

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25400317

研究課題名(和文)シリセンにおけるトポロジーと電子相関の場の理論的研究

研究課題名(英文)Theoretical studies on topological aspects of silicene and related materials

研究代表者

江澤 雅彦 (Ezawa, Motohiko)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・講師

研究者番号：10504805

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：シリセン、ゲルマネン、スタネンをはじめとするトポロジカル原子層物質の物性を研究した。電場や光照射による様々なトポロジカル相転移を明らかにし、トポロジカル電界効果トランジスターなどのトポロジカル・デバイスを提案した。第五族や第三族の原子層物質の電子物性の研究も行った。具体的には燐の原子層物質であるフォスフォレンのエッジ状態を明らかにした。ヒ素の原子層物質であるアルセネンやアルミニウムの原子層物質であるアルミネンのバンド構造を世界に先駆けて第一原理計算を用いて明らかにした。また、磁性体中のトポロジカル・ソリトンであるスキルミオンの非平衡ダイナミクスも数値シミュレーションを用いて解析した。

研究成果の概要(英文)：I studied electronic properties of topological monolayer materials such as silicene, germanene and stanene. I revealed various topological phase transitions induced by electric field and photo-irradiation, and proposed many topological devices such as a topological field-effect transistor. I determined the band structure of the group-V and the group-III monolayer materials. Especially, I revealed the edge states of phosphorene, which is a monolayer material made of phosphorus. I also calculated the band structure of arsenene, which is a monolayer arsenic and aluminene, which is a monolayer aluminium, by first-principles calculations. Furthermore, I studied non-equilibrium dynamics of skyrmions, which are topological solitons in magnets.

研究分野：トポロジカル物性理論

 キーワード：トポロジカル原子層物質 トポロジカル絶縁体 スキルミオン スカーミオン トポロジカル・ソリトン
 ワイル半金属 トポロジカル相転移 ループ・ノード半金属

1. 研究開始当初の背景

トポロジカル原子層物質の研究に関して、研究開始時に於ける国内及び国外の研究の動向及び位置づけを述べる。炭素の原子層物質であるグラフェンは2004年に合成され、2010年のノーベルの対象になった。同じ第四族のシリコンの原子層物質であるシリセンは2011年にスピン軌道相互作用が存在する事が第一原理計算によって示され、シリセンが量子スピンホール効果を実現する有力な物質である事が示された。また、2012年に銀等の基板上でシリセンの合成が確認された。私はシリセンに関して2012年に精力的に以下の研究成果を発表した。シリセンの構造が座屈している事を応用してシリセンに垂直に電場をかける事でバンドギャップを制御出来る事を示した。また、臨界電場で量子スピンホール相から自明な相へ相転移する事を示した。電場を非一様にする事でヘリカル・エッジ状態を作り出す事が出来る事を示した。シリセンに強磁性体を貼り付ける事で、量子異常ホール効果が起きる事を示した。運動量空間でスキルミオンが生じている事を示した。光照射によってもバンドギャップが制御可能である事を示した。また、光誘起量子異常ホール相へトポロジカル相転移する事を示した。円偏光照射により、バレーを選択的に電子励起できる事を示した。また、トポロジカル相と自明な相で光吸収の選択則が反転する事を示した。

また、研究開始した時期に、磁性体中のトポロジカル励起があるスキルミオンがDM相互作用によって安定化することが実験的に示され、着目を浴びていた。私は磁気双極子相互作用によって安定化するスキルミオンの機構を提案した。DM相互作用のある強磁性体中には有限領域にコンパクト化されたコンパクトスキルミオンとコンパクトメロンが存在することも示した。

2. 研究の目的:

シリセンをはじめとするトポロジカル原子層物質の電子物性およびトポロジカル物性を明らかにする。様々なトポロジカル相転移を明らかにする。トポロジカル・エッジを応用したトポロジカル・デバイス提案する。ハニカム系に特有のバレー自由度に着目し、バレートロンクスを更にスピンとバレー自由度を複合的に扱うスピン・バレートロンクスに拡張する。系をチャーン数、スピン・チャーン数、バレー・チャーン数、スピン・バレー・チャーン数の四つの対称性に保護されたトポロジカル数によって分類し、トポロジカル・スピン・バレートロンクスの基礎原理を開拓する。更に、シリセン、ゲルマネン、スタネンにつく、新奇な原子層物質のバンド構造、電子物性を第一原理計算、強束縛近似モデル等を用いて明らかにする。また、磁性体中のトポロジカル・ソリトンであるスキルミオンの非平衡ダイナミクスについても明らかにする。特に、スキルミオンにはマグナス力

