2018 OEGセミナー

GaNパワーデバイスのESD故障（故障メカニズムの検証）

2018年10月25日

沖エンジニアリング株式会社
デバイス評価事業部
加藤　且宏

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

目次

1. 背景・目的
2. GaNデバイスの構造と動作
3. 使用サンプル
4. 代表特性
5. ESD試験
6. 故障解析
7. 故障現象の検討
8. まとめ

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

1. 背景・目的

次世代パワーデバイスの主力の一つとして注目されるGaNデバイスの信頼性（静電破壊(ESD)耐性）を確認する。

- 従来のノーマリーオン型ではESDストレス印加の過程で閾値電圧$V_{GS(th)}$が高電圧側にシフトする現象が発生した。
- ノーマリーオフ型の最新のGaNデバイスでもこの現象が起こるか否かを確認する。

◆ノーマリ―オン型：閾値電圧が負極の特性を有するデバイス。
万一故障が発生し、ゲートバイアスの供給が絶たれてもオン状態が維持され電流が流れるため、安全性に課題がある。

◆ノーマリ―オフ型：閾値電圧が正極の特性を有するデバイス。
ゲートバイアスの供給が絶たれる＝「０」ボルトになると回路が遮断されデバイス機能が停止する。
パワー系デバイスには必須要件とされる。

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

2. GaNデバイスの構造と動作

■ ノーマリーオン型の初歩的なGaNデバイス構造

図1. ノーマリーオンのGaN構造

- ◆ AlGaNとGaNの接合界面には格子定数の差によって2次元電子ガス(2DEG)層が形成される

■ GaNデバイスの優位性

表1. デバイス材料による特徴比較（※1）

	Si	4H-SiC	GaN
バンドギャップ(eV)	1.12	3.2	3.39
比誘電率	11.7	10	9
絶縁破壊電界(MV/cm)	0.3	3	3.3
電子飽和速度(10^7cm/s)	1	2	2.5
電子移動度(cm^2/Vs)	1350	720	900
熱伝導率（W/cm・K）	1.5	4.5	2~3

- ◆ ワイドバンドギャップの特徴である高絶縁耐性と飽和速度を活かし、高電圧で大電流を扱える

■ ノーマリ―オフ型構造と動作(GIT構造の例)

図2. GITのデバイス構造　　GITの動作

- ◆ Vgs(ゲート電圧)<0の時はP型AlGaNのポテンシャルによってチャネル部の2次元電子ガスが枯渇する
- ◆ Vgs(ゲート電圧)>0(VGS(th))になるとチャネルのポテンシャルが下がり電子が発生する
- ◆ Vgs>Vf(ダイオードの順方向電圧)を超えるとホール注入によって電導度変調が起こりバイポーラトランジスタの挙動を示す

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

3. 使用サンプル

- 市販品のGaNデバイス2機種を使用
  - 閾値電圧$V_{GS(th)}$が正極＝ノーマリーオフ特性

表2. 市販品２機種の代表的なデータシートの数値

	絶縁耐圧 BV_{DS} @I_{DSS}=50uA	ON抵抗 $R_{DS(on)}$ @I_{DS}=9A @V_{GS}=6V	閾値電圧 $V_{GS(th)}$ @V_{DS}=V_{GS} @I_{DS}=7mA	ドレイン漏れ電流 I_{DSS}[A] @V_{DS}=650V	ゲート漏れ電流 I_{GSS}[A] @V_{GS}=6V
A社	650V	50mΩ	1.7V	2uA	160uA
	絶縁耐圧 BV_{DS} @I_{DSS}=39uA	ON抵抗 $R_{DS(on)}$ @I_{DS}=5A @I_{GS}=10mA	閾値電圧 $V_{GS(th)}$ @V_{DS}=V_{GS} @I_{DS}=10mA	ドレイン漏れ電流 I_{DSS}[A] @V_{DS}=600V	ゲート漏れ電流 I_{GSS}[A] @V_{GS}=-3V
B社	600V	50mΩ	1.2V	39uA	-1uA

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

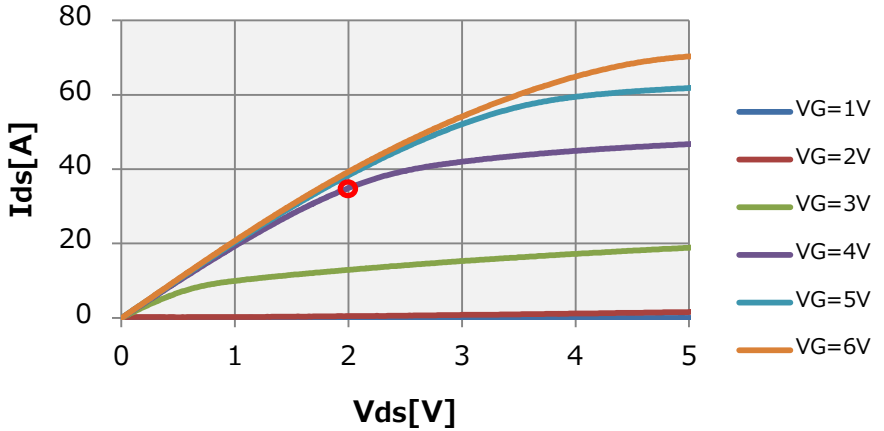
3. 使用サンプル(X線観察・SAT観察)

