

テラヘルツ有機デバイスの研究開発

先端有機材料とデバイスの開発により高性能・小型光源を実現する



梶 貴博 (かじ たかひろ)

未来ICT研究所
ナノICT研究室
主任研究員

大学院修了後、グローバル COE 特任助教を経て、2009年にNICTに入所、2015年5月より現職。有機光デバイス作製に関する研究に従事。博士（工学）。

非接触・非侵襲でのセンシングや超高速の無線通信への利用が期待されるテラヘルツ波の社会利用を加速するためには、テラヘルツ装置の小型化と高性能化が不可欠です。私達は、従来にない小型で高性能なテラヘルツ光源と検出器の実現を目指し、優れた非線形光学特性を有する有機非線形光学ポリマーの開発とデバイスの開発を進めてきました。

■背景

テラヘルツ波は、電波と光波の間の周波数(0.1~10 THz)をもつ電磁波であり、電波よりも高い周波数であることから超高速無線通信への利用が期待されています。また、物体に対する高い透過性と「指紋スペクトル」と呼ばれる物質固有の吸収パターンが存在から、センシングへの利用が期待されています。テラヘルツ波を用いたセンシングでは、物体内部の構造を非接触・非侵襲でイメージングできることに加えて、身の回りに存在する様々な「もの(物質や生体物質など)」に関する情報を取

得することで、物体に含まれる物質を識別することができます。こういった従来のセンサーでは取得が困難であった「もの」についての情報の活用により、セキュリティや健康、医療、環境、化学、工業、農業など社会の様々な場面での生産性や効率が向上するほか、社会の危険をいち早く検知できるようになると期待されています。

テラヘルツ波のセンシングや無線通信への利用を社会で加速させるためには、テラヘルツ装置(テラヘルツ光源、検出器)の小型化と高性能化が重要です(図1)。現在の多くのテラヘルツ光源では、レーザー光を非線形光学材料などで波長変換することでテラヘルツ波を発生させます。しかし、この波長変換の効率が非常に低いため、高出力で大型のレーザー光源が必要となり、装置が大型化していました。また、現在の多くの装置のテラヘルツ波の発生や検出の帯域は低周波の領域(0.1~4 THz程度)に限られているため、「指紋スペクトル」のうち、物質の識別のために有用な多くの吸収ピークが存在する高周波領域の取得が困難でした。テラヘルツ波のセンシング利

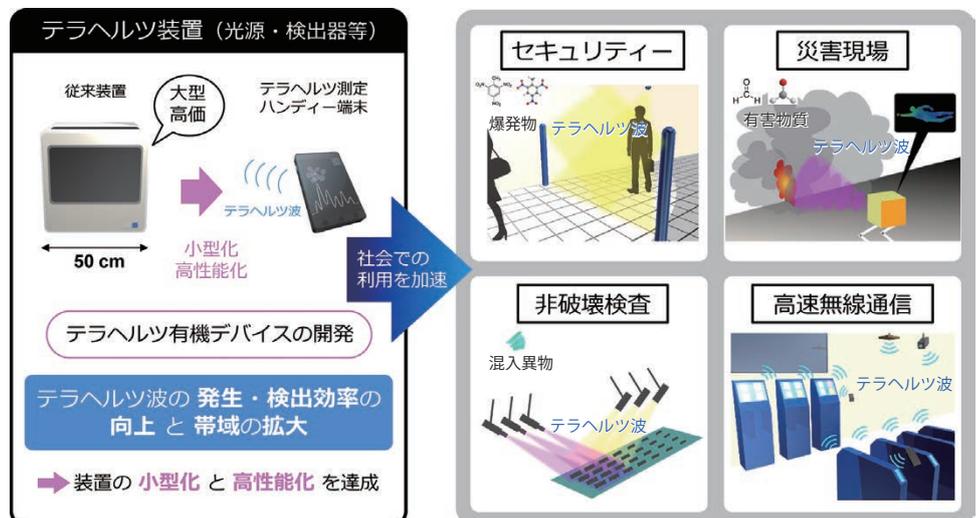


図1 テラヘルツ装置の小型化・高性能化による社会での利用拡大

用を進めるためには、テラヘルツ波を発生・検出する帯域の拡大が求められています。

■非線形光学ポリマーを用いたテラヘルツ技術

私達は、テラヘルツ波の発生や検出効率の大幅な向上と帯域の拡大を実現するため、非線形光学ポリマーとそれらを用いたデバイスの開発を進めてきました。

非線形光学ポリマーは、テラヘルツ波の発生・検出に従来から用いられているニオブ酸リチウム (LiNbO₃) やテルル化亜鉛 (ZnTe)、DASTなどの無機・有機の非線形光学結晶材料と比較して、大きな電気光学係数 (>100 pm/V) を有し、材料の屈折率の効果を考慮に入れたテラヘルツ波の発生に関する性能指数が、これら材料の値を上回ります (表)。

