

極微細 Si MOSFET の準バリスティック輸送パラメータの抽出

Extraction of Quasi-Ballistic Transport Parameters in Ultrasmall Si MOSFETs

神戸大工¹, 阪大工², JST CREST³ °石田 良馬¹, 木場 隼介¹, 土屋 英昭^{1, 3}, 鎌倉 良成^{2, 3}, 森 伸也^{2, 3}, 小川 真人¹Kobe Univ.¹, Osaka Univ.², JST CREST³ °Ryoma Ishida¹, Shunsuke Koba¹, Hideaki Tsuchiya^{1, 3}, Yoshinari Kamakura^{2, 3}, Nobuya Mori^{2, 3}, Matsuto Ogawa¹

E-mail: 137t204t@stu.kobe-u.ac.jp

最近、大橋氏らにより、音響フォノンの変位ポテンシャル(D_{ac})が Si/SiO₂ 界面で急激に上昇するというモデル(vD_{ac} モデル)が提案され[1]、バルク MOS 反転層移動度のユニバーサル特性や SOI MOS 移動度の実験結果の再現に成功している[1,2]。我々はこの vD_{ac} モデルをモンテカルロ(MC)・シミュレータに導入し、超薄膜チャンネル MOSFET のドレイン電流への影響を調べた所、チャンネル膜厚が 6 nm 以下に薄層化されると、 D_{ac} を位置に依らず一定として取り扱う従来の cD_{ac} モデルではオン電流を高く見積もり過ぎることが明らかとなった[3]。このことはすなわち cD_{ac} モデルでは、極微細化された MOSFET で期待される準バリスティック輸送特性を過大評価する可能性があることを表している。そこで本稿では vD_{ac} モデルを導入した MC シミュレータを用いて、極短チャンネル Si MOSFET の後方散乱係数と注入速度を解析し、準バリスティック輸送パラメータに対する vD_{ac} の影響について検討を行った。

計算はダブルゲート(DG)構造 MOSFET に対して行い、音響フォノン、光学フォノン、イオン化不純物及び界面ラフネスによる散乱を考慮した。MC シミュレータには vD_{ac} と従来の cD_{ac} (D_{ac} の値は 13 eV で一定とした)の両者を音響フォノン散乱レートに取り入れて計算を行った。MC シミュレータにより得られた電子移動度は、バルク MOS 反転層移動度のユニバーサル特性を再現し、また vD_{ac} の妥当性については SOI MOSFET の移動度の SOI 膜厚依存性の実験結果を、 cD_{ac} モデルよりも高い精度で記述できることで確認している[3]。Fig. 1 にチャンネル膜厚 $T_{Si}=3$ nm の DG MOSFET に対して得られた後方散乱係数 R のチャンネル長依存性を示す。チャンネル領域はアンドープとした。 R の定義を含む準バリスティック輸送下でのボトルネック付近のキャリア輸送を Fig. 2 に模式的に描いた[4]。文献[4]の結果と同様に、チャンネル長の縮小とともに R が減少する傾向が得られたことから、短チャンネル化とともにバリスティック輸送が顕在化することが確認できる。 D_{ac} モデルの比較に関しては cD_{ac} の方が小さな R を示しており、予想通り cD_{ac} モデルでは準バリスティック輸送特性を過大評価する可能性があることが分かる。次に、注入速度 v_{inj} と後方チャンネル速度 v_{back} のチャンネル長依存性を Fig. 3 に示す。計算には vD_{ac} モデルを用いた。両者ともチャンネル長に殆ど依存しないが、 v_{back} は v_{inj} の約 45~60% になっていることから、 $v_{inj} = v_{back}$ の近似[5]は正しくないことが再確認できる。準バリスティック輸送パラメータの抽出には、後方散乱を引き起こす主要散乱の一つである音響フォノン散乱の取り扱いに注意を払う必要があると考えられる。

文献 [1] T. Ohashi et al, *IEDM Tech. Dig.*, p. 390, 2011. [2] T. Ohashi et al, *SSDM 2012*, p. 807, 2012. [3] 木場他, 本応用物理学会で発表予定. [4] H. Tsuchiya et al., *IEEE-TED* 53 (2006) 2965. [5] M. Lundstrom, *IEEE-EDL* 18 (1997) 361.

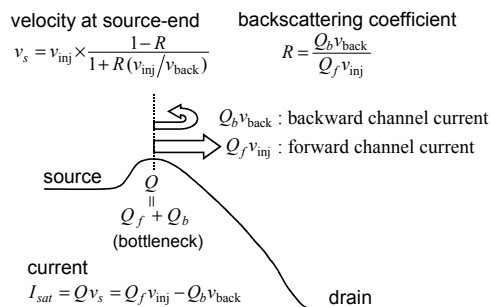


Fig. 2. Schematic diagram of quasi-ballistic transport in a MOSFET [4].

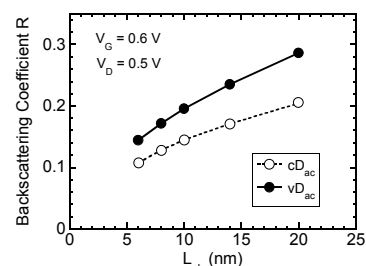


Fig. 1. L_{ch} dependences of backscattering coefficient R calculated using vD_{ac} and cD_{ac} approaches. $V_G=0.6$ V, $V_D=0.5$ V, $T_{ox}=0.5$ nm and $T_{Si}=3$ nm.

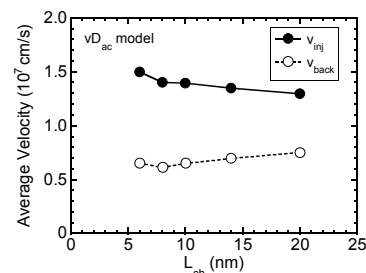


Fig. 3. L_{ch} dependences of v_{inj} and v_{back} calculated using vD_{ac} approach.