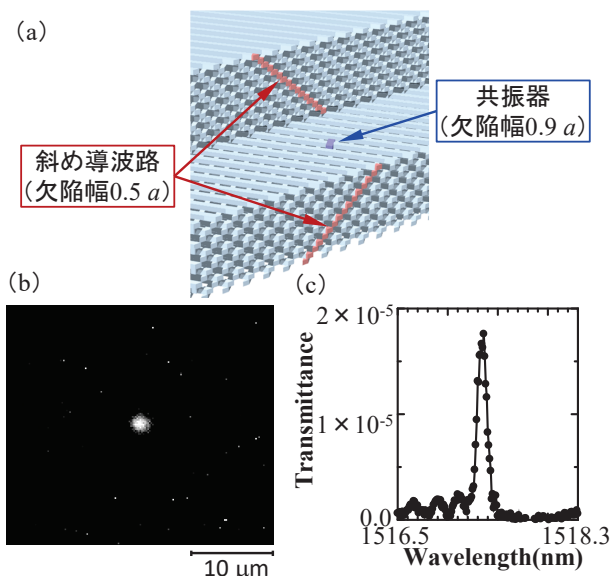


図2 光共振器測定結果。(a) 模式図。(b) 上面顕微鏡像。(c) 透過スペクトル。

釜江典裕 (小野寺秀俊教授)

「動作時の性能補償に用いるセルベース設計に準拠した基板電圧生成回路」

平成 30 年 3 月 26 日授与

本論文は、LSI のエネルギー効率を削減するために有効である細粒度基板電圧制御のための基板電圧生成回路 (BBG; Body Bias Generator) とその物理構造の設計手法を明らかにすることを目的として、面積と消費電力が小さい BBG の回路方式の提案とセルベース設計フローを適用する手法をまとめたものである。

集積回路の微細化とともに、トランジスタ特性のばらつきが顕著になりつつある。ばらつきの成分は、ロット間に発生するばらつきとトランジスタ 1 個 1 個にランダムに発生するばらつきだけでなく、チップ内の位置に依存するばらつきがあることが分かってきた。LSI 内を複数の領域に分割し、各領域で別々に基板電圧制御を行うことで、ばらつきが存在していても回路に要求される遅延時間などの性能を確保できる (図 1)。各領域に BBG が必要となるが、この回路自体の面積や消費電力を小さくし、細粒度基板電圧制御のオーバーヘッドを抑えることが難しかった。さらに、デジタル回路はセルベースの自動設計手法が取られるため、BBG はこの手法と親和性のあるものが望ましい。上記背景に基づき、面積と消費電力が小さい BBG の回路方式の提案と、デジタル回路で用いられるセルベース設計フローを適用する設計手法の提案、およびこれらの方式による回路設計を行い有効性の評価を行った。得られた主な結果は以下の通り要約される。

1. 基板電圧を印加しても流れる電流は小さいが、基板に存在する大きな寄生容量を考慮して基板電圧をフィードバックする制御系を設計する必要がある。基板電圧を変えることによる閾値電圧の変化量を考慮すると、電圧分解能は粗くても良い。電圧分解能と回路面積ならびに消費電力とのトレードオフを考慮し、適切な電圧分解能を確保しつつ回路面積と消費電力を小さくすることが可能な方式を提案した。基板電圧の制御範囲を広めるため、電源電圧を超える範囲で出力可能な BBG の方式を検討した。その中で必要となる要素回路の提案を行った。
2. BBG をデジタル回路と共に実装することで設計容易性を改善することを目指し、BBG 内のアナログ回路部分に、セルベース設計フローを適用する手法を提案した。デジタル回路ではタイミング制約によって物理設計が進められるが、アナログ回路ではマッチングや寄生成分を総合的に考慮して物理設計を行う必要がある。BBG を分割してセルへ実装し、デジタル回路と共に配置・配線を行う手法を提案した。
3. 上記の検討結果を元に、BBG を実装し、ばらつき抑制効果、動作速度や消費エネルギーの制御性、回路の特性を確認した。提案する BBG にゲート遅延時間をモニタする回路からのフィードバックを受けて基板電圧を決定する回路を付加し、ばらつきを補償する回路を構成した。複数種類の論理ゲートの遅延時間を測定し、遅延時間ばらつきを抑制することが可能であることを示した。図 2 のように、セルベース設計フローで BBG をアプリケーション回路に組み込み、提案する物理設計フローの評価とその回路の動作速度や消費エネルギーを評価した。ある動作速度において、基板電圧を印加することで動作可能な最小電源電圧を下げることで、消費エネルギーを 17% 削減できることを確認した。提案回路により細粒度基板電圧制御を小さなオーバーヘッドかつ容易な設計で適用することが可能となり、デジタル回路のばらつき補償・消費エネルギー削減が可能であることを確認した。

