

# テラヘルツテクノロジーフォーラム通信

Vol.5, No.1 (2007)

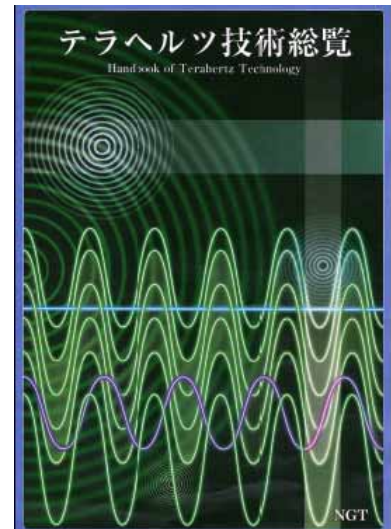
## テラヘルツ技術の普及のために

テラヘルツテクノロジーフォーラムは、テラヘルツ技術を普及、研究開発を促進し、応用分野を開拓して新産業を創出するための活動を行っています。

ここでは、テラヘルツ技術の普及のための活動の中から、今年 NGT コーポレーションより出版します「テラヘルツ技術総覧」の編集と、ウェブ・ホームページを通じた技術相談について紹介します。

テラヘルツ領域は、電波や光・赤外に比べ、光源や検出器などの基本的な要素技術の性能が低く、利用が容易でないこと(テラヘルツギャップと呼ばれる)、また用いる材料などが電波、光・赤外とかなり異なることから、この領域に取り組むことには、初めての者はもちろん、経験のある研究者、技術者にとっても大きな壁があります。

「テラヘルツ技術総覧(Handbook of Terahertz Technology)」は、この壁を低くし、研究者、技術者、学生など全ての方がこの書を手にすることによってテラヘルツの研究開発、調査、学習に容易に取り組むことができるようにという目的で、テラヘルツテクノロジーフォーラムが中心となって編集を行いました。編集委員長に廣本、副委員長に田中(耕)、斗内(が)なり、浅田、大谷(知)、尾辻、角屋、川瀬、高橋(宏)、平川、竇迫、南出(敬称略)の各委員を合わせ、計12名で編集委員会を構成し、米国と欧州の4名を含む、のべ90名の執筆者に原稿を書いていただきました。



内容は、テラヘルツ研究の歴史にはじまり、テラヘルツの基礎、光源、検出器、光学素子、電子デバイス・集積回路、テラヘルツ計測システム、科学および利用を網羅し、資料編として関連用語、材料データも加え、総頁数は700ページを超える大部なものですので、研究・開発、調査、学習のいろいろな現場で役立つものと確信しています。

テラヘルツテクノロジー技術相談窓口は、テラヘルツ技術の普及による研究開発分野の拡大・応用分野の振興等に貢献することを目的に、一般からの各種相談に応じるため、2006年8月に設けました。ホームページ上の相談窓口から、何方でも科学的な疑問点や必要とする情報などについて相談することができます。相談には大学・公的機関の学識者によるコーディネータが回答に対応し、希望により秘密保持も行います。

2006年度は、食品や建築などの非破壊検査、光源などに関して5件の相談、2007年度も10月までで、イメージング、固体計測などについて3件の相談があり、回答を返しました。

このようなフォーラムの活動によって、様々な分野の方々のテラヘルツ領域への参入が促進され、多くのテラヘルツ産業が生み出されることを期待しています。

テラヘルツテクノロジーフォーラム企画委員長 廣本 宣久

## 300GHz 帯テーパスロットアンテナ SBD 検出器アレイの開発

仙台電波工業高等専門学校 鈴木 哲、田中陽介、青木風子

近年、THz波を用いた透視イメージング技術<sup>1)</sup>や種々の診断技術への応用の期待から、急速にこの分野の研究開発が活発になってきた。特にパラメトリック発振器<sup>2)</sup>など波長可変の光源が開発されて以来、各種の診断や透視技術への応用が活発化している。

