

光パルス検出用IC“LIDARX”の シングルイベント特性評価実験

小川誠仁、水野貴秀、梅谷和弘、千秋博紀、大矢根蒼、池田博一、川原康介

■ 概要

JAXA宇宙科学研究所では、将来の月惑星探査機用LIDARの受信専用ASICとして光パルス検出IC“LIDARX”を開発した。LIDARXは現在MMX搭載LIDARへの適用が検討されており、その放射線耐性の評価が行われている。本報告では、量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所のサイクロトロンにて実施されているシングルイベント特性の評価実験について、その評価方法と結果に関して述べる。

● LIDARX概要

LIDARXはTSMCのCMOS 0.35 μm プロセスで作られた3 mm \times 3 mm (ベアチップサイズ)のASICである。図1に示すように、Divider(粗調整), Integrator(微調整), Timing Detector, TAC(デジタルクロック補間)から構成され、電荷入力のダイナミックレンジは60dB、20MHz程度のデジタルクロックで、サブナノ秒の検出が可能である。信号は入力レベルに応じて外部からCH0~CH4の5chに inputs を切り替え、内部にてGain “1111”~“0000”まで16段階の調整ができる。本実験ではCH2, Gain “1111”を選択し、TPにパルス信号を入力することで動作を行っている。

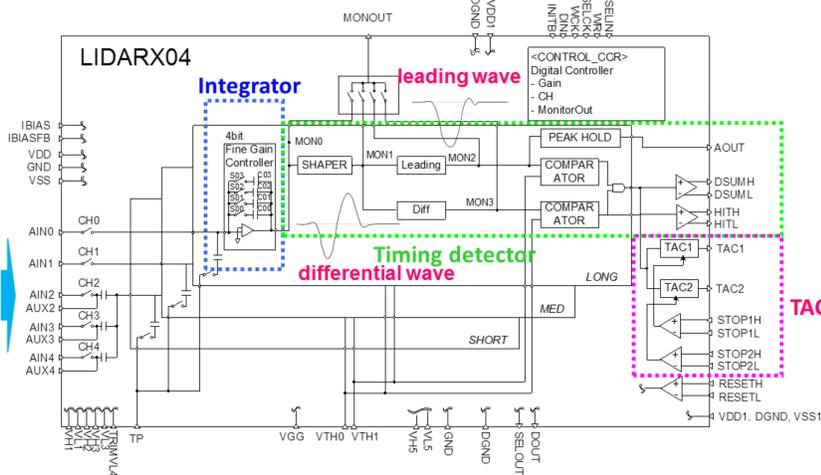


図1 LIDARXの回路概要

● 実験概要

本試験では、LIDARXに対してLET(Linear Energy Transfer)の異なる複数種類のイオンビームを照射することで、SEE(Single Event Effect)を発生させ、デバイスのシングルイベント特性を評価した。SEU(Single Event Upset)の評価として、デバイスに含まれる2種のFlip-Flop、D-Flip-FlopとDICE-Flip-Flopの、照射中に発生したビット反転の回数を計測。その結果からFlip-Flopの種類毎にLETと散乱断面積の関係性を求め、Weibull Curveにフィッティングする事で、デバイスの飽和散乱断面積 σ_0 とLETのSEU発生閾値 L_0 を算出した。また、ビーム照射時のLIDARXの消費電流を監視する事でSEL(Single Event Latch-up)発生の有無を、デバイスのアナログ信号を監視する事で、SET(Single Event Transient)の影響を、それぞれ確認した。

● 実験装置

本試験は、量子応用研究所のAVFサイクロトロンTIARAを利用して実施した。試験で用いるイオンビームは、5種類の核種を選択可能な、カクテルビームM/Q=5を選択した。ビームの諸元を表1に示す。イオンビームは照射室の真空チェンバに誘導されるため、LIDARX基板とFPGA基板はチェンバ内の回転台上に設置した。内部から電源と主要な信号ラインのみ、チェンバのインターフェースコネクタを介して外部に引き出し、安定化電源やPCなどの外部機器と接続した。安定化電源の供給電流量は制御室から監視されており、電流量の変化からSELの発生を確認できる。

FPGAに接続されたQL PCは、LIDARXのFlip-Flopに対し、1Hzでの設定値の書き込みと、保存された値の読み出しを行う。読み出された値は直前の書き込み値と比較され、ビット反転、即ちSEU発生の有無が確認される。

フotonカウンタとオシロスコープはLeadingラインへのSETの影響を評価するために用いる。試験中Leadingには1Hzのパルス信号が入力されており、そのパルスに応じて1Hzでデバイスのタイミング検出信号Hitが出力される。SETが発生した場合、Leadingラインには規定のパルス以外のノイズが入り、そのノイズの影響で通常以上のレートでHitが立ち上がる可能性が高い。よってHitの出力回数を、デバイスのSET特性として評価する。

表1 カクテルM/Q=5(コイル損傷状態) 諸元

核種	エネルギー [MeV]	LET [MeV cm ² /mg]	Si貫入深さ [um]	平均Flux [p/cm ² /s]
15N ³⁺	40	4	34.9	-
20Ne ⁴⁺	54	7.3	29.1	1.05E+05, 9.10E+05
40Ar ⁸⁺	107	16.9	28.1	1.86E+04, 1.01E+05 7.35E+05
84Kr ¹⁷⁺	230	40.7	31.7	4.98E+04, 2.09E+05
129Xe ²⁵⁺	350	68.1	32.2	3.77E+04, 7.59E+04

