

SiCパワーデバイスの開発と最新動向

—普及に向けたデバイスプロセスと実装技術—

S&T出版 SiCパワーデバイス2 検索

2012年10月30日発行	B5判上製本 361頁	価格 本体 60,000円＋税 (STbook会員:56,952円＋税)	STbook会員とは当社ホームページの登録会員(ログイン機能)です。(無料)
ISBN978-4-907002-06-0 C3058			

監修 岩室憲幸 富士電機(株)(独)産業技術総合研究所 出向

著者

- 岩室 憲幸 富士電機(株)(独)産業技術総合研究所 出向
- 中野 佑紀 ローム(株)
- 原田 信介 (独)産業技術総合研究所
- 古川 彰彦 三菱電機(株)
- 今泉 昌之 三菱電機(株)
- 大森 達夫 三菱電機(株)
- 矢野 裕司 奈良先端科学技術大学院大学
- 吉川 正信 (株)東レリサーチセンター
- 先崎 純寿 (独)産業技術総合研究所
- 二本木 直穂 インフィニオンテクノロジーズ ジャパン(株)
- 築野 孝 住友電気工業(株)
- 浅野 勝則 関西電力(株)
- 辻 崇 富士電機(株)(独)産業技術総合研究所 出向
- 中山 浩二 関西電力(株)
- 匹田 政幸 九州工業大学
- 渡邊 純二 九州工業大学
- 加藤 正史 名古屋工業大学
- 高尾 和人 (株)東芝
- 徳田 人基 住友電気工業(株)
- 石川 佳寛 (株)ADEKA
- 門田 健次 電気化学工業(株)
- 大谷 昇 関西学院大学
- 宇治原 徹 名古屋大学
- 藤本 辰雄 新日本製鐵(株)
- 高橋 宏和 トーヨーエイトック(株)
- 岩井 利光 トーヨーエイトック(株)
- 星山 豊宏 トーヨーエイトック(株)
- 加藤 智久 (独)産業技術総合研究所
- 山口 桂司 京都工芸繊維大学
- 佐藤 誠 (株)リタケカンパニーリミテド
- 佐野 泰久 大阪大学
- 有馬 健太 大阪大学
- 山内 和人 大阪大学
- 石田 夕起 (独)産業技術総合研究所
- 土田 秀一 (財)電力中央研究所
- 齋藤 真 芝浦工業大学
- 伊瀬 敏史 大阪大学

目次

第1章 SiCパワーデバイス最新技術と今後の展開

第2章 SiCトランジスタ要素技術と最新動向

- 第1節 超低損失SiCトレンチMOSFET
- 第2節 ノーマリーオフ型SiC-MOSFET
- 第3節 電流センス機能搭載SiC-MOSFET
- 第4節 MOS界面欠陥の低減技術と高品質化
- 第5節 SiCパワーデバイスの欠陥解析・観察技術
- 第6節 SiCゲート絶縁膜の高信頼性化
- 第7節 SiC-JFET
- 第8節 RESURF型JFET
- 第9節 SiC-GCT

第3章 SiCダイオード要素技術と最新動向

- 第1節 1200V、600VクラスSiC-SBD
- 第2節 SiC-PiNダイオード
- 第3節 SiCショットキーバリアダイオードの電流-電圧特性
- 第4節 陽極酸化欠陥抑制法による
n型4H-SiCショットキーダイオードの整流特性改善

第4章 SiCパワーモジュール要素技術と最新動向

- 第1節 SiC-PiNダイオードとSi-HEGTのハイブリッドペアモジュール
- 第2節 200°C動作SiCスイッチングモジュール

第5章 実装部材の特性

- 第1節 SiC パワーモジュール向け耐熱絶縁封止材料
- 第2節 SiC パワーデバイス向け放熱部材

第6章 SiC単結晶成長技術

- 第1節 SiC単結晶成長技術の開発動向
- 第2節 SiC 結晶の溶液成長技術
- 第3節 昇華再結晶法による大口径SiC単結晶ウェハ製造技術

第7章 SiC結晶の切断・研磨技術

- 第1節 SiC単結晶ウェハのスライシング技術
- 第2節 SiCウェハの研磨技術
- 第3節 単結晶SiC基板の紫外光支援加工
- 第4節 SiC単結晶の酸化剤援用研磨
- 第5節 SiC基板表面の原子レベル平坦化技術

