



Active agingを支援するバイオメディカル工学の研究拠点
—福島県の震災復興に貢献する医工連携研究—

生体計測用テラヘルツ波分光 イメージングシステムの開発

研究背景と目的

光波・マイクロ波の中間周波数帯にある未開拓のテラヘルツ波 (THz波) は、生体に無害な低エネルギーの電磁波であるが、生体分子の識別能力をもち、特異な物質透過性をも有するため近年注目されている。我々はレーザ・フォトンクス技術を用いたTHz波発生・検出とその制御に関する研究開発を行ってきており、本プロジェクトでは、THz波を用いた超高感度・超高解像度のバイオイメージングシステムの開発を目的とする。

周波数可変テラヘルツ波パルスの発生とその高出力化

ナノ秒パルスNd:YAGレーザ励起のTHz波パラメトリック発振器 (TPO) を構築し、出力WレベルのTHz波発生に成功するとともに、システムの自動制御により連続的な周波数掃引とTHz分光測定に成功した。さらに、THz波出力の制約要因がブリルアン散乱であることを見出し、これを励起レーザの短パルス化により抑制した結果、世界最高レベルのTHz波出力 (50kW以上) と周波数可変性0.7~2.9THzを達成した。

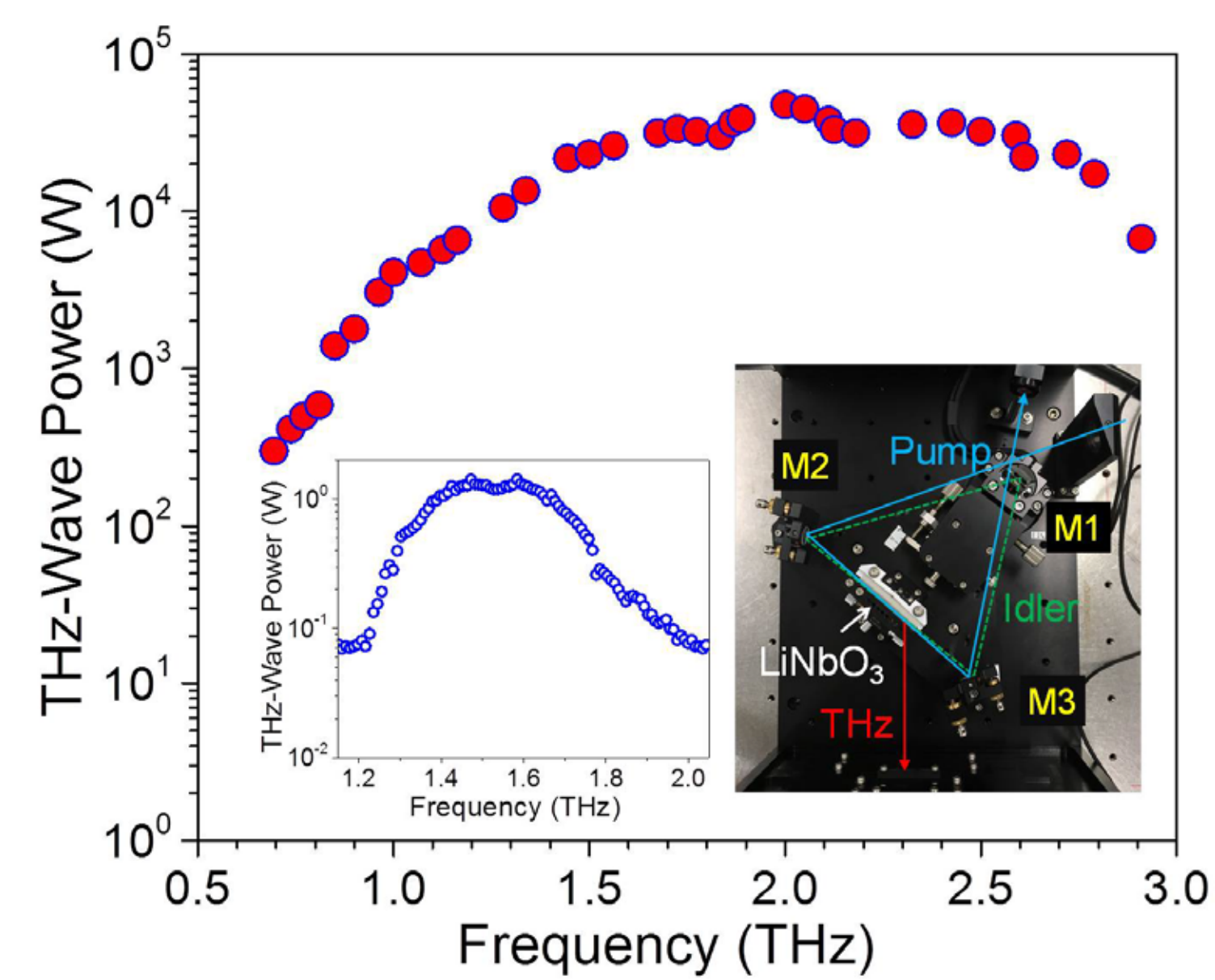


図1 パルス動作型周波数可変テラヘルツ波光源の出力特性

TPOは非線形光学結晶 (ニオブ酸リチウム) と共振器ミラーから構成され、ガルバノスキャナーによる共振器ミラーの角度制御とTHz信号取込を自動化することにより、1~2THz領域での連続周波数掃引を実現した (図1挿入図)。さらにNd:YAGマイクロチップレーザ (パルス幅420ps) と光増幅器を使用してTHz波の高出力化に成功した (図1)。

周波数可変連続テラヘルツ波の発生と高感度検出

フレキシブルな光ファイバ接続型で小型・省電力の連続THz波光源であるUTC-PD (単一走行キャリアフォトダイオード) について、外部変調信号を用いて1.5 μ m帯2波長励起光に強度変調をかけ、THz波のロックイン検出を行った。光ファイバ増幅器の電流変調では、光入力を12mWに固定し、2波長光の周波数間隔を自動制御することにより、0.1~2THz領域で連続THz波検出に成功した。

