

# テラヘルツ焦点面アレイによって可能になるリアルタイム超解像イメージング

米カリフォルニア大ロサンゼルス校 (University of California, Los Angeles) のモナ・ジャラッヒ教授 (Mona Jarrahi) とアイドガン・オズカン教授 (Aydogan Ozcan) が率いる研究チームはこのほど、長年にわたるイメージング速度の問題に取り組むと同時に、リッチでハイクオリティなテラヘルツ情報を得られるプラズモン光伝導テラヘルツ焦点面アレイ (THz-FPA) を開発した。

テラヘルツ時間領域イメージングは、タイムゲート法による超高速レーザーパルスを用いてテラヘルツ波を発生・検出するもので、極めて有用な技

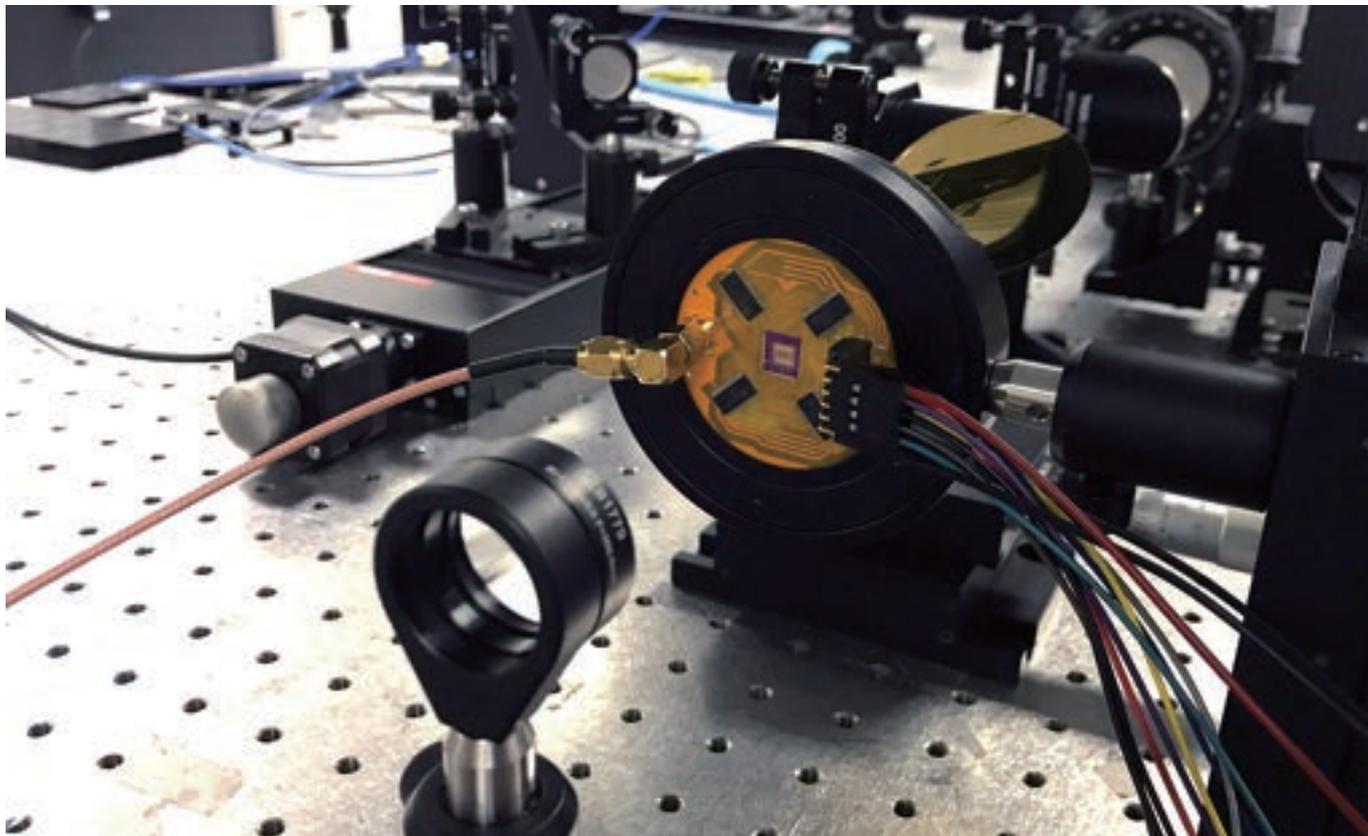
術である。シグナル処理後、大きさや位相情報、ピコ秒以下の超高速の時間情報、超広帯域スペクトル情報など、リッチなテラヘルツ情報を得られる。

従来のテラヘルツ時間領域イメージングシステムは、通常、単一ピクセルのテラヘルツ検出器で構成されている。テラヘルツ画像を取得するには、対象物またはイメージングシステムを機械的にスキャンする必要がある。このラスタースキャンにはかなりの時間がかかる。対象物が大きい場合、イメージング時間は合計で数時間を必要とする。これでは、多くの用途で現実的ではない。

