

# テラヘルツテクノロジーフォーラム通信

Vol.3, No.1 (2005)

## テラヘルツテクノロジーフォーラム主催 International Workshop on Terahertz Technology 2005年11月16-18日大阪にて開催

テラヘルツテクノロジーフォーラム主催で International Workshop on Terahertz Technology (TeraTech '05) を下記要項にて開催いたします。

この会議は、テラヘルツ分野の基礎科学・技術開発・応用展開に関する様々な情報の交換場所を提供するのみならず、海外からの著名なテラヘルツ関連研究者を招聘し、最新の成果発表に加えて、テラヘルツ研究に関する将来展望と技術課題を議論し、更に、国際協調に向けた取り組みについての意見を交換することを目的としています。

会員・関係者の皆様におかれましては、是非この機会に、論文のご投稿と会議へのご参加をお願い申し上げます。なお、一般投稿論文募集は、60件程度、参加定員は 120名 となっておりますので、お早めに手続きください、詳細は下記ウェブサイトをご覧ください。

“ <http://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/THP/thz2005/index.html> ”

【期日】 2005年11月16日～18日

【会場】 大阪大学中之島センター

【投稿期限】 2005年9月15日

【参加費】 一般 20,000円より（参加受付はウェブサイトにて9月上旬より開始）

【お問合せ】 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

電話: 06-6879-4224 ファクス06-6879-7984 電子メール: teratech@ile.osaka-u.ac.jp

ワークショップ委員長 小宮山 進（東京大学） プログラム委員長 斗内政吉（大阪大学）

### 2005 分析展出展

8月31日より9月2日まで、幕張メッセ国際展示場にてフォーラム主催で分析展に出展します。8月31日にはJAIMAコンファレンスにてセミナー“テラヘルツ分光・イメージング技術の基礎と応用”を開催します。詳しくはp.7を参照ください。



Springer社より、阪井清美（NICT/SCAT）編集による Terahertz Optoelectronics が出版されました。わが国における時間領域を中心としたテラヘルツ技術の発展が解説されています。

# 量子ドット光子検出器と顕微イメージング応用

東大院総合 生嶋 健司

テラヘルツ (THz) 電磁波領域における分光およびイメージング計測技術は、外部光照射による試料の反射および透過係数測定を基本として近年急速に発展し、様々な分野への応用が展開されている。その一方で我々が目指しているテラヘルツ計測は、無照射型の超高感度な顕微イメージングである。すなわち、対象物の微小領域 (真空波長以下) から発生する極微弱な (フェムトワット以下の) THz 電磁波を光子レベルで検出し、それを空間画像化することである。THz 領域は、半導体量子構造や超伝導体のエネルギーギャップ、および固体の格子振動や分子の振動・回転モードに相当するので、電圧印加や自身の熱運動によって極微弱な THz 電磁波が発生する。これらを光子検出レベルで分光および空間画像化することが我々の目標である。光子計数イメージングは、可視光や近赤外光領域では蛍光顕微鏡や近接場技術において既に実用化され、超微弱光の観測に大きく貢献している。しかしながら、その小さな光子エネルギーの検出困難さが原因で、THz 光子計数の応用は全くの未開拓であった。本稿では、量子ドット光子検出器の応用へ向けた改善とそれを用いて最近開発した光子計数型顕微鏡について紹介したい。

量子ドット検出器 (図 1) は、単一電子トランジスタ (SET) の周辺電荷に対する高い感性を利用しており、波長 100 ~ 200 $\mu\text{m}$  程度の THz 電磁波の単一光子検出を可能とする [1] THz 光子が磁場中半導体量子ドットにサイクロトロン吸収されると、電子 - 正孔対の生成に伴いドット内部で分極が生じる。この分極は静電結合を通して SET の伝導度共鳴ピークをシフトさせ、結果として、単一光子吸収事象は伝導度スイッチングとして検出される。この光子検出器を顕微イメージング応用として考える際に課題となるのは、動作温度である。すなわち、最初の光子検出実験は、 $^3\text{He}/^4\text{He}$  希釈冷凍機を用いて 0.1K 以下の極低温で行われた。簡便性、試料空間の確保および冷却能力を考慮すると、やはり  $^3\text{He}$  冷凍機 (0.3K) の使用が必須である。本質的な動作限界は量子ドットの帯電エネルギーに相当する 0.8K 程度であり、原理的に  $^3\text{He}$  冷凍機の使用は可能である。問題は、光励起された電子 - 正孔対の寿命時間が 0.3K の温度では 2 桁ほど短くなることである。SET 自身の動作速度は本来 10GHz を超えると考えられているが、これまでのロックイン法を用いた SET 伝導度測定では、測定系の時定数により、検出器の動作速度は数 msec に抑えられていた。そこで我々は、ロックイン法のかわりに、測定系の時定数を極力軽減させた直流電圧印加方式で SET 伝導度を測定した。これによって、最高 20 $\mu\text{sec}$  の検出動作が可能となり、動作温度の改善 (0.4K) だけでなく、30dB を越えるダイナミックレンジを確保した。

