

サファイア基板上 GaN PSJ(分極超接合)トランジスタの連続通電特性

Continuous Current Characteristics of GaN Polarization Super Junction (PSJ) Transistor on Sapphire

パウデック ○松本 壮太, 平田 祥子, 中村 文彦, 斎藤 武尊, 一丸 敬一, 八木 修一, 河合 弘治

POWDEC K.K., ○Sota Matsumoto, S. Hirata, F. Nakamura, T. Saito, H. Nakamura, S. Yagi, H. Kawai

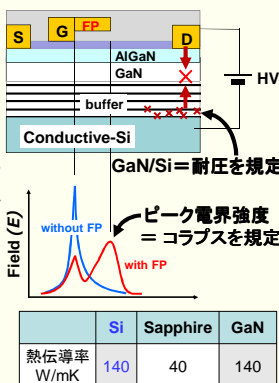
E-mail : matsumoto@powdec.co.jp, info2@powdec.co.jp



【1. 背景】 高耐圧GaNパワートランジスタ実用化への課題

GaNパワートランジスタは、FP(Field-Plate)と導電性Si基板の組み合わせで電流コラプス(スイッチング時の抵抗増大)を抑制している。しかし、Si基板を通じた電流リークが発生するため、高耐圧化が難しい。

PSJ(Polarization Super-Junction)トランジスタは、サファイア基板上でもコラプスを抑制し、数kVの高耐圧化を可能とした。¹⁾しかし、サファイア基板は熱伝導率が低いため、放熱対策が必要である。



1)八木 他., 第75回応用物理学学会秋季学術講演会 19p-PB2-14

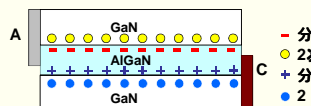
【2. 目的】

サファイア基板のPSJトランジスタをFD (Face Down)方式で実装し、連続通電時のチャネル温度を検証する。

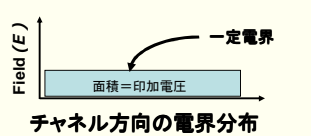
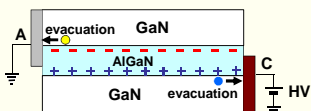
【3. PSJ (Polarization Super-junction) とは

Si super-junction との比較

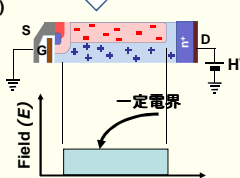
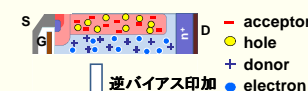
GaN/AlGaIn/GaN Polarization Super-junction (PSJ)



逆バイアス印加 (キャリア排出による全長高抵抗化)



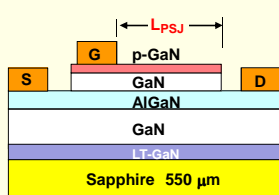
Si super-junction MOS (one pillar)



	GaN-PSJ	Si-SJ
構成	横型・表面 GaN/AlGaIn/GaN	縦型・内部 p/n pillar stack
キャリア起源	分極効果	不純物ドーピング
厚み(1unit)	~10 nm	~μm

