

テラヘルツテクノロジーフォーラム通信

Vol.3, No.2 (2005)

テラヘルツテクノロジーフォーラム発足3年目を迎えて

皆様、明けましておめでとうございます。テラヘルツテクノロジーフォーラムも、発足以来、3回目の新年を迎えました。この間、2004年には応用物理学会および電子情報通信学会に研究専門委員会が発足し、2005年5月には日本学術振興会に研究開発専門委員会が設立される等、フォーラムを中心としたテラヘルツ技術関係の活動範囲は確実に拡大の道を進んできました。その中であって、昨年11月に国内外の研究者を一堂に会して開催された International Workshop on Terahertz Technology は、我々テラヘルツ関係者に大きな感動と期待を与え、その余韻をもって新しい年を迎えました。

顧みれば、テラヘルツ周波数帯は、赤外線工学では遠赤外領域に位置しており、この周波数帯の電磁波は水の分子による吸収が大きく電波伝搬に適していないこともあって、近年まで、通信をはじめ産業への応用対象としてはあまり注目されませんでした。しかし、超短パルスレーザーを用いたテラヘルツ波の放射が報告されて以来、国内外の研究者の遠赤外（テラヘルツ）周波数帯に対する関心が大きく変化しました。テラヘルツ波の吸収や反射を調べることによって分子を特定できる可能性があることから、分光やイメージング等による基礎研究への応用をはじめ、材料、環境、バイオテクノロジー、医学、薬学、超高速通信等、さまざまな分野への応用を目的とした技術開発が急速な勢いで進められ、いまや、テラヘルツ波は、次世代産業への期待の宝庫とまで呼ばれるようになりました。

これらの「次世代産業への期待」が多くの研究者の関心を呼び、各方面で活躍している研究者がテラヘルツ分野の研究開発へ参画し、テラヘルツ技術は飛躍的に向上しつつあります。そして、最近では、テラヘルツ分光による物質の特定やイメージングによる電子素子・生体・隠匿物等の観測・発見・識別等、具体的な応用可能性を示唆した多くの実験結果や魅力的な資料が提示され、各界の関係者の注目するところとなり、国の開発研究の重点項目として取り上げられるほどになりました。このような、テラヘルツブームがさらに高揚するためには、各研究者がそれぞれの分野で、創造性をもって研究開発に携わり、テラヘルツ研究分野の裾野を広げる必要があると思います。最近、テラヘルツ帯に発振線をもつ幾つかの新しいレーザーが登場して発振出力と発振周波数範囲を拡大しつつあり、高感度のテラヘルツ波受光（検出）器の開発研究も進められています。これらの新しい高輝度光源と高感度受光器の開発はさらに新しいテラヘルツ応用の道を開くものと期待しています。

テラヘルツ波の産業応用を目的に、産学官連携して設立されたテラヘルツテクノロジーフォーラムが、今年の10月には発足4年目を迎えます。これまでの基礎研究で示された応用可能性の提示が創造性のある製品を生み出し、それを基にした新しい産業が生まれていくことを期待します。

