

宇高勝之 研究室

Katsuyuki UTAKA



研究室： 63号館7階05号室

大学院： 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻

研究分野： 機能フォトニクス研究

講義科目： 電磁気学
光エレクトロニクス
フォトニクス特論（大学院）

宇高研究室では、安全・安心で豊かな社会を基幹バックボーンとして支える次世代超高速フォトニックネットワークにおいてキーとなる超高速光スイッチングデバイス、超高密度波長多重デバイス、光機能センサーなどの光機能デバイス、光機能材料、そしてそれらのシステム応用の研究を行っています。具体的には、インターネットと高度光ファイバ伝送技術の融合のために重要な高速半導体光スイッチ、半導体光増幅器の非線形性を利用した光信号再生デバイス、種々の波長可変機能フィルタ、光加入者用の光機能レシーバなどです。高度なシミュレータを用いたデバイス設計・特性解析から、半導体結晶成長、半導体プロセス、ナノテクノロジーなどを駆使したデバイス作製、さらにシステム特性評価までを行っています。対象とする材料の面からは、化合物半導体のみならず、光デバイスとLSIの集積をも睨んだシリコンフォトニクス、超高速キャリア緩和が可能なカーボンナノチューブデバイス、ポリマーを用いた3次元光回路などの光機能材料、さらに表面プラズモンを用いた機能光ナノセンサーなどの研究を行い、前記の豊かな社会の構築に貢献できるフォトニクス技術を極めたいと考えています。

研究内容

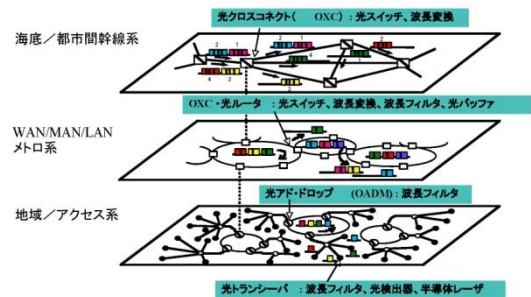
高速光スイッチング： 電流注入による屈折率変化を利用した、究極的な光インターネットを実現する光パケットスイッチングにも適用可能なナノ秒で応答する高性能半導体空間光スイッチの実現を目指して検討しています。キャリア閉じ込めに優れたInAlGaAs系により実際に-20dB以下の低クロストークや5ナノ秒以下の高速スイッチングを偏光無依存で実現しています。

超高速光信号再生デバイス： 半導体光増幅器の非線形性を用いた超高速光スイッチの設計指針について自作のシミュレータにより解析を行うと共に、回折格子付き結合導波路に導入にすることにより、長距離伝送により歪んだ超高速光波形の波形整形、増幅、そして従来大変困難であったジッタ補正も可能なデバイスの実現を目指しています。

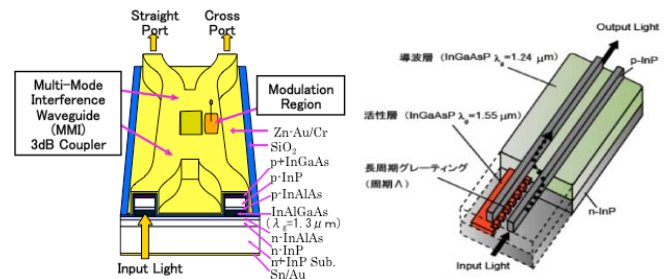
シリコンフォトニクス： LSIの動作速度向上の限界を打破すべく、光インターコネクションとLSIを集積したシリコンフォトニクスをも睨んで、まずはシリコン光プラットフォーム及びシリコン機能光デバイスの検討を行っています。ナノ作製技術を駆使したシリコン回折格子の作製とマイケルソン干渉計構造によるインターリーバスイッチを実現しています。

ポリマー機能光回路： 作製が容易で低コストでありながら機能性に優れたポリマーによる3次元光回路や大規模光スイッチについて、それらをインプリントという量産に向けた作製による実現を目指しています。

光機能材料と光デバイス検討： 高品質・位置制御量子ドットの実現を目指して、分子線エピタキシャル法を用いて検討を行っています。動作速度を制限するキャリア緩和応答が超高速なカーボンナノチューブによりフェムト秒超短パルス発光源を実現したり超高速光信号処理デバイスへの応用を検討しています。表面プラズモンを用いた機能光ナノセンサーの実現及び光センサーネットワークへの応用を検討しています。半導体光増幅器を用いた光信号識別用光論理回路の検討を行っています。



波長多重超高速フォトニックネットワーク



半導体高速光スイッチ

超高速光信号再生デバイス

参考書の紹介

「半導体レーザ」オーム社（伊賀編著）

「光情報ネットワーク」オーム社（菊池編著）

主な就職先：

NTT、KDDI、NTTドコモ、東京電力、日立製作所、東芝、松下電器産業、ソニー、キヤノン、ローム、トヨタ、ホンダ、野村総研、厚生労働省、東京メトロなど

川西 哲也研究室

Tetsuya KAWANISHI



研究室: 63号館7階15A号室
大学院: 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
研究分野: 光電波融合システム研究
講義科目: 電磁気学 マイクロ波フォニクス
光電波融合システム(大学院)

通信システムではどのような伝送媒体でどのような物理現象を使って情報を伝達させるかが全体としての性能向上の鍵となります。伝送容量の確保には光ファイバが、利便性向上には電波による無線伝送が適しています。自由にどこでも高速通信を実現するためにはこれらを組み合わせることが重要になります。電波と光は同じ電磁波の仲間であることはよく知られていますが、その周波数が大きく異なるため発生、検出の手段がそれぞれ別個に発展してきたという歴史があります。ファイバ通信でよく使われる光の周波数は200THz程度であるのに対して、携帯電話で使われる電波の周波数は2GHz程度で、その差はいまだに非常に大きいです。しかし、光を精密に制御する技術とより高い周波数の電波を扱う電子技術が発展してきており、数GHz～数100GHzの領域は光技術、電子技術のいずれも利用可能な帯域となってきています。研究室では電子技術と光技術のメリットを生かして、電波と光をシームレスに扱うためのデバイスやシステムに取り組んでいます。個々の要素技術の物理を理解しつつ、これらを適切に組み合わせるシステムをデザインしていくということが課題になります。また、センシングと通信の融合も新たなターゲットとしてとらえています。

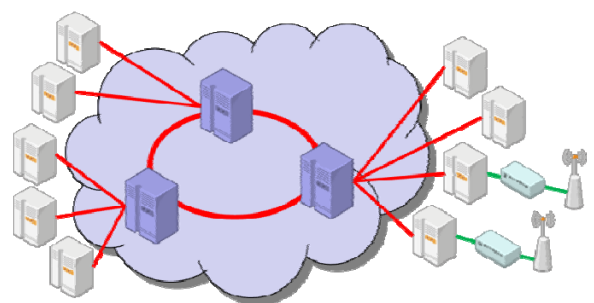
研究内容

ファイバ無線システム: 光ファイバ通信のほとんどは0と1の2つの符号を使うデジタル技術がベースとなっていますが、より多くの符号を使ってデータ伝送速度を向上させる技術(多値変調技術)の開発が進み、普及を始めています。さらに複雑な信号を送ることができれば、無線通信で使う電波の波形そのものを光ファイバで好きなところへ効率良く伝えることが出来ます。電波の周波数が高いほどより多くの情報を伝えることができるため、無線LANや携帯電話などではマイクロ波が使われています。さらに高い周波数であるミリ波の利用も広がりつつあります。このような高い周波数の信号を光ファイバで伝える「ファイバ無線システム」に関する研究をしています。

