2016 OEGセミナー

故障診断機能付きパワーサイクル試験機によるIGBTの寿命比較

2016年7月12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 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

目次

1．背景・目的
2．使用サンプルの特性（サンプルの規格値と実測値）
3．外観観察・X線画像・超音波画像
4．温度係数の測定
5．初期の構造関数比較
6．パワーサイクル試験条件
7．パワーサイクル試験結果
8．故障品の解析結果
9．まとめ

© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

1. 背景・目的

背景（お客様の関心）

パワーサイクル寿命確認（ベンチマーク試験）の必要性の高まり

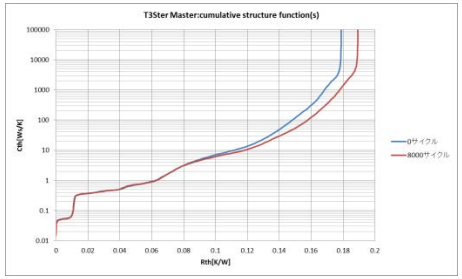
- ■使用年数に相当するON/OFF動作に耐えられるか
- ■採用予定部品の中から強いものを選択したい
- ■故障の多い部品と少ない部品の実力差はどれくらいか

目的（ベンチマーク試験が可能な試験機での検証）

□試験開始から終了まで試料を取り外さずにパワーサイクル試験と熱過渡解析が可能

故障診断の方法　ダイスボンド側：パッケージ熱抵抗変化(熱過渡解析=構造関数)

ワイヤ側：ゲート電流、V_{CE}測定によるオープン故障



実験（実施項目と確認事項）

デバイスメーカー7社のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)

にパワーサイクル試験によるベンチマーク試験を実施

□構造関数で劣化の進行状況が捉えられるか？

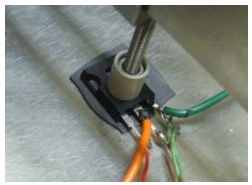
□超音波画像診断との組合せで開封しなくても故障箇所が分るか？

参考（従来のパワーサイクル寿命試験の課題）

パワーサイクル試験と劣化判定を別々の装置で実施

⇒試験再開ごとに意図しない取り付け方法の差異が生じ、

結果に影響を与える懼れがあった



⇔

付け替え

© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

2. サンプルの規格値と実測値

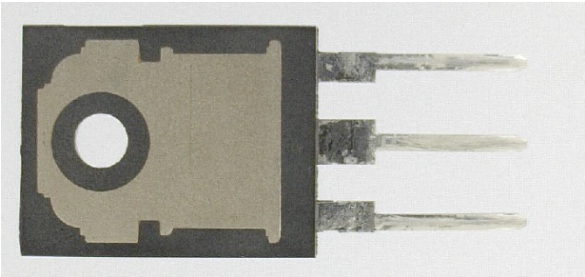
・BV_{CES}=600~650V、I_C=35~75Aクラスの7機種を
同一条件のパワーサイクル試験で比較(ベンチマーク試験)

製造元	BV_{CES} min	I_{CES} max	$V_{GE(th)}$ max	$V_{CE(SAT)}$ max VGE=15V	V_{FM} max	$R_{\theta JC}$ [℃/W] IGBT	FRD
A 社	650V	25uA	7.0V(1mA)	2.3V(40A)	2.45V(40A)	0.53	1.14
実測値	895V	0.102uA	5.867V	1.608V	1.593V		
B 社	600V	50uA	6.5V(1mA)	1.95V(35A)	2.80V(8A)	0.49	3.35
実測値	700V	0.243uA	5.705V	1.645V	1.623V		
C 社	650V	250uA	6.5V(0.25mA)	2.4V(40A)	2.6V(20A)	0.43	1.45
実測値	751V	0.046uA	5.642V	1.920V	1.788V		
D社	600V	250uA	5.0V(0.25mA)	1.8V(60A)	FRD無し※1	0.23	-
実測値	702V	0.227uA	4.105V	1.441V	-		
E 社	600V	40uA	5.7V(1.2mA)	2.0V(75A)	2.0V(75A)	0.35	0.6
実測値	763V	0.061uA	5.022V	1.557V	1.583V		
F 社	600V	100uA	6.5V(5mA)	2.0V(50A)	3.5V(50A)	0.38	0.6
実測値	704V	0.200uA	6.090V	1.641V	2.086V		
G 社	600V	5uA	6.0V(1mA)	2.2V(40A)	1.9V(30A)	0.48	2.1
実測値	732V	0.023uA	5.036V	1.812V	1.338V		

※1 D社品はFRD（First Recovery Diode）なし

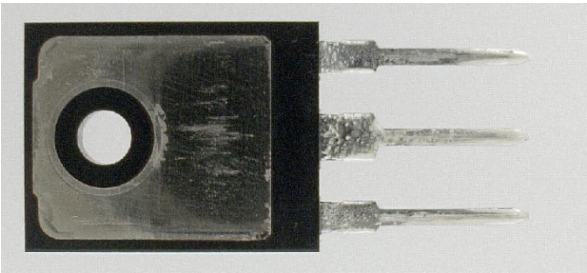
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

3-１. 外観観察 (A~E:TO-247、F,G:TO-3P)

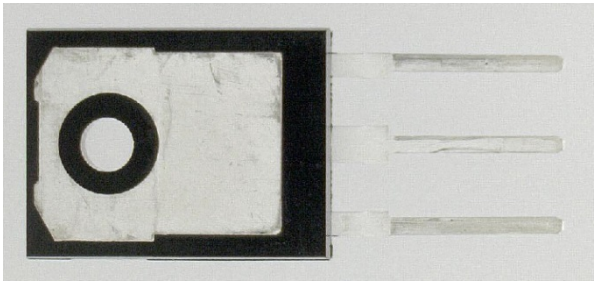


A 社

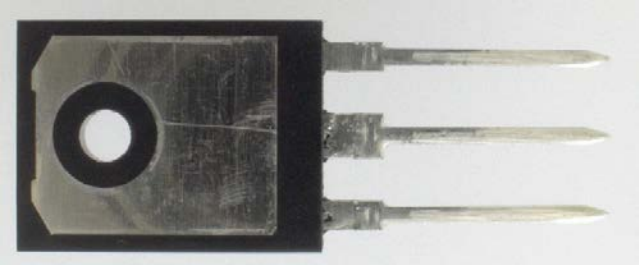
TO-247,TO-3Pパッケージ品で同等
外観に異常は無い
放熱板の形状に若干の違いがある
(捺印面にも異常は無い)



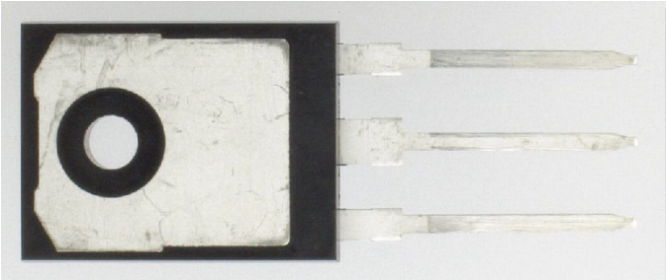
B 社



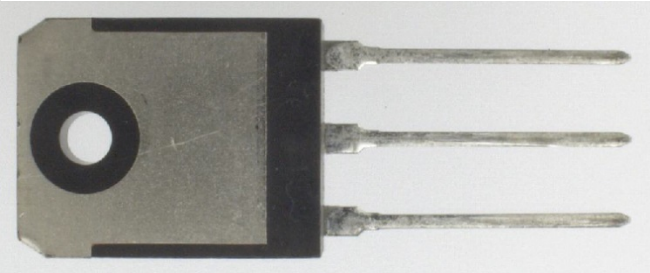
C 社



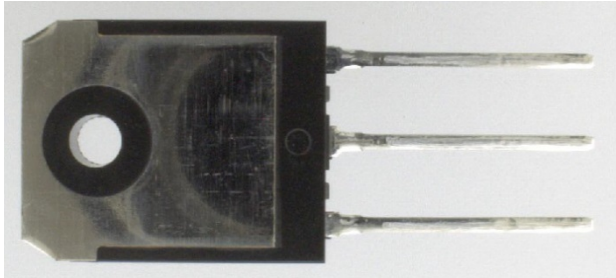
D 社



E 社



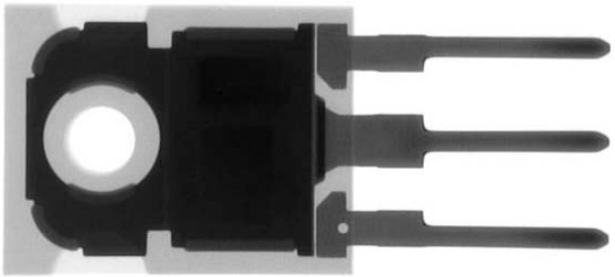
F 社



G 社

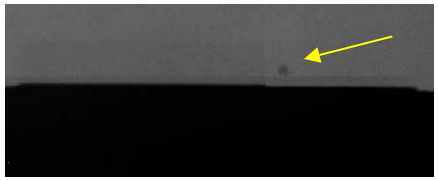
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

3-2. X線画像診断 (A~G社)

