

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03863

研究課題名(和文) パワーモジュール接合部の損傷モデルの構築

研究課題名(英文) Damage modeling for joining parts of power module

研究代表者

宮崎 則幸 (Miyazaki, Noriyuki)

佐賀大学・理工学部・客員研究員

研究者番号：10166150

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：Wire-liftoffは、パワーモジュールの動作中の熱応力により生じるボンディングワイヤと半導体チップの剥離である。本研究ではwire-liftoff寿命を予測する損傷モデルを提案した。以下に研究成果を示す。(1) Wire-liftoff寿命を予測する損傷モデルとして、非線形破壊力学パラメータ T^* 範囲を含む寿命予測式を提案した。(2) 損傷モデルには熱疲労試験データが必要であるが、そのようなデータの取得には長時間を要する。そこで、短時間で取得可能な4点曲げ疲労試験で熱疲労試験を置き換える方法を提案した。(3) 損傷パラメータの計算に必要なAlワイヤの温度依存非線形構成式を取得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのパワーモジュールの信頼性研究手法は、経験則に基づいたものであり、製作されたパワーモジュールの事後寿命評価あるいは使用期間中の余寿命評価には有効であるが、形状・寸法あるいは熱的環境条件を変更する必要がある設計段階での寿命評価には適していない。そこで本研究では、機械工学的に合理性のある損傷モデル、特に破壊力学パラメータに基づいた信頼性評価手法を開発したことに学術的な意義がある。また、パワーデバイスは各種機器の電力低損失化に寄与する省エネのためのキーデバイスであり、長寿命で高信頼性を有するパワーモジュールの研究は低炭素社会の実現と安全・安心な社会の実現といった課題の解決に貢献する。

研究成果の概要(英文)：Wire-liftoff caused by repeated thermal stress during the operation of a power module is the separation between a bonding wire and a semiconductor chip. In the present study, we proposed a failure model predicting the wire-liftoff lifetime. The followings are results of the present study. (1) We proposed a failure model based on the nonlinear fracture mechanics parameter T^* range for predicting wire-liftoff lifetime. (2) We need thermal fatigue data in the failure model. It takes a long time to acquire such data. So we proposed a 4-point bending fatigue test to replace a thermal fatigue test. (3) We presented temperature-dependent inelastic constitutive equations for Al-wire for calculating damage parameters.

研究分野：材料力学

キーワード：パワーモジュール 高信頼性 長寿命化 損傷モデル ワイヤボンド部 熱疲労寿命 非線形ひずみエネルギー密度範囲 非線形破壊力学パラメータ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

パワーデバイスは電力制御および効率的な電力変換に重要な役割を果たしている。信頼性が高く長寿命なパワーモジュール(以降 PM と略称する)の研究は、省エネルギーで持続可能な社会の実現に大きく寄与する。IGBT(=Insulated Gate Bipolar Transistor)を考えると、強度信頼性上で重要な箇所の一つはチップと配線ワイヤの接合部分である。PM の運転条件下では、繰返し温度変動を受け、構成材料の線膨張率の差異により繰返し熱応力が作用する。したがって、PM の強度信頼性にとって重要な課題の一つは、ワイヤがチップからはく離する Wire-liftoff といった熱疲労現象である。これまで、広く用いられている寿命評価式は、欧米の電気系研究者によって提案された温度範囲 ΔT をベースとした経験式である。そのような寿命評価式は実験データ取得に用いた特定の PM のみに適用可能で、汎用性に欠ける。そこで、より汎用性が高く、機械工学的合理性を有し、設計段階での寿命評価を行うことができる損傷則が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、下記の3項目の研究を実施した。(1) PM の寿命評価解析プログラムに組み込むために、ワイヤボンド部の損傷(Wire-liftoff)を適切に評価し得る損傷パラメータを検討し、損傷モデルを構築する。(2)上記の損傷モデル構築に際して長時間の実験時間を要する熱疲労試験データが必要になるが、これを短時間で実験可能な変位制御型機械的疲労試験で置換える実験方法を新たに提案する。(3) 損傷パラメータを計算するために必要なアルミワイヤの非弾性構成式の取得する。