が働くために、電流をインカした際に直進せず、曲がってしまうスキルミオン・ホール効果が存在し、デバイスへの応用を考える際の障壁になっている。このスキルミオン・ホール効果を抑制または完全に禁止する方法を提案する。また、磁性体の三叉路などを用いることで、スキルミオンを用いた論理回路を設計し、AND ゲートや OR ゲートとして動作するデバイスを提案する。また、スキルミオンを用いたトランジスターの動作原理を提案する。

3. 研究の方法

解析的な方法と数値計算を併用し、結果の一致を確かめる。解析的方法は現象の物理的理由を理解する上で極めて重要である。特に低エネルギー励起に対するディラック理論は解析的な結果を得る事が可能である。トポロジカル相の決定にはチャーン数やスピン・チャーン数などのトポロジカル指数をディラック理論に対して、解析的に決定する。また、強束縛近似モデルを用いてナノリボンのエッジ状態を数値厳密対角化により求め、バルク・エッジ対応を用いてトポロジカル相を決定する。また、新奇原子層物質の探索には、第一原理計算を行う。スキルミオンの非平衡ダイナミクスをDM相互作用や双極子相互作用を導入したハイゼンベルグハミルトニアンからラグランジュ形式で導かれるLLG方程式OOMMFを用いて数値シミュレーションを行う。Pontryagin 数を極座標表示を用いて数値的に評価する事でスキルミオンである事を示す。

4. 研究成果

トポロジカル原子層関係の研究:シリセンのトポロジカル物性を中心に研究を行った。特に電場、磁性体、光照射などで、バンドギャップを制御でき、様々なトポロジカル相転移を起こす事を示した。量子異常ホール効果や量子スピン量子異常ホール効果などの様なトポロジカル絶縁体を実現する。また、ジグザグ端やアームチェア端でヘリカル・エッジの進入長が違う事を示し、アームチェア端の細いナノリボンの場合にはトポロジカル・エッジが干渉してギャップが開く事を示した。また、シリセンのトポロジカル・エッジ状態を用いた電気伝導度が量子化するトポロジカル電界誘起量子トランジスターを提案した。シリセンに電場をかけたpn接合やnnp接合の電気伝導度を計算した。また、超伝導や面内反強磁性秩序により、ギャップを閉じる事なしに、トポロジカル相転移が起きる事を示した。また、バレートロンクスにとって重要であるバレー・チャーン数に対するバルク・エッジ対応についても研究を行った。バレー自由度は低エネルギー・ディラック理論では定義されるが強束縛近似では定義されない。このため、対応するエッジ状態も低エネルギー領域ではロバストであるが、高エネルギーまで考えるとトポロジカルに自明である事を示した。また、三種類のトポ

ロジカル絶縁体を接合するとトポロジカル・エッジのY接合ができる事を示し、これらの満たすトポロジカル・キルヒホッフ則を提案した。これらの結果からトポロジカル・スピン・バレートロンクスを提案した。一般的な八ニカム・トポロジカル原子層物質でs波の超伝導を近接させた場合に時間反転対称性の破れたトポロジカル超伝導になる条件を解析的に決定し、そのトポロジカル相図を明らかにした。特に反強磁性トポロジカル超伝導体と光誘起トポロジカル超伝導体を提案した。ゲルマニウムの単原子層物質であるゲルマネンをゲルマニウム・プラチナ基盤上に実験的に作成し、STM測定を行うことにより、ディラック電子が存在することの実験的兆候を発見した。

新奇原子層関係の研究：フォスフォレン：黒リンの一層膜であるフォスフォレンのエッジ状態のトポロジカルな起源を明らかにした。フォスフォレンではパッカード構造という特殊な八ニカム構造を持つために、スキュー・エッジという新しいタイプのエッジが可能であることを示し、そのエッジ状態とトポロジカルな原因について明らかにした。アルセネン：更にヒ素でも八ニカム構造が安定であり、半導体になる事を第一原理計算によって示し、arseneneと命名した。アルミニウム：アルミニウムの一原子膜が構造安定であることを第一原理計算で示し、金属であることを示した。IV-VI原子層物質：IV属とVI属でできた原子層物質を第一原理計算で構造安定性を示し、バンド構造を決定した。これはフォスフォレンの二原子混成物質に対応する。

