

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-5135

(P2017-5135A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
HO 1 L	23/36	(2006.01)	HO 1 L	23/36		C	5 E 3 2 2	
HO 1 L	33/64	(2010.01)	HO 1 L	33/00	4 5 0		5 F 1 3 6	
HO 1 L	23/12	(2006.01)	HO 1 L	23/12		J	5 F 1 4 2	
HO 5 K	7/20	(2006.01)	HO 5 K	7/20		M		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2015-118280 (P2015-118280)  
 (22) 出願日 平成27年6月11日 (2015.6.11)

(71) 出願人 504258527  
 国立大学法人 鹿児島大学  
 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号  
 (71) 出願人 000180313  
 四国計測工業株式会社  
 香川県仲多度郡多度津町南鴨200番地1  
 (74) 代理人 100123984  
 弁理士 須藤 晃伸  
 (74) 代理人 100102314  
 弁理士 須藤 阿佐子  
 (72) 発明者 水田 敬  
 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号  
 国立大学法人 鹿児島大学内

最終頁に続く

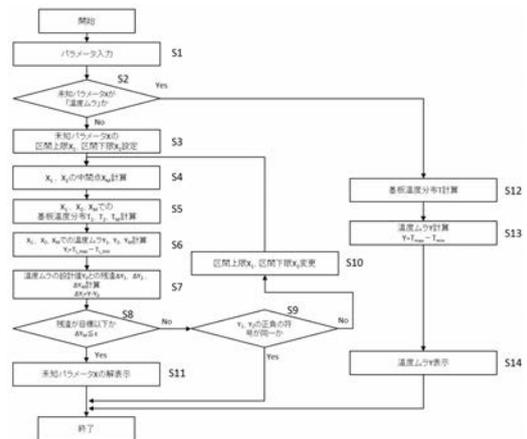
(54) 【発明の名称】 電子部品実装基板の放熱設計方法およびプログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 電子部品実装基板の温度ムラの問題を解決することができる電子部品実装基板の放熱設計方法及びプログラムを提供する。

【解決手段】 基板及び基板上に集積実装された多数個の半導体素子を備える電子部品実装基板の設計方法において、設計パラメータが、基板温度分布、基板面方向熱伝導率、基板厚さ方向熱伝導率、基板サイズ、基板厚さ、被冷却体サイズ、入熱量及び総括伝熱係数を含み、前記設計パラメータの中から選択された一の未知パラメータを除く設計パラメータに値を入力し、基板の温度分布及び温度ムラを算出する。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板および基板上に集積実装された多数個の半導体素子を備える電子部品実装基板の設計方法において、

設計パラメータが、基板温度分布、基板面方向熱伝導率、基板厚さ方向熱伝導率、基板サイズ、基板厚さ、被冷却体サイズ、入熱量、および総括伝熱係数を含み、

前記設計パラメータの中から選択された一の未知パラメータを除く設計パラメータに値を入力し、

下記式 1 により算出される前記基板のビオ数  $Bi_r$ 、計算用パラメータ  $a$ 、および無次元座標  $r^*$  を算出し、

下記式 2 により前記計算用パラメータ  $a$  および前記無次元座標  $r^*$  を用いて無次元温度を算出し、無次元温度に基づき前記基板の温度分布および温度ムラを算出することを特徴とする電子部品実装基板の放熱設計方法。

[ 式 1 ]

$$Bi_r = \frac{hR}{k_r}$$

$$a = Bi_r \frac{R}{d}$$

$$r^* = \frac{r}{R}$$

[ 式 2 ]

$$\theta = \frac{I_0(\sqrt{a}r^*)}{I_0(\sqrt{a})}$$

ここで、各係数は、以下に示すとおりである。

$h$  : 総括伝熱係数 [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ]

$k_r$  : 基板面方向熱伝導率 [ W / ( m · K ) ]

$R$  : 被冷却体サイズ [ m ]

$d$  : 基板厚さ [ m ]

$I_0$  : 第 1 種変形ベッセル関数

## 【請求項 2】

基板および基板上に集積実装された多数個の半導体素子を備える電子部品実装基板の設計方法において、

ビオ数に対する基板の温度ムラの近似曲線を算出し、

前記近似曲線および基板の温度ムラの狙い範囲からビオ数の範囲を算出し、

算出したビオ数の範囲に基づき下記式 3 により基板の有効熱伝導率  $k_e$  [ W / ( m · K ) ] または筐体の総括伝熱係数  $h$  [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ] を算出することを特徴とする電子部品実装基板の放熱設計方法。

[ 式 3 ]

$$Bi_r = \frac{hR}{k_e}$$

ここで、各係数は、以下に示すとおりである。

$h$  : 総括伝熱係数 [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ]

$k_e$  : 基板有効熱伝導率 [ W / ( m · K ) ]

R : 被冷却体サイズ [ m ]

【請求項 3】

前記設計パラメータが、さらに、基板最高温度、基板温度ムラ、環境温度、および被冷却体面積を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の電子部品実装基板の放熱設計方法。

【請求項 4】

前記電子部品実装基板が、基板上に集積搭載された数十個以上の LED チップ、LED チップを覆う透光性樹脂部、および、基板上に形成された配線層を有する LED 発光モジュールと、LED 発光モジュールが搭載された筐体とを備える LED 発光モジュールであることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の電子部品実装基板の放熱設計方法。

10

【請求項 5】

コンピュータに、請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の電子部品実装基板の放熱設計方法を実行させるコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は電子部品実装基板の放熱設計方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

電子機器は、空間利用効率や機能性の向上を目的として、小型化が急速に進んでいる。機器の小型化に伴い、内部の電子部品の基板実装密度は増加する。電子部品からは、仕事に変換されなかったエネルギーが熱として放出される。特に、パワーエレクトロニクスのように、動作効率は高いが、投入エネルギーが非常に大きな場合や、高輝度 LED ( Light Emitting Diode ) のように、動作効率が低い場合においては、当該電子部品から発生する熱量が多いため、機器温度の上昇、ひいては、温度上昇に伴う短寿命化や動作効率の低下を招きやすい。

20

特に、機器の小型化を実現するために、電子部品の基板実装密度を増大させると、電子部品同士が熱的に干渉し、電子部品を実装している領域の概中央部の温度が、周辺部の温度に比べて高くなるというように、基板内温度分布が非均一になる。

30

【0003】

一般に、電子部品の動作効率および寿命は温度に依存し、温度が高くなると動作効率の低下、短寿命化を引き起こす。したがって、基板内温度が非均一な状態となると、動作効率および寿命が均一でなくなる。かかる状態において、基板内で温度が最も高い場所においても所望の信頼性を確保するためには、当該部分の温度を規定値以下に抑制する必要があるが、その場合、周辺部については、基板内温度の非均一性より、規定値に比べて過剰に温度を低く抑制している状態となるため、ヒートシンクなどをはじめとする放熱系が過剰性能となり、結果的に、放熱系、ひいては、機器全体の小型化を阻害する。

【0004】

また、LED 光源基板において温度分布の不均一性 ( 温度ムラ ) が生じると、LED の動作効率、すなわち、発光効率の不均一性につながるため、結果的に、光源基板内に輝度むらが生じ、光源の品質低下を招く。さらに、LED チップの基板実装密度を増大させると、チップ同士が熱的に干渉し、基板の略中央部の温度が周辺部に比べて高くなり、「ドーナツ化現象」と呼ばれる中央部の発光量の低下の問題や短寿命化の問題が生じる。

40

したがって、小型化、動作効率・品質の向上を図るためには、基板内温度分布を均一にすること ( 温度ムラを一定の範囲に抑えること ) が肝要である。

【0005】

従来、基板温度平滑化には、銅などの高熱伝導性の金属を基板内に内包したメタルコア基板や、潜熱輸送型の熱伝導部材であるペーパーチャンパーなどのフラットヒートパイプが使用されてきた。

50

例えば、特許文献 1 では、上板及び下板のうちいずれか一方に被冷却装置を設けるための配置部を有し、前記上板と前記下板との間に 1 又は複数の中板を設けた冷却部本体を備え、前記冷却部本体の内部には、冷媒が蒸気となって前記被冷却装置で発生する熱を前記冷却部本体の周辺部に伝達する蒸気拡散流路と、前記中板に設けられ、前記周辺部で凝縮した冷媒が前記配置部側に戻るよう構成された毛細管流路とが設けられており、前記配置部には、他の領域よりも厚みが薄く形成され、前記被冷却装置を搭載させるための凹部を備えるヒートパイプが提案されている。

【 0 0 0 6 】

放熱設計には、シミュレーションがよく用いられている。しかし、シミュレーションによる試行錯誤的な設計の場合、多くの因子について検討を行う必要があり、膨大な計算コストがかかるため、現実的な計算時間・コストのもとでは最適化が困難となる場合が多々あった。

