

In_{0.78}Ga_{0.22}Sb チャネル HEMT の高周波及び雑音特性に関する モンテカルロシミュレーション解析

High Frequency and Noise Analyses of In_{0.78}Ga_{0.22}Sb Channel HEMTs by Monte Carlo Simulation

○熊坂 昂之輔, 白井 脩策, 遠藤 聡, 藤代 博記(東理大基礎工)

○K. Kumasaka, S. Shirai, A. Endoh, H. I. Fujishiro (Tokyo Univ. of Science)

Email: 8118521@ed.tus.ac.jp

はじめに :高周波特性向上を目的としたトランジスタの一つに、III-V 族化合物半導体である InSb をチャネル層に用いた HEMT がある。しかしながら、InSb は電子有効質量(m^*)が小さく、シートキャリア濃度(N_s)が低い。一方、チャネル層に In_{0.78}Ga_{0.22}Sb を用いることで低い N_s を補った InGaSb チャネル HEMT エピ構造の優位性が報告されている[1]。そこで本研究では、チャネル層に In_{0.78}Ga_{0.22}Sb 及び InSb を用いた HEMT のモンテカルロシミュレーションを行い、高周波及び雑音特性の比較を行った。

計算手法及びデバイスモデル : 量子効果と縮退効果を実効ポテンシャル法とリジェクション法により考慮した量子補正モンテカルロ(QC-MC)シミュレーションを行った[2][3]。雑音特性に関してはゲート雑音電流源とドレイン雑音電流源でモデル化する current-noise-operation モードを用いて解析した。デバイスの端子電流の揺らぎ $\Delta I_d(t)$ から求めたスペクトル密度 $S_{II}(f)$ 、Y パラメータ、真性部分の小信号等価回路計算により2種類のデバイスそれぞれの相互コンダクタンス(g_m)、遮断周波数(f_T)、最小雑音指数(NF_{min})を算出した[4]。

Fig. 1 に、解析に用いた2種類の HEMT の断面構造を示す。Device A はチャネル/バリア層を In_{0.78}Ga_{0.22}Sb/In_{0.60}Al_{0.40}Sb、Device B は InSb/In_{0.75}Al_{0.25}Sb とした。チャネル膜厚は 15 nm、ドナー濃度はそれぞれ 2.0×10^{12} 、 1.0×10^{12} cm⁻² とした。チャネル層にはバッファ層との格子不整合によって Device A は-0.80%、Device B は-0.020% の圧縮歪みがかかっている。ゲート長 L_g は 30 nm とした。

解析結果 : Fig. 2 に g_m 、 f_T のドレイン電流(I_d)依存性を、Fig. 3 に、 NF_{min} の I_d 依存性を示す。ドレイン電圧は 0.4 V とし、ゲート電圧により電流を変化させた。 g_m 、 f_T は I_d により増加し、Device A に比べ Device B の方がわずかに高い値が得られた。また、 NF_{min} はどちらのデバイスにおいても I_d に対して類似した傾向を示したが、Device B の方が雑音が抑えられた。以上のように、 g_m 、 f_T 、 NF_{min} ともに Device B の方がやや優位にある。 f_T の大小は In_{0.78}Ga_{0.22}Sb に比べて InSb の電子有効質量が小さく、飽和電子速度が高いことに起因し、雑音特

性の差は電子速度の増大によるドレイン雑音の減少によると考えられる。以上より、トランジスタの真性成分に関しては InSb チャネル HEMT が高周波低雑音デバイスとしてやや優位である。一方、In_{0.78}Ga_{0.22}Sb HEMT は InSb HEMT に比べシート抵抗が 59%減少するという結果が報告されている[1]。従って、 f_T に関しては寄生成分を考慮することで、In_{0.78}Ga_{0.22}Sb HEMT と InSb HEMT で大小が逆転する可能性がある。

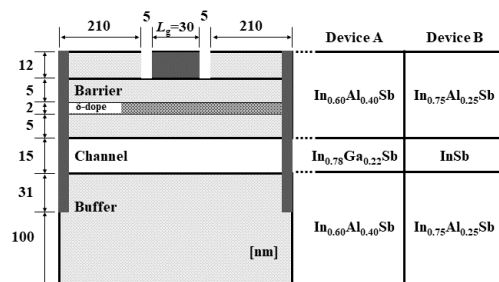


Fig. 1 Model structure of HEMTs.

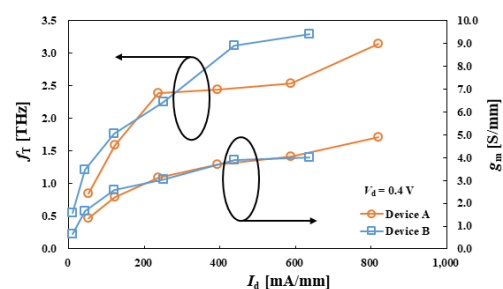


Fig. 2 I_d dependence of g_m and f_T .

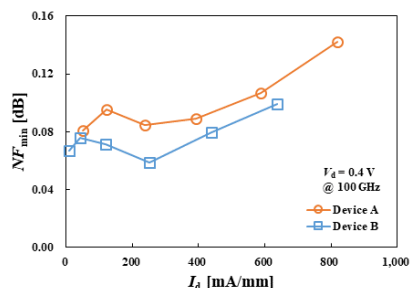


Fig. 3 I_d dependence of NF_{min} .

参考文献 :

- [1] M.Hiraoka *et al.*, PSS(A), **2019**, 1900516.
- [2] H.Nishino *et al.*, Proc. of 22nd IPRM, 2010, p.156.
- [3] H.I.Fujishiro *et al.*, PSS(C), **5** (2007) 2795.
- [4] A.Cappy *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, **32** (1985) 2787.