第8章 SiCのエピタキシャル成長技術

- 第1節 SiCエピタキシャル成長と巨大ステップ・バンチングの生成メカニズム
- 第2節 厚膜SiCエピタキシャル成長と欠陥制御

第9章 SiCパワーデバイスの応用展開

- 第1節 太陽光発電システム・パワーコンディショナへの応用展開
- 第2節 次世代高圧電力変換システムへの応用展開

書籍申込用紙	書籍名：A089(SiCパワーデバイス2)	購入冊数	冊	DM
--------	-----------------------	------	---	----

<table border="1"> <tr> <td>会社名 団体名</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>部署・役職</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>ふりがな</td> <td></td> <td>〒</td> <td></td> </tr> <tr> <td>氏名</td> <td>住所</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TEL</td> <td></td> <td>FAX</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E-mail</td> <td colspan="3">※申込みに関する連絡に使用するため、可能な限りご記入ください。</td> </tr> <tr> <td colspan="2">STbook会員(無料)に <input type="checkbox"/>登録する <input type="checkbox"/>登録済み</td> <td colspan="2">※E-mailアドレスが必須です。 ※左に▽印をつけてご入会いただく、この申込からSTbook会員価格で購入できます。</td> </tr> <tr> <td colspan="2">今後、弊社からのご案内が不要な方は以下に▽印をつけてください。 <input type="checkbox"/>郵送DM不要 <input type="checkbox"/>E-mail不要</td> <td colspan="2">通信欄</td> </tr> </table>	会社名 団体名				部署・役職				ふりがな		〒		氏名	住所			TEL		FAX		E-mail	※申込みに関する連絡に使用するため、可能な限りご記入ください。			STbook会員(無料)に <input type="checkbox"/> 登録する <input type="checkbox"/> 登録済み		※E-mailアドレスが必須です。 ※左に▽印をつけてご入会いただく、この申込からSTbook会員価格で購入できます。		今後、弊社からのご案内が不要な方は以下に▽印をつけてください。 <input type="checkbox"/> 郵送DM不要 <input type="checkbox"/> E-mail不要		通信欄		<p>※左記ご記入の上、FAX 03-3261-0238までお申込みください。 ※E-mailアドレスまたはFAX番号を必ずご記入下さい。</p> <p>■お申込み方法 必要事項をご記入の上、FAXでお申込みください。 または当社ホームページからお申し込みください。</p> <p>■商品の発送 お申込み日の翌営業日までに書籍、請求書、納品書を佐川急便で発送いたします。 ※未刊書籍は発刊次第お送りいたします。</p> <p>■お支払 銀行振込・ゆうちょ銀行払込(郵便振替)にてお願いいたします。 クレジット・カード払いは受け付けておりません。 書籍・請求書到着後、1か月以内にお振込みください。 銀行振込・ゆうちょ銀行払込(郵便振替)の手数料は、ご負担ください。 原則として領収書は発行いたしません。 ゆうちょ銀行払込取扱票(郵便振替票)は、書籍に同封しております。</p> <p>■個人情報取り扱い ご記入の個人情報は、商品の発送、事務連絡、ご案内等に使用いたします。</p>
会社名 団体名																																	
部署・役職																																	
ふりがな		〒																															
氏名	住所																																
TEL		FAX																															
E-mail	※申込みに関する連絡に使用するため、可能な限りご記入ください。																																
STbook会員(無料)に <input type="checkbox"/> 登録する <input type="checkbox"/> 登録済み		※E-mailアドレスが必須です。 ※左に▽印をつけてご入会いただく、この申込からSTbook会員価格で購入できます。																															
今後、弊社からのご案内が不要な方は以下に▽印をつけてください。 <input type="checkbox"/> 郵送DM不要 <input type="checkbox"/> E-mail不要		通信欄																															

