

新しい低損失シリコンスーパージャンクション バイポーラパワートランジスタ

国立大学法人 山梨大学

大学院総合研究部 工学域 電気電子工学科

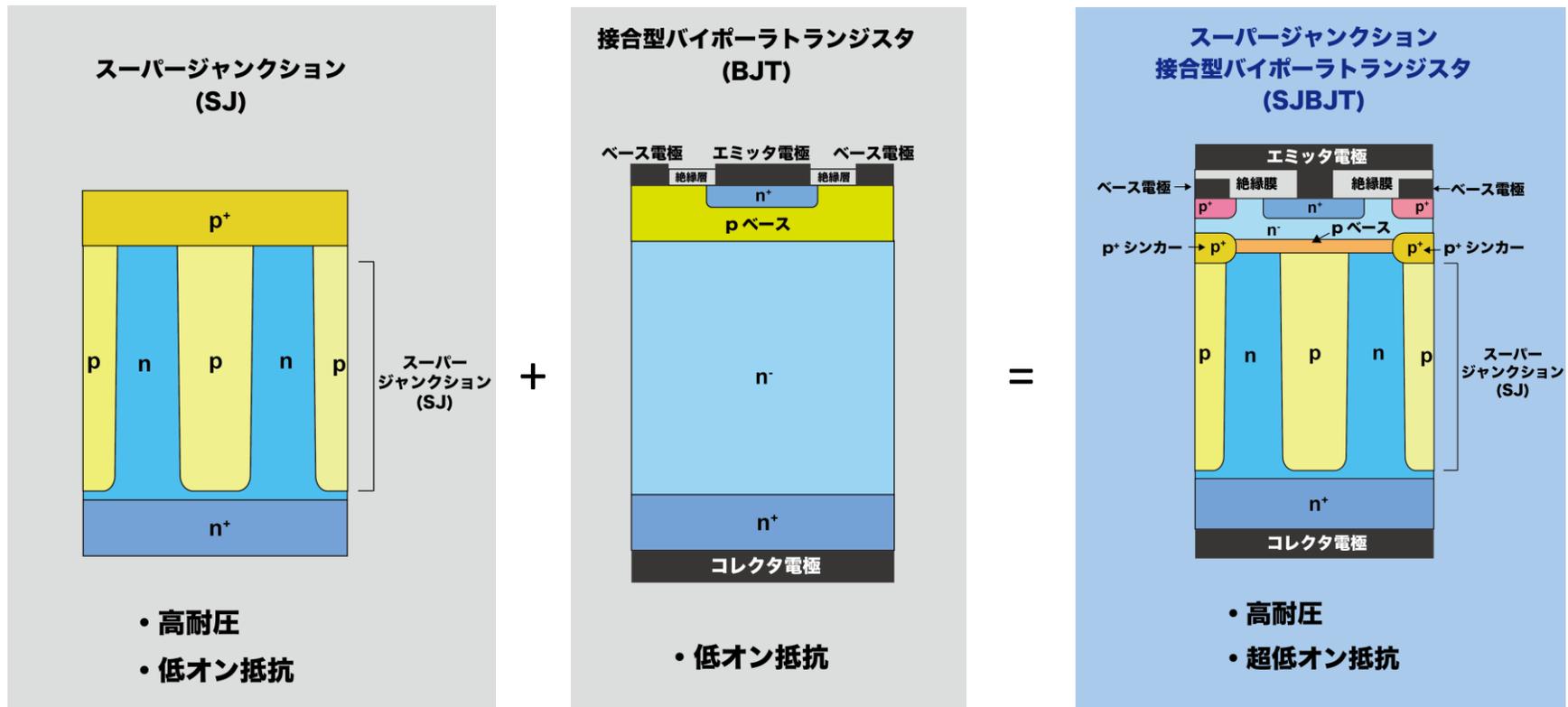
教授 矢野 浩司

紹介するパワー半導体に関する新規技術

- Si-スーパージャンクションバイポーラトランジスタ (Si-SBJT)
特徴：低コスト、低オン抵抗、高電流増幅率、650V定格
- SBJT-MOSFETダーリントンペアとその高速駆動回路
特徴：電圧駆動、SBJTのターンオフ損失低減

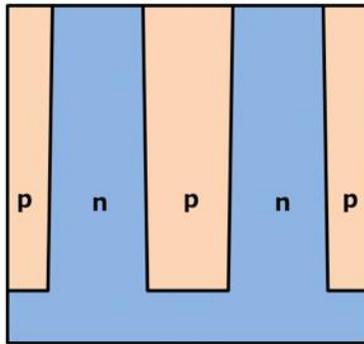
今回開発したシリコンパワートランジスタ

スーパージャンクション接合型バイポーラトランジスタ
(SuperJunction Bipolar Junction Transistor : SJBJT)



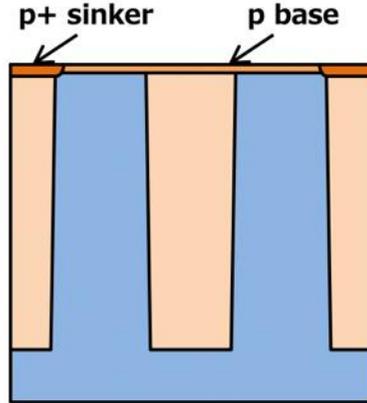
Si-SBJTの製造工程の概要

SJ構造形成



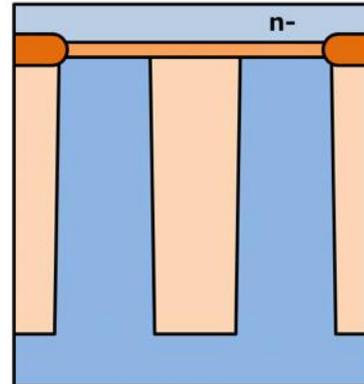
(a)

