

## 研究成果報告書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

|                                 |   |           |          |         |               |
|---------------------------------|---|-----------|----------|---------|---------------|
| 研究テーマ<br>(和文) AB                | 水素修飾グラフェンにおけるスピン依存伝導  |           |          |         |               |
| 研究テーマ<br>(欧文) AZ                | Spin-dependent transport properties of hydrogenated graphene  |           |          |         |               |
| 研究氏<br>代<br>表<br>名<br>者         | カカナ CC  | 姓)ナカムラ    | 名)タケトモ   | 研究期間 B  | 2014 ~ 2015 年 |
|                                 | 漢字 CB   | 中村        | 壮智       | 報告年度 YR | 2015 年        |
|                                 | ローマ字 CZ   | Nakamura  | Taketomo | 研究機関名   | 東京大学          |
| 研究代表者 CD<br>所属機関・職名             | 東京大学物性研究所・助教  |           |          |         |               |
| 概要 EA (600 字~800 字程度にまとめてください。) | <p>グラフェンはスピン軌道相互作用(SOI)が小さく高いスピニコヒーレンスを持つが、ゲートによって SOI を変調しにくいために Das-Datta トランジスタのようなスピン制御を行うのが難しく、スピンホール効果や量子ポイントコンタクトを用いたスピン生成・検出が困難であるという面を持つ。そこで制御可能な形で SOI を導入する方法として水素修飾に注目し、スピン注入素子を用いて SOI 増大の検証を行った。</p> <p>素子の作成には単層の CVD グラフェン、および単層・多層の機械剥離グラフェンを用い、電極作成後に HSQ レジストを用いて水素修飾を行った。水素修飾グラフェンに強磁性体を用いて電氣的に純スピン流を注入し、それに直交する方向の電圧を測定すると、0.1%程度の微量の水素修飾によって有限の電圧が生じていることが確認された。この電圧の面内磁場応答が純スピン流の歳差運動を反映していることから、観測された電圧が逆スピンホール効果によるスピン流・電流変換によるものであることを直接的に示した。水素修飾をしていないグラフェンでは同様の素子を作成しても電圧が観測されなかったことから、逆スピンホール効果は水素修飾によって増大した SOI によるものと考えられる。</p> <p>また、水素修飾量を増やすことでグラフェンのトポロジカル絶縁体化について検証したが、水素修飾量を増大するにしたがって伝導度が急激に低下するのみで、トポロジカル絶縁体で予想されるような表面金属状態は観測できなかった。これは水素修飾によってキャリアが減少し欠陥も増大したためである。従って、グラフェンを元素修飾によってトポロジカル絶縁体化するには水素より少ない修飾量で大きな SOI を導入できるフッ素や銅のような元素を用いる必要がある。</p> |           |          |         |               |
| キーワード FA                        | グラフェン   | スピン軌道相互作用 | 水素化      |         |               |

(以下は記入しないでください。)

|            |  |  |  |  |           |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 助成財団コード TA |  |  |  |  | 研究課題番号 AA |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 研究機関番号 AC  |  |  |  |  | シート番号     |  |  |  |  |  |  |  |  |

| 発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。） |                    |   |                   |     |  |  |  |                    |  |
|-----------------------------------|--------------------|---|-------------------|-----|--|--|--|--------------------|--|
| 雑誌                                | 論文標題 <sup>GB</sup> | Inverse spin Hall effect in hydrogenated graphene |                   |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | 著者名 <sup>GA</sup>  | T. Nakamura, <i>et al.</i>                        | 雑誌名 <sup>GC</sup> | 投稿中 |  |  |  |                    |  |
|                                   | ページ <sup>GF</sup>  | ~   | 発行年 <sup>GE</sup> |     |  |  |  | 巻号 <sup>GD</sup>   |  |
| 雑誌                                | 論文標題 <sup>GB</sup> |   |                   |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | 著者名 <sup>GA</sup>  |   | 雑誌名 <sup>GC</sup> |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | ページ <sup>GF</sup>  | ~   | 発行年 <sup>GE</sup> |     |  |  |  | 巻号 <sup>GD</sup>   |  |
| 雑誌                                | 論文標題 <sup>GB</sup> |   |                   |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | 著者名 <sup>GA</sup>  |   | 雑誌名 <sup>GC</sup> |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | ページ <sup>GF</sup>  | ~   | 発行年 <sup>GE</sup> |     |  |  |  | 巻号 <sup>GD</sup>   |  |
| 図書                                | 著者名 <sup>HA</sup>  |   |                   |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | 書名 <sup>HC</sup>   |   |                   |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | 出版者 <sup>HB</sup>  |   | 発行年 <sup>HD</sup> |     |  |  |  | 総ページ <sup>HE</sup> |  |
| 図書                                | 著者名 <sup>HA</sup>  |   |                   |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | 書名 <sup>HC</sup>   |   |                   |     |  |  |  |                    |  |
|                                   | 出版者 <sup>HB</sup>  |   | 発行年 <sup>HD</sup> |     |  |  |  | 総ページ <sup>HE</sup> |  |

欧文概要 EZ

Graphene is a candidate material beyond silicon with long spin coherence due to weak spin-orbit interaction (SOI). However, the weak SOI also gives rise to the difficulty of spin manipulation and spin-charge conversion by spin Hall effect or quantum point contact. Then we focused on the hydrogenation to introduce SOI and investigated the spintronics devices using hydrogenated graphene to confirm the enhancement of SOI.

Our devices are fabricated on monolayer or multilayer graphene grown by CVD or mechanically cleaved from graphite. The graphene is hydrogenated using HSQ resist after deposited ferromagnetic and normal electrodes. We observed finite voltage in 0.1%-hydrogenated graphene by injecting pure spin current from ferromagnetic electrodes and its oscillation under in-plane field, reflecting precession of the spin current. This oscillation suggests spin-charge current conversion due to the inverse spin Hall effect. Such voltage was not detected in pristine graphene. Therefore, the inverse spin Hall effect is attributable to the enhanced SOI by hydrogenation.

We also tried to make graphene a topological insulator by hydrogenation. However, the conductance rapidly decreases by increasing hydrogenation, and the highly hydrogenated graphene does not exhibit metallic surface state expected in topological insulators. Graphene become conventional insulator because of reduction of the carrier and increased defects. This result suggests that heavier atoms, which can introduce stronger SOI, like fluorine or copper, is desirable to make graphene a topological insulator.