

テラヘルツテクノロジーフォーラム通信

Vol.5, No.2 (2007 年度)

「テラヘルツテクノロジーフォーラム 5周年を迎えて」

本フォーラムが2003年の10月1日に発足して早くも5年目に入っている。この5年間に色々な動きがあったが、とにもかくにも“テラヘルツ”という言葉が初期の頃より更に広く知れわたるようになり、確実に市民権を得るようになった。それどころかナノやバイオと共に、今の時代のキーワードにもなりつつある。筆者が所属する応用物理学会でも3～4日の全日のセッションと1シンポジウムが大体毎回組まれている。そして本フォーラム主催のものも含め、あちこちで講演会、講習会、シンポジウムも別途開かれており、そこに多数の参加者を見る。このように分野が活況を呈し、アカデミックな研究活動と共に応用に向けて汎用分析、薬物・危険物検査、医薬品検査その他、2005年の動向調査報告書のロードマップに描かれた装置が実現されつつあるが、現状を更に活性化するためにこれから先どのようにするのか。

- 1) 大学や公的研究機関の間では公的資金を導入して、新しい原理の発掘や新しい応用の可能性を更に追求すること。
- 2) 現在実現しているテラヘルツ技術を更にどのようにすれば（方式、価格、性能他）ユーザーの期待に答えられるかを、ユーザーと共に考えること。
- 3) ユーザー側は他の電磁波帯では出来なかった事も含め、フォーラムの技術相談窓口を使って積極的に問題提起を行うこと。
- 4) テラヘルツ波技術の特長や有用性等についての啓蒙を続ける事と、データベースを構築すること。

等を筆者なりに挙げてみたが、今後フォーラムの中で折々に議論を重ねて行くことが必要であろう。フォーラムの事業関係では最近「テラヘルツ技術総覧」が本フォーラム編として出版され、専門家にとっても専門外の方々にとっても、テラヘルツテクノロジーの現状を認識する上での共通の基盤ができたことは意義深い。編集に携わった方々と延べ90名の執筆者、発刊元のNGTコーポレーションに心からお礼を申し上げたい。

また企画では、毎年5月の総会時の特別講演、8月の分析展 JAIMA コンファレンス、日韓合同ワークショップ等、充実した催しが立案・実行され、総務担当のホームページ www.terahertzjapan.com も洗練されたものが出来ている。各委員長と関係者の日頃のご努力に心からのお礼を申しあげたい。

テラヘルツテクノロジーフォーラム会長 阪井 清美

京都大学大学院理学研究科 永井 正也

超短パルス光を用いた高強度テラヘルツ光は、大きな照射スポットサイズが必要なイメージングや高い電場強度が求められる非線形分光にとって非常に重要である。これまで実励起キャリアによる電流を用いた発生方法においては磁場印加によって表面電流の向きを変えて外に出力する効率を上げたり[1]、キャリア吸収の飽和を避けるために光伝導アンテナの大口径化[2]などによって高出力化が行われてきた。一方で非共鳴の非線形光学応答を用いた発生手法は変換効率こそ低いものの、高強度光パルス入射でも飽和が起きない利点がある。またガスを用いた高強度励起でのテラヘルツ放射も報告されているが[3,4]、ここでは非線形結晶を用いたテラヘルツ発生を取り上げる。

一般に非線形結晶に求められる条件は高い非線形光学定数や損傷閾値を持ち、媒質の吸収が小さいことである。結晶が有限の厚さを持つ場合は加えて位相整合条件が発生効率に大きく寄与する。励起光パルスに伴う非線形分極すなわち光源の（群）速度と発生したテラヘルツ光の位相速度が一致した場合 ($n_g = n_{\text{THz}}$) には各々の場所からテラヘルツ光は効率よく重ね合わせられる。図 1 は閃亜鉛型結晶構造を持つ半導体のコヒーレンス長を示している[5]。位相整合条件から見ると $0.8\mu\text{m}$ のチタンサファイヤレーザーでは ZnTe や GaP、 $1.04\mu\text{m}$ の Yb ドープファイバーレーザーでは CdTe や GaP が非線形媒質として適しているのが分かる。高出力チタンサファイヤレーザーと ZnTe 結晶を組み合わせることで $1.5\mu\text{J}$ のテラヘルツ波発生が報告されている[6]。