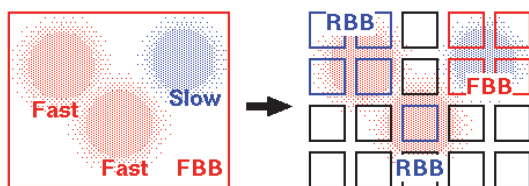


図 1：集積回路内のばらつきと細粒度基板電圧制御の概念図

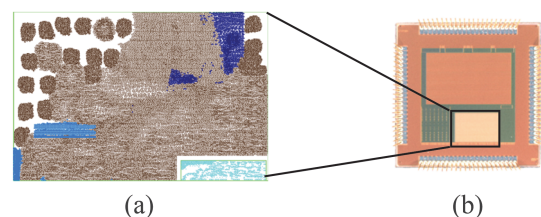


図 2：(a) BBG を組み込んだアプリケーション回路のレイアウトと (b) 試作したチップ写真

Prasanna Raj Noel Dabre (黒橋禎夫教授)

「Exploiting Multilingualism and Transfer Learning for Low Resource Machine Translation」  
(低リソース機械翻訳における多言語性と転移学習の活用)

平成 30 年 3 月 26 日授与

Machine Translation (MT) is an application of Natural Language Processing (NLP) that focuses on the automatic translation between languages. Even if a language pair is resource rich, the amount of data, known as parallel corpora, for a specific domain is rather limited. One solution is to develop techniques that can leverage the data for several different language pairs or domains to improve the translation quality for a given language pair or domain by transfer learning. Another solution is to develop techniques to obtain better translation system using no additional data and instead rely on multilingualism as a form of redundancy.

While most research works claim that multilingualism is important, they do not explore more than two or three languages at a time. Although, it is important to design and develop techniques that improve upon existing models, it has been observed that black-box approaches that rely on simple pre and post processing tend to work as well as other sophisticated techniques. In this thesis, we focus on leveraging the power of multiple source and pivot languages, multiple domains, monolingual corpora and linguistic redundancy in Neural Machine Translation (NMT) and Phrase Based Statistical Machine Translation (PBSMT) settings to improve the translation quality in a resource poor scenario.

We begin the thesis with a history of MT followed by a literature survey of PBSMT and NMT. We then perform a case study of Japanese-Hindi translation and show how using multiple intermediate languages in a N-lingual corpus setting can help improve the quality of translation. We then address the problem of noise in the pivot language setting by statistical significance pruning followed by an efficient post processing technique that relies on features obtained using a deep neural network.

We proceed to first develop simple but effective transfer learning techniques to develop a single translation model for multiple domains for a particular language pair. We then attempt to leverage a resource rich language pair to improve the translation quality of a resource poor language pair. We exhaustively experiment with over 6 resource rich languages and 7 resource poor languages in a number of settings which include monolingual corpora and quantitatively show how using related languages is important. We then show that multi-source MT, a special case of multimodal NLP, can be done by simply concatenating the multiple sentences instead of modifying the NMT architecture. We also show how the multi-source model can be used for transfer learning.

Because NMT architectures are still evolving, our approaches will act as a guideline for studying the relationships between languages as well as promote the development of multilingual resources. Following a listing of the conclusions of our work, the final chapter gives an overview of the future work taking this point into consideration.

