

「テラヘルツテクノロジーフォーラム通信」発刊にあたって

「テラヘルツテクノロジーフォーラム」が本年の10月1日に発足しました。このフォーラムの活動の一環として、日本の、或いは世界のテラヘルツテクノロジーの推移状況を世の中に発信してゆく事があります。フォーラムとしては、ホームページでも色々な情報を発信していますが、これは、アクセスしなければ情報は零の状態のままです。しかしミニコミ紙では配布されると否応無しに目につき情報が入って来るため、すてがたい魅力があります。そのためこのミニコミ紙を発刊する事になりました。その最初に「テラヘルツテクノロジーフォーラム」設立のいきさつを書かせていただきます。

このフォーラムの設立は、世界的に起ってきたテラヘルツブームと無関係ではありません。つまり、1990年頃から固体のフェムト秒レーザーによって、安定したフェムト秒光パルスが比較的簡単に使えるようになり、同時期に、超高速の高性能半導体光伝導膜が開発され、両者を使ったコヒーレントなモノサイクルパルス波の発生が普及するようになって、テラヘルツ波が脚光を浴びるようになってからであります。ブームは1994～5年頃から始まりました。

テラヘルツ波は、周波数がおおよそ0.1THzから10THz(1THz=10¹²Hz)の電磁波、つまり光と電波の間にある電磁波で、これまで基礎科学分野以外で使われる事はありませんでした。そのため一般には馴染みの薄い電磁波であります。さて、フェムト秒レーザを使った技術で一旦ブームが起こると、従来から着実に進化して来たミキサー技術や比較的歴史の新しい自由電子レーザ等の技術も勢いづいて来て、領域全体が盛り上がりを見せています。

‘テラヘルツ’で呼ばれる光と電波の境界領域は、色々な学問分野が交わる学際領域でもあり、国が定める重点4分野のライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料のどの分野とも深く関わっており、今後、益々その重要性が増すものと考えられます。

米国や欧州ではすでいくつかの大型プロジェクトがスタートして、勢力的な研究が進められています。我が国でも従来から、いくつかの研究グループで活発に研究がなされて来て、その研究レベルは非常に高く決して欧米の後塵を拝しておりませんが、体制づくりに関しては一歩遅れをとっているのが現状です。このような学際領域の研究は特に多種多様な研究者が集る場が必要で、一年以上も前から有志が集って「テラヘルツテクノロジーフォーラム」立ち上げの準備を進めて参りました。このような準備をしている間にも固体の量子カスケードレーザが実現されるようになり、世の中は急ピッチで動いております。とにかく従来技術では出来なかった事、世の中を変えるぐらいの事を産官学共同で叡知を出しあってやってみようではありませんか。出来るだけ多くの方々の御賛同とご協力をお願いする次第です。

テラヘルツテクノロジーフォーラム会長

阪井 清美

リアルタイムテラヘルツイメージング装置販売へ

近年、テラヘルツ光の応用研究が世界的に盛んに行われています。最近もっとも活発な研究開発が行われているのがイメージングです。栃木ニコンでは、2000年から（独立行政法人）通信総合研究所の協力を得て産業応用を目指したリアルタイムテラヘルツイメージング装置の開発を行ってきました¹⁾。この装置の特徴は、CCDカメラを用いて1枚の画像を短時間で取得できる点にあります。栃木ニコンの開発したリアルタイムイメージング装置では、1秒間に最大30枚の画像を撮ることが可能です。

テラヘルツ周波数領域には、物質の誘電分散、格子振動、分子の骨格振動、ねじれ振動、回転、重い元素の伸縮振動など、物質の重要な物性情報が存在しているため、材料分野、バイオテクノロジー分野、医用分野と多岐にわたる分野での画期的な応用が期待されています。