表3. 市販品２機種のチップ観察結果

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

4. 代表特性（ドレイン電流のゲート電圧依存性）

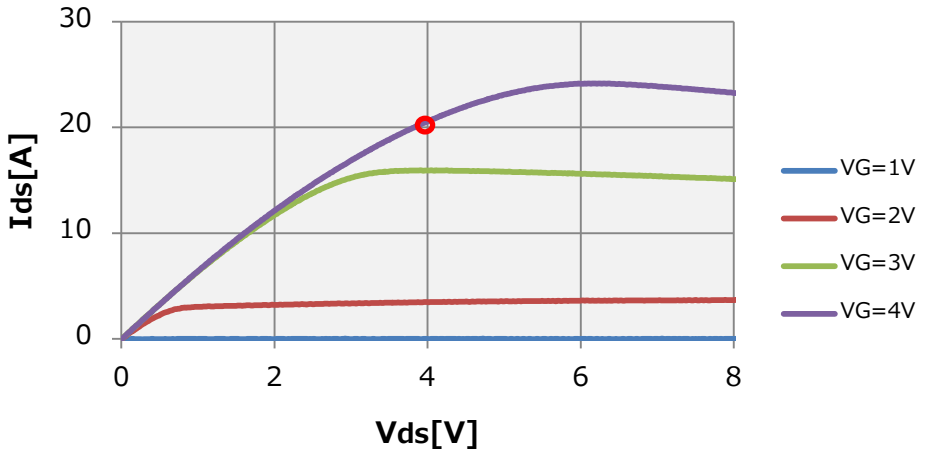
図3. ドレイン電流のゲート電圧依存性(A社)



A社

- 飽和電流値が大きい
- 35A@(Vds=2V,Vgs=4V)
- Vdsが大きくなるほど飽和電流が減少する傾向がない
- パワーデバイスとしては優れた特性

図4. ドレイン電流のゲート電圧依存性（B社）



B社

- 飽和電流値がやや少ない
- 20A@(Vds=4V, Vgs=4V)
- Vdsが大きくなるほど飽和電流が減少する傾向がある
  - 発熱による抵抗増の影響
  - 2端子接続基板の配線抵抗の影響

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

4. 代表特性（閾値電圧(Vth)以下のドレイン電流）

図5. 閾値電圧以下のドレイン 電流 (A社) Vds=10V

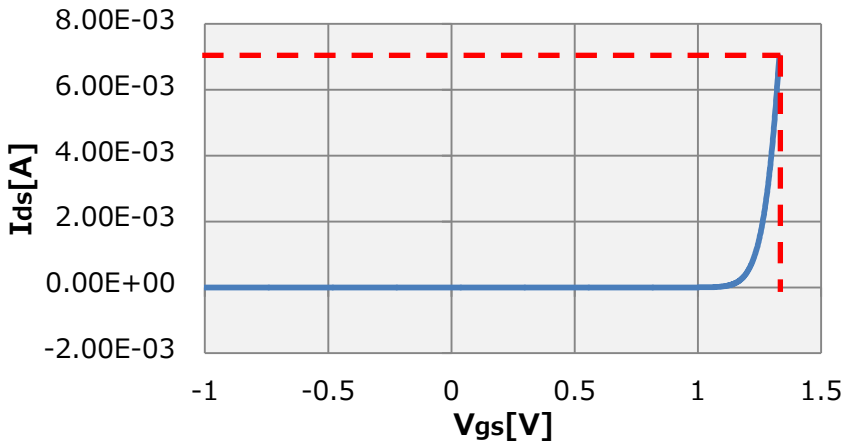
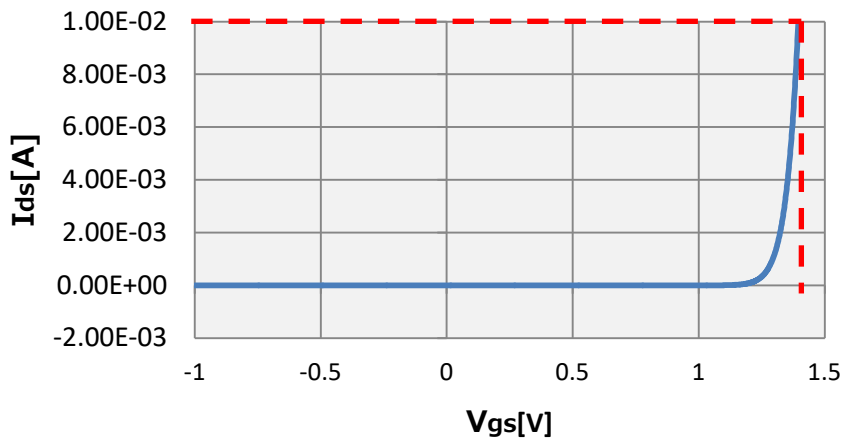