発生効率は一般に 2 光子吸収による発生効率の飽和で制限される。バンドギャップの大きな LiNbO₃ などは 2 光子吸収が生じにくい上に大きな電気光学定数を持つために、高強度のテラヘルツ波発生が期待できる。しかし強い分散のために位相整合条件が満たされず、周期的ドメイン反転構造による擬似整合を施す必要がある。しかし小さなビーム径で励起光を入射すると励起波束が伝播すると非同軸での輻射が起こる。これはもともとナノ秒パルス励起で行われている非同軸のパラメトリック過程[7] の位相整合条件と同じであり、荷電粒子が媒質中を伝播する際に生じるチェレンコフ光として近似したものである[8]。励起光に対して放射角 θ でテラヘルツ光が放射されるとすると、位相整合条件は $n_g = n_{\text{THz}} \cos \theta$ と書き表される。

この非同軸放射光の伝播に追従するように同位相の非線形分極すなわち励起光パルスの波束面を空間的に制御してやれば、テラヘルツ光が効率よく重ね合わせることができる [9]。このような手法はヘブリングらによって提案され、近年では発生効率が 5×10^{-4} [10]、出力が $10\mu\text{J}$ を超えている[11]。図 3 は同様の手法で発生させたテラヘルツ光の電場波形であり、その電場の最大値は 200kV/cm 近くに達する[12]。

これらの手法での変換効率は 1 に近い量子効率を実現している。量子カスケードレーザーが 1 電子から多くのテラヘルツ光子を放出することで高効率化が実現したように、非線形光学過程においても 1 光

子の励起光から多くのテラヘルツ光の光子をいかに放出させることができるかが鍵となる。

本研究は科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけプログラム、並びに総務省戦略的情報通信研究開発推進制度の援助を受けて行われた。

[参考文献]

- [1] N. Sarukura et al. J. Appl. Phys. **84**, 654 (1998)
- [2] E. Budiarto et al. IEEE J. Quantum Electron. **32**, 1839 (1996).
- [3] T. Bartel et al. Opt. Lett. **30**, 2805 (2005).
- [4] K.-Y. Kim et al. Opt. Express **15**, 4577 (2007).
- [5] M. Nagai et al., Appl. Phys. Lett. **85**, 3974 (2004).
- [6] F. Blanchard et al. Opt. Lett. **30**, 2805 (2007)
- [7] K. Kawase et al. Appl. Phys. Lett. **80**, 195 (2002).
- [8] D. H. Auston, Appl. Phys. Lett. **43**, 713 (1983),
- [9] J. Hebling et al. Opt. Express, **15**, 13212 (2002)
- [10] G. Stepanov et al. Opt. Express **13**, 5762 (2005)
- [11] K.-L. Yeh et al. Appl. Phys. Lett. **90**, 171121 (2007).
- [12] 永井他 第 55 回応用物理学関係連合講演会 30p-ZH-6 (2008)

