

## 博士論文概要

### [ 課程博士一覧 ]

米 谷 竜	「Modeling Spatiotemporal Correlations between Video Saliency and Gaze Dynamics」(映像の視覚的顕著性と視線ダイナミクス間の時空間相関モデリング)	平成 25 年 11 月 25 日
Pedro Favuzzi Antonio	「Ab-initio design methods for selective and efficient optomechanical control of nanophotonic structures」 (ナノフォトニック構造の選択的かつ効率的なオプトメカニカル制御のための第一原理設計)	平成 26 年 1 月 23 日
泉 朋 子	「Normalization and Similarity Recognition of Complex Predicate Phrases Based on Linguistically-Motivated Evidence」 (言語学的特徴を用いた述部の正規化と同義性判定)	平成 26 年 1 月 23 日
永 原 静 恵	「Studies on Functional Magnetic Resonance Imaging with Higher Spatial and Temporal Resolutions」 (機能的磁気共鳴画像法の高時空間分解能化に関する研究)	平成 26 年 3 月 24 日
岩 田 達 哉	「Study on Resistive Switching Phenomenon in Metal Oxides for Nonvolatile Memory」 (不揮発性メモリに向けた金属酸化物における抵抗スイッチング現象に関する研究)	平成 26 年 3 月 24 日
森 岡 直 也	「Fundamental Study on Carrier Transport in Si Nanowire MOSFETs with Smooth Nanowire Surfaces」 (表面平坦化処理を施した Si ナノワイヤ MOSFET におけるキャリア輸送の基礎研究)	平成 26 年 3 月 24 日
広 瀬 政 晴	「デュアルプローブ原子間力顕微鏡の開発および有機半導体ナノスケール電気伝導評価への応用」	平成 26 年 3 月 24 日
金 潤 碩	「Effects of Potential Modulations on Optical Gain Properties in InGaN-based Green Laser Diodes」 (InGaN 緑色レーザダイオードの光学利得特性におけるポテンシャル変調の効果)	平成 26 年 3 月 24 日
西 中 淳 一	「緑色レーザのための半極性 GaN 系歪多層構造の設計と作製」	平成 26 年 3 月 24 日
大 音 隆 男	「Emission Mechanisms in Al-rich AlGaIn Quantum Wells toward Deep Ultraviolet Light Emitters by Electron Beam Pumping」 (電子線励起深紫外発光素子に向けた高 Al 組成 AlGaIn 量子井戸の発光機構に関する研究)	平成 26 年 3 月 24 日
Lee Yoonsik	「Hybrid photonic systems consisting of dielectric photonic crystals and plasmonic meta-atoms for nanoscale light manipulation」	平成 26 年 3 月 24 日
中 村 達 也	「量子ドット-フォトニック結晶ナノ共振器結合系の発光制御」	平成 26 年 3 月 24 日
梁 永	「フォトニック結晶面発光レーザの 3 次元結合波理論の構築」	平成 26 年 3 月 24 日
萩 行 正 嗣	「Studies on Annotated Diverse Corpus Construction and Zero Reference Resolution in Japanese」 (日本語の多様な文書からなるタグ付きコーパスの構築及びゼロ照応解析に関する研究)	平成 26 年 3 月 24 日
古 田 潤	「集積回路におけるシングルイベント効果の評価とソフトウェア耐性向上手法の提案」	平成 26 年 3 月 24 日

ZANG Linge	「Study on Edge Fluctuation of Supersonic Molecular-Beam Fueled Plasmas Using Langmuir probes and Fast Cameras in Heliotron J」 (超音速分子ビーム入射時の周辺プラズマにおけるフィラメント状構造の高速カメラによる動的観測)	平成 26 年 3 月 24 日
中 田 陽 介	「Investigation of artificial electromagnetic structures in terms of lattice symmetry and self-complementarity」 (格子の対称性と自己補対性の観点からの人工電磁構造体の研究)	平成 26 年 5 月 23 日
後 藤 功 雄	「Word Reordering for Statistical Machine Translation via Modeling Structural Differences between Languages」 (統計的機械翻訳のための言語構造の違いのモデル化による語順推定)	平成 26 年 5 月 23 日
Mirza Golam Kibria	「Radio Resource Allocation Optimization for Cellular Wireless Networks」 (セルラワイヤレスネットワークにおける無線資源割当最適化)	平成 26 年 7 月 23 日
石 群	「Action History Volume for Spatiotemporal Editing of 3D Video in Multi-party Interaction Scenes」 (複数人物インタラクションシーンにおける Action History Volume を用いた 3 次元ビデオの時空間編集)	平成 26 年 9 月 24 日
布 房 夫	「Quality-of-Service Control Scheme for Wireless Local Area Networks」 (無線ローカルエリアネットワークにおける通信品質制御方式の研究)	平成 26 年 9 月 24 日
新 谷 道 広	「デバイス特性推定に基づく集積回路の適応型テストに関する研究」	平成 26 年 9 月 26 日

米 谷 竜 (松山教授)

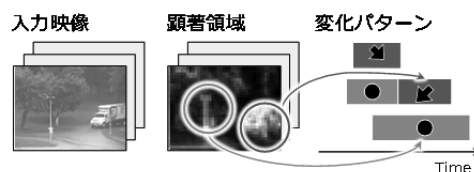
「Modeling Spatiotemporal Correlations between Video Saliency and Gaze Dynamics」  
(映像の視覚的顕著性と視線ダイナミクス間の時空間相関モデリング)

平成 25 年 11 月 25 日授与

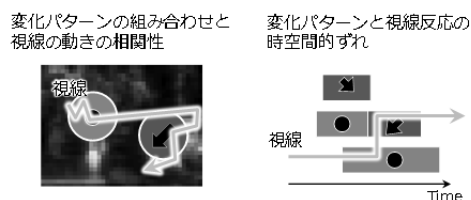
我々がテレビやスマートフォンといったディスプレイ端末を利用し、映像コンテンツを閲覧する状況において、その注視行動（何をどのように見るか）はしばしば映像コンテンツ中の視覚的イベント（例：映画におけるシーンの切り替わりやコマーシャルにおけるロゴの出現）に影響される。このような注視行動の解析に関する研究は、人間がどのような視覚的イベントに注意を引き付けられるかを明らかにするという基礎研究的な側面に加え、マーケティングやインタフェースデザインにおいて人間の注視行動を活用するという応用的な側面を持つものであり、視覚心理をはじめコンピュータビジョン、インタラクションといった分野において長く取り組まれている。とりわけ近年では、視線計測技術や映像解析技術の高度化、データ処理の大規模・高速化にともない、映像と視線の関係、さらには興味や集中といった人間の内的状態と視線の関係を統計的機械学習により獲得する試みが盛んになっている。その一方で、既存研究で扱われるコンテンツは実験者により統制されたものが中心であり、様々な視覚的イベントを持った複雑な映像コンテンツに対する注視行動の解析は困難であった。

本論文では上述の問題を解決するために、複雑な映像ダイナミクスと視線ダイナミクスの関係性を単純・系統的な変化パターンを用いてモデル化・学習する新たなアプローチを提案した。具体的にはまず、映像中において人間の目を引きつける顕著領域を抽出し、領域の持つ基礎的な変化パターンを組み合わせることで、物体の出現や移動、シーンの切り替わりといった様々な視覚的イベントを含む映像ダイナミクスを効率的に表現する顕著性変動モデルを提案した（図1 (a)）。さらに、映像・視線ダイナミクス間の関係性として「領域変化パターンの組み合わせからなる特定の映像シーンに相関してどのような視線パターンが現れるか」および「特定の領域変化パターンに対して視線がどの程度の時空間ずれをとまって反応するか」の2種類（これらを合わせて本論文では時空間相関と名付けた）を記述するモデルを開発し（図1 (b)）、実環境における注視行動解析においてその有効性を示した。たとえば、映像を閲覧する際の注視行動から内的状態を推定するタスクでは、顕著性変動モデルを用いて映像シーンを記述・分類し、シーンの種類ごとに異なる視線特徴を抽出・学習することで、これまで困難であったシーンの変化に適応的な推定を実現した（図1 (c)）。ほかにも、映像と視線データのペアから視線が向きやすい映像特徴を学習することで未知映像のどこが見られやすいかを予測するタスクでは、顕著領域の変化パターンと視線の時間的ずれを特徴として利用することで、映像中の特定の動きに対して視線が遅れて反応するという状況を扱える新たな予測手法を提案し、その有効性を確認した（図1 (d)）。

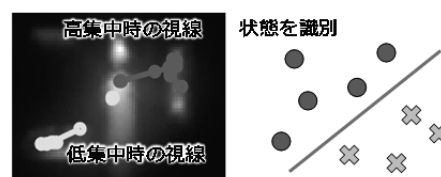
(a) 顕著性変動モデル



(b) 映像・視線間の時空間相関



(c) 視線情報からの内的状態推定



(d) 映像からの視線予測



図1 時空間相関モデリングと注視行動解析

Pedro Favuzzi Antonio (川上教授)

[Ab-initio design methods for selective and efficient optomechanical control of nanophotonic structures]

(ナノフォトニック構造の選択的かつ効率的なオプトメカニカル制御のための第一原理設計)  
平成 26 年 1 月 23 日授与

The objective of my thesis was to develop methods and techniques to better understand and tailor optical forces between photonic waveguides by studying the relationship between the behavior of such forces and the morphology of the photonic system. In practice this implies an increased ability to control the position and vibrational modes of nano-mechanical systems via optical forces.

This is not only an important step toward the development of simple MEMS devices based on such interaction but the increased flexibility of such effect should allow the realization of novel all optical photonic devices. Throw-out my PhD I developed simple and intuitive methods that can be used to describe and predict both magnitude and direction of optical forces between (but not limited to) parallel waveguides which can be used to increase our ability to control the forces acting between them. This methodology allowed us to find structures which could be used to induce repulsive optical force at all separations as well as trapping effect under conditions that could be controlled dynamically; examples of which are shown in Figs. 1 and 2.

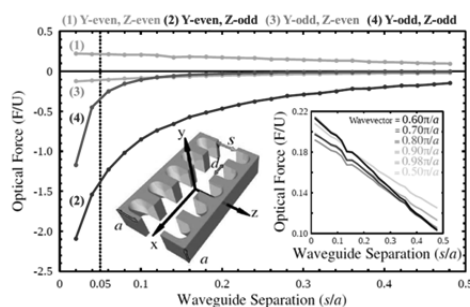


Figure 1. The geometry in inset shows repulsive optical forces ( $F > 0$ ) for all separations

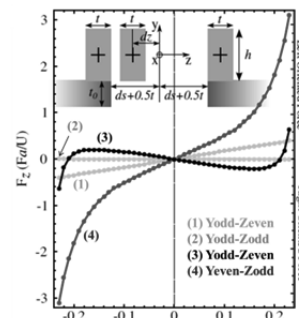


Figure 2. The geometry in inset is an example where optical forces form a stable trapping potential at  $dz/a = 0$

Finally the same technique can be used to design structures in which the mechanical and optical mode are mode-matched, thus promising novel methods to drive the optomechanical interaction (Fig. 3).

