

光干渉を利用したテラヘルツ波ビーム走査

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】

焦点走査型イメージングの高速化や、無線通信用のスマートアンテナ等への応用を目指して、テラヘルツ (THz) 波ビームの新しい走査手法について研究している。本年度は、光の干渉を利用したビーム走査手法を提案し、その原理実証に成功した。

このビーム走査手法は、従来のアレーアンテナの性質が基盤となっている。アレーアンテナのアンテナ素子間隔が電波の波長よりも広く配列されるとき、正面方向以外にグレーティングローブと呼ばれる強い放射が生じる。このローブの方向が素子間隔に依存することから、素子間隔を調整することで電波のビームを走査できる。これをさらに発展させて、複数のアンテナを用いてそれらを機械的に移動する代わりに、光伝導による THz 波発生手法を利用する。光伝導素子に干渉縞が形成された近赤外光を照射すると、等間隔に複数配列された波源と等価的な効果が得られる。さらに、干渉を起こす 2 光間の相対角度を調整することで、干渉縞間隔が変調され、その結果 THz 波のビーム走査が実現される。最大の特徴は、走査角度が光の調整量の数百倍に増大される点であり、アンテナの機械的走査より高速走査が期待される。加えて、従来の手法[1]と比較して光パルスの高い尖頭値を維持できるため、THz 波出力強度の向上が見込まれる。

【成果】

図 1 に実験光学系を示す。光源には、Mode-locked Ti:Sapphire レーザーから出力される中心波長 800nm、パルス幅 100fs、繰り返し周波数 90MHz のフェムト秒レーザーパルスを使用した。励起光はビームスプリッターで分割し、片方の励起光の角度を調節して再び結合させた。レンズ対を用いることによって焦点で二つの励起光が重なり、図 1 に示す CCD 画像のような空間領域での干渉縞が得られた。それをシリンドリカルレンズでストリップライン型光伝導アンテナに集光して THz 波を発生させた。発生した THz 波はダイポール型光伝導アンテナを用いて検出し、時間波形を直接測定した。さらに、検出器を発生器を中心として回転させて THz 波放射強度パターンを評価した。

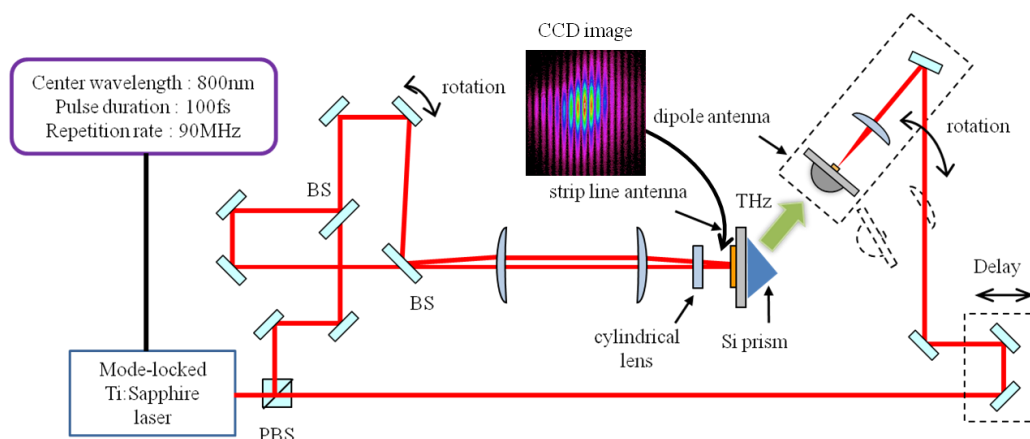


図1. 実験光学系

THz グレーティングローブ測定

図1に示した実験系において、検出器を 40° 方向に固定して片方のフェムト秒レーザー光の入射角度を変化させてTHz グレーティングローブ放射の時間波形を測定した。励起光のビーム径は 1mm で一定である。実験結果を図2に示す。励起光の入射角度を変化させることによって、時間波形の周期も変化して周波数スペクトルの中心周波数が 0.5THz から 1THz までシフトし、その線幅は中心周波数 0.73THz において 110GHz であった。したがって、時間波形の電場強度ピークが、それぞれ励起光の干渉縞強度ピークから発生したTHz波に相当し、この電磁波放射はグレーティングローブ放射である。また、周波数同調範囲は、フェムト秒レーザーパルスのパルス幅とTHz発生器の種類により、 3THz 程度まで広がる。

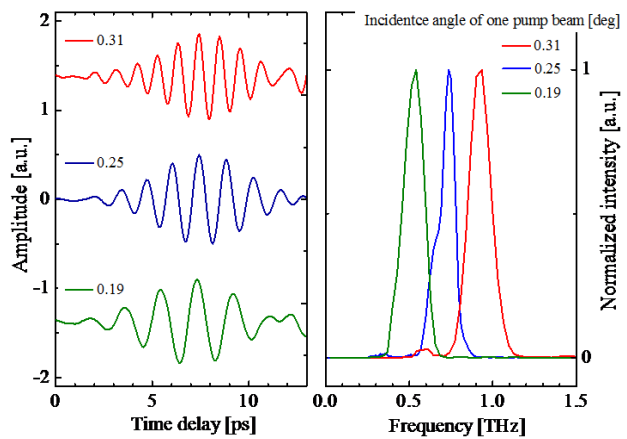


図2. THz波時間波形（左）と周波数スペクトル（右）

THz ビーム走査

正面方向からそれぞれ 20° 、 30° 、 40° の方向に検出器を回転させて、THz波形測定を行った。図3にTHz波放射強度パターンの測定結果を示す。シンボルは実験結果、実線は計算結果を示している。強度ピークが現れる角度がシフトしていることから、THz波ビームが走査されていることを意味している。また、THz波放射角度変化は励起光の入射角度変化に対して約600倍に増大されており、角度増大効果が得られた。つまり、この結果から高速光偏向器を用いたレーザー光の入射角度制御によって、本方法は 1MHz の速度を上限としたTHz波ビーム高速走査を可能にする。

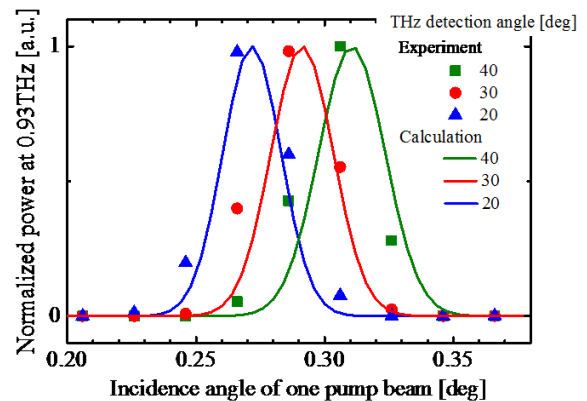


図3. THz波放射パターン測定結果

【今後の展開】

マイクロ・ミリ波帯で利用されているアレーアンテナ技術と干渉縞を形成するフェムト秒レーザー光励起によるTHz波発生を組み合わせた、THz波ビーム走査手法を提案した。今後、実際のビーム走査スピードを評価する必要がある。さらに、これを組み込んだイメージングシステムを構築して測定スピード・空間分解能・測定可能範囲などについて従来方法と比較・検証し、高速イメージング手法の確立が期待される。

【参考文献】

1. K.Maki and C.Otani, "Terahertz beam steering and frequency tuning by using the spatial dispersion of ultrafast laser pulses" Opt. Express **16**, 10158-10169 (2008)