

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22244036

研究課題名(和文)半導体電子正孔系の量子凝縮相の研究

研究課題名(英文)Study on quantum degenerated phases in electron and hole system in semiconductors

研究代表者

島野 亮 (Shimano, Ryo)

東京大学・低温センター・教授

研究者番号：40262042

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,300,000円

研究成果の概要(和文)：光励起された半導体を舞台として、励起子のボース・アインシュタイン凝縮や電子正孔BCS状態といった量子凝縮相の発現の可能性の探求、それら間のクロスオーバーの問題に密接に関連する励起子モット転移の解明にテラヘルツ分光法を用いて挑んだ。励起子のイオン化率を定量評価する手法を開発し、励起子モット転移が生じる密度領域での電子正孔系の相図の決定に成功した。電子正孔金属相においては、電子正孔BCS状態の前兆を示唆する結果をついに得た。量子凝縮相の非平衡ダイナミクスの実験的探求を重要課題と位置づけ、s波超伝導体と光とのコヒーレント相互作用を調べ、秩序変数の振幅の振動(ヒッグスモード)の観測に成功した。

研究成果の概要(英文)：We investigated the possibility of quantum degenerate phases, namely the exciton Bose-Einstein condensation and electron-hole (e-h) BCS state, in photoexcited semiconductors. We intensively studied the behavior of exciton Mott crossover in terms of the crossover problem between these quantum degenerate phases by using the terahertz time-domain spectroscopy. We succeeded in the determination of exciton ionization ratio as a function of temperature and density, from which we determined the phase diagram of e-h system in the Mott crossover density regime. We revealed the signature of unscreened e-h correlation in the metallic e-h gas system which may be related to the precursor of e-h BCS pairing. We also investigated the nonequilibrium dynamics of a superconductor. We discovered that after the nonadiabatic excitation with a monocycle terahertz pulse, an oscillation of the amplitude of the order parameter, namely the Higgs amplitude mode appears.

研究分野：光物性物理学

キーワード：電子正孔系 励起子モット転移 電子正孔BCS 励起子ボースアインシュタイン凝縮 テラヘルツ 半導体 超高速現象 ヒッグスモード

1. 研究開始当初の背景

半導体に適当な波長の光を照射すると、結晶のイオンに束縛されていた電子は励起され、自由に動き回る自由電子と、その抜け穴、正孔ができる。低温下では、この光励起された電子と正孔はクーロン引力によって互いに束縛し、水素原子の様な状態、励起子を形成する。励起子は、近似的にボース粒子とみなすことができるため、低温下でボース・アインシュタイン凝縮(BEC)を起こすことが今から約 50 年前に理論的に予言されていた。照射する光強度を上げると、励起子は高密度になり、励起子間の平均距離がボア半径程度となると、励起子は不安定となり、電子正孔に解離して金属的な電子正孔プラズマとなる。電子正孔プラズマは極低温にすると、電子と正孔が再び対をつくって凝縮することも予測されている。このときの電子正孔対は、超伝導 BCS 状態の電子対(クーパー対)と類似していることから、この状態は電子正孔 BCS 状態と呼ばれる。この二つの量子凝縮相を実験的に明確に捉えた例はなく、その発現条件や性質、量子凝縮相と光との相互作用は未解明の問題であった。

2. 研究の目的

この積年の問題に挑むために、本研究ではまず励起子 BEC から電子正孔 BCS 状態へのクロスオーバーの問題と密接に関連する励起子モット転移に焦点を絞り、励起子の安定性、モット転移の振る舞い、励起子密度の上限値の決定を行い、電子正孔系の相図を決定することを目的とした。さらに、電子正孔 BCS 状態の前兆となる金属相における電子正孔相関の発達の様子を明らかにすることを目指した。これにより得られた知見をもとに、より低温の量子凝縮相の発現条件を探求することとした。一方で、量子凝縮相がパルス光励起により実現した場合、その非平衡ダイナミクスは光応答にどのように反映されるのか、という視点からの実験的探求を重要課題の一つと位置づけた。このために、基底状態の性質がよくわかっている量子凝縮相として s 波超伝導体に着目し、光とのコヒーレント相互作用を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、この問題に取り組むうえで、新しい観測手法であるテラヘルツ分光法に注力した。テラヘルツ分光法を用いると、励起子の密度、全電子正孔系における自由キャリアの割合(励起子のイオン化率)、励起子内部遷移のエネルギー、電子散乱時間など、励起子モット転移の理解にとって本質的に重要である一方で、従来の発光やバンド間光吸収では得ることが困難な情報が高い時間分解能で得られ、電子正孔系の状態のプロープとして極めて有用だからである。このために、光励起・広帯域テラヘルツプロープ分光、多