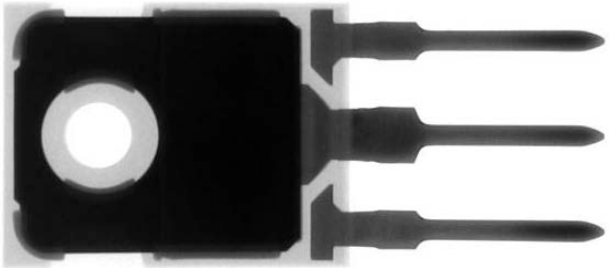


A 社

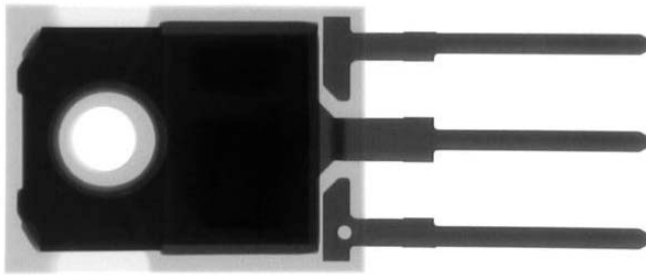
7社品とも特筆すべき異常は認められない



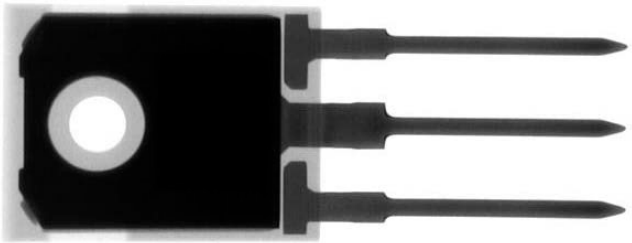
B社のチップ表面に異物あり



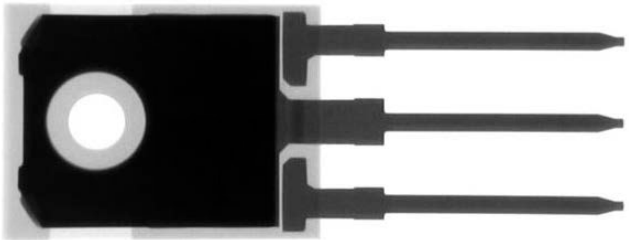
B 社



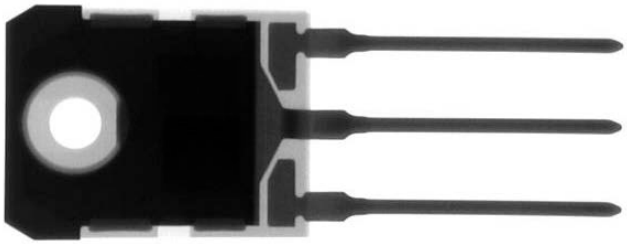
C 社



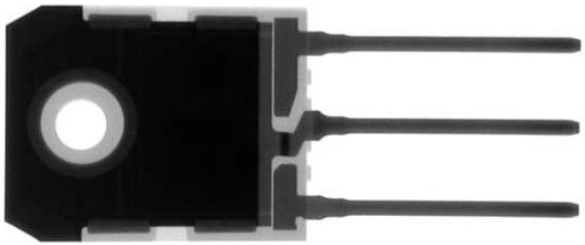
D 社



E 社



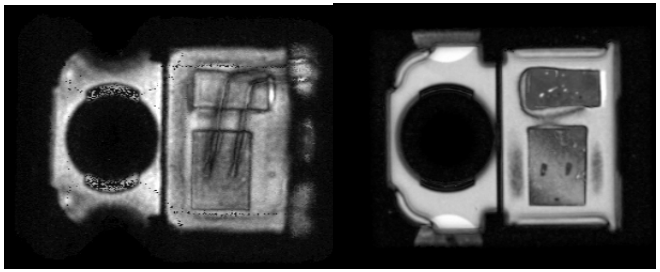
F社



G 社

© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

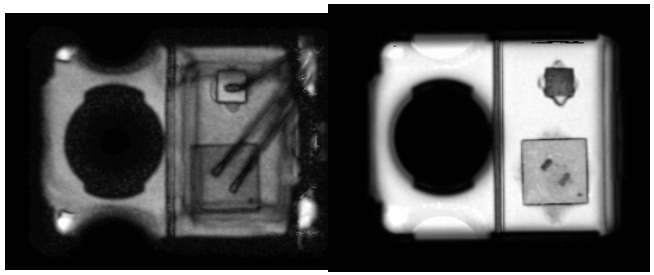
3-3. 超音波画像診断(A~G社)(左:チップ搭載面、右:放熱板面から撮像)



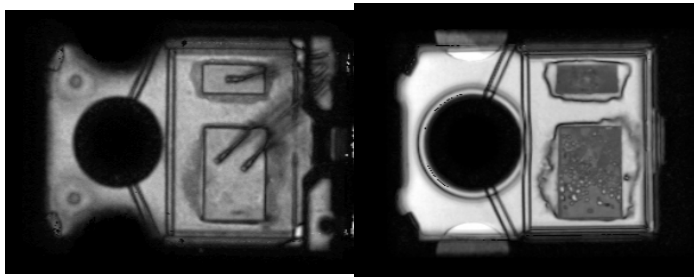
A 社

- 7社ともチップと放熱板との剥離はない
- D社品のみIGBTの1チップ構成
- X線では写らなかったアルミワイヤが確認可能
- チップとワイヤの圧着痕が確認可能
  （故障解析時の超音波画像診断に期待大）

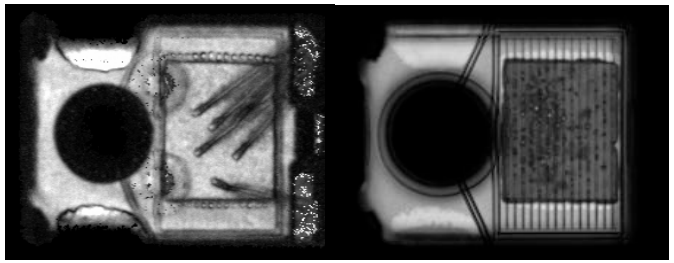
（放熱板面の画像は上下反転させている）



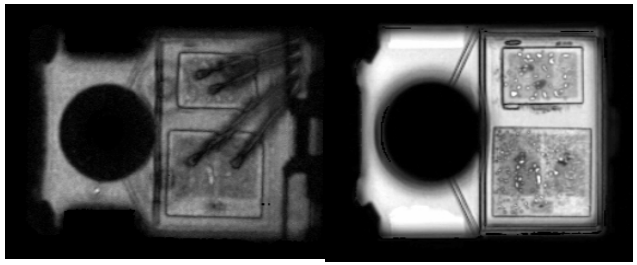
B 社



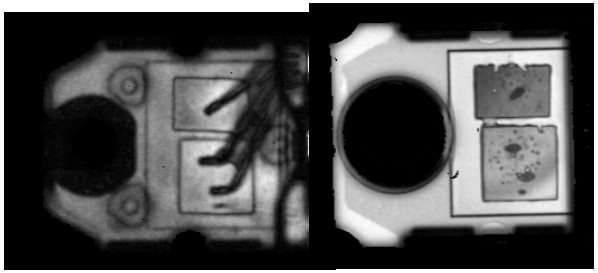
C 社



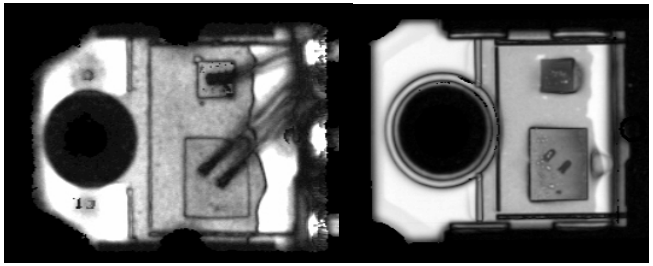
D 社



E 社



F 社



G 社

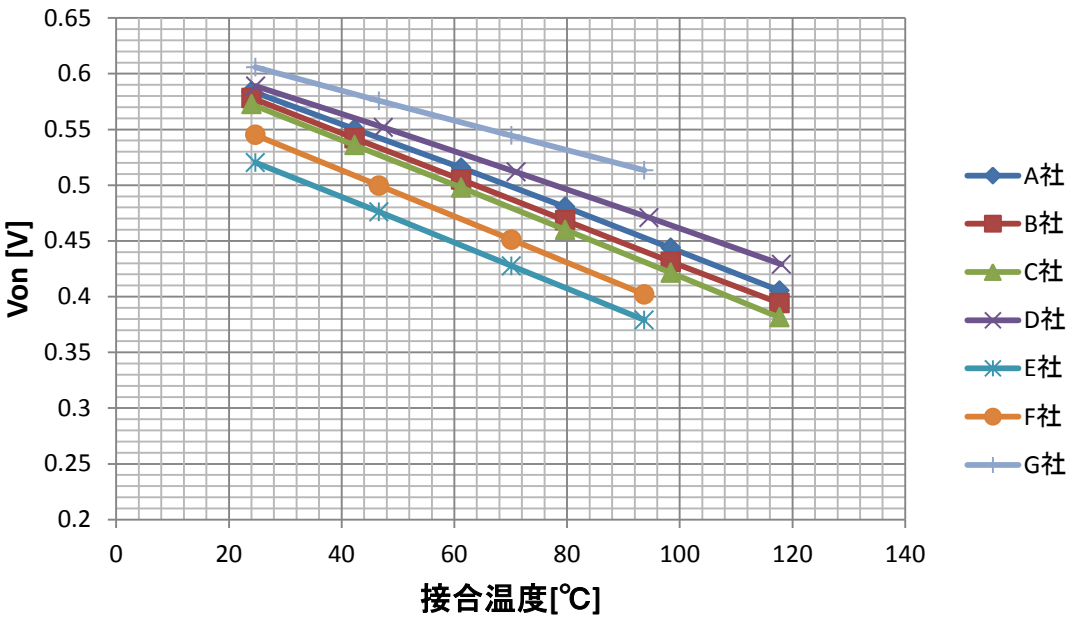
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