10

そこで、特許文献 2 では、加熱端から冷却端までの熱伝導を 1 次元熱伝導としてモデル化して領域毎の放熱量を求め、加熱端から冷却端までの熱伝導状態を解析することを特徴とするプレート型ループ状細管ヒートパイプの解析方法が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】特許第 4 1 1 9 9 4 4 号公報

【特許文献 2】特開平 1 0 - 2 2 2 4 9 2 公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

電子部品実装基板の放熱設計においては、基板サイズ、入熱量、熱源サイズ（実装エリア）、許容される温度不均一性、基板の熱伝導率、基板冷却条件、ピーク温度等の設計パラメータを考慮する必要がある。しかしながら、これら設計パラメータの最適化を図るためには、複雑な計算を繰り返し行う必要があり、多大な労力を要していた。

未知のパラメータがある中で、基板の温度ムラを一定の範囲に抑えるための放熱設計を迅速に行うことのニーズがあるが、このニーズを解決するための設計手法はこれまで提案されていない。

30

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、電子部品実装基板の温度ムラの問題を解決することができる電子部品実装基板の放熱設計方法およびプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

第 1 の発明は、基板および基板上に集積実装された多数個の半導体素子を備える電子部品実装基板の設計方法において、設計パラメータが、基板温度分布、基板面方向熱伝導率、基板厚さ方向熱伝導率、基板サイズ、基板厚さ、被冷却体サイズ、入熱量、および総括伝熱係数を含み、前記設計パラメータの中から選択された一の未知パラメータを除く設計パラメータに値を入力し、下記式 1 により算出される前記基板のビオ数  $B i_r$ 、計算用パラメータ  $a$ 、および無次元座標  $r^*$  を算出し、下記式 2 により前記計算用パラメータ  $a$  および前記無次元座標  $r^*$  を用いて無次元温度  $\theta$  を算出し、無次元温度  $\theta$  に基づき前記基板の温度分布および温度ムラを算出することを特徴とする電子部品実装基板の放熱設計方法である。

40

[ 式 1 ]

$$Bi_r = \frac{hR}{k_r}$$

$$a = Bi_r \frac{R}{d}$$

$$r^* = \frac{r}{R}$$

[ 式 2 ]

$$\theta = \frac{I_0(\sqrt{ar^*})}{I_0(\sqrt{a})}$$

10

ここで、各係数は、以下に示すとおりである。

h : 総括伝熱係数 [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ]

k<sub>r</sub> : 基板面方向熱伝導率 [ W / ( m · K ) ]

R : 被冷却体サイズ [ m ]

d : 基板厚さ [ m ]

I<sub>0</sub> : 第 1 種変形ベッセル関数

【 0 0 1 1 】

第 2 の発明は、基板および基板上に集積実装された多数個の半導体素子を備える電子部品実装基板の設計方法において、ビオ数に対する基板の温度ムラの近似曲線を算出し、前記近似曲線および基板の温度ムラの狙い範囲からビオ数の範囲を算出し、算出したビオ数の範囲に基づき下記式 3 により基板の有効熱伝導率 k<sub>e</sub> [ W / ( m · K ) ] または筐体の総括伝熱係数 h [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ] を算出することを特徴とする電子部品実装基板の放熱設計方法である。

20

[ 式 3 ]

$$Bi_r = \frac{hR}{k_e}$$

30

ここで、各係数は、以下に示すとおりである。

h : 総括伝熱係数 [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ]

k<sub>e</sub> : 基板有効熱伝導率 [ W / ( m · K ) ]

R : 被冷却体サイズ [ m ]

【 0 0 1 2 】

第 3 の発明は、前記設計パラメータが、さらに、基板最高温度、基板温度ムラ、環境温度、および被冷却体面積を含むことを特徴とする第 1 の発明の電子部品実装基板の放熱設計方法である。式 3 で基板有効熱伝導率を用いているのは、基板熱伝導率の異方性について評価が困難であり、有効熱伝導率のみ開示されている場合に対する対応のためである。

40

第 4 の発明は、前記電子部品実装基板が、基板上に集積搭載された数十個以上の LED チップ、LED チップを覆う透光性樹脂部、および、基板上に形成された配線層を有する LED 発光モジュールと、LED 発光モジュールが搭載された筐体とを備える LED 発光モジュールであることを特徴とする第 1 ないし 3 のいずれかの発明の電子部品実装基板の放熱設計方法である。

第 5 の発明は、コンピュータに、第 1 ないし 4 のいずれかの発明の電子部品実装基板の放熱設計方法を実行させるコンピュータプログラムである。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 3 】

50

本発明によれば、電子部品実装基板の温度ムラを一定の範囲に抑えるための放熱設計を迅速に行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】LED照明モジュールを熱的評価する場合の構成図である。

【図2】熱設計プログラムの入出力画面を示す図である。

【図3】熱設計プログラムの処理のフローチャートである。

【図4】熱設計プログラムの計算処理の詳細なフローチャートである。

【図5】実施例1および2に係るLED照明モジュールの上面図である。

【図6】実施例1および2に係るLED照明モジュールの断面図である。

10

【図7】実施例1および2に係るLED照明モジュールのLEDチップの実装パターンを表す図である。

【図8】実施例1に係るLED照明モジュールの基板の温度分布を実測した結果を示す図である。

【図9】実施例1および2に係るLED照明モジュールの基板の温度分布の解析解と実測結果を比較したグラフである。

【図10】実施例3に係る水中高輝度LED照明の(a)斜視図、(b)平面図、(c)断面図である。

【図11】実施例3に係る水中高輝度LED照明の受熱部および基板の(a)上面図、(b)側面図、(c)下面図である。

20

【図12】実施例3に係る水中高輝度LED照明の温度ムラのシミュレーション結果である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明は、電子部品実装基板の温度分布を平滑化し、実装された半導体素子の動作状況を均一にすることを可能とするための放熱系設計手法を提供するものである。この放熱系設計手法は、コンピュータ上で実行される専用プログラムにより実現されるものであって、基板内で許容される最高温度と温度ムラを与えることにより、基板に要求される熱伝導率および基板を配置するケーシングに求められる放熱性能を定量化することを可能とするものである。本発明は、LED光源システムやインバータ等のパワーエレクトロニクスを用いたシステムなど、電子機器全般に適用することが可能であるが、以下ではLED照明モジュールの熱設計例を説明する。

30

【0016】

[熱設計プログラム]

実施形態例に係る熱設計プログラムは、パーソナルコンピュータ上で実行されるプログラムであり、本実施形態例に係る熱設計方法を実行することができる。設計パラメータとして、4つの大きさに関する条件と、7つの熱的条件を入力することができる。この11個の設計パラメータのうち、10個のパラメータを入力することで、1個の未知パラメータXを本発明のアルゴリズムに基づき自動で算出する機能を有している。未知パラメータXは、11個の設計パラメータの中から任意のパラメータを選択することが可能である。熱設計プログラムのパラメータ入力画面、各パラメータ、およびアルゴリズムの詳細については後述する。

40

【0017】

[LED照明モジュール]

図1に本LED照明モジュール1の(a)平面図、(b)側面図を示す。LED照明モジュール1は、多数個のLEDチップが配置される実装領域10および基板20を主な構成要素とし、一定温度に管理された液冷クーラー(30~33)を用いて熱的特性を評価される。

実装領域10は、多数個のLEDチップが高密度で実装される領域であり、一つの発熱体として近似される。

50

基板 20 は、実装領域 10 が実装され、実装領域 10 が発した熱を液冷クーラーの金属ブロック 30 に伝える役割を担っている。

液冷クーラーの金属ブロック 30 は、基板 20 の裏面 20 B (実装領域 10 が実装された面とは反対側の面) の温度を一定に保つために用いられ、例えばアルミや銅等の熱伝導率の良い金属からなるブロックを主要な構成要素とする。液冷クーラーの金属ブロック 30 内には、例えば不凍液等の冷媒が通る循環流路 31 が設けられており、循環流路 31 の入口 32 および出口 33 は、図示しない外部のサーキュレータに管で接続されている。冷媒は、サーキュレータ内のポンプによって送り出され、循環流路 31 とサーキュレータの間を循環する。サーキュレータは、液冷クーラーの金属ブロック 30 の温度を一定に保つために、サーキュレータ内に挿入された図示しない温度センサにより測定された温度を監視しながら、冷媒の温度を制御する。液冷クーラーの金属ブロック 30 の表面 30 A には、熱抵抗を低くするためのサーマルグリス (図示せず) が塗ってあり、基板 20 はサーマルグリスを介して液冷クーラーの金属ブロック 30 に固着されている。

10

#### 【0018】

本実施形態例における設計パラメータについて、図 1 を参照しながら以下に説明する。

#### 【0019】

[  $L_{hs}$  : 基板サイズ ]