次元テラヘルツ分光、高強度テラヘルツ波パルスによるテラヘルツポンプ・テラヘルツプロープ分光といった最先端分光手法の開発に先駆的に取り組んだ。さらに、磁場印加による励起子スピン縮重の解消、1 軸性圧力印加によるバンド縮重制御による領主凝縮相の顕在化のために、磁場下、圧力下での光励起・テラヘルツプロープ分光の開発も進めた。磁場中のテラヘルツ分光では、サイクロトロン共鳴の時間分解測定も可能となり、光励起後の自由キャリアと励起子の形成ダイナミクスを調べることも可能となった。

4. 研究成果

以下主要な研究成果について記載する。

1) 熱平衡状態における電子正孔系の相図の決定: 電子正孔系の相図を調べる上では、光励起されたキャリアの寿命が十分長く、格子系と準熱平衡に至る系であることが重要である。このために、長い光励起キャリア寿命を持つ間接遷移型半導体 Si, Ge に注目した。これらの物質系を対象に、励起子が存在できる密度の上限を決める励起子モット転移の振る舞いについて詳しく調べた。テラヘルツ分光法により励起子イオン化率を定量的に決定することに成功し、イオン化率を指標として相図を決定することに初めて成功した。励起子の束縛エネルギーが密度の増加とともに減少し、ゼロになったところでモット転移に至る、という従来の定説に反して、励起子束縛エネルギーに換算して 1/10 程度の比較的高温域まででは励起子の 1s-2p 遷移エネルギーはほとんど変化せず、吸収線のブロードニングが支配的となって、励起子が不安定化し、金属相へと移行することを明らかにした。さらに、モット密度以上の領域でも励起子相関が残存することを明らかにした。より低温下での量子凝縮相発現に向けては、バンドの縮重により電子正孔液滴が安定化し、これが量子凝縮相の発現を妨げることが問題となった。そこで、結晶に 1 軸性圧力を印加してバンド縮重を解消した状態で、光ポンプ・テラヘルツプロープ分光を行う手法の開発を行った。さらに励起子スピン縮重を解消し BEC 転移温度を上昇させるために磁場印加を行った。その結果、Ge では、バンド縮重を完全に解消することに成功し、高密度励起下でも電子正孔液滴を形成させずに、励起子のみを蓄積させることに成功し、さらに強磁場下では、高密度にしても励起子モット転移が生じずに、励起子が安定化するという興味深い結果を得た。He3 クライオスタットで到達可能な低温環境を実現すれば励起子 BEC が発現する可能性を示唆する結果を得た。

2) 極低温高密度励起子の生成: 直接遷移型半導体では、励起波長を励起子の共鳴にすることによって、初期状態として励起子のみを生成することが可能である。この場合、電子正孔系の余剰のエネルギーを注入せずに、極

低温の高密度励起子の状態を過渡的につくる事が可能である。この場合に励起子モット転移がどのように生じるかを調べることで、励起子 BEC-電子正孔 BCS 状態間のクロスオーバーについての知見を得ることができると考え、半導体 GaAs を対象に研究を進めた。励起子共鳴励起の場合には、モット密度よりも高い密度領域でも、全ての電子と正孔が自由なキャリアとして振る舞う場合に比べて、光学伝導度のスペクトル重みが高エネルギー側にシフトすることを見出した。これは、電子正孔間の引力相互作用によって、モット転移密度以上の電子正孔金属相の電気伝導度が低下していることを示している。今後、この効果が、長年理論的にその存在が期待されてきた電子正孔 BCS ペアリングの前兆現象かどうかを明らかにしていく予定である。

