

3 レベルチャージポンピング法を用いた SiC MOSFET の界面欠陥分布の検討

Analysis of interface trap distribution in SiC MOSFETs by 3 level charge pumping method

筑波大学 ○(M1) 秋葉淳宏, 矢野裕司

Univ. of Tsukuba ○Atsuhiko Akiba and Hiroshi Yano

E-mail: s2120252@s.tsukuba.ac.jp

4H-SiC MOSFET の SiC/SiO₂ 界面には、高密度の界面欠陥が存在している。高性能な MOSFET の開発には MOS 界面の多角的な評価が重要であり、評価手法の 1 つにチャージポンピング(CP)法がある[1]。その応用である 3 レベルチャージポンピング(3LCP)法[2]では、パルスの電圧を 2 値ではなく 3 値とすることで、界面欠陥の捕獲・放出過程の影響を観測することが可能である。我々は SiC-MOSFET において Si-MOSFET には見られない特異な 3LCP 特性を確認し、それが界面近傍酸化膜トラップ(NIT)の影響であると報告した[3]。今回、SRH 統計[4]に基づいた数式を用いて 3LCP 特性の解析を行い、測定結果に近い 3LCP 特性を示すような界面準位と NIT の分布を検討した。

3LCP 法では MOSFET のドレインおよびソースを接地し、ゲートに図 1 のようなパルスを印加する。パルス電圧は MOS 界面が強反転(V_H)、弱反転(V_{STEP})、蓄積(V_L)となるよう 3 段階に変化させ、 V_{STEP} の印加時間 t_{STEP} を変化させた際に基板に流れる電流(CP 電流)を測定する。Si-MOSFET では t_{STEP} が長くなるにつれて CP 電流が減少し、その後一定となる特性が測定される。一方、SiC-MOSFET では V_{STEP} がある程度大きい場合に、 t_{STEP} が長くなるにつれて CP 電流が減少した後に増加する特性が観測される(図 2)。これは Si-MOSFET の MOS 界面には存在しない NIT の影響であると考えられる[3]。

ここで SRH 統計に基づいた 3LCP 特性の解析について説明する。SRH 統計は確率論に基づく速度反応式であり、欠陥への電子および正孔の捕獲・放出の 4 過程を想定する。これら 4 つの過程と欠陥の電子占有率 f の関係性から、 f の時間変化 $f(t)$

が求められる。3LCP 特性の解析では t_{STEP} の変化に伴う $f(t)$ を計算し、CP 電流の導出を行った。図 2 の実測結果を見ると、 V_{STEP} が大きいほど t_{STEP} が長くなるにつれて CP 電流がより大きく増加する傾向が確認できる。これは、伝導帯近くにより多くの NIT が存在しているためであると考えられる。

本研究では、界面欠陥の種類として界面準位および NIT を想定し、欠陥密度がエネルギーに対しバンド端から指数関数分布もしくは均一に分布していると仮定した。欠陥の分布の組み合わせを変えて 3LCP 特性の解析を行ったところ、界面準位密度(D_{it})がバンドギャップ内にエネルギーに対し均一に分布し、NIT 密度は界面からの距離に対して一様で伝導帯下端を基準としてエネルギーに対し指数関数的に減少する分布を仮定した際に、図 3 に示すように実測に近い特性が得られた。 $C-V$ 法による界面評価では、一般に D_{it} はエネルギーが深くなると指数関数的に減少する分布が報告されている[5]。 $C-V$ 法では印加電圧に対応した表面ポテンシャルを欠陥の捕獲時定数に対応させ、 D_{it} のエネルギー的な位置を決定している。NIT の捕獲時定数は界面からの距離に応じて指数関数的に長くなるため、 $C-V$ 法においてはエネルギー的に深い D_{it} と同じような振る舞いをすると考えられる。そのため、NIT の捕獲時定数の界面からの距離依存性とエネルギーに対する指数関数分布の影響が重なった結果、 $C-V$ 法では D_{it} が指数関数分布となる測定結果が得られると考えられる。

[1] G. Groeseneken et al., IEEE T-ED, 31, 42 (1984). [2] N. S. Saks et al., IEEE EDL, 11, 339 (1990). [3] Y. Matsuya et al., ICSCRM, We-P-30 (2019). [4] W. Shockley et al., Phys. Rev, 87, 835, (1952). [5] H. Yano et al., Appl. Phys. Lett.81, 302, (2002).

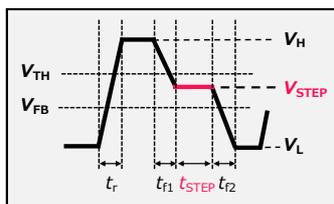


Fig.1: Applied pulse to the gate

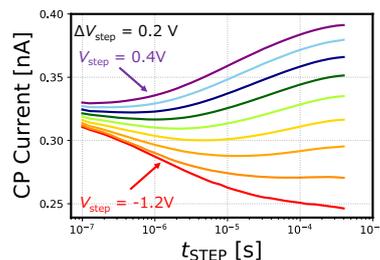


Fig.2: Measured 3LCP characteristics

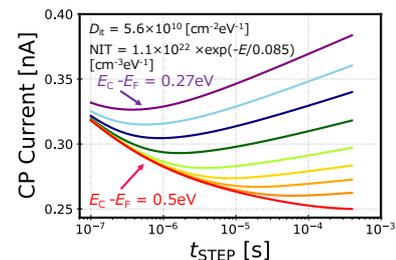


Fig.3: Calculated 3LCP characteristics