

IRMMW-THz 2010 ショート速報

清水直文 (NTT マイクロシステムインテグレーション研究所)

会議名 : The 35th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz waves

開催期間 : 2010年9月5日-10日

開催場所 : Rome、イタリア

*****要 約*****

赤外線からテラヘルツ波、ミリ波までにいたる電磁波の発生・伝播・検出、デバイスから応用までの広い領域の研究を対象とする国際会議、The 35th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz waves (IRMMW-THz 2010)がイタリア、ローマで9月5日から10日まで開催された。会議参加者は約700名、633件の発表があった。例年に比べて、イメージング用検出器に関連する論文の数の多さが目を引いた。また、テラヘルツ波を含む電磁波を使った文化財の調査に関する研究を発表するがセッションが、今年の会議で初めて独立して設けられ、ポスタープレゼンテーションと合わせて、11件の発表があった。

1. はじめに (会議概要)

国際会議 International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz waves のスコープは、電磁波の周波数スペクトル上で連続的に連なる赤外線からテラヘルツ波、ミリ波までの電磁波の発生・伝播・検出から、分光・天文・医療・非破壊検査などの応用までの非常に広範囲にわたり、装置的にもナノデバイスから巨大な自由電子レーザーまでが議論の俎上に乗る。1974年の米、アトランタにおける第1回会議から数えて今回 (IRMMW-THz 2010) が35回目となる。今回の会議に投稿された論文は740件で、そのうち691件が採択された。採択された論文の内訳は、プレーナリー (講演時間45分) 11件、キーノート (講演時間30分) 66件、一般口頭発表 (講演時間15分) 249件、ポスター発表 365件である。会議の一日は、2本のプレーナリー講演とそれに続く、口頭発表セッション (キーノート1~2件+一般発表)、ポスターセッション (1.5時間) で構成されており、口頭発表セッションは6つ並行で行われた。参加者は700名前後であった。以下では、筆者の聴講したプレーナリー及びテラヘルツ波の発生・検出、分光、応用のセッションから注目を集めた発表を紹介させていただく。分野的に偏りが出てしまったが、ご容赦願いたい。

2. プレーナリー講演

会議のオープニングは、Svelto氏 (伊 ミラノ大) によるレーザー発振50周年を記念したレーザー開発の歴史に関する講演であった。レーザーの研究といえば、米ベル研がすぐに思い浮かぶのであるが、同時期多くの研究者がLaserに関する研究をおこなっていたこと、その後ベル研は長期に亘る特許紛争に巻き込まれ、レーザー装置の特許の一部についてはその権利が認められなかったことなど、開発にまつわる裏話が面白く紹介されていた。

Hu氏 (米 MIT) は、THz 量子カスケードレーザー (QCL) に関して、Plunger 導入による波長チューナビリティの広帯域化 (~330GHz)、高出力・高温動作化 (電子注入層を共鳴トンネル構造にすることにより実現)、応

用（撮像素子との組み合わせによるイメージング）など、彼の研究室による世界トップレベルの最新研究成果をレビューした。

Bacci 氏（伊 CNR）は、美術品の非破壊検査における電磁波の利用を概観した。特に絵画における顔料の成分や色の変化の評価が、電磁波を使った解析（X 線からラジオ波までの全周波数の電磁波を使う）により可能になり、修復が高精度で出来るようになったことを強調した。テラヘルツ波を使った文化財の調査に関する研究報告は、今会議で初めて独立したセッションになった。セッションチェアによると、THz 波を使った遺跡や文化財の科学的な調査は世界的なトレンドであり、THz 波の利用により初めて明らかになったことが多くあるとのことである。会議全体では一般講演、ポスターをあわせて 11 件の発表があった。

3. トピックス

今年ホットだったテーマの一つは検出器である。とりわけ、高速テラヘルツイメージングを行う際に撮像素子となるイメージング用 2 次元アレーに関連する技術の発表が多数あった。基本素子として Si-CMOS トランジスタを用いたものでは、130nm CMOS プロセスで作成したボータイアンテナ集積の n-MOSFET を検出器に用い、1.05THz のテラヘルツ波によるイメージングを実現したもの（仏 CNRS グループ）、SiGe 基板上のひずみ Si-MOSFET による 4THz 受信（スペイン Salamanca 大・東北大・英 インペリアルカレッジ合同、Mo-P53）が注目を集めていた。これらのデバイスはいずれも単体トランジスタの遮断周波数をはるかに上回った周波数で動作しているのであるが、この動作メカニズムに関する講演（仏 CNRS グループ）には多くの研究者が集まり、テラヘルツ波の照射によりソース - ドレイン間に発生した歪んだプラズマ波が整流されることによりテラヘルツ波の検出器として動作する（Self-Mixing）という説明に熱心に聞き入っていた。

