

8 委託研究

8 Sponsered Research

8-1 テラヘルツ波帯遠隔イメージング技術の開発

8-1 Development of Remote Imaging Technologies at Terahertz Frequency

小田直樹 小宮山 進

ODA Naoki and KOMIYAMA Susumu

要旨

周波数領域 1-10 THz の応用として、災害現場等を含むセキュリティ分野での実時間イメージングが考えられている。著者は、画素数 320×240 非冷却赤外線アレイセンサを用いて、量子カスケードレーザからの 3.1 THz の線輻射を実時間で画像化することに日本で初めて成功した。その結果、同センサの 3.1 THz での Noise Equivalent Power が 200-400 pW であることが分かった。この成果及び今後の感度向上により、非冷却赤外線アレイセンサの用途拡大が期待される。

Terahertz (THz) radiation, 1-10 THz, has shown promise for security imaging application. For this application, real-time imaging technology will be highly desirable, which requires two-dimensional array sensor. The author has succeeded in detecting 3.1 THz radiation from Quantum Cascade Laser (QCL) for the first time in Japan, using vanadium oxide (VOx) microbolometer focal plane array (FPA) of 320×240 with 23.5 μm pitch. Noise Equivalent Power of FPA at 3.1 THz is measured to be 200-400 pW. The success in THz detection and further improvement in sensitivity will provide VOx microbolometer FPA with new applications.

[キーワード]

マイクロボロメータ, 焦点面アレイ, テラヘルツ, 実時間画像
Microbolometer, Focal plane array, Terahertz, Real-time imaging

1 まえがき

テラヘルツ (THz) 領域は、周波数 0.1~10 THz (波長 30 μm~3 mm) にまたがり、長波長のため塵埃による散乱減光が可視光や赤外線より小さく、災害現場における状況把握(生命体の搜索等)に貢献すると考えられる。状況把握は迅速でなければならず、実時間イメージング技術が必須となる。さらに同技術を実用化するには、言い換えると現場に役立つ THz 光源やカメラ部を設計するには、大気吸収特性や生命体の分光特性の把握が不可欠である。

本報告では、情報通信研究機構の高度通信・放

送研究開発に係る委託研究テーマの一つである、THz 領域における実時間イメージング装置の概念を述べた後、同装置のキーコンポーネントである 2次元 Focal Plane Array (FPA) の現状の性能に関する測定結果を報告する。また同装置の感度を向上させる要素技術についても述べる。

2 THz 実時間イメージング装置

2.1 装置の概要

図 1 に開発目標である THz 実時間イメージング装置の概要を示す。同装置は、パッシブイメージングカメラとアクティブイメージングカメラ及

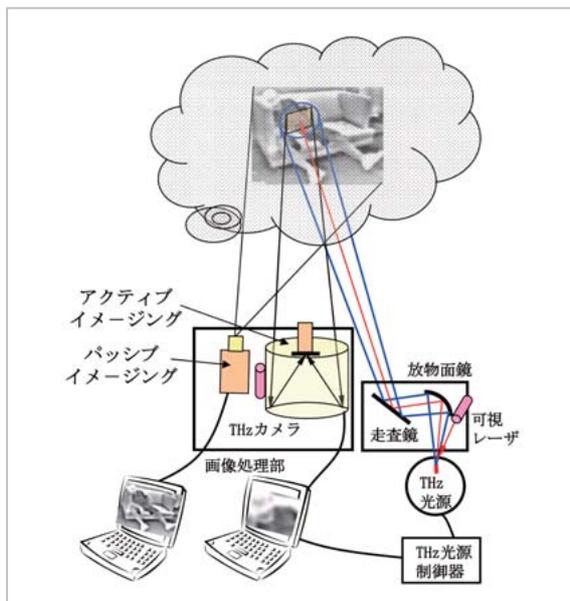


図1 THz 実時間イメージング装置の概要

び THz 光源で構成される。パッシブイメージングカメラで 5 m ほどの距離から約 1 m 角の領域をほぼ実時間で撮像し、同領域の中で特に観測したい約 10 cm 角の領域に THz 波を照射し、その散乱光をカメラで検出して詳細状況を把握する。現在の運用イメージとして、可視光や赤外線で見え難い災害現場の生命体を捜索することを考えている。

