

p 型単一障壁トンネルダイオード及び 2 重障壁共鳴トンネルダイオードを用いた Si/CaF₂界面における価電子帯障壁高さ(ΔE_V)の評価

Evaluation of valence band difference (ΔE_V) at Si/CaF₂ interface using p-type single barrier tunneling diodes and double barrier resonant tunneling diodes

東工大工学院 ○菅原 大暉, 劉 龍, 鄭 源宰, 小柳 陽平, 北村 研太, 渡辺 正裕

Tokyo Tech, Daiki Sugawara, Liu Long, Gensai Tei, Yohei Koyanagi,

Kenta Kitamura and Masahiro Watanabe

E-mail: sugawara.d.ab@m.titech.ac.jp

【はじめに】数 nm の Si 量子薄膜をフッ化物系絶縁体 CaF₂ 障壁層で挟み込んだ構造では、量子閉じ込めや共鳴トンネル効果を室温で発現する[1]。これを電流制御機構や光電子相互作用の制御に適用するためには、量子井戸の深さ、すなわち、バンド不連続量を把握することが重要となる。近年著者らは、CaF₂ 膜厚を数原子層厚へ薄膜化することにより、伝導帯バンド不連続 ΔE_C がバルクと比較して 1 eV 近くドラスティックに低減する現象[2]を見出したことから、価電子帯側についても Si 上に製膜した数原子層厚の CaF₂ について、障壁高さ ΔE_V の調査を行ってきた。今回、p 型単一障壁トンネルダイオードの I-V 特性に対して、リーク電流や寄生抵抗の効果を考慮したフィッティングシミュレーションを行い、ΔE_V の見積を行った。また、2 重障壁トンネルダイオードの微分負性抵抗のピーク位置及び電流密度から井戸層・障壁層の障壁高さを推定したので報告する。

【素子構造】p-Si(111)基板を SPM 洗浄後、酸化炉で熱酸化を行い SiO₂ を 40 nm 形成する。その後、直径φ=2 μm の孔を BHF(22%)によるウェットエッチングで形成した後、保護酸化膜を形成し、分子線エピタキシー装置(MBE)に搬入する。その後、保護酸化膜を除去し結晶成長を行う。単一障壁素子の層構造は CaF₂: 0.31 nm (1 原子層), 0.62 nm (2 原子層), 0.93 nm (3 原子層), Si: 5 nm である。最後に Cr/Au 電極をリフトオフにより形成し完成となる。また、2 重障壁共鳴トンネルダイオードの素子構造を Fig.2 に示す。膜厚構成は CaF₂/Si/CaF₂=0.31 nm (1 原子層)/2.17 nm/0.31 nm (1 原子層)である。

【結果】単一障壁素子について、室温における I-V 測定結果及びその理論解析の結果を Fig.1 に示す。トンネル電流の理論解析は、トランスフォーマトリックス法と Esaki-Tsu モデルを用いて行い、指数関数型のリーク電流と直列、並列に接続された寄生抵抗をそれぞれ仮定した等価回路モデルを用いて解析を行った。電流密度の理論値と測定値を比較し、CaF₂ を 1 原子層、2 原子層、3 原子層堆積した際の ΔE_V はそれぞれ 1.0 eV, 1.5 eV, 2.5 eV であると見積もった。また、2 重障壁共鳴トンネルダイオードの素子概略図を Fig. 2 に示す。

素子の I-V 特性と理論計算のピーク位置の電圧、電流密度を比較すると(Table. 1)、シングルバリア素子のフィッティングで得られた 1 原子層厚の障壁高さ ΔE_V = 1.0 eV を用いた場合と最も適合した。このことから、今回得られた ΔE_V の値の妥当性が検証された。

【参考文献】

- [1] M. Tsutsui *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **38**(8B), L920 (1999)
- [2] K.Suda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54** 04DJ05 (2015)

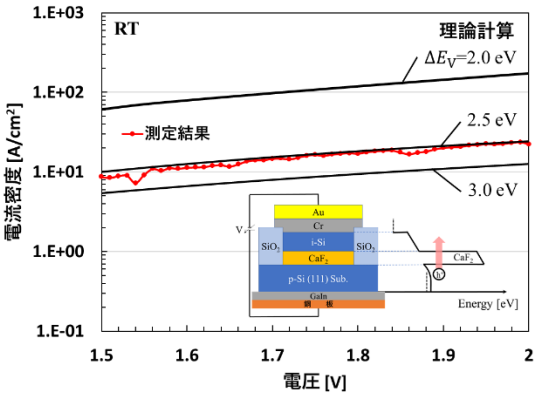


Fig.1 シングルバリア素子の素子概略図及び障壁層厚が 3 原子層 (0.93 nm) 素子の I-V 測定結果と理論計算の比較

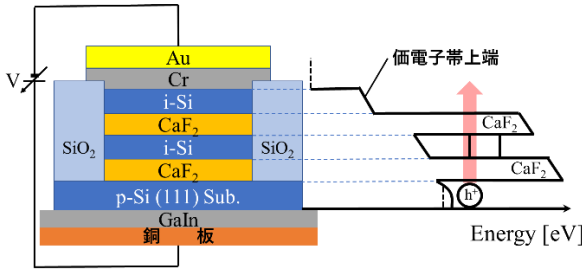


Fig.2 Si/CaF₂ 2 重障壁共鳴トンネルダイオードの素子概略図

Table.1 2 重障壁共鳴トンネルダイオードの微分負性抵抗特性におけるピーク電圧(V_{peak}),及びピーク電流密度(J_{peak})の理論解析と測定結果との比較

			V _{peak}	J _{peak}
	I-V測定結果		0.85 V	456 kA/cm ²
	理論解析結果			
	ΔE _V = 1.0 eV		0.89 V	489 kA/cm ²
	ΔE _V = 1.5 eV		0.89 V	210 kA/cm ²