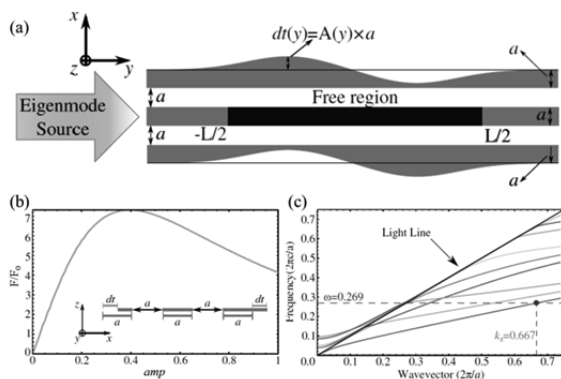


Figure 3. a) Proposed geometry profile. b) expected force distribution along the y-axis. c) structure dispersion diagram

泉 朋子 (黒橋教授)

「Normalization and Similarity Recognition of Complex Predicate Phrases Based on Linguistically-Motivated Evidence」

(言語学的特徴を用いた述部の正規化と同義性判定)

平成 26 年 1 月 23 日授与

ブログ、Twitter、対話ログなど大量のテキストデータから有益な情報を抽出するためには、計算機による深い意味理解が必要である。特に、「つながらない」「わからない」など「どうした」を表す述部は、文の核情報を表しており、これら述部の意味を正しく計算機が扱えることで、意見マイニングや、QA/対話システム、検索エンジンなど後段の言語処理技術の精度を大幅に向上させることが可能である。しかし、これらの述部は、その表現の多様性ゆえに、計算機で意味を扱う事（すなわち同義性を認識する事）が困難である。例えば、「つながらない」という表現も、「接続を行うことができない」「つながらんのですが」など様々な言い方で表現される。

本論文では、文の「どうした」を表す述部に焦点を当て、これらの多様な述部表現を、言語学的な分析をもとに、同じ出来事を表す単純な表現に正規化し、さらに文脈をも考慮し同義となる述部を自動で認識する高精度な同義判定技術を提案した。

本論文で対象にする述部の多様性には、「形態素レベルでの多様性」「構造レベルでの多様性」「意味レベルでの多様性」という3つの要因が関連している。第2章では、「形態素レベルでの多様性」に焦点をあて、日本語の文末表現の正規化を提案している。出来事の意味に影響を与える文末表現を、形式意味論の「時制」「モダリティ」「否定」という3つの軸をもとに定義し、これらに属す表現のみを最低限残す正規化ルールを確立し、述部を「同じ出来事を表す最も単純な表現」に正規化した。第3章では、「構造レベルでの多様性」に焦点をあて、「解約を行う」「納得が行かない」などの機能動詞構造の正規化を提案した。動詞の文法機能のみを保持しつつ、単純な述部に言い換えるための正規化パターンを構築し、さらに、機能動詞構造と本動詞構造の曖昧性解消に関して、大規模な新聞・ブログコーパスを用いて「曖昧性解消辞書」を構築した。第4章では、「意味レベルでの多様性」に焦点を当て、「メモリを消費」と「メモリを食う」のような文脈によって同義になり得る述部をも対象とした、述部の同義性判定手法を提案した。辞書定義文、用言属性、分布類似度、機能表現といった異なる言語情報から、同義述部の特徴を抽出し、同義判定の素性として用いた。さらに、今まで言語処理では困難であった、反義関係を表す述部と同義関係を表す述部の識別を、反義関係に特化した言語的特徴を用いることで、正しく判別することを可能にし、既存手法に比べて高精度に述部の同義性を判定することができた。

今後は、これら述部の同義性判定技術を用いて、QAシステムや検索エンジンなど、上位アプリケーションでの効果を検証するとともに、同義だけではなく反義・含意・推意といったより深い述部の意味関係の認識・獲得技術の研究を行う。

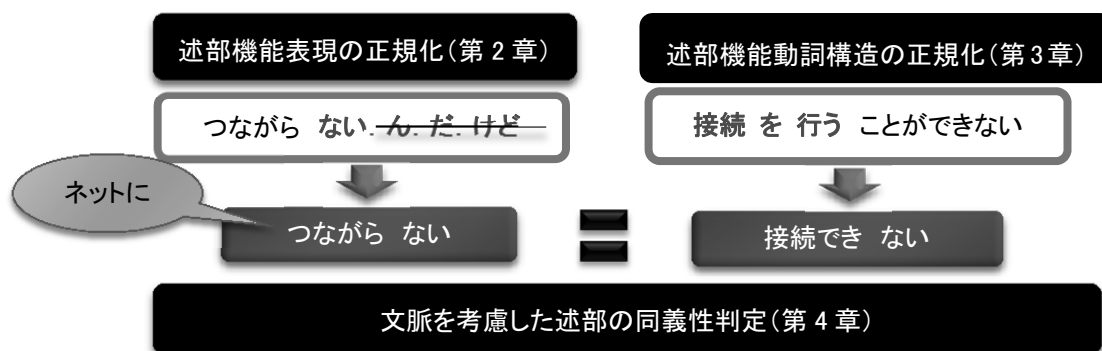


図1：述部の正規化と同義性判定

永原 静恵 (小林教授)

「Studies on Functional Magnetic Resonance Imaging with Higher Spatial and Temporal Resolutions」

(機能的磁気共鳴画像法の高時空間分解能化に関する研究)

平成 26 年 3 月 24 日授与

非侵襲的脳機能計測法により様々な脳機能が明らかにされつつあるが、脳内での複雑な情報処理が想定される高次脳機能については未だ多くの謎が残されている。そのため、脳機能計測法のさらなる発展が期待されている。中でも、血行動態変化を捉えるという計測原理に基づく fMRI (機能的磁気共鳴画像法) は、現在最も一般的に使用されているが、時間分解能が低く、空間分解能も十分であるとは言えない。本研究では、従来手法より高い時空間分解能が期待できる異なる計測原理に基づく 2 種類の fMRI 手法について検討を行った。

1 つ目の手法は、水分子の拡散情報を画像化する DWI (拡散強調画像) を用いた fMRI 手法である。本手法は脳神経活動に伴う神経細胞の体積変化により細胞近傍に存在する水分子の拡散が変化することを利用して、そこで、神経細胞近傍領域の水分子の拡散現象を Monte-Carlo 法を用いたシミュレーションでモデル化し、脳神経細胞の体積変化の前後での MR 信号強度差を最も強調するような撮像パラメータについて検討を行った。結果として、DWI 撮像パラメータについて、それぞれの信号強度及び神経細胞の体積変化前後での信号強度差に対する依存性の詳細を明らかにでき、撮像に適した値を示した。

また、DWI を用いた fMRI 手法についてモデルを拡張し、神経細胞内外領域における水分子の拡散現象を考慮したシミュレーションを行った。新たなモデルを用いたシミュレーションではより現実的な条件の下、水分子の拡散が MR 信号強度にもたらす変化と、撮像パラメータが MR 信号強度に与える影響について検討した。その結果、神経細胞膨張に伴う体積変化により神経細胞近傍の全領域で MR 信号が増加する機序を示し、fMRI としての撮像に適したパラメータの値を示した。

次に、2 つ目の手法として、スピンロック撮像法を用いて脳神経磁場を直接捉える fMRI について検討した。本手法はスピンロック撮像法で用いる RF パルスと撮像中に脳神経細胞から生じる微小磁場の相互作用による MR 信号の局所変化を捉えるものである。そこで、Bloch 方程式に基づき、MR 撮像中に撮像対象に磁場が生じた場合の磁化モーメントの挙動をシミュレーションにより求め、計測原理を分かり易く視覚化した。また、脳神経磁場を擬した振動磁場を発生するループコイルを用いたファントム実験により、MRI を用いて最小で 200 pT 程度の磁場が検出可能であることを示した。

以上のように、本論文では現在注目されている 2 種類の新たな fMRI 手法について、それぞれの計測原理を明らかにし、より良い撮像条件を提案、実証した。

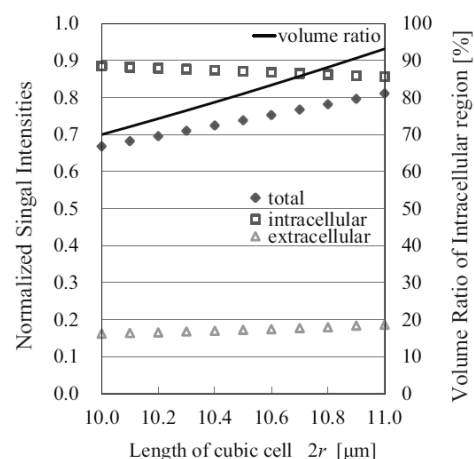


図 1: 脳神経細胞に体積変化が生じた際の神経細胞内外領域及び全領域における MR 信号強度と神経細胞内領域の体積比率

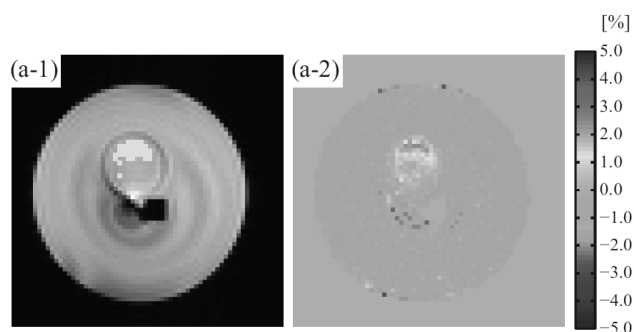


図 2: ループコイル内に微小磁場 (300 pT 程度) が発生した場合の MR 画像 (a-1) と磁場の有無による信号変化率 (a-2)

岩田 達哉 (木本教授)

「Study on Resistive Switching Phenomenon in Metal Oxides for Nonvolatile Memory」  
(不揮発性メモリに向けた金属酸化物における抵抗スイッチング現象に関する研究)

平成 26 年 3 月 24 日授与

抵抗変化型メモリ (ReRAM) は、大容量・高速動作・不揮発性という、既存のメモリでは実現困難な性能を同時に達成し、現行のメモリシステムにパラダイムシフトを起こしうる次世代メモリの候補として注目されている。ReRAM の単一素子は金属酸化物を電極で挟んだキャパシタ構造からなり、その動作は、電圧印加による可逆的かつ不揮発な抵抗変化、いわゆる抵抗スイッチング現象に基づく。抵抗スイッチング現象は、図 1 に示すように、フォーミングと呼ばれる疑似絶縁破壊により、金属酸化物中に局所的な導電性領域 (フィラメント) が形成されることで発現する。そして、フィラメントが断裂 (リセット)、再形成 (セット) を繰り返す事で、低抵抗状態 (LRS) と高抵抗状態 (HRS) との間を変化する、と定性的には説明される。しかしながら、フィラメントの構造や電気伝導特性など、抵抗スイッチング現象には不明な点が数多く存在するため、更なる高性能化に向け、その詳細な理解が不可欠である。

本研究では、金属酸化物として酸化ニッケル (NiO) を用い、フィラメントの構造評価や、素子の電気伝導特性の評価を行い、抵抗スイッチング現象の基礎的な理解に取り組んだ。本研究で得た主要な結果を以下に示す。

1. 素子に形成されたフィラメントの位置を、電流検出型原子間力顕微鏡を用いて観察し、フィラメントの位置を特定した。さらに、位置を特定したフィラメントについて、透過型電子顕微鏡による断面形状観察および、エネルギー分散型 X 線分光による組成分析を行い、フィラメントは酸素が欠乏した領域からなることを明らかにした。
2. 堆積時の酸素供給量を変化させ作製した種々の NiO 薄膜について、薄膜中の残留応力を評価し、フォーミング電圧 ( $V_{Form}$ ) との関係調べた。その結果、NiO 薄膜中の残留圧縮応力が大きくなるほど  $V_{Form}$  が大きくなるという、フォーミングに関する新たな知見を見出した。さらに、NiO 薄膜堆積時の酸素供給量を適切に制御することで、図 2 に示すように、従来に比べ大幅な  $V_{Form}$  の低減 (5 V  $\rightarrow$  2 V : 膜厚はいずれも約 100nm) を可能にし、2 桁以上の動作電流 ( $I_{Reset}$ ) の低減 (30mA  $\rightarrow$  80  $\mu$ A) を達成した。
3. 初期状態および LRS (フィラメント形成)、HRS (フィラメント断裂)、それぞれにおける直流・交流伝導特性を評価した。LRS においては、フィラメント起因と考えられる伝導特性、初期状態においては NiO バルク起因の伝導特性がそれぞれ見られた。一方、HRS では LRS 同様、フィラメント起因と考えられる伝導特性が支配的であることを明らかにした。このような HRS における伝導特性は、従来モデル、すなわち、「HRS においては、フィラメント断裂部、すなわち初期状態と同等となった領域によって素子全体の電流 (抵抗) がほとんど決定される」というモデルでは説明できず、従来モデルを修正しうる重要かつ新たな知見である。

