

M-16

SOI-pn ダイオードにおける重イオン照射誘起電流の照射位置依存性

Dependence of ion hitting location on heavy ion induced current in SOI-pn diode

○家城大輔¹, 小宮山隆洋¹, 金子直之², 山本航汰², 高橋芳浩³*Daisuke Ieki¹, Takahiro Komiyama¹, Naoyuki Kaneko², Kouta Yamamoto², Yoshihiro Takahashi³

Abstract : Heavy-ion induced transient currents in SOI-pn junction diodes have been investigated. The total collected charge when ion hit to the edge of anode area was much more than that when hitting to center of anode area. By device simulation, it was found that the sensitive area is wider than depletion layer around the anode area.

1. 序論

現在、半導体デバイスは人工衛星等に搭載され宇宙空間においても使用されている。しかし、宇宙空間は強い放射線環境であり、放射線照射によるデバイスの特性劣化や一時的な誤動作が、重要な問題となっている。半導体デバイスに高エネルギーイオン粒子などが照射されると、その飛程に沿って高密度な電子正孔対が発生し、その一部が電極に収集されることにより回路に過渡電流が発生し、誤動作が引き起こされる（シングスイメント効果）。一方、SOI (Silicon on Insulator) デバイスは、基板内に埋め込み酸化膜(BOX: Buried Oxide)層を有しており、薄い活性層中で発生した電荷のみが収集に寄与することから、放射線耐性向上が期待される。我々はこれまでに SOI デバイスのシングスイメント耐性を目的に、図 1 に示す SOI-pn ダイオードの重イオン照射誘起電流について検討を行ってきた。その結果、BOX 層を介した変位電流による電荷収集が無視できないこと、また、この変位電流は高不純物濃度の支持基板を用いる事により抑制可能であることなどを確認してきた。^{[1][2]}

照射実験は、日本原子力研究所のタンデム加速器を用いて、主に加速エネルギー15 [MeV]の酸素イオンの照射を行ってきた。この装置を用いると、単一イオンを走査して照射することが可能であり、誘起電流の照射位置依存性評価が可能である。図 2 に、アノード領域直径 100[μm]のダイオードにおける収集電荷量（電流の時間積分値）の照射位置依存性を示す。アノード領域周辺部に照射した際に大きな電荷収集が生じた。しかし場所分解能は数[μm]程度であり、デバイスサイズを小さくした場合などには詳細な照射位置依存性評価が困難となる。更に、よりエネルギーの大きなイオンの照射には、サイクロトロン加速器の使用が必要であるものの、現在、サイクロトロンには単一イオン形成機能が備え付けられておらず、位置依存性の評価ができないという問題がある。そこで本研究では、デバイスシミュレーションを用いることにより、SOI-pn ダイオードにおける詳細な照射位置依存性について検討を行った。

2. 計算モデル及びシミュレーション条件

図 1 の断面構造より 2 次元計算モデルを作成し、ISE-TCAD を用いて誘起電流および収集電荷量のシミュレーションを行った。n 形活性層 ($N_D=10^{15}[\text{cm}^{-3}]$)、n⁺形支持基板 ($N_D=10^{18}[\text{cm}^{-3}]$) を有するアノード幅 100 [μm]の SOI-pn ダイオードである。Anode 印加電圧-10 [V]、Cathode, Back 電極は接地した状態で、LET=67 [fC/μm]、飛程 10 [μm]のイオン (15 [MeV]、O イオンと等価) が垂直入射した際の計算を行った。なお、電荷の発生率は計算開始後 10 [ps]に最大となり、イオントラック半径方向には $\sigma=50$ [nm]のガウス分布で電荷が発生（飛程に沿っては均一分布）すると設定した。このとき、厚さ 1.5 [μm]の活性層中の発生電荷量は 100 [fC]程度となる。以上の条件で、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について評価した。

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

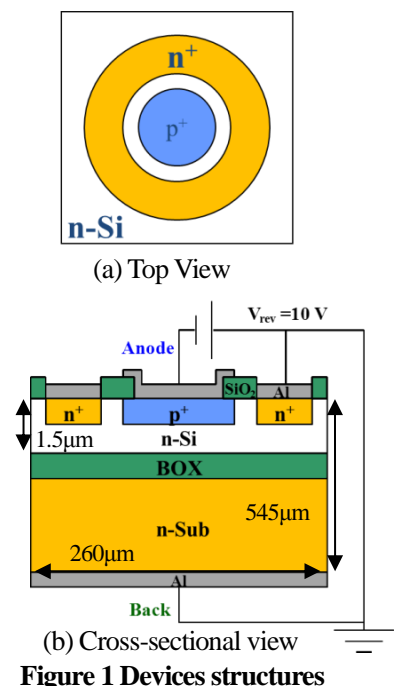


Figure 1 Devices structures

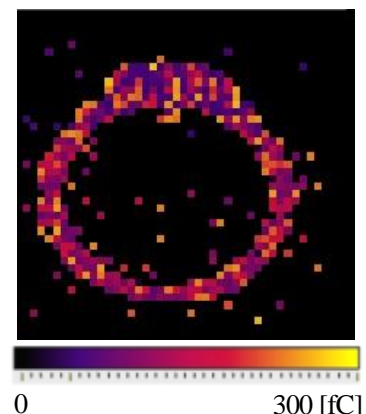


Figure 2 Mapping of collected charge (size : 200 ×200 [μm])

