On-the-fly チャージポンピング法による SiC MOSFET 負バイアスストレス時の界面トラップ生成解析

Analysis of Interface Trap Generation during Negative Bias Stress in SiC MOSFETs by On-the-fly Charge Pumping Method

筑波大¹, 産総研², 富山県立大³⁰岡本 大¹, 染谷 満², 坂田 大輝¹, 張 旭芳¹, 松谷 優汰¹, 畠山 哲夫³, 岡本 光央², 原田 信介², 矢野 裕司¹, 岩室 憲幸¹

U. Tsukuba¹, AIST², Toyama Pref. Univ.³ ^oDai Okamoto¹, Mitsuru Sometani², Hiroki Sakata¹, Xufang Zhang¹, Yuta Matsuya¹, Tetsuo Hatakeyama³, Mitsuo Okamoto², Shinsuke Harada², Hiroshi Yano¹, and Noriyuki Iwamuro¹

E-mail: okamoto.dai.gb@u.tsukuba.ac.jp

4H-SiC MOSFET の負バイアス時のしきい値電圧不安定性(NBTI)が指摘されているが、その原因は 学術的に十分議論されていない。我々は p チャネル 4H-SiC MOSFET を用いた高速緩和なししき い値変動測定を行い、Si MOS における Reaction-Diffusion モデルと類似したしきい値電圧の時間 変動を報告した[1]。これは、4H-SiC MOSFET においても、Si と同様に NBTI ストレスにより界面 トラップが生成されることを示唆する結果である。この NBTI ストレスによる界面トラップ密度 の変動をさらに詳しく調べるために、今回我々はチャージポンピング(CP)法に着目した。4H-SiC MOSFET に対してストレス後の CP 測定がすでに行われており、NBTI ストレスによる界面トラッ プ密度増加が報告されている[2]。しかし、そこで用いられている手法はストレス印加と遅い CP 測定スイープを繰り返す手法(Measure-Stress-Measure; MSM 法)であり、ストレス後の速い緩和の 影響により生成された界面トラップ密度が過小評価されている可能性がある[3]。そこで、ストレ ス除去後の緩和を最小化した測定手法である On-the-fly チャージポンピング(OTF-CP)法[4]により、 NBTI ストレス時の界面トラップ生成、およびストレス除去後の回復の様子を調査した。

OTF-CP 法で用いる測定パルスの概略を Fig. 1 に示す。MOSFET にストレス電圧(-15 V)を印加 し、その状態のまま十分な振幅を持ったパルスをゲートに印加し CP 電流を測定する。これによ り緩和がほとんど生じていないタイミングで CP 測定を行うことができる。また、ストレス除去 後の緩和過程を測定する場合は、ストレスで生色 Vとし、同様のCP測定用のパルスを印加する。

測定には、Si 面上に NO 窒化 60 min で作製したチャネル長 $L = 5 \mu m$ 、チャネル幅 $W = 200 \mu m$ の n チャネル 4H-SiC MOSFET を用いた。Keysight B1525A パルスジェネレータユニットを備えた B1500A を外部制御し、ゲートに方形波パルスを印加し CP 電流を測定した。パルス周波数は 1 MHz、 パルス立ち上がり時間 100 ns、立下り時間 100 ns、パルスベース電圧–15 V、ピーク電圧 5 V とし、 ストレス期間・緩和期間で同じ CP 測定パルスを用いた。パルス印加期間は 50 ms とした。

T = 150 ℃ で測定した OTF-CP 測定の結果を Fig. 2 に示す。ストレス印加に対し、CP 電流 *I*_{cp}は 増加することが分かる。この結果は、4H-SiC MOSFET においても NBTI ストレスによって界面ト ラップが生成されることを意味している。また、Si の NBTI と同様に、ストレス除去後に界面ト ラップ密度は部分的に回復することが分かる。これらは、1000 s のストレスにより *N*_{it} = 3.80 × 10¹¹ cm⁻²から 4.21 × 10¹¹ cm⁻² へ界面トラップ密度が増加し、1000 s の緩和後 4.01 × 10¹¹ cm⁻² に減少し たことに相当する。なお、ここで評価した界面トラップ密度は、伝導帯端および価電子帯端から およそ 0.16 eV 以上離れたバンドギャップ中央部分の値である点に注意が必要である。両対数でプ ロットした場合の *I*_{cp} の変化(ΔI_{cp})を Fig. 3 に示す。 ΔI_{cp} は両対数グラフにおいて直線的に増加して おり、界面トラップ密度は~*t*^{0.28}に比例して増加していることが分かる。

[1] D. Okamoto *et al.*, presented at ICSCRM 2019. [2] D. B. Habersat *et al.*, MSF **740-742**, 545 (2013). [3] M. F. Li *et al.*, IEEE TDMR **8**, 62 (2008). [4] W. J. Liu *et al.*, Proc. IEDM 2007, p. 813.

本研究は、共同研究体「つくばパウーエレクトロニクスコンステレーション(TPEC)」の事業、お よび JSPS 科研費 JP17K14653 によって実施された。



© 2020年 応用物理学会

12-261

15.6