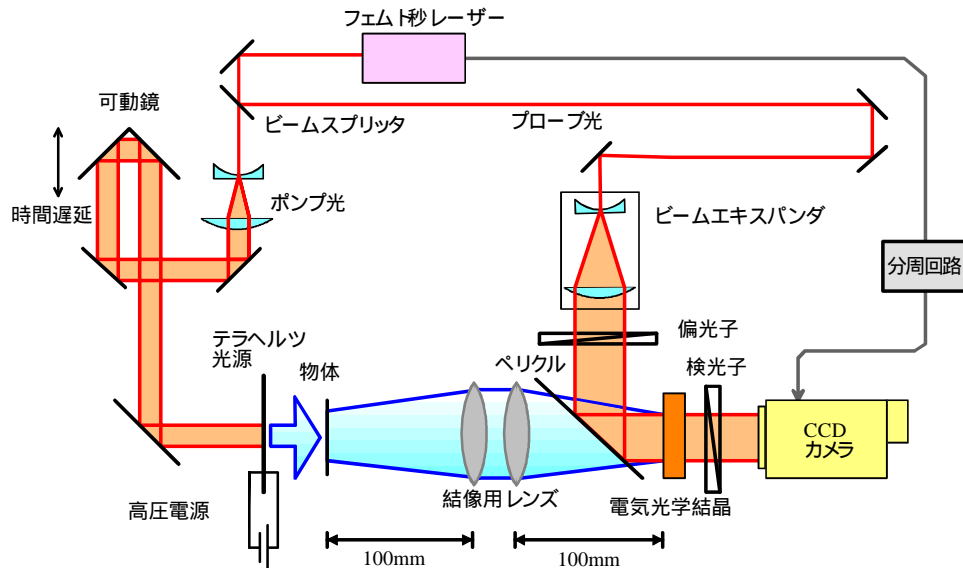


図1 リアルタイムイメージング装置

米国レンセラー工科大学の研究グループはイメージングプレートとして電気光学結晶を用い、ポッケルス効果によるテラヘルツ電場検出法とCCDカメラを組み合わせるリアルタイムイメージングが可能となる2次元電気光学サンプリング法を提案しました²⁾。この手法を用いると画像取得時間を大幅に減少させることができ、かつ、動きのある物体の画像を取得することが可能になります。図1にリアルタイムイメージング装置構成を示しました。フェムト秒レーザーから放射された光パルスはビームスプリッターにより、ポンプ光とプローブ光に分割されます。ポンプ光はビーム径を広げられた後、時間遅延を受け、テラヘルツ光源へと導かれます。テラヘルツ光源は、半絶縁性半導体基板にバイアス電圧を印加したものを使用します。テラヘルツ光源にフェムト秒光パルス照射すると、光励起により半導体中にキャリア（電子と正孔）が生成されて瞬時電流が流れ、この電流の時間微分に比例したテラヘルツパルス光が発生します。光源で発生したテラヘルツパルス光は物体を照射し、その透過光

は結像用レンズを通してイメージングプレート（電気光学結晶）上に物体の像を結びます。一方、プローブ光はビームエキスパンダでビーム径を広げられ、さらに偏光子、ペリクルを経てテラヘルツ光と同一の光路上に導かれます。電気光学結晶上の像面の各点ではテラヘルツパルス光の電場強度に比例して屈折率の変化が起こり、複屈折を誘起します。直線偏光したプローブ光が電気光学結晶に入射すると、テラヘルツパルス光の電場によって誘起された複屈折のために位相変化が生じ、結晶を通過した後は偏光状態が変化して楕円偏光となります。プローブ光の偏光状態の変化を CCD カメラの前に検光子を挿入することにより光強度へと変換して画像化します。この検光子は、前述の偏光子と直交配置になっており、偏光が変化した成分のみが CCD カメラに到達するしくみとなっています。この手法を用いると本来テラヘルツ光に感度をもたない CCD カメラを用いてテラヘルツ帯の画像を可視化することが可能となります。

図 2 は、食虫植物（ハエトリグサ）のテラヘルツ光による透過画像です。1 枚の画像を取得するために要した時間は 0.1 秒程です。これまでテラヘルツ光の周波数領域で動画を取得することは困難でした。

また、本装置は、ポンプ・プローブ法の原理を用いているのでサブピコ秒の時間分解で画像を取得する時間分解イメージングが可能となります。図 1 中の可動鏡をステージ上で移動させることにより時間遅延を変化させながら繰り返し到来するテラヘルツパルス光の電場の強度分布を CCD カメラで撮影することができます。さらに、本装置においては、分光イメージングを行うことも可能です。分光イメージングモードを利用すると、単に物体の透過画像を取得するだけでなく、分光スペクトルに基づいて物体の化学組成の分布をとらえることが可能となります。