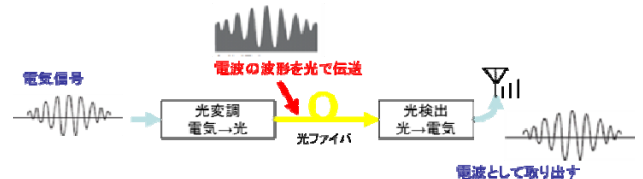
超高速光変調・光検出: 高速光通信システムやファイバ無線システムでは光信号と電気信号を効率よく変換するデバイスが非常に重要になります。電気信号から光信号を発生させる光変調と、光信号から電気信号を発生させる光検出のためのデバイスの研究を行っています。これまでにない機能、高い性能を実現するためには自らこれを評価する方法を開発する必要があります。センシングなどの通信以外の分野への応用も検討しています。

光・電波センシング技術: 光波と電波のメリットを組み合わせたセンシング技術の研究を行っています。ミリ波を光ファイバで配信することで広い範囲で高精度のイメージングを実現することができます。これは滑走路上の微小な異物や線路上の障害物を高速で検出するための高精度レーダーなどに応用可能な技術です。また、複数の波長を使い、効率よく特定の物質の量を測定するためのセンシング技術にも取り組んでいます。これは手軽な血糖値測定などへの応用が期待できるものです。

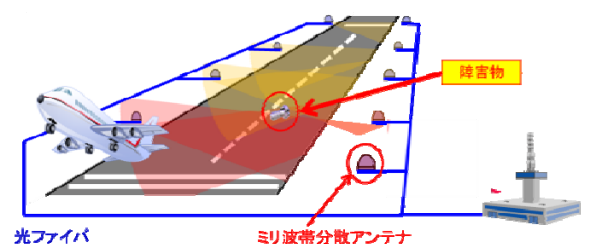
研究室では、光と電波、デジタルとアナログの境界領域に取り組みます。デバイスの仕組みを十分理解することと、これらの性質を生かした新しいシステムを提案していくことに重点を置きます。



光ファイバ通信と無線通信の融合



ファイバ無線システムの概念図



滑走路監視用レーダー技術への応用例

川原田 洋 研究室

Hiroshi KAWARADA



研究室: 63号館7階04号室
大学院: 先進理工学研究科
ナノ理工学専攻
基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
研究分野: ナノデバイス研究
講義科目: 回路理論 量子デバイス
ナノデバイス工学 (大学院)

現在、自動車や航空機の中身はエレクトロニクス素子が占め、この傾向は拡大しています。川原田研究室では、エレクトロニクスをこれまで不可能であった未知領域に展開するため、ダイヤモンドやカーボンナノチューブという新カーボン素材を利用し、超高速、ハイパワーのトランジスタ、高感度なナノ・バイオセンサー、超伝導素子の開発を行っています。その理由は、これらの物質は結合が強く、高い電界や高温に耐えられ、それでいて生体分子などの親和性が高いからです。超伝導性と半導体性を合わせもつ稀な素材でもあります。新型デバイスの探究により産業の芽を育てることも目指しています。将来の方向には、電気自動車のエネルギー制御に不可欠のハイパワー低消費電力トランジスタ、エンジン周辺での高温環境下で動作するデバイス、航空レーダーや通信技術の広領域化へのハイパワー超高速エレクトロニクスなどがあります。これらの新分野を現在注目される新カーボン素材で行なうところに研究のユニーク性があります。未知の分野の難しさもありますが、それが研究の醍醐味です。新たな物質と極限デバイスで未来を切り開きましょう。

研究内容

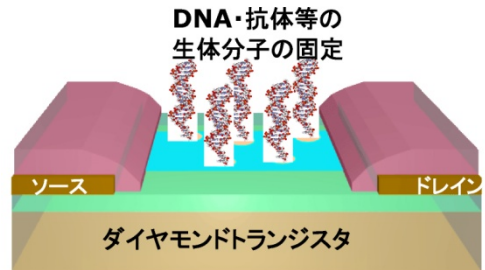
当研究室では、ダイヤモンドおよびカーボンナノチューブを気体（メタン）から合成し、これをナノメートルスケールで素子に加工し、高精度な素子測定を行います。一連のプロセスを全て学内で行いますが、これに必要な設備を完備しているのは世界の大学でも稀です。主に次の4つのグループで研究を進めています。

高速トランジスタグループ: ダイヤモンドの物質中最高熱伝導率と高い絶縁破壊電界を利用したハイパワー高周波トランジスタを開発中です。ゲート長100nm以下のトランジスタが作製され、50GHz以上で動作します。移動体通信の基地局や航空機用レーダーのパワーアンプ等の応用が期待されます。

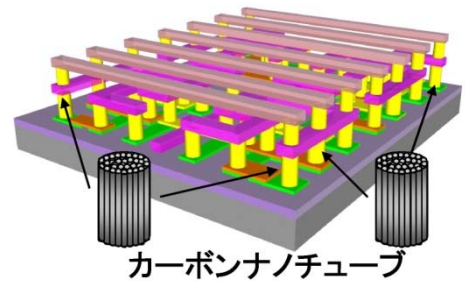
バイオセンサーグループ: 表面修飾性に富み、液体電解質中で安定な炭素系表面の特長を生かして、ダイヤモンド表面を利用した新型のDNA、RNAチップおよびプロテイン・マイクロアレイの開発を行っています。DNAおよびRNAの一塩基違いをトランジスタによる電荷検出では初めて再現性よく検出しました。

カーボンナノチューブグループ: 高密度プラズマから発生するラジカルの利用により単層、2層のナノチューブを低温で高密度に、しかも1cm近く成長させる技術を世界に先駆けて開発しています。ナノチューブの電気伝導性と安定性を利用し、ULSIやナノエレクトロニクスでの新しい配線技術を開拓しています。

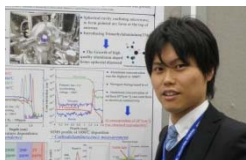
超伝導グループ: ダイヤモンドに高濃度のボロン（ホウ素）を導入して低抵抗の薄膜を形成し、薄膜ダイヤモンドとしては世界初の超伝導を発現しています。超伝導性と半導体性の共存により、新たなデバイスの開発が期待されます。



ダイヤモンドトランジスタによる生体分子検出



カーボンナノチューブによるULSI多層配線



超伝導現象の理解には高度な数学や物理が必要ですが、目の前で電気抵抗がゼロになった瞬間の喜びや感動は何物にも代え難いものがあります。

修士2年 粟原 慎一郎

主な就職先:

東芝、ソニー、松下電器産業、キヤノン、三菱重工業、日本放送協会、トヨタ自動車、本田技研工業、村田製作所、旭化成

木村 晋二 研究室

Shinjū KIMURA



研究室: 北九州N号館3階325号室
大学院: 情報生産システム研究科
情報生産システム専攻
基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
研究分野: 高位検証技術研究
講義科目: 計算機アーキテクチャ
システムLSIアーキテクチャ
(大学院)

木村研究室では、より性能の高いLSIを短時間で正しく設計するために、論理回路設計手法や論理関数処理手法をベースとして、最適な回路アーキテクチャの研究、LSIの設計を最適化する技術、LSIの設計の正しさを証明する設計検証の技術の研究を行っています。また、ハードウェアの再構成可能性を考慮した設計手法や、専用演算回路の設計手法からプロセッサの設計手法の研究も行っています。

