19p-D7-7

伝導帯の非放物線性を考慮した歪 InSb-HEMT における二次元電子ガスのエネルギー状態の理論解析

Theoretical study of energy states of two-dimensional electron gas in pseudomorphically strained InSb HEMTs taking into account the non-parabolicity of the conduction band

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

Tokyo Univ. of science,　°Nishio Yui, Takahiro Tange, Takato Satou, Naomi Hirayama, Tsutomu Iida, and Yoshifumi Takanashi

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

1. 諸言

我々はこれまでに InP を基板とした InAs-PHEMT につ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てきた[1, 2]。今回はより狭エネルギーギャップであり、非放物線性の影響が強いと予想される InSb-PHEMT について理論解析手法の適応を行い、有用性を検証する。

2. 解析手法

計算に用いた InSb-PHEMT の層構造を図 1 に示す。既報のデバイス[3]と同構造をとった。しかしながら 2DEG の濃度を大きくとるためには ΔEc を大きくする必要があり、AlInSb の組成を AlSb 寄りに設定した。エピタキシャル層はアンドープの $Al_{0.45}In_{0.55}Sb$ バッファー層及び InSb チャネル層(10 nm)、$2x10^{12}$ cm^{-2} の Si δ-ドーピング層を含む $Al_{0.45}In_{0.55}Sb$ バリア層(50 nm)より成っている。

3. 結果及び考察

Krijn の関係[4]に基づいて算出した ΔE_c, ΔE_v, E_g の組成依存性を図 2 に示す。本解析では x=0.45 に設定した。このとき ΔE_c=0.40 eV である。InSb-PHEMT における非放物線性を考慮した計算結果を図 3 に示す。2DEG のシートキャリア濃度 n_s は、これに比べて放物線性近似の場合は $1.71x10^{12}$ と計算された。以上のことから InSb のような狭ギャップ半導体をチャネル層に有する HEMT のデバイス特性を議論する上では、非放物線性バンドを必ず考慮しなくてはならないといえる。さらに、非放物線性の影響について InAs-PHEMT の場合[1, 2]と比較・検証した。本解析手法においては摂動項に非放物線性を示す項を取り込むことで、2 次までの摂動論を用いて計算を行っている。すなわち、E_1、E_2 はそれぞれ(1)式、(2)式のように表される。

$E_1 = E_1(0) + E_1(1st) + E_1(2nd)$ (1),　$E_2 = E_2(0) + E_2(1st) + E_2(2nd)$　(2)

摂動項の影響を考えるために、サブバンドエネルギーにおける 1 次の摂動項及び 2 次の摂動項の大きさを比較した。これを表 1 に示す。このように、InAs-PHEMT の場合は 2 次の摂動項の影響はほぼなく、1 次までの摂動で十分解析可能だといえる。しかしながら InSb-PHEMT においては 2 次の摂動項の影響が強く出ているため、2 次まで計算に取り込むべきだといえる。また今回の解析においては、Δ Ec を大きくするために臨界膜厚を考慮していない。よって現実的には InAsSb 緩衝層を InSb の両側に用いた、複合チャネル層を使用すべきであると考えられる。

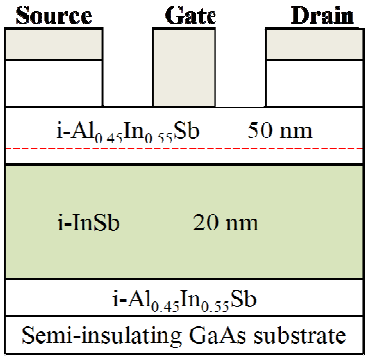

図 1　InSb PHEMT の試料構造

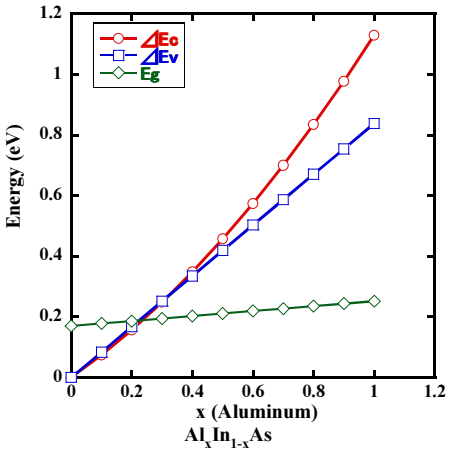

図 2　ΔE_c, ΔE_v, E_g

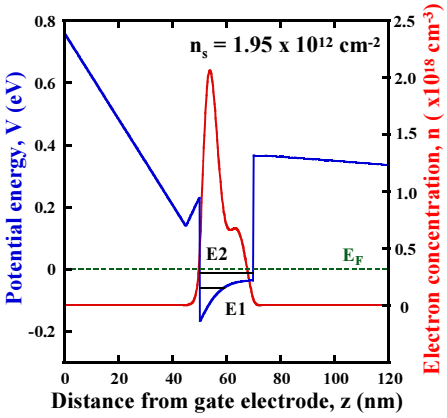

図 3　InAs PHEMT の電子状態

表 1　非放物線性の影響

	$E_1(2nd)/E_1(1st)$	$E_2(2nd)/E_2(1st)$
InAs	0.5%	5%
InSb	10%	20%

4. 参考文献

[1] Y. Nishio, T. Iida, and Y. Takanashi, 31st ICPS (2012) 37.19.276.
[2] 西尾結 2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会12a-F2-5.
[3] S. Datta, T. Ashley, J. Brask, L. Buckle, M. Doczy, M. Emeny, D. Hayes, K. Hilton, R. Jefferies, T. Martin, T. J. Phillips, D. Wallis, P. Wilding and R. Chau, IEEE, Electron Devices Meeting, IEDM (2005).
[4] M P C M Krijin, Semicond. Sci. Technol. 6, 27 (1991).

© 2013 年　応用物理学会