3次元トポロジカル物質の研究：一般的な三次元八ニカム格子を定義し、ループ・ノード半金属やポイント・ノード半金属が出現することを解析的に示した。最近、ノンシンモルフィック対称性に保護された新しいタイプのフェルミオンである砂時計フェルミオンが提案され、着目されている。これを導出するモデルを積層八ニカム系にノンシンモルフィック対称性を課すことで構成した。また、対称性に保護されたマルチバンドタッチング系も着目されている。立方対称性を持つ格子モデルで四バンドタッチングが実現し、擬スピン3/2のフェルミオンで記述されることを示した。

スカイミオン関係の研究：近年、磁性体中のSkyrmionが着目を集めているが、その生成方法は重要である。接合系を用いる事で磁壁をSkyrmionに変換できる事を機構を示した。更に、それを応用した論理回路を提案した。また、Skyrmionの合成、分裂、meronへの変換が可能なる事を示した。反強磁性結合した二層磁性体中のSkyrmionではマグナス力が相殺するためにSkyrmionホール効果が完全に抑制されて電流駆動で直進する事を示した。スピン分極電流を印加することによって、Pontryagin数が2のSkyrmionを生成で

きる事を示した。これは非平衡状態のみで実現するトポロジカルに保護された散逸構造である。Skyrmionは実空間のBerry曲率を持ち、トポロジカル・ホール効果を起こすことが知られているが、Skyrmion結晶中ではホール伝導度が量子化する量子トポロジカルホール効果を予言した。また、ナノワイヤ中のSkyrmionの位置を電極をつけることで純粹に電氣的に計測する手法を提案した。これは電子がSkyrmionの作るBerry磁場を感じて曲がることを応用している。電圧印加で磁気異方性を制御することによって、Skyrmionが通過するかしないかを制御するSkyrmionトランジスタを提案した。スキルミオンのダイナミクスにはスキルミオン・ホール効果というマグナス力に似た力が働き、電流に対して直進しないのでデバイスへの応用が困難である、という問題があった。これに関して、二層系で完全にスキルミオン・ホール効果が抑制されることを指摘した。多層系のスキルミオンのダイナミクスを数値シミュレーションを用いて解析し、スキルミオン・ホール効果に偶奇性があり、ティエレ方程式でよく記述できることを示した。また、スキルミオンとアンチ・スキルミオンが同心円状に配置したスキルミオニウムというスキルミオンの分子状構造の電流誘起ダイナミクスを数値的に解析し、電流に対してほぼ直進することを発見した。しかし、内部自由度のダイナミクスも同時に誘起されるので、崩壊を防ぐためには電流の上限があることを示した。

その他の研究：トポロジカル結晶絶縁体の表面ディラック・コーンに異方性がある事を利用した楕円二色性が発現する事を議論した。また、トポロジカル結晶絶縁体薄膜を記述する有効強束縛近似モデルを一般的に結晶対称性から導出し、トポロジカル・電界効果トランジスターへの応用を提案した。更に、磁場を印加する事で半導体から半金属へ転移を起こせる事を示した。トポロジカル絶縁体の表面に磁壁が存在する場合のゼロ・エネルギー状態を計算し、電荷を帯びることを示した。電場での磁壁の制御の可能性を提案した。マヨラナ粒子を記述するには、キタエフモデルが基本的なモデルであるが、これを梯子状に並べた系を解析計算と数値計算を用いて調べ、多段トポロジカル相転移を起こす事を示した。また、ポリアセチレンを記述するモデルであるSSHモデルとキタエフモデルの両者を含む拡張モデルを提案し、その相図を解析的に決定した。特にトポロジカル相転移の前兆としてフェルミオンがマヨラナ・フェルミオンに分裂する事を発見した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 42 件)