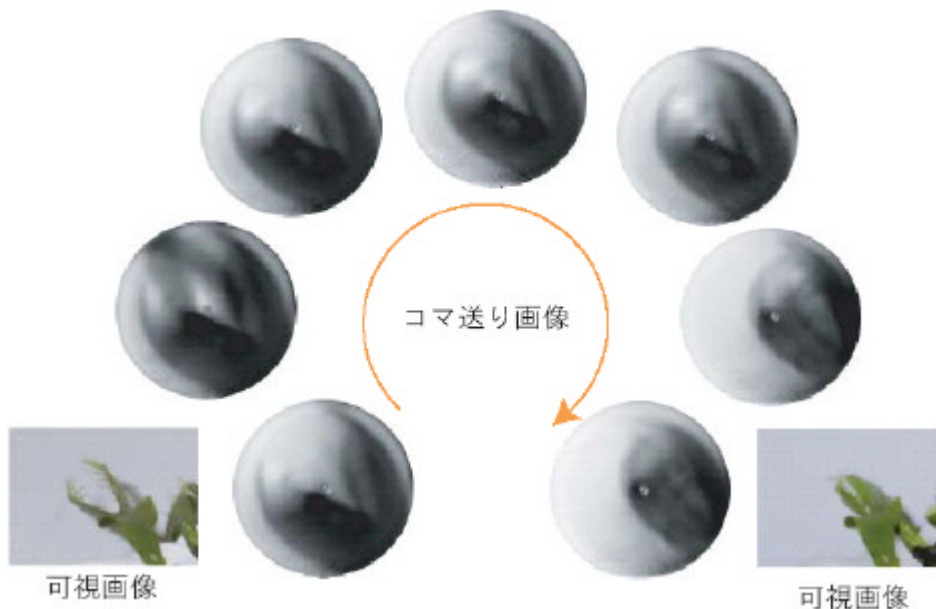


図 2 食虫植物の葉が閉じるときの透過画像

- 1) M. Usami, T. Iwamoto, R. Fukasawa, M. Tani, M. Watanabe, and K. Sakai: Phys. Med. Biol. Vol. 47, 3749 (2002).
- 2) Q. Wu, T. D. Hewitt, and X. C. Zhang: Appl. Phys. Lett. Vol. 69, 1026 (1996).

（ 栃木ニコン 深澤亮一 ）

テラヘルツイメージングは主として欧米で積極的に行われており、ガン細胞(主に皮膚ガンや乳ガン)の検出、皮膚組織の水分含有量、薬物の同定、空港での安全検査、スペースシャトルのオービターに使われている断熱材の欠陥検出など様々な分野での応用開発が試みられております。特に欧州ではEU政府が主体となってテラヘルツ技術の開発を支援しており、複数の研究コンソーシアムやベンチャー企業が応用研究・開発を進めております。

Terahertz Bridge(<http://www.frascati.enea.it/THz-BRIDGE/>)は主にイタリアの主導により進められているプロジェクトで、“A RTD Project in the framework of the EU "Quality of Life" programme”と位置づけられた計画を軸に生体物質の分光イメージングや電磁波が人体に与える影響を調査・研究しております。TeraVision(<http://www.teravision.org/>)はイギリスのLeeds大学などが核になって進めている研究コンソーシアムで、やはり生体イメージングを主体とした研究を行っております。少し変わった研究形態としてはSTAR TIGER(<http://www.startiger.org/>)という研究チームがあります。この研究チームは4ヶ月で成果を出そうという短期型連合研究で、上記HPに掲載されたミリ波を用いた人間(男性)の透視画像(動画)など、非常に興味深い成果を出しております。また、ベンチャー企業としてはイギリスのTeraViewが有名です。TeraView(<http://www.teraview.co.uk/>)は東芝ケンブリッジをスピアウトした研究者が立ち上げたベンチャー企業で、欧州全体の研究者にリンクを張り、欧州連合的な研究形態をとって、最先端テラヘルツ技術の知財化を積極的に進めております。TeraViewのHPには、ガン細胞(皮膚ガンや乳ガン)と健常な細胞を見分けるイメージング、虫歯のイメージング(しかし、これは歯をスライスしなくては測定できないので実践的ではないかもしれません)、医薬品の添加物測定の有無のイメージングなどが紹介されております。

