

News Release

2009年6月25日

**AISIN**
Geared up for the future

国立大学法人 京都大学

アイシン精機 株式会社

超小型ファイバーレーザーシステムをもちいて 高強度テラヘルツ電磁波の発生に成功

—実用的なテラヘルツバイオ動画イメージング装置の実現が可能に—

国立大学法人 京都大学（総長 松本 紘）、アイシン精機株式会社（代表取締役社長 藤森 文雄）は、産業用サブピコ秒ファイバーレーザーを用いたテラヘルツ電磁波（※1）発生の高効率化に成功しました。これは、テラヘルツ電磁波発生のための誘電体結晶と光との結合を電気-光（EO）変調器（※2）として最適化したことで可能になったもので、ファイバーレーザーをもちいたテラヘルツ電磁波発生としては、世界最高の強度となります。

京都大学 物質-細胞統合システム拠点（iCeMS=アイセムス）の 田中耕一郎 教授、京都大学 大学院理学研究科 永井正也 助教（JST PRESTO 研究員兼任）らの研究グループは高強度超短パルスレーザと誘電体結晶を用いたテラヘルツ電磁波発生の高効率化に関する研究を行っており、アイシン精機株式会社で開発された産業用光ファイバーレーザーを用いることで非常に高強度のテラヘルツ電磁波が発生することを見出しました。発生したテラヘルツ電磁波パルスの電場強度は半導体デバイス中に印加される電場強度に匹敵することから、超高速通信に必要な半導体デバイスの超高速スイッチ制御が可能となり、いわゆるテラヘルツエレクトロニクスを展開が大いに期待されます。また、高強度・高繰り返しの特徴を生かすことにより、小型のテラヘルツ動画イメージングシステムが可能になることから、セキュリティ、ライン検査、臨床医学などへの産

業応用が加速されます。特に、テラヘルツ電磁波は水や生体関連材料に高い感度を有することから、実用的なバイオ動画イメージング装置の開発が加速されるものと期待されます。

テラヘルツ電磁波は超高速電気デバイスとして、また食品検査、封筒内の薬物検査、半導体 LSI やプラスチック製品の欠陥検査などへの応用が期待されています。この電磁波を非常に高強度で発生し高感度に測定する一つの手法として超短光パルスを用いた方法があります。これらの技術を用いた分光装置がいくつかの会社から既に発表されています。しかし高強度発生と検出には高強度でかつ光パルスの時間幅が 0.1 ピコ秒 (※3) 以下と短い光源が求められており、限られた環境下での設置が要求される理化学研究用レーザが必要です。そこで研究グループではレーザ加工などの産業応用に大きな期待がなされている Yb ドープファイバーレーザ (※4) に注目しました。このレーザは光パルスのパルス幅が長いためにテラヘルツ電磁波技術にとって不向きな光源として考えられてきました。しかしテラヘルツ電磁波が発生する過程で EO 効果を介した励起光のパルス圧縮を巧みに利用することで、励起光のパルス幅で決まる周波数帯域の上限 (0.7 THz) 以上の高帯域 (2 THz) の THz 電磁波の発生に成功しました。同時に発生した電磁波の電場強度も 10 倍以上増強しており、出力電場強度は 8 kV/cm に達しました。これは半導体電子デバイス中に印加される電場強度に匹敵し、次世代の超高速エレクトロニクスの構築や高感度テラヘルツ電磁波イメージ検出への応用が大いに期待できます。

今回の成果は日本学術振興会学術創成プロジェクト「動的相スイッチ機構を内在する有機電子材料の開拓と非平衡物性科学への展開」(研究代表 田中耕一郎 教授)、科学技術振興機構 さきがけプログラムの研究領域「光の創造・操作と展開」における研究課題「テラヘルツ電磁波による高速電子スピン操作」(研究代表 永井正也 助教) および京都大学グローバル COE プログラム「普遍性と創発性から紡ぐ次世代物理学」によるものであり、本研究成果は 2009 年 6 月 26 日 (米国時間) に、米オンライン科学誌「Optics Express (オプティクス・エクスプレス)」(※5) で公開される予定です。

