

第二世代 (Gen.2) トレンチ SBD の開発

Development of 2nd Generation Trench SBD

清水 公基*
Kouki Shimizu

松本 将太*
Shota Matsumoto

犬飼 早紀**
Saki Inukai

概要 ショットキバリアダイオード (SBD) は、金属とSiの接触により生じた電位障壁を利用したデバイスであり、金属種 (バリア電極) を変更することで、用途に合った特性が得られる。また、主特性である順方向電圧 (V_F) と逆方向漏れ電流 (I_R) はトレードオフの関係にある。このトレードオフを改善するにあたり、トレンチ構造を有した第一世代 (Gen1) トレンチSBDがリリースされたが、さらに、トレンチ設計、不活性領域の外周構造およびSub層を見直すことで、低 I_R を維持したまま低 V_F 化とプロセス工程削減を可能にした第二世代 (Gen2) トレンチSBDを開発した。

1. まえがき

パワーデバイス市場の成長予測は、2025年で3兆7000億円、2030年には4兆円を超える規模と予想されており、その中でショットキバリアダイオード (SBD) は年間3.5%程度の成長で、1000億円程度が見込まれている⁽¹⁾。

SBDは、民生、産業機械、車載品と幅広い分野で使用され、今後は、さらなる省エネ要求、小型面実装パッケージ需要増加により、低損失のSBD開発が必要である。

SBDは、スイッチング電源の整流用途で多く使用され、性能としては順方向電圧 (V_F) がPN接合ダイオードよりも小さいことが特徴であり、導通損失が小さい。ただし、逆方向漏れ電流 (I_R) は、PN接合ダイオードより大きい欠点がある。 I_R は温度に対し指数関数的に大きくなることから、高温での動作環境温度においては非常に大きな損失となり、熱暴走破壊が懸念される。

SBDの電気特性は、バリア電極種に依存するが、第一世代 (Gen1) トレンチSBDでは、バリア電極種の変更はおこなわず、素子内部にトレンチ構造を有することで V_F 、 I_R 特性のトレードオフの改善をおこなった。今回、さらなるトレードオフの改善を目的とした第二世代 (Gen2) トレンチSBDの開発をおこなった。

2. 素子構造

2.1 トレンチ構造

図1に、Gen2トレンチSBDの断面構造を示す。一般的なSBDは、活性領域にバリア電極のみを形成しているが、トレンチSBDは活性領域のバリア電極直下にトレンチ構造を形成し、 V_F と I_R の改善を図っている。開発したGen2は、 V_F をさらに良化させるため、①活性領域トレンチ酸化膜の厚膜化、②不活性領域の外周トレンチ化、③Sub層の低抵抗化、④トレンチ深さ最適化の4点を検討した。

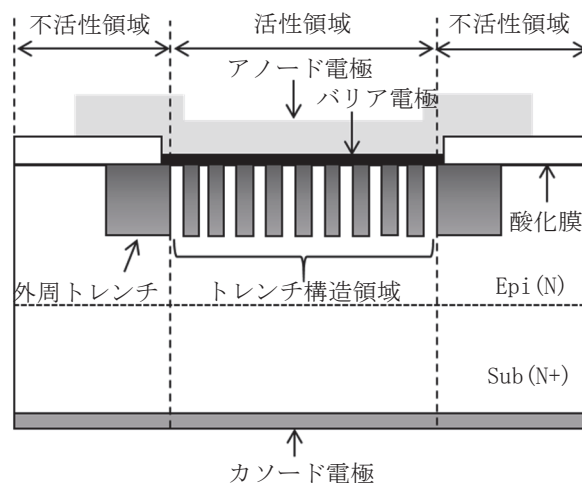


図1 Gen2トレンチSBDの断面構造

* マーケティング本部 パワーデバイス開発統括部
ディスクリート開発部 開発2課

** マーケティング本部 プロセス技術統括部
デバイス発部 デバイス設計2課

2.2 活性領域トレンチ酸化膜の厚化

図2にGen2のトレンチ構造を示す。Gen2は、Gen1同様にバリア電極直下にトレンチ構造を有しており、Siを掘り込んだ部分にトレンチ酸化膜を介してポリシリコンが埋め込まれ、アノード電極と接触を取ることで縦型フィールドプレートの役割を果たす。この時、トレンチ酸化膜厚は、厚みに比例して電界を緩和し、高抵抗層のEpi抵抗を下げても V_R 特性を維持できるため、 V_F 特性の低減が可能となる。図3は、トレンチ酸化膜厚と V_R の関係を示すもので、厚みに比例して V_R が増加しており、電界が緩和されていることを示唆する。なお、多数配列するトレンチ間の空乏層がピンチオフすることで、バリア電極表面の電界も緩和され、トレンチ構造を持たない一般的なSBDより低 I_R 化が可能となる。