目次

第1章 SiC パワーデバイス最新技術と今後の展開

- 1. シリコンパワーデバイスの最新動向
 - 1.1 シリコンMOSFETの最新動向
 - 1.2 シリコンIGBTの最新動向
- 2. SiC パワーデバイス開発の現状と将来動向
 - 2.1 ワイドバンドギャップ半導体の特徴
 - 2.2 SiC-MOSFET かSiC-IGBT か
 - 2.3 SiC-MOSFET デバイス、プロセスの課題
- 3. SiC パワーデバイスを支える周辺技術

第2章 SiC トランジスタ要素技術と最新動向

- 第1節 超低損失SiC トレンチMOSFET
 - 1. トレンチエッチングプロセス
 - 2. MOS 界面電氣的特性の面方位依存性
 - 3. トレンチ底部電界緩和構造
 - 4. 超低損失化
- 第2節 ノーマリーオフ型SiC-MOSFET
 - 1. SiC-MOSFETの基本設計
 - 2. ゲート酸化膜特性
 - 2.1 チャネル移動度
 - 2.2 しきい値電圧
 - 2.3 しきい値電圧安定性
 - 2.4 ゲートリーク電流
 - 2.5 信頼性
 - 3. DIMOSFET
 - 4. IEMOSFET
 - 5. IEMOSFETの特性
- 第3節 電流センス機能搭載SiC-MOSFET
 - 1. 電流センス機能搭載SiC-MOSFETの作製
 - 2. 電流センス機能搭載SiC-MOSFETの電気特性
 - 3. SiC-IPM技術
- 第4節 MOS 界面欠陥の低減技術と高品質化
 - 1. POC13 アニールしたMOS デバイスの作製
 - 2. POC13 アニールによるMOS 界面特性の改善
 - 3. POC13 アニールした酸化膜の絶縁破壊特性と信頼性
 - 4. NO アニールとPOC13 アニールの組み合わせ効果
 - 4.1 NO とPOC13 アニールの組み合わせ処理をしたMOS デバイスの界面特性
 - 4.2 NO とPOC13 アニールの組み合わせ処理による酸化膜への電子注入耐性の向上
- 第5節 SiC パワーデバイスの欠陥解析・観察技術
 - 1. SiC 結晶評価技術
 - 2. 結晶欠損解析技術
 - 2.1 イメージングPL 法及びTEM 観察の組み合わせによる4H-SiC エピタキシャル層の結晶欠陥評価
 - 2.2 イメージングPL 法と放射光X線トポグラフィ法の組み合わせによる4H-SiC エピタキシャル層の欠陥結晶評価
 - 3. SiC パワーデバイスの物性評価技術
 - 3.1 顕微分光法による4H-SiC MOSFET の応力評価
 - 3.2 カソードルミネッセンス(CL)法による4H-SiC MOSFETのイオン注入誘起欠陥の評価
 - 4. 素子接合界面評価技術
 - 5. 今後の課題・展望
- 第6節 SiC ゲート絶縁膜の高信頼性化
 - 1. SiC ゲート絶縁膜形成技術とSiC MOS 特性
 - 1.1 熱酸化法と堆積法
 - 1.2 熱酸化法とSiC MOS 界面特性
 - 1.3 SiC ゲート絶縁膜信頼性の形成法依存
 - 1.3.1 高温ドライ酸化により形成されたSiC ゲート絶縁膜信頼性
 - 1.3.2 SiC ゲート絶縁膜形成後の窒化処理及び水素処理の効果
 - 2. SiC ゲート絶縁膜信頼性評価技術
 - 2.1 SiC ゲート絶縁膜信頼性評価に関する問題点
 - 2.2 面積スケールリング則を用いたSiC ゲート絶縁膜信頼性評価
 - 2.3 SiC ゲート絶縁膜の絶縁破壊要因
 - 2.4 発光解析による絶縁破壊箇所の同定
 - 2.5 CMP 研磨によるSiC ウェハ表面平坦化の効果