図6.閾値電圧以下のドレイン 電流 (B社) Vds=8V



A社

- データシート値
  - Vth=1.7V(Typ)@Ids=7mA
- 実測値
  - Vth=1.33V
    （ノーマリオフ型を実現している）
  - データシートの記載値よりも低い
    (参考：Vth=0.99V@1uA)

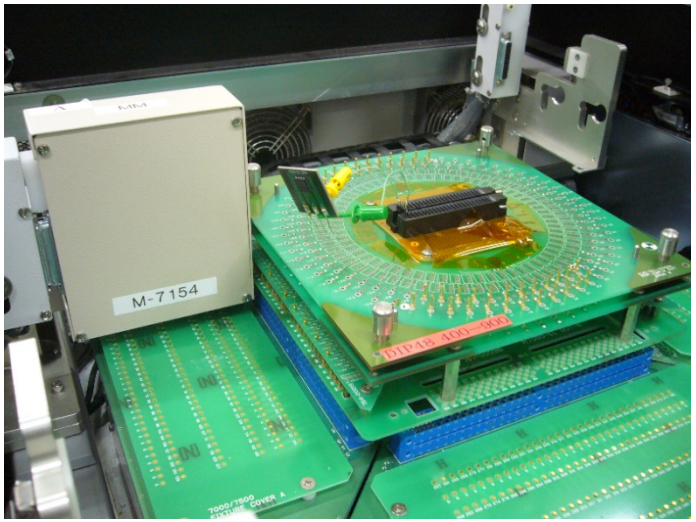
B社

- データシート値
  - Vth=1.2V(Typ)@Ids=10mA
- 実測値
  - Vth=1.39V
    （ノーマリオフ型を実現している）
  - データシートの記載値よりも高い
    (参考：Vth=1.05V@1uA)

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

5．ESD試験：使用装置

静電破壊試験装置MODEL-7000



電気的特性測定：ハイパワーカーブトレーサーB1505A
カレントエクスパンダー・フィクスチャN1265A

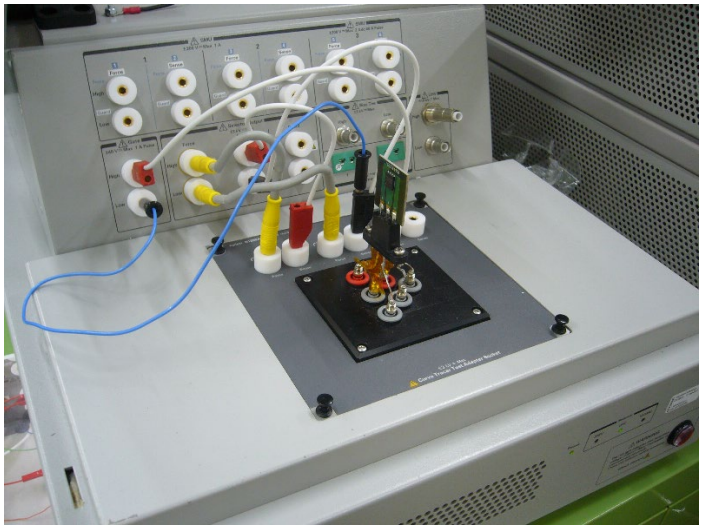


図7. ESD試験/特性測定に使用した試験装置

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

5. ESD試験：結果1(印加条件と故障電圧)

表4. ESD試験結果

	HBM(+)(*1) Drain=Com, Gate=Zapping	HBM(−) (*1) Drain=Com, Gate=Zapping	MM(+) (*2) Drain=Com, Gate=Zapping	MM(−) (*2) Drain=Com, Gate=Zapping
A社	+250V Pass +500V Fail	-300V Pass -400V Fail	+75V Pass +100V Fail	-120V Pass -140V Fail
B社	未実施 (>+8000Vと予想されるため)	未実施 (<−8000Vと予想されるため)	+800V Pass +1000V Fail	-800V Pass -1000V Fail

