

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2006～2009

課題番号：18206029

研究課題名(和文) 次世代パワーエレクトロニクスデバイス・機器のインバータサージ絶縁・評価技術の確立

研究課題名(英文) Establishment of inverter surge insulation and evaluation technology in next generation power electronic devices and equipment

研究代表者

匹田 政幸 (HIKITA MASAYUKI)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40156568

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気・電力工学・電気機器工学

キーワード：パワーエレクトロニクス, インバータサージ絶縁, 部分放電, シリコンカーバイド, 電気自動車

1. 研究計画の概要

SiC(シリコンカーバイド)パワー半導体を用いた次世代パワーエレクトロニクスデバイス・機器システムを実用化する際に、必ず解決すべき問題となるスイッチングに伴うサージ電圧(インバータサージ電圧)下の次の2つの主課題について解決し、次世代パワーエレクトロニクス機器の速やかな実用化・普及に貢献することを目的とする。

(1) SiCパワー半導体デバイスのパッケージングの高電界・高温領域における絶縁システムの最適設計手法の確立、絶縁劣化メカニズムの解明に基づく絶縁劣化診断手法、耐電圧試験法、長期信頼性評価手法の確立を目的とする。

(2) SiCパワーデバイスの早期適用が期待されている電気自動車やハイブリッド自動車を対象として、次世代パワーデバイスを用いたインバータ機器や駆動系から発生するインバータサージおよびEMI(電磁障害)を評価・抑制する技術の確立を目的とする。

2. 研究の進捗状況

本研究では次世代パワーデバイスとして注目されているSiCデバイスを用いたインバータシステムにおける電磁障害の評価および抑制手法の提案、およびインバータ駆動モータを対象としてインバータサージ下での部分放電(PD)現象解明とPD計測法の確立を目的として取り組んできた。EMI・EMCを評

価するためSiCインバータを開発した。本研究では、VJFETおよびMOSFET SiCデバイスのスイッチング特性の測定を200°Cの高温領域まで行い、Siデバイスとの比較を行った。その結果、Si IGBTデバイスと比べて高速かつ低損失な特性が明らかとなった。これらのSiCデバイスの特性の測定を活用して、SiCインバータの設計およびゲート駆動回路や保護回路を付加してSiCインバータ開発を行い、回転速度制御機能を付加してモータ駆動に成功した。また、開発したSiCインバータを600W級の電気自動車システムに搭載し、SiCインバータ駆動による電気自動車の試作を行った。

一方、インバータサージ下でのPD測定に関しては、インバータサージを模擬した繰返し両極性インパルス電圧下での部分放電開始電圧(Partial discharge inception voltage: PDIV)において、実験初期ではPDIVがばらつく過渡状態から、PDIVが一定値に収束する安定状態へ変化するPDIV特性変化の要因を検討した。特に、PDIVがインバータサージ電圧印加初期より安定して測定すべきプリストレス電圧値・時間について実験により詳細に検討を行った。また、IEC61934TSで新たに提唱された繰返しPDIV(Repetitive PDIV:RPDIV)をエナメルツイストペア試料に対して、発光測定による光学的検出、中心周波数1.8GHzの狭帯域平面アンテナ電磁プローブおよびホーンアンテナによる電磁波検出を用いて測定評価し、比較検討した。そ

の結果、上記の3つの検出法はいずれも ns 領域で十分な応答速度があり、さらに RPDIV がほぼ等しいことがわかり、RPDIV の標準的な測定法の提案に至った。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

その理由としては、本研究の当初の研究計画の内、パワーデバイスモジュール・機器に対する、高電界絶縁システム最適化のための室温から高温（～450℃）までの絶縁材料の部分放電などの基礎的特性の調査・検討が予定通り進んでいること。さらに、上記の材料・機器システムに対して、長期間インバータサージ模擬電圧課電下での部分放電を自動的に測定評価できるシステムを構築し、結果の吟味、およびそれらの結果に基づいて地部分放電発生メカニズムおよび長期課電劣化メカニズムの解明を予定通り進めていることなど、が挙げられる。

4. 今後の研究の推進方策

(1) SiC半導体デバイスなどの次世代のパワーエレクトロニクス半導体デバイス開発を対象として、従来のパッケージング技術では不可能である200℃以上の耐高温かつ1200 V以上の耐高電圧特性をもつガス絶縁によるパッケージング技術開発を行う。SiCパワー半導体に対する高耐圧高温動作化のニーズを満たす最適な絶縁ガス媒体を探索し、その圧力、温度、ガス種・混合比率（混合ガス）などのガスパラメータ、デバイス間の結線方法（ワイヤボンディング、バンプ結合）、基板材料について、実SiCパワー半導体デバイスを用いて、詳細な実験検討を行う。また、従来パッケージング材料として使用されているエポキシ樹脂に耐熱を上げるためのナノサイズフィラーを添加したナノコンポジットの高温・高電界での電気特性を評価する。上記の高温領域でのパワーデバイス間の結線方式を考慮して電気特性評価するための電極系および容器についての設計制作し、高温・高電圧用半導体デバイスを搭載した基板を用いて上記のガスあるいはエポキシ樹脂を用いた構成にて高温絶縁特性を取得する。以上の結果を踏まえて、高電圧・高温用パワー半導体デバイスのパッケージングの絶縁システムの最適設計手法の確立および信頼性評価試験法開発を行う。

(2) インバータサージ電圧下での部分放電(PD)パルス光学信号と電磁波信号で検出しその相関性から、放電現象の詳細をさらに検討していく。非接触・フィルタ不要などのメリットが多いパッチアンテナの信号処理系を改造し、小形オンラインPDモニタとして、車載用および産業用モータ適用・実用化を目指

した実験を進める。インバータノイズやロボット用DCモータのノイズ計測も予定している。電磁アンテナ法は原理的に電荷量校正は困難であるが、一定の測定条件下で相関係数を求め、モータの品質評価や診断への適用を検討する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

K.Kimura, S.Ushirone, T.Koyanagi, M.Hikita, “PDIV Characteristics of Twisted-Pair of Magnet Wires with Repetitive Impulse Voltage”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.14, No.3, 2007 pp.744-750, 査読有

[学会発表] (計15件)

[1] S.Okada, K.Fukunaga, K.Yamaguchi, S.Ohtsuka, K.Kimura, M.Hikita, “Comparison of Electromagnetic Wave, Light Intensity and Electric Charge of PD on Crossed Magnet Wires under Repetitive Impulses”, 2008 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), 26~29 Oct., Quebec City, Canada (2008)

[2] 吉永啓祐, プーンヤケットソムパッタナー, 牧健太郎, 原田克彦, 大塚信也, 匹田政幸, 「SiC-VJFETのスイッチング特性およびインバータの製作」平成20年電気学会電子デバイス/半導体電力変換合同研究会, 2008年10月23~24日, 北九州

[3] 吉永啓祐, プーンヤケットソムパッタナー, 牧健太郎, 原田克彦, 大塚信也, 匹田政幸, 「インダクタンス負荷におけるSiC-VJFETのスイッチング特性に及ぼすゲート抵抗の影響」平成20年電気学会産業応用部門大会2008年8月27~29日, 高知

[4] 岡田真一, 山口浩平, 藤本真人, 小迫雅裕, 大塚信也, 木村健, 匹田政幸, 「インバータサージ模擬電圧印加がエナメル線クロス試料のPDIVに及ぼす影響」平成21年電気学会全国大会2009年3月17~19日, 札幌