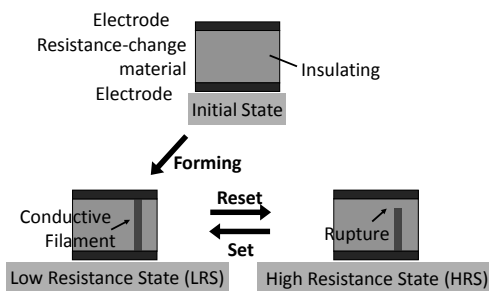


図 1 : 抵抗スイッチング現象のモデル図。

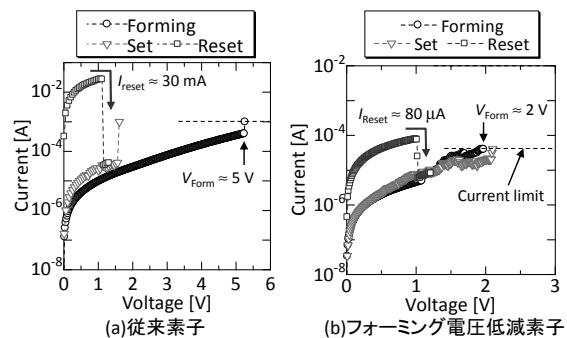


図 2 : (a) 従来素子および (b) フォーミング電圧低減素子の電流 - 電圧特性。フォーミング電圧の低減 (5 V  $\rightarrow$  2 V) により 2 桁以上動作電流 ( $I_{Reset}$ ) を低減した。

森岡直也 (木本教授)

「Fundamental Study on Carrier Transport in Si Nanowire MOSFETs with Smooth Nanowire Surfaces」

(表面平坦化処理を施した Si ナノワイヤ MOSFET におけるキャリア輸送の基礎研究)

平成 26 年 3 月 24 日授与

Si LSI (大規模集積回路) は素子の微細化により著しい性能向上を達成し、現代の情報化社会を支えてきた。しかし、さらなる微細化に向けて短チャネル効果の抑制が課題となっている。Si ナノワイヤ (NW) MOSFET は、直径数 nm の Si NW (量子細線) をゲート電極で包み込んだ構造のトランジスタであり、ゲートによる静電制御性が極めて良好である。このため、短チャネル効果を抑制できると期待されている。

一方、Si NW MOSFET の電気伝導特性の理解は未だ不足している。理由として、電気伝導に影響を与える電子状態が NW の結晶方位、断面形状・サイズ等に依存し、その物理的理解が不十分であること、NW 作製時に生じる太さの揺らぎや表面ラフネスが NW の本質的な電気伝導特性の発現を妨げることが挙げられる。本論文では、Si NW の価電子帯の計算、Si NW の表面平坦化プロセスの研究、そして表面平坦化を施した Si NW MOSFET の作製・評価を実施し、Si NW MOSFET におけるキャリア輸送の研究を行った。主要な内容を以下に示す。

1. 様々な構造の Si NW の価電子帯構造や正孔状態を理論的に計算し、NW MOSFET に適する方位・断面形状構造を予測するとともに、正孔状態の NW 構造依存性が波動関数の観点から解釈できることを示した。
2. Si NW を作製し、減圧水素雰囲気中での熱処理 (水素アニール) による NW の表面平坦化を行った。プロセス条件の工夫により、本手法で従来困難であった様々な方位の微細な Si NW (幅 9 ~ 20 nm、直径換算 10 ~ 23 nm) の平坦化に成功した (図 1)。
3. 電子・正孔の両方の輸送特性を単一の NW で評価可能な特殊な構造の Si NW MOSFET を、平坦化処理を適用して作製し、良好なトランジスタ動作を得た。低温での測定で相互コンダクタンスに振動が現れ、これは NW に特有な状態密度に起因する移動度の振動と考える。本モデルに基づき、実験で作製した NW と同構造の NW のバンド構造計算を行い、コンダクタンス振動を理論的に計算すると、正孔・電子の両方において実験とよく一致した (図 2)。本結果は、振動現象のモデルの正当性に加えて、実験で作製した Si NW のバンド構造が理論計算により正しく予測できることを示唆している。これは、バンド構造の観点からデバイス性能を予測・実験と比較して、デバイス構造を最適化してゆく上で非常に重要な知見である。

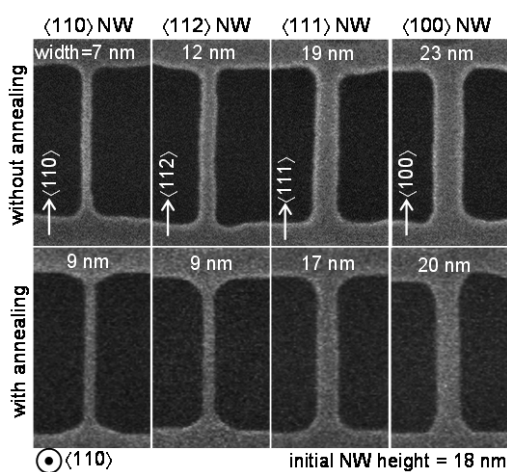


図 1 様々な結晶方位の微細な Si NW の水素アニールによる表面平滑化 (上段: 水素アニールなし、下段: 水素アニールあり)

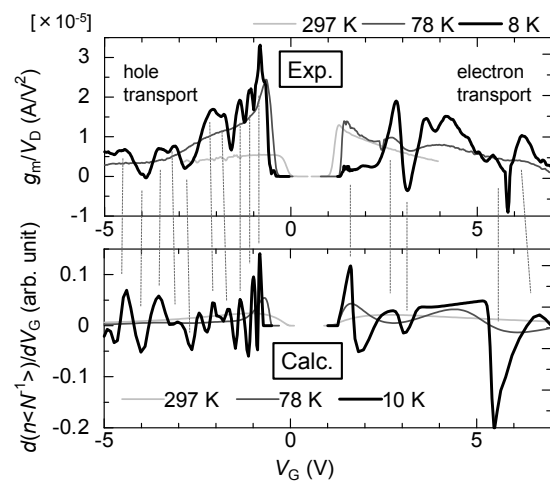


図 2 直径 7.5 nm の Si NW MOSFET の相互コンダクタンス-ゲート電圧特性の温度依存性 (上段: 実験結果、下段: 理論計算によるバンド構造から予想した振動)



広瀬 政 晴 (川上教授)

「デュアルプローブ原子間力顕微鏡の開発および有機半導体ナノスケール電気伝導評価への応用」

平成 26 年 3 月 24 日授与

ナノ物性計測技術は、新規なナノ材料やナノスケール電子素子の開発における必須の基盤技術となっており、その重要性はますます高まっている。特に、原子間力顕微鏡 (AFM) をベースとする各種のナノプローブ計測法は、測定対象や測定環境に基本的な制約がないことから、さまざまな研究分野で広く用いられている。一方、半導体性の有機分子薄膜材料を用いる「有機エレクトロニクス」や、単一の分子自身もつ電子物性に根ざした「分子エレクトロニクス」分野は、新たな分子材料開発の進展に伴って急速に発展しつつある。本論文では、独立制御可能な2本のプローブを有するデュアルプローブ AFM (DP-AFM) の開発を通じて、有機分子のナノスケール電荷輸送特性を実験的に明らかにした研究内容およびその結果を記述している。

プローブの連携操作が必要となる DP-AFM では、プローブを精密に動作させることが極めて重要である。今回、プローブを平面走査する際の XY 軸間の動作干渉を抑制するため、板ばね機構を動作ガイドとする新たな走査機構を開発し、各軸の運動が直交していることを実験的に確認した。また、最低次の機械共振周波数は 7 kHz を上回り、高速な運動性能が実現した。

図1は、2本のプローブを電極とする FET チャンネル伝導測定の様式図である。プローブには、Si 探針表面を金属でコートした導電性探針を用い、また、SiO<sub>2</sub> 付きの高ドーピングシリコン基板をゲート電極として用いている。各探針を所望の場所に位置決めすることで、試料上の任意の2点間の伝導測定が可能となる。つまり電極パターンのない、試料薄膜だけの状態でも、FET 特性を計測することができる。図2は、真空蒸着法で成膜した無置換オリゴチオフェン6量体 ( $\alpha$ -6T) 微結晶の FET 電気特性である。図中 AFM 像の ● 位置にソース探針、× 位置にドレイン探針を接触させ、ゲート電圧依存の伝導特性を測定した。得られたホール移動度は、多結晶試料を用いた先行研究の報告値を2桁上回る値となり、多結晶グレイン薄膜チャンネルの素子を測定する従来手法では困難であった、結晶単位での伝導測定が可能であることを示した。

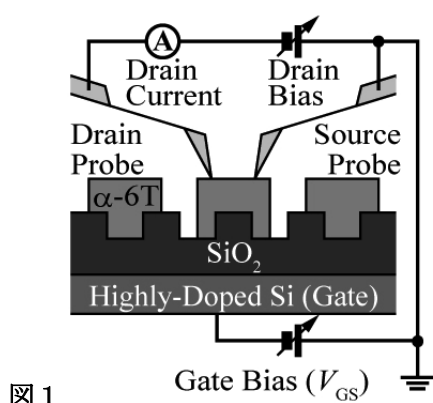


図 1

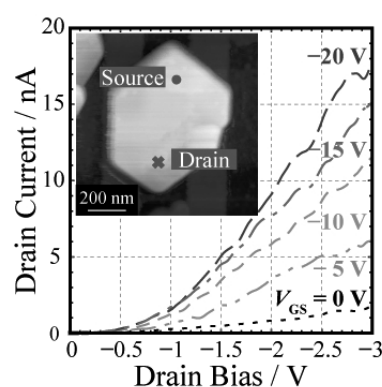


図 2

図 1 : 導電性探針を用いた伝導計測の様式図。試料上の所望の位置で計測をおこなうことができる。

図 2 : シリコン基板に蒸着成膜した無置換オリゴチオフェン6量体結晶上で計測した電気伝導特性。

金 潤 碩 (川上教授)

「Effects of Potential Modulations on Optical Gain Properties in InGaN-based Green Laser Diodes」

(InGaN 緑色レーザダイオードの光学利得特性におけるポテンシャル変調の効果)

平成 26 年 3 月 24 日授与

Recently, the demand for green laser diodes (LDs) has increased remarkably due to their use in several applications such as full color display, medical applications, and etc. Up until 2008, it was difficult to fabricate green LDs using III-nitrides since their threshold current densities increase significantly due to strain induced piezoelectric polarization and inhomogeneous broadening by tail states in the InGaN layer. (Those two effects were defined as “potential modulations” in this thesis.) By the efforts of several leading researchers, the green LDs have successfully been fabricated with InGaN-based quantum wells (QWs) on the  $\{20\bar{2}1\}$  semipolar crystal plane for the first time, and then followed by the (0001) polar plane.

