

京都大学 工学部

佐々木昭夫

田中 哲郎

はしがき ガン効果半導体に、境界を印加したときの電子遷移および電界-速度特性などを明らかにすることは、物理的な立場のみならず、境界印加による共振の新しい効果を知る上に必要と考えられる。これまでに、マイクロ波技術による境界印加時の電界-速度特性の測定、モンテカルロ法による計算、変位マックスウェル分布関数を展開した簡易法による計算が行われていた。しかしこれらの報告において、真微分移動度の生ずる臨界電界が高電界側へずれることを除いて、一致した結果が得られておらず、境界の効果に関して不明な点が多い。本研究では、二つの導電谷のボルツマン方程式を解き、境界を考慮したときの分布関数を求め、いろいろの結果を得た。この概要では、新たに得られた結果のうち代表的なものを記し、境界を用いたときのガン効果ダイオードへの応用について触れる。

理論 低い導電谷の(移動度の大きい)電子に対する分布関数を f_1 、高い導電谷の(移動度の小さい)電子のそれを f_2 とする。x方向に電界 E_x を、y方向に境界Bを印加したとき、 f_1 、 f_2 に対する方程式は、ボルツマン方程式より次のように求む。

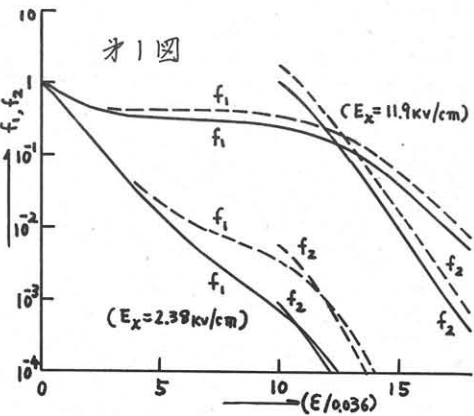
$$\frac{2q^2(E_x^2 + E_y^2)}{3m_1^* \epsilon^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{\partial}{\partial E} \left\{ \frac{\epsilon^{\frac{3}{2}} \tau^{(1)} \left(\frac{\partial f_1}{\partial E} \right)}{1 + \left(\frac{q \tau^{(1)} B}{m_1^*} \right)^2} \right\} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_c = 0$$

$$\frac{2q^2(E_x^2 + E_y^2)}{3m_2^* (\epsilon - \epsilon_0)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{\partial}{\partial E} \left\{ \frac{(\epsilon - \epsilon_0)^{\frac{3}{2}} \tau^{(2)} \left(\frac{\partial f_2}{\partial E} \right)}{1 + \left(\frac{q \tau^{(2)} B}{m_2^*} \right)^2} \right\} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_c = 0$$

ここで q は電子の電荷、 m_1^* 、 m_2^* は有効質量、 E は電子のエネルギー、 $\tau^{(1)}$ 、 $\tau^{(2)}$ は緩和時間、 ϵ_0 は両導電谷間のエネルギー差でGaAsのとき0.36eVである。 $(\partial f_1 / \partial t)_c$ 、 $(\partial f_2 / \partial t)_c$ は電子の衝突、遷移によって分布の変化を表わす項で、いずれも f_1 、 f_2 の関数である。両式の二階変数係数連立微分方程式を解くことにより f_1 、 f_2 を得る。

結果 境界の効果が最もよく現われると考えられる場合、すなわち印加電界 E_x に対してホール電界 E_y の影響が小さい場合を考える。上二式を解くことにより、得られた結果のうち代表的なものを記す。

オ1図に分布関数 f_1 、 f_2 を低電界と高電界のときの境界のない場合(実線)と10000ガウスの場合(虚線)を示す。境界印加により、高エネルギーの電子の数が減少していること、すなわち境界による冷却効果を表わしている。境界印加により、電子は印加電界 E_x の方向から曲げられ、電界から受けるエネルギーが減少した結果と考えられる。オ2図に低い導電谷の電子数 n_1 と全電子数 $(n_1 + n_2)$ との比を示す。境界



印加により同じ電界値で、高い導電率へ遷移する電子数が減少することを示している。オ3図に電界-速度特性を示す。電界 E_x と同じ方向と y 方向を合わせた速度($v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$)の最大値は、磁界のない場合に比べ2倍近くになっている。これは磁界印加により、高い導電率へ遷移する電子数が減少し、移動度の大きい電子数が多くなったためと考えられる。電界 E_x と同じ方向の速度 v_x は、低電界側で通常の磁気抵抗効果に相当する速度の低下を示しているが、高電界にはむしろ速度はむしろ大きく、負の磁気抵抗効果を示している。これも磁界印加による遷移電子数の変化から説明ができる。オ4図に電界 E_x と速度 v_y の特性を示す。この結果から磁界印加によりテニソル量となる微分移動度($\partial v_y / \partial E_x$)も負になり得ることを知る。磁界によって曲げられる電子の速度が、 x 方向の電界、移動度に比例するからである。オ5図に拡散係数を示す。磁界があるとき、低電界側では移動度が小さくなるために、拡散係数は小さいが、高電界側では移動度の大きい電子が多く、拡散係数が大きくなる、という。

まとめ 本研究において、ガン効果半導体に磁界印加したときの効果として次のことがわかった。(1) v_x の最大値は減少するが v_y の最大値は増大する。(2) $(\partial v_y / \partial E_x)$ が負になり得る。(3) 拡散係数は低電界で減少するが高電界で増大する。磁界印加により生ずる y 方向の速度分は x 方向の電界に依存する。この方向に高周波の電界変化をもつガン効果ダイオードでは、磁界印加により y 方向に高周波出力を取り出すことができる。また磁界の方向を変えることにより、高周波出力を取り出せる方向を反転することができる。磁界印加により、高周波出力を方向性をもたせて分配する機能を、ガン効果ダイオードに与える可能性があると考えられる。

(图中実線は磁界のない場合、虚線は磁界10000ガウスの場合を示す)