ベース層形成



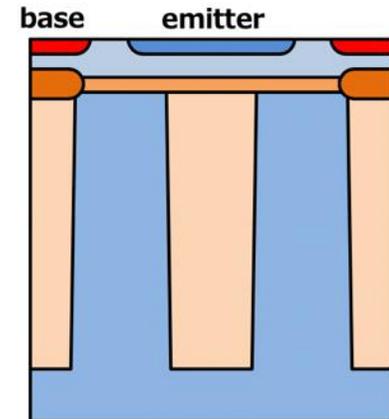
(b)

エミッタn⁻エピ層形成



(c)

ベース、エミッタ
コンタクト領域形成



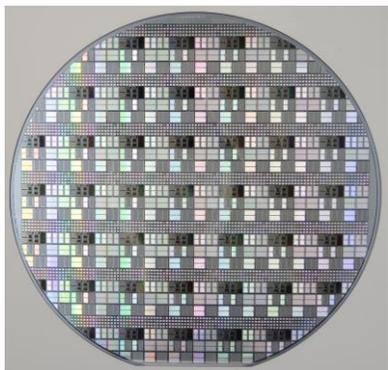
(d)

*日清紡マイクロデバイスによる

開発したシリコンSBJT

日清紡マイクロデバイス株式会社様との共同開発

6インチSiウエハーでの製造



TO247パッケージサンプル品



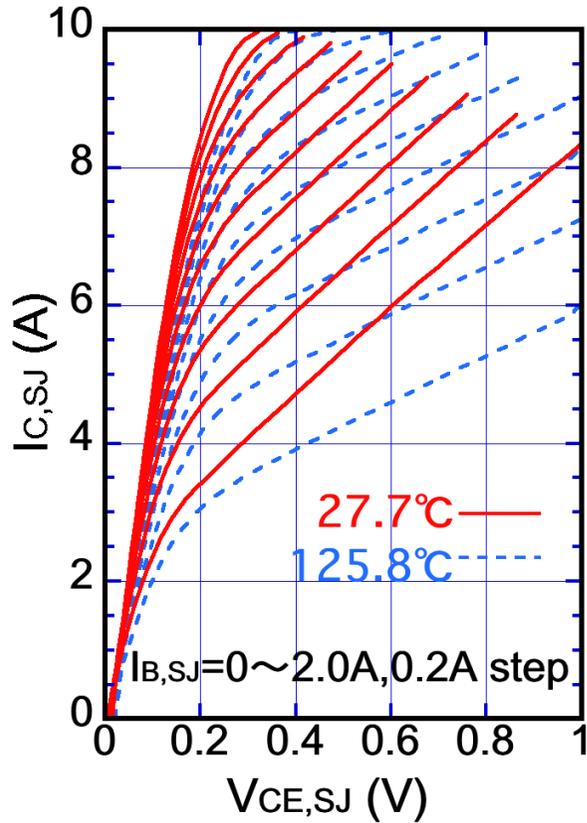
開発したSBJTの諸元(室温)

	値	条件
降伏電圧 (V)	650	Min.
電流増幅率	200	$I_C = 10 \text{ A/cm}^2$ $V_{CE} = 0.2\text{V}$ $I_C = 100 \text{ A/cm}^2$ $V_{CE} = 2.0 \text{ V}$
特性オン抵抗 ($\text{m}\Omega\text{cm}^2$)	2.2	$h_{FE}=7.0$
	4.1	$h_{FE}=11.0$