In this thesis, above two major potential modulations in both the  $\{20\bar{2}1\}$  and (0001) LD structures are systematically studied by using optical characterization methods such as time-resolved photoluminescence (TRPL), confocal nanoscopic PL mapping, and scanning near field optical microscopy (SNOM).

For the semipolar LDs, a significantly reduced carrier recombination lifetime was confirmed. This observation suggested a smaller internal electric field and consequent greater overlap integral between electron and hole wavefunctions than in conventional green LDs on polar plane. Then SNOM results show very uniform luminescence as displayed in Fig. 1. Both of them may contribute to the increase in the material gain.

For the polar LDs, suppressed inhomogeneity was confirmed. Such a uniform luminescence property is owing to the improved epitaxial technology of InGaN layers and analyzed by confocal PL mapping as shown in Fig. 2. Furthermore, it was experimentally revealed that a thinner QW effectively avoided the influence of the polarization induced electric field, even though it was stronger than in conventional one due to a higher In composition to compensate for the reduced well width. Again, those improvements contribute to the gain increase.

Optical gain properties of both green LDs were successfully assessed by the Hakki-Paoli's method. The material gain, optical confinement factor, and internal loss were evaluated. It was demonstrated that competition among them determines the lasing properties.

I acknowledge Sumitomo Electric Industries and Nichia Corporation for providing state-of-the-art green LDs.

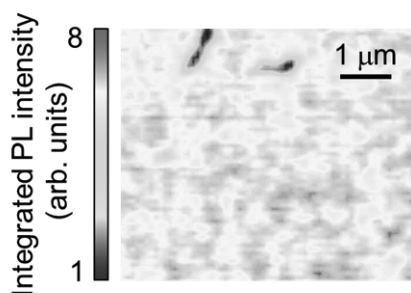


Figure 1. SNOM-PL intensity mapping of an InGaN green QW on the semipolar  $\{20\bar{2}1\}$  plane.

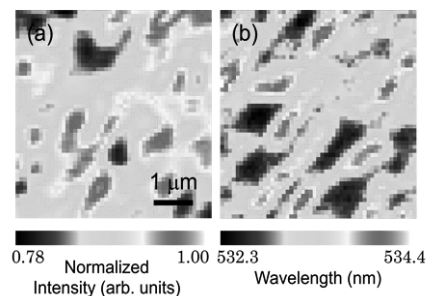


Figure 2. Confocal nanoscopic PL (a) intensity and (b) wavelength mappings of a polar (0001) green InGaN QW.

## 西 中 淳 一 (川上教授)

## 「緑色レーザのための半極性 GaN 系歪多層構造の設計と作製」

平成 26 年 3 月 24 日授与

レーザダイオード (LD) は、赤色・青色が既に実用化され、緑色が揃えば光の 3 原色を用いたレーザディスプレイが実現可能となる。窒化物半導体 InN と GaN の混晶である InGaN は全組成域にわたって直接遷移型であり、その組成により発光波長を紫外から赤外まで制御することができる。しかしながら、従来用いられてきた極性面上の InGaN 量子井戸 (QW) は、In 組成が大きくなるほど内部電界が大きくなるというデメリットを有するため、緑色 LD の実現は困難である。この解決策として、我々は図 1 に示す半極性  $\{11\bar{2}2\}$  面に着目した。この面方位の利点としては、①内部電界が小さい、②成長時の In 取り込み効率が低い、③偏光スイッチ現象の利用により劈開面を共振器ミラーとして使える、の 3 点が挙げられる。そこで、本論文では半極性  $\{11\bar{2}2\}$  面上への緑色 LD の実現に向けた研究を行った。本研究で得られた成果を以下に示す。

1. ウルツ鉱構造の  $(11\bar{2}2)$  と  $(\bar{1}\bar{1}2\bar{2})$  面では、その表面の構造は等価ではないため、これらの面上への結晶成長には差異が生じると考えられる。GaN ホモエピタキシャル成長に関しては、 $(\bar{1}\bar{1}2\bar{2})$  の方が幅広い成長条件で平坦になりやすく、意図しない不純物が入りにくいことが分かった。一方、p 型ドーパントである Mg のドーピング制御性に関しては、 $(11\bar{2}2)$  の方が優れていた。InGaN に関しては、 $(11\bar{2}2)$  の方が In 取り込み効率・ヘテロ界面平坦性の両面で優れていることを明らかにした。これらのことから、LD を志向する場合には  $(11\bar{2}2)$  の方が適していると結論付けた。
2. 窒化物半導体非極性面上ヘテロ構造に対し、異方性を考慮した臨界膜厚の計算手法を確立した。また、InGaN/GaN 多重量子井戸のように複雑な歪多層構造に対しては、これを等価な InGaN 単層膜と見なすことによって、図 2 のように実験結果をよく説明できることを明らかにした。
3. 上記のような計算手法を、より複雑な歪多層構造である LD 構造にも拡張し、その設計と作製を行った。その結果、 $(11\bar{2}2)$  GaN 基板上への LD 構造のコヒーレント成長に成功した。さらに、これにデバイス加工を施し、図 3 に示すように、電流注入による緑色 (波長 540 nm) の自然放出光を得た。
4. 窒化物半導体 LD では、長波長ほど光閉じ込めが弱くなるため、これを解決すべく新規光閉じ込め構造を提案した。1 つは InGaN/AlGaIn 応力補償超格子クラッドであり、急峻なヘテロ界面を有し、クラッド層として十分な厚さの超格子の作製に成功した。もう 1 つはボイド (空隙) をクラッド層として利用するもので、ストライプ溝加工を施した GaN 基板上に成長を行うことで、ボイド上に LD 構造を作製することができた。

以上の結果により、本研究では高品質な非極性面 LD の設計手法を確立することができた。これは、今後の窒化物半導体 LD のさらなる発振波長領域拡大や高性能化に大きく貢献するものと期待される。

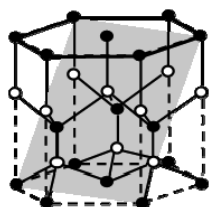


図 1: 半極性  $\{11\bar{2}2\}$  面の模式図

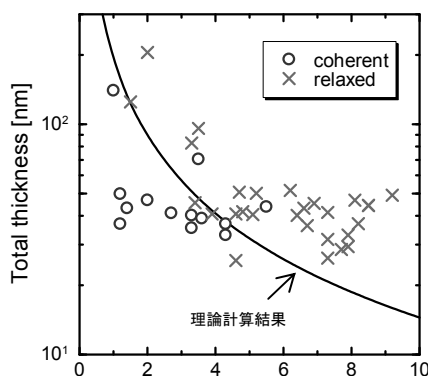


図 2: 半極性  $(11\bar{2}2)$ InGaN/GaN 多重量子井戸の臨界膜厚

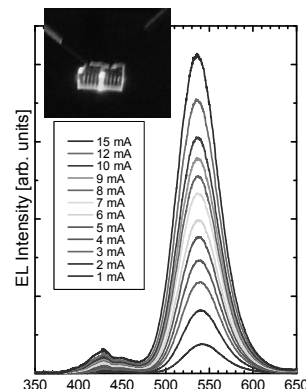


図 3: 半極性  $(11\bar{2}2)$ GaN 基板上緑色 LD の発光スペクトルと発光像

大 音 隆 男 (川上教授)

「Emission Mechanisms in Al-rich AlGa<sub>N</sub> Quantum Wells toward Deep Ultraviolet Light Emitters by Electron Beam Pumping」

(電子線励起深紫外発光素子に向けた高 Al 組成 AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の発光機構に関する研究)

平成 26 年 3 月 24 日授与

深紫外光は水銀ランプやエキシマレーザの開発によって、多くの分野で応用がなされ、社会を支える重要な光となっている。近年、ランプ系の光源から有毒な物質を使わない環境にやさしい窒化物半導体 AlGa<sub>N</sub> を用いた固体光源への置き換えが望まれている。しかしながら、高効率な発光素子の実現に向けて重要な構造である AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の発光機構も未解明であることが数多く存在する。また、高いホール密度を有する高 Al 組成 p 型 AlGa<sub>N</sub> の作製が原理的に困難であることから、AlGa<sub>N</sub> 系の発光ダイオード (LED) の外部量子効率は 10% 以下と非常に小さい。本研究では、高 Al 組成 AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の発光機構を解明し、発光デバイスの高効率化に寄与するための知見を得ることを目指した。また、LED の高効率化を律速している p 型の問題を回避し、高効率な深紫外固体光源の実現に向けて、AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の電子線励起を用いた発光デバイスを提案し、その有用性を実証した。

まず、弱励起条件下における高 Al 組成 AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の発光機構を解明するために、Xe<sub>2</sub>\* エキシマランプを用いた弱励起 PL 測定系を提案・構築した。また、CL 測定によって微小領域からの発光を観測・評価することで、発光機構を調べた。その結果、AlGa<sub>N</sub> 量子井戸において、二つの局在深さの異なる局在準位に基づいた発光機構を明らかにした。さらに、井戸幅の薄い量子井戸では、室温付近で励起子の深い局在準位への流れ込みが顕在化しており、局地的に明るく発光する様子を観測した。

次に、高 Al 組成 AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の光学利得特性を励起長可変法によって調査した。表面 PL に比べて半値幅が大幅に減少し、励起長の増加に伴って PL 強度が指数関数的に増加することから、増幅された自然放出光 (ASE) の観測に成功した。また、光学利得の消費による ASE の飽和現象に伴って、ピークエネルギーが低エネルギー側に移動することを解明した。また、光学利得の井戸幅依存性の測定によって、最大 140cm<sup>-1</sup> のモード利得を達成した。図 1 に示したように、Al 組成が約 80% 以上で、TE モードから TM モードへの利得偏光スイッチングが生じることを初めて実験的に検証した。

最後に、再吸収を抑制し、高い内部量子効率が得られ、偏光特性の観点から光取り出し効率の向上を見込める AlGa<sub>N</sub> 量子井戸構造の電子線励起を提案し、評価を行った。Al 組成 69%, 井戸幅 1 nm の量子井戸において、モンテカルロシミュレーションにより最適な加速電圧を見積もり、最大光出力 100 mW を達成した (図 2)。得られた結果は、深紫外発光デバイスにおいて、電子線励起が主な励起手法になることを示唆している。

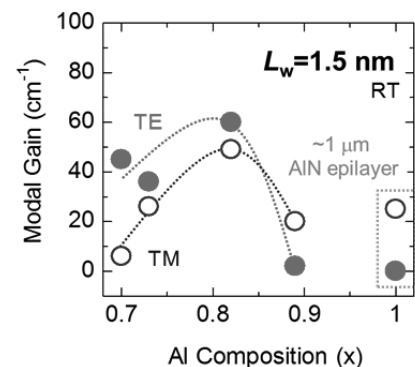


図 1 : AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の光学利得の偏光依存性

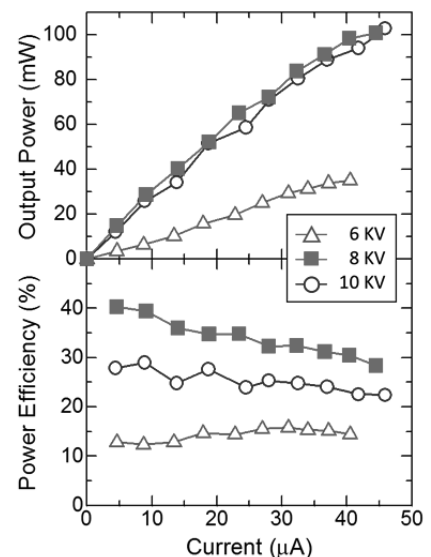


図 2 : 電子線励起した AlGa<sub>N</sub> 量子井戸の光出力とパワー効率。

Lee Yoonsik (野田教授)

「Hybrid photonic systems consisting of dielectric photonic crystals and plasmonic meta-atoms for nanoscale light manipulation」

平成 26 年 3 月 24 日授与

This dissertation is a summary of the research results of hybrid photonic systems for achieving nanoscale photonic functionality. Here, we proposed a compact and functional photonic system by constructing hybrid photonic platform based on a dielectric photonic-crystal (PC) nanocavity and metallic meta-atoms. Specifically, we used local interactions between the nanocavity and meta-atoms that allow the excitation of not only electric but also magnetic resonance, which can extend current capabilities of photon manipulation techniques with a large degree of freedom.