テラヘルツテクノロジーフォーラム運営委員長
安岡義純

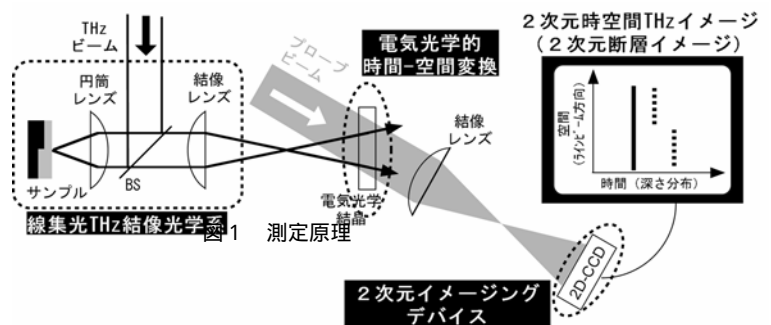
実時間 2次元テラヘルツ断層イメージング法の開発

大阪大学大学院基礎工学研究科 安井武史

物体の非破壊検査では、内部の様子を階層的に検査できる断層画像撮影技術は極めて有効であり、X線CTや超音波CTが実用化されているが、これらの手法では高侵襲性や接触測定が測定対象に対する制限となっていた。低侵襲かつ非接触リモートな光学的手法として光コヒーレンス・トモグラフィーがあるが、測定対象が吸収や散乱で不透明な場合には、表面近傍のごく限られた測定深度の情報しか得られない。一方、近年の超短パルスレーザーや超高速光技術の発展により、パルス状のテラヘルツ波（以下 THz パルスと略す）が比較的容易に生成・検出できるようになり、自由空間伝播・非金属材料に対する良好な透過特性・コヒーレントビーム・超短パルス・非侵襲・低散乱・分光やイメージングが可能といった特徴をいかした様々な応用計測が報告されている。そこであらためて THz 領域について断層画像取得の方法を考えてみると、THz パルスを利用すれば超音波エコーと同様にパルスエコー法が適用できるはずである（THz トモグラフィー）。我々はこのような方法を、塗装膜厚⁽¹⁾やヒト皮膚断層⁽²⁾の非接触リモート測定に応用してきた。しかしながら、現状では THz パルスの時間波形を直接的に実時間測定可能な検出器が存在しないため、機械式時間遅延を利用した相互相関測定に基づいて間接的に時間波形を取得しなければならない。すなわち、ピコ秒オーダーの THz パルスエコー時間波形を1つ取得するのに数分前後の測定時間が必要となるわけである。2次元断層イメージを取得するためには、さらにビーム照射位置を1次元的に走査しなければならない。このように、従来の THz トモグラフィーは基本的に点計測に基づいているため、2次元断層イメージを取得するためには2次元的な機械的走査機構（時間遅延及びサンプル移動）が必要となる。その結果、画像取得に膨大な時間（数分～数時間）がかかり、本手法の応用性を著しく制限してきた。このような機械的な走査を無くし、リアルタイムで2次元断層像が取得できれば移動物体にも適用でき、THz トモグラフィーの応用性は飛躍的に高まるはずである。

ここで、THz 波の光としての並列性に注目し、電気光学的時間—空間変換（非共軸2次元自由空間電気光学サンプリング法）と線集光 THz 結像光学系を利用すれば、機械的走査機構を必要とすることなく、2次元断層分布の取得が可能になる。本手法の原理図を図1に示す。サンプルから反射された THz エコービームとプローブビームを電気光学結晶に非共軸入射し波面同士を面として重ねると、電気光学的時間—空間変換により、THz エコーパルスの時間情報がプローブビームの空間強度分布に変換される（図1では偏光子ペアを省略）。ここで2次元イメージング検出器（CCD カメラ）を用いた場合、時間波形情報は水平座標方向に展開されるので、残りの垂直座標をサンプルの1次元イメージングに利用できる。そこで、サンプルに対して円筒レンズを用いた線集光 THz 結像光学系を導入することにより、実時間で2次元時空間 THz イメージを取得する。このようにして得られたイメージの時間軸は深さ情報に対応していることから、THz 集光ラインビームに沿ったサンプルの2次元断層イメージを直接的に取得できる。本手法では、機械的走査機構が一切不要で、原理的にレーザーの単一ショットパルスでの計測が可能である。

本手法の有用性を確認するため、ここでは塗装膜厚計測への応用例を紹介する。ベルト・コンベヤー上の塗装製品を想定し、動体サンプルへの適用性を評価した。サンプルはアルミ板上の半分の領域に白アルキド塗装（膜厚 175 μm ）を施したものをを用いた。この塗装膜サンプルを、THz ビームの集光ライン方向に沿って連続的に移動させながら（移動速度



