

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	デバイスシミュレーションを用いた半導体材料の電子素子に与える宇宙荷電重粒子の影響に関する研究
Title(English)	Device-Simulation-Based Study of Space Heavy Ions Effects on Semiconductor Material Electronic Devices
著者(和文)	丸明史
Author(English)	Akifumi Maru
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12088号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉本 護,舟窪 浩,中村 一隆,松田 晃史,和田 裕之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12088号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士（工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	丸 明史		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	吉本 護
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	松田 晃史

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は“Device-Simulation-Based Study of Space Heavy Ions Effects on Semiconductor Material Electronic Devices”（デバイスシミュレーションを用いた半導体材料の電子素子に与える宇宙荷電重粒子の影響に関する研究）と題して英文で書かれ、以下の全7章で構成されている。

第1章「General Introduction」では、序論として、宇宙機に使用される EEE 部品の分類と、地上用部品との比較・使用環境の違いを示した。また、実際の軌道上での放射線の影響による衛星の不具合の事例を示し、人工衛星に搭載される半導体 Electronic device にとって放射線の影響が最悪の場合、衛星の機能喪失につながるほど大きいことを示した。さらに近年の Electronic device の微細化・高集積化にともない、従来の放射線影響に加え、微細デバイス特有の放射線の影響が現れ始めており、その中でも特に影響が懸念される事象として「チャージシェアリング」という現象を挙げる。チャージシェアリングが発生すると、従来有効とされてきた放射線対策が無効化されるため、この現象の見積もり・予測が非常に重要である。以上の背景により本研究の意義・目的を示した。

第2章「Radiation Environment in-Orbit」では、実際の人工衛星とそこに搭載される半導体 Electronic device が曝されるであろう宇宙放射線環境について本章で解説する。宇宙放射線の種類として銀河宇宙線、太陽フレア粒子、ヴァンアレン帯補足荷電粒子の3種類が存在し、衛星がとる軌道・高度により、曝される放射線環境が大きく異なることを示した。

第3章「Radiation Effects on Semiconductor Material Electronic Devices」では、半導体材料 Electronic device での放射線影響全般について解説する。半導体材料 Electronic device の放射線影響としては大きくは変異損傷、電離損傷の2つの分類があり、電離損傷の中にはトータルドーズ効果、シングルイベント効果の2つの現象が存在する。本論文で着目するのはシングルイベント効果の中のメモリデバイス等に影響があるシングルイベントアップセット (SEU) であり、微細素子において SEU を誘発する新たな事象として「チャージシェアリング」が存在する。これらの発生メカニズムについて詳細を示した。

第4章「Charge Sharing Induced SEU Simulation by Using the Device Simulator」では、3次元デバイスシミュレータ HyDeLEOS を用いてチャージシェアリング現象の予測手法を提示した。HyDeLEOS には任意の時間と位置に電荷を注入する機能があり、その拡散・移動、トランジスタへの収集過程をシミュレーションする機能も備わっている。上記の機能を使用し、電荷の注入、拡散・収集とそれに伴うメモリ回路の記憶保持データ反転 (SEU 発生) を同時に模擬できるシミュレーションモデルを示した。本モデルを使用し、チャージシェアリングの影響範囲をシミュレーションした結果、本研究で置いた条件下で半径 2.3 μm の円内であることを明らかにした。

第5章「Experimental Verification of the Device Simulation Model Validity」では、4章で示したシミュレーション手法の妥当性を検証することを目的として、デバイスシミュレーションで用いたメモリモデルと同等のメモリ回路テストデバイスを用いて、荷電重粒子照射試験を行った。単発の放射線で同時にエラーが発生した (Multi Cell Upset (MCU) が発生した) と考えられるものを識別、この情報とメモリのレイアウト面積からチャージシェアリングの影響範囲を見積もった。その結果、MCU に含まれるメモリの数は2つまでであり、1つのメモリのレイアウト面積が 1.8 $\mu\text{m} \times 3.0 \mu\text{m}$ であることからチャージシェアリングの影響範囲は最大で 10.8 μm^2 と見積もれる。4章のシミュレーションから得られたチャージシェアリングの影響範囲は半径 2.3 μm の円内、すなわち 16.6 μm^2 以下である。以上から、4章のシミュレーションによる予測結果と実験による予測結果でほぼ同等の結果が得られていることを明らかにした。また、本章では実験結果とシミュレーション結果の差について、核反応やシミュレーションモデルと実験回路との差などによる誤差への影響についても考察をしている。

第6章「Considering of Charge Sharing Tolerant Memory Circuit Based on the Device Simulation Result」では、本研究で提案するデバイスシミュレーションによるチャージシェアリングの予測手法を用いて、耐チャージシェアリングメモリ回路について検討した。従来からよく知られている Error Correction Code (ECC) アルゴリズムと3重冗長多数決回路を例として、チャージシェアリングによって同時に記憶保持データが反転を起すことはいけないメモリセル同士を本研究の手法で得られたチャージシェアリングの影響範囲分だけ離して配置することで容易に耐チャージシェアリングメモリ回路を構成できることを示した。

第7章「General Conclusions」では、本研究で得られた成果を総括した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を1部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を1部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士（工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	丸 明史		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	吉本 護
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	松田 晃史

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The objectives of this thesis are following two items:

1. Establishment of the estimation method for charge sharing phenomenon by using the device simulator.
2. Suggestion of charge sharing tolerant memory logic circuit based on the above simulation method.

Simple device simulation model which can simulate the charge sharing phenomenon by calculating the drift-diffusion of injected charge has been proposed. By comparing the test results of actual device and simulation results, it was clearly indicated that the charge sharing affected area of the test case is within a radius of 2.3 μm circle. Furthermore, by using this simulation results, charge sharing tolerant circuit which using the algorithm of Error Correction Code and Triple Modular Redundancy has been considered.

In Chapter 1 “General Introduction”, the background and objective of this work are indicated. Types of EEE parts for spacecraft are introduced. And differences of characteristics between electronic devices for ground use and for space use are explained. Electronic devices for space use have been also become high integrated following the Moore's law same as electronic devices for ground use. Space radiation effects has been serious issues in such high integrated electronic devices for space use. Therefore, it is significantly important to establish the estimation method of radiation effects and the radiation tolerant techniques.

Chapter 2 “Radiation Environment in Orbit” introduces the radiation environment in actual orbit which is the electronic devices for space use are exposed. Radiation types which the electronic devices are exposed are different depends on the satellite orbit. Characteristics of radiation environment depending on the satellite orbit are explained in this chapter.

Chapter 3 “Radiation Effects on a Semiconductor Material Devices” indicate the various radiation effects on semiconductor material electronic devices. Detail mechanisms of SEU and charge sharing phenomenon which are this study focused on are explained in Chapter 3.

Chapter 4 “Charge Sharing Induced SEU Simulation by Using the Device Simulator” introduce the device simulation method simulation model for estimation of charge sharing phenomenon and SEU which induced by this phenomenon. Estimation results by using this model and method are also indicated in this chapter.

In Chapter 5 “Experimental Verification of the Device Simulation Model Validity”, validity of the estimation method which introduced in chapter 4 is discussed by comparing the result between devices simulation and charged heavy ion irradiation test for test memory circuit.

Charge sharing tolerant memory circuit which considered by using the estimation method in this study are proposed in Chapter 6 “Considering of Charge Sharing Tolerant Memory Circuit Based on the device simulation result”.

Chapter 7 “General Conclusion” summarize the results described in chapter 4 through 6 and conclusion of this thesis.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).