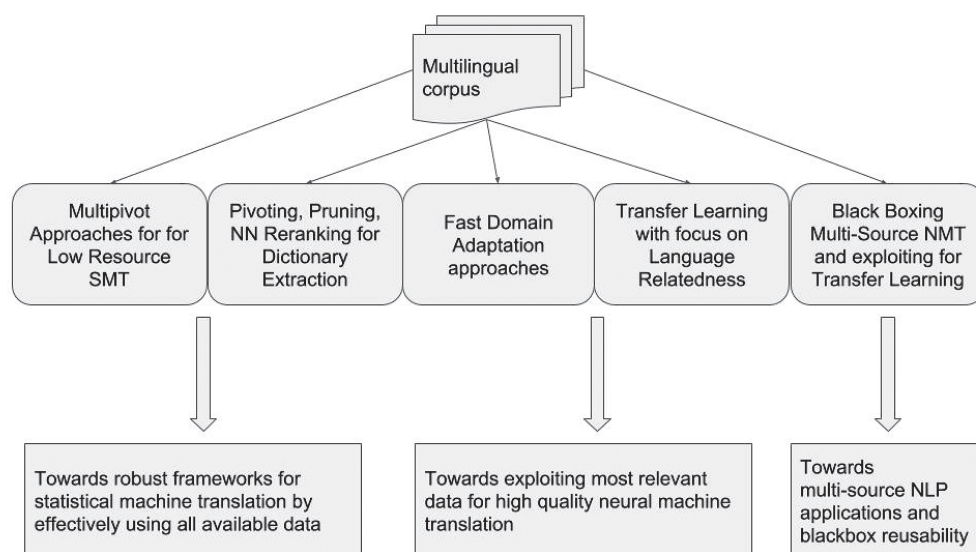


Figure 1: An overview of this thesis with its implications on the future of MT research

山下 翔 大 (守倉正博教授)

「Coexistence of Wireless Communication and Non-communication Systems」

(無線通信及び非通信システムの共存)

平成 30 年 3 月 26 日授与

本論文では、無線通信技術の高度化に伴う将来的な無線周波数帯域の枯渇を踏まえ、周波数帯域の効率利用に焦点を当てる。具体的には、無線通信及び非通信システムの双方が同じ周波数チャネルを利用する前提の下、2種類の無線通信技術における共存問題について議論する。

第一は、センサ端末のバッテリーレス化を目的とした無線 LAN 端末へのマイクロ波給電である。本課題では、マイクロ波電力伝送及び無線 LAN データ伝送を同一チャネル上で運用する場合を対象とする。本論文では、無線 LAN 端末に対して給電マイクロ波が曝されることに起因する干渉の回避を目的に、2つの方式を提案する。第一の提案は、両システムを時分割的に運用するスケジューリング法である。本方式では、無線通信側のデータフレーム及びビーコンフレームの時間情報を給電側と共有している。第二の提案は、給電波による曝され評価に基づいた適応レート制御法である。本方式では、マイクロ波給電を受信する機器に予め組み込まれたレクテナ素子を用いており、評価結果に対応したデータフレーム損失率等の履歴情報を用いて次の伝送レートを決定する。これらの提案法に関して、マイクロ波帯電波暗室にて商用の無線 LAN 機器に給電マイクロ波を放射する実験を実施し、検証を行っている (図1)。

第二は、第5世代移動通信システム向けのデータベース駆動形の周波数共用である。ここでは無線通信用途の二次利用者が、レーダ等の非通信用途の一次利用者に割り当てられた無線チャネルを共用する。本論文では、二次利用者の周波数共用を禁じ一次利用者が優先的に利用できる排他領域に着目し、一次利用者が二次利用者からの干渉を一定しきい値以下とする制約の下で、排他領域の設計及び更新に関する2つの検討を実施している。第一の検討は排他領域更新フレームワーク及び円形排他領域設計方法について提示したことであり、第二の検討は極座標または格子座標の空間グリッド導入による複雑な形状の排他領域の設計方法について提案したことである。いずれの場合についても、一次利用者を原点とする2次元座標を想定し、その周りの二次利用者の空間配置がポアソン点過程であると仮定して、一次利用者の受ける総干渉電力を確率幾何解析している。最終的には、各排他領域設計方法について数値評価を実施し (図2)、排他領域の設計に用いるデータベースの情報が詳細であるほど、排他領域を小さく設計できることを示している。

