

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	円筒空洞共振器を用いた共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振器の研究
Title(English)	Study on Resonant-Tunneling Diode Terahertz Oscillators with Cylindrical Cavity Resonator
著者(和文)	BEZHKOMikhail Pavlovich
Author(English)	Mikhail Bezhko
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11842号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:浅田 雅洋,小山 二三夫,宮本 恭幸,渡辺 正裕,鈴木 左文,富士田 誠之
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11842号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		Mikhail Bezhko	
論文審査 審査員		氏 名		職 名			
	主査	浅田 雅洋		教授		鈴木 左文	准教授
	審査員	小山 二三夫		教授		富士田 誠之 (学外審査員)	大阪大学 准教授
		宮本 恭幸		教授			
		渡辺 正裕		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Study on Resonant-Tunneling Diode Terahertz Oscillators with Cylindrical Cavity Resonator」と題し、6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、本研究の背景と、その目的及び論文の構成について述べている。電波と光の中間に位置するテラヘルツ (THz) 周波数帯について、期待される様々な応用と現在研究されている種々の光源について概観し、室温で動作するコンパクトな光源の開発が応用を進展させる鍵になると述べている。その中でも共鳴トンネルダイオード (RTD) 発振器は 1.98 THz までの室温発振が報告された有力な候補であるが、物質分析やイメージングなどの応用においては、さらに高周波化することが必要であり、本研究の目的を、2 THz を超える高周波化およびそのためのデバイス構造と作製プロセスの確立としたと述べている。

第 2 章「Methods of Increasing Oscillation Frequency」では、RTD 発振器をより高周波で発振させるための手法について述べている。まず、RTD による THz 発振器の基本原理解から、発振周波数を制限する要因は電子の遅延時間と共振器およびアンテナの損失であり、従来のスロットアンテナを用いた発振器では、アンテナ損失のため発振周波数が 2THz 程度で飽和してしまうと述べている。このため、新たな構造として円筒共振器を用いた発振器を提案し、低損失化による高周波発振の可能性について述べている。

第 3 章「Theoretical Analysis of the Oscillation Frequency」では、円筒共振器を用いた RTD 発振器について、発振周波数の理論解析を行っている。まず、3 次元電磁界シミュレーションにより共振器アドミタンスの周波数特性とその構造依存性を計算し、その結果が本研究で考案した等価回路モデルによって、よく再現できることから、この等価回路モデルを従来のスロットアンテナ集積型発振器の解析で用いてきた RTD の等価回路モデルと合わせて、発振周波数を解析したと述べている。この解析に基づいて発振周波数の構造依存性と最適化を行い、共振器半径 15 μm および高さ 6 μm において、RTD 面積を縮小して発振周波数を上昇させたときの上限が最高値として 2.77 THz となる結果が得られ、円筒共振器により RTD 発振器の高周波化が理論的に可能であると述べている。

第 4 章「Theoretical Analysis of the Output Power」では、円筒共振器を用いた RTD 発振器について、発振出力の理論解析を行っている。円筒共振器と RTD に第 3 章と同じ等価回路モデルを適用し、発振出力の周波数依存性を解析した結果、周波数の下限と上限を持つ発振領域が得られたと述べている。発振周波数の下限は本研究で新たに見出した特性であり、共振器単独の共振周波数付近にある損失が原因となっており、円筒共振器を用いた発振器に限らない特性であると述べている。次に、発振出力の共振器構造依存性を解析した結果、理論的な出力は、構造最適化により広い周波数範囲にわたりスロット集積型よりも高くなること、また 1.5 THz において約 50 μW 、2.5 THz において 0.5 μW が得られると述べている。

第 5 章「Device Fabrication and Characterization」では、円筒共振器構造の作製プロセスとそれにより作製した発振器の特性について述べている。まず第 3 章と第 4 章の結果に基づき、共振器および RTD の作製すべき大きさを示し、高い共振器が必要なため、従来の作製プロセスでは、RTD 上部のピラーが RTD メサ面積よりも大きくなり寄生容量のために高い周波数が得られないという問題、および、ピラーが共振器上板電極と接続しない問題が発生すると述べている。次に、これらの問題はコーン形のピラーにより解決できると述べ、その形成方法として、グレートーンを用いる電子ビームリソグラフィと、それに続く小面積 RTD への接続のための追加露光の考案手法を詳細に記述している。さらに、これらの作製プロセスに基づいて発振器を作製し、従来と同面積の RTD でも周波数が約 250 GHz 高い発振を得たと述べている。最後に、この実験では容量の比較的大きな RTD を用いたために 2THz を超える発振は得られなかったが、実験結果は理論とよく一致することから、RTD 面積の縮小により、そのような発振が可能であると述べている。また、出力の測定には、まず放射パターンを把握することが必要であり、今後の課題であると述べている。

第 6 章「Summary and Conclusions」では、本研究で得られた成果と今後の課題を総括している。これを要するに本論文は、RTD による THz 発振器について、新たなデバイス構造を提案し、理論解析により 2 THz を超える高周波発振が可能であることを示すとともに、新たな形成プロセスを考案して、提案構造の発振器を作製し、理論とよく一致して実際に高周波化を実現し、さらに、提案構造において今後 RTD の面積縮小を行えば 2 THz を超える発振が可能であることを示したもので、学術上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士 (学術) の学術論文として価値あるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。