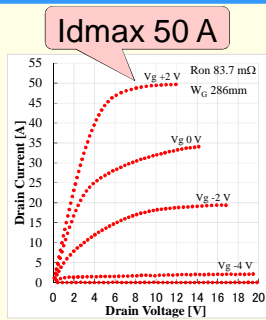
【4. フェイスダウン実装と素子特性】

PSJトランジスタをサファイア基板上に形成し、京セラ製評価パッケージにフェイスダウン実装

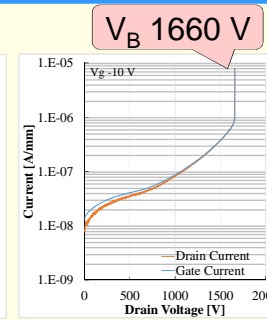


素子構造

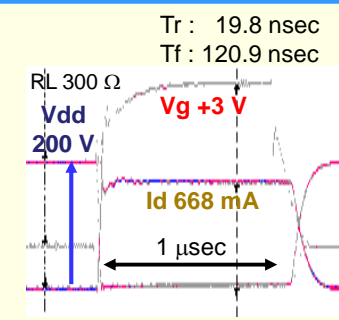
パッケージ構造



Idmax 50 A



V_B 1660 V

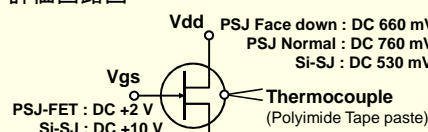


Tr : 19.8 nsec
Tf : 120.9 nsec

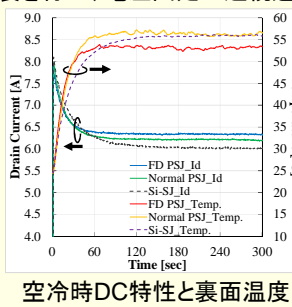
【5. 連続通電特性と温度特性】

通常実装(Face UP & Wire Bonding)とFD実装を行い、電圧固定の連続通電特性評価を行った。

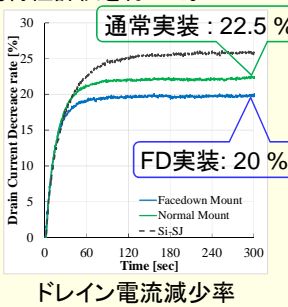
評価回路図



比較素子 : Si Super Junction MOS
650 V, 75 mΩ,
TO-247 Package



空冷時DC特性と裏面温度

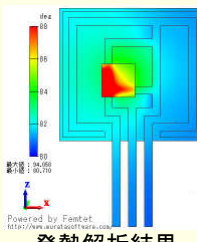


ドレイン電流減少率

【6. 発熱解析】

Femtetを用いて定常解析を実施

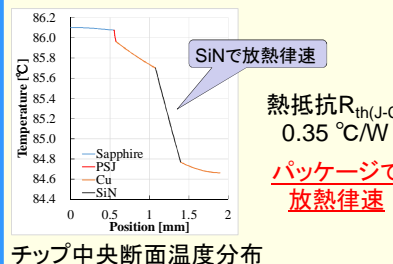
- 投入電力 4 W
- 裏面空冷条件 (RT, 0.83 m/sec)



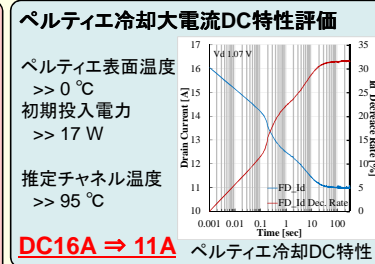
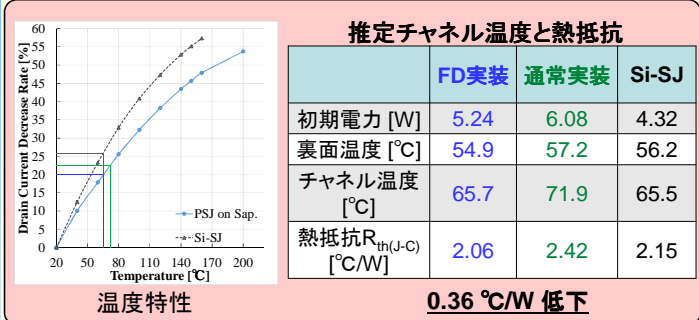
発熱解析結果

非接触箇所が高温度

チップ全面を
コンタクトするような
構造検討が必要



チップ中央断面温度分布



DC16A ⇒ 11A ペルティエ冷却DC特性

【7. 実験のまとめ】

- 5mm角のチップでRon 83 mΩ、1660 Vの耐圧を確認した。
- 初期投入電力で空冷時に5 W、ペルティエ冷却で17 Wの連続動作を確認した。
- フェイスダウン実装することで、0.4 °C/W以下の熱抵抗が実現可能であることが分かった。

