



Title	パワー半導体素子の駆動・保護回路技術に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	石川, 勝美
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第11607号
Issue Date	2014-12-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/57740
Rights(URL)	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Katsumi_Ishikawa_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 石川 勝美

審査担当者 主査教授 小笠原 悟司
副査教授 北 裕幸
副査教授 五十嵐 一
副査准教授 竹本 真紹

学位論文題名

パワー半導体素子の駆動・保護回路技術に関する研究

(Study on Drive and Protection Circuit Technology for Power Semiconductor Devices)

近年、従来の省エネルギーだけでなく、太陽光発電など再生可能エネルギーなどの創エネルギーの導入が活発化し、インバータに代表されるパワーエレクトロニクス技術が、さまざまな分野に適用されてきている。特に、1980 年後半に使い勝手の良い IGBT(Insulated Gate Bipolar transistor) 素子が登場して以来インバータの高性能化・高効率化が進められ、IGBT はキーデバイスとして 30 年経過した今でも様々なインバータシステムに使用されている。また、1950 年代からパワーデバイスの材料として使用されてきた Si(シリコン) 材料に代わり、約 10 倍の絶縁破壊電圧強度を持つ SiC(炭化珪素) が 1990 年台より注目され、2000 年代後半になって性能の良い結晶が市販され始めた。SiC を使ったデバイスとして、Si-SBD(Schottky Barrier Diode) ならびに SiC 接合 FET(SiC-JFET) や、SiC-MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect transistor) が特に注目されており、インバータの低損失化・小型化が期待されている。

本論文では、HEV(ハイブリッド自動車) や鉄道用インバータやサーバ電源を対象に、従来の Si-IGBT だけでなく SiC-SBD や SiC-JFET を搭載したインバータについて、その駆動・保護回路技術の高性能化技術の開発について述べている。

第 3 章では、IGBT に用いる高信頼の駆動・保護 IC について検討している。数百 A の大電流用途のインバータにおいても確実に IGBT の短絡保護するために、従来は高価なセンス IGBT 付のパワーデバイスが用いてきた。これに対して、IGBT の制御端子(ゲート)電圧と、IGBT の高圧端子(コレクタ)電圧を併用して電圧検知する方式を採用することで、高価なセンス IGBT が不要で、短絡検出時間も高速である方式を開発している。また、通常動作時の IGBT のターンオフ損失を増加させずに、IGBT の短絡時のピーク電流を 15% 低減するゲート駆動回路を開発し、HEV へ実用化している。第 4 章では、SiC-SBD と Si-IGBT との組合せを検討している。日本で多く採用されている直流 1500 V 架線に適用可能な 2 レベルインバータの高効率化を実現するために、世界に先駆けて 3.3 kV 級の SiC-SBD と Si-IGBT を搭載したプロトタイプ(3.3kV/200A)の Si/SiC ハイブリッドモジュールを開発している。従来の Si のダイオードを用いたデバイスと比較して、ターンオン損失が 1/6 に低減し、リカバリ損失が 1/10 以下に低減している。これを適用した場合には、車両用インバータとコンバータの損失を 32% 低減可能であることを示し、180 kW モータの駆動に成功している。

第 5 章では、従来の 3.3 kV/1200 A のモジュールの 2/3 のサイズの Si/SiC ハイブリッドモジュールを開発している。ショットキーバリア接合に pn 接合をマージした JBS(Junction Barrier Schottky)

構造を開発し、導通特性を改善した Si の IGBT に適用した。また、駆動技術については、IGBT のターンオン時に、3.3 kV/1200 A IGBT のゲートの状態を検出して、3 段階に分けて制御する低損失駆動技術を適用することで、従来の固定ゲート方式と比較して、ターンオン損失を 15% 低減している。その結果、IGBT の性能改善と SiC ダイオードによるスイッチング損失の低減効果により、インバータ損失を 35% 低減している。また、コンデンサの改善や、冷却器の小型化により、インバータの質量と体積を 40% 低減した。また、190 kW モータを 4 台同時に駆動することを実現している。

第 6 章では、閾値電圧の低いノーマリオフ SiC-JFET の駆動速度の高速化について、回路・実装方式の両面から検討し、インバータ・電力変換器の更なる省エネ・小型化を実現している。酸化膜を使用しない SiC-JFET(接合 FET) 素子において、ノーマリオフ型の SiC-JFET は、閾値電圧が 1 V 程度と非常に低く、3 V を越えるとゲート-ソース間に電流が流れるため、制御電圧範囲が狭い点が課題である。本研究では、SiC-JFET のソース分割端子の実装方式と、ゲート抵抗にコンデンサを並列接続するスピードアップコンデンサ駆動回路方式を採用し、50 ns 以内のターンオン時間、50 ns 以内のターンオフ時間を実現している。また、この実装方式や駆動回路方式を適用した PFC 回路や、DC-DC コンバータ回路を構築し、製品版同等の 2 kW のサーバ電源を試作し、効率最高点で 95.1% となる世界最高クラスの電源効率を実現している。

これを要するに、著者は、従来のインバータの問題点であった、短絡保護、短絡電流抑制、損失低減、小型化、高速化、コスト低減などの問題を同時に解決する新しいパワー半導体素子の駆動・保護回路技術を開発し、さらにそれを実証して新しい知見を得たものであり、電気工学ならびにパワーエレクトロニクス分野に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。