(*1)HBM :人体モデル Human Body Model
(*2)MM :マシンモデル Machine Model

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

5. ESD試験:結果2(故障前後の特性比較)

A社 （HBM +印加前後でI_{DS}が減少＝V_{GS}が低下する故障＝他の故障も同じ）

図8. A社試験前の特性

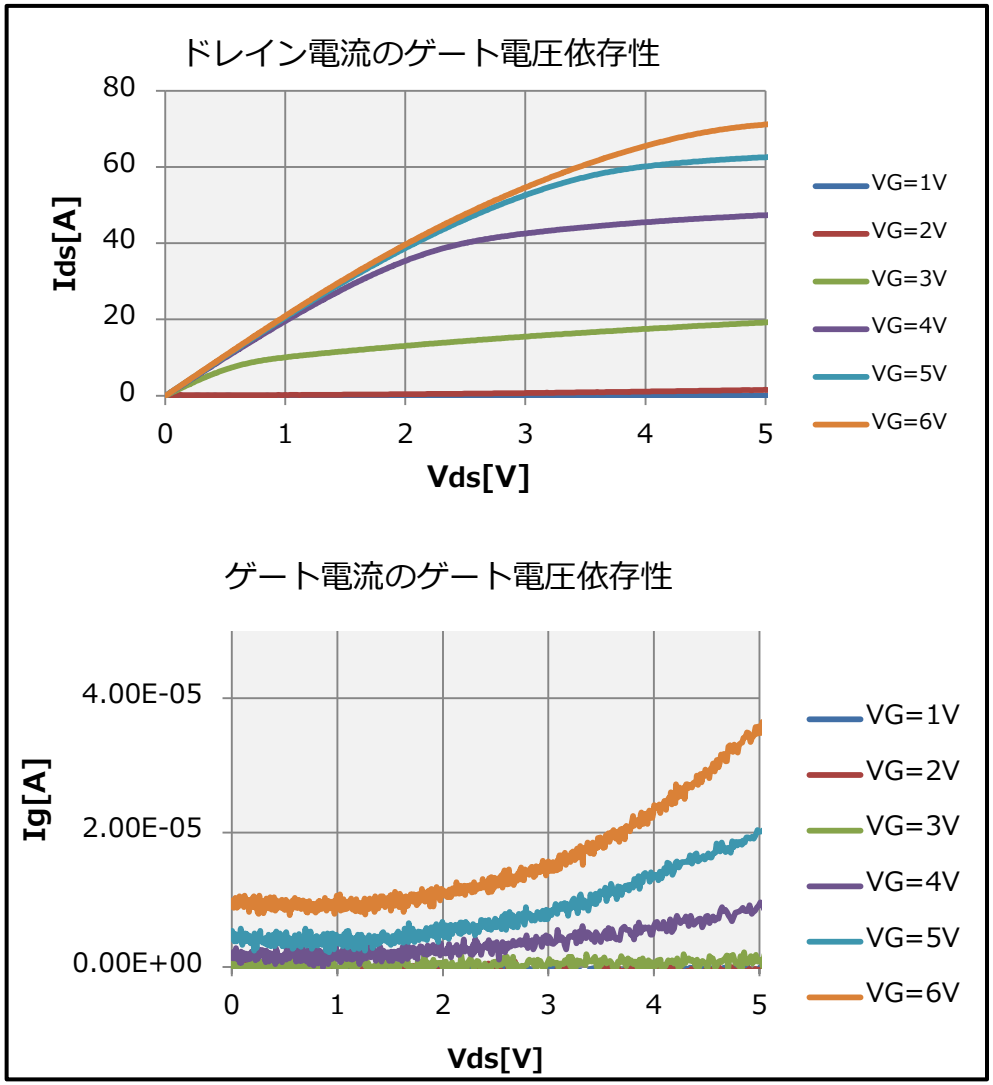
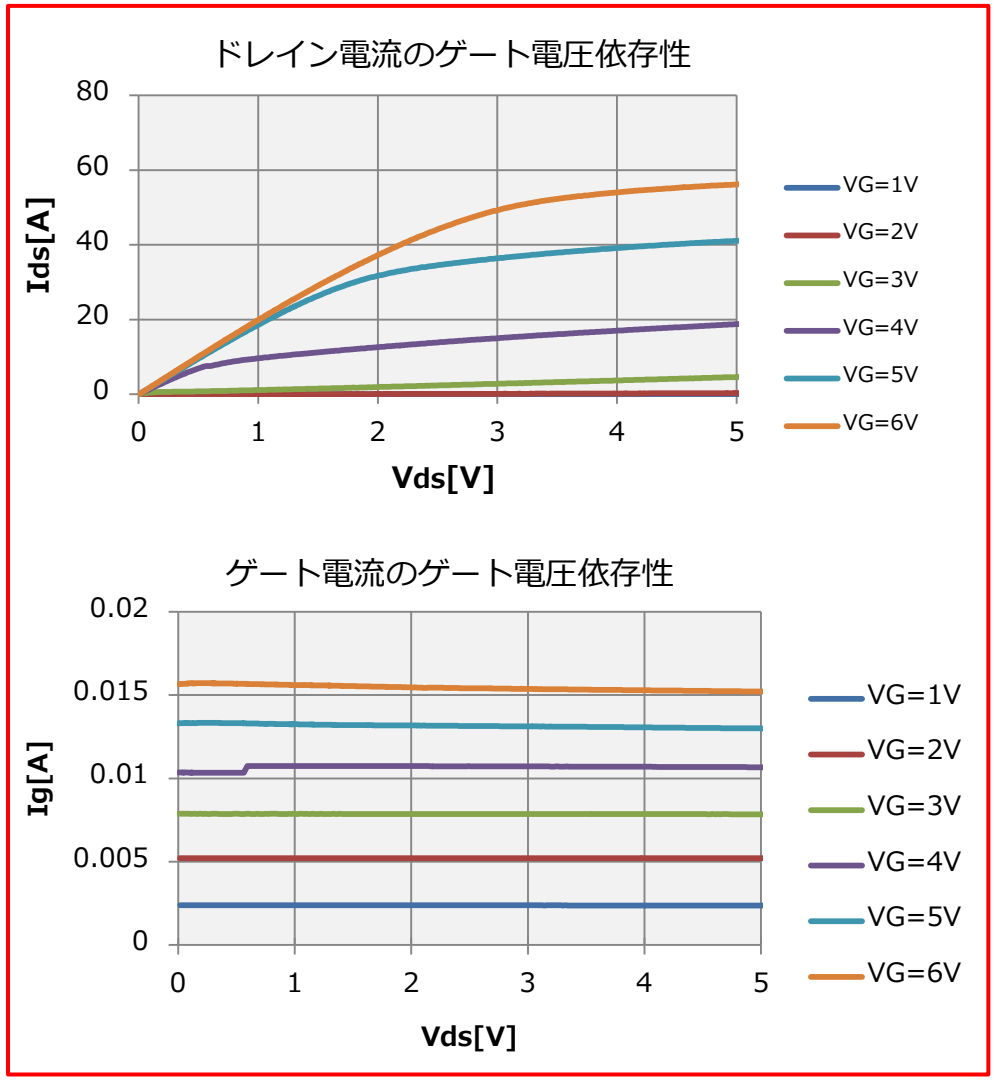


