

二光子吸収過程を用いたレーザーによるソフトエラーシミュレーションの再現性 Reproducibility of laser-based soft-error simulation employing two-photon absorption process

東大院工¹, JAXA 宇宙研²

○井辻 宏章^{1,2}, 小林 大輔^{1,2}, 廣瀬 和之^{1,2}

Univ. Tokyo¹, ISAS/JAXA²

◦Hiroaki Itsuji^{1,2}, Daisuke Kobayashi^{1,2}, Kazuyuki Hirose^{1,2}

E-mail: h.itsuji@ac.jaxa.jp, hirose@isas.jaxa.jp

【はじめに】 半導体デバイスの微細化・高速化に伴い、ソフトエラーが顕在化してきた。ソフトエラーは、放射線の電離作用により MOSFET 内に多量の電子正孔対が生成され、ドレインで収集される際の電流パルスに端を発する。ソフトエラーの評価法として、重イオン照射による評価や、パルスレーザーを用いた二光子吸収過程による評価が提案されている。高エネルギー宇宙放射線（荷電粒子）を模擬する重イオン照射による評価がこの種の評価で広く用いられているが、デバイスへの入射タイミングの制御が困難である。また、重イオン照射による評価では、重イオンの長い飛程に沿ってデバイス内に電荷が生成される。一方で二光子吸収過程による評価等のパルスレーザーによる評価は、入射タイミングの制御が容易であることから、ソフトエラー脆弱タイミングの特定等に用いられている。また、二光子吸収過程による評価では、デバイス内の焦点位置のみ(10 μm 程の範囲)に電荷が生成される[1]。前回の報告では、二光子吸収過程による評価のために構築した国内初の測定系のスペックを紹介した[2]。二光子吸収過程による評価の特徴のため、重イオン照射による評価の代替として二光子吸収過程による評価を行う事例が増えている。しかしながら、重イオン照射時の電流パルス波形を、二光子吸収過程による評価で再現できることは確認されていない。そこで、重イオン照射時の電流パルスデータ[3]がある Si PIN フォトダイオードを二光子吸収過程により評価し、重イオン照射による評価時の電流パルス波形との比較を行った。

【実験方法】 開発したクロムフォールステライトレーザーを用いて、波長 1.25 μm, パルス幅 130 fs, 繰り返し周波数 10 Hz のパルス光を射出した。その際のパルス光のエネルギー（パルスエネルギー）を減衰器で調節し、減衰器を経たパルス光を 100 倍の対物レンズで集光した。そして Si PIN フォトダイオード（空乏層厚: 15 μm）をハンダ付けした特性インピーダンス 50 Ω のチップキャリアを、治具により手動 3 軸ステージ（分解能: 0.07 μm）上に固定し、集光したパルス光を試料に対して垂直に照射した。試料にはバイアスティーを介して 10 V の逆バイアス電圧を印可し、電流パルスを 30 GHz のシングルショットオシロスコープにより測定した。ただし、測定においては BNC ケーブルを用いたため、測定周波数帯域は 3 GHz に律速される。

(i) パルスエネルギー依存性：試料を深さ方向に走査し、電流パルスのピーク値が最大となる深さ位置（空乏層中心付近）に集光し、パルスエネルギーを 0.72 nJ, 0.54 nJ, 0.36 nJ と変化させた時の電流パルスを測定した。

(ii) 焦点位置依存性：パルスエネルギーを 0.72 nJ に固定して、電流パルスのピーク値が最大となる位置（z = 0 μm とする）と、その時の焦点位置から試料の背面方向へ 2 μm ステップで 3 回焦点位置を移動させた際の、それぞれの位置（z = 2, 4, 6 μm とする）における電流パルスを測定した。

【実験結果】 Fig. 1 に電流パルスのパルスエネルギー依存性、Fig. 2 に電流パルスの焦点位置依存性を示す。これらの図の縦軸は、電流パルスのピーク値を規格化している。Fig. 1 より、パルスエネルギーを大きくするにつれて、電荷収集の時定数が大きくなることがわかった。これは、パルスエネルギーを大きくすることで電荷の収集過程が変化したことを示唆している。Fig. 2 より、焦点位置を変化させた場合は、電荷収集の時定数がほぼ変化しないことがわかった。Fig. 3 では、Fig. 2 を絶対値で表し、あわせて 100 MeV の重イオン（酸素イオン）照射による電流パルス[3]を示す。Fig. 3 より、焦点位置を変化させると電流パルスのピーク値が変化することがわかる。これらの結果より、パルスエネルギーを変化させることで重イオン照射時の電流パルスの時定数となるように調節し、その後、焦点位置を変化させることで重イオン照射時の電流パルスのピーク値となるように調節すれば、任意の重イオン照射による電流パルスを再現できると予想される。

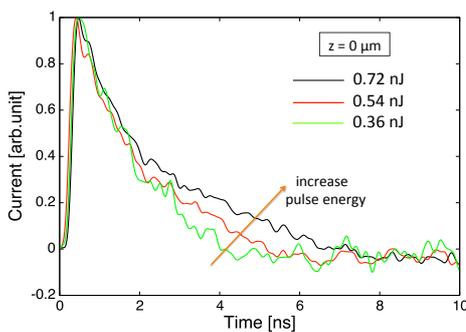


Fig. 1 The pulse energy dependence of current pulses.

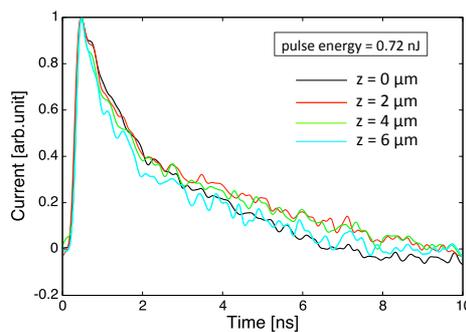


Fig. 2 The focal position dependence of current pulses.

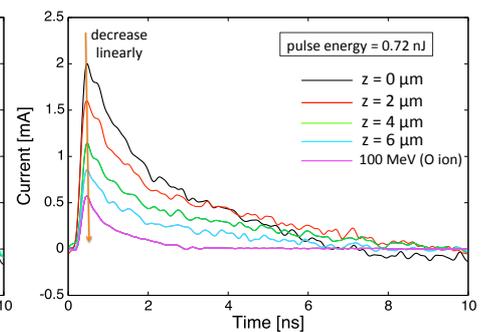


Fig. 3 The comparison with a heavy-ion induced current pulse.

[1] K. Shao *et al.*, *Opt. Express* vol. 19, no. 23, pp.22594-22599, 2011.

[2] 井辻 宏章, 小林大輔, 廣瀬 和之, 第 75 回秋季応用物理学会, 19p-A15-6, 2014.

[3] S. Onoda *et al.*, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 53, no. 6, pp. 3731-3737, 2006.