5mm/s) 2次元断層 THz ムービー (イメージ領域: 6ps × 5mm、毎秒 10 フレーム) を取得した⁽³⁾。図 2 は 3 つの THz ビーム照射位置におけるスナップショットを示しており、水平軸が深さ分布、垂直軸が THz ラインビームに沿った 1 次元空間分布に対応している。イメージのグレースケールは THz 電場の正負強度を示している。非塗装部分では、アルミ板表面からの THz エコー信号が 2.8ps の位置に現れており、アルミ板表面が平らで内部構造を有しないため 1 本の垂直ライン状となっている。[図 2(a)] 同図上部は水平線 (A) に沿った THz 電場の強度分布を示しており、パルス幅 0.4ps の THz エコー時間波形が実時間測定できていることが確認できる。次に塗装部分では、塗膜表面及び塗膜-アルミ板境界からの THz エコー信号が時間的に分離 (2.3ps 及び 4.5ps) されているのが確認できる [図 2(c)] また、白アルキド塗装の群屈折率 (2.14) と時間遅延から算出した膜厚スケールは同図上部の水平軸に示されている。例えば、測定領域 1 ~ 4mm における膜厚ムラ分布は $162 \pm 21 \mu\text{m}$ (平均値 ± 標準偏差) であった。非塗装部分と塗装部分の境界では、1 つの THz エコー信号と 2 つの THz エコー信号が混在している様子が確認できる [図 2(b)] このように、THz ビーム照射位置の移動により 2 次元断層イメージが連続的に変化しており、本手法が動体サンプルの 2 次元断層分布の実時間モニタリングに有効であることが分かる。

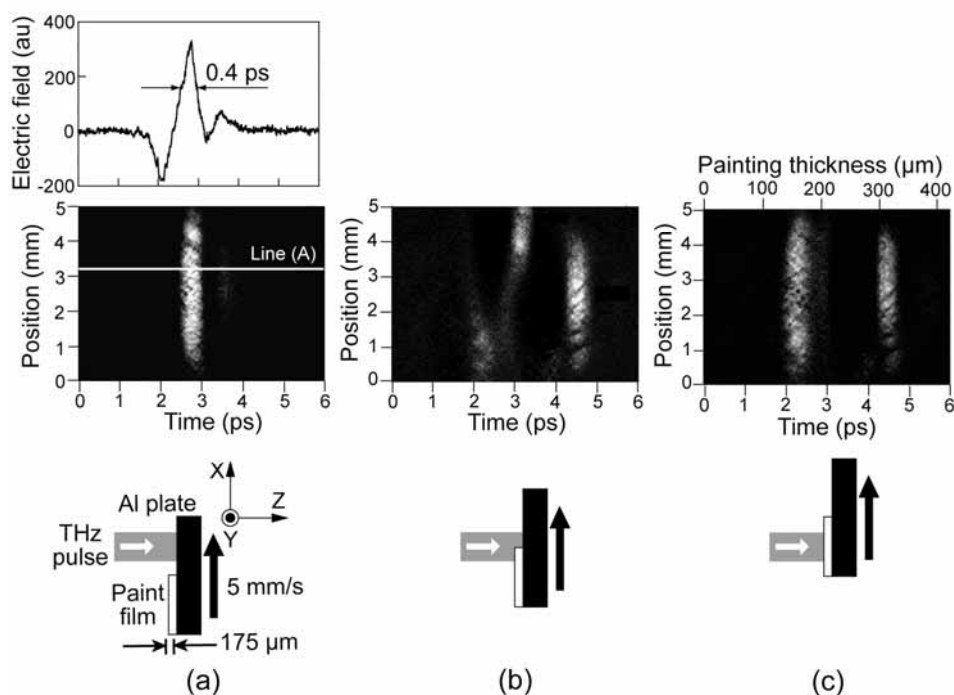


図 2 移動塗装膜サンプルの実時間 2 次元 THz トモグラフィー。(a)非塗装部分、(b)非塗装 塗装部分の境界、(c)塗装部分。

本稿では、THz パルスを用いた実時間 2 次元テラヘルツ断層イメージング法及び塗装膜測定への応用を紹介した。非接触リモート特性、非侵襲性及び実時間性を有する本手法は、従来法の制限を解消した新しい内部診断法として、生産ライン上の工業製品の非破壊検査や生体診断を始めとした各種応用分野で有用であると考えられる。

本研究は、総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) 及び新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 産業技術研究助成事業より援助を受けた。

参考文献

- (1) T. Yasui, T. Yasuda, K. Sawanaka and T. Araki, "A terahertz paintmeter for non-contact monitoring of thickness and drying progress in paint film", Appl. Opt. Vol. **44**, pp. 6849-6856 (2005).
- (2) 安井武史、東野義之、荒木勉, "テラヘルツ電磁波パルスを用いた非接触・局所皮膚水分量測定の開発", 生体医工学 **42**, pp.190-194 (2004).
- (3) http://sml.me.es.osaka-u.ac.jp/araki_lab/research/thz/