一方、ミリ波イメージング技術の開発も脈々と進められている。特に危険物の探知、人体の監視、コンクリート内部検査、異物混入検査、果物糖度測定などへの応用を目的として100GHz～500GHz帯のイメージング技術は大きな期待を持たれている。

この領域の高感度検出器として、ショットキダイオード (SBD) 検出器やHEMTを増幅器として用いたものがある。またSIS素子、ポロメーター、単一電子トランジスタ (SET)<sup>3)</sup>等の、極低温で動作する極めて高感度な検出器も使用されているが、常温で使用できるSBDやHEMTを用いた検出システムは便利で応用範囲が広い。

本研究では、300GHz～500GHz帯のイメージングを目的として、テーパスロットアンテナ (TSA) とショットキ・バリア・ダイオード (SBD) を組み合わせて、常温使用、高速応答の検出器アレイを低価格で実現できるものを開発している。

まず、電磁界解析ソフトHFSSを用いて、図1に示す形状の300GHz～500GHz帯で使用するTSAの設計を行った。その放射指向性の一例を図2に示す。このアンテナは広帯域性を重視しているが、アンテナ開口縁部および周辺に流れる不要な電流のため、目的とする帯域全体にわたって横方向の不要放射パターンを抑えることは容易ではない。一方、アンテナ同士のクロストーク特性を計算した結果を図3に示す。クロストークは300GHzで約30dB、500GHzで約20dBが得られている。これらの結果に基づいて、SBDを組み込んだ5素子及び10素子のアレイを制作中である。

このアンテナに組み合わせるSBDは、MDT社から市販されているプレーナ形のものを用いている。SBDの接合容量は $C_j = 45\text{fF}$ 、半絶縁性GaAs基板の寄生容量は $C_p = 20\text{fF}$ 、直列抵抗 $R_s = 4 \Omega$ とされて

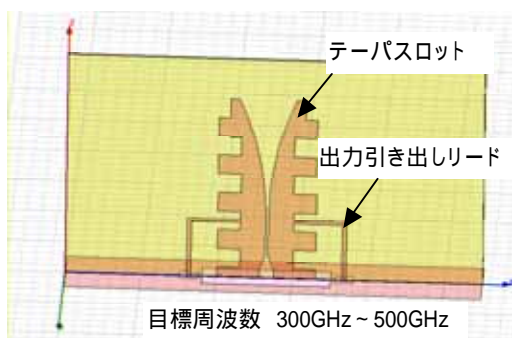


図1. シミュレーションに用いたTSAモデル

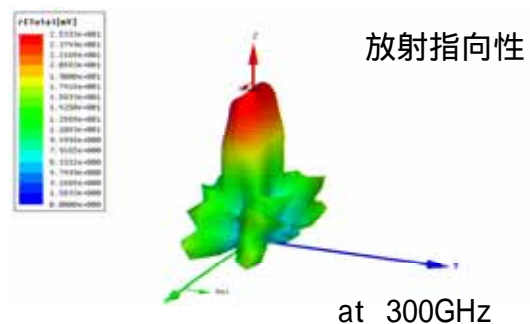


図2. 300GHzにおける指向性パターン

いるが、実測値でも概ね同様の値を得ている。

その値から求められる遮断周波数は約600GHzであるが、通常のプレーナ形SBDの場合、高ドープ導電層及びエアブリッジフィンガーのインダクタンスとGaAs半絶縁性基板の寄生容量により約200GHz（計算値）に並列共振が生じるため、それ以上の周波数では大幅に特性が悪化してくる。そこで、共振による検出特性の低下を避けるため、ウエットエッチングによる半絶縁性基板の薄化を行った。エッチング前のSBDチップ形状と、エッチング後のチップ形状を図4(a)、(b)に示す。GaAs基板は約1/3の厚みとなり、 $C_p$ の値は実測値で約30fFから12fFに低下した。したがって前述の並列共振周波数も約2.5倍上昇するものと予測される。

