

等電子トラップを導入した TFET のばらつき評価

Variability Characterization in Isoelectronic-Trap-Assisted TFETs

産総研 ○森貴洋、右田真司、福田浩一、浅井栄大、森田行則、水林亘、柳永勲、大内真一、
更田裕司、大塚慎太郎、安田哲二、昌原明植、太田裕之、松川貴

AIST, °T. Mori, S. Migita, K. Fukuda, H. Asai, Y. Morita, W. Mizubayashi, Y. Liu, S. O'uchi,

H. Fuketa, S. Otsuka, T. Yasuda, M. Masahara, and T. Matsukawa

E-mail: mori-takahiro@aist.go.jp

近年、急峻サブスレッショルド特性を利用した低電圧動作が可能なトランジスタとして、トンネル電界効果トランジスタ (Tunnel Field-Effect Transistor; TFET) が注目を集めている。実用化への最大の課題は、トンネル接合抵抗に起因する低いオン電流である。特に Si チャネル TFET は、Si が間接遷移型半導体であるためにトンネル確率が低く不利と考えられている。我々はこれを解決する手段として、等電子トラップ (Isoelectronic Trap; IET) をトンネル接合中に導入してトンネル確率を増大させる方法を提案[1, 2]、Al-N 複合不純物を IET として利用し約 30 倍のオン電流を得ることに成功している[3]。低電圧動作に向けたもう一つの課題は、特性ばらつきである。低電圧動作を期する TFET では、従来 MOSFET よりも厳しい特性ばらつきの抑制が必要だと予想される。本報告では、特性ばらつきの観点から IET-TFET を評価した結果を議論する。

実験は、SOI 基板にプレーナー型の N 型 TFET を試作して実施した。S/D 領域を最初に形成し、Al と N とを共注入することで IET を PN 接合部に導入、最後に high-k/メタルゲート構造を形成することで IET-TFET を作製した (図 1)。ゲート長は 100 nm~10 μm、ゲート幅は 10 μm である。閾値電流を 10^{-11} A/μm とし、平均閾値電圧に 1 V を加えたオン電圧を定義して評価した。

図 2 は IET の導入量に依存したオン電流の統計分布である。IET 導入によるオン電流増大効果が明瞭に確認されると共に、IET 導入によるオン電流ばらつきの抑制が確認された。今回評価対象とした TFET は大きいゲート幅を持つため、ミクロな不純物分布の影響では無く、トンネル接合に印加されるマクロな電界ばらつきを観測しているものと考えられる。現在のところ、ソース/ゲートのオーバーラップ距離ばらつきと、ゲート仕事関数ばらつきとが有力な要因と考えている。接合電界ばらつきが与えるトンネル電流への影響は、Kane のトンネルレート式[4]から容易に導かれる (図 3)。導出式は、電流ばらつきの接合電界ばらつきに対する感度が、トンネル確率の増大に伴って抑制されることを示している。今回の実験で観測したオン電流ばらつきの抑制はこれを反映したものだと考えられる。以上より、IET によるトンネル確率増大技術は、接合電界ばらつきに由来する特性ばらつきを抑制するにも効果があると考えられる。

【謝辞】本研究は最先端研究開発支援プログラム、JSPS 科研費 15H05526、NEDO の支援を受けて実施された。

【参考文献】[1] T. Mori *et al.*, Symp. VLSI. Technol. Tech. Dig. (2014) p. 86. [2] T. Mori *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106** (2015) 083501. [3] T. Mori *et al.*, Appl. Phys. Express **7** (2014) 024201. [4] E. O. Kane, J. Phys. Chem. Solid. **12** (1960) 181.

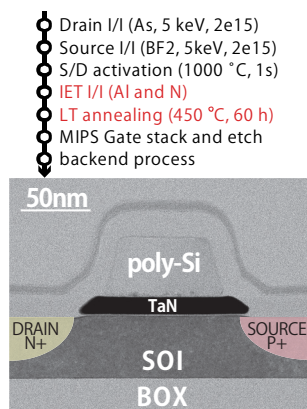


Fig. 1 Process flow and a typical TEM picture.

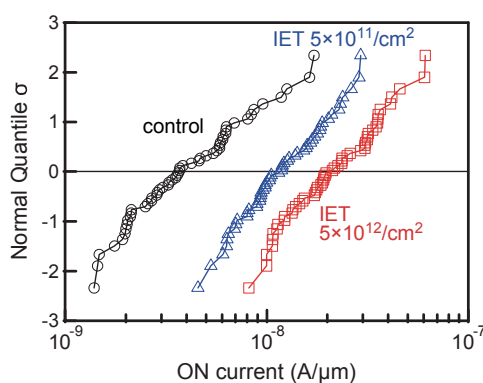


Fig. 2 Normal quantile plots of I_{ON} of the IET- and control TFETs with the $L_g = 2$ μm.

$$G = AE^\gamma \exp\left(-\frac{B}{E}\right)$$

$$\Delta G = \frac{\partial G}{\partial E} \Delta E$$

$$\frac{\Delta G}{G} = \left(\gamma + \frac{B}{E}\right) \frac{\Delta E}{E}$$

G: tunneling rate
A,B: probability params
 γ : 2 for direct, 2.5 for indirect
E: electric field strength

Fig. 3 The relation between the electric field variation and the tunneling rate variation derived from Kane's tunneling rate equation.