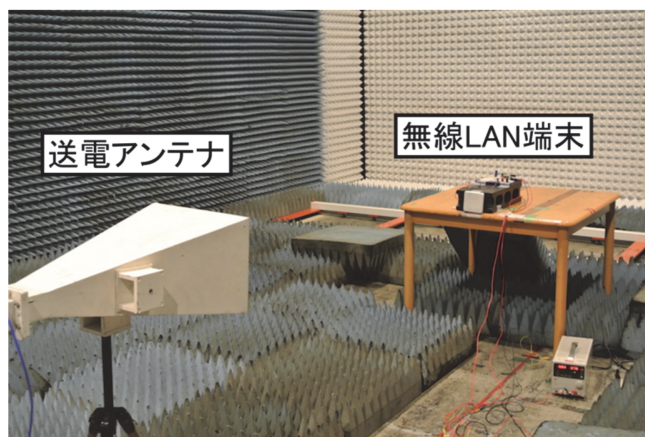


図1 無線 LAN 機器に向けたマイクロ波給電実験

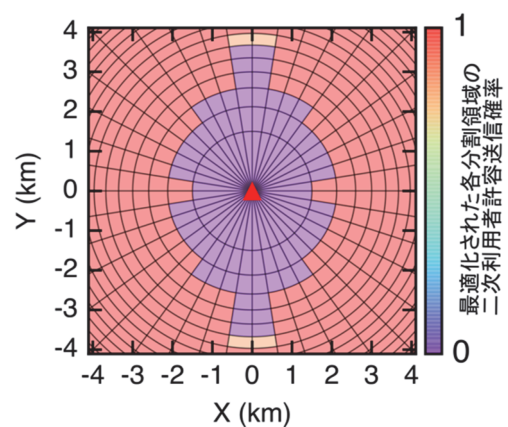


図2 極グリッドに対する排他領域設計の結果



堤 卓也 (守倉正博教授)

## 「Field Measurement and Analysis of Next-Generation Optical Access Network with Optical Amplifiers」

(光アンプを適用した次世代光アクセスネットワークのフィールド測定、及び解析)

平成 30 年 3 月 26 日授与

現在主流の光アクセスネットワーク方式である EPON (Ethernet passive optical network) は 1Gb/s の伝送速度を有するものの、近年の急激なトラフィックの増加に対処するために更なる広帯域化が必要である。そこで EPON の 10 倍の伝送速度を有する 10G-EPON (10Gb/s-EPON) の商用導入が検討されているが、その導入には大きなコストが必要になる。そこで本論文では、10G-EPON に光アンプを適用した多分岐・長延化システムについて検討を行った。多分岐化は親機や光ファイバ条数を削減、長延化は通信局舎を削減することによりコスト低減を図ることができる (図 1)。本論文では多分岐・長延化 10G-EPON のフィールド実験を行うことで商用化の課題を抽出し、解決手段について詳細検討することを主眼とした。本研究で得られた主たる知見は以下の 4 点である。

1. 試作した多分岐・長延化デュアルレート 10G-EPON システムによる伝送実験を行い、商用品質に足る QoS (Quality of service) を有したシステムが構築可能であることを示した。光アンプの光学的動作や、親機側 (上り受光信号)・ユーザ側 (下り受光信号) それぞれにおける転送性能について検証した。更に N:1 冗長プロテクションによってサービス断なく冗長親機系への切り替えできることを示し、高信頼性が要求されるビジネス・モバイルサービス向けにも本多分岐化・長延化システムが適用可能である事を合わせて示した。
2. 光アンプを適用した場合の 10G-EPON の伝送距離解析手法を提案した。本解析手法では、光アンプからみた親局側とユーザ側の光分岐数をパラメータとし、伝送可能距離を 2 次的にマッピングして可視化する。また、提案解析手法が実測結果と良好に一致することを示した。
3. 光アクセスネットワークに対して光アンプを適用した場合に、光アンプ自身に対して生じる光過入力の問題と、この問題の解決に有効な AC-OA (Autonomous-Configurable Optical Amplifier) を提案した。AC-OA は、減衰した光信号を増幅再生する光増幅部と、光アンプへの光信号を最適値にするための可変光減衰器、光減衰値を制御するコントローラ、及び最適な光減衰値を計算する集中計算機、及び設備データベースからなる。また AC-OA の過入力抑制効果をシミュレーションによって示した。
4. 光アンプを適用した長延化 10G-EPON をどのようにレイアウトすればコスト削減効果が最大化されるかについて、OALP (Optical amplifier layout problem) として定式化し、局舎削減率を最大化するような光アンプの配置方法を検討した。またケーススタディとして、所与の光学特性を有する光アンプを適用した場合の最適な光アンプ配置についてモンテカルロ法により計算し、その局舎削減効果を明確化した。

上記で得られた知見を組み合わせることによって、低コストで広帯域な次世代光アクセスネットワークを商用提供できるようになり、急増するトラフィックの収容が達成されると考えられる。

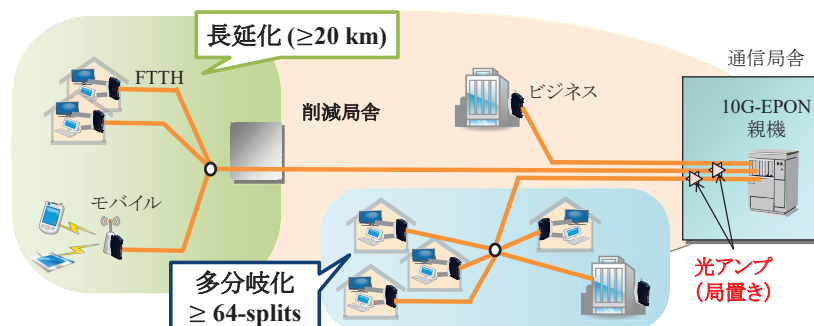


図 1. 光アンプを適用した多分岐化・長延化 10G-EPON 光アクセスシステム

高橋 康 輔 (延原章平講師)

