

【1. 日本側拠点機関名】東北大学・国際集積エレクトロニクス研究開発センター

【2. 日本側コーディネーター氏名】教授・遠藤哲郎

【3. 日本側協力機関名】東京大学、筑波大学、東北大学工学研究科

【4. 研究課題名】「半導体集積デバイス向け二次元電子・スピン材料研究拠点」

【5. 研究分野】

二次元電子材料とスピン情報を半導体集積回路に融合させたときの学理を探究する研究分野である。高い面内方向の電子移動度・特異なバンド構造を有するグラフェン、 h -BN、 WS_2 等の二次元電子材料の学術分野では高効率トランジスタ等の新規デバイスが提案されている。また、スピントロニクス分野では縦型構造の磁気センサー、不揮発性磁気メモリ等が提案されている。この2つの独立した学術分野を半導体テクノロジーにより融合させることで、高機能/低消費電力を兼ね備えた革新的な新しい3次元半導体集積デバイスを創製できる。

【6. 実施期間】平成 28 (2016) 年 4 月～令和 4 (2022) 年 3 月 (6年間)

【7. 交流相手国との中核的な国際研究交流拠点形成】

英国 ケンブリッジ大学ではグラフェンセンターと連携して、次の研究段階へ進むために日英の拠点形成が若手研究者を中心に進められている。フランス パリ南大学とは CNRS/Thales の若手研究者と連携し、実用性・量産性を主な目標としたデバイス創製の拠点形成が進められている。

【8. 次世代の中核を担う若手研究者の育成】

本プログラムは、助教・准教授相当の 10 名(日本)、6 名(英国)、4 名(仏国)の次世代の研究の中核を担う若手研究者がワークショップ等で毎回(合計 7 回の国際ワークショップ)、発表し、活発な議論のなかから強固な連携が育成された。双方の国を来訪するなかで、若手研究者が異なる研究文化に触れることにより新たなアイデアが創発された。コロナ禍ではオンラインをメール議論などと併せて効率的に多用し、新しい交流方式を試みた。次世代の研究の芽を育成する大学院生(17 名)も数多く参加し、日仏英の相手国において最先端の理論・実験研究を展開した。

【9. 研究の背景・目的等】

電子を情報担体とする情報処理デバイスのスケールリングは限界に近づいており、次世代の半導体開発のブレークスルーとなる新材料、製造技術のインテグレーションが、強く求められている。グラフェン、 h -BN、 WS_2 などの二次元材料は、高い電子移動度を有するにのみならず、室温でかなり長いスピン拡散長を有しており、現在の MOS チャンネルを代替する新規の電子伝導/スピン伝導チャンネルとして、注目されている。しかし、グラフェン等の二次元材料を集積回路へ導入するための製造技術は確立していないため、現状では応用範囲はニッチな産業領域に限られている。研究コーディネーターの遠藤哲郎を中心とした東北大学の研究グループは、縦型半導体からスピン応用ロジック・メモリまで、最先端の半導体デバイスの開発を先導し、2012年に新しい国際的な産学連携拠点として、国際集積エレクトロニクス研究開発センターを開設し、日本発の本格的な産学連携拠点を運営してきた。本研究の目標は、大面積基板に適用可能な CVD 技術を駆

使した再現性の高いグラフェンなど二次元材料の製造技術を用い、高度に制御された電極との界面を創製することで、高移動度の二次元電子、スピンチャネルを実現し、前記チャネルを伝導する電子・スピンを理論的、実験的に明らかにすることにある。具体的には、日本の拠点である東北大学を中心に新規構造・新規材料の二次元電子・スピndeバイスの提案を行い、英国の研究拠点であるケンブリッジ大学を中心に、高品質のグラフェンデバイスの製造技術、グラフェンを応用したスピndeバイスの製造技術を開発し、フランスの拠点であるパリ南大学でグラフェンの縦型スピン伝導を利用した新しい実験も遂行する。これら世界トップレベルの拠点機関間の緊密な連携により次世代半導体のプレークスルー技術を創製するとともに、研究拠点交流を通じて革新的技術創出に資する国際的なセンス豊かな若手研究者の育成を目的とする。

