(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2024-533137
(P2024-533137A)
(43)公表日　令和6年9月12日(2024.9.12)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
H01L 23/12 (2006.01)		H01L	23/12	Q	5E338
H05K 1/02 (2006.01)		H05K	1/02	J	

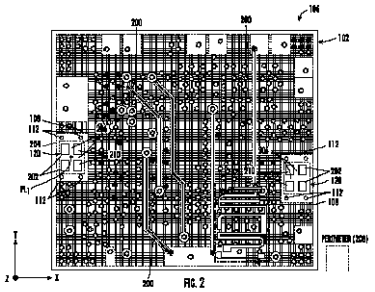
審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全36頁）

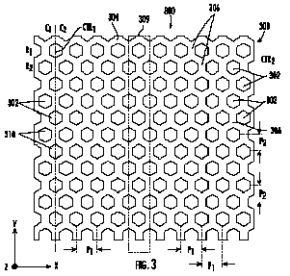
(21)出願番号　特願2024-513825(P2024-513825)
(86)(22)出願日　令和4年7月1日(2022.7.1)
(85)翻訳文提出日　令和6年2月29日(2024.2.29)
(86)国際出願番号　PCT/US2022/073351
(87)国際公開番号　WO2023/039312
(87)国際公開日　令和5年3月16日(2023.3.16)
(31)優先権主張番号　17/470,961
(32)優先日　令和3年9月9日(2021.9.9)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(81)指定国・地域　AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,
最終頁に続く

(71)出願人　595020643
クゥアルコム・インコーポレイテッド
ＱＵＡＬＣＯＭＭ　ＩＮＣＯＲＰＯＲＡＴＥＤ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ　５７７５
(74)代理人　110003708
弁理士法人鈴榮特許綜合事務所
(72)発明者　デトレフセン、アンドレアス
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９２１２１、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ　５７７５
(72)発明者　ビーレン、イェルン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　ダイ－基板間の機械的応力を低減するためにパッケージ基板の金属構造（単数又は複数）内にボイド画定部分を有する、半導体ダイモジュールパッケージ、及び関連する方法

(57)【要約】
ダイ基板の機械的応力を低減するためにパッケージ基板の金属構造（単数又は複数）内にボイド画定部分を有する、半導体ダイモジュールパッケージ、及び関連する製造方法。パッケージ基板とダイモジュールパッケージのダイ（単数又は複数）との間のダイ－基板間の機械的応力を低減するために、パッケージ基板のメタライゼーション層（単数又は複数）内の金属構造（単数又は複数）内にボイド画定部分が形成される。ボイド画定部分は、剛性を低減するために画定された領域内の金属構造の金属材料の１つ以上の切り欠きから形成され、これはまた、パッケージ基板の実効熱膨張係数（ＣＴＥ）を低減する効果を有する。ボイド画定部分内の金属切り欠き間に残っている金属材料は、金属相互接続を形成する。ダイ相互接続は、ダイとパッケージ基板へのダイ相互接続との間の機械的応力を低減するために、ダイを金属構造内のボイド画定部分内の金属相互接続に直接的に結合することができる。


FIG. 2


FIG. 3

【特許請求の範囲】
【請求項１】
パッケージ基板と、前記パッケージ基板は、
水平方向において互いに平行であり、かつ、共通の垂直面を共有する、複数の金属構造を備え、
前記複数の金属構造のうちの各金属構造が、
第１の熱膨張係数（ＣＴＥ）を有する金属材料と、
前記金属構造内に配置された複数のボイドを備えるボイド画定部分と、
前記複数のボイドのうちの隣接するボイド間に配置された前記金属構造内の前記金属材料によって各々形成された１つ以上の金属相互接続と、
前記ボイド画定部分内の前記複数のボイドのうちの少なくとも１つのボイド内に配置された第２のＣＴＥを有する誘電体材料と、前記誘電体材料の前記第２のＣＴＥが前記金属材料の前記第１のＣＴＥよりも小さい、
を備え、
前記パッケージ基板に隣接して配置されたダイと、
各々が前記ダイに結合され、各々が前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造の前記ボイド画定部分内の前記１つ以上の金属相互接続のうちの１つの金属相互接続に結合された、少なくとも１つのダイ相互接続と、
を備える、ダイモジュールパッケージ。
【請求項２】
前記ダイの領域の少なくとも一部分が、垂直面において前記パッケージ基板内のボイド画定部分に少なくとも部分的に重なり合うように前記パッケージ基板に対して配向されている、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項３】
前記パッケージ基板が、互いに平行な複数のメタライゼーション層を含み、
前記複数の金属構造のうちの各金属構造が、前記複数のメタライゼーション層のうちの異なるメタライゼーション層内に配置されている、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項４】
前記複数の金属構造のうちの第１の金属構造が、前記複数のメタライゼーション層のうちの第１のメタライゼーション層内に配置され、
前記複数の金属構造のうちの第２の金属構造が、前記第１のメタライゼーション層とは異なる前記複数のメタライゼーション層のうちの第２のメタライゼーション層内に配置され、
前記第１の金属構造の前記ボイド画定部分内の前記複数のボイドのうちの個別のボイドを通して配置された垂直相互接続アクセス（ビア）と、
前記第２の金属構造のボイド画定部分内の前記複数の金属相互接続のうちの１つの金属相互接続に結合された、前記少なくとも１つのビアの各ビアと、
を更に備える、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項５】
前記金属構造内に配置された前記複数のボイドが各々、前記金属構造内の前記金属材料によって完全に取り囲まれ、かつ、前記金属材料に結合されている、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項６】
前記複数の金属構造の各金属構造が、接地面を含む、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項７】
各金属構造内の前記複数のボイドが、前記金属構造の面積の少なくとも３０パーセント（３０％）である面積を有する、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項８】

前記複数のボイドが、前記金属構造内の前記ボイド画定部分の周囲を形成する、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項９】
前記複数のボイドが、前記周囲の第２の面積の少なくとも８５パーセント（８５％）の第１の面積を有する、請求項８に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１０】
前記金属構造の前記ボイド画定部分が、１００メガパスカル（ＭＰａ）～５０ギガパスカル（ＧＰａ）のヤング率を有する、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１１】
前記金属構造の前記金属材料の前記第１のＣＴＥが、１３パーツパーミリオン（ｐｐｍ）パーケルビン（Ｋ）（ｐｐｍ／Ｋ）～２４ｐｐｍ／Ｋである、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１２】
前記誘電体材料の前記第２のＣＴＥが、４ｐｐｍ／Ｋ～１８ｐｐｍ／Ｋである、請求項１１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１３】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記複数のボイドが、前記金属構造内に繰り返しパターンで形成されている、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１４】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記複数のボイドの各々が、第１の軸の第１の方向において同じ第１のピッチを有し、前記第１の軸に直交する第２の軸の第２の方向において同じ第２のピッチを有する、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１５】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記複数のボイドの各々が、第１の軸の第１の方向における第１の長さと、前記第１の軸に直交する第２の軸の第２の方向における第２の長さとを有する細長いボイドを含み、前記第２の長さが前記第１の長さに等しい、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１６】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記複数のボイドの各々が、第１の軸の第１の方向における第１の長さと、前記第１の軸に直交する第２の軸の第２の方向における第２の長さとを有する細長いボイドを含み、前記第２の長さが前記第１の長さよりも小さい、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１７】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造が、少なくとも２つの直交する軸に沿って均一に変形可能である、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１８】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記複数のボイドが、同じピッチを有する、請求項１７に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項１９】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記複数のボイドのうちのボイドのサブセットが、同じ軸に沿って細長くなっている、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項２０】
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記ボイド画定部分が、前記ボイド画定部分の周囲を形成する正方形状の周囲に沿って配置された複数の直線ボイドを備える正方形状のボイド画定部分である、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。
【請求項２１】

前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の前記ボイド画定部分が、前記ボイド画定部分の周囲を形成する円形状の周囲に沿って配置された複数の凸状ボイドを備える円形状のボイド画定部分である、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。

【請求項２２】

前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造に対して、

前記複数のボイドのうちの第１のボイドが、

第１の軸と位置合わせされた第１の細長いボイド部分と、

前記第１の軸に平行な第２の軸と位置合わせされた第２の細長いボイド部分と、

前記第１の細長いボイド部分と前記第２の細長いボイド部分とを結合する第３のボイド部分と、

を備え、

前記複数のボイドのうちの第２のボイドが、

前記第１の軸と位置合わせされ、前記少なくとも１つの金属構造内の第１の金属ボイド部分によって前記第１の細長いボイド部分から分離された、第４の細長いボイド部分と、

前記第２の軸と位置合わせされ、前記少なくとも１つの金属構造内の第２の金属ボイド部分によって前記第１の細長いボイド部分から分離された、第５の細長いボイド部分と、

前記少なくとも１つの金属構造内の第３の金属ボイド部分によって分離された、前記第４の細長いボイド部分と前記第５の細長いボイド部分とを結合する第６のボイド部分と、

を備え、

前記第１の金属ボイド部分と、前記第２の金属ボイド部分と、前記第３の金属ボイド部分とが一緒に結合され、前記金属相互接続を形成する、

請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。

【請求項２３】

セットトップボックスと、エンターテイメントユニット、ナビゲーションデバイス、通信デバイス、固定ロケーションデータユニット、モバイルロケーションデータユニット、全地球測位システム（ＧＰＳ）デバイス、モバイルフォン、セルラーフォン、スマートフォン、セッション開始プロトコル（ＳＩＰ）フォン、タブレット、ファブレット、サーバ、コンピュータ、ポータブルコンピュータ、モバイルコンピューティングデバイス、ウェアラブルコンピューティングデバイス、デスクトップコンピュータ、携帯情報端末（ＰＤＡ）、モニタ、コンピュータモニタ、テレビ、チューナー、ラジオ、衛星ラジオ、音楽プレーヤ、デジタル音楽プレーヤ、ポータブル音楽プレーヤ、デジタルビデオプレーヤ、ビデオプレーヤ、デジタルビデオディスク（ＤＶＤ）プレーヤ、ポータブルデジタルビデオプレーヤ、自動車、車両部品、アビオニクスシステム、ドローン、及びマルチコプターからなる群から選択されるデバイスに一体化された、請求項１に記載のダイモジュールパッケージ。

【請求項２４】

ダイモジュールパッケージを製造する方法であって、

パッケージ基板を形成することと、前記パッケージを形成することは、

水平方向において互いに平行であり、かつ、共通の垂直面を共有する、複数の金属構造を形成することを備え、前記複数の金属構造のうちの各金属構造が、

第１の熱膨張係数（ＣＴＥ）を有する金属材料と、

前記金属構造内に配置された複数のボイドを備えるボイド画定部分と、

前記複数のボイドのうちの隣接するボイド間に配置された前記金属構造内の前記金属材料によって各々形成された１つ以上の金属相互接続と、

前記ボイド画定部分内の前記複数のボイドのうちの少なくとも１つのボイド内に配置された第２のＣＴＥを有する誘電体材料と、前記誘電体材料の前記第２のＣＴＥが前記金属材料の前記第１のＣＴＥよりも小さい、

を備え、
前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造の前記ボイド画定部分内の前記１つ以上の金属相互接続のうちの少なくとも１つの金属相互接続に結合された少なくとも１つのダイ相互接続を形成することと、
ダイを前記少なくとも１つのダイ相互接続に結合することと、
を備える、方法。
【請求項２５】
前記ダイを前記少なくとも１つのダイ相互接続に結合することが、垂直面において前記パッケージ基板内の前記複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内のボイド画定部分に少なくとも部分的に重なり合うように前記パッケージ基板に対して配向された前記ダイの領域の少なくとも一部分を配置することを更に備える、請求項２４に記載の方法。
【請求項２６】
前記複数の金属構造のうちの第１の金属構造の前記ボイド画定部分内の前記複数のボイドのうちの個別のボイドを各々が通る、少なくとも１つの垂直相互接続アクセス（ビア）を配置することと、
前記少なくとも１つのビアの各ビアを、前記複数の金属構造のうちの１つの金属構造の第２のボイド画定部分内の前記複数の金属相互接続のうちの１つの金属相互接続に結合することと、
を更に備える、請求項２４に記載の方法。
【請求項２７】
前記複数の金属構造を形成することが、前記パッケージ基板内で互いに平行な複数のメタライゼーション層のうちの異なるメタライゼーション層内に前記複数の金属構造のうちの各金属構造を形成することを更に備える、請求項２４に記載の方法。
【請求項２８】
前記金属構造内に前記複数のボイドを形成することが、前記複数のボイドが各々、前記金属構造内の前記金属材料によって完全に取り囲まれ、かつ、前記金属材料に結合されるように、前記金属構造内に前記複数のボイドを形成することを更に備える、請求項２４に記載の方法。
【請求項２９】
前記金属構造内に前記複数のボイドを形成することが、前記金属構造の面積の少なくとも３０パーセント（３０％）の前記金属構造内の面積を消費するように、各金属構造内に前記複数のボイドを形成することを更に備える、請求項２４に記載の方法。
【請求項３０】
前記金属構造の前記ボイド画定部分が、１００メガパスカル（ＭＰａ）～５０ギガパスカル（ＧＰａ）のヤング率を有する、請求項２４に記載の方法。
【請求項３１】
前記金属材料の前記第１のＣＴＥが、１３パーツパーミリオン（ｐｐｍ）パーケルビン（Ｋ）（ｐｐｍ／Ｋ）～２４ｐｐｍ／Ｋである、請求項２４に記載の方法。
【請求項３２】
前記誘電体材料の前記第２のＣＴＥが、４ｐｐｍ／Ｋ～１８ｐｐｍ／Ｋである、請求項２４に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【優先権の主張】
【０００１】
優先権出願
[0001] 本出願は、２０２１年９月９日に出願された「ＳＥＭＩＣＯＮＤＵＣＴＯＲ ＤＩＥ ＭＯＤＵＬＥ ＰＡＣＫＡＧＥＳ ＷＩＴＨ ＶＯＩＤ－ＤＥＦＩＮＥＤ ＳＥＣＴＩＯＮＳ ＩＮ Ａ ＭＥＴＡＬ ＳＴＲＵＣＴＵＲＥ（Ｓ）ＩＮ Ａ ＰＡＣＫＡＧＥ ＳＵＢＳＴＲＡＴＥ ＴＯ ＲＥＤＵＣＥ ＤＩＥ－ＳＵＢＳＴＲＡＴＥ ＭＥＣ

ＨＡＮＩＣＡＬ　ＳＴＲＥＳＳ，ＡＮＤ　ＲＥＬＡＴＥＤ　ＭＥＴＨＯＤＳ」と題する、米国特許出願第１７／４７０，９６１号の優先権を主張するものであり、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【技術分野】

【０００２】

Ｉ．開示の分野

[0002] 本開示の分野は、電力増幅器（power amplifier、ＰＡ）及びフィルタなどの様々なダイ構成要素、並びにパッケージ基板上に搭載された他の集積回路（integrated circuit、ＩＣ）チップを含み得る、無線周波数（radio-frequency、ＲＦ）フロントエンドモジュールパッケージなどの半導体ダイモジュールパッケージに関する。

