

## 微細 MOSFET の電子輸送シミュレーションのための量子流体モデル Quantum Hydrodynamic Models for Carrier Transport Simulation in Scaled MOSFETs

阪大情<sup>1</sup>, 阪大サイバーメディアセンター<sup>2</sup> ○ 鍾 菁廣<sup>1</sup>, 小田中紳二<sup>2</sup>

Osaka Univ.<sup>1</sup>, Osaka Univ. Cybermedia Center<sup>2</sup> ○ Shohiro Sho<sup>1</sup>, Shinji Odanaka<sup>2</sup>

E-mail: shohiro@cas.cmc.osaka-u.ac.jp

半導体デバイスの性能予測, 評価解析のために数値シミュレーションは必要不可欠である. 本講演では電子輸送シミュレーションのための量子流体 (QHD) モデルについて述べる. この中で量子エネルギー輸送 (QET) モデルの実現について物理モデルと数値計算の観点から議論する.

マクロモデルによる電子輸送シミュレーションは Boltzmann 輸送方程式のモーメント展開により, 階層的なモデル構造を有する流体 (HD) 方程式を導出することによって実現されてきた [1]. さらに流体方程式の拡散スケールリングにより, その階層モデルであるエネルギー輸送 (ET) モデル, ドリフト拡散 (DD) モデルが得られる. これら階層モデルは, デバイス設計の観点から使い分けられており, 特に DD, ET モデルは広く使われてきた. 一方, 近年, 半導体素子は数 nm まで微細化が展望されており, そのような極微構造における電子輸送は, 量子性をどのようにモデル化するかが問題となっている. 図 1 に示すように, Wigner-Boltzmann 方程式の Chapman-Enskog 展開によって階層的なモデル構造を有する QHD 方程式を導出して電子輸送モデルが構築される [2]. さらに, 古典モデルと同様に量子流体方程式の拡散スケールリングにより, 階層モデルである QET モデルと量子ドリフト拡散 (QDD) モデルが導出される. QDD モデルは 1 次元, 2 次元, 3 次元シミュレーションに広く適用されており, 極細デバイスにおける閉じ込め効果やトンネル電流をモデリングしている [3], [4].

QET モデルに関しては, エントロピー最小原理に基づいて導出された full QET モデル [5] や, 3-moments QET モデル [6] が提案されているが,

いずれもフーリエ則による古典モデルの近似でなされており, 古典モデルと同様に拡散の過大評価 [1] が問題点となる. 新たに, 4-moments からなる QET モデルを構成した [7]. 4-moments によるモデルは古典的 ET モデルで提案されているが [8], フーリエ則による近似を用いないため, フーリエ則による問題を回避出来る利点がある.

本講演では, 4-moments QET モデルの構成, 数値スキームや反復解法について述べる. 極微細な半導体素子において, 量子性と同様にホットキャリア効果を含んだ電子輸送シミュレーションの必要性について議論する.

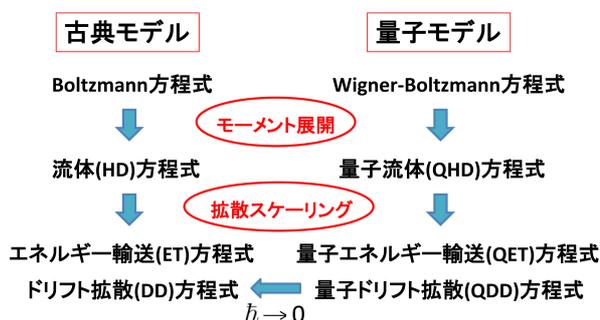


図 1: 半導体流体モデルの階層構造

### 参考文献

- [1] T. Grasser et al., IEEE Proc. 91(2003), 251-274.
- [2] C. L. Gardner, SIAM J. Appl. Math. 24(1994), 409-427.
- [3] M.G.Ancona, Journal of Comp. Elec. vol. 10(2011), 65-97.
- [4] S. Odanaka, IEEE Trans. CAD ICAS23(2004), 837-842.
- [5] P. Degond et al., Journal of Stat. Phys. vol. 118(2005), 625-667.
- [6] S. Jin et al., Journal of Semi. Tech. and Sci. vol. 4(2004), 32-38.
- [7] S.Sho et al., Journal of Comp. Phys. vol.235(2013), 486-496.
- [8] S. -C. Lee et al., Solid-State Elec. 35(1992), 561-569.