

M-27

SOI 基板上に作製した MOSFET の重イオン照射誘起電流 Heavy Ion Induced Current in SOI MOSFET

○岡崎 勇志¹, 小倉 俊太¹, 小宮山 隆洋², 佐藤 江里子², 高橋 芳浩³
*Yuji Okazaki¹, Shunta Ogura¹, Takahiro Komiyama², Eriko Sato², Yoshihiro Takahashi³

Abstract: The heavy-ion induced transient current was investigated for evaluation of single event tolerance in SOI MOSFET. A large current was observed when the ion was hit to the area of the drain and channel junction. It was also found that the collected charge at drain and back electrodes were almost same when the ion irradiated to the drain area. This indicates that the charge was collected through the BOX layer.

1. 研究背景

宇宙空間では、放射線の影響により半導体デバイスの特性劣化や誤動作を生じる。シングルイベント現象 (SEE : Single Event Effect) は、高エネルギー粒子線の入射により生じた電荷が過度電流として回路に流れ、メモリ情報の反転 (SEU : Single Event Upset) などの回路誤動作を引き起こす現象であり、宇宙用半導体デバイスには本現象に対する耐性 (SEE 耐性) が要求される。一方で SOI (Silicon on Insulator) デバイスは、基板内に埋め込み酸化膜 (BOX : Buried Oxide) 層が活性層と支持基板を隔てた構造をしている。そのため、薄い活性層で発生した電荷のみが収集に寄与することから、高い SEE 耐性が期待されている。しかし、実際には BOX 層を介した電荷の収集を確認しており、この収集は BOX 層の電界変化による変位電流が原因であることが判明している^[1]。これまでに我々は、支持基板表面の空乏層を制御することで電荷収集が制御可能であることを、SOI 基板上に作製した pn 接合ダイオードを用いて確認している^[2]。

今回は、集積回路の基礎構造である MOSFET を SOI 基板上に作製し、重イオン照射による誘起過度電流の測定を行い、電荷収集機構について検討した。

2. 実験方法

図 1 に、今回作製した SOI-MOSFET 試料の (a) 上面図及び (b) 断面図を各々示す。活性層 n 形 ($\rho=6.0\sim 14.0\ \Omega\text{cm}$)、支持基板 n 形 ($\rho=10.0\ \Omega\text{cm}$) の SOI 基板を用いて B (ボロン) の熱拡散により p 形拡散層を形成し、 $W/L=3$ 、Al ゲートの p-ch MOSFET を作製した。

重イオン照射実験は、日本原子力研究開発機構、高崎量子応用研究所の 3MV タンデム加速器を用いてイオンビームの照射を行った。イオン種には O (酸素) を用いて、加速エネルギー 15 MeV ($\text{LET}=6.53\ \text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 、飛程 $=10.3\ \mu\text{m}$) の条件で照射した。その際、Gate、Source 及び支持基板裏の Back 電極を接地して、Drain 電極に負電圧 ($V_d=-10\ \text{V}$) を印加した状態 (OFF 状態) で照射を行った。SIH (Single Ion Hit) システムを用いて単一イオンを形成し、TIBIC (Transient Ion Beam Induced Current) システムにより各電極の誘起電流波形を高速オシロスコープ (帯域 : 3 GHz) で観測した。また、単一イオンの照射位置毎に誘起電流を観測することで、照射位置依存性についても検討を行った (スキャン範囲 : $200\times 200\ \mu\text{m}$ 、照射間隔 : $5\ \mu\text{m}$)。なお、以上の照射条件における活性層 (厚さ : $1.5\ \mu\text{m}$) での発生電荷量は約 100 fC である。

3. 実験結果

図 2 に、Drain 拡散領域に照射した際の Drain 電極の誘起電流ピーク値及び収集電荷量の照射位置依存性を示す。図 2 (a) に示した電流ピーク値のマップより、Drain 拡散領域のエッジ近傍に照射した場合に大きな電流ピーク

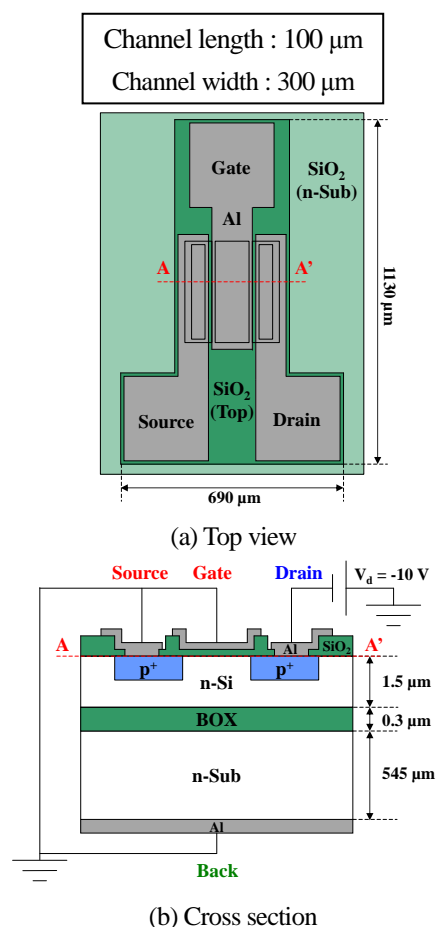


Figure 1. Device structures

1 : 日大理工・院・電子 2 : 日大理工・学部・子情 3 : 日大理工・教員・子情

値が観測されていることがわかる。これは、活性層における pn 接合の横方向電界により、速やかに電荷が収集されたためである。なお、Drain 拡散領域の中央に照射した場合でも小さな電流ピークが観測された。一方、誘起電流を時間積分して求めた収集電荷量は照射位置により大きな変化は見られず、Drain 拡散領域全体でほぼ均一な電荷の収集が観測されることがわかった (図 2 (b)参照)。なお、Gate 領域に照射を行った場合の誘起電流は観測されておらず、電荷の収集も確認されていない。更なる検討のため、各照射位置において Drain 電極、Gate・Source 電極、Back 電極の 3 端子で照射誘起過度電流波形の測定を行った。