3. 研究の方法

(1) Wire-liftoff 現象の損傷則

これまで産業界で広く用いられてきた IGBT の Wire-liftoff の寿命評価式は、下式に示すように Wire-liftoff 破損の生じるサイクル数 N_f (疲労寿命)を、温度範囲 ΔT と関連づけたものである。

$$N_f = C_1(\Delta T)^{p_1} \quad (3.1)$$

ここで、 C_1 、 p_1 は材料定数である。上式をベースとして寿命に影響を及ぼす因子も考慮した経験式を考え、影響因子に関わる定数は PM の寿命評価実験に合うように決めている。このように決定された寿命評価式は、用いられている PM の材料が同一であっても、形状寸法が異なる場合、あるいは熱的環境条件が異なる場合には、実験データを取りなおさなければならない。

機械工学の観点からは、疲労寿命は下記に示す Coffin-Manson 則で与えられる。

$$N_f = C_2(\Delta \varepsilon_p)^{p_2} \quad (3.2)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon_p$ は塑性ひずみ範囲、 C_2 、 p_2 は材料定数である。高温度域ではクリープひずみも生じるので、式(3.2)は、非弾性ひずみ範囲 $\Delta \varepsilon_{in} (= \Delta \varepsilon_p + \Delta \varepsilon_c)$ を用いて、下記のように修正される。

$$N_f = C_3(\Delta \varepsilon_{in})^{p_3} \quad (3.3)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon_c$ はクリープひずみ範囲である。

近年、ワイドバンドギャップ半導体材料(SiC, GaN)を用いた PM が開発され、それらは 200°C以上の高温条件での使用が想定されている。Matsunaga と Uegai^(注1)はワイヤボンド部のジャンクション温度が 200°C超では、アルミワイヤの Wire-liftoff 寿命が飽和する現象を報告している。このような温度域ではクリープ変形と降伏応力の低下による塑性変形により大きな応力緩和が生じる。Wire-liftoff 寿命に及ぼす応力緩和の影響を損傷モデルに取込む必要がある。そのような応力緩和の効果を取込んだ寿命評価式として下記の2つの式を考えた。

$$N_f = C_4(\Delta W_{in})^{p_4} \quad (3.4)$$

$$N_f = C_5(\Delta T^*)^{p_5} \quad (3.5)$$

ここで、 ΔW_{in} は非弾性ひずみエネルギー密度範囲、 ΔT^* は非線形破壊力学パラメータ T^* 範囲を表す。物理量 $\Delta \varepsilon_{in}$ 、 ΔW_{in} 、 ΔT^* は損傷域に生じる疲労き裂の推進力を表し、実際に破損が生じるワイヤ接合部付近の局所的な物理量であり、この部分の破損を議論に用いることができる。したがって、式(3.3)、(3.4)、(3.5)の寿命評価式は材料が同一であれば、形状・寸法、熱的環境によらず成立する。以上より、形状・寸法条件および熱的環境条件の変更が生じるような設計段階での寿命評価に用いることができる。PM の高温使用条件下における Wire-liftoff 寿命の飽和現象を的確に表すには、式(3.3)、(3.4)、(3.5)のいずれが良いかを検討する。

(2) 機械的疲労試験による Wire-liftoff 寿命評価

これまでの Wire-liftoff 寿命を求めするために実施されている機械的疲労試験には、以下のような問題点がある。①機械的疲労試験結果と熱疲労試験結果を関係付けられる物理的根拠が明確にされていない。②彼らの試験法ではワイヤ把持治具とワイヤ間の滑りも生じている可能性を排除できない。

上記の問題点を解決するために、筆者らはピエゾアクチュエータ駆動の4点曲げ疲労試験システムを開発した。この試験に用いる試験片は、シリコン基板とそれにボンディングされたアルミワイ

ヤから構成されている。このワイヤボンド部を4点曲げの内側支点内に配置して4点曲げ荷重をかけることにより、内側支点間にあるワイヤボンド部に様な応力を発生させることができる。

(3) アルミワイヤの非弾性構成式の取得

式(3.3)~(3.5)の Wire-liftoff 寿命評価式を用いるに当たって、塑性ひずみおよびクリープひずみを考慮した非弾性応力解析を行って $\Delta\epsilon_{in}$ 、 ΔW_{in} 、 ΔT^* を求める必要がある。そのために、アルミワイヤの非弾性構成式が必要となる。本研究では、等温条件で異なるひずみ速度における引張り試験を行い、時間に依存しない塑性変形と時間に依存するクリープ変形とに分離し、それぞれの構成式を求めた。具体的には、4水準の試験温度(20°C, 120°C, 220°C, 250°C)において、3水準のひずみ速度(0.025%/sec, 0.25%/sec, 2.5%/sec)でひずみ速度一定の引張り試験を行い、応力-ひずみ曲線を取得した。時間に依存しない塑性変形と時間に依存するクリープ変形の構成式を求める手順を以下に示す。

