

V341a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 58: PDD構造を持つX線SOIピクセル検出器の放射線損傷による性能劣化機構の研究

萩野浩一 (東京大学), 北島正隼, 幸村孝由 (東京理科大学), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 鶴剛 (京都大学), 行元雅貴, 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介 (宮崎大学), 田中孝明 (甲南大学)

我々は、次世代のX線天文衛星への搭載を目指し、X線SOIピクセル検出器“XRPIX”の開発を進めている。XRPIXは、Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いることで、トリガー機能を搭載したCMOSピクセル回路と数百 μm の厚い高比抵抗Siセンサ部を一体化した検出器である。この構造により、1 keV以下から数十 keVに渡る広いエネルギー帯域に感度を持ち、数十 μs という極めて優れた時間分解能でX線撮像分光観測を実現する。

XRPIXの開発における重要課題の1つが放射線耐性である。XRPIXはSOI構造特有の厚い酸化層を有するためにTotal Ionizing Dose (TID) 効果に対する放射線耐性が低いという問題があり、我々はデバイス構造の改良によって放射線耐性の改善を試みてきた。酸化層界面に高濃度P型層を形成したPinned Depleted Diode (PDD) 構造を導入したXRPIX6Eでは、6 krad照射後でもエネルギー分解能の劣化は1%以下であり、従来のXRPIXと比べて格段に優れた放射線耐性を実現した (Hayashida et al., 2020, JATIS)。しかし、40 kradまで照射すると、暗電流が1桁以上急激に増加し、エネルギー分解能も25%程度劣化してしまうことがわかった。

我々は、半導体デバイスシミュレーションを用いて実験結果を再現することで、放射線によるXRPIXの性能劣化機構を調べた。その結果、界面の高濃度P型層が酸化層の蓄積正電荷によって空乏化することで暗電流が増加し、同時に寄生容量が増えることで読み出しノイズが増加することが明らかになった。本講演では、上記のような半導体センサ内部の電荷分布変化に由来する放射線損傷によるXRPIXの性能劣化機構について報告する。