また、ニオブ酸リチウムやテルル化亜鉛などの無機結晶材料は、結晶格子振動による影響で、発生したテラヘルツ波が高周波領域で吸収されることが帯域を狭める要因となっていますが、非線形光学ポリマーは、テラヘルツ領域の広範囲で吸収係数が小さいことから、超広帯域 (0.1~20 THz) でのテラヘルツ波の発生や検出が可能です。

さらに、非線形光学ポリマーは、微細加工プロセスによる導波路デバイスの作製が可能なことから、光閉じ込めの効果により

テラヘルツ波の発生効率を大幅に高めたデバイスを実現できると期待できます。

■非線形光学ポリマーを用いたテラヘルツ波発生デバイス

私達は、小型のテラヘルツ光源の実現に向けて、小型半導体レーザーやファイバーレーザーで発振可能であり、様々な光通信技術が利用可能な波長である1.5μm帯のレーザー光を用いたテラヘルツ波発生デバイスの開発を進めています。

私達はこれまでに、フェムト秒チタンサファイアレーザーからのレーザー光を光パラメトリック増幅器で波長変換して得られた波長1.5μmのレーザー光を非線形光学ポリマーへ照射することで、テラヘルツ波を発生させることに成功しています。さらに、より小型で低出力の1.5μm帯小型エルビウムドープファイバーレーザーを用いたデバイス評価システムを構築し (図2)、弱ポンプ光強度条件下での非線形光学ポリマーデバイスからのテラヘルツ波発生の観測に初めて成功しています。テラヘルツ波

の発生効率をさらに高めるために、微細導波路構造を用いたテラヘルツ波発生デバイスの開発を進めるとともに、超広帯域でのテラヘルツ波の発生が可能となる、パルス幅がより短い1.5μm帯超短パルスファイバーレーザーを用いた実験を進めています。

■今後の展望

テラヘルツデバイスのさらなる高性能化に向けて、テラヘルツ波の吸収損失を大幅に低下させた材料の開発を進めるとともに、私達のグループで開発を進めている有機・シリコンハイブリッド光変調器の技術を応用することで、テラヘルツ波の発生効率を飛躍的に高めたデバイスの開発を行います。また、テラヘルツ波の検出器に関しても、非線形光学ポリマーの利用による高感度化が可能です。発生と検出の両方の性能を高めることで、従来にない小型テラヘルツ装置を現実のものとし、テラヘルツ波を活用した次世代の安心・安全で快適なICT社会につなげていきます。

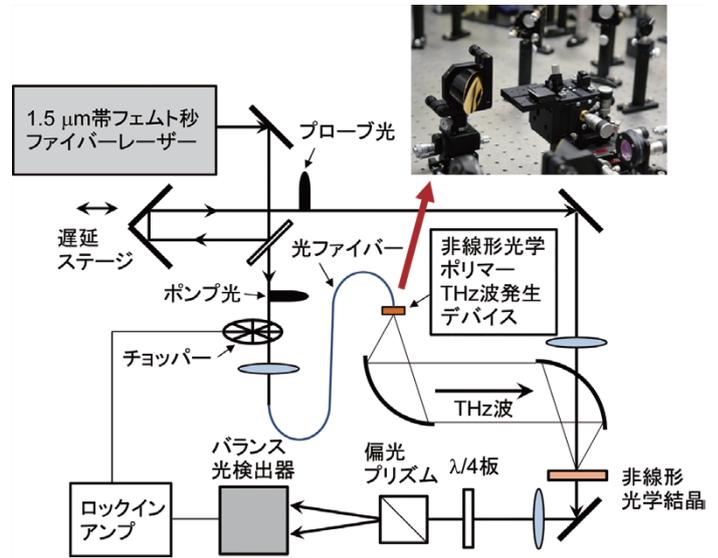


図2 非線形光学ポリマーテラヘルツ波発生デバイスの評価装置

表 テラヘルツ波の発生や検出に用いられる非線形光学材料の比較

	テラヘルツ帯域	屈折率 n_o, n_{THz}	電気光学定数 r (pm/V)	THz発生 性能指数	微細加工
非線形光学ポリマー	0.1 - 20 THz以上	~1.7, ~1.7	100以上	8900以上	◎
ニオブ酸リチウム (LiNbO ₃)	0.1 - 2 THz	2.2, 4.96	32	1500	
テルル化亜鉛 (ZnTe)	0.1 - 4 THz	2.83, 3.16	4	160	△
DAST (有機結晶)	0.3 - 16 THz	2.13, 2.26	47	5600	