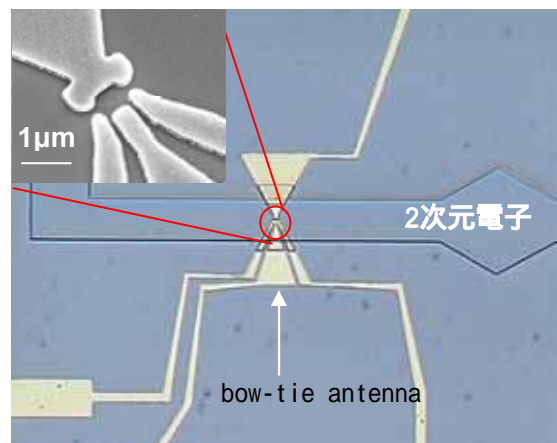


図 1 AlGaAs/GaAs ヘテロ構造結晶中に作製された量子ドット光子検出器

上記改良をもとに、ごく最近、我々は量子ドット検出器を組み込んだ走査型共焦点光学顕微鏡を開発し、量子ホール効果素子から放射されるサイクロトロン発光の光子計数イメージングに成功した[2]。ここで、対物レンズは無収差設計の Si-ソリッドイマージョンレンズ (SIL) を採用し、その焦点を走査することにより画像化している (図 2)。量子ドット検出器は保護回路と共に無収差設計の Si-超半球レンズの焦点にマウントされ、<sup>3</sup>He 温度部に熱的に接触されている。試料および位置センサーを備えたピエゾ XY 駆動部は液体 <sup>4</sup>He 中にある。この顕微鏡開発にいたる困難点は、SET 測定に影響するピエゾ駆動電圧や位置センサーからの電氣的干渉を抑えることであった。また、超高感度検出ゆえに、真空断熱層を通して侵入してくる高温部の黒体輻射の迷光を十分に遮蔽することも重要である。図 3 にサイクロトロン発光の光子計数イメージングを示す。波長 130 $\mu\text{m}$  に対して 50 $\mu\text{m}$  の分解能を達成しており、またその半径 50 $\mu\text{m}$  の領域から一秒間に 10000 発程度の光子束を検出できる。これは数 10 アトワット ( $\sim 10^{-17}\text{W}$ ) に相当する超微弱光であり、発光の閾値極近傍の観測を可能とする。本研究により、量子ドット検出器による THz 光子計数応用の可能性が示され、その圧倒的な高感度は近接場効果を利用したさらなる高分解能化への試みを促す。たとえば、この顕微鏡に金属コートした AFM チップをアンテナとして作用させれば、サブミクロンスケールの分解能をもつ光子計数型の THz 顕微鏡が実現可能だろう。

[1] S. Komiyama et al., Nature 403, (2000) 405

[2] K. Ikushima et al., Conference Digest of the IRMMW/THz 2004, p.557.

