

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20104007

研究課題名（和文）新規絶縁体材料における高密度光励起と相転移現象のダイナミクス

研究課題名（英文）Dynamics of high-density excited states and photo-induced phases in novel semiconductors

研究代表者 芦田 昌明 (ASHIDA MASAOKI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号：60240818

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 物理学・物性

キーワード： 光誘起相転移、高密度光励起、テラヘルツ分光、強相関電子系、酸化物

1. 研究計画の概要

基底状態においても電子相関が強く、一体近似が成立しない新規絶縁体材料において、光励起によって生成される電子正孔多体系のダイナミクスを研究する。特に、励起状態に固有の相関効果「動的相関」による秩序形成、即ち光誘起超伝導転移、絶縁体-金属転移など、電子状態の光誘起相転移のダイナミクスの解明に焦点を絞り、マグノン、超伝導ギャップなど秩序を直接反映する構造が存在するエネルギー領域、-テラヘルツ域を含む赤外全域-をカバーする独自の時間領域分光を行うことによって調べる。最適な物質として、定常光励起下でも相転移が生じる特異な銅及びチタン酸化物系を取り上げる。逆に、得られた「動的相関」に関する知見を新規光技術の創出、例えば、有効な制御素子が数少ないテラヘルツ波に対するデバイス開発につながる新原理の確立などに活かす。

2. 研究の進捗状況

(1) 超広帯域時間領域分光法の確立

時間領域分光法の広帯域化は動的相関を研究する対象物質を拡大する意味で非常に重要である。我々はパルス幅 5 fs の極短パルスレーザーを用いることで、サブ THz の低周波領域から世界最高となる 200 THz という光通信帯域に及ぶ超広帯域をカバーするコヒーレント光を発生させることに成功し、その機構の詳細、位相整合条件や周波数チャープの影響を明らかとした。さらに超広帯域赤外パルス光の電場検出、すなわち時間領域分光を光伝導アンテナで行うことにも成功しており、遠赤外から近赤外に至る超広帯域時間領域分光法を確立した。

上記の手法を種々の新規絶縁体酸化物に

適用し、マルチフェロイック物質のエレクトロマグノンを室温で初めて観測することに成功した。

(2) 高強度テラヘルツ波発生とそれによる高密度励起現象の研究

高強度テラヘルツ波による高密度効果の観測や相転移誘起を目指して、その発生を試みた。誘電体 LiNbO_3 を発生源として最適化を行った結果、世界最高水準となるピーク電場強度 1 MV/cm の広帯域テラヘルツ波パルスの生成に成功した。また、この光源は非線形な出力増大を示すことを明らかにし、2 次の非線形光学過程が逐次的に起きることがその要因であることを解明した。

半導体における新規高密度励起効果の探索と解明

上述の高強度テラヘルツ波パルスを種々の半導体量子構造に照射した。まずは ZnSe/ZnMgSSe 多重量子井戸のバンド端近傍の可視光応答がピコ秒の時間内に示すレッドシフトを初めて観測した。一方、有効質量の小さな GaAs 量子井戸では、電場強度の増加と共にブルーシフトに転ずることがわかった。こうしたエネルギーシフトは動的 Franz-Keldysh 効果や非摂動的効果の存在を示唆するものである。これらの成果はテラヘルツ周波数で動作する次世代の電子デバイス開発へ指針を与え、さらに近年原子・分子気体において盛んに研究されている高次高調波発生を固体に置き換えて実現するという新たな研究分野を切り拓くものとしても期待される。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

(理由)

特徴的な実験手法として開発してきた広帯域分光のカバーする周波数領域や高強度テラヘルツ波の電場強度が当初の計画を上回り、最先端の水準に到達した。そして、それらを駆使することで、素励起の観測や摂動を超えた非線形効果など新規現象を世界で初めて観測することができた。そうした結果は高く評価され、5. 代表的な研究成果の学会発表で挙げたものをはじめ、数件の国際会議で招待講演を行った。

4. 今後の研究の推進方策

新たに開発した広帯域・高強度テラヘルツ波技術を駆使して、「動的相関」が大きいと考えられるチタンあるいは銅などの酸化物に焦点を絞って実験を進める。その際、結果の解釈には A04 理論班と連携をさらに密にして議論を深める。また、開発した最先端の実験手法を他の実験チームの作製する特徴ある試料測定、具体的には、A02 秋山班および A03 金光班のナノ構造物質などの研究に適用していく。

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 22 件)

H.Hirori, A. Doi, F. Blanchar, and K. Tanaka, Single-cycle terahertz pulses with amplitudes exceeding 1 MV/cm generated by optical rectification in LiNbO₃, Appl. Phys. Lett., **98**, 091106 (1-3), 2011, 査読有

K. Shinokita, H. Hirori, M. Nagai, N. Satoh, Y. Kadoya, and K. Tanaka, Dynamical Franz-Keldysh effect in GaAs/AlGaAs multiple quantum wells induced by single-cycle terahertz pulses, Appl. Phys. Lett., **97**, 211902 (1-3), 2010, 査読有

I. Katayama, Katayama, R. Akai, M. Bito, H. Shimosato, K. Miyamoto, H. Ito, and M. Ashida, Ultrabroadband terahertz generation using 4-N,N-dimethylamino-4'-N'-methylstilbazolium tosylate single crystals, Appl. Phys. Lett., **97**, 021105 (1-3), 2010, 査読有

M. Jewariya, Masaya Nagai, and Koichiro Tanaka, Ladder Climbing on the Anharmonic Intermolecular Potential in an Amino Acid Microcrystal via an Intense Monocycle Terahertz Pulse, Phys. Rev. Lett., **105**, 203003 (1-4), 2010, 査読有

H. Hirori, M. Nagai, and K. Tanaka, Excitonic Interactions with Intense Terahertz Pulses in ZnSe/ZnMgSSe Multiple Quantum Wells, Phys. Rev., **B81**, 081305(R) (1-4), 2010, 査読有

[学会発表](計 58 件)

M. Ashida, Ultrabroadband terahertz wave generation and detection with DAST crystal and photoconductive antenna, The 3rd Korea-Japan Joint Workshop on THz Technology, 2010年12月17日, Busan (Korea)

E. Matsubara, M. Bito, H. Shimosato, M. Ashida, Ultrabroadband Electric Field Generation and Detection from Far Infrared to Optical Communication Frequency, 35th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves IRMMW-THz2010, 2010年9月10日, Rome (Italy)

I. Katayama, H. Shimosato, M. Bito, K. Furusawa, M. Adachi, M. Simada, H. Zen, S. Kimura, N. Yamamoto, M. Hosaka, M. Katoh, M. Ashida, Coherent Synchrotron Terahertz Radiation Using Electron Bunch Slicing, 35th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves IRMMW-THz2010, 2010年9月7日, Rome (Italy)

I. Katayama, H. Aoki, J. Takeda, H. Shimosato, M. Ashida, R. Kinjo, I. Kawayama, M. Tonouchi, M. Nagai, K. Tanaka, Nonlinear THz Spectroscopy on the Dielectric Thin Films, Conference on Lasers and Electro-Optics 2010, 2010年5月18日, San Jose, California (USA)

K. Tanaka, Nonlinear coherent dynamics induced by intense terahertz field, The International Workshop on Terahertz Technology 2009 (TeraTech '09), 2009年12月1日, 大阪大学中之島センター

[その他]

ホームページ

<http://laser.mp.es.osaka-u.ac.jp/>

<http://www.hikari.scphys.kyoto-u.ac.jp/jp/index.php>