「Camera Calibration Based on Mirror Reflections」

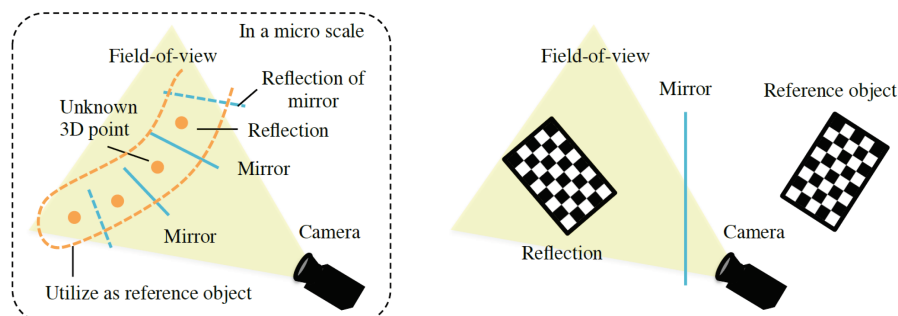
(鏡面反射を利用したカメラキャリブレーション)

平成 30 年 3 月 26 日授与

カメラキャリブレーションとは、カメラによって3次元シーンが2次元画像として撮像される過程をモデル化してそのモデルパラメータを推定するプロセスであり、レンズの焦点距離や主点、歪み係数といったカメラ内部のパラメータと、カメラの相対的な位置・姿勢といったカメラ外部のパラメータを推定する問題として、それぞれ内部キャリブレーション、外部キャリブレーションと呼ばれる。これは2次元画像を入力として3次元シーンの理解を試みるコンピュータビジョン研究において、3次元形状・運動計測、視線計測、拡張現実感など数多くの分野で最も基本となる技術である一方、従来のカメラキャリブレーションにおいては、形状が既知である参照物体を直接観測することを前提としており、このような前提が成り立たない計測環境でのキャリブレーション手法は確立されていない。

本論文は下図のように鏡を介してシーンを観測することによって、その直接像と鏡像の間に成り立つ制約条件を利用したキャリブレーションアルゴリズムをまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

- (1) 複合鏡による鏡像が満たす幾何学的制約条件を導出するとともに、この制約を利用することで撮影画像中の実像・鏡像を同定するアルゴリズムを考案した。
- (2) 複合鏡による高次反射像の透視投影像を入力として、複合鏡を構成する鏡の位置・姿勢と、焦点距離・主点・レンズ歪み係数といったカメラの内部パラメータの同時推定を実現するアルゴリズムを考案した。
- (4) 複数の平面鏡の交線と、その平面鏡による鏡像との間に成り立つ直交制約を利用することによって、4通りの解の不定性があることで知られる Perspective-3-Points 問題において、一意な解を得る手法を考案した。
- (5) 複数の平面鏡を介して視野外の参照物体を撮影することによって、カメラの位置・姿勢を線形に求めるアルゴリズムを考案した。
- (6) 球面鏡を介して撮影された鏡像を入力として、視野外の参照物体に対するカメラおよび球面鏡の位置姿勢を推定するアルゴリズムを考案し、人物の眼球に写りこんだディスプレイ画像を用いた眼球位置・姿勢のキャリブレーションが可能であることを示した。



図：本研究の問題設定。左：鏡による高次反射像を利用したカメラキャリブレーション。右：視野外参照物体の鏡像を用いたカメラキャリブレーション。

KANG DONGYEON (野田進教授)

[Mid-Wavelength Infrared Thermal Emitters using GaN/AlGaIn Quantum Wells and Photonic Crystals]  
 (GaN/AlGaIn 量子井戸とフォトニック結晶に基づく中波長赤外熱輻射光源の開発)

