

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5587844号
(P5587844)

(45) 発行日 平成26年9月10日(2014.9.10)

(24) 登録日 平成26年8月1日(2014.8.1)

(51) Int.Cl.		F I	
H O 1 L 25/07	(2006.01)	H O 1 L 25/04	C
H O 1 L 25/18	(2006.01)	H O 1 L 21/52	E
H O 1 L 21/52	(2006.01)		

請求項の数 18 外国語出願 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2011-191590 (P2011-191590)	(73) 特許権者	509046192
(22) 出願日	平成23年9月2日(2011.9.2)		ヴィンコテック ホールディングス エス
(65) 公開番号	特開2012-99794 (P2012-99794A)		. エー. アール. エル.
(43) 公開日	平成24年5月24日(2012.5.24)		ルクセンブルク大公国 2 6 3 6 ルクセ
審査請求日	平成23年9月2日(2011.9.2)		ンブルク ル レオン ティー 1 2
(31) 優先権主張番号	10 2010 044 709.9	(74) 代理人	100105050
(32) 優先日	平成22年9月8日(2010.9.8)		弁理士 鷲田 公一
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	(72) 発明者	ペーター ゾントハイマー
			ドイツ国 8 2 0 6 5 バイエルブルン
			アム シュピッツベルク 8
		(72) 発明者	アティツラ オリ
			ハンガリー国 2 0 6 0 ビチケイ トツ
			ェク ウトカ 7
		審査官	今井 拓也
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パワー半導体モジュールおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板（102）と、少なくとも1つのパワー半導体デバイス（104）と、少なくとも1つの第1のリードフレーム要素（106）とを有するパワー半導体モジュールであって、

前記少なくとも1つの第1のリードフレーム要素（106）が、第1の面において前記パワー半導体デバイス（104）に接合されており、前記第1の面とは反対側の第2の面において前記基板（102）に接合されており、

印刷され且つ焼き付けられた金属層（108）が、前記基板（102）の上に設けられており、

前記少なくとも1つの第1のリードフレーム要素と前記パワー半導体デバイスとの間の前記接合と、前記第1のリードフレーム要素と前記基板の前記金属層との間の前記接合が、焼結金属接合（110）を備えている、

パワー半導体モジュール。

【請求項 2】

前記金属層は銀層である、

請求項 1 に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 3】

前記金属層は銀合金層である、

請求項 1 に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 4】

前記金属層は銅層である、
請求項 1 に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 5】

前記金属層は銅合金層である、
請求項 1 に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 6】

前記焼結金属接合（110）が焼結銀接合を備えている、
請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 7】

前記基板（102）がセラミック基板を備えている、
請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 8】

前記基板（102）が薄膜基板または厚膜基板である、
請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 9】

少なくとも 1 つの第 2 のリードフレーム要素（118）であって、第 1 の面においてワイヤボンダ接続（116）によって前記パワー半導体デバイス（104）に接続されており、前記第 1 の面とは反対側の第 2 の面において焼結金属接合によって前記基板（102）に接合されている、前記少なくとも 1 つの第 2 のリードフレーム要素（118）、
をさらに備えている、
請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 10】

前記第 1 のリードフレーム要素（106）とは反対側の、前記パワー半導体デバイス（104）の面、に配置されている少なくとも 1 つの第 3 のリードフレーム要素（128）
、
をさらに備えており、
前記第 3 のリードフレーム要素（128）と前記パワー半導体デバイス（104）との間の電氣的接続が、焼結金属接合を備えている、
請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載のパワー半導体モジュール。

【請求項 11】

基板と、少なくとも 1 つのパワー半導体デバイスと、少なくとも 1 つの第 1 のリードフレーム要素とを有するパワー半導体モジュール、を製造する方法であって、
印刷され且つ焼き付けられた金属層を前記基板の上に設けるステップと、
焼結可能な金属ペーストを、前記基板、前記第 1 のリードフレーム要素の第 1 および第 2 の面、前記第 1 のリードフレーム要素に面している前記パワー半導体デバイスの前記面、のうちのいずれかまたは複数に塗布して構造化するステップと、
前記第 1 のリードフレーム要素の前記第 1 の面の上に前記パワー半導体デバイスを位置合わせして固定するステップと、
前記少なくとも 1 つの第 1 のリードフレーム要素が前記第 1 の面において前記パワー半導体デバイスに接合され、前記第 1 の面とは反対側の前記第 2 の面において前記基板に接合されるように、前記基板の上に前記第 1 のリードフレーム要素を位置合わせして固定するステップと、
前記少なくとも 1 つの第 1 のリードフレーム要素と前記パワー半導体デバイスとの間の焼結金属接合と、前記第 1 のリードフレーム要素と前記基板の前記金属層との間の焼結金属接合と、を同時に形成する 1 回の加圧焼結ステップを実行するステップと、
を有する、方法。

