耐放射線 SiC 電源回路の開発と圧力伝送器への応用

Development of radiation resistant SiC power supply circuit and application to pressure transmitter

*桑名 諒[1]，増永 昌弘[1]，江川 恵造[2]，野本 真司[1]，原 勲[1]，林 宏光[2]

[1]日立製作所，[2]日立ハイテクソリューションズ

原子力プラント内で使用される計測器の更なる耐放射線性向上のために、耐放射線 SiC オペアンプを搭載した電源回路を開発した。これを実装した圧力伝送器に対し、照射試験を実施した結果を報告する。

キーワード：原子力計装，電源回路，圧力伝送器，耐放射線，SiC，オペアンプ

1. 緒言

電源回路はさまざまな計測器に実装されており、負荷電流確保のためにオペアンプが用いられる。放射線環境で電源回路を使用する場合、このオペアンプの放射線ドリフトが原因で電源出力が低下し、計測器の性能劣化が起こる。対策として、放射線に弱い従来のケイ素(Si)から耐放射線性に優れる炭化ケイ素(SiC)をベースとしたオペアンプを開発した[1]。まずオペアンプ単体の安定動作時間を評価し、これを適用した電源回路と圧力伝送器を試作してγ線照射試験を実施した。

2. 試験内容及び結果

Si 製オペアンプ単体は約 0.3kGy でオフセット電圧の仕様範囲(±5mV 以内)を逸脱することを確認している[2]。これはγ線による電離作用により、酸化膜界面に電荷が蓄積するためである[1]。その対策として、耐放射線性に優れる SiC を用いたオペアンプを開発した。電源回路の適用にあたり、通常環境での安定動作時間を見積もるための故障期間評価(JEITA 規格 ED-4704A に準拠)を実施した。SiC オペアンプを構成する MOS-FET の実使用環境(±4V、120℃)での故障期間を評価した結果、Si 製オペアンプの 10 年に対して SiC 製 nMOS、pMOS いずれも従来品以上の安定動作が可能であり、MOS-FET で構成される SiC オペアンプは十分な信頼性を確保していることを確認できた。この SiC オペアンプで電源回路を製作し、γ線照射による耐放射線性能評価を実施した。電源回路の出力は±4V とし、Co-60 線源の線量率 1kGy/h でγ線を照射した結果、目標 50kGy を大幅に超える積算 1MGy でも誤差-1.05%以内で正常動作可能であることを確認した(図１)。この電源回路を、重要計器の一つである圧力伝送器に実装し、同様の条件でγ線照射を実施した。その結果、積算 580kGy まで許容誤差(±10%)以内で動作できることを確認した。本結果より、これまで適用できていなかった高線量環境下においても安定した電源電圧を提供でき、原子力プラント内で使用される計測器の耐放射線性能を向上できる見通しを得た。今後は、実機適用に向けた製品化を進める計画である。

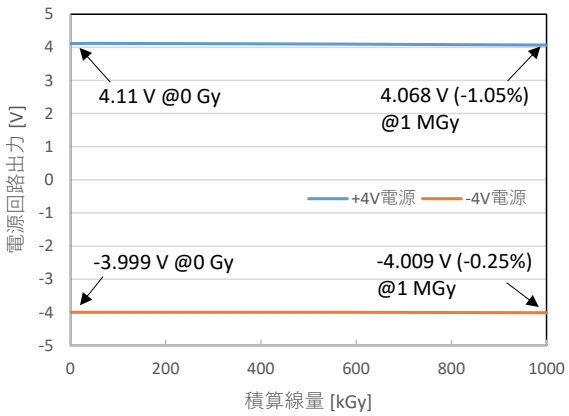

図１　γ線照射による電源回路の出力影響

参考文献

[1] M. Masunaga, S. Sato, R. Kuwana, and A. Shima ; The Performance of Operational Amplifiers Consisting of 4H-SiC CMOS After Gamma Irradiation ; IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 66, no. 1, pp. 343-348, Jan. 2019. (2019/1)

[2] 桑名，増永，江川，原，辺見，浅野；耐放射線化技術の開発；日本原子力学会 2019 年秋の大会(2019/9)

*Ryo Kuwana[1], Masahiro Masunaga[1] , Keizou Egawa[2] , Shinji Nomoto[1] , Isao Hara[1] and Hiromitsu Hayashi[2]

[1]Hitachi Ltd., [2]Hitachi High-Tech Solutions Corp.