平成 30 年 5 月 23 日授与

本論文は、GaN/AlGaIn 量子井戸と二次元フォトニック結晶を利用することにより、中波長赤外領域中の所望の波長で狭帯域な強い輻射を発生する熱輻射光源を実現したものである。一般的に熱輻射光源は広帯域な発光スペクトルを示し、それを克服する様々な狭帯域熱輻射光源が提案されてきたが、不十分なスペクトル制御や高温耐熱性の制限による低い出力という課題を抱えていた。それに対し本論文では、高温耐熱性と物質内吸収の波長制御性に優れた GaN/AlGaIn 量子井戸に着目し、それをを用いた狭帯域な吸収係数スペクトルの制御と二次元フォトニック結晶による光共振モードの制御を同時に行うことにより、高温・高出力な狭帯域な発光スペクトルとその電圧制御を実現している。本論文に示されている主な成果は以下のようにまとめられる。

1. GaN/AlGaIn 多重量子井戸において、所定の波長に狭帯域なサブバンド間吸収を生成するための設計と評価を行った。さらにフォトニック結晶を導入し、放射率ピークの最大化と面垂直方向への輻射を可能とする熱輻射光源の設計を行った (図 1)。その後、GaN/AlGaIn 狭帯域熱輻射光源の作製手法を確立した。作製した熱輻射光源を評価し、波長 4 μm 付近で極めて狭帯域 (Q ~ 100) な熱輻射スペクトルを 700℃ という高温において実証した。

2. GaN/AlGaIn 熱輻射光源において、大面積化による高出力化を実現するため、2 次元フォトニック結晶を支持する低屈折率基板を導入することを提案・実証した。具体的には、サファイア基板の導入により 10 mm<sup>2</sup> 以上の大面積光源を作製することに成功し、基板を導入しない光源と比べて 10 倍以上の高出力化を実現した (図 2)。

3. 熱輻射強度が温度以外に物質の吸収係数にも依存することに着目し、GaN/AlGaIn 量子井戸の電子密度を pn 接合への印加電圧で制御することで、中波長赤外領域の熱輻射強度の電圧制御を実証した。はじめに、室温で GaN/AlGaIn 量子井戸の電子密度制御を行い、サブバンド間吸収の電圧変調動作を確認した。続いて、狭帯域熱輻射の電圧制御に適したフォトニック結晶光源の設計・作製を行い、波長 4 μm 付近で、狭帯域 (Q>40) 熱輻射スペクトルの電圧変調を 500℃ という高温下において実証することに成功した (図 3)。

以上で開発された GaN/AlGaIn 狭帯域熱輻射光源は、従来の狭帯域熱輻射光源の課題を克服した重要な進展であると位置づけられ、今後、熱輻射光源の応用分野を大きく拡張することが期待される。

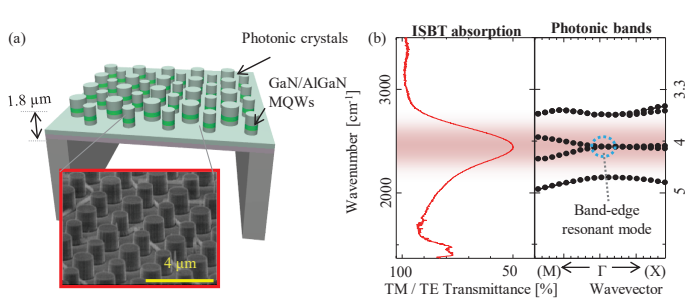


図 1. (a) GaN/AlGaIn 熱輻射光源の模式図と SEM 像 (b) サブバンド間吸収スペクトルの測定結果とフォトニックバンド構造の計算結果

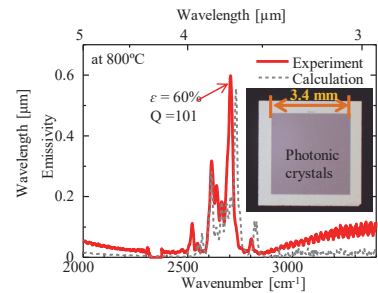


図 2. 大面積 GaN/AlGaIn 熱輻射光源の写真と熱輻射スペクトル

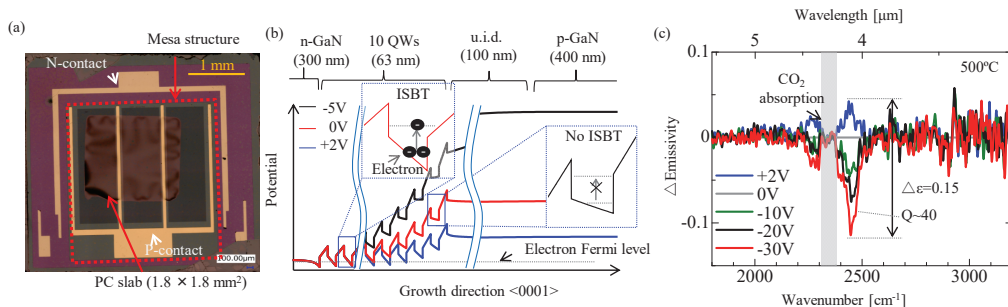


図 3. 電圧制御型 GaN/AlGaIn 熱輻射光源の (a) 顕微鏡像、(b) 電圧印加時の量子井戸ポテンシャルの計算結果、(c) 放射率変調スペクトルの測定結果

