

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560294

研究課題名（和文） 超低損失炭化珪素静電誘導デバイスの高信頼性に関する研究開発

研究課題名（英文） Improvement in the reliability of super low power loss SiC static induction devices

研究代表者

矢野 浩司（YANO KOJI）

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授

研究者番号：90252014

研究成果の概要（和文）：

超低損失パワーデバイスである炭化珪素の埋め込みゲート静電誘導トランジスタ（SiC-BGSIT）において、高温信頼性試験を実施した。雰囲気温度 125℃において 5A, 1300V サンプル素子に 1000V を印加し、1000 時間連続遮断試験を実施したところ、試験期間中に素子特性の顕著な変動は確認されなかった。これは同デバイス動作で重要なチャンネル領域を形成するプロセスが的確に行われていることを意味し、SiC-BGSIT の信頼性の高さを予測させるものである。

研究成果の概要（英文）：

For SiC-static induction transistors with the buried gate structure (SiC-BGSIT), high voltage blocking tests have been performed at  $T_a=125^\circ\text{C}$  for 1000 hours. 1000V was applied between the drain and source electrode in the test. Through the test, any degradation in the electrical characteristics was not observed. This result means that the appropriate device process is done in the channel formation, and expects the high reliability of the SiC-BGSITs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：パワーエレクトロニクス、パワーデバイス、ワイドバンドギャップ、SiC

## 1. 研究開始当初の背景

SiCはSiの約8倍の降伏臨界電界強度および高い電子移動度を持つことからパワーデバイスとして理論上Siの161倍の性能が実現できる。また熱伝導率がSiの3倍であることから破壊耐量、高温動作に優れ、「頑強な材料」とされている。資源エネルギー庁「省

エネルギー戦略2008」において、SiCパワーデバイスは次世代省エネデバイスとしてエネルギー問題および地球温暖化問題を解決する重要技術とされている。世界中の研究機関の研究成果により、既にSi性能限界を凌駕するSiCパワーデバイスが開発されている。研究者らは2004年から超低損失のパワー

半導体デバイスを実現することを目的として、炭化珪素を材料とした埋め込みゲート静電誘導トランジスタ SiC-BGSIT の開発を進めてきた。そして、同素子の埋め込みゲート構造を形成する際に、異方性エッチングと埋め戻しエピタキシャル技術を巧みに組み合わせた新たな構造を開発し(特開 2006-253292)サブミクロンチャネル寸法を実現しており、これと同時にデバイスシミュレーションによる徹底した設計(特願 2005-191763)により 2005 年には降伏電圧 700V、特性オン抵抗  $1.01\text{m}\Omega\text{cm}^2$  という 600~900V 級で世界最低損失のパワーデバイスの試作に成功した(’05.3.29 日刊工業新聞ほか)。2007 年には、電流定格 2~5A、降伏電圧 1270V、特性オン抵抗  $1.21\text{m}\Omega\text{cm}^2$  素子の試作に成功した。

(Int. Symp Power Semiconductor Devices & ICs pp.93-96,2007)。また H18~20 年度の科研費基盤 C では、Si パワーデバイスの 1/8 のスイッチング時間を達成した。更に同素子は Si パワー素子の 2 倍の負荷短絡耐量を示し、Si 素子を上回る頑強性を実証した(ECSCRM, TuP-1, 2008)。

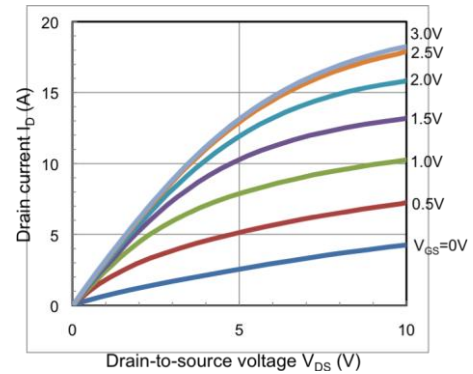
本素子の実用化の為に、上述したような超低損失・高速性能だけでなく、長時間通電や高温動作において、素子特性が変動したり破壊しないこと、即ち「高い信頼性」が保証されなければならない。SiC パワー素子は、SiC 材料がワイドバンドギャップで高い熱伝導率を有するため、Si 素子を上回る高温条件下で高い信頼性の動作が可能であり、これにより各種電力変換装置の放熱装置の体積を大幅に縮小できる、といった多大なメリットが期待される。一方で、このような SiC 材料の高温での頑強性能を発揮させ高信頼性を維持するには、高温・高電圧ストレス下での電極金属のマイグレーション、ハンダのひび割れ、ワイヤーボンディングの剥がれといった問題をクリアする必要がある。