等温引張り試験における全ひずみ ϵ_{total} は次式のように記述できる。

$$\epsilon_{total} = \epsilon_e + \epsilon_p + \epsilon_c \quad (3.6)$$

ここで、 ϵ_e は弾性ひずみ、 ϵ_p は塑性ひずみ、 ϵ_c はクリープひずみである。

塑性特性は式(3.7)に示す Ludwik 型の加工硬化曲線に従い、クリープ特性は Bailey-Norton 型の式(3.8)に従うと仮定した。

$$\sigma = \sigma_0 + \alpha(\epsilon_p)^\beta, \quad \epsilon_c = A\sigma^n t^m \quad (3.7), (3.8)$$

ここで、 $(\sigma_0, \alpha, \beta)$ 、 (A, n, m) はそれぞれ塑性変形およびクリープ変形に関わる材料定数である。応力変動を伴う場合のクリープ構成式としては下式に示すひずみ硬化理論を用いた。

$$d\epsilon_c/dt = mA^{1/m}\sigma^{n/m}(\epsilon_c)^{1-1/m} \quad (3.9)$$

実験値から求まる真応力 σ_i 、真ひずみ ϵ_i を用いて残差 Δ を式(3.10)で定義し、これを最小化する塑性パラメータ $(\sigma_0, \alpha, \beta)$ ならびにクリープパラメータ (A, n, m) を求めた。

$$\Delta = \sum |\epsilon_i - \epsilon_{total}| \quad (3.10)$$

4. 研究成果

(1) Wire-liftoff 現象の損傷則

Matsunaga と Uegai の実験結果(注1)を解析対象とした。すなわち、直径 400 μm のアルミワイヤとシリコンチップの接続部分を有限要素法による解析対象領域として、文献調査によって求めた各材料の物性値を用いて、アルミワイヤの弾塑性変形およびクリープ変形を考慮した非弾性応力解析を実施し、非弾性ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{in}$ 、非弾性ひずみエネルギー密度範囲 ΔW_{in} 、非線形破壊力学パラメータ T^* 範囲 ΔT^* を求めた。それらの値を用いて、無次元化した寿命 N_f の T_{max} による変化を図1に示す。ここで、●は実験点を、また灰色の実線は実験誤差の上限および下限を表す。式(3.3)~(3.5)による寿命評価式による予測曲線を図1中に示す。

図1より、 $\Delta\epsilon_{in}$ に基づく損傷則では N_f は単調に減少するだけであり、 N_f の飽和現象を表し得ない。すなわち、温度の増加に伴い、クリープひずみ範囲と塑性ひずみ範囲の増加により、非弾性ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{in}$ は温度の増加とともに単調に増加し、図1に示すように Wire-liftoff 寿命は単調に減少する。したがって、式(3.3)に基づく損傷モデルは Wire-liftoff 寿命が飽和する現象を表すことはできない。 $\overline{\Delta W_{in}}$ では、200°C 以上で N_f は単調減少から飽和する傾向が認められるが、その後上昇に転ずる。なお、 $\overline{\Delta W_{in}}$ は ΔW_{in} の面積平均値を表し、この値は評価領域の取り方に依存し、その値を一意に決定できないという難点がある。一方、破壊力学パラメータについては経路独立値を求めることができる。 ΔT^* は熱変形・クリープ変形条件下でも経路独立性が成り立つ。また、図1に示すように ΔT^* に基づいた寿命評価式は高温域での寿命の飽和現象を表しうるということがわかる。

以上より、高温域での Wire-liftoff 問題に $\Delta\epsilon_{in}$ 、 ΔW_{in} および ΔT^* に基づいた損傷則を用いて寿命を推定した結果、実験結果を最もよく説明できる損傷則は ΔT^* に基づいた損傷則であることが明らかとなった。

(注1) T. Matsunaga, Y. Uegai, "Thermal fatigue life evaluation of aluminum wire bonds," Proceedings of 1st Electronics Systemintegration Technology Conference, pp. 726-731, 2006.