基板エッチング後のSBDのI-V特性を図5に示す。 $n$ 値、 $R_s$ 、 $C_j$ 、 $C_p$ ともほぼ予想された値になっており、300GHz帯の高感度検出器・ミキサー用として十分期待できる特性であると考えている。現在、このSBDをポリイミド基板のTSAと組み合わせて、低価格で製作できる検出器アレイを製作している。近いうちに100GHzおよび300GHzにおける検出実験結果を報告できるものと考えている。

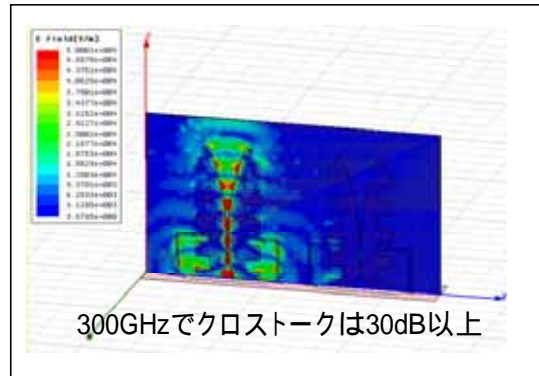


図3 . 300GHzにおけるTSAクロストーク

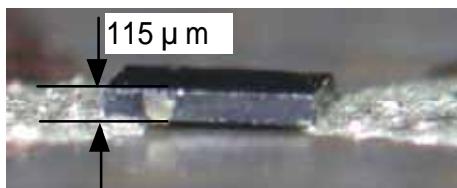


図4.(a) エッチング前のSBDチップ形状

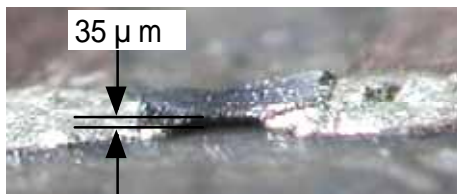


図4.(b) エッチング後のSBDチップ形状

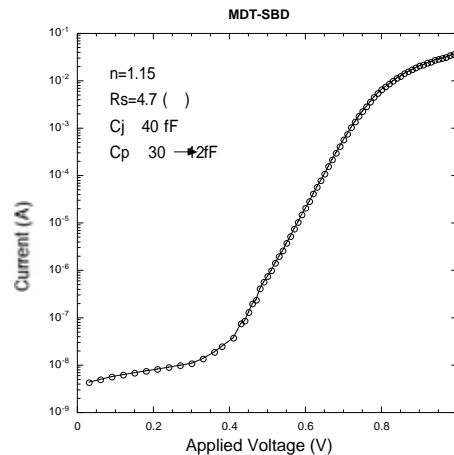


図5 . エッチング後のSBDのI-V特性

#### 参考文献

- 1) Peter H. Siegel, "Terahertz Technology", *IEEE Trans. Microwave Theory Thech.*, vol. 50, 910-928, Mar. 2002.
- 2) Kodo Kawase, Jun-ichi Shikata, and Hiromasa Ito, "Terahertz wave parametric source", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 34 (2001) R1-R14.
- 3) S.Komiyama, O.Astafiev, V.Antonov, H.Hirai and T.Kutsuwa, "A single-photon detector in the far-infrared range", *Nature*, 403 405-407 (2000).