図 3 に、Drain 拡散エッジ領域に照射した際の各電極の誘起電流波形 (実線) を示す。電流波形は、デバイスより流れ出る電流を正方向電流として測定を行っている。Drain 電極と Gate、Source 電極での電流波形を見ると高い電流ピークが観測されており、活性層における電荷収集が確認できる。一方、収集電荷量 (点線) を見ると、Gate・Source 電極以上に Back 電極での収集が多く観測されており、Drain と Back 電極間での BOX 層を介した電荷の収集が支配的となることがわかった。図 4 に、Drain 拡散領域中央に照射した際の結果を示す。この位置では、電流ピークは小さいが Drain と Back 電極での収集電荷量はエッジ領域照射時とほぼ同量であることがわかった。また、Back 電極での収集電荷量を比較すると、Drain 拡散領域全体で 300 fC 以上の収集が観測された。

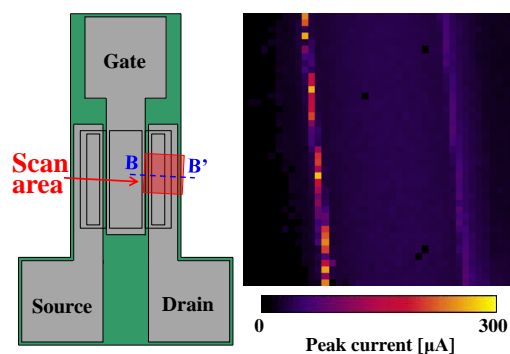
以上の結果より、エッジを含む Drain 拡散領域に照射した際に、Drain と Back 電極間での収集、即ち BOX 層を介した電荷収集が支配的となり、その収集電荷量は照射位置に依存しないことがわかった。これは、Drain 電極への負電圧印加による支持基板表面の空乏層発生が、Drain 領域全体で起きていることを示している。また、活性層での発生電荷量以上の電荷収集が観測されていることから、BOX 層を介した収集の寄与が大きい事を確認した。

4. まとめ

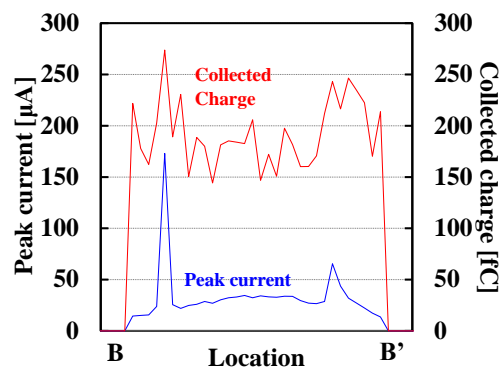
SOI 基板 MOSFET に対し重イオン照射実験を行なった。その際、Drain 拡散領域に照射を行った場合のみ誘起電流が観測され、BOX 層を介した電荷の収集が全体で観測された。また、Gate・Source 電極において正方向と負方向の電流ピークを持つ電流波形が観測されており、更なる検討が必要である。今後は、シミュレーション及び照射実験により誘起電流の抑制について検討を行う。その上で、SOI-MOSFET に重イオン照射した際の詳細な電荷収集機構の検討を行う。

5. 参考文献

- [1] Yoshihiro Takahashi, et.al, : “Heavy-ion induced current through an oxide layer”, Nucl. Instr. and Meth., Vol.B-260, No.1, pp309-313, 2007
- [2] 岡崎勇志 他: 「SOI デバイスの重イオン照射誘起電流の抑制に関する検討」, 応用物理学会学術講演会, 2p-J-5, 2011.



(a) Mapping



(b) Intersection of B-B' line

Figure 2. Ion hitting location dependence on the peak of transient current (Drain)

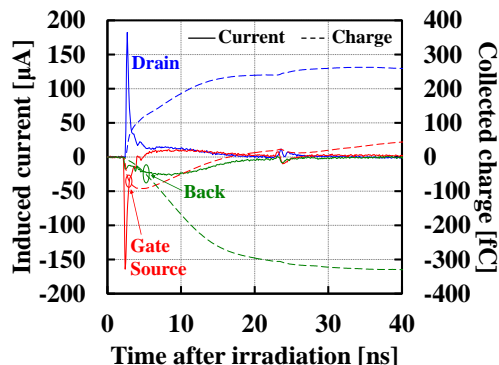


Figure 3. Heavy-ion induced current and collected charge (Edge area)

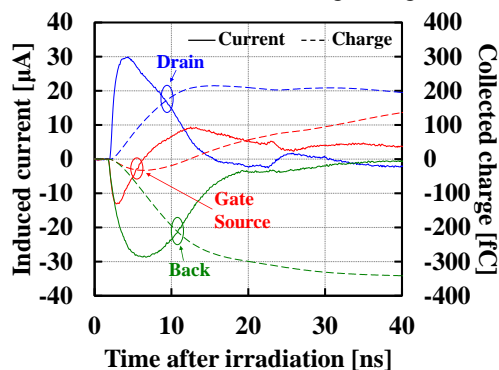


Figure 4. Heavy-ion induced current and collected charge (Center area)