基板サイズ  $L_{hs}$  は、基板 20 の最大長さの半分の値と定義する。したがって、基板の形状は図示の形状に限定されず、例えば、多角形や L 字形であってもよく、この場合も最大長さに基づき基板サイズ  $L_{hs}$  を設定する。基板サイズ  $L_{hs}$  は、冷却能力に影響し、大きいほど冷却能力が優れるが、小型化を妨げることになるので、サイズと冷却能力のバランスを考慮して設計する。

20

[  $d$  : 基板厚さ ]

基板厚さ  $d$  は、基板 20 の厚さと定義する。基板厚さ  $d$  が厚いほど、基板 20 の基板面方向熱抵抗が低下するため、装領域 10 の温度分布を均一化させやすいが、基板厚さ方向熱抵抗が増加するため、面方向と厚さ方向の熱抵抗のバランスを考慮して設計する。

[  $R$  : 被冷却体サイズ ]

被冷却体サイズ  $R$  は、実装領域 10 の大きさの半分の値と定義する。被冷却体サイズ  $R$  は、同一発熱量であれば、大きいほど冷却されやすいが、光束量等の仕様や LED チップの実装密度等も考慮して設計する。

30

[  $A$  : 被冷却体面積 ]

被冷却体面積  $A$  は、実装領域 10 の占める面積である。設計の考え方は、被冷却体サイズ  $R$  と同様である。

#### 【0020】

[  $Q_{in}$  : 入熱量 ]

入熱量  $Q_{in}$  は、実装領域 10 から基板 20 に移動する熱の総量である。実装領域 10 に投入したエネルギーのうち、光に変更されない一定割合のエネルギーが熱として生じる。生じた熱は、実装領域 10 の周囲の空気および基板 20 に伝熱するが、通常の電子機器における実装の場合は 90% 程度が基板側に移動するため、かかる場合、 $Q_{in}$  は発熱量の 90% 程度と設定する。また、本 LED 照明モジュール 1 の様に、基板裏面の冷却に液冷クーラーや高性能ヒートシンク等を使用する場合には、空気への伝熱は小さいので無視し、生じた熱はすべて基板 20 に伝熱すると仮定する。入熱量  $Q_{in}$  は、LED チップの発光効率、消費電力、搭載個数等によって決まる。

40

[  $T$  : 環境温度 ]

環境温度  $T$  は、液冷クーラーの金属ブロック 30 の温度である。設計においては、使用環境温度を用いて検討する。

[  $k_r$  : 基板面方向熱伝導率、 $k_z$  : 基板厚さ方向熱伝導率、 $k_e$  : 基板有効熱伝導率 ]

基板面方向熱伝導率  $k_r$  は基板 20 の面方向熱伝導率であり、基板厚さ方向熱伝導率  $k_z$  は基板 20 の厚さ方向熱伝導率である。基板 20 に高性能ヒートパイプ型ヒートスプレッド (Fine Grid Heat Pipe : FGHP) やグラフィック製品等を基

50

板として用いる場合、熱伝導率には構造的な要因から面方向と厚さ方向で異方性があるため、別々のパラメータとして用意した。基板有効熱伝導率  $k_e$  は、面方向と厚さ方向の熱伝導率が実質的に等価と仮定した場合の熱伝導率である。

【0021】

[  $h$  : 基板裏面冷却強度 ]

基板裏面冷却強度  $h$  は、基板 20 から液冷クーラーの金属ブロック 30 への伝熱効率を表す係数であり、本 LED 照明モジュール 1 においては総括伝熱係数と等価である。基板 20 の形状や表面状態、基板 20 が接触する流体（例えば、空気）で決まる定数である。

【0022】

[  $T$  : 基板温度分布 ]

基板温度分布  $T$  は、基板 20 の温度の分布である。後述する基板最高温度  $T_{max}$ 、基板最低温度  $T_{min}$ 、および温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  は、基板温度分布  $T$  に従属して自動的に決まるため、これらは基板温度分布  $T$  とともに 1 つの設計パラメータとして扱う。

[  $T_{max}$  : 基板最高温度 ]

基板最高温度  $T_{max}$  は、基板 20 の温度の最大値である。基板 20 の温度は、LED チップの劣化に影響し、その値が大きいほど、LED チップは劣化しやすく、寿命が低下する。したがって、基板最高温度  $T_{max}$  は、高くなりすぎないように設計する。

【0023】

[  $T_{min}$  : 基板最低温度 ]

基板最低温度  $T_{min}$  は、基板 20 の温度の最小値である。LED 照明モジュールにおいては、温度の低い側については問題とならないが、基板最高温度  $T_{max}$  との差分としての温度ムラを算出するために検討が必要となる。

【0024】

[  $T_{max} - T_{min}$  : 温度ムラ ]

温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  は、LED チップの発光量の差を生じさせ、照明品質を低下させる要因となる。さらに、基板内での温度ムラは、LED チップや蛍光体、樹脂などの寿命にバラつきを生じさせる要因ともなる。したがって、温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  を許容範囲に抑えるように設計する。

基板最高温度  $T_{max}$  と同様に、基板最低温度  $T_{min}$  を基板 20 の温度の最小値と定義し、温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  を求める。

【0025】

[ パラメータ入力画面 ]

図 2 に、熱設計プログラム（以下単に「プログラム」という場合がある）の入出力画面 40 を示す。入出力画面 40 は、設計パラメータ名称欄 41、設計パラメータ入出力欄 42、設定欄 43、計算結果表示欄 44、および計算実行ボタン 45 を主な構成要素としている。前述した設計パラメータに対応しており、同図中に各設計パラメータを表す記号を付している。

設計パラメータ名称欄 41 は、前述した各設計パラメータが記載されており、同図中に付した記号は、対応する設計パラメータを表す記号である。

設計パラメータ入出力欄 42 は、設計パラメータの固定値を入力したり、設計パラメータをプログラムに計算させたときの解が出力されたりする欄である。

設定欄 43 は、リストボックスになっており、設計パラメータの値を設計パラメータ入出力欄 42 に入力した値で固定したい場合には「左の値を使用する」を、設計パラメータをプログラムに計算させたい場合には「・・・を求める」を選択できるようになっている。後者を選択した場合、対応する設計パラメータ入出力欄 42 はグレーアウトし、以後入力できないようになる。

計算結果表示欄 44 は、温度分布の計算結果を、座標と温度を並列させて表示する。計算結果表示欄 44 下部にある「毎回計算結果ウィンドウをリフレッシュする」のチェックボックスをチェックすると、設計パラメータをプログラムに計算させたときに解が収束す

10

20

30

40

50

るまで実行中の計算結果を更新し続ける。

計算実行ボタン 45 は、クリックするとプログラムが計算を実行するものである。

【 0 0 2 6 】

[ 処理フロー ]

図 3 に熱設計プログラムの処理のフローチャートを示す。本プログラムは、設計パラメータのうちの一つを未知とし、与えられた温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  の狙い値になるよう、未知の設計パラメータを最適化するものである。また、温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  が未知の場合、最適化は行わず、温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  の計算値を返して終了する。

最適化のアルゴリズムとして二分法を用いたが、これに限定されるものではない。

図 3 の各処理に付したステップ番号 ( S 1 ~ S 9 ) に沿って、図 2 を参照しながら説明していく。

( S 1 )

各設計パラメータの中から、未知の設計パラメータ  $X$  を一つ選択し、対応する設定欄 43 で「・・・を求める」を選択する。固定する設計パラメータの設計パラメータ入出力欄 42 に、各設計パラメータの固定値を入力する。

( S 2 )

未知のパラメータが温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  であるか否か判定する。未知のパラメータが温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  である場合、S 12 に進む。

【 0 0 2 7 】

( S 3 )

未知パラメータ  $X$  の区間上限  $X_1$  と区間下限  $X_2$  を設定する。区間上限  $X_1$  と区間下限  $X_2$  は、表 1 のように設計パラメータごとにあらかじめデータベースとして与えられており、データベースを参照することで設定される。

【表 1】

設計パラメータ	区間下限	区間上限
基板サイズ[mm]	5	100
基板厚さ[mm]	0.1	50
...	...	...