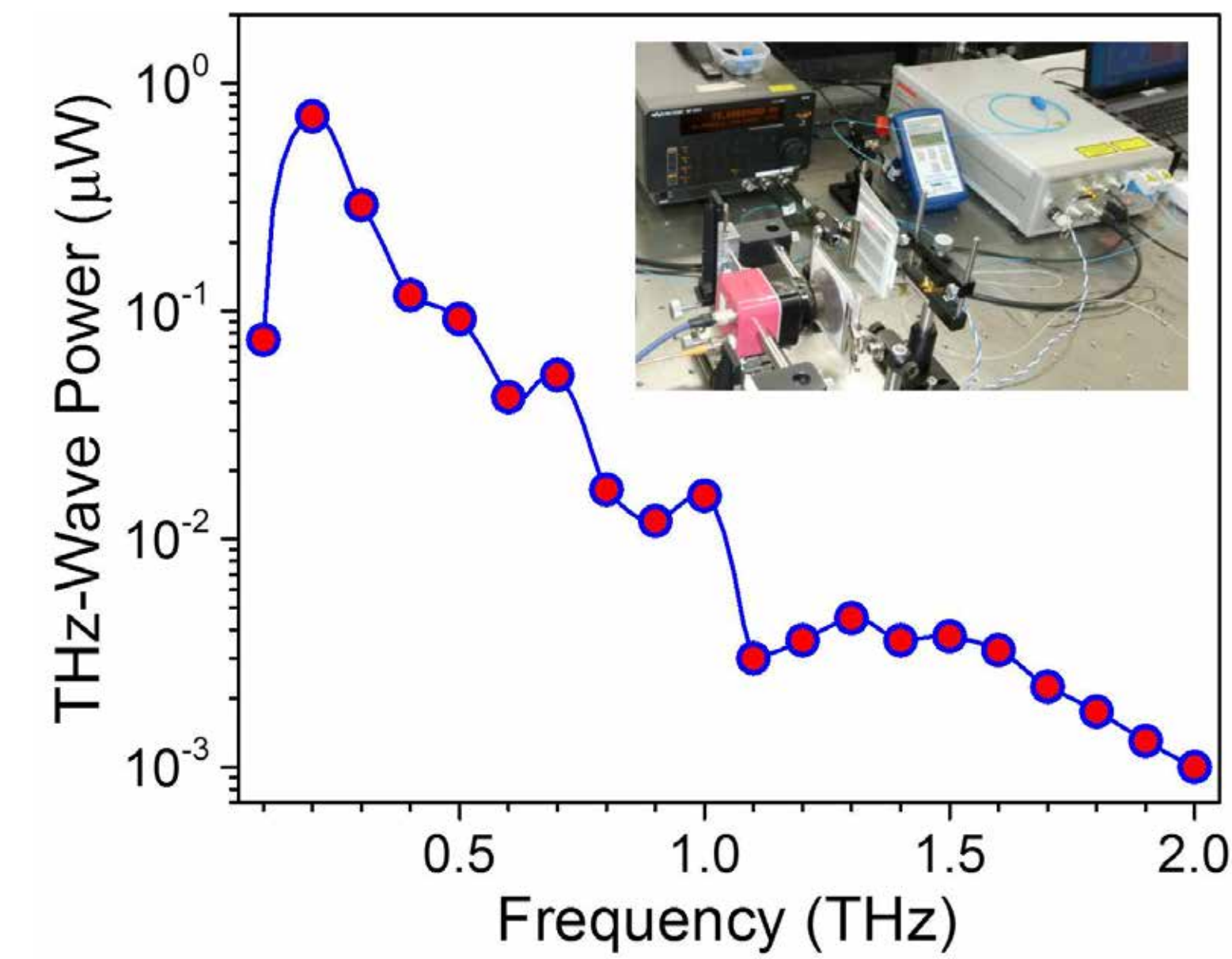


図2 連続動作型周波数可変テラヘルツ波光源の出力特性

光ファイバ増幅器の電流変調により1.5 μ m帯2波長励起光の消光比約-17dBを得た。強度変調された連続THz波を常温パイク検出器で受光し、0.1~2THz領域のTHz波をダイナミックレンジ約30dBで検出した (図2)。さらにDFB半導体レーザの電流変調と外部光変調器を用いた光強度変調を行い、変調周波数1~100kHzを達成した。

周波数可変テラヘルツ波光源のイメージング応用

パルス動作TPOからの高出力THz波をTHz波イメージャ (アレイ型パイロディテクタ) により受光し、THz波ビームの強度分布をシングルショットで画像化することに成功した。これより、ガウスビームに近い良好なビームプロファイルが得られていることを確認した。また連続動作UTC-PDのロックインTHz波検出系と2次元の位置制御機構を組み合わせ、0.2~0.4THz領域でのTHzイメージングに成功した。

