

京都大学 工学部

佐々木昭夫  
田中 哲郎

はじめに ガン効果半導体に、碰界を印加してときの電子遷移および電界一速度特性などを明らかにすることは、物理的には立場のみならず、碰界印加によるガン発振の新しい効果を知り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碰界印加時の電界一速度特性の測定、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なされてい。しかしこれらの報告において、更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く、一致した結果が得られておらず、碰界の効果に関する不明な点が多い。本研究では、二つの導電層のボルツマン方程式を解き、碰界を考慮してときの分布関数を求める、いろいろな結果を得た。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、碰界を用いたときのガン効果ダイオードの一つの応用について触れる。

理論 低導電率の(移動度の大きい)電子に対する分布関数を $f_1$ 、高導電率の(移動度の小さい)電子のそれを $f_2$ とする。一方に電界 $E$ を、他方に碰界 $B$ を印加してとき、 $f_1$ 、 $f_2$ に対する方程式は、ボルツマン方程式より次のように求まる。

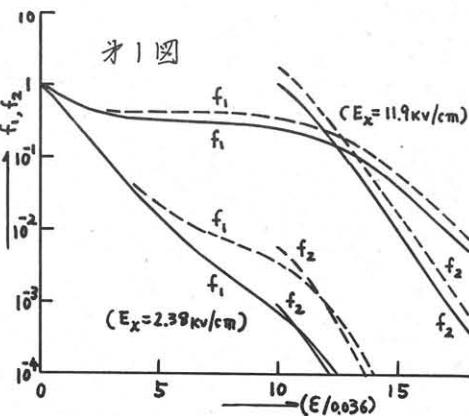
$$\frac{2g^2(E_x^2+E_y^2)}{3m_1^* \epsilon^{\frac{1}{2}}} \frac{\partial}{\partial E} \left\{ \frac{\epsilon^{\frac{3}{2}} \tau^{(1)} \left( \frac{\partial f_1}{\partial \epsilon} \right)}{1 + \left( \frac{g \tau^{(1)} B}{m_1^*} \right)^2} \right\} + \left( \frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_c =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

$$\frac{2g^2(E_x^2+E_y^2)}{3m_2^* (\epsilon - E_0)^{\frac{1}{2}}} \frac{\partial}{\partial E} \left\{ \frac{(\epsilon - E_0)^{\frac{3}{2}} \tau^{(2)} \left( \frac{\partial f_2}{\partial \epsilon} \right)}{1 + \left( \frac{g \tau^{(2)} B}{m_2^*} \right)^2} \right\} + \left( \frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_c = 0$$

ここで $g$ は電子の電荷、 $m_1^*$ 、 $m_2^*$ は等価質量、 $\epsilon$ は電子のエネルギー、 $\tau^{(1)}$ 、 $\tau^{(2)}$ は緩和時間、 $E_0$ は両導電層間のエネルギー差<sup>2</sup> (GaAsのとき 0.36 eV<sup>2</sup> である)。 $(\partial f_1 / \partial t)_c$ 、 $(\partial f_2 / \partial t)_c$ は電子の衝突、遷移による分布の変化を表す項<sup>2</sup>、<sup>3</sup>である。 $f_1$ 、 $f_2$ の関数<sup>2</sup>である。両式の2階微分方程式を解くことにより $f_1$ 、 $f_2$ を得る。

結果 碰界の効果が最もよく現われると考えられる場合、すなはち印加電界反に対しホール電界 $E_H$ の影響が小さい場合を考える。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碰界のない場合(実線)と10000ガウスの場合(実線)を示す。碰界印加により、高エネルギーの電子の数が減少して<sup>4</sup>のこと、すなはち碰界による冷却効果を表している。碰界印加により、電子は印加電界 $E_x$ の方向から曲げられ、電界から受けけるエネルギーが減少して結果と考えられる。オ2図に低導電率の電子数 $n_1$ と全電子数 $(n_1+n_2)$ との比を示す。碰界



