

AlGaN/GaN HEMT における界面凹凸散乱と合金散乱の大小関係

Relative Importance of Interface-Roughness Scattering and Alloy-Disorder Scattering in AlGaN/GaN HEMTs

豊田工大 ◯秋山 芳広, 丹羽 亮介, 榎 裕之

Toyota Technological Institute ◯Yoshihiro Akiyama, Ryosuke Niwa, Hiroyuki Sakaki

E-mail: y-akiyama@toyota-ti.ac.jp

AlGaN/GaN HEMT のキャリア面密度を増やすと、移動度は増えてから減る。この減少の主原因が、AlGaN/GaN 界面の凹凸による散乱であるか、あるいは、AlGaN 障壁内の Al と Ga の不規則配置による散乱 (合金散乱) であるか、という問題は未解決であった。

この度、我々は、丁寧な方法で合金散乱の頻度を計算し、実験と対比することにより、この問題への結論を得た。すなわち、合金散乱よりも強い「界面凹凸散乱」を想定しなければ、実験結果を説明できない、とわかった。同時に、合金散乱の寄与も無視できないことが判明した。

実験に用いたのは標準的な AlGaN/GaN 構造であり、AlGaN 層の厚さは 27.2 nm、Al 組成は 0.26 である。AlN スペーサ層は無い。ホールバー形状の伝導領域とゲート電極を形成し、ホール測定を 4 K で行った。ゲート電圧 V_g を -3.75 V から $+0.25$ V まで変えると、キャリア面密度 N_s は単調に増えるが、移動度 μ_{exp} は -3.0 V で極大 (12000 cm^2/Vs) に達した後、 6000 cm^2/Vs まで低下する。

合金散乱が制限する移動度 μ_{AD} を計算するためには、まず、AlGaN 障壁内 ($z < 0$) に浸入する 2 次元電子の波動関数 $\zeta(z)$ を、適切に計算する必要がある。我々は、Ando により AlGaAs/GaAs 系の合金散乱のために提示された「丁寧な」試行波動関数[1]

$$\zeta_A(z) = \begin{cases} Bb^{1/2}(bz + \beta) \exp\left(-\frac{bz}{2}\right) & (z > 0) \\ Aa^{1/2} \exp\left(\frac{az}{2}\right) & (z < 0) \end{cases}$$

を用いた。ハートリー近似の下で変分計算を行い、5 つの変分パラメータを決定すると、波動関数の形が確定する (FIG. 1)。これを用いて、合金散乱の移動度 μ_{AD} を計算した (FIG. 2)。

測定値 (μ_{exp}) と比べると、 μ_{AD} の方が数倍以上大きい。合成移動度の理論曲線 ($\mu_{total}-N_s$ 曲線) を測定値に適合させるには、この μ_{AD} と、低 N_s 領域で強まる荷電中心散乱の移動度 μ_{CC} を合成する ($1/\mu_{total} = 1/\mu_{AD} + 1/\mu_{CC}$) だけでは不十分である。高 N_s 領域で強まる「界面凹凸散乱」の移動度 μ_{IR} を含める ($1/\mu_{total} = 1/\mu_{AD} + 1/\mu_{CC} + 1/\mu_{IR}$) ことで、理論曲線を測定値に一致させることができる。その際の μ_{AD} と μ_{IR} の比は、「空乏電荷」の密度 N_{dep} の設定値に依存する。 N_{dep} を想定し得る範囲 ($5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \leq N_{dep} \leq 2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) の中で設定したとき、 $N_s = 9.1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ における μ_{AD}/μ_{IR} の値は、3.3 から 1.6 までの範囲に入ると判明した。

謝辞

研究推進に支援頂いたトヨタ自動車の杉本雅裕氏と富田英幹氏、豊田中研の加地徹氏に感謝する。

[1] T. Ando, J. Phys. Soc. Jpn. 51, 3900 (1982).

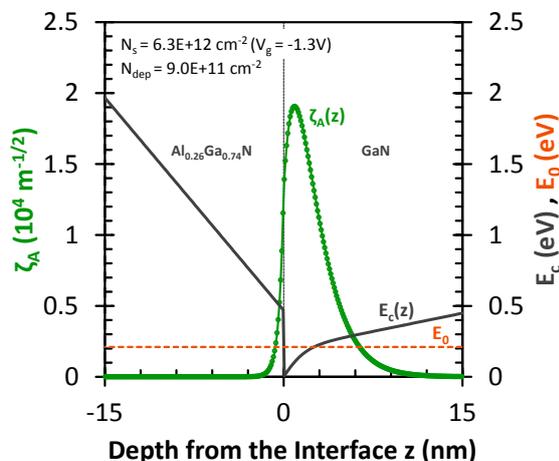


FIG. 1. A result of the variational calculation: the electron wavefunction $\zeta_A(z)$, the conduction-band profile $E_c(z)$, and the quantum level E_0 .

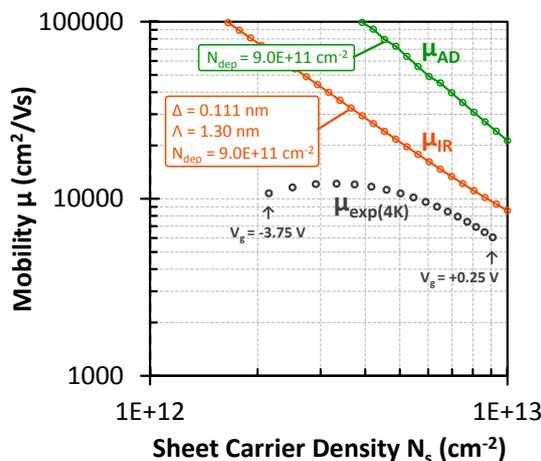


FIG. 2. The alloy-disorder-limited mobility μ_{AD} and the interface-roughness-limited mobility μ_{IR} calculated, and compared with Hall mobilities μ_{exp} at 4 K.