

# 急峻な SS 特性の為の InGaAs/InP 超格子 FET におけるキャリア濃度依存性

## Dependence of the Carrier Concentration in InGaAs/InP Superlattice-based FETs with a Steep Subthreshold Slope

東工大院理工 ○柏野 壮志, 行待 篤志, 宮本 恭幸

Tokyo Tech ○M. Kashiwano, A. Yukimachi, and Y. Miyamoto

E-mail: kashiwano.m.aa@m.titech.ac.jp

### 1. はじめに

ドーピングした超格子をソースに導入した FET による急峻な SS をもつ FET が提案されている<sup>[1]</sup>。そこで、InGaAs/InP ドープ超格子をソースに、InGaAs をチャンネルに持つ素子の設計について検討を行ったところ、ソースのキャリア濃度において精密な制御が必要であることが判った。

### 2. 急峻な SS を得る仕組み

バンド図を Fig.1 に示す。バンドの非放物線特性を考慮し、素子内の散乱は考慮していない。超格子ソースの電子分布のうち、チャンネルのポトルネック部の障壁高さ  $E_B$  を超えるものが透過率 1 で注入され、 $E_B$  未満の電子は透過率 0 で遮断されるものとした。超格子透過率はシュレディンガー方程式を解くことで得た。超格子によって伝導帯中にミニギャップが生じ、 $E_B$  がミニギャップ中にある場合は  $E_B$  を変調しても電流は変化しない。ここから  $E_B$  と下側ミニバンドの上端が交差すると、注入される電子量が急激に増え、このとき急峻な SS を得る。10 周期(InGaAs 3 nm/InP 0.8 nm)の超格子ソースを持つ場合と単純な InGaAs ソースの場合において、 $E_B$  と電流の関係を Fig.2 に示す。超格子を導入することで、 $E_B$  が 0.35 eV から 0.53 eV では電流が 0.16  $\mu\text{A}/\mu\text{m}$  で変わらないプラトー領域になる。プラトー領域で一定に流れる電流は、上側のミニバンドの底とフェルミ準位の差で決まる。そこでオフ電流の設計に併せて、フェルミ準位の位置の調整=ドーピング濃度の設定を要する。

### 3. キャリア濃度依存性

Fig.2 と同じ超格子構造で  $E_f$  を変えて、 $I_{\text{OFF}}=0.1 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ ,  $I_{\text{ON}}=2 \text{ mA}/\mu\text{m}$  を得る為に必要な  $E_B$  を計算した。 $E_f=0.33 \text{ eV}$  以下で、プラトー領域の電流が  $I_{\text{OFF}}$  を下回る。一方  $I_{\text{ON}}$  は  $E_f$  が 0.24 eV 以上で実現できる。最低電源電圧として要するオン・オフ間の電位差は、 $E_f=0.33 \text{ eV}$  で 0.22 V の最小値をとる。

大きなオン電流と小さなオフ電流を低電圧で実現

するため、ITRS 2011 を基準に超格子設計を行い、これを実現するためのキャリア濃度を計算した。InGaAs 層厚 2 nm, InP 層厚 1.4 nm のときに、HP 基準の  $I_{\text{OFF}}=0.1 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ ,  $I_{\text{ON}}=2 \text{ mA}/\mu\text{m}$  を 0.2 V 以下で実現するためには  $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  から  $1.35 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  ( $E_f$  では 0.37-0.47 eV)を要する。LSTP 基準の  $I_{\text{OFF}}=10 \text{ pA}/\mu\text{m}$ ,  $I_{\text{ON}}=0.5 \text{ mA}/\mu\text{m}$  を 0.3 V 以下で実現するためには  $5.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  から  $9.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  ( $E_f$  では 0.21-0.24 eV)を要する。

### 4. 謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金及び総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の助成を得て行われた。

[1] E. Gnani, et al., IEDM, (2011) 5.1.1.

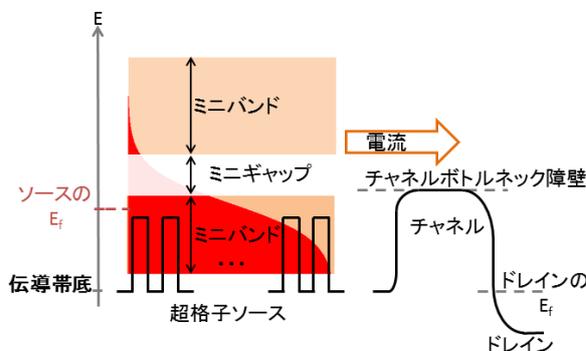


Fig.1 超格子 FET のバンド図

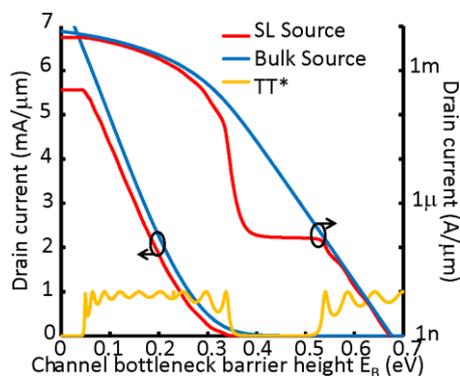


Fig.2  $E_B$  と電流の関係 ( $E_f=0.35 \text{ eV}$ ,  $V_d=0.4 \text{ V}$ )