

第 225 回 総研セミナー 開催報告

2024 年 11 月 16 日(土)、世田谷キャンパス TCU ホールにて、ナノエレクトロニクス研究センターとマイクロナノシステム研究室の共催による総研セミナーが開催されました。

共同研究等で関わりが深く、半導体の各分野を牽引する活躍をされている、大阪大学の浜屋先生、東京大学の野村先生、千葉大学の柯先生、キオクシア株式会社より齋藤様に招待講演を頂きました。学内からは、総研マイクロナノシステム研究室長（東大名誉教授）の藤田先生、ナノエレクトロニクス研究センターの勝本先生（東大名誉教授）に特別講演を頂きました。



はじめに、野城学長より開会のご挨拶をいただきました。招待講演者の方々への厚い感謝のお言葉を述べられた後、最初の特別講演をされる藤田先生とは、東大生研時代の同僚(先輩)であるというご紹介がありました。そして、藤田先生が、当時はまだ何もない小さな部屋から、エレクトロニクスと機械システムを融合させた全く新しい研究の狼煙を上げられたこと、そしてその後もずっとその研究を第一人者として切り拓いてこられ、今日の MEMS、ナノエレクトロニクスの分野を確立されるに至ったことが語られました。これは 20-30 年の道のりであり、長いようで、短いものである、と語られました。すでにある研究分野にとらわれず、自由に、本日の主題で

あるナノの世界にいろいろな分野の技術を取り入れ、融合させることの重要性が述べられました。そして、本セミナーでは、このように分野を開拓されてこられた方々の講演を聞くことで、特に学生に対して、このような研究の世界に参加し、チャレンジして頑張ってみてほしい、という強い励ましのメッセージをいただきました。

続いて本学総研ナノエレクトロニクス研究センターのセンター長である澤野先生より研究センターの紹介がありました。2004年の総研の設立とともに発足した当センターは、現在総研で最も長く続いている研究センターであり、一昨年の総研の等々力キャンパスから世田谷キャンパスへの完全移転に伴い、クリーンルーム、多数の実験装置の移設が行われ、現在すべての装置が順調に新クリーンルームにおいて稼働し、研究センターも世田谷キャンパスで再始動したこと、そしてメンバーも増強され、都市大の半導体研究・教育を担う唯一のグループとして、より活発に研究活動を進めていることが説明されました。最後に、各メンバーの研究テーマの紹介、特に澤野先生のゲルマニウムを利用した研究、特に光デバイス開発について最新の成果が紹介されました。



MEMS を巡る研究の広がり — 光からバイオまでの応用と国際展開— **東京都市大学 特別教授(東京大学名誉教授) 藤田博之**

本セミナー最初の特別講演は、マイクロナノシステム研究室の藤田先生にお話頂きました。MEMS の概要説明に続き、MEMS の第一人者として MEMS 分野を切り拓いてこられた先生のこれまでの研究活動についてお話されました。具体的には、MEMS 研究を始めたきっかけから始まり、MEMS ミラーによる光スイッチ応用、IoT センサーの小型電池として使える振動発電、バイオ応用、特に MEMS ピンセットによる癌検診、さらに現在進められている「光って病気を知らせる皮膚センサディスプレイ」まで、MEMS の非常に多岐にわたる応用例を包括的にご紹介されました。また、これらの研究活動における国際展開のご経験や、信頼関係を結ぶことの重要性についてもお話されました。



最後に、特に学生や若手研究者へ向けたメッセージとして、サーフィンを例えに出されました。研究は人が混んでいない、未開の場所を見つけて行くとよい、先頭にいれば波が来た時には楽に進むことができる、ただ、そこではしっかりした足腰（研究）の力が必要である、という、大変分かりやすく心に強く残るメッセージを頂きました。さらに、登山を例えに出され、どこの山頂を選ぶのか、どのルートで登るのか、難所にぶつかったときに強行突破するのか迂回するのか、などを適切に選択し、決定することが大切であり、そのセンスを磨くことが大切である、というメッセージも頂きました。さらに、ルネ・マグリットの絵を出されて、「異質なものが出会うと新たな世界が生まれる」という、研究の融合の重要性、さらには単なる融合でなく、「要になる研究を目指す」ことの重要性を述べられ終了しました。これらのメッセージは、学生のみならず、会場の全ての聴衆にとって、今後の研究の羅針盤となることと強く感じました。