現在、LSIの設計はレベルがどんどん高位化していますので、設計自体は人間にとってやりやすくなっていますが、実現可能なLSIの規模と設計可能なLSIのギャップが大きくなるという問題が発生し、また設計レベルと実際のLSIとの間が開いてきており、その間を最適につなぐ方式の研究が非常に重要になっています。また、性能も速度だけでなく、環境負荷の観点から消費電力も考える必要があるなど、最適化の項目は複雑化しています。本研究室では、実際のLSI設計を行いながら、設計手法の研究を行うというスタイルで研究を行っています。

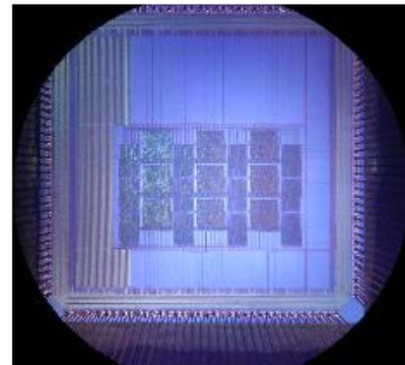
研究内容

当研究室では、設計メソドロジー、設計最適化、設計検証の3つのグループに分かれて研究を進めています。

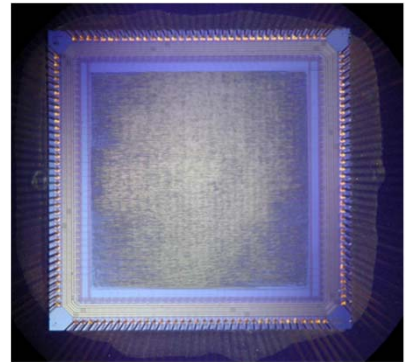
設計メソドロジー: 設計に関しては、これまでに Java プロセッサや音声認識回路、視線推定の回路、公開鍵暗号回路などの研究開発を行っています。また、演算器のアーキテクチャ、64ビットマルチスレッドプロセッサや再構成可能なハードウェアの研究を行っています。これらのハードウェアはFPGAとして実現すると同時に、東京大学の VDEC (VLSI Design Education Center) を通じて LSI として実現し、性能評価などを行っています。

設計最適化: 高位レベルのハードウェアの設計自動化を目指し、C 言語のプログラムからハードウェアを自動生成する手法および最適化手法の研究を行っています。C 言語から CDFG (Control Data Flow Graph) を生成し、その上で各種の処理を行うシステムの研究です。整数変数のビット長の自動推定手法、浮動小数点数の固定小数点数への自動変換と最適化を行っています。また、入力の遅延が異なる場合の加算回路の最適設計、パイプライン回路の自動生成や信号伝播のスキップ回路を用いた高速回路の自動生成の研究開発を行っています。

設計検証: 設計検証については、これまで二分決定グラフ (Binary Decision Diagram, BDD) や SAT (CNF 式の Satisfiability) などの論理関数処理に基づく形式的な証明手法の研究を行っています。設計の高位化に伴い、C 言語などで記述した機能とハードウェアの記述が等価かどうかの判定が重要な問題となっており、無評価関数と等価論理を用いた判定手法の研究を行っています。さらに正しい機能を指定する仕様記述の品質を判定する問題についても研究しています。



論理量み込み機構付再構成可能LSI



新公開鍵暗号LSI

オーム社のITテキストシリーズで、「システムLSI設計工学 (ISBN 978-4-274-20297-1)」を日本の設計技術分野の著名な先生方と一緒に執筆しました。ハードの設計、検証から組込みソフトまで幅広く扱っています。ぜひ手に取ってみて下さい。

主な就職先:

NEC エレクトロニクス、サムソン、シャープ、ソニーLSIデザイン、シスウェア

小山 泰正 研究室

Yasumasa KOYAMA



研究室： 63号館7階01号室

大学院： 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻
物理学及応用物理学専攻

研究分野： 固体物理研究

講義科目： 既約表現論 固体物理 統計力学
固体物理特論（大学院）

固体では、温度変化や時間の経過により相転移あるいは相変化が生じ、その結果として、対称性の破れた状態が出現します。具体的には、強誘電状態や超伝導状態をその代表例として挙げるすることができます。ここで興味深い特徴は、これらの状態には、しばしば階層性が存在し、階層によって対称性が異なるという状況を生じることです。このため固体には、我々の想像を越える奇妙な状態や現象が出現することになります。小山研究室では、これら対称性の破れた状態に興味を持ち、階層性と非平衡状態という視点から、その結晶学的特徴を透過型電子顕微鏡等の回折結晶学的な手法で調べるとともに、得られた実験結果について群の既約表現論を用いた理論的な解析を行っています。その結果、これまでにナノ強誘電分域の集合体の一つの大きな分域を形成した強誘電状態、軌道整列状態と軌道・電荷変調状態がナノスケールで分離した共存状態、さらには12角形原子コラムの作る格子状態や20面体原子クラスターのみから成る原子クラスター状態等の存在を見出しています。現在、小山研究室では、以下の4つのグループに分かれ、固体に現れる奇妙な状態の探査を行なっています。

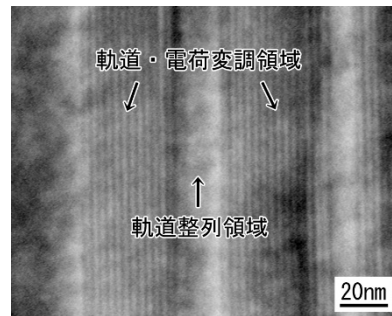
研究内容

強誘電体グループ： 混晶系強誘電体の物性相図には、モルホトロピック相境界と呼ばれる、温度軸にほぼ平行な相境界が存在します。強誘電体グループは、この相境界付近において局所的な対称性と平均の対称性が異なる強誘電状態の存在を見出し、現在その物理的起源の解明を目指して研究を行なっています。

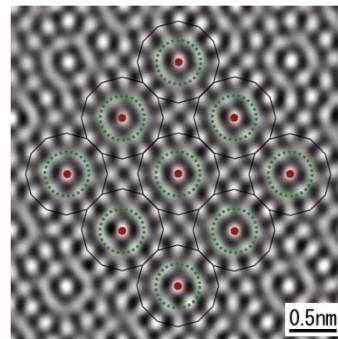
強相関電子系グループ： Mn^{3+} イオンを含むMn酸化物に注目し、 e_g 電子の軌道およびサイト占有に関して研究を行なっています。その結果、層状Mn酸化物ではMnサイトと単位胞の対称性が異なることにより、秩序度の異なる軌道整列状態が交互配列したバンド分域状態という新たな状態の出現を見出しています。

原子クラスターグループ： 金属間化合物の配位多面体構造に注目し、これら構造に存在する階層構造の対称性を、金属結晶中における共有結合性ボンドの形成という視点から研究しています。得られた成果は、擬10回対称性を有する無秩序原子コラム状態等の原子クラスター状態や12角形原子コラムから成る格子状態の発見です。

不可逆過程グループ： 拡散パスが制限された規則合金での相分離現象に関して研究を行なっています。これまでに、時間の経過により、単相から二相へ相分離した状態が、再び単相へと変化するという奇妙な現象を見出しています。



層状Mn酸化物における軌道整列状態と軌道・電荷変調状態の共存



合金に見られる12角形原子コラム格子



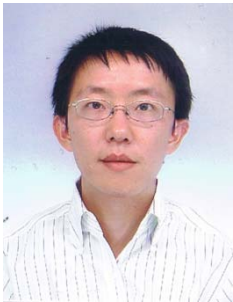
私たちは、透過型電子顕微鏡を使って実験を行っています。この装置を通して見ると、一見無秩序に見える自然も、秩序だった幾何学で満ち溢れていることを実感し、そのたびに大きな感動を覚えます。 修士1年一同