3) 量子凝縮相と光とのコヒーレント相互作用の解明: 電子正孔 BCS 状態が発現すれば、超伝導体と同様に、フェルミ面にギャップが開くことが予想される。これは光学伝導度スペクトルから確かめることが可能であるが、そのエネルギーは励起子の束縛エネルギーのスケール、テラヘルツ周波数帯になることが予測されている。しかし、パルス光励起によってできた量子凝縮 BCS 状態が時間発展するときにそれが、ギャップ周波数領域での光応答にどのように反映されるか、という点についてはほとんど研究がなかった。本研究ではこの観点から、テラヘルツ周波数帯に超伝導ギャップを持つ s 波超伝導体 NbN を対象として、そのパルス光励起後の非平衡ダイナミクスの研究に取り組んだ。その結果、テラヘルツモノサイクルパルスによる非断熱的励起下で、超伝導体の秩序変数の時間振動、いわゆるヒッグスモードが現れることを発見した。超伝導体のヒッグスモードの存在は約 50 年前に理論的に予言され、その後多くの理論研究が進められてきたが、実験で明瞭に観測した例がなかった。このため、本研究は超伝導のヒッグスモードに関する歴史的な観測実験として、世界的にも大きな反響をもたらした。続けて、超伝導ギャップ周波数 (2Δ) 以下の単色性の高いマルチサイクルテラヘルツパルスを超伝導体に照射すると、超伝導の秩序変数の強制振動が生じ、さらにテラヘルツ波の周波数が $2\omega=2\Delta$ の条件を満たすときにヒッグスモードが電磁波と共鳴することを見出した。この結果は、これまで電磁波とは結合しないと考えられていたヒッグスモードが非線形光学応答まで考慮すると電磁波と結合することを初めて明らかにしたものである。加えて、ヒッグスモードの共鳴で高効率の第三高調波が発生することを発見した。この結果は、量子凝縮相の集団応答が巨大な非線形光学応答をもたらすということを示している。以上の成果は、光による量子凝縮相の量子制御に道を拓くとともに、量

子凝縮相の非線形光学という新たな領域の創生につながった。

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 10 件)

1. F. Sekiguchi and R. Shimano, Excitonic correlation in the Mott crossover regime in Ge, Phys. Rev. B **91**, 155202-1-6 (2015). 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevB.91.155202.
2. Ryusuke Matsunaga and R. Shimano, Higgs amplitude mode in s-wave superconductors revealed by terahertz pump-terahertz probe spectroscopy, Proc. SPIE. **9361**, 93611D (2015). 査読有
3. R. Matsunaga, N. Tsuji, H. Fujita, A. Sugioka, K. Makise, Y. Uzawa, H. Terai, Z. Wang, H. Aoki, and R. Shimano, Light-induced collective pseudospin precession resonating with Higgs mode in a superconductor, Science **345**, 1145-1149 (2014). 査読有 DOI: 10.1126/science.1254697
4. 松永隆佑、島野亮、テラヘルツパルスを用いた s 波超伝導体のヒッグスモードの観測、日本物理学会誌 **69** 巻, 453 (2014). 査読有
5. J. Y. Yoo and R. Shimano, Lifetime Measurement of Excitons in Si by Terahertz Time-domain Spectroscopy with High Spectral Resolution, J. Infrared Milli. Terahz. Waves **35**, 110-117 (2014). 査読有 DOI: 10.1007/s10762-013-0032-1
6. R. Matsunaga, Y. I. Hamada, K. Makise, Y. Uzawa, H. Terai, Z. Wang, and R. Shimano, Higgs Amplitude Mode in the BCS Superconductors Nb_{1-x}Ti_xN induced by Terahertz Pulse Excitation, Phys. Rev. Lett. **111**, 057002-1-5 (2013). 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.057002
7. R. Matsunaga and R. Shimano, Nonequilibrium BCS state dynamics induced by intense terahertz pulses in a superconducting NbN film, Phys. Rev. Lett. **109**, 187002-1-5 (2012). 査読有, DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.109.187002>
8. T. Suzuki and R. Shimano, Exciton Mott transition in Si revealed by terahertz spectroscopy, Phys. Rev. Lett. **109**, 046402-1-5 (2012). 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.046402
9. T. Suzuki and R. Shimano, Cooling dynamics of photoexcited carriers in Si studied using optical pump and terahertz probe spectroscopy, Phys. Rev. B **83**, 085207-1-8 (2011). 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevB.83.085207