1. 研究の背景と経緯

テラヘルツ電磁波は 300 GHz から 10 THz の周波数の電磁波を指し、物性を司る様々な現象が観測される大変魅力的な周波数帯域として、また食品検査、封筒内の薬物検査、半導体 LSI やプラスチック製品の欠陥検査などへの応用が期待されています。この電磁波を非常に高感度に測定する一つの手法として超短パルス光を用いた光サンプリング技術と通信分野で広く用いられている EO 変調技術を駆使する方法があります。室温でも高効率発生、高感度検出が行えることから、既に幾つかの会社からこの原理に基づく分光装置が発表されています。

これらの装置の普及を阻害している要因は高価な理化学用光源が要求されることです。数 THz にわたる高出力のテラヘルツ電磁波を発生させるためには、励起光源が高強度でかつ光パルスの時間幅が短い 0.1 ピコ秒以下であることが求められます。この要請を満たす光源は増幅されたチタンサファイヤレーザーがあります。しかし電気から光への変換が多段に渡るため原理的な変換効率は 0.5% 以下で、光源の高価で大電力消費は避けられません。そのため廉価な低出力超短パルスレーザーを用いて、いかに高効率でテラヘルツ電磁波を発生させるかの研究が行われてきました。

2. 研究の内容

我々は異なる発想で上記に対する解決法があることを見出しました。高強度テラヘルツ電磁波が発生する発生源として EO 結晶が広く使われます。この結晶に 1 kV/cm 以上の AC 電場を印加すると EO 変調器として機能します。したがって図 1 のように EO 結晶内で発生したテラヘルツ電磁波が十分強い場合には、励起光が EO 変調を受けるはずですが、このようなテラヘルツ電磁波発生と EO 変調がカスケード的に起きれば、励起光のパルス幅が EO 結晶中で勝手に短くなり、高周波数のテラヘルツ電場が高効率で発生するはずですが、そこでサブピコ秒パルスである Yb ドープファイバーレーザーを誘電体結晶に照射することで、これらの現象を引き出すことができるのではないかと考えました。Yb 系のレーザーは Ti 系のレーザーに比べてエネルギー変換効率が非常に高く、また波長が長いことによる多光子吸収の抑制など、励起光源としての利点が多いです。しかし光ファイバーの分散や高出力化における利得の狭帯域化によって光パルスの時間幅を狭めることが難しく、発生可能なテラヘルツ電磁波の帯域はサブ THz に過ぎません。しかし EO 結晶中で発生したサブ THz の電磁パルスを用いてうまく光変調させることで、効率よく励起光のパルス圧縮とテラヘルツ波発生の広帯域化が可能ではないかと考えました。

実験では市販されている高出力 Yb ドープファイバーレーザ (IMRA America Inc. D1000, 1.0 W, 0.6 ps, 100kHz)を用いました。図 3 は異なる励起光強度でのテラヘルツ電磁波の波形を示していません。検出には位相整合条件が $1 \mu\text{m}$ の波長で成り立つ CdTe 結晶を用いて光サンプリング検出しています。励起密度が $2 \mu\text{J}$ 以上で電場波形が劇的に変化し、励起光強度が最大の際に電場の最大値は 8 kV/cm に達しています。右図に対応するスペクトル形状を示しています。発生するテラヘルツの帯域は励起光のパルス幅でのみ決まります。したがって 0.6 ps の励起光で発生可能なテラヘルツ電磁波の帯域はサブ THz ですが、励起光強度を上げると 2THz までその帯域を広げることができます。これは EO 結晶中で励起光のパルス幅が狭まっていることを表しています。また発生した電磁波の電場強度も同時に 10 倍以上増強していることを見出しました。

3. 今後の展開

レーザ加工など高い汎用性が期待できる Yb 系レーザがテラヘルツ技術に適応可能であることは、高強度光源の普及を加速するものと考えます。発生した電磁波の電場強度は半導体デバイス中に印加される電場強度に匹敵することから、新しい（超高速）テラヘルツエレクトロニクスの展開が大いに期待できます。また発生したテラヘルツ電場の大きさは 20%程度の EO 光変調信号にも達しており、高 S/N のテラヘルツイメージングシステムの普及が加速されるものと考えます。

