

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Sicパワーデバイスを用いた円形誘導加速器用加速セルドライバーの研究
Title(English)	
著者(和文)	岡村 勝也
Author(English)	Katsuya Okamura
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:乙第4118号, 授与年月日:2015年9月30日, 学位の種別:論文博士, 審査員:堀田 栄喜,堀岡 一彦,高山 健,安岡 康一,林崎 規託
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4118号, Conferred date:2015/9/30, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨(案)及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	岡村 勝也	
論文審査員	氏 名	職 名	氏 名	職 名
	主査 堀田 栄喜	教 授	林崎 規託	准教授
	堀岡 一彦	教 授		
	高山 健	連携教授		
	安岡 康一	教 授		

本論文は「SiCパワーデバイスを用いた円形誘導加速器用加速セルドライバの研究」と題し、バンチ長や周回周波数に制約されることなく矩形パルス電圧によって荷電粒子群を加速できる誘導加速シンクロトロンへの適用を目的に、シリコンカーバイド (SiC) パワーデバイスを用いた小型高性能かつ信頼性の高い高繰り返しスイッチング電源 (SPS) および出力ケーブルと整合抵抗を含む加速セルドライバに関する研究成果について述べたもので、全8章から構成されている。

第1章「序論」では、誘導加速の基本原理および高エネルギー加速器研究機構 (KEK) で開発されている誘導加速シンクロトロン (KEK デジタル加速器: KEK-DA) の概要について述べ、本研究の位置づけを明確にしている。すなわち、従来の高周波加速シンクロトロンでは荷電粒子群の加速と閉じ込めを同一の高周波電圧で行っているが、本研究の対象である SPS を適用する KEK-DA では加速と閉じ込めを別々のパルス電圧で行うことにより、バンチ長や周回周波数に制限がなく、低エネルギーで入射した荷電粒子群を安定に加速することが可能であると述べている。

第2章「誘導加速器システムの構成と現状の課題」では、誘導加速手法について詳細な議論を行い、加速電圧、パルス幅および周回周波数に対する技術的制約について述べている。さらに、これまで用いられてきたシリコン (Si) 半導体素子を用いた SPS の技術的課題、例えば多直列接続の必要性や素子分担電圧の均等化の必要性について述べ、これらの問題を解決するために新型のパワーデバイスの開発が期待されているとしている。

第3章「半導体スイッチのパルスパワーへの応用と誘導加速への適用可能性検討」では、新型の半導体 SPS を開発するにあたって、これまで行われてきた IGBT, MOSFET, Si サイリスタ等各種半導体パワーデバイスの研究状況について概観した後、半導体パワーデバイスの世界に革新をもたらすと期待されている SiC パワーデバイスを既存の Si パワーデバイスと比較することでその優位性を確認している。さらに、SiC-JFET のスイッチング性能評価結果から、その基本的優位性を生かし、誘導加速器用セルドライバに適用するためには、高放熱パッケージの開発が必要であると、本研究の意義を述べている。

第4章「SiC-JFET 用高放熱パッケージの開発」では、本研究において新たに開発されたエポキシモールドパッケージ SiC-JFET の構造とその特性評価結果について述べている。すなわち、開発品の SiC-JFET パッケージを銅製の水冷ヒートシンク上にマウントし、印加電圧 1 kV、通電電流 27 A、繰り返し周波数 1 MHz で連続動作試験を行い、安定に動作することを確認している。また、印加電圧 900 V、通電電流 48 A の条件で耐損失試験を行ったところ、素子損失 298 W で故障を起こし、その原因を内部最高温度がハンダの融点 (217°C) に達したためであると推定している。これらの結果から、開発した SiC-JFET パッケージの許容損失は 235~300 W 程度、熱抵抗 0.56 K/W と評価され、熱抵抗は開発目標 (0.4 K/W) より大きいものの、許容損失が目標 (200 W) を上回るものを開発できたとしている。

第5章「SiC-JFET を用いたスイッチング電源の試作とその評価」では、第4章で開発された高放熱パッケージ SiC-JFET を各アームに1個ずつ用いた単相 H ブリッジ構成の SPS を試作し、その評価結果について述べている。評価実験においては、最初に模擬負荷抵抗 40 Ω を接続し、印加電圧 800 V、繰り返し周波数 1 MHz で動作を確認後、SPS と加速セルを 40 m の平衡型高電圧ケーブルで接続した実験を行い、負荷端だけではなく出力端にも整合抵抗を接続することによりパルス電圧の立ち下がり時間を短縮できることを見出している。また、長さ 2 m の同軸ケーブルで SPS と加速セルを接続し、その両端に整合抵抗を接続した場合には、パルス電圧の立ち上がりから立ち下がりまでを 500 ns 以内に完了することができ、2 MHz の高速動作も可能なことを明らかにしている。

第6章「SiC-JFET スwitchング電源を用いた実ビーム加速」では、試作した SPS を KEK-DA に導入し、質量数対電荷数比 4 の重イオンの加速実験を行った結果について述べている。SPS の出力波形、イオンバンチ波形等から、SPS が加速に必要なパルス電圧を発生し、偏向磁石の最大磁束密度 0.23 T において、重イオンを最大エネルギー 6.9 MeV まで安定に加速できることを世界で初めて実証したと述べている。

第7章「SiC デバイスパッケージの更なる進化とその加速器への応用展開」では、将来展望として、両面冷却方式を採用した高放熱かつ低浮遊インダクタンスの次世代パワーモジュールの設計指針ならびにさらなる高出力化が期待される誘導加速方式を適用した円形加速器の今後の可能性について述べている。

第8章「結論」では、本研究で得られた研究成果を総括している。

以上を要するに、本論文は円形誘導加速シンクロトロンに適用されるカスタム仕様の SiC パワーデバイスを用いた小型高性能かつ信頼性の高いスイッチング電源および出力ケーブルと整合抵抗を含む加速セルドライバ開発の研究成果についてまとめたもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」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。