(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 7 月 18 日(18.07.2013)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2013/105332 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 23/36 (2006.01) *H01L 25/18* (2006.01)
H01L 25/07 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/079058

(22) 国際出願日: 2012 年 11 月 9 日(09.11.2012)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2012-002279 2012 年 1 月 10 日(10.01.2012) JP

(71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社 **(HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.)** [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 西岡 映二**(NISHIOKA Eiji)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号 株式会社日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP). 井出 英一**(IDE Eiichi)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号 株式会社 日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP). 石井 利昭**(ISHII Toshiaki)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号 株式会社 日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP). 中津 欣也**(NAKATSU Kinya)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号 株式会社 日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP). 楠川 順平**(KUSUKAWA Junpei)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号 株式会社 日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP). 佐藤 俊也**(SATOH Toshiya)**; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP). 浅野 雅彦**(ASANO Masahiko)**; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 井上 学, 外**(INOUE Manabu** et al.); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目６番１号 株式会社 日立製作所内 Tokyo (JP).

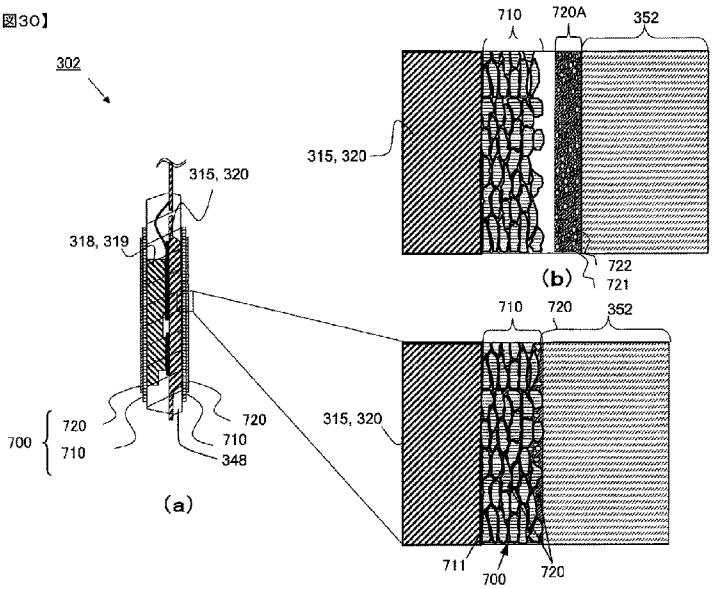
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,

[続葉有]

(54) **Title**: POWER SEMICONDUCTOR MODULE, POWER MODULE, AND POWER MODULE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称 : パワー半導体モジュール、パワーモジュールおよびパワーモジュールの製造方法

【図30】



(57) **Abstract**: To improve heat conductivity and heat dissipating characteristics of an insulating layer formed in a conductor plate shape. A conductor plate (315) and a module case (304) are bonded to each other by means of an insulating layer (700). The insulating layer (700) is configured by including a sprayed film (710), and an insulating film (720) that is provided on the sprayed film (710). The insulating film (720) is configured of a resin (721) that contains a filler (722), such as a ceramic, and a part of the filler-containing resin is applied to the inside of holes (712) in a sprayed material (711) constituting the sprayed film (710).

(57) 要約: 導体板状に形成する絶縁層の熱伝導率および放熱性を向上する。 導電板３１５とモジュールケース３０４とは絶縁層７００により接合される。絶縁層７００は、溶射膜７１０および溶射膜７１０上に設けられた絶縁膜７２０を含んで構成されている。絶縁膜７２０は、セラミックス等のフィラー７２２を含有する樹脂７２１により構成されており、このフィラー含有樹脂の一部が、溶射膜７１０を構成する溶射素材７１１の空孔７１２内に含浸されている。

WO 2013/105332 A1

FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ：

パワー半導体モジュール、パワーモジュールおよびパワーモジュールの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、放熱性および信頼性に優れたパワー半導体モジュール、パワーモジュールおよびパワーモジュールの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 省エネルギーの観点から、自動車には高燃費化が求められ、モータで駆動する電気自動車や、モータ駆動とエンジン駆動を組み合わせたハイブリッドカーが注目されている。自動車に用いる大容量の車載用モータは、バッテリの直流電圧では駆動や制御が困難であり、昇圧し交流制御するためパワー半導体素子のスイッチングを利用した電力変換装置が不可欠である。また、パワー半導体素子は通電により発熱するため、パワー半導体素子を搭載するパワー半導体モジュールには、高い放熱能力を持つ絶縁層が求められる。

[0003] 例えば、このようなパワー半導体モジュールとしては、パワー半導体素子とパワー半導体素子が搭載された導体板とを樹脂により封止して一体化し、導体部および樹脂部の下面に溶射によりセラミックス絶縁層を形成した構造体としたものがある。セラミック絶縁層は熱伝導率が良好であるため、このセラミック絶縁層に冷却用のヒートシンクを積層することにより、放熱性の良いパワー半導体モジュールを安価に作製することが可能となる。しかしながら、溶射により形成する絶縁層には、溶射素材間に空孔が生じるため、熱伝導率および放熱性能が低下する。この対応として、溶射絶縁膜中の空孔に樹脂を含浸させる構造としたものが知られている（例えば、特許文献１参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平５－７４２５１号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献１に記載された構造体では、溶射絶縁膜中に樹脂のみを含浸するので、熱伝導率および放熱性が小さい。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明のパワー半導体モジュールは、半導体素子と、一面に前記半導体素子が搭載された導体板と、導体板の側面部を覆い、一面に対向する他面の少なくとも一部を露出する樹脂封止部と、樹脂封止部の一面および導体板の樹脂封止部から露出した他面の一部に設けられた溶射膜と、溶射膜上に設けられた絶縁膜と、を備え、溶射膜には、溶射膜を構成する各溶射素材の間に存在する空孔の少なくとも一部にフィラー含有樹脂が含浸されていることを特徴とする。また、本発明のパワーモジュールの製造方法は、半導体素子が一面に半導体素子が搭載された導体板と、導体板の側面部を覆い、一面に対向する他面の少なくとも一部を露出する樹脂封止部とを有するパワー半導体モジュールと、放熱用部材とを準備する工程と、パワー半導体モジュールまたは放熱用部材の一方の一面に、溶射素材間に空孔を有する溶射膜を形成する第１の工程と、溶射膜の空孔内にフィラー含有樹脂を含浸させる第２の工程と、を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、溶射膜を構成する各溶射素材の間に存在する空孔内にフィラー含有樹脂が含浸されているので、熱伝導率および放熱性を向上することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]ハイブリッド自動車の制御ブロックを示す図である。

[図2]インバータ部の電気回路構成を説明する図である。

[図3]電力変換装置の設置場所を説明するための分解斜視図である。

[図4]電力変換装置の分解斜視図である。

[図5]流路１９を有する冷却ジャケット１２の下面図である。

[図6]コンデンサモジュール５００の分解斜視図である。

[図7]（ａ）は、冷却ジャケット１２にパワーモジュールとコンデンサモジュールとバスバーモジュールを組み付けた外観斜視図であり、（ｂ）は、図３６（ａ）の矩形囲み部の拡大図である。

[図8]パワーモジュールとコンデンサモジュールを組み付けた冷却ジャケット１２とバスバーモジュール８００の分解斜視図である。

[図9]保持部材８０３を除いたバスバーモジュール８００の外観斜視図である。

[図10]パワーモジュールとコンデンサモジュールとバスバーモジュール８００と補機用パワー半導体モジュール３５０を組み付けた冷却ジャケット１２の外観斜視図である。

[図11]制御回路基板２０と金属ベース板１１を分離した電力変換装置２００の分解斜視図である。

[図12]図４０に示された電力変換装置２００を、図４０における面Ｂで切り取った場合の、図４０のＣ方向から見た断面図である。

[図13]本発明の実施形態に係るパワーモジュールを示す図であり、（ａ）は斜視図、（ｂ）は、図１３（ａ）におけるＸＩＩＩ－ＸＩＩＩ断面図である。

[図14]ネジおよび第二封止樹脂を取り除いたパワーモジュールを示す図であり、（ａ）は斜視図であり、（ｂ）は、図１４（ａ）におけるＸＩＶ－ＸＩＶ断面図、（ｃ）は、図１４（ｂ）においてケースの薄肉部が変形される前の断面図である。

[図15]図１４からさらにケースを取り除いたパワーモジュールを示す図であり、（ａ）は斜視図、（ｂ）は、図１５（ａ）におけるＸＶ－ＸＶ断面図である。

[図16]図１５からさらに第一封止樹脂および配線絶縁部を取り除いたパワー

モジュールの斜視図である。

[図17]補助パワーモジュールを示す図であり、（ａ）は斜視図であり、（ｂ）は、図１７（ａ）におけるＸＶＩＩ－ＸＶＩＩ断面図である。

[図18]本発明の一実施の形態のパワー半導体モジュールを製造する工程を説明するための斜視図である。

[図19]図１８に続く工程を説明するための斜視図である。

[図20]図１９に続く工程を説明するための斜視図である。

[図21]図２０に続く工程を説明するための斜視図である。

[図22]図２１に続く工程を説明するための斜視図である。

[図23]封止樹脂を形成するトランスファーモールド工程を説明する図であり、（ａ）は型締め前、（ｂ）は型締め後の断面図である。

[図24]パワー半導体素子の制御電極と各端子との配置関係を示す図である。

[図25]直流負極配線側の導体板に応力緩和部を設けた変形例を示す図である。

[図26]本発明の実施形態に係るパワーモジュールの内蔵回路構成を示す図である。

[図27]本発明の実施形態に係るパワーモジュールにおける低インダクタンス化について説明するための図である。

[図28]本発明の実施形態１に係るパワー半導体モジュールの絶縁層の一部である溶射膜の導体板への形成を説明するための図であり、（ａ）溶射前の断面図であり、（ｂ）は溶射後の断面図であり、（ｃ）は、図２８（ｂ）の溶射膜の拡大図である。

[図29]図２８の導体板側に形成された溶射膜にフィラーが分散した樹脂層を仮付けする工程を説明するための図であり、（ａ）は全体の断面図であり、（ｂ）は図２９（ａ）における絶縁層の拡大図である。

[図30]図２９の導体板側に形成された溶射膜にフィラーが分散した樹脂層を仮付けした後、溶射膜の孔を樹脂含浸する工程を説明するための図であり、（ａ）は全体の断面図であり、（ｂ）は含浸前の拡大図であり、（ｃ）は含

浸後の拡大図である。

[図31]図３０の導体板側に形成された溶射膜にフィラーが分散した樹脂層を仮付けし、溶射膜の孔内を樹脂含浸した一次封止体と金属製ケースを圧着する工程を説明するための図であり、（ａ）は圧着前の全体の断面図であり、（ｂ）は図３１（ａ）における絶縁層の圧着後の拡大図である。

[図32]本発明の実施形態に係るパワーモジュールを示す図であり、（ａ）は外観の断面図であり、（ｂ）は図３２（ａ）における絶縁層の拡大図である。

[図33]本発明の実施形態２に係り、パワーモジュールの絶縁層の一部である溶射膜の導体板への形成を説明するための図であり、（ａ）は溶射前の断面図であり、（ｂ）は溶射後の断面図であり、（ｃ）は、図３３（ｂ）における溶射膜の拡大図である。

[図34]図３３の導体板側に形成された溶射膜にフィラーが分散した絶縁膜を仮付けする工程を説明するための図であり、（ａ）は全体の断面図であり、（ｂ）は図３４（ａ）における絶縁膜の仮付け前の拡大図であり、（ｃ）は図３４（ａ）における絶縁膜の仮付け後の拡大図である。

[図35]本発明の実施形態３に係り、パワーモジュールの絶縁層の一部である溶射膜の金属製ベース板への形成を説明するための図であり、（ａ）は溶射前の断面図であり、（ｂ）は溶射後の断面図であり、（ｃ）は異なる形状のベース板の場合を示し、（ｄ）は３５（ｃ）に図示されたベース板に溶射膜を形成した状態の断面図である。

[図36]図３５の金属ベース側に形成された溶射膜にフィラーが分散した絶縁膜を仮付けして、溶射膜孔内に樹脂含浸する工程を説明するための図であり、（ａ）は仮付け前の断面図であり、（ｂ）は仮付け後の断面図である。

[図37]図３７は、本発明の実施形態に係るパワーモジュールの絶縁層が形成された金属製ベースをケース化する工程を説明するための図であり、図３７（ａ）は、図３５（ａ）の放熱部に対応する図であり、図３７（ｂ）は、図３５（ｃ）の放熱部に対応する図である。

[図38]本発明の実施形態３に係るパワーモジュールを示す図であり、（ａ）は、外観の断面図、（ｂ）は、図３８（ａ）における絶縁層の拡大図である。

[図39]本発明の実施形態４を示し、実施形態１に対応するパワーモジュールの変形例を示す図であり、（ａ）は樹脂層による応力緩和を増大した接着構造の断面図であり、（ｂ）はケース側に段部と凹部を設けた構造の断面図である。

[図40]本発明の実施形態４を示し、実施形態２に対応するパワーモジュールの変形例を示す図であり、（ａ）は樹脂層による応力緩和を増大した接着構造の断面図あり、（ｂ）はケース側に段部と凹部を設けた構造の断面図である。

[図41]本発明の実施形態５に係るパワーモジュールを示す図であり、（ａ）は樹脂封止型の片面冷却パワー半導体モジュールの平面図であり、（ｂ）、（ｃ）は図４０（ａ）におけるＸＸＸＸＩ－ＸＸＸＸＩ断面図であり、（ｂ）は端子を折曲した状態図であり、（ｃ）は端子を折曲する前の状態図である。

[図42]本発明の実施形態６に係るパワーモジュールを示す断面図である。

[図43]本発明の実施形態に係る絶縁層の溶射膜の膜厚と規格化絶縁破壊電圧を表す図である。

[図44]本発明の実施形態に係る溶射膜の膜厚と表面粗さを表す図である。

[図45]本発明の実施形態に係る溶射膜の規格化熱伝導率を表す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図を参照して、本発明に係るパワー半導体モジュールおよびパワーモジュールの適切な実施形態を説明する。

－実施形態１－

［車載電気システム］

本実施形態に係る電力変換装置２００は、ハイブリッド用の自動車や純粋な電気自動車に適用可能であるが、代表例として、ハイブリッド自動車に適

用した場合における制御構成と回路構成について、図１と図２を用いて説明する。

[0010]（制御ブロック）

図１は、ハイブリッド自動車の制御ブロックを示す図である。本実施形態に係る電力変換装置では、車両駆動用電機システムに用いられ、搭載環境や動作的環境などが大変厳しい車両駆動用インバータ装置を例に挙げて説明する。なお、本実施形態の構成は、自動車やトラックなどの車両駆動用電力変換装置として最適であるが、これら以外の電力変換装置、例えば電車や船舶、航空機などの電力変換装置、さらに工場の設備を駆動する電動機の制御装置として用いられる産業用電力変換装置、或いは家庭の太陽光発電システムや家庭の電化製品を駆動する電動機の制御装置に用いられたりする家庭用電力変換装置に対しても適用可能である。

[0011] 図１において、ハイブリッド電気自動車（以下、「ＨＥＶ」と記述する）１１０は１つの電動車両であり、２つの車両駆動用システムを備えている。その１つは、内燃機関であるエンジン１２０を動力源としたエンジンシステムである。エンジンシステムは、主としてＨＥＶの駆動源として用いられる。もう１つは、モータジェネレータ１９２、１９４を動力源とした車載電機システムである。車載電機システムは、主としてＨＥＶの駆動源及びＨＥＶの電力発生源として用いられる。モータジェネレータ１９２、１９４は例えば同期機あるいは誘導機であり、運転方法によりモータとしても発電機としても動作するので、ここではモータジェネレータと記す。

[0012] 車体のフロント部には前輪車軸１１４が回転可能に軸支され、前輪車軸１１４の両端には１対の前輪１１２が設けられている。車体のリア部には後輪車軸が回転可能に軸支され、後輪車軸の両端には１対の後輪が設けられている（図示省略）。本実施形態のＨＥＶでは、いわゆる前輪駆動方式を採用しているが、この逆、すなわち後輪駆動方式を採用しても構わない。前輪車軸１１４の中央部には前輪側デファレンシャルギア（以下、「前輪側ＤＥＦ」と記述する）１１６が設けられている。前輪側ＤＥＦ１１６の入力側にはト