2.2 THz 波に対する非冷却赤外線アレイセンサの感度

パッシブイメージングカメラとアクティブイメージングカメラに搭載するセンサに関しては、2次元非冷却赤外線アレイセンサをベースにして、THz 波により高い感度で感じるような工夫を凝らすことで実現することを考えている。これについては後で述べることにして、現状の波長 10 μm 帯用非冷却赤外線アレイセンサが THz 波に対して感度を有するかどうかについて測定を行ったので報告する。

図 2 に実験の配置を示す。THz 光源として量子カスケードレーザ (QCL) [1] を、赤外線カメラとして画素数 320×240、画素ピッチ 23.5 μm の非冷却赤外線アレイセンサ HX0830 を搭載した TVS-200EX を用いた [2] - [4]。同カメラのレンズは波長 10 μm 帯用に設計されているので、レンズを外して QCL からの THz 波を軸外し放物面鏡で

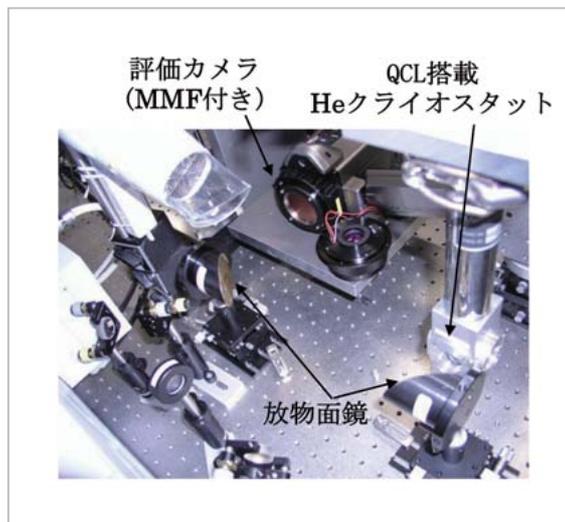


図2 THz 波検出実験の配置

表1 QCL の諸元

発振周波数	3.1 THz(波長 97 μm)
動作温度	15 K
パルス幅	300 nsec
繰返し周期	1.07 msec
ピーク出力	31 mW
パワーメータ出力	8.7 μW

アレイセンサ上に集光することにした。アレイセンサの前にはメタルメッシュフィルター (MMF) を置いて波長 70~105 μm の THz 波のみを通し、波長 10 μm 帯を通さないようにした。表 1 に示すように、QCL の発振周波数は 3.1 THz (波長 97 μm)、duty cycle 0.03 %、ピーク出力 31 mW 及びパワーメータで測定した時間平均パワーは 8.7 μW である。

QCL からの 3.1THz の線輻射の実時間画像 (320×240 で表示) を図 3 に、同図の縦線 2 に沿った強度分布を図 4 に示す。ここで、QCL のビームの像が細長い主な理由は、二つの軸外し放物面鏡のアラインメントが完全でなく、直交方向の焦点距離が異なるためである。しかしながら、像の大きさがパワーメータの検出器の直径 2 mm とほぼ同じなので、今回得たデータから前述の非冷却赤外線アレイセンサの雑音等価パワー (NEP: Noise Equivalent Power) を求めることができる。像の広がり半値の等高線の領域として 1139 画素にわたっていること、MMF の透過率が 74 %

及びアレイセンサの真空パッケージの Ge 窓の透過率が 26 % であること、また信号雑音比が 6~7 であることから、このサンプルの NEP が 200 - 250 pW 程度であることが分かる。別のサンプルの場合、400 pW 程度であった。これらの値は、画素ピッチ 37 μm の 320 \times 240 非冷却赤外線アレイセンサの NEP 及び MIT のチームが得た NEP の値 300 pW と同等である [5][6]。NEP 値 200 - 400 pW を吸収率に換算すると 2-4 % に対応する (後述の図 6 参照)。ここで、320 \times 240 非冷却赤外線アレイセンサの NEP は波長 10 μm 帯において約 10 pW であり、この値は吸収率 80 % に対応する。