図9. A社試験後の特性



© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

5. ESD試験:結果3(故障前後の特性比較)

B社 （MM試験で ゲートとソースが短絡しチャネルをオンさせることが出来ない）

図10. B社試験前の特性

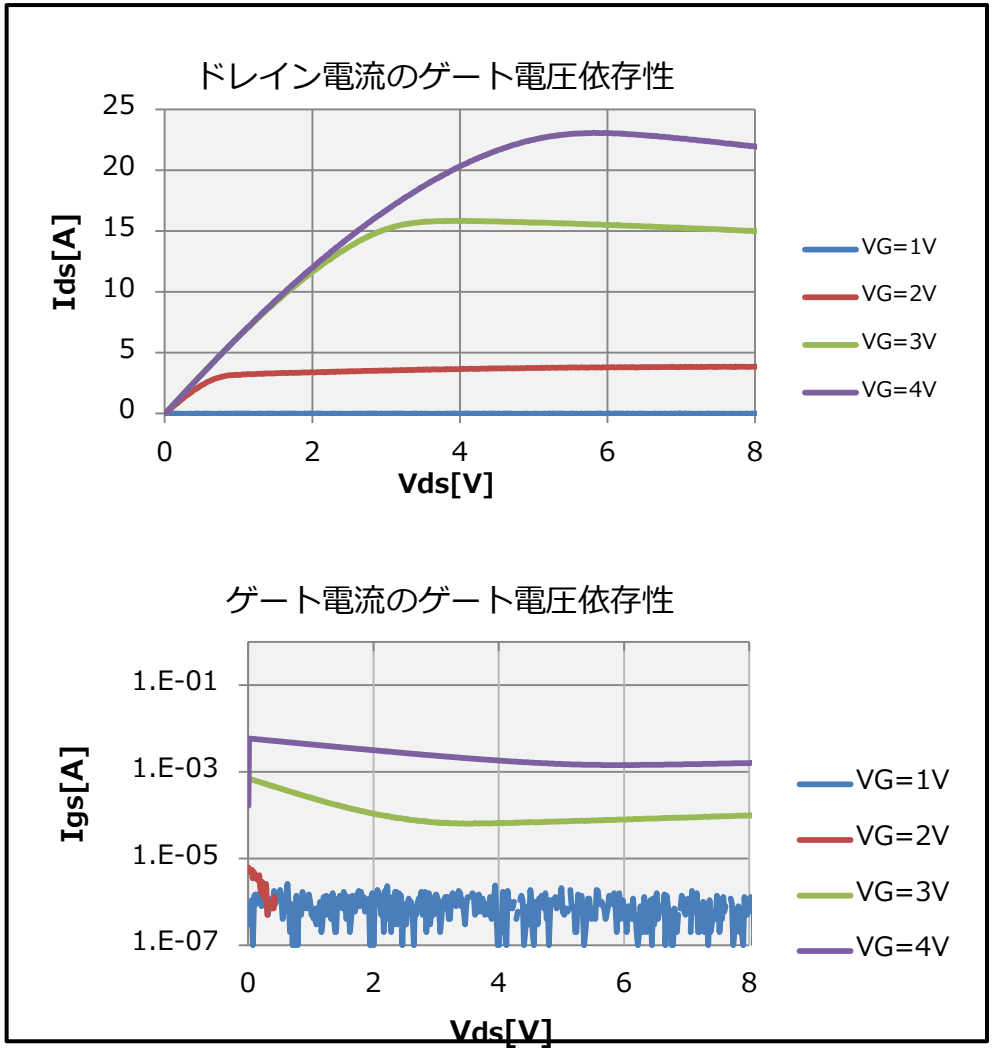
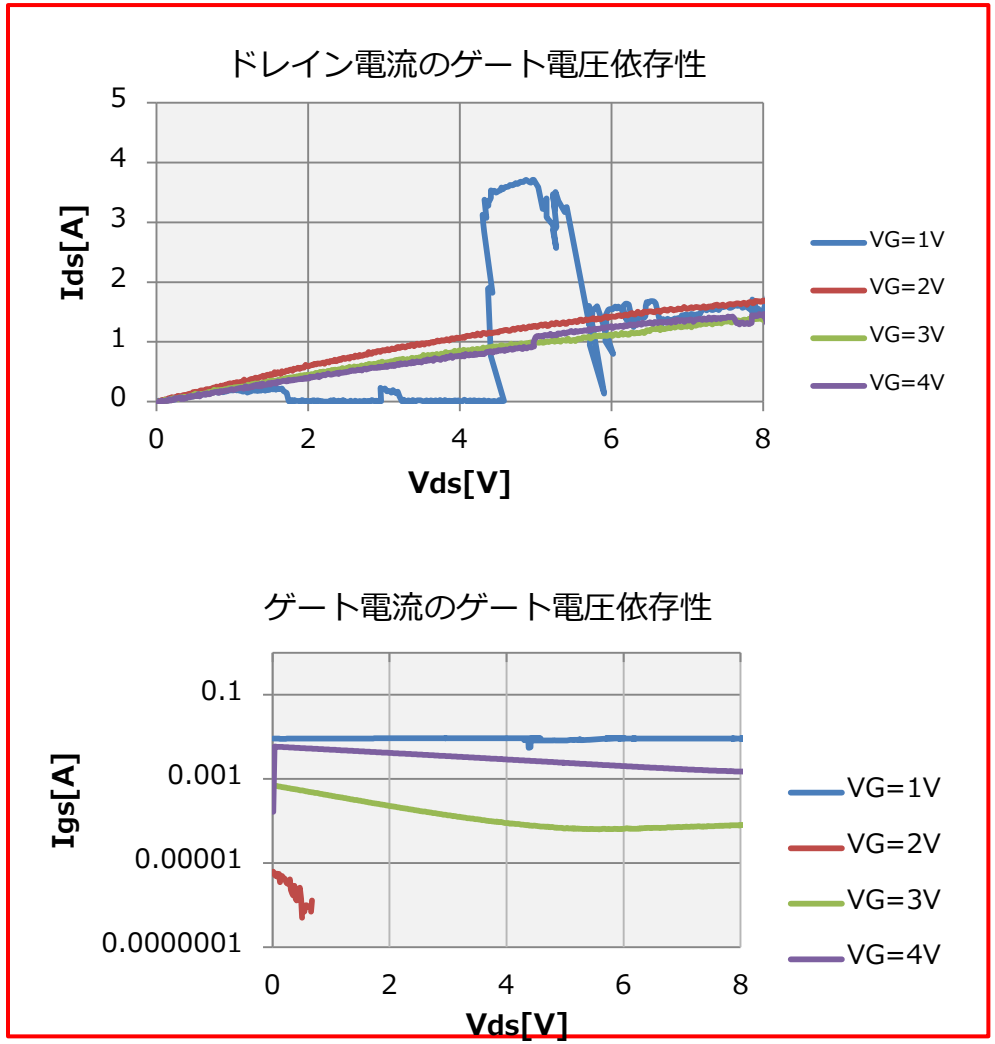