The key results that we obtained are as follows: First, we designed a hybrid photonic platform which has an intermediate layer (low refractive index material such as SiO<sub>2</sub>) between Si-based PC cavity and meta-atoms, and obtained manageable interaction strength by resonance matching.

Second, we investigated cavity meta-atom response as shown in figure 1. Important interaction features are achieved here as a function of position with respect to meta-atom's resonance type. By observing cavity quality (Q) factors in composite systems, sub-wavelength scale interaction localities were observed.

Third, we devised a new photon manipulation method based on cavity meta-atom response and experimentally demonstrated ability of nanoscale polarization controls such as left-hand/right-hand circular polarization from nanocavity as shown in figure 2.

We expect this approach can be applicable to any type of cavity modes and also can extend to photonic band edge modes in photonic slab structures for the versatile applications such as optical sensing, laser beam patterns in THz or even visual range keeping a selective locality for each meta-atom.

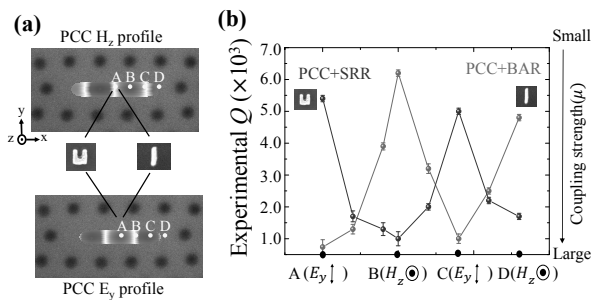


Figure 1. (a) Geometric configuration of PC cavity meta-atom system. Overlaid filled profiles indicate electric/ magnetic mode of PC cavity. (b) Experimental Q-factors as a function of meta-atom position and type

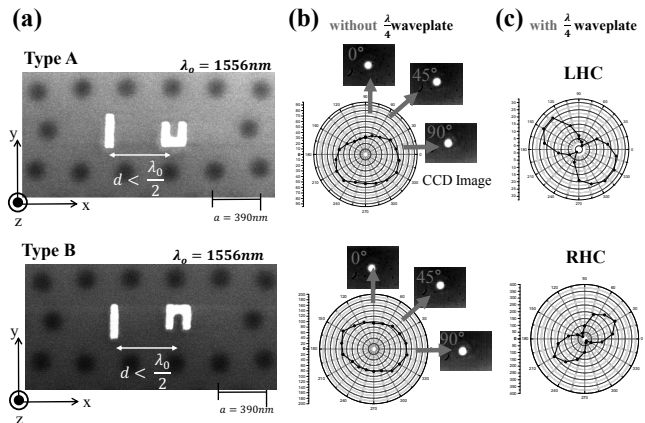


Figure 2. (a) Fabricated samples for each type A, B. Each meta-atom is located at electric/magnetic anti-node position, and type A and B has mirror symmetry. (b) Observed polar-intensity diagram without quarter-wave plate. (c) with quarter-wave plate

中 村 達 也 (野田教授)  
 「量子ドット-フォトニック結晶ナノ共振器結合系の発光制御」  
 平成 26 年 3 月 24 日授与

本論文は、半導体中に形成される単一光子光源である量子ドットからの単一光子放出現象を、光子モードを変調可能な2次元フォトニック結晶共振器内に量子ドットを埋め込むことにより制御可能であることを提案・実証した結果をまとめたものである。本論文において、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 量子ドットとフォトニック結晶共振器の光子モードを強く相互作用させるためには、フォトニック結晶共振器の Q 値が高いこと、およびモード体積が小さいことが要求される。従来、共振器の構造を改良して高 Q 値を達成する方法では、モード体積が増大する傾向があったが、本論文では、共振器の性能劣化に寄与する部分構造を可視化して共振器形状を少しずつ変化させることで、モード体積の増大を抑制しつつ Q 値を増大可能であることを示した。
2. フォトニック結晶スラブの実効屈折率を安定的かつ局所的に制御することのできる窒素堆積剥離法を考案し、共振器 Q 値を変調可能なフォトニック結晶共振器-導波路-反射鏡集積系 (図1) に適用することで共振器 Q 値を外部から変調可能であることを実験的に実証した (図2)。
3. フォトニック結晶共振器と量子ドットが強く結合している状態において、共振器の Q 値を変調することによって、量子ドットからの発光レートが大きく変化することを実験的に示した (図3)。

以上の成果は、固体集積共振器発光体結合デバイスにおいて、単一光子レベルでの究極的な発光制御が可能であることを実証したものであり、光子の量子性を用いた次世代光デバイスの発展に大きく貢献するものと期待される。

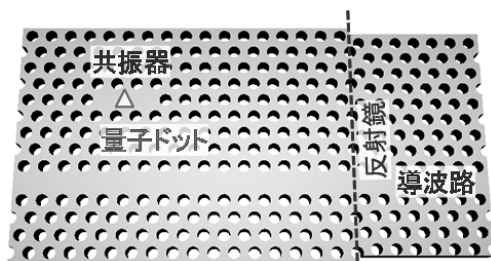


図 1. 量子ドットを内包する 2 次元フォトニック結晶共振器 - 導波路 - 反射鏡集積系.

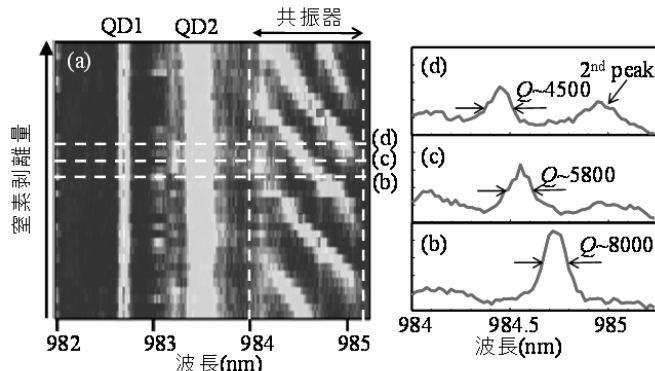


図 2. 窒素剥離による共振器状態の制御.

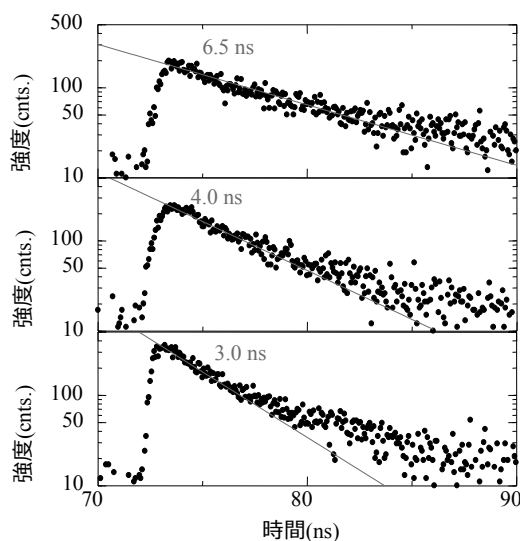


図 3. 同一試料の異なる共振器状態における発光レートの変化.

梁 永 (LIANG YONG) (野田教授)  
「フォトニック結晶面発光レーザの3次元結合波理論の構築」  
平成26年3月24日授与

本論文は、基礎・応用両面において大きな注目を集めているフォトニック結晶レーザの共振状態および動作特性を、定量的に解析する理論を構築し、体系化したものである。フォトニック結晶レーザは、フォトニック結晶という2次元周期構造の設計により、大面積・高出力化や、デバイス単体でのビーム射出方向制御など、従来の半導体レーザでは実現しえない、新たな機能を得ることができる。しかしながら、このような優れた機能を与えるフォトニック結晶構造の設計は、これまで3次元FDTD法などの大型計算機を用いた数値シミュレーションに頼っていた。その結果、計算量が数週間と膨大になるため、現実の素子構造（サイズ）への適用が困難であった。本論文では、上記の課題に対して、大型計算機を一切使わず、通常の計算機を用いても短時間で、実際の素子構造に対して信頼性の高い解析が可能な3次元結合波理論の構築に成功している。以下、本論文において得られた主な成果について述べる。

1. 正方格子フォトニック結晶における光の共振状態を形成する主な波数成分である4つの光波に加え、より高次の波数成分を多数含めることが、現実的なデバイス動作を説明する上で、有効であることを見出した。さらに、面垂直方向のデバイス構造にも着目し、光波の結合が垂直方向の電界分布に強く依存することを明らかにした。これらの効果を考慮し、光波の結合を解析的に取り扱う3次元結合波方程式を導出し、通常の計算機を用いてわずか1秒で一つの結晶構造（無限周期）に対する高速かつ精度の高い解析が実現できることを示した（図1(a)）。
2. 現実のデバイスにおける共振モードの包絡線分布や境界条件を考慮し、3次元結合波方程式理論を有限周期構造へと拡張した。実デバイスの動作特性解析を行ったところ、これまで報告された実験結果をよく再現できた（図1(b)）。また、素子サイズ（周期数）を大きくするに従って、発振するバンド端モードが入れ替わり、さらに高次の包絡分布をもつ高次のモードによるモード競合が起こり得ることを初めて見出した。
3. 任意の結晶構造を含めた体系的な設計が可能とする理論へと発展させた。具体的には、面内方向には正方格子、三角格子、面心長方格子を含む2次元共振状態が形成可能な全ての格子配列、面垂直方向には傾斜した側壁をもつ孔形状をも取り扱える一般化した3次元結合波方程式を導出した。また、実験と数値計算との比較により、拡張した理論モデルの計算精度と妥当性を確認した。さらに、電流の注入時の屈折率変化やゲインの変化などを結合波モデル中に取り入れ、レーザ発振閾値以外の解析にも展開している。

以上の成果は、フォトニック結晶レーザの極めて有力な解析法を確立し、その理論基盤を築いたものであり、フォトニック結晶レーザ研究の進展に大いに貢献すると期待できる。

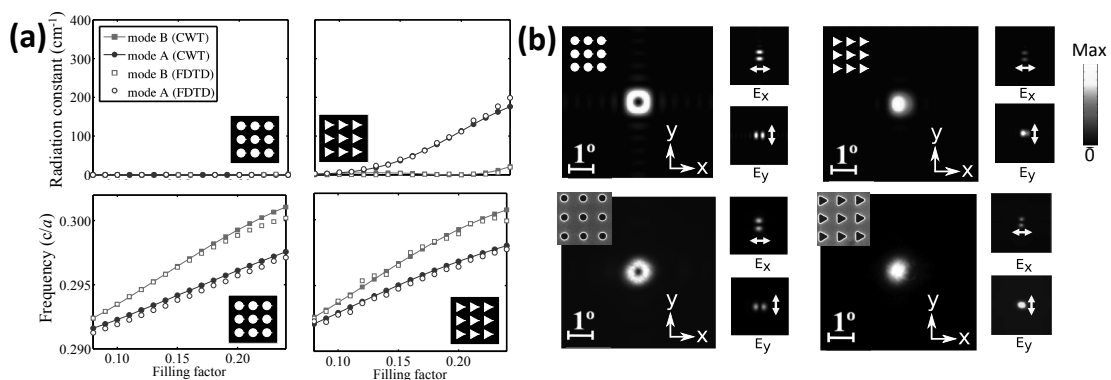


図1：3次元結合波理論による解析例 (a) 計算した共振周波数及び放射係数と3次元FDTD法による数値計算の結果との比較 (b) 計算したビームパターン（上部）と実験結果（下部）の比較