【背景分野】

【０００３】

ＩＩ．背景

[0003] 半導体デバイスは、電子デバイスの要である。半導体デバイスは、半導体ダイ（「ダイ」）内に形成される。１つ以上の半導体ダイは、「ダイモジュールパッケージ」とも呼ばれるモジュールパッケージ内のサブコンポーネントとしてパッケージ化され得る。ダイモジュールパッケージの１つのタイプは、無線周波数（ＲＦ）ダイモジュールパッケージである。ダイモジュールパッケージは、１つ以上のベア半導体ダイを含むか、又はそれ自体のチップパッケージ内に１つ以上の半導体ダイを含み、半導体第は、パッケージ基板に結合されている。パッケージ基板は、ダイ用の支持構造を提供する。パッケージ基板は、半導体ダイへの信号ルーティング経路を提供するための金属相互接続（例えば、金属トレース、金属線、垂直相互接続アクセス（ビア））を含む、１つ以上のメタライゼーション層を含む。これらの信号ルーティング経路は、ダイモジュールパッケージの外部のパッケージ相互接続に結合された外部信号ルーティング経路、並びにダイ－ダイ間（die-to-die、Ｄ２Ｄ）信号ルーティング経路を含み得る。ダイ相互接続（例えば、はんだバンプ）は、信号ルーティングのために半導体ダイをパッケージ基板内の金属相互接続に電気的に結合するように、ダイをパッケージ基板の上部メタライゼーション層内の金属相互接続に結合するように提供される。

【０００４】

[0004] ダイモジュールパッケージの異なる構成要素は、温度変化に応じてそれらの熱膨張及び熱収縮を特徴付ける、異なる熱膨張係数（coefficients of thermal expansion、ＣＴＥ）を有する異なる材料から製造される。例えば、誘電体材料及び埋め込まれた金属（例えば、銅）トレースから形成されているパッケージ基板は、ダイをパッケージ基板に電気的に結合し、搭載するために使用されるダイ相互接続とは異なるＣＴＥを有し得る。パッケージ基板はまた、サブコンポーネントダイ又はチップ自体とは異なるＣＴＥを有し得る。したがって、ダイモジュールパッケージが環境温度の変化を経験すると、ダイモジュールパッケージの異なる材料は、熱収縮及び熱膨張に起因する機械的応力を経験することになる。しかしながら、ダイモジュールパッケージの異なる材料の異なるＣＴＥ（すなわち、ＣＴＥミスマッチ）は、繰り返される熱膨張及び熱収縮に起因する機械的応力が繰り返し加えられる原因となる。例えば、これらの応力は、特に、ダイ相互接続、ダイ、及び／又はパッケージ基板の間のＣＴＥの差に起因して、ダイをパッケージ基板に結合するダイ相互接続（バンプ）及び／又はダイ自体に損傷を引き起こす可能性がある。ダイ相互接続は、最終的に、繰り返される熱応力に起因する「はんだ疲労」として知られる機械的劣化を経験することになる。更に、ダイモジュールパッケージが、パッケージ基板に搭載されたダイとパッケージ基板との間にエアキャビティが存在するベアダイモジュールパッケージである場合、エアキャビティの存在により、機械的応力を軽減するためにサブコンポーネントダイとパッケージ基板との間に応力吸収材料を配置することを可能でなくなる場合がある。例えば、ダイモジュールパッケージが音響フィルタを含む場合、音響フィルタと基板との間のフィルタの下に配置されたアンダーモールド材料が、音響フィルタの音響機能と干渉することになる。

【発明の概要】
【０００５】
［0005］ 本明細書で開示される態様は、ダイ－基板間の機械的応力を低減するために、パッケージ基板の金属構造（単数又は複数）内にボイド画定部分を有する、半導体ダイモジュールパッケージを含む。関連する製造方法も開示される。ダイモジュールパッケージは、支持のために、かつ、ダイへの電気的接続性を提供するために、パッケージ基板に結合された１つ以上のダイを含む。例えば、半導体ダイ（「ダイ」）モジュールパッケージは、一例として、パッケージ基板に搭載された音響フィルタなどの１つ以上の無線周波数（ＲＦ）ダイサブコンポーネントを含むＲＦダイモジュールパッケージであってもよい。パッケージ基板は、パッケージ基板上に搭載され、かつ、金属構造に電気的に結合されたダイ（単数又は複数）間に接地電位接続を提供するための接地面を含む信号ルーティング経路を提供するための１つ以上の金属構造を含む、少なくとも１つのメタライゼーション層を含む。ダイ相互接続（例えば、はんだバンプ）は、ダイ（単数又は複数）をパッケージ基板内の金属構造に電気的に結合する。パッケージ基板はダイ相互接続及びダイとは異なる熱膨張係数（ＣＴＥ）を有し得るため、ダイモジュールパッケージの環境温度の変化に起因して、機械的応力がパッケージ基板によってダイ相互接続に課され、次いでダイに課され得る。これは、ダイ相互接続及びパッケージ基板へのダイの信頼性のある電気的接続に対して損傷を与えるリスクがあり得る。したがって、例示的な態様では、パッケージ基板、ダイ相互接続、及び／又はダイモジュールパッケージのダイの間のダイ－基板間の機械的応力を低減するために、パッケージ基板のメタライゼーション層（単数又は複数）内の金属構造（単数又は複数）内にボイド画定部分を形成して、ボイド画定部分内の金属構造の剛性を低減する。ボイド画定部分は、剛性を低減するために画定された領域内の金属構造の金属材料の１つ以上の切り欠きから形成され、これはまた、パッケージ基板の実効ＣＴＥを低減する効果を有する。ボイド画定部分内の金属切り欠き間に残っている金属材料は、金属相互接続を形成する。ボイド画定部分を含む金属構造は、パッケージ基板の１つの、複数の、及び／又はすべてのメタライゼーション層内に提供され得る。例えば、パッケージ基板の剛性を低減するために、金属構造が水平方向においても互いに平行であり、かつ、パッケージ基板内で垂直方向において少なくとも部分的に互いに重なり合っているように共通の垂直面を共有するように、複数の金属構造が、互いに平行な複数のメタライゼーション層内に提供され得る。ダイモジュールパッケージ内のダイ（単数又は複数）は、ダイがダイ（単数又は複数）の上方に位置し、かつ、ボイド画定部分がダイ（単数又は複数）の下方に位置するように、パッケージ基板上で配向され得る。ダイ相互接続は、ダイ及びダイ相互接続のパッケージ基板への結合間の機械的応力を緩衝し、したがって低減するために、（直接的に、又は介在するメタライゼーション層内の金属相互接続を介して間接的に）ダイを金属構造内の剛性が低減されたボイド画定部分内の金属相互接続に結合する。
【０００６】
［0006］ 他の例示的な態様では、金属構造内にボイド画定部分を画定する金属構造内の切り欠きは、ボイド画定部分の剛性及びパッケージ基板の実効ＣＴＥを更に低減するために、接地面（単数又は複数）の金属材料のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有する材料で更に任意選択的に充填され得る。ダイ相互接続及びダイへの接続が行われるボイド画定部分の剛性及び実効ＣＴＥを更に低減することにより、パッケージ基板とダイ相互接続及び／又はダイとの間の機械的応力を更に低減することができる。
【０００７】
［0007］ 例示的な一態様では、パターン化されたボイドは、すべての方向軸において等しく可撓性を提供するために、すべての方向軸において均一であるようにパッケージ基板の金属構造内に配置され得る。別の例示的な態様では、パッケージ基板の金属構造（単数又は複数）内のパターン化されたボイドは、特定の方向軸において強化された可撓性を提供するために、ある特定の方向軸において細長くなるようにバイアスされ得る。別の例示的な態様では、パッケージ基板の金属構造（単数又は複数）内のパターン化されたボイ

ドは、垂直相互接続アクセス（ビア）がボイドのうちの１つ以上を通って延びて、金属構造（単数又は複数）を通って延び、かつ、金属構造（単数又は複数）に接続されたビアを支持するように設計され得る。別の例示的な態様では、パッケージ基板の金属構造（単数又は複数）内のボイドを、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されるようにパターン化して、そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供することができる。

【０００８】

［0008］ この点に関して、例示的な一態様では、ダイモジュールパッケージ基板が提供される。ダイモジュールパッケージは、パッケージ基板を含む。パッケージ基板は、水平方向において互いに平行であり、かつ、共通の垂直面を共有する、複数の金属構造を含む。複数の金属構造のうちの各金属構造は、第１のＣＴＥを有する金属材料を含む。複数の金属構造のうちの各金属構造はまた、金属構造内に配置された複数のボイドを含むボイド画定部分を含む。複数の金属構造のうちの各金属構造はまた、複数のボイドのうちの隣接するボイド間に配置された金属構造内の金属材料によって各々形成された１つ以上の金属相互接続を含む。複数の金属構造のうちの各金属構造はまた、ボイド画定部分内の複数のボイドのうちの少なくとも１つのボイド内に配置された第２のＣＴＥを有する誘電体材料を含む。誘電体材料の第２のＣＴＥは、金属材料の第１のＣＴＥよりも小さい。ダイモジュールパッケージはまた、パッケージ基板に隣接して配置されたダイを含む。ダイモジュールパッケージはまた、各々がダイに結合され、各々が複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造のボイド画定部分内の１つ以上の金属相互接続のうちの１つの金属相互接続に結合された、少なくとも１つのダイ相互接続を含む。

【０００９】

［0009］ 別の例示的な態様では、ダイモジュールパッケージを製造する方法が提供される。方法は、パッケージ基板を形成することを含む。パッケージ基板を形成することは、水平方向において互いに平行であり、かつ、共通の垂直面を共有する、複数の金属構造を形成することを含む。複数の金属構造のうちの各金属構造は、第１のＣＴＥを有する金属材料と、金属構造内に配置された複数のボイドを含むボイド画定部分と、複数のボイドのうちの隣接するボイド間に配置された金属構造内の金属材料によって各々形成された１つ以上の金属相互接続と、ボイド画定部分内の複数のボイドのうちの少なくとも１つのボイド内に配置された第２のＣＴＥを有する誘電体材料であって、誘電体材料の第２のＣＴＥが金属材料の第１のＣＴＥよりも小さい、誘電体材料と、を含む。方法はまた、複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造のボイド画定部分内の１つ以上の金属相互接続のうちの少なくとも１つの金属相互接続に結合された、少なくとも１つのダイ相互接続を形成することを含む。方法はまた、ダイを少なくとも１つのダイ相互接続に結合することを含む。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】［0010］ ダイを金属構造内のボイド画定部分に結合するダイ相互接続を有する、例示的な半導体ダイ（「ダイ」）モジュールパッケージの側面図であり、金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減してパッケージ基板とダイ相互接続及びダイとの間のダイ－基板間の機械的応力を低減するために、ボイド画定部分が金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されている。

【図２】［0011］ 図１のパッケージ基板などのパッケージ基板内の例示的な基板層の上面図であり、基板層は、パッケージ基板とダイ相互接続及びダイとの間のダイ－基板間の機械的応力を低減するために、ダイに結合されたダイ相互接続に結合されるように構成されたボイド画定部分を有する接地面を含む。

【図３】［0012］ 接地面内のボイド画定部分の剛性を低減し、かつ、接地面の全体的な熱膨張係数（ＣＴＥ）を低減するために、接地面内にボイド画定部分を提供するパターン化されたボイドを有する、パッケージ基板のメタライゼーション層内の例示的な金属構造の上面図である。

【図４Ａ】[0013] 図３の金属構造のＣＴＥの例示的なシミュレーション結果を示すグラフである。
【図４Ｂ】[0014] 図３と同様であるがパターン化されたボイドがない、金属構造のＣＴＥの例示的なシミュレーション結果を示すグラフである。
【図５】[0015] 金属構造を形成するために使用される様々な金属材料の体積の関数として、図３の金属構造の実効ＣＴＥを示すグラフである。
【図６】[0016] 方向軸において垂直にバイアスされた金属構造の金属剛性を低減するために方向軸においてバイアスされたパターン化されたボイドを有する、別の例示的な接地面の上面図である。
【図７】[0017] ボイド画定部分内の剛性を低減するために、金属構造内にボイド画定部分を形成するパターン化されたボイドを有する、別の例示的な接地面の上面図であり、垂直相互接続アクセス（ビア）がボイド内に選択的に配置される。
【図８】[0018] 方向軸に対して垂直にバイアスされた接地面の剛性を低減するために、方向軸においてバイアスされ、かつ、金属構造内にボイド画定部分を形成する、細長いパターン化されたボイド、ボイドを有する、別の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ａ】[0019] そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ｂ】そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ｃ】そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ｄ】そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ｅ】そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ｆ】そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ｇ】そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図９Ｈ】そのような金属トレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供する金属構造内のボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたボイドを有する、他の例示的な金属構造の上面図である。
【図１０】[0020] 金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減して、パッケージ基板とダイ相互接続及びダイとの間のダイ－基板間の機械的応力を低減するために、金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されたボイド画定部分を有する１つ

以上の金属構造を含むパッケージ基板を含む、ダイモジュールパッケージを製造する例示的な製造プロセスを示すフローチャートである。

【図１１】[0021] 限定はしないが、図１～図３及び図６～図９Ｈのパッケージ基板を含み、図１０の例示的な製造プロセスによる、金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減するための金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されたボイド画定部分を有する１つ以上の金属構造を含むパッケージ基板を含む、それぞれのダイモジュールパッケージ内に提供され得る無線周波数（ＲＦ）構成要素を含む例示的な無線通信デバイスのブロック図である。

【図１２】[0022] 限定はしないが、図１～図３及び図６～図９Ｈのパッケージ基板を含み、図１０の例示的な製造プロセスによる、金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減するための金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されたボイド画定部分を有する１つ以上の金属構造を含むパッケージ基板を含む、それぞれのダイモジュールパッケージ内に提供され得る例示的なプロセッサベースのシステムのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

[0023] 次に、図面を参照して、本開示のいくつかの例示的な態様について説明する。「例示的（exemplary）」という語は、「例、事例、又は例示としての役割を果たすこと」を意味するために本明細書で使用される。「例示的」として本明細書で説明したいかなる態様も、必ずしも他の態様よりも好ましい又は有利であると解釈されるべきではない。

【００１２】

[0024] 本明細書で開示される態様は、ダイ－基板間の機械的応力を低減するために、パッケージ基板の金属構造（単数又は複数）内にボイド画定部分を有する、半導体ダイモジュールパッケージを含む。関連する製造方法も開示される。ダイモジュールパッケージは、支持のために、かつ、ダイへの電気的接続性を提供するために、パッケージ基板に結合された１つ以上のダイを含む。例えば、半導体ダイ（「ダイ」）モジュールパッケージは、一例として、パッケージ基板に搭載された音響フィルタなどの１つ以上の無線周波数（ＲＦ）ダイサブコンポーネントを含むＲＦダイモジュールパッケージであってもよい。パッケージ基板は、パッケージ基板上に搭載され、かつ、金属構造に電気的に結合されたダイ（単数又は複数）間に接地電位接続を提供するための接地面を含む信号ルーティング経路を提供するための１つ以上の金属構造を含む、少なくとも１つのメタライゼーション層を含む。ダイ相互接続（例えば、はんだバンプ）は、ダイ（単数又は複数）をパッケージ基板内の金属構造に電気的に結合する。パッケージ基板はダイ相互接続及びダイとは異なる熱膨張係数（ＣＴＥ）を有し得るため、ダイモジュールパッケージの環境温度の変化に起因して、機械的応力がパッケージ基板によってダイ相互接続に課され、次いでダイに課され得る。これは、ダイ相互接続及びパッケージ基板へのダイの信頼性のある電気的接続に対して損傷を与えるリスクがあり得る。したがって、例示的な態様では、パッケージ基板、ダイ相互接続、及び／又はダイモジュールパッケージのダイの間のダイ－基板間の機械的応力を低減するために、パッケージ基板のメタライゼーション層（単数又は複数）内の金属構造（単数又は複数）内にボイド画定部分を形成して、ボイド画定部分内の金属構造の剛性を低減する。ボイド画定部分は、剛性を低減するために画定された領域内の金属構造の金属材料の１つ以上の切り欠きから形成され、これはまた、パッケージ基板の実効ＣＴＥを低減する効果を有する。ボイド画定部分内の金属切り欠き間に残っている金属材料は、金属相互接続を形成する。ボイド画定部分を含む金属構造は、パッケージ基板の１つの、複数の、及び／又はすべてのメタライゼーション層内に提供され得る。例えば、パッケージ基板の剛性を低減するために、金属構造が水平方向においても互いに平行であり、かつ、パッケージ基板内で垂直方向において少なくとも部分的に互いに重なり合っているように共通の垂直面を共有するように、複数の金属構造が、互いに平行な複数のメタライゼーション層内に提供され得る。ダイモジュールパッケージ内のダイ（単数又は複