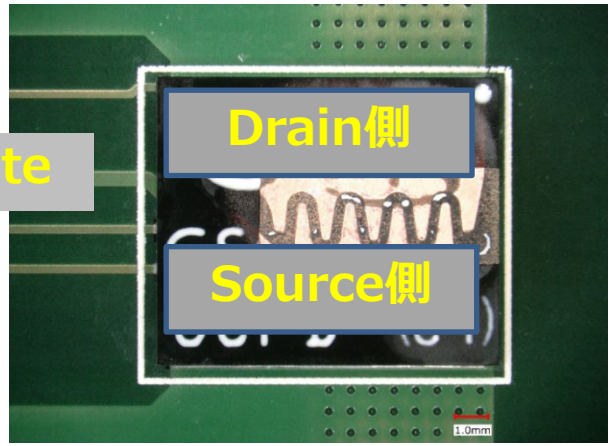
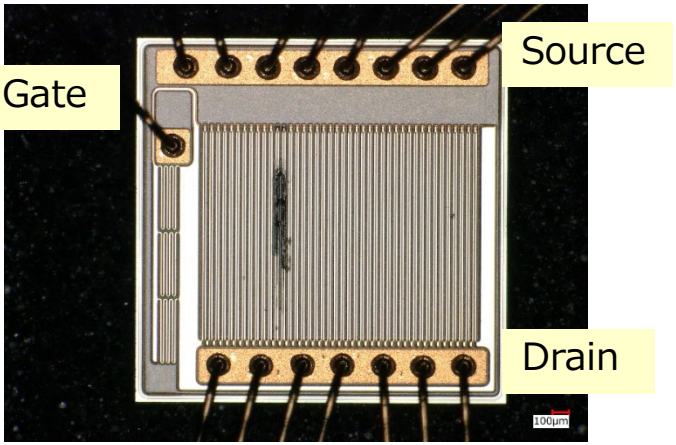
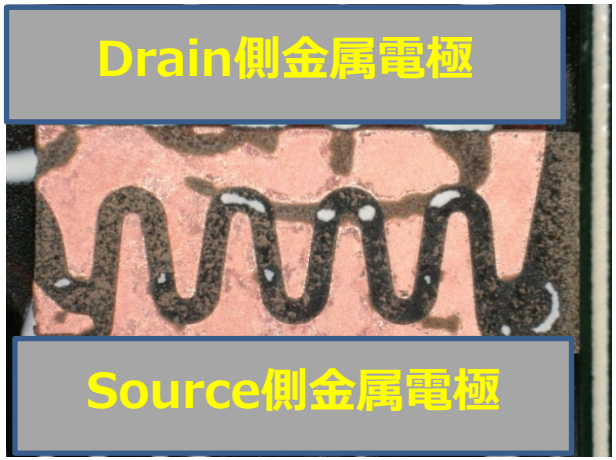
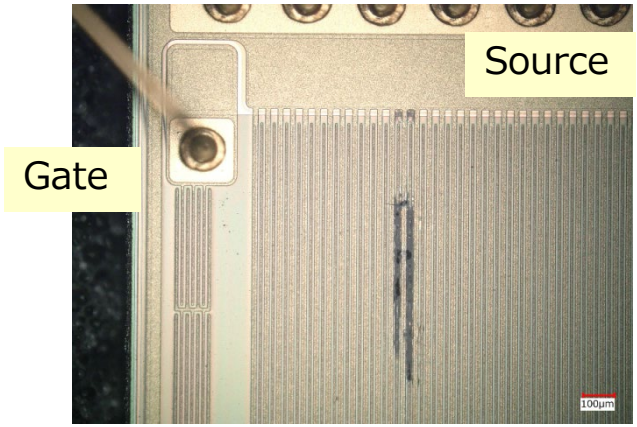
図11. B社試験後の特性



© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

6. 故障解析:結果

表5. 試験後のチップ解析結果

	A社	B社
チップ全体	 ◆樹脂が溶けない （表面のコーティングだけが溶けた状態）	 ◆チップ全体が確認できる
拡大	 ◆上下の銅パタンがS/D電極 （底面の外部端子との接続方法は不明）	 ◆中央に焼損痕が確認できる （ソースとゲートの近接部が焼損）

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

7. 故障現象の検討

ノーマリーオン型GaNデバイスのVthシフト

- ゲートから放出された電子によってAlGaN表面の正イオン化ドナーが中性化され、AlGaN/GaNヘテロ界面の２DEG（2次元電子ガス）が枯渇する現象として説明される。

図12. GaNデバイスの空乏化現象

ノーマリーオフ型GaNデバイスのI_{DS}減少

- ゲートリークはドレイン電圧の影響を受けず、ゲートバイアスの増加とともにほぼ一定値を維持することからソースへのリークである。
- ソースへのリーク経路が形成されゲート電圧が低下したためI_{DS}(ドレイン電流)が減少する。
- 故障後もI_{DS}がゲート電圧依存性を示すのは、リーク経路が数100Ωの高抵抗を維持しているためである。一般のシリコンデバイスのような数Ω程度のオーミックな特性にならない原因を調査する必要がある。

