

分極接合基板における 2DEG 枯渇電圧の解析的導出

Analytical evaluation of 2DEG depletion voltage in polarization junction substrate

東京工業大学¹, 産業技術総合研究所²

○(B) 松橋泰平¹, 星井拓也¹, 沖田寛昌¹, 中島昭², 角嶋邦之¹, 若林整¹, 筒井一生¹

Tokyo Tech¹, AIST² ○T. Matsuhashi¹, T. Hoshii¹, H. Okita¹, A. Nakajima²,

K. Kakushima¹, H. Wakabayashi¹, and K. Tsutsui¹

E-mail: matsuhashi.t.ab@m.titech.ac.jp

[序論] 分極接合基板は GaN/AlGaIn/GaN ダブルヘテロ構造により二次元電子ガス(2DEG)と二次元正孔ガス(2DHG)を同一基板上に形成できることから、GaN パワーICにおいて GaN 相補型回路を実現しうる基盤技術である。しかしながら、現状では 2DHG をチャネルとするデバイスにおいて十分な性能が得られておらず、結晶成長の最適化やボトルネックとなっている物性の解明が求められる。これまでに我々は、C-V 特性から 2DEG 側界面の固定電荷 (あるいは帯電した欠陥)密度を求める手法[1]に加え、2DHG 側界面の電荷密度をシートキャリア濃度のバックゲート依存性から求められることを提案してきた[2]。これらの結果から分極接合基板の C-V 特性において、2DEG の枯渇に伴う急激な容量変化が観測できることがわかっている。電子デバイスの動作を把握し、特性を評価するためには、このような特徴的な特性を理解することが重要である。そこで、本研究では 2DEG 枯渇電圧(V_{dep})について解析的に議論する。

[手法] GaN/AlGaIn/GaN ダブルヘテロ界面の 2DEG と 2DHG に対し、それぞれにコンタクト電極を形成したキャパシタを考える。この時のバンド図と電荷分布を図 1 に示す。考慮する電荷は GaN/AlGaIn 界面の分極電荷($\pm P_{\text{total}}$)、二次元キャリアガス電荷($+N_{\text{sh}}(2\text{DHG})$, $-N_{\text{sh}}(2\text{DEG})$)、界面固定電荷($Q_{\text{i}}(2\text{DHG})$, $Q_{\text{i}}(2\text{DEG})$)、空乏層の空間電荷($Q_{\text{s}}(2\text{DEG})$)である。2DHG 側の空間電荷については膜厚が薄いことから無視できるものとする。また、2DEG 側の GaN は 2DEG HEMT のオフ特性の向上のために低濃度の p 型となるように成長されている。キャリア濃度については $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ と仮定した。さらに、熱平衡状態においてヘテロ界面に十分な 2DHG および 2DEG が発生している場合を考える。それぞれのバンド端はフェルミ準位を超えており、AlGaIn 層両端での初期ポテンシャル差(ψ_{p0})は少なくとも GaN の禁制帯幅、3.4 eV 以上であり、超過分は簡単のためそれぞれの界面で $3kT/q$ とした。これにより両側の GaN 層のバンド曲がりもそれぞれ定義できる。

[結果] AlGaIn 層の両端に十分な密度の 2DHG および 2DEG が生じている場合、2DEG 側にかけられた正の電圧(V_{B})は主に AlGaIn 層の両端のキャリア密度を減少させる。この減少量は AlGaIn 層を静電キャパシタ(容量: C_{AlGaIn})とみなすことで以下のように仮定できる。

$$-\frac{dQ_{\text{total}}(2\text{DHG})}{dV_{\text{B}}} = \frac{dQ_{\text{total}}(2\text{DEG})}{dV_{\text{B}}} = \frac{C_{\text{AlGaIn}}}{q}$$

ただし Q_{total} は AlGaIn 層を境界とした 2DHG 側および 2DEG 側の総電荷量である。2DEG 側の変動する電荷は 2DEG と空間電荷であるため、初期状態の総電荷量と、2DEG が枯渇した状態の総電荷量の差分に q/C_{AlGaIn} を乗じることで V_{dep} を導出できる。ここで

$$A = \sqrt{2\varepsilon_s q N_{\text{A}} / C_{\text{AlGaIn}}}$$

とすると V_{dep} は以下の式で得ることができる。

$$V_{\text{dep}} = \frac{qN_{\text{sh}}(2\text{DEG})_0}{C_{\text{AlGaIn}}} + A \left\{ \left(\sqrt{\psi_{\text{i}}(2\text{DEG})_0} + A \right) - \sqrt{\left(\sqrt{\psi_{\text{i}}(2\text{DEG})_0} + A \right)^2 + \frac{qN_{\text{sh}}(2\text{DEG})_0}{C_{\text{AlGaIn}}}} \right\}$$

当日は実測及びシミュレーションで得られた C-V 特性を交えつつ議論する。

[参考文献] [1] T. Hoshii, *et al.*, *JJAP* **58**, 061006 (2019). [2] T. Hoshii, *et al.*, ICNS 2019, IP02.21.

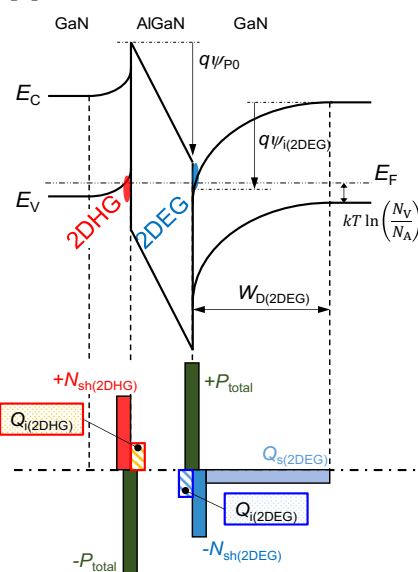


図 1. GaN/AlGaIn/GaN ダブルヘテロ構造におけるバンド図と電荷分布