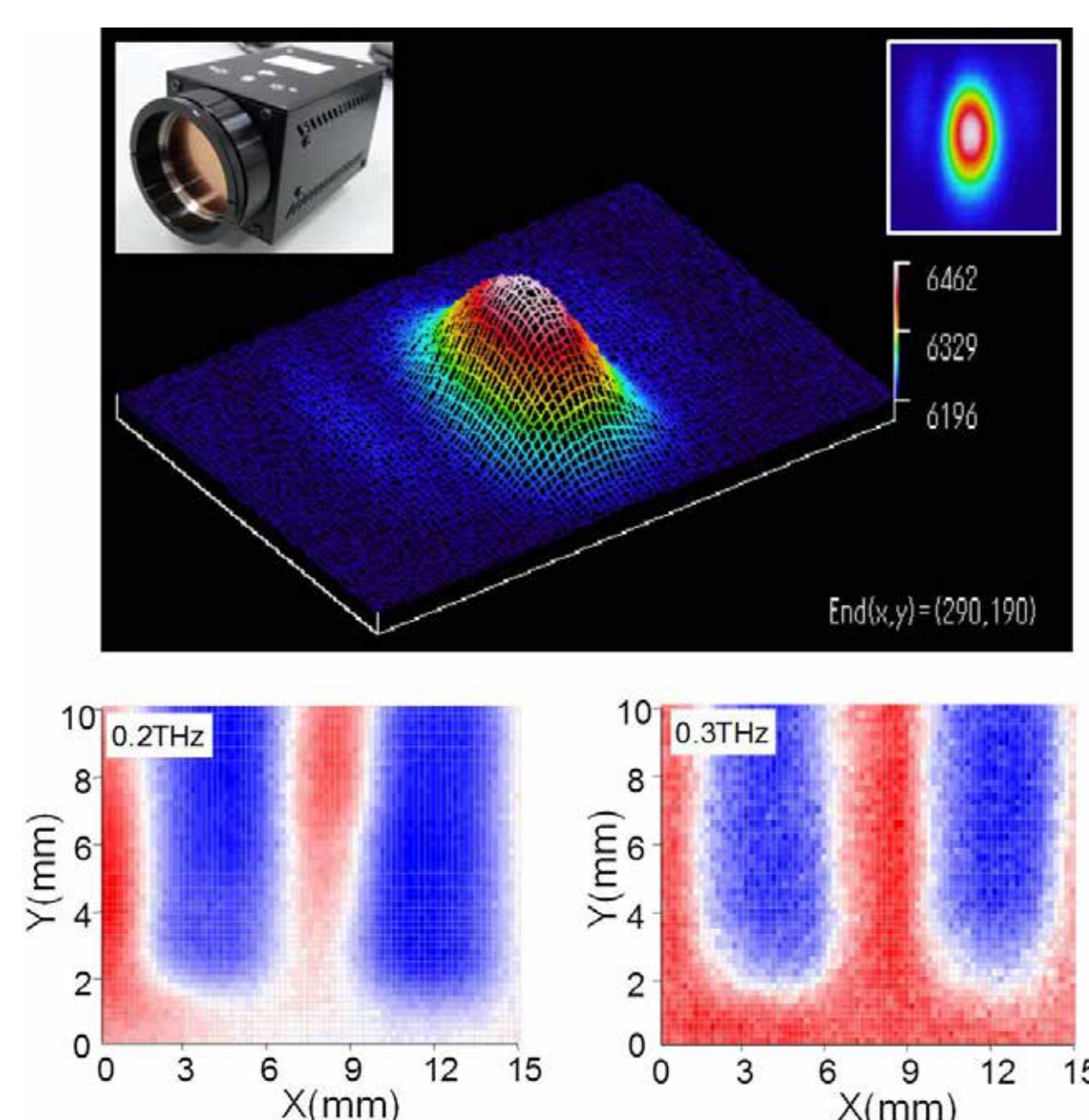


図3 テラヘルツ波イメージングの測定例

THz波イメージャは320 \times 240素子から構成され、フレームレート30HzでTHz波ビームの強度プロファイルを計測した (図3上)。連続THz波によるTHzイメージング実験では、測定試料にAgClテストパターンを用い、その位置を自動制御することにより2次元透過測定を行った (図3下)。THz波周波数の上昇に伴う解像度の向上が観測された。

テラヘルツ帯表面プラズモン共振器の動作解析と実証実験

微小開口の周囲に円形回折格子を付した表面プラズモン共振器は回折限界を超える極微細のTHz波ビームを生成し、超高解像度のTHzイメージングを実現する「THz帯スーパーレンズ」としての応用が注目されている。この表面波共振器において入射角に依存する動作周波数の変化 (共鳴ピークのレベルスプリット) が起こることを数値解析により予測し、周波数可変THz波光源を用いた透過測定により、その動作を実証した。

