

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：実証開発

β -Ga₂O₃ショットキーバリアダイオード の製品化開発

プロジェクト実施者：株式会社ノベルクリスタルテクノロジー

プロジェクト事業実施期間：2020年7月～2022年2月



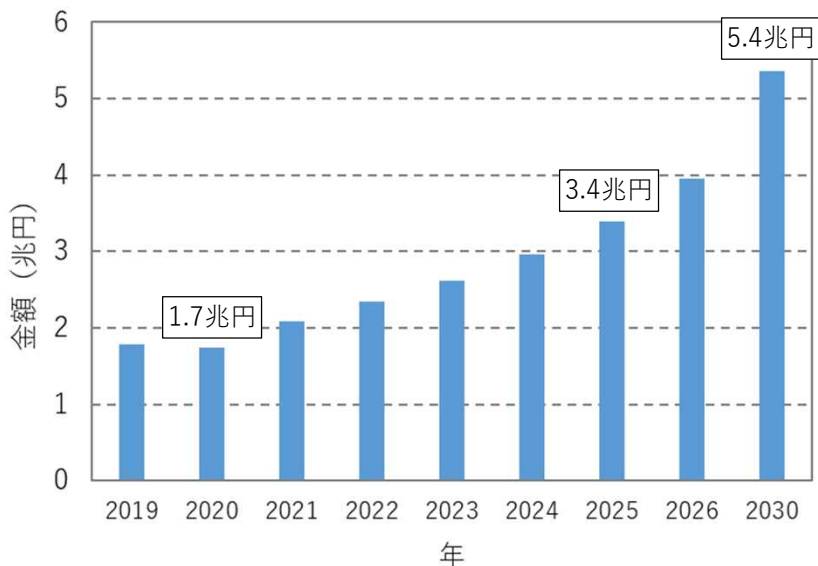
1. 研究開発の背景、目的、目標
2. 研究開発体制
3. 研究開発成果
4. 今後の展望
5. まとめ

1-1.研究開発の背景

- 地球温暖化の抑制技術の1つであるパワーデバイスは**高い成長が見込まれている**。
- 更なる電力損失低減に向けて、**安価で低損失なパワーデバイス**が求められている。
- 既存のSiパワーデバイスは、材料物性限界によりこれ以上の大幅な**損失低減が困難**である。
- 次世代のSiCやGaNパワーデバイスは、**材料コストが高いため広い普及に課題**がある。

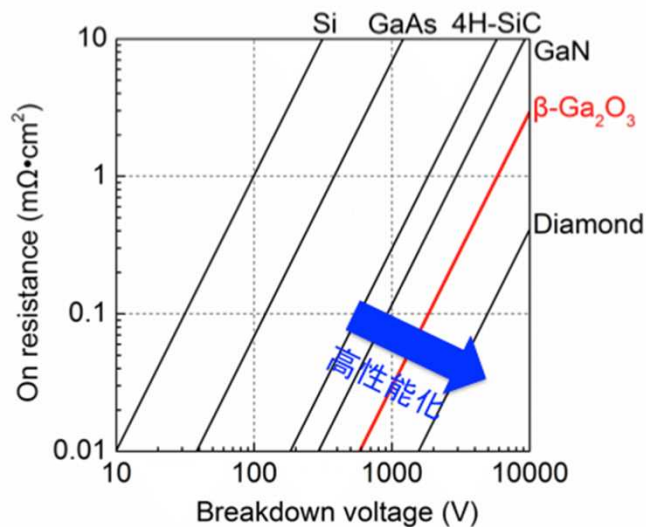


低コストかつ低損失な酸化ガリウム ($\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$) に大きな期待が集まっている。

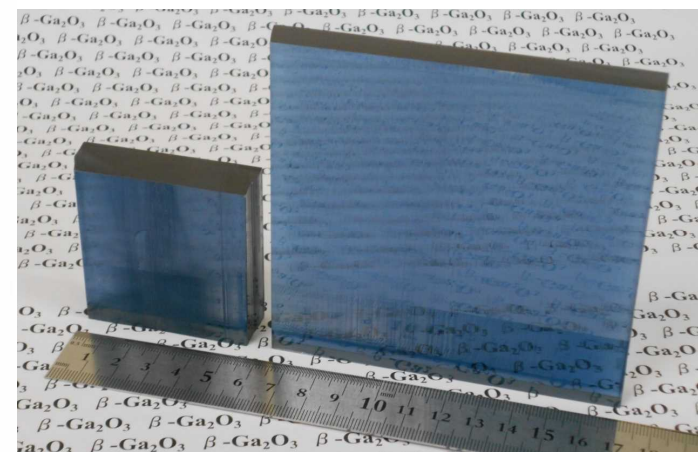


パワーデバイス市場の推移予測

(富士経済「2022年版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」より)



