

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 高強度テラヘルツ光による究極的分光技術開拓と物性物理学への展開

2. 研究代表者: 田中 耕一郎 (国立大学法人京都大学物質－細胞統合システム拠点 教授)

3. 研究概要

本研究では、フェムト秒レーザーを用いて、半導体デバイスの内部電場と同程度のピーク電場強度をもつテラヘルツ波長可変光源を開発し、固体、液体、生体物質を対象とした究極的なテラヘルツ分光技術を探求・実現する。特に、波長の100分の1の分解能を有する実時間動作顕微鏡や巨大な非線形性をもつ量子構造体を構築し、微小物質のコヒーレント過渡現象を実時間・近接場の領域で可視化を実現し、バンド構造の動的変化や非摂動的な非線形光学応答などの新たな物性物理学の展開を目標とした。

これまでに、中心周波数1THzで1MV/cm以上の電場強度を持つ高強度テラヘルツ光の発生に成功した。GaAs 多重量子井戸、グラフェンで巨大なテラヘルツ非線形光学応答を観測し、共通したキャリア増幅現象の存在を明らかにした。さらに、空間分解能が波長の1/100以下で実時間動作するテラヘルツ近接場顕微鏡を構築し、メタマテリアルの局所電場の時間変化や生細胞の実時間画像の取得に成功した。これらは全て世界初の成果である。

今後は、波長可変化された高出力テラヘルツ光源を開発し、共鳴効果や波長依存性などが重要な要素を占める非線形光学実験に適用する。特に、共鳴型の電場増強効果を有するデバイスと半導体量子構造を組み合わせたシステムに対する非線形光学実験に注力する。テラヘルツ近接場顕微鏡を用いた生細胞観察により、生体情報を効果的に抽出するテラヘルツ画像観察・解析技術を開拓する。さらに、テラヘルツ近接場顕微鏡を用いた非線形光学実験にも取り組み、非線形な時空間光学応答の観測を行う。以上を通じて、高強度テラヘルツ光を用いた新奇な物性物理学の発展を目指す。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

シングルサイクルテラヘルツ光の研究に焦点を絞って研究を遂行したことによって、世界最高性能の電場強度を持つテラヘルツシングルサイクル光源の開発に成功したこと、および、高強度テラヘルツパルス照射による半導体キャリアの巨大増幅、などテラヘルツ分光のための光源の開発、その非線形分光への応用、コヒーレント制御でインパクトのある成果を挙げている。また、テラヘルツ近接場顕微鏡の開発も順調である。

波長可変高強度テラヘルツ光源の開発を後回しにし、非線形光学現象の観測への適用が期待されるシングルサイクル高強度テラヘルツ光を優先し、目標値を超えて、世界最高強度を実現したことは望ましい展開といえよう。半導体中での非摂動的な領域の現象は、すべて未知の世界なので、得られる成果は予想外のものがある。世界初となる測定データが幾つか取得されるなど、好ましい進捗状況である。極めてインパクトのある研究成果を、Applied Physics Letters 誌や Nature Communication 誌等のトップジャーナルに掲載するとともに、著名な国際会議で招待講演を行っている。研究代表者の優れたリーダーシップのもと、企業も含めた各グループ間の協力体制も良好であり、目標を当初の計画以上のスピードで達成しつつある。

物性科学やその周辺の分野に大きなインパクトを与えている。固体中の非摂動的な領域の現象の解明は、物理として重要だけでなく、デバイス分野へも大きく貢献する。さらに、世界で唯一のテラヘルツ実時間顕微鏡の構築を行い応用研究として、生細胞、メタマテリアルなどのイメージングも実現しているなど、広い分野での利用が期待でき、技術的インパクトは高いと考えられる。

4-2. 今後の研究に向けて

高強度のテラヘルツ光を活かして、さまざまな THz ならではの非線形現象の観測は新しい科学の発展につながるものとして期待が大きい。一方、THz 近接場顕微鏡は全く新しい分野であり、バイオ関係の研究のみならず、

幅広く今後の研究を進めてほしい。非線形な時空間光学応答の観測を実践し、新奇な物性物理学の発展を実現するよう期待する。また、波長可変テラヘルツ光源についても、既に初期的実験により今後の開発への十分な見通しが得られているので、期待が持てる。

世界トップレベルの高出力 THz 光源を開発して、新しい物質・THz 相互作用現象を見出しており、光源技術を駆使した材料研究等への展開という戦略目標に非常に合致した研究と言えよう。テラヘルツ近接場顕微鏡の実用化と、社会的利用が期待できるので、知財についても企業と連携して進めることが望まれる。平行して Science や Nature 等の一流の学術雑誌に成果発表を行うことを推奨する。

4-3. 総合的評価

大部分の研究項目について、当初計画通りか、それ以上に進んでいる。1 MV/cm 以上の高強度のテラヘルツ光の実現は大きな成果であり、開発した高輝度テラヘルツ光源を活用して非線形分光、コヒーレント制御、近接場顕微鏡において高いレベルの研究成果を上げている。固体中の非摂動論的相互作用の学理に大きく貢献することが期待され、既に半導体中のキャリア増幅の発見など、顕著な成果も得られており、今後の進展が期待できる。メタマテリアルの解析や生物への応用等は新しい展開として高く評価でき、学術的にもインパクトの大きい研究であるとともに、装置開発としても大きな研究成果が出つつあると評価できる。開発された高強度テラヘルツ光を用いた物性研究が、今後どのような科学的成果をもたらすか、興味深い。生物学応用に限らずインパクトのある研究を期待したい。