ランスミッション１１８の出力軸が機械的に接続されている。トランスミッション１１８の入力側にはモータジェネレータ１９２の出力側が機械的に接続されている。モータジェネレータ１９２の入力側には動力分配機構１２２を介してエンジン１２０の出力側及びモータジェネレータ１９４の出力側が機械的に接続されている。

[0013] インバータ回路１４０、１４２は、直流コネクタ１３８を介してバッテリ１３６と電気的に接続される。バッテリ１３６とインバータ部１４０、１４２との相互において電力の授受が可能である。本実施形態では、モータジェネレータ１９２及びインバータ部１４０からなる第１電動発電ユニットと、モータジェネレータ１９４及びインバータ回路１４２からなる第２電動発電ユニットとの２つを備え、運転状態に応じてそれらを使い分けている。なお、本実施形態では、バッテリ１３６の電力によって第１電動発電ユニットを電動ユニットとして作動させることにより、モータジェネレータ１９２の動力のみによって車両の駆動ができる。さらに、本実施形態では、第１電動発電ユニット又は第２電動発電ユニットを発電ユニットとしてエンジン１２０の動力或いは車輪からの動力によって作動させて発電させることにより、バッテリ１３６の充電ができる。

[0014] バッテリ１３６はさらに補機用のモータ１９５を駆動するための電源としても使用される。補機としては例えば、エアコンディショナーのコンプレッサを駆動するモータ、あるいは制御用の油圧ポンプを駆動するモータである。バッテリ１３６からインバータ部４３に直流電力が供給され、インバータ部４３で交流の電力に変換されてモータ１９５に供給される。インバータ部４３は、インバータ部１４０や１４２と同様の機能を持ち、モータ１９５に供給する交流の位相や周波数、電力を制御する。モータ１９５の容量がモータジェネレータ１９２や１９４の容量より小さいので、インバータ部４３の最大変換電力がインバータ部１４０や１４２より小さいが、インバータ部４３の回路構成は基本的にインバータ部１４０や１４２の回路構成と同じである。なお、電力変換装置２００は、インバータ部１４０、インバータ部１４

２、インバータ部４３に供給される直流電流を平滑化するためのコンデンサモジュール５００を備えている。

[0015]（電力変換装置の制御回路）

図２を用いてインバータ部１４０やインバータ部１４２あるいはインバータ部４３の電気回路構成を説明する。なお、図２では、代表例としてインバータ部１４０の説明を行う。

[0016] インバータ回路１４４は、上アームとして動作するＩＧＢＴ３２８及びダイオード１５６と、下アームとして動作するＩＧＢＴ３３０及びダイオード１６６と、からなる上下アーム直列回路１５０をモータジェネレータ１９２の電機子巻線の各相巻線に対応して３相（Ｕ相、Ｖ相、Ｗ相）分を設けている。それぞれの上下アーム直列回路１５０は、その中点部分（中間電極３２９）から交流端子１５９及び交流コネクタ１８８を通してモータジェネレータ１９２への交流電力線（交流バスバー）１８６と接続する。

[0017] 上アームのＩＧＢＴ３２８のコレクタ電極１５３は正極端子（Ｐ端子）１５７を介してコンデンサモジュール５００の正極側のコンデンサの電極に、下アームのＩＧＢＴ３３０のエミッタ電極は負極端子（Ｎ端子）１６８を介してコンデンサモジュール５００の負極側にコンデンサ電極にそれぞれ電気的に接続されている。

[0018] 制御部１７０は、インバータ回路１４４を駆動制御するドライバ回路１７４と、ドライバ回路１７４へ信号線１７６を介して制御信号を供給する制御回路１７２と、を有している。ＩＧＢＴ３２８やＩＧＢＴ３３０は、制御部１７０から出力された駆動信号を受けて動作し、バッテリ１３６から供給された直流電力を三相交流電力に変換する。この変換された電力は、モータジェネレータ１９２の電機子巻線に供給される。

[0019] ＩＧＢＴ３２８は、コレクタ電極１５３と、信号用エミッタ電極１５５と、ゲート電極１５４を備えている。また、ＩＧＢＴ３３０は、コレクタ電極１６３と、信号用のエミッタ電極１６５と、ゲート電極１６４を備えている。ダイオード１５６が、ＩＧＢＴ３２８と電気的に並列に接続されている。

また、ダイオード１６６が、ＩＧＢＴ３３０と電気的に並列に接続されている。スイッチング用パワー半導体素子としてはＭＯＳＦＥＴ（金属酸化物半導体型電界効果トランジスタ）を用いてもよいが、この場合はダイオード１５６やダイオード１６６は不要となる。コンデンサモジュール５００は、正極側コンデンサ端子５０６と負極側コンデンサ端子５０４と直流コネクタ１３８を介して電気的に接続されている。なお、インバータ部１４０は、直流正極端子３１４を介して正極側コンデンサ端子５０６と接続され、かつ直流負極端子３２０を介して負極側コンデンサ端子５０４と接続される。

[0020] 制御回路１７２は、ＩＧＢＴ３２８及びＩＧＢＴ３３０のスイッチングタイミングを演算処理するためのマイクロコンピュータ（以下、「マイコン」と記述する）を備えている。マイコンには入力情報として、モータジェネレータ１９２に対して要求される目標トルク値、上下アーム直列回路１５０からモータジェネレータ１９２の電機子巻線に供給される電流値、及びモータジェネレータ１９２の回転子の磁極位置が入力されている。目標トルク値は、不図示の上位の制御装置から出力された指令信号に基づくものである。電流値は、電流センサ１８０から信号線１８２を介して出力された検出信号に基づいて検出されたものである。磁極位置は、モータジェネレータ１９２に設けられた回転磁極センサ（不図示）から出力された検出信号に基づいて検出されたものである。本実施形態では３相の電流値を検出する場合を例に挙げて説明するが、２相分の電流値を検出するようにしても構わない。

[0021] 制御回路１７２内のマイコンは、目標トルク値に基づいてモータジェネレータ１９２のｄ、ｑ軸の電流指令値を演算し、この演算されたｄ、ｑ軸の電流指令値と、検出されたｄ、ｑ軸の電流値との差分に基づいてｄ、ｑ軸の電圧指令値を演算し、この演算されたｄ、ｑ軸の電圧指令値を、検出された磁極位置に基づいてＵ相、Ｖ相、Ｗ相の電圧指令値に変換する。そして、マイコンは、Ｕ相、Ｖ相、Ｗ相の電圧指令値に基づく基本波（正弦波）と搬送波（三角波）との比較に基づいてパルス状の変調波を生成し、この生成された変調波をＰＷＭ（パルス幅変調）信号として、信号線１７６を介してドライ

バ回路１７４に出力する。

[0022] ドライバ回路１７４は、下アームを駆動する場合、ＰＷＭ信号を増幅したドライブ信号を、対応する下アームのＩＧＢＴ３３０のゲート電極に出力する。また、ドライバ回路１７４は、上アームを駆動する場合、ＰＷＭ信号の基準電位のレベルを上アームの基準電位のレベルにシフトしてからＰＷＭ信号を増幅し、これをドライブ信号として、対応する上アームのＩＧＢＴ３２８のゲート電極にそれぞれ出力する。

[0023] また、制御部１７０は、異常検知（過電流、過電圧、過温度など）を行い、上下アーム直列回路１５０を保護している。このため、制御部１７０にはセンシング情報が入力されている。例えば各アームの信号用エミッタ電極１５５及び信号用エミッタ電極１６５からは各ＩＧＢＴ３２８とＩＧＢＴ３３０のエミッタ電極に流れる電流の情報が、対応する駆動部（ＩＣ）に入力されている。これにより、各駆動部（ＩＣ）は過電流検知を行い、過電流が検知された場合には対応するＩＧＢＴ３２８、ＩＧＢＴ３３０のスイッチング動作を停止させ、対応するＩＧＢＴ３２８、ＩＧＢＴ３３０を過電流から保護する。上下アーム直列回路１５０に設けられた温度センサ（不図示）からは上下アーム直列回路１５０の温度の情報がマイコンに入力されている。また、マイコンには上下アーム直列回路１５０の直流正極側の電圧の情報が入力されている。マイコンは、それらの情報に基づいて過温度検知及び過電圧検知を行い、過温度或いは過電圧が検知された場合には全てのＩＧＢＴ３２８、ＩＧＢＴ３３０のスイッチング動作を停止させる。

[0024]（電力変換回路の構造）

図３は、本実施形態に係る電力変換装置２００の設置場所を説明するための分解斜視図を示す。本実施形態に係る電力変換装置２００は、トランスミッション１１８を収納するためのＡＩ、ＡＩ合金製の筐体１１９に固定される。電力変換装置２００は、底面及び上面の形状を略長方形としたことで、車両への取り付けが容易となり、また生産し易い効果がある。冷却ジャケット１２は、後述するパワーモジュール３００ａ～３００ｆ及びコンデンサモ

ジュール５００を保持するとともに、冷却媒体によって冷却する。また、冷却ジャケット１２は、筐体１１９に固定され、かつ筐体１１９との対向面に入口配管１３と出口配管１４が形成されている。入口配管１３と出口配管１４が筐体１１９に形成された配管と接続されることにより、トランスミッション１１８を冷却するための冷却媒体が、冷却ジャケット１２に流入及び流出する。

[0025] ケース１０は、電力変換装置２００を覆って、かつ筐体１１９側に固定される。ケース１０の底は、制御回路１７２を実装した制御回路基板２０と対向するように構成される。またケース１０は、ケース１０の底から外部に繋がる第１開口２０２と第２開口２０４を、ケース１０の底面に形成する。コネクタ２１は、制御回路基板２０に接続されており、外部からの各種信号を当該制御回路基板２０に伝送する。バッテリ負極側接続端子部５１０とバッテリ正極側接続端子部５１２は、バッテリ１３６とコンデンサモジュール５００とを電気的に接続する。

[0026] コネクタ２１とバッテリ負極側接続端子部５１０とバッテリ正極側接続端子部５１２は、ケース１０の底面に向かって延ばされ、コネクタ２１は第１開口２０２から突出し、かつバッテリ負極側接続端子部５１０及びバッテリ正極側接続端子部５１２は第２開口２０４から突出する。ケース１０には、その内壁の第１開口２０２及び第２開口２０４の周りにシール部材（不図示）が設けられる。

[0027] コネクタ２１等の端子の勘合面の向きは、車種により種々の方向となるが、特に小型車両に搭載しようとした場合、エンジンルーム内の大きさの制約や組立性の観点から勘合面を上向きにして出すことが好ましい。特に、本実施形態のように、電力変換装置２００が、トランスミッション１１８の上方に配置される場合には、トランスミッション１１８の配置側とは反対側に向かって突出させることにより、作業性が向上する。また、コネクタ２１は外部の雰囲気からシールする必要があるが、コネクタ２１に対してケース１０を上方向から組付ける構成となることで、ケース１０が筐体１１９に組付け

られたときに、ケース１０と接触するシール部材がコネクタ２１を押し付けることができ、気密性が向上する。

[0028] 図４は、本実施形態に係る電力変換装置の全体構成を各構成要素に分解した斜視図である。冷却ジャケット１２には、流路１９が設けられ、該流路１９の上面には、開口部４００a～４００ｃが冷媒の流れ方向４１８に沿って形成され、かつ開口部４０２a～４０２ｃが冷媒の流れ方向４２２に沿って形成される。開口部４００a～４００ｃがパワーモジュール３００a～３００ｃによって塞がれるように、かつ開口部４０２a～４０２ｃがパワーモジュール３００ｄ～３００ｆによって塞がれる。

[0029] また、冷却ジャケット１２には、コンデンサモジュール５００を収納するための収納空間４０５が形成される。コンデンサモジュール５００は、収納空間４０５に収納されることにより、流路１９内に流れる冷媒によって冷却されることになる。コンデンサモジュール５００は、冷媒の流れ方向４１８を形成するための流路１９と、冷媒の流れ方向４２２を形成するための流路１９に挟まれるため、効率良く冷却することができる。

[0030] 冷却ジャケット１２には、入口配管１３と出口配管１４と対向する位置に突出部４０７が形成される。突出部４０７は、冷却ジャケット１２と一体に形成される。補機用パワーモジュール３５０は、突出部４０７に固定され、流路１９内に流れる冷媒によって冷やされることになる。補機用パワーモジュール３５０の側部には、バスバーモジュール８００が配置される。バスバーモジュール８００は、交流バスバー１８６や電流センサ１８０等により構成される。

[0031] このように冷却ジャケット１２の中央部にコンデンサモジュール５００の収納空間４０５を設け、その収納空間４０５を挟むように流路１９を設け、それぞれの流路１９に車両駆動用のパワーモジュール３００a～３００ｃ及びパワーモジュール３００ｄ～３００ｆを配置し、さらに冷却ジャケット１２の上面に補機用パワーモジュール３５０を配置することで、小さい空間で効率良く冷却でき、電力変換装置全体の小型化が可能となる。また冷却ジャケ

ット１２の流路１９の主構造を冷却ジャケット１２と一体にＡｌ、Ａｌ合金材の鋳造で作ることにより、流路１９は冷却効果に加え機械的強度を強くする効果がある。またＡｌ鋳造で作ることで冷却ジャケット１２と流路１９とが一体構造となり、熱伝達が良くなり冷却効率が向上する。

[0032] なお、パワーモジュール３００a～３００ｃとパワーモジュール３００ｄ～３００ｆを流路１９に固定することで流路１９を完成させ、水路の水漏れ試験を行う。水漏れ試験に合格した場合に、次にコンデンサモジュール５００や補機用パワーモジュール３５０や基板を取り付ける作業を行うことができる。このように、電力変換装置２００の底部に冷却ジャケット１２を配置し、次にコンデンサモジュール５００、補機用パワーモジュール３５０、バスバーモジュール８００、基板等の必要な部品を固定する作業を上から順次行えるように構成されており、生産性と信頼性が向上する。

[0033] ドライバ回路基板２２は、補機用パワーモジュール３５０及びバスバーモジュール８００の上方に配置される。また、ドライバ回路基板２２と制御回路基板２０の間には金属ベース板１１が配置される。金属ベース板１１は、ドライバ回路基板２２及び制御回路基板２０に搭載される回路群の電磁シールドの機能を奏すると共にドライバ回路基板２２と制御回路基板２０とが発生する熱を逃がし、冷却する作用を有している。

[0034]（冷却ジャケット）

図５は、流路１９を有する冷却ジャケット１２の下面図である。冷却ジャケット１２と当該冷却ジャケット１２の内部に設けられた流路１９は、一体に鋳造されている。冷却ジャケット１２に下面には、１つに繋がった開口部４０４が形成されている。開口部４０４は、中央部に開口を有する下カバー４２０によって塞がれる。下カバー４２０と冷却ジャケット１２の間には、シール部材４０９ａ及びシール部材４０９ｂが設けられ気密性を保っている。

[0035] 下カバー４２０には、一方の端辺の近傍であって当該端辺に沿って、入口配管１３を挿入するための入口孔４０１と、出口配管１４を挿入するための

出口孔４０３が形成される。また下カバー４２０には、トランスミッション１１８の配置方向に向かって突出する凸部４０６が形成される。凸部４０６は、パワーモジュール３００a～３００ｃ及びパワーモジュール３００ｄ～３００ｆ毎に設けられる。

[0036] 冷媒は、流れ方向４１７のように、入口孔４０１を通って、冷却ジャケット１２の短手方向の辺に沿って形成された第１流路部１９aに向かって流れる。そして冷媒は、流れ方向４１８のように、冷却ジャケット１２の長手方向の辺に沿って形成された第２流路部１９ｂを流れる。また冷媒は、流れ方向４２１のように、冷却ジャケット１２の短手方向の辺に沿って形成された第３流路部１９ｃを流れる。第３流路部１９ｃは折り返し流路を形成する。また、冷媒は、流れ方向４２２のように、冷却ジャケット１２の長手方向の辺に沿って形成された第４流路部１９ｄを流れる。第４流路部１９ｄは、コンデンサモジュール５００を挟んで第２流路部１９ｂと対向する位置に設けられる。さらに、冷媒は、流れ方向４２３のように、冷却ジャケット１２の短手方向の辺に沿って形成された第５流路部１９ｅ及び出口孔４０３を通って出口配管１４に流出する。