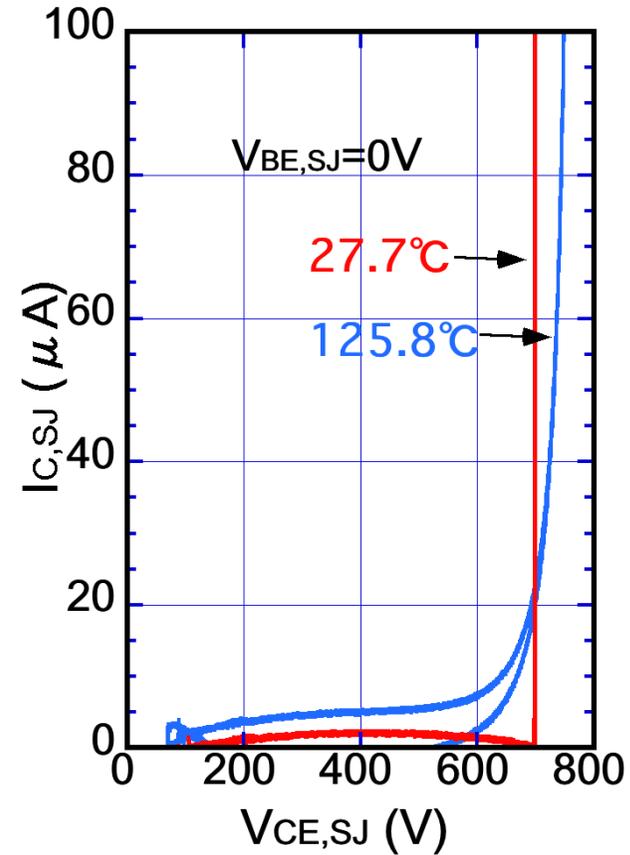
2020年8月28日プレスリリース

Si-SBJTの電流電圧特性

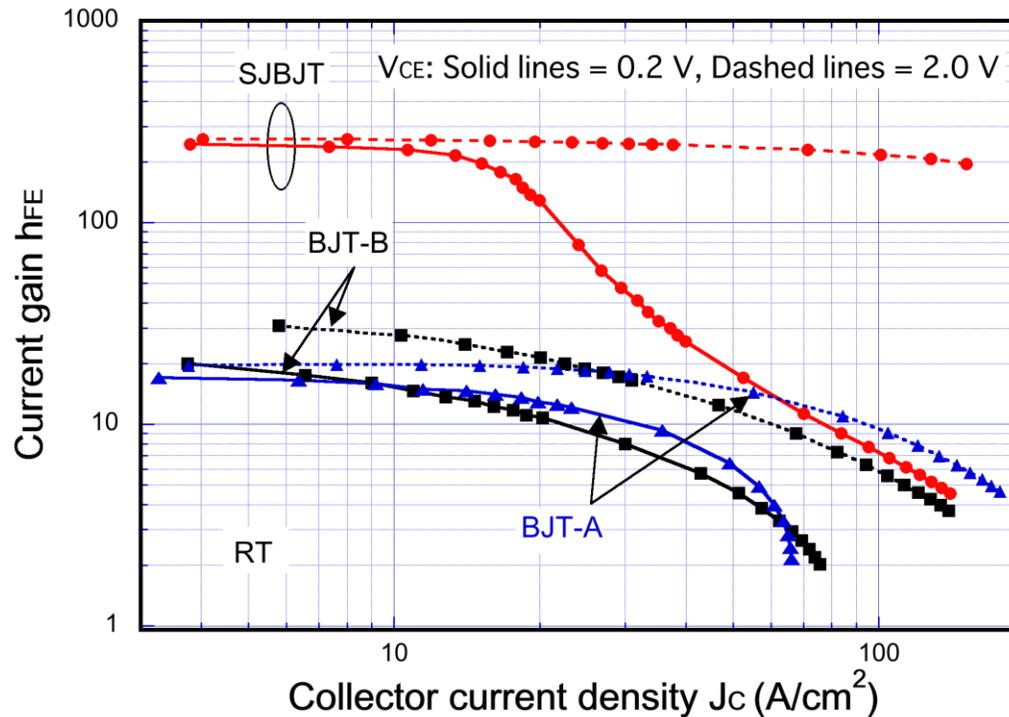
オン特性



オフ特性

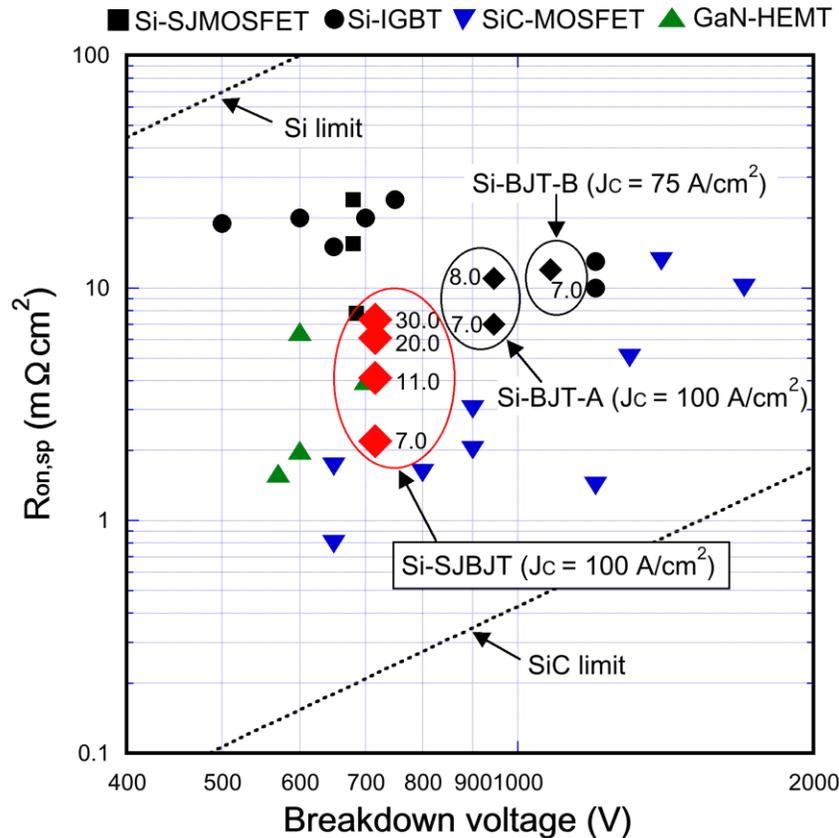


Si-SBJTの電流増幅率



100A/cm²で同定格のSiバイポーラトランジスタの10倍以上の電流増幅率

Si-SBJTの特性オン抵抗-降伏電圧特性



650V級Si-SBJT
特性オン抵抗 $R_{on,sp}$

- 2.1 $m\Omega cm^2$ @ $h_{FE}=7.0$
- 4.2 $m\Omega cm^2$ @ $h_{FE}=11.0$

650V定格での競合素子との性能比較

競合素子

	Si-SBJT	Si SJMOSFET	SiC-MOSFET
断面構造	<p>エミッタ電極 絶縁膜 絶縁膜 p+ n+ p+ n- p ベース p+ n- p+ p n p n p コレクタ電極</p>	<p>ソース電極 ゲート電極 ゲート電極 n+ p n+ p n+ p p n p n p ドレイン電極</p>	<p>ソース電極 ゲート電極 ゲート電極 n+ p n+ p n+ p n ドレイン電極</p>
定格電圧(V)	650	650	650
オン抵抗 (mΩcm ²)	2.1~4.2	14	約2.0
電流増幅率	200 (V_{CE}=2V) 7 (V_{CE}=0.2V)	NA	NA

