

大阪大学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

吉田 博*



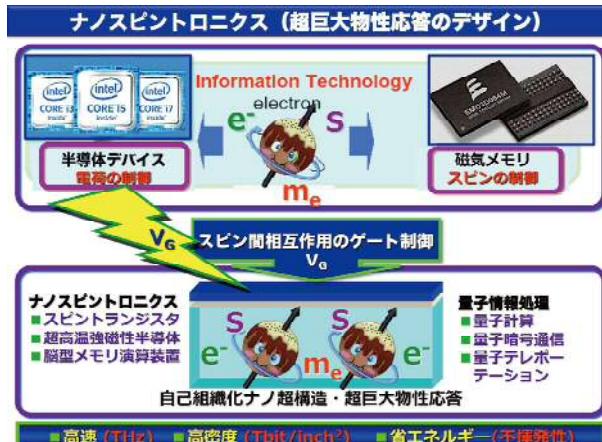
夢はバラ色

Osaka University, Graduate School of Engineering Science,
Center for Spintronics Research Network (CSRN)

Key Words : Spintronics, Research Network, Computational Nano-Materials Design CMD®

1. はじめに

電子は電荷 (e^-)、質量 (m_e)、スピン (S) をもつ素粒子であるが、物質の中では、電荷は電流を、質量は熱（運動エネルギー）を、スピンは角運動量（スピン流）を運ぶ。Si とその酸化物を舞台に、ゲート電圧により電荷を制御する Si-CMOS 半導体技術の基礎が確立され、現在の情報技術の基盤が構築された。ゴードン・ムーアの法則による指数関数的なデバイス集積度にも物理的限界が見え、半導体デバイスにおける電子による熱エネルギー消費が指数関数的に増大し、2030 年には、我国の全電力消費の 60%にも及ぶと懸念されている。酸化物絶縁体をナノ強磁性体でサンドイッチし、磁化方向の平行・反平行に依存するトンネル電流差を利用して磁気メ



* Hiroshi KATAYAMA-YOSHIDA

1951年4月生
大阪大学大学院理学研究科 物理学専攻
(1979年)
現在、大阪大学大学院基礎工学研究科
スピントロニクス学術連携研究教育セン
ター長 教授 理学博士 計算ナノテ
リアルデザイン、スピントロニクス
TEL : 06-6850-6405
FAX : 06-6850-6407
E-mail : hiroshi@mp.es.osaka-u.ac.jp