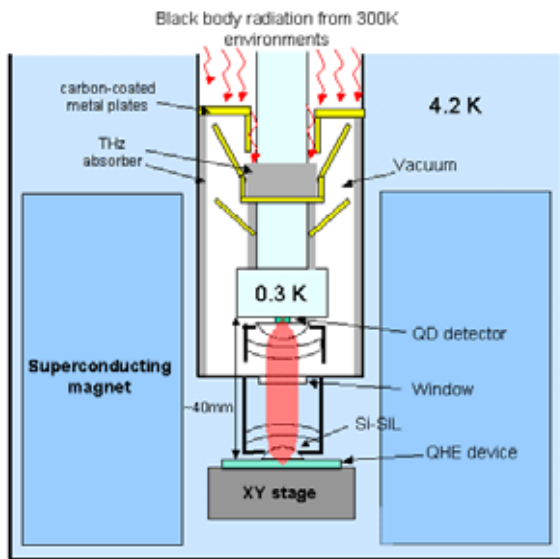


図 2 量子ドット検出器を用いた光子計数型 THz 顕微鏡

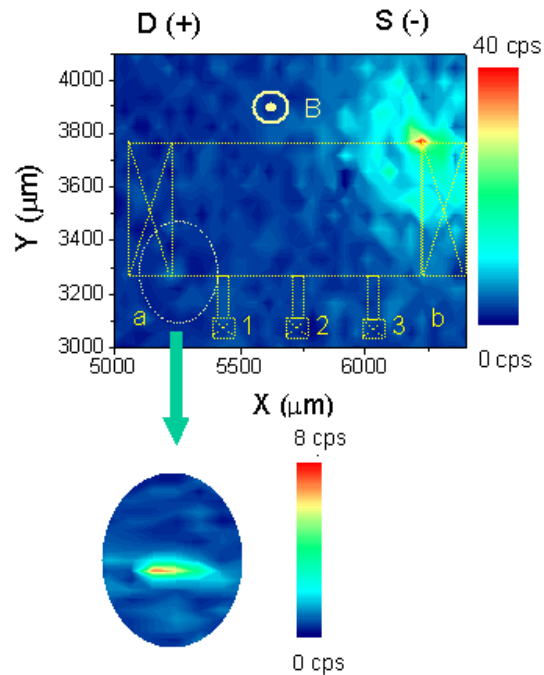


図 3 サイクロトロン発光の光子計数 THz イメージング。破線はホールバー型素子の形状 (1mmx0.5mm) を表している。

東京工業大学には東京都目黒区の大岡山キャンパスと横浜市緑区のすずかけ台キャンパスがある。すずかけ台には学部を持たない大学院大学である総合理工学研究科があり、浅田研究室はこの中の物理電子システム創造専攻に所属している。しかし、研究の大部分は大岡山にある量子ナノエレクトロニクス研究センターの実験設備を用いて行われている。ここには電子ビーム露光装置をはじめとして半導体極微細加工プロセスの装置が充実しており、浅田研究室ではこれらを駆使して、テラヘルツデバイスの実現を目指した研究を行っている。

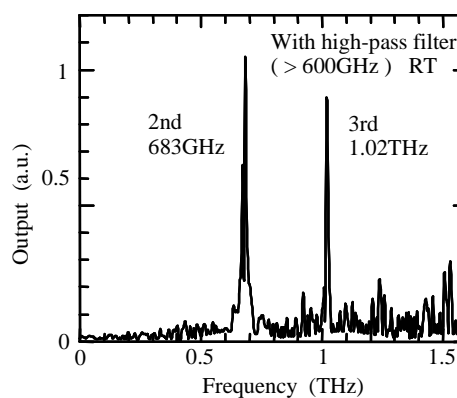
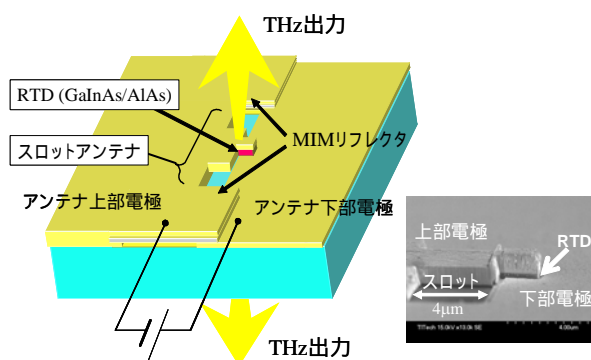
テラヘルツ帯は光と電波の中間の未開拓領域で、固体の発振・増幅・検出素子で満足なものはまだほとんどない。また、半導体などのナノ構造がこのような超高周波に対してどのように応答するかはまだ十分にわかっているとはいえない。本研究室では、ナノ構造中に生じる新しい量子効果のテラヘルツ応答特性、そしてそれを利用したテラヘルツ増幅素子・発振素子を研究している。