SiC は Si を上回る高温動作が期待できる。しかし、本研究の対象である SiC-BGSIT に限らず、これまで開発されてきた SiC パワーデバイスの信頼性を調査した研究は少ない。

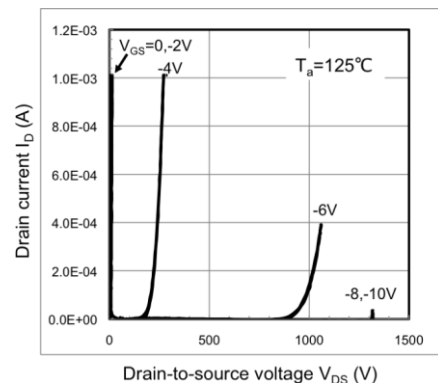
## 2. 研究の目的

本研究では、SiC-BGSIT のパッケージ設計および素子設計をシミュレーションを実施し、まず従来のパワーデバイスの動作温度とされる  $125^\circ\text{C}$  での高信頼性および、Si パワー素子を  $100^\circ\text{C}$  上回る  $250^\circ\text{C}$  動作における超低損失で高信頼性を持つ SiC パワーデバイスの実現を目指す。

また「圧接パッケージ」に SiC-BGSIT を実装することを提案する。本パッケージ法は従来パッケージとは異なり、ハンダやワイヤーを用いず、高熱伝導率の Cu ブロックを Mo 等



(a)



(b)

図 1 : 代表的な SiC-BGSIT の特性。(a)オン特性 (b)電流遮断特性。

のバッファメタルを介して圧力をかけてチップ電極とコンタクトをとる方法であり、従来パッケージの欠点を解消することが期待できる。本研究では圧接パッケージの設計と、それにマッチする素子設計法を確立する。最終的に、Si パワー素子を  $100^\circ\text{C}$  上回る  $250^\circ\text{C}$  動作における超低損失で高信頼性を持つ SiC パワーデバイスの実現を目指す。本研究成果は、SiC 材料本来のメリットを十分発揮させ、各種電力変換装置の電力効率の向上、体積の縮小を実現させ、超低損失 SiC パワー素子を実用化に一步近づける重要な基盤技術となる。

## 3. 研究の方法

従来のモールド樹脂パッケージ (T0220) およびハンダやワイヤーボンディングを用いない高温動作が可能である圧接パッケージの 2 種類のパッケージに対して SiC-BGSIT のチップを実装し、高温下での信頼性試験を実施した。

試験装置は、電圧印加・電流モニター電源をトランジスタの入力および出力に接続し、パソコンでこれらの電源を制御し、一定期間サンプル素子にストレスを印加し続ける。高温下での信頼性試験を実施するために  $250^\circ\text{C}$  までの高温環境の設定が可能な恒温層も設

置している。

#### 4. 研究成果

##### (1) 測定サンプルの電気的特性

図1に使用したサンプルのオン特性及び電流遮断特性（オフ特性）を示す。本素子の主な定格は、電流定格 5A、最大電圧定格 1300V のノーモリーオン型である。

##### (2) 高温連続遮断試験の結果

図2に雰囲気温度  $T_a=125^\circ\text{C}$ 、ドレインソース間電圧 1000V（降伏電圧の 77%）の条件下での、従来の樹脂パッケージ素子 (T0220) の 1000 時間連続遮断試験の代表的な結果を示す。この結果より、ドレインおよびゲートの漏れ電流は 1000 時間試験においてほとんど変動がないことがわかる。他の 1 サンプルも同様の試験を実施したが、同様の結果が得られた。

