

# 光パルス検出 IC “LIDARX” の放射線特性評価実験

小川 誠仁<sup>a)</sup>、水野 貴秀<sup>b)</sup>、梅谷 和弘<sup>c)</sup>、千秋 博紀<sup>d)</sup>、池田 博一<sup>b)</sup>、川原 康介<sup>b)</sup>、田中 真<sup>a)</sup>  
 a) 東海大院・工学、b) 宇宙航空機構、c) 岡山大・工学、d) 千葉工大・惑星探査 C

## 概要

JAXA 宇宙科学研究所は、誘導航法や科学観測を目的としたレーザ高度計 LIDAR(Light Detection And Ranging) の開発期間短縮や小型化を目指し、長距離 LIDAR 用光パルス検出 IC “LIDARX” を開発した。LIDARX は、民生シャトルサービスの CMOS 0.35 μm プロセスで製造された IC であり、内部要素回路は「Analog-VLSI Open-IP Project」にて一般に公開されている。広く利用可能な資産を用いた宇宙用 IC 開発を通し、将来の宇宙用 IC 設計に資する事も、本開発の重要な目的である。LIDARX は現在、MMX(Martian Moons eXploration) 搭載 LIDAR への適用に向けた準備が進められている。本報告では、MMX への適用の可否を判断する為に実施した、LIDARX の宇宙放射線に対するシングルイベント現象 (以下 SEE) 及び、トータルドーズ (以下 TID) による劣化評価実験について報告する。

## MMX

MMX は火星衛星であるフォボスとダイモスの探査を目的として、2020 年代前半に打ち上げが予定される探査機である。ミッションとして、軌道上からの両方の衛星の観測と、片方の衛星からのサンプルリターンが計画されている。サンプルリターンに際し、衛星表面に着陸する為には、広いダイナミックレンジを持ち、リアルタイムに測距を行う事のできる高度計が必要となる。MMX では、はやぶさ・はやぶさ 2 と同様に、この役割を担う計測器として LIDAR の搭載が計画されている。

© JAXA

## LIDARX

LIDARX は、フォトダイオードから入力された電荷パルスの増幅と信号強度の計測、及び入力タイミングの検出を行う IC である。LIDARX 内部回路のブロック図を図 1 に示す。これらの回路により、電荷レベルで 60dB のダイナミックレンジと、20MHz 程度のクロックのコントローラでのサブナノ秒 (10GHz 以上に相当) の検出を可能としている。

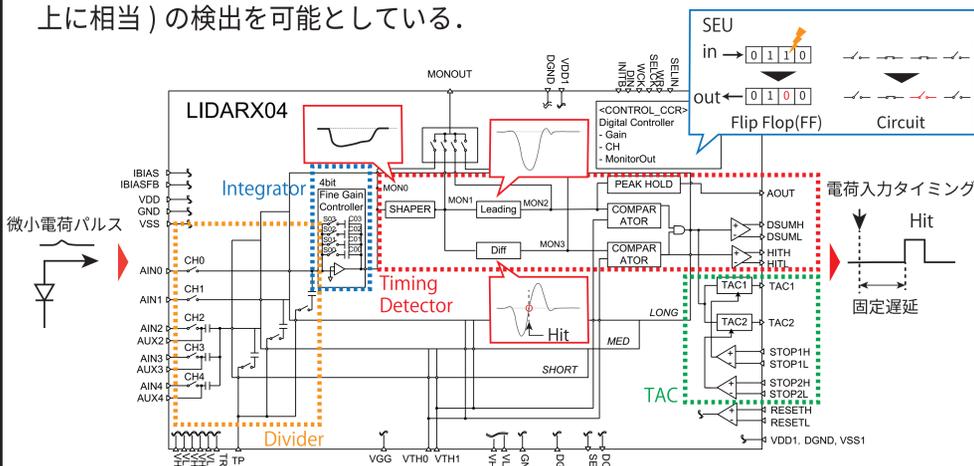


図 1 LIDARX 機能ブロック図

## 放射線試験

LIDARX を MMX に搭載する為には、デバイスの宇宙放射線への耐性を見積もる必要があった。高崎量子応用研究所で実施した一連の実験では、デバイスの SEE 耐性と TID 耐性を評価した。

本報告では SEE の中でも、bit 反転現象である SEU(Single Event Upset) と、回路に短絡が生じる SEL(Single Event Latch-up) について述べる。TID は放射線の電離作用により、ゲート酸化被膜の電荷バランスが変化し、被照射量に応じた特性変動が生じる現象を指す。

