

金属をエミッタとするシリコン/フッ化物 多重障壁共鳴トンネルダイオードの理論解析

Theoretical analysis of multiple-barrier silicon/fluoride heterostructure resonant tunneling diodes with metal emitter

東工大工学院 ○市川研佑, 利根川啓希, 廣瀬皓大, 三上萌, 福山聡史, 熊谷佳郎, 渡辺正裕

Tokyo Institute of Technology, ○K. Ichikawa, H. Tonegawa, K. Hirose,
K. Mikami, S. Fukuyama, Y. Kumagai, M. Watanabe

E-mail: ichikawa.k.ai@m.titech.ac.jp

【はじめに】

集積回路を構成する基本要素の微細化がナノスケールから原子スケールを見据えて進展する中, 本研究では, 原子スケールで急峻なヘテロ界面を組み合わせることで電流を ON/OFF 制御する機構として, 共鳴トンネル構造に着目した. 特に本研究では, 大きな電子濃度が期待できる金属を電子供給層 (エミッタ) とする多重障壁で構成される共鳴トンネルダイオード (RTD) の電流電圧特性を理論解析し, その微分負性抵抗特性からピーク電流密度や peak-to-valley 電流比 (PVCR) 等を抽出することで, 電流制御機構としての基本特性を評価した. 材料としてはシリコン (Si) 及び Si と原子スケールで急峻な積層構造を形成可能なフッ化物系絶縁物 (CaF_2 及び CdF_2) を仮定し, 三重障壁及び四重障壁 RTD 構造について検討したので報告する.

【理論解析手法と素子設計】

今回解析で仮定した四重障壁 RTD 構造の断面及び伝導帯バンドプロファイルの一例を Fig.1 に示す. 金属エミッタの材料としては仕事関数が比較的小さいアルミニウム (Al) を仮定し, また, 第1量子井戸には伝導帯下端が比較的低い材料であるフッ化カドミウム (CdF_2) を用いて注入開始電圧の低電圧化を図り, また, 第2及び第3の量子井戸は Si を仮定した. 三重障壁構造でも NDR は得られるが, 四重障壁化によりエネルギーフィルタがより急峻となり, PVCR の向上が可能となる. 電流電圧特性の解析は, Esaki-Tsu モデル[1]を用い, 透過率を転送行列法を用いて自己無撞着に計算した. また, 各境界面における伝導帯バンド不連続量は, 近年実験的に明らかになりつつある原子層オーダー薄層における補正值[2]を採用した.

【結果と考察】

室温 (300 K) における電流電圧特性の解析結果を Fig.2 に示す. 印加電圧 1.9 V 付近に電流極大, 2.6 V 付近に電流極小を持つ微分負性抵抗特性を示し, ピーク電流密度は 38 MA/cm^2 , PVCR として 340 を超える結果を得た. 一方, 三重障壁構造では PVCR は一桁程小さくなる. 今回の結果は金属エミッタを用いた RTD の大電流密度駆動能力を示唆したもので, 今後この構造を構成要素とする高周波発振器, メモリ, 三端子素子化等への応用に期待が持たれる.

【参考文献】

- [1] L. Tsu and R. Esaki, Appl. Phys. Lett., 22, 562, (1973)
- [2] K. Suda et al., Jpn. J. Appl. Phys., 54[4S], 04DJ05, (2015).

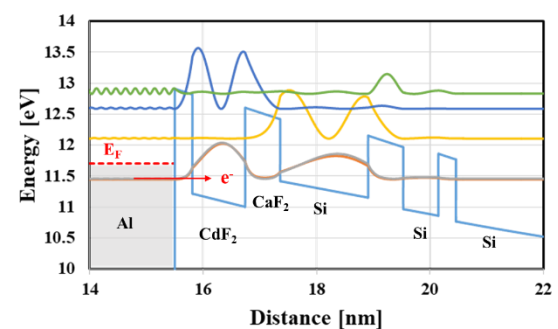


Fig.1 素子構造と伝導帯バンド図

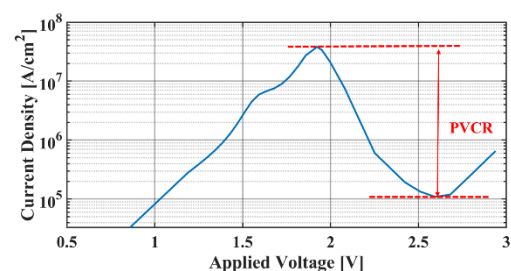


Fig.2 室温電流電圧特性