* 室温

SBJT : 低コスト、低オン抵抗、高電流増幅度

SBJTの想定される応用分野

SBJT

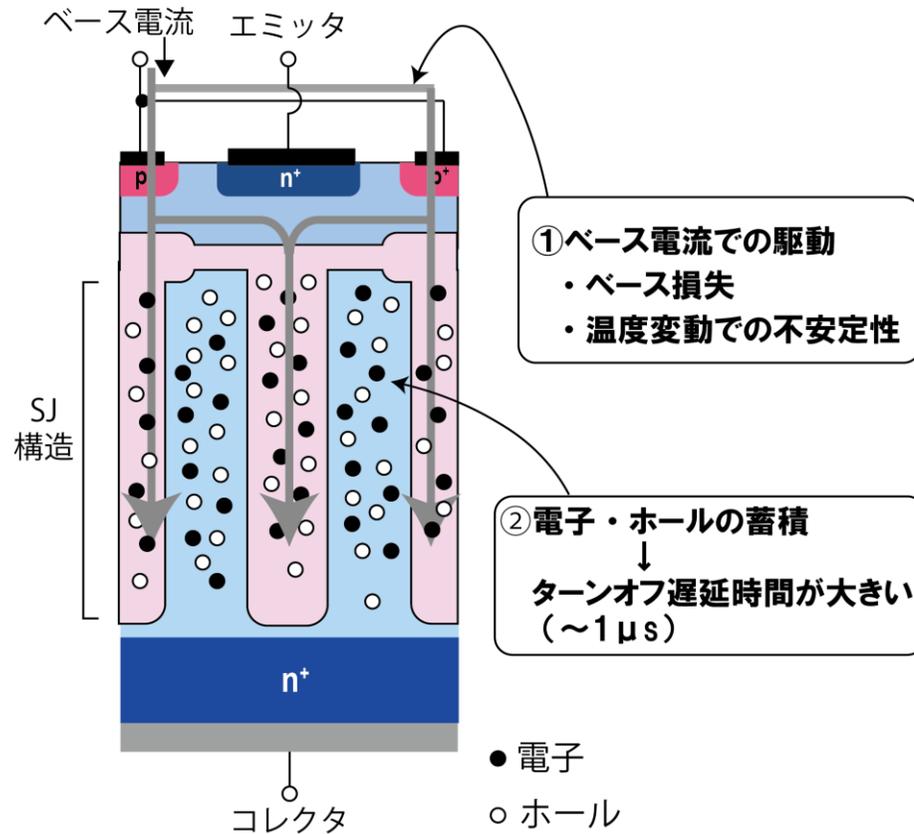
ソリッドステートリレー

- 家電
- 自動車
- 産業機器

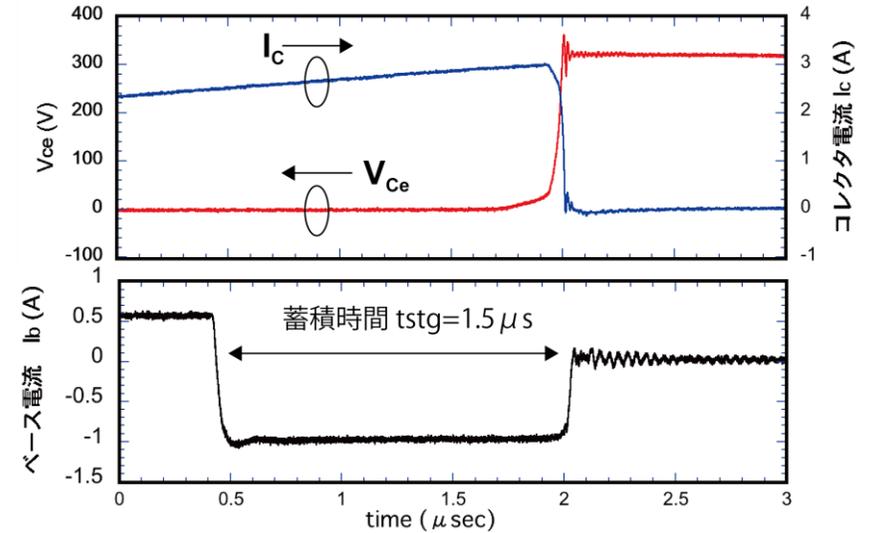
省エネ、小型化、低コスト化が期待できる！

SBJTの課題

シリコン SBJT の課題



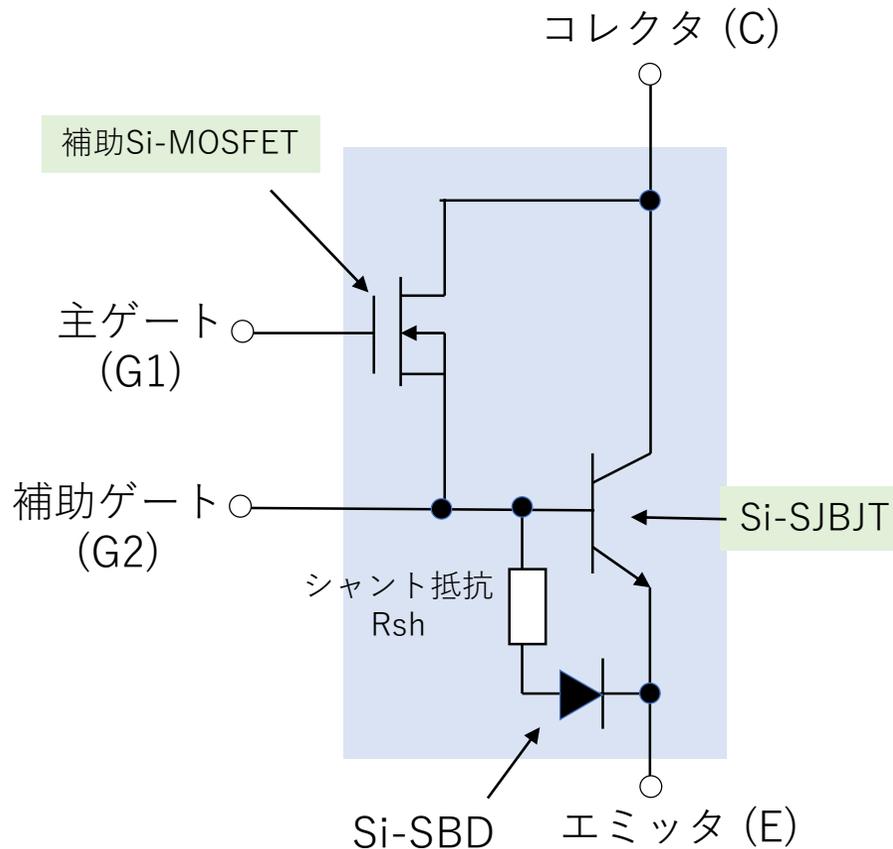
ターンオフ波形



1.5 μs の遅延時間!

SBJTとSi-MOSFETダーリントンペア (SJBJT-MOSFET Darlington Pair : SJBMD)

