

エピスケーリングを施した GaInSb-HEMT の特性評価と遅延時間解析

Device Performances and Delay Time Analysis of GaInSb-HEMTs Scaled for Epitaxial Structures

東理大基礎工¹, 情報通信研究機構² ◯岸本尚之^{1,*}, 磯前雄人¹, 林拓也¹, 國澤宗真¹,
渡邊一世^{2,†}, 山下良美², 町田龍人², 原紳介², 笠松章史², 遠藤聡¹, 藤代博記^{1,**}

Tokyo Univ. of Science¹, National Institute of Info. & Com. Tech.² ◯N. Kishimoto^{1,*}, Y. Isomae¹,
T. Hayashi¹, M. Kunisawa¹, I. Watanebe^{1,2}, Y. Yamashita², R. Machida², S. Hara², A. Kasamatsu²,
A. Endoh¹ and H.I. Fujishiro^{1,**} E-mail: *8119524@ed.tus.ac.jp, **fujisiro@rs.tus.ac.jp

はじめに: これまで我々は、III-V 族化合物半導体の中でも電子有効質量の小さな Sb 系高電子移動度トランジスタ (HEMT) である $\text{Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{Sb}/\text{InSb}$ -HEMT (チャネル層厚 (d_c) 20 nm、スペーサ層厚 (d_s) 5 nm) [1]において遮断周波数 (f_T) 316 GHz を、 $\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}/\text{Ga}_{0.22}\text{In}_{0.78}\text{Sb}$ -HEMT ($d_c = 20$ nm, $d_s = 5$ nm) [2]において $f_T = 214$ GHz をそれぞれ報告した。本研究では、 $\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}/\text{Ga}_{0.22}\text{In}_{0.78}\text{Sb}$ -HEMT のエピ結晶における d_c 及び d_s 短縮によるゲート・チャネル間距離のスケールリング効果について、DC・RF 特性評価及び遅延時間解析によって明らかにした。

実験・結果: 作製した 1 段リセスゲート構造 GaInSb-HEMT (ゲート長 (L_g) 35–400 nm) は、(1) $d_c = 20$ nm, $d_s = 5$ nm (Standard)、(2) $d_c = 10$ nm, $d_s = 5$ nm (Thin-channel) 及び (3) $d_c = 20$ nm, $d_s = 3$ nm (Thin-spacer) で、HEMT 作製に使用したヘテロ構造は (100) GaAs 基板上に MBE 成長した。Fig. 1 は $L_g = 35$ nm における I_{ds} - V_{gs} 特性で、3 試料とも良好なピンチオフを示すとともに、Thin-spacer は最大の $I_{ds} = 403$ mA/mm を示した。これは Thin-spacer のソース抵抗とドレイン抵抗の和 ($R_s + R_d$) が $0.74 \Omega\text{mm}$ で、Standard ($1.06 \Omega\text{mm}$) や Thin-channel ($1.47 \Omega\text{mm}$) と比べて約 30–50% 低減したためであった。Fig. 2 は $V_{ds} = 0.5$ V における f_T と g_m の L_g 依存性で、Thin-spacer は、 $L_g = 70$ nm で相互コンダクタンス (g_m) 0.81 S/mm を、 $L_g = 35$ nm で $f_T = 301$ GHz をそれぞれ達成し ($V_{gs} = -0.3$ V)、GaInSb チャネル HEMT においても InSb チャネル HEMT と同程度の特性を実証した。RF 特性を詳細に議論するため遅延時間解析[3,4]を行った結果 (Fig. 3)、いずれの試料も真性の遅延時間でゲート直下の電子走行時間を示す τ_{transit} の割合が最も大きく、 d_s 短縮 (5 → 3 nm) や d_c 短縮 (20 → 10 nm) により τ_{transit} は減少した。これは τ_{transit} がゲート直下の平均電子速度 (v_{ave}) の影響を受ける[3]ことから、ゲート・チャネル間距離の短縮による v_{ave} 増大によるものと考えられる。一方、寄生遅延時間 (τ_p) とチャネル充電時間 (τ_{cc}) の和は d_c を短縮すると増大し、 d_s を短縮すると減少した。 $\tau_p = C_{gd}(R_s + R_d)$ はゲート・ドレイン間容量 (C_{gd}) よりも $R_s + R_d$ に強く依存していた。また、 τ_{cc} については d_c 短縮によって増加した。これは τ_{cc} が電子移動度 (μ) や電子濃度、 I_{ds} と関係があり[4]、 d_c 短縮はラフネス散乱による μ の減少[5]、かつ $R_s + R_d$ の増大により I_{ds} が減少したためと考えられる。一方 d_s 短縮はリモートクーロン散乱により μ が減少する[5]が、3 試料の中で I_{ds} は最大であったため、Standard と同じ τ_{cc} を示したと考えられる。以上の結果、Thin-spacer の GaInSb-HEMT において、遅延時間がゲート・チャネル間距離の短縮と $R_s + R_d$ の低減によって減少したため、スケールリングの効果を検討するための 3 種類のエピ構造の中で最も高い $f_T = 301$ GHz を示したことを定量的に明らかにした。

参考文献: [1] N. Oka *et al.*, Proc. TWHM2017, no. 9-6. [2] K. Osawa *et al.*, Proc. TWHM2019, no. 6-4. [3] T. Enoki *et al.*, IEEE EDL **11**, 502 (1990). [4] T. Enoki *et al.*, IEICE Trans. Electron. **E76-C**, 1402 (1993). [5] N. Kishimoto *et al.*, Proc. CSW2019, no. MoP-A-2. [6] K. Shinohara *et al.*, IEEE EDL **25**, 241 (2004).

謝辞: 本研究の一部は JSPS 科研費 20H02211 の助成により実施した。

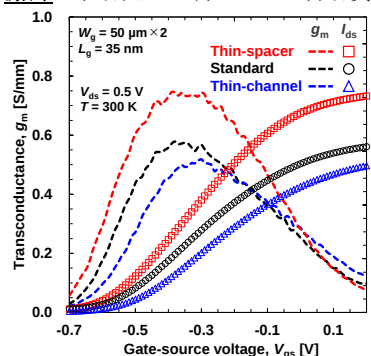


Fig. 1. I_{ds} - V_{gs} characteristics for three-type GaInSb-HEMTs with $L_g = 35$ nm.

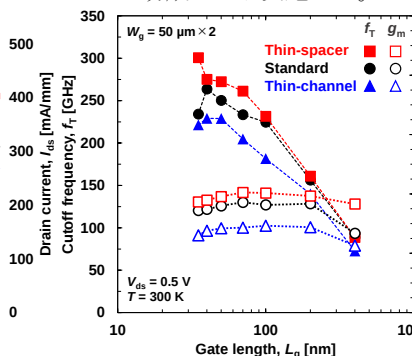


Fig. 2. L_g dependence of f_T and g_m for three-type GaInSb-HEMTs.

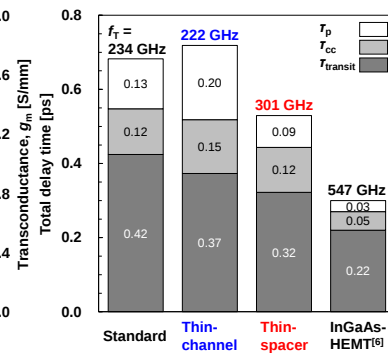


Fig. 3. Delay time analysis for three-type GaInSb-HEMTs with $L_g = 35$ nm and InGaAs-HEMT with $L_g = 30$ nm[6].