“強磁性体／半導体・圧電体ヘテロ接合が拓くスピントロニクス技術”

大阪大学大学院 基礎工学研究科附属スピントロニクス学術連携研究教育センター 教授 浜屋宏平

続いて、ナノエレクトロニクス研究センターの澤野先生とは長い間共同研究をされ、半導体スピントロニクス分野において世界的な活躍をされている、大阪大学の浜屋先生のご講演がありました。導入として、データセンターでの深刻な消費電力問題について触れられ、その解決のために半導体チップの消費電力を大きく低減させる必要があること、そしてそのために、磁石を利用するスピントロニクスによる不揮発性メモリの開発が重要であることが説明されました。

そして、トンネル磁気抵抗効果の基本物理、それを利用した、不揮発性メモリである MRAM、そして MRAM とトランジスタを組み合わせたスピントランジスタ（スピン MOSFET）について説明されました。そして、スピン MOSFET 実現に必須である、半導体へのスピン注入の仕組みとその難しさについて述べられました。これまでに浜屋先生のグループでは、MBE を用いた強磁性体合金（ハーフメタル）の独自の形成手法を開発し、特に(111)面方位の Ge を導入することで、原子レベルで高品質な、「強磁性体/Ge ヘテロ界面」を実現し、室温での半導体(Ge)へのスピン注入に世界に先んじて成功し、世界最高のスピン注入効率を達成したことが紹介されました。現在は、Ge をベースとして、スピン MOSFET だけでなく、スピン光デバイスの開発にも着手しているということです。

また、最後にもう一つのトピックとして、強磁性体の磁化を磁場でなく電界で変える必要性から、圧電性を有する、界面マルチフェロイク構造を利用した、電圧印加による磁化制御技術についての説明がありました。圧電体 PMN-PT を利用することで、磁気電気結合係数の世界最高値の実現とその制御に成功しました。今後の進展がさらに期待されます。



“フォトニクスの視点からみる半導体ナノ構造の熱伝導”

東京大学生産技術研究所 教授 野村政宏



続いて、最近発展が著しいフォノンエンジニアリング分野をまさに当初から現在に至るまで、世界的に先導している、東大生産技術研究所の野村先生にご講演頂きました。はじめに熱、フォノンとは何か、についての導入があり、フォトンとフォノンの類似性、相違性について触れながら、これまで先生が開拓して来られたフォノンエンジニアリング、熱エネルギー輸送の世界について説明されました。

まず、光においては幾何光学に対応する、Ray phononics として、直進する熱流や熱レンズの世界初の提案と実証について

て、また熱の干渉、フォノンナノ結晶を利用した熱伝導制御について紹介されました。フォノン、熱伝導がマイクロ、ナノ領域でどのような振る舞いをするのか、フォノンと光子が結合した表面フォノンポラリトンとはどんなものか、そしてナノフィルムを使った観測例、熱伝導率を大きく向上させることに成功した成果等について紹介されました。さらに、2D材料の利用が大きく期待されていること、フォノンの流体的、粘性的な性質を見出し、フォノンのポアズイユ流れの制御、さらに同位体制御したグラファイトの活用、グラファイトのテスラバルブなども紹介されました。最後に、新しい学問分野として、全ての材料に存在する熱振動であるバイブロンを使ったバイブロニクス確立を目指しているという壮大なお話により締めくくられました。

“3D 不揮発メモリの主要デバイス技術と課題”

