

## 高温動作 SiC 相補型 JFET 論理ゲートの論理閾値電圧の 温度変化抑制に関する理論的検討

### Theoretical calculation of a switching threshold voltage in a SiC complementary JFET logic gate operating at high temperature

京大院工 °金子 光顕、中島 誠志、木本 恒暢

°Mitsuaki Kaneko, Masashi Nakajima, Tsunenobu Kimoto (Kyoto Univ.)

E-mail: kaneko@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

SiC JFET は酸化膜をデバイス構造に使用しておらず、高温環境で動作可能な論理回路形成用の素子として有望視されている。これまで、n チャネル JFET (nJFET) と pJFET を組み合わせた相補型 JFET による集積回路の作製を提案しており、イオン注入による nJFET および pJFET の同一基板上への作製とその 400°C 動作を報告した[1]。実際に相補型論理ゲートを作製するにあたり、論理閾値電圧は動作時のノイズマージンを決定する重要な特性であるが、一般に、温度変化に伴い論理閾値電圧のシフトが生じる。今回、最も簡単な論理ゲートであるインバータについて論理閾値電圧の温度依存性について理論的検討を行い、その温度変化を抑制する設計指針について考察を行ったため報告する。

相補型 JFET インバータ回路は CMOS インバータの MOSFET を JFET で置き換えることで構成できる。伝達特性の計算には文献[2]の式を使用した。電源電圧が 2V のとき、論理閾値電圧が 1V となるためには以下の式を満たす必要がある。

$$\frac{\beta_n}{\beta_p} = \frac{(1 + V_{Tp})^2}{(1 - V_{Tn})^2} \quad (1)$$

ここで、 $\beta_n$  ( $\beta_p$ ) は nJFET (pJFET) のベータ値であり、 $\beta_n = 4\epsilon_s q W_n \mu_n n / L_n a_n N_D$  ( $\beta_p = 4\epsilon_s q W_p \mu_p p / L_p a_p N_A$ ) と表される。 $V_{Tn}$  ( $V_{Tp}$ ) は nJFET (pJFET) の閾値電圧であり、室温で  $V_{Tn} = 0.62$  V、 $V_{Tp} = -0.66$  V となるようチャンネル厚  $a_n$  ( $a_p$ ) とドーピング密度  $N_D$  ( $N_A$ ) を設定し、計算を行った。

JFET のチャンネル幅 ( $W$ ) とチャンネル長 ( $L$ ) の比 ( $W/L$ ) を調整し、室温で式(1)を成立させた際の論理閾値電圧の温度依存性を図 1 に示す。室温では設計通り論理閾値電圧が 1V となっており、理想的特性といえるが、温度上昇に伴い論理閾値電圧がシフトしていることがわかる。このときの式(1)の両辺の温度依存性を図 2 に示す。式(1)の右辺 (黒色実線) は温度変化が小さいのに対し、左辺 (黒色点線) はキャリア密度の温度依存性が大きいので、温度変化と共に大きく変化することがわかる。その結果、式(1)が高温で満たされなくなり、論理閾値電圧のシフトが生じる。

$W/L$  を調整し、高温で式(1)を成立させた際の論理閾値電圧の温度依存性を図 1 に示す。室温から高温にわたって論理閾値電圧の変化を抑制できている。室温では式(1)が満たされていないが、nJFET と pJFET の閾値電圧の差が小さく、貫通電流がほとんど流れないため論理閾値電圧を 1V とすることができている。以上のことから、高温において式(1)が成立するように  $W/L$  を設計することで室温から高温まで広い温度範囲で論理閾値電圧の温度変化を抑制できることがわかった。

[1] M. Nakajima, et al., IEEE EDL 40, 866 (2019).[2] S. M. Sze, *Semiconductor Devices Physics and Technology* (Wiley, 2007).

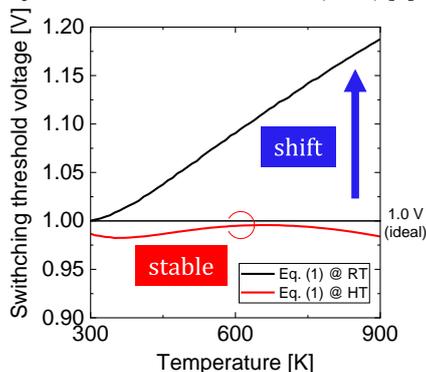


Fig. 1: Temperature dependence of the switching threshold voltage in a CJFET inverter.

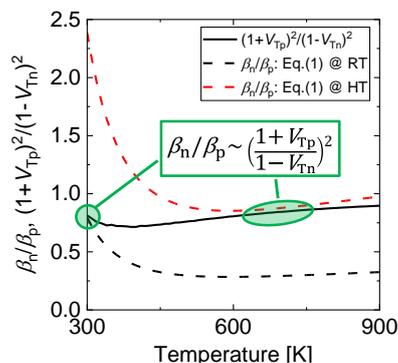


Fig. 2: Temperature dependence of  $\beta_n/\beta_p$  and  $(1 + V_{Tp})^2/(1 - V_{Tn})^2$  in a CJFET inverter.