

二光子吸収過程を用いたレーザによるソフトエラーシミュレーションの 焦点位置依存性の数値解析

Numerical analysis of focal position dependence 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] 重イオンなどの放射線が半導体デバイスに入射すると多量のノイズ電荷 (電子正孔対) が生成される. このノイズ電荷が過渡電流となって回路中に流れ, 半導体デバイスの誤動作, つまりソフトエラーが起こる. ソフトエラーが起こるか否かは過渡電流の大きさ, すなわちパルス幅 t_{SET} や収集電荷量 Q_{COL} などにより決まる. Q_{COL} は過渡電流を積分することで得られる.

それらの評価方法として二光子吸収型パルスレーザ照射法が用いられている[1]. それは焦点位置にのみノイズ電荷を生成することができ, レーザのパルスエネルギーを変えることでその量を変えることができる. これまでのところ, パルスエネルギーを一定として, デバイスの深さ方向に焦点位置を動かしたら t_{SET} がどうなるかは詳しく調べられていない. そこで前回, Si pin フォトダイオードに対し, そのときの t_{SET} を測定した[2]. その結果, Q_{COL} が同じでも, 異なる t_{SET} になる場合があることがわかった. さらにその場合, p^+ 層側 (表面側) にノイズ電荷を生成したときよりも, n^+ 層側 (裏面側) に生成したときの方が t_{SET} が長くなる傾向があった. 今回, この理由をシミュレーションで調べた.

[シミュレーション] 三次元半導体シミュレーションシステム (HyENEXSS) を用いた. 前回の実験[2]で用いた Si pin フォトダイオードの構造を, [3], [4]をもとに作成した. すなわち, p^+ 層, i 層, n^+ 層の不純物密度はそれぞれ $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした. また, 各層の厚さはそれぞれ $1 \mu\text{m}$, $15 \mu\text{m}$, $334 \mu\text{m}$ とした. この構造の内部にノイズ電荷を入力し, その位置を深さ方向で変えながら過渡電流を計算した. 逆バイアス電圧は, 実験と同じ 10 V とした. なお, ここで入力したノイズ電荷は, [5]に記載された式を用いて計算した. その長さは, $60 \mu\text{m}$ 程度であった. その $60 \mu\text{m}$ に渡るノイズ電荷の総量は 15 pC とした.

[結果] Fig. 1に Q_{COL} と t_{SET} の関係を示す. 実験[2]と同様, t_{SET} は, 電流が 0.1 mA 以上となる時間幅とした. 実験[2]と同様, Q_{COL} が同じでも, 異なる t_{SET} になる場合があることがあった. Fig. 1で Q_{COL} が同じになった, 焦点位置が表面から $4 \mu\text{m}$ ($z = 4 \mu\text{m}$), $16 \mu\text{m}$ ($z = 16 \mu\text{m}$)のときのポテンシャルを Fig. 2に示す. ノイズ電荷を生成してから 10 ns 後のポテンシャルである. あわせて定常状態のポテンシャルを示す. $z = 16 \mu\text{m}$ (n^+ 層側)のときのポテンシャルは, $z = 4 \mu\text{m}$ (p^+ 層側)のときと比べ, 定常状態のポテンシャルとの差が大きいことがわかる. このことは, n^+ 層側にノイズ電荷を生成したときの方が, ノイズ電荷が乱した i 層のポテンシャルの回復時間が長いことを示唆している. これが, 実験[2]で, n^+ 層側 (裏面側) に生成したときの方が t_{SET} が長くなった理由だと考えられる. 今後, ポテンシャルの回復時間が長くなる理由を検討する.

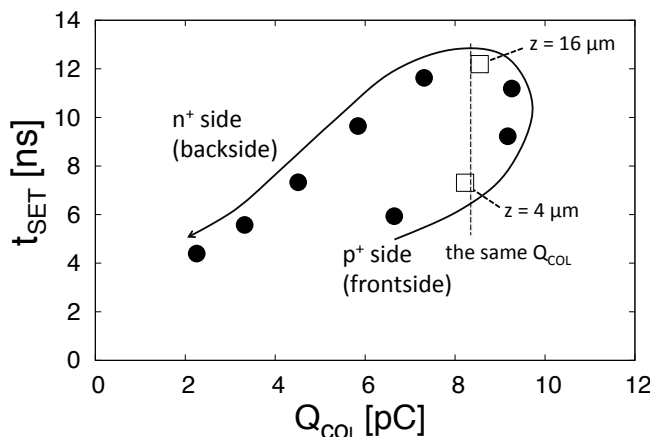


Fig. 1 The relationship between Q_{COL} and t_{SET} when the focal position is moved.

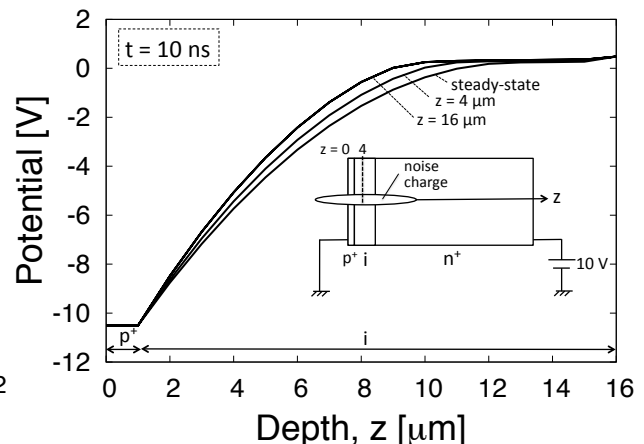


Fig. 2 The electric potential profile.

[1] D. McMorrow *et al.*, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 49, no. 6, pp. 3002-3008, 2002.

[2] 井辻 宏章, 小林 大輔, 廣瀬 和之, 第76回応用物理学会秋期学術講演会, 16a-2D-11, 2015.

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

[4] J. S. Laird *et al.*, *J. Appl. Phys.*, vol. 98, no. 013530, 2005.

[5] S. P. Buchner *et al.*, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 60, no. 3, p. 1857, 2013.