SJBMDの構成



1. SBJTのMOSゲート駆動

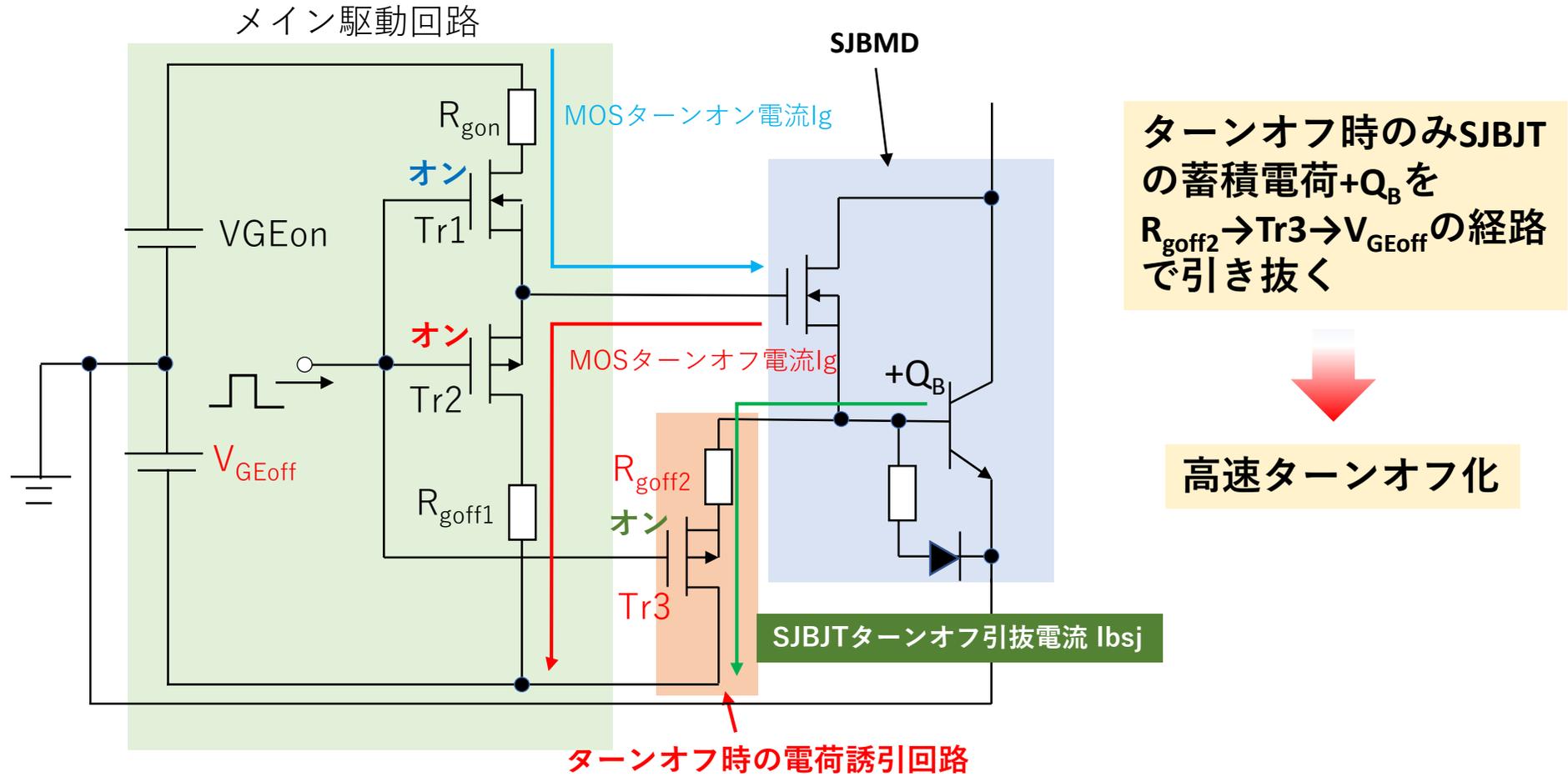


電圧駆動方式

2. 補助ゲートに電荷誘引回路を接続し、ターンオフ遅延を改善

