

鏡像効果及び交換相関効果を考慮したダブルゲート MOSFET のシミュレーション

上田瑞輝（富山県立大） 岩田栄之（富山県立大）

1. はじめに

今日、LSI の高集積化・高性能化に伴い、構成デバイスである MOSFET の微細化が進められてきた。その途中で短チャネル効果といわれるデバイス性能の劣化現象が見られるようになる。これを解決するために、ダブルゲート MOSFET や high-k 材料等が開発された。さらに微細化がナノスケールにまで達すると、量子力学的効果が顕著になった。本研究では、先端 LSI の最適設計のための知見を得るため、ナノスケールにて顕著になる「鏡像効果」と「交換相関効果」の 2 つの現象を考慮した 2 次元自己無撞着法を用いて、ナノスケールダブルゲート MOSFET のシミュレーションを行い、量子力学的効果が電気伝導等に与える影響を検討した。

2. シミュレーション方法

3 次元量子力学的自己無撞着解析モデルを用いて、Schrödinger 方程式と Poisson 方程式を自己無撞着に連立して数値的に解くことにより、 $I_D - V_D$ 特性とポテンシャルエネルギー分布を求める。

3. シミュレーション結果

図 1 に、本研究で想定したダブルゲート MOSFET の模式図を示す。図 2 は high-k 材料膜使用時における、チャネル長 $L=9\text{nm}$ 、ゲート電圧 $V_G=0.4\text{V}$ ドレイン電圧 $V_D=0.4\text{V}$ の ON 状態での Si 基板膜厚 t_{Si} とドレイン電流 (ON 電流 I_{on}) の関係を示す。図 3 は $t_{\text{Si}}=0.1\text{nm}$ における Si 基板内の鏡像・交換相関ポテンシャルの垂直分布を表す。

2 つの現象の性質を解析するための場合分けとして、「Image」は鏡像効果のみを考慮したケース、「Ex-Co」は交換相関効果のみを考慮したケース、「Both」は鏡像・交換相関効果の両方の影響を考慮した総合的なケース、「Neither」はそのどちらの影響も考慮しないケースをそれぞれ表す。

$t_{\text{Si}}=0.4\sim 0.2\text{nm}$ の間では、4 つのケースにおいて、Si 基板膜厚 t_{Si} が薄くなるほど、オン電流 I_{on} が増大するという関係があったが、 $t_{\text{Si}}=0.1\text{nm}$ まで膜厚を薄くした際には、「鏡像効果」を考慮したケースにおけるオン電流が減少していることが分かる。その結果、総合的にはオン電流が減少している。

4. おわりに

本研究では、ナノスケール nMOSFET における「鏡像効果」と「交換相関効果」の 2 つの現象が電気伝導特性に与える影響の解析を行った。バリスティック伝導における $I_D - V_D$ 特性の変化だけでなく、散乱を考慮した場合についても解析を行った。

今後は、キャリア移動度や正孔密度分布などの解析を行い、2 つの現象のさらなる解析を行う。また nMOSFET 同様に、pMOSFET における「鏡像効果」と「交換相関効果」の 2 つの現象を考慮した 3 次元シミュレーション解析を行い、解析結果から pMOSFET の電気特性や内部物理現象の検討を行う。

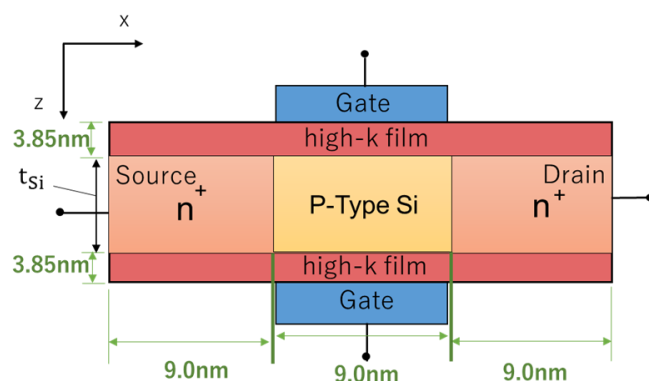


図 1 high-k 材料膜を用いたダブルゲート MOSFET の断面図

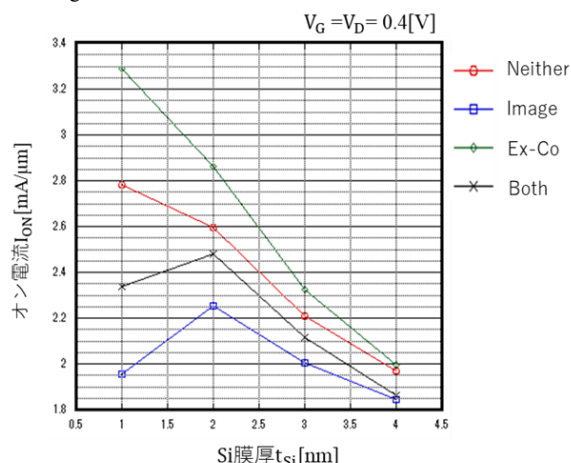
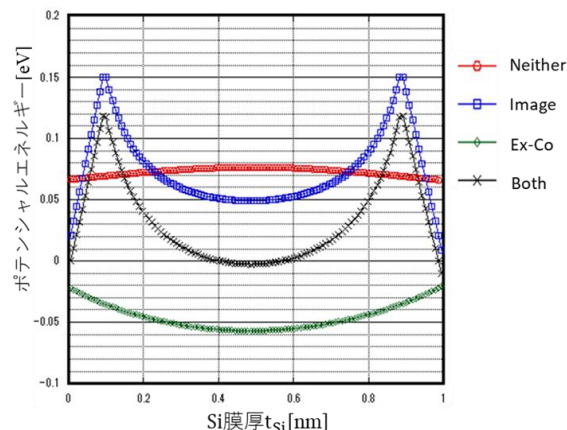
図 2 high-k 材料使用時の鏡像効果・交換相関効果を考慮した各 Si 基板膜厚のバリスティック伝導における $I_D - V_D$ 特性の変化

図 3 high-k 材料使用時のバリスティック伝導における Si 基板内の鏡像・交換相関ポテンシャルの垂直分布 (Si 基板膜厚 1nm)

参考文献

- [1] 岩田 栄之、 “MOS 反転層における量子力学的自己無撞着計算”、富山県立大学紀要 VOL. 10 2000. 3
- [2] 岩田 栄之・松田 敏弘、 “ナノスケール MOSFET 対応の 2 次元量子力学的自己無撞着モデル”、富山県立大学紀要 VOL. 14、2004. 3