耐圧とオン抵抗



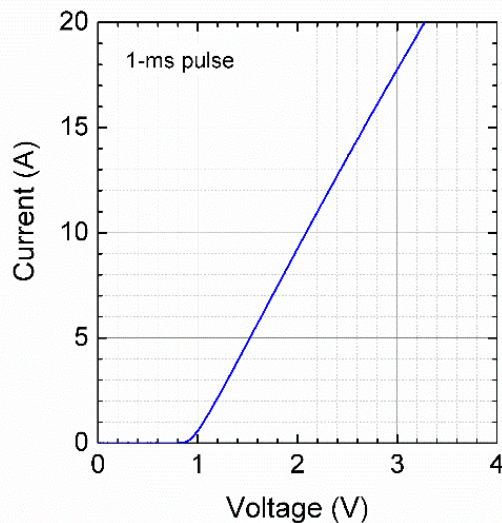
$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ バルク単結晶

1-2. 研究開発の目的、目標

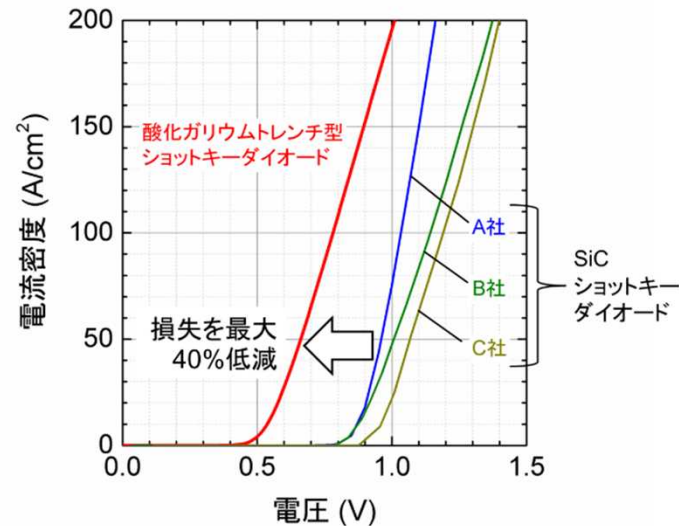
- **NEDO実用化開発**にてキラー欠陥の低減に取り組み、数10 A級の β -Ga₂O₃ショットキーバリアダイオード (SBD) の動作実証に成功。
→酸化ガリウムエピタキシャル膜の高品質化を実証。
- **SIP+自社開発**にて、トレンチ型MOSSBDを動作実証。
→デバイスの動作実証を完了。



量産プロセス技術、高放熱高信頼実装技術を確立し、
1200 V、50 A β -Ga₂O₃トレンチ型MOSSBDを製品化する。



数10 A級のSBDを実証
(NEDO実用化開発)



低損失トレンチMOSSBDを実証
(SIP+自社開発)



1-2.研究開発の目的、目標

全体目標 (主目標)	達成目標 (値)	開発当時の技術レベル
高耐圧 β -Ga ₂ O ₃ トレンチ型SBDの製品化	目標：1200 V、50 A	400 V、<1 A
研究課題目標	達成目標 (値) と設定理由	開発当時の技術レベル
(1) デバイス品質4インチ β -Ga ₂ O ₃ エピウエハの開発	①キラー欠陥密度1個/cm ² 以下 ②50 μ m角面内ドナー濃度分布(max-min)10%以内 ③電圧印加で発生する欠陥密度1個/cm ² 以下	①キラー欠陥密度10個/cm ² 程度 ②エピ中に線状の濃度ムラあり ③SBDの破壊耐圧に影響を及ぼすキラー欠陥が存在する可能性を確認
(2) トレンチ型SBD量産プロセス技術の開発	①トレンチ型SBD製造歩留り60%以上 ②ヘテロp型: $N_a > 10^{18}$ /cm ³ 、 $\Delta E_V < 1$ eV ③ホモp型: $N_a > 10^{16}$ /cm ³ ④定格50 AのプレーナSBDの $I_{FSM} > 500$ A ⑤プレーナSBD 500 A動作	①プレーナSBDの製造歩留り50% ②未実施 ③高抵抗のみ ④定格の2倍程度 ⑤20 A程度
(3) 高放熱高信頼実装技術の開発	①チップ熱抵抗1 K/W以下 ②信頼性実証(1000 h通電特性変動: 順方向< $\pm 20\%$ 、逆方向<100 μ A) ③ダイシング速度10 mm/s以上	①フリップ実装で1 K/W実証 ②信頼性試験に着手 ③ダイシング速度0.2 mm/s