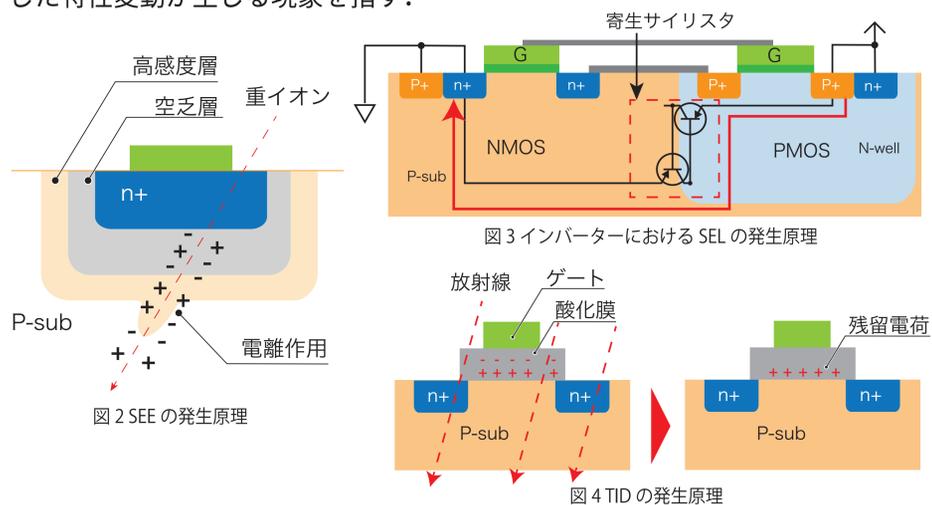


図 2 SEE の発生原理

図 3 インバーターにおける SEL の発生原理

図 4 TID の発生原理

## SEE 試験手法, 結果

実験では、TIARA AVF サイクロトロンのカクテルビーム M/Q=5 を LIDARX に照射し、SEE を発生させた。実験装置の外観を図 6 に示す。下に示す手順のもと、実験結果から軌道上での SEU 発生率は、1 日当たり  $10^{-5}$  回以下と十分に低い値となる事が分かった。SEL 耐性を確認するため、デバイス定格上限温度 80 度のもと Xe を照射した。ビームのフラックスは、ミッション期間に対して十分な量として  $3.54 \times 10^7$  p/cm<sup>2</sup> を照射して、SEL が発生しないことを確認した。

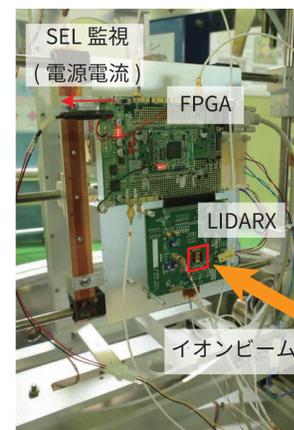


図 6 実験装置外観

照射ビームの LET と SEU 発生回数の関係を実験により取得  
 結果に Weibull 曲線をフィッティング (図 7) 飽和散乱断面積や閾値 LET を算出  
 WEB サービス CREME96 に算出したパラメータを入力し軌道上での SEU 発生率を予測

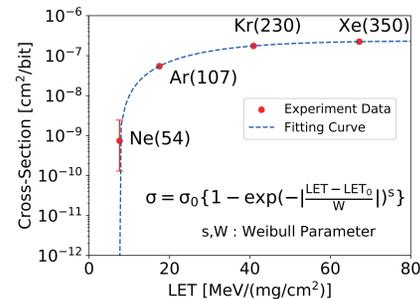


図 7 SEU 実験結果

## TID 試験手法, 結果

TID 耐性の評価には食品照射棟を利用し、LIDARX に対しコバルト 60 を線源とするγ線を照射した。照射後にデバイスの特性変動を評価する事で、TID によるデバイスの測距性能への影響を確認した。

LIDARX における重要度の高い特性として、固定遅延と信号強度出力特性が挙がる。最も感度の高い設定での、この 2 項目の時間変動を図 7, 図 8 に示した。十分なアニーリングの後も、変動量は十分に小さく、1.55 ns (約 23 cm 相当) と 4% であった。

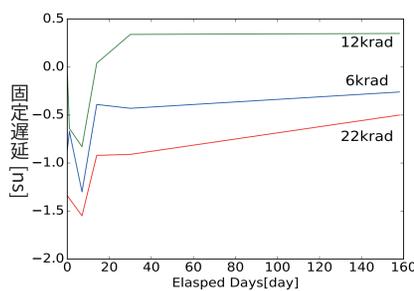


図 7 固定遅延の時間変動

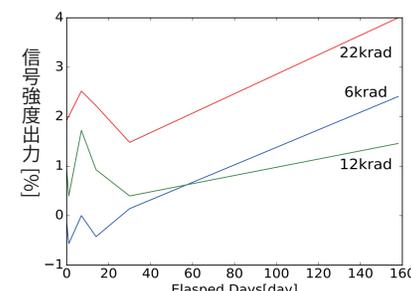


図 8 信号強度出力の時間変動

## まとめ

本実験により、LIDARX を MMX ミッションに適用した場合に SEU の発生確率は十分に低く、Xe 以下のエネルギーの粒子では SEL が発生しない事を確認した。また 22krad までのドーズ量では、測距性能に対する影響は十分に小さい事が示された。従って、LIDARX は MMX ミッションに適用可能であると判断した。

本研究は量子科学技術研究開発機構の施設共用制度を利用して実施しました。実験にご協力を頂き、誠にありがとうございました。