3. 結果・考察

図 3 に、アノード中心部に照射した際の各電極における照射誘起電流（実線）および収集電荷量（点線）の計算結果を示す。なお、電流はデバイスから流れ出す方向を正方向と定義した。照射直後にアノードおよび基板（Back）電極で大きな電流が発生する。これは、BOX 層を介した変位電流によるものである。その後、発生した電荷の一部がカソード領域に到達することによりカソード電流が増加する。一方、支持基板表面に蓄積した電荷が徐々に再結合し消滅することによって、正の基板電流（再結合電流）が発生し、収集電荷量は 0 になることがわかる。ただし、これらカソード電流および正の基板電流は、照射直後に発生する電流に比べて非常に小さいことが確認された。CMOS 回路において OFF 状態の FET にイオンが照射された場合、ON 電流と同等以上の電流が発生すると、ノード電位が変化し回路誤動作が引き起こされる。pn ダイオードは、p-ch MOSFET のドレイン-チャネル構造と同様であると考えられる。すなわち、ノード電位の変化に寄与するアノード収集電荷量は、照射後約 5 [ns]の間に発生する大きな電流により収集される 34 [fC]程度であると考えられる。

図 4 に、アノード中心から 54 [μm]（アノード拡散領域より 4 [μm]）の位置（n 領域）に照射した際の結果を示す。図 3 の結果と異なり、照射後 0.1 [ns]程度までは電流が発生しなかった。これは、照射位置が各電極から離れていること、および照射位置の BOX 層に電界が印加されていないことから、変位電流が発生しなかったことが原因と考えられる。その後、発生した電荷がアノードおよびカソード電極に徐々に収集されることにより照射後 0.1~100 [ns]の長時間にわたって電流が発生する。中心部照射に比べて、発生電流値は小さいものの、発生時間が非常に長いため収集電荷量は多くなり、100 [pC]以上の電荷収集が生じることがわかった。

図 5 に、アノードにおける収集電荷量の照射位置依存性を示す。なお収集電荷量は、アノード電流が 1 [μA]となるまでの収集電荷として定義した。また、照射実験においても 0.1 [μA]程度以上のノイズが確認されており、実験結果との比較には妥当な定義と考えている。結果より、アノード拡散領域端より 10 [μm]程度の領域に照射した際に大きな電荷収集が生じることがわかった。図 2 の実験結果においても、アノード周囲 10 [μm]程度において大きな電荷収集が確認されており、2 次元シミュレーションによっても実験結果をある程度予測可能であることを確認した。なお、アノード電圧-10 [V]の場合、アノード領域端から n 領域に伸びる空乏層幅は 3.8 [μm]程度であり、これより 6 [μm]程広い領域に照射した際に大きな電荷収集が生じることが確認された。これは、この領域で発生した電荷の多くが、再結合で消滅する前に空乏層領域に到達し、アノード電極で収集されることを意味する。この寸法は、デバイスサイズを縮小しても大きく変化しないものと考えられる。すなわち、デバイスサイズ縮小に伴い、この周辺部照射による電荷収集の効果が相対的に大きくなることを示している。今後、3 次元デバイスシミュレーションの実施と併せ、微細デバイスに対する照射誘起電流の解析を進め、シングリオン耐性の更なる向上を目指す予定である。

5. 参考文献

- [1] 小宮山 隆洋：「SOI 基板上の pn ダイオードにおける重イオン照射誘起電流」，平成 24 年度 学術講演会論文
- [2] 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

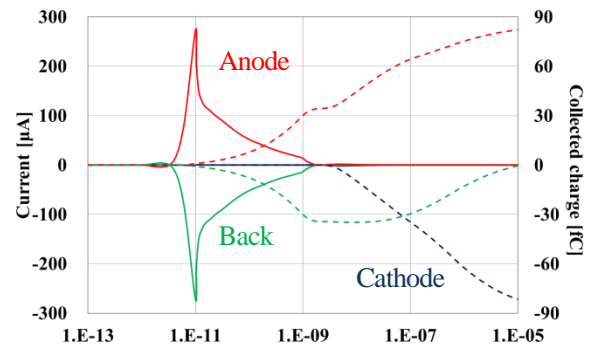


Figure 3 Transient current and collected charge when ion hits to the center of anode

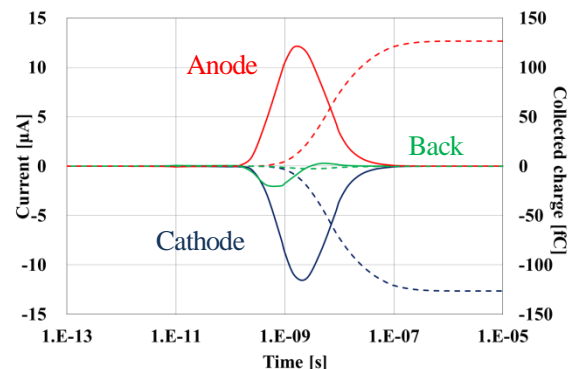


Figure 4 Transient current and collected charge when ion hits to 54 [μm] away from center

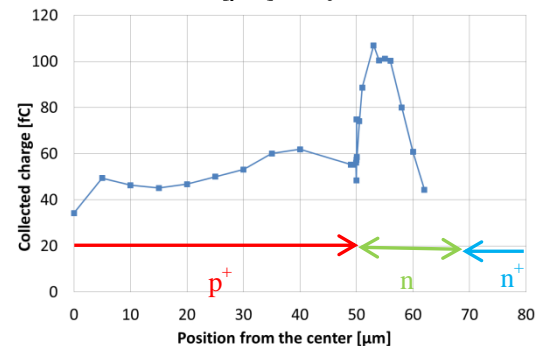


Figure 5 Ion hitting location dependence of the total collected charge