



第83回応用物理学 会秋季学術講演会

スピントロニクス研究会20周年記念
シンポジウムの紹介 (9/22PM)

スピントロニクス研究会20周年記念シンポジウム ～スピントロニクス研究のトレンドと今後の展望～

世話人：松倉文礼（東北大）、好田誠（東北大）、岡林潤（東大）、山ノ内路彦（北大）

講演者	所属	題目
大野英男	東北大	スピントロニクス：省エネルギー、そして新たなコンピューティングへ
田中雅明	東大	半導体スピントロニクス材料とデバイス研究の新展開
安藤康夫	東北大	金属スピントロニクスの発展と高感度磁気センサへの応用
新田淳作	東北大	スピン軌道相互作用とスピントロニクスの展望
鈴木義茂	阪大	エピタキシャル磁性薄膜の発展
宗片比呂夫	東工大	スピンフォトニクス
小野輝男	京大	強磁性スピントロニクスから“X”スピントロニクスへ
佐藤勝昭	農工大	スピントロニクス研究会の20年とこれから

スピントロニクス：省エネルギー、 そして新たなコンピューティングへ

大野 英男先生



- ▶ 大野英男先生（東北大）は、スピントロニクスの発展について概説した。
- ▶ はじめに、これまでの電子デバイスの世代交代は、消費電力がある閾値を越えると起きており、微細な磁気トンネル接合素子がネットワークのエッジにおける低消費電力デバイスの主流になることを述べた。
- ▶ 次いで、確率論的コンピューティングが自然現象のモデル化に適しているというFeynmanの理論に沿って、MTJのストキャスティクな動作領域を用いたp-bitが因数分解に使えるという例を示した。
- ▶ 最後に、スピントロニクスを用いたニューロモルフィックな論理演算の展開についても紹介した。

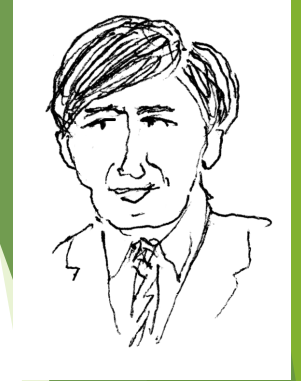
半導体スピントロニクス材料とデバイス研究 の新展開



田中 雅明先生

- ▶ 田中雅明先生（東大）は、はじめに、スピントロニクス研究会 1 つのベースとなり、スピントロニクスのコミュニティが発展し、日本学術会議マスタープラン2014, 2017(継続), 2020重点大型研究計画、および文科省大型プロジェクトの推進に関する基本構想－ロードマップ2014、2020にも連続して採択されたこと、5大学（東大、東北、大阪、京都、慶応）にCSRNが設立され、このセンターを中心にSpin-RNJを形成し活動を続けていることを紹介した。
- ▶ 最も重要な半導体スピントロニクス材料である強磁性半導体(FMS)とヘテロ構造およびその機能に関する研究の進展として、p型FMS [(Ga,Fe)Sb, (Al,Fe)Sb] とn型FMS [(In,Fe)As, (In,Fe)Sb] のMBE成長に成功したこと、これらのFe系FMSでは、Fe 濃度の増加に伴いキュリー温度は単調に増加し、**禁制帯幅が狭くなるほどキュリー温度が高くなるという新しい化学トレンド**を示していること、Fe濃度xが23%以上の $(\text{Ga}_{1-x}, \text{Fe}_x)\text{Sb}$ や16%以上の $(\text{In}_{1-x}, \text{Fe}_x)\text{Sb}$ では明瞭な室温強磁性を観測したことを紹介した。
- ▶ Fe系FMSを含むヘテロ構造における新しい磁気輸送現象に関する知見も紹介した。

金属スピントロニクス的发展と 高感度磁気センサへの応用



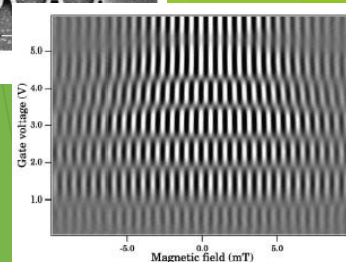
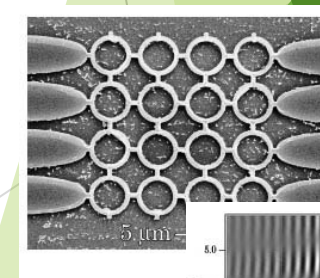
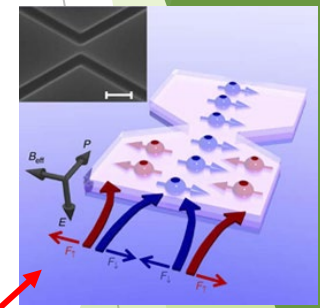
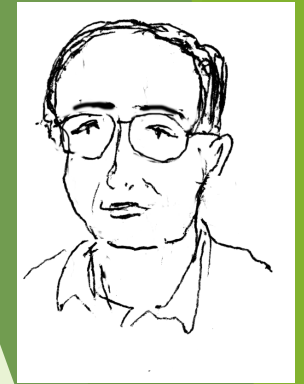
安藤 康夫先生(東北大)