キオクシア株式会社 先端技術研究所 コアテクノロジー研究開発センター
デバイスコアテクノロジー研究開発部 部長 齋藤真澄

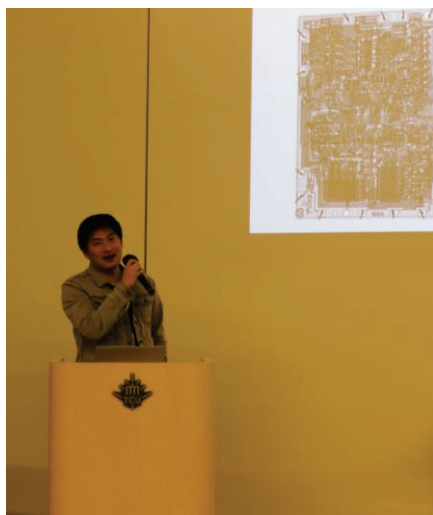
本セミナーで唯一企業からの招待講演として、半導体業界を牽引してきたキオクシアの齋藤様より、まさにキオクシアの代名詞ともいえるメモリについて、現在のメモリ技術のレビューから、最新の研究成果まで紹介頂きました。キオクシア全般のご紹介から、齋藤様が所属する先端技術研究所、特にコアテクノロジー研究開発センターの組織的位置付けや役割についてもご紹介いただきました。3D 不揮発性メモリの分類や特徴について詳しくお話頂いた後、前半は3D フラッシュメモリーのお話で、構造や作製方法を詳しく説明頂きました。最近の技術として、170層以上のワード線積層構造を有する1TBメモリ、CMOSとメモリを貼り合わせる「CMOS bonded Array (CBA)」技術まで紹介頂きました。さらに、チャネル層の高移動度化を目指して、非晶質シリコンを、金属誘起結晶化(MILC)法により単結晶化することに成功した成果を紹介されました。後半は、次世代の不揮発性メモリとして非常に注目されているMRAMについて、基礎から最近のMTJを利用したSTT-MRAMまでお話頂きました。最後に、キオクシアが最近取り組んでいる、保持時間と書き込み高速性を両立できる「AccelHR-MTJ」の最新データについても紹介して頂きました。本講演は特に学生からの質問が多く、メモリ技術とそれを牽引してきたキオクシア社の取り組みへの興味の高さを示すものでした。



“Ge MOSFET 実用化への信頼性課題と期待”

千葉大学 大学院融合理工学府 助教 柯梦南

続いて、千葉大学の柯 梦南（カ ムナン、Mengnan Ke）先生にご講演頂きました（2025年1月より横浜国大に准教授として赴任されました）。柯先生は、東大の高木研究室で修士・博士課程を修



了されましたが、本セミナーでは、主にそこで進められていた Ge MOS 界面の研究についてお話をしました。現在は 2 次元材料の研究も盛んに進められているとのことでした。

はじめに、トランジスタの微細化の歴史やロードマップなどの最新動向のお話をされ、Si に代わる有望なチャンネル材料として Ge が期待され、特に Ge MOS 界面の高品質化が非常に重要であることが説明されました。最も有力なゲートスタック構造として、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{Ge}$ MOS が提案されておりますが、実用化へ向けての信頼性を考えると、そこに存在する遅い準位 (slow trap) が非常に問題となっていることを、実験結果を元に示されました。その上で、slow trap の評価手法、存在する界面の特定、形成メカニズムなど、詳細な議論が紹介されました。また、プラズマ窒化により slow trap 低減に成功したこと、原子層レベルの薄い Y_2O_3 層を挿入し、プラズマ酸化することで、界面準位密度の大幅低減に世界で初めて成功したこと、さらに Y 濃度の最適化によって、伝導帯、価電子帯ともに slow trap 密度低減に成功したことなど、多くの成果が紹介されました。最後に、最近のオゾン酸化による実験や、ナノエレクトロニクス研究センターの澤野先生と共同研究で始めている「Si/Ge のエピタキシャル層挿入 Ge MOS 界面」の実験について紹介され、Ge への今後の期待を示して講演を終了されました。

“スピン軌道相互作用による高速スピン量子ビット操作”

東京都市大学 ナノエレクトロニクス研究センター 講師(東京大学名誉教授) 勝本信吾

本日最後の特別講演として、30 年にわたる東大物性研でのご活躍後、昨年度より都市大に着任され、今年度からナノエレクトロニクス研究センターに加わって頂いた、勝本先生よりお話し頂きました。長年にわたって量子物理分野で世界的権威でもある先生は、今回の講演では、これまでの総括ではなく、ごく最近の研究成果やこれから都市大において新たに開始する研究のお話を頂きました。まずイントロとして、超電導量子ビット (qubit) 研究のこれまでの歴史、半導体量子ドット qubit の進展について触れられ、最近では Ge を利用した qubit が著しい進展を遂げ、トップを走る時代になってきたことを説明されました。

前半では、量子ホール状態のスピン偏極エッジ状態による飛行量子ビットについて詳しく説明頂きました。2 準位系、量子回路図の説明、量子ゲート＝ユニタリ変換であること、スピン偏極量子ホール端状態、ランダウ量子化した状態の詳しい説明、さらに、先生がこれまでに研究されてきた、ショットキーゲートによる端状態経路の設計についてのお話を頂きました。スピン歳差運動の制御と検出が可能となり、これは qubit のユニタリ変換ができたこ