(2) 機械的疲労試験による Wire-liftoff 寿命評価

4点曲げ負荷機械的疲労試験の実験データから $N_f - \Delta\epsilon_{in}$ 線図を作成する手順を下記のように提案

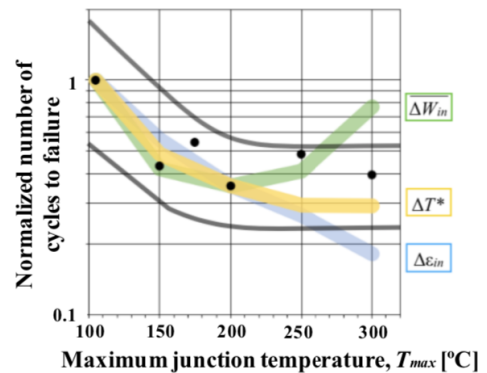


図1. Wire-liftoff 寿命の最大ジャンクション温度の関係：各種損傷則と実験結果(注1)との比較

した。

① 図2に示すような4点曲げ負荷機械的疲労試験の実験データにおける $l-\Delta\varepsilon_{in}$ (l :き裂長さ)関係を塑性変形およびクリープ変形を考慮した非弾性有限要素解析により求める。

② 4点曲げ疲労試験の途中 $N = N_1$ および $N = N_2$ で疲労試験を中断して、その時のき裂長さ $l = l_1$ および $l = l_2$ を測定する。

③ 図2に示した①の解析で求めた $l-\Delta\varepsilon_{in}$ を図3のように下式のような直線でモデル化する。

$$\Delta\varepsilon_{in} = b - al \tag{4.1}$$

機械的疲労試験の損傷プロセスを Paris 則型に従うき裂進展現象として考える。

$$\frac{dl}{dN} = K(\Delta\varepsilon_{in})^n \tag{4.2}$$

ここで、 K 、 n は定数である。式(4.1), (4.2)より次式が得られる。

$$dN = \frac{dl}{K(b-al)^n} \tag{4.3}$$

$N = 0$ で $l = 0$ 、 $N = N_1$ で $l = l_1$ の条件を考えると、式(4.3)より次式が得られる。

$$N_1 = \int_0^{l_1} \frac{dl}{K(b-al)^n} = \left[\frac{(b-al)^{1-n}}{K(-a)(1-n)} \right]_0^{l_1} = \frac{b^{1-n} - (b-al_1)^{1-n}}{Ka(1-n)} \tag{4.4}$$

式(4.4)より下式が得られる。

$$Ka(1-n)N_1 = b^{1-n} - (b-al_1)^{1-n} \tag{4.5}$$

同様に、 $N = 0$ で $l = 0$ 、 $N = N_2$ で $l = l_2$ の条件より次式が得られる。

$$Ka(1-n)N_2 = b^{1-n} - (b-al_2)^{1-n} \tag{4.6}$$

式(4.5), (4.6)より

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{b^{1-n} - (b-al_1)^{1-n}}{b^{1-n} - (b-al_2)^{1-n}} \tag{4.7}$$

式(4.7)において、 a 、 b 、 l_1 、 l_2 、 N_1 、 N_2 は既知量であるので、数値的な手法を用いて式(4.7)を n について解くことができる。この n の値を用いて式(4.5)より K の値を求めることができる。このようにして式(4.2)の Paris 則型損傷則の定数 K と n を決定することができる。

ボンド部の長さ l_0 になる N が疲労寿命 N_f であるので、一定 $(\Delta\varepsilon_{in})_1$ で機械的疲労試験を実施した場合の $(N_f)_1$ は次式で与えられる。

$$(N_f)_1 = \int_0^{l_0} \frac{dl}{K((\Delta\varepsilon_{in})_1)^n} = \frac{l_0}{K((\Delta\varepsilon_{in})_1)^n} \tag{4.8}$$

④ 座標点 $(N_f, (\Delta\varepsilon_{in})_1)$ を両対数方眼紙上にプロットする。

⑤ $(\Delta\varepsilon_{in})_2, \dots$ について、式(8)により $(N_f)_2, \dots$ を求め座標点 $((N_f)_2, (\Delta\varepsilon_{in})_2)$ を両対数方眼紙上にプロットし、 $N_f - \Delta\varepsilon_{in}$ 線図を完成させる。