第7節 SiC-JFET

- 1. SiC-JFETの特徴
 - 1.1 アドバンテージ及びディアドバンテージ
 - 1.2 ピンチオフ電圧(V_{PD})とオン抵抗(RON*)A
 - 1.3 静特性
- 2. カソード接続
 - 2.1 カソード接続の原理
 - 2.2 JFETの直接駆動
 - 2.3 静特性
 - 2.4 動特性
 - 2.5 サマリー
- 3. パワー密度へのアプローチ
 - 3.1 電流密度とパワー密度
 - 3.2 回路構成
 - 3.3 パワー密度及び効率
- 4. 今後の課題及び動向

第8節 RESURF 型JFET

- 1. RESURF 型FETの構造
- 2. RESURF 型FETの作製プロセス
- 3. RESURF 型FETの特性
 - 3.1 静特性
 - 3.2 動特性
- 4. まとめと今後の展開

第9節 SiC-GCT

- 1. 要素技術
 - 1.1 素子構造
 - 1.2 電界緩和構造
 - 1.3 ライフタイム制御
- 2. 静特性
 - 2.1 出力特性
 - 2.2 耐電圧特性
- 3. 動特性
- 4. 耐量
 - 4.1 可制御オン電流
 - 4.2 サージオン電流
- 5. SiCGT 信頼性

6. SiCGTの適用装置

第3章 SiC ダイオード要素技術と最新動向

- 第1節 1200 V,600 VクラスSiC-SBD
 - 1. 素子構造
 - 2. 静特性
 - 3. 動特性
 - 4. インバータ回路としての損失改善効果
 - 5. アبرانシエ耐量
 - 6. 長期信頼性
- 第2節 SiC-PiN ダイオード
 - 1. SiC-PiN ダイオードの要素技術(工程プロセス等)
 - 2. 高耐電圧化技術
 - 3. PiN ダイオードの電気特性評価技術
 - 4. 今後の課題と展望
- 第3節 SiC ショットキーバリアダイオードの電流-電圧特性
 - 1. SiC ショットキーバリアダイオード(SiC-SBD)
 - 2. SiC-SBDの電流-電圧特性のモデル化と理論式
 - 3. 高温、高電界での電流-電圧特性および直流特性
 - 4. SiC-SBDの高耐圧化、大面積化、課題
 - 5. SiC-SBDの電流電圧特性と応用
- 第4節 陽極酸化欠陥抑制法によるn型4H-SiCショットキーダイオードの整流特性改善
 - 1. 陽極酸化欠陥抑制法(PDA)の原理
 - 2. PDAによる効果
 - 2.1 実験手法
 - 2.2 実験結果

第4章 SiC パワーモジュール要素技術と最新動向

- 第1節 SiC-PiN ダイオードとSi-HEGT のハイブリッドパワモジュール
 - 1. 構造
 - 2. 電気特性
 - 2.1 静特性
 - 2.2 動特性
 - 2.3 スイッチング損失の低減効果
 - 3. 大電力変換器への適用効果
- 第2節 200°C動作SiC スイッチングモジュール
 - 1. SiCモジュール構造
 - 1.1 形状検討
 - 1.2 SiC チップ/DBC 回路基板接合材料
 - 1.3 DBC 回路基板/Cu ヒートスプレッド接合材料
 - 1.4 各部温度検討
 - 2. 実装プロセスフロー
 - 3. 接合評価
 - 4. 高温環境試験
 - 5. まとめ