最近の研究成果として、ナノ構造の一つである共鳴トンネルダイオードに微細スロットアンテナを集積し、1THzの高調波発振を達成した(右図)。これは、高調波発振とはいえ、現在ある単体電子デバイスの室温発振としては最高周波数である。構造の最適化により、基本波発振でも1THzを十分に越える見通しが得られており、この実現に向けてデバイス作製中である。

このほかに、三端子のテラヘルツ増幅素子を目指して、2次元電子ガスの速度変調による半導体クライストロンや、テラヘルツデバイス用材料として有望と考えられる金属/絶縁体/半導体の極微ヘテロ接合の研究を行っている。

URL : <http://www.ep.titech.ac.jp/staff2005/asada.pdf>  
 (専攻ページ内)および [http://www.pe.titech.ac.jp/AsadaLab/Asada\\_Lab.html](http://www.pe.titech.ac.jp/AsadaLab/Asada_Lab.html) (研究室)

金属/絶縁体/半導体量子構造の結晶成長



テラヘルツ発振を達成した共鳴トンネルダイオード RTD(上)とスペクトル(下)



## 会議報告

### < 応用物理学会における特別展示「テラヘルツテクノロジーの新展開」開催報告 >

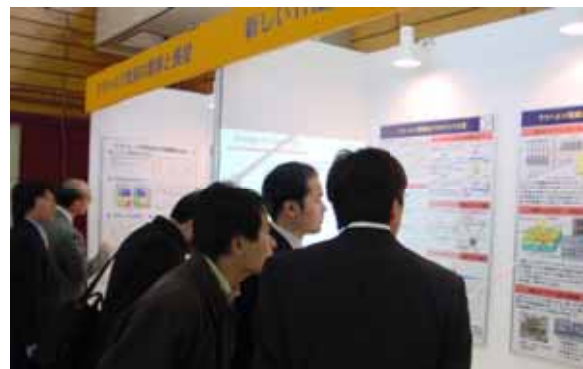
3月29日から4月1日の4日間に渡り、春の応用物理学会において「テラヘルツテクノロジーの新展開」と題した特別展示を行った。これは応用物理学会に参加する幅広い分野の研究者を対象として、テラヘルツ電磁波に関わる技術や応用を広く知ってもらうことを目的とし、応用物理学会テラヘルツ電磁波技術研究会 (<http://annex.jsap.or.jp/terahertz/THzTop.htm>) の主催で企画・運営されたものである。特別展示はテラヘルツ電磁波技術に関する研究紹介と、テラヘルツ電磁波計測に関連する企業展示で構成され、企業展示には計11社の御賛同を得てブースを出展して頂いた。研究紹介に関する展示は、チュートリアルから最新の研究動向までを説明する為のパネルと、最新のテラヘルツ研究装置の展示によって構成され、説明員によって来訪者に説明を行った。

当日は時折小雨が降り、展示会場はセッション会場から少し歩かなければならなかったが、学会中に「テラヘルツ波による科学・バイオ・電子材料評価の最前線」と題されたシンポジウムが開催されたこともあり、非常に多くの来訪者にお越し頂き、テラヘルツ技術に対する関心と期待の高さが伺われた。来訪者の多くが説明員の説明に熱心に聞き入り、質問が相次いだ為、時には2名の説明員では足りないという嬉しい悲鳴が聞かれる程であった。特別展示終了後も、テラヘルツ電磁波技術研究会やテラヘルツテクノロジーフォーラムに関する問い合わせや入会申し込みが多く寄せられ、今回の特別展示の反響の大きさに驚かされた。また、榊応用物理学会会長をはじめとする学会関係者も展示内容やその大盛況ぶりに大変満足され、今後もこのような特別展示を積極的に行っていくことを検討されるそうである。

今回の特別展示は全く新しい試みでであったが、成功裏に終わり、主催者一同大変安心したとともに、異分野の研究者にテラヘルツ技術を広く知ってもらうことの重要性を再認識させられた企画であった。今後もテラヘルツ研究者が中心となって他分野の研究者へ積極的にアピールし、テラヘルツ研究者の裾野が広がることによって研究活動が活発化していくことを期待したい。

