

パワーデバイス・パワーIC の高性能化 技術動向

パワーデバイス・パワーIC 高性能化技術調査専門委員会編

目 次

1. はじめに	03	5. SiC デバイス	41
		5.1 はじめに	41
2. パワーIC	04	5.2 結晶	41
2.1 パワーIC 開発の概要と位置づけ	04	5.3 界面	42
2.2 低耐圧パワーIC	08	5.4 ユニポーラデバイス	43
2.3 高耐圧パワーIC	12	5.5 バイポーラデバイス	46
		5.6 信頼性・耐久性	48
3. パワーMOSFET	15	5.7 実装・応用	50
3.1 はじめに	15		
3.2 高耐圧縦型パワーMOSFET	15	6. GaN および Ga ₂ O ₃ , ダイヤモンドデバイス	51
3.3 高耐圧横型パワーMOSFET	19	6.1 総論	51
3.4 低耐圧縦型パワーMOSFET	21	6.2 GaN 集積回路技術	51
3.5 低耐圧横型パワーMOSFET	23	6.3 縦型 GaN デバイスの動向	53
3.6 その他の動向	26	6.4 破壊耐量向上技術	54
		6.5 信頼性向上技術	56
4. Si バイポーラ素子	28	6.6 Ga ₂ O ₃ デバイス技術	58
4.1 はじめに	28	6.7 ダイヤモンドデバイス技術	60
4.2 IGBT	28		
4.3 ダイオード (FWD)	34		
4.4 サイリスタ	35		
4.5 パワーデバイス向け Si ウェハの技術進展	36		
4.6 シミュレーション技術	37		
4.7 解析・評価技術	38		
4.8 実装技術とパッケージ	39		
4.9 まとめ	40		

パワーデバイス・パワーIC 高性能化技術調査専門委員会委員

委員長	齋藤 渉(九州大学)	委員	杉浦 賢二(アイヌモス・テクノロジー・ジャパン(株))
幹事	大西 泰彦(富士電機(株))		附田 正則(九州工業大学)
幹事	白石 正樹((株)日立製作所)		中島 昭(産業技術総合研究所)
幹事補佐	西脇 達也(東芝デバイス&ストレージ(株))		中村 勝光(三菱電機(株))
委員	青木 正明(慶應義塾大学)		坂東 章(昭和電工(株))
	新井 大輔(新電元工業(株))		平岩 篤(早稲田大学)
	岩室 憲幸(筑波大学)		平山 知央(京セラ(株))
	大井 幸多(富士電機(株))		松本 聡(九州工業大学)
	大来 英之(パナソニック(株))		宮澤 哲哉(電力中央研究所)
	小野田 道広(オンセミコンダクター会津(株))		三好 智之((株)日立製作所)
	木村 圭佑(トヨタ自動車(株))		森 隆弘(ルネサスエレクトロニクス(株))
	九里 伸治(新電元工業(株))		矢野 浩司(山梨大学)
	佐々木 公平((株)バルクリスタルテクノロジー)		山崎 みや((株)オリジン)
	鹿内 洋志(サンケン電気(株))		山下 侑佑((株)豊田中央研究所)
	清水 尚博(名古屋大学)		吉川 大輝(東芝デバイス&ストレージ(株))
	白木 聡((株)デンソー)		吉野 学(三菱電機(株))

1. はじめに

環境・エネルギー問題の対策として、クリーンエネルギーである電気エネルギーを最終エネルギーとしていくことは非常に有効な手段である。このような要求に加えて、発展途上国における電化製品の普及、世界的な通信ネットワークの拡大などにより純粋な電気使用量は増加しており、発電量は増加する一方である。

CO₂増加を抑制しながら、発電量を増加させるために、再生可能エネルギーの積極的な導入が進められ、スマートグリッドやエネルギーインターネットなど、電気エネルギーの流通・輸送システムは、成長をし続けている。このような電力システム・ネットワークを高効率に稼働させるためには、パワーエレクトロニクス技術による電力変換装置の高効率化・高機能化が不可欠であり、キーデバイスであるパワーデバイス・パワーICの性能改善と高機能化が強く求められている。

パワーデバイス・パワーIC 高性能化技術調査専門委員会では、このようにますます重要度を高めるパワーデバイス・パワーIC について、その研究・技術開発動向を把握、さらには今後取り組むべき課題を議論し方向性を指し示す事に重点を置き調査研究を3年間行ってきた。

同期間中に21回の調査専門委員会を開催し、本技術領域（パワーデバイス・パワーIC）の代表的な国際会議であるISPSD（International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs）における発表論文を中心に最新の研究開発の状況および技術動向を調査すると共に、10件以上の技術ヒアリングを行った。また、本技術領域と関連が深い半導体電力変換部門と、大学・企業間の技術交流を活性化させる事を主眼とし合同研究会を企画し、2017年度は鹿児島大学、2018年度は川崎市産業振興会館、2019年度は東北大学にて開催、各年度とも延べ200名を超える参加者を頂き、各回とも盛況のうちに終える事が出来た。

以上の活動を通じて、以下の事が明らかとなった。

この3年間において、シリコンをベースとしたパワーデバイス・パワーIC では、単なる低損失化という進歩ではなく、ノイズの低減や高破壊耐量・高信頼性といった総合的な性能向上が行われると共に、各用途に応じた最適化がさらに進められてきた。学術面では、デバイス内部の動的な挙動、信頼性等を様々な手法で詳細に解析し理論的に解明する動きが活発になっている。加えて、ゲート駆動などの制御技術とデバイス構造の組み合わせによる性能向上という融合技術の発展も見られ、全体としては技術の成熟と深化、そして、多様化が一層進んでいる。

一方、新材料パワーデバイスでは、シリコンカーバイド（SiC）トレンチゲート・パワーMOSFET や窒化ガリウム（GaN）High Electron Mobility Transistor（HEMT）の製品化が開始され、SiC-MOSFET では、3.3kV－13kV といった高耐圧検討、ショットキーバリアダイオードの内蔵やSJ構造

による低オン抵抗化が進められている。加えて、短絡耐量などの信頼性についても検討が進められている。GaN デバイスは、p ゲート構造を中心にゲート信頼性や短絡耐量の評価・解析が進められている。さらに、酸化ガリウムやダイヤモンドを用いたパワーデバイスの研究も活発に行われている。

本報告書では、以上のようにパワーデバイス・パワーIC の高性能化を実現する技術動向について、2019年度までの直近の3年間を中心として調査してきた結果をまとめたものである。本報告書が読者の技術開発や研究活動の参考に供することができれば幸いである。

（齋藤）