[0037] 第１流路部１９a、第２流路部１９ｂ、第３流路部１９ｃ、第４流路部１９ｄ及び第５流路部１９ｅは、いずれも幅方向より深さ方向が大きく形成される。パワーモジュール３００a～３００ｃが、冷却ジャケット１２の上面側に形成された開口部４００a～４００ｃから挿入され（図４参照）、第２流路部１９ｂ内の収納空間に収納される。なお、パワーモジュール３００aの収納空間とパワーモジュール３００ｂの収納空間との間には、冷媒の流れを澱ませないための中間部材４０８ａが形成される。同様に、パワーモジュール３００ｂの収納空間とパワーモジュール３００ｃの収納空間との間には、冷媒の流れを澱ませないための中間部材４０８ｂが形成される。中間部材４０８ａ及び中間部材４０８ｂは、その主面が冷媒の流れ方向に沿うように形成される。第４流路部１９ｄも第２流路部１９ｂと同様にパワーモジュール３００ｄ～３００ｆの収納空間及び中間部材を形成する。また、冷却ジャケット１

２は、開口部４０４と開口部４００a～４００ｃ及び４０２a～４０２ｃとが対向するように形成されているので、ＡＩ鋳造により製造し易い構成になっている。

[0038] 下カバー４２０には、筐体１１９と当接し、電力変換装置２００を支持するための支持部４１０ａ及び支持部４１０ｂが設けられる。支持部４１０ａは下カバー４２０の一方の端辺に近づけて設けられ、支持部４１０ｂは下カバー４２０の他方の端辺に近づけて設けられる。これにより、電力変換装置２００を、トランスミッション１１８やモータジェネレータ１９２の円柱形状に合わせて形成された筐体１１９の側壁に強固に固定することができる。

[0039] また、支持部４１０ｂは、抵抗器４５０を支持するように構成されている。この抵抗器４５０は、乗員保護やメンテナンス時における安全面に配慮して、コンデンサセルに帯電した電荷を放電するためのものである。抵抗器４５０は、高電圧の電気を継続的に放電できるように構成されているが、万が一抵抗器もしくは放電機構に何らかの異常があった場合でも、車両に対するダメージを最小限にするように配慮した構成とする必要がある。つまり、抵抗器４５０がパワーモジュールやコンデンサモジュールやドライバ回路基板等の周辺に配置されている場合、万が一抵抗器４５０が発熱、発火等の不具合を発生した場合に主要部品近傍で延焼する可能性が考えられる。

[0040] そこで、本実施形態では、パワーモジュール３００a～３００ｃやパワーモジュール３００ｄ～３００ｆやコンデンサモジュール５００は、冷却ジャケット１２を挟んで、トランスミッション１１８を収納した筐体１１９とは反対側に配置され、かつ抵抗器４５０は、冷却ジャケット１２と筐体１１９との間の空間に配置される。これにより、抵抗器４５０が金属で形成された冷却ジャケット１２及び筐体１１９で囲まれた閉空間に配置されることになる。なお、コンデンサモジュール５００内のコンデンサセルに貯まった電荷は、図４に示されたドライバ回路基板２２に搭載されたスイッチング手段のスイッチング動作によって、冷却ジャケット１２の側部を通る配線を介して抵抗器４５０に放電制御される。本実施形態では、スイッチング手段によって

高速に放電するように制御される。放電を制御するドライバ回路基板２２と抵抗器４５０の間に、冷却ジャケット１２が設けられているので、ドライバ回路基板２２を抵抗器４５０から保護することができる。また、抵抗器４５０は下カバー４２０に固定されているので、流路１９と熱的に非常に近い位置に設けられているので、抵抗器４５０の異常な発熱を抑制することができる。

[0041]（コンデンサモジュール）

図６は、本実施形態のコンデンサモジュール５００の分解斜視図である。積層導体板５０１は、薄板状の幅広導体で形成された負極導体板５０５及び正極導体板５０７、さらに負極導体板５０５と正極導体板５０７に挟まれた絶縁シート５１７により構成されているので、低インダクタンス化が図られている。積層導体板５０１は、略長方形形状を成す。バッテリ負極側端子５０８及びバッテリ負極側端子５０９は、積層導体板５０１の短手方向の一方の辺から立ち上げられた状態で形成される。

[0042] コンデンサ端子５０３a～５０３ｃは、積層導体板５０１の長手方向の一方の辺から立ち上げられた状態で形成される。また、コンデンサ端子５０３ｄ～５０３ｆは、積層導体板５０１の長手方向の他方の辺から立ち上げられた状態で形成される。なお、コンデンサ端子５０３a～５０３ｆは、積層導体板５０１の主面を横切る方向に立ち上げられている。コンデンサ端子５０３a～５０３ｃは、パワーモジュール３００a～３００ｃとそれぞれ接続される。コンデンサ端子５０３ｄ～５０３ｆは、パワーモジュール３００ｄ～３００ｆとそれぞれ接続される。コンデンサ端子５０３aを構成する負極側コンデンサ端子５０４aと正極側コンデンサ端子５０６aとの間には、絶縁シート５１７の一部が設けられ、絶縁が確保されている。他のコンデンサ端子５０３ｂ～５０３ｆも同様である。なお、本実施形態では、負極導体板５０５、正極導体板５０７、バッテリ負極側端子５０８、バッテリ負極側端子５０９、コンデンサ端子５０３a～５０３ｆは、一体に成形された金属製板で構成され、インダクタンス低減及び生産性の向上を図っている。

[0043] コンデンサセル５１４は、積層導体板５０１の下方に複数個設けられる。本実施形態では、８つのコンデンサセル５１４が積層導体板５０１の長手方向の一方の辺に沿って一列に並べられ、かつさらに別の８つのコンデンサセル５１４が積層導体板５０１の長手方向の他方の辺に沿って一列に並べられ、合計１６個のコンデンサセルが設けられる。積層導体板５０１の長手方向のそれぞれの辺に沿って並べられたコンデンサセル５１４は、図６に示される破線部Ａ－Ａ’を境に対称に並べられる。これにより、コンデンサセル５１４によって平滑化された直流電流をパワーモジュール３００a～３００ｃ及びパワーモジュール３００ｄ～３００ｆに供給する場合に、コンデンサ端子５０３a～５０３ｃとコンデンサ端子５０３ｄ～５０３ｆとの間の電流バランスが均一化され、積層導体板５０１のインダクタンス低減を図ることができる。また、電流が積層導体板５０１にて局所的に流れることを防止できるので、熱バランスが均一化されて耐熱性も向上させることができる。

[0044] また、バッテリ負極側端子５０８とバッテリ負極側端子５０９も、図６に示される点線Ａ－Ａ’を境にて対称に並べられる。同様に、コンデンサ端子５０３a～５０３ｃとコンデンサ端子５０３ｄ～５０３ｆとの間の電流バランスが均一化されて積層導体板５０１のインダクタンス低減を図ることができ、かつ熱バランスが均一化されて耐熱性も向上させることができる。

[0045] 本実施形態のコンデンサセル５１４は、コンデンサモジュール５００の蓄電部の単位構造体であり、片面にＡｌなどの金属を蒸着したフィルムを２枚積層し巻回して、２枚の金属の各々を正極、負極としたフィルムコンデンサを用いる。コンデンサセル５１４の電極は、巻回した軸面がそれぞれ、正極、負極電極となり、Ｓｎなどの導電体を吹き付けて製造される。セル端子５１６及びセル端子５１８は、正極電極及び負極電極に接続され、かつ積層導体板５０１の開口部を通ってコンデンサセル５１４配置側とは反対側まで延ばされ、正極導体板５０７及び負極導体板５０５とはんだあるいは溶接により接続される。

[0046] コンデンサケース５０２は、コンデンサセル５１４を収納するための収納

部５１１を備え、当該収納部５１１は上面及び下面が略長方形状を成す。収納部５１１の長手方向の一方の辺にはフランジ５１５aが設けられ、他方の辺にはフランジ５１５ｂが設けられる。フランジ５１５aには、モジュールケース３０４の挿入口３０６から延びる各端子を貫通させるための貫通孔５１９ａ～５１９ｃが設けられる。同様に、フランジ５１５ｂには、貫通孔５１９ｄ～５１９ｆが設けられる。また、貫通孔５１９a～５１９ｆのそれぞれの側部には、コンデンサモジュール５００を冷却ジャケット１２に固定する固定手段を貫通させるための孔５２０ａ～５２０ｈが設けられる。パワーモジュールとの間に、孔５２０ｂ、孔５２０ｃ、孔５２０ｆ、孔５２０ｇが設けられることで、パワーモジュールと流路１９との気密性を向上させている。フランジ５１５a及びフランジ５１５ｂは、コンデンサケース５０２の軽量化と冷却ジャケット１２への固定強度を向上させるために、ハニカム構造を成している。

[0047] 収納部５１１の底面部５１３は、円筒形のコンデンサセル５１４の表面形状に合わせるように、なめらかな凹凸形状若しくは波形形状を成している。これにより、積層導体板５０１とコンデンサセル５１４が接続されたモジュールをコンデンサケース５０２に位置決めさることが容易になる。また、積層導体板５０１とコンデンサセル５１４がコンデンサケース５０２に収納された後に、コンデンサ端子５０３a～５０３ｆとバッテリ負極側端子５０８及びバッテリ負極側端子５０９を除いて、積層導体板５０１が覆われるようにコンデンサケース５０２内に充填材（図示せず）が充填される。底面部５１３がコンデンサセル５１４の形状に合わせて波形形状となっていることにより、充填材がコンデンサケース５０２内に充填される際に、コンデンサセル５１４が所定位置からずれることを防止できる。

[0048] また、コンデンサセル５１４は、スイッチング時のリップル電流により、内部のフィルム上に蒸着された金属薄膜、内部導体の電気抵抗により発熱する。そこで、コンデンサセル５１４の熱をコンデンサケース５０２に逃がし易くするために、コンデンサセル５１４を充填材でモールドする。さらに樹

脂製の充填材を用いることにより、コンデンサセル５１４の耐湿も向上させることができる。

[0049] さらに、本実施形態では、コンデンサモジュール５００は、収納部５１１の長手方向の辺を形成する側壁が流路１９に挟まれように配置されているので、コンデンサモジュール５００を効率良く冷やすことができる。また、コンデンサセル５１４は、当該コンデンサセル５１４の電極面の一方が収納部５１１の長手方向の辺を形成する内壁と対向するように配置されている。これにより、フィルムの巻回軸の方向に熱が伝達し易いので、熱がコンデンサセル５１４の電極面を介してコンデンサケース５０２に逃げやすくなっている。

[0050] （パワーモジュールの取付け構造）

図７（a）は、冷却ジャケット１２にパワーモジュールとコンデンサモジュールとバスバーモジュールを組み付けた外観斜視図である。図７（ｂ）は、図７（a）の破線囲み部の拡大図である。

[0051] 図７（ｂ）に示されるように、直流負極端子３１５Ｂ、直流正極端子３１９Ｂ、交流端子３２１及び第２封止部６０１Ｂは、コンデンサケース５０２の貫通孔５１９を通って、フランジ５１５aの上方まで延びている。直流負極端子３１５Ｂ及び直流正極端子３１９Ｂの電流経路の面積は、積層導体板５０１の電流経路の面積より非常に小さい。そのため、電流が積層導体板５０１から直流負極端子３１５Ｂ及び直流正極端子３１９Ｂに流れる際には、電流経路の面積が大きく変化することになる。つまり、電流が直流負極端子３１５Ｂ及び直流正極端子３１９Ｂに集中することになる。また、直流負極端子３１５Ｂ及び直流正極端子３１９Ｂが積層導体板５０１を横切る方向に突出する場合、言い換えると、直流負極端子３１５Ｂ及び直流正極端子３１９Ｂが積層導体板５０１とねじれの関係にある場合、新たな接続用導体が必要になり生産性低下やコスト増大の問題が生じる。

[0052] そこで、本実施形態では、負極側コンデンサ端子５０４aは、積層導体板５０１から立ち上がっている立ち上がり部５４０と、当該立ち上がり部５４０

と接続されかつU字状に屈曲した折返し部５４１と、当該折返し部５４１と接続されかつ立ち上がり部５４０とは反対側の面が直流負極端子３１９Ｂの主面と対向する接続部５４２とにより構成される。また、正極側コンデンサ端子５０６aは、積層導体板５０１から立ち上がっている立ち上がり部５４３と、折返し部５４４と、当該折返し部５４４と接続されかつ立ち上がり部５４３とは反対側の面が直流正極端子３１５Ｂの主面と対向する接続部５４５と、により構成される。特に、折返し部５４４は、立ち上がり部５４３と略直角に接続されかつ負極側コンデンサ端子５０４aと直流負極端子３１５Ｂと直流正極端子３１９Ｂの側部を跨ぐように構成される。さらに、立ち上がり部５４０の主面と立ち上がり部５４３の主面は絶縁シート５１７を介して対向する。同様に、折返し部５４１の主面と折返し部５４４の主面は絶縁シート５１７を介して対向する。

[0053] これにより、コンデンサ端子５０３ａが接続部５４２の直前まで絶縁シート５１７を介した積層構造を成すため、電流が集中する当該コンデンサ端子５０３ａの配線インダクタンスを低減することができる。また、折返し部５４４が負極側コンデンサ端子５０４aと直流負極端子３１５Ｂと直流正極端子３１９Ｂの側部を跨ぐように構成される。さらに、直流正極端子３１９Ｂの先端と接続部５４２の側辺とは溶接により接続され、同様に直流負極端子３１５Ｂの先端と接続部５４５の側辺とは溶接により接続される。

[0054] これにより、直流正極端子３１９Ｂ及び直流負極端子３１５Ｂの溶接接続するための作業方向と折返し部５４４とが干渉することがなくなるので、低インダクタンスを図りながら生産性を向上させることができる。

[0055] また、交流端子３２１の先端は交流バスバー８０２ａの先端とは溶接により接続される。溶接をするための生産設備において、溶接機械を溶接対象に対して複数方向に可動出来るように作ることは、生産設備を複雑化させることにつながり生産性及びコスト的な観点から好ましくない。そこで、本実施形態では、交流端子３２１の溶接箇所と直流正極端子３１９Ｂの溶接箇所は、冷却ジャケット１２の長手方向の辺に沿って一直線状に配置される。これ

により、溶接機械を一方向に可動する間に、複数の溶接を行うことができ、生産性が向上する。

[0056] さらに、図４及び図７（ａ）に示されるように、複数のパワーモジュール３００ａ～３００ｃは、冷却ジャケット１２の長手方向の辺に沿って一直線状に配置される。これにより、複数のパワーモジュール３００ａ～３００ｃを溶接する際に、更に生産性を向上させることができる。

[0057] （バスバーモジュールと冷却ジャケットの組付け）

図８は、パワーモジュールとコンデンサモジュールを組み付けた冷却ジャケット１２とバスバーモジュール８００の分解斜視図である。図９は、保持部材８０３を除いたバスバーモジュール８００の外観斜視図である。

[0058] 図８及び図９に示されるように、第１交流バスバー８０２ａ～８０２ｆは、電流センサ１８０ａ又は電流センサ１８０ｂの設置箇所まで、当該第１交流バスバー８０２ａ～８０２ｆの主面がコンデンサモジュール５００の積層導体板５０１の主面と略垂直になるように形成される。また、第１交流バスバー８０２ａ～８０２ｆは、電流センサ１８０ａの貫通孔又は電流センサ１８０ｂの貫通孔の直前で略直角に折り曲げられる。これにより、電流センサ１８０ａ又は電流センサ１８０ｂを貫通する第１交流バスバー８０２ａ～８０２ｆの部分は、その主面が積層導体板５０１の主面と略平行になる。そして、第１交流バスバー８０２ａ～８０２ｆの端部には、第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆと接続する為の接続部８０５ａ～８０５ｆが形成される（接続部８０５ｄ～８０５ｆは図示せず）。

