

2011年 6月 22日

理化学研究所仁科加速器研究センター

RIBF 施設利用報告書

1. 利用課題番号：**IC10-05-1**(トライアルユース)
2. 利用課題名：宇宙用パワー**MOSFET**の**SEE**照射試験
3. 利用者名：井上 正範, 立道 秀平
4. 利用者の所属機関・部署, 所在地：
富士電機システムズ株式会社 デバイス技術部
(現所属 富士電機株式会社 技術開発本部 電子デバイス研究所)
〒**390-0821** 長野県松本市筑摩 4-18-1
5. 利用実施期間：**2010**年**12**月**28**日—**29**日、**24**時間
6. 利用施設名：**AVF**サイクロトロン・理研リングサイクロトロン (**RRC**)・
7. 利用したビーム
種類 **Kr**, エネルギー **36MeV/u**, 最大強度 **1pnA**
8. 理研側支援者 仁科加速器研究センター 神原 正
(ほかに **JAXA** による支援あり。)

9. 利用目的・内容

宇宙用パワーMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) を国内外の市場に供給するため開発を行っている。既に n チャンネルプレーナタイプの 100V から 500V クラスのラインナップを揃えて販売しており、今後ラインナップ拡充を図るべく更に開発を進めている。宇宙用パワーMOSFET の開発は、民生品の技術をベースとしているが、宇宙空間での安定した動作を得るために、放射線による影響を評価し耐性を持たせる必要がある。

宇宙空間を飛び交う重粒子がデバイスに入射することで、シングルイベント効果 (Single Event Effect : SEE) が引き起こされる。パワーMOSFET の場合は、1 発の重粒子の入射によってデバイスの破壊を引き起こすシングルイベントバーンアウト (Single Event Burnout : SEB) とゲート酸化膜を破壊するシングルイベントゲートラプチャ (Single Event Gate Rupture : SEGR) が主な現象である。

9.1. 重粒子入射時のゲート漏れ電流に対するゲート配線の効果

これまでに開発したパワーMOSFET は、SEB、SEGR による永久破壊には至らないものの、ゲート電極ドレイン電極間の漏れ電流の増加が観測されている。このゲート電流が規格値を上回ることで SEE 安全動作領域が制限されている。ゲート電流増加の原因は、重粒子の入射により生じたプラズマフィラメントにより、ドレイン電圧が瞬間的にゲート酸化膜に印加されゲート酸化膜の劣化が引き起こされるためであると推測している。この対策として、重粒子の入射により発生したキャリアを効果的に引き抜くことで、ゲート酸化膜にドレイン電圧が印加される時間が短縮されると考え、ゲート配線のデザインを変更した。この対策案を盛り込んだサンプルに対して重粒子照射を行い、改善効果の評価を行う。

9.2. 600V クラス n チャンネル MOSFET の重粒子照射評価

新規に耐圧 600V クラスの n チャンネルタイプの製品開発を進めている。耐圧クラスが高くなることで、重粒子の入射により生じたプラズマフィラメントによって局所的に印加される電圧が大きくなり、SEE 耐量の低下が懸念される。これまでの知見から SEE 耐量に効果のあることがわかっている結晶パラメータの異なるサンプルを作成し、重粒子照射による SEE 耐量の評価を行う。

9.3. SJ タイプ MOSFET の重粒子照射評価

SJ (Super Junction) タイプ MOSFET は、n チャンネルタイプで通常 n 型とするドリフト領域を n 型と p 型の交互構造とすることで高耐圧と低オン抵抗が両立できるデバイスであり、民生用として供給が始まっている。将来的には宇宙用部品への展開を視野に入れており、民生用 SJ タイプ MOSFET に宇宙用 MOSFET の開発で得られた知見を基にバッファ層を導入したサンプルを作成し、基礎データ取得を目的として重粒子照射に対する評価を行う。

10. 成果の概要

10.1. 重粒子入射時のゲート漏れ電流に対するゲート配線の効果

これまでに開発したパワーMOSFETにおいて、重粒子の入射によりSEB、SEGRによるデバイスの永久破壊には至らない場合でもゲート漏れ電流の増加が観測されている。これは、デバイスへの重粒子が入射したときに生じるプラズマフィラメントにより、ドレイン電圧がゲート酸化膜に印加されることが原因であると推測している。プラズマフィラメントは、発生したキャリアを効果的に引き抜くことで消滅を早めることができるため、通常1本配置しているゲートランナーの本数を増やすことでゲート抵抗を低減し、効果的にキャリアを引き抜くことでゲート漏れ電流の増加が抑制できるか評価を行った。