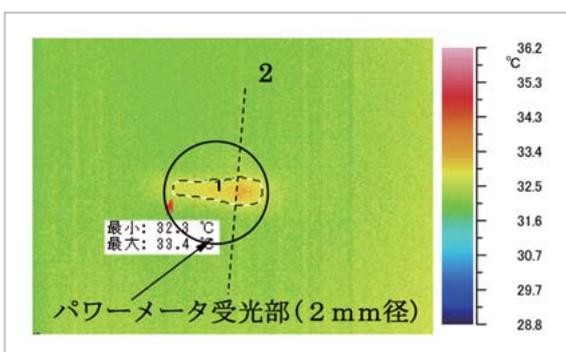


図3 QCL からの THz 波の実時間画像

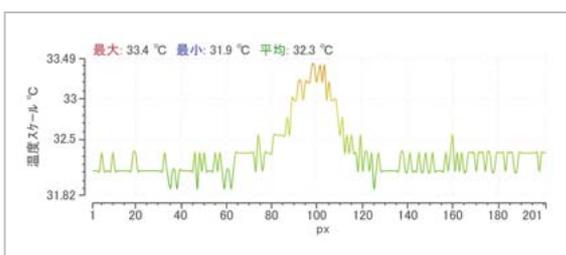


図4 THz 波の強度分布

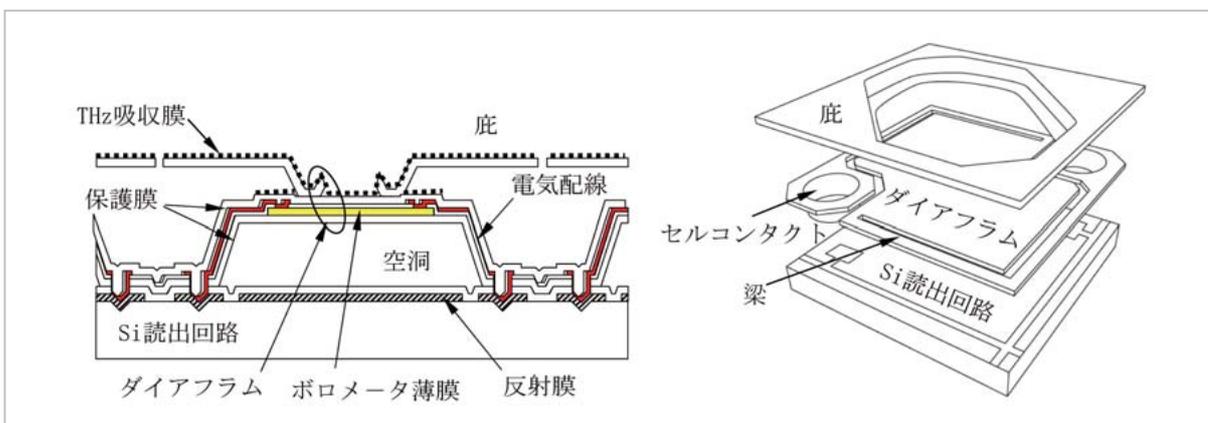


図5 320 \times 240 VOx 非冷却 THz アレイセンサの画素構造

2.3 感度向上対策

THz 波に対して現状の非冷却赤外カメラの感度を向上するためには、①アレイセンサの構造を改良して感度を上げる、②アレイセンサのパッケージ窓の透過率を上げる、③画像を積分することにより信号雑音比を改善することが挙げられる。ここでは、①と②について、アイデアと途中の成果を報告する。