本研究室は“テラヘルツ(THz)電磁波発生・検出、制御技術の開発”を進めている。主要設備として、分子線エピタキシー結晶育成装置、デバイス作製用各種装置、モードロックチタンサファイアレーザ等を有している。このように、半導体薄膜の育成からデバイス作製、そして光学測定までを一貫して行っているのが最大の特徴である。

THz 電磁波は麻薬、可燃性液体等の指紋スペクトルの測定に有効であるため、セキュリティーチェック、品質管理への応用が期待されている。現在良く用いられているシステムは、自由空間で THz 電磁波を発生・検出するものである。

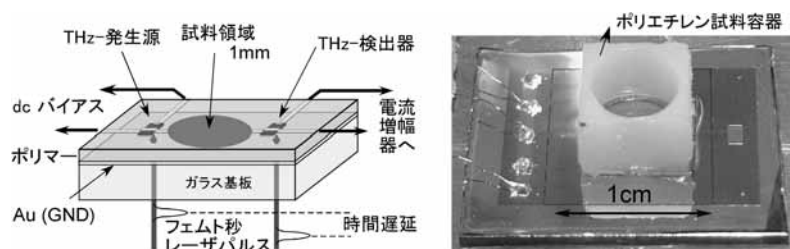


図1 開発した THz 分光センサーの素子図と写真

一方、THz 電磁波は光波と電波の狭間に位置するため、導波路技術という電波の側面を利用したセンシングも可能である。この場合、固体伝送線路による極めてコンパクトな高性能センサーになることが期待できる。この観点から、薄膜マイクロストリップ線路を用いた、THz 分光センサーを開発したので紹介する。実際に開発した素子の構造と実物写真を図1に示す。低温成長 GaAs 薄膜で発生させた THz 電気パルスは、ポリマー薄膜を誘電体層としたマイクロストリップ線路を伝搬する。電気パルスは線路上に設けられた試料領域(~1mm)の影響を受け、検出領域に到達する。このセンサーで水、牛血製アルブミン/水、L-アルギニン/水を測定した結果を図2,3に示す。試料を載せることで信号強度が弱まり、時間遅延も生じていることがわかる。水の吸収係数は自由空間で測定した値の 1/4 程度である。水に牛血製アルブミン、L-アルギニンを溶解したとき、吸収係数が水だけのものよりも小さくなっている。帯域は 1THz 程度である。将来、光ファイバーアクセスによる THz 電気信号の発生と検出が可能になれば、リモートセンサーヘッドへの応用が期待できる。

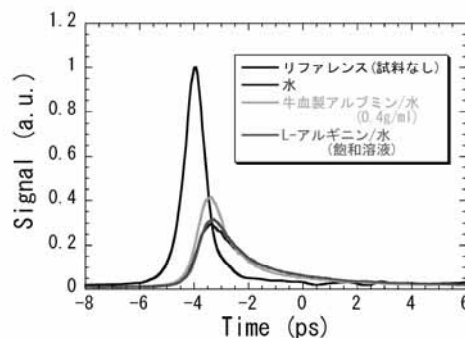


図2 電気パルス信号

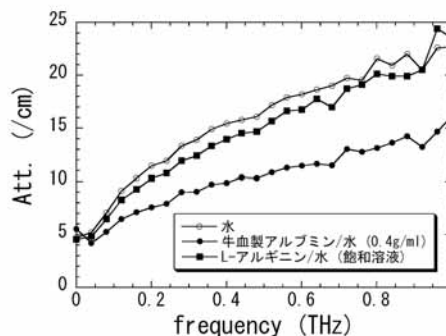


図3 吸収係数

URL <http://home.hiroshima-u.ac.jp/hikari/index.html>

会議報告

< International Workshop on Terahertz Technology >

2005年11月16日から18日まで、International Workshop on Terahertz Technology (TeraTech'05)が大阪大学中之島センターにて開催されました。テラヘルツテクノロジーフォーラムが主催し、大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、(財)テレコム先端技術研究支援センター、(独)情報通信研究機構の共催、ならびに、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイアティーの技術共催のもと、総務省、文部科学省の後援もいただき、盛大なものとなりました。