( S 4 )

区間上限  $X_1$  と区間下限  $X_2$  の中間点  $X_M$  を計算する。 $X_M$  の計算式は数 1 で与えられる。

【数 1】

$$X_M = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

$X_M$  : 中間点

$X_1$  : 区間上限

$X_2$  : 区間下限

【 0 0 2 8 】

( S 5 )

区間上限  $X_1$ 、区間下限  $X_2$ 、および中間点  $X_M$  における基板温度分布  $T_1$ 、 $T_2$ 、および  $T_M$  を計算する。詳細な計算方法は、S 51 ~ S 56 として別途説明する。

( S 6 )

基板温度分布  $T_1$ 、 $T_2$ 、および  $T_M$  より、温度ムラ  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、および  $Y_M$  を計算する。温度ムラ  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、および  $Y_M$  の計算式は、数 2 で与えられる。

10

20

30

40

【数 2】

$$Y_i = T_{i\_max} - T_{i\_min}$$

(i = 1,2,M)

Y<sub>i</sub> : 温度ムラ [ K ]T<sub>i\_max</sub> : 基板温度の最大値 [ K ]T<sub>i\_min</sub> : 基板温度の最小値 [ K ]

【0029】

(S7)

温度ムラ Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、および Y<sub>M</sub> と設計パラメータ入出力欄 42 で入力された温度ムラ Y の設定値 Y<sub>0</sub> との差分値である残渣 Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、および Y<sub>M</sub> を計算する。残渣 Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、および Y<sub>M</sub> の計算式は、数 3 で与えられる。

【数 3】

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_0$$

(i = 1,2,M)

Y<sub>i</sub> : 残渣 [ K ]Y<sub>0</sub> : 温度ムラの設定値 [ K ]

【0030】

(S8)

残渣 Y<sub>M</sub> が目標値 以下かどうか判定する。目標値 は精度によって決まり、小さいほど、真の解に近づくが、計算回数が増える。目標値 は、例えば、0.01 K の値が与えられる。残渣 Y<sub>M</sub> が目標値 以下の場合、精度は担保され、X<sub>M</sub> を未知パラメータ X の解とし、S11 に進む。残渣 Y<sub>M</sub> が目標値 より大きい場合、精度は満たされないことになり、再度計算するため、S9 に進む。

(S9)

残渣 Y<sub>1</sub> および Y<sub>2</sub> の正負の符号が、互いに異なるか否かを判定する。残渣 Y<sub>1</sub> および Y<sub>2</sub> の正負の符号が異なる場合、Y = Y<sub>0</sub> となる X の解が区間 X<sub>1</sub> ~ X<sub>2</sub> の間に存在することになる。残渣 Y<sub>1</sub> および Y<sub>2</sub> の正負の符号が同じ場合、Y = Y<sub>0</sub> となる X の解が区間 X<sub>1</sub> ~ X<sub>2</sub> の間に存在しないため、エラーを返してプログラムは終了する。

【0031】

(S10)

残渣 Y<sub>1</sub> または Y<sub>2</sub> のいずれかのうち、どちらが正負の符号が残渣 Y<sub>M</sub> の正負の符号と等しくかを判定する。残渣 Y<sub>1</sub> の正負の符号と残渣 Y<sub>M</sub> の正負の符号が等しい場合は、区間下限 X<sub>1</sub> の値を X<sub>M</sub> に変更し、区間上限 X<sub>2</sub> の値はそのまま維持する。残渣 Y<sub>2</sub> の正負の符号と残渣 Y<sub>M</sub> の正負の符号が等しい場合は、区間上限 X<sub>2</sub> の値を X<sub>M</sub> に変更し、区間下限 X<sub>1</sub> の値はそのまま維持する。そして、S4 に戻る。

(S11)

未知パラメータ X の設計パラメータ入出力欄 42 に解 X<sub>M</sub> を表示し、プログラムは終了する。

(S12)

基板温度分布 T を計算する。計算方法は S51 ~ 56 と同じである。

【0032】

(S13)

基板温度分布 T より、温度ムラ Y を求める。温度ムラ Y の計算式は、数 4 で与えられる。

。

10

20

30

40

## 【数 4】

$$Y = T_{max} - T_{min}$$

Y : 温度ムラ [ K ]

T<sub>max</sub> : 基板温度の最大値

T<sub>min</sub> : 基板温度の最小値

## 【0033】

(S14)

温度ムラの設計パラメータ入出力欄 4 2 に温度ムラ Y を表示し、プログラムは終了する。

10

## 【0034】

S5 および 1 2 の詳しい計算の過程 S5 1 ~ S5 6 について、図 4 を参照しながら説明する。

(S51)

ビオ数  $Bi_r$  を数 5 の式によって求める。

## 【数 5】

$$Bi_r = \frac{hR}{k_r}$$

$Bi_r$  : ビオ数

h : 基板裏面冷却強度 [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ]

R : 被冷却体サイズ [ m ]

$k_r$  : 基板面方向熱伝導率 [ W / ( m · K ) ]

## 【0035】

(S52)

計算用パラメータ a を数 6 の式によって求める。

## 【数 6】

$$a = Bi_r \frac{R}{d}$$

a : 計算用パラメータ ( ビオ数に関連 )

R : 被冷却体サイズ [ m ]

d : 基板厚み [ m ]

## 【0036】

(S53)

座標 r を、0 から被冷却体サイズ R の間の値で一定数または一定間隔で分割した値を各要素とする配列データとして定義する。数 7 によって、座標 r を被冷却体サイズ R で規格化した無次元座標  $r^*$  を計算する。

## 【数 7】

$$r^* = \frac{r}{R}$$

$r^*$  : 無次元座標

r : 座標 [ m ]

(S54)

無次元温度 を数 8 の式によって求める。

40

【数 8】

$$\Theta = \frac{I_0(\sqrt{ar^*})}{I_0(\sqrt{a})}$$

：無次元温度

I<sub>0</sub>：第 1 種変形ベッセル関数

【0037】

(S55)

被冷却体端位置 (r\* = 1) における温度 T<sub>R</sub> を数 9 の式によって求める。

10

【数 9】

$$T_R = \frac{1}{A} \left( \frac{d}{S_{mod} k_z} + \frac{1}{h} \right) Q_{in}$$

T<sub>R</sub>：被冷却体端位置における温度 [K]k<sub>z</sub>：基板厚さ方向熱伝導率 [W / (m · K)]A：被冷却体面積 [m<sup>2</sup>]h：基板裏面冷却強度 [W / (m<sup>2</sup> · K)]S<sub>mod</sub>：形状係数 [-]ここで、S<sub>mod</sub> は形状係数であり、基板熱伝導率・冷却条件が既知の場合のデータから算出することができる。

20

【0038】

(S56)

基板温度分布 T を数 10 の式によって求める。

【数 10】

$$T = \Theta \cdot \left( T_R - T_\infty - \frac{Q_{in}}{Ah} \right) + T_\infty + \frac{Q_{in}}{Ah}$$

T：基板温度分布 [K]

T<sub>∞</sub>：環境温度 [K]Q<sub>in</sub>：入熱量 [W]A：被冷却体面積 [m<sup>2</sup>]h：基板裏面冷却強度 [W / (m<sup>2</sup> · K)]

【0039】

以上に説明した実施形態例の放熱設計プログラムによれば、温度ムラを含む 11 個の設計パラメータのうち、10 個のパラメータを入力することで、1 個の未知パラメータ X を本発明のアルゴリズムに基づき自動で算出することが可能となる。

なお、設計パラメータの数は例示の 11 個に限定されず、このうち最低限必要なパラメータは、基板温度分布、基板熱伝導率、基板サイズ、基板厚さ、被冷却体サイズ、入熱量、および基板裏面冷却強度であり、耐久性の観点からは環境温度、基板最高温度のパラメータも含めることが好ましい。

40

【0040】

以下では、本発明の詳細を実施例により説明するが、本発明の技術思想は何ら実施例に限定されるものではない。

【実施例 1】

【0041】

実施例 1 は、LED 照明モジュール 1 の基板 20 を、厚さ 2 mm の銅板により構成した場合の解析結果を示すものである。

[構成]

図 5 は、LED 照明モジュール 1 の上面図である。図 6 は、LED 照明モジュール 1 の

50

図 5 における B - B 断面図である。

以下、図 5 および 6 を用いて LED 照明モジュール 1 の構成を説明する。

【 0 0 4 2 】

図 5 に示すように、LED 照明モジュール 1 は、実装領域 1 0、配線 1 2 ( 1 2 a、1 2 b )、外部接続端子 1 3 ( 1 3 a、1 3 b )、実装基板 2 0、ダム材 2 2 を主な構成要素とする。

実装領域 1 0 は、高密度に所謂 COB ( Chip On Board ) 実装された 2 2 1 0 個の LED チップ 1 1 の最外周を囲む領域であり、発光源かつ発熱源である領域である。実装領域 1 0 は、図 5 の A - A 線を境に供給される電源が別々になっており、左側の実装領域 1 0 a と右側の実装領域 1 0 a に分けられる。左側の実装領域 1 0 a と右側の実装領域 1 0 a には、それぞれ 1 1 0 5 個の LED チップ 1 1 が実装されている。

LED チップ 1 1 は、例えば、InGaN 系青色 LED ペアチップである。LED チップ 1 1 は、LED チップ 1 1 同士あるいは配線 1 2 ( 1 2 a、1 2 b、1 2 c、1 2 d ) とワイヤ 1 4 により電氣的に接続されている。ワイヤ 1 4 は、例えば、金やアルミ等の金属材料からなり、ワイヤボンディングにより形成および接合される。LED チップ 1 1 の裏面 ( 下面 ) は、基板 2 0 の表面上に高熱伝導性接着剤等により固設される。LED チップ 1 1 の配列については後述の [ 高密度実装 ] の箇所で説明する。

