



Title	Study on Spin Transport Properties in Single-layer Graphene by Using Magnetization Dynamics
Author(s)	Tang, Zhenyao
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/26211">https://doi.org/10.18910/26211</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Synopsis of Thesis

**Title:** Study on Spin Transport Properties in Single-layer Graphene by Using Magnetization Dynamics  
(磁化ダイナミクスを用いた単層グラフェン中のスピンの輸送特性の研究)

**Name of Applicant:** ZHENYAO TANG

Based on the researches on graphene, the problems focused on the limit spin diffusion length and the unclear spin relaxation mechanism, so it is essential to establish a new method for investigations of spin transport properties in graphene. It is also important to study the properties of graphene from different view of point. So I applied a microwave on graphene devices in electron spin resonance (ESR) system to generate pure spin current by dynamical spin injection method, which is different with conventional electrical method to inject spins into condensed matters. The single-layer grapheme (SLG) used in this study was a large-area SLG grown by chemical vapor deposition (CVD) method. I evaporated a 25-nm-thick,  $900 \times 300 \mu\text{m}^2$  rectangular shape  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  film (Py) and a 5-nm-thick and 1- $\mu\text{m}$ -wide Pd wire by using electron beam lithography and an evaporation method. I investigated the spin transport properties in single-layer graphene by magnetization dynamics, including the observation of pure spin current of spin transport in SLG at room temperature by spin pumping, temperature dependence of the spin Hall angle of palladium and temperature dependence of spin coherence in SLG by spin pumping. The spin coherence in SLG in this study was estimated to be 1.36  $\mu\text{m}$  at room temperature. This reliable result indicates the dynamical spin injection method is enforceable for graphene spintronics research. The spin Hall angle of Pd was also investigated and it surprisingly decreased with increasing temperature from 0.02 at 130 K to 0.01 at 300 K. Finally, I explored the temperature dependence of spin coherence in SLG by dynamical spin injection method. It was found that the spin coherence of SLG was almost independent of temperature by using magnetization dynamics. By these studies, a new viewpoint of the investigation of spin coherence in SLG was successfully established. It provides more perspective for the detailed investigation of spin relaxation mechanism and further studies for graphene future applications.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( ZHENYAO TANG )			
	(職)	氏名	
論文審査担当者	主査	教 授	白石 誠司
	副査	教 授	刃田 博一
	副査	教 授	鈴木 義茂

論文審査の結果の要旨

本論文は2007年にノーベル物理学賞を受賞した単層原子膜材料であるグラフェンを対象材料とし、そのグラフェンを用いたスピントロニクスに関する研究をまとめたものである。グラフェンを用いたスピントロニクス研究は2007年より世界的に大きな関心を集め活発な研究が進められている。現在グラフェンスピントロニクスが有する大きな課題の1つはグラフェンの層数によってスピン緩和機構が異なるという報告と同じであるという報告が対立している問題であるが、スピン緩和機構はグラフェンを用いたスピndeバイスのデバイスデザインや応用用途に大きな影響を与えるために理解しなければならない大きな課題である。従来の研究は電気的手法を用いて純スピン流（電荷の流れを伴わないスピン角運動量のみの流れ）を生成する手法が取られていたが、本課題を多角的に検討するには電気的手法ではない全く新しいスピン注入・純スピン流輸送手法を確立し、グラフェンスピントロニクスを更なる発展の段階に引き上げることが強く希求されていた。

Tang氏による本研究は磁化ダイナミクスを用いた動力学的手法という全く新しいスピン注入・純スピン流輸送手法の確立によるグラフェン中のスピン輸送物性の研究である点に最大の新規性と特徴を有する。Tang氏は室温における単層グラフェン中の純スピン流輸送を動力学的手法を用いて世界で初めて成功させたのち、スピン輸送物性を130 K程度の低温まで定量的に精査した。またその過程で純スピン流を電流に変換する機能を有するパラジウムがもつスピンホール角（純スピン流から電流への変換効率に相当）が無視し得ない温度依存性を有すること、またその温度特性は同じ属に属する白金(Pt)とは異なることを明らかにした。

本論文は6章構成になっており、第1章は序論、第2章は本研究で重要な物理的コンセプトや理論、実験の詳細が記述されている。第3章は本論文の中心をなし、世界初の磁化ダイナミクスを用いた単層グラフェン中の純スピン流輸送の達成とそれに関連する詳細な対照実験など諸実験の結果が記述されている。第4章は単層グラフェン中の純スピン流輸送物性の温度依存性を精査するために必要なパラジウムの持つスピンホール角の温度依存性の定量的評価が述べられ、第5章では第4章の結果を利用して、磁化ダイナミクスによって単層グラフェン中に生成された純スピン流輸送物性やスピンコヒーレンスの温度依存性が議論されている。第6章は本論文のまとめである。

平成25年7月18日に審査担当者とTang氏で審査委員会を開き、全員出席のもとTang氏に博士論文の内容について説明を行わせ、それを中心に広く固体物理やスピン物性に関する問題についても質疑・討論及び口頭試問を行った。その結果、Tang氏は独創的な実験手法を用いた新奇なスピン輸送手法の開発に成功しており、実験・実験結果の物理的解釈いづれも非常に緻密に研究を遂行していること、研究業績は国際的に評価の高い学術誌に掲載され同時に国際会議における賞を受賞していること、またグラフェンスピントロニクスを中心とする幅広い固体物理分野に関する質問によく答えその知見は基礎から応用まで広範囲に渡っており、基礎工学研究科が目指す人物像として大変望ましいものであることから、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認めるに至った。