

「超高速・超省電力高性能ナノデバイス・システムの創製」  
平成14年度採択研究代表者

古屋 一仁

(東京工業大学理工学研究科 教授)

「超ヘテロナノ構造によるバリスティック電子デバイスの創製」

## 1. 研究実施の概要

本研究では、半導体、金属そして絶縁体と大きく異なる物質を、立体的かつナノメートルサイズで組み合わせた“3次元超ヘテロナノ構造”を創製し、バリスティック走行による超高速性、極小化による低消費電力性をもつ新しいデバイス実現をめざす。さらに、3次元超ヘテロナノ構造により、電子の波動性を使う多機能デバイスの可能性、電子波の量子効果による新たなテラヘルツ帯増幅などの新デバイスの可能性を示す。

平成16年度は、InP中の金属細線1本(100nm幅)をコレクタとする世界最小エミッタ(100nm $\times$ 500nm)ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)において、大幅な成長条件変更を行い、世界最小の総コレクタ容量を持つトランジスタを実現した。

ヘテロ構造電子ランチャと真性領域だけを走行領域とするホットエレクトロントランジスタでは、ゲート電極・分離部なども電子ビーム露光で作製することで寄生部分を100nm程度に抑制する構造の作製プロセスを確立し、幅25nm、長さ10 $\mu$ mのエミッタにおいて、出力コンダクタンスの8倍のトランスコンダクタンスを持つ飽和特性を確認した。

テラヘルツ発振・増幅素子としては、二次元電子ガスを用いた速度変調素子(半導体クライストロン)についてはGaInAs/InAlAs/InP HEMTの素子形成プロセスの確立を試み、電圧-電流特性の確認を行った。また、スロットアンテナと集積化したGaInAs/AlAs/InP共鳴トンネルダイオードによる0.6THzでの発振を確認した。

## 2. 研究実施内容

### 3次元超ヘテロナノ構造を電荷供給部/収受部として持つデバイス

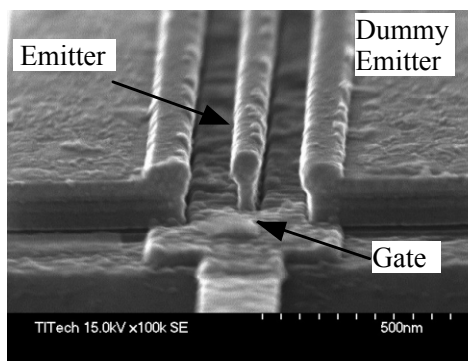
InP中に埋め込まれた幅100nmの金属細線1本のみをコレクタとするヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)を作製した。充電時間を抑制する際に重要なコレクタ抵抗低減の為に金属細線高さは200nmと従来に比べて2倍厚くしたが、その結果従来の結晶成長条件で作製すると、コレクタ容量が大きくなってしまったことが判明した。そこで反応管内流速を6倍に増大させたという大幅な成長条件変更を行うこととし、今までの我々の記録(0.95fF)

を破る世界最小のコレクタ容量記録(0.6fF)を達成した。しかし、この値を得ても寄生抵抗が増大しており、高速化は達成できなかった。成長において寄生容量低減と寄生抵抗低減が相反し始めていること、および金属細線埋込のみでは十分な容量低減が図れないことが有限要素法の解析により明らかになりつつあることから、再考案した新しい構造に基づく研究・実験が今後必要である。

また、容量低減後の遮断周波数高速化のために必須となる電子ビーム露光法によりベース面積を極限まで小さくしたHBT構造においては、作製プロセスの開発がほぼ終わり、良好な形状が得られるようになった。

### 超ヘテロナノ構造により電子を真性半導体へ引きだすバリステックトランジスタ

真性InPを電子走行層とするバリステックトランジスタを作製した。微細金属電極が作る引力ポテンシャルでヘテロバリアエミッタ構造からホットエレクトロンを真性半導体へ引き出す。ヘテロバリアエミッタ構造はGaInAs/AlAs/InP構造である。従来、エミッタ幅の縮小により飽和特性の確立を目指していたが、エミッタ幅縮小によりプロセス中に形成される寄生部分の効果が相対的に大きくなり、やはり飽和特性が得られなかったことから、エミッタのみならず、ゲート電極・分離部なども電子ビーム露光で作製することで寄生部分を100nm程度に抑制する構造の作製プロセスを確立し、素子を作製した。その結果、幅25nm、長さ10 $\mu$ mのエミッタにおいて、出力コンダクタンスの8倍のトランスコンダクタンスを持つ特性から飽和特性確認を行った。またゲートリーク電流も想定されたエミッタ電圧では、エミッタ電流より小さくなっていることが確認された。今後、エミッタ構造の変更によるエミッタ電流増大で高速化に必要な大電流密度と相対的ゲートリーク電流低減を目指す。



25nm幅のエミッタとそれを囲むゲート及び寄生部低減為のゲートメサ構造が確認できる走査電子顕微鏡像

### 電子波面制御デバイス・電子波ビートデバイスなどの新原理デバイスの探究

テラヘルツ発振・増幅素子として新たに提案した、二次元電子ガスを用いた速度変調素子（半導体クライストロン）については、GaInAs/InAlAs/InP HEMTの素子形成プロセスを確立し、電圧-電流特性を確認した。また、テラヘルツ領域発振としては、集積化する構造として新たなスロットアンテナ構造を考案することにより、GaInAs/AlAs/InP共鳴トンネルダイオードによる0.6THzでの発振を確認した。

走査型プローブ顕微鏡より微視的な点より入射した電子波の作り出す干渉像を観測するための実験では、走査型プローブ顕微鏡より入射する電流の安定化を行ったと共に、数値

解析による観測電流の見積もりを行った。

### 3. 研究実施体制

古屋グループ

- ① 研究分担グループ長：古屋 一仁（東京工業大学理工学研究科、教授）
- ② 研究項目：超ヘテロナノ構造によるバリスティック電子デバイスの創製

### 4. 主な研究成果の発表

#### (1) 論文発表

- M. Asada: "Proposal and Analysis of Semiconductor Klystron Device for Terahertz Range Using Two-Dimensional Electron Gas," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 43, no. 9A, pp. 5967-5972, Sept. 2004.
- H. Sato, H. Sato, T. Iguchi, and M. Asada: "Increase in Drive Current by Pt/W Protection on Short-Channel Schottky Source/Drain Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors with Metal Gate," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 43, no. 9A, pp. 6038-6039, Sept. 2004.
- N. Machida, H. Kanoh, and K. Furuya, "Numerical Foundation of Hot-Electron Diffraction Experiment Based on Ballistic Electron Emission Microscope", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43 Part I, No. 11A, pp. 7390-7394, Nov. 2004.