研究室紹介

情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター  
光波量子・ミリ波 ICT グループ テラヘルツプロジェクト

<http://www2.nict.go.jp/w/w113/thz/index.html>

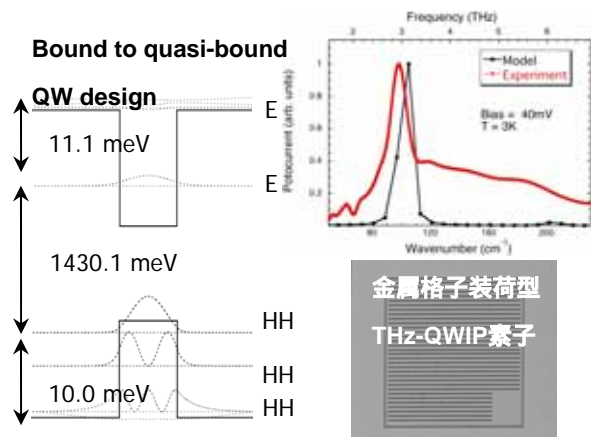
情報通信研究機構(NICT)におけるテラヘルツ技術関連活動(小金井のテラヘルツ(THz)帯半導体素子関連、KARCのTHz-TDS関連、小金井の旧SMILES-Gの受信器開発・大気伝搬関連)を統合・発展



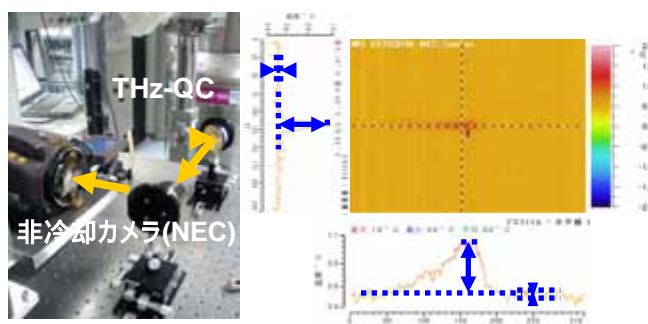
**NICT テラヘルツプロジェクト**

する形(内部では、新世代ネットワーク研究センターと電磁波計測研究センターの連携による)で、2006年4月より5年間の「テラヘルツプロジェクト」がスタートした。同プロジェクトでは、潜在的に低価格化・ロバスト化が容易な半導体技術を用いた発振器・受信器等の小型高性能 THz ハードウェアの研究開発を軸に、THz 帯の産業利用を実現する上で必須の材料データベース整備・大気伝搬特性モデル構築等を実施し、THz 技術の産業利用を先導することを目標にしている(上図参照)。また、NICTのTHz技術関連委託研究「ICTによる安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術の研究開発(Stand off イメージャと Stand off ガスセンサの研究開発)」も2006年度よりスタートしており、これとNICT自主研究の同プロジェクトは緊密に連携を取って研究開発を実施する体制となっている。

同プロジェクトにおいては、現在までに THz 帯量子カスケードレーザ(THz-QCL)、THz 帯量子井戸型光伝導検出器(THz-QWIP)などの素子開発に成功している(下図)。また、2007年8月には産業利用のための THz 材料スペクトルオープンデータベース(<http://www.thz-spectra.com>)の構築を開始し、その有効性を実証する例として東北大学農学部小川教授らの協力を得て【西洋古典絵画における顔料・展色材のデータベースを構築】した。その結果は朝日新聞(2007年4月22日朝刊)やネイチャーフォトリクス(IEICE ELEX 4, 258-263 (2007), Nature Photonics 1, 310 (2007))にも紹介された。データベースは上記のWEBにアクセスし簡単な登録をすることで利用可能である。また、理化学研究所のテラヘルツイメージングチームと共同でテラヘルツ電磁波の大気伝搬モデル構築に向けた伝搬実験を THz-TDS システムやフーリエ分光器を用いて実施している。



面型受光THz帯量子井戸型検出器(THz-QWIP)