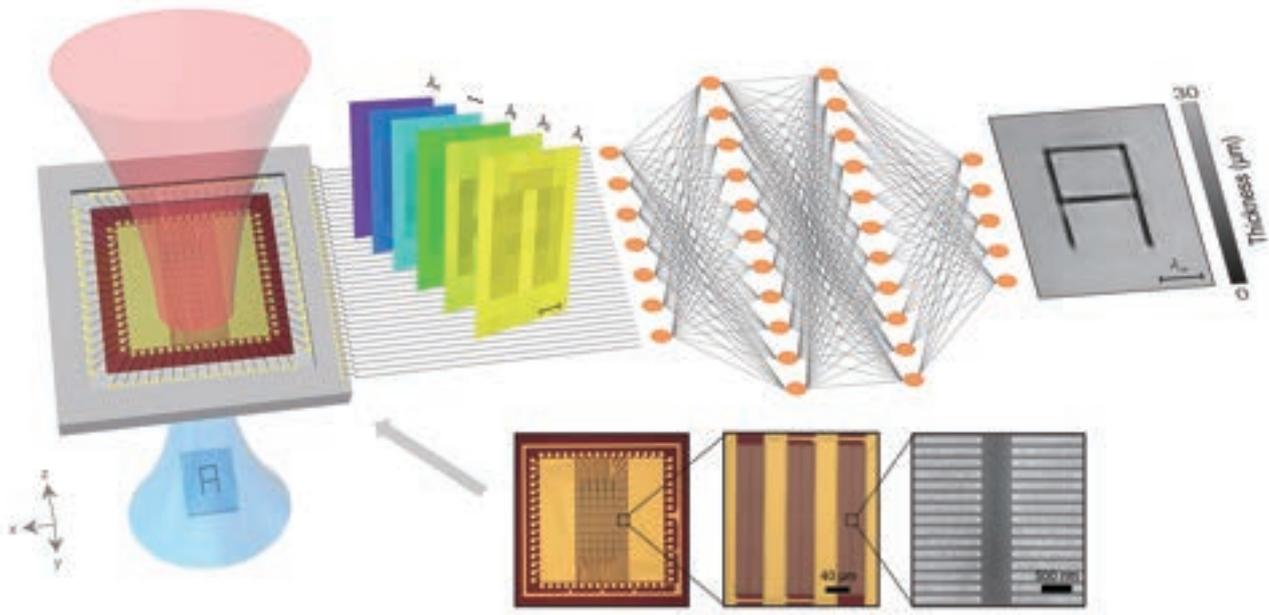
そのため、テラヘルツ研究コミュニティは、長年にわたって高速テラヘルツ時間領域イメージングシステムを追求してきた。

従来のテラヘルツ光伝導アンテナを2次元 (2D) アレイに拡張することを妨げてきた大きな障害の1つが、テラヘルツ検出効率に直接影響する光学フィルファクタの低さである。

この問題を解決するため、研究チームは、光学フィルファクタが非常に高いプラズモニックナノアンテナを分散配置した THz-FPA に着目した。ジャラッヒ教授は、「合計で30万個のプラズモン・ナノアンテナが1つのチップに



テラヘルツ時間領域セットアップにおけるプラズモン光伝導 THz-FPA の写真



超解像イメージングのプラズモン光伝導THz-FPA

集積されている」と話す。「プラズモン・ナノアンテナは、光キャリアとテラヘルツ波との相互作用が強化するように設計されており、各ピクセル内で非常に感度の高いテラヘルツ検出を実現できる」。

このTHz-FPAをベースに、研究チームは機械的なラスタースキャン部品を必要としない、テラヘルツ時間領域イメージングシステムを構築した。このイメージングプロセスは、携帯電話のカメラで写真を撮るのに似ている。スナップショットを1つ撮影した後、テラヘルツ画像が準備される。

研究チームは、このイメージング速度を示すために、マイクロ流体チャネルを通過する流水のテラヘルツ画像を記録した。これは、テラヘルツ時間領域イメージングシステムで実証された初のテラヘルツ映像である。

### 普通の画像ではない

研究チームがTHz-FPAから取得した画像には、大きさの空間分布と位相

情報、超高速の時間情報、広帯域スペクトル情報が含まれている。

この多次元情報により、研究チームはディープラーニングによる畳み込みニューラルネットワークを介してテラヘルツ超解像イメージングを実証できた。対象物を広帯域放射で照射し、多次元データ、特にスペクトルの大きさと位相データを収集すると、畳み込みネットワークの力を借りて「解決不可能な」特徴を解決できる。

ジャラッヒ教授は、「我々は、シリコン基板にエッチングされたパターンを超解像することで最初の概念実証実験を行い、1000ピクセルよりも大きい有効画素数の合計を達成した」と話す。「2D形状の小さなディテールを見ることができ、撮像した対象物の奥行きも解像できる」。

### 数多くのアプリケーションのゲームチャンジャ

研究チームのTHz-FPAイメージングシステムは、エネルギーや自動車、

食品、製薬産業と、多くの非破壊検査アプリケーションに有用となり得る。

その1つが、リチウムイオン電池のリアルタイム品質管理だ。リチウムイオン電池は、電気自動車、スマートフォン、ノートパソコンなど、あらゆる製品に広く存在する。これらの電池は、負極や正極を含む、さまざまな機能層の集合体である。層のどこかに欠陥があると電池の性能が低下し、発火や爆発といった危険を引き起こす可能性がある。研究チームはすでにテラヘルツイメージングシステムを用いて、電極内に潜むさまざまな種類の欠陥を特定することに成功している。

現在までに、電極層の体積情報を注出して構造欠陥をリアルタイムで特定できる非破壊的検査法は他にない。将来、THz-FPAイメージングシステムをロール to ロールで生産ラインに導入し、電池の生産効率や安全性、性能をさらに向上させることを研究チームは期待している。

(Sally Cole Johnson)

LFWJ