

【助成 39-29】

SEU を利用した高位置分解能型半導体検出器の実証試験とシミュレーション

代表研究者 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所
研究機関講師 津野 総司

〔研究の概要〕

半導体検出器は、放射線計測において、素粒子・原子核実験のみならず医療・非破壊検査などの分野でも広く用いられている。放射線計測の要諦は、エネルギーの測定と飛来方向の同定である。飛来方向の同定において、半導体は、その微細加工技術と電気制御技術を駆使して、放射線が通過した位置(ピクセル)を精度良く決定できる事から用いられている。デジタルカメラのように光子を検出するのは違い、素粒子・原子核反応から生じる荷電粒子(電子など)は、半導体を貫通するので、半導体検出器を幾層にも重ねて、通過位置を3次元的に検出する。しかしながら、荷電粒子の飛跡を同定する半導体検出器は、しばしば大きな有効面積を必要とするため、高額であり、読み出しチャンネルの多さから、システム設計の技術的なハードルは極めて高い。本研究は、微細加工技術の成熟した商用のメモリチップをわざと放射線耐性を脆弱にした設定に施すことによって、放射線検出器へ転用する可能性を探る実証実験研究である。もし転用ができるのであれば、安価な検出器が可能となり、放射線技術を必要とする分野の裾野を広げる。

〔研究経過および成果〕

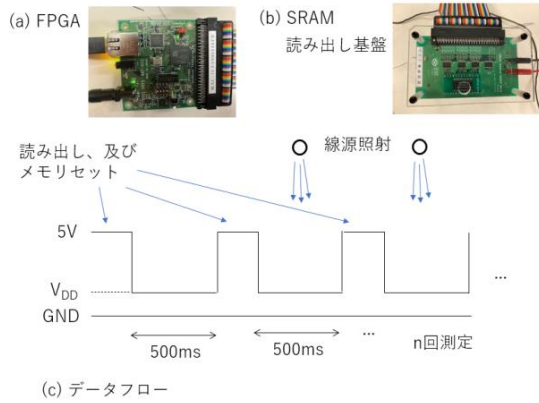
近年の半導体加工技術は、線幅が数ナノメートルのオーダーにも迫り、技術的な限界が指摘されている。理由は自然界に存在する放射線が各メモリセルとの衝突によって、メモリに格納された情報を書き換えてしまうからである。この効果は広義には、**Single Event Upset (SEU)**として知られている。一般に SEU を起こさせないためには、十分に配慮した大きな電気容量を確保する必要があり、微小の領域に大容量の電荷を確保するために、ゲート電圧のアスペクト比と干渉効果、制御技術の難易度は困難を極める。我々は、むしろ、この事実を逆手にとり、積極的に自然放射線がメモリ情報を書き換える粒子放射線検出器を開発する。

半導体メモリは、pn 接合間に印加電圧を付加する

ことによって、双安定点と呼ばれるポテンシャルの谷間に電子を捕獲することによって、0/1 の信号を保持する。通常、この印加電圧 V_{DD} は、2・5V である。逆に V_{DD} を規定の電圧から下げていくと、双安定点は消失し、メモリは保持できなくなる。SEU 問題は、加速器科学や宇宙分野で広く研究されており、先行研究では、この V_{DD} 依存性を調べ、規定電圧(5V)の時に比べて、 $V_{DD} \sim 200\text{mV}$ の時は、SEU 発生確率は、5 桁以上も上昇することが報告されている。これは当然、メモリとしての機能は果たさないが、逆に放射線検出器として使えるかもしれない。本研究は、商用の SRAM メモリの規定電圧を下げていき、どこまで放射線に対する検出効率を獲得することができるのか、実証試験を行う。

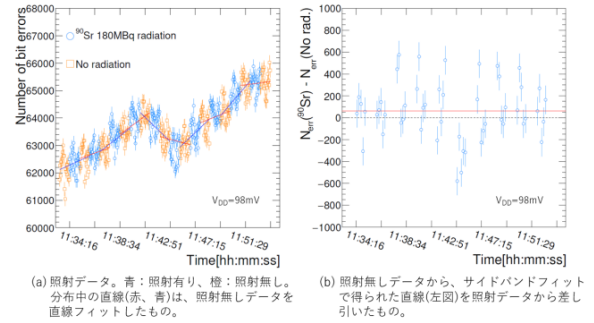
実験は、当該研究所にある 180MBq のストロンチ

ウム密封線源(2.27MeV ベータ線)を用いて行った。
実験の読み出しシステムを下図に示す。

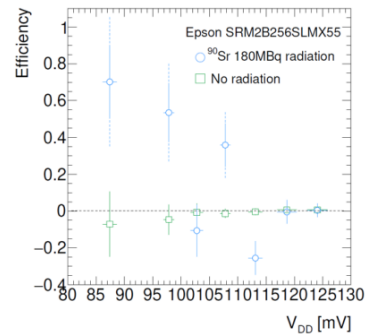


まず、規定電圧($V_{DD}=5V$)に於いて、初期メモリをすべて1か0に設定する。次に、500msの間、 V_{DD} を下げて線源を照射、その後、規定電圧に戻し、初期設定値から、どれくらいのメモリセルが0か1へ反転したか測定する。SRAMの測定基板、及び、FPGAは、当該研究費により設計・購入した。使用したSRAMは、EPSON SRM2B256SLMX55で、262,144個のメモリセルを搭載している。チップ内の正味の有効面積を $262,144 \times 1[\mu m^2] = 0.26 [mm^2]$ と仮定し、線源強度から、500msの間におおよそ100個の電子が入射するように調整した。つまり、100個の入射電子に対して、何個のメモリセルがビット反転したかが、検出効率となる。しかし、有意な検出効率を達成するために、 V_{DD} を極限まで下げるため、揮発性メモリの性質から、500msの間に自然にメモリ情報を失うメモリセルも複数存在する。これをノイズと規定し、500msの間に照射する場合としない場合を交互にそれぞれ200回測定する。

測定データの分布を以下に示す。左図は、 $V_{DD}=98mV$ の時の照射有りとなしとの測定毎のビット反転の数を示している。照射有りの両側にある照射無しのデータをサイドバンドで直線フィットで得



られた推定値を照射有りの時のノイズとして、差し引くと、照射による効果を統計的に取り出せる。差し引いた後の分布が右図であり、この操作を V_{DD} を変えて繰り返す。線源の照射強度と立体角から、検出効率を算出したのが下図である。



照射無しデータでもサイドバンドの手法を繰り返し、確かに検出効率がゼロになっていることを確認した。結果、線源照射によって検出効率に有意な差が得られた。しかしながら、現在のところ、統計誤差とチップ内の有効面積の不定性50%による系統誤差しか考慮していない。また、ノイズが多く、少なくとも、照射間隔500msを1/10まで低減して使用しないと信号がノイズに埋もれてしまう。

本研究期間に於いて、実証実験は達成できたので、今後は、ノイズの低減と多層構造へ拡張していく。並行して、シミュレーションに基づいて、ビームに同期して駆動する飛跡検出器を設計する。