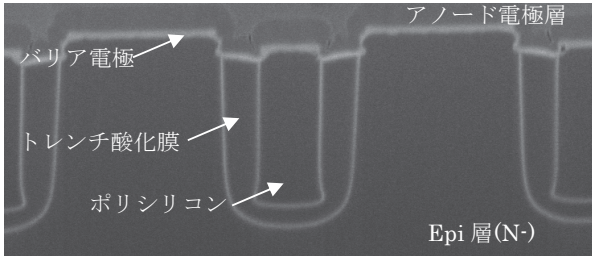


図2 Gen2 トレンチ構造

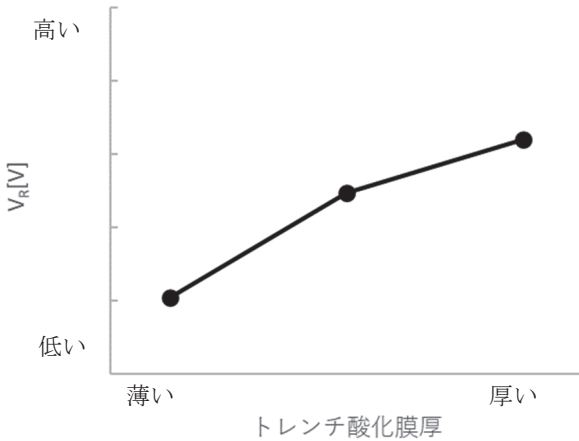


図3 トレンチ酸化膜厚と V_R との関係

2.3 不活性領域の外周トレンチ化

活性領域と不活性領域の境界は、電界強度の最も高くなるポイントであり、 V_R 特性を決める重要な構造である。

既存技術のGR+FLR (Guard-Ring+Field-Limiting-Ring) 構造をGen1では採用していたが、Gen2は活性部と同様のトレンチ構造へ変更した。

図4は、逆バイアス印加時のGR+FLR構造とトレンチ構造の電界比較を示す。トレンチ構造にすることで、電

界湾曲を平坦化することができ、電界緩和が可能となる。これにより、2.2項と同様に高抵抗層のEpi抵抗を下げることで、 V_F の低減が可能。また、GR+FLR構造は、ボロンのイオン注入と熱拡散の工程を必要とするが、外周トレンチ構造は、これらの工程が不要となる。

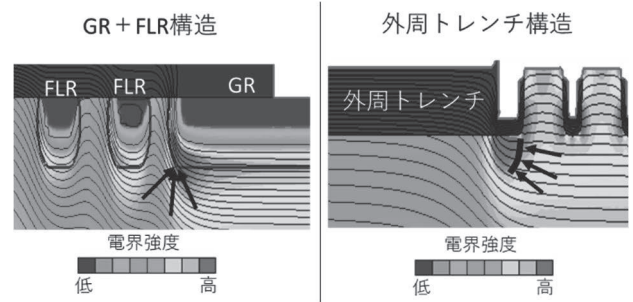


図4 外周トレンチ構造の電界緩和

2.4 Sub層の低抵抗化

2.3項で、GR+FLR形成にかかる高温工程が削減されたため、不純物濃度の高いSub層から、低いEpi層への拡散が進まず、 V_R の低下を抑えられる。そのため、さらに高濃度のSub層へ変更することで低抵抗化し、 V_F を低減した。

2.5 トレンチ深さの最適化

図5は、トレンチ深さに対する V_R の変化を示す。トレンチが浅いほど、空乏層がSub層へ到達する距離が長くなり、 V_R が増加する。そのため、トレンチを浅くして、必要以上に増加した V_R はEpi抵抗を浅くすることで、 V_F の低減へ繋げることができる。