萩行正嗣 (黒橋教授)

「Studies on Annotated Diverse Corpus Construction and Zero Reference Resolution in Japanese」

(日本語の多様な文書からなるタグ付きコーパスの構築及びゼロ照応解析に関する研究)

平成 26 年 3 月 24 日授与

近年、Web の広まりとともに情報検索や機械翻訳などの自然言語処理アプリケーションが広く利用されるようになってきたが、その精度向上には基礎的な自然言語処理解析の精度向上が不可欠である。その基礎的な自然言語処理解析の中の一つにゼロ照応解析がある。ゼロ照応とは用言の項が省略される現象である。例えば「(Φ1ガ) パスタが好きで、(Φ2ガ) (Φ3ヲ) 毎日食べています。」という文では、「誰が」パスタが好きで、「誰が」「何を」毎日食べているのか、という情報は明示的には書かれていない。しかし、実際には、Φ1およびΦ2はこの文の著者であり、Φ3は前方で言及された「パスタ」である。ゼロ照応解析は、このような省略された項を推定する処理である。特に日本語においては、ゼロ照応が頻出するため、ゼロ照応解析は日本語の意味解析において必須的な技術の一つであると言える。

従来のゼロ照応解析の研究は主に新聞記事を対象としてきたが、本論文では Web 文書をその対象としている。本論文では、これらの違いとして、文書の著者・読者に着目している。新聞記事では、著者は新聞記者に、読者は購読者に限られており、事件などを報道すること目的のため、著者や読者が話題中に登場することはほとんどない。一方、Web 文書は様々な著者によって様々な読者に向けて書かれており、その内容も blog や通販サイトなどを中心に、著者や読者が話題中に出現することが多い。著者や読者は、省略されやすい、敬語表現などがゼロ照応解析の手掛かりになるといった特徴を持つため、ゼロ照応解析において著者や読者を特別に扱うことは重要である。著者や読者は、上述の例における文書の著者のように明示的に言及する表現が存在しない、外界ゼロ照応として出現する。従来のゼロ照応解析研究の多くは外界ゼロ照応を扱ってこなかったが、著者・読者を扱うには、この外界ゼロ照応を扱うことは必要不可欠であると言える。

本論文では、まず、Web 文書からのタグ付きコーパスの構築について論じている。タグ付けにあたり、著者・読者に関するタグ付けの問題を分析している。一つ目の問題は「私」「我々」「あなた」などの文書の著者や読者について言及する表現の存在である。本論文では、そのような表現を著者・読者表現として定義し、タグ付け基準を整理した。二つ目の問題は、著者・読者が談話構造に出現することで、著者、読者および不特定の人のいずれか複数とも解釈できるようになる項である。本論文では、このような表現を分析し、タグ付けの基準を設定した。そして、1,000 文書からなる Web コーパスを構築し、ゼロ照応関係を含む、様々な意味関係の付与を行った。

そして、本論文では、外界ゼロ照応および著者・読者表現を考慮したゼロ照応解析モデルの提案している。提案手法では、初めに語彙統語パターンを利用して著者・読者表現の自動推定を行う。その後、述語項構造解析の一部として、ゼロ照応解析を行う。この際、外界ゼロ照応に対応する仮想的な談話要素を考慮することで、外界ゼロ照応を扱っている。提案モデルでは、外界ゼロ照応や著者・読者表現を扱わない手法に比べて高い精度を達成している。

ゼロ照応解析は、表層には現れていない現象を扱うという点において、意味解析の一種といえる。今後は、さらに意味解析の技術が発展し、計算機による言語理解が一層進むことが期待される。

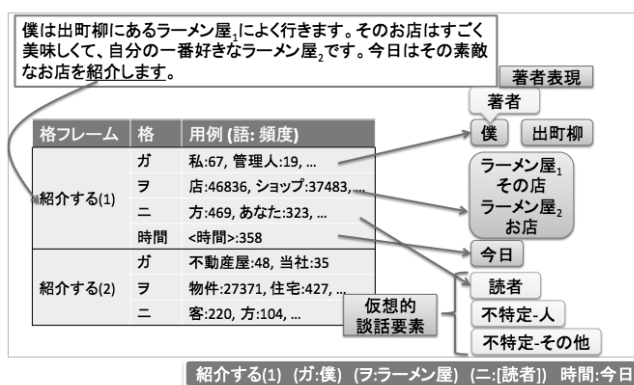


図 1 提案手法によるゼロ照応解析



古 田 潤 (小野寺教授)

「集積回路におけるシングルイベント効果の評価とソフトエラー耐性向上手法の提案」

平成 26 年 3 月 24 日授与

集積回路の微細加工技術により、シングルイベント効果起因のソフトエラーに対する懸念が高まっている。シングルイベント効果は放射線によって生じ、トランジスタの出力を一時的に反転させる。集積回路の微細化に伴いソフトエラーの発生率は増加しており、シングルイベント効果によって複数のトランジスタの出力が反転する多ビットエラー(MCU)の割合も増加している。本論文は回路シミュレーションと中性子線照射による加速試験を用いてシングルイベント効果の特性評価を行い、評価結果を基にしてソフトエラー耐性を向上させる回路設計手法を提案したものである。

回路シミュレーションと加速試験を用いたシングルイベント効果の特性評価では、MCU の原因である寄生バイポーラ効果に着目した。回路シミュレーションによる評価では、放射線による基板電位の変動を回路モデルに組み込むことで、複数のトランジスタへのシングルイベント効果の影響を評価した。また、図 1 に示すチップを 65nm プロセスを用いて試作し、シングルイベント効果を加速試験により実測評価した。実測と回路シミュレーションを用いて評価した MCU 発生割合のラッチ間距離依存性を図 2 に示す。多ビットエラーの割合はラッチ間距離に対して指数で減少することを明らかにした。実測における MCU 発生率は最大で 23% と高く、ソフトエラー耐性回路である多重化回路では MCU の対策が不可欠であることを示した。さらに寄生バイポーラ効果は MCU の発生だけでなく、単一ビットエラーである SEU や論理回路で生じる一過性のパルス (SET) のパルス幅にも影響することを明らかにした。

次にシングルイベント効果の評価結果を基にソフトエラー耐性を向上させる手法を提案した。既存のソフトエラー耐性フリップフロップでは一部のトランジスタで SET が生じた場合にエラーとなりやすく、高速動作時にエラー率が增加する問題があった。また MCU を考慮した設計もなされておらず、ソフトエラー耐性が微細化により低下する。本論文では既存回路のソフトエラーに弱い部分の構造を修正することで、高速動作時にもエラー耐性が低下しない回路を提案した。同時にシングルイベント効果の特性を考慮したソフトエラー耐性回路の配置手法の検討を行い、ソフトエラー耐性工場手法を提案した。提案手法を用いて回路を設計し、提案手法のソフトエラー耐性を実測した。その結果、従来回路よりもソフトエラー耐性が高く、通常のフリップフロップの 100 倍以上のソフトエラー耐性を持つことを確認した。また提案回路では高速動作時にもソフトエラー耐性が低下しないことを動作周波数に対するソフトエラー率の変化を測定することで示した。

以上の研究により微細化によって増加しているソフトエラーを回路設計によって削減する方法を示し、LSI の信頼性向上に貢献した。

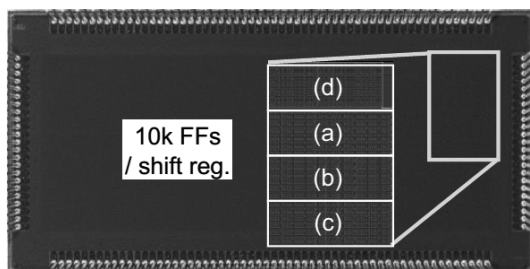


図 1 65nm プロセスを用いて設計したチップ

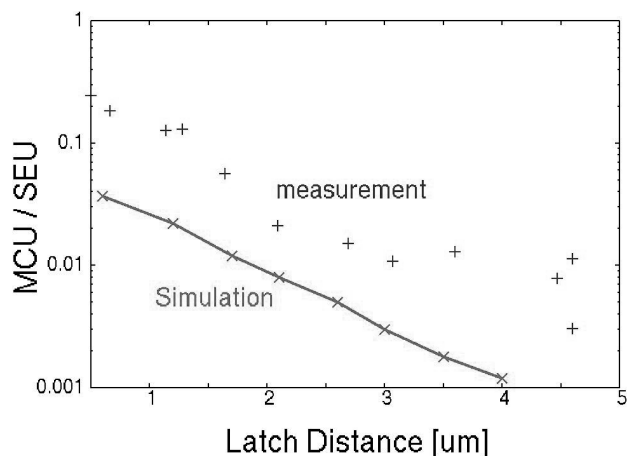


図 2 MCU/SEU のラッチ間距離依存性

ZANG Linge (水内教授)

[Study on Edge Fluctuation of Supersonic Molecular-Beam Fueled Plasmas Using Langmuir probes and Fast Cameras in Heliotron J]

(超音速分子ビーム入射時の周辺プラズマにおけるフィラメント状構造の高速カメラによる動的観測)

平成 26 年 3 月 24 日授与

Edge fluctuations in a supersonic molecular-beam injection (SMBI) fueled plasma in Heliotron J have been studied using a combination of an electrostatic probe array and a high speed frame-rate video camera.

The local plasma fluctuations and fluctuation induced particle transport before and after SMBI have been analyzed. In a short duration ( $\sim 4$ ms) just after SMBI, the low frequency broad-band density fluctuation increased, and its probability density function (PDF) changed from a nearly Gaussian to a positively skewed non-Gaussian one. This suggests intermittent structures were produced due to SMBI. Also the fluctuation induced particle transport was greatly enhanced during this short duration. After this short duration, the low frequency broad-band density fluctuation decreased, and the PDF return to a nearly Gaussian shape. Compared with normal gas puff fueling case, the degradation period of plasma stored energy  $W_p$  is very short due to the short pulse injection of SMBI. After this short degradation period, fluctuation induced particle transport was reduced and  $W_p$  started the climbing-up phase. This means the short effect period of gas injection to the edge fluctuation would be an advantage of this novel fueling technique.

In Heliotron J, a high speed frame-rate speed video camera viewing perpendicularly plasma captured filamentary structures along the field line in the edge plasma density fluctuations. The characteristic dynamics of such filamentary structure was revealed just after SMBI in the consecutive images. To overcome the line-integration effect of the camera observation, an electrostatic probe has been combined to get the radial span of the density fluctuation structures observed in camera images. With this technique, we have inferred that the outmost edge of a 20-30kHz density mode is at about 10°mm outside of LCFS. This suggests the combination of camera and Langmuir probe is a powerful tool for edge fluctuation study.

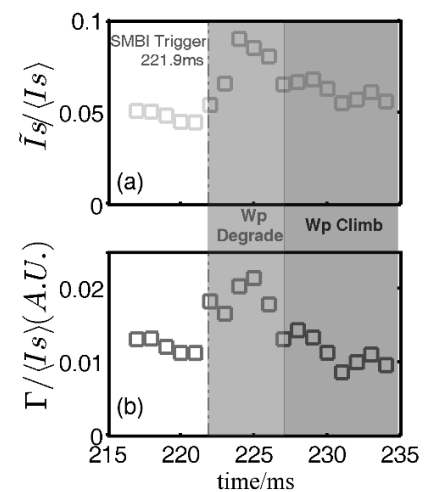


FIG. 1 Time trace of (a) density fluctuation intensity in edge plasma (b) fluctuation induced particle flux. The dot-dash line in magenta indicates the injection timing of SMBI.

