

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 超ヘテロナノ構造によるパルスティック電子デバイスの創製

2. 研究代表者名: 古屋 一仁 (東京工業大学大学院 教授)

3. 研究概要

埋め込み微細金属電極など超ヘテロナノ構造技術の開発により 弾道的な電子放出電極と無散乱で走行可能な領域からなるトランジスタ、素子寸法や寄生容量や直列抵抗成分を極小化したヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)、二重スリット量子干渉デバイスの実現や高性能化を図り、(ア)遮断周波数 1THz 超デバイスの設計と心臓部の動作確認、(イ)世界最小のエミッタと埋め込み金属コレクタを持つ HBT を実現し、世界最小のベース・コレクタ容量を達成、(ウ)電子波二重スリット干渉を世界で初めて観測した。また、共鳴トンネルダイオード(RTD)特性向上と超高周波発振の研究を進め、1THzの発生などに成功した。

4. 中間評価結果

4 - 1. 研究の進捗状況と今後の見込み

金属・絶縁物を半導体に埋め込むという独自技術である超ヘテロナノ構造を用いた微細 HBT やホットエレクトロントランジスタに向けたデバイス構造作成が当初の計画に沿って順調に進展している。テラヘルツ波発生に向けた共鳴トンネルを用いた素子も順調であり、中間点としては合格点と評価できる。

4 - 2. 研究成果の現状と今後の見込み

(1) 世界最小のエミッタ幅やエミッタ面積をもつ HBT や幅 25nm のエミッタメサをもつホットエレクトロントランジスタを実現した。現段階では、試作した HBT はまだ、超高速性能を示しておらず、予測性能を妨げる寄生的効果の解析と制御により超高速化を追求している。

(2) シリコン基板上に $\text{CaF}_2/\text{CdF}_2$ ヘテロ構造で共鳴トンネル素子を形成し、10 万を超えるピーク・バレー電流比を実現した。

(3) 共鳴トンネルダイオードとスロットアンテナを集積化した素子で 3 次高調波として、テラヘルツ帯の発振観測に初めて成功した。固体素子が室温でテラヘルツに届くことを示したものでインパクトは大きい。

(4) 二重スリット素子によるパルスティック電子に伴う量子の干渉現象を観察したことは、学術的に優れた成果として評価できる。今後、素子機能上の得失を明らかにする。

4 - 3. 今後の研究に向けて

代表者グループの独自技術である 3 次元超ヘテロナノ構造形成技術を適用してはじめて実現

可能な新デバイス構造を提案・実証する方向の検討も望まれる。また共鳴トンネルダイオードでは基本波でのテラヘルツ帯の発振の実証とアレイ化によるミリワット級出力はインパクトが非常に大きく、進展が期待される。高周波に向けた取り組みはデバイスのみならず、デバイスのマウントなど外部によるところも大きいいため、デバイス構造の最適化を進めることと並行して、周辺部分や測定系に対する配慮も怠らないようにして欲しい。

4 - 4 . 戦略目標に向けての展望

電子デバイスの超高周波化に金属埋め込み構造とバリスティック電子活用は非常に重要で戦略目標に良くマッチしている。これまでの3年間はバリスティック電子を実現するデバイス構造形成に重点が置かれていたが、デバイス性能を決める真性および寄生素子の解析が進んできたため、今後は最高性能実現に向けた進展が期待できる。

4 - 5 . 総合的評価

超微細電極の埋め込みなど3次元超ヘテロナノ構造形成技術を開発・駆使し、複数種類の半導体デバイスを試作・解析し、超高速動作実現に向けた取り組みが行われている。埋め込み金属電極構造の作製技術などでは、世界最高レベルにあり、その重要性も認められる。極小のエミッタやコレクタを持つHBTでは世界最小の素子容量を実現したが、遮断周波数などの高周波特性では最高性能に達していない。今後、寄生素子や測定技術の改善を、ホットキャリア素子の研究推進とともに期待する。共鳴トンネルダイオード発振器を用い3次の高調波ではあるが半導体素子では初めてのテラヘルツ波の発生に成功している。今後、基本波でのテラヘルツ発振とアレイ化による大電力化などの検討と推進を期待する。また電子波の波面操作を用いた新機能素子は、学術上興味深いが素子機能上の利点や課題に関し、さらなる検討を要する。本研究の超ヘテロナノ構造形成技術は、半導体産業で実績のあるトップダウン技術の延長上にあり、親和性も高いので、この手法で一群の超高速デバイスやその集積化が実現できれば、技術的インパクトは大きい。