図13. GaNデバイスのゲート-ソース間リークの模式図

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

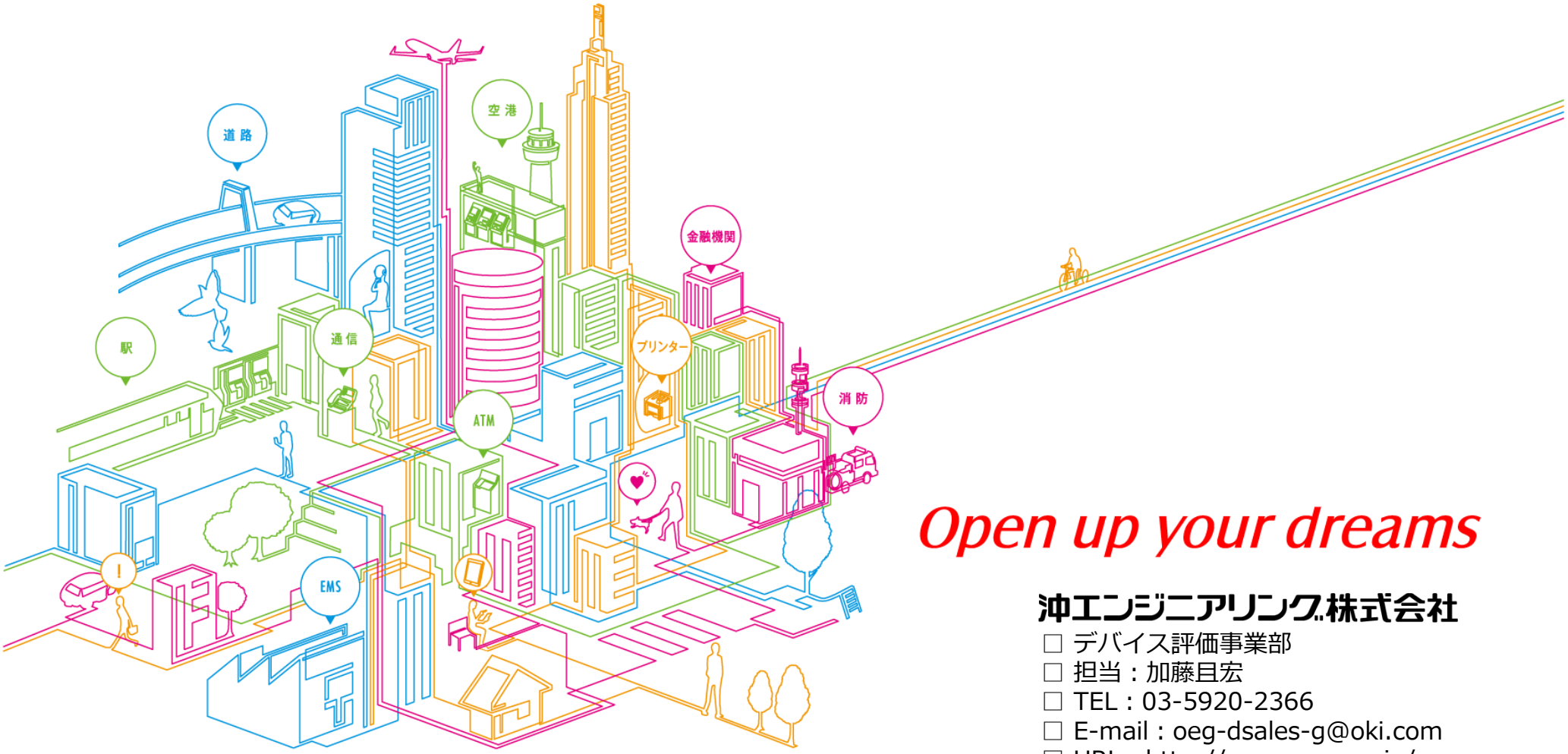
8. まとめ

次世代パワーデバイスの主力として注目されているGaNデバイスの信頼性試験の一つである静電破壊耐性を調査した。

- 従来のノーマリーオン型GaNデバイスに見られた顕著な閾値の上昇は、ノーマリーオフ型デバイスでは改善されていることを確認した。
- ノーマリーオフ型デバイスでは、ソースへのリークパスが形成されることで実効ゲートバイアス(V_{gs})が低下し、ドレイン電流（I_{ds}）が減少する不具合が発生することを確認した。
- 故障品ではI_{ds}は低下するもののゲート電圧依存性を維持していることから、ゲートーソース間のリークパスは数100Ω程度の高い抵抗を有していることが確認された。
- ゲートーソース間のリーク電流が極端な短絡特性を示さない原因を調査する必要がある。

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.

ご清聴いただき、ありがとうございました



Open up your dreams

沖エンジニアリング株式会社
□ デバイス評価事業部
□ 担当：加藤且宏
□ TEL：03-5920-2366
□ E-mail：oeg-dsales-g@oki.com
□ URL：http://www.oeg.co.jp/

© Copyright 2018 Oki Engineering Co., Ltd.