

InAs-PHEMT における Auger 再結合時間についての検討

Consideration on the Auger recombination lifetime in InAs-PHEMTs

東理大基礎工 °西尾 結, 佐藤 宇人, 平山 尚美, 飯田 努, 高梨 良文

Tokyo Univ. of Science

°Yui Nishio, Takato Sato, Naomi Hirayama, Tsutomu Iida, and Yoshifumi Takanashi

E-mail: j8213703@ed.tus.ac.jp

1. 諸言

InP を基板とした InAs-PHEMT は、優れた電子輸送特性、高電子密度を有している。しかしながら、狭バンドギャップ(E_g)であるためにドレイン電極側で衝突イオン化により電子・正孔対が発生し、チャンネル電界により正孔がソース電極側に蓄積する。これが高ドレインコンダクタンスの原因となっている。前回の発表では、正孔蓄積が InAs-PHEMT 特性に与える影響を理論・実験の両面から解明することにより、Auger 再結合時間が正孔濃度依存性を持つことを示した[1]。しかしながら、狭 E_g 系かつ量子構造における Auger 再結合理論は構築されていない。量子構造においては、主な遷移が第 1 電子-正孔量子準位間で生じるため(選択則)、実効的な $E_g(E_{g,eff})$ がサブバンド量子準位だけバルク構造における E_g よりも大きくなり、Auger 再結合時間は長くなると報告されている[2,3]。しかし交換相互作用などを含んだ厳密計算はなされていない。本研究では、Auger 再結合確率の計算において重要なパラメータとなる① $E_{g,eff}$ 、②Overlap Integral を HEMT 構造について解析した。

2. 試料構造

今回理論解析に用いた InAs-PHEMT の試料構造を図 1 に示す。電子系に対する伝導帯の非放物線性を考慮した理論解析の結果、2DEG の 95%以上が InAs 内へ閉じ込められていることが分かっている[4]。エピタキシャル層はアンドープの InAlAs バッファ層及び $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InAs}/\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 複合チャンネル層(10 nm)、 $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ の Si δ -ドーピング層を含む InAlAs バリア層(4 nm)より成っている[5]。

3. 結果及び考察

正孔面密度 p_s をパラメータとして、 $E_{g,eff}$ の V_{GS} 依存性を求めた(図 2)。 $E_{g,eff}$ は第 1 電子-正孔量子準位間のエネルギー差である。 $E_{g,eff}$ については V_{GS} の増加とともに減少し、既報のものとは異なる結果が得られた。これは電子・正孔が共存する量子構造において厳密な理論解析手法を用い、正確なエネルギー状態及びキャリア濃度を解析できたことに依る。具体的には、①伝導帯の非放物線性を考慮すると、放物線近似の結果のように電子のサブバンドエネルギー準位が高くないこと、また②キャリア間の交換相互作用を考慮すると高キャリア濃度領域においてバンドの湾曲が生じ、電子-正孔間の量子準位が近づくことが原因である。また高 V_{GS} 領域では、2DEG の密度が大きくなるため、この効果は歴然としている(図 2)。これは高 V_{GS} 領域において Auger 再結合時間が短くなることを示唆している。

次に、Overlap Integral の V_{GS} 依存性を図 3 に示す。上述のようにバンドが湾曲すると、電子濃度と正孔濃度の分布にずれが生じる。このため高 V_{GS} 領域において Overlap Integral が急激に下がる結果となった。これは $E_{g,eff}$ の結果とは逆に高 V_{GS} 領域において Auger 再結合時間が長くなることを示している。どちらの効果も Auger 再結合時間に対して支配的になるかについては、今後 Auger 再結合時間を数値的に見積もり、実験値との比較を行うことで明らかにする。

4. 参考文献

- [1] 小松竜大 2015年 第62回応用物理学会春季学術講演会 13p-P17-2. [2] N. K. Dutta, J. Appl. Phys. **54** (1983) 1236. [3] A. Haug, Semicond. Sci. Technol. **7** (1992) 1337. [4] Y. Nishio, T. Iida, and Y. Takanashi: Phys. Status Solidi A **210** (2013) 2423. [5] D. H. Kim and J. A. del Alamo, IEEE Electron Devices **57**, 1504 (2010).

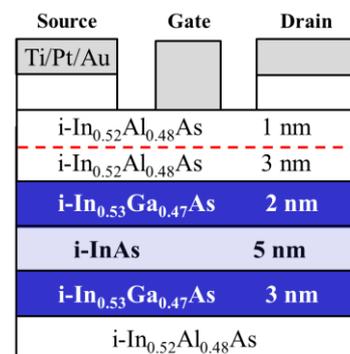


図 1 InAs-PHEMT の試料構造[5]

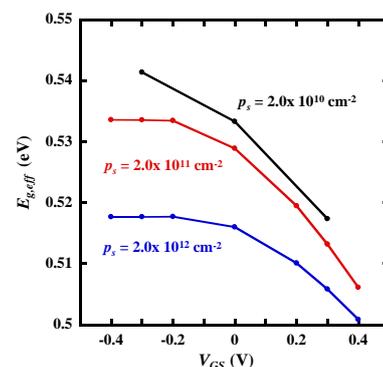


図 2 $E_{g,eff}$ の V_{GS} 依存性

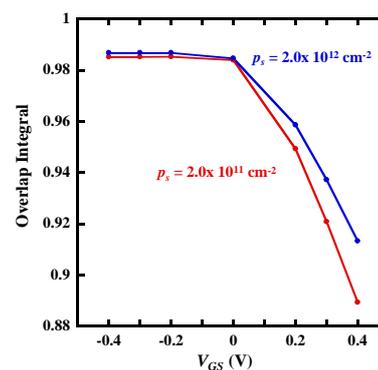


図 3 Overlap Integral の V_{GS} 依存性