数）は、ダイがダイ（単数又は複数）の上方に位置し、かつ、ボイド画定部分がダイ（単数又は複数）の下方に位置するように、パッケージ基板上で配向され得る。ダイ相互接続は、ダイ及びダイ相互接続のパッケージ基板への結合間の機械的応力を緩衝し、したがって低減するために、（直接的に、又は介在するメタライゼーション層内の金属相互接続を介して間接的に）ダイを金属構造内の剛性が低減されたボイド画定部分内の金属相互接続に結合する。

【００１３】

［0025］ 他の例示的な態様では、金属構造内にボイド画定部分を画定する金属構造内の切り欠きは、ボイド画定部分の剛性及びパッケージ基板の実効ＣＴＥを更に低減するために、接地面（単数又は複数）の金属材料のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有する材料で更に任意選択的に充填され得る。ダイ相互接続及びダイへの接続が行われるボイド画定部分の剛性及び実効ＣＴＥを更に低減することにより、パッケージ基板とダイ相互接続及び／又はダイとの間の機械的応力を更に低減することができる。

【００１４】

［0026］ この点に関して、図１は、パッケージ基板１０４に隣接し、かつ、結合された２つの半導体ダイ（「ダイ」）１０２（１）、１０２（２）を含む、例示的な半導体ダイ（「ダイ」）モジュールパッケージ１００の側面図である。例えば、ダイモジュールパッケージ１００は、ダイ１０２（１）、１０２（２）が音響フィルタ又はＲＦ増幅器などのＲＦ構成要素であるＲＦダイモジュールパッケージであり得る。パッケージ基板１０４は、コアレス基板であっても、又はコア有り基板であってもよい。パッケージ基板１０４は、ダイモジュールパッケージ１００のダイ１０２（１）、１０２（２）と外部相互接続バンプ１１０との間に信号ルーティング経路を提供するための金属構造１０８（１）～１０８（４）を各々含む、メタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）を含む。例えば、金属構造１０８（１）～１０８（４）は、金属材料の再分配から形成される、又は積層プロセスにおいて積層されたメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）内に形成され得る。金属構造１０８（１）～１０８（４）は、金属相互接続（例えば、金属線、金属トレース）を提供する。金属構造１０８（１）～１０８（４）はまた、ダイ１０２（１）、１０２（２）のための接地面として機能することができる。金属構造１０８（１）～１０８（４）は、ダイ１０２（１）とダイ１０２（２）との間のダイ－ダイ間相互接続（Ｄ２Ｄ）を提供することができる。垂直相互接続アクセス（ビア）１１２は、異なるメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）間の信号ルーティングを提供するために、パッケージ基板１０４内のそれぞれのメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）内の金属構造１０８（１）～１０８（４）間に結合される。ダイ相互接続１１４（例えば、はんだバンプ）は、ダイ１０２（１）、１０２（２）をパッケージ基板１０４に電気的に結合するために、パッケージ基板１０４内の上部メタライゼーション層１０６（１）内のダイ（単数又は複数）１０２（１）、１０２（２）及び金属構造１０８（１）に結合される。ダイ相互接続１１４はまた、ビア１１２を通したそのような金属構造１０８（２）～１０８（４）間の相互接続性に起因して、下にあるメタライゼーション層１０６（２）～１０６（４）内の他の金属構造１０８（２）～１０８（４）に間接的に結合され得る。いくつかの金属構造１０８（１）～１０８（４）は、ダイ相互接続１１４を通したダイ１０２（１）、１０２（４）への接地電位結合のための接地面として機能することができる。ダイ１０２（１）、１０２（２）は、パッケージ基板１０４上のオーバーモールド材料１１６によってカプセル化される。

【００１５】

［0027］ 機械的応力は、ダイモジュールパッケージ１００の環境温度の変化に起因して、パッケージ基板１０４によってダイ相互接続１１４に、次いでダイ１０２（１）、１０２（２）に課され得る。これは、パッケージ基板１０４がダイ相互接続１１４及び／又はダイ１０２（１）、１０２（２）とは異なるＣＴＥを有し得るためである。これにより、ダイ相互接続１１４、及びパッケージ基板１０４へのダイ１０２（１）、１０２（２）の信頼性のある電気接続に対して損傷を与えるリスクがあり得る。パッケージ基板１０４

内のポリマー材料１１８は、一般的に、パッケージ基板１０４内に金属構造１０８（１）～１０８（４）及びダイ相互接続１１４を形成するために使用される金属材料と比較して、より低いＣＴＥを有するより軟質の材料である。機械的な力がパッケージ基板１０４上に加えられると、これらの機械的な力は、パッケージ基板１０４の金属構造１０８（１）～１０８（４）に伝達され、次いで、ダイ相互接続１１４及びダイ１０２（１）、１０２（２）に伝達され得る。これらの力が大き過ぎる場合、ダイ１０２（１）、１０２（２）と金属構造１０８（１）～１０８（４）との間の接続性が損なわれ、したがって、ダイモジュールパッケージ１００の電気的接続性を劣化させる可能性がある。例えば、これらの機械的な力は、ダイモジュールパッケージ１００が経験する環境温度の変化に起因し得る。ＣＴＥの差に起因して、パッケージ基板１０４内のダイ１０２（１）、１０２（２）、ダイ相互接続１１４、及び金属構造１０８（１）～１０８（４）は、所与の温度変化に基づいて、図１のＸ軸方向、Ｙ軸方向、及びＺ軸方向などにおいて、異なる量及び距離で、異なって熱収縮及び熱膨張する可能性がある。これらの応力は、特に、ダイ１０２（１）、１０２（２）及び／又はダイ相互接続１１４の角部に損傷を引き起こす可能性がある。パッケージ基板１０４のポリマー材料１１８は、パッケージ基板１０２に加えられた機械的応力の一部を緩衝することができるが、繰り返される熱膨張及び熱収縮による繰り返される機械的応力は、経時的には、ダイ１０２（１）、１０２（２）とパッケージ基板１０４との間の電気的接続を損傷するのに依然として有意になり得る。

【００１６】

［0028］ したがって、例示的な態様では、パッケージ基板１０４、ダイ相互接続１１４、及び／又はダイモジュールパッケージのダイ１０２（１）、１０２（２）の間のダイ－基板間の機械的応力を低減するために、図１に示されるように、この例では、ボイド画定部分１２０が金属構造１０８（１）内に形成される。これにより、ダイ相互接続１１４が結合されるこれらの金属構造１０８（１）の領域の剛性を低減して、次いで、パッケージ基板１０４からダイ相互接続１１４及びダイ１０２（１）、１０２（２）への機械的応力の伝達を低減する。以下でより詳細に説明するように、ボイド画定部分１２０は、剛性を低減するために画定された領域内の金属構造１０８（１）の金属材料の１つ以上の切り欠きから形成され、これはまた、パッケージ基板１０４の実効ＣＴＥを低減する効果を有する。この例では、パッケージ基板１０４の全体的な実効ＣＴＥは、金属構造１０８（１）～１０８（４）の金属材料のＣＴＥよりも小さい。ボイド画定部分１２０内の金属切り欠き間に残っている金属材料は、金属相互接続を形成する。ボイド画定部分１２０は、パッケージ基板１０４の１つの、複数の、及び／又はすべてのメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）内のある特定の金属構造１０８（１）～１０８（４）内に提供され得る。ダイモジュールパッケージ１００内のダイ（単数又は複数）１０２（１）、１０２（２）は、ダイ１０２（１）、１０２（２）がダイ１０２（１）、１０２（２）の上方に位置し、かつ、金属構造１０８（１）内のボイド画定部分１２０がダイ１０２（１）、１０２（２）の下方に位置するように、パッケージ基板１０４上で配向され得る。これにより、ダイ相互接続１１４は、ダイ１０２（１）、１０２（２）及びダイ相互接続１１４のパッケージ基板１０４への結合間の機械的応力を緩衝し、したがって低減するために、（直接的に、又は介在するメタライゼーション層１０６（２）～１０６（４）内の金属構造１０８（２）～１０８（４）を介して間接的に）ダイ１０２（１）、１０２（２）を剛性が低減されたボイド画定部分１２０内の金属構造１０８（１）内の金属相互接続に結合することが可能になる。

【００１７】

［0029］ パッケージ基板１０４の剛性を更に低減することが望まれる場合、それぞれの金属構造１０８（２）～１０８（４）の金属材料の１つ以上の切り欠きから形成されるボイド部分を含む追加の金属構造１０８（２）～１０８（４）のうちの１つ以上もまた提供され得ることに留意されたい。例えば、そのような金属構造１０８（２）～１０８（４）は、水平方向において（例えば、Ｘ軸方向において）互いに平行であり、かつ、垂直方向（Ｚ軸方向）において互いに少なくとも部分的に重なり合っているように図１の共通の

垂直面PL_1を共有するように位置合わせされ得る。したがって、ダイを金属構造１０８（１）内の金属相互接続に結合するダイ相互接続１１４は、金属構造１０８（１）の下の他の金属構造１０８（２）～１０８（４）から、パッケージ基板１０４からの低減された剛性及び応力による利益を得ることになる。例えば、これらの他の金属構造１０８（２）～１０８（４）により、金属構造１０８（１）がより容易に曲がるため、ダイ相互接続１１４及びダイ１０２（１）、１０２（２）に対する応力を低減することが可能になる。

【００１８】

［0030］ 図２は、一例として図１のダイモジュールパッケージ１００内のパッケージ基板１０４内に提供され得る、例示的なメタライゼーション層１０６の上面図である。図２に示されるように、メタライゼーション層１０６は、接地面として作用する金属構造を含み得る、金属構造１０８（例えば、金属面）を含む。金属構造１０８は、図１のパッケージ基板１０４内の金属構造１０８（１）～１０８（４）のいずれかとして提供され得ることに留意されたい。メタライゼーション層１０６はまた、金属構造１０８のような平面構造ではない金属トレース２００を含む。図２のメタライゼーション層１０６は、ダイモジュールパッケージ１００内のダイ相互接続１１４に直接的に結合されて隣接する、図１のパッケージ基板１０４内の上部メタライゼーション層１０６（１）であり得る。例えば、図２のメタライゼーション層１０６内の金属構造１０８が接地面として機能する場合、接地面として作用するそのような金属構造１０８は、接地電位をダイ１０２（１）、１０２（２）に電気的に接続するために、ダイ相互接続１１４の真下に配置され得る。図２に示されるように、この例における金属構造１０８は、ボイド画定部分１２０を形成するためにパターンで配置されたボイド２０２を各々含む。この例では、ボイド２０２は、金属構造１０８内の金属材料２０４の切り欠き部分である。「パターン化された」ボイドとは、ボイド２０２が金属構造１０８内にランダムに配置されないように、ボイド２０２が金属構造１０８内の意図された場所及びデザインで配置されることを意味する。この例では、ボイド２０２は、金属構造１０８内のボイド画定部分１２０の周囲２０８を形成する。

【００１９】

［0031］ 金属構造１０８内の隣接するボイド２０２間に残っている金属材料２０４は、金属構造１０８に電気的に結合するように（直接的又は間接的に）ダイ相互接続１１４に又はビア１１２に結合され得る、金属相互接続２０６（例えば、金属線、トレース）を形成する。このようにして、金属構造１０８のボイド画定部分１２０内に配置されたボイド２０２は、金属相互接続２０６への電気的接続を行うことができる領域において金属構造１０８の剛性を低減して、金属構造１０８からそのような接続に加えられる応力を低減する。しかしながら、金属構造１０８は、それらの金属材料構造を依然として保持し、接続性のための金属相互接続２０６を提供する。例えば、所与のボイド画定部分１２０内のボイド２０２の面積は、金属構造１０８内のその周囲２０８の面積の少なくとも８５パーセント（８５％）であり得る。

【００２０】

［0032］ 図１及び図２を参照すると、ダイ１０２（１）、１０２（２）の一部分は、この例ではＺ軸方向である垂直方向においてパッケージ基板１０４内の金属構造１０８内のボイド画定部分１２０に少なくとも部分的に重なり合うように、パッケージ基板１０４に対して配向され得ることに留意されたい。これにより、ダイ相互接続１１４が、ダイ１０２（１）、１０２（２）を金属構造１０８のボイド画定部分１２０内の金属相互接続（単数又は複数）２０６により容易に結合して、電気接続を提供することが可能になる。また、ビア１１２は図２のメタライゼーション層１０６内の金属構造１０８内のボイド２０２から離れて分離して示されているが、ボイド２０２を通って延びるビア１１２を形成するために、いくつかのボイド２０２を金属材料で充填し得ることに留意されたい。また、以下でより詳細に説明するように、ボイド２０２は、金属構造１０８内のボイド画定部分１２０を画定する金属構造１０８内に成形及び配置されて、ボイド画定部分１２０内で全方向において加えられる剛性又はＸ軸方向及びＹ軸方向においてバイアスされる剛性の均一な低減を達成することができる。あるいは、ボイド２０２は、金属構造１０８内にボイ

ド画定部分１２０を画定する金属構造１０８内に成形及び配置されて、ある特定の方向には加えられない剛性又は特定の方向のみに加えられる剛性のバイアスされた又は不均一な低減を達成することができる。

【００２１】

［0033］ この例では、金属構造１０８内のボイド２０２はまた、任意選択的に、金属構造１０８の剛性を更に低減するために、ポリマー材料又は積層材料などの誘電体材料２１０で充填され得る。誘電体材料２１０は、金属構造１０８を形成する金属材料２０４のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように選択され得る。例えば、金属構造１０８を形成する金属材料２０４のＣＴＥは、１３パーツパーミリオン（ｐｐｍ）パーケルビン（ｐｐｍ／Ｋ）～２４ｐｐｍ／Ｋであり得る。金属材料２０４は、例えば、アルミニウムニッケル（ＡｌＮｉ）又はその合金であり得る。別の例として、金属構造１０８を形成する金属材料２０４が例えば銅である場合、金属構造１０８の金属材料２０４のＣＴＥは、別の例として１８＿ｐｐｍ／Ｋであり得る。金属構造１０８のボイド２０２内に配置された誘電体材料２１０のＣＴＥは、一例として、４＿ｐｐｍ／Ｋ～１８ｐｐｍ／Ｋであり得る。例えば、ボイド２０２内に充填された誘電体材料２１０が低ＣＴＥガラス繊維ポリマーである場合、誘電体材料２１０のＣＴＥは、別の例として約６＿ｐｐｍ／Ｋであり得る。誘電体材料２１０の強化のための繊維の例には、炭素繊維及び酸化アルミニウム（Al_2O_3）球が含まれる。別の例として、金属構造１０８内のボイド画定部分１２０内のボイド２０２のヤング率（すなわち、剛性）が１００メガパスカル（ＭＰａ）～５０ギガパスカル（ＧＰａ）であり得るように、ボイド２０２が金属構造１０８内に配置され得る。図２は図１のパッケージ基板１０４の１つのメタライゼーション層１０６の図のみを示しているが、ボイド画定部分１２０は、パッケージ基板１０４の任意のメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）の任意の金属構造１０８（１）～１０８（４）内に形成され得ることに留意されたい。例えば、ダイ相互接続１１４が、上部メタライゼーション層１０６（１）内の金属構造１０８（１）への直接接続を介して、かつ、他のメタライゼーション層１０６（２）～１０６（４）へのビア１１２接続を介して、複数のメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）内の複数の金属構造１０８（１）～１０８（４）に結合される場合、そのような他のメタライゼーション層１０６（２）～１０６（４）内のそのようなビア１１２の後続の接続は、そのような他のメタライゼーション層１０６（２）～１０６（４）内のそのような金属構造１０８（２）～１０８（４）内のボイド画定部分１２０であり得る。これにより、パッケージ基板１０４によってダイ相互接続１１４に、次いで、それらの結合されたダイ１０２（１）、１０２（２）に加えられる応力を更に低減することができる。また、上記で説明したように、ボイド部分１２０を有する金属構造１０８（１）～１０８（４）のうちの１つ以上は、低減された剛性を支持するために、水平方向において（例えば、Ｘ軸方向において）互いに平行であり、かつ、垂直方向（Ｚ軸方向）おいて互いに少なくとも部分的に重なり合っているようにパッケージ基板１０４内で（Ｚ軸方向及びＹ軸方向において）共通の垂直面PL_1を共有するように位置合わせされ得る。