- ▶ 安藤 康夫先生(東北大) は、強磁性トンネル接合を用いた金属スピントロニクス素子のこれまでの発展とその高感度磁気センサへの応用の可能性に関して最新の結果を交えて紹介した。
- ▶ 生体磁気センサとしてみた場合、TMRセンサは、光ポンプ(OPA)、ダイヤモンドNVセンター、SQUIDに比べると感度は劣るが、はるかに低コストで、Clinical applicationに向いている。
- ▶ 応用例として、車載用（ダイナミックレンジの広さ）、非破壊検査（深さ50cmも検出可能）、ヘルス診断用途（コンパクトで高感度）、心磁・脳磁計測（液体He不要、シールドレス）などの実例を紹介。
- ▶ 大学発ベンチャーSpin Sensing Factoryを設立。

スピン軌道相互作用と スピントロニクス展望

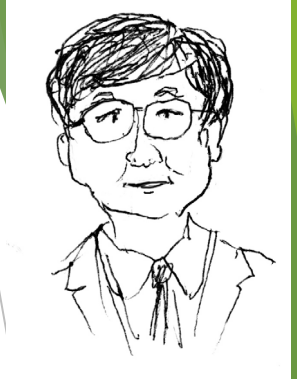
新田 淳作先生（東北大）

- ▶ 新田 淳作先生（東北大）は、半導体中の電子スピンの電場制御、特に、スピン軌道相互作用を活用したスピンオービトロニクスについてご紹介した。
- ▶ 半導体、磁性体、金属、トポロジカル絶縁体など広範囲な固体物理分野でスピン軌道相互作用の重要性が認識され、スピンの関与する新しい現象が発見されるとともに新規なスピン機能が実現されているとして、マヨラナフェルミオンや磁気スカーミオンのような新奇な準粒子形成をはじめとして、磁壁のカイラリティだけでなくスピン軌道トルクを用いた磁性体の磁化制御にはスピン軌道相互作用が重要な役割を果たしているという考え方に立って、半導体を舞台にしたスピン軌道相互作用を用いたスピントロニクスへの展開を紹介するとともに、金属/磁性体を用いたスピンオービトロニクスへの展望にも言及した。
- ▶ 半導体ナノ構造Stern-Gerlachによりゼロ磁場で高いスピン偏極率の電子生成やゲート電圧によりスピンの歳差運動を制御することで、電子波の位相を変化させる新しい干渉実験（Aharonov-Casher効果）を紹介した。



エピタキシャル磁性薄膜の発展

鈴木 義茂先生（阪大）



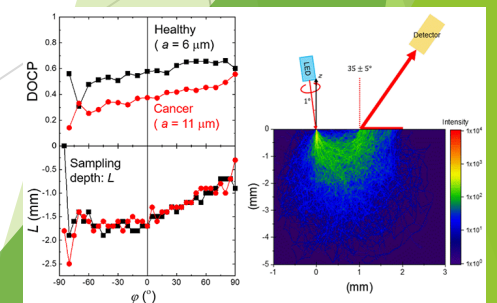
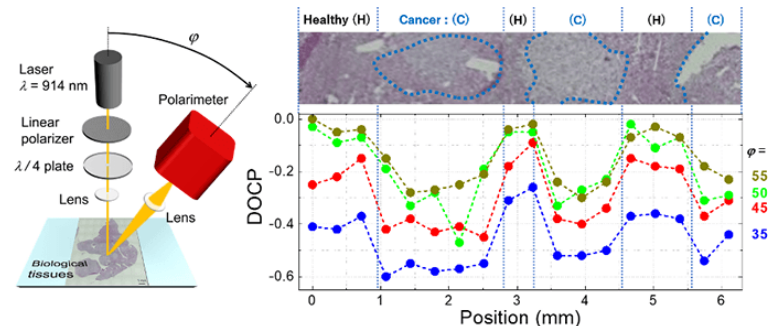
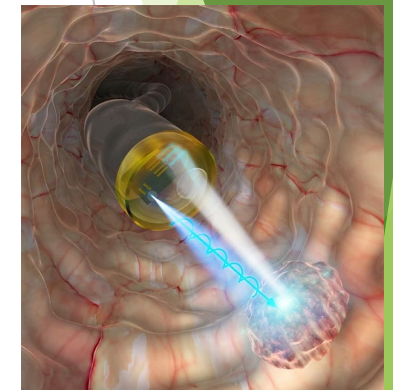
- ▶ 鈴木義茂先生（阪大）は、超高真空での金属人工格子の作製に関する歴史、磁気ヘッドやMRAM素子には高品質な界面の設計がスピントロニクスに欠かせないことについて述べた。
- ▶ スピントロニクスは、エピ技術とともに発展した歴史を紹介した後、TMR素子、電圧制御磁気異方性制御などには界面設計が基本でエピタキシーが望ましいが、一方でエピ膜の利用には工業的障壁があり、これからの重要技術として、ウェハーボンディング、ファンデアワールスエピタキシーなどが1つの解決方法であることを紹介した。
- ▶ また、分子材料に関しては、配線技術の研究開発が必要であること、スキルミオンメモリの実用化には、YIGの無転位結晶が重要な役割をもつことなども紹介した。

