

二光子吸収過程を用いた半導体デバイスにおける電荷収集 Charge Collection in Semiconductor Devices Irradiated by Pulsed-laser using 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] 高エネルギー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電荷 (電子正孔対) が生成される. この電荷が電流パルスとなり, 半導体デバイスのソフトウェアが起る可能性がある. ソフトウェアが起るか否かは電流パルス波形が影響を与える. スケーリングによる電源電圧の低下により, 多量の電荷の影響を受け, 電流パルス波形が大きく変化すると予想されている[1]. これまで, Si PINフォトダイオードに重イオンを照射し, 多量の電荷が生成されたときの電流パルス波形が調べられてきた[2]. 文献[2]によると, 重イオン照射時の多量の電荷生成時の電流パルス波形には, アンビポーラ領域, バイポーラ領域が現れることが示されている. 重イオン照射法では重イオンの飛程に沿ってデバイス内に電荷が生成される. 一方, 二光子吸収型パルスレーザー照射法ではデバイス内の焦点位置のみに電荷が生成される[3]. そのため, 局所的に電荷を生成したときに生じる電流パルスを調べることができる. 前回, 我々は二光子吸収型パルスレーザー照射法によるSi PINフォトダイオードの測定では, アンビポーラ領域と思われる時間領域が現れることを示した[4]. しかしながら, 電流パルスのS/N比が悪く, アンビポーラ領域とバイポーラ領域の区別が困難であった. 本研究では, 測定した複数の電流パルスを平均化することでS/N比を向上させた. そして, パルスエネルギーを増加させて, 二光子吸収型パルスレーザー照射法でも多量の電荷生成時の現象であるアンビポーラ領域が明確に現れることの確認を行った. 次に, アンビポーラ領域が現れるパルスエネルギーで, 電流パルス波形の焦点位置依存性の測定を行った.

[実験方法] 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を介して 10 V の逆バイアス電圧を印可し, 電流パルス波形を 30 GHz の超高速オシロスコープにより測定した.

[実験結果] Fig. 1に, 電流ピーク値 I_{peak} が最大となる焦点位置 $\Delta z = 0 \mu\text{m}$ における電流パルス波形を規格化したものを示す. $\Delta z = 0 \mu\text{m}$ は空乏層付近だと考えられる. ここで, 入射パルスエネルギーは 2.39 nJ, 1.45 nJ, 0.73 nJ, 0.29 nJとした. Fig. 1では, パルスエネルギーが0.73~2.39 nJの場合に, 電流の減衰の傾きが一致していることから, アンビポーラ領域が明確に現れている. 急峻に減衰する領域はバイポーラ領域を表す. Fig. 2に, アンビポーラ領域が現れる1.45 nJのパルスエネルギーで, 焦点位置を変化させたときの電流パルス波形を示す. $\Delta z = 0 \mu\text{m}$ での電流パルス波形と, $\Delta z = 0 \mu\text{m}$ の位置からダイオードの裏面側 (n^+ 基板側) に7 μm , 14 μm 移動させたそれぞれの焦点位置での電流パルス波形を示す. 空乏層付近だと思われる $\Delta z = 0 \mu\text{m}$ の位置に電荷を生成した場合はアンビポーラ領域が短く, 5 ns あたりから急峻に減衰する領域であるバイポーラ領域が現れている. それよりも裏面側で電荷を生成した場合 ($\Delta z = 7 \mu\text{m}$, 14 μm) は, アンビポーラ領域がさらに長くなることがわかった. アンビポーラ領域が長くなることは, 多量の電荷生成により乱された空乏層のポテンシャルが回復するのに要する時間が長くなることを意味すると考えられる.

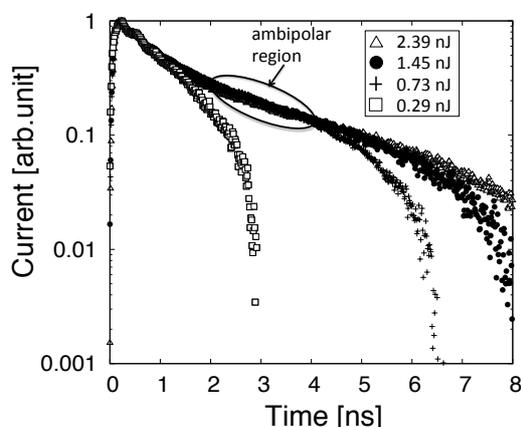


Fig. 1 The energy dependence of normalized current pulses at the I_{peak} maximum position.

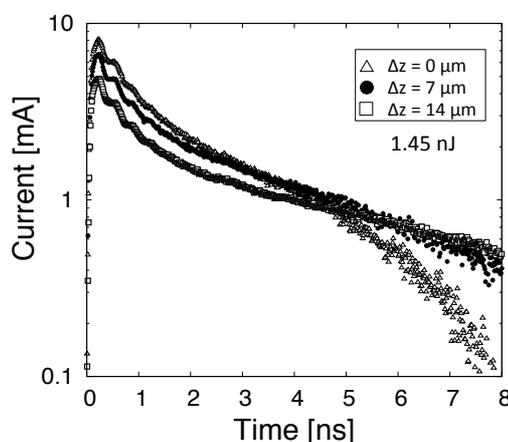


Fig. 2 The position dependence of current pulses under high carrier generation.

[1] N. C. Hooten et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 60, no. 6, pp. 4150-4158, 2013.

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

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

[4] 井辻 宏章, 小林 大輔, 廣瀬 和之, 第62回応用物理学会春期学術講演会, 11a-A27-9, 2015.