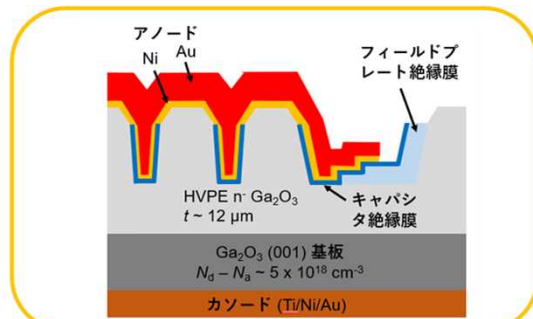


2-1.研究開発体制

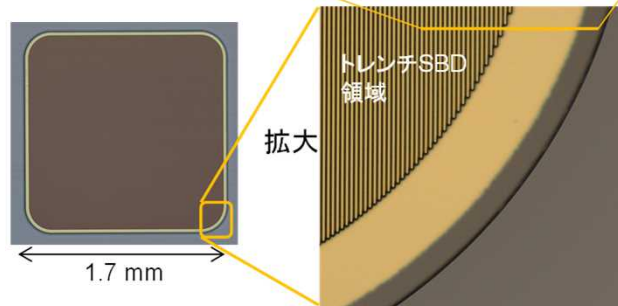
開発項目	開発担当
デバイス品質4インチ β -Ga ₂ O ₃ エピウエハの開発	ノベルクリスタルテクノロジー、佐賀大学（共同研究）、千葉工業大学（共同研究）、工学院大学（共同研究）
トレンチ型SBD量産プロセス技術の開発	ノベルクリスタルテクノロジー、兵庫県立大学（共同研究）、工学院大学（共同研究）、産業技術総合研究所（共同研究）、フェニテックセミコンダクター（委託先）
高放熱高信頼実装技術の開発	ノベルクリスタルテクノロジー