ただしオン抵抗はSBJT単独より増加

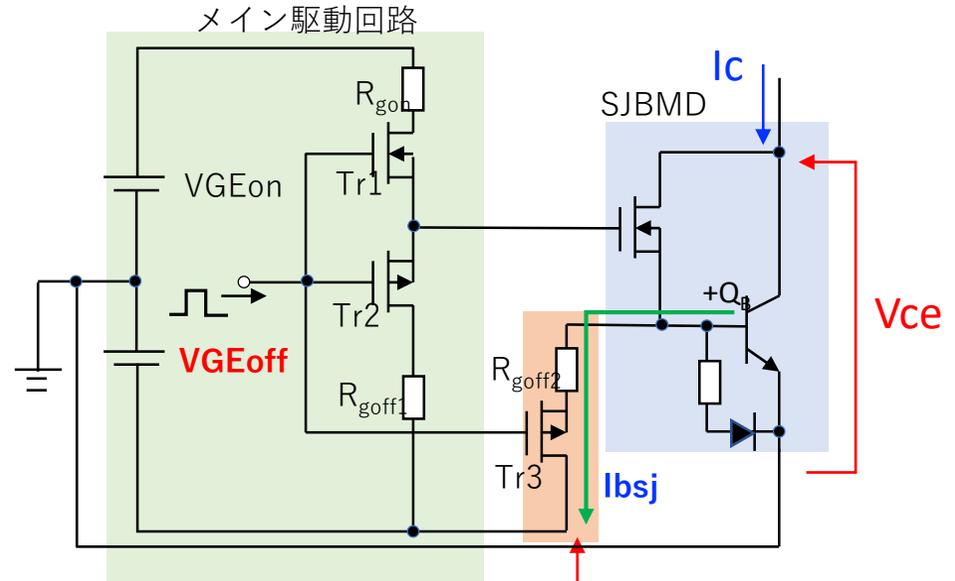
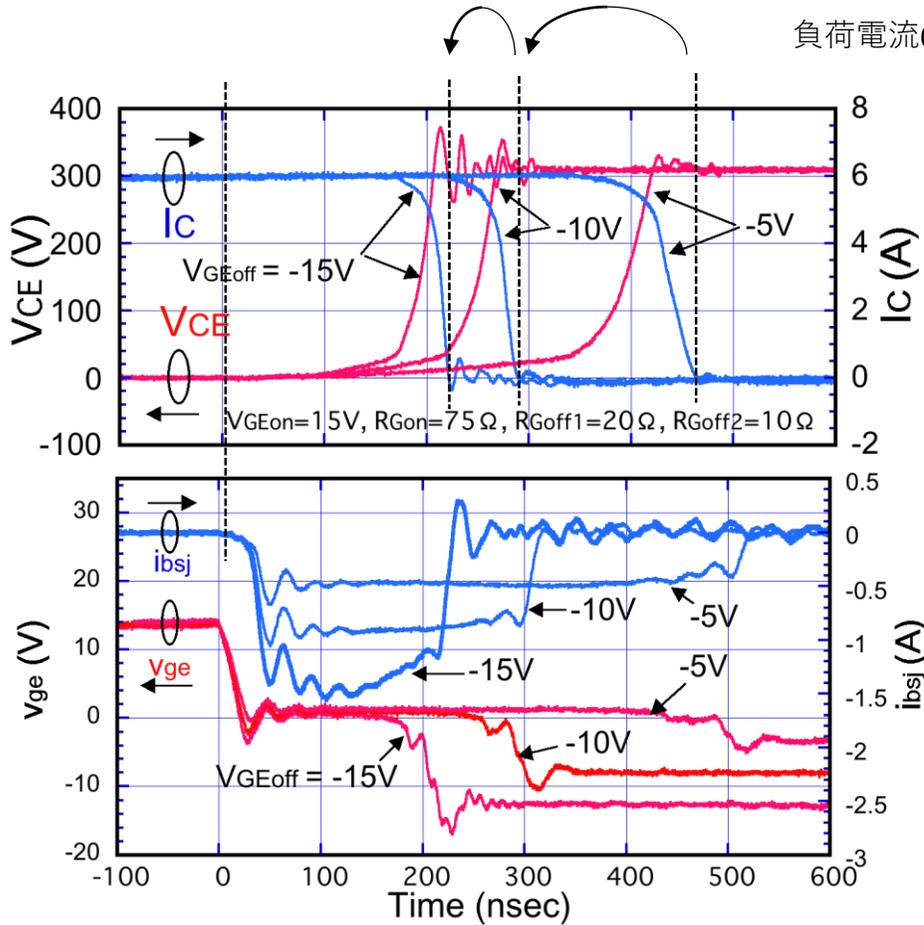
SJBMDのターンオフ速度改善用駆動回路



