

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
電子光システム学専攻 (主)
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻 (副)
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

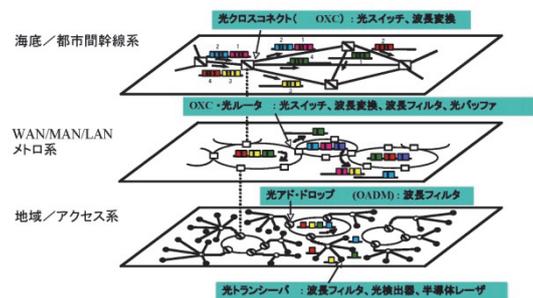
高速光スイッチング: 電流注入による屈折率変化を利用した、究極的な光インターネットを実現する光パケットスイッチングにも適用可能なナノ秒で応答する高性能半導体空間光スイッチの実現を目指して検討しています。キャリア閉じ込めに優れたInAlGaAs系により実際に -20dB 以下の低クロストークや5ナノ秒以下の高速スイッチングを偏光無依存で実現しています。

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。

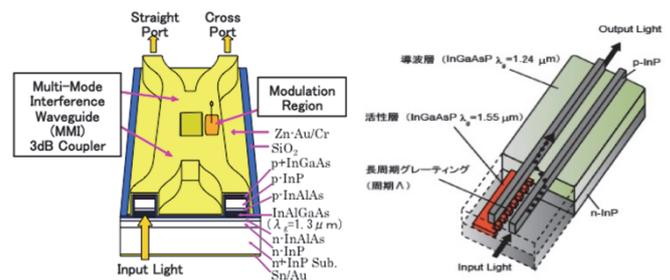
シリコンフォトニクス: LSIの動作速度向上の限界を打破すべく、光インターコネクションとLSIを集積したシリコンフォトニクスをも睨んで、まずはシリコン光プラットフォーム及びシリコン機能光デバイスの検討を行っています。ナノ作製技術を駆使したシリコン回折格子の作製とマイケルソン干渉計構造によるインターリーバスイッチを実現しています。

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

「半導体レーザー」オーム社 (伊賀編著)

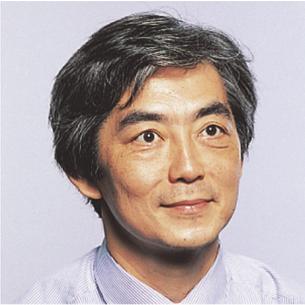
「光情報ネットワーク」オーム社 (菊池編著)

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(主)
基幹理工学研究科
電子光システム学専攻(副)
研究分野: ナノデバイス研究
講義科目: 回路理論A 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

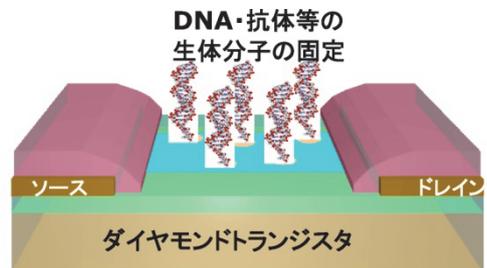
当研究室では、ダイヤモンドおよびカーボンナノチューブを気体(メタン)から合成し、これをナノメートルスケールで素子に加工し、高精度な素子測定を行います。一連のプロセスを全て学内で行いますが、これに必要な設備を完備しているのは世界の大学でも稀です。主に次の4つのグループで研究を進めています。

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。

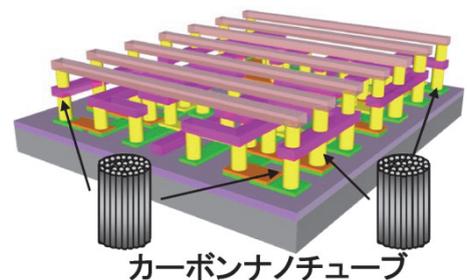
バイオセンサーグループ: 表面修飾性に富み、液体電解質中で安定な炭素系表面の特長を生かして、ダイヤモンド表面を利用した新型のDNA、RNAチップおよびプロテイン・マイクロアレイの開発を行っています。DNAおよびRNAの一塩基違いをトランジスタによる電荷検出では初めて再現性よく検出しました。

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。

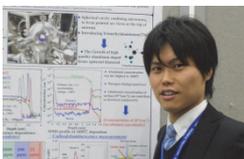
超伝導グループ: ダイヤモンドに高濃度のボロン(ホウ素)を導入して低抵抗の薄膜を形成し、薄膜ダイヤモンドとしては世界初の超伝導を発現しています。超伝導性と半導体性の共存により、新たなデバイスの開発が期待されます。



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 栗原 稔一郎

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 (主)
基幹理工学研究科
電子光システム学専攻 (副)
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。

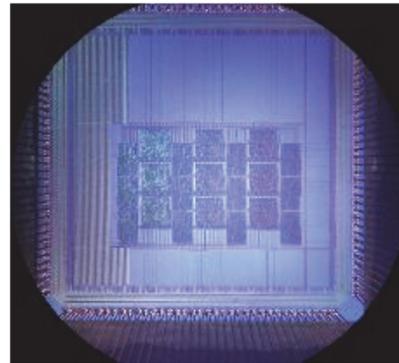
研究内容

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。

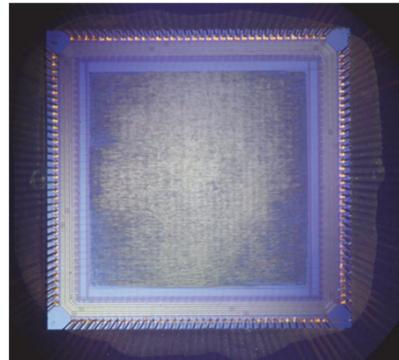
設計メソドロジー: 設計に関しては、これまでに Java プロセッサや音声認識回路、視線推定の回路、公開鍵暗号回路などの研究開発を行っています。また、演算器のアーキテクチャ、64ビットマルチスレッドプロセッサや再構成可能なハードウェアの研究を行っています。これらのハードウェアはFPGAとして実現すると同時に、東京大学の VDEC (VLSI Design Education Center) を通じて LSI として実現し、性能評価などを行っています。

