

## SOI 基板上的 pn ダイオードにおける重イオン照射誘起電流 Heavy-Ion Induced Current in SOI pn Junction Diode

○岡崎 勇志<sup>1</sup>, 竹安 秀徳<sup>1</sup>, 大谷 拓海<sup>2</sup>, 小倉 俊太<sup>2</sup>, 高橋 芳浩<sup>3</sup>

\*Yuji Okazaki<sup>1</sup>, Hidenori Takeyasu<sup>1</sup>, Takumi Ohtani<sup>2</sup>, Shunta Ogura<sup>2</sup>, Yoshihiro Takahashi<sup>3</sup>

Abstract: The heavy-ion induced transient currents in SOI pn junction diodes have been investigated. The collected charge through the BOX layer was reduced by changing the semiconductor type of active SOI layer. 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 層により支持基板の電荷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>。また、SOI 構造における重イオン照射シミュレーション及び電氣的検証から、支持基板表面の空乏層幅制御による、収集電荷量の抑制が確認された。

本研究では、BOX 層を介した変位電流の抑制検証を目的に、SOI デバイスの重イオン誘起過渡電流測定を行った。今回は、活性層基板タイプの異なる SOI 基板上に pn ダイオードの作製を行い、電荷収集機構の解析のため Anode, Cathode, Back 各電極での過渡電流を測定し、結果について検討を行った。

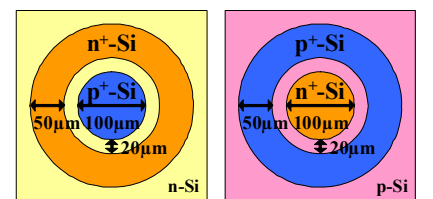
### 2. 実験方法

活性層が n 形の SOI 基板( $\rho=6\sim 14[\Omega\cdot\text{cm}]$ )と p 形の SOI 基板( $\rho=1\sim 10[\Omega\cdot\text{cm}]$ )を用いて pn ダイオードを作製した。支持基板は共に n 形である。図 1 の(a)に基板上面から見た拡散パターン、(b)に作製した pn ダイオードの断面図を各基板において示す。なお、外周円の拡散はオーミック特性を得るために作製した。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)= $6.53[\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)]$ (in Si))を照射した。照射誘起過渡電流を測定するため、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)システムにより測定を行い、高速オシロスコープ(帯域: 3GHz)を用いて照射誘起電流を観測した。

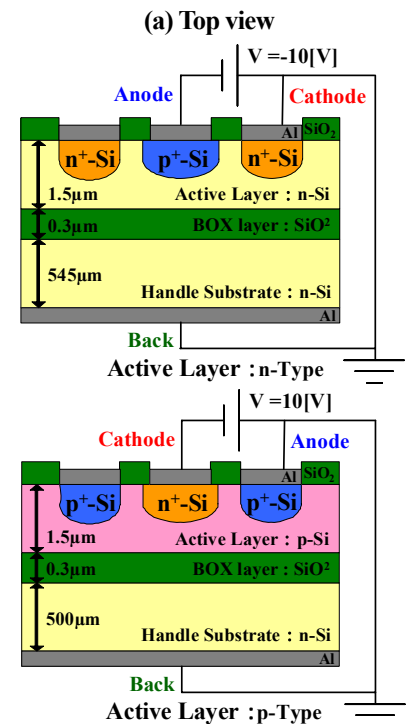
電荷収集機構の解析のため Anode, Cathode, Back 各電極での過渡電流測定を行った。その際、ダイオードに逆方向電圧を印加(Buck 及び外周電極は接地)した状態で照射を行った。また、誘起電流の照射位置依存性についても評価を行った。

### 3. 結果・検討

図 2 に活性層 n 形 SOI 基板 pn ダイオードでの重イオン照射誘起電流(実線)及び収集電荷量(点線)を示す。その際、電流の極性は電極から流れ出す方向を正と定義した。誘起電流の主成分は Anode, Back 電流であり、Cathode 電流は



Active Layer : n-Type Active Layer : p-Type



(b) Cross section

Figure 1. Devices 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

ほとんど観測されなかった。収集電荷量は、Anode 電極において 162[fC]であり、活性層内で発生する電荷量(約 100[fC])の約 1.6 倍に相当する。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ていることを示している。本構造において逆バイアスを印加した場合、支持基板表面には空乏層電界が発生する。支持基板内で発生した電荷は、空乏層電界により電界付近に蓄積し、変位電流が発生する。この電流が、収集電荷量増加の原因であると考えられる。そのため、支持基板表面の空乏層を縮小し、変位電流を抑制する構造において、重イオン照射実験を行った。