【請求項 12】

前記金属層は銀層である、
請求項 11 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記金属層は銀合金層である、
請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記金属層は銅層である、
請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記金属層は銅合金層である、
請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

さらなる少なくとも 1 つの第 2 のリードフレーム要素が、焼結金属接合によって前記基板に接合され、ワイヤボンダ接続によって前記パワー半導体デバイスに接続される、
請求項 1 1 ～ 1 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

10

【請求項 1 7】

前記加圧焼結ステップを実行する前に、さらなる少なくとも 1 つの第 3 のリードフレーム要素が、前記第 1 のリードフレーム要素とは反対側の、前記パワー半導体デバイスの面、の上に位置合わせされて固定され、

前記第 3 のリードフレーム要素と前記パワー半導体デバイスとの間の電氣的接続が、焼結金属接合を備えている、

請求項 1 1 ～ 1 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 1 8】

前記焼結金属接合が焼結銀接合を備えている、

請求項 1 1 ～ 1 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、基板と、少なくとも 1 つのパワー半導体デバイスと、少なくとも 1 つのリードフレーム要素とを有するパワー半導体モジュールに関する。さらに、本発明は、このようなパワー半導体モジュールの製造方法に関する。

30

【0 0 0 2】

より詳細には、本発明は、このようなパワー半導体モジュール（以下では「パワーモジュール」と称する）におけるマウント・相互接続技術に関する。この技術では、一般に公知であるように、実質的に 2 箇所の重要な電氣的接続、すなわち、半導体デバイス（「チップ」とも称する）と基板および他の内部デバイスとの間の接続と、外部環境との電氣的接続を、形成しなければならない。

【背景技術】

【0 0 0 3】

一般に、最近のパワーモジュールにおける問題として、必要な高い電力によって生じる多量の排熱を半導体素子から放散させなければならない。さらには、すべての電氣的接続において高い堅牢性および通電容量（current-carrying capacity）を得ることが要求される。同時に、製造コストはできる限り低い必要がある。

40

【0 0 0 4】

パワー半導体デバイスを封止するための第 1 の公知の配置構造について、図 4 を参照しながら詳しく説明する。この配置構造では、公知のパワー半導体モジュール 4 0 0 は、パワー半導体デバイス 4 0 4 が上にマウントされた基板 4 0 2 を備えている。この従来の解決策の基板 4 0 2 は、一般には DCB（direct copper bonding）基板であり、この DCB 基板に半導体デバイス 4 0 4 を接点 4 0 6 においてはんだ付けする。第 2 の作業ステップにおいて、DCB 基板 4 0 2 にピン 4 0 8 をはんだ付けし、外部との接続を確立する。最終的な組立てにおいて、これらのピン 4 0 8 をプリント基板（PCB）上の対応する

50

導体トラックに接続する、あるいはハウジング内に挿入する。これを目的として、圧入接続 (press-in contacts) およびさらなるはんだ付けステップを行う。プリント基板 410 との機械的な結合は、ねじ結合 412 によって達成される。この配置構造を、別のねじ結合 414 または嵌合固定具 (snap-in clip) によってヒートシンク 416 に結合する。なお、英語圏では、用語「DBC (direct bonded copper) 基板」も使用される。

【0005】

この公知の配置構造の利点として、回路の構成に関する柔軟性が極めて高い。さらには、少数での生産も容易に実現する。しかしながら、この解決策の欠点として、品目あたりの製造コストが比較的高い。その理由として、最初にチップをセラミック基板 (システムの他の部分との電気絶縁も同時に確保する) にはんだ付けするときに、複数の複雑なマウントステップを行わなければならない、さらに第 2 のステップにおいて、接続ピン 408 を DCB 基板 402 にはんだ付けするためである。