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

後藤 敏 研究室

Satoshi GOTO



後藤研究室では、システムLSIの応用と設計法の研究を進めています。LSIは現在、コンピュータ、家電製品、ネットワーク装置、自動車等のさまざまな電子機器に組み込まれていますが、今後、LSIは衣服、食料、建物等の日用品の人間の身の回りのあらゆる物に組み込まれて、快適に安全に安心して人間生活ができる環境作りに使われていきます。多くの機能が1チップ上に搭載され、その規模は1億個のトランジスタと1億ステップのソフトウェアとなってきます。人間が5感で行っている色々な機能がチップとして実現され、人間の目、耳、口、頭脳の代わりに、画像処理LSI、音声処理LSI、知能処理LSIが使われていきます。後藤研究室はこれらのアンビエント処理を目指して、人間にとって心地よく、便利な、使いやすい、安全なシステムとなるLSIを研究します。具体的には3つの大きなテーマで研究をしています。

研究室: 北九州N号館3階303号室
大学院: 情報生産システム研究科
情報生産システム工学専攻 (主)
基幹理工学研究科
電子光システム学専攻 (副)
情報理工学専攻 (副)
研究分野: システムLSI設計研究
講義科目: システムLSI概論 アルゴリズム論
マルチメディア論 (大学院)

研究内容

マルチメディア処理:

画像等のマルチメディアLSIの研究

ハイビジョンや携帯電話で使われる動画圧縮の研究をしています。画像データを1/10~1/50に圧縮し、高画質に送受信する方式はますますインターネット時代では重要となりますので、新圧縮方式とLSI化の研究を進めています。

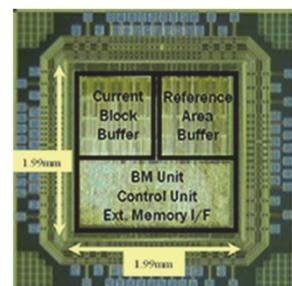
セキュリティ処理:

安全に高速にデータを受送信できる符号化方式とLSI化の研究

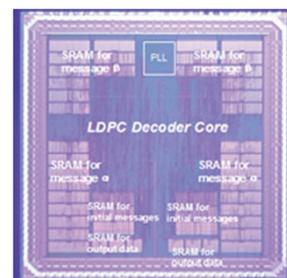
インターネットの利用で情報の入手が格段に便利になったと同時に、悪質な侵入者からの攻撃に悩まされているのがサイバー社会です。情報やデータをより安全に確実に送受信できる方式とそのLSI化を研究しています。

超低消費電力メディア処理LSIの研究

携帯電話の通話時間がより長持ちするには搭載されているチップの低消費電力化を画期的に進める必要があります。アルゴリズム、アーキテクチャ、回路構成を工夫してメディア処理が1/100になる研究を進めています。



独自の方式を考案した画像圧縮チップ



国際会議で第1位となった誤り訂正符号化チップ

11月11日朝日新聞
次世代のIT産業時代、唯一の国内拠点は九州大学。早稲田大学は文部科学省のグローバルCOEの拠点に選ばれました。電子光システム学科は本拠点の中核として研究教育を進めています。

主な就職先:

東芝、NEC、ソニー、富士通研究所、トヨタ、NECエレクトロニクス、NECマイクロシステム、ケーデンス、LSI設計ベンチャー

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
電子光システム学専攻 (主)
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻 (副)
物理学及応用物理学専攻 (副)
研究分野: 固体物理研究
講義科目: 固体物性A, B 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索を行なっています。

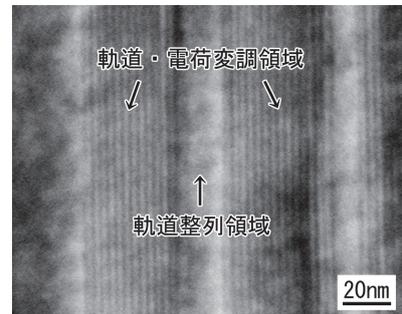
研究内容

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。

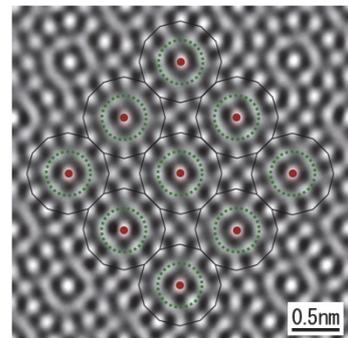
強相関電子系グループ: Mn^{3+} イオンを含むMn酸化物に注目し、 e_g 電子の軌道およびサイト占有に関して研究を行なっています。その結果、層状Mn酸化物ではMnサイトと単位胞の対称性が異なることにより、秩序度の異なる軌道整列状態が交互配列したバンド分域状態という新たな状態の出現を見出しています。

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、J R 東日本、J R 東海、東京電力、トヨタ自動車、三菱重工業、新日鐵、J F E 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