図3は、上記試験後に測定した素子のオン抵抗及びブロッキングゲインの温度特性である。試験後の特性は試験前のものでほとんど変わっておらず異常は見られなかった。す

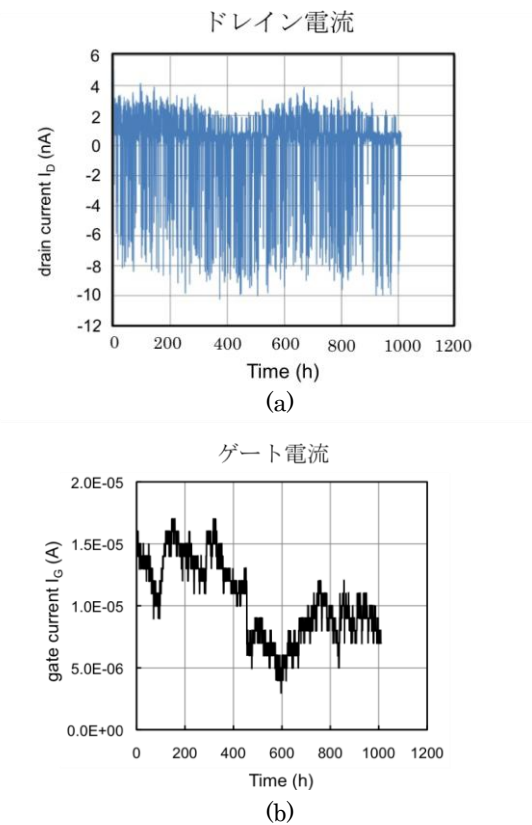


図 2:  $T_a=125^\circ\text{C}$  高温遮断試験 (a)ドレイン電流 (b)ゲート電流

なわち素子は同遮断動作において十分な信頼性を有するということが実証された。本信頼性試験は、特に埋め込みゲート P 領域の接合の信頼性を調べることを目的とするもの

であり、埋め込みゲート領域およびその周辺を形成する製造プロセスが適切に行われていることが予測できる。本結果は SiC の埋め込みゲート SIT としては世界で始めて示された結果であり、平成 23 年電気学会全国大会の予稿集に投稿した（大会自体は震災のため中止となった）。

一方  $250^\circ\text{C}$  の雰囲気でのデバイス動作を実現するための圧接パッケージの信頼性試験については、当初の予定から大幅に遅れ、科研費研究終了時に、圧接パッケージ治具を完成するのにとどまった。予定から遅れた理由は、高温信頼性試験の装置の設計および構築に手間取ったことと、震災による計画停電や節電の影響で、長時間信頼性試験を中断されたためである。

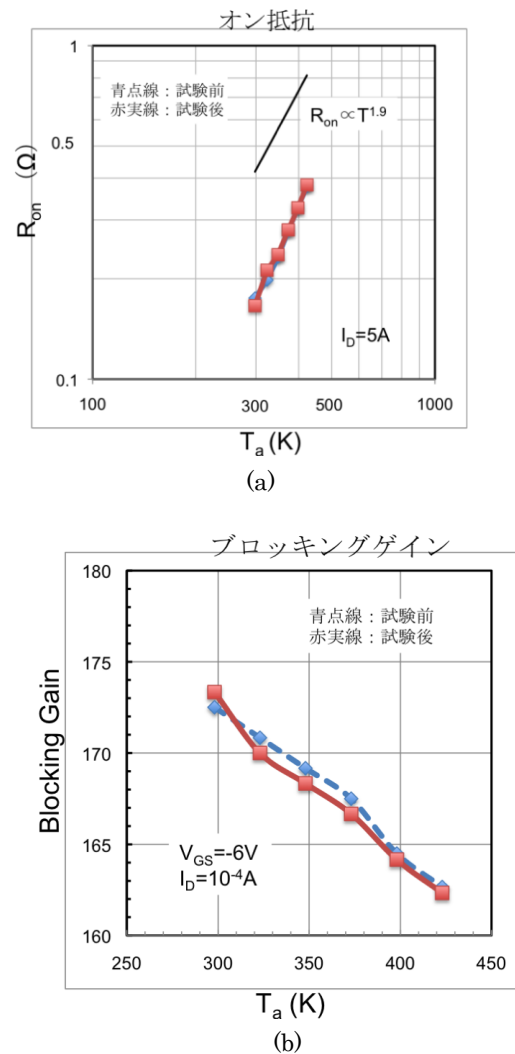


図 3: 試験後の (a)オン抵抗  $R_{on}$  および (b)ブロッキングゲイン

今後は圧接パッケージによる高温信頼性試験を実施し、Si パワーデバイスを上回る SiC-BGSIT の高温動作の信頼性を実証する予定である。

5. 主な発表論文等

(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 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

矢野浩司・田中保宣・八尾 勉・高塚章夫, SiC-  
静電誘導トランジスタの高温逆バイアス試  
験, 平成 23 年電気学会全国大会, 4-139. (予  
稿集発表: 平成 23 年 3 月 1 日、学会は東日  
本大震災で中止)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

なし

[その他]

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢野 浩司 (YANO KOJI)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授  
研究者番号: 90252014

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

田中 保宣 (TANAKA YASUNORI)

産業技術総合研究所・先進パワーエレクトロ  
ニクス研究センター・主任研究員

研究者番号: 20357453

八尾 勉 (YATSUO TSUTOMU)

産業技術総合研究所・先進パワーエレクトロ  
ニクス研究センター・非常勤研究員

研究者番号: 10399503