【8. 結論】

- フェイスダウン実装により、Si-SJ素子と同様な特性を得ることが出来た。
- LED等で広く用いられているGaN on Sapphireのエピ技術が、パワートランジスタにおいても有効であることを示した。

【9. 課題】

チップ全面から冷却できるような構造最適化が必要である。

謝辞 : 本研究はNEDO平成25年度イノベーション実用化ベンチャー支援事業を受けたものである。

ノーマリーオフGaN-PSJトランジスタ Normally-Off GaN-PSJ FETs

パウデック¹ ○平田 祥子¹, 松本 壮太¹, 一丸 敬一¹, 斎藤 武尊¹, 八木 修一¹, 中村 文彦¹, 河合 弘治¹

POWDEC K.K. ¹ ○Shoko Hirata¹, S. Matsumoto¹, K. Ichimaru¹, T. Saito¹, S. Yagi¹, F. Nakamura¹ and H. Kawai¹

E-mail: info@powdec.co.jp

【1. はじめに】

サファイア基板上GaN分極スーパー Junction(PSJ)-FETにより、高耐圧化、コラプスフリー化、高温動作および高電流動作が実現された。1), 2), 3.) しかし、実用化にはノーマリーオフ(N-off)化が必要とされている。

【2. 目的】

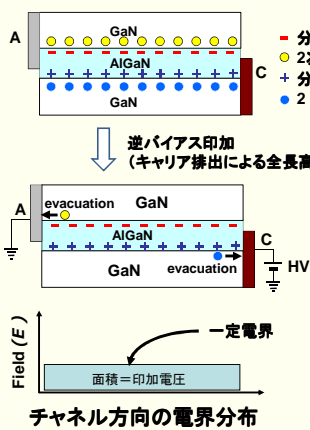
GaN PSJ-FETにおいて+1V以上のゲートしきい値電圧(Vth)、耐圧600V以上を実現する。

【3. PSJ (Polarization Super-junction) とは】³⁾

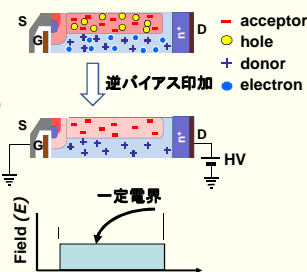
Si super-junction との比較

GaN/AlGaIn/GaN

Polarization Super-junction (PSJ)



Si super-junction MOS (one pillar)



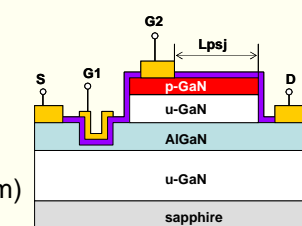
	GaN-PSJ	Si-SJ
構成	横型・表面 GaIn/AlGaIn/GaN	縦型・内部 p/n pillar stack
キャリア起源	分極効果	不純物ドーピング
厚み(1unit)	~10 nm	~ μm

【4. N-off化素子構造】

・2ゲート方式

G1: MIS構造 $L_{G1}=1.5\mu\text{m}$
Au·Ni/SiN(10nm)/AlGaIn
($x=0.27, 1\sim 3\text{nm}$)

G2: pジャンクション構造
 $L_{G2}(\text{p-GaN})=5\mu\text{m}$
Au·Ni/ p-GaN/ u-GaN/ AlGaIn($x=0.27, 40\text{nm}$)



