

二次元電子ガスのエネルギー状態の解析結果と実測値の比較

Comparison between theoretical and experimental results for energy states of two-dimensional electron gas

東京理科大学大学院 基礎工学研究科 材料工学専攻

○西尾 結, 丹下 貴博, 市川 有保, 平山 尚美, 飯田 努, 高梨 良文

Department of Materials Science and Technology Faculty of Industrial Science and technology Tokyo University of Science

E-mail: j8211654@ed.tus.ac.jp

1. 緒言

InP を基板とした InAs-PHEMT は、伝導帯のエネルギー不連続 ΔE_c が大きいことから優れた電子輸送特性、高電子密度を有しており、688GHz の電流利得遮断周波数 f_T が報告されている[1]。しかしながら InAs のような狭エネルギーギャップ半導体中の 2DEG のエネルギー状態を厳密に決定するためには、伝導帯の非放物線性を考慮すべきである[2]。我々は ICPS 2012 及び 2012 年秋季応用物理学会において、厳密な状態密度有効質量及び伝導帯の非放物線性を考慮した 2DEG のエネルギー状態の一般的な理論解析手法の提案を行った[3, 4]。今回はその解析手法を適用して求めた閾値電圧 V_{TH} と、既報のデバイスの測定結果における V_{TH} [5]との比較を行うことで、解析手法の厳密さを示すことを目的とした。

2. 解析方法

計算に用いた InAs PHEMT の層構造を図 1 に示す。既報のデバイス[5]と同構造をとった。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。InAs 層の厚さは臨界膜厚内の 5nm である。このとき電極とのショットキー障壁は 0.655 eV とした[6]。

$$I_{DS} = n_s q v_s \quad [A / \mu m] \quad (1)$$

$$f_T = \frac{v_s}{2\pi(L_g + \Delta L_g)} \quad (2)$$

理論解析手法の詳細については 2012 年秋季応用物理学会で述べた通りである[3, 4]。摂動論を用いることにより、厳密な状態密度有効質量及び伝導帯の非放物線性を考慮することが可能となった。この非放物線近似法を図 1 の InAs PHEMT に適用し、シート電子密度(n_s)のゲート・ソース間電圧(V_{GS})依存性を求めた。 n_s の値を速度飽和モデルにおける電流の式(1)に代入し、ドレイン・ソース間電流(I_{DS})を計算した。飽和速度(v_s)の値は文献[5]の値を(2)式に代入することで求めた。ここで実効ゲート長 $L_g + \Delta L_g$ については文献[7]より見積もった。

3. 結果及び考察

I_{DS} の V_{GS} 依存性を求め、 V_{TH} を見積もった。これを図 2 に示す。非放物線近似法を用いた解析結果を (a)、既報のデバイス測定結果[5]を(b)とした。 V_{TH} はそれぞれ -0.11 V、-0.09 V となり、ほとんど差異が見られないことが分かった。このことから、我々の提案する解析手法の正確さを示すことができた。傾きに違いが生じた理由としては、実験的に導出した v_s によるものであると考えられる。

4. 参考文献

- [1] D. H. Kim, B. Brar, and J. A. del Alamo, IEEE IEDM11-319 (2011).
- [2] E. O. Kane, in *Semiconductors and Semimetals*, edited by A. C. Beer, (Academic, New York, 1966), Vol. 1, p.75.
- [3] Y. Nishio, T. Iida, and Y. Takanashi, 31st ICPS (2012) 37.19.276
- [4] 西尾結 2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会12a-F2-5
- [5] D. H. Kim and J. A. del Alamo, IEEE Electron Devices 57, 1504 (2010).
- [6] Larry P. Sadwick, C. W. Kim, Kin L. Tan, and Dwight C. Streit, IEEE Electron Devices Lett. 12, 11 (1991).
- [7] T. Takegishi, H. Watanabe, S. Hara, and H. Fujishiro, IEICE Trans. Electron. E93-C (2010)

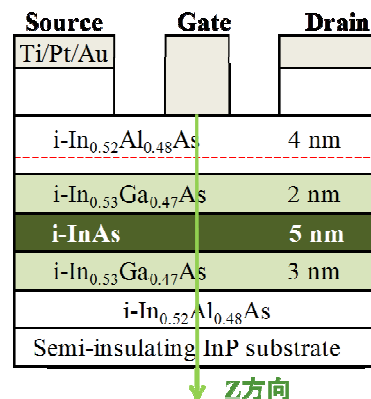


図 1 InAs PHEMT の試料構造

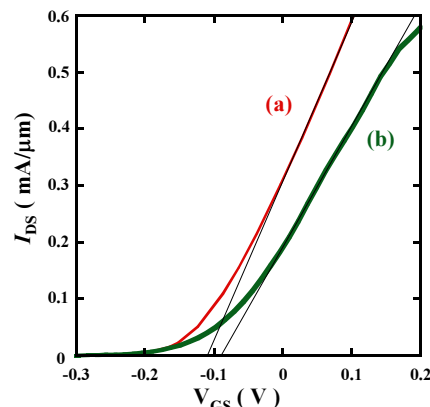


図 2 I_{DS} の V_{GS} 依存性