[0059] 第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆは、接続部８０５ａ～８０５ｆの近傍で、コンデンサモジュール５００側に向かって略直角に折り曲げられる。これにより、第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆの主面がコンデンサモジュール５００の積層導体板５０１の主面と略垂直になるように形成される。さらに第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆは、電流センサ１８０ａ又は電流センサ１８０ｂの近傍から、図９に示された冷却ジャケット１２の短手方向の一方の辺１２ａに向かって延ばされ、当該辺１２ａを横切るように形成

される。つまり、複数の第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆの主面が向かい合った状態で、当該第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆが辺１２ａを横切るように形成される。

[0060] これにより、装置全体を大型化させることなく、冷却ジャケット１２の短い辺側から複数の板状交流バスバーを外部に突出させることができる。そして、冷却ジャケット１２の一面側から複数の交流バスバーを突出させることで、電力変換装置２００の外部での配線の取り回しが容易になり、生産性が向上する。

[0061] 図８に示されるように、第１交流バスバー８０２ａ～８０２ｆ、電流センサ１８０ａ～１８０ｂ及び第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆは、樹脂で構成された保持部材８０３によって、保持及び絶縁されている。この保持部材８０３により、第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆが金属製の冷却ジャケット１２及び筐体１１９との間の絶縁性を向上させる。また保持部材８０３が冷却ジャケット１２に熱的に接触又は直接接触することにより、トランスミッション１１８側から第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆに伝わる熱を、冷却ジャケット１２に逃がすことができるので、電流センサ１８０ａ～１８０ｂの信頼性を向上させることができる。

[0062] 図８に示されるように、保持部材８０３は、図２に示されたドライバ回路基板２２を支持するための支持部材８０７ａ及び支持部材８０７ｂを設ける。支持部材８０７ａは、複数設けられ、かつ冷却ジャケット１２の長手方向の一方の辺に沿って一列に並べて形成される。また、支持部材８０７ｂは、複数設けられ、かつ冷却ジャケット１２の長手方向の他方の辺に沿って一列に並べて形成される。支持部材８０７ａ及び支持部材８０７ｂの先端部には、ドライバ回路基板２２を固定するための螺子穴が形成されている。

[0063] さらに、保持部材８０３は、電流センサ１８０ａ及び電流センサ１８０ｂが配置された箇所から上方に向かって延びる突起部８０６ａ及び突起部８０６ｂを設ける。突起部８０６ａ及び突起部８０６ｂは、それぞれ電流センサ１８０ａ及び電流センサ１８０ｂを貫通するように構成される。図８に示さ

れるように、電流センサ１８０ａ及び電流センサ１８０ｂは、ドライバ回路基板２２の配置方向に向かって延びる信号線１８２ａ及び信号線１８２ｂを設ける。信号線１８２ａ及び信号線１８２ｂは、ドライバ回路基板２２の配線パターンとはんだによって接合される。本実施形態では、保持部材８０３、支持部材８０７ａ～８０７ｂ及び突起部８０６ａ～８０６ｂは、樹脂で一体に形成される。

[0064] これにより、保持部材８０３が電流センサ１８０とドライバ回路基板２２との位置決め機能を備えることになるので、信号線１８２ａとドライバ回路基板２２との間の組み付け及びはんだ接続作業が容易になる。また、電流センサ１８０とドライバ回路基板２２を保持する機構を保持部材８０３に設けることで、電力変換装置全体としての部品点数を削減できる。

[0065] 本実施形態の電力変換装置２００はトランスミッション１１８を収納した筐体１１９に固定されるので、トランスミッション１１８からの振動の影響を大きく受ける。そこで、保持部材８０３は、ドライバ回路基板２２の中央部の近傍を指示するための支持部材８０８を設けて、ドライバ回路基板２２に加わる振動の影響を低減している。なお、保持部材８０３は、冷却ジャケット１２に螺子により固定される。

[0066] また、保持部材８０３は、補機用パワーモジュール３５０の一方の端部を固定するためのブラケット８０９を設ける。また図４に示されるように、補機用パワーモジュール３５０は突出部４０７に配置されることにより、当該補機用パワーモジュール３５０の他方の端部が当該突出部４０７に固定される。これにより、補機用パワーモジュール３５０に加わる振動の影響を低減するとともに、固定用の部品点数を削減することができる。

[0067] （電力変換装置の組付け構造）

図１０は、パワーモジュールとコンデンサモジュールとバスバーモジュール８００と補機用パワーモジュール３５０を組み付けた冷却ジャケット１２の外観斜視図である。電流センサ１８０は、約１００℃の耐熱温度以上に熱せられると破壊するおそれがある。特に車載用の電力変換装置では、使用さ

れる環境の温度が非常に高温になるため、電流センサ１８０を熱から保護することが重要になる。特に、本実施形態に係る電力変換装置２００はトランスミッション１１８に搭載されるので、当該トランスミッション１１８から発せられる熱から保護することが重要になる。

[0068] そこで、本実施形態では、電流センサ１８０ａ及び電流センサ１８０ｂは、冷却ジャケット１２を挟んでトランスミッション１１８とは反対側に配置される。これにより、トランスミッション１１８が発する熱が電流センサに伝達し難くなり、電流センサの温度上昇を抑えられる。さらに、第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆは、図５に示された第３流路１９ｃを流れる冷媒の流れ方向８１０を横切るように形成される。そして、電流センサ１８０ａ及び電流センサ１８０ｂは、第３流路部１９ｃを横切る第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆの部分よりもパワーモジュールの交流端子３２１に近い側に配置される。これにより、第２交流バスバー８０４ａ～８０４ｆが冷媒によって間接的に冷却され、交流バスバーから電流センサ、更にはパワーモジュール内の半導体チップに伝わる熱を和らげることができるため、信頼性が向上する。

[0069] 図１０に示される流れ方向８１１は、図５にて示された第４流路１９ｄを流れる冷媒の流れ方向を示す。同様に、流れ方向８１２は、図５にて示された第２流路１９ｂを流れる冷媒の流れ方向を示す。本実施形態に係る電流センサ１８０ａ及び電流センサ１８０ｂは、電力変換装置２００の上方から投影したときに、電流センサ１８０ａ及び電流センサ１８０ｂの投影部が流路１９の投影部に囲まれるように配置される。これにより電流センサをトランスミッション１１８からの熱から更に保護することができる。

[0070] 図１１は、制御回路基板２０と金属ベース板１１を分離した電力変換装置２００の分割斜視図である。図１０にて示されたように、電流センサ１８０は、コンデンサモジュール５００の上方に配置される。ドライバ回路基板２２は、電流センサ１８０の上方に配置され、かつ図８に示されたバスバーモジュール８００に設けられる支持部材８０７ａ及び８０７ｂによって支持さ

れる。金属ベース板１１は、ドライバ回路基板２２の上方に配置され、かつ冷却ジャケット１２から立設された複数の支持部材１５によって支持される。制御回路基板２０は、金属ベース板１１の上方に配置され、かつ金属ベース板１１に固定される。

[0071] 電流センサ１８０とドライバ回路基板２２と制御回路基板２０が高さ方向に一列に階層的に配置され、かつ制御回路基板２０が強電系のパワーモジュール３００ａ～３００ｆから最も遠い場所に配置されるので、スイッチングノイズ等が混入することを抑制することができる。さらに、金属ベース板１１は、グランドに電気的に接続された冷却ジャケット１２に電気的に接続されている。この金属ベース板１１によって、ドライバ回路基板２２から制御回路基板２０に混入するノイズを低減している。

[0072] 本実施形態においては、流路１９に流れる冷媒の冷却対象が主に駆動用のパワーモジュール３００ａ～３００ｆであるので、当該パワーモジュール３００ａ～３００ｆは流路１９内に収納されて直接と冷媒と接触して冷却される。一方、補機用パワーモジュール３５０も、駆動用パワーモジュールほどではないが冷却することが求められる。

[0073] そこで、本実施形態では、補機用パワーモジュール３５０の金属ベースで形成された放熱面が、流路１９を介して、入口配管１３及び出口配管１４と対向するように形成される。特に、補機用パワーモジュール３５０を固定する突出部４０７が入口配管１３の上方に形成されているので、下方から流入する冷媒が突出部４０７の内壁に衝突して、効率良く補機用パワーモジュール３５０から熱を奪うことができる。さらに、突出部４０７の内部には、流路１９と繋がる空間を形成している。この突出部４０７内部の空間によって、入口配管１３及び出口配管１４近傍の流路１９の深さが大きくなっており、突出部４０７内部の空間に液溜りが生じることになる。この液溜りにより効率良く補機用パワーモジュール３５０を冷却することができる。

[0074] 電流センサ１８０とドライバ回路基板２２を電気的に繋ぐ際に、配線コネクタを用いると接続工程の増大や、接続ミスの危険性を招くことになる。

[0075] そこで、図１１に示されるように、本実施形態のドライバ回路基板２２には、当該ドライバ回路基板２２を貫通する第１孔２４及び第２孔２６が形成される。また第１孔２４にはパワーモジュール３００ａ～３００ｆの各信号端子３２５Ｕ及び各信号端子３２５Ｌが挿入され、信号端子３２５Ｕ及び信号端子３２５Ｌはドライバ回路基板２２の配線パターンと半田により接合される。さらに第２孔２６には電流センサ１８０の信号線１８２が挿入され、信号線１８２はドライバ回路基板２２の配線パターンとはんだにより接合される。なお、冷却ジャケット１２との対向面とは反対側のドライバ回路基板２２の面側からはんだ接合が行われる。

[0076] これにより、配線コネクタを用いることなく信号線が接続できるので生産性を向上させることができる。また、パワーモジュール３００ａ～３００ｆの各信号端子３２５と電流センサ１８０の信号線１８２を、同一方向からはんだにより接合されることにより、生産性を更に向上させることができる。また、ドライバ回路基板２２に、信号端子３２５を貫通させるための第１孔２４や、信号線１８２を貫通させるための第２孔２６をそれぞれ設けることにより接続ミスの危険性を少なくすることができる。

[0077] また、本実施形態のドライバ回路基板２２は、冷却ジャケット１２と対向する面側に、ドライバＩＣチップ等の駆動回路（図示せず）を実装している。これにより、はんだ接合の熱がドライバＩＣチップ等に伝わることを抑制して、はんだ接合によるドライバＩＣチップ等の損傷を防止している。また、ドライバ回路基板２２に搭載されているトランスのような高背部品が、コンデンサモジュール５００とドライバ回路基板２２との間の空間に配置されるので、電力変換装置２００全体を低背化することが可能となる。

[0078] 図１２は、図１１のＢ面で切り取った電力変換装置２００をＣ方向から見た断面図である。モジュールケース３０４に設けられたフランジ３０４Ｂは、コンデンサケース５０２に設けられたフランジ５１５ａ又はフランジ５１５ｂによって冷却ジャケット１２に押し付けられる。つまり、コンデンサセル５１４を収納したコンデンサケース５０２の自重を利用して、冷却ジャケ

ット１２にモジュールケース３０４を押しつけることにより、流路１９の気密性を向上させることができる。

[0079] パワーモジュール３００ａ～３００ｆの冷却効率を向上させるために、流路１９内の冷媒をフィン３０５が形成された領域に流すようにする必要がある。モジュールケース３０４は薄肉部３０４Ａのスペースを確保するために、モジュールケース３０４の下部にはフィン３０５が形成されていない。そこで下カバー４２０は、モジュールケース３０４の下部が、当該下カバー４２０に形成された凹部４３０に勘合されるように形成される。これにより、冷却フィンが形成されていない空間に冷媒が流れ込むことを防止することができる。

[0080] 図１２に示されるように、パワーモジュール３００ａ～３００ｆとコンデンサモジュール５００との配列方向は、制御回路基板２０とドライバ回路基板２２とトランスミッション１１８の配列方向を横切るように並べて配置されている。特に、パワーモジュール３００ａ～３００ｆとコンデンサモジュール５００とは、電力変換装置２００の中では、最下層に並べて配置されている。これにより、電力変換装置２００全体の低背化が可能となるとともに、トランスミッション１１８からの振動の影響を低減することができる。

[0081] 図１３乃至図２７を用いてインバータ回路１４０およびインバータ回路１４２に使用されるパワーモジュール３００ａ～３００ｆの詳細構成を説明する。上記パワーモジュール３００ａ～３００ｆはいずれも同じ構造であり、代表してパワーモジュール３００の構造を説明する。尚、図１３乃至図２７において信号端子３２５Ｕは、図２に開示したゲート電極１５４および信号用エミッタ電極１５５に対応し、信号端子３２５Ｌは、図２に開示したゲート電極１６４およびエミッタ電極１６５に対応する。また直流正極端子３１５Ｂは、図２に開示した正極端子１５７と同一のものであり、直流負極端子３１９Ｂは、図２に開示した負極端子１５８と同一のものである。また交流端子３２０Ｂは、図２に開示した交流端子１５９と同じものである。

[0082] ［パワーモジュール全体構造］

図１３（ａ）は、本実施形態のパワーモジュール３００の斜視図であり、図１３（ｂ）は、図１３（ａ）におけるＸＩＩＩ－ＸＩＩＩ断面図である。図１４は、図１３に示す状態からネジ３０９および二次封止樹脂３５１を取り除いたパワーモジュール３００を示す図であり、図１４（ａ）は斜視図であり、図１４（ｂ）は、図１４（ａ）におけるＸＩＶ－ＸＩＶ断面図であり、図１４（ｃ）は、図１４（ｂ）においてケースの薄肉部が変形される前の断面図である。図１５は、図１４に示す状態からさらにモジュールケース３０４を取り除いたパワーモジュール３００を示す図であり、図１５（ａ）は斜視図であり、図１５（ｂ）は図１５（ａ）におけるＸＶ－ＸＶ断面図である。図１６は、図１５に示す状態からさらに一次封止樹脂３４８および配線絶縁部６０８を取り除いたパワーモジュール３００の斜視図である。図１７は、パワーモジュール３００のうちの補助パワーモジュール６００を示す図であり、図１７（ａ）は斜視図であり、図１７（ｂ）は、図１７（ａ）におけるＸＶＩＩ－ＸＶＩＩ断面図である。

[0083] 上下アームの直列回路１５０を構成するパワー半導体素子（ＩＧＢＴ３２８、ＩＧＢＴ３３０、ダイオード１５６、ダイオード１６６）が、図１５および１６に示す如く、導体板３１５や導体板３１８によって、また、導体板３２０や導体板３１９によって、両面から挟んで固着される。導体板３１５等は、その放熱面が露出した状態で第一封止樹脂（封止樹脂部３４８によって封止されている。導体板３１５、３２０、３１８、３１９および一次封止樹脂３４８の表面に絶縁層７００が設けられ、パワー半導体モジュール３０２が構成される。パワー半導体モジュール３０２は図１５に示すように、多面体形状（ここでは略直方体形状）を有している。なお、図１５（ｂ）においては、絶縁層７００は図示を省略されている。

[0084] 一次封止樹脂３４８により封止されたパワー半導体モジュール３０２は、モジュールケース３０４の中に挿入して絶縁層７００を介して、ＣＡＮ型冷却器であるモジュールケース３０４の内面に接着される。ここで、ＣＡＮ型冷却器とは、一面に挿入口３０６と他面に底を有する筒形状をした冷却器で

ある。モジュールケース３０４の内部に残存する空隙には、二次封止樹脂３５１が充填される。

[0085] モジュールケース３０４は、電気伝導性を有する部材、例えばモジュールケース３０４は、Ｃｕ、Ｃｕ合金、Ｃｕ－Ｃ、Ｃｕ－ＣｕＯなどの複合材、あるいはＡｌ、Ａｌ合金、ＡｌＳｉＣ、Ａｌ－Ｃなどの複合材などから構成される。また、溶接など防水性の高い接合法で、あるいは鍛造、鋳造法などによりつなぎ目の無い状態でケース状に一体成形されている。