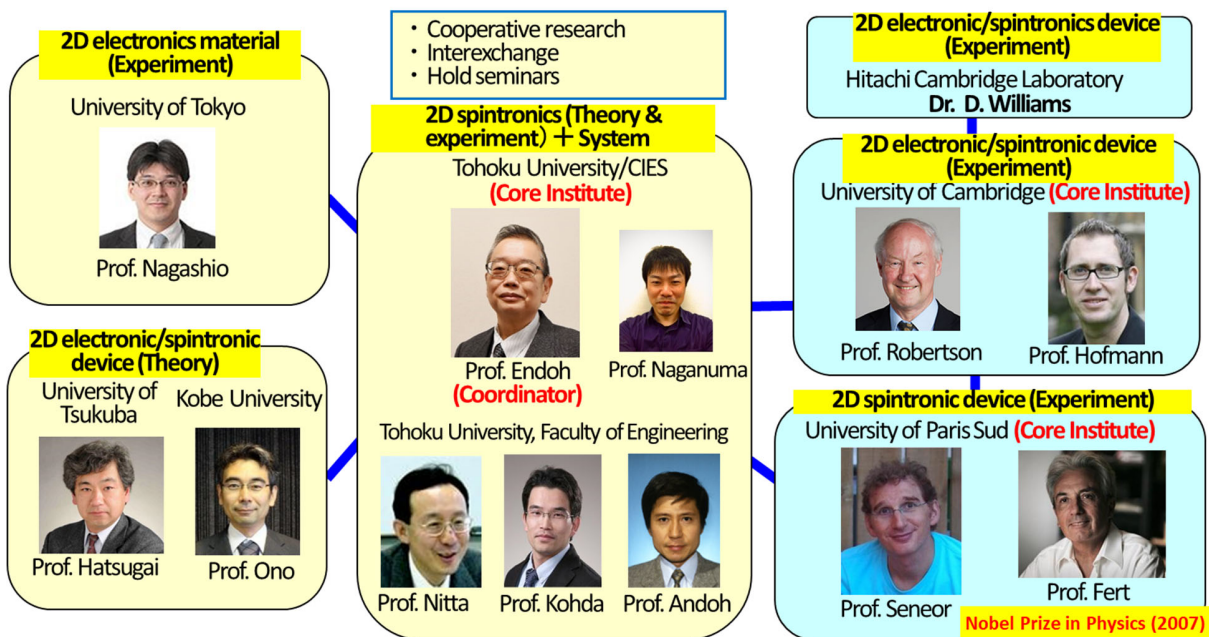


図 1 東北大学を中心とした日仏英の国際共同研究ネットワーク

【10. 成果・今後の抱負等】

英国は二次元材料である WS_2 および h -BN の様々な合成方法に挑戦し、日本側は二次元材料の原子界面構造を解析して半導体デバイスとの融合に関わる調査を行うと共に、電気伝導性および光学的手法によるバンド構造を実験的に調べた。物性値から英国はバンド構造を理論的に計算し、チャネル機能の解明に取り組んだ。日本側はシステム化に必要な要件を検討し、合成・物性解析・理論予測の成果による豊富なデータから集積化のための課題抽出を効率的に行うことができた。本支援後は高品質な二次元材料の作製が達成できた CVD, ALD 合成法に注目して基礎的な内容を中心に新たな共同研究を遂行することで一致した。一方、日仏間では量産化に適した CVD 法を用いた二次元材料の面直通電デバイスの作製に注力した。ファンデルワールス力を用いることにより結晶系の異なる材料を接触させて二次元材料をトンネル障壁とした新しいスピントロニクスデバイスが創製できることを提案した。これまでの二次元材料の研究は面内伝導現象を主に取り扱ってきたが、若手研究者の交流から育成された斬新なアイデアにより二次元材料に対して垂直方向の面直伝導現象に着目し、従来の不揮発性磁気メモリに対して高効率になる潜在的価値があることを示し、支援後も継続した研究を展開するに至った。