4. 用語集

※1) テラヘルツ電磁波 (THz=10¹²Hz)

テラヘルツ電磁波は 300GHz から 10THz の周波数の電磁波。光子エネルギーが meV で分光学的には遠赤外線光と呼ばれる。さまざまな物質・材料の重要なエネルギー領域に属することから、計測ツールとなることが期待されている。

※2) 電気光学効果・電気光学変調 (EO 効果・EO 変調)

誘電体結晶などに周波数の低い電場をかけることで光の位相が変化する現象を電気光学 (EO) 効果という。この効果をたくみに利用して光の波形を変えることが可能であり、光通信では一般的に電気光学効果を利用した光変調が行われている。

※3) ピコ秒

1 ピコ秒=10⁻¹² 秒。この時間スケールの電気パルスは伝送や信号処理が難しく、一般にテラヘルツ電磁波として取り扱われる。またこの時間スケールよりも短い光パルスは光ファイバーなど媒質の分散の寄与によって高強度で超短光パルスのまま伝播することが難しい。

※4) Yb ドープファイバーレーザ

超短光パルス光源は 1990 年以降に劇的な発展を遂げたチタンサファイヤレーザが理化学研究用として広く用いられてきました。しかし装置全体が大きく電気からのエネルギー変換効率が 0.5%以下と非常に悪い問題点がありました。一方で、イットリビウム(Yb)系のレーザはエネルギー変換効率が数 10%と非常に高く、光ファイバーベールにすることで産業レーザとして求められる高出力、小型、高効率の条件を満たすレーザとして有望視されています。

※5) Optics Express (オプティクス・エクスプレス)

その分野における影響度の指標 "impact factor" が、光学分野 63 誌中 3 位の米オンライン科学誌。

5. 図版

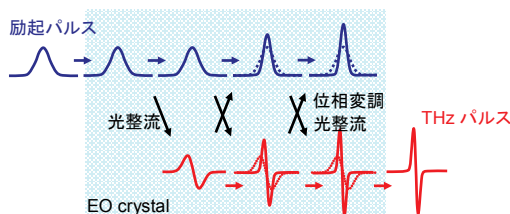


図 1：E O 結晶内の光パルスの短パルス化 (Optics Express Fig. 1 を日本語化)



図 2：高出力 Yb ドープファイバーレーザ (アイシン精機 HP より)

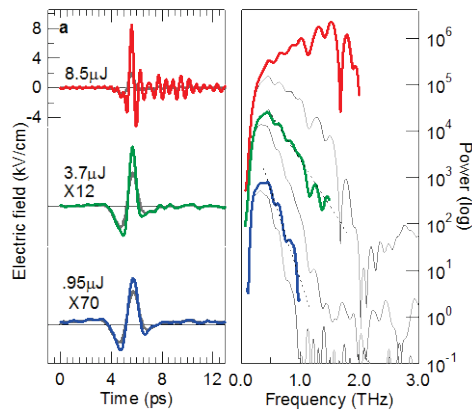


図3：異なる励起光強度で LiNbO3 結晶から発生したテラヘルツ電磁波の電場波形とパワースペクトル (Optics Express Fig. 2a, Fig. 3a を抜粋)

6. 問い合わせ先

研究内容に関すること

京都大学 物質－細胞統合システム拠点 教授

田中 耕一郎

Tel: 075-753-9838 | Email: tanaka-g@icems.kyoto-u.ac.jp

物質－細胞統合システム拠点 (iCeMS=アイセムス) に関すること

京都大学 物質－細胞統合システム拠点 国際広報室チーフ

飯島 由多加

Tel: 075-753-9755 | Email: yutaka-ijjima@icems.kyoto-u.ac.jp

アイシン精機株式会社に関すること

アイシン精機株式会社 広報部企業広報チーム

近藤 大介

Tel: 0566-24-8231 | Email: dkondo@gad.aisin.co.jp