1). T. Ideue, K. Hamamoto, S. Koshikawa, M. Ezawa, S. Shimizu, Y. Kaneko, Y. Tokura, N. Nagaosa, and Y. Iwasa, Bulk rectification effect in a polar semiconductor,

- Nature Physics advance online publication, (査読有)
- 2). M. Ezawa, Pseudospin 3/2 Fermions, Type-II Weyl Semimetals and Critical Weyl Semimetals in Tricolor Cubic Lattice, Phys. Rev. B 94, 195205 (2016), (査読有)
 - 3). M. Ezawa, Hourglass Fermion Surface States in Stacked Topological Insulators with Nonsymmorphic Symmetry, Phys. Rev. B 94, 155148 (2016), (査読有)
 - 4). Xichao Zhang, Jing Xia, Yan Zhou, Daowei Wang, Xiaoxi Liu, Weisheng Zhao, and Motohiko Ezawa, Control and manipulation of a magnetic skyrmionium in nanostructures, Phys. Rev. B 94, 094420 (2016), (査読有)
 - 5). K. Yasuda, R. Wakatsuki, T. Morimoto, R. Yoshimi, A. Tsukazaki, K. S. Takahashi, M. Ezawa, M. Kawasaki, N. Nagaosa and Y. Tokura, Geometric Hall effects in topological insulator heterostructures, Nature Physics 12, 555 (2016), (査読有)
 - 6). Marko M. Grujic, Motohiko Ezawa, Milan Z. Tadic, Francios M. Peeters, Tunable skewed edges in puckered structures, Phys. Rev. B 93, 245413 (2016), (査読有)
 - 7). C.J. Walhout, A. Acun, L. Zhang, M. Ezawa, and H.J.W. Zandvliet, Scanning tunneling spectroscopy study of the Dirac spectrum of germanene, Journal of Physics: Condensed Matter 28, 284006 (2016), (査読有)
 - 8). Xichao Zhang, Motohiko Ezawa, and Yan Zhou, Thermally stable magnetic skyrmions in multilayer synthetic antiferromagnetic racetracks, Phys. Rev. B 94, 064406 (2016), (査読有)
 - 9). Keita Hamamoto, Motohiko Ezawa, Naoto Nagaosa, Purely electrical detection of a skyrmion in constricted geometry, Appl. Phys. Lett. 108, 112401(2016), (査読有)
 - 10). C. Kamal, Aparna Chakrabarti and Motohiko Ezawa, Direct Band Gaps in Group IV-VI Monolayer Materials: Binary Counterparts of Phosphorene, Phys. Rev. B 93, 125428 (2016), (査読有)
 - 11). M. Ezawa, Loop-nodal and Point-nodal Semimetals in Three-dimensional Honeycomb Lattices, Phys. Rev. Lett. 116, 127202 (2016), (査読有)
 - 12). Xichao Zhang, Yan Zhou and Motohiko Ezawa, High-Topological-Number Skyrmion and Topologically Protected Dissipative Structure, Phys. Rev. B 93, 024415 (2016), (査読有)
 - 13). Keita Hamamoto, Motohiko Ezawa, Naoto Nagaosa, Quantized Topological Hall Effects in Skyrmion Crystal, Phys. Rev. B 92, 115417 (2015), (査読有)
 - 14). Xichao Zhang, Yan Zhou and Motohiko Ezawa, Magnetic bilayer-skyrmions without skyrmion Hall effect, Nature Communications 7, 10293 (2016), (査読有)
 - 15). Xichao Zhang, Yan Zhou, and Motohiko Ezawa, Antiferromagnetic Skyrmion: Stability, Creation and Manipulation, Scientific Reports 6, 24795 (2016), (査読有)
 - 16). Fusheng Ma, Motohiko Ezawa and Yan Zhou, Microwave field frequency and current density modulated skyrmion-chain in nanotrack, Scientific Reports 5, 15154 (2015), (査読有)
 - 17). Xichao Zhang , Yan Zhou, Motohiko Ezawa, G. P. Zhao, and W. S. Zhao, Magnetic skyrmion transistor: skyrmion motion in a voltage-gated nanotrack, Scientific Reports 5, 11369 (2015), (査読有)
 - 18). C. Kamal, Aparna Chakrabarti and Motohiko Ezawa, Aluminene as Highly Hole Doped Graphene, New Journal of Physics 17, 083014 (2015), (査読有)
 - 19). Ryohei Wakatsuki, Motohiko Ezawa, Naoto Nagaosa, Domain wall of a ferromagnet on a three-dimensional topological insulator, Scientific Reports 5, 13638 (2015), (査読有)
 - 20). Xichao Zhang, Motohiko Ezawa, Dun Xiao, Guo Ping Zhao, Yao Wen Liu, and Yan Zhou, All-magnetic control of skyrmions in nanowire by spin waves, Nanotechnology 26, 225701 (2015), (査読有)
 - 21). M. Ezawa, Antiferromagnetic Topological Superconductor and Electrically Controllable Majorana Fermions, Phys. Rev. Lett. 114, 056403 (2015), (査読有)
 - 22). Xichao Zhang, Motohiko Ezawa, and Yan Zhou, Magnetic skyrmion logic gates: conversion, duplication and merging of skyrmions, Scientific Reports 5, 9400 (2015), (査読有)
 - 23). M. Ezawa, Magnetic-Field Induced Semimetal in Topological Crystalline Insulator Thin Films, Phys. Lett. A 379, 1183 (2015), (査読有)
 - 24). C. Kamal and Motohiko Ezawa, Arsenene: Two-dimensional buckled and puckered honeycomb arsenic systems, Phys. Rev. B. 91, 085423 (2015), (査読有)
 - 25). M. Ezawa, Topological origin of quasi-flat edge band in phosphorene, New J. Phys. 16 115004 (2014), (査読有)
 - 26). Yan Zhou, and Motohiko Ezawa, A reversible conversion between a skyrmion and a domain-wall pair in junction geometry, Nature Communications 5, 4652 (2014), (査読有)
 - 27). Ryohei Wakatsuki, Motohiko Ezawa, Yukio Tanaka and Naoto Nagaosa,