齊藤 良行 研究室

Yoshiyuki SAITO



研究室: 63号館7階14号室
大学院: 基幹理工学研究科
電子光システム学専攻
研究分野: 数理材料設計学研究
講義科目: 物質移動論
数理材料設計学特論(大学院)

齊藤研究室では、特異ナノ組織制御による高機能材料の設計を目指しています。研究手法はコンピュータシミュレーションと反応・拡散方程式を用いた数理材料設計に基づく理論的なアプローチです。シミュレーション法としてはモンテカルロ法、フェーズ・フィールド法が主体です。主な研究対象はナノ特異組織の原子配列の予測制御と界面移動のダイナミクスです。さらに反応拡散方程式において拡散項が関与するパターン形成にも力を入れています。研究の難しさは多元系の材料への適用にありますが、この点こそが本研究室の特徴の一つです。

材料開発への応用としては航空機や発電機のタービンブレードなど高温材料にこれまで力を注いでおりましたが、今後は磁性材料などにも取り組みます。界面ダイナミクスの研究はシミュレーション対象となる現象を広げることが当面の目標ですが、効率化や新しいモデルの開発も念頭においています。特に転位と界面相互作用のモデル化は早急に解決すべき問題であり、高機能の材料開発のキーポイントとなっています。数理工学的な研究は反応・拡散方程式に関するものがほとんどですが、材料科学ならではの初期条件・境界条件を考慮して見出される法則の発見を目指したいと思います。

研究内容

特異組織の設計制御

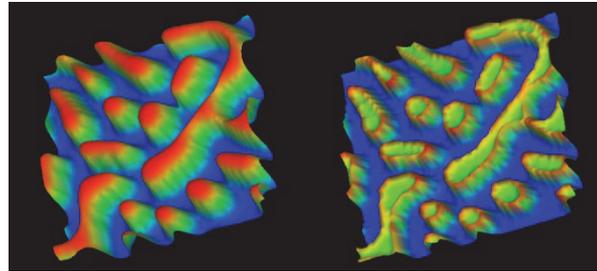
モンテカルロ法、フェーズフィールド法を駆使して多元系ナノ材料の原子配列の予測を行うとともに、機能向上を目指した材料設計も行っています。航空機や発電機のタービンブレードなど高温材料の研究が主でしたが、磁性材料などへの応用も検討中です。

ナノ特異組織の界面ダイナミクスの予測と制御

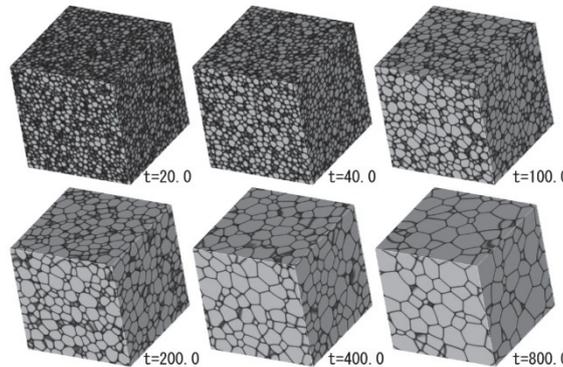
モンテカルロ法およびフェーズフィールド法により界面移動ダイナミクスの予測と制御を行っています。並列計算の利用により大規模なシミュレーションが可能となりましたが、さらに効率的なアルゴリズムの確率を目指しています。また近年力を入れていることは転位と界面の相互作用のモデル化です。このことのようなシミュレーションにより飛躍的な性能をもった材料の開発を目指しています。

反応・拡散方程式を用いたパターン形成の研究

非線形パターン方程式により材料科学のさまざまな現象が記述できます。この現象は特に反応項に支配されることはよく知られており、これまで多くの研究成果が発表されております。私たちは拡散項に注目し、特に現象論的係数が非線形になったときに作られるパターンを理論的およびコンピュータシミュレーションにより明らかにしたいと思います。



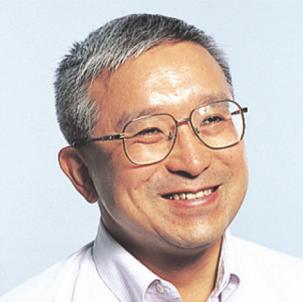
原子配列予測



界面ダイナミクス

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 (主)

基幹理工学研究科
電子光システム学専攻 (副)

研究分野: マイクロシステム研究

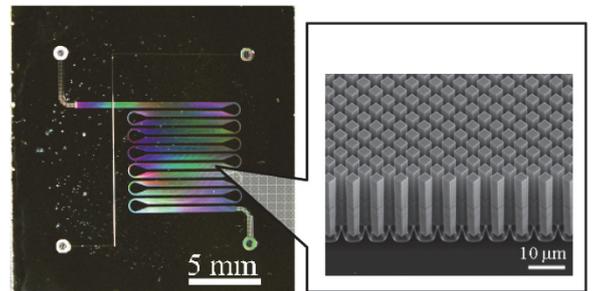
講義科目: 電子回路 計測工学 MEMS
ナノバイオフュージョンシステム (大学院)

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:

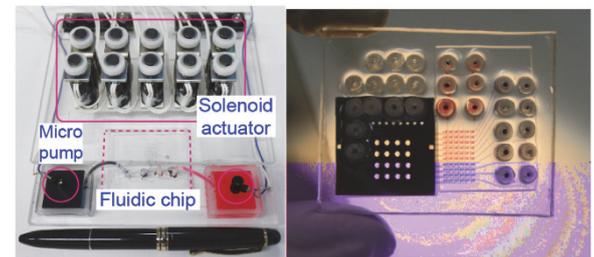
マイクロ・ナノ領域における流れの制御は、マイクロバイオチップ実現のための重要な要素技術の一つです。新しい三次元構造体形成技術の開発とその流体制御への応用により、機能性に富んだ流体制御素子の開発に取り組んでいます。現在、生命科学の主流は細胞内の分子機構を総合的に理解することであり、タンパク質の同定や機能解析を行うために精製困難な生体試料の分子やオルガネラを単離・精製する技術開発が非常に重要となっています。そこで生体試料をチップ内の微小流路に流して、顕微鏡下で検出・分離する技術を開発し、リンパ球、大腸菌、DNA、ナノ粒子の分離に成功しています。また、細胞分析をテーマとして細胞の様々な解析を行えるデ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

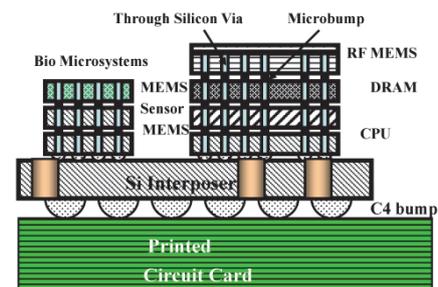
ナノインプリント技術（熱インプリント、UVインプリント）、ナノメッキ技術、及び樹脂の低温接合技術など、省エネルギー・低環境負荷の実現を目指した新しいナノ・マイクロ加工技術を研究しています。個々の研究はそれぞれ実際の応用を目的としており企業との共同研究も多くなっています。例えばバイオ・医療領域では高機能電気泳動チップ、血液分析チップなどのマイクロナノデバイスを開発しており、電子・光デバイス領域では磁気記録媒体用ナノドット、LED用ナノピラー、ナノ多層金属配線などを作製しています。また、次世代の集積回路として注目されている3次元積層集積回路の実現に向けた研究も行っています。



4x4マイクロチャンバ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
電子光システム学専攻 (主)
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻 (副)
研究分野: 分子ナノ工学研究
講義科目: 回路理論B 物理化学
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。

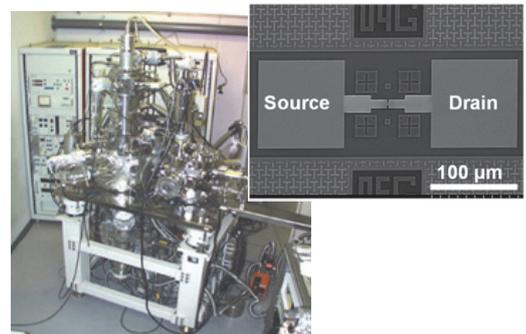
新探求デバイス班: CMOSを中心とした従来のSiデバイスを超える新しい機能
素子を探求しています。例えば、ドープ原子を1個ずつ狙った位置に注入で
きるシングルイオン注入法を活用して、Siのドープ準位を介した単電子トラ
ンジスタを試作したり、ダイヤモンドに注入して量子通信用の単一発光中心の形
成を試みたりしています。有機分子を用いたデバイスも開発しようとしています。

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。

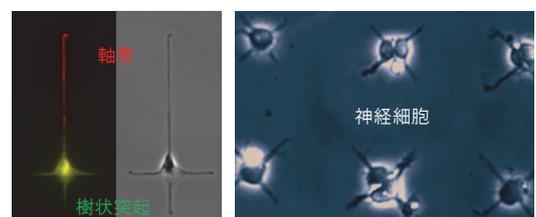
主な就職先: 旭化成、インテル、富士ゼロックス、リコー、ローム、
長岡技科大助教 (博士課程卒)、富山大助教 (博士課程卒)、など



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

松本 充司 研究室

Mitsuji MATSUMOTO



研究室: 6 3 号館 7 階 2 0 号室
大学院: 基幹理工学研究所
電子光システム学専攻 (副)
国際情報通信学専攻 (主)
研究分野: 光無線通信システム研究
FSO, VLC, IrDA, RF, etc.
講義科目: 電磁気学A 光通信システム
電気通信システム (大学院)

松本研究室では、光無線システム領域を基本に、**世界最高水準の研究拠点づくり**を目指すために、世界と切磋琢磨することによって研究技術をより一層発展させ、研究のオープン化により成果を世界に向けて発信し多くの実績を挙げてきました。とりわけ、光通信システムでは、可視光以下を利用した通信分野を専門としています。たとえば、空間光通信技術 (FSO) をはじめとして、近距離の可視光線通信 (VLC) や赤外線通信 (IrDA) などの人体に安全な光を、いかに安定して高速な通信システムを構築できるかを目標としています。しかしただ「**高速、高品質、高信頼性**」を目指した情報通信インフラを整えるだけではありません。

情報通信技術、社会応用科学と融合する実社会と強く結びついた「**学際領域**」の研究ならびに国内・国際通信システムの**標準化活動、産学連携活動**も行っています。そこでは、緊急災害時の通信や、e-Health、高齢者、身障者のアクセシビリティなど通信の応用を通して「**人に安全・安心、納得と感動を与える通信システム**」の構築を目指しています。オープン化により、企業からの客員研究員も含め研究者として外部との交流を持ち、それまで知り得なかった事、考えてもいなかった事を取り入れ、従来にはない発想ができる人材、外国人と対等に議論できる人材を育てます。

研究内容

(1) 世界最高速1テラビット伝送を実現 (FSO研究G)