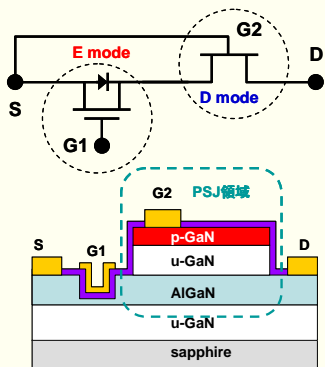
・AlGaInエッチング ~13 [nm/min]
ICP-RIE: ICP/Bias=150/3 [W], $\text{BCl}_3/\text{Cl}_2=2/15$ [sccm], 0.5 [Pa]

【8. 考察】

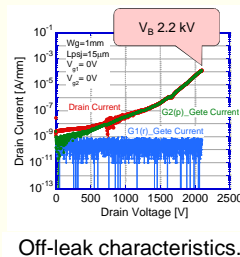
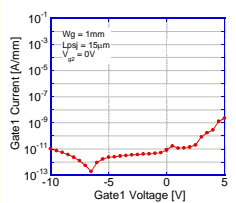
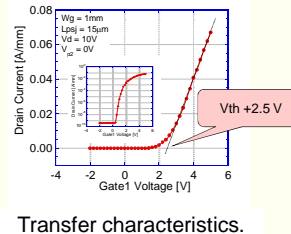
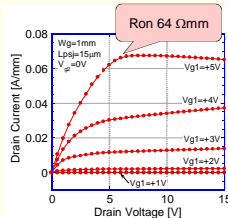
2ゲート方式によってN-off化かつ超高耐圧が得られた。この要因は素子内でカスコード性の実現されているからである。

PSJ 領域によりG2-D 間が一定電界になり、その結果 G1 への電界強度が低減された。従って非常に小さい一定のゲートリーク電流が実現した。

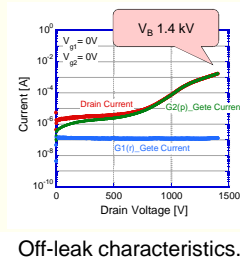
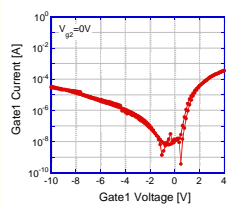
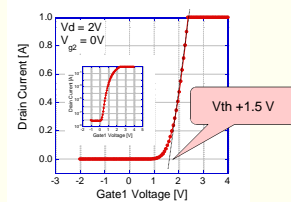
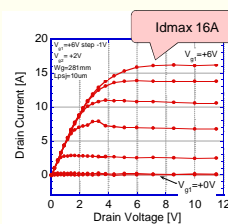
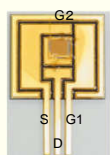
カスコード接続



【5. 素子特性 ($W_g=1\text{mm}, L_{G1}=1.5\mu\text{m}$)】



【6. 大型素子特性 ($W_g=281\text{mm}, L_{G1}=1.5\mu\text{m}$)】



【7. 実験結果のまとめ】

- ①ノーマリーオン(N-on)PSJ素子にしきい値(Vth) 制御ゲートを付加することにより、 $V_{th} > +1\text{V}$ のN-off化PSJ-FETが実現した。
- ②大型素子($L_{G1}=1.5\mu\text{m}, W_g=281\text{mm}$)において $I_{dmax}\sim 16\text{A}$ ($V_{G1}=6\text{V}$)が得られた。
- ③大型素子の耐圧は1400V得られた。

【9. まとめ】

- ・サファイア基板上に形成されたPSJ方式GaNパワー素子は超高耐圧性、コラプスフリー、低Ron素子直流動作が実現されているが本件によってN-offが可能となった。
- ・GaN-PSJ素子の作製は確立されたGaN LED製造技術によって実現されている。今後、GaNパワー電子素子製造技術体系として発展していくことが期待される。

【参考】 1)八木 他、第58回応用物理学学会春季学術講演会、(2011) 26a-P6-6, 2011
2)S.Yagi et al, SSDM2011. A-1-5, 2011.
3)八木 他、第75回応用物理学学会秋季学術講演会、(2014) 19p-PB2-14, 2014