[0086] モジュールケース３０４は、挿入口３０６以外に開口を設けない構造であり、挿入口３０６は、フランジ３０４Ｂよって、その外周を囲まれている。また、図１３（ａ）に示されるように、他の面より広い面を有する第１放熱面３０７Ａ及び第２放熱面３０７Ｂがそれぞれ対向した状態で配置され、これらの放熱面に対向するようにして、各パワー半導体素子（ＩＧＢＴ３２８、ＩＧＢＴ３３０、ダイオード１５６、ダイオード１６６）が配置されている。当該対向する第１放熱面３０７Ａと第２放熱面３０７Ｂと繋ぐ３つの面は、当該第１放熱面３０７Ａ及び第２放熱面３０７Ｂより狭い幅で密閉された面を構成し、残りの一辺の面に挿入口３０６が形成される。モジュールケース３０４の形状は、正確な直方体である必要が無く、角が図１３（ａ）に示す如く曲面を成していても良い。

[0087] このような形状の金属製のケースを用いることで、モジュールケース３０４を水や油などの冷媒が流れる流路１９内に挿入しても、冷媒に対するシールをフランジ３０４Ｂにて確保できるため、冷却媒体がモジュールケース３０４の内部に侵入するのを簡易な構成で防ぐことができる。また、対向した第１放熱面３０７Ａと第２放熱面３０７Ｂに、フィン３０５がそれぞれ均一に形成される。さらに、第１放熱面３０７Ａ及び第２放熱面３０７Ｂの外周には、厚みが極端に薄くなっている薄肉部３０４Ａが形成されている。薄肉部３０４Ａは、フィン３０５を加圧することで簡単に変形する程度まで厚みを極端に薄くしてあるため、パワー半導体モジュール３０２が挿入された後の生産性が向上する。

[0088] 上述のように導体板３１５等を、絶縁層７００を介してモジュールケース３０４の内壁に接着することにより、導体板３１５等とモジュールケース３０４の内壁の間の絶縁層７００の厚さばらつきを制御でき、パワー半導体素子の発生熱を効率良くフィン３０５へ伝達できる。さらに絶縁層７００の熱膨張係数を導体板やモジュールケースに近づけることで、発生する熱応力を小さくでき、温度変化の激しい車両用の電力変換装置に使用するのに良好となる。

[0089] モジュールケース３０４の外には、コンデンサモジュール５００と電気的に接続するための金属製の直流正極配線３１５Ａおよび直流負極配線３１９Ａが設けられており、その先端部に直流正極端子３１５Ｂ（１５７）と直流負極端子３１９Ｂ（１５８）がそれぞれ形成されている。また、モータジェネレータＭＧ１あるいはＭＧ２に交流電力を供給するための金属製の交流配線３２０Ａが設けられており、その先端に交流端子３２０Ｂ（１５９）が形成されている。本実施形態では、図１６に示す如く、直流正極配線３１５Ａは導体板３１５と接続され、直流負極配線３１９Ａは導体板３１９と接続され、交流配線３２０Ａは導体板３２０と接続される。

[0090] モジュールケース３０４の外にはさらに、ドライバ回路１７４と電気的に接続するための金属製の信号配線３２４Ｕおよび３２４Ｌが設けられており、その先端部に信号端子３２５Ｕ（１５４、１５５）と信号端子３２５Ｌ（１６４、１６５）がそれぞれ形成されている。本実施形態では、図１６に示す如く、信号配線３２４ＵはＩＧＢＴ３２８と接続され、信号配線３２４ＬはＩＧＢＴ３２８と接続される。

[0091] 直流正極配線３１５Ａ、直流負極配線３１９Ａ、交流配線３２０Ａ、信号配線３２４Ｕおよび信号配線３２４Ｌは、樹脂材料で成形された配線絶縁部６０８によって相互に絶縁された状態で、補助パワーモジュール６００として一体に成型される。配線絶縁部６０８は、各配線を支持するための支持部材としても作用し、これに用いる樹脂材料は、絶縁性を有する熱硬化性樹脂かあるいは熱可塑性樹脂が適している。これにより、直流正極配線３１５Ａ

、直流負極配線３１９Ａ、交流配線３２０Ａ、信号配線３２４Ｕおよび信号配線３２４Ｌの間の絶縁性を確保でき、高密度配線が可能となる。補助パワーモジュール６００は、パワー半導体モジュール３０２と接続部３７０において金属接合された後に、配線絶縁部６０８に設けられたネジ穴を貫通するネジ３０９によってモジュールケース３０４に固定される。接続部３７０におけるパワー半導体モジュール３０２と補助パワーモジュール６００との金属接合には、たとえばＴＩＧ溶接などを用いることができる。

[0092] 直流正極配線３１５Ａと直流負極配線３１９Ａは、配線絶縁部６０８を間に挟んで対向した状態で互いに積層され、略平行に延びる形状を成している。こうした配置および形状とすることで、パワー半導体素子のスイッチング動作時に瞬間的に流れる電流が、対向してかつ逆方向に流れる。これにより、電流が作る磁界が互いに相殺する作用をなし、この作用により低インダクタンス化が可能となる。なお、交流配線３２０Ａや信号端子３２５Ｕ、３２５Ｌも、直流正極配線３１５Ａ及び直流負極配線３１９Ａと同様の方向に向かって延びている。パワー半導体モジュール３０２と補助パワーモジュール６００が金属接合により接続されている接続部３７０は、二次封止樹脂３５１によりモジュールケース３０４内で封止される。これにより、接続部３７０とモジュールケース３０４との間で必要な絶縁距離を安定的に確保することができるため、封止しない場合と比較してパワーモジュール３００の小型化が実現できる。

[0093] 封止樹脂３５１としては、例えばノボラック系、多官能系、ビフェニル系のエポキシ樹脂系を基とした樹脂を用いることができる。また、エポキシ樹脂に対してはＳｉＯ２、ＡｌＯ３、ＡＩＮ、ＢＮなどのセラミックスやゲル、ゴムなどを含有させ、熱膨張係数をモジュールケース３０４や導体板３１５、３２０、３１８、３１９に近づける。これにより、部材間の熱膨張係数差を低減でき、使用環境時の温度上昇にともない発生する熱応力が大幅に低下するため、パワーモジュールの寿命をのばすことが可能となる。

[0094] ［パワー半導体モジュール］

図１６、図１７に示されるように、接続部３７０の補助パワーモジュール６００側には、補助パワーモジュール側直流正極接続端子３１５Ｃ、補助パワーモジュール側直流負極接続端子３１９Ｃ、補助パワーモジュール側交流接続端子３２０Ｃ、補助パワーモジュール側信号接続端子３２６Ｕおよび補助パワーモジュール側信号接続端子３２６Ｌが一列に並べて配置される。一方、接続部３７０のパワー半導体モジュール３０２側には、多面体形状を有する一次封止樹脂３４８の一つの面に沿って、素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側直流負極接続端子３１９Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄ、素子側信号接続端子３２７Ｕおよび素子側信号接続端子３２７Ｌが一列に並べて配置される。こうして接続部３７０において各端子が一列に並ぶような構造とすることで、トランスファーモールドによるパワー半導体モジュール３０２の製造が容易となる。

[0095] ここで、パワー半導体モジュール３０２の一次封止樹脂３４８から外側に延出している部分をその種類ごとに一つの端子として見た時の各端子の位置関係について述べる。以下の説明では、直流正極配線３１５Ａ（直流正極端子３１５Ｂと補助パワーモジュール側直流正極接続端子３１５Ｃを含む）および素子側直流正極接続端子３１５Ｄにより構成される端子を正極側端子と称し、直流負極配線３１９Ａ（直流負極端子３１９Ｂと補助パワーモジュール側直流負極接続端子３１９Ｃを含む）および素子側直流正極接続端子３１５Ｄにより構成される端子を負極側端子と称し、交流配線３２０Ａ（交流端子３２０Ｂと補助パワーモジュール側交流接続端子３２０Ｃを含む）および素子側交流接続端子３２０Ｄにより構成される端子を出力端子と称し、信号配線３２４Ｕ（信号端子３２５Ｕと補助パワーモジュール側信号接続端子３２６Ｕを含む）および素子側信号接続端子３２７Ｕにより構成される端子を上アーム用信号端子と称し、信号配線３２４Ｌ（信号端子３２５Ｌと補助パワーモジュール側信号接続端子３２６Ｌを含む）および素子側信号接続端子３２７Ｌにより構成される端子を下アーム用信号端子と称する。

[0096] 上記の各端子は、いずれも一次封止樹脂３４８および二次封止樹脂３５１

から接続部３７０を通して突出しており、その一次封止樹脂３４８からの各突出部分（素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側直流負極接続端子３１９Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄ、素子側信号接続端子３２７Ｕおよび素子側信号接続端子３２７Ｌ）は、上記のように多面体形状を有する一次封止樹脂３４８の一つの面に沿って一列に並べられている。また、正極側端子と負極側端子は、二次封止樹脂３５１から積層状態で突出しており、モジュールケース３０４の外に延出している。このような構成としたことで、一次封止樹脂３４８でパワー半導体素子を封止してパワー半導体モジュール３０２を製造する時の型締めの際に、パワー半導体素子と当該端子との接続部分への過大な応力や金型の隙間が生じるのを防ぐことができる。また、積層された正極側端子と負極側端子の各々を流れる反対方向の電流により、互いに打ち消しあう方向の磁束が発生されるため、低インダクタンス化を図ることができる。

[0097] 補助パワーモジュール６００側において、補助パワーモジュール側直流正極接続端子３１５Ｃ、補助パワーモジュール側直流負極接続端子３１９Ｃは、直流正極端子３１５Ｂ、直流負極端子３１９Ｂとは反対側の直流正極配線３１５Ａ、直流負極配線３１９Ａの先端部にそれぞれ形成されている。また、補助パワーモジュール側交流接続端子３２０Ｃは、交流配線３２０Ａにおいて交流端子３２０Ｂとは反対側の先端部に形成されている。補助パワーモジュール側信号接続端子３２６Ｕ、３２６Ｌは、信号配線３２４Ｕ、３２４Ｌにおいて信号端子３２５Ｕ、３２５Ｌとは反対側の先端部にそれぞれ形成されている。

[0098] 一方、パワー半導体モジュール３０２側において、素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側直流負極接続端子３１９Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄは、導体板３１５、３１９、３２０にそれぞれ形成されている。また、素子側信号接続端子３２７Ｕ、３２７Ｌは、ボンディングワイヤ３７１によりＩＧＢＴ３２８、３３０とそれぞれ電気的に接続されている。

[0099] ［パワー半導体モジュールの製造方法］

次に、図１８乃至図２２を用いてパワー半導体モジュール３０２を製造する工程を説明する。図１８に示すように、直流正極側の導体板３１５および交流出力側の導体板３２０と、素子側信号接続端子３２７Ｕおよび３２７Ｌとは、共通のタイバー３７２に繋がれた状態で、これらが略同一平面状の配置となるように一体的に加工される。

[0100] 導体板３１５には、上アーム側のＩＧＢＴ３２８のコレクタ電極と上アーム側のダイオード１５６のカソード電極が金属接合部１６０で電気的に接続される。導体板３２０には、下アーム側のＩＧＢＴ３３０のコレクタ電極と下アーム側のダイオード１６６のカソード電極が金属接合部１６０で電気的に接続される。ＩＧＢＴ３２８、３３０およびダイオード１５６、１６６の上には、導体板３１８と導体板３１９が略同一平面状に配置される。導体板３１８には、上アーム側のＩＧＢＴ３２８のエミッタ電極と上アーム側のダイオード１５６のアノード電極が金属接合部１６０で電気的に接続される。導体板３１９には、下アーム側のＩＧＢＴ３３０のエミッタ電極と下アーム側のダイオード１６６のアノード電極が金属接合部１６０で電気的に接続される。

[0101] 導体板３２０と導体板３１８は金属接合部１６０を介して電気的接続されている（中間電極３２９）。この接続により上アーム３０３ａ回路と下アーム３０３ｂ回路が電気的に接続され、上下アーム直列回路が形成される。金属接合部１６０を形成する接合材は、例えばはんだ材、微細金属粒子を含んだ低温焼結接合材、微細金属粒子を含んだ導電性接着剤等である。導体板３１８、３１９には、突起部３２２が設けられており、その後の工程で樹脂により封止された際にＩＧＢＴの制御電極やワイヤ３７１とエミッタ電極間の絶縁性を確保できるようにされる。

[0102] 突起部３２２は、鍛造やプレスやエッチングなどを用いて導体板と一体化して作製させると安価で高精度な位置あわせが可能となる。また、金属接合部１６０を別途設け別体としてもよい。また、突起部３２２の熱膨張係数を半導体素子と導体板の中間の数値とすると、半導体素子に付与される熱応力

を緩和できる。導体板がＣｕやＣｕ合金の場合には、Ｃｕに対し熱膨張係数が小さいＣｕＯやＭｏなどを、導体板がＡｌやＡｌ合金の場合には、ＣｕやＣｕおよびＡｌに対し熱膨張係数が小さいＣｕＯやＭｏを積層、分散などの複合化を行い設置すればよい。

[0103] 上述したように、導体板３１５と導体板３１８の間にＩＧＢＴ３２８及びダイオード１５６を挟み込むと共に、導体板３２０と導体板３１９の間にＩＧＢＴ３３０及びダイオード１６６を挟み込み、導体板３２０と導体板３１８を、中間電極３２９を介して接続することで、図１９の状態となる。

[0104] この状態で、ＩＧＢＴ３２８の制御電極３２８Ａと素子側信号接続端子３２７Ｕとをボンディングワイヤ３７１により接続すると共に、ＩＧＢＴ３３０の制御電極３３０Ａと素子側信号接続端子３２７Ｌとをボンディングワイヤ３７１により接続することで、図２０の状態となる。

[0105] 図２０に示す状態に組み立てた後、パワー半導体素子およびボンディングワイヤ３７１を含む部分を一次封止樹脂３４８により図２１に示すように封止する。このとき、金型押圧面３７３において上下から金型で押さえ、トランスファーモールドにより一次封止樹脂３４８を金型内に充填して成形する。この詳細については後述する。

[0106] 図２１に示す状態に組み立てた後、タイバー３７２を切除して、素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄ、素子側信号接続端子３２７Ｕ、３２７Ｌをそれぞれ分離する。そして、パワー半導体モジュール３０２の一辺側に一列に並べられている素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側直流負極接続端子３１９Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄ、素子側信号接続端子３２７Ｕ、３２７Ｌの各端部を、図２２のようにそれぞれ同一方向に折り曲げる。これにより、接続部３７０においてパワー半導体モジュール３０２と補助パワーモジュール６００とを金属接合する際の作業を容易化して生産性を向上すると共に、金属接合の信頼性を向上することができる。

[0107] 図２３は、図２０に示す一次封止樹脂３４８による封止前の状態から図２

１に示す一次封止樹脂３４８による封止状態にする製造工程を説明するための図であり、一次封止樹脂３４８をトランスファーモールドにより形成する方法で例示する。図２３（ａ）は型締め前の縦断面図を示しており、（ｂ）は型締め後の縦断面図を示している。図２３（ａ）に示すように、図２０に示した封止前のパワー半導体モジュール３０２は、上側金型３７４Ａと下側金型３７４Ｂの間に設置される。上側金型３７４Ａおよび下側金型３７４Ｂがパワー半導体モジュール３０２を上下から金型押圧面３７３において挟み込んで型締めすることで、図２３（ｂ）に示すように金型空間３７５が金型内に形成される。この金型空間３７５に一次封止樹脂３４８を充填して成形することで、パワー半導体モジュール３０２においてパワー半導体素子（ＩＧＢＴ３２８、３３０およびダイオード１５５、１６６）が一次封止樹脂３４８により封止される。

[0108] 一次封止樹脂３４８としては、例えばノボラック系、多官能系、ビフェニル系のエポキシ樹脂系を基とした樹脂を用いることができ、ＳｉＯ２、ＡｌＯ３、ＡｌＮ、ＢＮなどのセラミックスやゲル、ゴムなどを含有させ、熱膨張係数を導体板３１５、３２０、３１８、３１９に近づける。これにより、部材間の熱膨張係数差を低減でき、使用環境時の温度上昇にともない発生する熱応力が大幅に低下するため、パワーモジュールの寿命をのばすことが可能となる。

