



Title	Generation and Detection of Terahertz Radiation Using Novel Devices and Techniques
Author(s)	Christopher, Tan Que
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49580">https://hdl.handle.net/11094/49580</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	クリストファー タン ケ Christopher Tan Que
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 9 2 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 21 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学 位 論 文 名	Generation and Detection of Terahertz Radiation Using Novel Devices and Techniques (新規デバイスと新規技術によるテラヘルツ電磁波の発生と検出)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 萩 行 正憲 (副査) 教 授 笠 井 秀明 教 授 猿 倉 信彦 福井大学遠赤外領域開発研究センター教授 谷 正彦 准教授 Prabhat Verma

## 論文内容の要旨

Ultrashort laser pulse excitation of devices like semiconductors and semiconductor based photoconductive (PC) antennas for emitting and detecting terahertz (THz) radiation, respectively, has established a field called THz electrophotonics. Time-domain spectroscopy of materials, imaging of objects, and detection of harmful and illegal substances are few of the long sought applications of this field. Presently, compact, cheap, and high power emitters and new detection techniques have been limited. In line with this, continuous research of THz electrophotonics is of vital importance. In the thesis, new methods of generating and detecting THz radiation are discussed.

In the first part of the thesis, THz radiation from bare InAs thin films with different film thicknesses was measured to consider their viability as strong THz emitters in a transmission geometry setup and to further investigate the mechanism of THz radiation from InAs. Four samples with different film thicknesses were utilized: 150 nm, 230 nm, 380 nm, and 520 nm. Results show that the measured radiation in transmission geometry exhibits an enhancement of the low frequency components and the strongest emission is from the thickest 520 nm film. Comparison of the emission from a 520 nm film and of bulk GaAs in reflection geometry reveals that the main THz radiation mechanism is the photo-Dember effect.

In the second part, investigation of the enhancement from InAs 520 nm thin film on Si substrate using Si hemispherical lens coupler is reported. A 7.5 enhancement in the radiated THz wave amplitude from InAs with Si lens coupler as compared to bare InAs is observed. The reason for the enhancement is the increase in the collimation of the radiated THz wave propagating through the lens coupler to air interface.

Lastly, rectified terahertz signal is detected with the use of an asymmetric Schottky PC detector antenna. The rectification effect is attributed to the Schottky barrier at the interface of the metal contact and semiconductor substrate. The Schottky PC antenna is useful for THz imaging and sensing applications because it enables us to detect the THz intensity or power without scanning the time-delay, which in turn decreases the measurement time.

電波と光の中間の周波数帯にあって、従来未開拓電磁波と呼ばれていたテラヘルツ波は、近年、フェムト秒レーザーなどを半導体表面やデバイスに照射してテラヘルツ波を放射する技術が格段に進歩し、多方面への応用が期待されている。本論文では、重要なテラヘルツ波放射素子である半導体 InAs 薄膜についてその放射機構を解明するとともに、高効率のテラヘルツ波放射素子としての性能を明らかにすること、また、新たなテラヘルツ波検出機能を有するショットキー型光伝導アンテナを開発することを目的としている。本論文における主な結果を要約すると以下のとおりである。

(1) Si 基板上に様々な厚さの n 型 InAs 薄膜を作製し、フェムト秒レーザーを照射して放射されるテラヘルツ波の測定を行っている。その結果、透過方向に放射されるテラヘルツ波の振幅は、薄膜の厚さとともに増大することを明らかにしている。また、放射スペクトルは膜厚の増加とともに低周波数成分が増大することも示している。さらに、n 型 InAs 薄膜からの放射波形と n 型および p 型 GaAs 薄膜からの放射波形を比較した結果、n 型 InAs 薄膜からの放射波形の極性は n 型 GaAs 薄膜からの放射波形のそれと一致することを明らかにしている。これらの実験事実より、n 型 InAs 薄膜からの放射は、光励起キャリア(電子)が薄膜内部に拡散するフォトデンバー効果によるものであると結論している。また、膜厚が厚くなるとともに低周波スペクトル成分が増大することについては、InAs 内で生成されたキャリアが Si 基板に達するまでの時間が長くなることで説明されると結論づけている。以上の結果は、従来詳細が十分明らかでなかった InAs からの放射機構が、フォトデンバー効果であることを明確に示すものである。反射配置でもテラヘルツ波放射の測定を行い、最も厚い 520 nm 厚の InAs 試料からの放射テラヘルツ波の振幅は、InAs バルク試料からの振幅の約 4 分の 1 であり、比較的強い放射素子として利用可能であることを示している。

(2) 透過配置で、Si 基板上の n 型 InAs 薄膜についてテラヘルツ波放射の効率を増強するために、Si 半球レンズを基板に接着し、放射波形を測定している。レンズがない場合の InAs 薄膜からの放射波の振幅と比較した結果、ピークで約 7.5 倍の増強を確認している。Si 半球レンズや放物面鏡などの光学系の集光効率を見積もった結果、Si 半球レンズのコリメーション効果が集光効率の増大の主たる要因であると結論づけている。

(3) 半導体光伝導アンテナは、フェムト秒パルスで励起されたテラヘルツ波パルスのコヒーレントな検出に用いられ高感度な検出素子であるが、波形を測定するためには時間遅延回路を走査する必要があり、測定時間が長くかかるのが欠点であった。しかし、用途によっては波形測定は必要ではなく、短時間で強度のみを測定したい場合があり、そのための高感度の検出素子が望まれていた。そのために、従来なかった整流性を有するショットキー型光伝導アンテナを考案、作製し、その特性を調べている。素子は半絶縁性 GaAs 基板上に作製され、ショットキー接合として Al 電極、オーミック接合として Ni:Ge: Au 合金電極が用いられている。光伝導アンテナをフェムト秒レーザーで励起して発生させたテラヘルツ波パルスをもこのショットキー型光伝導アンテナで検出した結果、テラヘルツ波の極性を反転しても検出波形は単純な反転形とはならず、テラヘルツ波に対して整流特性があることを実証している。この結果は、将来の時間遅延走査不要の光伝導アンテナによるテラヘルツ波検出への第一歩となる重要な結果である。また、波形の解析から光励起キャリアの寿命がその応答特性を支配していることを示している。

以上のように、本論文はテラヘルツ波工学にとって重要なデバイスである半導体薄膜を用いた放射素子の特性とその放射機構、および、新しい検出素子であるショットキー型光伝導アンテナ素子の特性について有益な知見を得ており、応用物理学、特にテラヘルツ波工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。