第5章 実装部材の特性

- 第1節 SiC パワーモジュール向け耐熱絶縁封止材料
 - 1. SiC パワー半導体を想定した封止材料の開発
 - 2. SiC パワー半導体用封止材「ナノテクレジ BYX-001G」「ナノテクレジ BYX-001」の材料特性
 - 2.1 熱重量減少-吸熱熱分析法(TG-DTA)を用いた「BYX-001G」の耐熱評価
 - 2.1.1 不活性ガスフロー下におけるTG-DTA
 - 2.1.2 エアフロー下におけるTG-DTA
 - 2.1.3 小澤法によるBYX-001Gの短熱分解機構に関する考察
 - 2.2 高分解能29Si-NMR(核磁気共鳴)を用いた「BYX-001G」の耐熱性評価
 - 2.3 高温保持における「BYX-001G」の熱重量減少、硬さ、外観形状の変化に関する評価
 - 2.3.1 「BYX-001G」の定温保持後の熱重量減少に関する評価
 - 2.3.2 「BYX-001G」の定温保持後の硬さ、外観変化に関する評価
 - 2.4 「BYX-001」の絶縁性に関する評価
 - 3. 「ナノテクレジ BYX-001G」「ナノテクレジ BYX-001」で封止したパワーモジュール実装品の高温耐熱性の評価
 - 3.1 Si-IGBTを用いた6 in 1 箱型モジュールの信頼性試験
- 第2節 SiC パワーデバイス向け放熱部材
 - 1. パワーモジュールに用いられる放熱部材
 - 1.1 パワーデバイスの構造と放熱部材
 - 1.2 放熱部材の特徴比較
 - 1.3 Tjを決める要因
 - 2. SiC における課題と対応策
 - 2.1 SiC の適正Tj
 - 2.2 放熱部材に要求される耐熱性
 - 2.3 封止樹脂の熱伝導率

第6章 SiC 単結晶成長技術

- 第1節 SiC 単結晶成長技術の開発動向
 - 1. SiC 単結晶開発の現状
 - 2. SiC 単結晶のデバイスへの応用と結晶欠陥
- 第2節 SiC 結晶の溶液成長技術
 - 1. 結晶成長方法
 - 1.1 溶液成長の基礎
 - 1.2 TSSG(Top-seeded solution growth)法
 - 2. SiC 溶液成長の現状
 - 2.1 高品質化
 - 2.2 高速成長
 - 2.3 多形制御
 - 2.4 大型化に向けた技術(雑晶抑制,成長表面平坦化など)
 - 2.5 その他の試み
- 第3節 昇華再結晶法による大口径SiC 単結晶ウェハ製造技術
 - 1. 大口径SiC 単結晶成長法としての昇華再結晶法
 - 2. 4H-SiC 単結晶成長の安定化
 - 3. 相転移現象としてのSiC 単結晶成長の理解
 - 4. 大口径SiC 単結晶ウェハの転位欠陥低減化

第7章 SiC 結晶の切断・研磨技術

- 第1節 SiC 単結晶ウェハのスライニング技術
 - 1. SiC 単結晶のスライニング
 - 1.1 マルチワイヤソーの加工方式比較
 - 1.2 固定砥粒方式による加工の特長
 - 2. SiC 単結晶スライニングの課題
 - 2.1 高精度加工への対応