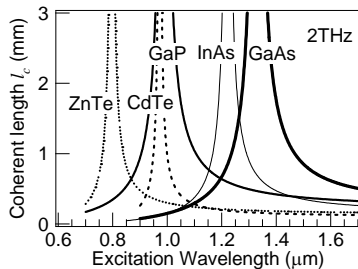


図 1：様々な閃亜鉛鉱型半導体におけるテラヘルツ波発生時の 2 THz でのコヒーレント長。

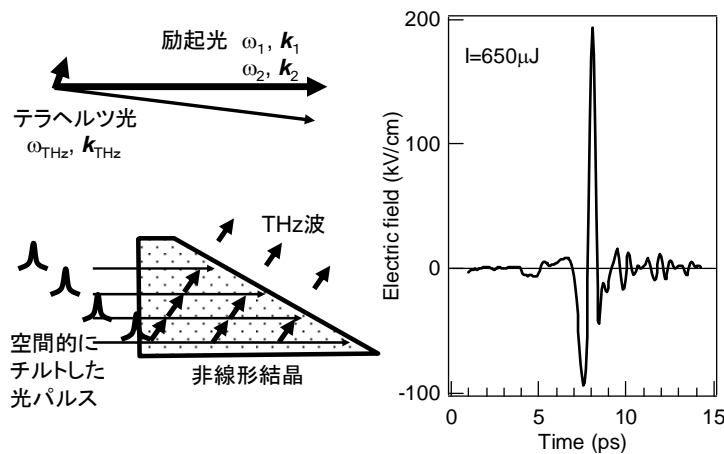


図 2：高屈折率媒質における非同軸テラヘルツ波発生（左）とその電場波形（右）。

講義2

THz カラーキャナー

大阪大学大学院基礎工学研究科 安井武史

X線や超音波に代わる内部透視手段として期待されるテラヘルツ (THz) イメージングの特徴の1つが、内部透視イメージを THz 周波数毎の色付きカラー画像 (THz 分光画像) として測定できる点であろう。したがって、各種物質固有の吸収スペクトル (THz 指紋スペクトル) を利用すれば『どこに』『何が』あるかを識別することが可能となり、成分分析型の内部透視イメージングが実現できる。しかし、従来の THz 分光イメージング法は点計測に基づいているためイメージ取得に極めて長い時間を要し、測定対象が静止物体のみに制限されていた。我々は、電気光学的時間-空間変換による実時間 THz 時間波形計測[1]と線集光 THz 結像光学系による実時間 THz ライン・イメージングを複合することにより、実時間 THz カラーキャナーを開発した[2-4]。本手法では、THz 線集光ラインを用い、一般のカラーキャナーと同じくラインの動き (または測定対象の動き) に合わせて実時間でラインイメージを測定することにより、移動物体の2次元 THz カラー画像の取得も可能になる。

実験装置図を図1に示す。フェムト秒チタン・サファイア再生増幅器からのレーザー光を ZnTe 結晶 (ZnTe1) に入射することにより、高強度 THz パルスを発生させる。サンプルを透過した THz パルスとプローブパルスを THz 検出用 ZnTe 結晶 (ZnTe2) に非共軸入射することにより、THz パルス電場の時間波形がプローブパルスの空間複屈折量分布に変換される (電気光学的時間-空間変換)。クロスニコル配置の偏光子ペア (P, A) によってプローブ光の空間強度分布に変換された THz パルス電場時間波形は、結像レンズ (L3) を介して高速 CMOS カメラの水平座標に展開される。一方、CMOS カメラの垂直座標は1次元イメージングに利用可能であるので、円筒 THz レンズ (CL) を用いて THz ビームをサンプルに線集光し、それを THz レンズペア (L1, L2) で ZnTe2 に結像することにより、サンプルの1次元 THz イメージを CMOS カメラの垂直座標に展開する。このように、水平座標に時間軸、垂直座標に空間軸が展開された2次元時空間 THz イメージを、高速ロックイメージング検出する (500fps)。最終的に、2次元時空間 THz イメージの時間軸 (水平座標) を高速フーリエ変換することにより振幅と位相の THz 分光ラインイメージを実時間で得る。

まず、テストサンプルとしてメタルホールアレイ (MHA) を用いて基本特性評価を行った。MHA は THz 帯フォトニック結晶の1つであり、空孔率を調節することにより、透過周波数が選択可能な THz 帯バンドパスフィルターとして利用できる。今回は、空間的に異なる透過特性を有する4分割 MHA (透過周波数=0.2THz, 0.4THz, 0.8THz, 1.6THz; 図2) を作成し、ステージで一方向に連続移動 (1mm/sec) させながら測定を行った (測定領域 20mm*20mm、測定時間 20秒)。図3(a)は、4分割 MHA の4つの透過周波数における THz 分光画像 (232pixel*200pixel) を示しており、4分割 MHA のスペクトル特性を反映した結果が得られているのが分かる (イメージのクロストークは、4分割 MHA 自体の透過スペクトル特性によるものである)。従来の点計測型 THz-TDS イメージング装置とピクセルレート (=総ピクセル数/測定時間) を比較すると、THz カラーキャナーが 100~10,000 倍近く高いことになる。図3(b)は移動速度を 10mm/sec に増加した場合の測定結果 (測定時間 2秒) を示しており、測定 SN 比は低下しているものの、同様な結果が得られていることが分かる。