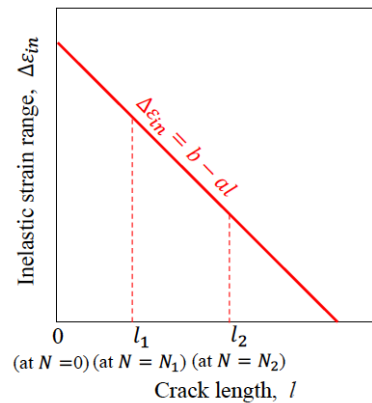
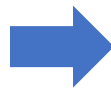
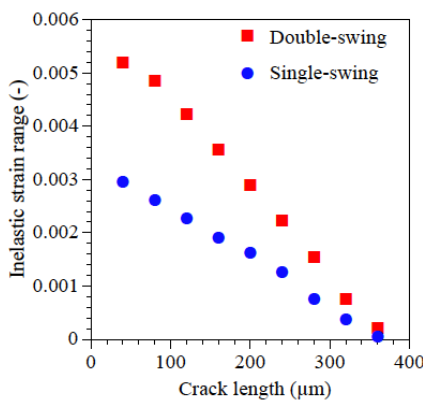


図2. 4点曲げ試験の $l-\Delta\varepsilon_{in}$ 関係(有限要素解析結果)

図3. $l-\Delta\varepsilon_{in}$ 関係の直線近似

(3) アルミワイヤの非弾性構成式の取得

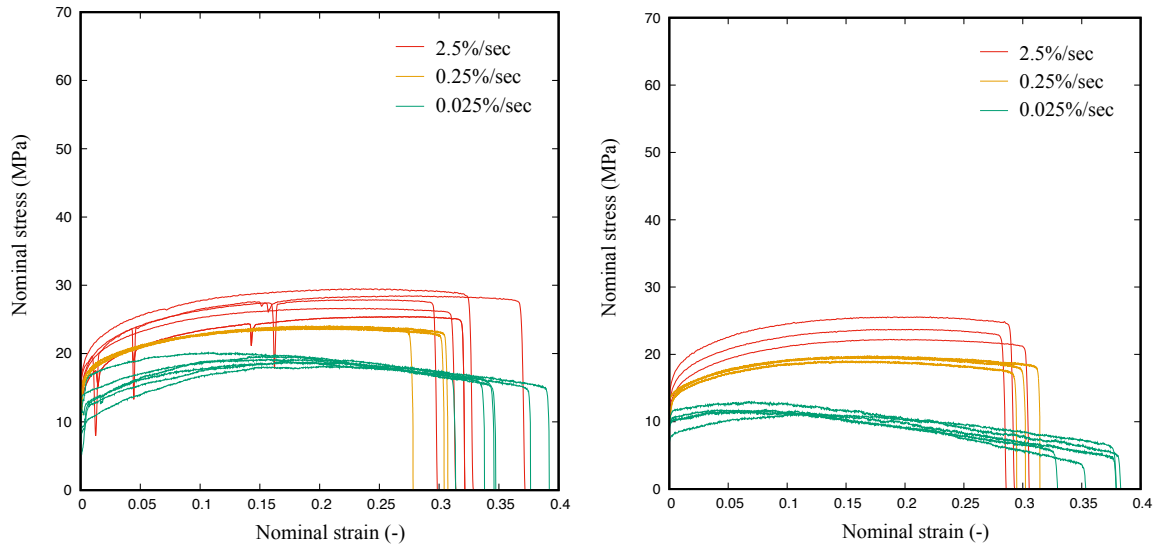
試験温度 20℃と 250℃の場合の応力-ひずみ関係の試験結果を図4(a), (b)に示す。これらの図では3水準のひずみ速度レベルについて結果が示されている。図4に示した試験データをもとに、「2. 研究の方法」で示した手順に従って、アルミワイヤの Ludwik 型の構成式および Bailey-Norton 型の構

成式のパラメータの値を求めた。その結果を表 1 に示す。さらに、この結果から温度依存型の Bailey-Norton 型の構成式のパラメータを下記のように定めた。

$$A(T) = 5.223 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{-1.607 \times 10^3}{T + 273.15}\right) \quad (4.9)$$

$$n = 2.103 \quad (4.10)$$

$$m(T) = 1.046 \times 10^{-5} T^2 - 2.203 \times 10^{-3} T + 0.4139 \quad (4.11)$$