主な就職先：

東芝、ソニー、シャープ、キヤノン、JR東日本、JR東海、東京電力、トヨタ自動車、三菱重工業、新日鐵、JFEスチール、住友金属、村田製作所、京セラ、富士電機、YKK、ニコン、など

史又華研究室

Youhua SHI



研究室： 63号館7階18号室
大学院： 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻

研究分野： 集積システム研究

講義科目： 集積回路システム設計
システムLSIの設計とCAD (大学院)

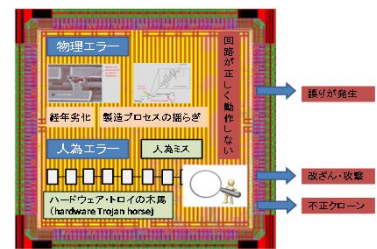
研究内容

これまで、半導体集積回路（LSI）の高性能化・低電力化は、微細化によって実現してきました。特に、21世紀に入り、デジタルデバイスの急速な発展により、mW、 μ Wでも利用できるようになりました。しかし、LSIの微細化は、トランジスタ等の特性ばらつきや漏れ（リーク）電流の増大といった本質的な課題に直面しており、微細化のみでの高集積化の同時に低電力化は難しくなっています。一方、近年IoT（internet-of-things）・ビッグデータ・人工知能（AI）など新たな技術が急速な進化しています。このようなIoT社会を実現するためには、超低消費電力集積回路設計技術、センシング技術、セキュリティ技術、情報通信ネットワーク技術、情報処理システムなど、多種多様な技術が必要とされています。

我々の研究は、「IoT社会を支える技術」に関連した情報通信の中心的役割を担う集積システム設計技術に関する研究を行っています。特に、超低消費電力集積回路設計技術、環境にやさしく自然エネルギー収集・利用技術（エネルギーハーベスティング回路設計技術）、及び安全・安心な情報処理技術（高信頼集積システム設計技術）等の研究を行っています。

高信頼集積システム設計：IoT社会の中心的役割を担う超大規模集積回路の信頼性・安全性はIoT社会の信頼性・安全性のコアとなります。しかし、半導体の微細化、大規模化、高機能化が進められてきたが、1) 半導体回路におけるばらつきや宇宙線によって引き起こされるソフトエラー等の物理エラー、と2) 回路の設計・製造における情報セキュリティを脅かす人為的攻撃等への解決は情報通信産業の急務となります。本研究は半導体集積回路の信頼性への脅威である「物理エラー」と「人為攻撃」に注目し、高信頼集積システム設計技術の研究を行っています。

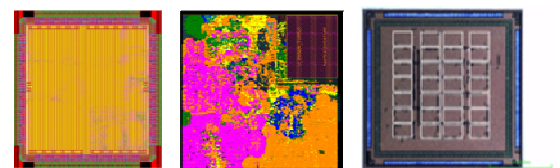
Key words：ソフトエラー、ばらつき、ハードウェアアトロイ、サイドチャネル攻撃



高信頼集積システム設計

専用アプリケーション回路設計：IoT・ビッグデータ・人工知能（AI）など新たな技術の急速な発展に伴い、社会ニーズに応じて専用アプリケーション回路の設計・開発を行っています。例えば、動画処理、信号処理、検索、機械学習、データマイニングなど用いられるアプリケーションは完全な精度の計算が必要とされない場面が多数あります。この性質を利用し、ある程度の計算誤差を想定、許容することにより、情報処理システムの電力効率を飛躍的に向上させる概算回路の研究・開発を行います。

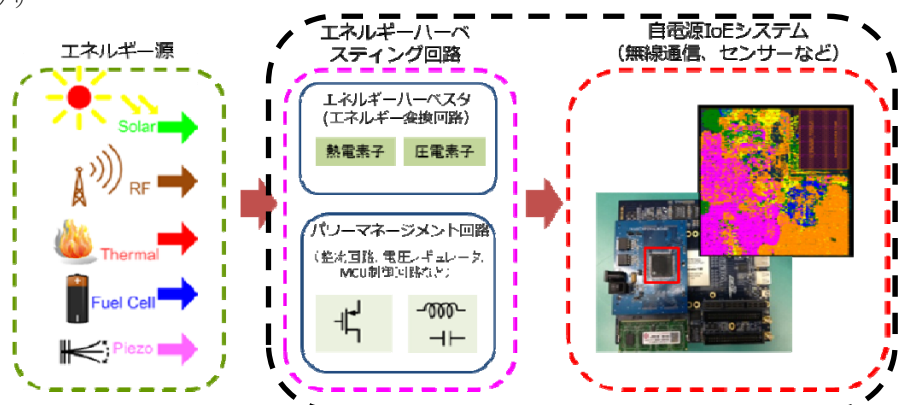
Key words：概算回路、画像処理、機械学習、プロセッサ



試作した専用アプリケーション集積回路

エネルギーハーベスティング回路設計：我々が無駄にしている身の回りの環境にさまざまな形態で存在するエネルギー（熱、振動、電波など）を収集し、電力に変換することが可能になれば、バッテリー不要のシステム的应用が増すと考えられます。本研究は、圧電デバイス、熱電デバイスを利用したIoTを実現する「低電力化」・「小型化」・「エネルギー供給の自立化」発電・センシング一体化システムの研究開発を行っています。

Key words：環境発電、電源回路、整流回路



発電・センシング一体化システム

庄子 習一 研究室

Shuichi SHOJI



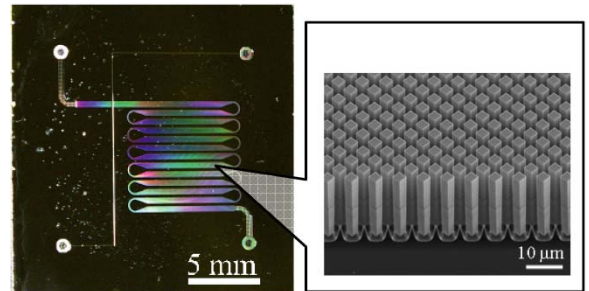
研究室: 63号館7階03号室
大学院: 先進理工学研究科
ナノ理工学専攻
基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
研究分野: マイクロシステム研究
講義科目: 電子回路 MEMS
ナノイテグレーションシステム (大学院)

我々の研究室はエレクトロニクス・集積回路は勿論、化学・バイオ・医療に役立つツール（道具）を小さくする研究を行っています。物を小さく作る技術としては、省エネルギーや低環境負荷を意識したマイクロテクノロジーあるいはトップダウンナノテクノロジーを開発し、それを応用しています。特に、化学、生化学の分野の実験に用いられているビーカー、フラスコ、試験管等の容積はミリリットル (10^{-3} l)、小型のものでもマイクロリットル (10^{-6} l) ですがこれをナノリットル (10^{-9} l)、ピコリットル (10^{-12} l) の容積で、しかもたくさんの同じ容器を大量に作る事が可能です。小さな容積の容器の中では化学反応がすばやく行われるため、これまでは考えられない速さでたくさんの化学反応を同時に行えることになり、薬品開発・創薬の分野で注目されています。同じ技術を用いて薬品を精度良く導入できるバルブを備えた小さな容器を作り、その中で細胞を培養することも可能になっています。また、特定の細胞を壊してその中に含まれる成分を分離・抽出し、観察・分析するマイクロシステムの開発に取り組んでいます。このシステムが実現すれば細胞の機能を分子レベルで解析する手法を提供することとなり、将来的には病気の原因究明に繋がると考えています。