北村 尊 義 (下田宏教授)

「人々の同調意識に着目した環境配慮行動促進のための情報通信技術の活用」

2018年7月23日授与

環境問題やエネルギー問題の解決のためには私たち一人ひとりの意識や行動の変容が必要であるとされているが、これまで当然のこととして実践してきた習慣を変えるのは難しい。また、直接的な利害関係にない問題に対して興味や理解を示す人は少ない。このような現状に対して、人々の同調意識の発生を利用する手法が考えられる。同調意識とは、人や動物が有する行動特性であり、自己の意見や行動を他者に合わせようとする意識のことである。かつて集団の団結力や集団への帰属が自己の生存や繁栄のために強く求められた時代では、政治家や教育者、マスメディアなどの強い情報発信力や権威を持つ存在の価値観に同調する人が多かったとされている。しかし、近年の価値観の多様化にともない、人の同調意識に与える影響も多様なものとなり、人は自己にとって都合の良い価値観や行動に同調しやすくなったとされている。特に、ICTの発展にともない、誰もが情報を発信できるようになり、価値観や行動においてマイノリティとされてきた人々も強い情報発信力を有するようになってきている。

本論文では、このような現状を解決する糸口として、同調意識に着目したICTの活用方法について検討している。検討対象としたICTは、ソーシャルネットワーク技術、ブロックチェーン技術、パーソナルアシスタント技術であり、それぞれのICTがどのような場面で環境配慮行動(Pro-Environmental Behavior、以下PEB)促進のための同調意識の発生を可能とするのかを実践的に調査している。この3つのICTに着目した理由は、人と関連深いICTを分類すると、「人」と人との結びつきを上げたり強化するICT、「人が利用したり排出したりするモノ」と人との結びつきを記録したり追跡することで強化するICT、「人にとって大量で読み解きにくい情報を管理するシステム」と人との結びつきを平易な情報伝達で強化するICTという3分類が考えられ、ソーシャルネットワーク技術、ブロックチェーン技術、パーソナルアシスタント技術はこの分類にそれぞれ当てはまる代表的なICTと考えられるためである。

この3つのICTの特徴は、いずれも人の行動情報の発信量や受信量の増強を可能とする技術という点で共通している。しかし、本論文の調査結果では、単に人から情報をうまく引き出したり、人の情報を効率よく追跡したり、人の情報入手量を増やすだけでは、人の同調意識が向かないことがわかった。

例えば、ソーシャルネットワーク技術はPEB促進対象の同調意識をPEBについて話し合う人々に向けるために、PEBについて話し合う人々とPEB促進対象が交流できる場を提供できる。しかし、そのような場の提供のみではコミュニケーションが減衰し解散する事態に陥る可能性が高い。そのため、場の提供に加えて、話し合いを継続するための手法の検討が必要である。

そのため、あと少しで手が届くといった無理のない経済的インセンティブを付与したり、精神的により生き方を送りたいエウダイモニア的欲求を満たすような制度設計手法や情報提供手法の検討が必要である。そのため、経済的なインセンティブにくわえて目標を認知できたり、エウダイモニア欲求を満たせたりするような制度設計や情報提供手法を検討する必要がある。

パーソナルアシスタント技術はPEB促進対象の同調意識を、PEBを推奨する存在に向ける方策を可能とすると考えられる。しかし、パーソナルアシスタントがPEBを推奨するだけのエージェントであれば、ユーザから無視されたり表面でのみ肯定的な態度をとられたりする可能性がある。そのため、ただ推奨するだけの存在としてだけでなく、信頼や好意のおける関係を醸成するような設計が求められる。

以上のことから本論文では、それぞれのICTによって出現可能になる社会において、同調意識の発生する場面は考えられるが、PEBのように外部性の高い行動への同調意識を偶発的なものではなく意図的に引き出すには、実践しても良いと思える状況を構築し、そのような状況を存続させる工夫が必要であると結論づけている。

Elarabi Asem S Amar (掛谷一弘准教授)

[Polarization behavior of high- $T_c$  superconducting terahertz emitters]

(高温超伝導体テラヘルツ光源の偏光特性に関する研究)