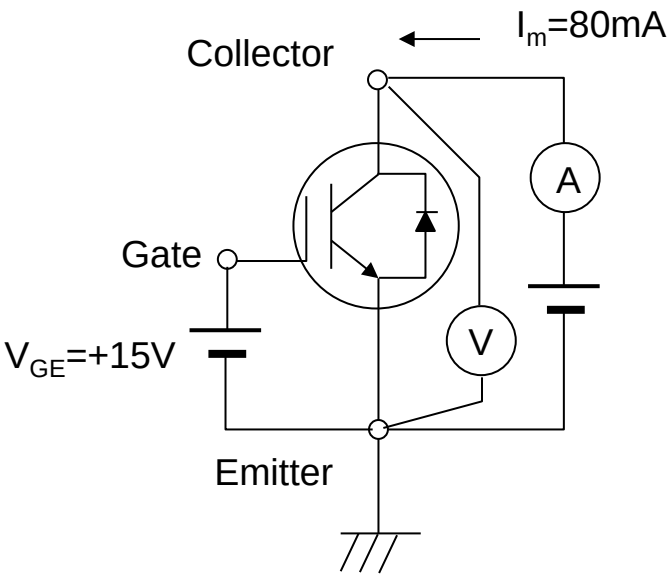
4. 温度係数の測定

極めて良好な線形性＝正確な接合温度をON電圧でモニタできる（相関係数=1）

A社　：　V_{ON} = -0.0019 Tj + 0.6311　（R^2 = 0.9997）
B社　：　V_{ON} = -0.002 Tj + 0.6253　（R^2 = 1）
C社　：　V_{ON} = -0.002 Tj + 0.6221　（R^2 = 1）
D社　：　V_{ON} = -0.0017 Tj + 0.6324　（R^2 = 0.9997）
E社　：　V_{ON} = -0.002 Tj + 0.5711　（R^2 = 1）
F社　：　V_{ON} = -0.0021 Tj + 0.5964　（R^2 = 1）
G社　：　V_{ON} = -0.0013Tj + 0.6384　（R^2 = 0.9999）

接合温度とON電圧（Von）の関係





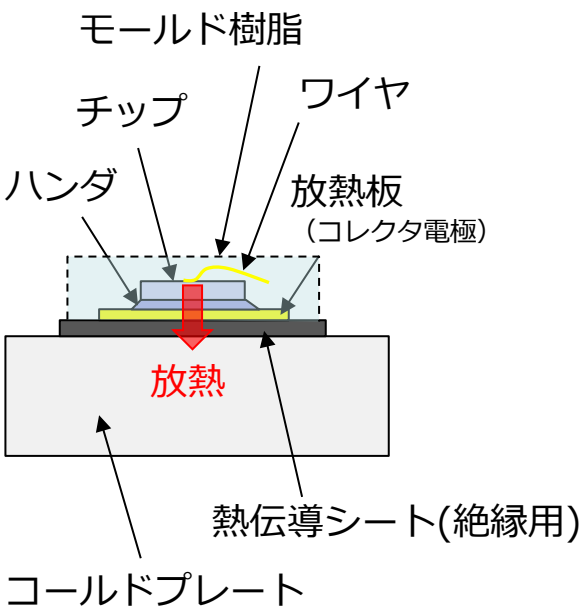
温度係数測定回路

・温度係数測定用ホットプレートにIGBTを装着
・測定電流（Im）を設定
・測定温度（開始温度、ホットプレートの昇温ステップ）を設定
・設定温度に到達し安定したらImをフォースし、
その時のON電圧（V_{on}=$V_{CE(sat)}$）を測定する

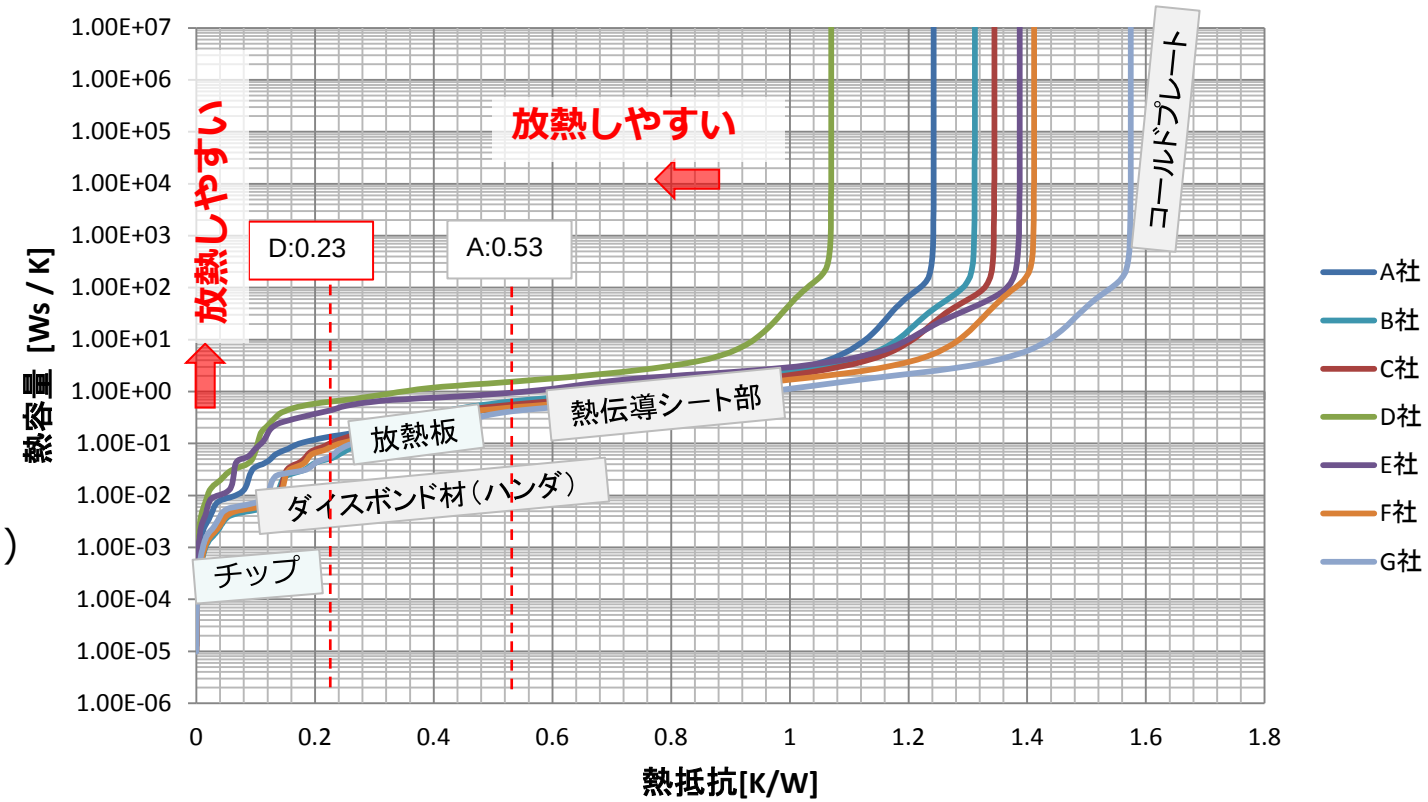
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

5. 初期の構造関数比較

・D社の放熱特性が最も優れている（チップの発熱を逃がしやすい構造）
・7社の構造の違いが構造関数の形の違い反映されている
（数字の左側がパッケージ内部、右側がパッケージの外部）
・ チップとダイスボンド材の熱抵抗： D社,E社,A社 ＜ B社,C社,F社,G社
・ コールドプレート（水冷冷却ステージ）までの熱抵抗:
D社,A社,B社 ＜ C社,E社,F社,G社

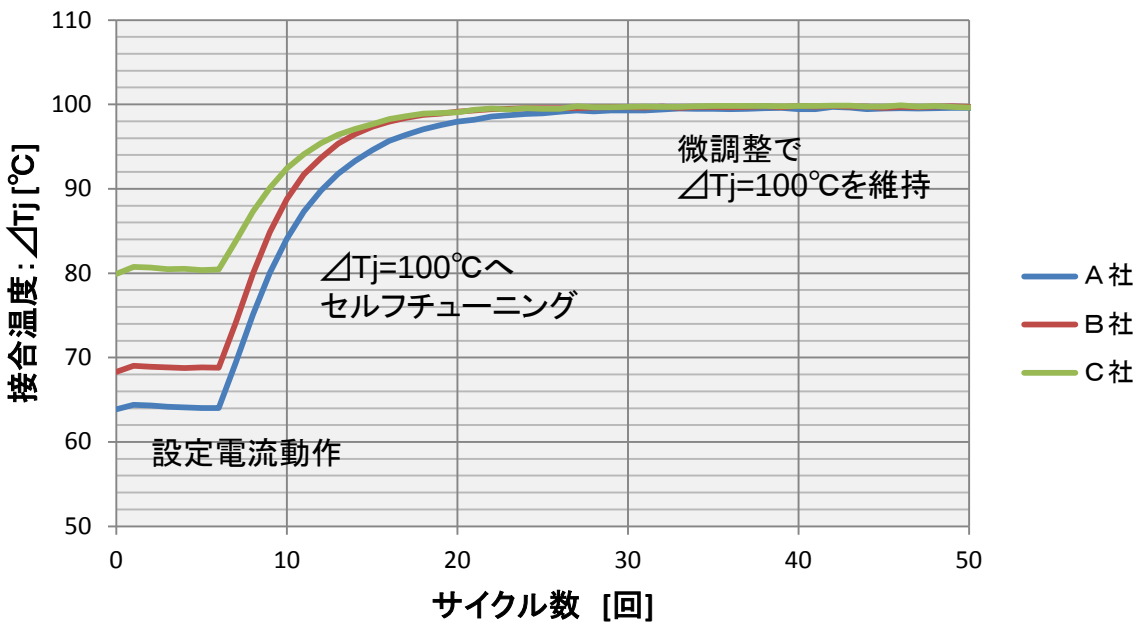


構造関数
＝発熱の逃がしやすさの尺度

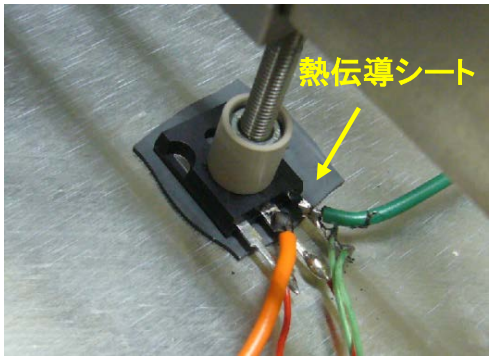


6. パワーサイクル寿命試験条件

⊿Tj=一定（100℃；Tjmax=125℃, Tjmin=25℃）
ON時間：10秒、OFF時間：10秒、1000サイクルごとに構造関数を採取
通電時間と試験モード（⊿Tj一定、Iforce一定、⊿P一定)を設定すれば
電流値を装置が自動調節