図 5 に、現状の非冷却赤外線アレイセンサの画素構造を大きく変更せずに THz での感度を向上させるアイデアを示す [7]。同図で THz 検知用に新たに加わった改良点は、ダイアフラムと庇の上に点線で示した THz 吸収膜、実際には、金属薄膜の形成である。これらの位置に金属薄膜を成膜すると、Si 読出回路上の反射膜と光学的な干渉が生じて共鳴吸収が起きる (光学的共振構造)。反射膜と空洞を介して位置する金属薄膜の吸収については、古くから文献が知られており、ここでは K. C. Liddiard の文献 [8] の (1) 式を参考にする。空洞の高さ 1.5 μm と反射膜のシート抵抗 0.09 Ω の条件下で、波長 30 μm (10 THz) と 100 μm (3 THz) に対して、金属薄膜 (THz 吸収膜) のシート抵抗を変えて計算すると図 6 のような吸収特性が得られる。同図を見て分かるように、金属薄膜のシート抵抗を 20 - 60 Ω に設定すると波長 100 μm での感度が現状に比べて 1 けた近く向上することが期待される。

次にアレイセンサの真空パッケージ窓材の透過率を THz 領域で向上させるには、高抵抗 Si に無反射コートを成膜したものが有力候補である [9]。図 7 はアレイセンサの真空パッケージの概念図である。波長 10 μm 帯においては Ge が最適である

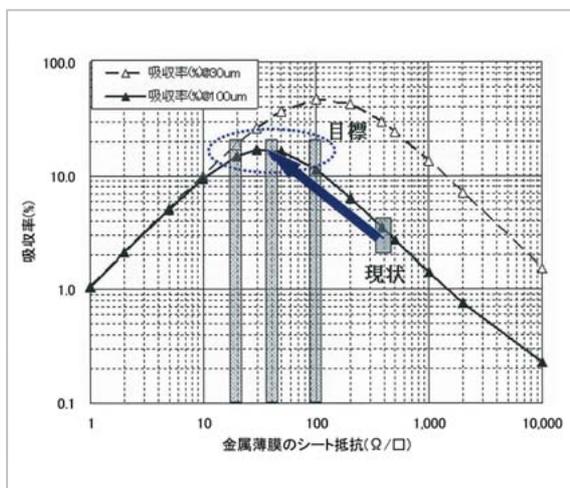


図6 THz 波に対する光学的共振構造の吸収特性
 実線：波長 100 μm (3 THz)、破線：波長 30 μm (10 THz)