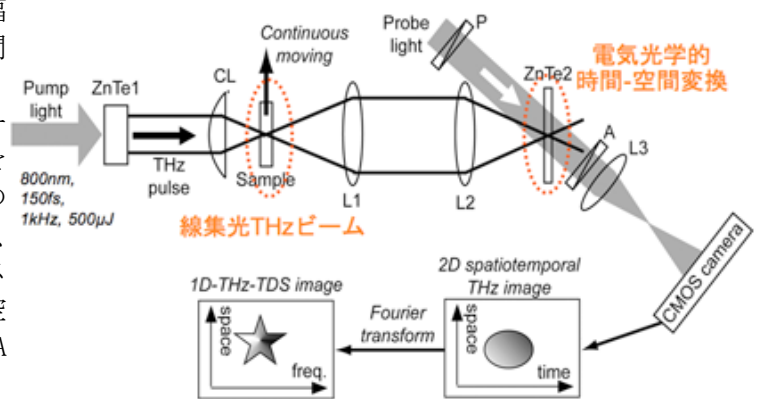


図1 THz カラーキャナー装置

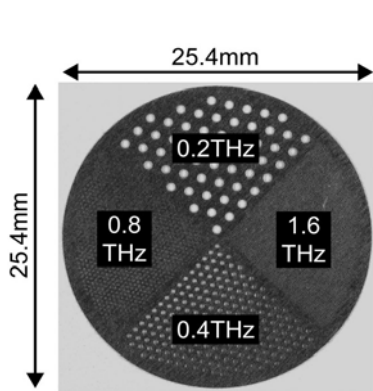


図2 4分割 MHA

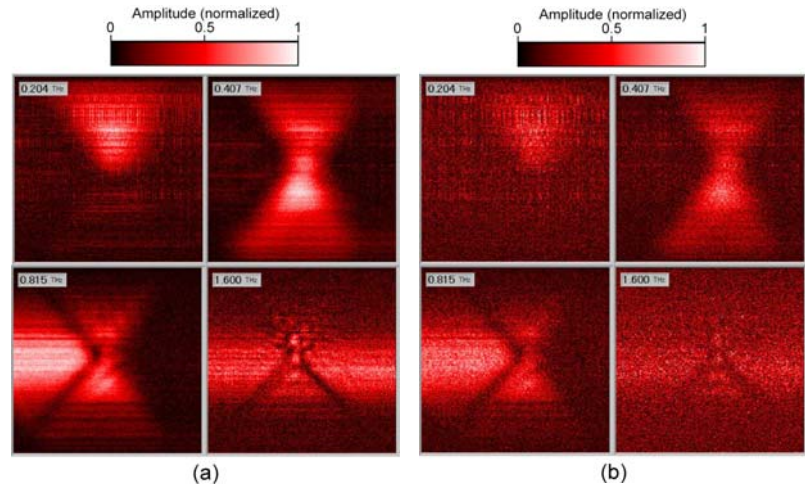


図3 4分割 MHA の THz 分光イメージ。(a) 1mm/sec と(b)10mm/sec

次に、ヒト歯牙切片の計測を行った。図4は測定結果を示しており、各周波数において特徴的な THz 分光画像が得られていることが分かる。硬組織である歯牙の場合、エナメル質や象牙質がヒドロキシapatiteの結晶構造を有しており、この結晶構造と THz 波の相互作用により特徴的な THz 吸収が現れていると考えられる。