本国際ワークショップは、テラヘルツ研究に関する最先端の情報を提供すると共に、国際的協調の議論の場を持ち、本分野の世界的発展に寄与することが目的として開催されました。国内外から同分野を牽引している研究者、36名を招聘すると共に、64件の一般投稿論文が発表されました。本会議は、わが国が提案しているテラヘルツ波工学、テラヘルツフォトンクス、テラヘルツエレクトロニクス3分野を統合することをコンセプトに、プログラムを構成し、テラヘルツ分析・イメージングから、テラヘルツ無線技術、超高速集積回路技術にいたる幅広い発表が行われました。まず、小宮山進会議委員長により会議開催が宣言され、総務省平和昌殿、文部科学省小島泰典殿から祝辞をいただいた後、プログラム委員長が会議趣旨説明を行いました。続いて、オクラホマ大学 Grischkowsky 教授により1980年代から現在に至るまでのテラヘルツ時間領域計測を中心として“THz Photonics: Accomplishments, Unique Characteristics and Future Directions”と題する基調講演が行われ、招待講演セッションへと展開しました。全体で、181名の参加者で、活発な議論が



TeraTech'05 講演の様子



TeraTech'05 ポスターセッションの様子



TeraTech'05 最終日参加者の方々

なされ、予想を上回る参加者で大盛況でした。写真に、招待講演の様子、ポスターセッションの様子
会議終了後の様子で、最後まで多くの方にご参加いただきました。この会議を機会に、わが国が中心
となって、同分野が発展することが期待される会議でした。国別参加者は、日本 147 名、オーストラ
リア 2 名、オーストリア 2 名、中国 3 名、デンマーク 1 名、フランス 1 名、ドイツ 4 名、イタリア 2
名、韓国 4 名、オランダ 1 名、スイス 1 名、イギリス 4 名、アメリカ 9 名で、多くの海外招待講演者
から、本会議が新しい方向性を示す歴史的な会議であり、国際協調などへの展開が期待されるなど、
参加できたことへの謝辞をいただいたことが印象的でした。

(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 斗内政吉)

<LEOS 2005 国際会議報告>

10月23日～27日にかけて、オーストラリア・シドニーの Hilton Sydney において、2005 IEEE LEOS
Annual Meeting Conference が開催されました。テラヘルツ関連の講演は 全7セッション19件あり、
そのうち invited talk が 13 件あり、テラヘルツに関する関心の高さが感じられた。光源開発(フェム
ト秒レーザー及び非線形光学効果を用いた THz 光源やシリコン系材料を用いた THz 帯量子カスケード
レーザーなど)や分光・イメージング・センシング応用、金属ホールアレイ・液晶デバイス等を用いた
THz 帯光学素子の開発等を中心に、いずれも大変興味深い内容の報告が多く充実した会議であった。

(理化学研究所 山下将嗣)

テラヘルツ関連会議案内

<電子情報通信学会関連会議予定>

【第2回MWP・THz合同研究会】(第2回マイクロ波・ミリ波フォトニクス(MWP)研究会第5
回テラヘルツ応用システム(THz)研究会)を下記の要領で開催いたします。招待講演4件、一般
講演11件を予定しております。MWP研究会ホームページ

<http://www.ieice.org/~mwp/jpn/welcome.html> を御覧下さい。

記

【期日】 2006年1月26日(木) 14:45-17:30

2006年1月27日(金) 10:00-15:30

【会場】 鹿児島大学工学部事務棟3F会議室(鹿児島県鹿児島市郡元1-21-40)

詳しくは、<http://www.eng.kagoshima-u.ac.jp/home/maps.html> をご参照下さい。

【参加費】 一般 5,000円 学生 1,000円

初日(26日)の研究会終了後に懇親会を開催いたしますので、是非ご参加下さい(参加費別途)。

【参加申込】 事前申し込みが必要です。下記幹事へご連絡下さい。申し込み様式は、MWP研究会
ホームページ <http://www.ieice.org/~mwp/jpn/welcome.html> をご参照下さい。

【参加資格】 特になし

【幹事】 竇迫 巖(NICT)

久利 敏明(NICT)

【電子デバイス研究会 ED の 3 月研究会】テラヘルツ応用システム時限協賛) を下記の要領で開催いたします。招待講演 4 件と一般講演を予定しております。詳細は ED 研究会ホームページ <http://www.ieice.org/~ed/jpn/welcome.html> を御覧いただくか、下記幹事までお問い合わせください。

記

【期日】 2007年3月2日(木)、3日(金)

