

共鳴トンネル素子の動作原理と特長1

前澤宏一

内容

- はじめに
 - 共鳴トンネルダイオードの動作原理
 - 共鳴トンネルダイオードの動作周波数
 - トンネル時間 <-> 充電時間
 - 共鳴トンネル素子の応用
 - 負性抵抗の応用
 - 共鳴トンネル素子とトランジスタの集積化
 - RTHEMT, MOBILE
 - 課題と展望
- } 今回
- } 次回

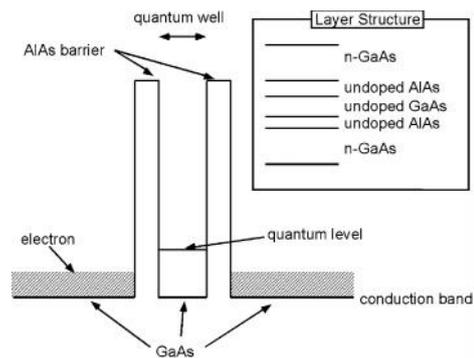
はじめに

- 1969 人工超格子の提案
L. Esaki, et al.
- 1972 GaAs/AlGaAs超格子における負性抵抗の観測
L. Esaki, et al.
- 1974 二重障壁構造における負性抵抗の観測
L. L. Chang, et al.

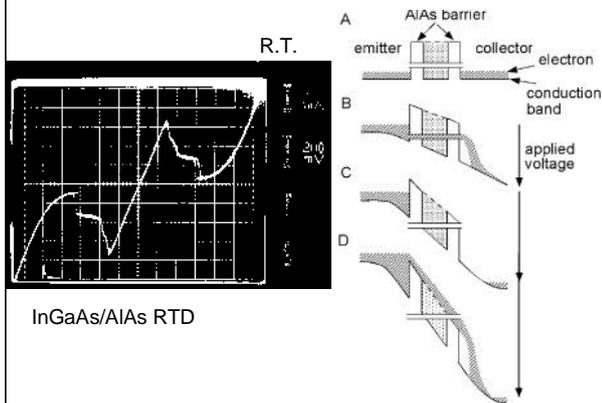
共鳴トンネルダイオード
超高周波動作 (12 GHz発振、THz応答)
微分負性抵抗
室温動作

いよいよ実用化へ

典型的な共鳴トンネル構造



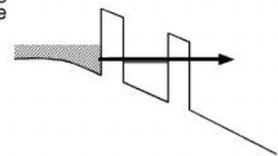
I-V特性と動作原理



動作速度

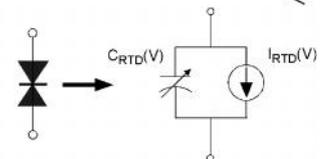
Tunneling Time:

Quantum Mechanical Tunneling Time through the RTD structure



CR-Time:

Charging Time for the capacitance of the RTD



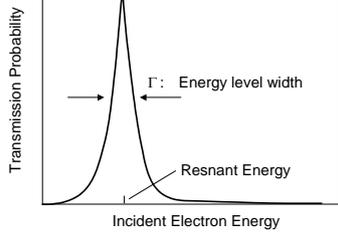
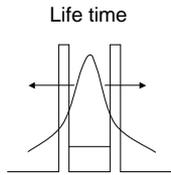
トンネル時間

$$\tau_{\text{tunnel}} \sim k \tau_{\text{life}}$$

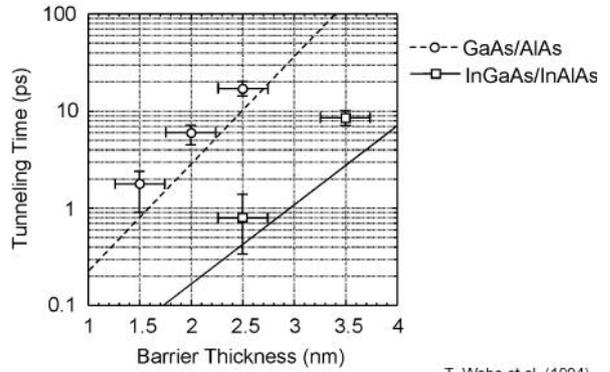
τ_{life} : Resonant state life time
or Escape time

$$\tau_{\text{life}} = \hbar/\Gamma$$

Γ : Energy level width

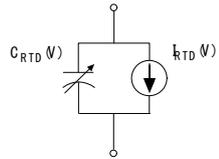


トンネル時間の障壁厚さ依存性

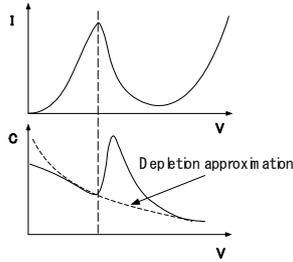


T. Waho et al. (1994)

RTDの容量成分



Intrinsic part of the equivalent circuit



空乏近似+特徴的なピーク構造
量子井戸への電子蓄積に起因

RTDの充電時間

共鳴トンネルダイオードの特長:

高い電流密度と比較的小さな容量

$$\text{例: } J_p = 6.8 \times 10^5 \text{ A/cm}^2, C = 1.5 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$$

$$\text{Speed Index: } J_p/C$$

$$4.5 \text{ V/ps (RTD)} \gg 0.1 \text{ V/ps (Esaki diodes)}$$

Esaki diodeと異なり高濃度不純物ドーピングによる劣化の問題がない

RTD: ピーク電流密度は障壁層、井戸層の厚さに依存

Esaki diode: ピーク電流密度は不純物濃度で決まる

様々な材料系のRTD

化合物半導体系

GaAs/AlAs

InGaAs/AlAs

InAs/GaSb/AlSb

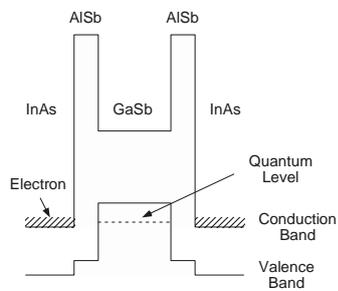
Si系

SiO₂/Si

Si/SiGe

CaF₂/Si

Al₂O₃/Si



問題

左図の共鳴トンネル構造の量子井戸の中央に右図のように、小さな井戸を設けることを考える。基底準位と第一励起準位のエネルギー差はどう変わるか、考えよ。