10

【0006】

図 5 は、別の公知の配置構造を示している。この図に示したパワーモジュール 500 には、図 4 に示した配置構造の接続ピン 408 の代わりとして、リードフレームフィンガー 506 が設けられている。複数の異なる半導体デバイス 504 が DCB 基板 502 の上にマウントされており、DCB 基板 502 の銅構造 505 に、それ自体公知の方法ではんだ付けされている。外部との必要な接続は、対応する銅構造に同様にはんだ付けされているリードフレーム 506 によって形成されている。図 4 の配置構造と比較すると、図 5 の配置構造を製造するための工程管理は単純化されており、その効果として、リードフレーム要素 506 をデバイス 504 と同時に取り付けることができる。しかしながら、この公知の配置構造では、半導体デバイス 504 と各リードフレーム要素 506 との間の電氣的接続を形成するための個別のボンディングステップが依然として要求される。さらに、この配置構造が適するのは、比較的単純なトポロジの場合のみである。さらには、この公知の代替形態は、比較的複雑であり、図 4 の配置構造よりも柔軟性が低い。

20

【0007】

さらに、図 6 および図 7 を参照しながら以下に説明するように、絶縁基板を完全に排除して、代わりにデバイスをリードフレームに直接接続する方法が知られている。このようなパワーモジュールは、例えば非特許文献 1 から公知である。熱を放散させるため、リードフレームの反対面にヒートシンクが設けられている。エポキシ樹脂のプラスチック封止部 (トランスファーモールドによって形成されている) が配置構造を封止しており、ヒートシンクを外部から電氣的に絶縁している。

30

【0008】

図 6 の配置構造の熱放散 (極めて不十分である) を改善する目的で、図 7 による配置構造では、電気絶縁性であるが高い熱伝導性の薄膜がリードフレーム 706 とヒートシンク 716 との間に設けられている。したがって、金属製ヒートシンクの外側の封止を省くことが可能であり、これによって、より多くの熱を外部に放散させることができる。

【0009】

図 6 および図 7 による公知のパワー半導体モジュール 600, 700 は、品目数が多い場合に製造の費用効率が極めて高いという利点を有する。

40

【0010】

しかしながら、これらの従来の解決策の欠点として、熱的条件が依然として不十分であり、電気絶縁に関する構造設計が比較的複雑である。さらには、モジュール 600, 700 の製造には、比較的高価な装置が要求される。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献 1】 H. Kawafuji et al.: "DIP-IPM der 4. Generation - Transfer-Mold-DIP-IPM für 5 bis 35 A/1200 V mit neuartiger Warmefolienisolierung", [http://www.elektronikpraxis.vogel.de/leistungselektronik/articles/150931/\(11/06/2008\)](http://www.elektronikpraxis.vogel.de/leistungselektronik/articles/150931/(11/06/2008))

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

したがって、本発明の目的は、製造が単純化され、熱放散および電気絶縁が最適化され、それと同時に通電容量が増大するように、上述したタイプのパワー半導体モジュールを改良することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

この目的は、独立請求項の主題によって達成される。本発明のパワー半導体モジュールおよび本発明の製造方法の有利な実施形態は、従属請求項に定義されている。

10

【0014】

指定される動作温度が高い新しいチップを、それらの最大限の使用パラメータを用いて利用できるように、従来のチップはんだ付け法を金属焼結法、具体的には銀焼結法に置き換えることが知られている。

【0015】

図8および図9は、チップが銀焼結法によって回路のキャリアに接合されている、それ自体公知である配置構造を示している。この構造では、パワー半導体デバイス804、904とキャリア802、902とが、高温、高圧下で一体に押し固められている。チップ804、904とキャリア材料802、902との間に塗布されている銀ペースト810、910は、この条件下で両方の接合相手と永久的な分子結合を形成するようにされており、この場合、基板は、例えば両側に2層の銅層が塗布された酸化アルミニウム基板802、902である。さらなる銅板915（はんだ層908によってキャリア902に結合されている）によって、ヒートシンク916への熱伝達を改善することができる。熱伝導性の中間層（「サーマルグリース」）812、912は、対応する公差補償（tolerance compensation）によって最適な熱伝達を確保する。これらの公知の解決策によると、パワー半導体モジュール800、900から外部への電氣的接続は、この場合も、はんだ付けまたは圧入ピン806、906によって達成されている。