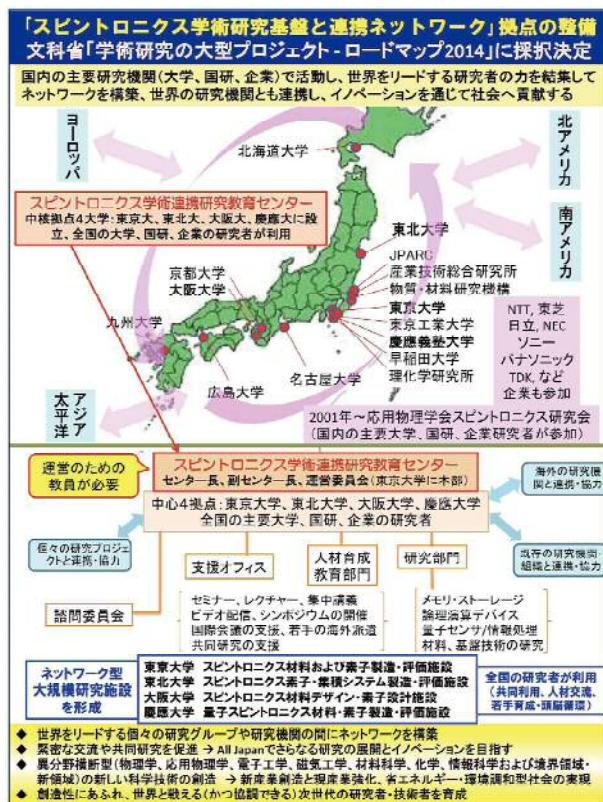


モリとして産業応用されている。Si-CMOS の限界を超えるためには、電場によりスピン自由度をナノスケールサイズで制御する革新的省エネルギー・デバイスとしてのナノスピントロニクスを開発することが最重要課題となっている。相対論的量子力学から導かれるスピンを起源とする強磁性は巨視的であり、ロバストでコヒーレントな量子状態が 1000K 以上の高温まで発現し、磁化は不揮発性である。ゲート電圧によりスピン間の交換相互作用を自由に制御できれば、スピントランジスタや脳型メモリ・演算装置などの革新的省エネルギー・デバイスや量子力学の基本原理に立脚したロバストで独創的な量子スピントロニクス・デバイスの新しい有力候補となる。スピントロニクスの実現のためには、スピンを電場で制御できる超巨大物性応答デバイスと既存のスケーラブルな半導体集積技術に立脚したシステム集積とを統合することが不可欠である。これらの実現により、Si-CMOS 技術の限界を越えるナノスピントロニクスや、量子力学の基本原理（量子重ね合わせ、量子もつれ状態、量子トンネル効果、量子論的離散エネルギー準位）を積極的に利用した大集積の巨視的スピン量子ビットによる量子計算や量子情

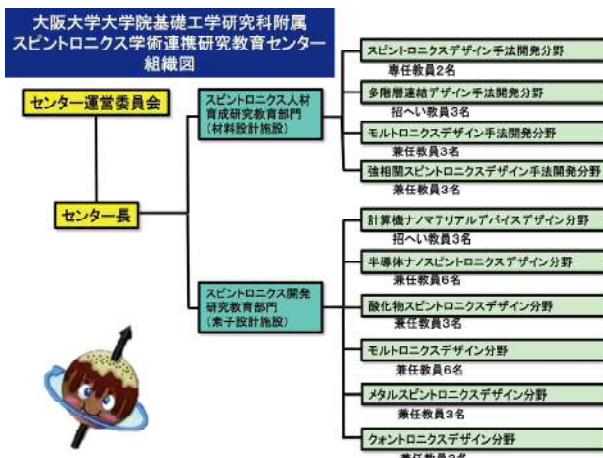
報処理が可能になり、人工知能の複雑パターン認識、最適なインターネット検索、ポートフォリオにおける最適化（投資利益の最適化）、航空機やトラックの運航管理における最適化問題などの社会的・経済的・学術的要請の強い現実的な課題への応用が実現できる。このような産業界や社会への影響力の大きな独創的情報通信技術が開発され、知財化されれば世界経済を支配できることは容易に想像できるため、日米欧に加えて、中国・韓国の参入により世界的レベルでのスピントロニクスの研究開発競争が激化している。

2. 組織の概略

スピントロニクスは革新的省エネルギー・デバイスとして最も有力な科学技術基盤を提供すると社会からは大きく期待されている。そのような状況の中、大阪大学では、物理、応用物理、化学、材料科学、電子情報通信工学、情報科学などの学際融合分野であるスピントロニクス研究において、部局内および部局間連携により、半導体・金属・酸化物・有機物をベースとする卓越した研究実績をあげている。それらに加えて、4大学（東京大学、大阪大学、東北大学、慶應義塾大学）を中心拠点とするスピントロニクス全国共同利用教育研究拠点を形成する計画が文部科学省「学術研究の大型プロジェクト・ロードマップ2014」に採択された。本センターでは、世界トップレベルにある日本のスピントロニクス研究の国際競争力のさらなる向上、新産業創成と現産業の強化及び次世代人材の育成を通じて、地球規模の全人類的課題の解決と、独創性にあふれる次世代研究者を育成することを目的とし、基礎工学研究科、



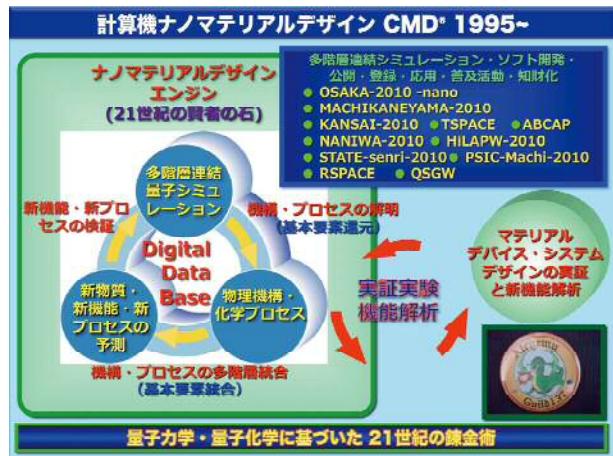
理学研究科、工学研究科、産業科学研究所などの教員が専任教員、兼任教員として、また、京都大学、金沢大学、九州大学、三重大学、京都工芸繊維大学などの他大学からの多くの招へい教員が参画し、共同利用・共同研究をめざした協力支援体制のもとに、基礎工学研究科附属「スピントロニクス学術連携研究教育センター」を平成28年度概算要求により設置した。本センターは、西日本におけるスピントロニクス研究の中心拠点となり、ミッションの異なる他の拠点大学（東京大学〔マテリアル創製〕、東北大学〔デバイス創製〕、慶應義塾大学〔量子スピ