[0109] なお、図２１に示したように、金型押圧面３７３では、素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側直流負極接続端子３１９Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄ、素子側信号接続端子３２７Ｕおよび素子側信号接続端子３２７Ｌが一列に並べて配置されている。こうした端子配置とすることで、上側金型３７４Ａおよび下側金型３７４Ｂを用いて、各端子とパワー半導体素子との接続部において余分な応力を発生させずに、かつ隙間なく型締めを行うことができる。したがって、パワー半導体素子の破損を招いたり、あるいは一次封止樹脂３４８が隙間から漏出したりすることなく、パワー半導体素子の封止を行うことができる。

[0110] 次に、パワー半導体モジュール３０２におけるパワー半導体素子の制御電極と各端子との配置関係について、図２４を参照して説明する。図２４では、理解を容易にするため、図１９の状態から導体板３１８、３１９および中間電極３２９を除いた様子を示している。図２４において、ＩＧＢＴ３２８、３３０の一辺側（図中の上辺側）には、制御電極３２８Ａ、３３０Ａが中心線３７６、３７７に対して図中左側に偏った位置にそれぞれ配置されている。中心線３７６、３７７は、素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側直流負極接続端子３１９Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄ、素子側信号接続端子３２７Ｕおよび素子側信号接続端子３２７Ｌの配列方向に直交している。

[0111] ＩＧＢＴ３２８を中心線３７６で二分して考えると、制御電極３２８Ａが配置されている一方側には素子側信号接続端子３２７Ｕが配置されており、他方側には素子側直流正極接続端子３１５Ｄが配置されている。同様に、ＩＧＢＴ３３０を中心線３７７で二分して考えると、制御電極３３０Ａが配置されている一方側には素子側信号接続端子３２７Ｌが配置されており、他方側には素子側交流接続端子３２０Ｄが配置されている。また図１８に示すように、素子側直流正極接続端子３１５Ｄと素子側信号接続端子３２７Ｌの間には、素子側直流負極接続端子３１９Ｄが配置される。こうした配置とすることで、制御電極３２８Ａ、３３０Ａと素子側信号接続端子３２７Ｕ、３２７Ｌとをそれぞれ接続するボンディングワイヤ３７１の長さを最小化し、接続の信頼性を向上することができる。また、各端子を集約化してパワー半導体モジュール３０２、ひいてはパワーモジュール３００の小型化を図ることができる。

[0112] なお、図２４に示すように、素子側直流正極接続端子３１５Ｄ、素子側交流接続端子３２０Ｄ、素子側信号接続端子３２７Ｕおよび素子側信号接続端子３２７Ｌは、共通のタイバー３７２に繋がれた状態で一体的に加工される。これにより、これら各端子の間では平面度や厚さのばらつきを非常に小さく抑えることができる。その一方で、素子側直流負極接続端子３１９Ｄは、上記の各端子とは別体に加工されたものが組み合わされるため、平面度や厚

さのばらつきが他の各端子と比べて大きくなり、型締め時に当該端子とパワー半導体素子との接続部において余分な応力を生じてしまう可能性がある。

[0113] 図２５は、上述したような不都合を回避するための変形例を示す図である。この変形例では、素子側直流負極接続端子３１９Ｄが設けられている導体板３１９において、型締め時の応力を吸収して緩和するための応力緩和部３１９Ｅが設けられている。応力緩和部３１９Ｅの位置は、パワー半導体素子が実装される部分１６０から金型押圧面３７３の間とすることが好ましい。なお、応力緩和部３１９Ｅとして単に導体板３１９の一部の厚みを他の部分より薄くすることも考えられるが、その場合は当該部分において電流密度が増加することになるため、電気的性能が低下するおそれがある。したがって、図２５に示すように導体板３１９の一部を屈曲させて応力緩和部３１９Ｅとすることが好ましい。このようにすれば、応力緩和部３１９Ｅにおいて電流密度が増加することもなく、さらに屈曲による折り返し部分において電流の向きが対向することになるため、インダクタンスの抑制にも寄与することができる。

[0114] 図２６は、パワーモジュール３００の回路構成を示す回路図である。上アーム側のＩＧＢＴ３２８のコレクタ電極と上アーム側のダイオード１５６のカソード電極は、導体板３１５を介して接続される。同様に、下アーム側のＩＧＢＴ３３０のコレクタ電極と下アーム側のダイオード１６６のカソード電極は、導体板３２０を介して接続される。また、上アーム側のＩＧＢＴ３２８のエミッタ電極と上アーム側のダイオード１５６のアノード電極は、導体板３１８を介して接続される。同様に、下アーム側のＩＧＢＴ３３０のエミッタ電極と下アーム側のダイオード１６６のアノード電極は、導体板３１９を介して接続される。導体板３１８と３２０は中間電極３２９によって接続される。こうした回路構成により上下アーム直列回路が形成される。

[0115] 次に、低インダクタンス化が生じる作用について、図２７を参照して説明する。図２７（ａ）はリカバリ電流が流れる際の等価回路を示す図であり、図２７（ｂ）はリカバリ電流の経路を示す図である。

図２７（ａ）において、下アーム側のダイオード１６６が順方向バイアス状態で導通している状態とする。この状態で、上アーム側のＩＧＢＴ３２８がＯＮ状態になると、下アーム側のダイオード１６６が逆方向バイアスとなりキャリア移動に起因するリカバリ電流が上下アームを貫通する。このとき、各導体板３１５、３１８、３１９、３２０には、図２７（ｂ）に示されるリカバリ電流３６０が流れる。リカバリ電流３６０は、点線で示される通り、直流負極端子３１９Ｂ（１５８）と対向に配置された直流正極端子３１５Ｂ（１５７）を通り、続いて各導体板３１５、３１８、３１９、３２０により形成されるループ形状の経路を流れ、再び直流正極端子３１５Ｂ（１５７）と対向に配置された直流負極端子３１９Ｂ（１５８）を介して実線に示すように流れる。

[0116] ループ形状経路を電流が流れることによって、モジュールケース３０４の第１放熱面３０７Ａ及び第２放熱面３０７Ｂに渦電流３６１が流れる。この渦電流３６１の電流経路に等価回路３６２が発生する磁界相殺効果によって、ループ形状経路における配線インダクタンス３６３が低減する。

[0117] なお、リカバリ電流３６０の電流経路がループ形状に近いほど、インダクタンス低減作用が増大する。本実施形態では、ループ形状の電流経路は点線で示す如く、導体板３１５の直流正極端子３１５Ｂ（１５７）側に近い経路を流れ、ＩＧＢＴ３２８及びダイオード１５６内を通る。そしてループ形状の電流経路は実線で示す如く、導体板３１８の直流正極端子３１５Ｂ（１５７）側より遠い経路を流れ、その後、点線で示す如く導体板３２０の直流正極端子３１５Ｂ（１５７）側より遠い経路を流れ、ＩＧＢＴ３３０及びダイオード１６６内を通る。さらにループ形状の電流経路は実線で示す如く、導体板３１９の直流負極配線３１９Ａ側に近い経路を流れる。このようにループ形状の電流経路が、直流正極端子３１５Ｂ（１５７）や直流負極端子３１９Ｂ（１５８）に対して、近い側や遠い側の経路を通ることで、よりループ形状に近い電流経路が形成される。

[0118] ［絶縁層７００］

図２８乃至図３２を用いて、パワー半導体モジュール３０２と、モジュールケース３０４とを接合する絶縁層７００の構成について説明する。図２８は、本発明の実施形態に係るパワー半導体モジュールの絶縁層の一部である溶射膜の導体板への形成を説明するための図であり、（ａ）溶射前の断面図であり、（ｂ）は溶射後の断面図であり、（ｃ）は、図２８（ｂ）の溶射膜の拡大図である。図２９は、図２８の導体板側に形成された溶射膜にフィラーが分散した樹脂層を仮付けする工程を説明するための図であり、（ａ）は全体の断面図であり、（ｂ）は図２９（ａ）における絶縁層の拡大図である。図３０は、図２９の導体板側に形成された溶射膜にフィラーが分散した樹脂層を仮付けした後、溶射膜の孔を樹脂含浸する工程を説明するための図であり、（ａ）は全体の断面図であり、（ｂ）は含浸前の拡大図であり、（ｃ）は含浸後の拡大図である。

[0119] 図１３（ｂ）および図１４（ｂ）２に図示されるように、パワーモジュール３００において、パワー半導体モジュール３０２は、絶縁層７００によりモジュールケース３０４に接着されている。すなわち、パワー半導体モジュール３０２における導体板３１８、３１９とモジュールケース３０４の放熱部３０７Ａとの間、および導体板３１５、３２０とモジュールケース３０４の放熱部３０７Ｂとの間には、それぞれ、絶縁層７００が介装されている。導体板３１８、３１９と放熱部３０７Ａとの接着構造、および導体板３１５、３２０と放熱部３０７Ｂとの接着構造は同様であり、以下、両者を代表して導体板３１５、３２０と放熱部３０７Ｂとの接合構造について説明する。

[0120] 図３０（ｂ）に図示されるように、絶縁層７００は、絶縁性の酸化物やセラミックスの粉体を溶射して形成された溶射膜７１０の層と、溶射膜７１０に積層して設けられた樹脂性の絶縁膜７２０および応力緩和用の樹脂層７３０（図３２（ａ）参照）とを備えている。溶射膜７１０は、図２８（ｃ）に図示されるように、パワー半導体モジュール３０２の導体板３１５、３２０の放熱面である表面３１５ａ、３２０ａ上および一次封止樹脂３４８の表面上に形成されている。

[0121] 溶射膜７１０は、図２８（ｃ）に図示されるように、溶射素材７１１間に空孔７１２を有しており、この空孔７１２内にフィラー７２２が含有された絶縁膜７２０が含浸されている（図３０（ｃ）参照）。絶縁膜７２０は、図３０（ｂ）に図示されるように、フィラー７２２が分散された樹脂７２１により構成され、樹脂膜７２０を構成するフィラー７２２と樹脂７２１とが溶射膜７１０の空孔７１２内に含浸されているのである。

[0122] ［絶縁層７００の形成方法］

以下に絶縁層７００の形成方法について説明する。溶射膜７１０は絶縁体であり、酸化物やセラミックスの粉体を溶射することにより作製される。溶射による導体板の温度上昇は小さく、溶融、熱劣化、反りなどの熱変形も小さいため、導体板３１５、３２０パワーは半導体素子が接合された導体板形状、さらには樹脂で封止された状態で溶射膜７１０を形成することができる。

[0123] （溶射膜の形成）

溶射膜７１０は、図２８に示す如く、図２３に図示したトランスファーモールドにより形成したパワー半導体モジュール３０２の表面に形成される。酸化物やセラミックス粉末をプラズマ溶射法により形成する場合は、パワー半導体モジュール３０２の温度上昇は１００～１８０℃程度であるため、一次封止樹脂３４８、金属接合部１６０、ＩＧＢＴ３２８、３３０およびダイオード１５６、１６６は熱劣化しない。よって、２２０～３００℃の温度範囲でなされるチップ接合を先に行うことができる。これにより、導体板３１５、３２０に溶射した後にチップ接合する場合に比較して、熱膨張係数の小さい溶射膜７１０と熱膨張係数の大きい導体板３１５、３２０の積層部に発生する熱応力を低減することができる。

[0124] また、溶射膜７１０を形成する導体板３１５、３１８、３１９、３２０の処理面に対し、溶射前にサンドブラストやエッチングにより粗化すると、溶射膜溶７１０の接合強度を向上することができる。これらの処理時に、一次封止樹脂３４８により封止していれば、ＩＧＢＴ３２８、３３０やワイヤ３

７１などに及ぼす物理的、化学的な損傷を防止できるので、複雑なマスキングが不要となり、生産性が向上する。

[0125] この場合、トランスファーモールドによりＩＧＢＴ３２８、３３０やワイヤ３７１を覆った後、導体板３１５、３１８、３１９、３２０に一次封止樹脂３４８を被覆する方法もあるが、工程数が増大する。

[0126] 一次封止樹脂３４８の除去やパワー半導体モジュール３０２の平面度を向上させる際に、研削や研磨などの工程をとることができる。しかし、その条件として、研削や研磨を荒削りで行う等、生産性の高い手法で行うと、導体板３１５、３２０と一次封止樹脂３４８の境界にバリが形成されたり、導体板３１５、３２０上の表面粗さが過大となり電界集中したりする場合がある。これに対し、溶射膜前処理にサンドブラストやエッチングをすることによりこれらの欠陥を除去することが可能であり、研削や研磨工程に生産性の高い手法を用いても絶縁信頼性に優れたモジュールにすることができる。また、サンドブラストやエッチングによりパワー半導体モジュール３０２の表面に微細な凹凸が形成され、この微細な凹凸に溶射膜７１０が物理的に食い込んで接合されるため、溶射膜７１０の接合力が増大する。一次封止樹脂３４８は導体板３１５、３２０よりも熱伝導率が低いため、放熱面から除去することで放熱性を向上することができる。

[0127] 溶射膜７１０を形成する粉末は、アルミナ、シリカ、マグネシア、ベリリアなどの酸化物、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素などの窒化物、シリコンカーバイドなどの炭化物といった高熱伝導なセラミックスの粉体から選ばれ、これら単体組成、酸化物と窒化物あるいは炭化物との複合組成、あるいは混合粉末が用いられる。導体板、一次封止樹脂３４８に形成する溶射膜は、これらセラミックスが凝固し形成した扁平形状をしており、図２８（ｃ）に示すように、扁平体に形成された溶射素材７１１が堆積したような層となる。酸化物からなる粉末は、表面の酸化層がバインダーとしての機能を果たし、扁平体である溶射素材７１１相互間の接合力が大きいものとなる。窒化物などからなる粉末は、溶融状態で溶射する際に、表面に酸化物が形成され、

この酸化物により、溶射素材７１１相互間の接合力が大きなものとなる。

[0128] プラズマ溶射法などにより、セラミックスの粉末を部分的、あるいは完全溶融状態で基材に衝突させることで、セラミックスは導体表面に扁平形状で溶着し、さらに溶着し凝固した溶射素材７１１にも溶着していく。これにより、三次元的には溶射素材７１１同士や、溶射素材７１１と導体板３１５、３２０および一次封止樹脂３４８内のセラミックスフィラーや樹脂に対し、その当接する界面で溶着面を有し強固に接合している。導体板３１５、３２０、３１８、３１９としては、Ｃｕ、Ａｌ、Ｎｉ、Ａｕ、Ａｇ、Ｍｏ、Ｆｅ、Ｃｏなどの金属、それらの合金、複合体が用いられる。

[0129] パワー半導体モジュール３０２と補助パワーモジュール６００とを、接続部３７０においてを金属接合する（図１５参照）工程がある。この金属接合工程は、溶射膜７１０を形成する際、物理的、科学的な損傷を受けないように、溶射前に行うことが好ましい。溶射膜７１０を形成する領域は、接続部３７０とは離間しているため、接続部３７０の金属接合を、パワー半導体モジュール３０２に溶射膜７１０を形成した後に行っても溶射膜７１０の剥離や欠けなどが生じにくい。しかし、マスキングをすれば接合部における溶射時の損傷を防止することが可能であり、パワー半導体モジュール３０２と補助パワーモジュール６００とを金属接合した後に、部分的にマスキングをして溶射膜７１０を形成するようにしてもよい。

[0130] （絶縁膜の形成）

図２９を用いて、絶縁層７００を構成する絶縁膜７２０の形成方法について説明する。絶縁膜７２０を構成する樹脂には、後に溶射膜が形成されていないベース板（モジュールケース３０４）側の放熱部３０７Ａおよび３０７Ｂを接着できる性能が必要とされる。そこで、接着性のあるフェノール系、アクリル系、ポリイミド系、ポリアミドイミド系、エポキシ系、シリコン系、ビスマレイミドトリアジン系、シアネートエッセル系を基にした樹脂を用いる。特に、接着性が高いビスマレイミドトリアジン系、ポリアミドイミド系、ポリイミド系、シアネートエッセル系、エポキシ系、フェノール系を基