【００２２】

［0034］ 金属構造１０８内の金属剛性を低減するためのボイド画定部分１２０を形成するために、図１のパッケージ基板１０４内のメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）の金属構造１０８内に配置されたボイド２０２は、任意のデザインで提供され、所望に応じてパターン化され得る。例えば、図３は、金属構造３０８の金属剛性を低減するように金属構造３０８内にボイド画定部分３００を形成するために、ハニカムパターンの形状のパターン化されたボイド３０２（すなわち、六角形状のボイド）を有する、例示的な金属構造３０８の上面図である。金属相互接続３０６は、隣接するボイド３０２間に残っている金属構造３０８の金属材料３０４によって形成される。金属構造３０８は、一例として図１のダイモジュールパッケージ１００のパッケージ基板１０４内のメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）などの、ダイモジュールパッケージのパッケージ基板のメタライゼーション層内の接地面として機能することができる。金属構造３０８は

、銅などの金属材料３０４から形成される。誘電体材料３１０は、パターン化されたボイド３０２内に配置され得る。パターン化されたボイド３０２は、この例では金属構造３０８内で均一であり、これは、それらが図３に示されるものと同じ形状及び配向を有することを意味する。金属構造３０８内の金属材料３０４の面積に対する複数のパターン化されたボイド３０２の面積の比率は、金属構造３０８の金属剛性の所望の低減を達成するために５パーセント（５％）以上であり得る。

【００２３】

［0035］ パターン化されたボイド３０２はまた、図３に示されるような繰り返しパターンで金属構造３０８内に配置され、これは、パターン化されたボイド３０２が、繰り返し様式で金属構造３０８内に配向され、配置されていることを意味する。例えば、図３に示されるように、パターン化されたボイド３０２のパターンは、破線ボックス３０９内に示されている。図３の例では、パターン化されたボイド３０２は、金属構造３０８内の金属材料３０４によって完全に取り囲まれている。また、この例では、金属構造３０８内に配置されたパターン化されたボイド３０２は、金属構造３０８の総面積の少なくとも３０パーセント（３０％）である合計面積を有するように設計され得る。行（例えば、行R_1）内の各パターン化されたボイド３０２は、隣接する行（例えば、行R_2）内の２つの隣接するパターン化されたボイド３０２間の中心線CTR_1に沿ってオフセットしている。また、列（例えば、行C_1）内の各パターン化されたボイド３０２は、隣接する列（例えば、列C_2）内の２つの隣接するパターン化されたボイド３０２間の中心線CTR_2に沿ってオフセットしている。パターン化されたボイド３０２は各々、Ｘ軸方向において同じ第１のピッチP_1を有する。また、パターン化されたボイド３０２は各々、Ｙ軸方向において同じ第２のピッチP_2を有する。第１のピッチP_1及び第２のピッチP_2は、同じピッチであっても、又は異なるピッチであってもよい。パターン化されたボイド３０２が同じ形状及び配向であり、かつ、Ｘ軸方向において同じピッチP_1を有することは、金属構造３０８がＸ軸方向において均一に可撓性を有することを意味する。パターン化されたボイド３０２が同じ形状であり、かつ、Ｙ軸方向において同じピッチP_2を有することは、金属構造３０８がＹ軸方向において均一に可撓性を有することを意味する。金属構造３０８がＸ軸方向及びＹ軸方向の両方において同じ可撓性を有することが望ましい場合、パターン化されたボイド３０２は、同じピッチP_1、P_2であるように金属構造３０８内に形成され得る。

【００２４】

［0036］ 図３の金属構造３０８内にパターン化されたボイド３０２を配置することの例示的な効果を更に示すために、図４Ａが提供される。図４Ａは、金属構造３０８内にボイド画定部分３２０を形成するパターン化されたボイド３０２の効果が与えられた所与の温度における、図３の金属構造３０８が提供されたパッケージ基板４０４の機械的膨張の例示的なシミュレーション結果を示す図である。図４Ａの例では、パッケージ基板４０４は、ビア４１２間に配置されたボイド３０２によって形成されたボイド画定部分３２０を有する金属構造３０８を各々含む、複数のメタライゼーション層４０６（１）～４０６（Ｘ）を含む。複数のメタライゼーション層４０６（１）～４０６（Ｘ）内の金属構造３０８は、水平方向において（例えば、Ｘ軸方向において）互いに平行であり、かつ、垂直方向（Ｚ軸方向）において互いに少なくとも部分的に（すなわち、完全に又は部分的に）重なり合うように共通の垂直面PL_2を共有するように位置合わせされ得る。図４Ｂは、満たされた銅であり、図３の金属構造３０８のような金属構造４０８を含むが、ボイド画定部分３２０内にボイド３０２がない、所与の温度におけるパッケージ基板４２４の機械的膨張の例示的なシミュレーション結果を示す図である。図４Ａを参照すると、金属構造３０８の異なる領域が、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、及びＺ軸方向における金属構造３０８の色の変化によって示されている。色の変化の距離は、機械的変位を示す。図４Ｂを参照すると、金属構造４０８の異なる領域もまた、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、及びＺ軸方向における金属構造４０８の色の変化によって示されている。色の変化の距離は、機械的変位を示す。図４Ａの金属構造３０８の全体的な実効ＣＴＥは、図４Ｂのボイド画定部分を提供するボイ

ドがない金属構造４０８の実効ＣＴＥよりも約２０％低いことが見いだされた。

【００２５】

［0037］ 図５は、図３の金属構造３０８を含み得るが、パッケージ基板の全体的な体積に対する様々な金属材料の体積の関数として、パッケージ基板の実効ＣＴＥを示すグラフ５００である。これは、接地面を含むパッケージ基板の金属構造内のパターン化されたボイドの存在が、接地面の全体的なＣＴＥをどのように低下させ得るかを更に示している。図５のグラフ５００は、Ｘ軸におけるパッケージ基板内の銅含有量の体積百分率の関数としてのＹ軸におけるパッケージ基板の実効ＣＴＥ、及びパターン化されたボイドの関数としての接地面内の銅の体積百分率を示している。図５に示されるように、第１の曲線５０２は、ボイドパターンを含まない接地面を使用する際の、パッケージ基板内の銅含有量の所与の体積百分率についてのパッケージ基板の実効ＣＴＥを示している。第２の曲線５０４は、金属材料が接地面の体積の６０％であるボイドパターンを含む接地面を使用する際の、パッケージ基板内の銅含有量の所与の体積百分率についてのパッケージ基板の実効ＣＴＥを示している。図５に示されるように、第２の曲線５０４における実効ＣＴＥは、パッケージ基板内の銅含有量の所与の体積百分率について、第１の曲線５０２における実効ＣＴＥよりも小さい。

【００２６】

［0038］ 図６は、加えられた機械力に基づいて金属構造６０８の金属剛性の低減をバイアスするために、Ｙ軸方向において細長くなっているパターン化されたボイド６０２を有するメタライゼーション層６０１内に提供され得る、別の例示的な金属構造６０８の上面図である。図３の金属構造３０８と同様に、図６の金属構造６０８は、金属構造６０８の金属剛性を低減するように金属構造６０８内にボイド画定領域６２０を生成するために、ハニカムパターン形状のパターン化されたボイド６０２（すなわち、六角形状のボイド）を有する。金属相互接続６０６は、隣接するボイド６０２間の金属構造６０８の金属材料６０４内に形成される。金属構造６０８は、一例として図１のダイモジュールパッケージ１００内のパッケージ基板１０４などのパッケージ基板内の接地面として機能することができる。金属構造６０８は、銅などの金属材料６０４から作製される。誘電体材料６１２は、パターン化されたボイド６０２内に配置され得る。パターン化されたボイド６０２は、図６に示されるものと同じ形状及び配向を有する。パターン化されたボイド６０２はまた、図６に示されるような繰り返しパターンで金属構造６０８内に配置され、これは、パターン化されたボイド６０２が、繰り返し様式で金属構造内に配向され、配置されていることを意味する。例えば、図６に示されるように、パターン化されたボイド６０２のパターンは、破線ボックス６１０内に示されている。行（例えば、行$Ｒ_1$）内の各パターン化されたボイド６０２は、隣接する行（例えば、行$Ｒ_2$）内の２つの隣接するパターン化されたボイド６０２間の中心線$ＣＴＲ_1$に沿ってオフセットしている。また、列（例えば、行$Ｃ_1$）内の各パターン化されたボイド６０２は、隣接する列（例えば、列$Ｃ_2$）内の２つの隣接するパターン化されたボイド６０２間の中心線$ＣＴＲ_2$に沿ってオフセットしている。パターン化されたボイド６０２は各々、Ｘ軸方向において同じ第１のピッチ$Ｐ_3$を有する。また、パターン化されたボイド６０２は各々、Ｙ軸方向において同じ第２のピッチ$Ｐ_4$を有する。

【００２７】

［0039］ この例では、パターン化されたボイド６０２のＹ軸方向における長さ$Ｌ_1$がＸ軸方向における長さ$Ｌ_2$よりも長いため、第１のピッチ$Ｐ_3$は第２のピッチ$Ｐ_4$よりも小さい。したがって、パターン化されたボイド６０２は、Ｙ軸方向において細長くなっている。これは、パターン化されたボイド６０２がＹ軸方向よりもＸ軸方向における剛性を低減する効果を有する。これは、金属構造６０８における剛性の低減の方向をバイアスするために望まれる場合がある。図６の例では、パターン化されたボイド６０２は、金属構造６０８内の金属材料６０４によって完全に取り囲まれている。また、図６のこの例では、金属構造６０８内に配置されたパターン化されたボイド６０２は、金属構造６０８の総面積の少なくとも３０パーセント（３０％）である合計面積を有するように設計され得る

。

【００２８】

［0040］ 金属構造への相互接続を提供するために、図３の金属構造３０８などの、そのパターン化されたボイドのサブセット内にボイド画定部分７２０を有する金属構造を通って分散されて延びるビアを提供することもまた望ましい場合がある。この点に関して、図７は、図１のパッケージ基板１０４のようなパッケージ基板のメタライゼーション層内に提供され得る、別の例示的な金属構造７０８の上面図である。図７の金属構造７０８は、図３の金属構造３０８と同様である。金属相互接続７０６は、隣接するパターン化されたボイド７０２間の金属構造７０８の金属材料７０４内に形成される。しかしながら、図７では、金属構造７０８の金属材料７０４内に形成されたある特定のパターン化されたボイド７０２は、誘電体材料で充填されておらず、むしろ、ビア７１２がこれらのパターン化されたボイド７０２内に配置されて、金属構造７０８が配置されたメタライゼーション層に隣接する隣接メタライゼーション層への相互接続を提供する。これにより、金属構造７０８内の誘電体材料７１４を有するパターン化されたボイド７０２の全体的な体積を変化させ、金属構造７０８の金属剛性及び実効ＣＴＥの全体的な低減に影響を及ぼすことになる。しかしながら、ビア７１２を配置することによる相互接続ルーティング効率に対するトレードオフとして、金属剛性のより小さい低減が望まれる場合がある。図３の金属構造３０８内の要素と共通である図７の金属構造７０８の他の要素は、図３と図７との間で共通の要素番号及びラベル付けで示されている。また、図７の例では、パターン化されたボイド７０２は、金属構造７０８内の金属材料７０４によって完全に取り囲まれている。また、この例では、金属構造７０８内に配置されたパターン化されたボイド７０２は、金属構造７０８の総面積の少なくとも３０パーセント（３０％）である合計面積を有するように設計され得る。

【００２９】

［0041］ 図８は、図１のパッケージ基板１０４内のメタライゼーション層１０６（１）～１０６（４）などのパッケージ基板のメタライゼーション層内に提供され、パターン化されたボイド８０２を有するボイド画定部分８２０を含み得る、金属材料８０４の別の例示的な金属構造８０８の上面図である。金属相互接続８０６は、隣接するボイド８０２間の金属構造８０８の金属材料８０４内に形成される。図８の金属構造８０８に形成されたボイド８０２は、加えられた機械的な力に基づいて金属構造８０８の金属剛性の低減にバイアスするために、図６の金属構造６０８よりもＹ軸方向においてなおも更に細長くなっている。図８の金属構造８０８は、Ｘ軸方向における金属構造８０８の金属剛性を低減するために、Ｙ軸方向における細長いスロットの形状のパターン化されたボイド８０２を有する。金属構造８０８は、一例として図１のダイモジュールパッケージ１００などのダイモジュールパッケージのパッケージ基板１０４内の接地面として機能することができる。金属構造８０８は、銅などの金属材料８０４から作製される。誘電体材料８１４は、ボイド画定部分８２０及び金属構造８０８の実効ＣＴＥを更に低減するために、パターン化されたボイド８０２内に配置され得る。パターン化されたボイド８０２は、同じ形状及び配向を有する。パターン化されたボイド８０２はまた、図８に示されるような繰り返しパターンで金属構造８０８内に配置され、これは、パターン化されたボイド８０２が、繰り返し様式で金属構造内に配向され、配置されていることを意味する。例えば、図８に示されるように、パターン化されたボイド８０２のパターンは、破線ボックス８１０内に示されている。パターン化されたボイド８０２は各々、Ｘ軸方向において同じ第１のピッチP_5を有する。また、パターン化されたボイド８０２は各々、Ｙ軸方向において同じ第２のピッチP_6を有する。この例では、パターン化されたボイド８０２のＹ軸方向における長さL_3がＸ軸方向における長さL_4よりも長いため、第１のピッチP_5は第２のピッチP_6よりも小さい。したがって、パターン化されたボイド８０２は、Ｙ軸方向において細長くなっている。これは、パターン化されたボイド８０２がＹ軸方向よりもＸ軸方向における剛性を低減する効果を有する。これは、接地面８００における剛性の低減の方向をバイアスするために望まれる場合がある。この例では、Ｘ軸方向における長さL_4よりもはる

かに大きいＹ軸方向における長さL_3を有するパターン化されたボイド８０２は、金属構造８０８内に本質的にばねを生成し、Ｘ軸方向において可撓性の金属構造８０８を提供する。