20

【0016】

銀焼結法では、たとえ厳しい動作温度条件下でも機械的に極めて堅牢な構造を得ることができる。

30

【0017】

したがって、本発明は、堅牢かつ費用効果の高いパワー半導体モジュールを製造するため、改良された工程管理に従って、金属焼結技術、具体的には銀焼結技術を利用するという発想に基づいている。

【0018】

本発明によると、少なくとも1つの第1のリードフレーム要素は、第1の面においてパワー半導体デバイスに接合されており、第1の面とは反対側の第2の面において基板に接合されている。本発明によると、少なくとも1つの第1のリードフレーム要素とパワー半導体デバイスとの間の接合と、第1のリードフレーム要素と基板との間の接合は、1回の製造ステップにおいて金属焼結法によって形成される。

40

【0019】

基板としては、例えばセラミック基板（例：酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ））が適しており、良好な熱伝導特性を有する。当然ながら、別の適する材料を使用することもできる。本発明によると、金属焼結法を採用するならば、このようなパワー半導体モジュールのキャリア材料として、特に、極めて薄い基板、具体的には薄膜基板または厚膜基板を使用することもできる。

【0020】

キャリア材料に、印刷され且つ焼き付けられた金属層（printed and burnt-in metal layer）、好ましくは銀の被膜をあらかじめ設け、チップとリードフレームとの間と、リードフレームとキャリアとの間に、焼結可能な金属層を塗布する。この点において、焼

50

結される金属層を2つの接合相手のうちどちらに塗布するかは重要ではない。次に、チップおよびリードフレームをキャリア材料の上に配置し、適切な温度の作用および機械的圧力の印加によって、互いに接合するチップとリードフレーム、およびリードフレームとキャリアに、永久的な機械的結合が形成される。

【0021】

このように、適用される方法は、チップのマウントと相互接続を1回の作業ステップで同時に行う「ワンステップ組立て」方法であり、これは有利である。

【0022】

上述した公知の配置構造と比較すると、コストのかかる個別の工程ステップを排除することによって、コスト面の大きな利点をもたらされる。さらには、リードフレーム構造によって、配線レイアウトを有利な方法ですでに形成することができる。本発明によるシステムは、全体として、極めて信頼性が高く堅牢であり、対応する電力が上方にスケラブルであり制限がない。

10

【0023】

したがって、本発明によるパワー半導体モジュールは、複数の適用分野、例えば、駆動制御、再生可能エネルギー、無停電電源、電気的駆動のみならず、溶接・切断、電源ユニット、医療機器、鉄道工学において有利に使用することができる。

【0024】

さらに、本発明は、パワーモジュール全体のみならず、個々のパワー半導体デバイス（すなわち個別半導体）にも使用することができる。これらの適用分野では、本発明によるマウント・相互接続技術は、コスト節減に関する利点と、極めて高い熱機械的安定性および信頼性を提供する。

20

【0025】

本発明の有利な実施形態によると、少なくとも1つの第2のリードフレーム要素が設けられており、このリードフレーム要素は、第1の面においてワイヤボンダ接続によってパワー半導体デバイスに接続されており、第1の面とは反対側の第2の面において焼結金属接合によって基板に接合されている。この解決策では、外部への別の接続をさらに形成することができる。

【0026】

さらには、本発明による配置構造は、さらに広範な層状（サンドイッチ）構造に拡張することもできる。第1のリードフレーム要素とは反対側のパワー半導体デバイスの面に、少なくとも1つの第3のリードフレーム要素を配置することができ、したがって、半導体デバイスが2つのリードフレームの間に配置される。本発明によると、第3のリードフレーム要素とパワー半導体デバイスとの間の電気的接続も、1回の製造ステップで形成される焼結金属接合によって達成される。この配置構造では、個別部品の製造ステップがさらに単純化され、その利点として、信頼性が極めて高く、通電容量が大きい。

30

【0027】

本発明の原理は、焼結金属層の形で、焼結銀接合と組み合わせて利用することが有利である。しかしながら、当業者には理解されるように、焼結する金属粒子は、銀のみならず、金、銅、白金、パラジウム、ロジウム、オスミウム、ルテニウム、イリジウム、鉄、錫、亜鉛、コバルト、ニッケル、クロム、チタン、タンタル、タングステン、インジウム、ケイ素、アルミニウム、その他、または少なくとも2種類の金属の合金を含んでいることができる。