(a) 20°C

(b) 250°C

図 4. 3 水準のひずみ速度レベルにおける応力-ひずみ曲線

表 1. アルミワイヤの塑性およびクリープパラメータの値

T [°C]	Plasticity			Creep		
	σ_0 [MPa]	α [MPa]	β [-]	A [MPa ⁻ⁿ sec ^{-m}]	m [-]	n [-]
20	18.97	84.06	0.3820	1.874×10^{-6}	0.3739	2.061
120	20.32	58.20	0.3836	1.305×10^{-5}	0.3008	2.115
220	9.904	38.12	0.2914	1.531×10^{-5}	0.4345	2.138
250	9.794	35.73	0.3313	2.464×10^{-5}	0.5179	2.096

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 小金丸正明, 宍戸信之, 坂口智紀, 加藤雅也, 池田 徹, 葉山 裕, 萩原世也, 宮崎則幸	4. 巻 25
2. 論文標題 繰り返し4点曲げ試験によるパワーモジュールのワイヤリフトオフ寿命評価法の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 エレクトロニクス実装学会誌	6. 最初と最後の頁 260-268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5104/jiep.JIEP-D-21-00114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 宮崎則幸, 小金丸正明, 宍戸信之, 坂口智紀, 葉山 裕, 萩原世也	4. 巻 24
2. 論文標題 パワーモジュールの強度信頼性評価試験法に関する考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 エレクトロニクス実装学会誌	6. 最初と最後の頁 560-571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5104/jiep.JIEP-D-21-00004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 N. Shishido, Y. Setoguchi, Y. Kumagai, M. Koganemaru, T. Ikeda, Y. Hayama, N. Miyazaki	4. 巻 123
2. 論文標題 Characterization of plastic and creep behavior in thick aluminum wire for power modules	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microelectronics Reliability	6. 最初と最後の頁 Article 114185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.microrel.2021.114185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 N. Miyazaki, N. Shishido, Y. Hayama	4. 巻 143
2. 論文標題 Review of Methodologies for Structural Integrity Evaluation of Power Modules	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ASME Journal of Electronic Packaging	6. 最初と最後の頁 Paper 020801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4048038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Hagihara, N. Shishido, Y. Hayama, N. Miyazaki	4. 巻 191
2. 論文標題 Methodology for calculating J-integral range J under cyclic loading	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Pressure Vessels and Piping	6. 最初と最後の頁 Article 104343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijpvp.2021.104343	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 葉山 裕, 宍戸信之, 牛尾和也, 萩原世也, 宮崎則幸	4. 巻 9
2. 論文標題 パワーモジュール・ワイヤ接合部熱疲労強度評価に修正ひずみ硬化則の適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 スマートプロセス学会誌	6. 最初と最後の頁 216-223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7791/jspmee.9.216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮崎則幸, 宍戸信之, 葉山 裕	4. 巻 23
2. 論文標題 パワーモジュールの強度信頼性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エレクトロニクス実装学会誌	6. 最初と最後の頁 173-191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Shishido, Y. Hayama, W. Moroka, S. Hagihara, N. Miyazaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Application of nonlinear fracture mechanics parameter to predicting wire-liftoff lifetime of power module at elevated temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics	6. 最初と最後の頁 1604-1614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JESTPE.2019.2914244	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 北嶋 柁, 宍戸信之, 田中友彬, 川崎稜登, 小金丸正明, 池田 徹, 葉山 裕, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 温度制御下の死荷重試験によるパワーモジュール用AIワイヤの高温クリープ特性評価
3. 学会等名 第28回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム(Mate 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葉山 裕, 宍戸信之, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 パワーモジュール用AIワイヤ接合部のORNL修正ひずみ硬化に対するクリープ・マルチリニア則適用
