

3300VスケーリングIGBTの動作実証と 両面ゲートIGBTへの展開

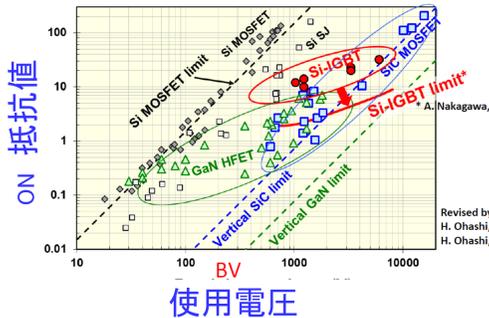
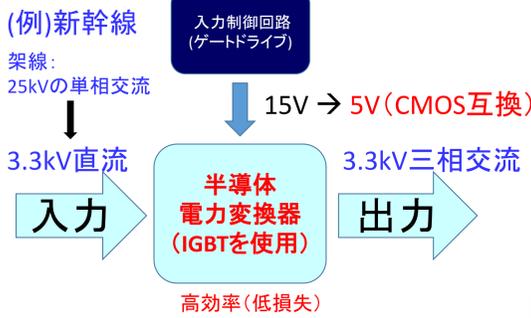
(Demonstration of "Scaled" 3300V Silicon IGBTs Capable of 5V-driven Switching)

背景と目的

●半導体パワーランジスタ(IGBT*)とは？ IGBTは半導体による電力変換器



- パワーエレクトロニクスにおけるキーデバイス。
- 電力変換に用いられるスイッチングトランジスタ
- 家電、ハイブリッド車、鉄道、産業機械、等

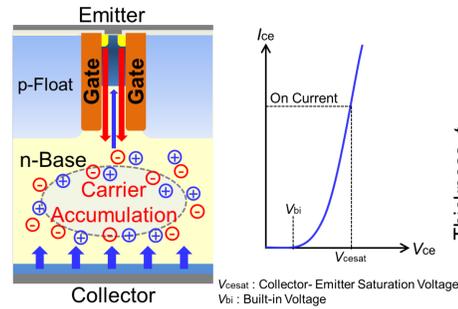


- IGBTは、高効率で電力を
変換する半導体デバイス。
- 制御性向上には5V駆動が必要
(CMOS回路と互換性確保)
- Si-IGBTの使用電圧は高圧側に
ON抵抗は低い方向に性能向上。

*) IGBT: 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(Insulated Gate Bipolar Transistor)

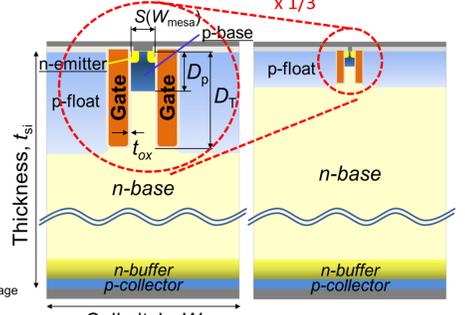
動作原理とスケーリング手法

●IGBT の動作原理



MOSゲートでnベースの伝導度を変調

●IGBT のスケーリング



Cell pitch, W
M. Tanaka and I. Omura, Solid-State Electron., 80, p.118, 2013.

●スケーリングのメリット

- ON 抵抗値(Vcesat)を低減。
- 制御電圧を1/3に小さく出来る。
- ゲートドライブパワーは1/9に低減
出来る。
- 5V駆動のCMOSのデジタル制御技術を
適用出来る。

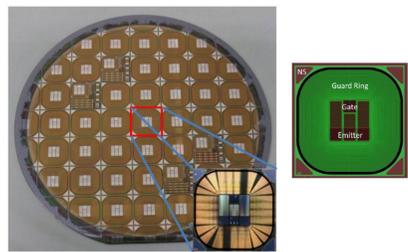
	k=1	k=3
Cell pitch, W	1	1
Mesa width, S	1	1/3
Trench depth, D_T	1	1/3
p-base depth, D_p	1	1/3
Trench extrusion, $D_T - D_p$	1	1/3
Gate oxide thickness, t_{ox}	1	1/3
Gate voltage, V_g	1	1/3
Gate drive power P_{GD}	1	1/9

Vg:15V (k=1) -> 5V (k=3)

スケーリングIGBT(K=1とK=3比較)

試作(生研クリーンルーム)

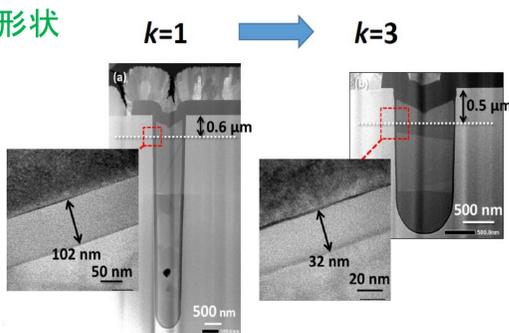
- 定格電圧 : 3300V IGBT
- 試作場所 : (3インチ試作ライン)
東大生研クリーンルーム
- チップサイズ : 81mm²
- エミッタサイズ : 5mm²