40

【0028】

以下では、本発明を深く理解できるように、図面に示した例示的な実施形態を参照しながら本発明についてさらに詳しく説明する。図面において、類似する部分には類似する参照数字および類似する名称を使用してある。さらに、図示および説明した実施形態におけるいくつかの特徴および特徴の組み合わせは、本発明による独立した（1つまたは複数の）独創的な解決策となり得る。

【図面の簡単な説明】

50

【0029】

【図1】第1の有利な実施形態によるパワー半導体モジュールの概略図を示している。

【図2】本発明によるパワー半導体モジュールの第2の実施形態の概略図を示している。

【図3】層状構造を有する個別半導体の概略図を示している。

【図4】第1の公知のパワー半導体モジュールの概略図を示している。

【図5】第2の公知のパワー半導体モジュールの概略図を示している。

【図6】第3の公知のパワー半導体モジュールの概略図を示している。

【図7】第4のパワー半導体モジュールの概略図を示している。

【図8】銅のベースプレートを備えていないセラミック基板上の焼結銀アセンブリの概略図を示している。

10

【図9】銅のベースプレートを備えたセラミックキャリア上のデバイスの焼結銀アセンブリの概略図を示している。

【発明を実施するための形態】

【0030】

図1は、本発明によるパワー半導体モジュール100の第1の実施形態を概略図として示している。パワー半導体モジュール100（以下ではパワーモジュールとも称する）は、基板102（好ましくはセラミックからなる）を備えている。当然ながら、別の一般的な回路キャリア材料（例えば、高温耐熱性のプラスチック材料またはフィルム）も使用することができる。

【0031】

20

この基板102の上に、印刷され且つ焼き付けられた構造化された銀層108が設けられている。この銀層108は、本発明の焼結銀接合110と接触する役割を果たしている。本発明によると、パワー半導体デバイス（以下ではチップとも称する）は、第1の面112において焼結銀接合110によって第1のリードフレーム要素106に接合されている。基板102との電氣的接触は、リードフレーム要素106の第1の面112とは反対側の第2の面において達成されている。本発明のこの解決策によると、リードフレーム要素106の2つの面112、114との接合は、1回の加圧焼結ステップにおいて形成することができる。

【0032】

本発明の方法によると、ペースト層は、（従来技術による焼結接合から公知であるように）接合相手の一方（または両方）の上に、好ましくはスクリーン印刷技術によって段差状に（図示していない）配置する。このようなペースト層の層厚さは、通常では10 μm ~ 20 μm の範囲内である。

30

【0033】

ペースト層自体は、金属フレークの形での金属材料（最大膨張はマイクロメートルのオーダー）と溶剤との混合物からなる。金属フレークの材料としては、特に銀が適しているが、他の貴金属、または貴金属の含有量が90%以上の混合物も適している。したがって、本発明は、焼結銀接合のみならず、他の加圧焼結接合にも使用できることが、当業者には理解されるであろう。金属層を形成するには、ペースト層に圧力を印加する。さらには、この圧力を印加する前にペースト層から溶剤の少なくとも95%を追い出すことが有利である。この追い出しは、温度を上昇させる（例えば350ケルビン）ことによって達成することが好ましい。この温度上昇は、次の圧力印加中に維持する、またはさらに高めることもできる。

40

【0034】

半導体デバイス104を保護する目的で、圧力印加時に、半導体デバイス104を例えばシートによって覆うようにすることができる。

【0035】

ペースト層と接触面との間に十分な付着力の接合を達成する目的で、このような圧力印加の最終的な最大圧力は、通常では約8 MPaである。

【0036】

50

チップとリードフレームとの間、およびリードフレームと基板との間の、焼結接合によって得られる接合強度は、極めて高い。信頼性試験では、焼結層は大きな荷重負荷強度 (load alternation strength) を示した。したがって、はんだ付け接合と比較して、相 10
当に大きな熱荷重負荷強度 (thermal load alternation strength) を得ることができる。図 1 に示した実施形態においては、チップ 104 は、ワイヤボンド接続 116 によって別のリードフレーム要素 118 に電氣的に接続されており、これらのリードフレーム要素は、同様に焼結銀接合 110 によって基板 102 に接合されている。さらに、熱を放散させる目的で、接触面 108 とは反対側の基板 102 の面は、サーマルグリース 120 によってヒートシンク 122 に結合されている。しかしながら、この場合、基板 102 に存在する余分な熱を放散させるための任意の別の一般的な方策を使用することができる。サ 10
ーマルグリース 120 は、パワーエレクトロニクスにおいて公知であるように、基板 102 からヒートシンク 122 への熱伝達を改善する。