- イタリア・ピサで世界最高速1.28Tbpsの超高速伝送結果が得られている (NICT、サンタナ大との共同研究)
- 光ファイバで送られるRoF無線信号をFSO通信システムに融合するRoFSO光無線システムを実現 (大阪大学と共同研究)
- 波長多重 (WDM) 伝送システムにより、地上デジタル放送、3G携帯伝送、WiMax、WiFi信号の同時伝送を実現 (大阪大学との共同研究)

(2) 携帯電話の赤外線通信と可視光通信を実現 (VLC研究G)

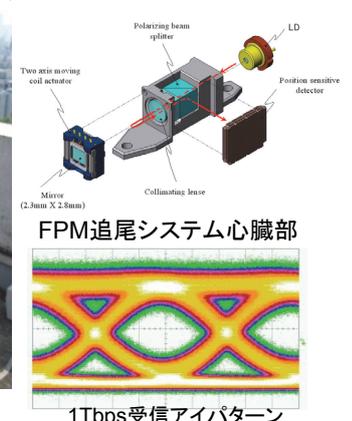
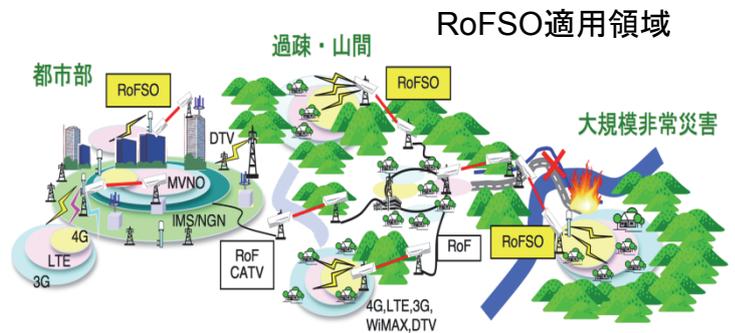
- 大型商船における可視光電力通信を実現する
- また、光があるところではどこでも通信ができる環境を研究する。このため、既存照明光源による次世代可視光通信の研究を進める

(3) 近距離赤外線通信を構築 (赤外線通信研究G)

- 数メートル以内の近距離通信で、100Mbpsおよび1Gbpsの高速化研究を実現

(4) 災害時の通信、アクセシビリティ、電子医療の研究

- 火災・地震・津波等の自然災害発生時に災害現場から救助の位置把握技術
- 次世代教育環境や身障者や高齢者用アクセシビリティ環境に適用する情報通信技術、電子医療などの研究を進める



主な就職先:

NTT (研究所、東日本、コミュニケーションズ、ドコモ他)、カタール国立研究所、NICT、KDDI、NHK、東京電力、富士通、日立、NEC、ソニー、マイクロソフト、電通、楽天、大学教員、起業家など

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
電子光システム学専攻 (主)
情報理工学専攻 (副)
先進理工学研究科
生命理工学専攻 (副)
研究分野: 次世代情報通信システム設計と
CAD, 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)

あらゆる物にコンピュータが搭載され、あらゆる場所でネットワークにつながり、豊かな社会を実現するアンビエント時代が到来しています。柳澤研究室では、アンビエント時代の情報通信システムの設計や、その設計を支援するコンピュータ環境 (CAD: Computer-Aided Design) の開発、また、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、SoC (System on a Chip) 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。CADではハードウェア/ソフトウェア協調設計、インターフェース設計、高位合成、テスト容易化設計などの研究をしています。また、センサネットワークとその応用等に関する研究を行っています。

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。

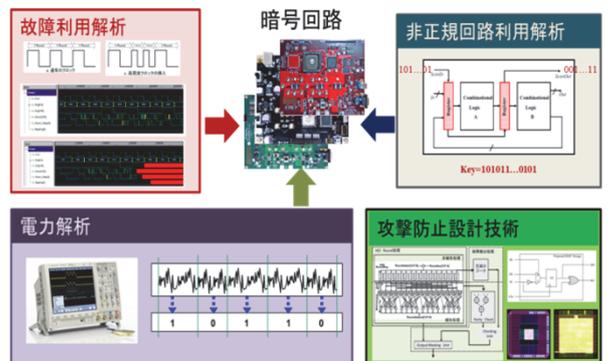
計算機支援設計 (CAD) システム: 計算機支援設計システムの分野では、(1) 画像処理を対象としたプロセッサのハードウェア/ソフトウェア協調設計システム、(2) ハードウェアの高位合成アルゴリズム、(3) テスト容易化設計、などに関する研究を行っています。最適なハードウェアとソフトウェアの組み合わせを自動的に決定し、アプリケーションに特化したプロセッサコア構成を得ることを目的に研究しています。

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、センサネットワークを利用した人間の動作推定手法、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。一部は日立中央研究所との共同研究です。

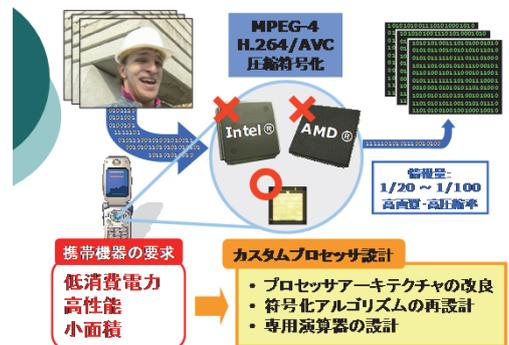


最新の動画画像圧縮符号化技術であるH.264/AVCに関する研究をしています。最新の技術に触れることは難しいことですが、面白さもあります。

修士2年 徳満健太



暗号回路解析と設計



動画符号化プロセッサ設計

主な就職先:

ソニー、NEC、東芝、NTTデータ、トヨタ自動車、野村総合研究所、日本IBM、東京電力、JR東日本、日立、富士通、キヤノン、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
電子光システム学専攻 (主)
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻 (副)

研究分野: 凝縮系の理論物理研究
講義科目: 量子力学A・量子力学B
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。

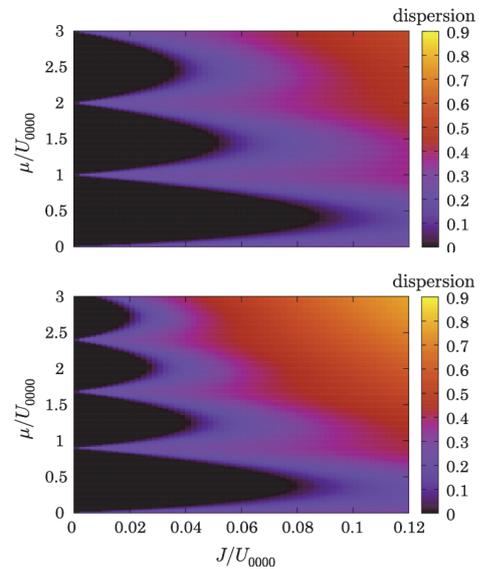
光学格子中の相転移: レーザー光で作られる光学格子中に閉じ込められた中性原子系は結晶格子中の荷電粒子系のより深い理解の助けになると期待されます。そこで光学格子中の中性原子系が示す相構造（超流動相、Mott絶縁体相）を調べています。

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。

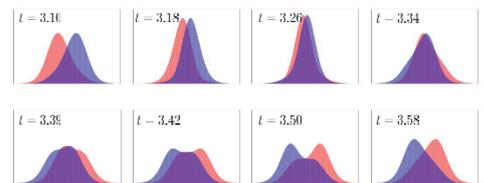
これらのテーマの他にも量子論の基礎に関わる様々なテーマを研究しています。その中には、「電子のHunbury-Brown and Twiss効果」、「複合粒子のトンネル効果」、「量子力学に対するNelson確率過程量子化法」があります。

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
電子光システム学専攻 (主)
先進理工学研究科
ナノ理工学専攻 (副)
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氣的・電氣的・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。



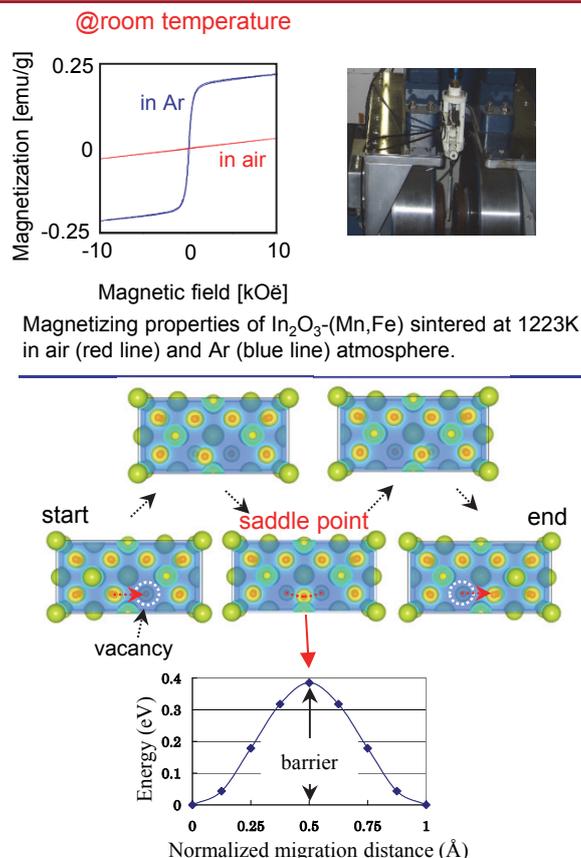
BL01B1

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



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、キャノン、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

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 (主)
基幹理工学研究科
電子光システム学専攻 (副)
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

ナノワイヤ型新原理トランジスタの開発:

ナノサイズでは、酸化被膜が誘起する結晶格子歪の顕在化、フォノン挙動の変化等により、キャリア伝導機構が巨視的な系から大きく変わると考えられます。本学にあるナノ加工用クリーンルームで、こうしたナノ領域特有のキャリア伝導機構を積極的に利用した、新構造トランジスタ素子の開発に取り組んでいます。

大規模分子シミュレーション:

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や、界面近傍の歪分布、フォノンの動的挙動を研究しています。電子を粒子と見立てる特殊なキャリア輸送シミュレーションにも取り組み、ナノ領域の電子物性の理解を深めています。

走査型トンネル顕微鏡によるシリコン表面のナノスケール改質機構の研究:

半導体の電気特性は結晶中の不純物イオンによって大きく変化します。その不純物イオンが導入されるプロセスを原子レベルで理解するため、イオンビームが照射されている最中の半導体表面を、原子レベルかつリアルタイムで観察しています。

飛翔昆虫型ロボットの開発:

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、トンボ型の羽ばたきロボットを開発しています。羽ばたき飛翔のメカニズムを研究し、ホバリング飛行やアクロバット飛行など、高度な飛翔性能を備えた小型観測機の実現を目指しています。

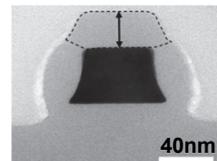
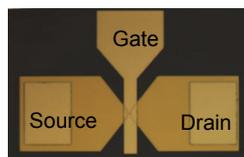