ただ Self-Mixing によるテラヘルツ波の検出はまだ感度的に改善の余地を残しており、その点では同じ Si トランジスタでも、microbolometer 型の方が、集積度・感度的にも完成度が高いようである。代表的な発表としては、アモルファス Si サーミスタを THz 波熱的検知器に用いた 320x240 ピクセルアレー（仏 原子力庁・国立科学研究センタ）、自ら作製した 30 frames/sec、160x120 ピクセルアレーでの隠れた金属ナイフの透過及び発射モードでの検出（加 光学研究所）などが完成度の高さをうかがわせる発表であった。

化合物半導体を用いたものとしては、同じく Self-Mixing 効果を用いた GaN 系 FET（伊 CNR 他）、（仏 半導体研究所他・日 理研）、InGaAs/InP HEMT（日 東北大・仏 モンペリエ大）、に注目が集まっていた。これら素子についてはまだ単体の実験にとどまっているが、高速イメージング実現に向けたアレー化が将来期待される。

広帯域の受信技術としては、DAST 結晶による周波数変化技術を用いた検出器の発表があった（日 理研、Mo-B2.4）。これは、光パラメトリック発振器により励起された DAST 結晶による周波数変換を用いており、1-40 THz の THz 波を受信する能力を示した。ボロメータ並みの受信帯域を示す画期的な成果である。また 1.5 μ 帯ファイバレーザのコンパクトさと安定性を生かした THz-TDS システムを実現するための Be-InGaAs/InAlAs 光伝導スイッチに関する発表（独 Fraunhofer）では、メサ構造を取り入れることによる電界分布の均一化で 4THz まで検出帯域が延びることの報告があった。

テラヘルツ波発生関連では、共鳴トンネルダイオードによる 950 GHz、800 μ W の発振、電子注入層の改良と薄障壁導入による 1.04THz 発振の報告（日 東工大・NTT）があった。アンテナと素子のマッチングが高出力化の鍵であり、まだまだ特性改善の余地があるとのことである。

QCL では、高温動作化と高出力化のための素子設計論と試作素子の特性の報告（スイス Federal Institute、

Mo-D2. 2) があつた。プレーナリーの Hu 氏と同様に遷移前の束縛準位と遷移先準位を空間的に分離することが高動作温度・高出力の鍵としていた。またマイクロキャビティ化したレーザをキャパシターに入れ込むことで 150 GHz 程度の電氣的な発振波長チューニングの実現も紹介していた。

最後に応用に関する発表をいくつか紹介する。Air Plasma からのテラヘルツ波発生による Standoff テラヘルツセンシング (米 Rensselaer) では、プラズマ発生に伴い発生した光 (ルミネッセンス) や音は、大気減衰を受けにくく、離れた場所で検出することが可能であること、またこれらの波はプロービング用 THz 波と相互作用させることで増幅させることが可能であるとの報告がなされた。今回の発表では、発生と検出それぞれを別々に行った結果の発表であつたが、具体的な対象物に対する Standoff 検出の結果も、近いうちに報告されるのではとの期待を抱かせた。

イメージング関係では、周波数の異なるテラヘルツ波によるイメージを一括で取得するシステムに注目が集まっていた。一つは“2次元テラヘルツカラーキャナー”(日 阪大・徳島大)で、このシステムは、時間情報を空間情報に変換する2次元空間 EO サンプリングにより、遅延線なしでの TDS 波形の取得を実現している。もう一つは、3次元 THz-CT である (日 ADVANTEST)。こちらは2台のフェムト秒レーザを用いた非同期サンプリングにより遅延線レス化を実現している。試料を一回転させて透過像を取得、そこからコンピュータにより、3次元像や、断層像を抽出している。単一周波数の2次元 CT 像だと15分程度で取得可能。3次元像だと、カップラーメン程度の大きさでも現状では数時間かかるとのことであつた。

また、94GHz のミリ波による活動中の火山の3次元トモグラフィによる地殻変動の観察に関する報告 (英 St Andrews 大他) では、火山灰でまったく視界が利かない状態で、火山ドームの成長を3次元的に可視化する技術の報告があつた。この環境では、火山灰を透過しない赤外線による可視化は不可能とのことである。

また赤外とテラヘルツの透過性の違いを示す報告としては、ナイロンを燃焼させた煙中に含まれる HCN を観測した報告 (日 NTT) があつた。煙中に含まれる浮遊物質は、赤外光に対して強い散乱を起こす粒径数ミクロンまでのものがほとんどであり、煙中の遠隔ガス分析はテラヘルツ波による吸収スペクトルの測定が唯一の手段である可能性を示していた。

4. 終わりに

本会議の活況ぶりは、昨年に比べて大幅に増加した論文数と参加者数 (いずれも前回は 35% アップ) から見て取れる。ただ、6セッションパラレルになったため、興味ある論文の多くを聴講することがかなわなかったことは残念であつた。

今回は、2011年10月2-7日の日程で、米 ヒューストンにて開催されることになっている。