⊿Tj=100℃設定によるサイクルごとのチップの接合温度
6サイクルまでは設定電流値に従い、その後、設定された⊿Tjに合わせるように電流値を調整(7~25cyc程度）、微調整で⊿Tjを100℃に追従させる。



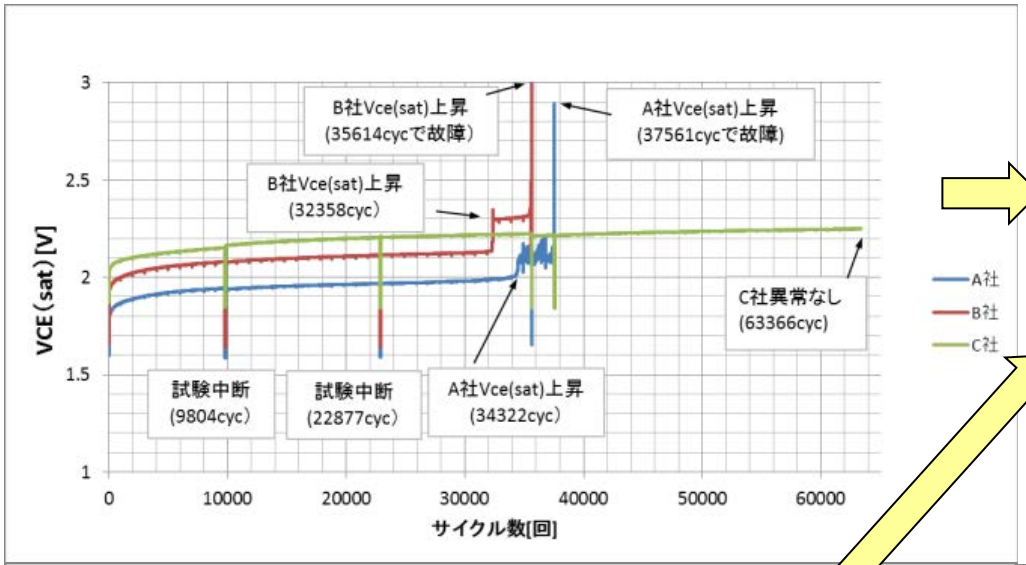
熱伝導シートを挟み電気的に絶縁

固定ネジの締め付けにトルクレンチを使用

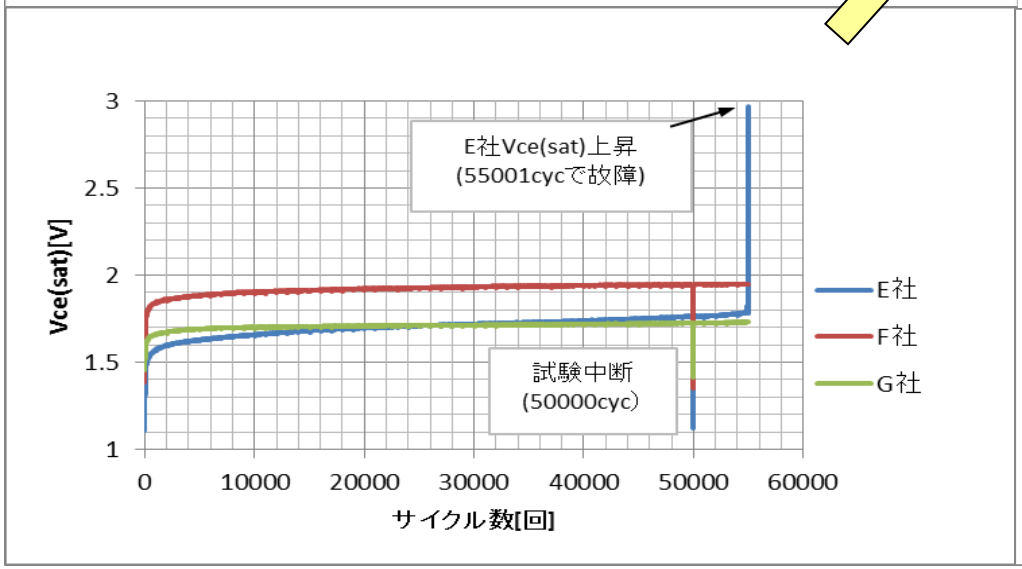
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

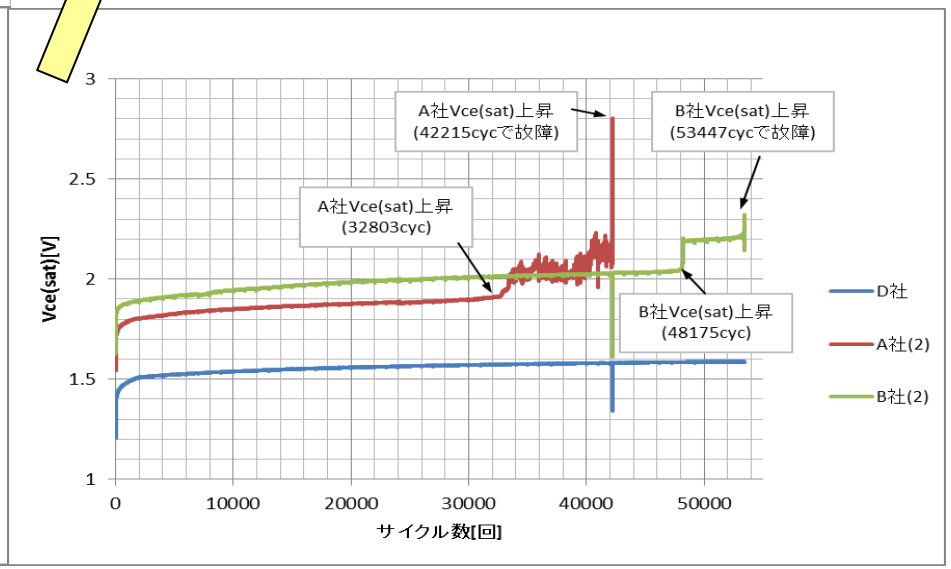
7. パワーサイクル寿命試験結果

A社(2個)、B社(2個)、E社のIGBTでVCE(SAT)が上昇するOPEN系の故障が発生



製造元	BV_{CES} min	I_{CES} max	$V_{GE(th)}$ max	$V_{CE(SAT)}$ V_{GE}=15V	V_{FM} max	故障発生サイクル数
A社(1)	697V	0.132uA	5.850V	2.207V	1.591V	37561
B社(1)	692V	0.294uA	7.350V	>5V	>5V	35614
C社	731V	0.061uA	5.451V	1.930V	1.783V	>63366
E社	738V	0.071uA	4.997V	1.940V	1.582V	55001
F社	690V	0.221uA	5.805V	1.689V	2.070V	>55001
G社	730V	0.029uA	5.012V	1.824V	1.335V	>55001
A社(2)	678V	0.165uA	5.981V	2.116V	1.576V	42215
B社(2)	688V	0.297uA	6.038V	1.744V	1.621V	53447
D社	678V	0.288uA	4.346V	1.573V	-	>53447