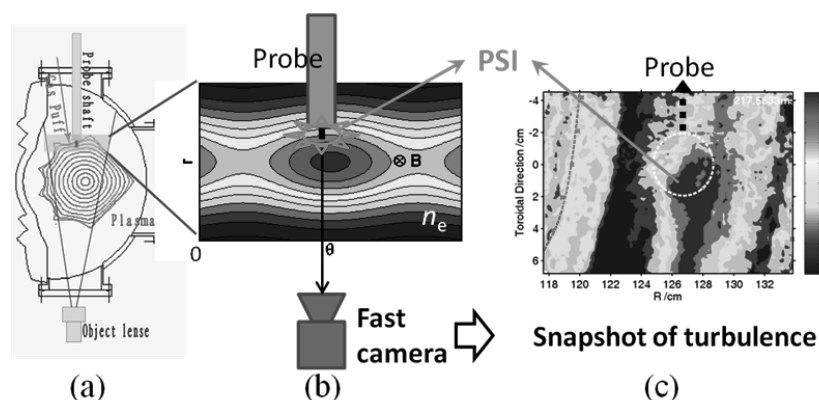


FIG. 2 Method for locating the turbulent structure in plasma (a) Experimental setup, (b) A model of plasma turbulence structure, and interactions between a probe and a plasma (PSI), (c) Snapshot of the experimentally observed density fluctuation structures.

中 田 陽 介 (北野教授)

「Investigation of artificial electromagnetic structures in terms of lattice symmetry and self-complementarity」

(格子の対称性と自己補対性の観点からの人工電磁構造体の研究)

平成 26 年 5 月 23 日授与

電磁波の伝搬を自在に操るために、メタマテリアルと呼ばれる人工構造体が大きな注目を集めている。通常の物質が原子から成るように、メタマテリアルはメタ原子と呼ばれる微小な構造体から構成される。メタ原子の構造を上手く設計することで、今まで自然界では実現不可能と考えられていた負の屈折媒質や、回折限界を越えた集光レンズ、透明マントなど、特異な性質を持つメタマテリアルが実現されてきた。しかしながら、いまだメタマテリアルの持つ可能性が十分に開拓されたわけではない。

メタマテリアルの応答は、その構造によって決定される。そこで、様々な対称性を持ったメタマテリアルを調べることによって、特異な応答を顕在化させることができると考えられる。本研究では、メタ原子が並べられた格子の対称性、および、金属・空隙の入れ替えに対する対称性に着目し、新たな性質を持つメタマテリアルの可能性を探求した。ここで、前者は幾何学的な対称性であり、後者は、構成要素の入れ替えに対する対称性である。以下に得られた結果の要約を示す。

### (1) メタマテリアル応用のための強束縛モデルの回路アナログの構築

格子状に配置されたメタ原子間の結合を利用したメタマテリアルにおける電磁伝播を調べるための回路モデルを構築し、特性を解析した。特に量子系と回路系のアナログをブラケット記法によって定式化した。さらに本アナログを用い、フラットバンドと呼ばれる全波数領域で平坦な分散関係を持つ周期回路網を構成した。

### (2) 金属カゴメ格子のフラットな共鳴バンドの観測

上記の理論で予言されたフラットバンドの存在を検証するため、金属カゴメ格子の電磁応答をテラヘルツ領域で測定した [ 図 1. (a) ]。この結果、フラットバンドに対応する共鳴反射バンドの観測に成功した [ 図 1. (b) ]。フラットバンドでは群速度が低下するため、波束の伝搬制御に応用できる。

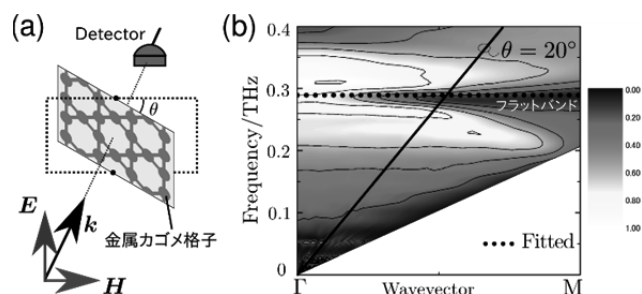


図 1 実験配置 (b) 金属カゴメ格子の透過スペクトル

### (3) 自己補対メタ表面の電磁応答の解明

薄い金属スクリーン(メタ表面)における金属部分と空隙部分を入れ替える操作は構造反転 [ 図 2. (a) ] と呼ばれる。本論文では構造反転を抵抗要素が存在する場合に拡張したインピーダンス反転操作のもとで不変な構造である自己補対メタ表面 [ 図 2. (b) ] の電磁応答を理論的に解析した。その結果、自己補対メタ表面が周波数無依存の特性を示すことを明らかにした。さらに、こうした周波数無依存応答をするためのいくつかの十分条件を示した。以上のように本研究によって自己補対メタ表面に関する基礎的性質を理論的に明らかにできた。今後、自己補対メタ表面の特性の実験的検証や広帯域メタマテリアルへの応用に期待がもたれる。

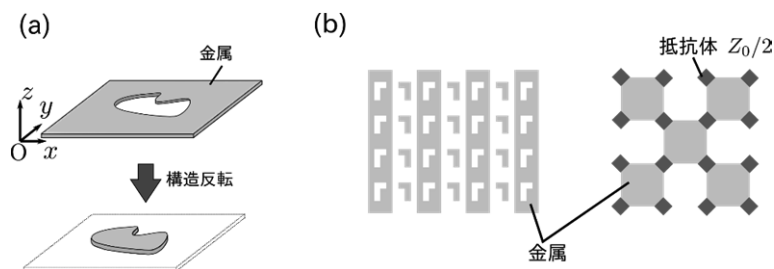


図 2 (a) 構造反転 (b) 自己補対メタ表面の例

後藤 功 雄 (黒橋教授)

「Word Reordering for Statistical Machine Translation via Modeling Structural Differences between Languages」

(統計的機械翻訳のための言語構造の違いのモデル化による語順推定)

平成 26 年 5 月 23 日授与

機械翻訳はグローバル化が進む現代においてニーズが増加している。近年中心的に研究されている機械翻訳は、大規模な対訳コーパスから翻訳知識を自動獲得して利用する統計的機械翻訳 (SMT) である。機械翻訳は主に「訳語選択」と「語順推定」という 2 種類の処理が必要である。語順が大きく異なる言語間の翻訳では長距離の語順並べ替えが必要であるが、従来の SMT 手法で利用しているフレーズレベルの局所的な情報では長距離の語順並べ替えを高精度に行うことは困難であった。図 1 に語順が大きく異なる言語である日本語と英語の対訳文の例を示す。これらの言語間では、長距離の並べ替えを含む複雑な並べ替えが必要であることが分かる。

入力文から目的言語の構造 (syntax) に従った語順を推定するには、原言語と目的言語の構造の違いに対するモデルが有用である。世界には多くの言語があるが、ほとんどの言語では高性能な構文解析器がない。また、目的言語で構文解析器が使える翻訳のニーズが大きい。そこで、本論文は、構文解析器を必要としない場合および目的言語の構文解析器を利用する場合において、言語構造の違いを既存手法より適切にモデル化することで、SMT における語順推定を改善する手法を提案した。構文解析器を必要としない SMT の語順推定モデルのモデル化手法として、単語列ラベリングに基づく手法を提案した。このモデルは、入力文の翻訳過程において、最後に翻訳した位置と次に翻訳すべき位置候補の範囲をラベル系列で表現することで、動詞句や名詞句などの特徴を捉える。これによって、言語間の構造の違いを近似的にモデル化した。目的言語の構文解析器を利用する SMT の語順推定手法として、2 つの手法を提案した。1 つは構文解析を利用するポストオーダリング手法である。日英の構文構造の違いは大きく、言語間で同期がとれない部分が多いため、モデル化が難しい。それに対して、この提案手法では、目的言語の構造を原言語風の構造に変換した構造と変換前の構造との違いをモデル化することで、言語構造の違いのモデル化を容易にした。もう 1 つは目的言語の構文解析器を用いたプレオーダリング手法である。射影によって目的言語の構造となるべく同期がとれる原言語の構造を構築することにより、言語構造の違いのモデル化という課題を扱いやすくした。

語順の推定には言語構造が重要である。言語構造の同定の性能は改善の余地があるため、構造の同定の改善および構造の解析誤りに頑健な翻訳手法の開発が今後の課題である。

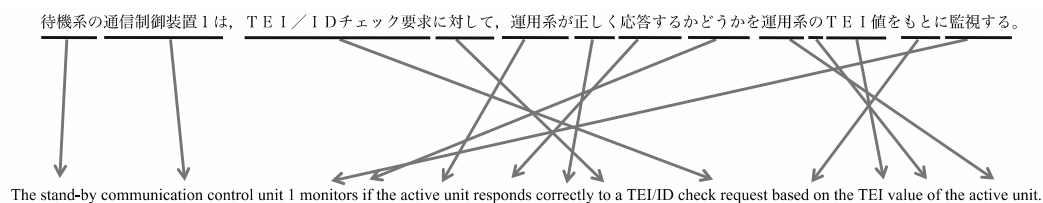


図 1 語順が大きく異なる言語間 (日英) の語順の違いの例

**Mirza Golam Kibria (村田准教授)**

**「Radio Resource Allocation Optimization for Cellular Wireless Networks」**

**(セルラワイヤレスネットワークにおける無線資源割当最適化)**

**平成 26 年 7 月 23 日授与**

In a typical multiuser cellular system, different users have different types of services requirements, which can be categorized into different classes, such as minimum target data-rate requirements, desired quality of services (QoS) etc. Furthermore, because of the scarcity of wireless bandwidth and transmitting power constraints, the resources need to be allocated judiciously among the users to optimize the system objectives while meeting the users service requirements under various constraints. Unfortunately, most of the times, the resource allocation optimization problems are not convex. To achieve the optimum system objective, we need to be reliant on the global optimal approaches, which are computationally very expensive, and are not applicable in practical communication systems operating under stringent time limit. Furthermore, In channel state information (CSI) feedback based downlink precoding systems, in order to optimize the CSI quantization efficiency, the feedback budgets of the users should be allocated optimally among the partitions and respective channel quality indicator (CQI) and channel direction indicator (CDI). This work focuses on the radio resources (feedback budget, spectrum, power) allocation optimization in cellular wireless networks.

First, we consider the feedback budget allocation optimization problem, we proposed an efficient heuristic approach quantifying the quantization mean-square-error measure (Q-MSE). For a given feedback budget per user, the optimal number of partitions and the corresponding CQI and CDI budgets are derived such that minimum Q-MSE is incurred. The applicability of our proposed optimization approach in frequency-selective channel scenarios and in the systems with users having diverse signal-to-noise is also discussed.

For the resource allocation optimization problem in multiuser orthogonal frequency division multiplexing (MU-OFDM) systems, we have considered several design objectives. An efficient suboptimal resource allocation technique based on sequential parametric convex approximation approach is proposed for a system aiming to optimize the weighted sum-rate under transmitting power constraints. A more simplified approach for the same resource allocation problem is also proposed, which is formulated as an optimization of an exponential function. Both of the proposed solutions are fast, computationally less-complex and provably convergent. We, then, consider the power minimization problem while meeting the users' QoS for a single cell system. In particular, we have proposed two efficient suboptimal solutions. The first proposed approach is based on Lagrange dual decomposition and, the second proposed solution is based on separating the subcarrier and power allocation. Simulation results reveal that the performances of the proposed solutions are very close to the optimal solution.

