Si/CaF_2 二重障壁共鳴トンネルダイオードの室温微分負性抵抗特性

Room Temperature Negative Differential Resistance of Si/CaF_2 Double-barrier Resonant Tunneling Diodes

東工大工学院　°廣瀬皓大，福山聡史，熊谷佳郎，利根川啓希，渡辺正裕
Tokyo Institute of Technology, °K. Hirose, S. Fukuyama, Y. Kumagai, H. Tonegawa, M. Watanabe
E-mail: hirose.k.af@m.titech.ac.jp

【 はじめに 】

シリコン(Si)/弗化カルシウム(CaF_2)ヘテロ構造は，界面における伝導帯バンド不連続が 1~2 eV，結晶構造及び格子定数の類似性から Si 基板上に積層エピタキシャル成長が可能であり，室温において大きな peak-to-valley 電流比(PVCR)を有する共鳴トンネルダイオード(RTD)の構成材料として有望である[1]. Si/CaF_2ヘテロ構造を用いた RTD としては，二重障壁構造を用いて室温微分負性抵抗 (NDR)が観測されているが，PVCR は10 未満がほとんどであり，また，ピーク電流密度が 10^4 A/cm^2 を超える例は観測されていなかった．今回，原子層レベルの極薄膜化による物性値補正を考慮して Si/CaF_2 二重障壁構造RTD を設計，作製し，10^6 A/cm^{2}を超えるピーク電流密度と 10^2 を超える PVCR を両立する NDR 特性をはじめて観測したので報告する.

【 実験方法 】 今回作製した素子構造を Fig.1 に示す. n-Si(111)基板を SPM 洗浄後，厚さ 30nm の熱酸化膜を形成し，ウェットエッチングにより直径 500nm の窓を形成する．その後基板を分子線エピタキシー結晶成長装置内に搬入し，表面保護酸化膜を除去後，CaF_2(0.94nm)/Si(1.89nm)/CaF_2(0.94nm)/n-Si(0.94nm)の各層を結晶成長した．Cr/Au 電極をリフトオフにより形成し素子完成となる。電流電圧特性測定には半導体パラメータアナライザ Keysight-4155C を用いた.

【結果と考察】作製した素子の室温における I-V 特性を Fig.2 に示す．印加電圧は上部電極側の電位を正にとった. 室温において印可電圧 1.8V 付近に明瞭な微分負性抵抗特性が観測され，PVCR は 10^2，ピーク電流密度(J_{peak})は 2.17MA/cm^2 であった．10^6A/cm^2 を超える J_{peak} を有する NDR 特性は Si/CaF_2 DBRTD において今回初めて観測された. 一方同一基板上の別素子では PVCR=780, J_{peak}=6×10^5A/cm^2 の特性も得られており，PVCR と J_{peak} のトレードオフ関係がみられることから，共鳴トンネル由来の NDR 特性であることと矛盾しない．トランスファーマトリックス法を用いた Esaki-Tsu モデルによる I-V 特性のフィッティングシミュレーションから，特性ばらつきの主要因が，各層の原子層レベルの膜厚ばらつきと対応することが示唆された.

【参考文献】[1] Y. Kuwata et al., Appl. Phys. Express **9**, 074001 (2016)

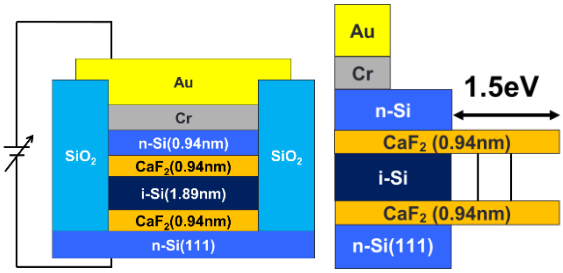

Fig.1 素子構造と伝導帯バンド図

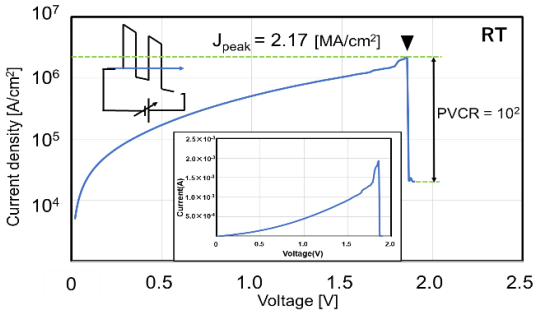

Fig.2 室温微分負性抵抗特性