とを示し、非常に長いコヒーレンス長（0.4mm 以上）、高い信頼度（Fidelity）99.7%が得られました。これらは、量子コンピュータ実現に非常に有望な結果といえます。

後半は、最近急速に量子ビット材料として注目を集めている Ge についてのお話でした。Ge の 2 次元正孔系としての特徴、魅力、量子ドットを利用したスピン量子ビットとしてのポテンシャルの高さを説明されました。特に、Rashba 相互作用を使うことで速くて自由なスピン操作が可能であること、核スピンの影響が小さくコヒーレンス時間が長いこと、などの Ge の優位性を挙げられました。現在特に興味を持っていることは、Rashba 相互作用が存在することの要因を、(110)面の Ge 2 次元正孔系を利用して解明することであり、今後ナノエレクトロニクス研究センターにおいて結晶成長からチャレンジされるということで、これからの進展が非常に楽しみです。



最後に副学長の柴田先生より閉会挨拶がございました。ご講演者への感謝の言葉として、半導体分野における広範なテーマが議論され、学生にとって非常に良い勉強で、大きな刺激となった、と述べられました。NTT では光技術をサービスにし始めており、技術がいずれサービスにつながることを誰しも目指しているところですが、本日この都市大から、最先端の技術を議論し発信する場を提供できたことが非常に喜ばしいことであり、今後もこのコミュニティを大切にしたい、都市大がその拠点として貢献できればありがたい、という言葉で締めくくられました。

以上をもって、本セミナーの講演の部は締めくくられました。各講演で大変に議論が活発化したこともあり、予定よりも時間オーバー気味でしたが、最後まで多くの聴講者で埋まっておりました。会場では、大学関係者、企業関係者、OB や学生など、合わせて 100 名を超える聴衆が集まりました。さらにオンラインでは 20-30 名の視聴がありました。土曜日にもかかわらず多くのご参加を頂きまして厚く御礼申し上げます。

引き続き、会場を Cafe Nana に移し、懇親会を兼ねたポスターセッションが再開されました。この第 2 部は、初代総研所長、元副学長の白木靖寛先生にご挨拶を頂きました。その後、各大学の学生を中心に、16 件のポスター発表がありました。各大学の教員や企業研究者と学生との密なディスカッションが交わされ、さらに学生同士の交流も深まり、大変盛況な会となりました。本日の講演者の方々も、是非この機会に、とばかりに多くの学生等からの質問を受けておりました。講演者の方々も、刺激を受けて今後の研究活動にプラスに生かしていただければ嬉しく思います。





以上、全体で7時間近い長時間にわたるセミナーとなりました。今日、世界的にもその重要度、注目度がますます高まっている半導体の世界の中でも、特に重要な各分野について、それぞれの世界で大変著名な方々の発信を、この都市大から実現できたことを光栄に思います。非常に貴重な一日になりました。みなさまのご協力に感謝いたします。10年、20年後に、この場にいた学生、若い研究者の皆様が、半導体の世界で大きな活躍をしていることを期待します。そして、本日のセミナーが、少しでもそのベースとなっていれば非常に喜ばしいことです。今後も都市大から、このような最先端の半導体技術の発信を、この総研セミナーを通して行ってまいりますので、またのご参加を是非ともよろしくお願いいたします。



第225回 総研セミナー <プログラム>

半導体最前線 ～ MEMS からナノデバイス、メモリ、熱、光、スピン、量子、ゲルマニウムまで ～

【日 時】 11 月 16 日(土) 13:00～19:00

【場 所】 東京都市大学世田谷キャンパス TCU ホール(7 号館 1 階) (オンラインもあり)