特許出願：半導体スイッチ及び半導体回路, 特願2021-198011

提案駆動回路によるSJBMD高速ターンオフ化

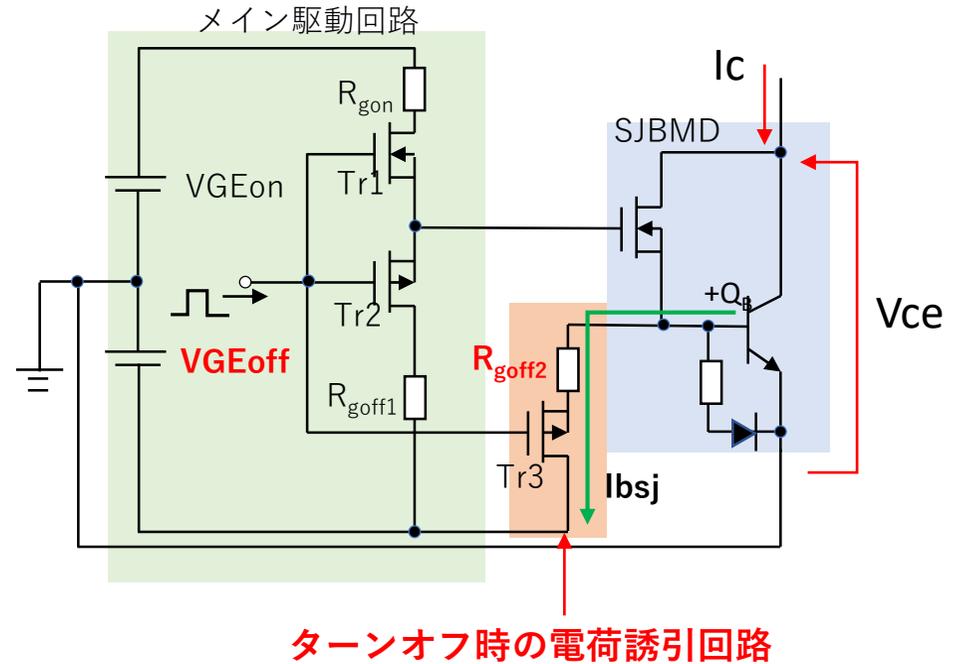
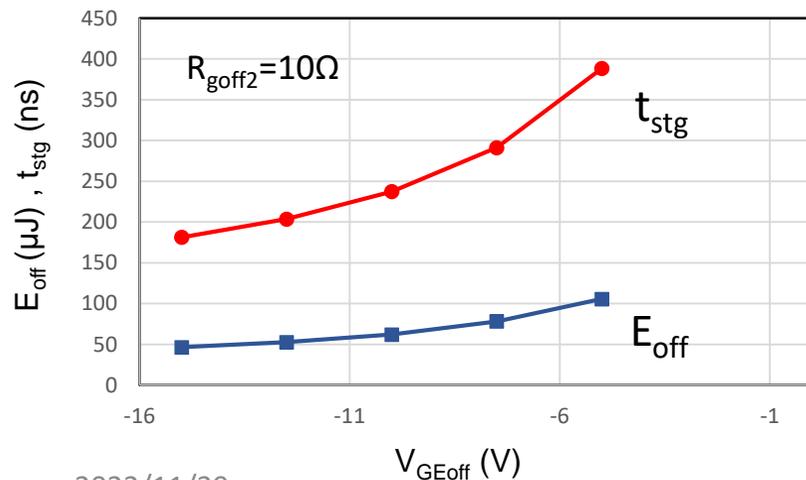
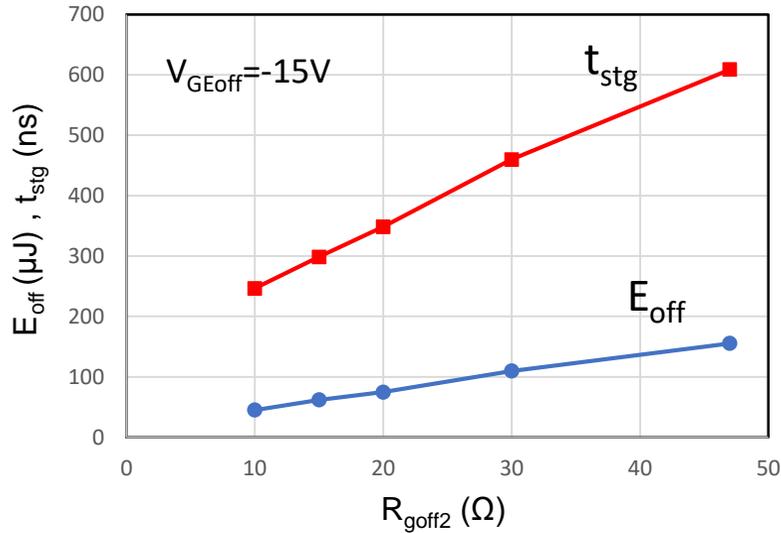
負荷電流6A 電源電圧300V