渡邊研究室では、さまざまな研究テーマがあります。それぞれの専門分野の知識を互いに教え合い切磋琢磨し合う中で、半導体エレクトロニクスについて深い理解を得ることができ、充実した日々を送っています。
修士1年 今井裕也

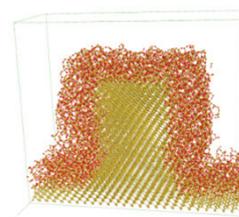
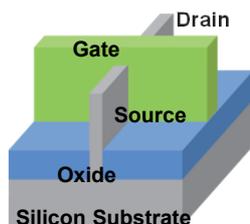
半導体エレクトロニクスは20世紀の社会に高度情報化をもたらし、情報や物、お金が猛烈な勢いで地球上を行き交うグローバル社会を実現しました。翻って21世紀は、人類の持続可能な発展を模索する時代です。半導体エレクトロニクスも高集積、高速処理の追求に終始せず、地球環境の保全に寄与するような、新しい発展を目指すフェーズに移行しつつあります。

当研究室では、半導体デバイスの省電力化と高性能化のための基礎研究と、半導体エレクトロニクスを地球環境の保全に役立てる応用研究を行っています。前者の基礎研究では、シリコンナノデバイス製作、ナノスケール表面分析、大規模分子シミュレーションを通じて、ナノ領域の基礎的知見を集約し、ナノ構造制御を省電力トランジスタや高効率太陽電池のための新たな技術自由度へ昇華させることを目指しています。後者の応用研究では、地球環境とIT空間が結びついたシンビオティック・エレクトロニクスの実現に向けて、自然環境の超多点センシングシステムの要素技術を開発しています。

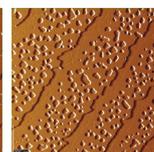
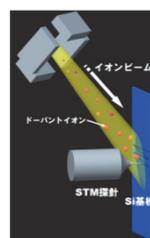
理論計算、実験観察、ものづくり。研究テーマは多岐にわたりますが「シリコン・サイバネティクス」が共通のキーワードです。



ナノワイヤFETの模式図と断面顕微鏡写真



Tri-gate transistorの原子論的モデリング



ビーム照射前 ビーム照射後
シリコン表面改質素過程の走査型トンネル顕微鏡像



HDDのVCMを用いた羽ばたきロボット

主な就職先(2009~2010年度):

日本電子、三井住友トラスト、リコー、ルネサスエレクトロニクス、図研、学振特別研究員 (SPD)、JST-CREST研究員など。

池永 剛 研究室(大学院)

Takeshi IKENAGA



研究室： 63号館7階20号室
北九州N号館3階309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（主）
基幹理工学研究科
電子光システム学専攻（副）

研究分野： アプリケーションSoC研究

講義科目： システムLSI設計
組み込みLSIアーキテクチャ
画像情報システム特論（大学院）

池永研究室では、次世代ユビキタス・アンビエント情報化社会（いつでも、どこでも、安心して、心地よく）を睨み、その実現の鍵となる様々なアプリケーションSoC（System on Chip）やそれを用いたシステムを実現することをテーマとして掲げ、研究開発を行っています。ユビキタス・アンビエント情報化社会実現のためには、様々な視点からの課題を解決していく必要があります。高臨場放送、監視カメラ、TV会議、高精細ディスプレイなど幅広い応用分野を視野に入れ、メディア処理からネットワーク処理まで幅広く検討しています。アルゴリズム、アーキテクチャ検討から最終的にはLSIやシステムとして形にすることを目標に研究を進めており、2003年から教育用チップも含め27品種のLSIや、多様な実時間画像処理システムを開発してきました。また、グローバルCOE、CRESTなどの国プロジェクトや、多くの企業との産学連携プロジェクトを推進しており、研究成果が幅広く世の中で使われることを目標として活動しています。

また、池永研究室は、北九州でも研究活動を展開しています。北九州のメンバーは、留学生が多く、TV会議システムなどを活用しながら、活発な研究交流、国際交流を図っています。

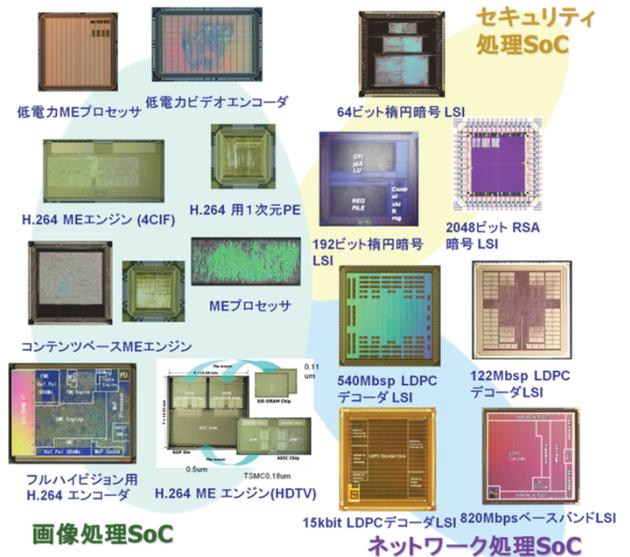
研究内容

画像圧縮システム：最先端の動画圧縮規格であるH.264/AVCや、次世代の動画画像圧縮規格として国際標準化がすすめられているH.265/HEVC、静止画圧縮規格であるJPEG2000などを対象としたアルゴリズム及びハードウェアの研究開発を進めています。特にH.264でAVCは、世界初となるフルハイビジョン用エンコーダSoCの開発に成功するなど、世界の注目を浴びています。また、超低消費電力化を目指した独自の動画画像圧縮アルゴリズムや、TV会議システムを対象としたスケラブルな動画画像圧縮（H.264/SVC）の検討を進めています。