印加により同じ電界値<sup>2</sup>、高い導電率へ遷移する電子数が減少することを示す。図3に電界一速度特性を示す。電界 $E_x$ と同じ方向と $\pm$ 方向を合わせた速度( $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ )の最大値は、電界のない場合に比べて大きくなっている。これは電界印加により、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、低電界側では通常の電気抵抗効果に相当する速度の低下を示すが、高電界側では速度はむしろ大きく、負の電気抵抗効果を示す。これも電界印加により遷移電子数の変化から説明できる。図4に電界 $E_x$ と速度 $V_x$ の特性を示す。この結果から電界印加によりテンソル量となる微小移動度( $\partial V_x / \partial E_x$ )も負になり得ることを知る。電界によつて曲げられる電子の速度が、 $\pm$ 方向の電界、移動度に比例するためである。図5に拡散係数を示す。電界が弱くなると、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。図6に示す。

あとがき 本研究において、ガン効果半導体に電界印加による効果と1次のこととがわかった。(1) その最大値は減少するが他の最大値は増大する。(2) ( $\partial V_x / \partial E_x$ )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。

電界印加により生ずる $\pm$ 方向の速度分は $\pm$ 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、電界印加により $\pm$ 方向に高周波出力を取り出しができる。また電界の方向を変えることによつて、高周波出力を取り出せる方向を反転することができる。電界印加 $E_x$ 、高周波出力を方向性をもつ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。

(図中実線は電界のない場合、実線は電界10000ガスルの場合を示す)

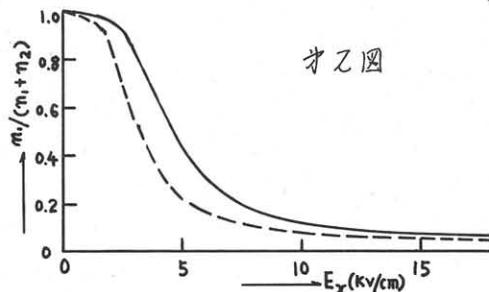


図2

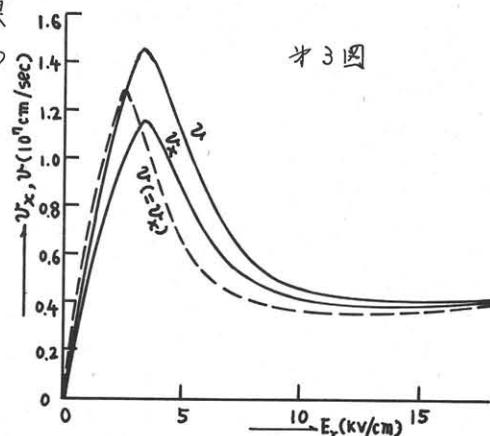


図3

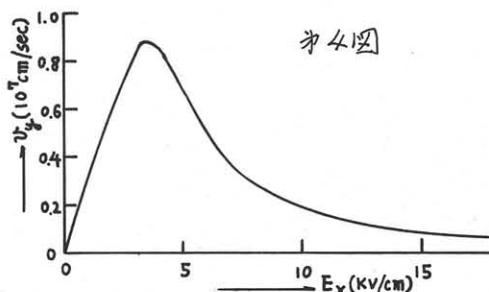


図4

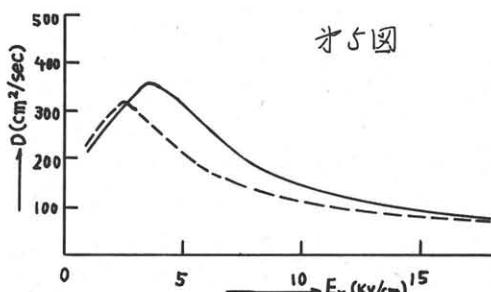


図5