このように比較的豊富な資金を投入したテラヘルツイメージングに関する研究が欧州では積極的に行われております。研究の予算規模に関しては、噂の域を出ない情報なのですが、数億ユーロとも伝えられており、日本とは桁違いのスケールで萌芽的研究への初期投資が行われているようです。また、研究者同士や企業との連携も非常に迅速に行われており、今後、欧州発の様々な応用研究が登場するものと考えられます。

(アイシン精機株式会社 大竹秀幸)

会議報告 - THz2003 (仙台) と IRMMW2003 (大津) -

概要

The 11th IEEE International Conference on Terahertz Electronics (THz2003, 9/24~26)及び The 28th International Conference on Infrared and Millimeter Waves (IRMMW2003, 9/29~10/2)が、9月下旬にそれぞれ仙台と大津で開催された。参加者数はTHz2003が204人(うち日本122, USA 25, Germany 19, UK 10, etc, IRMMW2003が312人(うち日本194, USA 27, Germany 20, UK 14, etc)で、ともに予想を上回る大盛況であった。IRMMW2003ではプラズマ加熱用のGyrotronのセッションやTHz領域だけでなく赤外領域の分光応用なども会議Topicsとしてカバーしている。両会議が盛況であったのはTHz波関連技術が化学

やバイオ関連の研究ツールとして広まり始めていることや、産業界からの期待がその背景にあるように思われる。

以下、これら 2 つの国際会議での THz 関連の発表について各テーマごとにその概要を示す。

パルス THz 波発生関係

光導電アンテナを用いたパルス波発生において、12 fs のパルス光を用いることで 20 THz 以上の帯域で発生できることが示された(T-E-3)。また InSb 表面からの THz 波発生に関し、従来用いられてきた 800 nm 帯レーザーではなく、1.55 μm 帯のパルスレーザーで励起することで出力が大幅に増加することが示された。この理由として 1.55 μm 励起の場合にバンド間散乱(G \rightarrow L)が少ないことが指摘された(T-H-5、IR-W12-2)。また簡単に半導体表面からの THz 波放射を増強させる方法として MgO レンズを用いる方法が提案され InAs を用いて 50 倍の増強が報告された(IR-W12-3)。

CW-THz 波発生関係

光導電アンテナにおけるフォトミキシングに関しては、低温成長 GaAs 基板の作製方法を工夫することで 100 fs 以下まで再結合寿命を制御できることが報告された(IR-W12-4)。またリング共振器 THz パラメトリック発振器における高速な波長チューニングが実現され、分光への応用が進められていることが報告された(T-A-4)。最近注目を集めている半導体量子カスケードレーザー(QCL)に関しては、高温動作、低しきい値化に向けて、共鳴的なフォノン散乱を利用した反転分布特性の向上が検討され、3.4THz のレーザーで液体窒素温度以上(87K)での動作が確認された(T-A-1、IR-PLM-1)。さらに超格子面に垂直な磁場を印加することでサブバンド間散乱を変え、発振のしきい値を半減することも示された(ただし飽和出力も低下する)(T-A-2、IR-W2-2、IR-W-2-4)。その際、発振周波数は変化しないので、例えば磁場中に QCL と検出器を設置することで、コンパクトなサイクロトロン分光装置が実現できる(IR-W-2-4、T-P2-35)。

その他の THz 波発生

新しい THz 光源の可能性として、半導体超格子構造を用いたプロッホレーザーに関する展望(IR-GE-2)、および実際にゲインが数 THz まで得られるという実験結果が報告された(T-D-2、IR-W6-3)。

自由電子レーザーやシンクロトロン放射光施設において相対論的エネルギーの電子ビームバンチからのコヒーレントな THz 放射に関する報告が数件発表された(T-A-5、T-A-3、T-P1-4、IR-Tu5-1~4)。出力パワーが非常に大きい(平均で数 10W オーダー)なので、特殊な応用や THz 帯での非線形効果など新たな展開が期待できそうである。

THz 波検出関係

THz 波の検出に関する興味深い報告として、高移動度トランジスタ(HEMT)に関するものがあった。トランジスタのチャンネルにおけるプラズマ振動周波数は可変であり、かつ THz 領域にもなりえることから THz 領域の応答があり得ることは従来から指摘されているが、プラズマ振動を素子内で共鳴させることで、dc 電流に応答が観測されることが実験的に示された(T-H-3)。また、マイクロマシニングを応用することで単一 THz 光子を検出するポロメータが実現できる可能性が指摘された(T-G-1)。

