

# A universal failure rate calculation method for single event burnout in high power semiconductor devices

著者	Gollapudi Srikanth
発行年	2022-03-25
その他のタイトル	大電力用半導体デバイスの宇宙線故障率計算手法
学位授与番号	17104甲生工第428号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00008883">http://hdl.handle.net/10228/00008883</a>

氏名	GOLLAPUDI SRIKANTH (インド)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	生工博甲第428号		
学位授与の日付	令和4年3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	A universal failure rate calculation method for single event burnout in high power semiconductor devices (大電力用半導体デバイスの宇宙線故障率計算手法)		
論文審査委員会	委員長	教授	花本 剛士
		〃	豊田 和弘
		〃	大村 一郎
		准教授	パンディ シャム スディル

## 学位論文内容の要旨

パワー半導体デバイスは、宇宙線に含まれる高エネルギー粒子にさらされると、重大な故障に陥る可能性がある。宇宙線により引き起こされる主要な故障メカニズムはシングルイベントバーンアウト(Single event burnout : SEB)である。現在、様々な機器で高耐圧パワー半導体デバイスが使用されているため、地上での SEB については広く研究されているが、航空機の飛行高度や宇宙空間での SEB に関しては、実験が困難なため SEB の故障率を求める方法が確立されていない。一方で航空機の電動化や航空機内での電力消費の増加に伴い、電力機器の重量が増しているため、高電圧化による機器の軽量化が検討され、SEB 故障率を求める方法の確立が重要となる。さらに、航空機が飛行する高度では宇宙線量の増加により、高耐圧パワーデバイスの SEB による故障のリスクも増加することが予想される。このため SEB 故障率の解析技術は、航空機等のパワーシステム設計の観点からも重要な役割を果たす。特に航空機の飛行高度で用いる高耐圧パワー半導体の専用設計やディレーティング、素子の選定に対して SEB 故障率を簡易にかつ高精度に求める方法の開発が必須である。

一般的に地上で用いられるパワー半導体での SEB 故障率は Zeller 氏による式など、経験式アプローチが広く用いられている。この方法は設計値の入力のみで簡易的に故障率を計算できることが特徴で、何か月にも及ぶ加速試験と比較して多くの利点がある。しかし、経験式アプローチは地上で用いられるパワー半導体の故障率の計算にしか適用できないという問題があり、航空機の飛行高度や宇宙で利用されるパワー半導体デバイスには適用できない。

そこで、本研究ではあらゆる高度に対応した簡易で効率的な故障率算出のための数式アプローチを提案する。これは、あらゆる高度条件での宇宙線フラックススペクトルに対応した統一的な故障計算手法である。本提案手法の特徴は、宇宙線粒子の故障断面積と宇宙線フラックススペク

トルを数式上で分離したことであり、その結果、地上、航空高度、宇宙環境など、あらゆる放射線環境下での故障率計算を可能にしている。本論文では、数式導出までの原理と導出過程及び、2種類のPiNダイオード（i層長：100 $\mu\text{m}$ 及び300 $\mu\text{m}$ ）に対する、地上から高度60kmまでのSEB故障率を具体的に計算している。下記に、本論文の構成を記載する。

第1章では、本研究の目的と研究目標について説明した。また、提案する故障率計算の重要性について述べた。

第2章では、宇宙線や放射線環境について述べた。また、放射線と物質との相互作用や集積回路におけるシングルイベント効果の発見について述べた。さらに、本研究で宇宙線中性子を考慮した理由について述べた。

第3章では、高出力半導体デバイスと高エネルギー粒子との相互作用に関する文献を紹介した。また、デバイスの破壊に至る現象について、様々なパワーデバイスで詳細に議論した。

第4章では、PiNダイオードのSEBシミュレーションについて述べた。i層長さ300 $\mu\text{m}$ と100 $\mu\text{m}$ のPiNダイオードについて、破壊に至る物理的プロセスについて述べた。また、過渡電流波形を用いて、故障が起こる場合と起こらない場合の判別方法について述べた。

第5章では、提案する故障率計算手法について述べた。計算に用いる数式の様々な構成要素について詳細に議論した。さらにi層長さ300 $\mu\text{m}$ と100 $\mu\text{m}$ のPiNダイオードを例として、デバイス破壊を引き起こす素子内発生電荷のしきい値の決定方法について述べた。

第6章では、提案手法から得られた故障率算出結果について述べた。本手法の妥当性を確認するために、地上での実験結果に基づくZeller氏の結果と比較した。さらに、EXPACSデータベースの中性子スペクトルを用いて求めた、地上から高度60kmまでの宇宙線故障率について述べた。また加速器施設による照射実験で、施設のカットオフエネルギーの故障率への依存性についても簡単に議論した。

本研究の成果により、航空宇宙用の高耐圧パワー半導体の宇宙線による故障を最小限に抑える設計が可能となり、航空宇宙分野でのパワー半導体デバイスならびにそれらを用いた機器の高信頼化に貢献できる。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文は、飛行高度などで用いられる高耐圧パワー半導体の宇宙線故障率計算の実用的な手法を案しており、高信頼なパワー半導体の開発への貢献が期待できる。

論文調査会や公聴会においても参加者から、提案した手法について、実験との比較に基づく手法の妥当性、SEB発生時の電界の変化について等種々の質問がなされたが、いずれも著者の詳細な説明により質問者の理解が十分に得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会で慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものと全員一致で判断した。