バンド間トンネリングのソフトエラー信頼性予測への応用可能性

Possible Use of Band-to-Band Tunneling in Soft-Error Reliability Prediction

東大院工 [1]，宇宙研 [2]　○(M2) 加藤 由高 [1,2]，小林 大輔 [2]，廣瀬 和之 [1,2]

UTokyo[1], ISAS[2], ○Yoshitaka Kato[1,2], Daisuke Kobayashi[2], Kazuyuki Hirose[1,2]

E-mails: kato-yoshitaka@g.ecc.u-tokyo.ac.jp, d.kobayashi@isas.jaxa.jp

はじめに　半導体デバイスを安心して使うには，放射線ソフトエラーの信頼性確保が欠かせない．近年，筆者らは SOI SRAM において，動作電圧などの設計パラメータから，ソフトエラー信頼性を計算する方程式を提案した [1]．この式は放射線に関係する係数「バイポーラゲイン β」を必要とする．現状，放射線試験の結果に合わせ込んで β を算出しているが，トランジスタ単体の IV 特性から算出できれば放射線試験を経ずにソフトエラー信頼性を予測できるようになる．そこで，バンド間トンネリング（BTBT）の応用を検討した．BTBT は MOSFET の高電界になったゲート・ドレイン重なり領域で電子・正孔対を生じさせる．一方，ソフトエラーは Si に飛び込んだ放射線が電子・正孔対を発生することで起きる．両者の類似性を頼りに応用を着想した．

実験　BTBT を用いて β を算出した．①異なるゲート長 L_G を持つ 2 つのトランジスタ（Tr）を用いる方法（L_G 法 [2]）と，②1 つの Tr でバックゲート（SOI の Si 基板）バイアス（BG）を変える方法（V_{BG} 法 [3]）を用いた．これらはボディ端子（BC）がない浮遊ボディ構造の Tr で β を算出できる特徴がある．BC がついた Tr も用意して，ボディ端子に直接電流注入する方法（③BC 法 [4]）でも β を算出した．これらを，浮遊ボディ構造の Tr に放射線を当てて観測したドレイン過渡電流から求めた β（④SET 法 [4]）とあわせて，目的である SRAM ソフトエラー信頼性方程式の β（⑤SRE 法 [1]）と比較した．試料は全て完全空乏型 SOI CMOS 技術で作られたものであった．SRAM は浮遊ボディ Tr のみでできていた．試料数の都合，0.15 と 0.20 μm の 2 世代にわたって調査した．

結果と考察　表 1 に結果を示す．0.15 μm の結果から，BTBT を使って算出した β は①L_G 法と②V_{BG} 法で差があるが，③BC 法の範囲に収まることがわかった．一方，0.20 μm の結果から，③BC 法の β の範囲に，放射線を用いた④SET 法と⑤SRE 法の β が含まれることがわかった．したがって，BTBT を用いて⑤SRE 法に必要な β を求められそうである．また，総じて単体 Tr から算出した β は大きめである（2–5 倍程度）．信頼性計算に与える影響を評価して，解消すべきか当日議論したい．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 JP20H02217 の支援を受けて行われた．**参考文献** [1] Kobayashi *IEEE TNS* **69**(3) 2022. [2] Chen *IEEE EDL* **13**(11) 1992. [3] Liu *IEEE EDL* **36**(2) 2015. [4] Ferlet-Cavrois *IEEE TNS* **49**(6) 2002. [5] Makino *QBS* **4**(1) 2020. [6] Kobayashi *IEEE TNS* submitted.

Table 1: Comparison of β extracted in various techniques for two technology generations. BC: Body contact. BTBT: Band-to-band tunneling. SET: Single-event transient. SRE: Soft-error reliability eq.

Techniques	Ref.	β for 0.15 μm	β for 0.20 μm	# device	BC	Carrier injection	dc/tran.
① L_G	[2]	10–20		2 Tr	No	BTBT	dc
② V_{BG}	[3]	8–9		1 Tr	No	BTBT	dc
③ BC	[4]	7–19	4–12	1 Tr	Yes	Direct	dc
④ SET	[4]		$\leq 8^{\dagger}$	1 Tr	No	Radiation	tran
⑤ SRE	[1]		$4^{\ddagger}$	1 SRAM	No	Radiation	tran

† Estimated from the data in [5]. ‡ Corrected after [6].

© 2023年 応用物理学会