その他の装置関係

フォトニッククリスタル(PC)は THz 領域においても新たな機能を実現するものとして期待されてい

る。現時点ではほぼバンド構造やギャップの確認にとどまるが(IR-W10-1、 IR-W10-2、)、金属 PC においては表面プラズモンの影響で波長以下の空隙での透過などの興味深い特性が発現し(T-E-5、 IR-Th2-1)、負屈折率材料の実現(IR-PLM-2)なども含めて、今後の進展が期待される。

また、これまで反射型分光では位相の決定に困難があったが、すぐにも利用可能な新しい分光手法・ツールとして全反射(ATR)分光法が報告された(IR-PD12)。

イメージング関係

近接場を利用した THz 波イメージングで μm オーダーの空間分解能が報告された(IR-W8-1)。電子プラズモンやイオンプラズモン(フォノン)を利用した散乱型走査近接場顕微鏡による THz 波イメージングは分解能 nm 領域にも到達する可能性があり興味深い(T-I-6、 IR-Tu1-2、 IR-GE-3)。新しい方法として、パルス光による THz 発生を利用した IC チップ検査(T-B-4)は今後の進展が期待される。麻薬などの指紋スペクトルを利用した薬物診断イメージング(T-B-2)や THz イメージングをスペースシャトルの断熱材の欠陥検査に応用した例(IR-W8-4)が報告され、今後の THz イメージング応用の方向を示すものとして興味深い。

分光的应用(固体物性)関係

これまでも固体の THz 分光は盛んになされており、両会議においても多数の報告がなされた。興味深いものとしてはナノ粒子(GaP、 TiO_2)の伝導特性測定がある。伝導が単純なドルーデモデルではなく反射に関する記憶を維持すると仮定しないと実験結果を説明できないことが示された(IR-Tu4-3)。非接触測定が重要となるナノ粒子の評価手段として THz 分光は有効であろう。また、分光対象としても(In)GaMnAs などの希釈磁性体や PrCaMnO などの磁性体における相転移と関係した現象や、表面プラズモンなども今後の進展が期待される(T-D-4、 T-D-5、 IR-M6-2、 IR-Th4-1、 T-C-2)。これらの分光において磁場の印加が重要であるが、強磁場中での THz 分光技術に関しても着実に進展が見られる(T-C-1、 IR-PLTu-2)。

分光的应用(生体・化学・医用)関係

THz 電磁波の分光応用として期待されている生体・化学物質関連、医用関連には多くの報告があった。まず医用に関しては依然として吸収変化の起源が問題であり、特に分光情報を利用した場合さまざまな画像となることが示されたが、これらは適当なデータベースを持つことで有用な情報ともなりえると期待される(IR-PLTh-2)。また FDTD 法を利用した多層皮膚膜モデルに関する報告があった(T-I-2)。なお、Tera View Ltd. では医療現場での研究・情報収集のため Addenbrooks 病院にイメージング装置を設置しているとのことであった(IR-M9-1)。一方、生体・化学物質の THz 分光に関しては、種々の物質が特徴的な吸収を示すことが報告された他(T-B-2、 T-E-2、 T-I-1、 T-P2-31、 T-P2-32、 IR-M9-1、 IR-M9-2、 IR-M9-3、 IR-Tu4-5 など)、データベースを用いた試料の効率的な同定手法や(T-B-2)、分光測定における高周波域での感度低下に起因する誤判断の問題や、サンプルの状態(結晶と非結晶)での違いなどが報告された(T-I-1)。また、ストリップ線路を用いたオンチップ DNA 分析に関しても感度向上と並列化が報告された(T-I-4)。

以上、THz 波関連の発表の概要を述べたが、すべてを網羅しているわけではないことをお断りしておく。

2004 年の Terahertz Electronics 国際会議は米国インディアナ州にある Purdue 大学で、IRMMW 国際会

議はドイツの Karlsruhe 大学で開催される予定である。

(大阪大学 谷 正彦、広島大学 角屋 豊)

テラヘルツテクノロジーフォーラム設立記念講演会のご案内

テラヘルツテクノロジーフォーラムの設立記念講演会を、次の要領で開催いたします。多数のご参加をお待ちしております。

1. 開催日時：平成 15 年 12 月 2 日（火） 13 時～17 時 30 分
2. 開催場所：東京国際フォーラム <http://www.t-i-forum.co.jp/>（JR 有楽町駅より徒歩 1 分）
3. プログラム

