

## 放射線耐性評価に利用される荷電粒子加速器

平尾 敏雄\*・藤本 直伸\*・大久保 邦人\*

## Radiation Damage Effects of Semiconductors using Charge Particles Accelerator

Toshio HIRAO\*, Naonobu FUJIMOTO\* and Kunito OKUBO\*

## 1. 諸 言

国内における電子線発生装置を含む粒子線加速器は、研究開発、医療さらに商業用途として大学等の教育機関、公的な研究機関及び民間企業の研究開発部門及び製造部門に設置され運用されている。これら粒子加速器の利用は、商業利用を除き研究開発への利用が主体であり、応用展開の少ないのが現状である。

そのような中、現在、宇宙開発分野において宇宙航空研究開発機構（JAXA）を中心として電離放射線の存在する宇宙環境で使われる人工衛星、探査衛星の開発や大学等を中心とした小型衛星の開発が進められ、放射線環境下でも安定に動作する実装密度の高い半導体デバイスの研究・開発が望まれている。

搭載が計画されている半導体デバイス及び検出器に対して、宇宙環境下を模擬して地上で放射線を用いた評価を実施する場合、高エネルギーを有した粒子加速器から引き出された荷電粒子が利用されている。即ち、宇宙環境で利用する場合、その環境下で利用される半導体デバイスの安定な動作確認・性能維持を評価する為にも粒子加速器を用いた試験の実施が急務・且つ重要となっている。

ここでは、半導体デバイスに対する荷電粒子を用いて放射線照射評価を実施する際の加速器の条件及び機関について記載する。

## 2. 放射線が及ぼす半導体デバイスへの影響

放射線に起因するソフトエラーの研究の歴史は長く、半導体集積回路に及ぼす放射線の影響とし

てソフトエラーについて述べる。

ソフトエラーを引き起こす原因として、古くから知られているのが $\alpha$ 粒子である。この $\alpha$ 粒子は、LSIやパッケージを構成する材料に含まれる放射線不純物が、 $\alpha$ 粒子を放出することによって発生するものであった。SRAMを構成するトランジスタにおけるドレイン部分の拡散層に $\alpha$ 粒子が入射すると、その通過領域に多数の電子・正孔対が生じる。ここで生じた電子が、幾つかの過程を得て拡散層に集まることでソフトエラー発生の原因となり、即ち集まった電子はMOSトランジスタのドレイン部分の電位を変化させる<sup>1)</sup>。この箇所がSRAMの記憶ノードを担っている電圧を高レベルから低レベルに変化させることで保持データが反転することとなる。

放射線が半導体集積回路に入射すると、電離作用により電子・正孔対が発生して、過渡電流が回路を構成するシリコンを流れて回路の保持データを反転させる事や、固定電荷がシリコン酸化膜に捕獲されトランジスタのしきい値を変化させ、リーク電流増大や動作不良を起こすこと等が挙げられている。これが、誤動作や故障の原理であり、このような誤動作や故障は、入射する放射線のエネルギーやフラックスにより異なる現象である。

宇宙環境下で使用される半導体デバイスに対する放射線影響<sup>2-4)</sup>としては、高エネルギー荷電粒子の入射に伴うシングルイベント現象が良く知られている。このシングルイベント現象は、表1に示す様に一時故障と永久故障に分類されさらに、対象となるデバイスによって生じる現象が分類されている。この現象が生じる要因は図1に示

\* 菱栄テクニカ株式会社 品証事業部 事業開拓部 Ryoei Technica Corporation  
(E-mail: Toshio.Hirao@ryoei.co.jp)



評価試験を実施する際の半導体デバイスに入射される粒子数は、 $10^2 \sim 10^4$  pps の照射にて行う事から、測定中のエネルギー変動による粒子の変動など入射粒子の挙動は大きな障害と成る。即ち加速器側に対する要求として利用者からの要求項目として最も注意する点である。

照射前の確認条件として入射前のエネルギーと単位面積当たりの入射粒子数の計測を実施し、評価試験を行う手順が一般的である。しかし、この場合、照射中の正確な入射粒子数及びエネルギー変動の確認はできない欠点がある。即ち、評価実施中の照射状況を逐次モニターできるシステムが要求される。このシステムを保有している評価装置は少なく、利用者側と施設側との共同にて開発していく要素が高いと考える。さらに、評価する半導体デバイスは、アナログ系からデジタル系に至る様々な種類や構造を有している事から、それぞれに対応した入出力端子を保有した照射装置が必要である。さらに照射容器内には試料を目的とした照射位置に移動する為のステージの設置が必要であり、さらに評価試験の効率を図る上にも最も重要視することは、真空排気時間の短縮である。加速器に接続され、放射線照射試験を行う為の専用照射容器は少なく、現在では日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所のイオン照射施設 TIARA (Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application) に設置されて