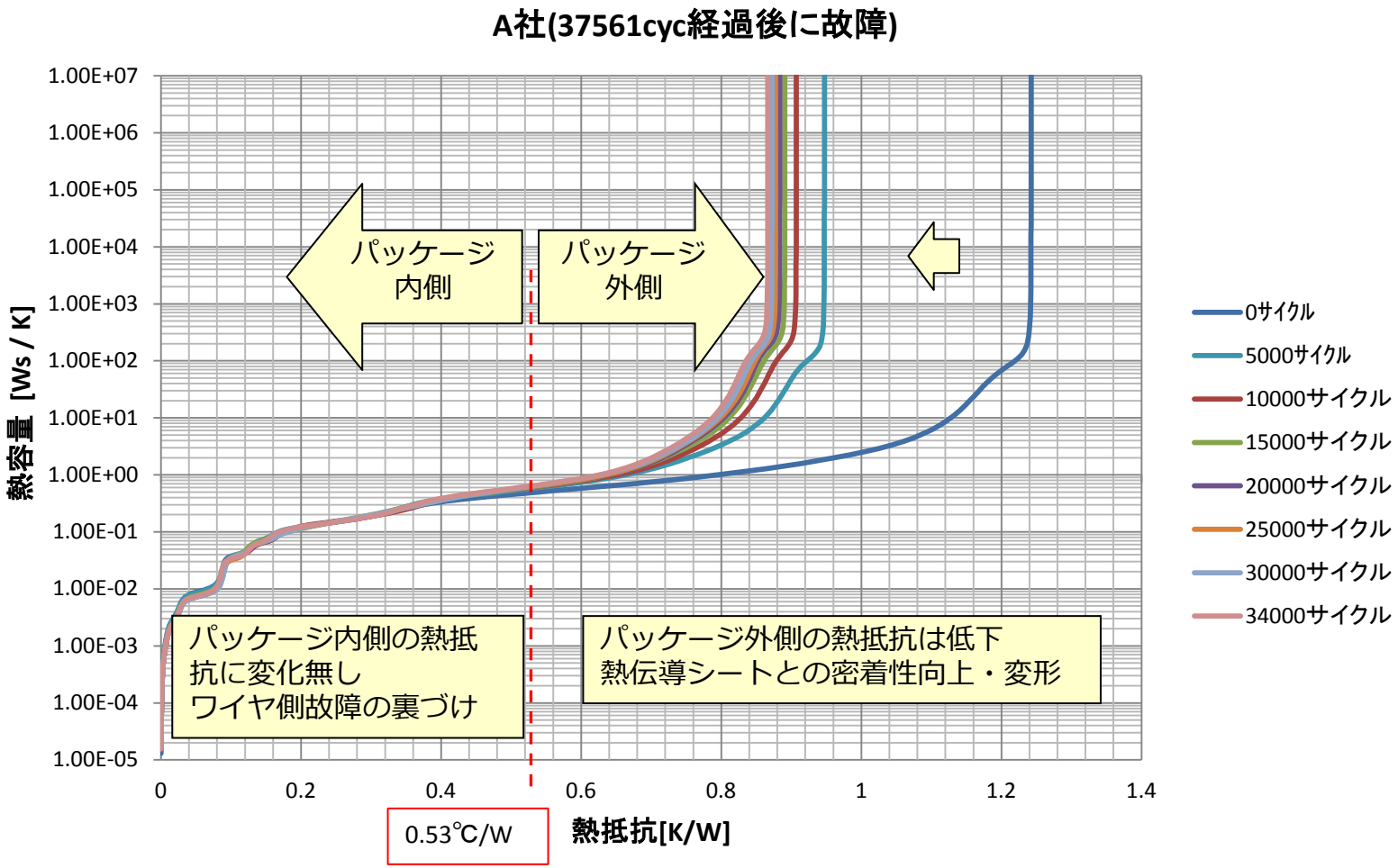




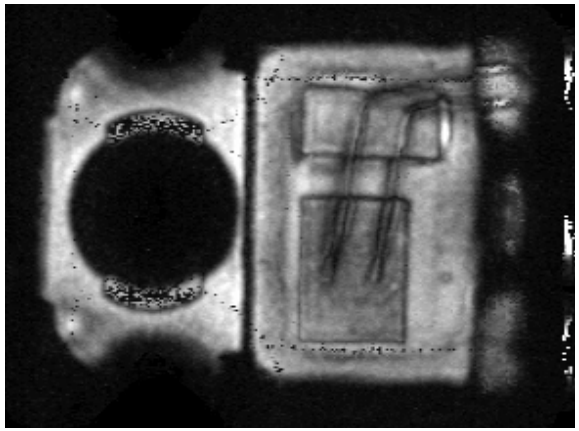
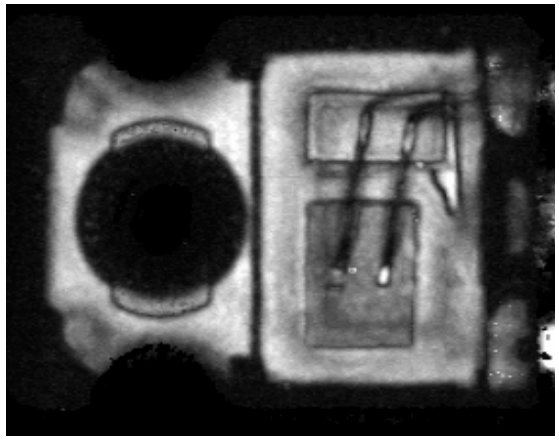
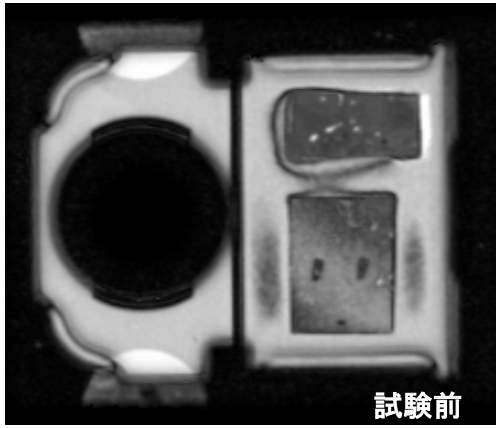
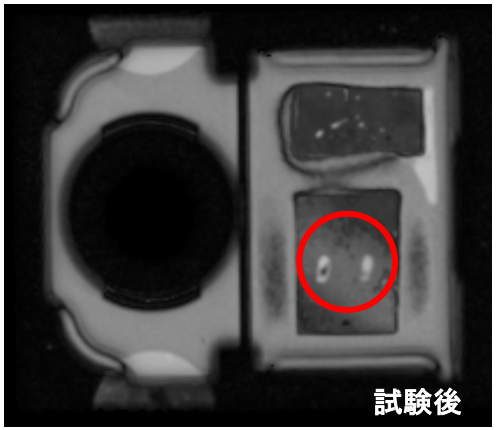
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

8.1 故障品の解析結果（構造関数：A社の例）

ワイヤ側の故障を裏付ける結果
他の故障品（A社：2個目、B社：1～2個目、E社）も同様

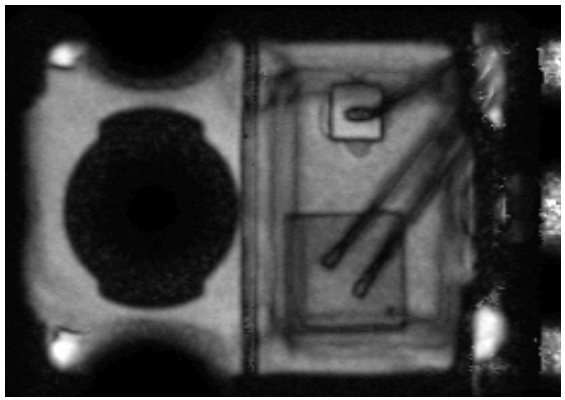
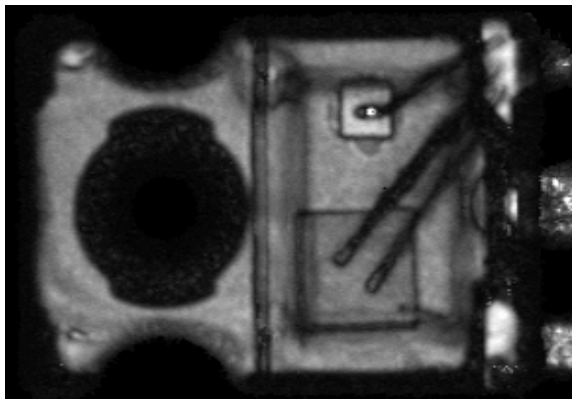
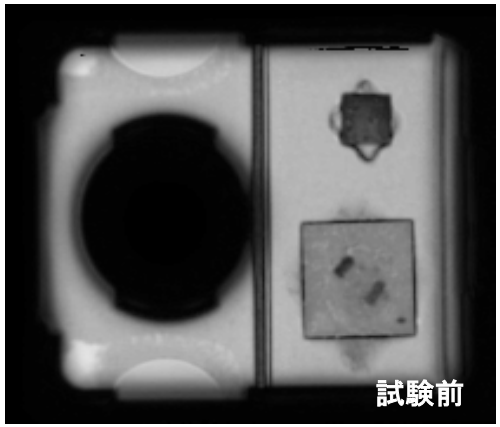
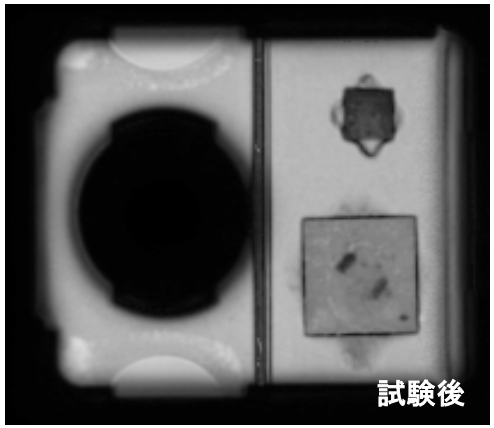


8.2 故障品の解析結果（超音波画像比較：A社）

	試験前	試験後(37561cycで故障)
チップ搭載面 観察深度 モールド樹脂とチップ表面との接触面		
放熱板面 観察深度 放熱板とチップとの接着面 (上下反転画像)		 **ワイヤ痕に剥れの兆候あり**