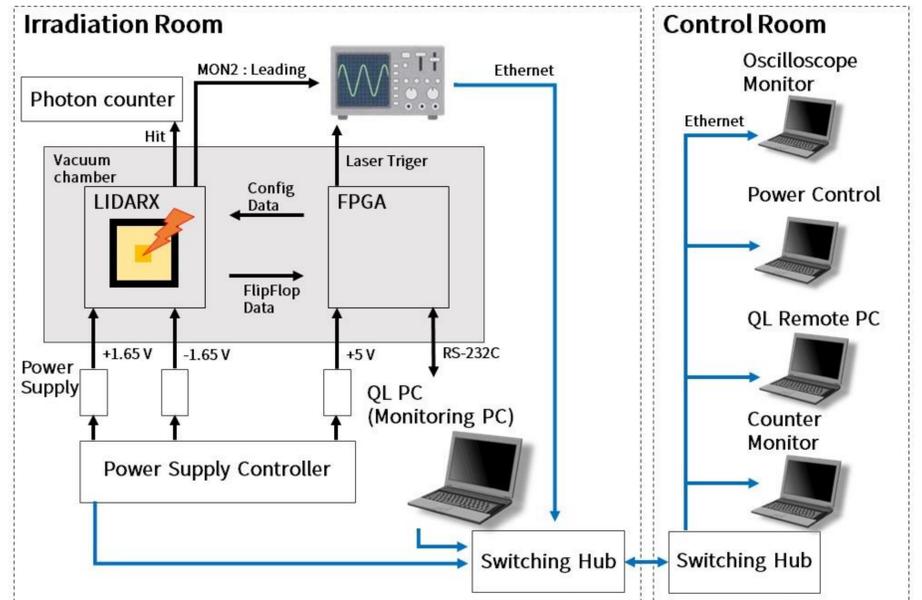


図2 SEE試験システム図

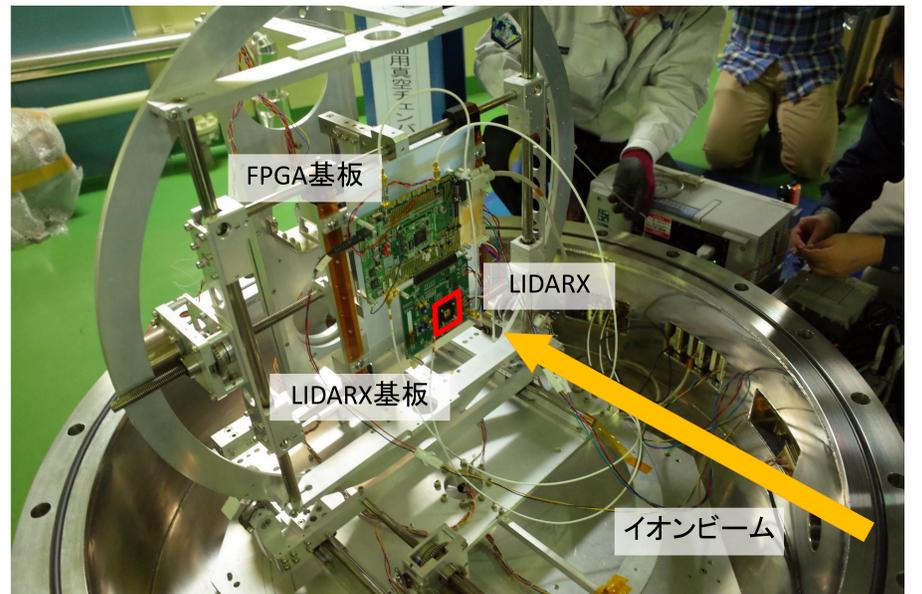


図3 真空チェンバ外観

● 試験結果

試験において取得したFlip-Flopの種類毎のLETと散乱断面積の関係、及びWeibull Curveへのフィッティング結果を図4に示す。フィッティングにあたっては、散乱断面積の誤差が最小化した点を収束値とし、試験で取得した最大の散乱断面積を飽和散乱断面積と仮定した。またSETの発生傾向として、Kr照射時のフotonカウンタ出力値の時間変化を図5に示した。なお図5で確認できるカウント値が急増する時刻には、SEUによるLeadingオフセット値の変動が記録されており、この変動が原因となりHitの急増が生じたと考えられる。なお実施済みの試験において、SELの発生は確認されなかった。

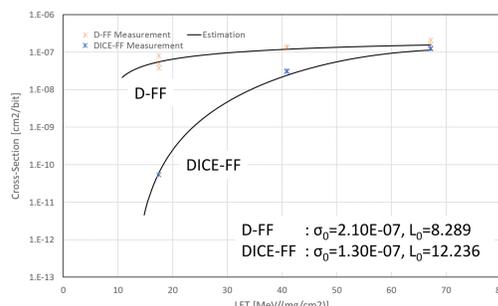


図4 Weibull Fitting結果

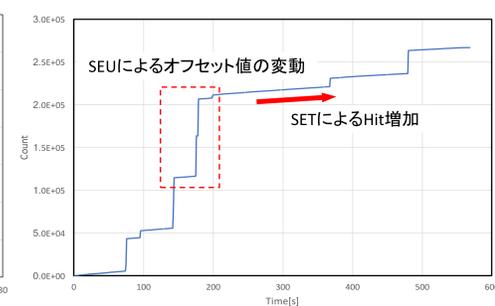


図5 Kr照射時のSET発生傾向

■ まとめ

LIDARXに対してイオンビームを照射し、デバイスのシングルイベント特性を評価した。この結果、SEUとSETの発生が確認され、これらの計測システムの構築に成功した事が確かめられた。残るSELについては、次回の試験で、Xe照射時にデバイスを加熱し、ラッチアップの発生率を上げた状態で発生の有無を確認する。また試験で得た値から、LIDARXのSEUの σ_0 と L_0 を算出した。今後、これらのパラメータを元にCREME96を使用して、MMXの軌道でのSEEエラー率を算出する。