ターンオフ時の電荷誘引回路

V_{GEoff} の絶対値の増加で i_{bsj} が増加し、
ターンオフ遅れ時間が低減できている

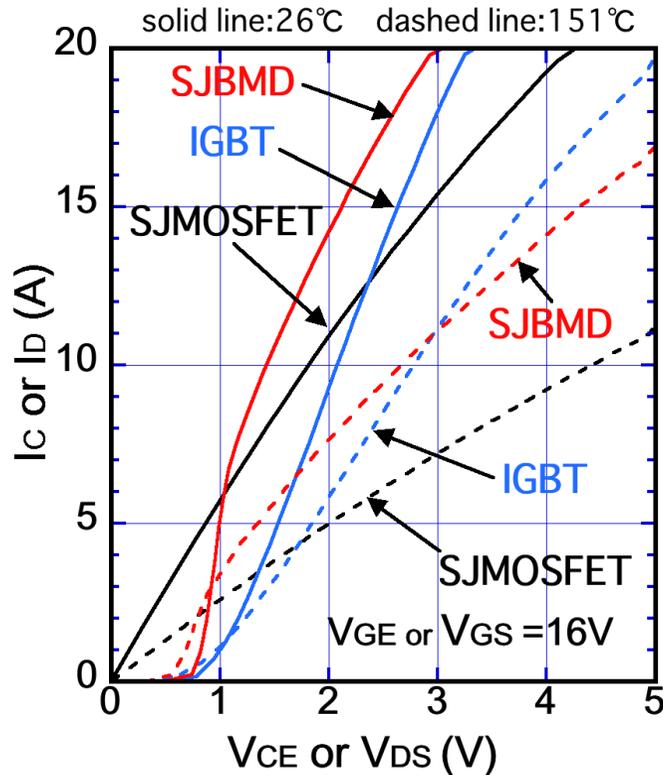
V_{GEoff} および R_{goff2} のターンオフ性能への効果



V_{GEoff} および R_{goff2} の低減により、ターンオフ損失 E_{off} および蓄積時間 t_{stg} を効果的に低減できる

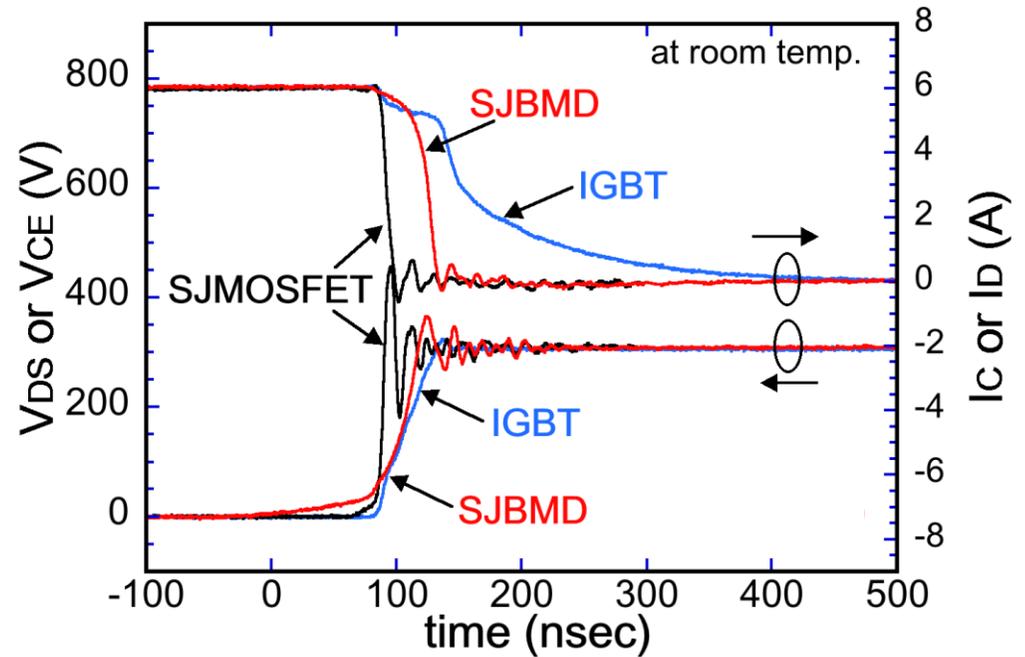
SJBMDと競合素子との比較

オン特性



10A以上の高電流域でSJMOSFET
およびIGBTよりも低いオン電圧

ターンオフ波形



- SJBMDはSJ構造を利用しているので、IGBTにみられるテール電流がない
- SJBMDはSJMOSFETとIGBTの中間のターンオフ性能

従来技術との比較

	本発明 SJBMD	Si-IGBT	Si- SJMOSFET	SiC-MOSFET
高耐圧	△ ~650V	○ 650~6.5kV	△ ~650V	○ 650~6.5kV
低オン抵抗 (>100A/cm ²)	○	○	△	◎
低オン抵抗 (<100A/cm ²)	○	△	○	◎
高速性能	○	△ ターンオフ時の テール電流による	◎	◎
製造 コスト	◎ SiCの1/3	◎ SiCの1/3	◎ SiCの1/3	X



定格650Vで100A/cm²以上の高電流動作で低コスト、
高速、低オン抵抗が得られる

SBJTの想定される用途

低～中出力（数kW程度）のインバータおよび
DC-DCコンバータなど各種変換器への応用



- 低コスト化
- 変換器のサイズの縮小

その他

- ソリッドステートリレー
 - 電力増幅器
- への応用も可能

実用化に向けた課題

- 現在、SBJTのサンプル製造および**オン特性、降伏特性およびスイッチング特性**を競合素子と比較し、その優位性を明らかにするところまで終了している。
- 今後は、各種**信頼性試験**を実施し、実用化に耐えうる信頼性を確保できるよう開発を進める

企業への期待

- **電源、自動車、産業機器**の関連企業様などに於いて、低損失、小型の電力変換器を開発中の場合、こちらでトランジスタのサンプル提供できるため、それを使用し実機動作を実施して頂き、実用化に向けた課題などご教示頂きたい

本研究に関連する知的財産権

SBJTに関する特許

- 発明の名称：半導体装置
- 出願番号：特願2021-5555142
- 公開番号：WO20211090944
- 出願人：山梨大学、日清紡マイクロデバイス株式会社
- 発明者：矢野 浩司、橋本 誠

SJBMDの高速駆動に関する特許

- 発明の名称：半導体スイッチ及び半導体回路
- 出願番号：特願2021-198011
- 出願人：山梨大学
- 発明者：矢野 浩司

産学連携の経緯

2017年から日清紡マイクロデバイス株式会社(元新日本無線株式会社)とNDAを締結し、本技術の開発を進めている

お問い合わせ

山梨大学

研究推進・社会連携機構 URA・社会連携センター

TEL 055-220-8758

FAX 055-220-8757

e-mail renkei-as@yamanashi.ac.jp