研究内容

ライフィノベーションテクノロジー (LIT) グループ:

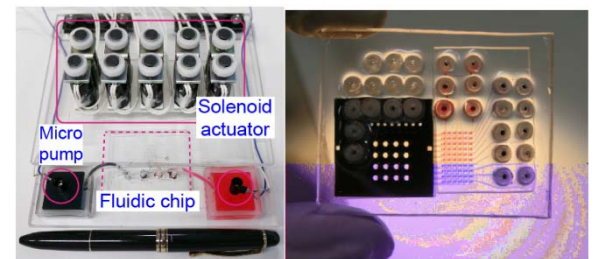
マイクロ・ナノ領域における流れの制御は、マイクロバイオチップ実現のための重要な要素技術の一つです。新しい三次元構造体形成技術の開発とその流体制御への応用により、機能性に富んだ流体制御素子の開発に取り組んでいます。現在、生命科学の主流は細胞内の分子機構を総合的に理解することであり、タンパク質の同定や機能解析を行うために精製困難な生体試料の分子やオルガネラを単離・精製する技術開発が非常に重要となっています。そこで生体試料をチップ内の微小流路に流して、顕微鏡下で検出・分離する技術を開発し、リンパ球、大腸菌、DNA、ナノ粒子の分離に成功しています。また、細胞分析をテーマとして細胞の様々な解析を行えるデバイスの開発を行っています。細胞の相互作用や異化作用を同定するために、局所的に試薬を効率よく導入できるシステムや大規模解析のためのマルチウェルアレイの開発を行っています。



タンパク質高速分離マイクロチップ

グリーンイノベーションテクノロジー (GIT) グループ:

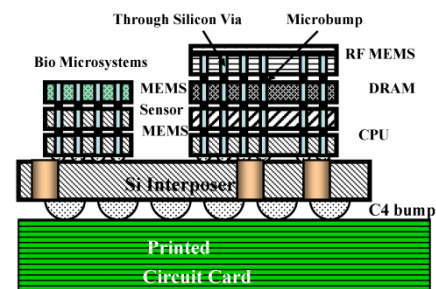
ナノインプリント技術（熱インプリント、UVインプリント）、ナノメッキ技術、及び樹脂の低温接合技術など、省エネルギー・低環境負荷の実現を目指した新しいナノ・マイクロ加工技術を研究しています。個々の研究はそれぞれ実際の応用を目的としており企業との共同研究も多くなっています。例えばバイオ・医療領域では高機能電気泳動チップ、血液分析チップなどのマイクロナノデバイスを開発しており、電子・光デバイス領域では磁気記録媒体用ナノドット、LED用ナノピラー、ナノ多層金属配線などを作製しています。また、次世代の集積回路として注目されている3次元積層集積回路の実現に向けた研究も行っています。



4x4マイクロチャンパーを持つマイクロ化学反応システム

主な就職先:

日立製作所、キャノン、トヨタ、ホンダ、東芝、NTTデータ、ソニー、アクセンチュア、三井物産、テルモ、など



3次元積層集積回路の概念図

谷井 孝至 研究室

Takashi TANII



研究室: 63号館7階13号室

大学院: 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻

先進理工学研究科
ナノ理工学専攻

研究分野: 分子ナノ工学研究

講義科目: 回路理論 分子エレクトロニクス
分子ナノ工学概論 (大学院)

高度情報化社会を支える大規模集積回路は、今日、ナノメートル (10^{-9} m) と
いった究極的に小さな精度で製造されるまでに至りました。そして、とうとう、
もうこれ以上微細化できないような物理的限界を迎えようとしています。この限
界を打破し、エレクトロニクス産業をさらに発展させていくためには、(1)新しい
材料との融合による性能向上、(2)微細加工技術の異分野への応用、(3)未開拓市
場の発掘など、エレクトロニクス技術を学際領域で展開することが求められます。

谷井研究室では、シリコン半導体の超微細加工技術を中心として上記の課題に
取り組みます。現在、物理化学、分子生物学、建築学との境界において共同研究
を立ち上げ、私たちの得意技である半導体微細加工を、分野を越えて役立てよう
としています。ナノテクノロジー研究所に設置された一連の微細加工装置を使い
こなし、ナノスケールの構造体を自在につくり上げて活用する能力を身につける
のと同時に、異分野の研究者たちとのぶつかり合いの中から新しい価値を生み出
そうとする意欲をもって研究を進めています。

研究内容

シリコン基板やガラス基板上にさまざまな形状のナノ構造体を形成し、ナノ構
造が発現する特有の機能を活用することに挑戦しています。共同研究を通して、
いろいろな分野への応用展開を図っています。

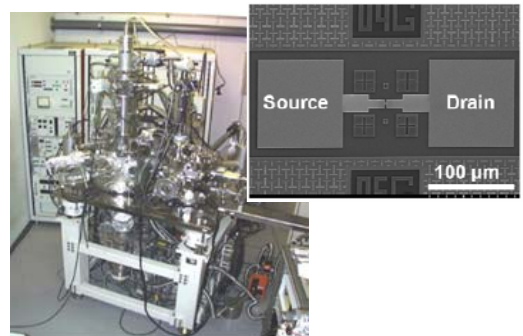
新探求デバイス班: CMOSを中心とした従来のSiデバイスを超える新しい機能
素子を探求しています。例えば、ドーパント原子を1個ずつ狙った位置に注入で
きるシングルイオン注入法を活用して、Siのドーパント準位を介した単電子トラ
ンジスタを試作したり、ダイヤモンドに注入して量子通信用の単一発光中心の形
成を試みたりしています。有機分子を用いたデバイスも開発しようとしています。

センサネットワーク班: 大地震が発生しても建物が倒壊しないようにするため
には、小さな地震や経時劣化による建築構造物の強度低下を日頃から監視する必
要があります。当研究班は、構造ヘルスマonitoringのための新しいセンサとネッ
トワークシステムを開発しています。LEDと光位置センサとを組み合わせ、建
物の各階層間の変位を直接測定できるセンサを開発しました。

次世代1分子蛍光イメージング班: 生体分子間相互作用を一分子レベルでリア
ルタイムに可視化する新しいバイオイメージング法の開発に取り組んでいます。
具体的には、生体分子を固定するスライドガラスに微細加工を施し、ナノ構造を
配列形成します。この中にタンパク質を1分子ずつ固定して、生体分子間の相互
作用をリアルタイムで観察できる技術を開発しています。

細胞間相互作用解析班: 脳は1千億個の神経細胞からなる複雑な回路であり、
ヒトの記憶や情動を司っています。酸化チタンの光触媒能を活用した新しい液中
細胞パターンニング技術を用いて、あたかもブレッドボード上に電子回路を作製す
るがごとく、ガラス/酸化チタン基板上に神経局所回路を再構築し、脳のメカニ
ズムに迫ろうとしています。

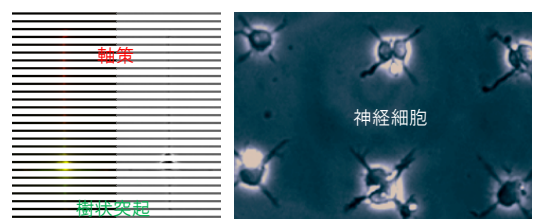
主な就職先: 旭化成、インテル、富士ゼロックス、リコー、ローム、
長岡技科大助教 (博士課程卒)、富山大助教 (博士課程卒)、など