図1に作成したデバイス表面の概略図を示す。ゲートランナー1本をリファレンスとして、2本と5本のサンプルを作成した。

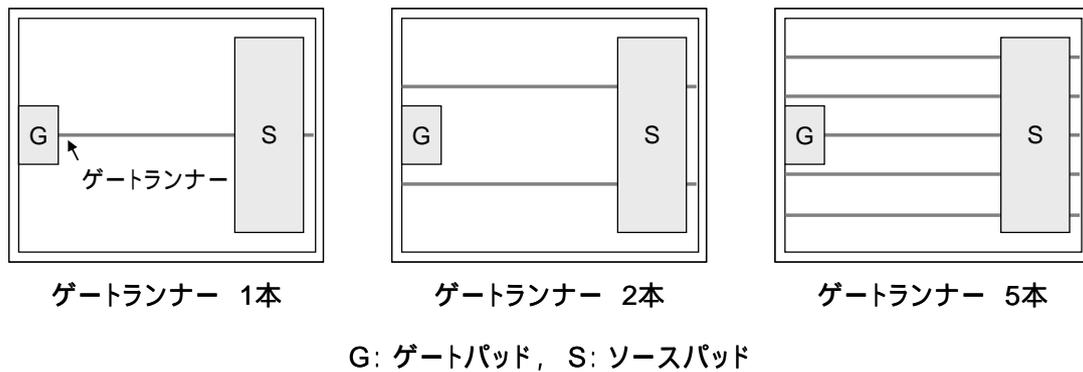


図1 照射試験に使用したゲートランナー本数を変えたサンプルの概略図

重粒子照射後のデバイスのゲート電流を測定したところ、ゲートランナーの本数を変えたいずれのサンプルでもゲート電流の増加が観測された。また、ゲートランナー本数に対するゲート漏れ電流の依存性は見られなかったことから、ゲート抵抗低減による効果は見られなかった。

10.2. 600V クラス n チャンネル MOSFET の重粒子照射評価

新規に 600V クラスの n チャンネル MOSFET の開発を行っている。これまでに 100V から 500V クラスの製品を開発しているが、600V クラスはこれまでに開発済みの製品よりも高耐圧クラスの製品である。デバイスへ重粒子入射すると、入射経路にプラズマフィラメントが発生することにより、ドレイン電圧が pn ジャンクション、ゲート酸化膜に印加されデバイスの破壊が生じる。このとき、製品の耐圧が高いほど高電界がそれらの部位に印加されるため、高耐圧クラスの製品では SEE 耐量の低下が懸念される。そこで、これまでの知見から SEE 耐量に効果がある結晶のパラメータを振ったサンプルを作成し、SEE 耐量について評価を行った。

評価には、以下のサンプルを使用した。

- a. 500V クラスまでと同様の設計思想で 600V 用に結晶仕様を調整したサンプル
- b. a のサンプルより SEE 耐量に対して結晶仕様にマージンを持たせたサンプル
- c. 500V クラスまでと同様の設計思想で 550V 用に結晶仕様を調整したサンプル
- d. c のサンプルより SEE 耐量に対して結晶仕様にマージンを持たせたサンプル
- e. 500V クラスのサンプル (Ref.)

いずれのサンプルでも、ドレイン-ソース間電圧、ゲート-ソース間電圧の実使用レベルで問題のない耐量を有し、600V クラスでも 500V クラスと同程度の耐量を示した。ただし、重粒子の照射に伴うゲート漏れ電流の増加が観測された。

10.3. SJ タイプ MOSFET の重粒子照射評価

SJ タイプ MOSFET の SEE 耐性に対する知見は得られていない。将来的には SJ タイプ MOSFET の宇宙用部品への展開も視野に入れており、民生用 SJ タイプ MOSFET に宇宙用 MOSFET の開発で得られた知見を基にしたバッファ層を導入したサンプルを作成し、バッファ層厚と SEE 耐量の相関を調べた。

試験に用いたいずれのサンプルも定格電圧以下でデバイスが破壊し、宇宙用部品として要求される耐量は満たさなかった。ただし、バッファ層厚と SEE 耐量には相関が見られ、バッファ層を厚くすると耐量が得られることがわかった。

1 1. 今後の展望

これまでに開発したパワーMOSFETは、実使用レベルで問題のないSEE耐量を有し、要求仕様を満たしている。ただし、重粒子照射によるゲート漏れ電流の増加が観測され、SEE安全動作領域を制限している。残念ながら、今回の試験では改善へ向けた見解を得ることはできなかったが、ゲート漏れ電流を抑制することが宇宙用部品としての信頼性向上につながるため、改善することが今後の課題である。

1 2. その他、仁科センターに対する要望など

マシンタイムを柔軟に確保することが望ましいと考えます。現在は、半期ごとにマシンタイムの取り纏めが行われていますが、計画的な開発業務に加え顧客からのデータ要求など突発的な案件もあるため、四半期、月ごとなど短い期間でマシンタイムの申請ができるようになると、より利用しやすくなると考えます。