

歪超格子バッファを用いた GaInSb HEMT の電気的特性と膜厚の評価

Evaluation of Electric Characteristics and Film Thickness for GaInSb HEMTs with Strained-Layers Superlattices

東理大基礎工¹, 情報通信研究機構² 國澤 宗真¹, 林 拓也¹, 平岡 瑞穂¹, 大金 剛毅¹,
渡邊 一世^{2,1}, 山下 良美², 原 紳介², 町田 龍人², 笠松 章史², 遠藤 聡¹, 藤代 博記¹

Tokyo Univ. of Science¹, NICT² 〇M. Kunisawa¹, T. Hayashi¹, M. Hiraoka¹, G. Ogane¹,

I. Watanabe^{2,1}, Y. Yamashita², S. Hara², R. Machida², A. Kasamatsu², A. Endoh¹, and H. I. Fujishiro¹

E-mail : 8120522@ed.tus.ac.jp

背景：高電子移動度トランジスタ (high electron mobility transistor, HEMT) はテラヘルツ帯域で動作可能な超高速デバイスの一つとして期待されている。我々は以前より、電子の有効質量が軽く電子移動度 (μ) が高い Sb 系材料を用いた HEMT に注目してきた。その中でもある程度高い電子移動度を維持しつつ電子濃度 (N_d) を高くしてシート抵抗を下げるができる GaInSb チャンネル HEMT[1,2]の研究開発を行ってきた。本研究では AlSb 層と $\text{Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{Sb}$ 層との間の格子不整合緩和を目的とし、 $\text{InSb}/\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ 歪超格子 (strained-layer superlattice, SLS) を AlSb 層と $\text{Al}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{Sb}$ 層の間に設置することによる $\text{AlInSb}/\text{GaInSb}$ 量子井戸 (quantum well, QW) の電気的特性への影響を検討した。併せて、SLS を用いた膜厚評価についても調べた。

実験及び結果：Fig.1 は分子線エピタキシー (MBE) 法により GaAs (100) 基板上に成長した 4 つの GaInSb HEMT 構造の断面模式図である。 $\text{InSb}/\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ SLS の効果を比較するため、作製した 4 つの構造における $\text{AlInSb}/\text{GaInSb}$ QW 構造は同じにした。(a)はメタモルフィックバッファ構造、(b)-(d)は $\text{InSb}/\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ SLS を導入した HEMT 構造である。(b),(c),(d)は $\text{InSb}/\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ の膜厚をそれぞれ 2.0/4.5 nm, 2.0/2.0 nm, 2.5/2.5 nm とした。

Fig.2 は 4 つの構造における電子移動度と貫通転位の関係を示している。SLS を導入することで貫通転位密度 (D_{TD}) が減少し、 D_{TD} が減少すると電子移動度は増加する傾向にあることが分かる。次に、(d)の GaInSb HEMT の膜厚評価について、STEM と X 線ピーク解析という 2 つの方法を用いて行った。

Fig.3 は X 線回折パターンのシミュレーションと実験値を示している。Fig.1(d)の構造をシミュレーションの入力値とした。シミュレーションに類似した X 線ピークの実験値が得られたことにより、成膜技術の正確性が確認できる。実験値の X 線ピーク解析より $\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ 膜厚 (Fig.1 の赤字部分) を推定した。STEM による実測値は 33.0 ± 0.1 nm、X 線ピーク解析からは 33.7 nm と推定された。2 つの方法により推定される $\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ 膜厚差は 2.1%であり、X 線ピーク解析による非破壊膜厚評価は STEM による膜厚評価と同等の精度の高い膜厚評価方法であることが示された。

本研究より GaInSb HEMT への SLS 導入は貫通転位抑制と X 線回折を用いた非破壊膜厚評価の 2 つに有効であることが分かった。

参考文献：[1] K. Osawa *et al.*, Ext. Abst. TWHM2019, 6-4. [2] M. Hiraoka *et al.*, PSSA **217**, 1900516 (2020).

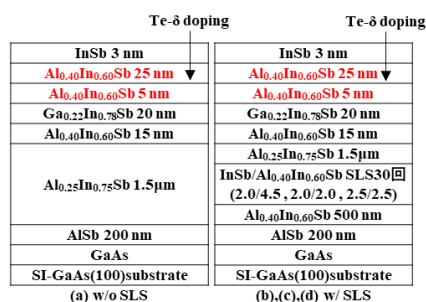


Fig. 1. Schematic view of GaInSb HEMT structures. (a) contains metamorphic buffer, and (b)-(d) contain metamorphic and $\text{InSb}/\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ SLS buffer layers.

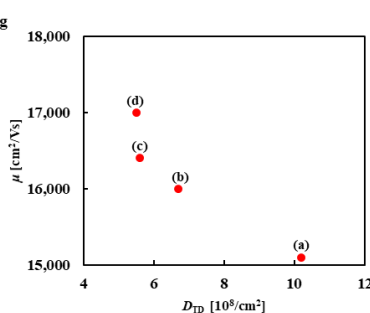


Fig. 2. Relationship between Electron mobility (μ) and threading dislocation density (D_{TD}) for each HEMT structure. (a) w/o SLS, and (b)-(d) contain $\text{InSb}/\text{Al}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{Sb}$ SLS buffer layers. (2.0/4.5, 2.0/2.0, 2.5/2.5)

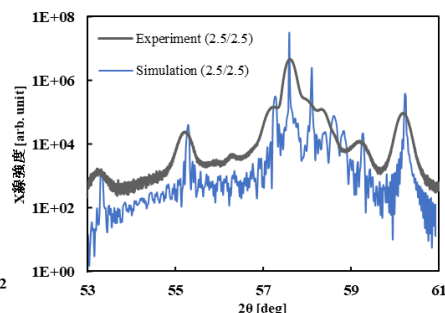


Fig. 3. Comparison of experiments and simulations on X-ray diffraction patterns.