シングルイオン注入装置と単ドーパントデバイス



試作層間変位センサと実建物の地震応答計測実験



実神経細胞を用いた神経局所回路の作製

柳澤 政生 研究室

Masao YANAGISAWA



研究室: 63号館7階18号室
大学院: 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
情報理工・情報通信専攻
先進理工学研究科
生命理工学専攻
研究分野: 次世代情報通信システム設計と
バイオインフォマティクス
講義科目: 論理回路 情報数学 SoC設計技術
計算機支援設計 (大学院)

近年、スマートフォンを始め、スマートカー、スマートコミュニティ、スマートハウス、および、スマートシティの実現に対する関心は飛躍的に高まっています。そして時代は今、ユビキタス社会からスマート社会へ向かって進化しています。スマート社会とは、電子情報通信技術を用いて、電力をはじめとしたエネルギーの利用を効率的に行い、環境にやさしく、かつ、安心・安全・快適な生活が過ごせる持続可能な社会のことです。このような社会を実現するために、柳澤研究室では、「スマート社会を支える技術」に関連した情報通信システムの設計開発、センサー情報解析、バイオ情報処理などを研究テーマとして、基礎理論から現実の応用まで、ハードウェアとソフトウェア両方の観点から研究・開発を行っています。

たとえば、システム設計では、暗号処理プロセッサ、H.264などの画像処理プロセッサ、低消費電力プロセッサ、ネットワークプロセッサ、動的再構成可能プロセッサ (FPGA: Field-Programmable Gate Array) とその応用などの研究をしています。

研究内容

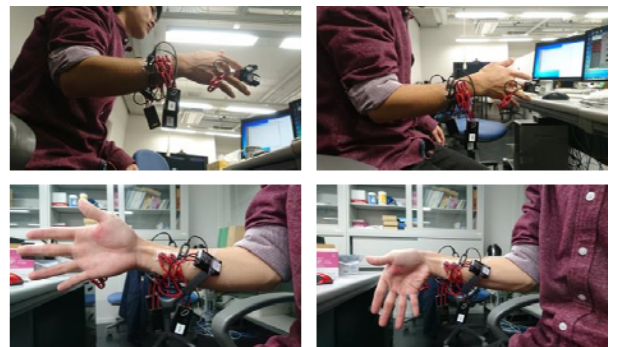
システム設計: システム設計の分野では、(1) 暗号解読技術ならびに解読困難な暗号ハードウェアの設計、(2) H.264/AVC動画符号化プロセッサの設計、(3) 低消費電力プロセッサの設計、(4) スケーラブルなネットワークプロセッサの設計と自動合成手法、などに関する研究を行っています。たとえば、(1)では、暗号処理を実装したLSIに対し、さまざまな解析 (攻撃) 手法を用いて暗号解読する技術を研究する一方で、そのような解読技術に負けない解読困難な暗号処理を実装したLSIを設計する研究を行っています。また、(2)では、種々の画像処理アルゴリズムの開発、ならびに、そのハードウェア実装技術、H.264/AVCやHEVCに特化した演算器の設計などを研究しています。

バイオインフォマティクス: バイオインフォマティクスの分野では、医学やスポーツなどの分野に向けて、センサネットワークを利用した複合的なセンサによる人間の動作推定・解析システム、環境モニタリング、交通制御やホームセキュリティ、などについて研究しています。たとえば、カメラ、マイク、筋硬度計、血流計等のセンサを使って、筋動作に伴うカメラ画像、血流音、動き加速度、筋硬度等の変化を定量的に解析することで、筋動作メカニズム解明することを目的として人体動作解析システムを構築しています。

センサー情報解析: センサー情報解析の分野では、ロボットや無人自動運転車に向けて、センサの情報から自己位置と障害物位置を推定するSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術や、自律飛行するドローン制御技術などについて研究しています。



スマート社会を支える技術



手の動作認識システム



最新の動画画像圧縮符号化技術であるH.264/AVCに関する研究をしています。最新の技術に触れることは難しいことですが、面白さもあります。

修士2年 徳満健太

主な就職先:

ソニー、日立製作所、富士通、三菱電機、NEC、キヤノン、トヨタ自動車、NTTデータ、野村総合研究所、日本IBM、KDDI、NTT東日本、NTTコミュニケーション、JR東日本、ANA、など

山中 由也 研究室

Yoshiya YAMANAKA



研究室: 63号館7階16号室

大学院: 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻

先進理工学研究科
ナノ理工学専攻

研究分野: 凝縮系の理論物理研究

講義科目: 量子力学
凝縮系の理論物理特論 (大学院)

山中研究室では、物質の性質を微視的レベル（原子や電子のレベル）から、物理学の立場で理論的に研究しています。これは一般的には物性物理と呼ばれる分野になりますが、個々の物質の性質というより、微視的レベルでの物理法則そのもの、その適用方法や普遍的定式化に主眼を置いて研究しています。微視的レベルの力学法則と知られる量子力学では、すべての粒子が粒子と波動の両方の性質を同時に持っていて、一見奇妙な現象が起こります。また、多粒子に関わる量子論として、場の量子論があります。場の量子論は、素粒子論、宇宙論、物性理論など、物理の分野の枠を超えた普遍性を持っており、現在最も基礎的な物理理論と考えられています。本研究室では、場の量子論と多体系を統計的に記述する理論（熱力学・統計力学）を統一的に記述する理論である熱場の量子論の構築とそれを様々な物理現象へ適用する研究を行っています。この他にも、将来の量子現象の応用を念頭に、量子力学の基礎に関わる研究も行っています。

研究内容

主として取り扱っているのは、絶対温度 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ Kという希薄な中性原子気体系です。このような極低温は通常の方法では達成できず、中性原子を集めて磁場やレーザー光を巧みに用いて実現されています。この極低温下で、Bose統計に従う希薄な中性原子の場合、ほとんどの粒子が1つの量子状態を占めるBose-Einstein凝縮(BEC)という現象が実験で実現されるようになりました。この系は理論的に扱いやすく、実験的にも様々な制御が可能であるため、量子基礎理論に関わる様々な事柄の検証において理想的な対象になっていて、世界中の多くの物理学者が研究しています。私たちの研究室では、場の量子論・熱場の量子論の立場から次の三つのテーマで研究しています。

中性原子気体系の量子輸送現象: この冷却原子系を場の量子論あるいは熱場の量子論の立場から定式化して、熱的非平衡過程がどのように進むかを調べています。このような基礎的立場からの理論は従来にない新しいものです。特に、BECが存在する場合は興味深いです。

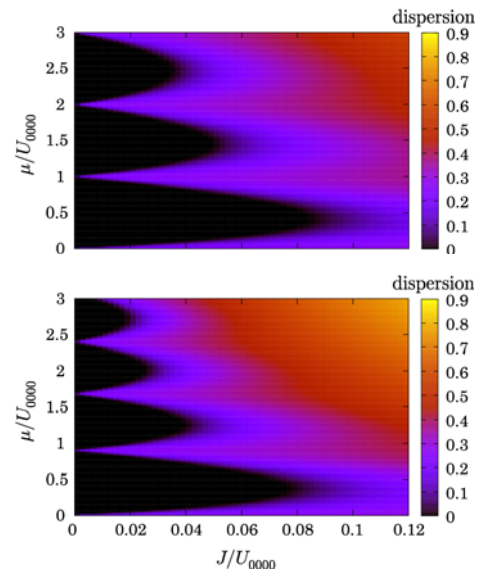
光学格子中の相転移: レーザー光で作られる光学格子中に閉じ込められた中性原子系は結晶格子中の荷電粒子系のより深い理解の助けになると期待されます。そこで光学格子中の中性原子系が示す相構造（超流動相、Mott絶縁体相）を調べています。

