

機関番号：12601

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007 ～ 2010

課題番号：19048015

研究課題名（和文）

光・電子スピン結合の理論

研究課題名（英文）

Theory of photon-spin coupled systems

研究代表者

永長 直人 (NAGAOSA NAOTO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：60164406

研究成果の概要（和文）：

スピン系の光による制御の最も顕著な例として、光誘起磁性相転移—反強磁性絶縁体と強磁性金属の間の光による転移現象—を量子シミュレーションによって初めて捉えることに成功した。これにより、種々の非自明な時空パターン形成や、多重電子正孔対生成、非可逆性などの新しい現象を見出した。また、巨大なスピホール効果の理論に注力し、Au 金属系における不純物の電子状態を第一原理計算、および量子モンテカルロ計算で明らかにするとともに、軌道に依存した近藤効果がスキュー散乱を通じて大きなスピホール角をもたらすことを見出した。この結果は、実験とも良い符合を示した。

研究成果の概要（英文）：

As a representative example of the manipulation of spins by photons, we studied theoretically the photo-induced magnetic phase transition, i.e., the transition between the antiferromagnetic insulator and ferromagnetic metal, in terms of the quantum simulation. We have revealed several new phenomena such as the various space-time pattern formation, multi-particle-hole pair generation, and irreversibility.

We also studied the electronic states near the impurity in Au host metal by the first-principles band structure calculation and quantum Monte Carlo simulation, and have revealed that the orbital-dependent Kondo effect leads via the skew scattering the huge spin Hall angle. This result is consistent with the experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,700,000 円	0 円	2,700,000 円
2008 年度	4,600,000 円	0 円	4,600,000 円
2009 年度	2,700,000 円	0 円	2,700,000 円
2010 年度	1,800,000 円	0 円	1,800,000 円
総計	11,800,000 円	0 円	11,800,000 円

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：スピン流、ベリー位相、光学活性、非線形・非平衡過程

## 1. 研究開始当初の背景

固体中電子を特徴づけるベリー位相が、量子輸送現象に重要な役割を果たすことが知られており、特に半導体のスピホール効果の理論提案に続く実験が出

始めていた。これからスピン流の物理学をさらに発展させること、特に光や電場によるスピン流の制御の学理を構築することが望まれていた。

## 2. 研究の目的

固体中の増強されたスピン・軌道相互作用を用いて、磁場を使わない、電場や光によるスピン操作の学理を確立することを目的とした。

## 3. 研究の方法

場の理論を用いた解析的手法と、量子モンテカルロ法等の数値計算を組み合わせ、スピンと光の結合系、スピンと伝導電子の結合系の量子ダイナミクスを解析することで、スピン流生成、磁性、金属・絶縁体転移などを調べた。

## 4. 研究成果

光照射による磁気相転移の理論を構築した。反強磁性絶縁体と強磁性金属の間の相転移を、スピン・伝導電子結合系のモデルをその量子力学的時間発展を数値的に解くことで初めて理論的に明らかにした。時間空間のパターン形成が起きること、オージェ過程に対応する多重励起生成が起きることなどの知見を得た。また、軌道依存の近藤効果によるスキュー散乱が巨大なスピンホール効果の微視的機構となることを第一原理電子状態計算と量子モンテカルロ計算により理論的に明らかにした。これは実際のAu金属系における実験と良い符合を示していることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

①J. H. Park, S. Onoda, N. Nagaosa, and J. H. Han, Nematic and Chiral Order for Planar Spins on a Triangular Lattice, Phys. Rev. Lett., 査読有, 101, 2008, 167202-1-167202-4

②N. Sugimoto, S. Onoda, and N. Nagaosa, Field-induced metal-insulator transition and switching phenomenon in correlated insulators, Phys. Rev. B, 査読有, 78, 2008, 155104-1-155104-5

③H. Katsura, S. Onoda, J.H. Han, and N. Nagaosa, Quantum Theory of Multiferroic Helimagnets: Collinear and Helical Phases, Phys. Rev. Lett., 査読有 101, 2008, 187207-1-187207-4

④A. Shitade, H. Katsura, J. Kunes, X. L. Qi, S. C. Zhang, N. Nagaosa, Quantum

Spin Hall Effect in a Transition Metal Oxide Na<sub>2</sub>IrO<sub>3</sub>, Phys. Rev. Lett., 査読有, 102, 2009, 256403-1-256403-4

⑤Y. Tanaka, T. Yokoyama, N. Nagaosa, Manipulation of the Majorana fermion, Andreev reflection, and Josephson current on topological insulators, Phys. Rev. Lett., 査読有, 103, 2009, 107002-1-107002-4

⑥W. Koshibae, N. Furukawa, and N. Nagaosa, Real-Time Quantum Dynamics of Interacting Electrons: Self-Organized Nanoscale Structure in a Spin-Electron Coupled System, Phys. Rev. Lett., 査読有, 103, 2009, 266402-1-266402-4

⑦H. Katsura, N. Nagaosa, and P. A. Lee, Theory of the thermal Hall Effect in Quantum Magnets., Phys. Rev. Lett. 査読有, 104, 2010, 066403-1-066403-4

⑧N. Nagaosa, J. Sinova, S. Onoda, A. H. MacDonald and N. P. Ong, Anomalous Hall effect, Rev. Mod. Phys., 査読有, 82, 2010, 1539–1592

⑨XZ. Yu, Y. Onose, N. Kanazawa, JH.Park, JH. Han, Y. Matsui, N. Nagaosa, And Y. Tokura, Real-space observation of a two-dimensional skyrmion crystal, NATURE, 査読有, 465, 2010, 901-904

⑩Y. Onose, T. Ideue, H. Katsura, Y. Shiomi, N. Nagaosa, and Y. Tokura, Observation of the Magnon Hall Effect, SCIENCE, 査読有, 329, 2010, 297-299

⑪B. Gu, JY. Gan, N. Bulut, T. Ziman, GY. Guo, N. Nagaosa, and S. Maekawa, Quantum Renormalization of the Spin Hall Effect, Phys. Rev. Lett. 査読有, 105, 2010, 086401-1-086401-4

⑫B. Gu, I. Sugai, T. Ziman, G.Y. Guo, N. Nagaosa, T. Seki, K. Takahashi, and S. Maekawa, Surface-Assisted Spin Hall Effect in Au Films with Pt Impurities, Phys. Rev. Lett., 査読有, 105, 2010, 216408-1-216408-4

⑬K. Nomura, N. Nagaosa, Surface-Quantized Anomalous Hall Current and the Magnetoelectric Effect in Magnetically Disordered Topological Insulators, Phys. Rev. Lett., 査読有, 106, 2011, 166802-1-166802-4

[学会発表] (計 4 件)

①Naoto Nagaosa, Theory of spiral magnetism and multiferroicity, 2007 MRS Fall Meeting, 28 Nov. – 1 Dec. 2007, Boston, USA

②Naoto Nagaosa, Role of spin current in multiferroic behaviors, APS March

Meeting2008, 10-14 March 2008, New Orleans, USA

③Naoto Nagaosa, Spin transport and Electron correlation in the helical edge of quantum spin Hall system, Spin Current 2009, 17 Apr. 2009, Stanford USA

④Naoto Nagaosa, Conservation law of “spin” in the spin-orbit coupled system, SPIN AGE 2010, 28 Aug. 2010, California, USA

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

永長 直人 (NAGAOSA NAOTO)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号：60164406

### (2)研究分担者

村上 修一 (MURAKAMI SHUICHI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・  
准教授  
研究者番号：30282685  
(H20 → H21：連携研究者)

### (3)連携研究者

研究者番号：