トロニクス創製]) とネットワークにより連携し、大阪大学 [マテリアル・デバイスデザイン] のミッションであるデザイン主導によるスピントロニクス共同研究 (デザイン⇒マテリアル創製⇒量子スピントロニクス創製⇒デバイス・システム創製のサイクル) を推進することにより、All Japan 体制でのネットワーク型の革新的省エネルギー・デバイス開発の研究教育を行う。本センターは、【1】スピントロニクス人材育成研究教育部門 (材料設計施設) と【2】スピントロニクス開発研究教育部門 (素子設計施設) の二つの部門から構成され、各部門は、それぞれのもとに設置される合計 10 分野から構成されている。

3. スピントロニクス学術連携研究教育センターの活動と将来展望

1995年から大阪大学を中心拠点とし、データベースに立脚し、第一原理計算手法と多階層連結量子シミュレーション手法を併用した計算機ナノマテリアルデザイン (CMD[®]) の開発・公開・登録・応用・普及・知財化などの活動を行い、省エネルギーのナノスピントロニクス材料、自己組織化ナノ超構造や磁性体ナノ材料などのデザインを行い、デザイン主導による実証実験を指導し、大きな研究成果を上げてきた。半導体をベースとしたナノ超構造によるスピントロニクス研究や金属・酸化物をベースにしたスピントロニクス実証実験ではデザイングループと



共同し、室温以上の磁化の電場制御などで優れた研究成果を上げてきた。有機物質では、自己組織化によるナノ超構造の創製法や金属電極と有機物質との界面制御におけるデザインと実証で優れた成果が得られている。これらの研究実績に立脚して、半導体・金属・酸化物・有機物質をベースとしたデザイン主導によるスピントロニクスの実証を多様な分野で多面的に共同研究・共同利用として推進し、阪大オリジナルなスピントロニクスの独創的な研究成果をあげることを目指している。現時点までに、84件の共同研究が提案され、他大学や他研究機関との連携により共同研究を推進している。また、国際共同研究についても積極的に外部資金とマッチングファンドにより推進している。国際会議についても





SPINTECH や PASPSなどのスピントロニクスに関する国際会議を共催し、主要テーマごとに国際ワークショップも開催している。特に、人材育成においては、スピントロニクス・デザインコースを本センターが中心となり企画立案し、デザイングループだけではなく、実験グループをも対象としたチュートリアル（年2回、一回5日間の集中講義とデザイン実習から構成）を9月と3月に開催する。本プロジェクトは平成26年から10年計画で文部科学省「学術研究の大型プロジェクト・ロードマップ2014」スタートし、概算要求では平成28年から開始され、平成35年までのゴールが設定され、それに向かって共同研究を推進している。これらのスピントロニクス連携ネットワークの強化により、超省エネルギー・超高速デバイスの実現により、Si-CMOS半導

体技術の限界を超える、また、社会的・経済的・学術的要請の強いスピントロニクスによる量子ビットによる量子計算や量子情報処理デバイスの実現に大きく貢献することができる。

平成28年度、本センターは基礎工学研究科附属でスタートしたが、共同研究・共同利用を目指している中心拠点となる4大学（東京大学、大阪大学、東北大学、慶應義塾大学）のセンターは数年後には各大学のセンターとして独立したセンターとなるよう企画立案されている。東北大学センターではすでに発足時から東北大執行部主導により東北大学センターとしてスタートしている。大阪大学執行部、各部局、および、連携する周辺の他大学からの大きな支援体制は不可欠であり、皆様からの多大なるご支援を切に御願いする次第である。