【００３０】

［0042］ また、図８に示されるように、ボイド８０２のうちのいくつか又は全部は、貫通ビア８１２を容易にして、ボイド画定部分８２０内の金属相互接続８０６と隣接するメタライゼーション層との間の相互接続を容易にすることができる。ビア８１２はまた、ボイド画定部分８２０の剛性及び曲げの対称性を提供するために、Ｚ軸方向において上部の隣接するメタライゼーション層まで延びる（図８のボイド８０２内部のドット「．」によって示されている）、又はＺ軸方向において下部の隣接するメタライゼーション層まで延びる（図８のボイド８０２内部の「Ｘ」によって示されている）のいずれかの交互の方式でボイド８０２内に配置され得る。また、図８の例では、ボイド８０２は、金属構造８０８内の金属材料８０４によって完全に取り囲まれている。また、この例では、金属構造８０８内に配置されたボイド８０２は、金属構造８０８の総面積の少なくとも３０パーセント（３０％）である合計面積を有するように設計され得る。

【００３１】

［0043］ 金属構造内にボイド画定部分を形成するために、パッケージ基板のメタライゼーション層内の金属構造内にパターン化されていないボイドを提供することもまた可能である。例えば、ボイドは、パッケージ基板内に接地面を提供する金属構造内に配置され得る。例えば、ボイドは、パッケージ基板の金属線若しくはトレース及び／又は他の電気構成要素に隣接するパッケージ基板の接地面などの金属構造内に選択的に配置されて、そのような金属線若しくはトレース及び／又は他の電気構成要素に選択的機械的応力除去を提供することができる。

【００３２】

［0044］ この点に関して、図９Ａ～図９Ｈは、金属構造内にボイド画定部分を提供するために、パッケージ基板の金属トレース及び／又は他の電気構成要素に隣接して選択的に提供されたパターン化されたボイド又は切り欠きを有する、メタライゼーション層内の他の例示的な金属構造の上面図である。ボイド画定部分は、パッケージ基板内のビア又は他の相互接続に結合されて、そのような相互接続及びそのような相互接続に結合された電気構成要素に、選択的機械的応力除去を提供することができる。

【００３３】

［0045］ 図９Ａは、図１のパッケージ基板１０４などのパッケージ基板９０２内に提供され得る金属構造９００の金属材料９０１内のボイドによって形成されたボイド画定部分９０３を有する金属構造９００の上面図である。第１のボイド９０４（１）は、金属構造９００内に配置される。金属相互接続９０６が第１のボイド９０４（１）と第２のボイド９０４（２）との間の金属構造９００内に形成されるように、第２のボイド９０４（２）もまた、金属構造９００内の第１のボイド９０４（１）に隣接して配置される。第２のボイド９０４（２）は、第１のボイド９０４（１）の同じ軸A_1に沿って位置合わせされる。誘電体材料９０８は、誘電体材料９０８が金属構造９００の金属材料９０１のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、第１のボイド９０４（１）及び／又は第２のボイド９０４（２）内に配置され得る。このようにして、金属相互接続９０６に隣接する金属構造９００の剛性が低減され、これにより、加えられた応力に応じて、ボイド９０４（１）、９０４（２）に隣接する金属相互接続９０６及び金属材料９０１への損傷を低減又は回避することができる。

【００３４】

［0046］ 図９Ｂは、図１のパッケージ基板１０４などのパッケージ基板９１４内に提供され得る金属構造９１０の金属材料９１２内のボイドによって形成されたボイド画定部分９１３を有する金属構造９１０の上面図である。第１のボイド９１６（１）は、金属構造９１０内に配置される。第１のボイド９１６（１）は、第１の軸A_2とその長さ方向において位置合わせされた第１の細長いボイド部分９１８（１）と、第１の軸A_2に平行な

第２の軸Ａ$_3$とその長さ方向において位置合わせされた第２の細長いボイド部分９１８（２）とを含む。第３のボイド部分９１８（３）は、第１の細長いボイド部分９１８（１）と第２の細長いボイド部分９１８（２）とを結合する。第３のボイド部分９１８（３）は、その長さ方向において、第１の軸Ａ$_2$及び第２の軸Ａ$_3$に直交する第３の軸Ａ$_4$と位置合わせされる。第２のボイド９１６（２）は、第１の軸Ａ$_2$とその長さ方向において位置合わせされた第４の細長い部分９２０（１）と、第２の軸Ａ$_3$とその長さ方向において位置合わせされた第５の細長いボイド部分９２０（２）とを含む。第６のボイド部分９２０（３）は、第４の細長いボイド部分９２０（１）と第５の細長いボイド部分９２０（２）とを結合する。第６のボイド部分９２０（３）は、その長さ方向において、第１の軸Ａ$_2$及び第２の軸Ａ$_3$に直交する第４の軸Ａ$_5$と位置合わせされる。金属相互接続９２２は、個別の第１の細長いボイド部分９１８（１）及び第４の細長いボイド部分９２０（１）と、個別の第２の細長いボイド部分９１８（２）及び第５の細長いボイド部分９２０（２）と、個別の第３のボイド部分９１８（３）及び第６のボイド部分９２０（３）との間の空間に形成される。誘電体材料９２４は、誘電体材料９２４が金属構造９１０の金属材料９１２のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、ボイド部分９１８（１）～９１８（３）、９２０（１）～９２０（３）内に配置され得る。このようにして、金属相互接続９２２に隣接する金属構造９１０の剛性が低減され、これにより、加えられた応力に応じて、ボイド９１６（１）、９１６（２）に隣接する金属相互接続９２２及び金属材料９１２への損傷を低減又は回避することができる。

【００３５】

［0047］図９Ｃは、図１のパッケージ基板１０４などのパッケージ基板９３４内に提供され得る金属構造９３０の金属材料９３２内のボイドによって形成されたボイド画定部分９３３を有する別の金属構造９３０の上面図である。第１のボイド９３６（１）は、金属構造９３０内に配置される。第１のボイド９３６（１）は、その長さ方向において第１の軸Ａ$_6$と位置合わせされる。第２のボイド９３６（２）は、金属構造９３０内に配置され、その長さ方向において第１の軸Ａ$_6$に直交する第２の軸Ａ$_7$と位置合わせされる。第３のボイド９３６（３）は、第１のボイド９３６（１）と第２のボイド９３６（２）との間の金属構造９３０内に配置され、個別の第１の軸Ａ$_6$及び第２の軸Ａ$_7$に沿ってそれらの長さ方向において位置合わせされた細長いボイド部分９３８（１）、９３８（２）を含む。このようにして、ボイド９３６（１）～９３６（３）は、金属構造９３０内にＬ字形状を形成し、２つの金属相互接続９４０（１）、９４０（２）が、それぞれのボイド９３６（１）～９３６（３）間に形成される。誘電体材料９４２は、誘電体材料９４２が金属構造９３０の金属材料９３２のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、ボイド９３６（１）～９３６（３）内に配置され得る。このようにして、金属相互接続９４０（１）、９４０（２）に隣接する金属構造９３０の剛性が低減され、これにより、加えられた応力に応じて、金属相互接続９４０（１）、９４０（２）及びボイド９３６（１）～９３６（３）に隣接する金属材料９３２への損傷を低減又は回避することができる。

【００３６】

［0048］図９Ｄは、図１のパッケージ基板１０４などのパッケージ基板９５４内に提供され得る金属構造９５０の金属材料９５２内のボイドによって形成されたボイド画定部分９５３を有する別の金属構造９５０の上面図である。半径Ｒ$_1$の湾曲したボイド９５６が、金属構造９５０内に配置される。誘電体材料９５８は、誘電体材料９５８が金属構造９５０の金属材料９５２のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、ボイド９５６内に配置され得る。このようにして、ボイド９５６に隣接する金属構造９５０の剛性が低減され、これにより、加えられた応力に応じて損傷を回避することができる。ボイド９５６に隣接して、金属相互接続９５９が形成される。

【００３７】

［0049］図９Ｅ～図９Ｈは、図１のパッケージ基板１０４などのパッケージ基板内に提供され得る金属構造９６０、９７０、９８０、９９０の金属材料９６２内のボイドによって形成された、それぞれのボイド画定部分９６３、９７３、９８３、９９３を有する他

のそれぞれの金属構造９６０、９７０、９８０、９９０の上面図である。図９Ｅは、金属相互接続９６７を形成するためのビア９６６を取り囲む４つのボイド９６４（１）～９６４（４）を含んでいる。誘電体材料９６８は、誘電体材料９６８が金属構造９６０の金属材料９６２のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、ボイド９６４（１）～９６４（４）内に配置され得る。図９Ｆは、図９Ｅとは異なる配置で相互接続を提供するようにビア９６６を取り囲む４つのボイド９７４（１）～９７４（４）を含む金属構造９７０である。誘電体材料９６８は、誘電体材料９６８が金属構造９７０の金属材料９６２のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、ボイド９７４（１）～９７４（４）内に配置され得る。図９Ｇは、図９Ｆとは異なる配置で相互接続を提供するようにビア９６６を取り囲む４つのボイド９８４（１）～９８４（４）を含む金属構造９８０である。誘電体材料９６８は、誘電体材料９６８が金属構造９８０の金属材料９６２のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、ボイド９８４（１）～９８４（４）内に配置され得る。図９Ｈは、図９Ｇとは異なる配置で相互接続を提供するようにビア９６６を取り囲む２つのボイド９９４（１）、９９４（２）を含む更に別の金属構造９９０である。誘電体材料９６８は、誘電体材料９６８が金属構造９９０の金属材料９６２のＣＴＥよりも低いＣＴＥを有するように、ボイド９９４（１）、９９４（２）内に配置され得る。

【００３８】

［0050］ 図１０は、金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されたボイド画定部分を有する１つ以上の金属構造を含むパッケージ基板を含む、図１のダイモジュールパッケージ１００などのダイモジュールパッケージを製造する例示的な製造プロセス１０００を示すフローチャートである。ボイド画定部分は、金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減して、パッケージ基板とダイ相互接続及びダイとの間のダイ－基板間の機械的応力を低減することができる。例示的な製造プロセス１０００を、図１及び図２のダイモジュールパッケージ１００を参照して説明する。しかしながら、製造プロセス１０００はまた、それぞれ、図３、図４、及び図６～図９Ｈの金属構造３０８、４０８、６０８、７０８、８０８、９０８、９１０、９３０、９５０、９６０、９７０、９８０、９９０を製造するために使用され得ることに留意されたい。

【００３９】

［0051］ この点に関して、図１０を参照すると、プロセス１０００の第１のステップは、パッケージ基板１０４を形成することである（図１０のブロック１００２）。プロセス１０００の次のステップは、互いに平行であり、かつ、垂直方向において互いに部分的に重なり合うように共通の垂直面を共有し、第１のＣＴＥを有する金属材料２０４を各々が含む、複数の金属構造１０８を形成することである（図１０のブロック１００４）。次いで、複数の金属構造１０８のうちの各金属構造１０８に対して（図１０のブロック１００６）、プロセスの次のステップは、金属構造１０８内にボイド画定部分１２０を形成することである（図１０のブロック１００８）。このプロセス１０００はまた、複数の金属構造１０８のうちの各金属構造１０８に対して、１つ以上の金属相互接続２０６が複数のボイド２０２のうちのそれぞれの隣接するボイド２０２間に形成されるように、金属構造１０８内に配置された複数のボイド２０２を形成することを含む（図１０のブロック１０１０）。このプロセス１０００はまた、複数の金属構造１０８のうちの各金属構造１０８に対して、ボイド画定部分１２０内の複数のボイド２０２のうちの少なくとも１つのボイド２０２内に第２のＣＴＥを有する誘電体材料２１０を配置することを含み、誘電体材料２１０の第２のＣＴＥは、金属構造１０８の第１のＣＴＥよりも小さい（図１０のブロック１０１２）。プロセス１０００はまた、ボイド画定部分１２０内の１つ以上の金属相互接続２０６のうちの少なくとも１つの金属相互接続２０６に結合された少なくとも１つのダイ相互接続１１４を形成することを含む（図１０のブロック１０１４）。プロセス１０００はまた、ダイ１０２（１）、１０２（２）を、少なくとも１つのダイ相互接続１１４に結合することを含む（図１０のブロック１０１６）。

【００４０】

［0052］ 本明細書で使用される場合、「上部（top）」、「上方（above）」、「下

部（bottom）」、「下方（below）」という用語は、相対的な用語であり、厳密な配向を限定又は暗示することを意味していないことを理解されたい。「上部」参照要素は、地面に対して「下部」参照要素の上にあるように常に配向されるわけではなく、逆もまた同様である。「上部」又は「下部」として参照される要素は、その例のみ及び特定の図示された例に対して上部又は下部にあり得る。別の要素の「上方」又は「下方」として参照される要素は、地面に対してである必要はなく、逆もまた同様である。「上方」又は「下方」として参照される要素は、その例のみ及び特定の図示された例に対して、そのような他の参照された要素の上方又は下方にあり得る。

【００４１】

［0053］ 限定はしないが、図１～図３及び図６～図９Ｈのパッケージ基板を含み、図１０の例示的な製造プロセスによる、本明細書で開示する任意の態様による、金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減するように金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されたボイド画定部分を有する１つ以上の金属構造を含むパッケージ基板を含む、ダイモジュールパッケージは、任意のプロセッサベースのデバイス内に提供されるか又はその中に一体化され得る。例には、限定はしないが、セットトップボックス、エンターテイメントユニット、ナビゲーションデバイス、通信デバイス、固定ロケーションデータユニット、モバイルロケーションデータユニット、全地球測位システム（ＧＰＳ）デバイス、モバイルフォン、セルラーフォン、スマートフォン、セッション開始プロトコル（ＳＩＰ）フォン、タブレット、ファブレット、サーバ、コンピュータ、ポータブルコンピュータ、モバイルコンピューティングデバイス、ウェアラブルコンピューティングデバイス（例えば、スマートウォッチ、ヘルス又はフィットネストラッカ、アイウェアなど）、デスクトップコンピュータ、携帯情報端末（ＰＤＡ）、モニタ、コンピュータモニタ、テレビ、チューナー、ラジオ、衛星ラジオ、音楽プレーヤ、デジタル音楽プレーヤ、ポータブル音楽プレーヤ、デジタルビデオプレーヤ、ビデオプレーヤ、デジタルビデオディスク（ＤＶＤ）プレーヤ、ポータブルデジタルビデオプレーヤ、自動車、車両部品、アビオニクスシステム、ドローン、及びマルチコプターが含まれる。

【００４２】

［0054］ この点に関して、図１１は、１つ以上のＩＣ１１０２から形成されたＲＦ構成要素を含む例示的な無線通信デバイス１１００を示しており、ＩＣ１１０２のいずれかがＩＣパッケージ１１０３内に含まれ得る。ＩＣパッケージ１１０３は、限定はしないが、図１～図３及び図６～図９Ｈのパッケージ基板を含み、図１０の例示的な製造プロセスによる、金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減するように金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されたボイド画定部分を有する１つ以上の金属構造を含むパッケージ基板を含む、ダイモジュールパッケージ（単数又は複数）を含み得る。

【００４３】

［0055］ 無線通信デバイス１１００は、例として、上記で参照されたデバイスのいずれかを含んでもよく、又はその中に設けられてもよい。図１１に示されるように、無線通信デバイス１１００は、トランシーバ１１０４及びデータプロセッサ１１０６を含む。データプロセッサ１１０６は、データ及びプログラムコードを記憶するためのメモリを含んでもよい。トランシーバ１１０４は、双方向通信をサポートする送信機１１０８及び受信機１１１０を含む。一般に、無線通信デバイス１１００は、任意の数の通信システム及び周波数帯域用に、任意の数の送信機１１０８及び／又は受信機１１１０を含んでもよい。トランシーバ１１０４の全部又は一部分は、１つ以上のアナログＩＣ、ＲＦ　ＩＣ（ＲＦＩＣ）、混成信号ＩＣなどの上に実装され得る。