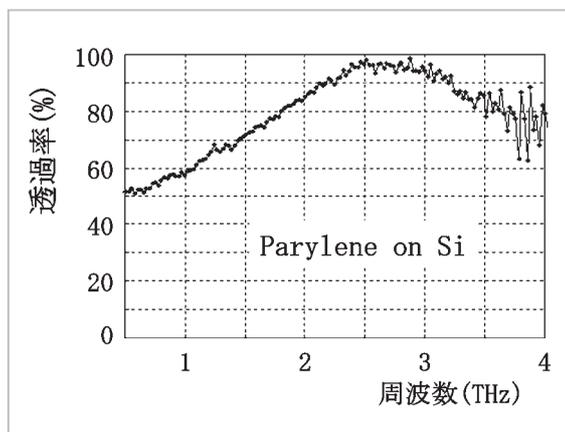


図8 高抵抗 Si 基板の両面にパリレン(16 μm 厚)を成膜した窓材の透過特性

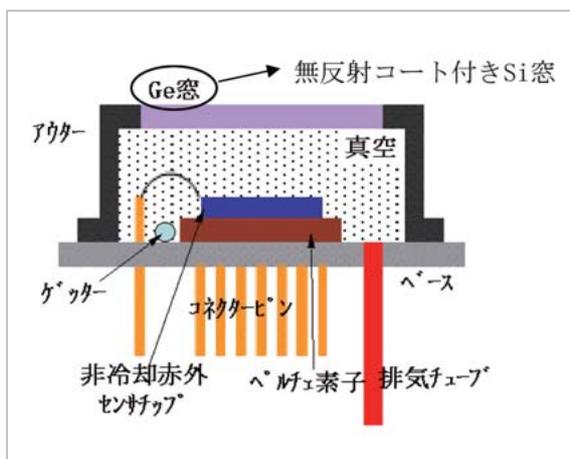


図7 アレイセンサの真空パッケージの概念図

が、この材料の 3 THz での透過率は、前述のように、30 %以下と非常に低い。この特性を改良するため高抵抗 Si 基板の両面に厚さ 16 μm のパリレンを成膜した結果、高い透過特性が得られることが分った(図 8)。この値は、現状の Ge 窓の THz 透過率に比べ 3 倍強高い。今後、パリレン膜を両面コートした高抵抗 Si を真空パッケージの窓に適用する予定である。

参考文献

1 I. Hosako, N. Sekine, M. Patrashin, S. Saito, K. Fukunaga, Y. Kasai, P. Baron, T. Seta, J. Mendrok, S. Ochiai, and H. Yasuda, "At the Dawn of a New Era in Terahertz Technology", Proceedings of the IEEE, Vol.95, pp.1611-1623, 2007.

3 むすび

著者達は、非冷却赤外線アレイセンサを用いて、QCL からの THz 線輻射を実時間で撮像することに国内で初めて成功し、この実験結果を基に現状のアレイセンサの性能を定量的に導き出すことができた。また本報告では、同アレイセンサの THz での感度向上のアイデアについて述べるとともに窓材の技術開発の成果を示した。

災害現場等で役に立つ THz 遠隔イメージング技術の開発を進める際、THz 光源、アレイセンサやカメラの技術開発だけでなく、大気吸収や生命体等に関する分光データを取得することが装置設計にとって非常に重要である。今後、ハードウェアの技術開発のみならず、これらのデータベースを充実させることにより委託研究を成功に導いていく。

本研究成果は、情報通信研究機構の「高度通信・放送研究開発に係る委託研究開発」の下で得られた。このような研究機会を与えて頂いたことに関し深く感謝する。

- 2 日本電気株式会社誘導光電事業部のホームページ,
<http://www.nec.co.jp/geo/jp/products/hx0830.html>
- 3 S. Tohyama, M. Miyoshi, S. Kurashina, N. Ito, T. Sasaki, A. Ajisawa, Y. Tanaka, K. Iida, A. Kawahara, and N. Oda, "New Thermally Isolated Pixel Structure for High-resolution (640×480) Uncooled Infrared FPAs", Optical Engineering, Vol.45, pp.014001-1-014001-10, 2006.
- 4 日本アビオニクス株式会社のホームページ, <http://www.avio.co.jp/>
- 5 関根徳彦, 小田直樹, 竇迫 巖, "非冷却赤外カメラによるテラヘルツ帯量子カスケードレーザ光検出", 2007年春季第54回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, No.3, 28p-J-10, p.1174, 2007.
- 6 A. W. M. Lee, B. S. Williams, S. Kumar, Q. Hu, and J. L. Reno, "Real-Time Imaging Using a 4.3-THz Quantum Cascade Laser and a 320×240 Microbolometer Focal-Plane Array", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.18, pp.1415-1417, 2006.
- 7 小田直樹, 小宮山 進, 竇迫 巖, "ボロメータ型 THz 波検出器", 特許出願, 2007年3月.
- 8 K. C. Liddiard, "Application of Interferometric Enhancement to Self-Absorbing Thin Film Thermal IR", Infrared Phys., Vol.34, pp.379-387, 1993.
- 9 A. J. Gatesman, J. Waldman, M. Ji, C. Musante, and S. Yngvesson, "An Anti-Reflection Coating for Silicon Optics at Terahertz Frequencies", IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol.10, pp.264-266, 2000.

おだ なおき
小田直樹

日本電気株式会社誘導光電事業部
理学博士
赤外検知技術

こみやま すすむ
小宮山 進

東京大学大学院総合文化研究科相関基礎科学系 理学博士
物性物理学