

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振素子の高周波化に関する研究
Title(English)	Study of Resonant-Tunneling-Diode Terahertz Oscillators for High Frequency
著者(和文)	金谷英敏
Author(English)	Hidetoshi Kanaya
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10035号, 授与年月日:2015年12月31日, 学位の種類:課程博士, 審査員:浅田 雅洋,小山 二三夫,植之原 裕行,渡辺 正裕,宮本 智之,内田 貴司
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10035号, Conferred date:2015/12/31, 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

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		金谷英敏	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	浅田雅洋	教授	審査員	渡辺正裕	准教授
	審査員	小山二三夫	教授		宮本智之	准教授
		植之原裕行	教授		内田貴司	防衛大学校 教授

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study of Resonant-Tunneling-Diode Terahertz Oscillators for High Frequency」(共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振素子の高周波化に関する研究)と題し、英文6章から構成されている。

第1章「Introduction」(序論)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)発振素子は有力な候補であるが、発振できる周波数が1THz程度以下と応用にはまだ不十分のため、本研究ではRTD発振素子の高周波化を目的としたと述べている。

第2章「Proposal of structures and fabrication process toward high-frequency oscillation」(高周波化に向けた構造と作製プロセスの提案)では、InGaAs/AlAsの2重障壁量子井戸RTDにスロットアンテナを集積した発振素子について、作製プロセスと高周波化のための構造を提案している。高周波化のためには、真性遅延時間(電子の共鳴領域滞在時間と空乏層走行時間)と外部遅延時間(寄生素子の時定数)による総遅延時間の短縮、及び、アンテナ長とアンテナ損失の削減が必要であると述べ、理論解析により2THz以上の発振に必要な総遅延時間、アンテナ長、及びアンテナ損失に対する条件を明らかにしている。

第3章「High-frequency oscillation with reduced dwell time」(滞在時間削減による高周波化)では、量子井戸の薄層化による共鳴領域滞在時間の短縮を利用したRTD発振素子の高周波化について述べている。量子井戸の薄層化により動作電圧が上昇するため、これを抑制する深い量子井戸とステップエミッタ構造も同時に提案している。実験では、In組成0.9のInGaAsによる深い量子井戸とAlInGaAsのステップエミッタを持つRTDにより、コレクタスペーサ層厚6nmにおいて量子井戸層厚を3nmから2.5nmに薄層化することで、動作電圧を0.4Vにほぼ維持したまま、発振上限周波数を1.29THzから1.47THzに上昇させることができ、量子井戸薄層化による共鳴領域滞在時間短縮の効果を実証したと述べている。

第4章「High-frequency oscillation with reduced transit time」(走行時間削減による高周波化)では、コレクタスペーサ層厚の最適化によるRTD発振素子の高周波化について述べている。スペーサ層厚を削減すると走行時間は短縮するが、空乏層容量による外部遅延時間が増加するため、高周波化のためにはスペーサ層厚を最適化する必要があると述べている。発振上限周波数のスペーサ層厚依存性の評価を行ってこれを実証し、井戸層厚3nmにおいてスペーサ層厚を25nmから最適値である12nmにすることで、発振上限周波数が1.1THzから1.42THzに上昇したと述べている。また、この実験結果から真性遅延時間を抽出し、これを共鳴領域滞在時間と走行時間に分解してそれぞれの割合を調べた結果、井戸層厚3nmではこれらは同程度であったと述べている。

第5章「Structure for higher frequency and estimation of oscillation characteristics」(さらなる高周波化構造と発振特性見積)では、第3章と第4章で別々に行った共鳴領域滞在時間と走行時間の短縮化を組み合わせ、さらに外部遅延時間の短縮及びアンテナ長とアンテナ損失の削減を加えた総合的な高周波化について、具体的な構造の提案と発振上限周波数の見積もり、及び、それに向けた初期実験を行ったと述べている。外部遅延短縮には、RTDのInGaAlAsエミッタドープ層のバルク抵抗とメサ下部の拡がり抵抗の削減が有効であると述べ、これらを削減する層構造を提案している。アンテナ長削減については、これにより共振周波数が上昇するが、同時にアンテナの導体損失が増加するため、発振上限周波数が最大となる最適アンテナ長が存在すると述べている。また、アンテナの導体損失削減については、エアブリッジ下のInGaAs層の除去、アンテナ電極の厚膜化、及び、アンテナ電極を従来の金から銀へ変更することが効果的であると述べている。これらを組み合わせることにより2THzを超える発振が可能であると述べている。これまでの最適構造(量子井戸層厚2.5nm、スペーサ層厚12nm)を導入したRTD、最適長(12 μ m)のアンテナ、及び、エアブリッジ下のInGaAs層の除去までを組み合わせた発振素子を作製し、1.86THzの発振を実現したと述べている。

第6章「Conclusion」(結論)では、本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに本論文は、RTD発振素子について高周波化のための構造を理論的および実験的に明らかにし、これによってコンパクトなTHz光源としての可能性を示したもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認められる。