【0037】

以下では、本発明による配置構造の別の有利な実施形態について、図 2 を参照しながら説明する。この配置構造においては、チップ 104 からのワイヤボンド接続は、別のリードフレーム構造 118 ではなく、印刷による構造化されたメタライゼーション 108 に接続されている。さらには、従来の電子部品 124 を、従来の接続技術 (例えば、ボンディングまたははんだ付け接続 126) によって、印刷されたメタライゼーション 108 に接続 20
することができる。

【0038】

図 1 および図 2 の実施形態の利点として、システムのコストが最適化されており、レイアウトがリードフレーム構造に形成されている。これは、ワンステップのマウント・相互接続技術であり、チップの取り付けおよびラインへの接続が単一の作業ステップで達成される。このように作製される部品は、極めて信頼性が高く、電力の面で制限されない。

【0039】

しかしながら、これらの図に示した実施形態の欠点として、追加のワイヤボンド工程が必要である。さらに、焼結工程 (それ自体が比較的複雑である) の潜在能力が完全には生かされていない。

【0040】

したがって、本発明の別の実施形態によると、図 3 に概略的に示した層状構造を提案する。この配置構造 (特に、個別部品のマウント・相互接続技術に適している) においては、同様に、基板 102 に構造化メタライゼーション、好ましくは印刷され且つ焼き付けられた銀層を設ける。次いで、焼結銀接合 110 のすべてを 1 回の加圧焼結ステップにおいて同時に形成することができるように、リードフレーム要素 106 と、パワー半導体デバイス 104 と、別のリードフレーム要素 128 とを、垂直方向に積層し、焼結銀前駆体 (sintered silver precursor) を間に挿入することにより、接合する。銀焼結ペーストは、リードフレーム要素 128 またはチップ 104 に塗布する、あるいは適切な場合、接合する両面に塗布する。このサンドイッチ構造は、薄膜基板 102 において特に有利に使用 30
ことができ、なぜなら、これによりチップの取り付けおよび電氣的接続の両方を 1 回の作業ステップで達成できるためである。

【0041】

特に、個別半導体部品において、この配置構造は最適な構造であり、その利点として、コストが最小限に維持されると同時に、信頼性が最大限に高く、広範囲にわたり電力が制限されない。