第 1 部 設立記念講演会（13 時～15 時）

来賓挨拶

- “テラヘルツテクノロジーの誕生と新しい展開” 阪井清美（CRL/SCAT）
- “テラヘルツフォトンカウンティングの現状と展望” 小宮山 進（東京大学）
- “テラヘルツテクノロジーの産業化を目指して” 岩崎 純（栃木ニコン）

第 2 部 特別講演会（15 時 30 分～17 時 30 分）

- “Terahertz Technology and Applications” Peter H. Siegel（Caltech/JPL）
- “生命科学の世紀；生命の謎を解く科学の進歩” 岸本忠三（大阪大学）

4. 主催 テラヘルツテクノロジーフォーラム

5. 共催 財団法人テレコム先端技術研究支援センター、 独立行政法人通信総合研究所（CRL）（依頼中）

6. 後援 総務省（依頼中）、経済産業省（依頼中）

7. 会場定員：200 名

8. 参加費：無料。講演会終了後、18 時より懇親会を開催いたします。懇親会参加費は、3000 円となっております。

9. 申込締切：定員になり次第、締め切らせていただきます。

10. 申込方法：参加申込用紙に必要事項をご記入の上、FAX または e-mail でお申込ください。申込用紙は、当フォーラムホームページ（<http://www.technova.co.jp/teratech/>）からダウンロードできます。なお、受付連絡はメールのみで行いますので、必ずメールアドレスをご記入ください。

11. 申込先：テラヘルツテクノロジーフォーラム事務局 担当：根本（株式会社テクノバ） 電話 03-3508-2280 ファクス 03-3508-7578 e-mail teratech@technova.co.jp

12. 問合せ：斗内政吉 大阪大学超伝導フォトニクス研究センター

電話 06-6879-7981 ファクス 06-6879-7984 e-mail teratech@rcsuper.osaka-u.ac.jp

テラヘルツ関連会議案内

Terahertz and Gigahertz Electronics and Photonics III

San Jose, California, USA, 24-29 January 2004,

<http://spie.org/Conferences/Calls/04/pw/opto/index.cfm?fuseaction=OE06>

The 5th Japan-Korea Joint Workshop on Microwave & Millimeter-wave Photonics

Otsu, Shiga, Japan, 29-30 January 2004,

<http://www.ieice.org/~mwp/eng/activities/2003jk/cfp.html>

Microwave and Terahertz Photonics

Strasbourg, France, 26-30 April 2004.

<http://www.spie.org/Conferences/Calls/04/epe/conferences/index.cfm?fuseaction=EPE117>

CLEO/IQEC2004(Conference on Lasers and Electro Optics/International Quantum Electronics Conference)

San Francisco, California, USA, May 16-21,2003

<http://www.cleoconference.org/>

LEES 2004(International Conference on Low Energy Electrodynamics of Solids)

Kloster Banz, Germany, July 18th - 23rd, 2004

<http://s2.pi1.physik.uni-stuttgart.de/LEES04/General.html>

14th International Conference on Ultrafast Phenomena

Niigata, Japan, July 25-30, 2004

<http://www.osa.org/meetings/topicals/UP/>

IRMMW2004(29th International Conference on Infrared and Millimeter Waves)

University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, September 27 - October 1, 2004

<http://irmmw2004.ihe.uni-karlsruhe.de/>

International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP2004)

Ogunquit, Maine, USA, Oct. 4-6, 2004,

<http://www.mwp2004.org/>

編集後記：皆様のご協力のもと、漸く、テラヘルツテクノロジーフォーラム通信第1号の発行となりました。これからどうなるのか不安ですが、まずは第一歩を踏み出すことができほっとしています。面白い記事や、ご希望がございましたら編集長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.1, No.1 500部 無料

発行日 2003年11月1日

企画・編集 斗内政吉(大阪大学超伝導フォトニクス研究センター)

電子メール: teratech@rcsuper.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

〒100-0011 東京都千代田区内幸町1丁目1番1号

帝国ホテルタワー13階(株)テクノバ内

TEL: 03-3508-2280 FAX: 03-3508-7578

E-mail: teratech@technova.co.jp

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