- 2.2 高能率加工への対応
- 2.3 ビースコスト削減への対応

3. 課題に対する対応事例

- 3.1 高精度加工技術
 - 3.1.1 適正で均一な研削力
 - 3.1.2 ワイヤの高速走行
 - 3.1.3 高い熱剛性
 - 3.1.4 高剛性ゴニオメータの採用
 - 3.1.5 多様な可変制御機能
- 3.2 高能率加工技術
 - 3.2.1 高速バック&フォース
 - 3.2.2 加工熱への対応
- 3.3 ビースコスト削減技術
 - 3.3.1 ワイヤの滑り防止
 - 3.3.2 ワイヤのねじれ防止
 - 3.3.3 クーラント供給量,性状の安定化
 - 3.3.4 ワイヤ張力変動の低減
- 4. 加工事例
- 第2節 SiC ウェハの研磨技術
 - 1. SiC ウェハ研磨の概要
 - 2. 代表的な加工法と特徴
 - 2.1 ラップ加工
 - 2.2 研削加工
 - 2.3 CMP
 - 3. 加工面の評価
 - 3.1 加工変質層の特徴と評価手法
 - 4. SiC ウェハの研磨技術における今後の課題
- 第3節 単結晶SiC 基板の紫外光支援加工
 - 1. 光化学の概要と応用
 - 2. 紫外光支援加工における単結晶SiC 基板の加工モデル
 - 3. 紫外光支援加工によるSiC 単結晶の鏡面加工
 - 3.1 実験方法および実験条件
 - 3.2 紫外光照射による効果の検証
 - 3.3 CeO₂ 粒子を使用したSiC 単結晶の鏡面研磨
 - 第4節 SiC 単結晶の酸化剤援用研磨
 - 1. 酸化還元電位・pH と研磨性能
 - 1.1 研磨試験方法
 - 1.2 研磨試験結果
 - 1.3 考察
 - 2. セリア砥粒による酸化剤援用研磨
 - 2.1 試験方法
 - 2.1.1 研磨試験方法
 - 2.1.2 砥粒の表面分析方法
 - 2.2 試験結果と考察
 - 2.2.1 研磨試験の結果と考察
 - 2.2.2 砥粒の表面分析の結果と考察
 - 3. セリア砥粒による酸化剤援用研磨のメカニズムとまとめ
- 第5節 SiC 基板表面の原子レベル平坦化技術
 - 1. 触媒表面基準エッチング(Catalyst-Referred Etching/CARE)法
 - 2. CARE 平坦化加工装置
 - 3. 平坦化加工表面粗さ
 - 3.1 顕微干渉計による評価
 - 3.2 原子間力顕微鏡による評価
 - 3.3 走査トンネル顕微鏡による評価
 - 3.4 電子顕微鏡による評価
 - 4. 平坦化加工速度
 - 4.1 オフ角依存性
 - 4.2 圧力依存性
 - 4.3 回転数依存性
 - 4.4 加工速度条件における平坦化実験

第8章 SiC のエピタキシャル成長技術

- 第1節 SiC エピタキシャル成長と巨大ステップバンチングの生成メカニズム
 - 1. SiC エピ成長のための条件
 - 2. 巨大ステップバンチングの生成メカニズム
 - 2.1 4H-SiC におけるGSBの発生条件
 - 2.2 GSB 発生メカニズムの検討
 - 2.3 Schwoebel 効果
 - 2.4 クラスタ効果
- 第2節 厚膜SiC エピタキシャル成長と欠陥制御
 - 1. 高速厚膜4H-SiC エピ成長
 - 2. 欠陥評価と低減技術
 - 2.1 点欠陥
 - 2.2 拡張欠陥

第9章 SiC パワーデバイスへの応用展開

- 第1節 太陽光発電システム・パワーコンディショナへの応用展開
 - 1. SiC-MOSFET のスイッチング特性
 - 2. 効率特性
 - 3. 雑音端子電圧特性
 - 4. 放射電界強度特性
 - 5. EMI ノイズ対策例
- 第2節 次世代高圧電力変換システムへの応用展開
 - 1. SiC デバイスの次世代高圧電力変換システムへの適用効果
 - 2.1 SiC を用いた10 kV MOSFET およびダイオードの特性
 - 2.2 モジュールの構成
 - 2.3 単相変圧器の試験特性
 - 3. FREEDM システム
 - 4. SiC インバータの長時間運転特性
 - 5. まとめ