3. 学会等名 日本機械学会第34 回計算力学講演会(CMD2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤雅也, 宍戸信之, 坂口智紀, 小金丸正明, 池田 徹, 葉山 裕, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 繰り返し4 点曲げ試験および熱サイクル試験によるパワーモジュール用アルミワイヤボンダ部の疲労き裂進展に伴う非弾性ひずみ振幅の変化
3. 学会等名 日本機械学会第34 回計算力学講演会(CMD2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北嶋 柁, 宍戸信之, 田中友彬, 川崎稜登, 小金丸正明, 池田 徹, 葉山 裕, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 死荷重試験によるパワーモジュール用AIワイヤのクリープ特性
3. 学会等名 第27回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム(Mate 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂口智紀, 宍戸信之, 小金丸 正明, 池田 徹, 葉山 裕, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 パワーモジュール用アルミワイヤボンド部の4点曲げ試験のシミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会第33 回計算力学講演会(CMD2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩塚航生, 塩田智基, 小金丸 正明, 松本 聡, 池田 徹, 宮崎則幸
2. 発表標題 SOI-MOSデバイスにおける機械的応力効果の実験的評価
3. 学会等名 第30回マイクロエレクトロニクスシンポジウム 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂口智紀, 宍戸信之, 山下聡真, 小金丸 正明, 池田 徹, 葉山 裕, 宮崎則幸
2. 発表標題 4点曲げを用いたパワーモジュール用アルミワイヤボンドの疲労試験
3. 学会等名 第26回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム(Mate 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 葉山 裕, 宍戸信之, 牛尾和也, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 パワーモジュール・ワイヤ接合部の強度信頼性評価
3. 学会等名 第26回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム(Mate 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小金丸正明, 日高和也, 塩塚航生, 池田 徹, 松本聡, 宮崎則幸
2. 発表標題 SOI-nMOSFETの寄生バイポーラ効果における機械的応力の影響
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 穴戸信之, 葉山 裕, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 パワーデバイス の強度信頼性評価への非線形破壊力学の適用
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会(CMD2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大迫 徹, 瀬戸口慶樹, 穴戸信之, 小金丸正明, 池田 徹, 葉山 裕, 宮崎則幸
2. 発表標題 パワーモジュール用ワイヤボンド部の熱疲労寿命評価指標の検討
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会(CMD2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塩塚航生, 日高和也, 小金丸正明, 松本 聡, 池田 徹, 宮崎則幸
2. 発表標題 SOI-MOS デバイスの寄生バイポーラ領域における機械的応力効果のデバイスシミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会(CMD2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宍戸信之, 坂口智紀, 中野俊次, 小金丸正明, 池田 徹, 葉山 裕, 宮崎則幸
2. 発表標題 機械的疲労試験によるパワーモジュール用アルミワイヤ接合部の寿命評価
3. 学会等名 第25回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム(Mate 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 葉山 裕, 宍戸信之, 諸岡 航, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 パワーモジュール用ワイヤ接合部の熱疲労信頼性に関する破壊力学適用
3. 学会等名 日本機械学会九州支部北九州講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬戸口慶樹, 宍戸信之, 小金丸正明, 池田 徹, 葉山 裕, 宮崎則幸
2. 発表標題 応力緩和試験によるパワーモジュール用アルミワイヤのクリープ特性評価
3. 学会等名 日本機械学会九州支部北九州講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬戸口慶樹, 宍戸 信之, 小金丸正明, 池田 徹, 葉山 裕, 宮崎則幸
2. 発表標題 遷移クリープ挙動を考慮したパワーモジュール用アルミワイヤ接合部の熱疲労解析
3. 学会等名 日本機械学会第31回計算力学講演会(CMD2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 葉山 裕, 宍戸信之, 諸岡 航, 萩原世也, 宮崎則幸
2. 発表標題 パワーモジュール用ワイヤ接合部熱疲労強度の破壊力学パラメータによる評価
3. 学会等名 日本機械学会第31回計算力学講演会(CMD2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 N. Miyazaki, N. Shishido, Y. Hayama	4. 発行年 2021年
2. 出版社 The Institute of Engineering and Technology	5. 総ページ数 pp.157-195
3. 書名 SiC Power Module Design; Performance, Robustness and Reliability. Chapter 8; Power Module Lifetime Evaluation Methodologies	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	宍戸 信之 (Shishido Nobuyuki) (00570235)	近畿大学・理工学部・講師 (34419)	
連携研究者	池田 徹 (Ikeda Toru) (40243894)	鹿児島大学・理工学域工学系・教授 (17701)	
連携研究者	萩原 世也 (Hagihara Seiya) (80198647)	佐賀大学・工学研究科・教授 (17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------