全体目標：高耐圧β-Ga₂O₃トレンチ型SBDの製品化

目標値：1200 V、50 A

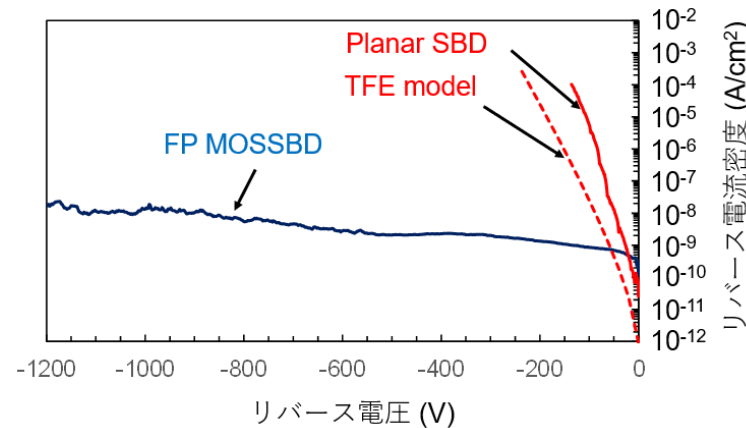


断面構造図



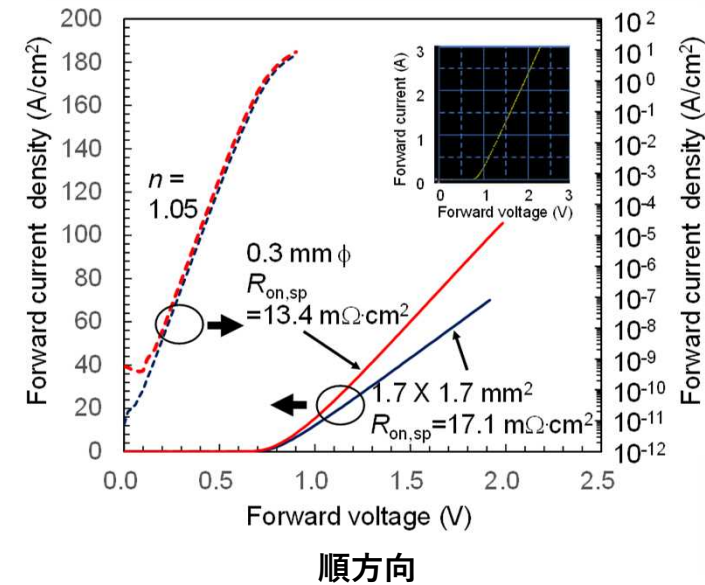
光学顕微鏡写真

トレンチ型MOSSBD構造図等



逆方向

電流-電圧特性



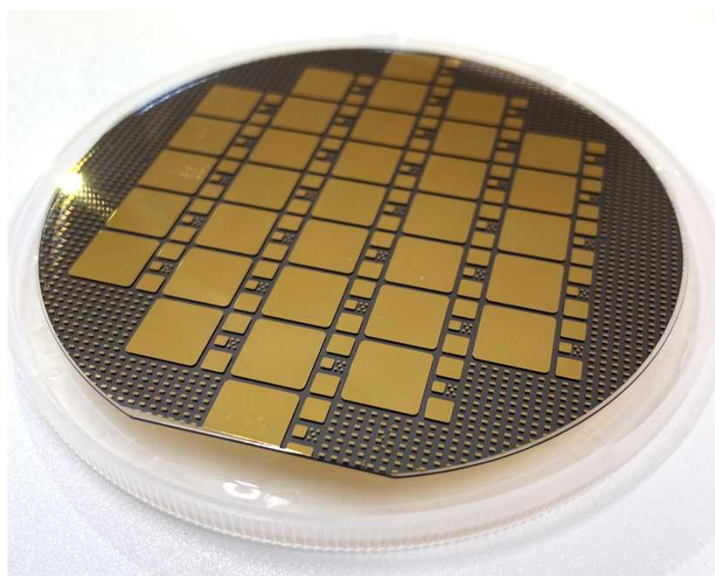
ファウンドリ試作ラインを用いて、1.7 mm角のトレンチ型MOSSBDを試作。
1200 V、2 A動作を実証。素子の大型化に伴う耐圧歩留まりが今後の課題。



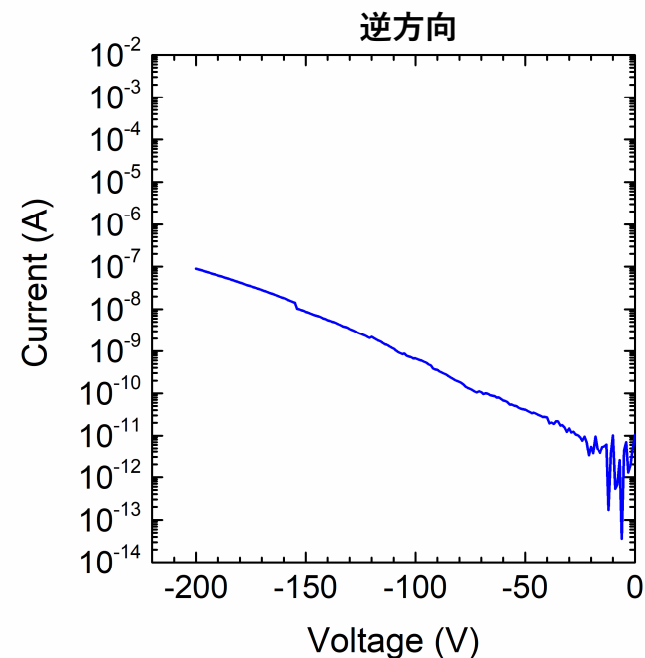
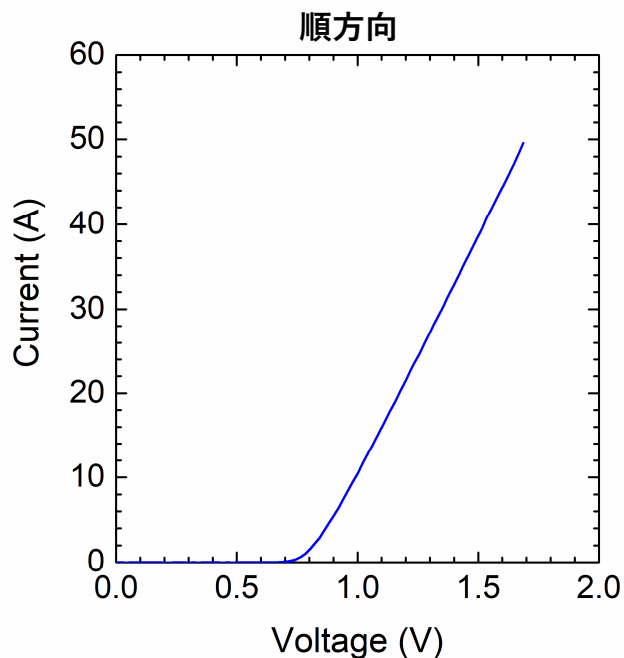
3-1.研究開発成果