【0042】

このことは、特に、風力エネルギーおよび太陽エネルギーのみならず、駆動技術において極めて重要である。

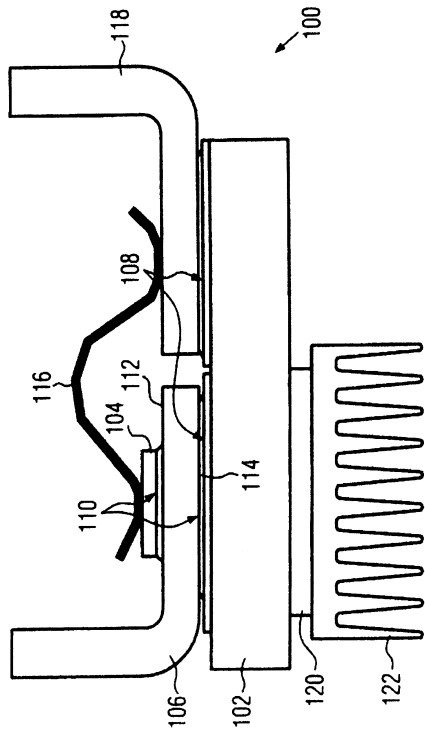
10

20

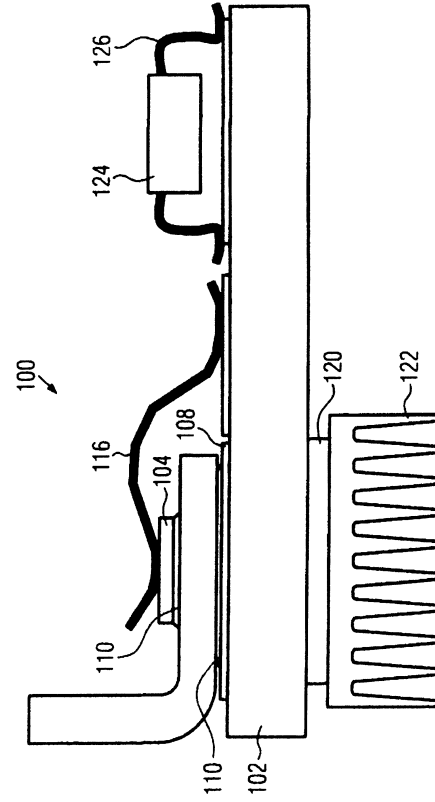
30

40

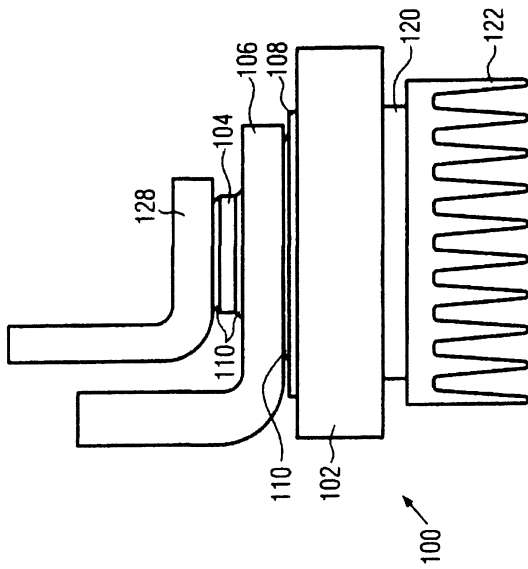
【図 1】



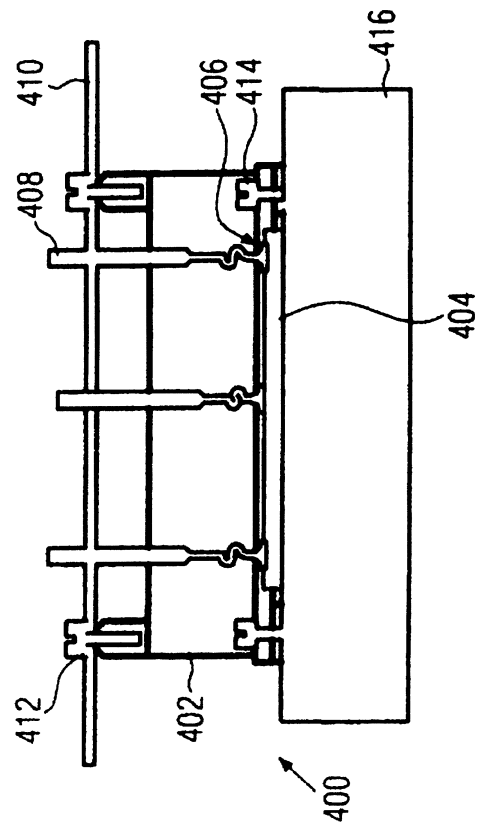
【図 2】



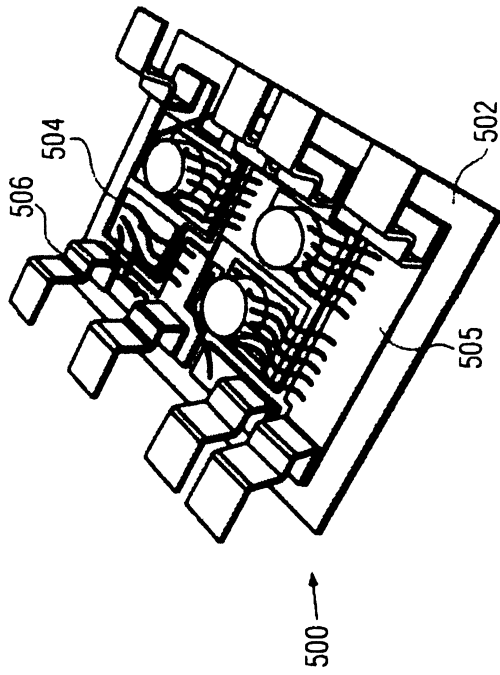
【図 3】



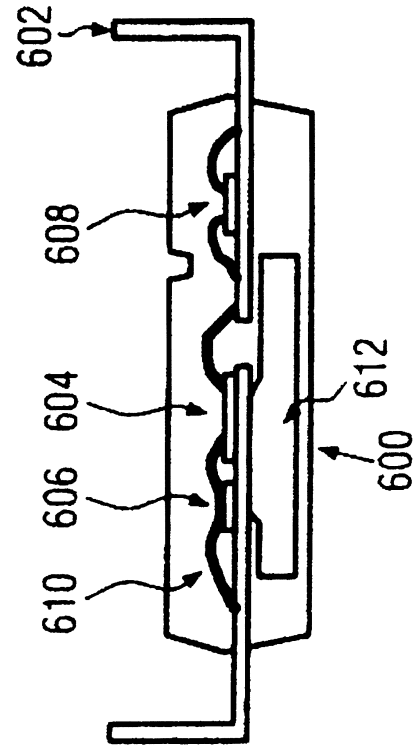
【図 4】



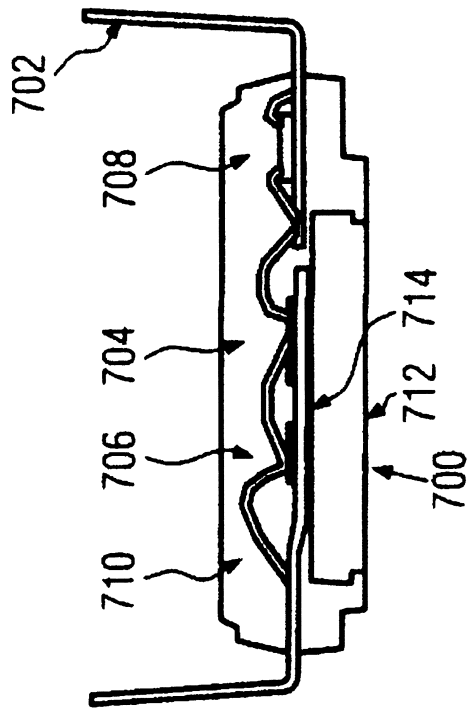