Finally, we study the resource allocation optimization problem that maximizes the sum-rate of a single cell MU-OFDM system under transmitting power constraint with proportional data rate fairness among the users. We adopt a two-stage optimization process and propose an efficient and low-complexity suboptimal solution that separates the subcarrier and power allocation. The simulation results show that the proposed solution has the best adherence to the desired proportional data rate fairness while achieving the maximum system throughput when compared to the other existing solutions.

石 群 (松山教授)

「Action History Volume for Spatiotemporal Editing of 3D Video in Multi-party Interaction Scenes」

(複数人物インタラクションシーンにおける Action History Volume を用いた 3次元ビデオの時空間編集)

平成 26 年 9 月 24 日授与

3次元ビデオは、3D テレビのように映像が飛び出して見えるステレオ映像、もしくはコンピュータグラフィックスで作成された人工的な 3D アニメーションではなく、自由に運動する対象の 3次元形状と動き、表面テクスチャを全周囲に渡って記録した完全な実写 3次元映像である。3次元ビデオの編集には、従来の 2次元映像に対する信号処理・画像処理的な編集だけでなく、撮影対象が持つ 3次元的な形状および運動情報を考慮した時間的・空間的編集を行わなくてはならない。また、被写体が振袖や袴のような複雑な衣服をまとっている場合には、撮影された 3次元ビデオから骨格構造を推定することが困難であるため、3D アニメーションで用いられる骨格構造に基づいた映像編集法を適用することはできない。本論文は、個別に撮影された人物アクションの 3次元ビデオを編集、合成し、複数人物によるインタラクションシーンを表す 3次元ビデオを生成するための時間的・空間的編集アルゴリズムについて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) 運動する対象の部位や視線がある時区間中に走査する 3次元空間を Action History Volume (AHV) と定義し、新たな身体運動の時間的・空間的表現法を考案した。

(2) AHV の表面領域が、その法線方向と身体の運動方向との関係から 3種類にラベル付けされること、様々なアクション編集操作は 3種類のラベルの可能な組み合わせである 6種類のアクションパターンのいずれかによって表現され、各アクションパターンは個別に撮影された 3次元ビデオの位置合わせ問題における制約条件として定式化されることを示した。

(3) 3次元ビデオとして撮影された被写体の視線が定義する AHV を得るために、自由に運動する人物の 3次元ビデオから視線方向を高精度に推定するアルゴリズムを考案した。

(4) AHV を用いた複数人物によるインタラクションシーンの編集アルゴリズムとして、①キー時区間・遷移時区間への分割、②キー時区間におけるアクションパターン制約を満たす解候補探索、③全時区間に渡る最適化という 3段階からなる手法を考案し、実写データにより有効性を示した。



図 1：3次元ビデオの時間的・空間的編集の例。上段：再生時間のみを調節した場合。下段：本手法により適切な動作タイミング・位置となるように時間的・空間的編集をした場合。両者を比べると、上段で生じていた不自然な部位間の空隙や交差が本手法によって適切な位置姿勢へと編集されていることがわかる。

布 房 夫 (守倉教授)

「Quality-of-Service Control Scheme for Wireless Local Area Networks」

(無線ローカルエリアネットワークにおける通信品質制御方式の研究)

平成 26 年 9 月 24 日授与

近年、携帯電話や無線 LAN (Local Area Network) の利用者が爆発的に増加し、無線通信は様々な場所で利用されている (図 1)。本論文では、構内系で利用される無線 LAN、およびその延長上にある M2M (Machine to Machine) 通信を研究の対象とする。無線通信では、有線通信と比べ、スループットが小さく、誤り率も高いという欠点があるが、MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) 方式や多値変調方式等の技術革新により、高機能化する無線端末の無線通信に対する要求を満足させつつある。しかし、まだ十分ではなく、限られた無線リソースを用いて高品質サービスを提供するためには、QoS (Quality of Service) 制御が重要である。また、要求される QoS の実現には MAC 層における無線リソース管理が不可欠である。図 2 に MAC 層通信プロトコル分類を示す。本研究では、それぞれの通信プロトコルにおいて、スループットや伝送遅延時間等のサービス品質を公平に配分、保証する QoS 制御について、従来技術の問題点を明らかにし、それらを解決する手法について検討した。本研究の成果は下記の通りである。

1. 集中制御型無線 LAN において一種類の帯域要求方式のみを用いた場合、伝送遅延時間が増大する。その解決のため、帯域要求方法 (ポーリング/ランダムアクセス) を動的に切り替え、最低帯域を保証しながら余剰帯域を平等分配する方法を提案し、伝送遅延時間を低減できることを示した。
2. ATM (Asynchronous Transfer Mode) を用いた集中制御型無線 LAN では無線の伝送遅延時間が大きい場合、無線端末の送信レートの安定制御が難しい。そこで、VD/VS (Virtual Destination/Virtual Source) 技術を用い送信レートを予測制御する方式を提案し、公平性が改善できることを示した。
3. 自律分散制御型無線 LAN の優先制御方式では各無線端末のスループットを定量的に保証することが難しい。本研究では ACK フレームに 1 ビットのフラグ情報を載せることで端末送信レートを制御する方法を提案し、端末毎にそれぞれのスループットを保証できることを示した。
4. M2M 通信システムでは、一つの無線基地局に非常に多くの端末を収容する。そのため、収容トラヒックが非常に大きく変動し伝送遅延時間の保証が難しい。この課題を解決するために、収容トラヒック量から無線アクセスパラメータの適正値を算出し端末の送信レートを制御する伝送遅延時間保証方法を提案し、優先端末の伝送遅延時間を収容トラヒックに依らずほぼ一定にできることを示した。

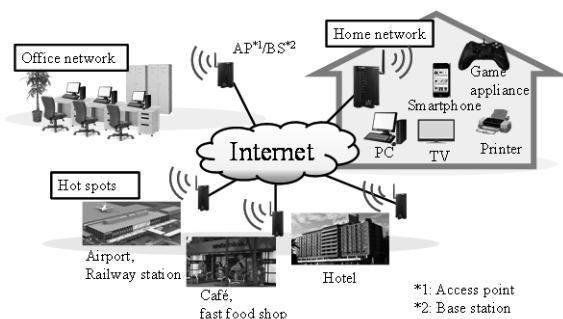


図 1 無線通信の利用

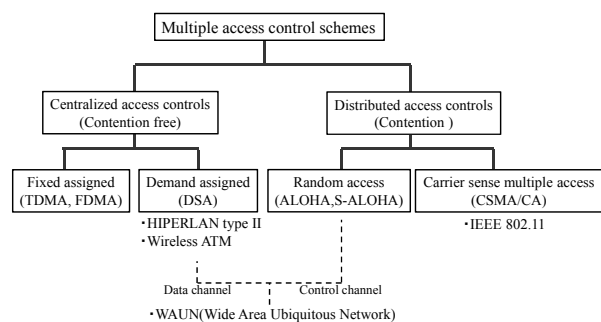


図 2 MAC 層通信プロトコル

新 谷 道 広 (佐藤高史教授)

「デバイス特性推定に基づく集積回路の適応型テストに関する研究」

平成 26 年 9 月 26 日授与

微細化の著しい進展により、同一寸法で設計されたトランジスタのしきい値電圧等の特性が素子ごとに異なる特性ばらつきが問題となっている。LSI は出荷前に、設計仕様どおりに製造されたことを確認するテストを行うが、近年、テストにかかるコストの増大とテスト品質の低下が強く懸念されている。特性ばらつきによる製品仕様からの外れが増加し、LSI の良否を判定する基準の設定が難しくなっているためである。本論文ではこの課題を解決するため、特性ばらつき推定に基づく適応型テスト手法を提案した。従来は、いかなるチップにおいても同じテストを行う固定的なテストが主流でありテスト品質、コストの面で非効率であった。提案する適応型テストでは、事前に特性ばらつきを推定し、これを元にチップ毎の回路性能を推定する。推定した回路性能に応じてチップ毎に最適な基準でテストを行えるようになるため、テスト品質の向上とテストコストの削減が見込める (図 1)。本論文では、特性推定に基づく適応型テストの適用例として適応的な IDDQ テストと動作周波数テストを示した。実験より LSI テストにおけるテスト品質の向上およびテストコストの削減が行えることを示し、その有用性を確認した。

まず、提案する適応型テストの基盤となる特性ばらつき推定手法を提案した。従来は、リングオシレータなど特性推定専用の回路を LSI に追加して特性ばらつき値を得ていた。これに対し提案手法では、量産テストで広く適用されている静止電源電流 (IDDQ) テストで得られる IDDQ シグネチャから特性ばらつき値を推定する手法を与え、推定用回路の追加を不要とした。本手法では、事前に計算した IDDQ 電流の統計的分布を元に、測定した IDDQ シグネチャからバイズ推定を行い、特性ばらつきを逆算する。この推定精度が適応型テストの効果を大きく左右するが、計算機実験より、しきい値電圧ばらつきを 5mV 精度で推定できることを示した。

次に、特性ばらつき推定結果を用いて、チップ毎に IDDQ テストの良否基準を決定する適応型 IDDQ テスト手法を提案した。特性ばらつきの増加によりチップの IDDQ 電流が大きく変動し、不良とばらつきによる電流増加の影響の区別が困難になっている。従来は全チップに同じ判定基準を使うため、テスト品質の低下が問題となっていた。本手法では、事前に特性ばらつき推定手法を用いてチップ毎の特性ばらつきを推定し、この結果をもとに、チップに故障が含まれない場合に期待される IDDQ の分布を推定してチップ毎の良否基準を得る (図 2 (a))。計算機実験により、提案手法が良品と不良品を高精度に分類でき、既存手法と比べてテスト品質を 14 倍改善できることを示した。

最後に、特性ばらつき推定結果を用いた適応型動作周波数テストを提案した。特性ばらつきによるトランジスタ性能の変動により、回路の動作周波数が製品規格を超えるパラメトリック故障が増加している。パラメトリック故障は特性ばらつきに起因して発生するため、チップ毎に発生傾向が異なる。従来の動作周波数テストは、特性ばらつきによらず、悲観的な最悪条件を想定した一律のテストを行うため非効率であった。提案手法では、推定された特性ばらつきを元に、チップ毎に悲観性を排除したテストを行うことで、テスト時間を削減する (図 2 (b))。テスト時間はテストコストに直結する。計算機実験にて、テスト品質を保持しつつ、テストコストの期待値を 96% 以上削減できることを示した。

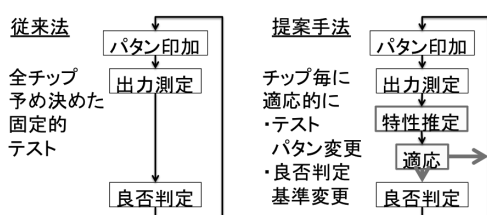


図 1: 従来法と提案手法の違い

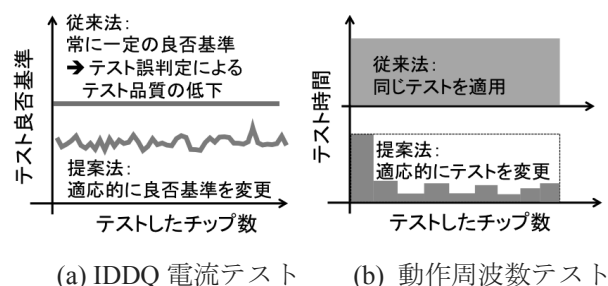


図 2: 提案する適応型テストの適用例