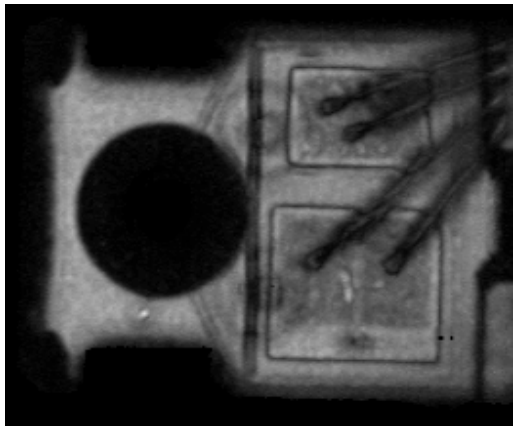
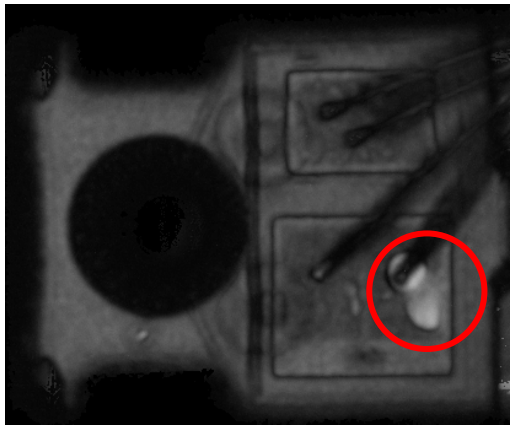
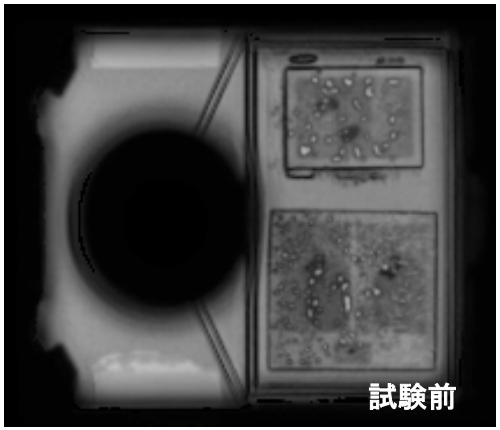
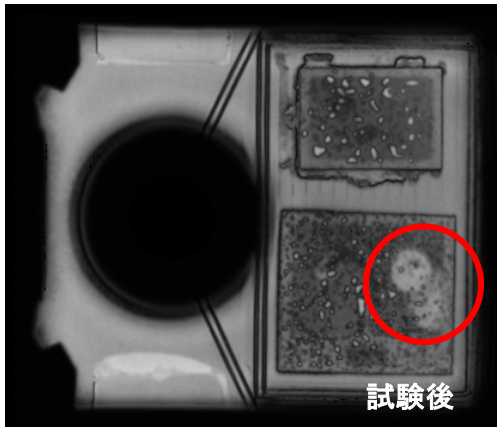
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

8.3 故障品の解析結果（超音波画像比較：B社）

	試験前	試験後(35614cycで故障)
チップ搭載面 観察深度 モールド樹脂とチップ表面との接触面		
放熱板面 観察深度 放熱板とチップとの接着面 (上下反転画像)		 **ワイヤ痕に剥れの兆候なし**

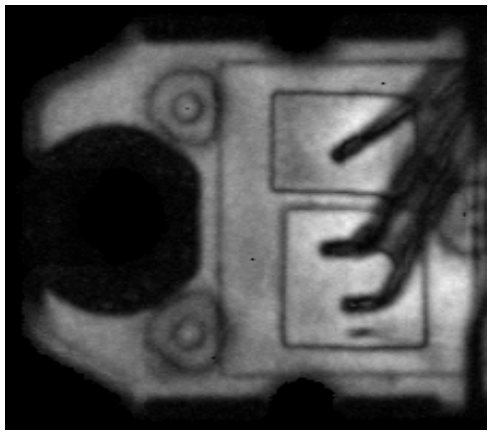
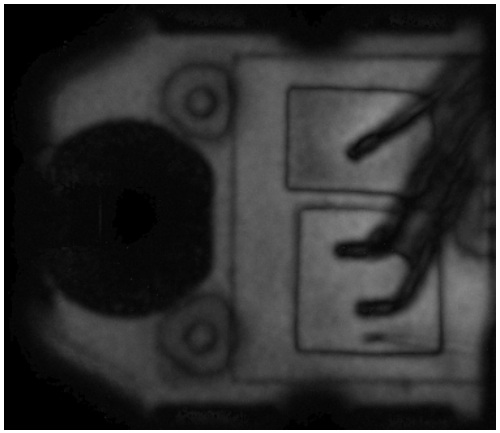
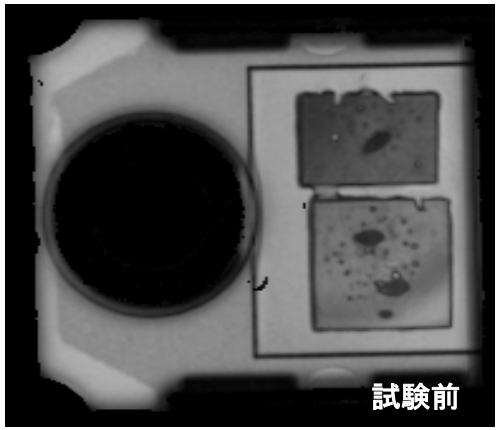
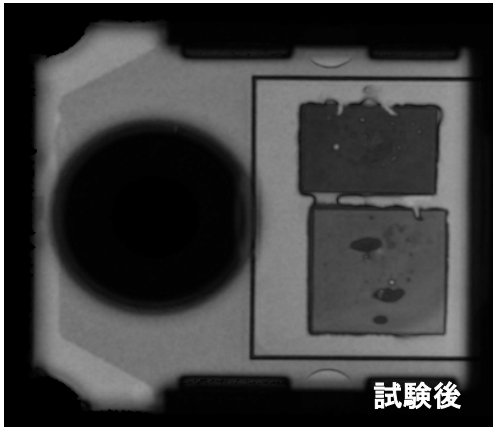
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

8.4 故障品の解析結果（超音波画像比較：E社）

	試験前	試験後(55001cycで故障)
チップ搭載面 観察深度 モールド樹脂とチップ表面との接触面		
放熱板面 観察深度 放熱板とチップとの接着面 (上下反転画像)		 **ワイヤ痕に溶融の兆候あり**

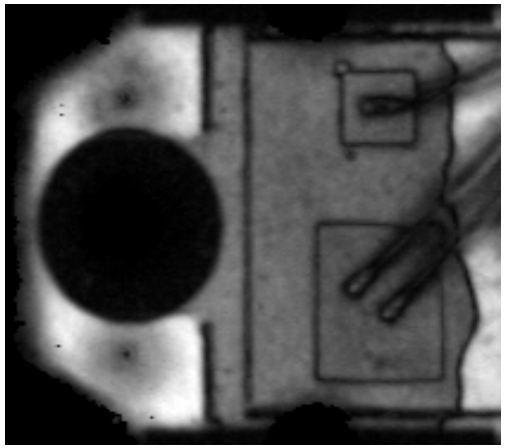
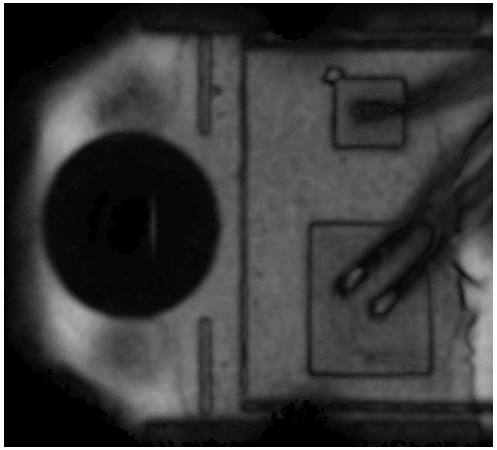
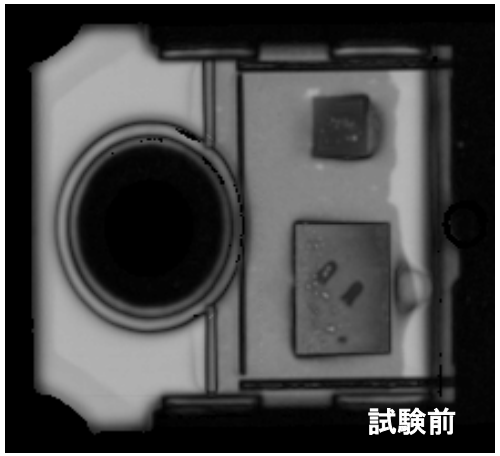
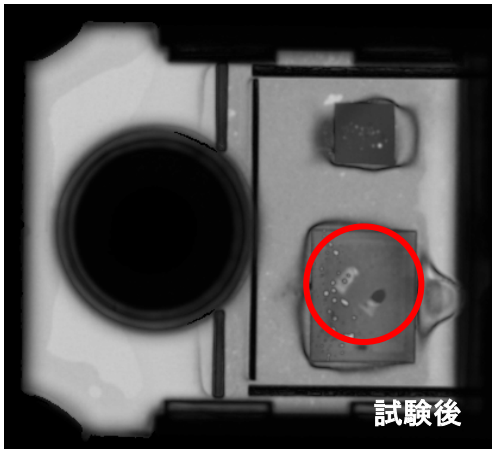
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

8.5 故障品の解析結果（超音波画像比較：F社）

	試験前	試験後(55001cyc故障なし)
チップ搭載面 観察深度 モールド樹脂とチップ表面との接触面		
放熱板面 観察深度 放熱板とチップとの接着面 (上下反転画像)		 **ワイヤ痕に剥れの兆候なし**

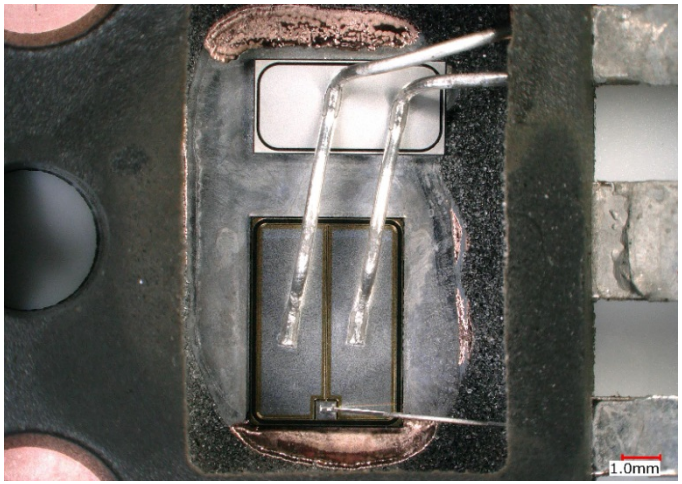
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

