

Si/CaF₂/CdF₂ RTD 構造における電流電圧特性の理論解析

Analysis of current voltage characteristics of Si/CaF₂/CdF₂ RTD

東工大総理工 須田慶太、桑田友哉、渡辺正裕

Tokyo Institute of Technology K. Suda, Y. Kuwata and M. Watanabe

E-mail: suda.k.ae@m.titech.ac.jp

【はじめに】フッ化カルシウム(CaF₂)/フッ化カドミウム(CdF₂)ヘテロ構造は界面における伝導帯バンド不連続 ΔE_C が 2.9[eV]と大きく、Si 基板上にエピタキシャル成長可能なため、Si-LSI と集積可能な量子構造デバイスの構成材料として有望である。我々はこれまでに本材料構成を用いた共鳴トンネルダイオード(RTD)や不揮発型の抵抗スイッチングメモリのようなトンネル系デバイスを提案し、その実証を進めてきた[1,2]。絶縁体である CaF₂ は、提案素子の中で数原子層厚のトンネル障壁材料として用いられているが、これまでの我々の実験結果から[3,4]、設計解析に用いる物性値、特に、有効質量 m^* 及び、他の構成材料である Si, Al 等との間の伝導帯バンド不連続 ΔE_C の値は、バルク材料による実験研究を根拠とする文献値[5,6]を修正する必要性が示唆された。これらの値は電流電圧特性を初めとした素子の機能設計に大きく影響を与えることから、今回、2重障壁RTD構造の電流電圧特性の理論計算を系統的に行い、微分負性抵抗を初めとする電流電圧特性に与える影響を調べた。

【結果と考察】トンネル電流の理論解析には、有効質量近似に基づいたトランスファーマトリックス法と Esaki-Tsu の式を用いて電流密度を算出する。CaF₂ の有効質量 m_{CaF_2} 及び、Si と CaF₂ のバンド不連続 ΔE_C をパラメータとした。素子構造は、n-Si/CaF₂(W nm)/CdF₂(2.48 nm)/CaF₂(W nm)/Al とし、ポテンシャル構造を Fig. 1 に示した。W は 2 種類想定し、それぞれ 0.93, 1.55 nm とした。用いた有効質量は、それぞれ $0.26m_0$ (Si)、 $1.0m_0$ (CaF₂)、 $0.4m_0$ (CdF₂)、バンド不連続は、2.3 eV(CaF₂)、-0.6 eV(CdF₂)である。ピーク電圧 V_p 、ピーク電流 I_p と有効質量の関係を図 2 に、同じくバンド不連続との関係を図 3 に示す。

両関係ともバリア膜厚 W が増加すると、ピーク電流は大幅に減少することが分かるが、一方、ピーク電圧は傾向が異なる。 m_{CaF_2} が上昇するとピーク電圧は減少していき、 ΔE_C が上昇するとピーク電圧も上昇していく傾向があることが分かる。また、バリア層厚を変化させても、物性値が同じならばピーク電圧はほとんど影響がないことがこの結果から分かる。このことから、井戸層厚を固定し、バリア厚を変化させる実験を行うことで、数原子層厚の CaF₂ における m_{CaF_2} と ΔE_C を特定できると考えられる。

【参考文献】

- [1] T. Kanazawa, A. Morosawa, R. Fuji, T. Wada, M. Watanabe and M. Asada, Jpn. J. Appl. Phys. **46** (2007) 3388.
- [2] J. Denda, K. Uryu, K. Suda, and M. Watanabe, Appl. Phys. Express, **7**(2014)044103.
- [3] 須田他、2013年度秋季第74回C応用物理学会19pP94

- [4] 須田他、2014年度春季第61回応用物理学会18-PG-2
- [5] A. Izumi *et al.* Appl. Phys. Lett. **67**, 2792 (1995)
- [6] Bingyang Zhang *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 4887 (1999)

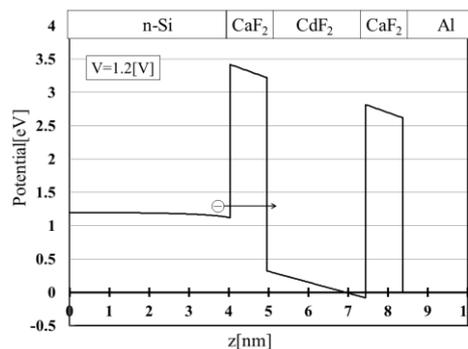


Fig. 1 ポテンシャル構造 (d=0.93[nm])

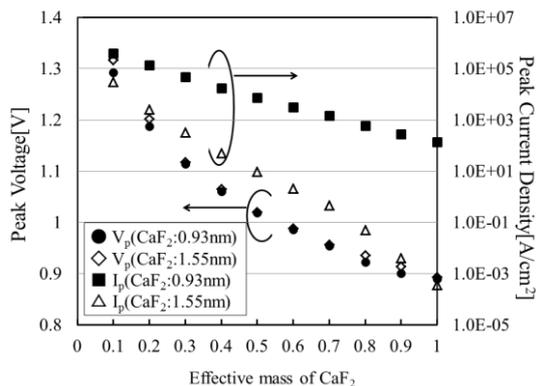


Fig. 2 m_{CaF_2} とピーク電圧、ピーク電流の関係

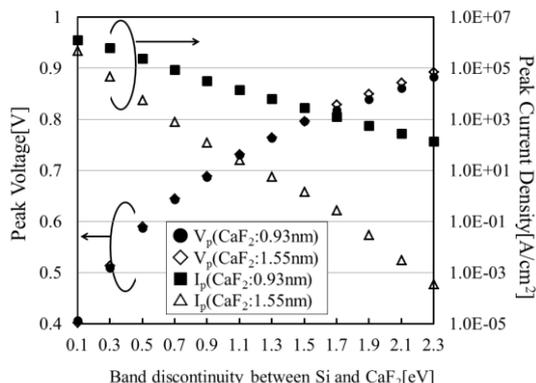


Fig. 3 Si と CaF₂ の ΔE_C とピーク電圧、ピーク電流の関係