尚、今回の特別展示は、関連の多くの研究者の方々、企業の方々の御好意・御協力を頂いて初めて可能になった企画である。また、応用物理学会には展示の趣旨を御理解頂くとともに、様々な便宜を御提供頂いた。紙面を御借りして厚く御礼申し上げます。

( 東京大学 生産技術研究所 近藤孝志・平川一彦 )



「テラヘルツテクノロジーの新展開」の様子。開催期間中大勢の来訪があり、関心の高さが伺えた。

### < テラテックフォーラム第3回総会・講演会報告 >

5月10日東京大学山上会館にて、第3回テラヘルツテクノロジーフォーラム総会が開催された。出席者ならびに委任状を合わせて総会が成立していることを確認した後、阪井会長を議長として総会が行われた。まず、平成16年度の活動報告ならびに会計報告案が提案され、これを了承した。次いで、会計監事1名を、本年度より、会の運営全般を監査する監事2名の体制に変更し、東レリサーチセンター石田英之氏が新たに就任することが提案され、これを了承した。また、委員会の構成を、総務委員会を新たに設置し、事務局運営全般を担当することが認められ、総務委員長に大阪大学斗内政吉氏が就任することが了承した。平成17年度の委員案、活動計画案、予算案が提案されこれを了承した。

総会に引き続き、第3回講演会が開催された。まず総務省技術統括審議官鬼頭達男より来賓挨拶があり、総務省として、21世紀に情報通信技術の一つのコアであるテラヘルツ技術開発に大きく期待しているとの説明があった。次いで、大阪大学斗内より、平成16年度に取りまとめたテラヘルツテクノロジー動向調査報告書(総務省委託テレコム先端研究支援センター実施)“未来を拓くテラヘルツ技術”内容から、今後のテラヘルツ研究開発の未来像を紹介した。続いて、NTT物性科学基礎研究所長高柳英明氏より、量子ドット列の物性と量子コンピュータの最近の進展についての特別講演があった。ナノ技術を駆使し、カゴメ格子など自在に設計・作製することで、新たな物性を創成することが可能になりつつあること、ならびに、超伝導キュービットによる量子コンピュータの開発とそのための周辺技術が着実に進展していることが紹介された。

(大阪大学レーザーエネルギー学研究中心 斗内政吉)

### < CLEO/QELS 2005 国際会議報告 >

5月22日~27日にかけて、メリーランド州バルチモア(Convention Center)において、CLEO/QELS 2005が開催されました。会議全体で、発表者数は1609名、参加者数5281名、企業展示320社であった。その中、テラヘルツ関連では招待講演3件(“TeraHertz Quantum Cascade Lasers”, Qing Hu, MIT, USA, “Surface-Emitted Continuous THz Wave Generation from PPLN”, Hiromasa Ito, Tohoku Univ., Japan, “THz Near-Field Microscopy”, Paul Planken et al., Univ. of Technology, Netherlands) 一般講演49件(CLEO 37、QELS 12)であった。THzセッションは、QCL、THz phenomena、発生・検出I,II、分光、THz source、Mid-IR and THz technique、THz and Plasmonの8セッションであり、光源開発、分光・イメージング技術の応用を中心として、非常に興味深いものが多かった。テラヘルツ関連の発表件数は年々増加しており(2003年で42件)、THz研究の世界的な広がりが実感された会議であった。

(理化学研究所 山下将嗣)

### < 第4回電子情報通信学会テラヘルツ応用システム研究会報告 >

7月7日・8日の両日にわたり、情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センターにおいて、第4回テラヘルツ応用システム研究会を開催致しました。全13講演の大変興味深い内容の一般講演が行われました。沖縄亜熱帯計測技術センターの見学会も行われ、同センターの役割や海洋レーダなどに関する説明が佐藤同センター長からありました。5月11日に開催した第3回研究会時に開催を計画したため、準備時間が短く開催周知も十分ではなかったのですが、遠方にもかかわらず両日で参加者合計25名と多数のご出席いただきました。この場を借りまして、改めてご出席の皆様、同センターの皆様のご協力に感謝申し上げます。

(情報通信研究機構 寶迫 巖)