【 0 0 4 3 】

配線 1 2 および外部電極端子 1 3 は、基板 2 0 の表面上に実装領域 1 0 を囲むように配設され、LED チップ 1 1 に電源を供給する。配線 1 2 および外部電極端子 1 3 は、同一の符号 ( a、b、c、d ) が付されたもの同士で電氣的に接続されており、図 5 の A - A 線を対称軸として一定間隔を空けて線対称なパターンを形成している。外部電極端子 1 3 は、図示しない外部電源装置に電氣的に接続され、外部電極端子 1 3 a と 1 3 b 間、および外部電極端子 1 3 c と 1 3 d 間に電圧が印加される。配線 1 2 a と 1 2 b 間、および配線 1 2 c と 1 2 d 間には、一定間隔が空けられ、過電圧による破壊防止のための保護ダイオード装置 1 5 が接続されている。また、配線 1 2 の表面上には、無機系白色絶縁層 2 1 と同じ材料により構成され、ソルダーレジストとしても機能する無機系白色絶縁層 2 4 が形成されている。

【 0 0 4 4 】

基板 2 0 は、直径 1 2 0 mm、厚さ 2 mm の銅板で構成され、表面に形成された無機系白色絶縁層 2 1 により、電氣的に絶縁するとともに低い熱抵抗で実装領域 1 0 の熱を伝導し、裏面で放熱する。

【 0 0 4 5 】

無機系白色絶縁層 2 1 は、基板 2 0 の表面上に塗布形成され、絶縁層および実装領域 1 0 で発光された光の反射層としての役割を担う。無機系白色絶縁層 2 1 は、白色系無機粉末 ( 白色系無機顔料 ) と二酸化珪素 ( SiO<sub>2</sub> ) を主要な成分とし、耐電圧 1 KV / 1 0 μm 程度、可視光の波長域で平均反射率 7 0 % 以上の物性を有する。無機系白色絶縁層 2 1 の厚さは、例えば、1 0 ~ 1 5 0 μm であり、塗布形成には、例えば、インクジェット法、ディスペンサー法、スプレーコート法またはスクリーン印刷法が用いられる。

【 0 0 4 6 】

ダム材 2 2 は、基板 2 0 の表面上に実装領域 1 0 を囲む略正方形に形成され、透光性樹脂 2 3 を充填するための堤防として機能する。また、ダム材 2 2 の表面には光反射性が付与され、実装領域 1 0 より発光された光を反射する。

【 0 0 4 7 】

透光性樹脂 2 3 は、ダム材 2 2 により囲まれた領域に充填され、LED チップ 1 1 とワイヤ 1 4 を封止する。これにより、LED チップ 1 1、ワイヤ 1 4 およびこれらの接合部を保護し、LED チップ 1 1 から発光された光を所望の色に調節する。透光性樹脂 2 3 には、例えば白色を得るための蛍光体が混入されている。白色光を得るための方式としては、紫外 LED で三原色の蛍光体を励起する方式、緑および赤の二色の蛍光体を青色 LED で励起する方式、黄色の蛍光体を青色 LED で励起する方式があるところ、LED チップ

10

20

30

40

50

11の種類に応じて選択された蛍光体を混入する。色温度は、例えば、2700～6500Kの範囲で設定する。

【0048】

[高密度実装]

図7を用いて、実装領域10に実装されたLEDチップ11の配列および電気接続について説明する。

図7は、図5の第1実装領域10aに実装されたLEDチップ11と、配線12a、12bを抜き出した簡略図である。第2反射領域10bに実装されたLEDチップ11も同様の配列である。

【0049】

LEDチップ11は、第1実装領域10a内の上下方向と左右方向にそれぞれ実質上等ピッチで千鳥状に配置される。LEDチップ11は、奇数番目の行に32個、偶数番目の行に33個並べられ、合計34行の行をなしている。奇数番目の行における左端のLEDチップ11同士は、その左右方向の位置が同じである。また、偶数番目の行における左端のLEDチップ11同士も、その左右方向の位置が同じである。さらに、奇数番目の行における左端のLEDチップ11は、偶数番目の行における左端のLEDチップ11に対して実質上半ピッチ分右にずれている。

【0050】

ここで、LEDチップ11の位置を定義する。図7に示すように、左上のLEDチップ11を基準として、右方向にX方向、下方向にY方向を規定する。そして、基準からY番目の行に属し、左端からX番目にあるLEDチップ11にインデックス(X, Y)を割り当てる。

例えば、1行目に属するLEDチップ11は、左端からインデックス(1, 1)、(2, 1)、(3, 1)、・・・、(32, 1)が割り当てられ、下端の行に属するLEDチップ11は、左端からインデックス(1, 34)、(2, 34)、(3, 34)、・・・、(33, 34)が割り当てられる。

以下、インデックス(X, Y)を割り当てられたLEDチップ11を「LEDチップ11(X, Y)」と表記することとする。

【0051】

LEDチップ11(X, Y)は、下記のように配線12a、12bに対してワイヤボンドにより直列に電気接続される。

Y = 1または2の場合、LEDチップ11(X, Y)のチップ上端にある一対の電極(図示せず)は配線12aとワイヤボンドされる。

3 Y 32の場合、LEDチップ11(X, Y - 2)のチップ下端にある一対の電極(図示せず)は、LEDチップ11(X, Y)のチップ上端にある一対の電極(図示せず)とワイヤボンドされる。また、LEDチップ11(X, Y)のチップ下端にある一対の電極(図示せず)は、LEDチップ11(X, Y + 2)のチップ下端にある一対の電極(図示せず)とワイヤボンドされる。

Y = 33または34の場合、LEDチップ11(X, Y)のチップ下端にある一対の電極(図示せず)は配線12bとワイヤボンドされる。

【0052】

以上のように、LEDチップ11同士が上下に1行おきに電気接続されるため、配線12a、12bに対して17個直列に電気接続される。これら17個直列に電気接続されたLEDチップ11を「単位LEDチップ群」と定義すると、単位LEDチップ群は、奇数行群で同一のインデックスXが割り当てられたLEDチップ11、または偶数行群で同一のインデックスXが割り当てられたLEDチップ11により構成される。インデックスXの値は、奇数行においてはX = 1 ~ 32、偶数行においてはX = 1 ~ 33をとるため、単位LEDチップ群は、奇数行群で32個形成され、偶数行群で33個形成される。第1実装領域10aに形成される単位LEDチップ群を合計すると、32 + 33 = 65個である。各単位LEDチップ群は、配線12a、12bに対して並列に電気接続されているので

10

20

30

40

50

、第1実装領域10aには、1105個のLEDチップ11が17直列×65並列の配線パターンで実装されていることになる。

第2実装領域10bも第1実装領域10aと同様の構成であるので、両領域合わせた実装領域10には、2210個のLEDチップが17直列×130並列で実装されていることになる。

#### 【0053】

##### [解析結果]

熱設計プログラムに入力した本実施例の各設計パラメータを、表2に示す。未知パラメータは基板温度分布Tであるため、従属する基板最高温度 $T_{max}$ と温度ムラ $T_{max} - T_{min}$ は未知パラメータとしてプログラムに入力していない。

#### 【表2】

設計パラメータ	実施例1
基板サイズ $L_{hs}$ [mm]	60
基板厚さd[mm]	2
被冷却体サイズR[mm]	32.64
被冷却体面積A[mm <sup>2</sup> ]	4351.565
入熱量 $Q_{in}$ [W]	700.7
環境温度 $T_{\infty}$ [K]	333.15
基板面方向熱伝導率 $k_r$ [W/(m·K)]	386
基板厚さ方向熱伝導率 $k_z$ [W/(m·K)]	386
基板裏面冷却強度h[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	2210
基板内最高温度 $T_{max}$ [K]	—
基板内温度ムラ $T_{max} - T_{min}$ [K]	—

#### 【0054】

図8は、本実施例のLED照明モジュール1における、定常状態での基板20の温度分布をサーモグラフィにより実測した結果である。図8(a)は、基板20の温度分布をコンター表示した図であり、(b)は(a)の2つのパスA、Bの温度分布をグラフにプロットしたもの(上段:パスA、下段:パスB)である。図8(b)を見て分かるように、基板20の中心を通るパスAとBとで、温度分布に差異はなく、設計検討に用いるパスはパスA、Bのいずれでもよい。したがって、設計検討に用いるパスとして、便宜のため、パスBを用いることにし、基板最高温度 $T_{max}$ は、パスBにおける基板20の温度の最大値と定義する。

