

平成25年度環境エレクトロニクス研究グループ 研究成果報告書②

平成26(2014)年3月

公益財団法人 国際東アジア研究センター

まえがき

環境エレクトロニクス研究グループは、北九州市の重要環境施策を実現する手段として世界トップクラスの先進的な環境技術研究開発拠点を目指している。本報告書の内容は、北九州市、産業技術総合研究所、および九州工業大学が締結した三者連携協定に基づきプロジェクト体制で連携推進している、環境エレクトロニクス研究の平成25年度の研究成果である。

低炭素社会実現や省エネに向けて燃焼に代わるエネルギーとして電力の役割が期待されており、パワーエレクトロニクス機器の高効率化（低損失化）が重要視されている。また、国内だけでなく世界的にも電力化率（2次エネルギーに占める電力の割合）は年々増加傾向にあり、社会の主たるエネルギーを電力で賄う次世代高度電力化社会では、大量のパワーエレクトロニクス機器が部品化され、ユビキタスに使われる時代が来ると考えられる。

パワーエレクトロニクス機器による省エネは発電と等価であると考え、単位時間当たりの省エネ量と稼働時間の積で省エネ量の定量化が可能であり、ネガワットと呼ばれている。さらに、導入コストと維持費を併せて考慮し、ネガワットコスト（総省エネ量に対する総コスト）が算出できる。このネガワットコストが省エネ（低炭素化）性能と普及容易性を同時に示す定量的な指標となり、このネガワットコストの低減を目的とし環境エレクトロニクス研究グループの研究テーマが設定されている。

環境エレクトロニクス研究のテーマは、「高度電力化社会を支える次世代パワー半導体の研究」、「次世代パワーエレクトロニクスに対応した信頼性研究」、「シリコンウェーハ上に搭載可能な究極の小型電源の研究」、そして「設計プラットフォーム研究（データセンター給電システムの高パワー密度化）」の4テーマあるが、本報告書では次世代パワー半導体の研究と信頼性研究の2テーマに関する研究を報告する。

本報告書が、北九州市の「元気発進！北九州」プラン、環境未来都市構想などの様々な環境施策、および新成長戦略に貢献できる事を期待する。最後に、本研究の実施にあたり、ご指導及び有益なご意見・ご討論を頂いた環境エレクトロニクスプロジェクトの先生方、また研究環境の整備などに尽力いただいた北九州市市役所の関連部課の方々に深甚なる感謝の意を表す。

平成26（2014）年3月

環境エレクトロニクス研究グループ 附田 正則

I. 平成25年度論文成果

学会誌論文 1 件 国際会議論文 5 件

学会誌論文 : 1 件

1. A. Watanabe, M. Tsukuda, I. Omura, “Real time degradation monitoring system for high power IGBT module under power cycling test”, Microelectronics Reliability, Volume 53, Issues 9–11, September–November 2013, Pages 1692-1696, 2013.

国際会議論文 : 5 件

1. Masanori Tsukuda, Seiichi Okoda, Ryuzo Noda, Katsuji Tashiro and Ichiro Omura, “High-throughput DBC-assembled IGBT screening for power module”, Proc. of CIPS, pp. 25-30, 2014.
2. Akihiko Watanabe, Masanori Tsukuda, Ichiro Omura, “Internal degradation monitoring of power devices during power cycling test”, Proc. of CIPS, pp. 213-217, 2014.
3. A. Watanabe, M. Tsukuda and I. Omura, “Real Time Monitoring System for Internal Process to Failure of High Power IGBT”, Proc. of SSDM, pp. 1692-1696, 2013.
4. Y. Miki, M. Mukunoki, T. Matsuyoshi, M. Tsukuda and I. Omura, “High Speed Turn-on Gate Driving for 4.5kV IEGT without Increase in PiN Diode Recovery Current” , Proc. of ISPSD, pp.347-350, 2013.
5. K. Seto, J. Takaishi, H. Imaki, M. Tanaka, M. Tsukuda and I. Omura, “Sub-micron Junction Termination for 1200V Class Devices toward CMOS Process Compatibility” , Proc. of ISPSD, pp.281-284, 2013.

II. 平成25年度に実施した研究テーマと概要

1. シリコンパワー半導体の高性能化に関する研究（九州工業大学との共同研究）

高耐圧シリコンパワー半導体は、量産性に優れパワエレ機器の需要拡大に応じており、省エネに向け高効率化も期待されている。本研究では、バイポーラ素子である IGBT や PiN ダイオードの動作に着目し、シリコンパワー半導体の高効率化を追求した。

高効率化の追求においてフラット電界およびフラットキャリア分布を想定したシリコンバイポーラ素子の理論限界モデルを新たに提案し、現状に比べ2倍の高速化と50%の損失低減が原理的に可能であることを明らかにするとともに、半導体基本方程式の数値解析によって妥当性を確認した。しかしながら、回路も含めた解析から提案した理論限界モデルによるデバイス構造は非常に強いノイズを誘発することも判明し、現実には実用化が困難であることも明らかになった。

本研究では、ノイズ発生メカニズムを分析し、新しい手法によるノイズ判定法およびノイズ防止構造とその設計法を提案した。特に提案した横型デバイスの新構造は、理論限界に大きく近づく上にノイズが発生しないことがシミュレーションより明らかになった。現在は、ベース濃度とベース厚および凹凸構造を中心に設計の最適化を進めている。