【００４４】

［0056］ 送信機１１０８又は受信機１１１０は、スーパーヘテロダインアーキテクチャ又はダイレクトコンバージョンアーキテクチャで実装され得る。スーパーヘテロダインアーキテクチャでは、信号は、受信機１１１０の複数の段階においてＲＦとベースバンドとの間で、例えば、１つの段階においてＲＦから中間周波数（intermediate frequency、ＩＦ）に、次いで、別の段階においてＩＦからベースバンドに周波数変換される。

ダイレクトコンバージョンアーキテクチャでは、信号は、１つの段階において、ＲＦとベースバンドとの間で周波数変換される。スーパーヘテロダインアーキテクチャ及びダイレクトコンバージョンアーキテクチャは、異なる回路ブロックを使用すること、及び／又は異なる要件を有することがある。図１１における無線通信デバイス１１００では、送信機１１０８及び受信機１１１０は、ダイレクトコンバージョンアーキテクチャで実装される。

【００４５】

［0057］ 送信経路では、データプロセッサ１１０６は、送信されるデータを処理し、Ｉアナログ出力信号及びＱアナログ出力信号を送信機１１０８に提供する。例示的な無線通信デバイス１１００では、データプロセッサ１１０６は、データプロセッサ１１０６により生成されるデジタル信号を、更なる処理のために、Ｉアナログ出力信号及びＱアナログ出力信号、例えばＩ及びＱ出力電流へと変換するためのデジタルアナログ変換器（ＤＡＣ）１１１２（１）及び１１１２（２）を含む。

【００４６】

［0058］ 送信機１１０８内では、ローパスフィルタ１１１４（１）及び１１１４（２）が、それぞれ、Ｉアナログ出力信号及びＱアナログ出力信号をフィルタリングして、前のデジタルアナログ変換によって引き起こされた不要な信号を除去する。増幅器（ＡＭＰ）１１１６（１）、１１１６（２）は、それぞれ、ローパスフィルタ１１１４（１）、１１１４（２）からの信号を増幅し、Ｉベースバンド信号及びＱベースバンド信号を提供する。アップコンバータ１１１８は、送信（ＴＸ）局部発振器（local oscillator、ＬＯ）信号発生器１１２２からミキサ１１２０（１）、１１２０（２）を通るＩ及びＱ　ＴＸ　ＬＯ信号を用いて、Ｉベースバンド信号及びＱベースバンド信号をアップコンバートして、アップコンバートされた信号１１２４を提供する。フィルタ１１２６は、アップコンバートされた信号１１２４をフィルタリングして、周波数アップコンバージョンにより引き起こされた不要な信号並びに受信された周波数帯域中の雑音を除去する。電力増幅器（ＰＡ）１１２８は、所望の出力電力レベルを取得するために、フィルタ１１２６からのアップコンバートされた信号１１２４を増幅して、送信ＲＦ信号を提供する。送信ＲＦ信号は、デュプレクサ又はスイッチ１１３０を通してルーティングされ、アンテナ１１３２を介して送信される。

【００４７】

［0059］ 受信経路では、アンテナ１１３２は、基地局によって送信された信号を受信し、受信されたＲＦ信号を提供し、ＲＦ信号は、デュプレクサ又はスイッチ１１３０を通してルーティングされ、低雑音増幅器（low noise amplifier、ＬＮＡ）１１３４に提供される。デュプレクサ又はスイッチ１１３０は、受信（ＲＸ）信号がＴＸ信号から分離されるように、特定のＲＸからＴＸへのデュプレクサ周波数分離で動作するように設計される。受信されたＲＦ信号は、ＬＮＡ１１３４によって増幅され、所望のＲＦ入力信号を取得するためにフィルタ１１３６によってフィルタ処理される。ダウンコンバージョンミキサ１１３８（１）、１１３８（２）が、フィルタ１１３６の出力を、ＲＸ　ＬＯ信号発生器１１４０からのＩ及びＱ　ＲＸ　ＬＯ信号（すなわち、ＬＯ＿Ｉ及びＬＯ＿Ｑ）と混合して、Ｉベースバンド信号及びＱベースバンド信号を生成する。Ｉベースバンド信号及びＱベースバンド信号は、データプロセッサ１１０６に提供されるＩアナログ入力信号及びＱアナログ入力信号を取得するために、ＡＭＰ１１４２（１）、１１４２（２）によって増幅され、ローパスフィルタ１１４４（１）、１１４４（２）によって更にフィルタ処理される。この例では、データプロセッサ１１０６は、データプロセッサ１１０６によって更に処理されるようにアナログ入力信号をデジタル信号に変換するためのアナログデジタル変換器（analog-to-digital converter、ＡＤＣ）１１４６（１）、１１４６（２）を含む。

【００４８】

［0060］ 図１１の無線通信デバイス１１００では、ＴＸ　ＬＯ信号発生器１１２２が、周波数アップコンバージョンに使用されるＩ　ＴＸ　ＬＯ信号及びＱ　ＴＸ　ＬＯ信号

を生成する一方で、ＲＸ　ＬＯ信号発生器１１４０が、周波数ダウンコンバージョンに使用されるＩ　ＲＸ　ＬＯ信号及びＱ　ＲＸ　ＬＯ信号を生成する。各ＬＯ信号は、特定の基本周波数を有する周期信号である。ＴＸ位相ロックループ（phase-locked loop、ＰＬＬ）回路１１４８は、データプロセッサ１１０６からタイミング情報を受信し、ＴＸ　ＬＯ信号発生器１１２２からのＴＸ　ＬＯ信号の周波数及び／又は位相を調整するために使用される制御信号を生成する。同様に、ＲＸ　ＰＬＬ回路１１５０は、データプロセッサ１１０６からタイミング情報を受信し、ＲＸ　ＬＯ信号発生器１１４０からのＲＸ　ＬＯ信号の周波数及び／又は位相を調整するために使用される制御信号を生成する。

【００４９】

［0061］　図１２は、限定はしないが、図１～図３及び図６～図９Ｈのパッケージ基板を含み、図１０の例示的な製造プロセスによる、及び本明細書で開示する任意の態様による、金属構造（単数又は複数）の金属剛性を低減するように金属構造（単数又は複数）の金属材料内のボイドによって形成されたボイド画定部分を有する１つ以上の金属構造を含むパッケージ基板を含むダイモジュールパッケージ（単数又は複数）を含み得る、プロセッサベースのシステム１２００としての無線通信デバイスの一例を示している。この例では、プロセッサベースのシステム１２００は、ＩＣパッケージ１２０２内のＩＣ１２０４として、及びシステムオンチップ（system-on-a-chip、ＳｏＣ）１２０６として形成され得る。プロセッサベースのシステム１２００は、ＣＰＵコア又はプロセッサコアとも呼ばれ得る、１つ以上のプロセッサ１２１０を含む中央処理ユニット（central processing unit、ＣＰＵ）１２０８を含む。ＣＰＵ１２０８は、一時的に記憶されたデータに迅速にアクセスするためにＣＰＵ１２０８に結合されたキャッシュメモリ１２１２を有し得る。ＣＰＵ１２０８は、システムバス１２１４に結合され、プロセッサベースのシステム１２００内に含まれたマスターデバイスとスレーブデバイスとを相互結合することができる。周知のように、ＣＰＵ１２０８は、システムバス１２１４を介してアドレス情報、制御情報、及びデータ情報を交換することによって、これらの他のデバイスと通信する。例えば、ＣＰＵ１２０８は、スレーブデバイスの一例として、メモリコントローラ１２１６にバストランザクション要求を通信することができる。図１２には示されていないが、複数のシステムバス１２１４が提供されてもよく、各システムバス１２１４は、異なるファブリックを構成する。

【００５０】

［0062］　他のマスターデバイス及びスレーブデバイスを、システムバス１２１４に接続することができる。図１２に示されるように、これらのデバイスは、例として、メモリコントローラ１２１６及びメモリアレイ（単数又は複数）１２１８を含むメモリシステム１２２０と、１つ以上の入力デバイス１２２２と、１つ以上の出力デバイス１２２４と、１つ以上のネットワークインターフェースデバイス１２２６と、１つ以上のディスプレイコントローラ１２２８と、を含み得る。メモリシステム１２２０、１つ以上の入力デバイス１２２２、１つ以上の出力デバイス１２２４、１つ以上のネットワークインターフェースデバイス１２２６、及び１つ以上のディスプレイコントローラ１２２８の各々は、同じ又は異なるダイモジュールパッケージ１２０２で提供され得る。入力デバイス（単数又は複数）１２２２は、入力キー、スイッチ、ボイスプロセッサなどを含むが、それらに限定されない、任意のタイプの入力デバイスを含むことができる。出力デバイス（単数又は複数）１２２４は、オーディオ、ビデオ、他の視覚インジケータなどを含むが、それらに限定されない、任意のタイプの出力デバイスを含むことができる。ネットワークインターフェースデバイス１２２６（単数又は複数）は、ネットワーク１２３０への及びネットワーク１２３０からのデータの交換を可能にするように構成された任意のデバイスであり得る。ネットワーク１２３０は、有線ネットワーク又は無線ネットワーク、プライベートネットワーク又はパブリックネットワーク、ローカル領域ネットワーク（local area network、ＬＡＮ）、無線ローカル領域ネットワーク（wireless local area network、ＷＬＡＮ）、ワイド領域ネットワーク（wide area network、ＷＡＮ）、ＢＬＵＥＴＯＯＴＨ（登録商標）ネットワーク、及びインターネットを含むが、それらに限定されな

い、任意のタイプのネットワークであり得る。ネットワークインターフェースデバイス（単数又は複数）１２２６は、所望の任意のタイプの通信プロトコルをサポートするように構成され得る。

【００５１】

［0063］ ＣＰＵ１２０８はまた、システムバス１２１４を介してディスプレイコントローラ１２２８（単数又は複数）にアクセスして、１つ以上のディスプレイ１２３２に送信される情報を制御するように構成され得る。ディスプレイコントローラ（単数又は複数）１２２８は、１つ以上のビデオプロセッサ１２３４を介して表示されるようにディスプレイ（単数又は複数）１２３２に情報を送信し、ビデオプロセッサ１２３４は、表示される情報を処理してディスプレイ（単数又は複数）１２３２に好適なフォーマットにする。ディスプレイコントローラ（単数又は複数）１２２８及びビデオプロセッサ（単数又は複数）１２３４は、同じ又は異なるダイモジュールパッケージ１２０２内に、一例としてＣＰＵ１２０８を含む同じ又は異なるダイモジュールパッケージ１２０２内に、ＩＣとして含まれ得る。ディスプレイ（単数又は複数）１２３２は、陰極線管（cathode ray tube、ＣＲＴ）、液晶ディスプレイ（liquid crystal display、ＬＣＤ）、プラズマディスプレイ、発光ダイオード（light emitting diode、ＬＥＤ）ディスプレイなどを含むが、それらに限定されない、任意のタイプのディスプレイを含み得る。

【００５２】

［0064］ 本明細書において開示される態様に関連して説明された種々の例示的な論理ブロック、モジュール、回路、及びアルゴリズムが、電子ハードウェア、メモリ内に若しくは別のコンピュータ可読媒体内に記憶され、プロセッサ若しくは他の処理デバイスによって実行される命令、又は両方の組み合わせとして実装される場合があることは、当業者には更に理解されよう。本明細書で説明するマスターデバイス及びスレーブデバイスは、例として、任意の回路、ハードウェア構成要素、ＩＣ、又はＩＣチップにおいて採用され得る。本明細書で開示するメモリは、任意のタイプ及びサイズのメモリであってもよく、所望の任意のタイプの情報を記憶するように構成されてもよい。この互換性について明確に説明するために、様々な例示的な構成要素、ブロック、モジュール、回路、及びステップについて、上記では概してそれらの機能に関して説明してきた。そのような機能がどのように実装されるかは、特定の適用例、設計上の選択、及び／又はシステム全体に課される設計制約によって決まる。当業者は、説明する機能を特定の用途ごとに様々な方法で実装し得るが、そのような実装決定は、本開示の範囲からの逸脱を引き起こすものと解釈されるべきではない。

【００５３】

［0065］ 本明細書で開示する態様に関連して説明した様々な例示的な論理ブロック、モジュール、及び回路は、プロセッサ、デジタル信号プロセッサ（Digital Signal Processor、ＤＳＰ）、特定用途向け集積回路（Application Specific Integrated Circuit、ＡＳＩＣ）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（Field Programmable Gate Array、ＦＰＧＡ）若しくは他のプログラマブル論理デバイス、ディスクリートゲート若しくはトランジスタ論理、ディスクリートハードウェア構成要素、又は本明細書で説明する機能を実行するように設計されたそれらの任意の組み合わせを用いて実装又は実行され得る。プロセッサは、マイクロプロセッサであってもよいが、代替としてプロセッサは、任意の従来のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ、又はステートマシンであってもよい。プロセッサはまた、コンピューティングデバイスの組み合わせ（例えば、ＤＳＰ及びマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、ＤＳＰコアと連携する１つ以上のマイクロプロセッサ、又は任意の他のそのような構成）として実装されてもよい。

【００５４】

［0066］ 本明細書で開示する態様は、ハードウェアにおいて具現化されてもよい、及びハードウェア内に記憶され、例えば、ランダムアクセスメモリ（Random Access Memory、ＲＡＭ）、フラッシュメモリ、リードオンリーメモリ（Read Only Memory

、ＲＯＭ）、電気的プログラマブルＲＯＭ（Programmable ROM、ＥＰＲＯＭ）、電気的消去可能プログラマブルＲＯＭ（Electrically Erasable Programmable ROM、ＥＥＰＲＯＭ（登録商標））、レジスタ、ハードディスク、リムーバブルディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、又は当技術分野において知られている任意の他の形態のコンピュータ可読媒体の中に存在し得る命令において具現化されてもよい。例示的な記憶媒体は、プロセッサが記憶媒体から情報を読み取ること及び記憶媒体に情報を書き込むことができるように、プロセッサに結合される。代替として、記憶媒体はプロセッサと一体化され得る。プロセッサ及び記憶媒体は、ＡＳＩＣの中に存在してもよい。ＡＳＩＣは、リモート局の中に存在してもよい。代替として、プロセッサ及び記憶媒体は、ディスクリート構成要素として、リモート局、基地局、又はサーバの中に存在してもよい。

【００５５】

[0067] 本明細書の例示的な態様のいずれかで説明した動作ステップが、例及び説明を提供するために記載されていることにも留意されたい。説明する動作は、図示のシーケンス以外の多数の異なるシーケンスにおいて実施され得る。更に、単一の動作ステップにおいて記載した動作は、実際にはいくつかの異なるステップにおいて実施され得る。加えて、例示的な態様において論じられた１つ以上の動作ステップは組み合わせられる場合がある。当業者には容易に明らかになるように、フローチャート図に示される動作ステップには多数の異なる変更がなされる場合があることを理解されたい。当業者であれば、様々な異なる技術及び技法のいずれかを使用して情報及び信号が表され得ることも理解するであろう。例えば、上記の説明全体にわたって言及され得るデータ、命令、コマンド、情報、信号、ビット、シンボル、及びチップは、電圧、電流、電磁波、磁場若しくは磁性粒子、光場若しくは光学粒子、又はそれらの任意の組み合わせによって表されてもよい。