Fermion Fractionalization to Majorana Fermions in Dimerized Kitaev Superconductor, Phys. Rev. B 90, 014505 (2014), (査読有)

28). M. Ezawa, Electrically Tunable Conductance and Edge Modes in Topological Crystalline Insulator Thin Films: Tight-Binding Model Analysis, New Journal of Physics 16, 065015 (2014), (査読有)

29). Ryohei Wakatsuki, Motohiko Ezawa, Naoto Nagaosa, Majorana Fermions and Multiple Topological Phase Transition in Kitaev Ladder Topological Superconductors, Phys. Rev. B 89, 174514 (2014), (査読有)

30). M. Ezawa, Valleytronics on the Surface of a Topological Crystalline Insulator: Elliptic Dichroism and Valley-Selective Optical Pumping, Phys. Rev. B 89, 195413 (2014), (査読有)

31). Stephan Rachel, and Motohiko Ezawa, Perfect Spin Filter and Giant Magneto-Resistance in Silicene, Germanene and Stanene, Phys. Rev. B 89, 195303 (2014), (査読有)

32). M. Ezawa, Symmetry Protected Topological Charge in Symmetry Broken Phase: Spin-Chern, Spin-Valley-Chern and Mirror-Chern Numbers, Phys. Lett. A 378, 1180 (2014), (査読有)

33). M. Ezawa, Topological Kirchhoff Law and Bulk-Edge Correspondence for Valley-Chern and Spin-Valley-Chern Numbers, Phys. Rev. B 88, 161406 (R) (2013), (査読有)

34). Ko Kikutake, Motohiko Ezawa, Naoto Nagaosa, Edge States in Silicene Nanodisks, Phys. Rev. B 88, 115432 (2013), (査読有)

35). Motohiko Ezawa, Yukio Tanaka and Naoto Nagaosa, Topological Phase Transition without Gap Closing, Scientific Reports 3, 2790 (2013), (査読有)

36). M. Ezawa, High Spin-Chern Insulators with Magnetic Order, Scientific Reports 3, 3435 (2013), (査読有)

37). M. Finazzi, M. Savoini, A. R. Khorsand, A. Tsukamoto, A. Itoh, L. Duo, A. Kirilyuk, Th. Rasing, and M. Ezawa, Laser-induced magnetic nanostructures with tunable topological properties, Phys. Rev. Lett. 110, 177205 (2013), (査読有)

38). Ai Yamakage, Motohiko Ezawa, Yukio Tanaka and Naoto Nagaosa, Charge transport in pn and npn junctions of silicene, Phys. Rev. B 88, 085322 (2013), (査読有)

39). M. Ezawa, Quantized Conductance and Field-Effect Topological Quantum Transistor in Silicene Nanoribbons, Appl.