【会場】 東北大学

【テーマ】 ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム

【参加費】 無料。ただし、予稿集は別売です。事前の参加申込は特に必要ありません。

【幹事】

尾辻 泰一(東北大学)

田中 毅(松下電器)

新井 学(新日本無線)

高谷 信一郎(日立中研)

<テラヘルツテクノロジーフォーラム 第4回研究会・見学会のご案内>

テラヘルツテクノロジーフォーラムでは、テラヘルツテクノロジーの最先端を皆様に分かりやすくお伝えする「研究会」と研究現場の「見学会」を定期的におこなっています。第4回目は、東京大学駒場キャンパスと生産技術研究所において開催します。世界で初めて、テラヘルツ波の究極の微弱光検出である1光子検出器とイメージングを実現された小宮山進教授と、テラヘルツ波の計測により半導体超格子中のプロッホ振動の利得を直接観測された平川一彦教授に講演いただき、その実験現場を見学します。また、韓国の Han 博士にテラヘルツ波近接場顕微鏡の研究について講演いただきます。

開催日時 2006年3月7日(火) 13:00~17:00

開催場所 研究会 東京大学駒場キャンパス 数理科学研究棟講堂

見学会 小宮山研究室(東京大学駒場キャンパス)、平川研究室(東京大学生産技術研究所)

見学会定員 60名(定員になり次第締め切らせていただきます。)

参加費 一般会員 無料、個人会員 1,000円、協賛研究会・委員会の会員 2,000円、

非会員 3,000円、学生 500円(研究会のみの場合も同じ)

プログラム 13:00~17:00

研究会の部(13:00~14:55)

1. 「はじめに」 阪井 清美(情報通信研究機構/テレコム先端技術研究支援センター)
2. 「パッシブ測定による極微弱テラヘルツ光イメージング(仮題)」 小宮山 進(東京大学)
3. 「バルク半導体、量子構造のテラヘルツ伝導率と利得(仮題)」 平川 一彦(東京大学)
4. 題目未定 H. Han (Pohang University of Science and Technology)

見学会の部 (15:00 ~ 17:00)

小宮山研究室では、2ヶ所の実験室と資料準備室、平川研究室では、THz 実験室と MBE・クリーンルームを見学予定。

主催 テラヘルツテクノロジーフォーラム

協賛 応用物理学会テラヘルツ電磁波技術研究会,

電子情報通信学会テラヘルツ応用システム時限研究専門委員会

お問い合わせ・参加申し込み (事前登録が必要です)

テラヘルツテクノロジーフォーラム事務局 大阪大学 斗内研究室内 斗内, 倉橋
Tel: 06-6879-4224 Fax: 06-6879-7984 E-mail: teratech@ile.osaka-u.ac.jp

< 国際会議予定 >

Photonics West 2006

January 21-26, 2006, San Jose, California, USA, <http://spie.org/Conferences/calls/06/pw/>

2006 MRS Spring Meeting - Symposium K: Materials Research for THz Applications

April 17 - 21, San Francisco, California., http://www.mrs.org/s_mrs/index.asp

2006 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference

April 24-26, 2006, Kobe, Japan, <http://www.ap-mwp.com>

17th International Symposium on Space Terahertz Technology

May 10-12, 2006, PARIS, France, <http://www.space-thz.org>

Deadline: February, 15, 2006 (One-page abstracts)

CLEO/QELS 2006

May 21-26, 2006, Long Beach, California, <http://www.cleoconference.org/>

The Joint 31st International Conference on Infrared and Millimeter Waves and

14th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW/THz2006)

September 18-22, 2006, Shanghai, China <http://www.sitp.ac.cn/irmmw-thz2006/>

テラヘルツテクノロジーフォーラム入会方法
下記事務局までご連絡ください。

テラヘルツテクノロジーフォーラム通信 Vol.3 No.2 1000部 無料

発行日 2006年1月11日

企画・編集 斗内政吉 (大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)

電子メール: tonouchi@ile.osaka-u.ac.jp

発行 テラヘルツテクノロジーフォーラム事務局

〒565-0871 吹田市山田丘 2-6

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 斗内研究室内

Tel 06-6879-4224, Fax 06-6879-7984

E-mail: teratech@ile.osaka-u.ac.jp

<http://www.terahertzjapan.com/>