### <SURA 2005 Terahertz Symposium 会議報告>

本会議は、“ the Southeastern Universities Research Association, Inc ” が主催する第 2 回目の会議である。南部・東部の大学を中心とした組織であるが、ジェファーソン研究所なども大きく貢献する組織で、DOE と DOD 関連のテラヘルツ研究報告会に対応するようであった。発表では、ジェファーソン研究所、NIST や DARPA プログラムフィサーも講演し、コヒーレント、ノースロップグラマン、ピコメトリックス、アジレントテクノロジー、インテルなど米国民間に加えて、日本を代表して先端赤外、英国からテラビューも発表し、またライス大、MIT、レンセラー工科大、デラウェア大、テキサス A&M 大など大学も講演した。米国でも、テラヘルツエレクトロニクスから高輝度テラヘルツ FEL まで幅広い取り組みを目指していることが印象的であった。

(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 斗内政吉)

## テラヘルツ関連会議案内

### <2005分析展・展示&セミナー参加募集>

2005分析展JAIMAコンファレンス

”テラヘルツ分光・イメージング技術の基礎と応用”

場所：幕張メッセ国際会議場 304 会議室

日時：8月31日13:30~17:10 (展示は8月31日から9月2日まで国際展示場にて)

プログラム 13:30-17:10

- |                                   |                       |       |
|-----------------------------------|-----------------------|-------|
| 1. 「テラヘルツ時間領域分光法の基礎」              | 京都大学                  | 田中耕一郎 |
| 2. 「様々な電子材料のテラヘルツ物性評価」            | 大阪大学                  | 斗内 政吉 |
| 3. 「テラヘルツ分光・イメージングシステムの開発と市場展開」   | (有)スペクトルデザイン/(株)栃木ニコン | 深澤 亮一 |
| 4. 「テラヘルツ分光によるバイオ、生体関連分子分析の現状と展望」 | 大阪大学                  | 田畑 仁  |
| 5. 「テラヘルツイメージング応用」                | 名古屋大学                 | 川瀬 晃道 |

主催：テラヘルツテクノロジーフォーラム

費用：一般会員 無料 個人会員・非会員 3000円

事前登録：事前登録制

お問合せ・参加申込み

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

電話: 06-6879-4224 ファクス06-6879-7984 電子メール: teratech@ile.osaka-u.ac.jp

### <2006 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (AP-MWP 2006) ご案内>

光と電波の新融合領域であるMicrowave photonics (MWP)の重要性が高まってきており、この度、この分野の環太平洋アジア地域の国際会議をAsia-Pacific Microwave Photonics Conferencene (AP-MWP)として新たに立ち上げることとなりました。第一回会議は、2006年に日本の神戸において開催の運びです。デバイス・部品から、システム・応用まで幅広くカバーする予定であり、THz分野に関しても極めて密接な議論が期待できます。皆様、奮って投稿・参加されますよう、ご案内申し上げます。

詳細URL <http://www.ap-mwp.com>

開催日時 2006年4月24日(月) ~ 4月26日(水)

開催場所 神戸国際会議場 (<http://www.kcva.or.jp/kcc/icck/index.html>)

投稿期限 2005年11月10日(火)  
参加費 一般 45,000円、学生 15,000円(予定)  
主催 電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ  
お問合せ AP-MWP 2006 事務局  
電話: 03-5562-3661 ファクス03-5562-3666 電子メール: ap-mwp2006@ilcc.com

< 国際会議予定 >

**The Joint 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and**

**13th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW/THz2005)**

September 19-23, 2005, Williamsburg, Virginia USA <http://www.jlab.org/irmmw-thz2005/>

**MWP2005 (International Topical Meeting on Microwave Photonics)**

October 12-14, 2005, Seoul, Korea, <http://www.mwp2005.org/>

**18th Annual Meeting of IEEE LEOS**

October 23 - 27, 2005, Sydney, Australia

<http://www.ieee.org/organizations/society/leos/LEOSCONF/LEOS2005/LEOS05.htm>

**International Workshop on Terahertz Technology**

November 16-18, 2005, Osaka, Japan

<http://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/THP/thz2005/index.html>

**Photonics West 2006**

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

**2006 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference**

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

**CLEO/QELS 2006**

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

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.1 1000部 無料**

発行日 2005年8月12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](mailto: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](mailto:teratech@ile.osaka-u.ac.jp)

<http://www.technova.co.jp/teratech/>