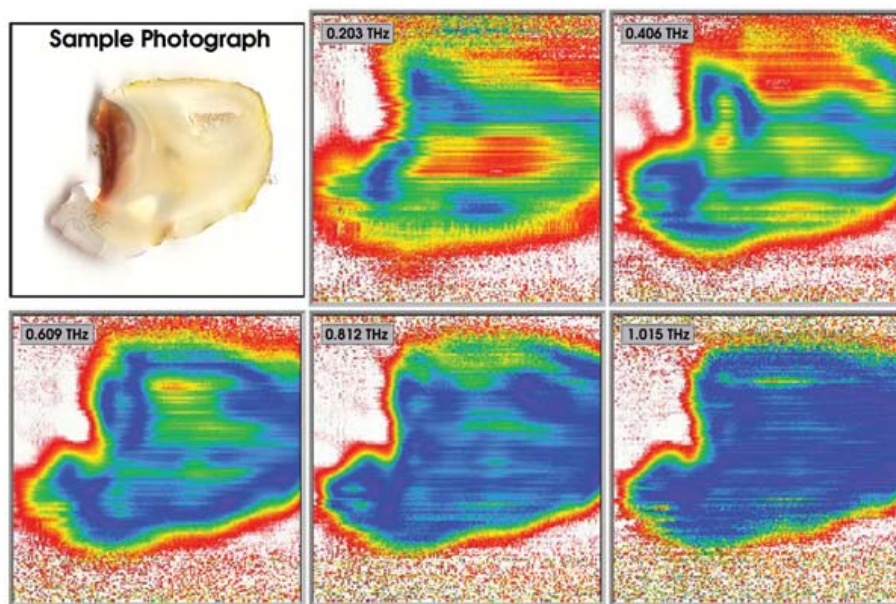


図4 ヒト歯牙切片サンプルの写真と THz 分光画像

本研究は科学研究費補助金（課題番号 18686008、18650121）より援助を受けた。

参考文献

- [1] J. Shan, A. S. Weling, E. Knoesel, L. Bartels, M. Bonn, A. Nahata, G. A. Reider, and T. F. Heinz, "Single-shot measurement of terahertz electromagnetic pulses by use of electro-optic sampling," *Opt. Lett.* 25, 426-428 (2000).
- [2] T. Yasui, K. Sawanaka, A. Ihara, E. Abraham, M. Hashimoto, and T. Araki, "Real-time terahertz color scanner for moving objects," *Opt. Express* 16, pp. 1208-1221 (2008), <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?id=148990>.
- [3] "Speedy and Colorful Terahertz Scanning", *PHOTONICS SPECTRA* 42(3), pp. 25-28 (2008), <http://www.photonics.com/content/spectra/2008/March/tech/90770.aspx>
- [4] http://sml.me.es.osaka-u.ac.jp/araki_lab/research/thz/

研究室紹介

東北大学大学院農学研究科テラヘルツ生物工学寄附講座

—Laboratory of Terahertz Bioengineering—

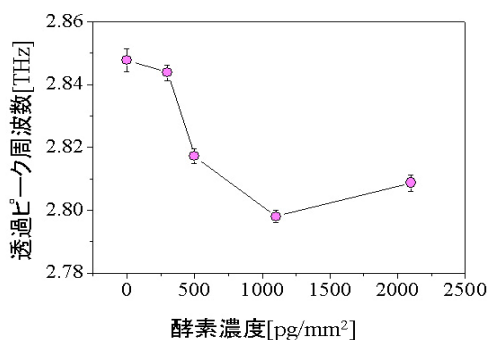
<http://www.aari.tohoku.ac.jp/thz/ip/index-i.html>

テラヘルツ生物工学寄附講座は、株式会社ミツカンと竹本油脂株式会社からの寄付により 2004 年 4 月、東北大学農学研究科に設立された講座である。当研究室では、食品や農に関連する分析やライフサイエンス研究に役立てるためのテラヘルツ波応用開拓を目的とした研究を展開している。名古屋大学や信州大学、理化学研究所、情報通信研究機構といった外部機関や、学内の食肉、食品、酪農製品、有機合成など多岐にわたる研究室の協力を得て研究を行い、テラヘルツ研究の中でも比較的出口に近い部分に携わっている。

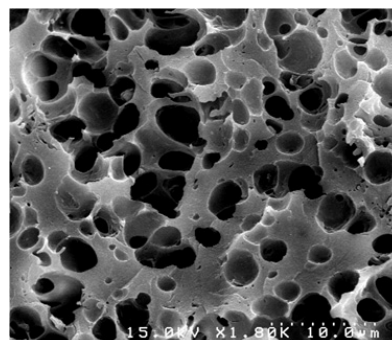
一般に生体高分子の相互作用に関する研究は、小分子とタンパク質、タンパク質とタンパク質などの特異的な結合を検出・解析し、生命現象の解明や病気診断、食品分析、創薬利用など様々な場面で利用されている。特に非標識によるこれらのセンシング法は、標識化のための処理に要する試薬や労力などを削減できることや、標識化が困難な対象も分析が可能となることから、有望な分析ツールになることが期待されている。そこで当研究室では、テラヘルツ帯の波長と同程度の大きさの周期構造で構成される金属メッシュを用いた高感度センシング法を用い、タンパク質の検出や、生体高分子相互作用解析ツールへの利用を試みている。現在、金属メッシュ上の酵素タンパク質 500pg/mm² の検出に成功し、さらにメンブレンフィルターを組み合わせ、生体高分子の結合の有無を非標識で検出することにも成功している。当研究室では、このような技術を食品中のアレルゲンの迅速な検査や、病気の予測診断などへ応用を目指している。一方、新たな食品分析への応用を目指し、特に 600~20cm⁻¹ までの分光情報を利用したアミノ酸やビタミンなどの食品成分や農薬成分などの分析、液体試料の分析法の開拓、さらにはタンパク質ミセルや脂肪球などの構造解析まで様々な応用可能性を探索している。例えば、チーズは数十 μm ものタンパク質の集まりで構成されており、そのミセルの構造はチーズの熟成具合や種類などによって異なる。もし、テラヘルツ分光法がこれらの情報を反映しているとする、チーズの熟成モニタリングや生産地の特定などに利用できるだけでなく、タンパク質の高次構造解析といったライフサイエンス分野に役立つ研究に展開できることも期待される。