にした樹脂を用いると、接着後に剥離しにくくモジュールの寿命が高まる。

[0131] 次に、パワー半導体素子から発生する熱をモジュールケース３０４の放熱部３０７Ａおよび３０７Ｂに効率よく伝えるために、高い熱伝導率が必要なので、上記に例示した樹脂７２１に絶縁性のフィラー７２２を分散する。樹脂７２１にフィラー７２２を分散すると絶縁膜７２０の熱伝導率を向上することができる。しかし、フィラー７２２が混入されることにより絶縁膜７２０の粘度が高くなり、溶射膜７１０の空孔７１２への含浸が困難となる。

[0132] そこで、本発明の一実施の形態では、溶射膜７１０の空孔７１２の孔サイズをフィラー７２２の粒子サイズよりも大きくなるようにして、フィラー７２２が分散した樹脂等の含浸性を向上させている。絶縁膜７２０に混入させるフィラー７２２は絶縁性を有したものがよく、フィラー７２２は、溶射膜７１０よりも熱伝導率を同等以上に高いものを使用することにより、絶縁層７００の熱伝導率を向上することができる。フィラー７２２は、具体的には、アルミナ、シリカ、マグネシア、ベリリアなどの酸化物、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素などの窒化物、シリコンカーバイドなど炭化物などの高熱伝導なセラミックスのフィラーがより好ましい。

[0133] 図３０を用いて、溶射膜７１０の空孔７１２内にフィラー７２２が含有された樹脂７２１からなる絶縁膜７２０を含浸させる工程を説明する。溶射膜７１０は、セラミックス充填率が最大９７％程度であり、フィラー７２２が含有された樹脂７２１からなる絶縁膜７２０よりもフィラーの充填率が高いが、三次元的な空孔７１２（図２９（ｂ）参照）を有する。そのため、そのままでは絶縁特性や熱伝導率に劣る。さらには、３次元的な空孔７１２が形成されているため、そのままでは温度昇降に伴う熱応力での割れ感受性が高い。

[0134] フィラー７２２が含有された樹脂７２１から構成される絶縁膜７２０をシート状に形成し、図３０（ｂ）に図示されるよう溶射膜７１０上に配置すると、毛細管現象により絶縁膜７２０を仮付けした下に存在する溶射膜７１０の孔内に含浸することが可能である。絶縁膜７２０の空孔７１２内への含浸

は、含浸前後、あるいは含浸中に減圧すると、未充填となる領域や含浸前に溶射膜７１０内に内包されているガスの巻き込みボイドの発生を防止することができる。

[0135] また、ディスペンサーなどを用いて、溶射膜７１０上に塗布してもよい。絶縁膜７２０を塗布すると、絶縁膜７２０が塗布された領域以外の部分にも流れ、また、また溶射膜７１０の周囲の側部にも流れる。このため、溶射膜７１０内に内包されている巻き込みボイドの発生を防止することができる。また、絶縁膜７２０の下層の溶射膜７１０の空孔７１２内に含浸できたかどうかを確認しやすい。この時、注入前後や注入中、あるいは含浸後に減圧してもよい。

[0136] 溶射膜７１０の孔内にフィラー７２２が混入しやすいように、溶射膜７１０の空孔７１２の孔径（サイズ）は含浸されるフィラー７２２の粒径（サイズ）より大きく形成する。溶射膜７１０の空孔７１２の孔径は、溶射条件である、母材の予熱温度、基材のパス間温度、アーク電流、アーク電圧、溶射距離、粉末粒径により制御できる。従来では、溶射膜７１０の空孔７１２の孔径は混入するフィラー７２２の粒径より小さいものであったため、溶射膜７１０の空孔７１２内には樹脂のみが含浸される構造であった。溶射膜７１０の空孔７１２の粒径を大きくするには、溶射膜７１０と母材との密着性等を十分確保出来る範囲内で、母材の予熱、パス間温度、アーク電流、及びアーク電圧を低く、溶射距離を長く、かつ、溶射材の粉末粒径を小さくする。

[0137] また、含浸プロセスやその後の溶剤の除去時に加熱する際は、溶射した溶射素材７１１が半硬化状態よりも硬化進行度が進行しない温度や時間とする。また、図３０（ｂ）に示すように、仮付けした絶縁膜７２０上に保護フィルム３５２を設けておくと、絶縁膜７２０のモジュールケース３０４接着側表面に熱伝導率を下げる絶縁膜７２０が付着しないため、生産しやすい。

[0138] 溶射膜７１０を形成する工程は、フィラー７２２が分散された絶縁膜７２０を含浸する工程の前に少なくとも終えていることが望ましい。また、絶縁膜７２０による溶射膜７１０への含浸作業を複数回行うとよい。すなわち、

溶射膜７１０を形成する工程と、フィラー分散樹脂を含浸する工程とを、溶射膜７１０の厚さが所定値に達するまで交互に繰り返す。フィラー分散樹脂を含浸する工程は、上述した如く、溶射膜７１０上に絶縁膜７２０を形成し、溶射膜７１０の空孔７１２内にフィラー７２２含有樹脂を含浸するものである。この方法は、フィラー７２２が分散された絶縁膜７２０の含浸性が悪い場合等に有効である。

[0139] ［半導体モジュールとモジュールケースの接合］

図３１と図３２を用いて、絶縁層７００を介してパワー半導体モジュール３０２とモジュールケース３０４の放熱部３０７Ａと３０７Ｂを接合する工程を説明する。図３１（ａ）は、モジュールケース３０４の薄肉部３０４Ａを変形させ熱圧着する前の状態を示す。図３２（ａ）は、モジュールケース３０４の放熱部３０７Ａと３０７Ｂを加圧し、薄肉部３０４Ａを変形させ熱圧着し、二次封止樹脂３５１で残る空間を封止した状態を示す。

[0140] 図２８に示すようにパワー半導体モジュール３０２の両面に溶射膜７１０を形成した後、図２９に示すように、その溶射膜７１０の上に絶縁膜７２０を形成し、溶射膜７１０の内部に樹脂を含浸し、さらに外周部に樹脂層７３０を形成する。溶射膜７１０の上に絶縁膜７２０を形成し、溶射膜７１０の内部に樹脂を含浸すると共に外周部に樹脂層７３０を形成する工程は、一度のプロセスで行うことができる。その方法を以下に示す。

[0141] パワー半導体モジュール３０２の両面に溶射膜７１０を形成し、次に、図２９に示すように、溶射膜７１０の上に絶縁シート７２０Ａを配置する。絶縁シート７２０Ａは、樹脂基材内にセラミックス等のフィラーが混入されたシート状の部材であり、この絶縁シート７２０Ａの量は、形成する絶縁膜７２０の量よりも多く設定される。つまり、絶縁シート７２０Ａは、絶縁膜７２０よりも厚く形成される。絶縁シート７２０Ａが形成されたパワー半導体モジュール３０２は、図３１に図示されるように、モジュールケース３０４内に挿入される。パワー半導体モジュール３０２をモジュールケース３０４に挿入する場合、接続部３７０でパワー半導体モジュール３０２が接合され

た補助パワーモジュール６００の配線絶縁部６０８（図１５参照）をモジュールケース３０４のフランジ３０４Ｂに固定すると位置合わせできる。

[0142] 次いで、図３２に示すように、放熱部３０７Ａ、３０７ＢをＺ方向に加圧して、薄肉部３０４Ａをケース内側に変形させ、放熱部３０７Ａ、３０７Ｂをパワー半導体モジュール３０２に密着させる。この時、絶縁シート７２０Ａは、パワー半導体モジュール３０２に圧着され絶縁膜７２０が形成される。この圧着の際に、絶縁シート７２０Ａは絶縁膜７２０の厚さまで加圧されるため、絶縁シート７２０Ａの樹脂成分は溶射膜７１０の空孔７１２に含浸されるとともに、溶射膜７１０の周側部に溢れ出る。溶射膜７１０の周側部に溢れ出た絶縁シート７２０Ａの樹脂成分により樹脂層７３０（図３２（ａ）参照）が形成される。

[0143] 例えば、絶縁シート７２０Ａはフィラーの混入量が２０ｖｏｌ．％であるとする。そして、フィラー７２２の大きさは、溶射膜７１０の表面凹部の大きさよりも小さく、溶射膜７１０内の空孔７１２よりも小さく設定されている。絶縁シート７２０Ａの樹脂成分が溶射膜７１０内の空孔７１２に含浸されるとともに、周囲の側部に樹脂が流れ出るように加圧し、絶縁シート７２０Ａの樹脂成分が半分に減ったとする。この場合、絶縁シート７２０Ａの樹脂成分のみが周側部に流れ出るものとすると、樹脂層７３０内部にはフィラーは混入されておらず、絶縁膜７２０のフィラー混入率は約４０ｖｏｌ．％程度まで増加することになる。また、絶縁シート７２０Ａの樹脂成分と共に絶縁シート７２０Ａに含有されているフィラー７２２の一部が周方向端部に流れ出るものとすると、樹脂層７３０にもフィラーが混入されることになる。なお、樹脂層７３０の形成は、絶縁シート７２０Ａを用いる方法でなく、フィラーが混入した樹脂を塗布またはディップ等の方法により溶射膜７１０上に被着させる方法とすることもできる。

[0144] 図３２（ａ）に示すように、放熱部３０７Ａおよび３０７Ｂを絶縁膜７２０の面積よりも広くすると、パワー半導体モジュール３０２とモジュールケース３０４の放熱部３０７Ａと３０７Ｂの周側部にフィラーが少なく弾性的

な樹脂層７３０で補強された構造となる。パワー半導体モジュール３０２とモジュールケース３０４部材間の熱膨張係数差により、使用環境時の温度上昇にともない絶縁層７００に発生する熱応力は、接着面の周側部で大きくなる。しかし、周側部に弾性的な樹脂層７３０を設けることで絶縁層７００に発生する熱応力を吸収できるため、パワーモジュールの寿命をのばすことが可能となる。このように樹脂層７３０は、導体板３１５、溶射膜７１０、絶縁膜７２０及び放熱部３０７Ｂからなる積層体の応力緩和用としての機能を有する。

[0145] 図３１（ｂ）に示すように、絶縁シート７２０Ａを仮付けする前の溶射膜７１０の表面よりも、絶縁膜７２０を形成した後は、絶縁膜７２０の接着面が平坦化されているため、モジュールケース３０４との接着性を向上することができる。

[0146] 絶縁膜７２０の厚さは、薄いほど熱抵抗が減少し絶縁層の放熱性が向上する。しかし、薄すぎるとモジュールケース３０４の反りや表面粗さを吸収できないため、溶射膜７１０に含浸しきれずに厚さ方向にはみ出している絶縁膜７２０の最小厚さは、モジュールケース３０４内面の反りや最大表面粗さR_{max}を吸収できる範囲よりも大きくすることが望ましい。絶縁膜７２０の厚さ調整は、シート状で供給することにより簡便となる。絶縁膜７２０の最大厚さは、例えば５～１００μｍの範囲で調整され、好ましくは１０～５０μｍの範囲となる。接着後に絶縁膜７２０に混入しているフィラー７２２の体積率は、５～８０％の範囲とする。ただし、体積率が大きいほど熱伝導率が高くなり放熱性が向上するが、接着強度が劣化するため、好ましくは３０～６０％の範囲がよい。

[0147] また、接着面となるモジュールケース３０４側にサンドブラストやディンプルなどの物理的な粗化処理、エッチング、陽極酸化、化成処理などの化学的な粗化処理、用いる樹脂に対し接着性の高い層とめっきやスパッタやカップリング処理で設けることで相対的に接着強度を向上することができ、絶縁膜７２０に混入させるフィラー７２２の体積率を増加することができる。接

着前の絶縁シート７２０Ａのフィラー７２２の含有量が少ない場合でも、接着時の加圧により絶縁膜７２０を含浸した溶射膜７１０と共にモジュールケース３０４内の薄肉部３０４Ａ方向外周に溢れでるようにすることにより、接着後のフィラー７２２量を大きくすることもできる。モジュールケース３０４との接着時の加圧力を増加することでボイドを排出することが可能である。

[0148] 上記実施形態においては図示しなかったが、溶射膜７１０上だけでなく、モジュールケース３０４側にも絶縁膜７２０、あるいは空孔７１２内にフィラー含有樹脂が含浸された溶射膜７１０と絶縁膜７２０を形成してもよい。溶射膜７１０の表面は、凹凸を設けアンカー効果により絶縁膜７２０との接着力を高めている。溶射膜７１０の表面凹凸の制御は、溶射条件である、溶射温度、基材の予熱温度、噴射速度、雰囲気、粉末粒径により制御できる。また、必要に応じて溶射後に研削や研磨やレーザ照射などの表面加工を施しても良い。ここで、樹脂はセラミックスや金属に比較して著しく熱伝導率が小さく、放熱経路に厚さ１０μｍでも樹脂の硬化層が存在するとモジュール全体の放熱性が低下するため、溶射膜７１０の凹部に存在する絶縁膜７２０内には、フィラー７２２を存在させることが重要である。

[0149] こうして形成した絶縁層７００は、溶射膜７１０内に、高熱伝導なフィラー７２２が含有された樹脂７２１を含浸させることで放熱性の劣化を防止することができ、また、高い熱伝導率を得ることができる。導体板３１５や放熱部３０７Ｂに比較して熱膨張係数が小さいセラミックスの内部に、導体板３１５や放熱部３０７Ｂよりも熱膨張係数が大きい樹脂７２１を含浸することで熱膨張係数が導体板３１５や放熱部３０７Ｂに近づき、使用中の温度変化で発生する熱応力が小さくなる。よって、モジュールの信頼性が高まる。

[0150] また、図示はしないが、導体板３１５、５２０、３１８、３１９（以下、代表して「３１５」とする。）側に第１の絶縁層７００Ａを形成し、モジュールケース３０４の放熱部３０７Ａ、３０７Ｂ（以下、代表して「３０７Ｂ」とする。）側に第２の絶縁層７００Ｂを形成する接合構造とすることもで

きる。第１の絶縁層７００Ａと第２の絶縁層７００Ｂとは、それぞれの絶縁層７００Ａ、７００Ｂを構成する絶縁膜７２０Ａ、７２０Ｂ同士を接着する。

[0151] 上記第１および第２の絶縁層７００Ａ、７００Ｂを構成する各溶射膜７１０の空孔７１２に含浸されるフィラー７２２の混入率を異なるものにすることもできる。この場合、導体板３１５に形成される溶射膜７１０Ａのセラミックス充填率を、モジュールケース３０４に形成される溶射膜７１０Ｂよりも大きくすると、絶縁層７００の熱膨張係数は、導体板３１５側からモジュールケース３０４に向かって大きくなる。この時、導体板３１５の熱膨張係数をモジュールケース３０４よりも小さくすれば、熱応力を緩和しさらにモジュールの信頼性を高めることが可能となる。例えば、導体板３１５にＣｕやＣｕ合金を用い、モジュールケース３０４にＡｌやＡｌ合金を用いた構造がよい。

[0152] あるいは、溶射膜７１０に含浸させる樹脂を、溶射膜７１０上に形成する絶縁膜７２０を構成する樹脂７２１とは異なるようにすることもできる。溶射膜７１０に含浸させる樹脂の熱膨張係数を、絶縁膜７２０を構成する樹脂７２１よりも大きくすれば、絶縁層７００内の熱膨張係数は導体板３１５からモジュールケース３０４に向かって小さくなる。この時、導体板３１５に、ＣｕやＣｕ合金を用い、モジュールケース３０４にＡｌＳｉＣやＡｌＣとＡｌの複合材を用いた構造とすることが望ましい。

[0153] また、絶縁層７００による接着温度や溶射による温度上昇は、ろう材を用いたセラミックス板の接合温度よりもはるかに低い。このため、パワー半導体モジュール３０２作製時の熱応力を低減することができ、溶射膜７１０の厚さを、シート状部材と同等にまで薄くすることができる。これにより、パワーモジュール絶縁部の放熱性を向上することができる。

[0154] 導体板３１５と放熱部３０７Ｂとを接着する際、上述した通り、溶射膜７１０は、導体板３１５あるいは放熱部３０７Ｂに接合し、あるいは空孔７１２内に含浸されたフィラー７２２同士が溶着し一定の強度を有しているため

