

pin 及び pnp 構造素子における重イオン照射誘起電流

Heavy ion irradiation induced current in pin and pnp device structure

○岩波悠太¹, 唐鎌亮太¹, 三田梓郎², 呉研³, 高橋芳浩³*Yuta Iwanami¹, Ryota Karakama¹, Shiro Mita², Yan Wu³, Yoshihiro Takahashi³

Abstract: In order to confirm the radiation resistance of the tunnel FET (TFET), a heavy ion irradiation experiment was performed on a device having pin and pnp structures. From the results, it was confirmed that the device with the pin structure can suppress the amount of collected charges and the tunnel FET has radiation resistance.

1. 序論

現在、半導体デバイスは高い信頼性を有しているが、宇宙空間や原子炉周辺などの強い放射線環境下で使用した場合、一時的な誤動作(ソフトエラー)や恒久的な故障(ハードエラー)などが問題となる。半導体デバイスに電離放射線が照射されると、その飛程に沿って高密度の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流れ、一時的な誤動作や故障が引き起こされる。この現象をシングルイベント効果(SEE: Single Event Effect)という。一方、基板内に埋め込み酸化膜(BOX: Buried Oxide)層を有するSOI(Silicon on Insulator)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制されることから、放射線耐性に効果があることが知られている。しかし、SOIデバイスの欠点の1つとして、寄生バイポーラ効果が挙げられる^[1]。寄生バイポーラ効果とは、放射線照射により発生した正孔(電子)がBodyに蓄積することで、Bodyのポテンシャルが変化し、SourceからDrainへ放射線により発生した電荷量以上の電荷が注入される現象である。寄生バイポーラ効果を抑制することは、ソフトエラー低減のための重要な課題の1つとなっている。

寄生バイポーラ効果の抑制方法の1つとして、トンネルFETの利用が提案されている。トンネルFETはSourceからBodyへのキャリアのトンネル注入を駆動原理とするデバイスであり、Source, Drainにそれぞれ異なる不純物原子を導入することにより階段状のエネルギーバンドが形成される。これまでの研究で、放射線照射により発生した電荷はBodyに蓄積されることなくSource, Drainに収集されることにより寄生バイポーラ効果を抑制できることをシミュレーションにより確認している^[2]。また、ゲート電極を取り除きデバイス構造を簡略化したモデルについても同様の結果が得られることをシミュレーションにより確認している。そこで本報告では、トンネルFETを想定したpin構造を有する素子及び、従来のMOSFETを想定したpnp構造を有する素子に対して重イオン照射実験を行い、トンネルFETの耐放射線性について検討を行う。

2. 方法

Fig.1に重イオン照射実験を行ったデバイス構造の断面図を示す。不純物領域間距離(A)はpin, pnpともに500[nm]とした。AVFサイクロトロンを用いて加速電圧107MeVの⁴⁰Arを照射した。このときSiに対する線エネルギー付与(LET: Linear Energy Transfer)は16.9 [MeVcm²/mg]、またSOI層における発生電荷量(Q_{dep})は261 [fC]である。重イオン照射時には各デバイスのDrainに相当する電極に2 [V]を印加し、発生した過度電流はバイアスティを介して帯域15[GHz]のオシロスコープにより出力波形の観測を行った。一方で、今回の実験条件においてシミュレーションによる検討も行った。

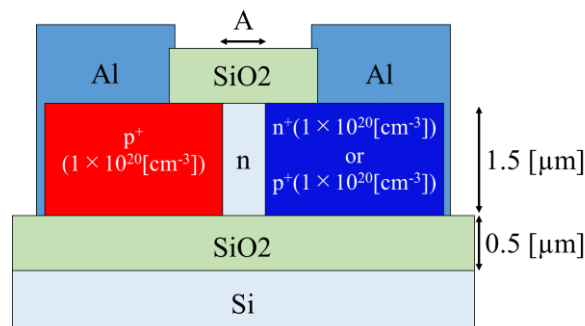


Fig. 1 Device structure (Cross section)

3. 結果・考察

今回の実験条件におけるシミュレーション結果をFig.3に示す. pnp構造では過度電流の収束に時間がかかっていることから寄生バイポーラ効果が発生していることが分かる. そしてFig.3の過度電流の波形を積分することにより算出した収集電荷量(Q_{col})をFig.4に示す. pin構造では収集電荷量は発生電荷量と同等であることから寄生バイポーラ効果が発生していないことが分かる. また, それぞれの収集電荷量を比較するとpin構造では0.25 [pC], pnp構造では5.3 [pC]であり, pin構造は収集電荷量を1/20程度にまで抑制出来ていることを確認した.