量子渦: BECがあると、そこに量子系特有の渦構造が出現します。私たちは、そうした渦の安定性・不安定性を議論し、不安定な場合の渦の崩壊過程を数値計算で再現しています。

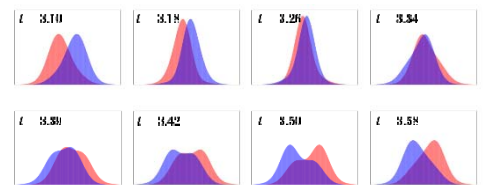
これらのテーマの他にも量子論の基礎に関わる様々なテーマを研究しています。その中には、「電子のHunbury-Brown and Twiss効果」、「複合粒子のトンネル効果」、「量子力学に対するNelson確率過程量子化法」があります。

主な就職先:

新日鉄ソリューション、キャノン、ANA、富士通、JR東海、ブリジストン、IHI、新日鐵、京セラ、いすゞ、アクセンチュア、みずほ証券、三菱UFJニコス、みずほ投信投資顧問など



一次元系(上)と擬一次元系(下)における相図。励起の効果により黒の部分(Mott絶縁体)の領域が縮小する。



互いに反発する2つの冷却原子気体の衝突における非平衡緩和過程のシミュレーション。このような衝突を繰り返しながら、2つの気体は熱平衡へと向かっていく。

山本 知之 研究室

Tomoyuki YAMAMOTO



研究室: 63号館7階02号室
大学院: 基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻

研究分野: 量子物性科学研究
講義科目: 解析力学 量子化学
量子物性科学特論 (大学院)

主に量子力学を用いた固体の諸物性に関する基礎的研究を行っております。特に、原子レベルでの欠陥や添加元素が固体の諸物性に与える影響について、実験的ならびに計算科学的手法を用いた研究を行っています。当研究室の学生たちは「強相関系酸化物」、「希薄磁性体」、「マルチフェロイック物質」などを対象にそのような視点で研究を進めております。具体的な実験内容としては、様々な手法を用いた試料作製に始まり、X線回折法などによる結晶構造解析、実験室レベルでの磁気的・電気的・光学的物性の測定、更にはSPring-8 (播磨) やKEK-PF (つくば)、UVSOR (岡崎)、Saga-LS (鳥栖) などのシンクロトロン放射光施設における分光実験 (XAFS) も行っております。また、PCクラスター (約50 CPU) を研究室内に構築し、MPIを用いた並列型の電子状態計算 (主として第一原理計算) を行って、固体の諸性質の理解に役立てております。

研究内容

強相関系物質: 3d遷移金属元素や希土類元素を含む強相関系酸化物の作製ならびにそれらの磁化特性、電気伝導特性などの物性評価、更には新規物性出現機構の解明に関する研究をすすめています。

希薄磁性物質: 磁性元素を希薄に (数at%) 含むことによって強磁性を発現する物質の作製ならびに強磁性発現機構に関する研究を進めています。

マルチフェロイック物質: 強磁性と強誘電性をともに示すマルチフェロイック物質の作製ならびに結晶構造および電子状態に関する研究を進めています。

イオン伝導物質: 酸化物燃料電池電解質等におけるイオン伝導機構を検討するために、欠陥形成機構ならびにイオン伝導機構を実験と第一原理計算を合わせて用いた研究を進めています。

X線吸収端近傍微細構造 (シンクロトロン放射光): SPring-8, KEK-PF, UVSOR, Saga-LSなどのシンクロトロン放射光施設におけるX線吸収端微細構造の測定ならびに第一原理計算を用いた研究を進めています。



BL01B1

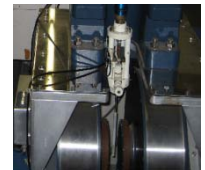
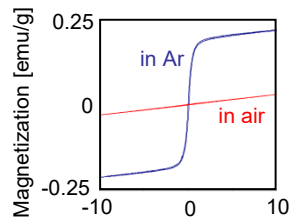
SPring-8



シンクロトロン放射光施設での実験は昼夜連続 (72時間など) で行われることが多く『実験やるならまず体力』と先生に言われ、日々体力強化に励んでいます。

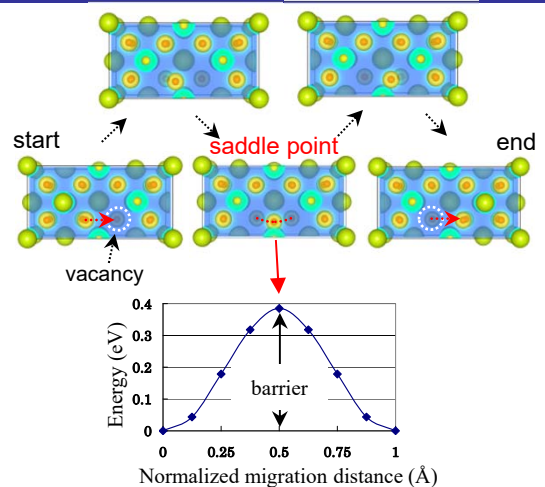
修士2年 山田大介

@room temperature



Magnetic field [kOe]

Magnetizing properties of $\text{In}_2\text{O}_3\text{-(Mn,Fe)}$ sintered at 1223K in air (red line) and Ar (blue line) atmosphere.



First-principles simulation of O^{2-} diffusion in CeO_2 .

主な就職先: 日立製作所、パナソニック、富士通、東京エレクトロン、キヤノン、ソニー、トヨタ自動車、村田製作所、旭硝子、日新製鋼、キーエンス、東京ガス、中部電力、NTT東日本、NTTデータ、ゆうちょ銀行、アクセンチュア、ベネッセなど

吉増敏彦 研究室

Toshihiko YOSHIMASU



研究室: 63号館7階18号室
大学院: 情報生産システム研究科
情報生産システム専攻
基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻
研究分野: 無線通信用高周波ICの研究
講義科目: 卒業論文 (研究指導)

近年、私たちの身の周りに、電波を利用したシステムやサービスが満ち溢れています。モバイルで高速データ通信ができる時代になり、例えば、スマートフォンで動画を送ることが容易になりました。また、自動車の衝突を防止するレーダシステムが普及し始めています。しかし、これらのシステムの利便性を高め、より多くの人が安全に高速通信を行うためには、電波の利用をさらに高めていく必要があります。

吉増研究室では、電波を利活用するために必須となる無線通信用高周波回路ICの高機能化、高効率化のための研究を行っています。無線通信においては、いかに高速にデータを伝送するかが重要で、そのためには電波の周波数で動作する高周波回路の線形性が求められます。また、モバイル機器は電池駆動のため、ICの高効率化（低消費電力化）は大変重要です。これらの回路技術の基礎研究から、具体的な応用システムを特定した応用研究まで推進しています。

また、企業と積極的に共同研究を実施することで、実社会・実システムでの応用を強く意識した研究を進めています。

研究内容

発振器回路の研究: 無線通信では電波を利用します。無線通信機器内部において、その電波を発生するのが発振器 (VCO) です。今日では1個の無線機器が様々な無線方式 (例えば、携帯電話、無線LAN、Bluetooth、GPSなど) を集積しています。従って、無線機器は多くの周波数の電波を発生しなければならず、発振器は複雑な回路になっています。また、発振器の雑音は無線通信の品質に大きく影響します。そこで、(1) 広帯域発振器、(2) 低位相雑音発振器、(3) 発振器の低消費電力、などに関する研究を行っています。発振器の動作周波数帯は概ね、800 MHz ~ 30 GHzです。