THz-QCL:3.1THz発振の非冷却カメラによる計測



## 会議報告

### < CLEO/QELS 2007 >

2007年のレーザー・電気光学の国際会議、量子エレクトロニクスおよびレーザー科学会議 (Conference on Lasers and Electro-Optics/ Quantum Electronics and Laser Science Conference, CLEO/QELS) は5月6日から11日まで米国メリーランド州のバルチモア国際会議場において開催された。会議で対象となる分野はテラヘルツ技術に限定してはいないものの、テラヘルツ電磁波に関連するセッションは年を追うごとに増加している。今年はTHz and Other<sup>(2)</sup> Effects (QMH)、THz Metamaterials and Photonic Crystals (CTuCC)、Terahertz Surface Plasmons and Near-Field Microscopy (CTuJJ)、Terahertz Generation and Detection (CThI)、Terahertz Technologies (CThR)、THz Imaging and Applications (CThU)、Terahertz Waveguides (CThLL)、Joint Symposium on THz Spectroscopy (JFB)、THz Spectroscopy (CFS)の口頭講演のセッションがあり、光業界におけるテラヘルツ技術の注目の高さが覗かれる。

ここでは全ての講演について網羅することはできないのだが、最も印象に残ったモノサイクル高強度テラヘルツ光発生技術について紹介する。コヒーレントなテラヘルツ光発生技術は非共鳴非線形光学応答を用いた発生手法が広く行われている。高出力のチタンサファイヤレーザーにおいて位相整合条件がとれる ZnTe 結晶を用いて 1  $\mu$ J のテラヘルツ放射が報告されている。一方、屈折率が光とテラヘルツ領域とで大きく異なる非線形媒質では、チェレンコフ光と同じ衝撃波のように非同軸にテラヘルツ光が放出される。このチェレンコフ光が伝播すると同時に同位相の非線形分極が生成されるように光パルスの波束面を空間的に制御してやれば、効率よくテラヘルツ光が増幅することができる。このような手法はヘブリングらによって提案され実際に非線形性の大きな LiNbO<sub>3</sub> を用いて示されているのだが、MIT のグループではその出力が 10  $\mu$ J を超える。このような発生手法は高感度検出、非線形分光などの観点から注目されており、多くの研究グループで研究を始めていると聞く。

この会議では多くの企業の出展が行われるのだが、多くのファイバーレーザーが展示されているのを目にした。チタンサファイヤレーザーの進歩とともにモノサイクルテラヘルツ技術が進歩したことを考えると、近年のファイバーレーザー技術の進歩によってテラヘルツ技術の進展が加速するのではないか。

(京都大学 永井 正也)

### < 第1回 日韓合同テラヘルツ技術ワークショップ >

(The 1st Korea-Japan Joint Workshop on THz Technology)

テラヘルツテクノロジーフォーラムと韓国テラヘルツフォーラムは、2007年8月25日、韓国科学技術研究院(Korea Institute of Science and Technology: KIST、右写真)において、第1回目の日韓合同ワークショップを開催した。THz Devices & Sources、THz Time-Domain Spectroscopy、THz



Applications の3つのセッションで構成され、日韓両国からそれぞれ6件の講演が行われた。

THz Devices & Sourcesでは、Compact THz FEL (周波数 0.3 THz~3 THz、サイズ 3 m x 4 m) とイメージング・分光への応用 (Korea Atomic Energy Research Institute)、共鳴トンネルダイオードによる>1 THz信号発生 (東京工業大学)、分極反転構造LiNbO<sub>3</sub> (PPLN) によるTHz波発生デバイス、THzメタマテリアル、THzフォトニック結晶ファイバといった周期構造を特徴とするTHzデバイス (GIST)、THzイメージングのためのQCL (発生器) とQWIP (検出器) の開発 (情報通信研究機構)、中赤外 (8.6μm) 用GaAs/AlGaAs-QCL (KIST) についての発表があった。次にTHz Time-Domain Spectroscopyのセッションでは、超低損失伝送線とTHz発生・検出器を集積したTHz分光チップ (広島大学)、ナノ構造デバイス (ナノ薄膜、量子ドット、カーボンナノチューブ他) のTHz分光 (University of Seoul)、THz-ATR (Attenuated Total Reflection) 分光とその応用 (京都大学)、フォトニック結晶を利用したナノクライストロンやLIGAプロセスによるTHz-BWOデバイスなど新しいCW-THz発生源の研究 (Seoul National University) に関する報告があった。最後のTHz Applicationsのセッションでは、テラヘルツイメージングによる禁止薬物の検査やLSIの故障解析をはじめとする様々な産業・科学応用 (理化学研究所)、AFMとTHz-TDSとを組み合わせた80nm分解能の近接場顕微鏡 (Pohang University)、サブTHz波を用いた無線通信 (大阪大学) についての講演が行われた。

