

パルスレーザーによる二光子吸収過程を利用した 重イオン誘起 SET パルス波形のエネルギー依存性の再現

Simulation of energy dependence of heavy-ion-induced SET waveforms with two-photon absorption pulsed laser

東大院工¹, 宇宙研²

○唐木 達矢^{1,2}, 小林 大輔², 廣瀬 和之^{1,2}

The Univ. of Tokyo¹, ISAS/JAXA²,

°Tatsuya Karaki^{1,2}, Daisuke Kobayashi², Kazuyuki Hirose^{1,2}

E-mail: karaki.tatsuya@ac.jaxa.jp, hirose@isas.jaxa.jp

[緒言]

宇宙環境において、重イオンなどの荷電粒子が半導体デバイスに入射すると、ソフトエラーの原因となる過渡電流パルス「Single Event Transient (SET)」が発生する。SET 波形はソフトエラーの発生頻度を左右する重要なパラメータであり、重イオンの核種やエネルギー、そして、デバイスの構造や動作状態に依存する。加速器施設で使える重イオンの種類がいつも十分とは限らないため、不足を補える評価手法が望まれている。これまで我々はガウシアンビームに成形したパルスレーザーを照射した際の二光子吸収過程を利用して、重イオン照射試験[1]で得た SET 波形を再現することに成功したが、焦点位置とレーザーパワーを最適化する必要があるという課題が残った[2]。その後 Hales らは、ベッセルビームに成形した焦点深度の深いパルスレーザーを用いることで焦点位置とレーザーパワーの最適化という課題を回避して、重イオン照射で得た SET 波形を再現した[3]。しかし重イオンのエネルギーが小さく重イオンの飛程 r が素子の感応深さ Z_{sv} よりも小さい場合には、レーザーパワー最適化の課題を回避して再現できるか否か示されていない。そこで、加速器のエネルギー条件の隙間を埋めること、すなわち、重イオンのエネルギー依存性を再現できるかどうか明らかにするため、我々は、Hales らが検証していない低エネルギー条件に注目して、エネルギー依存性を再現できるか試みた。

[実験]

フェムト秒パルスレーザーとアキシコンレンズ、チューブレンズ、対物レンズを用いてベッセルビームを成形した。深さ方向電荷分布は半値幅で $800 \mu\text{m}$ と予想され、ガウシアンビームの $10 \mu\text{m}$ に比べ非常に長い。試料には、文献[1]の試料と同一の浜松ホトニクス社製 Si PIN フォトダイオード S5973 ($Z_{sv} = 15 \mu\text{m}$)を用いた。また、SET の観測には、Textronix 社製 1GHz オシロスコープ(MSO 4104)を用いた。

[結果と考察]

結果を Fig. 1 に示す。焦点位置の調整なしに、レーザーパワーを調整するだけで 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 18 MeV ($\forall r < 11 \mu\text{m}$)の低エネルギー酸素イオンの SET 波形を再現した。フォトダイオードの素子構造と不純物分布からモンテカルロ法で計算された LET の深さ分布[1]を用いてフォトダイオードへの付与電荷量を計算し、重イオン照射により得られた SET 波形を積分して得られた収集電荷量と比較すると、再現できたすべてのエネルギーで両者は一致した。すなわち、再現できた重イオンエネルギーの範囲内で、付与電荷量と一致する収集電荷量になるようにパルスレーザーのパワーを設定すればレーザー照射で焦点位置の最適化をせずに SET 波形を再現でき、加速器のエネルギー条件の隙間を埋めるような SET 波形のエネルギー依存性を再現できることが分かった。このエネルギー補完方法は、バルクや SOI の MOSFET にも適用できる可能性がある。

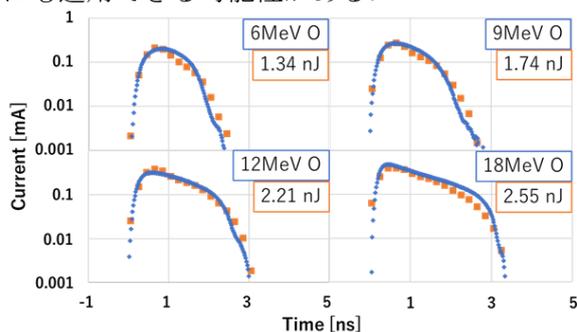


Fig. 1: SET induced by the Bessel beam (orange plot) and O ions (blue plot)

[謝辞]

本研究は JSPS 科研費 JP20H02217 の助成を受けたものである。

- [1] S. Onoda, *et al.*, Radi. Phys. Chem., **78**, 2009.
 [2] H. Itsuji, *et al.*, J. Appl. Phys., **56**, 2017.
 [3] J. Hales, *et al.*, IEEE TNS, **67**, 2019.