

ナノクリスタルシリコン/CaF₂ 共鳴トンネルダイオードの 微分負性抵抗特性

Negative differential resistance of nc-Si/CaF₂ resonant tunneling diode structures

東工大院総理工 越田悠太, 須田慶太, 桑田友哉, 傳田純也, 小池進, 瀬川美奈人, 渡辺正裕
Tokyo Institute of Technology Y. Koshita, K.Suda, Y.Kuwata, J.Denda, S. Koike, M.Segawa, and M. Watanabe
E-mail: koshita.y.aa@m.titech.ac.jp

【はじめに】

シリコン(Si)/フッ化カルシウム(CaF₂)ヘテロ構造は、界面における伝導帯バンド不連続(ΔE_c)が2.3eVと大きく、シリコン集積回路技術と親和性を有するシリコン量子井戸や共鳴トンネルデバイスの構成材料としての可能性を有する。これまでに、我々を含めて内外の研究機関よりシリコン基板上に形成した CaF₂/Si/CaF₂ 共鳴トンネルダイオードの微分負性抵抗特性が報告されている[1-3]。一方、この材料系では、Si の数ナノメートルサイズの微結晶(ナノクリスタルシリコン:nc-Si)を CaF₂ 中に形成する方法が知られており、その吸収係数の測定等から、禁制帯幅の広ギャップ化が観察[4]され、量子サイズ効果の発現が示唆されていることから、本研究では、量子井戸や共鳴トンネル構造など低次元量子構造の構成材料としての可能性に着目した。そこで今回、ナノクリスタルシリコンの共鳴トンネル伝導特性を調べることを目的に、2-3nm 層厚の nc-Si 層を CaF₂ で挟み込んだ共鳴トンネルダイオード構造を作製し、電流電圧特性を調べたところ、微分負性抵抗特性を観測したので報告する。

【実験方法】

今回試作した素子構造を Fig.1 に示す。p-Si(111) 0.1° off 基板($\rho < 4\text{m}\Omega\text{cm}$)を SC-1、SC-2 洗浄後、厚さ 80nm の熱酸化膜を形成し、ウェットエッチングにより $2\mu\text{m}\phi$ の窓を形成した後、保護酸化膜を形成、分子線エピタキシー装置内に搬入し、Si 分子線照射にて保護酸化膜除去後、基板温度 650°C で CaF₂(0.93nm)をエピタキシャル成長し、その後基板温度を 80°C に降温して、nc-Si(2.1nm)/CaF₂(0.93nm)/n-Si(2.1nm)の各層の成長を行う。nc-Si 量子井戸層の形成には Si/CaF₂=1:1 の同時蒸着法を適用した[4]。これは 2nm ϕ 程度の nc-Si が形成される条件に相当する。その後、Al/Au 電極をリフトオフにより形成して素子の完成となる。電流電圧特性の測定は、温度制御可能なプローブステーション及び半導体パラメータアナライザ Agilent 4155C を用いて行った。

【結果と考察】

測定温度36Kにおける電流電圧特性の一例をFig.2に示す。素子構造の対称性を反映して、バイアス電圧の正負の両側に微分負性抵抗を観測した。ピーク電流の観察される電圧 V_{peak} は、 $\pm 0.5\text{V}$ 、および $\pm 0.9\text{V}$ であった。一方、直径2nm程度のナノクリスタルシリコンに対して、簡易的な有限量子井戸モデルから推定される共

鳴ピークは約0.9Vであることから、これよりもサイズの大きなシリコンが混在していることが示唆される。

【参考文献】

- [1] M. Tsutsui et al., Jpn. J. Appl. Phys., 38 (1999) L920.
- [2] M. Watanabe et al., Jpn. J. Appl. Phys., 39 (2000) L964.
- [3] C. R. Wang et al., IEEE Trans. Nanotech., 2 (2003) 236.
- [4] 大木他, 第56回応用物理学会関係連合講演会, 31p-TF-4 (2009).



Fig. 1 素子の断面層構造と伝導帯バンドプロファイル

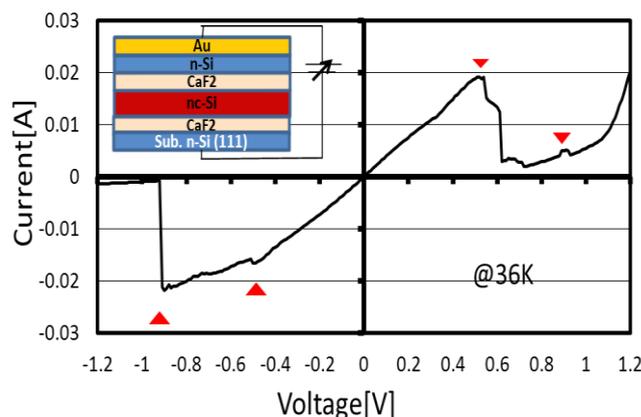


Fig. 2 電流電圧特性