いるのが現状である<sup>5)</sup>。

TIARA 照射施設では、ビーム輸送としてカクテルイオンビームを採用しており異なる LET を持ったビームを照射する事ができ、放射線影響のエネルギー依存性を短時間で計測が可能となっている。現在 JAXA を中心として TIARA 照射施設内に設置されている半導体デバイス評価試験装置を用いたデバイスの LET のしきい値評価に貢献している。また国内における半導体評価が可能な高エネルギー荷電粒子を利用した半導体評価施設として放射線医学総合研究所の重粒子装置 HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba<sup>6)</sup>) や理化学研究所及び東北大学のサイクロトロン CYRIC (Cyclotron and Radioisotope<sup>7)</sup>) が挙げられる。中エネルギー領域における半導体評価装置として、筑波大学において加速器整備に伴い半導体評価が可能となるイオンビーム照射試験容器がタンデム加速器に設置されている<sup>8)</sup>。図 2 に国内で放射線試験に利用されている代表的な放射線施設を示す。

一方、海外では米国において NASA 及び JPL (NASA Jet Propulsion Laboratory) が中心となって半導体の評価が実施されており、LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), BNL (Brookhaven National Laboratory<sup>9)</sup>), Cyclotron Institute TEXAS A&M UNIVERSITY<sup>10)</sup>, そして欧州では欧州宇宙機関 ESA (European Space



図 2 国内の主な放射線施設

Agency) が中心となり評価試験が実施されており、デバイスの評価の実施は、フィンランドのユヴァスキュア大学のサイクロトロン<sup>11)</sup>を利用した評価試験が実施されている。

#### 4. ま と め

半導体の集積化技術が進展し続ける限り、さらに民生部品を宇宙に代表されるような放射線環境場で利用する場合、ソフトウェアの発生等で代表されるようなシングルイベント現象の発生頻度は高くなると思われる。

地上にて宇宙環境を模擬した放射線発生装置を用いて実施する半導体デバイスに対する放射線に対する評価は、搭載されている半導体デバイスの使用寿命予測さらには衛星使用寿命予測に必要な指針の取得を図る為に必須であり、これは宇宙開発のみならず放射線環境場で利用が計画されている半導体デバイス開発及びそれらを利用した社会インフラに大きく貢献できると予測される。放射

線発生装置を用いた評価を円滑に実施する為にも、施設管理者及び運転員とともに利用者との共存した開発が施設利用拡大の要素と考える。

#### 参考文献

- 1) T. C. May, et al., IEEE Electron Devices, vol. ED-26, PP:2-9 (1979).
- 2) G. J. Brucker, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-28, 4056 (1981).
- 3) P. V. Dressendorfer, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., 28, 4281 (1981).
- 4) P. S. Winokur, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-28, 4088 (1981).
- 5) [http://www.taka.jaea.go.jp/shisetsu\\_j.html](http://www.taka.jaea.go.jp/shisetsu_j.html)
- 6) <http://www.nirs.go.jp/rd/collaboration/index.shtml>
- 7) [http://www.cyric.tohoku.ac.jp/index\\_j.html](http://www.cyric.tohoku.ac.jp/index_j.html)
- 8) <http://www.tac.tsukuba.ac.jp/>
- 9) [http://www.bnl.gov/medical/nasa/nsrl\\_description.asp](http://www.bnl.gov/medical/nasa/nsrl_description.asp)
- 10) <http://cyclotron.tamu.edu/ref>
- 11) <https://www.jyu.fi/fysiikka/en>

## 休憩室

### 花の家

ベオグラードはセルビア共和国の首都であり、旧ユーゴスラビアの首都であった都市である。郊外には対独パルチザン戦争の英雄であり、指導者として長く君臨したチトーが眠る。チトーは傑出した人物として知られており、本名は Josip Broz。チトーというあだ名は「お前」というスラブ語から来ているという。次々に「お前は何をしろ」と命令をだし続けたという。機会があつてチトーの墓所を訪ねたが、花の家と呼ばれる、こじんまりとした、温室のような建物で、内部は名前のとおり、植物であふれている。併設されている博物館には、パルチザン活動中に解放された村から送られた刺繍の布から始まり、日本を含む世界各地からの贈り物が陳列されている。ユーゴスラビアは独自社会主義路線を歩み、世界政治の中では中立を志向した。同じく中立を志向したエジプトのナセルやインドのネルーなどとの交流が垣間見える。冷戦は大変な危機の時代であったが、ソビエトの崩壊により冷戦は終結した。しかし、世界は平和になったのであろうか。分析は専門家にゆだねるが、資本主義と社会主義という、近代主義に属する二つの体制の一方が崩壊した時から、反知性主義ともとれる不穏な動きが世界で目立つようになった気がする。チトー閣下の墓所でそのようなことを考えた。(K)

「休憩室」への投稿は下記まで  
 加速器学会事務局 学会誌「休憩室」係  
 E-mail: gakkai@kasokuki.com