

## SOI 基板上に作製した MOSFET における重イオン照射誘起電流 Heavy-Ion Induced Current in SOI-MOSFET

○小宮山隆洋<sup>1</sup>, 家城大輔<sup>1</sup>, 金子直之<sup>2</sup>, 山本航汰<sup>2</sup>, 高橋 芳浩<sup>3</sup>\*Takahiro Komiyama<sup>1</sup>, Daisuke Ieki<sup>1</sup>, Naoyuki Kaneko<sup>2</sup>, Kota Yamamoto<sup>2</sup>, Yoshihiro Takahashi<sup>3</sup>

Abstract: The heavy-ion induced transient currents in SOI-MOSFETs have been investigated. The collected charge through the BOX layer was reduced by using SOI device with the heavily doped handle substrate. The reduction is caused by decreasing the width of depletion layer at the surface of handle substrate.

### 1. 研究背景

強い放射線環境下である宇宙空間で半導体デバイスを使用した場合、シングルイベント効果と呼ばれる一時的な回路誤動作や故障などが引き起こされることが知られている。これは、重イオンなどの高エネルギー粒子線照射によりデバイス内部で発生した電荷の一部が、印加電界により電極に収集されることにより生じる過渡電流に起因する。一方、基板内部に埋め込み酸化膜(BOX: Buried Oxide)層を有する SOI (Silicon on Insulator)基板上に構成されたデバイス(SOI デバイス)では、BOX 層により支持基板で発生した電荷の収集が抑圧されることから高い耐放射線性が期待される。しかし、活性層における発生電荷量以上の電荷収集が観測された報告もある<sup>[1]</sup>。これまで我々は、発生電荷以上の電荷収集メカニズムについて検証を行い、BOX 層を介した変位電流が原因であるとの結論を得た<sup>[2]</sup>。そこで、BOX 層を介した変位電流抑制を目的に、支持基板の不純物濃度が異なる SOI-pn 接合ダイオードを作製し、重イオン照射を行った結果、支持基板を高不純物濃度にすることで変位電流が抑制可能であることがわかった<sup>[3]</sup>。

本研究では、支持基板の高不純物濃度化が SOI 基板上に作製した MOSFET の重イオン誘起過渡電流に及ぼす影響について検討を行った。

### 2. 実験方法

活性層 n 形( $\rho=6\sim 14[\Omega\cdot\text{cm}]$ ), 支持基板 n 形( $\rho=10[\Omega\cdot\text{cm}]$ )の SOI 基板(以後 n/n デバイス), 活性層 n 形( $\rho=8\sim 12[\Omega\cdot\text{cm}]$ ), 支持基板 n 形( $\rho=0.01[\Omega\cdot\text{cm}]$ )の SOI 基板(以後 n/n<sup>+</sup>デバイス)上にそれぞれ p-ch MOSFET を作製した。図 1 の(a)に基板上面から見た電極パターン, (b)に断面図を示す。重イオン照射実験は日本原子力開発機構の 3MV タンデム加速器に接続されたマイクロビーム形成装置を用いて行い、加速エネルギー 15[MeV]の O(酸素)イオン(線エネルギー付与(LET)=6.53[MeV/(mg/cm<sup>2</sup>)](in Si))を照射した。SIH(Single Ion Hit)システムを用いて単一イオンを照射し、TIBIC(Transient Ion Beam Induced Current)システムにより照射誘起電流を観測した。電荷収集機構の解析のため Drain, Gate+Source, Back 各電極における過渡電流測定を行った。その際、MOSFET の Drain 電極に負電圧を印加し、Gate 電極には電圧を印加せず、OFF 状態で照射を行った。

### 3. 実験結果

図 2 に n/n デバイスにおける重イオン照射誘起電流および収集電荷量の照射位置依存性を示す。結果より、Drain 拡散領域に照射した場合のみ誘起電流が発生することがわかった。また、Drain 拡散領域のエッジ部分に照射した場合、中心部に比べ大きな電流が発生することがわかる。これは、Drain 電極に印加した電圧によりエッジ部分において pn 接合空乏層が横方向に生成し、この空乏層電界により発生電荷の分離・収集が促進されたことを示す。また、収集電

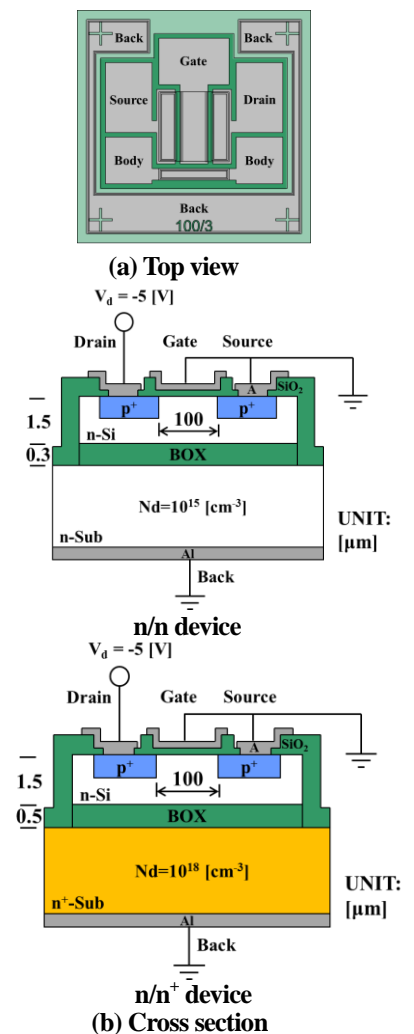


Figure 1. Devices structures

荷量は, Drain 電極において約 200 [fC]程度発生しており, 活性層内で発生する電荷量(約 100 [fC])の約 2 倍に相当する。

図 3 に n/n デバイスの Drain 拡散領域のエッジ部に照射した際の重イオン照射誘起電流(実線)および収集電荷量(点線)を示す。結果より, 誘起電流の主成分は, Drain, Gate+Source 電流が支配的であることがわかる。一方, 誘起電流ピーク値が低い Back 電極において大きな電荷収集が行われていることがわかった。これは, 支持基板で発生した電荷の一部が BOX 層を介して収集されたことを示している。このことから, 支持基板内で発生した電荷が空乏層電界により支持基板表面に蓄積し, BOX 層を介した変位電流が発生していることがわかった。