スピントフォニクス

宗片比呂夫（東工大）



- ▶ 宗片比呂夫先生（東工大）は、光とスピンの結合による応用物性について講演、円偏光発光・検出デバイスや生体応用などの展望について紹介した、
- ▶ 特に、最近の研究成果として、円偏光を生体組織に照射し、生体内からの散乱光の偏光状態を調べることにより、内部の散乱体である細胞核の形状変化を介して組織の異形成を検知することができること、ヒトのすい臓がんの肝転移検体に対し近赤外の円偏光を照射し、がん診断が可能であることを示した。
- ▶ さらに、円偏光の散乱現象を数値シミュレーションに組み込み、検出角の変調により表面に存在するがんの層厚検出が可能であること、本技術は東工大グループが開発しているスピン偏極円偏光発光ダイオード（Spin-LED; Spin-polarized Light Emitting Diode）を内視鏡先端に組み込むことにより、体内でのその場観察を可能とすることを紹介した。

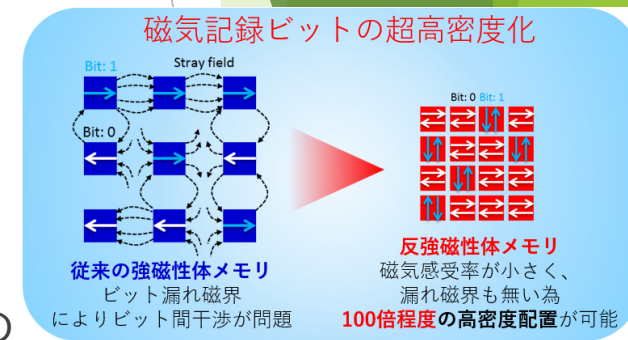


強磁性スピントロニクスから “X” スピントロニクスへ

小野輝男先生（京大）



- ▶ 小野輝男先生（京大）は、Xが反強磁性、フェリ磁性、超伝導の場合のスピントロニクスの展開について議論した。
- ▶ 特に、反強磁性体は(1)Stray fieldがないこと、(2)THz磁気共鳴、(3)2つの共鳴モードという特徴を持つ。
- ▶ 反強磁性体の磁化操作に関してスピントルク反強磁性メモリを紹介した。また、フェリ磁性体の特徴を活かした磁化操作に関する研究として、2つの副格子に別々にアクセスできることなどを紹介した。
- ▶ また、強磁性体を含む極性超伝導多層膜において、外部磁場を用いずに一方向にのみ電気抵抗がゼロとなる超伝導ダイオード効果を観測したことを紹介した。
- ▶ Nb層、V層、Co層、V層、Ta層から構成される極性構造を有した超伝導/強磁性多層膜において、強磁性体であるCoの磁気状態を制御することによって、外部磁場がない状態でも臨界電流の大きさが電流方向に依存することを発見し、さらに無磁場下において超伝導ダイオード効果の方向を制御することに成功したという。



スピントロニクス研究会 の20年とこれから



佐藤勝昭（農工大）

- ▶ 佐藤は、2001年4月に、世話人代表としてスピントロニクス研究会の設立の申請をしたときのこの分野の状況を振り返るとともに、その後20年のスピントロニクス分野の発展を概観し、この分野に本会が果たした役割を述べ、本会が今後この分野に貢献することの期待を述べた。
- ▶ 20年のスピントロニクス研究の発展は素晴らしいものがある。
 - ▶ MgOバリアTMR素子の開発と高密度磁気読み出しヘッドへの実用化、スピン移行トルク(STT)による磁化反転の発見とSTT-MRAMの開発とユニバーサルメモリへの展開、電流誘起磁壁移動(CIWM)の発見とレーストラックメモリの提案、スピントルク発振子の発見とMAMR(マイクロ波アシスト磁気記録)への応用、逆スピンホール効果によるスピン流計測技術の確立、熱スピン流によるスピンゼーベック効果の発見とスピントロニクス分野への発展、トポロジカル絶縁体によるスピン流の生成、磁気スキルミオンの観測とメモリ応用の提案、半導体へのスピン注入、室温磁性半導体のリザーバコンピューティングへの応用など枚挙にいとまない。わが国の研究者が、これらのトピックスの多くにおいて常に大きく貢献してきたことは言うまでもない。
- ▶ 本研究会は、最新のトピックスを学術講演会のシンポジウムとして紹介するほか、折に触れスクールを開催し、若手の人材育成を図るなど、この分野を常にリードしてきた。今後この分野は、基礎と応用のキャッチボールを通じてさらなる発展を遂げると期待される。スピントロニクス研究会の活動がこの発展を支えるものと確信している。