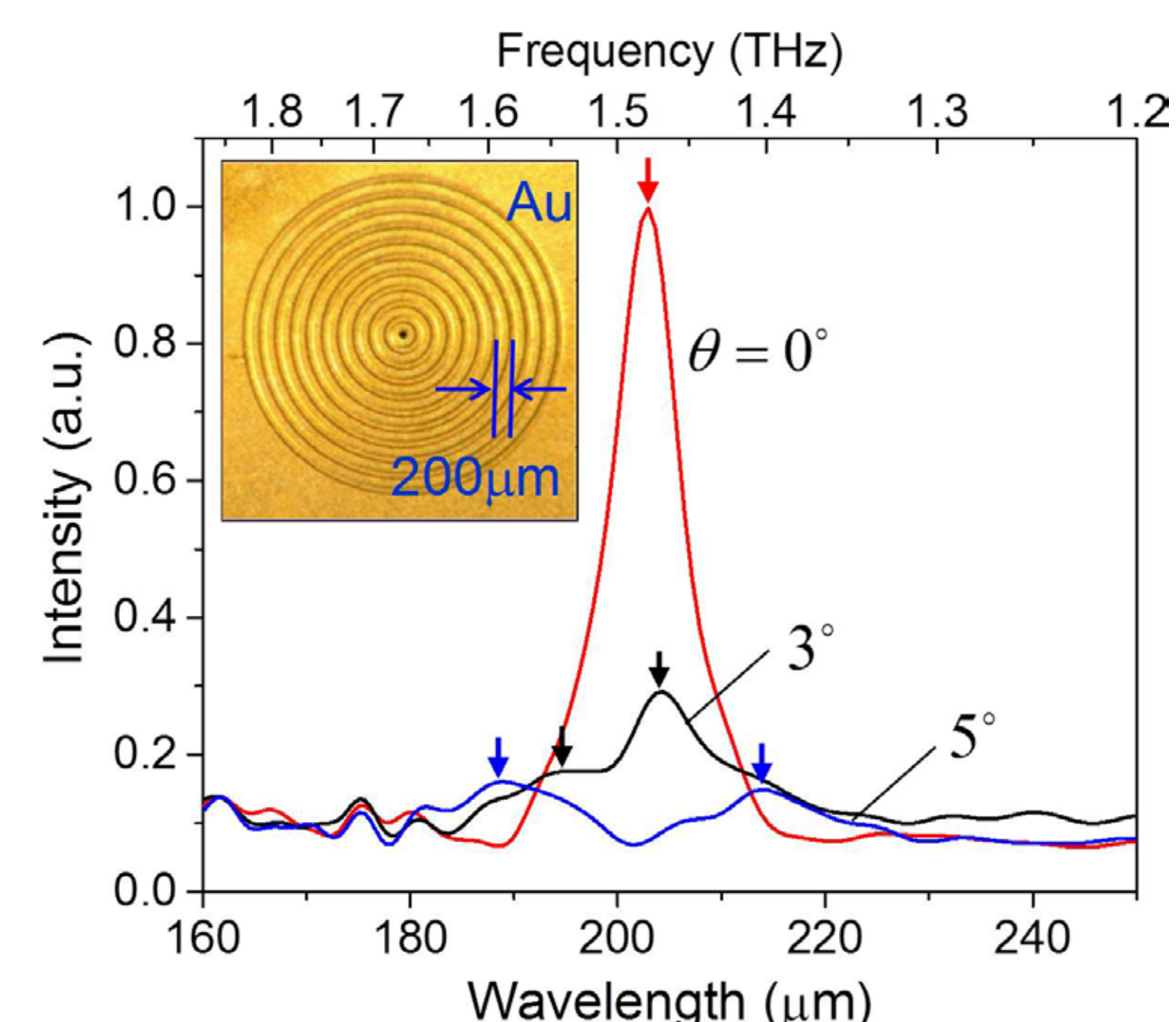


図4 テラヘルツ帯表面プラズモン共振器の動作特性

表面プラズモン共振器 (図4挿入図) はステンレス基板を集束イオンビームにより凹凸加工し、金薄膜を付けて作製しており、微細孔 (100 μ m径) の周囲に円形回折格子 (周期200 μ m、深さ20 μ m) を有する。透過実験ではTHz波を約10mmのビーム径にコリメートして共振器デバイスに入射し、透過スペクトルの角度依存性を測定した (図4)。