T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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, 学位の種別:課程博士, 審査員:淺田 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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	金谷　英敏	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	浅田　雅洋
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

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た。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た。特に室温で動作するコンパクトな光源の開発が応用を発展させる鍵になると考えられ、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り、本研究では THz 帯の応用発展に有用な RTD 発振素子の高周波化を目的とした。

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た。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、及びアンテナ長の短縮とアンテナ損失の削減が必要である。理論解析により 2 THz 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た。

第 3 章「High-frequency oscillation with reduced dwell time」（滞在時間短縮による高周波化）では、薄層量子井戸を用いた共鳴領域滞在時間の短縮による RTD 発振素子の高周波化を行った。量子井戸を薄層化することで、透過率のエネルギー幅が増加し、そのエネルギー幅に反比例して共鳴領域滞在時間が短縮される。合わせて量子井戸薄層化に伴う動作電圧の上昇を抑圧するため、深い量子井戸とステップエミッタ構造の導入を提案した。実験では、In 組成 0.9 の InGaAs による深い量子井戸と InAlGaAs 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 6 nm において量子井戸厚を 3 nm から 2.5 nm に薄層化することで、動作電圧を 0.4 V にほぼ維持したまま、発振上限周波数を 1.29 THz から 1.47 THz に上昇させ、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。

第 4 章「High-frequency oscillation with reduced transit time」（走行時間短縮による高周波化）では、コレクタスペーサ層厚の最適化によって、空乏層の走行時間短縮と容量低減を両立した RTD 発振素子の高周波化を行った。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。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、井戸厚 3 nm においてスペーサ層厚を 25 nm から最適値である 12 nm にすることで、1.1 THz から 1.42 THz への発振上限周波数上昇を実現した。また、この実験結果から真性遅延時間を抽出し、これを滞在時間と走行時間に分解することによりそれぞれの割合が井戸厚 3 nm では同程度であることを明らかにした。

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、アンテナ長の短縮及び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、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。外部遅延短縮には、RTD の InAlGaAs 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、これらを削減した層構造を提案した。アンテナ長短縮については、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。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。これらを組み合わせることにより 2 THz を超える発振が可能である。これまでの最適構造（量子井戸厚 2.5 nm、スペーサ厚 12 nm）を導入した RTD、最適長（12 μm）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、1.86 THz の発振を実現した。

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

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	金谷　英敏	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	浅田　雅洋
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

The terahertz (THz) frequency range has recently received considerable attention because of its numerous applications. Therefore, the purpose of this study is resonant-tunneling-diode (RTD) THz oscillators for high frequency to realize a compact THz light source for THz applications.

The oscillation frequency limit f_{mt} can be increased by reducing the total delay, which consists of the intrinsic and extrinsic delay times, and antenna length and loss. The intrinsic delay time is composed of the electron dwell time in the resonant tunneling region and the electron transit time in the collector depletion region. The extrinsic time is caused by parasitic elements such as the capacitance and series resistance of RTDs.

The mechanism to reduce the dwell time by reducing the barrier and well thickness is discussed, including a reduction in the bias voltage with a deep well and step emitter structure. A decrease in the intrinsic delay and increase in the f_{mt} without an increase in the bias voltage were experimentally achieved.

Although the transit time decreased with a decrease in the collector spacer thickness, the capacitance and extrinsic delay increased. Thus, an optimum spacer thickness exists. The f_{mt} increased and the total delay decreased with optimum spacer thicknesses. The dwell time and transit time were extracted from the dependence of the intrinsic delay time on the collector spacer thickness.

An oscillation frequency of over 2 THz is possible by combining a thin well and optimum spacer, reducing in series resistance of RTD, using an optimum antenna length, and reducing the antenna conduction loss. The f_{mt} achieved as preliminary experiment is 1.86 THz for the well and spacer thicknesses of 2.5 and 12 nm, respectively, with an antenna length of 12 μm without InGaAs under the air bridge.

The possibility of an RTD oscillator for exceeding 2 THz is thus expected. Therefore, the RTD oscillators are expected to be a promising THz light source for many THz applications.