散乱内電界効果を考慮した1次元半導体の電子輸送解析

Electron Transport in One-dimensional Semiconductor with Intracollisional Field Effect

阪大院工 ○牧平 真太朗，森 伸也

Osaka Univ. ○Shintaro Makihira, Nobuya Mori

E-mail: {makihira, mori}@si.eei.eng.osaka-u.ac.jp

GaN などのワイドギャップ半導体が数 MV/cm と高い絶縁破壊電界をもつことから，パワーデバイス応用に向けて期待されている．印加電界数 MV/cm 程度においては，散乱中にキャリアが電界によって加速される，散乱内電界効果 (ICFE) が重要な役割を演じる．この ICFE を考慮可能な輸送方程式として，Barker-Ferry 方程式（BF 方程式）[1] がある．BF 方程式は，エネルギー保存則に相当する項をローレンツ関数などに近似して，解かれてきた [2–5]．本研究では，そのような近似を導入せず，1 次元系に関する定常状態の BF 方程式を解くことを試みた．

電界 F のもとでの，フォノン散乱のみを考慮した，定常状態の 1 次元 BF 方程式は，

$$\frac{eF}{\hbar}\frac{\partial f(k)}{\partial k} = \int_{-\infty}^{0} dt' \sum_{\eta=\pm1,k'} \{S_\eta(k,k';t')f(k'(t')) - S_\eta(k',k;t')f(k(t'))\}$$

と表せる．ここで，η はフォノン吸収・放出を表す指数，$S_\eta(k,k';t')$ はメモリー効果を考慮したフォノン遷移割合，$k(t') = k + t'eF/\hbar$ である．この式は，波数軸の刻み幅 Δk と時間軸の刻み幅 Δt との間に，$\Delta k = (eF/\hbar)\Delta t$ なる関係が成り立つようにして離散化すると，固有値 0 の固有値問題に帰着される．本研究では，その固有値方程式を解き，定常状態の分布関数 $f(k)$ を求めた．その際，簡単化のため，余弦バンド（バンド端の有効質量が $0.2\,m_0$，格子定数が 0.5 nm）を有する 1 次元系を考え，フォノンエネルギーが $\hbar\omega_0 = 100\,\mathrm{meV}$，行列要素が定数であるフォノン散乱を考慮した．

図 1 に電子の分布関数を示す（右図と左図は，横軸の範囲が異なる）．実線が BF 方程式を解いて求めた結果であり，比較のため，点線にボルツマン輸送方程式を解いて求めた結果をプロットした．ボルツマン輸送方程式の場合，1 次元系特有のフォノン放出確率の発散により，$E = \hbar\omega_0$ にキンクが現れるが，BF 方程式の場合，フォノン放出の閾値がぼけるため，そのようなキンクが現れない．また，BF 方程式の場合，バンド内全体に渡り，電子が広く分布している様子も分かる．

[1] Barker & Ferry, PRL **42**, 1779 (1979). [2] Ferry & Barker, J. Phys. Chem. Solids **41**, 1083 (1980). [3] Reggiani *et al.*, JAP **64**, 3072 (1988). [4] Sano & Natori, PRB **54**, R8325 (1996). [5] Kuivalainen, Physica Scripta **61**, 373 (2000).

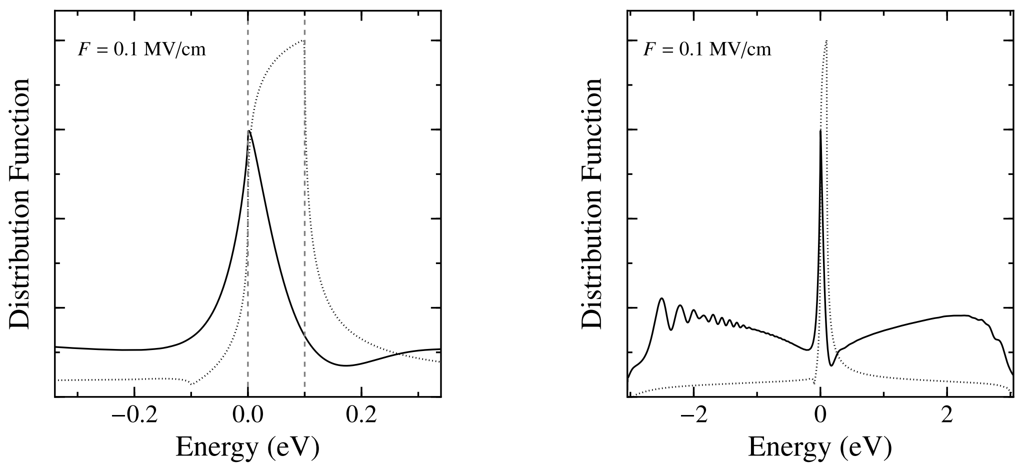

Fig. 1: Distribution function, f, calculated by the Barker-Ferry equation (solid line) including a collisional broadening with $\tau_\Gamma = 10\,\mathrm{fs}$. Dotted line shows f calculated by the Boltzmann transport equation.