Phys. Lett. 102, 172103 (2013), (査読有)

40). M. Ezawa, Single Dirac-Cone State and Quantum Hall Effects in Honeycomb Structure, Eur. Phys. Lett. 104, 27006 (2013), (査読有)

41). Motohiko Ezawa, and Naoto Nagaosa, Interference of Topologically Protected Edge States in Silicene Nanoribbons, Phys. Rev. B 88, 121401(R) (2013), (査読有)

42). M. Ezawa, Spin-Valleytronics in Silicene: Quantum Spin Hall-Quantum Anomalous Hall Insulators and Single-Valley Semimetals, Phys. Rev. B 87, 155415 (2013), (査読有)

〔学会発表〕(計 27 件)

1). 江澤雅彦, 表面科学としてのシリセンの面白さ: 実験・理論の現状と今後の展望 第36回表面科学学術講演会 (招待講演) 名古屋国際会議場、名古屋 2016年11月29日(火)

2). Motohiko Ezawa, Atomic-Layer Materials with Nonsymmorphic Symmetry International Symposium on Revolutionary Atomic-Layer Materials (invited talk) 東北大学原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR、東北大学片平キャンパス 2016年10月21日(金)・22日(土) 仙台

3). Motohiko Ezawa, 三次元八ニカム格子系におけるループ・ノード半金属とポイント・ノード半金属 (招待講演) 第一回「トポロジが紡ぐ物質科学のフロンティア」領域研究会 京都大学芝蘭会館 稲盛ホール・山内ホール 2015年12月11日(金)・12日(土)・13日(日) 京都

4). Motohiko Ezawa, Exotic Goup-V Monolayer Materials (invited talk) CEMS topical meeting on emergent 2D materials 11-12 Dec 2015 RIKEN 和光市、埼玉

5). Motohiko Ezawa, From Topological Physics to Topological Materials and Devices (招待講演) 物性研短期研究会「量子物質研究の最前線」東京大学(柏キャンパス)物性研究所・6階大講義室 2015年12月8日(火)・9日(水) 柏市、千葉県

6). Motohiko Ezawa, Topological Physics in 2D semiconductors (invited talk)、15 International Conference on Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) 15-20 Nov 2015, 広島国際会議場、広島

7). Motohiko Ezawa, Topological Field Effect Transistor and Topological Electronics in Silicene, Germanene and Stanene (invited talk) 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANOTECHNOLOGY (IEEE NANO 2015) 27-30 JULY 2015、ローマ、イタリア

8). Motohiko Ezawa, Quantum Anomalous Hall Effects on top of 3D Topological Insulators with Magnetic Texture (invited

talk) New Trends in Topological Insulators 2015 (NTTI2015) 6-10 July 2015, サンセバスチャン, スペイン

9). 江澤雅彦, 「トポロジカル原子層物質: シリセン・ゲルマネン・スタネンの現状と今後の展望」 (招待講演) 新量子相 Lecture Series 第9回新学術領域研究「原子層科学」第4回領域全体会議東京大学(柏キャンパス)物性研究所・6階大講義室 2015年1月27日、28日(水) 東京

10). Motohiko Ezawa, Topological Insulators and Superconductors in Silicene, Germanene and Stanene, Superstripes 2014 (invited talk) Jul 25-31 2014 Elice, シシリー, イタリア

11). 江澤雅彦, 「トポロジカル結晶絶縁体デバイスの理論設計」 (招待講演)

新学術領域研究「対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子現象」第17回集中連携研究会「トポロジカル絶縁体」 2014年7月22日-23日大阪大学産業科学研究所講義室(大阪大学吹田キャンパス) 大阪

12). Motohiko Ezawa, Silicene, Germanene and Stanene: Monolayer Topological Insulators (invited talk) New Trends in Topological Insulator 2014, Jul 7-10 2014 ベルリン, ドイツ