10. R. Shimano and T. Suzuki, Exciton Mott transition in Si studied by terahertz spectroscopy, *Physica Status Solidi (c)* **8**, 1153-1156(2011). 査読有, DOI: 10.1002/pssc.201000836
- [学会発表](計 47 件)
1. 海老原周、吉岡信行、関口文哉、松永隆佑、島野亮、テラヘルツ強電場によるバルク GaAs 中励起子のイオン化機構の研究、第 6 回東京大学低温センター研究交流会、2015 年 3 月 4 日、東京大学(東京都・文京区)
 2. 島野亮、超伝導 NbN におけるヒッグス・モードの THz 波検出と超伝導状態の光操作(招待講演)、日本物理学会第 70 回年次大会 領域 4、領域 1、領域 5 合同シンポジウム「固体と光の融合：量子状態の制御と観測」、2015 年 3 月 22 日、早稲田大学(東京都・新宿区)
 3. 関口文哉、吉田正裕、伊藤隆、望月敏光、金昌秀、秋山英文、Loren N. Pfeiffer, Ken W. West, 島野亮、励起子共鳴励起条件下でのバルク GaAs の励起子モット転移、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月 8 日、中部大学(愛知県・春日井市)
 4. 松永隆佑、富田圭祐、濱田裕紀、島野亮、s 波超伝導体 NbTiN におけるテラヘルツ波誘起ヒッグスモードのダイナミクス、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月 8 日、中部大学(愛知県・春日井市)
 5. R. Shimano, R. Matsunaga, Y. Hamada, A. Sugioka, H. Fujita, K. Makise, Y. Uzawa, H. Terai, Z. Wang, N. Tsuji, and H. Aoki, Higgs Mode and Terahertz Nonlinear Optics in Superconductors (招待講演)、19th International Conference on Ultrafast Phenomena (UP), 2014 年 7 月 10 日、沖縄コンベンションセンター(沖縄県・宜野湾市)
 6. R. Shimano, Observation of Higgs Amplitude Mode in Superconductors (招待講演)、The 11th edition of Low Energy Electrodynamics in Solids (LEES), 2014 年 7 月 3 日、Loire Valley (France)
 7. R. Matsunaga, N. Tsuji, H. Fujita, A. Sugioka, H. Aoki, and R. Shimano, Collective pseudospin precession in a superconductor NbN driven by sub-gap THz electric fields, Low Energy Electrodynamics in Solids (LEES) 2014, 2014 年 6 月 30 日-7 月 2 日、Loire Valley (France)
 8. R. Shimano, Observation of Higgs mode in s-wave superconductors (招待講演)、The international workshop "Higgs Mode in Condensed Matter and Quantum Gases", 2014 年 6 月 24 日、京都大学(京都府・京都市)
 9. R. Shimano, Ultrafast dynamics of Higgs amplitude mode in s-wave superconductors induced by terahertz pulse excitation, (招待講演)、5th International Conference on Photoinduced Phase Transitions and Cooperative Phenomena (PIPT), 2014 年 6 月 9 日、Bled (Slovenia)
 10. J. Yoo and R. Shimano, Formation of high density magnetoexcitons in uniaxially-stressed Ge, The 7th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems (ICSCE), 2014 年 4 月 23 日、箱根プリンスホテル(神奈川県・足柄下郡)
 11. F. Sekiguchi, M. Yoshita, T. Ito, T. Mochizuki, C. Kim, H. Akiyama, L. N. Pfeiffer, K. W. West, and Ryo Shimano, Excitonic signature in the photoluminescence from electron-hole plasma in a bulk GaAs, The 7th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems (ICSCE), 2014 年 4 月 23 日、箱根プリンスホテル(神奈川県・足柄下郡)
 12. R. Shimano, Higgs amplitude mode in s-wave superconductors (招待講演)、The 7th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems (ICSCE), 2014 年 4 月 22 日、箱根プリンスホテル(神奈川県・足柄下郡)
 13. 柳済允、湯本郷、島野亮、高圧低温強磁場下における Ge の高密度電子正孔系の光ポンプテラヘルツプローブ分光、日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 29 日、東海大学(神奈川県・平塚市)
 14. 関口文哉、吉田正裕、伊藤隆、望月敏光、金昌秀、秋山英文、Loren N. Pfeiffer, Ken W. West, 島野亮、バルク GaAs の電子正孔プラズマ相における励起子発光、日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 29 日、東海大学(神奈川県・平塚市)
 15. 松永隆佑、島野亮、s 波 BCS 超伝導体 NbTiN におけるテラヘルツ波誘起ヒッグスモードの観測、第 5 回東京大学低温センター研究交流会、2014 年 2 月 27 日、東京大学(東京都・文京区)
 16. J. Yoo, F. Sekiguchi, and R. Shimano, Terahertz Spectroscopy Of Magnetoexciton In Ge Under An Uniaxial Stress, The 38th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2013 年 9 月 6 日、Mainz (Germany)
 17. R. Matsunaga, Y. I. Hamada, K. Makise, Y. Uzawa, H. Terai, Z. Wang, and R. Shimano, Intense THz Pulse-Induced Higgs Amplitude Mode in a BCS Superconductor Nb_{1-x}Ti_xN Film (招待講演)、The 38th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2013 年 9 月 5 日、Mainz (Germany)
 18. 松永隆佑、濱田裕紀、牧瀬圭正、鶴澤佳徳、寺井弘高、王鎮、島野亮、非断熱的