・13:00～13:05 開会挨拶

東京都市大学 学長 野城 智也

・13:05～13:20 はじめに

東京都市大学ナノエレクトロニクス研究センター長 澤野 憲太郎

・13:20～14:05 《特別講演》MEMS を巡る研究の広がり ― 光からバイオまでの応用と国際展開―

東京都市大学 特別教授(東京大学名誉教授) 藤田 博之

・14:05～14:40 〈招待講演〉強磁性体／半導体・圧電体ヘテロ接合が拓くスピントロニクス技術

大阪大学大学院 基礎工学研究科附属スピントロニクス学術連携研究教育センター 教授 浜屋 宏平

・14:40～14:55 〈休憩〉

・14:55～15:30 〈招待講演〉フォトニクスの視点からみる半導体ナノ構造の熱伝導

東京大学生産技術研究所 教授 野村 政宏

・15:30～16:05 〈招待講演〉3D 不揮発メモリの主要デバイス技術と課題

キオクシア株式会社 先端技術研究所 コアテクノロジー研究開発センター

デバイスコアテクノロジー研究開発部 部長 齋藤 真澄

・16:05～16:20 〈休憩〉

・16:20～16:55 〈招待講演〉Ge MOSFET 実用化への信頼性課題と期待

千葉大学 大学院融合理工学府 助教 柯 梦南

・16:55～17:35 《特別講演》スピン軌道相互作用による高速スピン量子ビット操作

東京都市大学 ナノエレクトロニクス研究センター 講師(東京大学名誉教授) 勝本 信吾

・17:35～17:40 閉会挨拶

東京都市大学 副学長 柴田 随道

・17:40～19:00 ポスターセッション

第225回 総研セミナー開催案内

『半導体最前線 ～ MEMSからナノデバイス、メモリ、熱、光、スピン、量子、ゲルマニウム まで ～』



下記のとおり第225回総研セミナーを開催いたします。今回は、ナノエレクトロニクス研究センターとマイクロナノシステム研究室の共催による総研セミナーとなります。だれでも自由にご参加頂けます。

ナノエレクトロニクス研究センターは、2004年の総研発足当初から、クリーンルームを拠点としてシリコン系半導体の研究を進めて参りました。2年前に新クリーンルームが世田谷キャンパスの新棟に開設され、全ての装置が移設されました。現在、ナノエレクトロニクス研究センターとマイクロナノシステム研究室は、お互いに連携を深めながら、新クリーンルームを中心にして、研究テーマを拡大し、益々活発に最先端の研究開発を進めております。

今回は、それらの研究開発において関わりが深く、各分野を牽引する活躍をされている方々を招待し、貴重なご講演を頂きます。また、本学からは、マイクロナノシステム研究室長の藤田先生と、ナノエレクトロニクス研究センターの勝本先生による特別講演も企画しました。是非多くの方にご参集頂けますようご案内申し上げます。

日時：2024年11月16日(土) 13:00-19:00

場所：東京都市大学 世田谷キャンパス TCUホール (7号館1階)

オンライン <https://tcu-ac-jp.zoom.us/j/86978583599> (Zoom ID: 869 7858 3599)

***** プログラム *****

- 13:00-13:05 **開会挨拶** 東京都市大学 学長 野城 智也
- 13:05-13:20 **はじめに** 東京都市大学 ナノエレクトロニクス研究センター長 澤野 憲太郎
- 13:20-14:05 **《特別講演》 MEMSを巡る研究の広がり ― 光からバイオまでの応用と国際展開 ―**
東京都市大学 特別教授 (東京大学 名誉教授) 藤田 博之
- 14:05-14:40 **〈招待講演〉 強磁性体/半導体・圧電体ヘテロ接合が拓くスピントロニクス技術**
大阪大学 大学院基礎工学研究科
附属スピントロニクス学術連携研究教育センター 教授 浜屋 宏平
- 14:40-14:55 **〈休憩〉**
- 14:55-15:30 **〈招待講演〉 フォトニクスの視点からみる半導体ナノ構造の熱伝導**
東京大学 生産技術研究所 教授 野村 政宏
- 15:30-16:05 **〈招待講演〉 3D不揮発メモリの主要デバイス技術と課題**
キオクシア株式会社 先端技術研究所コアテクノロジー研究開発センター
デバイスコアテクノロジー研究開発部 部長 齋藤 真澄
- 16:05-16:20 **〈休憩〉**
- 16:20-16:55 **〈招待講演〉 Ge MOSFET実用化への信頼性課題と期待**
千葉大学 大学院 融合理工学府 助教 柯 夢南
- 16:55-17:35 **《特別講演》 スピン軌道相互作用による高速スピン量子ビット操作**
東京都市大学 ナノエレクトロニクス研究センター 講師 (東京大学 名誉教授) 勝本 信吾
- 17:35-17:40 **閉会挨拶** 東京都市大学 副学長 柴田 随道
- 17:40-19:00 **ポスターセッション**

お問い合わせ先：総合研究所 E-mail : souken@tcu.ac.jp <https://www.arl.tcu.ac.jp/>

