

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－英国研究交流）

1. 研究課題名：「グラフェンに基づくスピントロニクスデバイスのモデル化 (Modelling of graphene-based spintronic devices)」
2. 研究期間：平成21年12月～平成25年3月
3. 支援額： 総額 12,000,000 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

| | 氏名 | 所属 | 役職 |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 研究代表者 | 越野 幹人 | 東北大学大学院理学研究科 | 准教授 |
| 研究者 | 安藤 恒也 | 東京工業大学大学院理工学研究科 | 教授 |
| 研究者 | 文 泌景 | 東北大学大学院理学研究科 | 助教 |
| 研究者 | 大湊 友也 | 東北大学大学院理学研究科 | 博士課程 |
| 研究者 | | | |
| 研究者 | | | |
| 参加研究者 のべ 4 名 | | | |

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

| | 氏名 | 所属 | 役職 |
|--------------|-----------------|----------------------|--------------|
| 研究代表者 | Edward McCann | Lancaster University | Reader |
| 研究者 | Vladimir Fal'ko | Lancaster University | Professor |
| 研究者 | Diana Cosma | Lancaster University | Ph-D student |
| 研究者 | John Wallbank | Lancaster University | Ph-D student |
| 研究者 | | | |
| 研究者 | | | |
| 参加研究者 のべ 4 名 | | | |

5. 研究・交流の目的

近年、電子に内在するスピンの自由度を制御して電子デバイスの動作機構に応用する「スピントロニクス」が注目を集めている。本研究プロジェクトの目的はスピントロニクスを新しい物質グラフェンにおいて探究すること、即ちグラフェンという未知の物質での新しい電子スピンの性質を発見し、グラフェン上の電子スピンを用いたエレクトロニクス応用への道筋をつけることである。グラフェンスピントロニクスを用いることで電子デバイス的高速化、多用途化、省電力化、小型化の可能性が期待される。

代表者である越野幹人（現東北大学）と Edward McCann（Lancaster）はグラフェンの理論研究に初期より関わってきた研究者であり、両者の共同研究を通じて各パートナーの大学を超えた広範な分野の科学者との関係を結ぶことを目指す。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

1) バレーの自由度を用いた「擬スピンの物理」とバレートロニクスの開拓
グラフェンの電子にはスピン自由度のほかにバレー(K, K')の自由度があり、スピンに似た自由度として「擬スピン」と見なされる。本研究では多層グラフェン系の電子状態の解析を通して、バレー擬スピンの本来のスピンよりもずっと強く磁場と相互作用することを明らかにし、スピントロニクスを実現する上で非常に有利な特性を持つことを示した。バレーをスピンとして用いる「バレートロニクス」の可能性を具体的に提示し、研究の新たな方向性を見出したことはこのプロジェクトの重要な成果の一つである。

2) グラフェン系の電子状態の理解と基礎理論の確立
グラフェン系でのスピンの振舞いを議論する上で、その舞台となる系の電子状態を正しく記述することは必要不可欠である。この研究では、グラフェンが積層した多層系の電子特性を系統的に研究し、積層構造によって様々に異なる電子状態の解明に大きく貢献した。

3) 実験グループとの連携

Nature Physics 誌に発表された論文 W. Bao et al 2010 は、カリフォルニア大学 (UC Riverside) の実験グループ C. N. Lau 教授らと共同で行われた研究である。ABA, ABC の異なる構造をもつ3層グラフェンの電気伝導特性とその磁場依存性が実験によって測定され、その理論的解釈を越野、McCann が担当した。越野は磁場中の電子構造計算の知識を生かしてランダウ準位の磁場依存性を計算し、実験と極めてよく一致する特徴を見出した。McCann は得意とする量子輸送現象の解析を用いて、電気伝導度の温度依存性を説明した。

4) 日英研究者共著によるレビュー論文の執筆

越野とMcCannによる共同研究の成果は、Reports on Progress in Physics 誌に共著のレビュー論文として発表された。この論文は2層グラフェンの電子特性を網羅することを試みた論文であり、McCann は電子構造、スピン軌道相互作用と電子間相互作用効果を、越野は電気伝導度、磁場中スペクトル、軌道反磁性、電子格子相互作用の部分執筆した。

6-2 人的交流の成果

1) 日英シンポジウムの開催と若手研究者の招聘

このプロジェクトに関連してグラフェンを主なテーマとしたシンポジウムがイギリスで2件開催された。日本側から若手研究者を中心に合わせて15名の講演者が招待され、イギリスを中心とする研究者との間で積極的な交流が図られた。

・第1回 “UK-Japan Graphene Workshop”

平成23年2月イギリスのランカスタ大学で開かれ、30名の講演、また70名のポスター発表があった。McCann と越野が主催した。全体で100名の参加があり、日本側より6名の研究者が招待され講演を行った。

・第2回 “Graphene Synthesis and Characterisation and Application”

平成23年11月イギリス、ウィンダミアで開催された。この会議は当プロジェクトの研究メンバーであるランカスタ大学 Vladimir Falko 教授とともに、McCann と越野が主催した。全体で120名の参加があり、日本側より9名の若手研究者が講演を行った。

2) 越野、McCann の相手国訪問と研究交流

越野の2回の英国訪問、また McCann の3回の日本訪問を通じて、研究内容に関する緊密な議論が交わされた。6件の共著論文いずれについても滞在時における議論がその研究の端緒となっており、相手国訪問は研究推進に極めて有意義であったと認められる。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

| 論文 or 特許 | ・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等 | 備考 |
|----------------|---|------------|
| 論文 | Mikito Koshino and Edward McCann Parity and valley degeneracy in multilayer graphene Phys. Rev. B 81, 115315 (2010) | 相手国 と共著 |
| 論文 | Edward McCann and Mikito Koshino Spin-orbit coupling and broken spin degeneracy in multilayer graphene Phys. Rev. B 81, 241409(R) (2010) | 相手国 と共著 |
| 論文 | Mikito Koshino and Edward McCann, Landau level spectra and the quantum Hall effect of multilayer graphene Physical Review B,83, 165443 (2011) | 相手国 と共著 |
| 論文 | W. Bao, L. Jing, J. Velasco Jr., Y. Lee, G. Liu, D. Tran, B. Standley, M. Aykol, S. B. Cronin, D. Smirnov, M. Koshino, E. McCann, M. Bockrath, and C.N. Lau Stacking-Dependent Band Gap and Quantum Transport in Trilayer Graphene, Nature Physics 7, 948 (2011). | 相手国 と共著 |
| 論文 | Edward McCann and Mikito Koshino, The electronic properties of bilayer graphene Rep. Prog. Phys. 76, 056503 (2013). | 相手国 と共著 |