図3に活性層 p 形 SOI 基板 pn ダイオードでの重イオン照射誘起電流(実線)及び収集電荷量(点線)を示す。誘起電流を比較すると、主成分は Cathode, Anode 電流であり、Back 電流が低く抑えられている。本構造において逆バイアスを印加した場合、支持基板表面は蓄積状態となる。よって、支持基板表面の空乏層幅が縮小し、空乏層電界による電荷収集が抑制され、活性層における導電電流が支配的になった結果といえる。なお、収集電荷量は活性層内で発生する電荷量(約 100[fC])以下に抑えられることがわかる。

図4に活性層 n 形 SOI 基板 pn ダイオードにおける重イオン照射誘起電流ピーク値の照射位置依存性を示す。p<sup>+</sup>拡散部分の端付近に照射した際に、大きな電流が測定されていることが分かる。これは、発生電荷が活性層 pn 接合の横方向空乏層電界に引き寄せられたためと考えられる。

図5に活性層 p 形 SOI 基板 pn ダイオードにおける重イオン照射誘起電流ピーク値の照射位置依存性を示す。n<sup>+</sup>拡散部分の中心付近では電流ピークが確認されず、端付近では電流ピークの減少が確認できる。これは、支持基板表面の空乏層電界が抑制された結果と考えられる。

4. まとめ

SOI 基板 pn ダイオードにおいて、活性層の基板タイプを変更することで、重イオン照射による収集電荷量が減少し、活性層における収集電荷量程度に抑えられることが確認された。これより、支持基板表面の空乏層幅制御により、BOX 層を介した収集電荷量の抑制が可能であることを実験的に確認した。また、拡散領域のエッジ領域に重イオンを照射した際に、大きな過度電流が観測されることもわかった。今後、支持基板の不純物濃度が照射誘起電流に及ぼす効果についても検討を行なう。

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

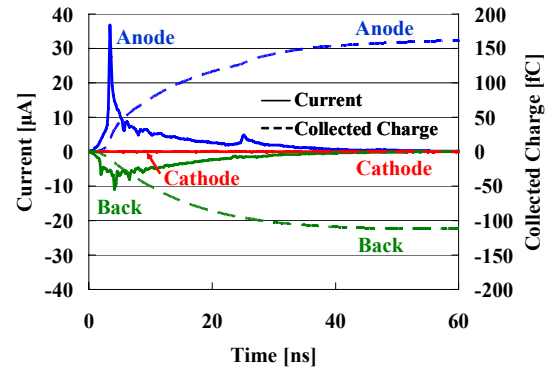


Figure 2. Heavy-ion induced current and collected charge(Active layer: n-Type)

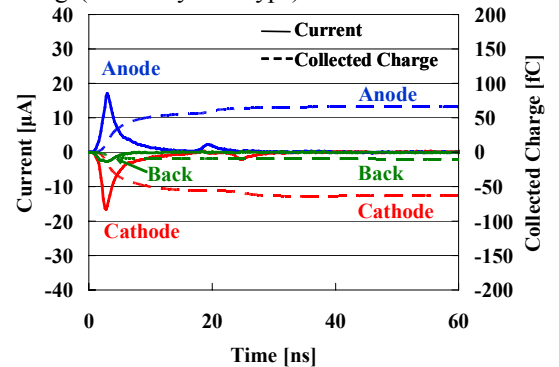


Figure 3. Heavy-ion induced current and collected charge(Active layer: p-Type)

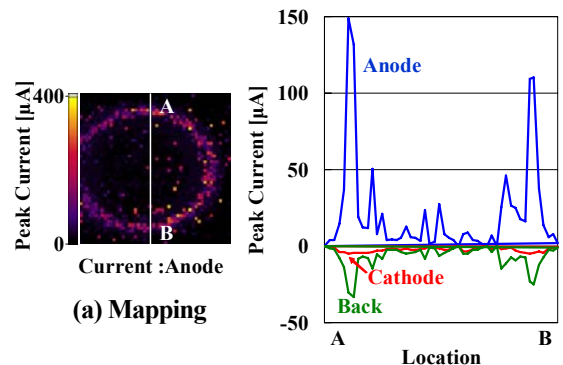


Figure 4. Ion hitting location dependence on the peak of transient current (Active layer: n-Type)

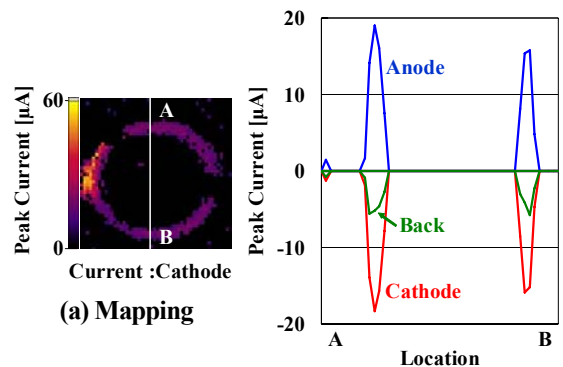


Figure 5. Ion hitting location dependence on the peak of transient current (Active layer: p-Type)