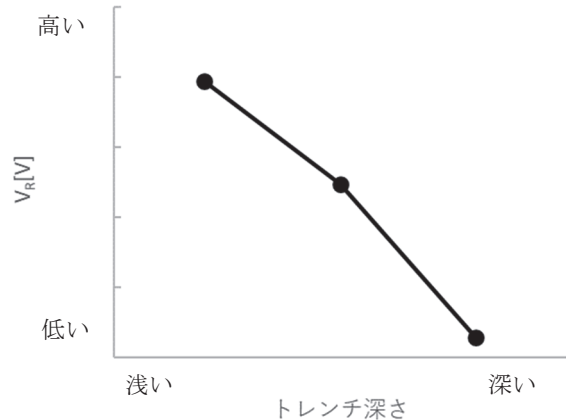


図5 トレンチ深さと V_R との関係

しかし、Gen2のバリア電極境界の電界強度は、Gen1より高く(図6)、浅くしすぎると局所的に電流が流れ、

V_R 劣化してショートへ至る問題がわかった(図7)。そのため、トレンチ深さ水準の実験を通して、 V_R 劣化が起きない最適な深さを決定した。

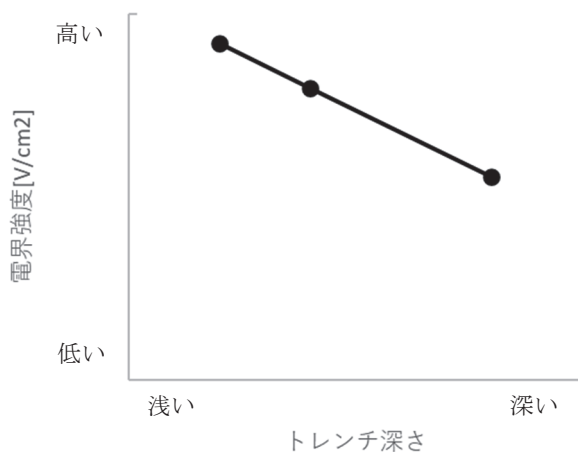


図6 トレンチ深さと電界強度との関係

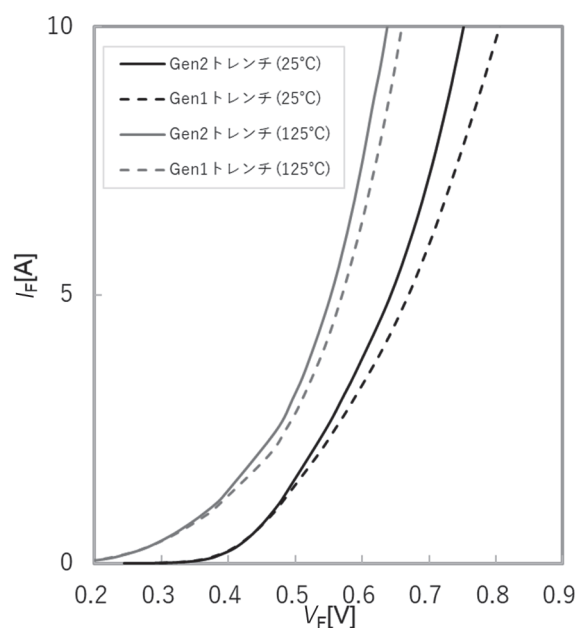


図8 Gen2 トレンチ SBD の順方向特性

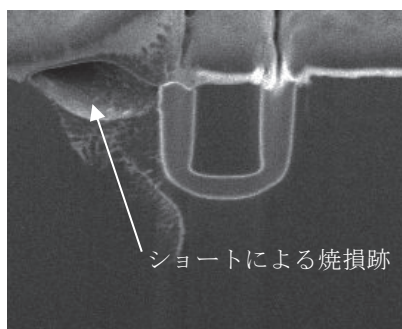


図7 ショート後のトレンチ付近の様子

2.6 素子構造まとめ

2.2項から2.5項より、活性領域トレンチ酸化膜厚、不活性領域の外周トレンチ化、Sub層の低抵抗化で V_F を改善し、 V_R 劣化しないための最適なトレンチ深さを決定した。