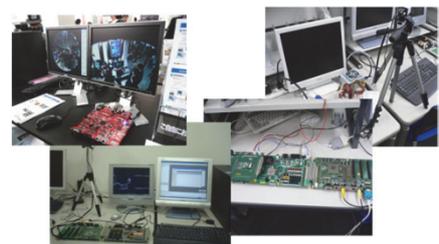
画像認識システム：人物&物体追跡を用いた監視システム、スポーツシーン解析、自動ドア制御、さらにはヒューマンインタフェース、画像検索など、多様なアプリケーション開拓とそのシステム化を進めています。また、FPGAやメニーコアプロセッサを用いたアルゴリズム実装やアーキテクチャの検討も進めており、種々な実時間画像処理システムを実現してきました。

信号処理システム：魚眼画像の高画質補正システムや高精細ディスプレイを対象とした超解像フィルタの研究開発を進めています。前者は、画像電子学会の優秀論文賞を受賞するとともに、産学連携を通じた製品実現へとつながっています。

ネットワークシステム：最先端の無線通信処理であるUWB（Ultra Wide Band）と最先端の誤り訂正処理であるLDPC（Low-density Parity-check code）を組み合わせた高速かつ高信頼なベースバンドLSIの研究を進めています。



試作したアプリケーションSoC



実時間画像処理システム

主な就職先：

東芝、日立、ソニー、リコー、ソニーLSIデザイン、NECエレクトロニクス、NECマイクロシステム、富士通デバイス、東芝マイクロエレクトロニクス、ホンダエレクトロニクス、アーム、ザイリンクスなど



現在、超解像フィルタ向けハードウェアアーキテクチャ構成法の研究を行っています。ソフトウェアとハードウェアの二つの領域にまたがった研究に興味を持っています。 修士1年 関口 裕之

伊藤 公久 研究室(大学院)

Kimihisa ITO



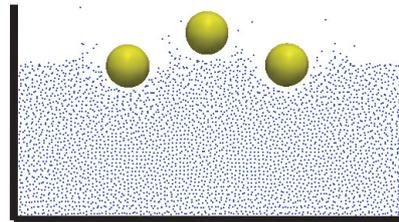
研究室: 63号館4階15号室
大学院: 基幹理工学研究科
数学応用数理専攻(主)
電子光システム学専攻(副)
研究分野: 高温物理化学研究
講義科目: 熱力学
高温物理化学演習(大学院)

物理化学的手法、すなわち熱・統計力学、流体力学、移動現象論等の原理に基づき、物質を対象とした工学上の問題、特に高温の物質製造プロセスにおける諸問題の解決を図ることを目的として研究を行っています。現在、高温における混相流体の動的挙動を、粒子法と呼ばれる流体シミュレーションと実験との両面から解明しようと試みています。また、環境調和型製鉄プロセス開発のための、高温における各種物質の熱力学データおよび反応速度データの測定を行っています。さらにこれらのデータを活用して、実際のプロセスにおける反応シミュレータの開発も行っています。

さらに、“Materials Science for Archaeology”(考古物質科学)の確立を目指して、新しい原理に基づいた日本刀のデジタルアーカイビング法の開発、古代製鉄技法の解明、“Proto-Hittites”(プロト・ヒッタイト)の鉄製造技術の研究などにもチャレンジしています。

研究内容

粒子法による混相流体の解析: 高速変形する高温融体の挙動を解析するため、粒子法と呼ばれる手法を用いてシミュレーションを行っています。特に、表面・界面張力が、流体の変形挙動に及ぼす影響について、計算と実験の両方から研究を行っています。これらの知見をもとに、混相流の動的解析を基本とする、新しいプロセス設計を目指しています。



高温物理化学データの測定: 高温における種々の物質の物理化学データの測定を行っています。最近では、炭窒化ニオブの熱力学データや、溶融酸化物膜中の酸素の透過度等を測定しています。

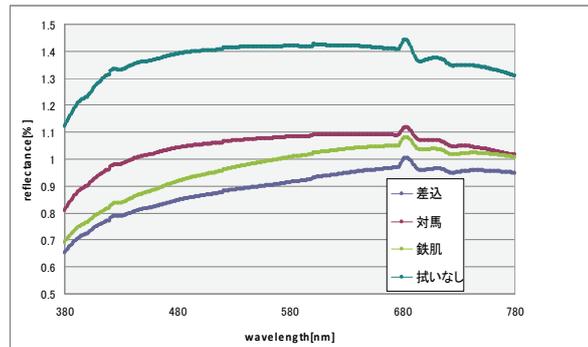
粒子法による高速粒子の液体への衝突シミュレーション



環境調和型製鉄プロセスの研究: 製鉄プロセスのグリーンエネルギー化に関連し、水蒸気を用いた泡立ちの制御法の開発、製鉄スラグからのエトリンライトの生成メカニズムや、その定量法の研究を行っています。

日本刀のデジタルアーカイビング: 日本刀の可視領域における拡散反射スペクトルを測定することにより、日本刀の美の科学的解明を行っています。この原理に基づいた多色拡散反射撮像法を用いることで、日本刀の刃文を正確に記録することが可能となりました。

主な就職先: 新日本製鐵, 昭和電工, JX日鉱日石金属, 東レ, 東京ガス, NTTデータ, キヤノン, 川崎汽船, 日本郵船, 住友商事, 三井住友UFJ銀行, 新生銀行, 電通など



日本刀の拡散反射スペクトルとデジタルアーカイブ画像