

テラヘルツ光ビーム走査と位相制御に関する研究

植松 浩司、牧 謙一郎、大谷 知行

テラヘルツイメージング研究チーム

【背景と目的】

本研究の目的は、テラヘルツ光が光と電波の中間領域であるという特徴を活かし、それぞれの長を融合してテラヘルツ光ならではの新たな光制御技術の研究開発を行うことにある。これまでに、光の技術である差周波混合と電波の技術であるフェーズドアレイを融合して、テラヘルツ光ビーム走査という新たな分野を開拓してきた。この技術は、焦点走査型イメージングの高速化や、無線通信のスマートアンテナ等への応用などの礎になることが期待されるが、本年度は、これまでのビーム走査技術をさらに発展させ、電氣的に高速ビーム走査を実現する手法を考案し、その原理実証に成功した。これにより、従来の光学手法より数百倍広い走査角度が得られるだけでなく、毎秒 100 億往復（従来の機械的走査の 1000 万倍以上）という驚異的な高速走査性能が期待される。また、この技術は、新たにテラヘルツ光の位相制御を可能とするものであり、ビーム走査にとどまらず様々な応用可能性が期待される。

【研究方法】

本提案手法の原理は、次のとおりである。光の波長変換技術である差周波混合を利用して、近赤外光からテラヘルツ波に変換する際、変換元である光の位相差分布を光走査器で電氣的に調整する。このとき、電波技術であるフェーズドアレイレーダーの原理に基づき、発生するテラヘルツ波の等位相面が傾斜し、その結果としてビームが走査される。本年度は、その第一段階として、局所的位相の電氣的制御の実験的検証を行った。これは、従来の機械的制御に代わり、電氣的制御手法によりテラヘルツ光の位相シフトを行うもので、2 光を混合する前処理として、片方の光を光位相変調器に通し、2 光間の位相差を調整する。この際の THz 波の波形を光スイッチ法でサンプリングし、フーリエ解析で位相シフト量を計算した。

図 1 に実験光学系を示す。フェムト秒 Ti:sapphire レーザーから発生する超短光パルスはビームスプリッターで二分され、その片方のビームを回折格子で分散した後、光位相変調器（SLM）を通じて別の回折格子で再びパルス状に再形成する。その後、2 光を結合鏡で再合成し、第 3 の回折格子で空間的分布を与えた状態で THz 波変換素子へ照射する。変換素子上では 2 つのビーム位置をずらすことで空間的に広がった各位置で発生するテラヘルツ光を単色にするという独自技術を活用している。これにより、単色かつ位置ごとに位相が異なるテラヘルツ光が実現される。

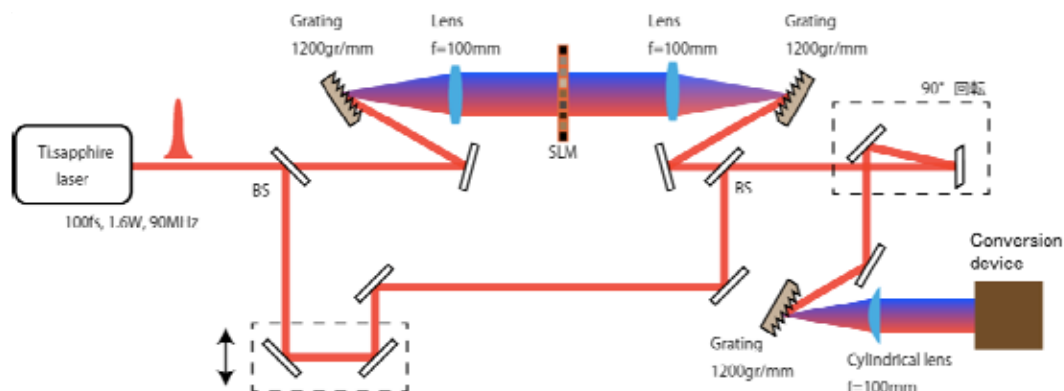


図 1 . THz 波位相制御のための実験光学系

【結果】

図2に位相制御によるテラヘルツ光波形の変化を示す。光位相変調器を初期状態に保つ時の無変調時と、光を π rad シフトさせた場合の2波形が含まれている。両者とも共通して、複数の振動を有するパルス状を成しており、そのパルス幅は半値で2.1psであった。中心周波数は2光間の波長差で決まり、ここでは0.98THzである。光の間接的位相制御により、テラヘルツ光の位相がシフトされており、局所的位相の電氣的制御が実現されていることが確認できた。注目すべき点は、THz波パルスの群速度がほぼ一致していることから、単にパルスの到達時間に遅延を与えて移相する従来手法ではなく、光とテラヘルツ光の間の位相関係を利用した制御技術であることを示している。この結果は、最終目標であるTHz波の高速ビーム走査の実現のための基盤技術となり、今後は、光の空間位相分布の形成を経て、THz波面制御へと発展させる方針である。

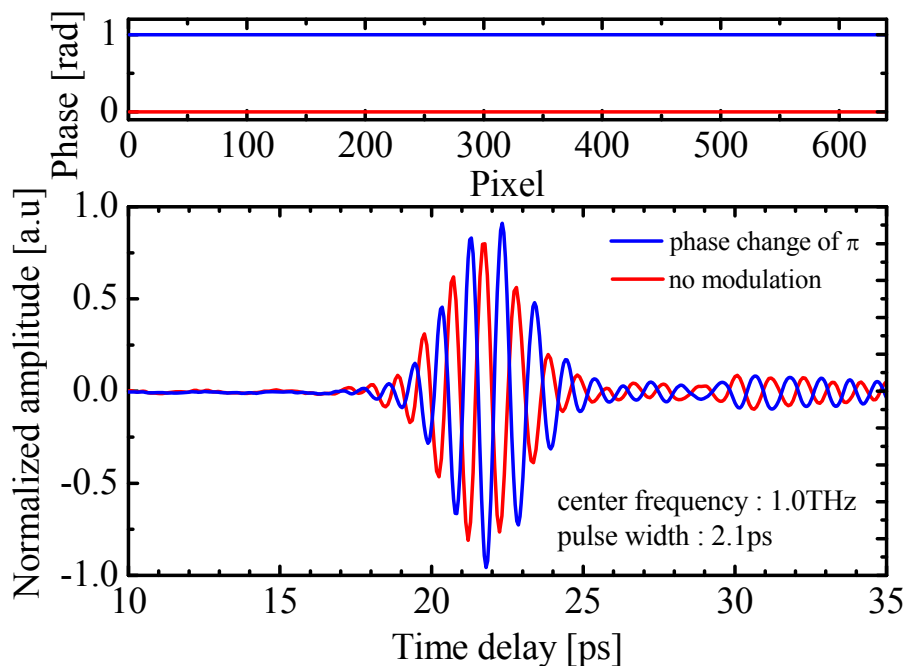


図2. (上)位相変調器で励起レーザーパルスに与えた位相.
(下)位相が π 異なる際に得られたテラヘルツパルス波形