様式 C-7-2

# 自己評価報告書

平成 22 年 4 月 20 日現在

研究種目：若手研究（B）
研究期間：2007～2010
課題番号：19740189
研究課題名（和文） 低次元電子系における量子輸送現象、完全係数統計と量子絡み合いの理論的研究
研究課題名（英文） Theoretical study of quantum transport in low-dimensional electron systems, full counting statistics and quantum entanglement
研究代表者
井村健一郎（IMURA KEN-ICHIRO）
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：90391870

研究分野：数物系科学
科研費の分科・細目：物理学・物性 I
キーワード：メゾスコピック系・局在

## １．研究計画の概要

メゾスコピック系と強相関系の物理学の境界領域において、とりわけ解析的なアプローチが有用と思われる現象に焦点を当て、非自明な未知の物理的機構を解明する。

## ２．研究の進捗状況

単一分子伝導量子ドット・マグネットについては、当初の研究計画で期待された成果が得られた（初年度－２年目）。その後、研究対象をグラフェン、$Z_2$トポロジカル絶縁体等にも広げ、より一般化された形で当初の研究計画に関連した成果を得ている。

$Z_2$ トポロジカル絶縁体―この新しいタイプのバンド絶縁体の具体的な実装として最初に考えられたのは、グラフェン系、特にグラフェン・ナノリボンである。グラフェン系はそれ自体、大変興味深い研究対象であり、実際、実験・理論の両側面から爆発的に研究が行われている。我々もグランフェン系の物理の延長として、$Z_2$トポロジカル絶縁体の研究を行った。現在までに得られた主な成果は、
１）弱局在の相図―バルクの性質（後述）、
２）接合の問題―「クライン・トンネル」に関してである。

我々は、ドープした Kane-Mele 模型が不純物散乱の存在下で特徴的な弱局在の相図を呈すこと見出した。とりわけ、局在のクラスは、活性化された有効スピンの数 $N_s$ を数えることでわかることを指摘した。例えば、バレー間散乱はバレースピンを、ラシュバ相互作用は、実スピンを活性化するが、それぞれの状況に応じて、「実効的な時間反転操作」を同定することが肝要である。Kane-Mele 模型には、副格子、バレー、実スピンの３つがあるので、$N_s$=1,2,3（副格子スピンは常に活性）。質量項がない場合、$N_s$ が偶数なら系は弱局在（WL）、奇数なら反局在（AL）である。質量項が実効的な時間反転対称性を破ると、系はユニタリー（弱局在補正なし）になる。我々の提唱するこの新しいアプローチは、弱局在理論の枠組みに現代的な視点を与えるものと言える。

## ３．現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。
（理由）グラフェン、および、Z2 トポロジカル絶縁体に関する研究においては、未発表の研究成果、データが蓄積している。今後、これらの研究成果について早急にまとめ、論文発表するとともに、国際会議等でも積極的に発表していく。

## ４．今後の研究の推進方策

研究計画最終年度ということもあり、４年間の研究内容を総括し、来年度以降の研究の具体的な方向性も見いだしていきたい。

## ５． 代表的な研究成果

（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 10 件／全て査読あり）

[1] K.-I. Imura, Y. Kuramoto, Ken Nomura, "Anti-localization of graphene under substrate electric field ", Europhys. Lett. 89, 17009 (2010).
[2] A. Yamakage, K.-I. Imura, J. Cayssol, Y. Kuramoto, "Spin-orbit effects in a graphene bipolar pn junction ", Europhys. Lett. 87, 47005 (2009).
[3] K.-I. Imura, Y. Kuramoto, Ken Nomura,

"Weak localization properties of doped Z2 topological insulator ", Phys. Rev. B 80, 085119 (2009).
[4] T. Jonckheere, K.-I. Imura and T. Martin, "Colossal spin fluctuations in a molecular quantum dot magnet with ferromagnetic electrodes", Phys. Rev. B 78, 045316 (2008).
[5] K.-I. Imura, Y. Utsumi, T. Martin, "Full counting statistics for transport through a molecular quantum dot magnet", Phys. Rev. B 75, 205341 (2007).

〔学会発表〕（計 23 件）
代表的なもの：

[1] Ken-Ichiro Imura, "From graphene to a Z2 topological insulator", in 2nd GCOE International Symposium on "Weaving Science Web beyond Particle-Matter hierarchy", Tohoku University (Aobayama), Sendai, February 19, 2010.
[2] Ken-Ichiro Imura, "Z2-classification of localization properties in graphene", in ICCMSE 2009 (International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering), Rhodes, Greece, 2 October, 2009.
[3]「Z2 トポロジカル絶縁体におけるバルクと端―有効理論と格子模型の比較」, 井村健一郎, 東京大学物性研究所短期研究会：ディラック電子系の物性―グラフェンおよび関連物質の最近の研究, 2009 年 10 月 22 日.
[4] "Anti-localization of graphene under substrate electric field ", Ken-Ichiro Imura, NGSS-14 (14th International Conference on Narrow Gap Semiconductors and Systems), Tohoku University (Katahira, Sendai), 14 July, 2009.
[5] Ken-Ichiro Imura, "Colossal spin fluctuations in a molecular quantum dot magnet", in ISSP International Workshop: "Topological Aspects of Solid State Physics" Institute for Solid State Physics (ISSP), University of Tokyo, June 5, 2008.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0 件）
○取得状況（計 0 件）