2. 高耐圧パワー半導体の接合終端構造の研究（九州工業大学との共同研究）

パワーデバイスは高耐圧化のために接合終端構造に深い拡散層を用いているが、量産性が低いことが問題があった。しかし従来は深い拡散層は高耐圧化のために必須だと思われてきており、浅い拡散層で接合終端構造を形成することはこれまで検討されていなかった。

今回シミュレーションにより浅いトレンチや拡散層による接合終端構造を計算したところ、浅い構造でも高耐圧化が可能であることが判明した。特に浅い拡散層を用いた接合終端は、数種類の関数による数百本のガードリング配置により高耐圧化が可能であることが判明した。今回提案した浅い接合終端構造は量産性の高い CMOS プロセスが適用できるため、極限 IGBT など高性能・高耐圧パワーデバイスの量産化が可能になる。

3. リアルタイム故障モニタリングシステム（九州工業大学との共同研究）

高性能 IGBT や SiC デバイスなど、今後小型・高集積・高密度化が進む次世代パワーデバイスの高信頼化に向けた新しいタイプの非破壊評価装置を開発している。従来、パワーデバイスの故障解析では、テストなどで破壊した後に詳細に分解調査することで故障の要因を特定してきたが、将来小型・集積化され EV や家電、省エネ機器に幅広く大量に利用される次世代パワーデバイスやパワーエレクトロニクス機器では、複数の異常個所が発生するなどの故障要因の複雑化のため、破壊後の解析では故障の本質に迫れない懸念が出てきた。本研究では、故障を引き起こす現象をストレス・テストの条件下で動画像として捉え、リアルタイムに分析可能な装置を開発する。

装置は超音波顕微鏡をベースに数十 kW 出力クラスの HEV 用パワーデバイスに対応で

きるパワー回路を組み合わせて構成した。また、パワーストレス印加時と温度パラメータ測定時はそれぞれ順方向大電流および逆方向微少電流を流すため、高速に600Aまでの電流の切り替えが可能な極性反転回路を設計し作製した。また外部形状の観測によりチップ周辺の故障判定が可能であるかについても検討を行った。

4. エネルギー社会に対応した高機能パワーデバイスの高信頼性を確保する

超小型電流センサ及び製造ライン向け検査装置の開発

(経済産業省：戦略的基盤技術高度化支援事業 [平成24年度－平成26年度])

I G B T などの高機能パワーデバイスはH E V や風力発電、鉄道輸送など各種産業分野に応用され、社会インフラの重要なキーコンポーネントとなってきた。高機能化に伴い信頼性確保が課題となっており、特に並列チップ間での電流集中による破壊の防止は安全確保の面からも重要である。本研究で I C S E A D は、非破壊で正確な電流バランスの高速測定が可能なパワーデバイス検査装置に用いる革新的超小型電流センサのコイル部の小型化と、作製した検査装置の16chでの動作確認を行った。

コイルの小型化においては、外形0.5mm、最小寸法2 μ mの寸法を目標とし、酸化、アルミ膜堆積、レジストパターンニング、Al エッチングなどの半導体プロセスの確立と、それによる目標設計寸法のコイルを形成した。F A I S の試作場を用いたコイル作製により、今年度の目標を達成することができた。

さらに、プロジェクト全体の今年度の目標であった作製検査装置の動作確認では、作製した装置に電流センサ、アンプ、デジタル処理からなる信号系を組み合わせ、16ch信号の同時計測を実証した。

5. 高周波リンクトランス方式による高電圧汎用インバータに関する研究

(電機系メーカー2社、産業技術研究所、首都大学東京、茨城工業高等専門学校、九州工業大学との共同研究)

高周波リンクトランス方式による量産型、高電圧汎用インバータによる社会インフラ世界市場への展開と EV/HEV 市場競争力強化の波及を狙った本格展開に向けて、大電力汎用インバータ時代の先駆けになる大電力双方向絶縁型変換器プロトタイプを試作とそれによる本格研究の課題定量化を行う。

本研究では、次世代大電力変換器の新システムに向け、破壊につながる最大電流の上昇防止と低損失化の同時達成を狙いパワー半導体の新しい制御方式をシミュレーションで研究した。さらに実験実証のために、正確なパワー半導体特性の取得を可能にする単チップ評価が可能なスケールダウン・テストベッドも作製し、寄生インダクタンスが低減された状態で新しい制御方式を試みた。シミュレーション結果と実験結果は一致し、新方式による最大電流の増加防止と低損失化の効果を確認できた。また超高電圧送電・変電に向け、ゲートコントロール装置の高絶縁耐量化が可能になる通信・絶縁技術の検討も行った。

6. 磁束センサーとアナログ回路を適用した電気評価技術に関する研究

(自動車系メーカーからの受託研究)

磁束センサーとアナログ回路を適用した電気評価技術の応用範囲拡大を狙う。特に高電圧・大電流パワーモジュール内部の電流による発生磁束の測定系を設定調整し、電流分布の把握を目指す。

本研究では、空間分解能を高めるために超小型センサを用いパワーモジュール内部の磁束を計測した。電流密度が高いと思われる部分の信号が大きく、測定の妥当性が確認された。今後は詳細な分析を行う。

平成 2 5 年度環境エレクトロニクス研究グループ研究成果報告書②

平成 26 年 3 月発行

発行所 公益財団法人国際東アジア研究センター
〒803-0814 北九州市小倉北区大手町 11 番 4 号
Tel : 093-583-6202 / Fax : 093-583-6576, 4602
URL : <http://www.icsead.or.jp>
E-mail : office@icsead.or.jp