図 4 に n/n デバイスの Drain 拡散領域付近における収集電荷量マップ図を示す。結果より, Drain 拡散領域の中心部およびエッジ部に照射した際は, 活性層における発生電荷量 100 [fC]を超える電荷収集が行われており, Gate 領域に照射した際はほとんど電荷収集が行われないことがわかった。

以上のことから, SOI 基板上に作製した MOSFET において, 支持基板表面の空乏層により変位電流が発生していること, すなわち BOX 層を介した電荷収集が行われていることを実験的に確認した。

次に, 支持基板表面の空乏層を制御するために支持基板を高不純物濃度化した n/n<sup>+</sup>デバイスの Drain 拡散領域付近における収集電荷量マップ図を図 5 に示す。結果より, n/n<sup>+</sup>デバイスでは, ほとんど電荷の収集が観測されなかった。Drain 拡散領域のエッジ部において, 電荷収集が行われると予想したが, 電荷の収集は観測されなかった。このことから, 支持基板を高不純物濃度化することにより, 支持基板表面の空乏層幅が減少し, BOX 層を介した変位電流が抑制されていることを確認した。

#### 4. まとめ

SOI-MOSFET においても, SOI-pn 接合ダイオードと同様に BOX 層を介した変位電流が発生していることがわかった。また, 支持基板を高不純物濃度化することで, 重イオン照射による収集電荷量が全体的に減少したことを確認した。しかし, n/n<sup>+</sup>デバイスの収集電荷量マップ図において, 誘起電流の発生箇所が予想と異なったため, 今後, 再現性を得ることを目的に同様の実験を行う予定である。

#### 5. 参考文献

- [1] 大木隆広:「MIS 構造における重イオン照射誘起ゲート電流」, 平成 17 年度修士論文
- [2] Yoshihiro Takahashi, et.al, “Heavy-ion induced current through an oxide layer”, Nucl. Instr. and Meth., Vol.B-260, No.1, pp309-313, 2007
- [3] 小倉俊太:「SOI デバイスにおける重イオン照射誘起電流の抑制に関する研究」, 平成 24 年度修士論文

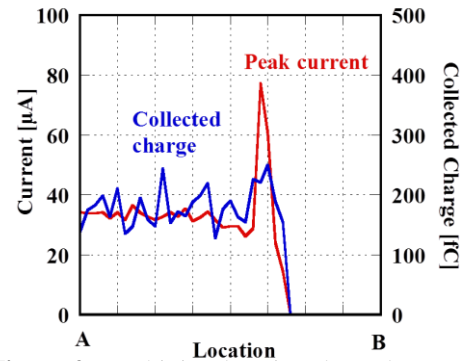


Figure 2. Ion hitting location dependence on the peak of transient current and total collected charge (n/n device)

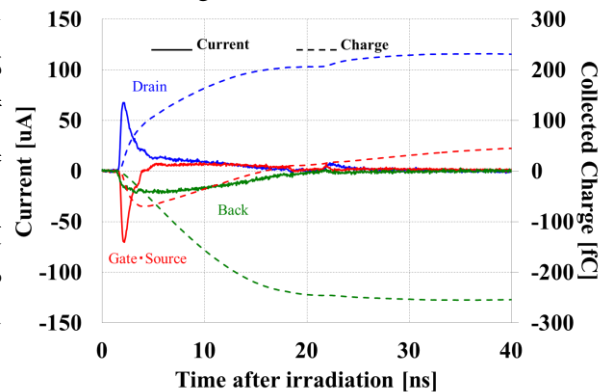


Figure 3. Heavy-Ion induced current and collected charge (n/n device)

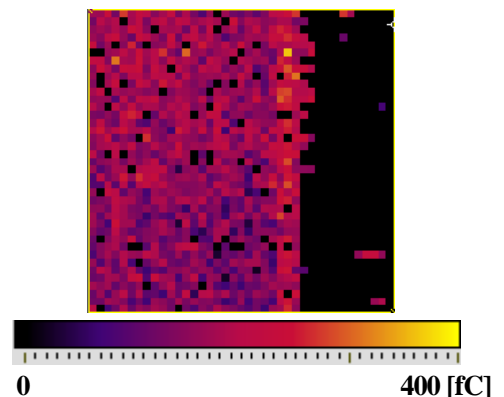


Figure 4. Collected charge image (n/n device)

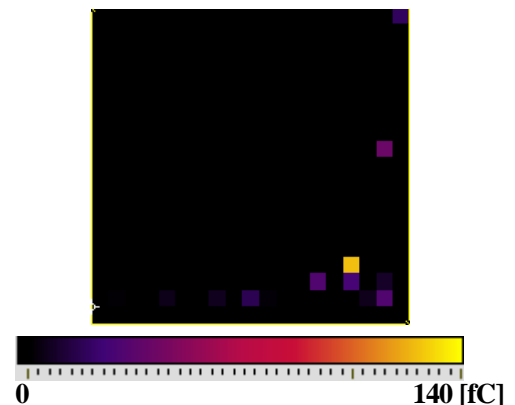


Figure 5. Collected charge image (n/n<sup>+</sup> device)