【００５６】

[0068] 本開示の上記の説明は、あらゆる当業者が本開示を作製又は使用することが可能となるように提供される。本開示に対する様々な変更は当業者には容易に明らかであり、本明細書で定義される一般原理は他の例に適用され得る。したがって、本開示は、本明細書で説明する例及び設計に限定することを意図するものでなく、本明細書で開示する原理及び新規の特徴と一致する最も広い範囲を与えられるべきである。

【００５７】

[0069] 以下の番号付きの条項において、実装例について説明する。

１．

パッケージ基板と、前記パッケージ基板は、

水平方向において互いに平行であり、かつ、共通の垂直面を共有する、複数の金属構造を備え、

複数の金属構造のうちの各金属構造が、

第１の熱膨張係数（ＣＴＥ）を有する金属材料と、

金属構造内に配置された複数のボイドを備えるボイド画定部分と、

複数のボイドのうちの隣接するボイド間に配置された金属構造内の金属材料によって各々形成された１つ以上の金属相互接続と、

ボイド画定部分内の複数のボイドのうちの少なくとも１つのボイド内に配置された第２のＣＴＥを有する誘電体材料と、誘電体材料の第２のＣＴＥが金属材料の第１のＣＴＥよりも小さい、

を備え、

パッケージ基板に隣接して配置されたダイと、

各々がダイに結合され、各々が複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造のボイド画定部分内の１つ以上の金属相互接続のうちの１つの金属相互接続に結合された、少なくとも１つのダイ相互接続と、

を備える、ダイモジュールパッケージ。

２．ダイの領域の少なくとも一部分が、垂直面においてパッケージ基板内のボイド画定部分に少なくとも部分的に重なり合うようにパッケージ基板に対して配向されている、条

項１に記載のダイモジュールパッケージ。
３．
パッケージ基板が、互いに平行な複数のメタライゼーション層を含み、
複数の金属構造のうちの各金属構造が、複数のメタライゼーション層のうちの異なるメタライゼーション層内に配置されている、条項１又は２に記載のダイモジュールパッケージ。
４．
複数の金属構造のうちの第１の金属構造が、複数のメタライゼーション層のうちの第１のメタライゼーション層内に配置され、
複数の金属構造のうちの第２の金属構造が、第１のメタライゼーション層とは異なる複数のメタライゼーション層のうちの第２のメタライゼーション層内に配置され、
第１の金属構造のボイド画定部分内の複数のボイドのうちの個別のボイドを通して配置された垂直相互接続アクセス（ビア）と、
第２の金属構造のボイド画定部分内の複数の金属相互接続のうちの１つの金属相互接続に結合された、少なくとも１つのビアの各ビアと、
を更に備える、条項１～３のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
５．金属構造内に配置された複数のボイドが各々、金属構造内の金属材料によって完全に取り囲まれ、かつ、金属材料に結合されている、条項１～４のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
６．複数の金属構造の各金属構造が、接地面を含む、条項１～５のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
７．各金属構造内の複数のボイドが、金属構造の面積の少なくとも３０パーセント（３０％）である面積を有する、条項１～６のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
８．複数のボイドが、金属構造内のボイド画定部分の周囲を形成する、条項１～７のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
９．複数のボイドが、周囲の第２の面積の少なくとも８５パーセント（８５％）の第１の面積を有する、条項８に記載のダイモジュールパッケージ。
１０．金属構造のボイド画定部分が、１００メガパスカル（ＭＰａ）～５０ギガパスカル（ＧＰａ）のヤング率を有する、条項１～９のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
１１．金属構造の金属材料の第１のＣＴＥが、１３パーツパーミリオン（ｐｐｍ）パーケルビン（Ｋ）（ｐｐｍ／Ｋ）～２４ｐｐｍ／Ｋである、条項１～１０のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
１２．誘電体材料の第２のＣＴＥが、４ｐｐｍ／Ｋ～１８ｐｐｍ／Ｋである、条項１１に記載のダイモジュールパッケージ。
１３．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の複数のボイドが、金属構造内に繰り返しパターンで形成されている、条項１～１２のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
１４．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の複数のボイドの各々が、第１の軸の第１の方向において同じ第１のピッチを有し、第１の軸に直交する第２の軸の第２の方向において同じ第２のピッチを有する、条項１～１３のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
１５．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の複数のボイドの各々が、第１の軸の第１の方向における第１の長さと、第１の軸に直交する第２の軸の第２の方向における第２の長さとを有する細長いボイドを含み、第２の長さが第１の長さに等しい、条項１～１４のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。
１６．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の複数のボイドの各々が、第１の軸の第１の方向における第１の長さと、第１の軸に直交する第２の軸の第２の方向における第２の長さとを有する細長いボイドを含み、第２の長さが第１の長さよりも小さい、条項１～１５のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。

１７．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造が、少なくとも２つの直交する軸に沿って均一に変形可能である、条項１～１６のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。

１８．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の複数のボイドが、同じピッチを有する、条項１７に記載のダイモジュールパッケージ。

１９．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内の複数のボイドのうちのボイドのサブセットが、同じ軸に沿って細長くなっている、条項１～１８のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。

２０．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内のボイド画定部分が、ボイド画定部分の周囲を形成する正方形状の周囲に沿って配置された複数の直線ボイドを備える正方形状のボイド画定部分である、条項１～１９のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。

２１．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内のボイド画定部分が、ボイド画定部分の周囲を形成する円形状の周囲に沿って配置された複数の凸状ボイドを備える円形状のボイド画定部分である、条項１～２０のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。

２２．複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造に対して、

複数のボイドのうちの第１のボイドが、

第１の軸と位置合わせされた第１の細長いボイド部分と、

第１の軸に平行な第２の軸と位置合わせされた第２の細長いボイド部分と、

第１の細長いボイド部分と第２の細長いボイド部分とを結合する第３のボイド部分と、

を備え、

複数のボイドのうちの第２のボイドが、

第１の軸と位置合わせされ、少なくとも１つの金属構造内の第１の金属ボイド部分によって第１の細長いボイド部分から分離された、第４の細長いボイド部分と、

第２の軸と位置合わせされ、少なくとも１つの金属構造内の第２の金属ボイド部分によって第１の細長いボイド部分から分離された、第５の細長いボイド部分と、

少なくとも１つの金属構造内の第３の金属ボイド部分によって分離された、第４の細長いボイド部分と第５の細長いボイド部分とを結合する第６のボイド部分と、

を備え、

第１の金属ボイド部分と、第２の金属ボイド部分と、第３の金属ボイド部分とが一緒に結合され、金属相互接続を形成する、

条項１～２１のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。

２３．セットトップボックス、エンターテイメントユニット、ナビゲーションデバイス、通信デバイス、固定ロケーションデータユニット、モバイルロケーションデータユニット、全地球測位システム（ＧＰＳ）デバイス、モバイルフォン、セルラーフォン、スマートフォン、セッション開始プロトコル（ＳＩＰ）フォン、タブレット、ファブレット、サーバ、コンピュータ、ポータブルコンピュータ、モバイルコンピューティングデバイス、ウェアラブルコンピューティングデバイス、デスクトップコンピュータ、携帯情報端末（ＰＤＡ）、モニタ、コンピュータモニタ、テレビ、チューナー、ラジオ、衛星ラジオ、音楽プレーヤ、デジタル音楽プレーヤ、ポータブル音楽プレーヤ、デジタルビデオプレーヤ、ビデオプレーヤ、デジタルビデオディスク（ＤＶＤ）プレーヤ、ポータブルデジタルビデオプレーヤ、自動車、車両部品、アビオニクスシステム、ドローン、及びマルチコプターからなる群から選択されるデバイスに一体化された、条項１～２２のいずれかに記載のダイモジュールパッケージ。

２４．ダイモジュールパッケージを製造する方法であって、

パッケージ基板を形成することと、前記パッケージ基板を形成することは、

水平方向において互いに平行であり、かつ、共通の垂直面を共有する、複数の金属構造を形成することを備え、複数の金属構造のうちの各金属構造が、

第１の熱膨張係数（ＣＴＥ）を有する金属材料と、

金属構造内に配置された複数のボイドを備えるボイド画定部分と、
複数のボイドのうちの隣接するボイド間に配置された金属構造内の金属材料によって各々形成された１つ以上の金属相互接続と、
ボイド画定部分内の複数のボイドのうちの少なくとも１つのボイド内に配置された第２のＣＴＥを有する誘電体材料と、誘電体材料の第２のＣＴＥが金属材料の第１のＣＴＥよりも小さい、
を備え、
複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造のボイド画定部分内の１つ以上の金属相互接続のうちの少なくとも１つの金属相互接続に結合された少なくとも１つのダイ相互接続を形成することと、
ダイを少なくとも１つのダイ相互接続に結合することと、
を備える、方法。
２５．ダイを少なくとも１つのダイ相互接続に結合することが、垂直面においてパッケージ基板内の複数の金属構造のうちの少なくとも１つの金属構造内のボイド画定部分に少なくとも部分的に重なり合うように、パッケージ基板に対して配向されたダイの領域の少なくとも一部分を配置することを更に備える、条項２４に記載の方法。
２６．
複数の金属構造のうちの第１の金属構造のボイド画定部分内の複数のボイドのうちの個別のボイドを各々が通る、少なくとも１つの垂直相互接続アクセス（ビア）を配置することと、
少なくとも１つのビアの各ビアを、複数の金属構造のうちの１つの金属構造の第２のボイド画定部分内の複数の金属相互接続のうちの１つの金属相互接続に結合することと、
を更に備える、条項２４又は２５に記載の方法。
２７．複数の金属構造を形成することが、パッケージ基板内で互いに平行な複数のメタライゼーション層のうちの異なるメタライゼーション層内に複数の金属構造のうちの各金属構造を形成することを更に備える、条項２４～２６のいずれかに記載の方法。
２８．金属構造内に複数のボイドを形成することが、複数のボイドが各々、金属構造内の金属材料によって完全に取り囲まれ、かつ、金属材料に結合されるように、金属構造内に複数のボイドを形成することを更に備える、条項２４～２７のいずれかに記載の方法。
２９．金属構造内に複数のボイドを形成することが、金属構造の面積の少なくとも３０パーセント（３０％）の金属構造内の面積を消費するように、各金属構造内に複数のボイドを形成することを更に備える、条項２４～２８のいずれかに記載の方法。
３０．金属構造のボイド画定部分が、１００メガパスカル（ＭＰａ）～５０ギガパスカル（ＧＰａ）のヤング率を有する、条項２４～２９のいずれかに記載の方法。
３１．金属材料の第１のＣＴＥが、１３パーツパーミリオン（ｐｐｍ）パーケルビン（Ｋ）（ｐｐｍ／Ｋ）～２４ｐｐｍ／Ｋである、条項２４～３０のいずれかに記載の方法。
３２．誘電体材料の第２のＣＴＥが、４ｐｐｍ／Ｋ～１８ｐｐｍ／Ｋである、条項２４～３１のいずれかに記載の方法。