図9に、本実施例のLED照明モジュール1の基板温度分布Tを熱解析プログラムによって求めた結果(点線)を、実機の実測結果(実線)とともに示す。座標 $0 < r^* < 0.1$ 付近において、実機では図5のA-A線付近に一定間隔を空けているものの、解析プログラムでは均一に発熱すると近似しているため、実機の温度分布を再現できていない。しかし、実機の測定結果に対する解析結果の平均誤差は2.6%であり、その他の領域においては精度よく再現できていることが分かる。

#### 【実施例2】

#### 【0055】

実施例2は、LED照明モジュール1の基板20を、FGHPで構成した場合のシミュレーション結果を示すものである。以下では、実施例1との相違点を中心に説明し、共通する構成についての説明は割愛する場合がある。

#### 【0056】

##### [構造]

基板20は、特許文献1のFGHPを直径120mm、厚さ2mmの大きさとしたものである。FGHP内部にはヒートパイプを有し、高い熱伝導率が得られるため、熱の拡散

を生じやすく、温度ムラの低減を狙っている。

【 0 0 5 7 】

[ 解析結果 ]

熱設計プログラムに入力した本実施例の各設計パラメータを、表 3 に示す。未知パラメータは基板温度分布  $T$  であるため、従属する基板最高温度  $T_{max}$  と温度ムラ  $T_{max} - T_{min}$  は未知パラメータとしてプログラムに入力していない。

【表 3】

設計パラメータ	実施例2
基板サイズ $L_{rs}$ [mm]	60
基板厚さ $d$ [mm]	2
被冷却体サイズ $R$ [mm]	32.64
被冷却体面積 $A$ [mm <sup>2</sup> ]	4351.565
入熱量 $Q_{in}$ [W]	698.6
環境温度 $T_{\infty}$ [K]	333.15
基板面方向熱伝導率 $k_r$ [W/(m·K)]	16000
基板厚さ方向熱伝導率 $k_z$ [W/(m·K)]	6700
基板裏面冷却強度 $h$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	2210
基板内最高温度 $T_{max}$ [K]	—
基板内温度ムラ $T_{max} - T_{min}$ [K]	—

10

20

図 9 に、本実施例の LED 照明モジュール 1 の基板温度分布  $T$  を熱解析プログラムによって求めた結果（点線）を、実機の実測結果（実線）とともに示す。座標  $0 < r^* < 0.12$  において、実機では図 5 の A - A 線付近に一定間隔を空けているものの、解析プログラムでは均一に発熱すると近似しているため、実機の温度分布を再現できていない。しかし、実機の測定結果に対する解析結果の平均誤差は 6.3% であり、その他の領域においては精度よく再現できていることが分かる。

【実施例 3】

【 0 0 5 8 】

温度ムラの解析結果を実施例 1 と実施例 2 で比較すると、実施例 1 では 16 K に対し、実施例 2 では 2 K であった。実施例 2 は実施例 1 に対して、温度ムラは 1/8 に低減していることが分かる。実施例 1 と実施例 2 の設計パラメータの実質的な違いは基板面方向熱伝導率  $k_r$  であることから、温度ムラは基板面方向熱伝導率  $k_r$  に影響されているものと推測される。

30

そこで、実施例 3 では、簡略化のために基板面方向熱伝導率  $k_r$  および基板厚さ方向熱伝導率  $k_z$  に代えて基板有効熱伝導率  $k_e$  を用いるとともに、同様に放熱に影響する総括伝熱係数（基板裏面冷却強度） $h$  を用い、これらの設計パラメータを変更して温度ムラに対する影響を調べた。具体的には、図 10 (a) に示す水中高輝度 LED 照明装置 60 を用い、形状および物性値を変更しながら熱解析シミュレーションを行い、温度ムラの解析を行った。

40

【 0 0 5 9 】

[ 構造 ]

図 10 に水中高輝度 LED 照明装置 60 の (b) 平面図、(c) 断面図を示す。水中高輝度 LED 照明装置 60 は、筐体 61、基板 62、レンズ 63、および 2 つのリング 64 を主な構成要素とする。

筐体 61 は、真鍮製の直径 111 mm、高さ 71 mm の略円筒形状であり、受熱部 61 a、側面部 61 b、複数のフィン 61 c、キャップ部 61 d、およびソケット部 61 e を備えて構成される。受熱部 61 a は、その表面側に基板 62 が固着され、基板 62 より熱を受ける。側面部 61 b は、その外周に複数のフィン 61 c を備え、受熱部 61 a で受け

50

た熱をフィン 6 1 c に伝導し、フィン 6 1 c はその熱を水中に放熱する。キャップ 6 1 d は、レンズ 6 3 を筐体 6 1 に固定する。ソケット部 6 1 e は、図示しない電源ケーブルを筐体 6 1 内部へ案内する。

基板 6 2 は、図示しない高密度実装された多数個の LED チップを実装する。基板 6 2 に実装される LED チップの数は、例えば、172 個である。基板 6 2 は、多数個の LED チップから発せられた熱を受熱部 6 2 a に伝導する。

レンズ 6 3 は、基板 6 2 に実装された LED チップから発せられた光を集光し、透過させる。

リング 6 4 は、側面部 6 1 b とレンズ 6 3 間、および側面部 6 1 b とソケット部 6 1 e 間に挟まれ、水の侵入を防ぐ。

#### 【0060】

受熱部 6 1 a と基板 6 2 の詳細な構造について、図 1 1 を用いて説明する。図 1 1 は、受熱部 6 1 a と基板 6 2 の ( a ) 上面図、( b ) 側面図、( c ) 下面図を示す。

受熱部 6 1 a は、半径  $D_o$ 、厚さ  $t$  の円盤状をしている。開口穴 6 5 が形成されており、開口穴 6 5 の有無、穴径 (半径)  $D_i$  の変更によって受熱部 6 1 a の表面に固着される基板 6 2 との接触面積が変化し、総括伝熱係数  $h$  を変化させることが可能となる。また、厚さ  $t$  が変わることにより、側面部 6 1 b との接続断面積が変化し、総括伝熱係数  $h$  を変化させることが可能となる。すなわち、受熱部 6 1 a の半径  $D_o$ 、穴径 (半径)  $D_i$ 、および厚さ  $t$  を総括伝熱係数  $h$  の代用とすることができる。ちなみに、穴径 (半径)  $D_i$  が大きくなるほど、受熱部 6 1 a と基板 6 2 の接触面積が小さくなり、総括伝熱係数  $h$  は小さくなる。また、厚さ  $t$  が大きくなるほど、側面部 6 1 b との接続断面積が大きくなり、総括伝熱係数  $h$  は大きくなる。

#### 【0061】

基板 6 2 は半径  $L_{hs}$ 、厚さ  $d$  の円盤状の銅板または FGH P である。基板 6 2 の表面には、複数個の LED チップが高密度実装され、均一に発熱するものと近似可能した実装領域 6 6 が形成されている。実装領域 6 6 は直径  $R$  の円形状をなしている。実装領域 6 6 が発した熱は入熱量  $Q_{in}$  として基板 6 2 の実装領域 6 6 との接触部分に入熱する。入熱量  $Q_{in}$  は、例えば、実装領域 6 6 を形成する LED チップの数が 172 個の場合、1 チップあたりの消費電力を  $3.2 \text{ V} \times 0.32 \text{ A} = 1.12 \text{ W}$  と仮定し、総消費電力の 80 % が熱となることを仮定すると、 $1.12 \text{ W} \times 172 \times 0.8 = 154 \text{ W}$  である。

#### 【0062】

以下、総括伝熱係数  $h$  および基板有効熱伝導率  $k_e$  を変化させて行った熱解析シミュレーションの結果を説明する。本実施例の構成で登場する設計パラメータのうち、言及していない設計パラメータについては前述の説明のとおりであり、説明を省略する。

解析モデルの設計パラメータを表 4 ~ 6 に示す。

10

20

30

【表 4】

設計パラメータ		実施例						
		3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7
基板サイズ $L_{ts}$ [mm]		30	30	30	30	30	30	30
基板厚さ $d$ [mm]		2	2	2	2	2	2	2
被冷却体サイズ $R$ [mm]		40	40	40	40	40	40	40
被冷却体面積 $A$ [mm <sup>2</sup> ]		18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
入熱量 $Q_{in}$ [W]		154.2	154.2	154.2	154.2	154.2	154.2	154.2
環境温度 $T_{\infty}$ [K]		298.2	298.2	298.2	298.2	298.2	298.2	298.2
基板有効熱伝導率 $k_e$ [W/(m·K)]		387.6	387.6	387.6	387.6	387.6	387.6	387.6
総括伝熱係数 $h$ の代用	受熱部外径(半径) $D_o$ [mm]	43	43	43	43	43	43	43
	受熱部穴径(半径) $D_i$ [mm]	0	5	10	15	20	25	30
	受熱部厚さ $t$ [mm]	5.00	5.07	5.29	5.69	6.38	7.55	9.74
基板内最高温度 $T_{max}$ [K]		—	—	—	—	—	—	—
基板内温度ムラ $T_{max} - T_{min}$ [K]		—	—	—	—	—	—	—

