

強誘電体薄膜と金属の接合素子に流れる電流についての理論的解析

Theoretical analysis of the electric current on a ferroelectric/metal junction

東理大理, 橋爪洋一郎, 臼井翔吾, 寺西美波, 岡村総一郎

Tokyo Univ. of Sci., ○Yoichiro Hashizume, Shogo Usui, Minami Teranishi, Soichiro Okamura

E-mail: hashizume@rs.tus.ac.jp

近年, 我々のグループでは厚さ 6 ~ 10 nm 程度のフッ化ビニリデンと三フッ化エチレンの共重合体 (vinylidene fluoride/trifluoroethylene copolymer; VDF/TrFE) を 2 種類の金属で両側から挟んだ構造を持つ接合素子の抵抗変化特性を測定することに成功した. 電流の大きさは VDF/TrFE の示す分極方向に強く依存し, 分極の向きが変わると電流の値は約 100 倍程度に異なる. さらに, この差異は電極として用いている金属の種類, 特にその仕事関数 (あるいはフェルミエネルギー) に依存する. 例えば, 金 (Au) と白金 (Pt) およびルテニウム (Ru) ではその仕事関数について $Ru < Au < Pt$ という関係がある. これらの金属のうち電極に Au と Pt を用いる場合には分極が Pt から Au へ向かう方向へ向いているときに電流は大きくなるが, Au と Ru を用いる場合には分極が Au から Ru へ向かう方向へ向いているときに電流は大きくなる. さらに, 両方とも同じ金属を用いる場合にはその差異が生じないことも示唆されている. このように接合素子における電流は電極に用いる金属の性質を強く反映していると考えられる.

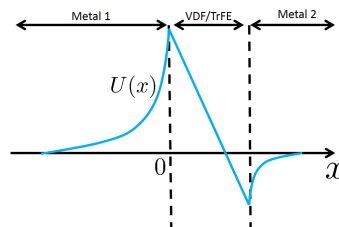


図 1: ポテンシャル分布

このような状況は無機強誘電体においても知られていて, 金属の性質を反映するために, 強誘電体が金属内部に作るポテンシャルが金属内に存在する多数の電子によって遮蔽されるとする, トーマス・フェルミの遮蔽効果を考慮することが多い. 我々も, この遮蔽効果を取り入れ, 電場を印加しない状態では図 1 のようなポテンシャル構造が生じていると考える. 通常は, 外部から印加される電場も含めて全領域のトンネル効果が考慮されるが, 今回は VDF/TrFE の厚さが約 10 nm 程度となっていて量子的な現象が見られる境界付近であることや, 実験環境がほぼ常温であることなどから, トンネル効果にのみ依存する電流ではないと考えられる. そこで, 金属と VDF/TrFE の接合面付近のみに電流を担う電荷がトンネル効果を介して注入されるという描像を考える. この場合には重要なポテンシャル構造は金属と VDF/TrFE の接合部分付近であり,

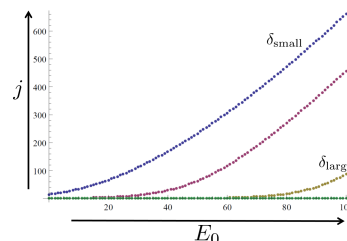


図 2: 規格化された電流と電場

$$U(x) = \begin{cases} eP\delta e^{x/\delta} & (x < 0) \\ -eE_0x + eP\delta & (x > 0) \end{cases}$$

となる. ここで e, P, E_0, δ はそれぞれ, 電気素量, 強誘電体の分極の大きさ, 外部電場, トーマス・フェルミ遮蔽長である. δ は, 電子数密度 n およびフェルミエネルギー ϵ_F を用いて $\delta^2 = 4\epsilon_0\epsilon_F/3e^2n$ とかける. ただし ϵ_0 は真空の誘電率である. このようなポテンシャルに対して半古典近似 (Wentzel-Kramers-Brillouin 近似; WKB 近似) を用いて透過率 $T(\epsilon)$ をエネルギー ϵ の関数として求め, 注入電荷量 N を

$$N = \int_{-\infty}^{\infty} D(\epsilon)f(\epsilon)T(\epsilon)d\epsilon$$

と見積もる. その結果, 図 2 のように遮蔽距離 δ によって電流量が変化する様子を再現でき, 定性的にも実験結果を理解することができる.