土曜日午後の開催であったにもかかわらず会場一杯の参加者があり、非常に活発な議論が展開された。日韓両国において、それぞれ特徴的な基盤技術が育っており、今後、産業応用に向けた進展が期待される。次回は、来年、日本において本合同ワークショップが開催される予定である。

(大阪大学 永妻忠夫)

#### < 2007 分析展セミナー - >

2007年8月29日(水)に幕張メッセ国際会議場304会議室において、「産業から見たテラヘルツ波時間領域分光の現在と将来展望」と題するテーマで、2007分析展JAIMAコンファレンスセミナーを開催いたしました。このセミナーは、テラヘルツ波技術が産業で役に立つレベルに達するにはどのような課題があるのか、どのようなブレークスルーが必要なのか、といった産業側からの視点で議論を行うことが目的でした。講師には産業界で活躍されるテラヘルツ波技術関連の研究・開発者の方々にお話し、質疑応答込みで25分のご講演をいただきました。

静大廣本教授のイントロダクションに続き、前半がデバイス・装置関連 (大塚電子・北岸様、キャノン・尾内様、浜松ホトニクス・高橋様、アイシン精機・大竹)、後半が分光関連 (スペクトルデザイン・深澤様、東レリサーチセンター・熊澤様、先端赤外・池田様、ブルカーオプティクス・笹倉様) に大別されるテーマで講演が進められ、総勢118人の聴講者により、活発な議論が繰り広げられました。

ご講演いただきました講師の皆様、ご参加いただきました聴講者の皆様、会場準備を行っていただきました皆様に、この場をお借りいたしまして感謝申し上げます。(アイシン精機 大竹 秀幸)

#### <IRMMW-THz2007>

第32回赤外ミリ波・テラヘルツエレクトロニクス合同国際会議(IRMMW-THz2007)は英国Cardiffで9月3日から9月7日まで5日間の日程でCity hallを会場として開催された。

会議はプレナリー講演、セッション毎の招待講演、一般講演及びポスター発表を合わせて約500件

の発表があった。

10 件のプレナリー講演では、赤外ミリ波・テラヘルツ波が関係する生体、宇宙背景放射、テラヘルツ波分光、量子カスケードレーザー、メタマテリアル等に関する話題が取り上げられた。

招待講演、一般講演でも多岐にわたる発表が行われたが、招待講演のドイツ コンスタンツ大学 (Universtat Konstanz) の T. Dekorsy 教授による、非対称光サンプリング法による時間領域テラヘルツ分光法、及び、オーストリア ウィーン工科大学 (Technische Universitat Wien) の K. Unterrainer 教授による、テラヘルツ波量子カスケードレーザーの時間領域分光に関する講演が筆者の印象に残った。

Dekorsy 教授の講演では時間領域テラヘルツ波分光システムに高度に制御した二台の超短パルスレーザーを導入することで高い SN 比の計測を可能にした技術開発が紹介され、その装置を使った DNA を始めとする測定結果が示された。

また、Unterrainer 教授の講演では、量子カスケードレーザー内でのテラヘルツ波伝搬を時間領域テラヘルツ波分光法で観測し、レーザー発振時の利得現象について明らかにし、さらに量子カスケードレーザー内での反転分布生成機構の理解に役立つことが示された。この講演内容の一部は最近 Nature に掲載された。