【図面】

【図１】

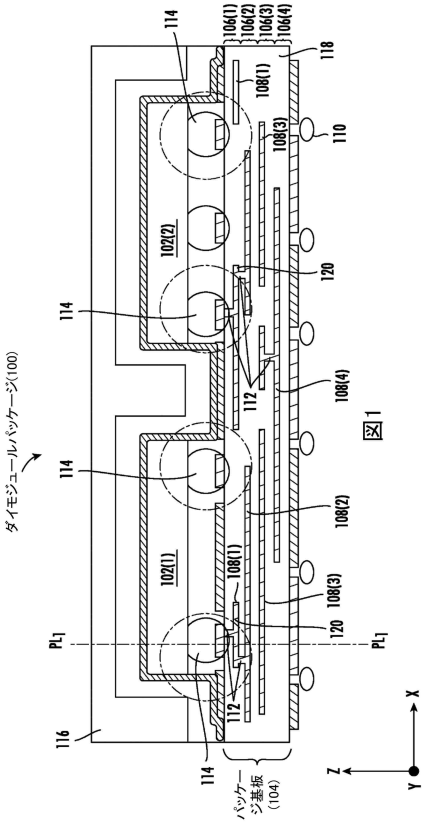


図1

【図２】

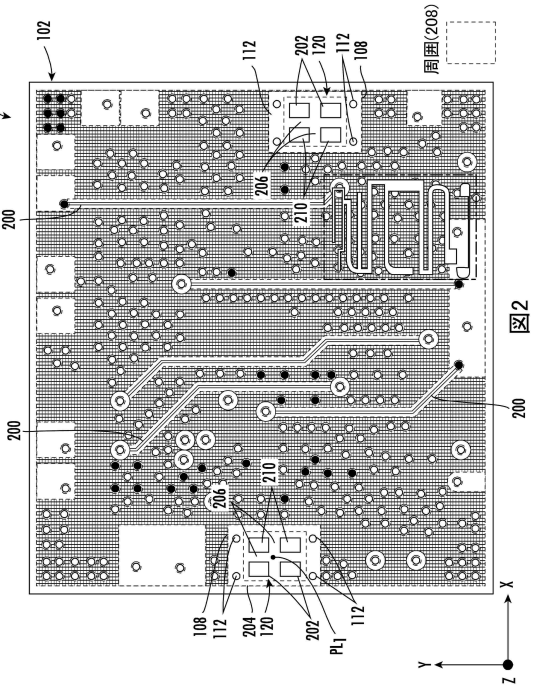


図2

【図３】

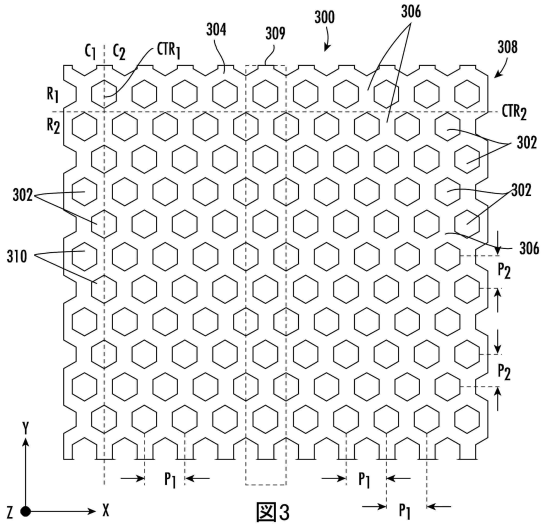


図3

【図４Ａ】

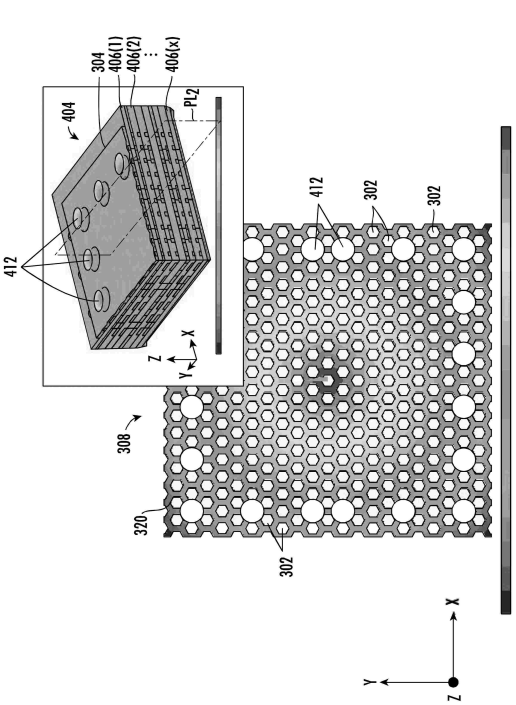


図4A

【図４Ｂ】

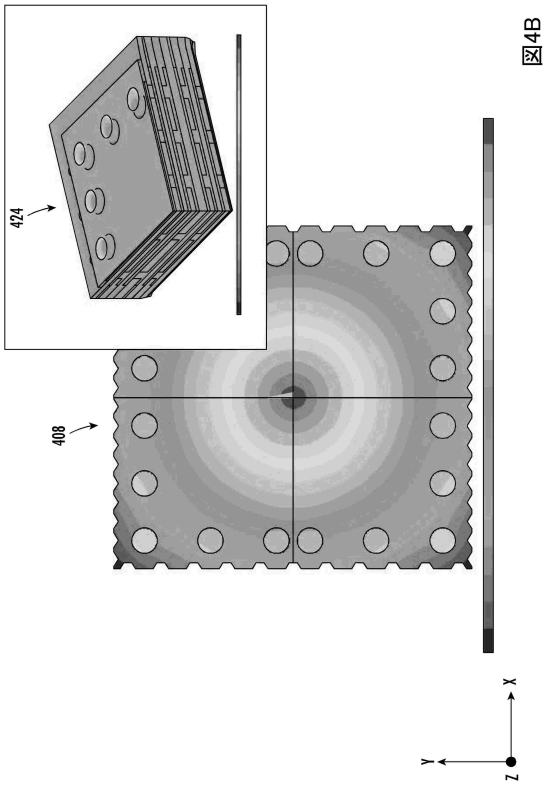


図4B

【図５】

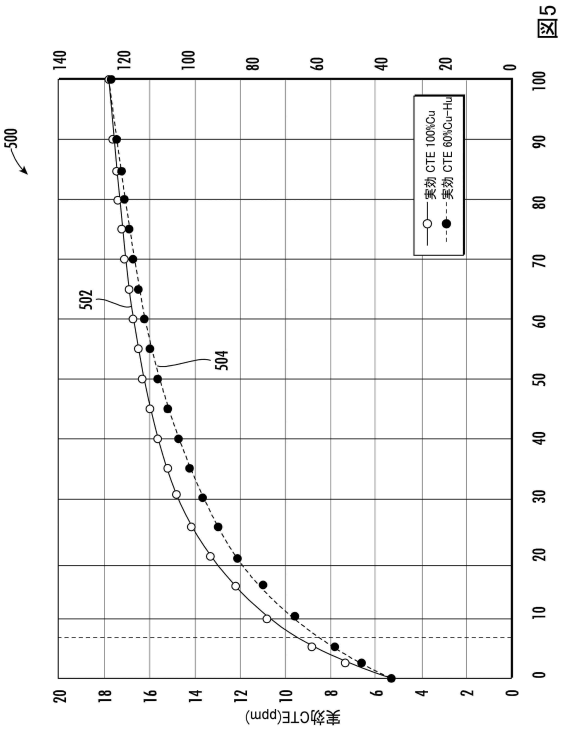


図5

【図６】

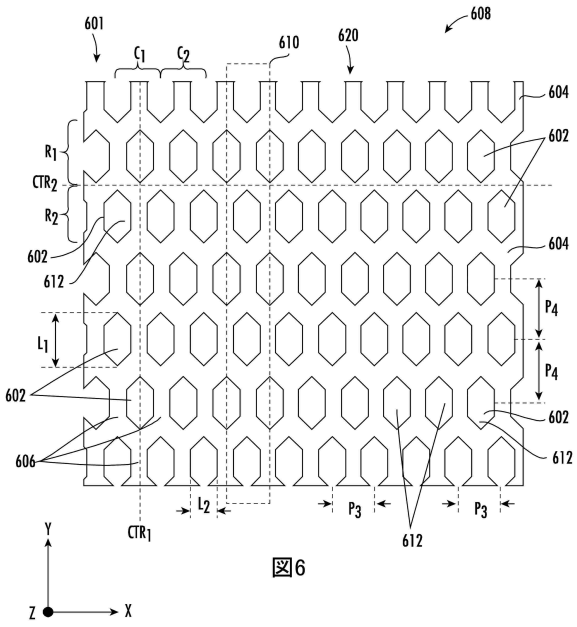


図6

【図７】

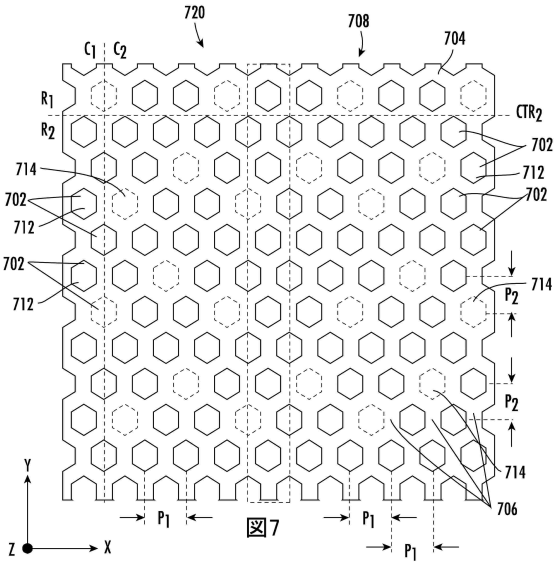


図7

【図８】

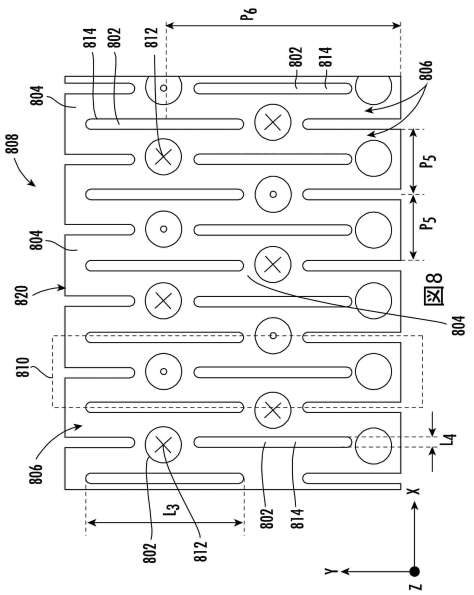


図8

【図９Ａ】

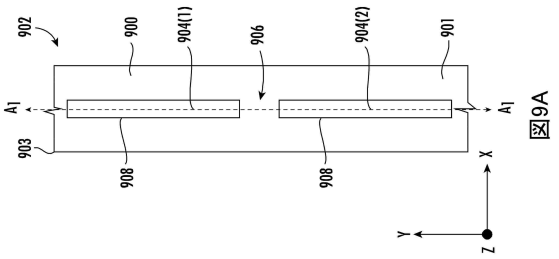


図9A

【図９Ｂ】

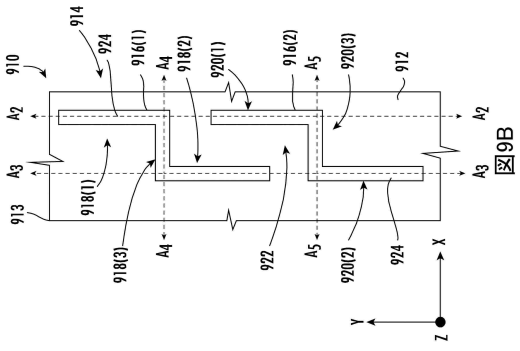


図9B

【図９Ｃ】

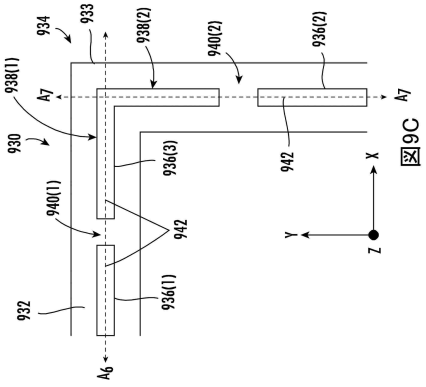


図9C

【図９Ｄ】

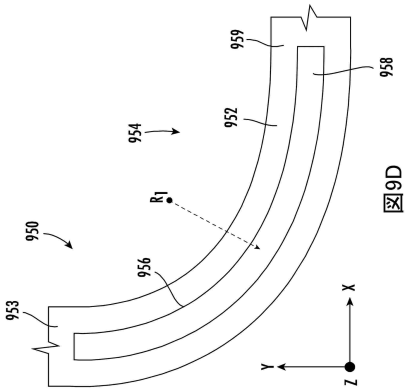


図9D

【図９Ｅ】

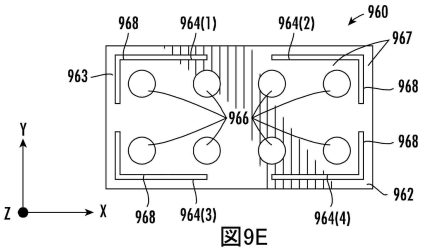


図9E

【図９Ｆ】

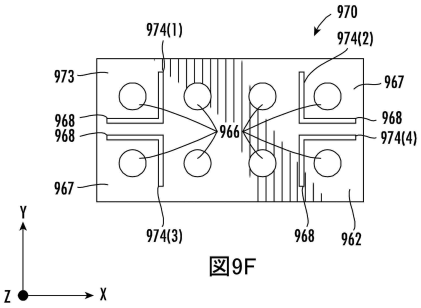


図9F

【図９Ｇ】

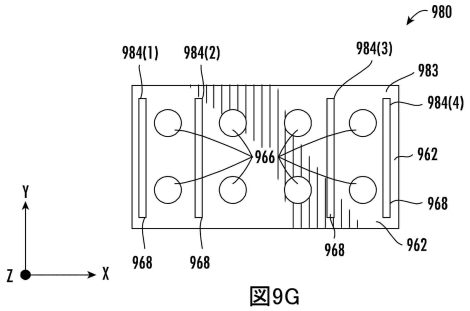


図9G

【図９Ｈ】

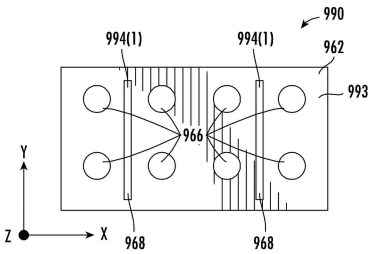


図9H

【図１０】

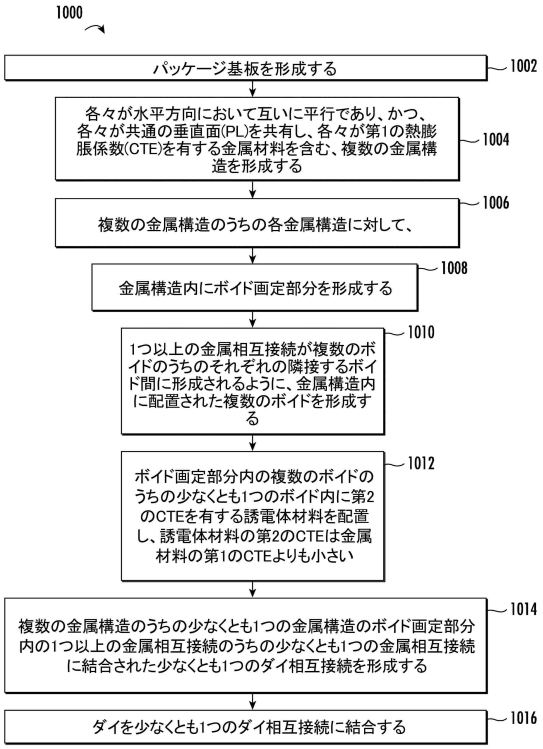


図10

【図１１】

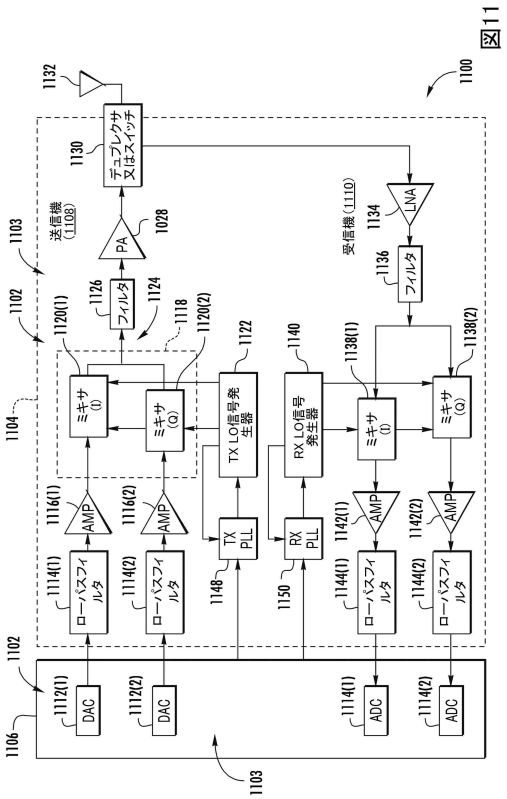


図11

【図１２】

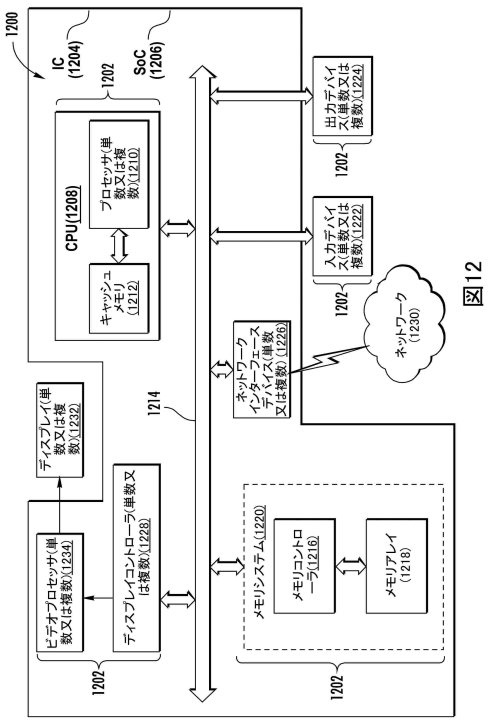


図12

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2022/073351

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L23/538
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2007/005492 A1 (SANDISK CORP [US]; TAKIAR HEM [US] ET AL.) 11 January 2007 (2007-01-11)	1-20, 22-32
Y	figures 1-10	21
X	US 2017/047295 A1 (LAN YUAN-FU [TW] ET AL) 16 February 2017 (2017-02-16) figures 1,2	1,22,24
X	US 2003/104184 A1 (HIRAI TARO [JP] ET AL) 5 June 2003 (2003-06-05)	1,22,24
Y	figures 5, 12-14	21
A	US 2010/263914 A1 (YAO JACK M [US] ET AL) 21 October 2010 (2010-10-21) figures 1-12	1-32

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
3 November 2022	11/11/2022

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Kästner, Martin

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2022/073351

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2007005492 A1	11-01-2007	EP 1905080 A1	02-04-2008
		JP 2009500830 A	08-01-2009
		KR 20080024492 A	18-03-2008
		TW I324382 B	01-05-2010
		WO 2007005492 A1	11-01-2007
US 2017047295 A1	16-02-2017	NONE	
US 2003104184 A1	05-06-2003	CN 1421926 A	04-06-2003
		JP 2003168848 A	13-06-2003
		US 2003104184 A1	05-06-2003
US 2010263914 A1	21-10-2010	TW 201101440 A	01-01-2011
		US 2010263914 A1	21-10-2010
		WO 2010121167 A1	21-10-2010

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW
２１２１、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ　５７７５

Ｆターム（参考）　5E338　AA03 AA18 BB75 CC10 CD02 EE21