農学分野へのTHz波の応用研究



酵素濃度によるピーク周波数の変化



ゴーダチーズの SEM 画像

テラヘルツ関連会議案内

<2008 分析展セミナー>

概要

近年、安心安全な社会に向けた様々な取組みが活発になされるようになり、そのための新しい技術開発に大きな関心が寄せられている。本シンポジウムでは、衣服に隠匿された銃刀の検査、禁止薬物・爆発物の発見、危険ガスの遠隔検出、食品検査などに向けたセンシング技術の最先端を紹介する。とくにアプローチとして、ミリ波やテラヘルツ波といった高周波電磁波を利用したセンシング技術に加え、質量分析や核四極共鳴などを利用したセンシング技術を交え、お互いの得失や融合に向けた今後の動向を議論する。

【日 時】 2008年 9月3日(水) 13:00~17:00

【場 所】 幕張メッセ国際会議場 コンベンションホールA

【連絡先】 永妻 忠夫(阪大) nagatuma@ee.es.osaka-u.ac.jp

【分析展ホームページ】 <http://www.jaimashow.jp/>

講師・プログラム案(6名、公演時間各35~40分)

- 1) 大谷 知行(理研):テラヘルツ波の郵便物検査応用
- 2) 小川 雄一(東北大):テラヘルツ波の食品検査応用
- 3) 寶迫 巖(NICT):NICTにおける安心・安全技術の取組み
- 4) 山本 晃司(福井大):テラヘルツ波と危険物検出
- 5) 越 光男(東大):ミリ波技術、質量分析技術と爆発物検出
- 6) 糸崎 秀夫(阪大):NQRと爆発物・不正薬物検出

<第2回日韓合同ワークショップ>

2nd Japan-Korea Joint Workshop on THz Technology

テラテックでは、昨年に引き続き日韓合同のワークショップを開催します。

昨年は8月末に韓国ソウルのKIST(Korea Institute of Science & Technology)において開催されましたが、今年度は日本で開催しますので、多数のご参加をお待ち申し上げます。

【日 時】 2008年 10月24日(金)午後~25日(土)

【場 所】 丸ビルコンファレンススクエア エムプラス

東京都千代田区丸の内2-5-2 三菱ビル (JR東京駅 丸の内南口より徒歩1分)

<http://www.marunouchi-hc.jp/>

TEL: +81-3-3282-7777, FAX: +81-3-3287-5925

- 【定員】 100名
【懇親会】 24日(金)19:00~21:00 KKRホテル東京(国家公務員共済組合連合会東京共済会館)
<http://www.kkr-hotel-tokyo.gr.jp>
東京都千代田区大手町1-4-1 (東西線「竹橋駅」3b出口直結)
TEL: 03-3287-2921(代表) FAX: 03-3287-2913

会議場から懇親会会場まで: 東京メトロ東西線<大手町駅-(2分)-竹橋駅>、或いはタクシーで4, 5分
当日のプログラムの詳細は、決定次第ホームページに掲載します。

<第7回 研究会・見学会>

- 【日時】 2008年 11月21日(金)13時~17時
【場所】 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-6
<http://www.ile.osaka-u.ac.jp/zone1/organization/access/index.html>
研究会のテーマおよび詳細は、決定次第ホームページに掲載します。

<国際会議予定>

CLEO/QELS 08

May 4-9, 2008, San Jose McEnery Convention Center, San Jose, California, USA
<http://www.cleoconference.org/>

IRMMW-THz 2008 "Terahertz for Life"

September 15-19, 2008, California Institute of Technology, Pasadena, California, USA
<http://www.irmmw-thz2008.org/>

EOS Annual meeting 2008

September 29- October 2, 2008, Parc d'expositions et Centre de Conventions,
Paris-Nord Villepinte, France http://www.myeos.org/EOSAM_2008

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.5 No.2 700部 無料

発行日 2008年 4月28日
企画・編集 田中 耕一郎 (京都大学大学院理学研究科/物質-細胞統合システム拠点)
電子メール: kochan@scphys.kyoto-u.ac.jp
発行 テラヘルツテクノロジーフォーラム事務局
〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
京都大学大学院理学研究科 物理学第一教室 光物性研究室
Tel /Fax 075-753-3757
E-mail: teratech@terahertzjapan.com
<http://www.terahertzjapan.com>