Fig.5にpin構造に対する重イオン照射結果を示す. マイナス方向の電流はBOX層を介した変位電流によるものと考えられる. またこの波形を積分し算出した収集電荷量は26[fC]となった. Fig.6にpnp構造に対する重イオン照射結果を示す. 0 [mA]付近の信号はノイズ成分によるものと考えられる. またこの波形を積分し算出した収集電荷量は163[fC]となった. 実験結果とシミュレーションで電流のピーク値が大きく異なるのは配線による抵抗や, バイアスティに含まれるハイパスフィルタによるものと考えられる. 今回の重イオン照射実験結果より, pin構造はpnp構造に対して収集電荷量を1/8程度まで抑制できることを確認した.

4. まとめ

pin構造とpnp構造を有するデバイスに対して重イオン照射実験を行い寄生バイポーラ効果の有無について検討を行った. 結果よりpin構造を有するデバイスは収集電荷量が小さいことが確認でき, トンネルFETの耐放射線性を示した.

謝辞

本研究の一部は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し, シノプシス株式会社の協力で行われたものである. また, JSPS 科研費 JP16K18094の助成を受けたものである.

照射実験において御協力, ご指導いただきました量子ビーム応用研究センター半導体耐放射性研究グループ, 牧野高紘氏, 小野田忍氏, 大島武氏に深謝いたします.

参考文献

- [1] 山本航汰: 「微細SOI-CMOS回路における重イオン照射効果」, 平成27年度修士論文
- [2] 呉研, 他: 「トンネルFETに対する放射線影響およびSi系ヘテロ接合におけるON電流向上効果」, 平成26年度日本大学理工学部学術講演会, C - 1, 2016 - 12.

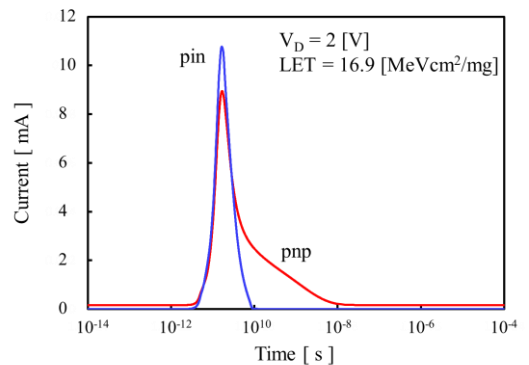


Fig. 3 Heavy ion induced transient current (Simulated results)

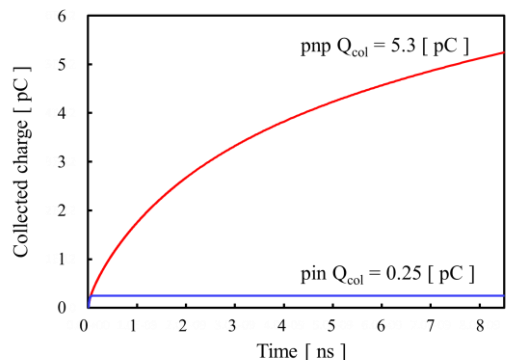


Fig. 4 Collected charge (Simulated result)

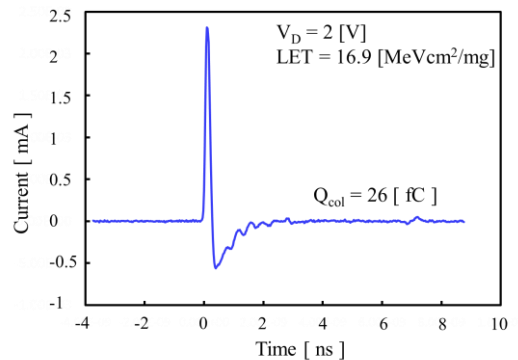


Fig. 5 Heavy ion induced transient current in pin structure (Measured results)

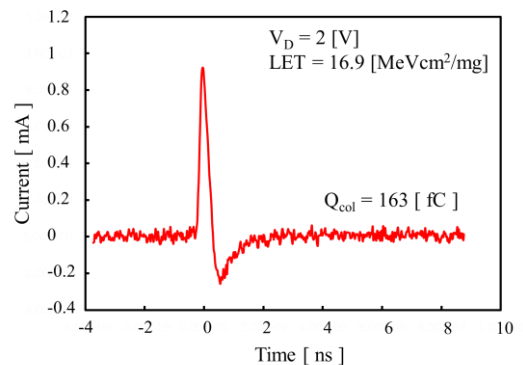


Fig. 6 Heavy ion induced transient current in pnp structure (Measured results)