ポスター会場では、和やかな雰囲気活発な討論が行われていた。同会場内には TDS-THz 分光装置、ディテクターや関連機器も展示され、ほぼリアルタイムに近い早さでの表示が可能な THz 分光装置が耳目を惹いた。また、教育団体による科学実験教材の展示も行われ、実際に教材を体験することが出来た。

レセプションは会場に隣接する National Musium of Wales で行われ、夜間の博物館を見学するという貴重な体験も出来た。

(情報通信研究機構 齋藤伸吾)

#### < 第 6 回研究会・見学会 >

2007 年 10 月 12 日 (金)、神奈川県 NTT 厚木研究開発センタにおいて第 6 回研究会・見学会が開催され、38 名の皆様にご参加いただきました。

前半の研究会はデバイスとその応用に関する 3 件の講演が行われました。最初に東工大・浅田先生から、室温電子デバイスとしては最高の発振周波数を有する“共鳴トンネルダイオードを用いた室温テラヘルツ発振器”の講演があり、発振素子の構造、原理、特性、今後の研究展開が示され、活発な質疑応答が交わされました。次に、国立天文台・関本先生から、高感度受信システムとして日米欧の国際協力で南米チリのアタカマ砂漠に建設する“大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA)” についての紹介がありました。最後に、NTT マイクロシステムインテグレーション研究所・久々津グループリーダーより、サブテラヘルツ波を利用した超高速無線システムの講演が行われ、最先端デバイスを駆使した 120GHz 帯光電気融合型送信技術が紹介されました。

後半の見学会は同研究開発センタ内を巡り、120GHz 帯無線システムを活用した非圧縮ハイビジョン TV の多重伝送とテラヘルツ帯分子分光のデモに加え、NTT 先端技術総合研究所で研究開発されたユビキタス、未来型コミュニケーション NW、光デバイス等の最新アクティビティを紹介した展示ルームを 3 班に分かれて見学しました。

(NTT フォトニクス研究所 山幡 章司)

## テラヘルツ関連会議案内

### < 第6回テラヘルツテクノロジーフォーラム総会・講演会 >

日時: 2008年 5月14日(水) 午後1時~5時

場所: 東京大学生産技術研究所(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1) An棟 2Fコンベンションホール  
井の頭線駒場東大前駅(西口)より徒歩10分 (地図: <http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/access/access.html>)

#### (1) 総会

1. 2007年度事業報告・決算に関する件
2. 2008年度事業計画・予算に関する件
3. その他

#### (2) 講演会

- |                                  |                    |       |
|----------------------------------|--------------------|-------|
| 挨拶                               | テラヘルツテクノロジーフォーラム会長 | 阪井 清美 |
| 来賓挨拶                             |                    | 未定    |
| 特別講演                             |                    |       |
| 1. 「エクストリームフォトニクス-アト秒非線形光学の幕開け-」 | 理化学研究所             | 緑川 克美 |
| 2. 「テラヘルツテクノロジーの産業化への視点」(仮題)     |                    | 講師未定  |

#### お問い合わせ・お申込み

テラヘルツテクノロジーフォーラム事務局 田中 橋口  
(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](mailto:teratech@terahertzjapan.com)

### < 国際会議予定 >

#### **SPIE Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology 2007**

December 4-7, 2007, The Australian National Univ., Canberra, ACT Australia

#### **CLEO/QELS 2008**

May 4-9, 2008, San Jose McEnergy Convention Center, San Jose, CA, USA

#### **IRMMW-THz 2008 "Terahertz for Life"**

September 15-19, 2008, Pasadena, California, USA

### テラヘルツテクノロジーフォーラム通信 Vol.5 No.1 700部 無料

発行日 2007年 11月 8日  
企画・編集 田中 耕一郎(京都大学大学院理学研究科)  
電子メール: [kochan@scphys.kyoto-u.ac.jp](mailto: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](mailto:teratech@terahertzjapan.com)  
<http://www.terahertzjapan.com>