表 4 に示すように、実施例 3 - 1 ~ 3 - 7 では、基板 6 2 を銅板として、受熱部 6 1 a の穴径 (半径)  $D_i$  および厚さ  $t$  を変えて総括伝熱係数  $h$  を変えたモデルである。すなわち、基板有効熱伝導率  $k_e$  は一定 (387.6 W / (m · k)) のまま、括熱伝達係数  $h$  を変えたモデルである。厚さ  $t$  は、受熱部 6 1 a の熱容量を一定とするため、受熱部 6 1 a の体積が一定となるように設定した。

【 0 0 6 3 】

【表 5】

設計パラメータ		実施例						
		3-8	3-9	3-10	3-11	3-12	3-13	3-14
基板サイズ $L_{ts}$ [mm]		30	30	30	30	30	30	30
基板厚さ $d$ [mm]		2	2	2	2	2	2	2
被冷却体サイズ $R$ [mm]		80	80	80	80	80	80	80
被冷却体面積 $A$ [mm <sup>2</sup> ]		18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
入熱量 $Q_{in}$ [W]		154.2	154.2	154.2	154.2	154.2	154.2	154.2
環境温度 $T_{\infty}$ [K]		298.2	298.2	298.2	298.2	298.2	298.2	298.2
基板有効熱伝導率 $k_e$ [W/(m·K)]		1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
総括伝熱係数 $h$ の代用	受熱部外径(半径) $D_o$ [mm]	43	43	43	43	43	43	43
	受熱部穴径(半径) $D_i$ [mm]	0	5	10	15	20	25	30
	受熱部厚さ $t$ [mm]	5.00	5.07	5.29	5.69	6.38	7.55	9.74
基板内最高温度 $T_{max}$ [K]		—	—	—	—	—	—	—
基板内温度ムラ $T_{max} - T_{min}$ [K]		—	—	—	—	—	—	—

表 5 に示すように、実施例 3 - 8 ~ 3 - 14 では、基板 6 2 を F G H P として、受熱部 6 1 a の穴径 (半径)  $D_i$  および厚さ  $t$  を変えて総括伝熱係数  $h$  を変えたモデルである。すなわち、基板有効熱伝導率  $k_e$  は一定 (1800 W / (m · k)) のまま、括熱伝達係数  $h$  を変えたモデルである。受熱部 6 1 a の穴径 (半径)  $D_i$  および厚さ  $t$  は、実施例 3 - 1 ~ 3 - 7 と同様となるように設定した。

【 0 0 6 4 】

【表 6】

設計パラメータ		実施例			
		3-15	3-16	3-17	3-18
基板サイズ $L_{hs}$ [mm]		30	30	30	30
基板厚さ $d$ [mm]		2	2	2	2
被冷却体サイズ $R$ [mm]		80	80	80	80
被冷却体面積 $A$ [mm <sup>2</sup> ]		18000	18000	18000	18000
入熱量 $Q_{in}$ [W]		154.2	154.2	154.2	154.2
環境温度 $T_{\infty}$ [K]		298.2	298.2	298.2	298.2
基板有効熱伝導率 $k_e$ [W/(m·K)]		200	800	1200	2500
総括伝熱係数 $h$ の代用	受熱部外径(半径) $D_o$ [mm]	43	43	43	43
	受熱部穴径(半径) $D_i$ [mm]	30	30	30	30
	受熱部厚さ $t$ [mm]	9.74	9.74	9.74	9.74
基板内最高温度 $T_{max}$ [K]		—	—	—	—
基板内温度ムラ $T_{max} - T_{min}$ [K]		—	—	—	—

10

表 6 に示すように、実施例 3 - 15 ~ 3 - 18 では、受熱部 6 1 a の穴径(半径)  $D_i$  および厚さ  $t$  を実施例 3 - 7 および 3 - 14 と同一として、基板 6 2 の基板有効熱伝導率  $k_e$  を変えたモデルである。すなわち、括熱伝達係数  $h$  は一定のまま、基板有効熱伝導率  $k_e$  を変えたモデルである。

20

## 【0065】

図 1 2 に実施例 3 - 1 ~ 18 の解析結果を示す。グラフの縦軸は温度ムラ、横軸はピオ数  $Bi$  を示す。ピオ数  $Bi$  は、数 1 1 ~ 1 3 に従って、熱解析シミュレーションで求めた実装領域 6 6 の中心温度  $T_{66}$  を用いて算出した熱抵抗  $R_{th(all)}$  および括熱伝達係数  $h$  によって求めた。ここで、被冷却体面積  $A$  は、基板 4 2 と受熱部 4 1 a の接触面積が受熱部 4 1 a の穴径(半径)  $D_i$  によって変化するため、共通するフィン 4 3 の放熱面積を用いて算出した。

30

## 【数 1 1】

$$R_{th(all)} = \frac{T_{66} - T_{\infty}}{Q_{in}}$$

$R_{th(all)}$  : 熱抵抗 [ K / W ]

$T_{66}$  : 熱解析シミュレーションで求めた実装領域 6 6 の中心温度 [ K ]

$T_{\infty}$  : 環境温度 [ K ]

$Q_{in}$  : 入熱量 [ W ]

## 【数 1 2】

$$h = \frac{1}{R_{th(all)}A}$$

40

$h$  : 総括伝熱係数(フィン 6 1 c 放熱面積基準) [ W / ( m<sup>2</sup> · K ) ]

$A$  : 被冷却体面積(フィン 6 1 c の放熱面積) [ m<sup>2</sup> ]

## 【数 1 3】

$$Bi = \frac{hR}{k_e}$$

$Bi$  : ピオ数

$R$  : 被冷却体サイズ [ m ]

50

$k_e$  : 基板有効熱伝導率 [ W / ( m · K ) ]

【 0 0 6 6 】

図 1 2 を見て分かるように、各実施例 3 - 1 ~ 3 - 1 8 とともに、図 1 2 の点線で示す一つの近似曲線上に沿っている傾向が見られる。すなわち、温度ムラはビオ数  $B_i$  によって一義的に求めることが可能である。したがって、温度ムラの仕様が決めれば、図 1 2 中の ( 1 ) から ( 2 ) の矢印のように近似曲線を辿り、放熱システムの  $B_i$  を決定することが可能である。

ビオ数は、数 1 3 のように、総括伝熱係数、サイズおよび基板有効熱伝導率で決まる値である。上記の考え方によれば、放熱システムの設計において筐体の構成が先に決定される場合、筐体に関する定常熱伝導方程式の解析解あるいは数値解によって総括伝熱係数がまず決定され、その結果として、基板に要求される有効熱伝導率を決定することができる。逆に、基板の構成が先に決定される場合、基板の有効熱伝導率がまず決定され、その結果として、筐体に要求される総括伝熱係数を決定することができる。

