19p-D7-2

各種チャネル材料を用いたナノスケール HEMT の周波数限界

Frequency Limits of Nanoscale HEMTs with Various Channel Materials

東理大院基礎工¹, 情報通信研究機構² ⁰長井彰平¹, 永井佑太郎¹, 藤川紗千恵¹, 原紳介², 遠藤聡², 渡邊一世², 笠松章史², 藤代博記¹

Tokyo University of Science¹, National Institute of Information and Communications Technology²

°Shohei Nagai¹, Yutaro Nagai¹, Sachie Fujikawa¹, Shinsuke Hara², Akira Endoh², Issei Watanabe², Akifumi Kasamatsu², and Hiroki I. Fujishiro¹

E-mail: j8113633@ed.tus.ac.jp

<u>はじめに</u>: InGaAs HEMT の性能は微細化とチャネル の In 組成比を高め電子速度を向上させることにより 改善されてきた。しかし遮断周波数 f_{T} は 2002 年にゲ ート長 25 nm の In_{0.7}Ga_{0.3}As チャネルで 562 GHz [1], 2011年にゲート長 40 nm の In_{0.7}Ga_{0.3}As チャネルで 688 GHz [2]と, ここ 10 年で急速な進歩がみられない。そ のため, HEMT の周波数限界はどれほどなのかという 疑問が生じる。そこで今回,各種チャネル材料を用い た HEMT の f_{T} の周波数限界,および f_{T} を決定するメ カニズムについて検討したので報告する[3]。

計算手法: チャネル材料の歪バンド構造を rigid-ion 近似を用いた経験的擬ポテンシャル法により計算し [4], 導出したバンドパラメータを量子補正モンテカ ルロ(MC)シミュレーションに用いた[5]。デバイス内 の遅延時間分布 $\tau(x)$ は遅延時間解析と量子補正 MC シミュレーションを用いて算出した[6]。真性遮断周 波数 $f_{\rm T}$ はデバイス内の総遅延時間 $\tau_{\rm total}$ を用いて, $1/2\pi\tau_{\rm total}$ により算出した。

<u>デバイスモデル</u>: 図1に解析に用いた HEMT の断面 構造図と3種類の層構造を示す。チャネル/バッファ (バリア)に用いた材料の組み合わせはデバイス A が $In_{0.7}Ga_{0.3}As/In_{0.52}Al_{0.48}As$, デバイス B が InAs/AlSb, デ バイス C が InSb/In_{0.75}Al_{0.25}Sb とした。チャネルの厚さ は 15 nm とし、ドナー濃度はそれぞれ2.0×10¹², 2.5×10¹², 1.5×10¹² cm⁻²とした。格子不整合によ りデバイス A, C のチャネルにはそれぞれ-1.1 %と -1.3%の圧縮歪み、デバイス B には+1.3%の引張り歪 みが加わる。ゲート長 L_g は 100 から 15 nm まで変化さ せた。

解析結果: 図2に V_{ds} を0.2, 0.4, 0.6 V と変化させた ときの各デバイスにおける平均電子速度 v_d と $\tau(x)$ (L_g =30 nm)を示す。 V_{gs} は遮断周波数 f_T 最大の条件にバ イアスした。デバイス A, C では有効質量 m*が圧縮 歪みにより増加し, デバイス B では引張り歪みによ り減少した。それにも関わらず, InSb チャネルを用 いたデバイス C の v_d は,低い V_{ds} からデバイス A, B よりも高くなった。これによりゲート下の $\tau(x)$ が小さ くなった。一方, V_{ds} が増加すると $\tau(x)$ がドレイン側 に広がった。ここで,実効ゲート長 $L_{g,eff}$ を $\tau(x)$ の広が りで定義し, $L_{g,eff}$ の下限値 $L_{g,eff}$ ⁽⁰⁾を L_g =0 nm への外挿 値として推定した。図3に遮断周波数 f_T と 1/ $L_{g,eff}$ の関 係を示す。この図より線形関係が見られる。また V_{ds} が 増加すると、 $L_{g,eff}^{(0)}$ が長くなる様子が見られる。ここで f_{T} の周波数限界値 $f_{T}^{(0)} & c_{L_{g,eff}}^{(0)} \sim 0$ 外挿値として推定した。デバイス C は低い V_{ds} から高い f_{T} を示し、また $L_{g,eff}^{(0)}$ も短いために、最も高い $f_{T}^{(0)}$ を示した。これは低電圧での THz 動作の可能性を示唆している。 **謝辞**:本研究の一部は東京理科大学総合研究機構先端デバイス研究部門(ADL)の援助を受けた。

[参考文献]

- [1] Y.Yamashita et al., IEEE Electron Device Lett., 23 (2002) 573.
- [2] D.-H.Kim et al., IEDM Tech. Dig., (2011) 13.6.1.
- [3] Y.Nagai et al., Proceedings of 25th IPRM, (2013) ThD2-4.
- [4] H.Nishino et al., Proceedings of 22nd IPRM, (2010) p.156.
- [5] H.I.Fujishiro et al., PSS(C), 5 (2007) 2795.
- [6] T.Takegishi et al., IEICE Trans. Electron., E93-C 8 (2010) 1258.

