二光子吸収過程を用いた半導体デバイスの放射線照射効果の評価

Evaluation of radiation effects on semiconductor devices by two-photon absorption process

東大院工¹, 宇宙研² ⁰ 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に伴い,放射線起因のソフトエラーが顕在化してきた. ソフトエラー は主に,放射線が生成した電荷が MOSFET のドレインで収集されることによって生じるが,微細化と共に 電荷収集過程は複雑化している. そこで,半導体デバイスの放射線耐性を向上させるために,電荷収集過程 を解明する必要性がある.解明の手段として,重イオン照射試験が挙げられる.重イオン照射試験では,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,近年のフェムト秒レーザーの開発によ り,デバイス内の焦点位置のみに局所的に電荷を生成する二光子吸収過程による評価が可能となった^[1].こ れにより,放射線照射時の複雑な電荷収集過程の理解が深まると期待される.先行研究では,集積回路内の 放射線耐性が低い箇所のマッピング^[2]や,オペアンプ内の任意の深さに電荷を生成した際の過渡的な電圧変 化の測定^[1]が行われてきた.本研究では,集積回路の構成要素であるダイオードや MOSFET などの単一素子 の評価を行い,電荷収集過程の解明を目指す.二光子吸収過程による評価は米の NRL と仏の IMS のみでしか 行うことができなかったが,その目標に向け,二光子吸収過程による評価のための測定系を構築した.そし て,構築した測定系の健全性を確認するための測定を行った.

[測定系の概要] 構築した測定系の概要を述べる. 波長が 1.25 µm, 出力が 0.8 W, パルスの繰り返し周波数 が 28.5 MHz(周期: 35 ns)のフェムト秒クロムフォルステライトレーザーを導入した. パルスレーザーから 出射されたパルスのパワーは減衰器で調節する. そして, 減衰器を経たパルスを対物レンズで集光し, 試料 に対して垂直に照射する. その際に, 高分解能の手動 3 軸ステージ(分解能: 0.07 µm)上に固定した試料を 動かすことで, 任意の位置での電荷生成が可能となる.

[実験方法] パルスが空乏層で集光されるようにステージ位置を調整し, Si PIN フォトダイオードに繰り返し パルスを照射した.その際の定常電流(過渡電流を時間的に平均化した電流)を Source Measurement Unit で 測定した.ここではフォトダイオードに15 Vの逆バイアス電圧を印可し,パルスのパワーを 50 mW, 100 mW, 200 mW と変化させた.更なる実験として,パワーを固定し,電流が最大となるステージ位置の前後でステー ジを 50 μm ステップで試料の深さ方向に走査させ,定常電流を測定した.

[実験結果] Fig. 1 にパワーを変化させた際の電流の測定結果を示す.電流とパワーの2 乗が比例の関係にあることから,生成電荷数がパワーの2 乗に比例する^[1]二光子吸収過程による評価の特徴が現れていると考えられる. Fig. 2 にステージを走査させた際の電流の測定結果を示す.この結果においては深さ依存性が現れ, 100~200 µm あたりで顕著に電流が大きくなっている.空乏層内で生成された電荷の大部分は収集されるが,p型領域やn型領域で生成された電荷の大部分は再結合により消滅する.そのため,電流が大きいことは空乏層内で局所的に電荷が生成されたことに対応し,電流が小さいことはp型領域やn型領域で局所的に電荷が生成されたことに対応すると考えられる.以上から,二光子吸収過程による局所的な電荷生成が実現できたと言え,構築した測定系の健全性を確認できた.今後は過渡電流の測定に向けた測定系の立ち上げや, 微細な MOSFET への評価を試みたい.



Fig. 1 The power dependence

Fig. 2 The depth dependence

[1] D. McMorrow et al., IEEE Trans. Nucl. Sci, vol. 49, pp. 3002-3008, 2002.

^[2] D. McMorrow et al., IEEE Trans. Nucl. Sci, vol. 52, pp. 2421-2425, 2005.