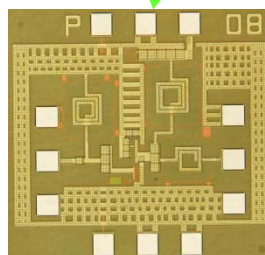
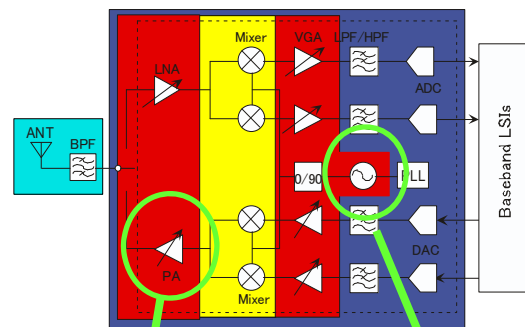
パワーアンプ回路の研究: 無線通信で伝送速度を高めるために、ベクトル変調方式 (QPSK, 256QAMなど) が用いられます。このベクトルを歪なく、大電力に増幅する役割がパワーアンプ (PA) です。また、パワーアンプの消費電力は無線通信機器全体の消費電力の多くの割合を占めます。従って、パワーアンプが機器の通信速度と電池寿命を決めると言っても過言ではありません。そこで、(1) 歪みを改善するための補正回路の研究、(2) 消費電力低減のための回路方式の研究などを進めています。主な応用分野は、無線LAN (WiFi) や携帯電話 (LTE) です。

周波数ミキサ回路の研究: 通信したい情報 (画像データや音声など) を電波 (発振器) の周波数に乗せる (または、降ろす) 回路が周波数ミキサ (Mixer) の主な役割で、発振器と接続されて動作します。周波数ミキサの雑音を低減し、消費電力低減のための研究を実施しています。

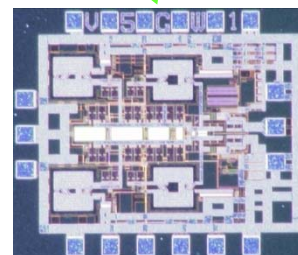
以上の他には、電波を受信する「低雑音増幅器 (LNA)」やアンテナを切り替える「スイッチ回路 (SW)」の研究も実施しています。

考案した回路の有効性実証: 研究により考案された回路を、(学外の会社に依頼して) 半導体プロセスを用いてICチップを製作し、その性能を評価・測定することで、回路の新規性や有効性を実証しています。

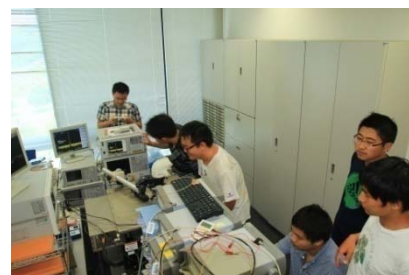
無線通信機器の高周波受信部ブロックダイアグラム



パワーアンプIC



広帯域発振器IC



高周波IC測定室 (情報生産システム研究科)

渡邊 孝信 研究室

Takanobu WATANABE



研究室: 63号館7階06号室

大学院: 先進理工学研究科
ナノ理工学専攻

基幹理工学研究科
電子物理システム学専攻

研究分野: ナノ材料情報学研究

講義科目: 電子デバイス 計算科学
計算機実験学概論 (大学院)

研究内容

オン・シリコン熱発電デバイスの開発:

環境の微小な熱エネルギーで動作するセンサ・ノードを実現するため、超LSI製造技術との親和性が高い、ナノワイヤ型半導体結晶を用いた“オン・シリコン”熱発電デバイスを開発しています。

大規模分子シミュレーションとマテリアルズ・インフォマティクス:

数十万原子規模の分子動力学シミュレーション技術を駆使して、異種物質同士の界面の原子構造、フォノンの動的挙動、ナノデバイス中のキャリア輸送などを詳しく調査しています。また、ディープ・ラーニングなどの機械学習の技術を応用して、膨大なシミュレーションデータの解釈、分類にも挑戦しています。

表面科学:

半導体表面の構造や電気的性質を、走査型トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscopy; STM) などの表面観察技術を駆使して原子レベルで調査しています。半導体の電気特性に大きくかわる不純物イオンの振る舞いを明らかにするため、イオンビームが照射されている最中の半導体表面をリアルタイムで観察する技術を開発しています。

羽ばたき型の小型無人飛行体 (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) の開発:

未来の超多点地球環境計測システムの中核的技術として、羽ばたき型の小型無人飛行ロボットを開発しています。羽ばたき飛行のメカニズムの研究、カメラ映像から周辺の状況をリアルタイムで把握するロボットビジョンの研究などに取り組んでいます。

学んだことが漠然としていた学部時代、研究室配属で「研究する」ということが具体的に見えました。多岐に渡る研究テーマがあるからこそ、没頭できるものが見つかるはず。渡邊研究室で探してみませんか？

修士1年 中根滉稀

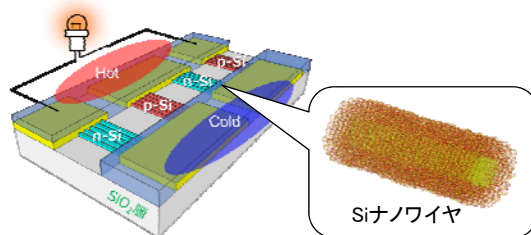


PCやスマートフォンに続くエレクトロニクスの新応用として期待されているのが、あらゆる製品がインターネットにつながる「モノのインターネット (Internet of Things; I o T)」と呼ばれる技術です。その実現の鍵を握るのが、環境の微小なエネルギーから電力を生み出す「エナジー・ハーベスタ」というデバイスです。

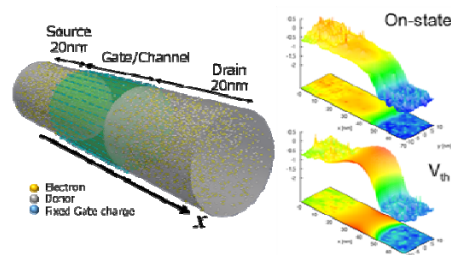
当研究室では、シリコン・ナノワイヤが有する優れた熱電変換性能に注目し、シリコンチップ上に集積回路と一括作製可能な“オン・シリコン”エナジー・ハーベスタの研究開発に取り組んでいます。また、情報処理デバイスのさらなる超低消費電力化のため、大規模分子シミュレーションや表面観察技術を駆使した基礎研究にも取り組んでいます。

さらに、I o T応用の具体的イメージとして、羽ばたき型自律飛行ロボットによる超多点センシングシステムを掲げ、羽ばたき飛行制御やカメラ映像から周辺状況を把握するロボットビジョンなどの要素技術を開発しています。

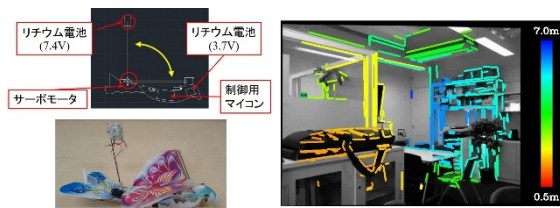
理論計算、実験観察、ロボティクス。研究テーマは多岐にわたりますが、シリコンという極めて優れた材料を制御し高度利用につなげる「シリコン・サイバネティクス」が共通のキーワードです。



オン・シリコン熱発電デバイス



ナノスケールトランジスタの動作シミュレーション



羽ばたき型飛行ロボットとロボットビジョン

主な就職先: NTT、キャノン、日産自動車、富士重工、東京メトロ、東芝、三菱電機、パナソニック、ソフトバンク、村田製作所、東北電力、日本学術振興会特別研究員 (SPD)、豊田工業大学など。