13). 江澤雅彦, 「シリセン: シリコンで出来た二次元トポロジカル半導体」 (招待講演) 第23回シリサイド系半導体研究会 2014年3月21日応用物理学会シリサイド系半導体と関連物質研究会筑波大学東京キャンパス文京校舎(大塚キャンパス) 東京

14). 江澤雅彦, 「シリセンにおけるトポロジカル量子現象」 (招待講演) 新学術領域研究「対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子現象」第4回領域研究会 2013年12月20日、名古屋大学(東山キャンパス) 名古屋

15). 江澤雅彦, 「2次元トポロジカル絶縁体: シリセンの物性」 (招待講演) 日本物理学会 2013年秋季大会領域4, 領域6, 領域7合同シンポジウム「トポロジカル絶縁体・超伝導体の新物質・新構造」 2013年9月27日、徳島大学、徳島

16). 江澤雅彦, 「シリセンにおけるディラック電子とトポロジカル相転移」 (招待講演) 固体中におけるディラック電子系物理の新展開 2013年度 基研研究会 2013年6月20日(木) 京都大学基礎物理学研究所、京都

17). 江澤雅彦, 「グラフェンからシリセンへ - 理論から見た特徴と課題」 (招待講演) ナノプロブテクノロジー第167委員会第70回研究会「グラフェン・シリセン・CNT」 2013年4月18日、産業技術総合研究所 臨海副都心センター、東京都

18). 三次元ハニカム格子系におけるループ・ノード半金属とポイント・ノード半金属 江澤雅彦 (16aBH-6) 日本物理学会 2016年9月16日、金沢大学、金沢

19). 三次元層状極性半導体における非相反電荷輸送現象、越川翔太, 井手上敏也, 濱本敬大, 江澤雅彦, 金子良夫, 永長直人, 十倉好紀, 岩佐義宏、日本物理学会、2016年9月14日、金沢大学、金沢

20). ラッシュバ型スピン軌道相互作用に起因する非相反電気伝導現象、濱本敬大, 越川翔太, 井手上敏也, 江澤雅彦, 岩佐義宏, 永長直人、日本物理学会、2016年9月14日、金沢大学、金沢

21). 超伝導 MoS₂ における巨大な非相反電流、若月良平, 星野晋太郎, 江澤雅彦, 永長直人、物理学会、2016年9月14日、金沢大学、金沢

22). WS₂ カイラルナノチューブにおける非相反 Little - Parks 振動、若月良平, 秦峰, 井手上敏也, 江澤雅彦, 岩佐義宏, 永長直人、日本物理学会、2016年9月14日、金沢大学、金沢

23). ワイル半金属の電場応答に対するベリー位相効果、菊竹航, 石塚大晃, 江澤雅彦, 永長直人、日本物理学会、2016年9月13日、金沢大学、金沢

24). Skyrmion と磁壁の可逆な変換と論理回路への応用、江澤雅彦, Yan Zhou, Xichao Zhang、日本物理学会、2015年9月18日、関西大学(千里山キャンパス) 大阪府

25). 磁性トポロジカル絶縁体積層構造における異常ホール効果、安田憲司, 吉見龍太郎, 塚崎敦, 高橋圭, 若月良平, 森本高裕, 江澤雅彦, 永長直人, 川崎 雅司, 十倉好紀、日本物理学会、2015年9月18日、関西大学(千里山キャンパス) 大阪府

26). ハニカム・トポロジカル原子層物質におけるトポロジカル超伝導とマヨラナ粒子 江澤雅彦、日本物理学会、早稲田大学、2015年3月23日、東京

27). 対称性に保護されたトポロジカル荷電: スピン・チャーン絶縁体とトポロジカル・クリスタル絶縁体、江澤雅彦 (P2-33) 第7回 物性科学領域横断研究会(領域合同研究会) 2013年12月2日(月) 東京大学 武田先端知ビル、東京

〔図書〕(計 1 件)

Motohiko Ezawa, Topological Physics of Honeycomb Dirac System, review book on "Silicene", Springer publishers edited by Michelle Spencer and Tetsuya Morishita

〔産業財産権〕 出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nagaosa-lab/ezawa/papers.html>

6. 研究組織(1)研究代表者

江澤 雅彦 (Motohiko Ezawa)

東京大学・大学院工学系研究科・講師

研究者番号: 10504805