【 0 0 6 7 】

以上に説明した実施例 3 によれば、放熱システムの設計パラメータを迅速に決定することができる。

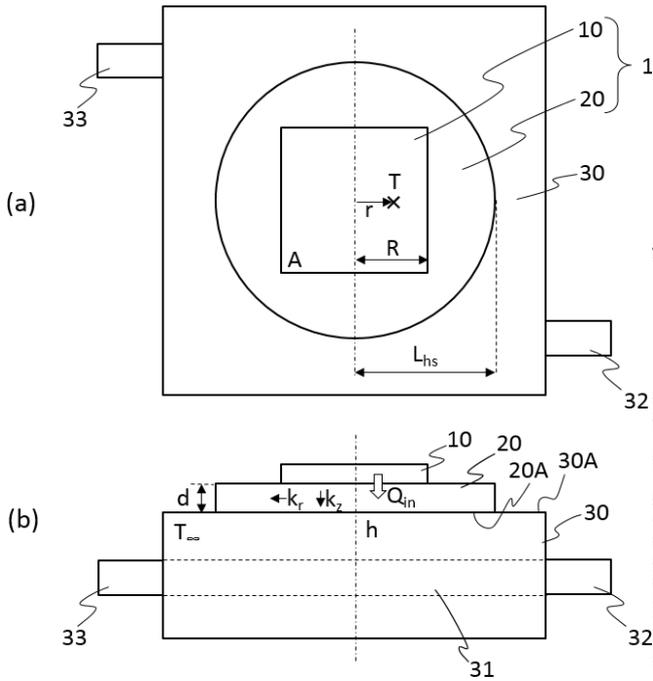
【 符号の説明 】

【 0 0 6 8 】

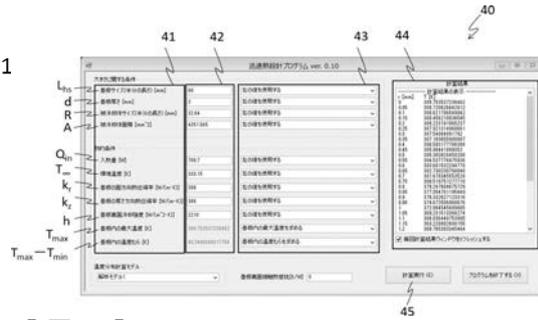
1	LED 照明モジュール	
1 0	実装領域	20
1 1	LED チップ	
1 2、1 2 a、1 2 b	配線	
1 3、1 3 a、1 3 b	外部電極端子	
1 4	ワイヤ	
1 5	保護ダイオード	
2 0	基板	
2 0 B	裏面	
2 1	無機系白色絶縁層	
2 2	ダム材	
2 3	透光性樹脂	30
2 4	無機系白色絶縁層	
3 0 ~ 3 3	液冷クーラー	
3 0	金属ブロック	
3 0 A	表面	
3 1	循環流路	
3 2	入口	
3 3	出口	
4 0	入出力画面	
4 1	設計パラメータ名称欄	
4 2	設計パラメータ入出力欄	40
4 3	設定欄	
4 4	計算結果表示欄	
4 5	計算実行ボタン	
6 0	水中高輝度 LED 照明装置	
6 1	筐体	
6 1 a	受熱部	
6 1 b	側面部	
6 1 c	フィン	
6 1 d	キャップ部	
6 1 e	ソケット部	50

- 6 2 基板
- 6 3 レンズ
- 6 4 オリング
- 6 5 開口穴
- 6 6 実装領域

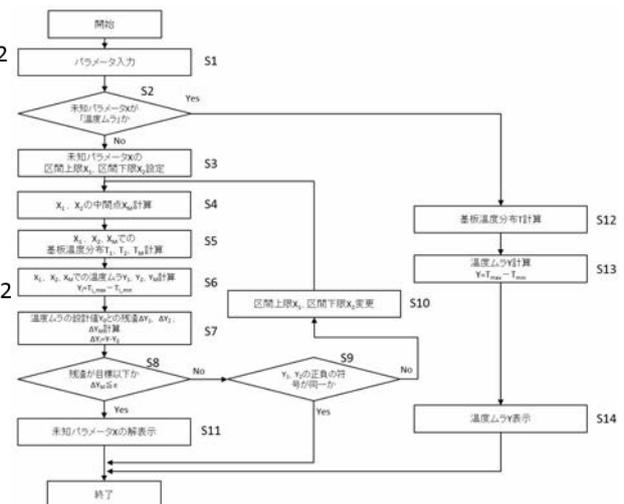
【図1】



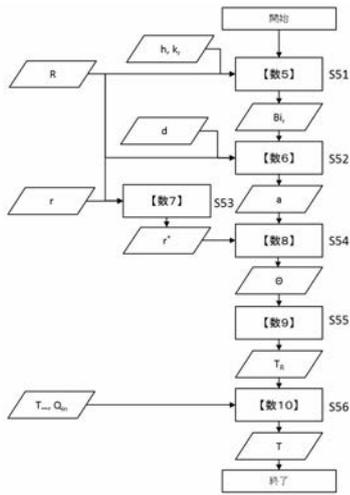
【図2】



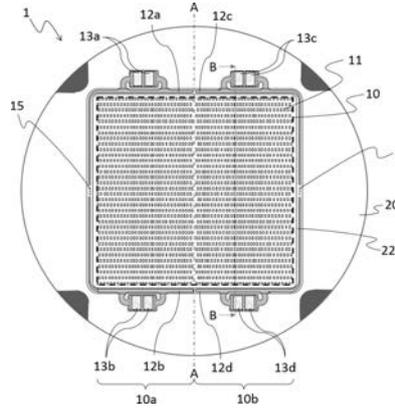
【図3】



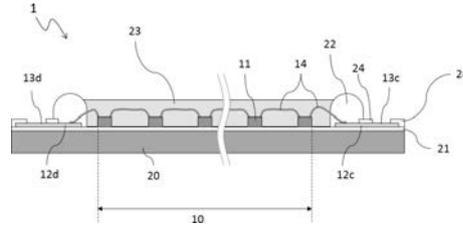
【 図 4 】



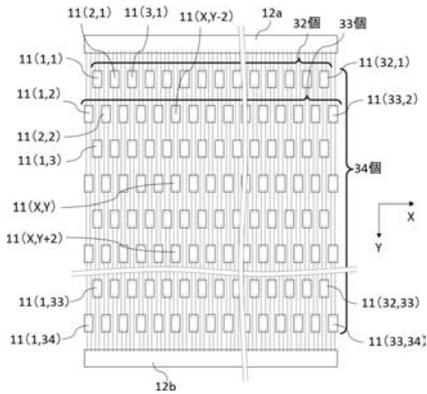
【 図 5 】



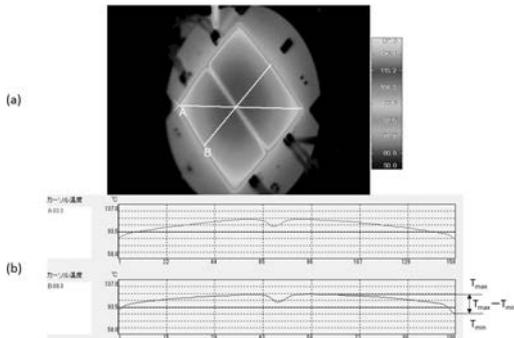
【 図 6 】



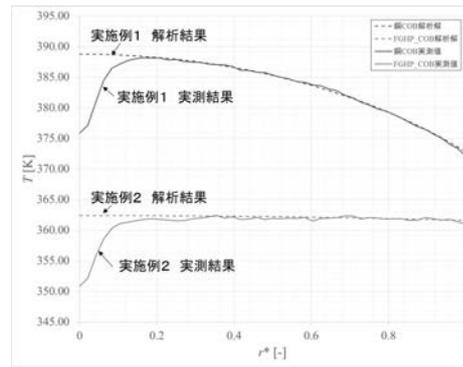
【 図 7 】



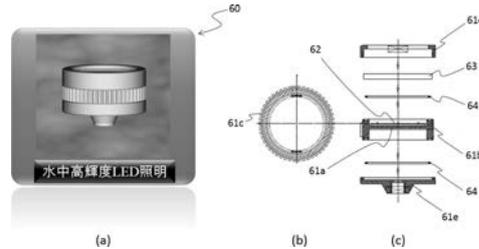
【 図 8 】



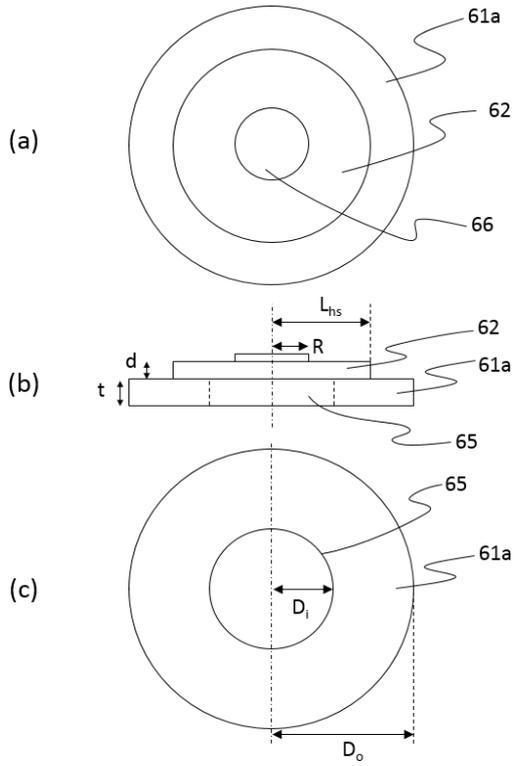
【 図 9 】



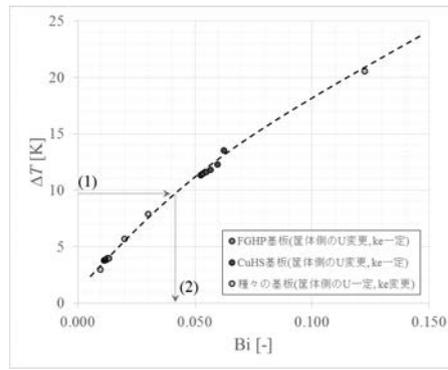
【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 福田 賢司

香川県仲多度郡多度津町南鴨200番地1 四国計測工業株式会社内

Fターム(参考) 5E322 AA05 AB10 DA01 FA01 FA05

5F136 BB01 DA33

5F142 AA42 AA46 BA32 CA02 CB17 CB23 CD02 CD13 CD32 CD43

CE03 CE06 CE08 CE15 CF02 CF23 CF34 CG03 CG45 DA02

DA12 DA22 DA23 DA32 DA72 DA73 DB32 GA21