プロセスフロー

- 1st 酸化
- ガードリング
- 2nd酸化
- P-フロート
- トレンチ形成
- ゲート酸化
- P-ベース
- P+コンタクト
- N+エミッタ
- 保護絶縁膜
- コンタクト
- 表面メタル形成
- ポリイミド膜
- 裏面CMP/エッチ
- N-バッファ
- P-コレクタ
- 裏面メタル形成

断面形状



●メサ幅(S)とトレンチ深さ(D_T)は、K=3で1/3に縮小。
トレンチの幅は一定。

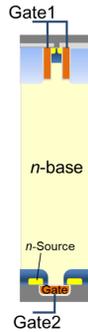
●レーザーアニールを使ったフィールドストップ構造

	k=1	k=3
Lifetime	15 μs	24 μs

● K=1とK=3のライフタイムは
ほぼ同じ値

両面ゲートIGBTの開発目標

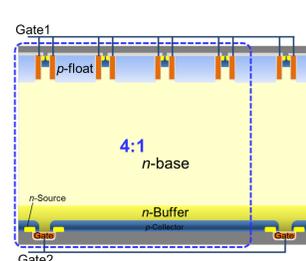
構造例



●両面ゲートIGBTのメリット

- 超低損失
-> E_{off} - V_{cesat} トレードオフの改善
- 高速スイッチング
-> 寄生素子・パッケージの小型化
- 超高電圧 (>10kV)
-> 縦積み素子数の低減
- 両導通 (RC-IGBT)
-> 逆導通ダイオードレス

試作(生研クリーンルーム)

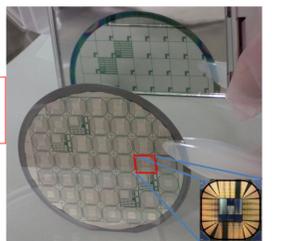


試作したIGBT
の断面構造

プロセスフロー

- Guard ring formation
- p-float
- Trench gate formation
- p-base
- p⁺-contact
- n-emitter
- Backside CMP
- n-buffer
- p-well
- Back gate formation
- p-collector / n-source
- Front metallization
- Back metallization
- Polyimide protection

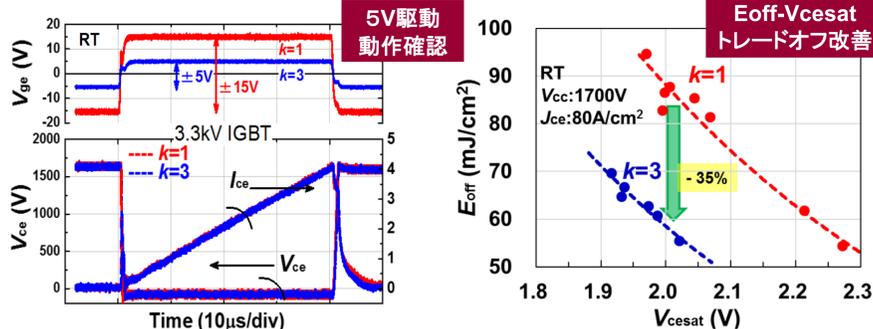
標準IGBTからの
追加工程



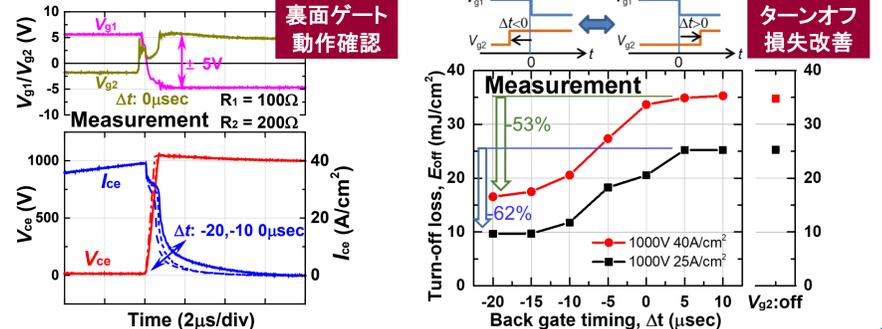
両面リソグラフィ技術
を使用して作製

SWの波形比較

SW特性と E_{off} - V_{cesat} トレードオフの改善



裏面ゲート動作とターンオフ損失の改善



まとめ

1. スケールしたIGBT(定格電圧3300V、定格電流4A)において5V駆動によるスイッチングを世界で初めて実証した。
2. 電力変換器としてのIGBTのオン損失(Vcesat)とスイッチング損失(Eoff)を低減し、ゲート制御回路の小型化に繋がる成果を得た。
3. 両面ゲート化によるさらなるターンオフ損失低減を実現し、両面ゲートIGBTが新世代IGBTの有力な技術となりうることを証明した。

本内容は、「ISPSD 2019, 上海(講演番号: 2-1)」「IEDM 2020, Virtual(講演番号: 5-3)」にて報告

本研究はNEDOの援助を受けた。