- テラヘルツパルス励起によるBCS超伝導体 $Nb_{1-x}Ti_xN$ におけるヒッグスモードの観測、2013年日本物理学会秋季大会、2013年9月26日徳島大学（徳島県・徳島市）
19. 関口文哉、鈴木剛、望月敏光、金昌秀、秋山英文、Loren N. Pfeiffer, Ken W. West, 島野亮、バルク GaAs 励起子のテラヘルツ分光 2013年日本物理学会秋季大会、2013年9月26日、徳島大学（徳島県・徳島市）
 20. F. Sekiguchi, T. Suzuki, and R. Shimano, Terahertz study of exciton Mott transition in Ge, International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology 2013, 2013年4月3日、京都テルサ（京都府・京都市）
 21. 鈴木剛、島野亮、テラヘルツ分光法によるSiにおける励起子モットクロスオーバーの観測と相図の決定、日本物理学会第68回年次大会、2013年3月27日、広島大学（広島県・東広島市）
 22. 島野亮、高強度テラヘルツ波パルスによる超伝導制御（招待講演）先端光量子科学アライアンスセミナー～テラヘルツセンシング技術の最前線：デバイス開発から基礎・応用研究まで～、2014年3月1日、慶應義塾大学日吉キャンパス（神奈川県・横浜市）
 23. 島野亮、テラヘルツ波が拓く量子物性科学（招待講演）応用物理学会・テラヘルツ電磁波技術研究会主催研究討論会「新しいテラヘルツ科学が映し出すテラヘルツ応用の展望」、2013年11月18日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）
 24. J. Y. Yoo, F. Sekiguchi, and R. Shimano, THz spectroscopy of photoexcited e-h system in Ge under the uniaxial stress and strong magnetic field, Yonsei-Todai Workshop, 2013年2月19日、東京大学（東京都・文京区）
 25. 島野亮、高強度テラヘルツ波パルスによる固体の非線形応答と電子相制御（招待講演）レーザー学会学術講演会第33回年次大会、2013年1月28日、姫路商工会議所（兵庫県・姫路市）
 26. F. Sekiguchi, J. Y. Yoo, T. Suzuki, and R. Shimano, Time-resolved observation of photo-excited carriers, excitons, and electron-hole droplet in Ge by terahertz time-domain spectroscopy, International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT) 2012, 2012年11月29日、東大寺文化センター（奈良県・奈良市）
 27. J. Y. Yoo, T. Suzuki, and R. Shimano, Study of photoexcited carriers in Si from picoseconds to milliseconds by terahertz time-domain spectroscopy, International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT) 2012, 2012年11月29日、東大寺文化センター（奈良県・奈良市）
 28. 関口文哉、鈴木剛、島野亮、近赤外光ポンプ-テラヘルツプローブ分光法によるGeの励起子内部遷移の観測、2012年日本物理学会秋季大会、2012年9月21日、横浜国立大学（神奈川県・横浜市）
 29. 柳済允、鈴木剛、島野亮、高圧低温強磁場下におけるSiの高密度電子正孔系の光ポンプテラヘルツプローブ分光、2012年日本物理学会秋季大会、2012年9月21日、横浜国立大学（神奈川県・横浜市）
 30. 松永隆佑、島野亮、2次元テラヘルツ時間領域分光法による超伝導-常伝導相転移の超高速ダイナミクス、2012年日本物理学会秋季大会、2012年9月21日、横浜国立大学（神奈川県・横浜市）
 31. R. Shimano, Exciton Mott transition revealed by Terahertz spectroscopy, 2012 DYCE International Workshop, 2012年8月7日、屈斜路プリンスホテル（北海道・川上郡）
 32. T. Suzuki and R. Shimano, Evidence of non-vanishing excitonic correlation near the exciton Mott transition in Si revealed by THz time domain spectroscopy, CLEO:2012 QELS-Fundamental Science, 2012年5月7日、San Jose (USA).
 33. 島野亮、強相関電子系のテラヘルツ分光～電荷・スピンの集団応答と新規光・テラヘルツ機能～、日本学術振興会「テラヘルツ波科学技術と産業開拓第182委員会」、2012年4月19日、京都大学東京オフィス（東京都・港区）
 34. T. Suzuki, and R. Shimano, Terahertz study of coulomb correlation in photoexcited electron and hole system in Si, Gordon Research Conference "Ultrafast Phenomena in Cooperative Systems", 2012年2月20日、Galveston (USA)
 35. 柳済允、鈴木剛、島野亮、Siの励起子の磁場下テラヘルツ分光、第4回文部科学省「最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム」シンポジウム、2011年11月14日、名古屋キャッスルプラザホテル（愛知県・名古屋市）
 36. J. Y. Yoo, T. Suzuki, and R. Shimano, Broadband THz spectroscopy of exciton fine structures in Si under the strong magnetic field, 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2011), 2011年10月3日、Houston (USA)
 37. 関口文哉、柳済允、鈴木剛、島野亮、Geにおける高密度電子正孔系のテラヘルツ分光、2011年日本物理学会第67回年次大会、2011年3月27日、関西学院大学（兵庫県・西宮市）
 38. 鈴木剛、島野亮、Siの励起子モットクロスオーバーにおける励起子-プラズモン相互作用、2011年日本物理学会第67回年次大会、2011年3月27日、関西学院