個別目標：デバイス品質4インチ β -Ga₂O₃エピウエハの開発

目標値：キラ－欠陥密度1個/cm²以下



4インチエピSBD外観



SBD特性

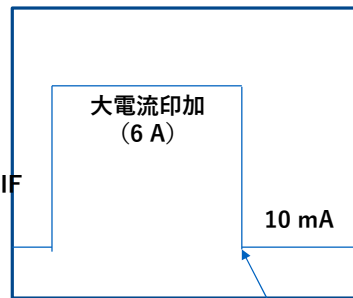
多結晶欠陥及びパウダー欠陥を低減した4インチエピを用いて、10 mm角(500 A相当)のSBDを試作。耐圧歩留まりから、キラ－欠陥密度を0.7個/cm²に低減できていることを確認。

個別目標：高放熱高信頼実装技術の開発

チップサイズ：3.2 mm \square (200 μ m厚)



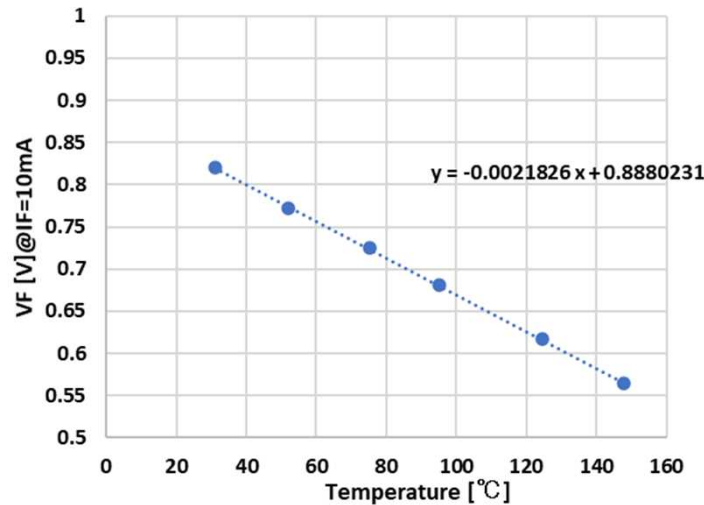
熱電対を裏面金属面に装着



時間 計測点

大電流印可 (6A) による素子発熱とVF測定

目標値：チップ熱抵抗1 K/W以下



V_F の温度特性 ($I_F=10\text{mA}$)

順方向電流	6 A
順方向電圧	1.3655 V
順方向電流 × 順方向電圧	8.193 W
ジャンクション温度	107.6803°C
パッケージ金属面温度	88.7°C
熱抵抗	2.316653°C/W

測定結果一覧

チップ厚を100 μ mにすれば1 K/Wの熱抵抗が得られることを確認した。



4.今後の展望

- ・ SBDの大電流化、耐圧歩留りの向上の課題に取り組みながら、信頼性の評価を実施中。
- ・ ファウンドリの4インチラインを構築中。
- ・ 2023年度末の販売開始を予定。

- β -Ga₂O₃は低損失性と低コスト性を併せ持つ新しいパワーデバイス用半導体材料である。
- 1.7 mm角のトレンチMOS型SBDを試作し、**1200 V、2 A動作実証に成功。**
- エピ膜の成膜条件の改良により、**キラ欠陥密度を0.7個/cm²に低減。**
- チップ厚の薄化により、**熱抵抗1 K/Wが得られることを確認。**
- 2023年度末のSBDの販売開始を目指しファウンドリの4インチラインを構築中。

