

高累積線量における MOSFET のゲートバイアス特性比較

Comparison of Gate Bias Characteristics of MOSFETs at High TID

東京工業大学 [○]吉田僚一郎, 木村有佐, 安藤幹, 大島佑太, 鍋屋信介, 平川颯二, 岩瀬正幸, 小笠原宗博, 依田孝, 石原昇, 伊藤浩之

Tokyo Institute of Technology, [○]Ryoichiro Yoshida, Arisa Kimura, Motoki Ando, Yuta Oshima, Shinsuke Nabeya, Kenji Hirakawa, Masayuki Iwase, Munehiro Ogasawara, Takashi Yoda, Noboru Ishihara, and Hiroyuki Ito

E-mail: paper@lsi.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

MOSFET の特性は、放射線が長期間照射される環境 (宇宙, 原子力) では、TID 効果 (Total Ionizing Dose effect) により劣化する[1]. 今回我々は、MOSFET のゲートバイアスの印加の条件 (固定と三角波入力時を比較) により TID の影響の度合いが異なることを実験的に検証したので報告する。

2. MOSFET の放射線劣化

放射線照射下における MOSFET 諸特性の劣化にリーク電流, オン電流の変動がある。図 1 に N 型 MOSFET (NMOS) の放射線劣化概念図を示す。放射線が物質に照射されると正孔電子対が多数生成される。生成された正孔電子対はゲート電圧等の電界下では再結合確率が極端に小さくなる。加えて、電子と比較して正孔は酸化物中での移動度が小さいため、酸化物内に多数捕縛される。特に STI 側壁では捕縛された正孔によってチャネル形成を促進させるため、Drain-Source 間電流 I_{DS} が増加する (図 1 ①)。同時に、生成された正孔が酸化物内の水素をイオン化させ、酸化物 (SiO_2) と Drain-Source (Si) の界面付近に移動することで界面準位が形成される[2]。界面準位の極性は NMOS の場合は負のため、 I_{DS} は減少する (図 1 ②)。②の影響は①の影響よりも遅いため I_{DS} は一度増加したのち減少する。PMOS (P 型 MOSFET) の場合は界面準位は正電荷であり、正孔捕縛の効果ともに I_{DS} を減少させる。

3. 実験結果

図 2 に測定評価系の概略図を示す。0.18 μm CMOS プロセスで作製した NMOS ($W/L = 220 \text{ nm} / 180 \text{ nm}$) と PMOS ($W/L = 300 \text{ nm} / 180 \text{ nm}$) に対して、高崎量子応用研究所の照射施設を用いて Co60 を線源とするガンマ線を線量率 0.37 Mrad/h (Si) で TID 100 Mrad まで照射する実験を実施した。NMOS と PMOS それぞれに 1 周期 400 s の 0 V $\pm$ 1.8 V の三角波入力 (TRI) と ± 1.8 V 固定電圧入力 (CONST) の 2 通りのゲート電圧を印加し、影響の比較評価を行った。

図 3(a) に NMOS のオン電流 I_{ON} ($V_{GS} = V_{DS} = 1.8 \text{ V}$) の変動率 $\Delta I_{ON} [\%]$ (照射前 I_{ON} に対する照射中 I_{ON} の差分の比) の実測値を示し、図 3(a) に PMOS のオン電流 I_{ON} ($V_{GS} = V_{DS} = -1.8 \text{ V}$) の変動率 $\Delta I_{ON} [\%]$ の実測値を示す。

3.1 NMOS

照射開始後、TRI, CONST とともに I_{ON} は増加していき、0.1 Mrad を超えると CONST は TRI よりも劣化が激しくなる。さらに約 1 Mrad の時に I_{ON} はピークとなり、CONST は 25 %, TRI は 6.8 % と約 18 % 高い結果となった。ピークは STI での正孔捕縛と界面準位の相互作用によって生じており[3], また CONST が高いのは固定電圧入力によって正孔電子対の再結合が TRI に比べ起こりづらく劣化が促進されていると考え

られる。100 Mrad 時の I_{ON} 変動率は TRI が -5.9 %, CONST が -13 % となり CONST が大きく劣化した。

3.2 PMOS

照射開始後、TRI, CONST とともに徐々に I_{ON} が減少し始めている。これは正孔捕縛によって電流が阻害されているためである。また 100 Mrad 時の I_{ON} の変動率は TRI が -39 %, CONST が -50 % と CONST は劣化が大きくなり、NMOS と比較すると TRI, CONST とともに I_{ON} が大きく減少した。

4. 結論

本研究では、MOSFET に対して、ゲートバイアスの印加の条件 (固定と三角波入力) による TID 影響の比較を行った。その結果、ゲートに固定電圧が印加され続けることによって TID の影響が多くなり I_{ON} が大きく変動することを明らかにした。

5. 参考文献

- [1] 大島 他, 応用物理学会春季学術講演会, 10p-W934-9, 2019 年 3 月.
- [2] H. J. Barnaby, "Total-Ionizing-Dose Effects in Modern CMOS Technologies," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 53, no. 6, pp. 3103-3121, 2006.
- [3] F. Faccio and G. Cervelli, "Radiation-induced edge effects in deep submicron CMOS transistors," in *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 52, no. 6, pp. 2413-2420, Dec. 2005.

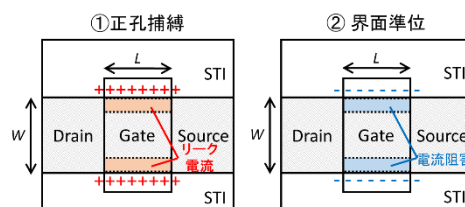


図 1 放射線劣化概念図 (NMOS)

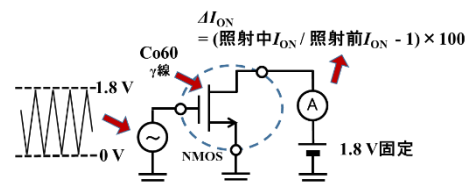


図 2 測定評価系

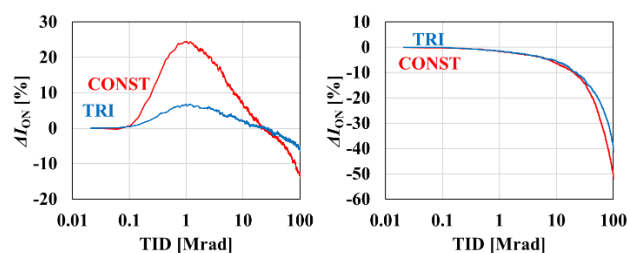


図 3 オン電流変動率