- 大学（兵庫県・西宮市）
39. 柳済允，鈴木剛，島野亮、光励起-テラヘルツプローブ法によるSiの励起子寿命測定、2011年日本物理学会第67回年次大会、2011年3月24日、関西学院大学（兵庫県・西宮市）
 40. 松永隆佑，島野亮、超伝導NbNにおける高強度テラヘルツ波誘起非平衡BCS状態、2011年日本物理学会第67回年次大会、2011年3月24日、関西学院大学（兵庫県・西宮市）
 41. 柳済允，鈴木剛，島野亮、テラヘルツ分光法によるSiの励起子微細構造の磁場依存性の観測、2010年日本物理学会秋季大会、2010年9月24日、富山大学、（富山県・富山市）
 42. 鈴木剛，柴垣和広，島野亮、一軸性圧力下におけるSi高密度電子正孔系のテラヘルツ分光、2010年日本物理学会秋季大会、2010年9月24日、富山大学、（富山県・富山市）
 43. 柴垣和広，鈴木剛，島野亮、一軸性圧力下におけるSiの励起子及び電子正孔液滴の発光観測、2010年日本物理学会秋季大会、2010年9月24日、富山大学、（富山県・富山市）
 44. 鈴木剛，島野亮、高密度励起半導体における電子・正孔系の相転移ダイナミクス、第3回低温センター研究交流会、2012年3月5日、東京大学（東京都・文京区）
 45. T. Suzuki, R. Shimano, Formation dynamics of excitons in Si, The International Workshop on Nonlinear Optics and Excitation Kinetics in Semiconductors (NOEKS), 2010年8月17日、Paderborn (Germany)
 46. 鈴木剛，島野亮、高密度光励起下におけるGaAs励起子のテラヘルツ分光、2010年日本物理学会秋季大会、2010年9月25日、大阪府立大学（大阪府・堺市）
 47. 島野亮、テラヘルツ時間領域分光法の新展開：半導体から強相関電子系まで(チュートリアル講演)、H22 第一回テラヘルツ電磁波技術研究会、H22 第一回テラヘルツ応用システム研究会 共催研究討論会「テラヘルツ分光計測とイメージング」、福井県 2010年8月6日、三国観光ホテル（福井県・坂井市）

〔その他〕

ホームページ等

<http://thz.phys.s.u-tokyo.ac.jp/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島野 亮 (SHIMANO Ryo)

東京大学大学院理学系研究科・准教授

(~2014年3月31日)

東京大学・低温センター・教授

(2014年4月1日~)

研究者番号：40262042