【図 5】



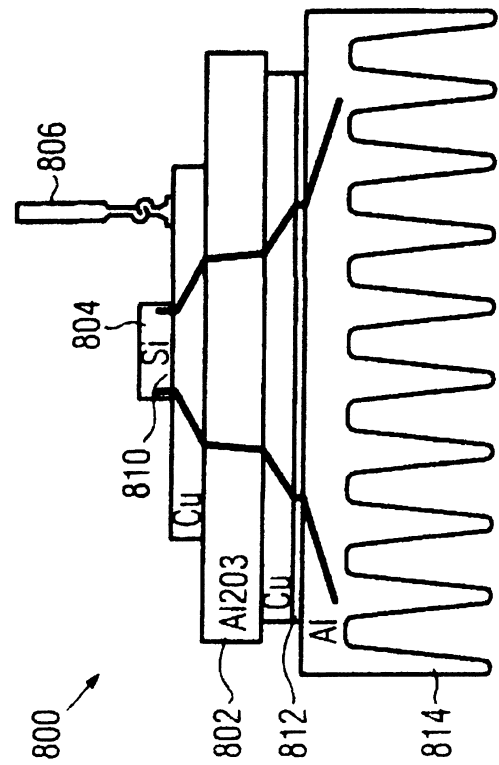
【図 6】



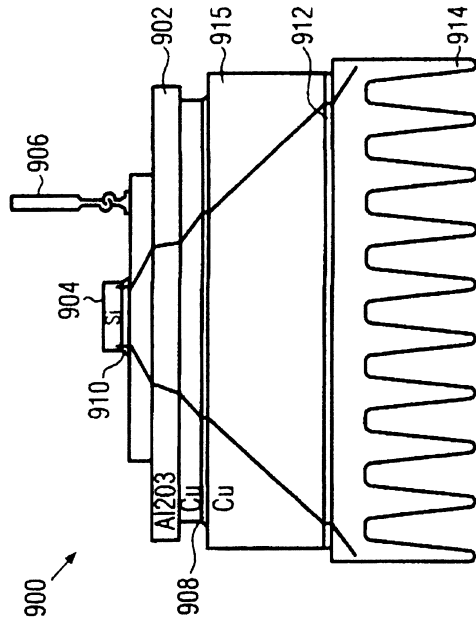
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-332573 (JP, A)
特開2008-135735 (JP, A)
特開2003-101204 (JP, A)
特開2008-178911 (JP, A)
特開2006-352080 (JP, A)
米国特許出願公開第2010/0013070 (US, A1)
特開2003-243608 (JP, A)
特開平11-177016 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 25/07
H01L 25/18
H01L 21/52