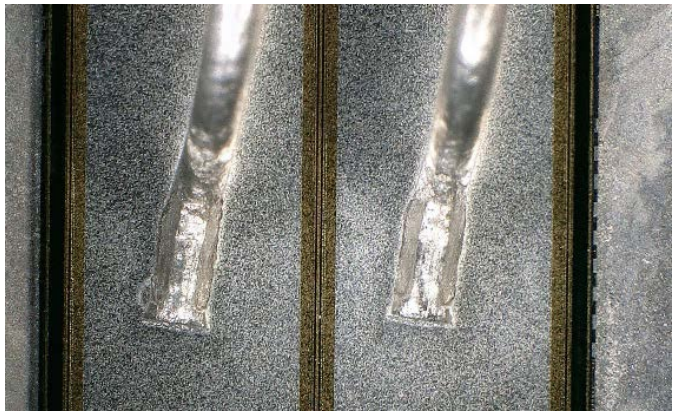
8.6 故障品の解析結果（超音波画像比較：G社）

	試験前	試験後(55001cyc故障なし)
チップ搭載面 観察深度 モールド樹脂とチップ表面との接触面		
放熱板面 観察深度 放熱板とチップとの接着面 (上下反転画像)		 **ワイヤ痕に剥れの兆候あり**

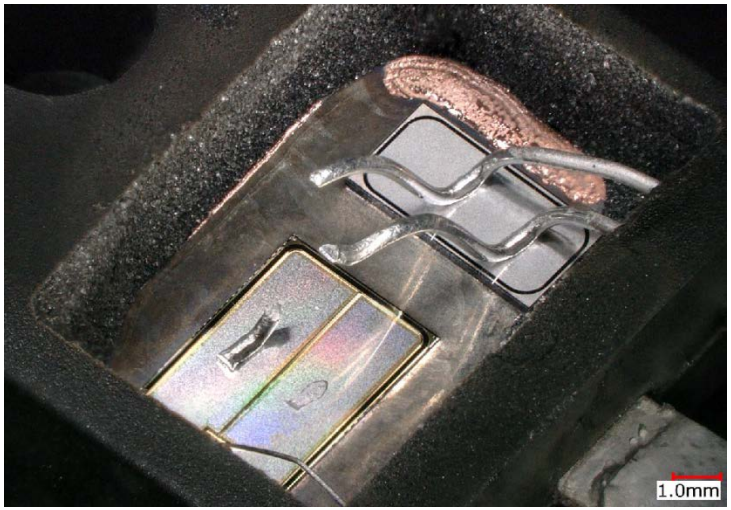
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