3. 素子特性

3.1 順方向特性

図8に、素子サイズを同じくした際の、Gen1とGen2の順方向特性を示す。25°Cの V_F ($I_F=10A$)特性において、Gen1が0.81Vに対し、Gen2が0.75Vとなり、7%の低減を確認した。125°Cとなると、その差は小さくなるものの低減はしており、低損失化が見込める。

3.2 逆方向特性

図9に、Gen1とGen2の逆方向特性を示す。25°CではGen2が大きいですが、125°Cでは $V_R=70V$ で同程度となる。汎用スイッチング電源の用途では、耐圧定格から70~80%のマージンを取って使用する場合が多いことから、製品化した際は、Gen1と同程度の性能が得られると考える。

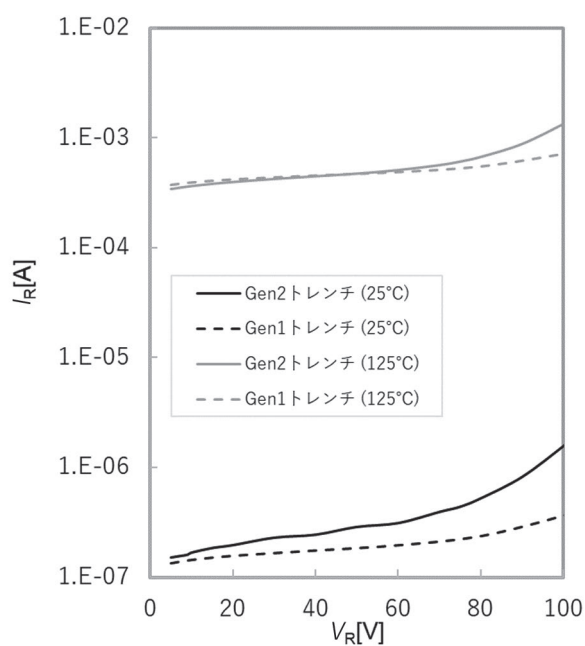


図9 Gen2 トレンチ SBD の逆方向特性

3.3 V_F - I_R 特性のトレードオフ改善

図10に、バリア電極種の変更によるGen1とGen2のトレードオフ線を示す。Gen2は、 I_R を維持し、低 V_F 化している。また、同等の V_F を得ようとした場合、Gen2はGen1の素子面積を30%縮小でき、コストダウンや、素子搭載サイズ上限制約のある小型面実装パッケージへの組込みが可能となる。

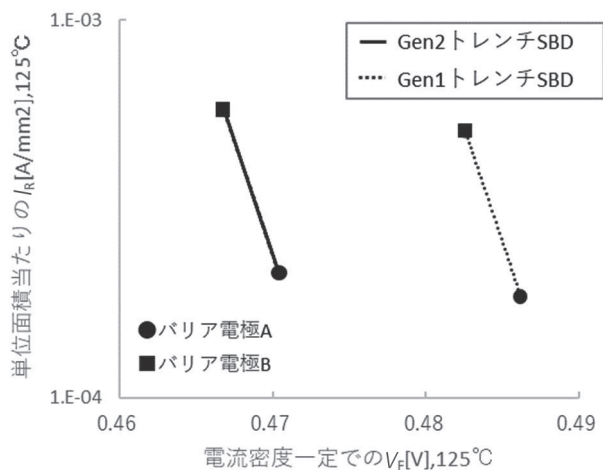


図10 Gen2 トレンチ SBD の V_F - I_R トレードオフ

4. 今後の製品化

Gen2 トレンチ SBD は、Gen1 より低 V_F による損失低減、低 I_R を維持することで高温時の安定動作を可能にする。

パッケージは、市場での汎用性が高いTO-220FのFMESシリーズでリリースする。さらに、電源小型化に伴う高密度実装、自動実装による工程コストダウンを見据え、小型面実装パッケージ要求を想定したラインアップを企画していく。また、バリア金属種を変更し、特性のラインアップも検討していく。

参考資料

- (1) 次世代パワーデバイス & パワエレ関連機器市場の現状と将来展望：株式会社富士経済 2020 年版