平成 30 年 9 月 25 日授与

The terahertz (THz) frequency range (100 GHz–30 THz) of the electromagnetic (EM) spectrum has attracted a considerable amount of interest in the recent decades because of the numerous vibrational and rotational molecular absorption lines it contains which are used as marking regions in spectroscopy applications. Since intense terahertz radiation was achieved from a stack of intrinsic Josephson junctions (IJJs) made from  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  (Bi-2212), many studies have been performed to enhance its performance. Where the state-of-the-art Bi-2212 based THz devices are having the features of being coherent, tunable, intense ( $\approx 130 \mu\text{W}$ ), and compact ( $< 100 \mu\text{m}^2$ ) with an operating temperature in the cryogenic range ( $\approx 77 \text{K}$ ).

This thesis aims to conduct an experimental investigation of the polarization behavior of Bi-2212 based terahertz sources and to attempt to achieve polarization control over the emitted radiation. Furthermore, to explore the electrical, and spectral characteristics of the target geometries, and discuss it with regard to the measured polarization and electromagnetic simulation. Three types of mesa geometries were investigated; a truncated-edge square mesa (Fig. 1 (a)), a cylindrical mesa with notched sides (Fig. 1 (b)), and a long rectangular mesa. The design method and electromagnetic simulation were discussed for both first and second mesa geometries. All mesa geometries were fabricated and characterized in terms of their temperature dependent  $c$ -axis resistance, current-voltage curves, and detected THz emission. Simplified polarization characterization method was used to study the polarization of first and second mesa geometries resulting in a circularly polarized THz radiation with a low tunable axial ratio (AR) for both mesa types, where  $\text{AR}_{\text{min}} \approx 0.2 \text{ dB}$  (truncated-edge square mesa) (Fig. 1 (c) left), and  $\text{AR}_{\text{min}} \approx 0.8 \text{ dB}$  (cylindrical notched mesa) (Fig.1 (c) right) tunable in frequency ranges of (0.435–0.457 THz) and (0.450–0.525 THz) respectively. A more comprehensive approach utilizing Stokes polarization parameters is used to study the rectangular mesa geometry, to unravel the effect of thermal unbalance (hotspots) influence on the emission and polarization. Contrary to the common belief, the emission of this geometry under the mentioned condition was found to be partially polarized with varying dominant polarization components (linear and circular). Possible applications for polarized terahertz sources introduced in this thesis may include circular dichroism spectroscopy, high-speed telecommunication, and polarized biomedical imaging.

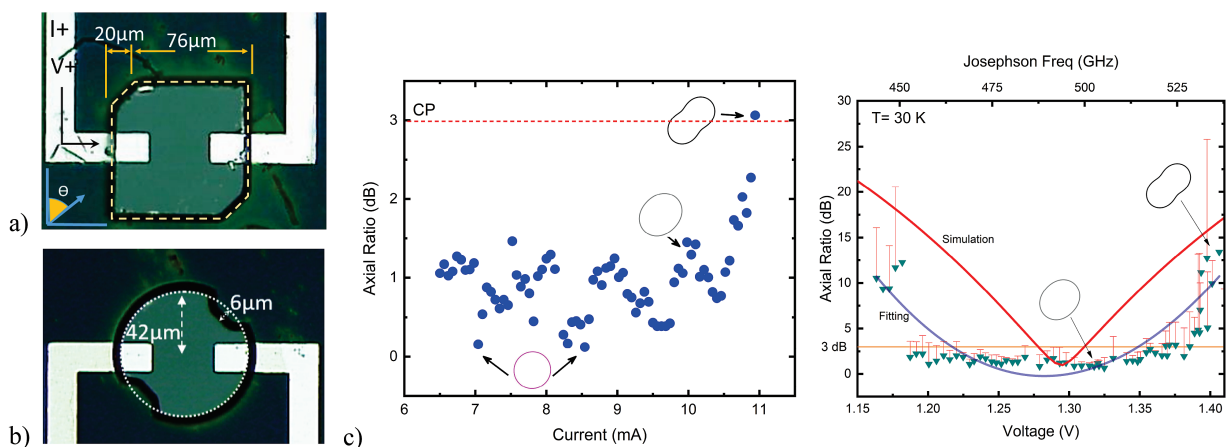


Fig. 1 Microscope image of (a) truncated edge square mesa, (b) cylindrical notched mesa. (c) Polarization properties of (left) truncated-edge square mesa in terms of axial ratio vs. applied bias current, (right) cylindrical notched mesa in terms of axial ratio vs. applied bias voltage.