8.7 故障品の解析結果（樹脂開封~表面観察：A社）





開封直後（アルミワイヤに異常は見られない）



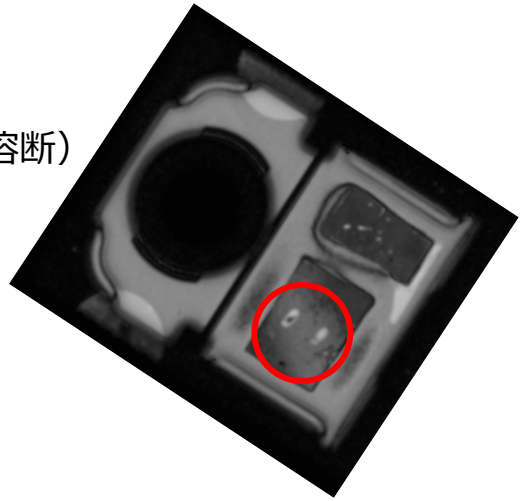
ボンドプル試験機で引っ張り強度を測定

⇩

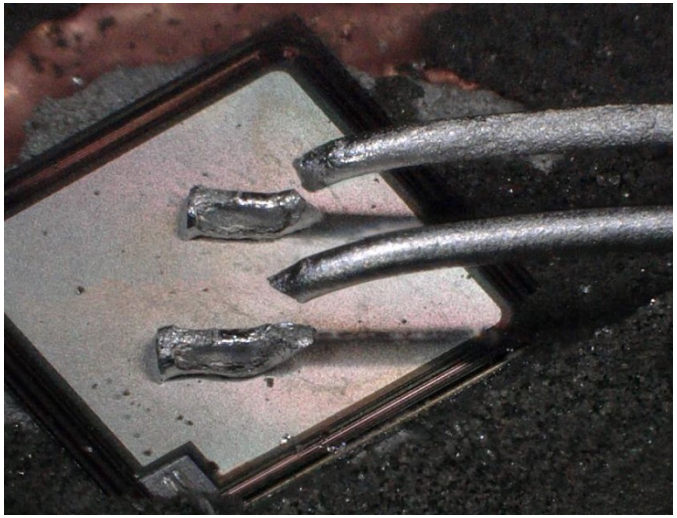
ワイヤ剥れと溶断
（1本目が剥れた後に2本目が溶断）

⇩

超音波画像と一致
左＝中央部が接触
右＝完全に剥離



8.8 故障品の解析結果（樹脂開封~表面観察：B社）



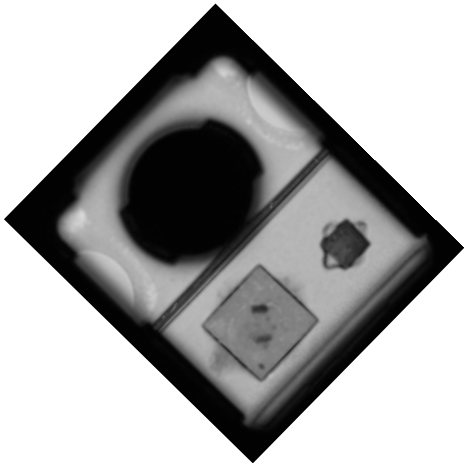
アルミワイヤがボンディングの
引き上げ部（くびれ部）で溶断

⇩

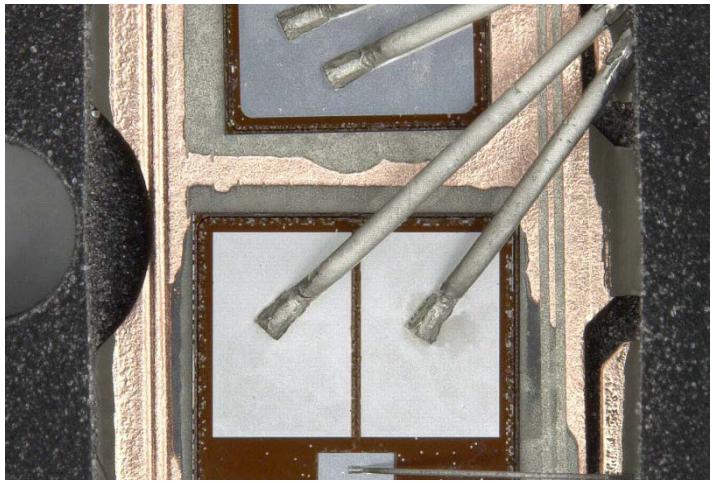
<u>剥れではなく溶断</u>

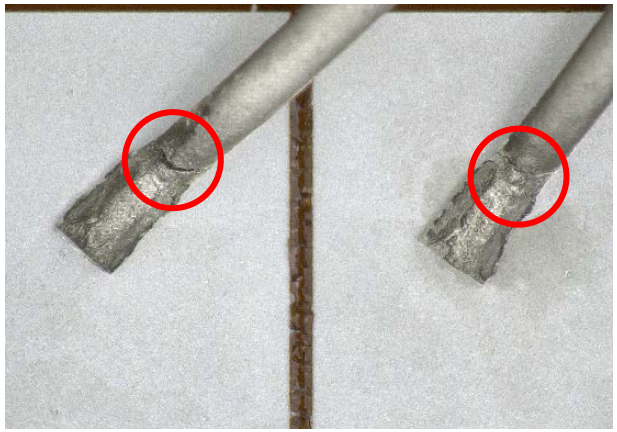
⇩

超音波画像と一致
（2本とも剥れの兆候なし）

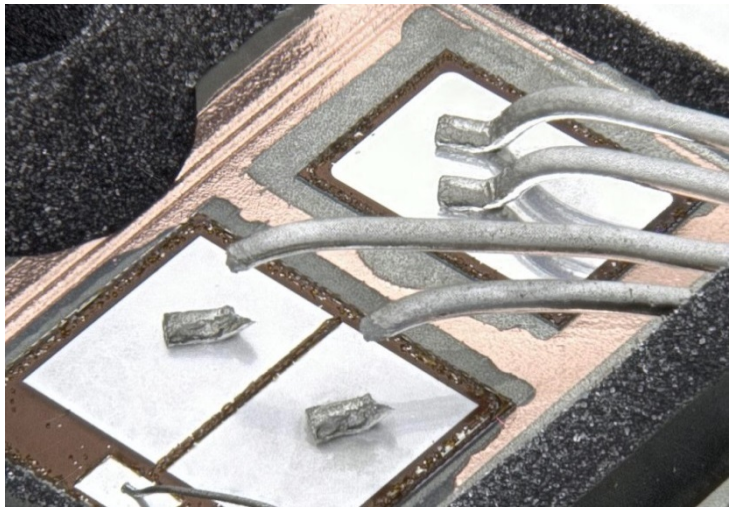


8.9 故障品の解析結果（樹脂開封~表面観察：E社）





開封直後（アルミワイヤの屈曲部に亀裂）



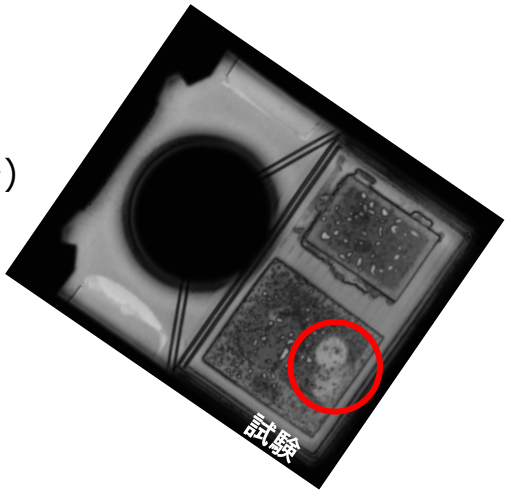
ボンドプル試験機で引っ張り強度を測定

⇩

ワイヤ溶断
（0.03,0.04kgfでワイヤ浮き）

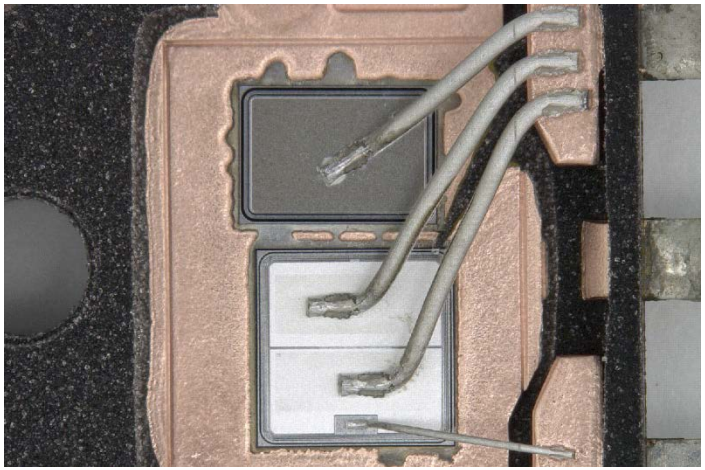
⇩

超音波画像と一致
右ワイヤ周辺に
アルミの溶融痕

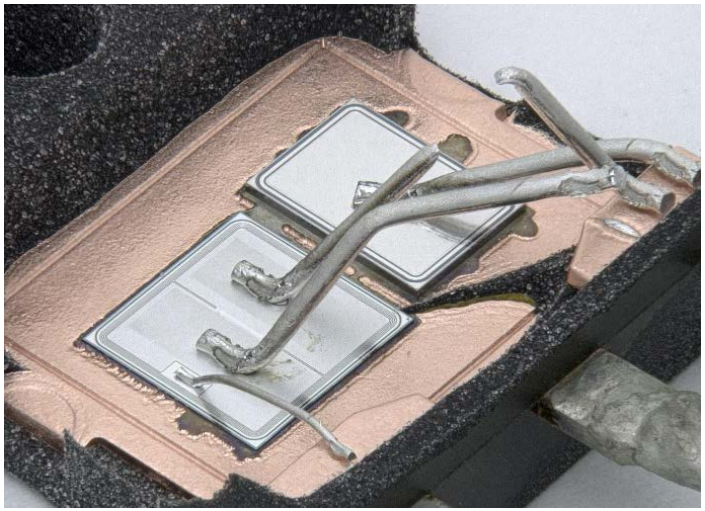


© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

8.10 故障品の解析結果（樹脂開封~表面観察：F社）



開封直後（アルミワイヤに異常は見られない）



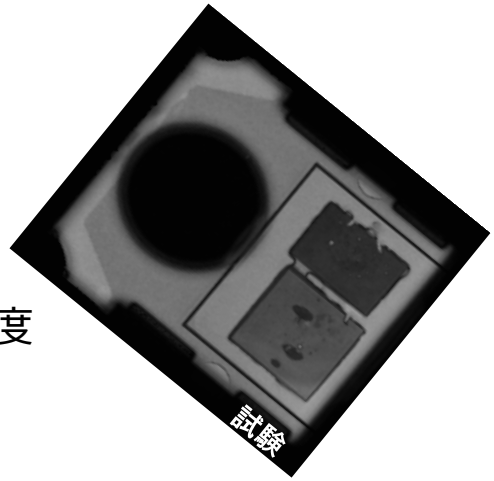
ボンドプル試験機で引っ張り強度を測定

⇩

ワイヤ破断
（0.6,1.1kgfの荷重を観測）

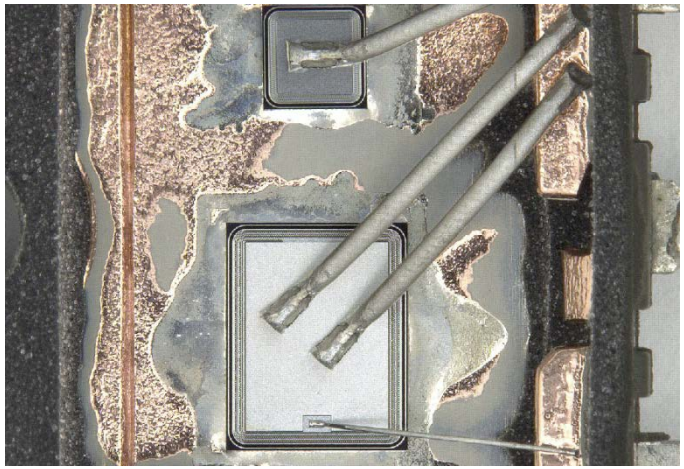
⇩

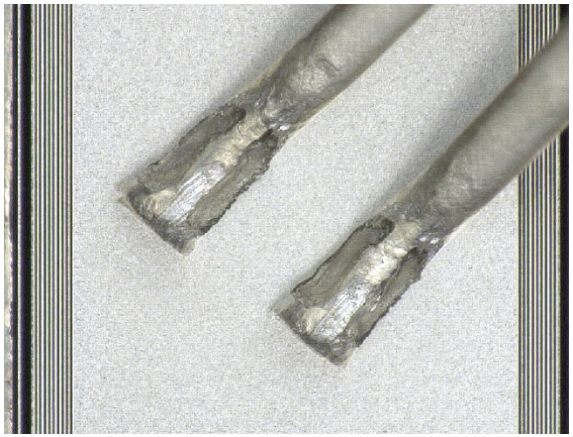
チップとワイヤの接合強度
が確保された状態



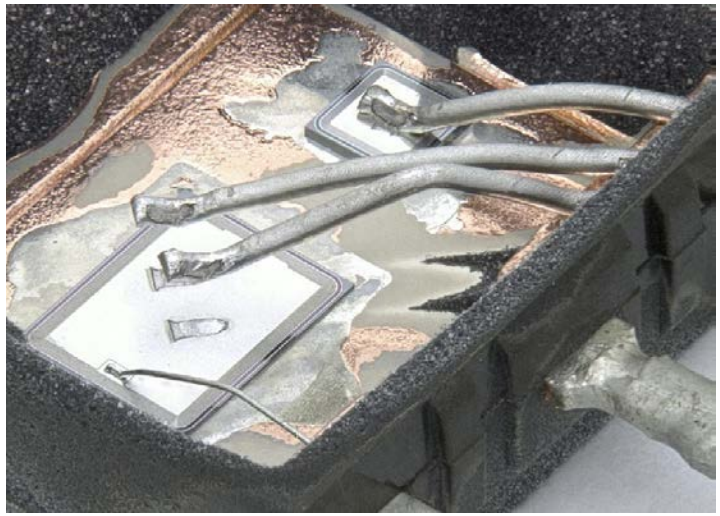
© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

8.11 故障品の解析結果（樹脂開封~表面観察：G社）





開封直後（アルミワイヤに異常は見られない）



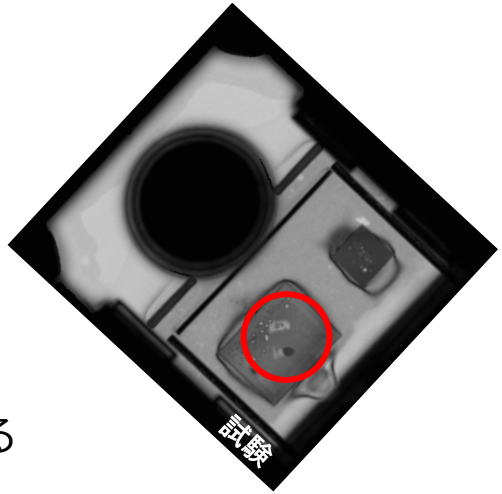
ボンドプル試験機で引っ張り強度を測定

⇩

ワイヤ剥れ
（荷重：0.04,0.67kgf）

⇩

超音波画像と一致
左＝ほぼ剥れている
右＝半分以上剥れている



© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.

9. まとめ

【実施したこと】

■劣化診断機能を備えたパワーサイクル試験装置で7社比較を実施
（条件：10秒ON/10秒OFF, ⊿Tj=一定（100℃）のショートタイム試験）

■7社中3社のIGBTで故障発生（サイクル数は30000サイクル以上）
- $V_{CE(sat)}$が増大するオープン系の故障
- パッケージ内部(チップ下）の熱抵抗を表す構造関数には変化無し
- 超音波画像観察でワイヤ部に剥離の兆候を確認（A社、G社）
- 樹脂開封後の顕微鏡観察でワイヤ部の剥離(溶断)を確認（B社、E社）

【確認したこと】

□製造メーカーや仕様の異なるデバイスの寿命比較(ベンチマーク試験)が可能
⇒ 付け外しに伴う意図しない誤差要因の排除

□構造関数による劣化の進行状況の把握が可能
⇒ 構造関数に変化が現れていない　⇒ ワイヤ側の故障の裏づけ

□超音波画像診断装置との組合せが有効
⇒ 未開封(非破壊)で故障箇所の特定が可能
⇒ 解析期間の短縮（費用削減効果：大）

© Copyright 2016 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

》お問合せ先

沖エンジニアリング株式会社

□ デバイス評価事業部
　営業グループ
□ 加藤 且宏

□ TEL：03-5920-2366
□ お問合せフォーム：https://www.oki.com/cgi-bin/inquiryForm.cgi?p=k037
□ URL：http://www.oeg.co.jp/

© Copyright 2016 Oki Engineering Co., Ltd.