、接着時の加圧力を増加することができる。加圧力を増加することでボイドの少ない接着層にすることができる。絶縁シートでは、加圧力を増加すると、絶縁層７００の厚さ変化が大きくなるため、絶縁層７００の層厚を小さくすることができない。絶縁層７００は、耐電圧が確保できる最小の厚さとすればよく、従来では、この最小の厚さにすることができなかった。本発明における一実施の形態では、絶縁層７００の厚さを十分に薄くすることが可能であり、かつ、パワー半導体モジュール３０２の絶縁性能、放熱性の劣化を防止することが可能である。なお、本発明によるパワー半導体モジュール３０２は、上記一実施の形態以外の形態とすることが可能であり、以下の、他の実施形態を例示する。

[0155] －実施形態２－

図３３は、本発明の実施形態２に係り、パワーモジュールの絶縁層の一部である溶射膜の導体板への形成を説明するための図であり、（ａ）は溶射前の断面図であり、（ｂ）は溶射後の断面図であり、（ｃ）は、図３３（ｂ）における溶射膜の拡大図である。図３４は、図３３の導体板側に形成された溶射膜にフィラーが分散した絶縁膜を仮付けする工程を説明するための図であり、（ａ）は全体の断面図であり、（ｂ）は図３４（ａ）における絶縁膜の仮付け前の拡大図であり、（ｃ）は図３４（ａ）における絶縁膜の仮付け後の拡大図である。

[0156] 実施形態２として示すパワー半導体モジュール３０２では、図３４（ｃ）に図示されるように、絶縁層７００が、フィラー含有樹脂７４０が含浸された第１の溶射膜７１０Ａと、この第１の溶射膜７１０Ａ上に形成された第２の溶射膜７１０Ｂとを有する点に特徴を有する。第２の溶射膜７１０Ｂ上には、実施形態１と同様に、モジュールケース３０４の放熱部３０７Ａ、３０７Ｂに接着される絶縁膜７２０が形成されている。

[0157] 第１の溶射膜７１０Ａおよび第２の溶射膜７１０Ｂは絶縁体であり、酸化物やセラミックスの粉体を溶射し作製する。溶射による導体板３１５、３２０や放熱部３０７Ａ、３０７Ｂの温度上昇は小さく、溶融、熱劣化、反りな

どの熱変形も小さいため、導体板３１５、３２０はパワー半導体素子が接合された導体板形状、さらには樹脂で封止された状態に形成した後に、溶射膜７１０を形成することができる。図３３を用いて本発明の実施形態２として示すパワー半導体モジュール３０２の製造方法を説明する。

[0158] 図３３（ａ）は、トランスファーモールド後のパワー半導体モジュール３０２の断面を示しており、図３３（ｂ）は導体板３１５、３２０、３１８、３１９（以下、代表して「３１５」とする。）側に第１および第２の溶射膜７１０Ａ、７１０Ｂを形成した後の断面図であり、図３３（ｃ）は図３３（ｂ）における導体板３１５、３２０と第１および第２の溶射膜７１０Ａおよび第２の溶射膜７１０Ｂを拡大した模式図を表している。上記に述べたように、酸化物やセラミックス粉末をプラズマ溶射法により形成する場合は、パワー半導体モジュール３０２の温度上昇は１００～１８０℃程度であるため、一次封止樹脂３４８、金属接合部１６０、ＩＧＢＴ３２８、３３０およびダイオード１５６、１６６は熱劣化しない。よって、２２０～３００℃の温度範囲でなされるチップ接合を先に行うことができる。これにより、導体板に溶射した後にチップ接合する場合に比較して、熱膨張係数の小さい溶射膜と熱膨張係数の大きい導体板の積層部に発生する熱応力を低減することができる。

[0159] 導体板３１５に第１の溶射膜７１０Ａを形成し、この後、第１の溶射膜７１０Ａを構成する溶射素材７１１ａ間に形成された空孔７１２ａ内に、樹脂基材７４１内にフィラー７４２が分散されたフィラー含有樹脂７４０を含浸する。フィラー含有樹脂７４０の含浸は、実施形態１に示した方法により行うことができる。すなわち、フィラー含有樹脂７４０を樹脂シート状に形成し、加熱圧着により第１の溶射膜７１０Ａの空孔７１２ａ内に含浸させる。あるいは、塗布またはディップ等により、フィラー含有樹脂７４０を第１の溶射膜７１０Ａの空孔７１２ａ内に含浸させるようにしてもよい。

[0160] また、第１の溶射膜７１０Ａを形成する導体板３１５の処理面に対し、溶射前にサンドブラストやエッチングにより粗化すると、第１の溶射膜７１０

Ａの接合強度を向上することができる。また、第２の溶射膜７１０Ｂを形成する第１の溶射膜７１０Ａの処理面に対し、溶射前にサンドブラストやエッチングにより粗化すると、第２の溶射膜７１０Ｂの接合強度を向上することができる。第１の溶射膜７１０Ａおよび第２の溶射膜７１０Ｂを形成する粉末は、アルミナ、シリカ、マグネシア、ベリリアなどの酸化物、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素などの窒化物、シリコンカーバイドなどの炭化物といった高熱伝導なセラミックスの粉体から選ばれ、これら単体組成、酸化物と窒化物あるいは炭化物との複合組成、あるいは混合粉末が用いられる。

[0161] 導体板３１５、一次封止樹脂３４８に形成する第１の溶射膜７１０Ａは、これらセラミックスが凝固し形成した扁平形状をしており、図３３（ｃ）に示すように扁平体である溶射素材７１１ａが堆積したような層となる。第１の溶射膜７１０Ａを構成する粒子の平均粒子径と平均空孔サイズは、第２の溶射膜７１０Ｂよりも大きくすることにより、フィラー分散樹脂の含浸性の向上と表面粗さの低減を図ることができる。

[0162] 具体的には、第１の溶射膜７１０Ａにおける空孔サイズの円相当直径は０．４～６．０μｍであることが望ましい。この範囲よりも小さいと、フィラー分散樹脂の含性性が著しく悪くなる。一方、この範囲よりも大きいと、第１の溶射膜７１０Ａ自体の熱伝導率が著しく低下する。これにより、第１の溶射膜７１０Ａの熱伝導率は、フィラー分散樹脂の含浸性が高くなるので、第２の溶射膜７１０Ｂよりも高くなる。また、第２の溶射膜７１０Ｂの表面粗さは、平均粒子径の小さな粒子から構成されるので、第１の溶射膜７１０Ａよりも小さくなる。

[0163] 第２の溶射膜７１０Ｂの表面粗さ（最大高さ）は、１５μｍ以下であることが望ましい。第１の溶射膜７１０Ａへのフィラー分散樹脂の含浸は、第２の溶射膜７１０Ｂを形成する前に行うことが望ましい。それは、第２の溶射膜７１０Ｂは、第１の溶射膜７１０Ａに比べて空孔サイズが小さいため、フィラー分散樹脂の含浸性が劣るためである。よって、工程の順番は、第１の溶射膜７１０Ａを形成する工程、フィラー分散樹脂を含浸する工程、第２の

溶射膜７１０Ｂを含浸する工程の順で行うのが望ましい。これらの工程の間に、その他の工程を取り入れてもよいが、この３つの工程の順番は変更しない。

[0164] 第１の溶射膜７１０Ａを形成する工程と、フィラー分散樹脂７４０を含浸する工程は、溶射膜７１０Ａの厚さが所定の値に達するまで交互に繰り返しても構わない。第２の溶射膜７１０Ｂの厚さは、１５～５０μｍが望ましい。この範囲よりも小さいと、第１の溶射膜７１０Ａの表面凹凸を被覆することができず、第２の溶射膜７１０Ｂの表面粗さの増大をもたらす。また、この範囲よりも大きい場合は、熱応力により第２の溶射膜７１０Ｂが剥離する可能性が大きくなる。

[0165] 図３４を参照して、第２の溶射膜７１０Ｂを接合する工程を説明する。第２の溶射膜７１０Ｂは、表面粗さ（最大高さ）が１５μｍ以下であり、第１の溶射膜７１０Ａの表面粗さよりも小さい。これにより、溶射膜７１０が単一である実施形態１に比して、絶縁膜７２０との間の間隙を小さくすることができる。このため、ボイド等の接着欠陥が発生し難くなり、第２の溶射膜７１０Ｂと絶縁膜７２０との間の接合力が向上する。図３４（ｂ）に示すように、仮付けした絶縁膜７２０に保護フィルム３５２貼り付けて保護しておくと、絶縁膜７２０のモジュールケース３０４の接着側表面に熱伝導率を下げる絶縁膜７２０が付着しないため、生産しやすい。

[0166] 絶縁膜７２０は実施形態１と同様にフィラー７２２を含有する。絶縁膜７２０に含有されたフィラー７２２は、第２の溶射膜７１０Ｂの空孔７１２内に含浸されてもよい。しかし、絶縁膜７２０に含有されたフィラー７２２は、第２の溶射膜７１０Ｂの空孔７１２内に含浸されず、第２の溶射膜７１０Ｂの空孔７１２内には、絶縁膜７２０の樹脂７２１のみが含浸されるようにしてもよい。

[0167] －実施形態３－

実施形態１、２では、溶射膜をパワー半導体素子が搭載された導体板側に形成する構造であった。しかし、溶射膜をモジュールケースの放熱部側に形

成することもできる。以下、図３５乃至図３８を用いて、溶射膜を放熱部側に形成する実施形態を例示する。図３５は、本発明の実施形態３に係り、パワーモジュールの絶縁層の一部である溶射膜の金属製ベース板への形成を説明するための図であり、（ａ）は溶射前の断面図、（ｂ）は溶射後の断面図であり、（ｃ）は異なる形状のベース板の場合を示し、（ｄ）は（ｃ）に図示されたベース板に溶射膜を形成した状態の断面図である。

図３６は、図３５の金属ベース側に形成された溶射膜にフィラーが分散した絶縁膜を仮付けして、溶射膜孔内に樹脂含浸する工程を説明するための図であり、（ａ）は仮付け前の断面図であり、（ｂ）は仮付け後の断面図である。図３７は、本発明の実施形態に係るパワーモジュールの絶縁層が形成された金属製ベースをケース化する工程を説明するための図であり、図３７（ａ）は、図３５（ａ）の放熱部に対応する図であり、図３７（ｂ）は、図３５（ｃ）の放熱部に対応する図である。図３８は、本発明の実施形態３に係るパワーモジュールを示す図であり、（ａ）は、外観の断面図、（ｂ）は、図３８（ａ）における絶縁層の拡大図である。

[0168] 図３５（ａ）に図示された３０７は、図３８（ａ）に図示されるパワーモジュール３００のモジュールケース（放熱用部材）３０４の放熱部３０７Ａ、３０７Ｂに対応する部材であり、以下では、ベース板という。ベース板３０７は、実施形態１に示す放熱板３０７Ａ、３０７Ｂと同様に多数の放熱用のフィン３０５を有しており、内面側がモジュールケース３０４の内側に突き出している以外は、ベース板３０７は放熱板３０７Ａ、３０７Ｂと同一である。

[0169] 以下、絶縁層７００を放熱部側に形成する方法を説明する。先ず、ベース板３０７の上面に溶射膜７１０を形成する。上述した如く、溶射時の被溶射体の温度上昇は１００～２００℃程度であるため、溶射膜７１０は、モジュールケース３０４のベース板３０７をフィン３０５や薄肉部３０４Ａが形成された状態で形成することが可能である。フィン３０５や薄肉部３０４Ａが形成されたベース板３０７は、鋳造や鍛造や機械加工にて作製できる。材質

には、Ｃｕ、Ｃｕ合金、Ｃｕ－Ｃ、Ｃｕ－ＣｕＯなどの複合材、あるいはＡｌ、Ａｌ合金、ＡｌＳｉＣ、Ａｌ－Ｃなどの複合材などから構成される。ベース板３０７に溶射膜７１０が形成された状態を図３５（ｂ）に図示されている。溶射膜７１０は、薄肉部３０４Ａに形成しないようにマスキングされる。

[0170] 次に、図３６（ａ）に図示されるように、溶射膜７１０が形成されたベース板３０７に、フィラー７２２が混入した絶縁膜７２０を溶射膜７１０上に仮付けする。絶縁膜７２０を仮付けするには、樹脂シートの状態、あるいは液状にして塗布、噴霧、ディップする手法がある。この時、図３６（ｂ）に示すように、仮付けされた絶縁膜７２０に保護フィルム３５２を貼り付け、保護フィルム７２０上から加圧し、絶縁膜７２０を溶射膜７１０に押し付ける。これにより、溶射膜７１０に絶縁膜を含浸すると共に溶射膜７１０と絶縁膜７２０を接合する。この工程において、ベース板３０７は、溶射膜７１０と絶縁膜７２０が形成された中央領域が薄肉部７０４Ａより上方に突き出しているため、作業が容易となる。

[0171] 溶射膜７１０と絶縁膜７２０の仮付けは、モジュールケース３０４の表裏両面の放熱部３０７Ａ、３０７Ｂに対して行う。次に、図３７（ａ）に図示されるように、放熱部３０７Ａ、３０７Ｂをケース本体３０４Ｃの開口部３０４ｄの周縁部に接合する。接合前に保護フィルム３５２を剥離しておく。放熱部３０７Ａ、３０７Ｂの周縁部は、それぞれ、周縁部に可撓性を有する薄肉部３０４Ａとされており、この薄肉部３０４Ａの周縁端部を金属接合することでケース本体３０４Ｃに一体化されたモジュールケース３０４が作製される。金属接合は、絶縁層７００から離れた薄肉部３０４Ａの外側をレーザ溶接、摩擦攪拌接合など熱影響領域が小さい手法を用いてなされる。熱影響部が小さい手法を選択することで、樹脂接着部３３３ｂや含浸部３３３ｃの硬化進行度が維持できる。また、詳細は後述する（実施形態４参照）が、ケース状にした状態で、図３６に示した溶射膜７１０にフィラー含有樹脂を含浸することも可能である。

[0172] 次に、実施形態１に示した手法で絶縁層７００を介してパワー半導体モジュール３０２とモジュールケース３０４の放熱部３０７Ａと３０７Ｂを接着し、残る空間に二次封止樹脂３５１を封止する。これにより、図３８に示す本発明の一例である絶縁層７００を有するパワーモジュール３００が完成する。

[0173] 導体板３１５やベース板３０７に比較して熱膨張係数が小さいセラミックスの内部に、導体板３１５やベース板３０７よりも熱膨張係数大きい樹脂を含浸することで熱膨張係数が導体板３１５やベース板３０７に近づき、使用中の温度変化で発生する熱応力が小さくなり、パワー半導体モジュール３０２の信頼性が向上する。また、セラミックス充填率が高い溶射膜７１０がモジュールケース３０４側に存在するため、モジュールケース３０４をＣｕやＣｕ合金で導体板３１５、３２０、３１８、３１９をＡｌやＡｌ合金とすると、絶縁層７００内による熱応力の緩和が生じ、さらに信頼性が高くなる。また、導体板３１５、３２０、３１８、３１９、がＣｕやＣｕ合金の場合は、モジュールケース３０４をＡｌ－ＣやＡｌ－ＳｉＣなどのＣｕよりも低熱膨張な材料とすればよい。なお、フィラー含有樹脂が含浸された溶射膜は、三層以上形成してもよく、その内の１つの溶射膜を、他の溶射膜とフィラー充填率が異なるようにすることもできる。

[0174] また、溶接部となる薄肉部３０４Ａには易溶接材のＡｌやＣｕとなるように複合化してもよい。さらに、含浸させる樹脂３３３ｃの熱膨張係数を樹脂３３３Ｂよりも大きくすれば、絶縁層７００内の熱膨張係数は導体板３１５、３１８、３１９、３２０からモジュールケース３０４に向かって大きくなる。この時、導体板３１５、３１８、３１９、３２０にＣｕやＣｕ合金を用い、モジュールケース３０４にＡｌやＡｌ合金を用いた構造にすると、熱応力が連続的に傾斜され緩和される。

[0175] ベース板３０７は、中央部が薄肉部３０４Ａより突き出している形状に限らない。図３５（ｃ）に図示されたベース板３０７は、実施形態１と同様、中央部上面が薄肉部３０４Ａと平坦な形状を有する。図３５（ｄ）は、図３

５（ｃ）に図示された形状のベース板３０７に溶射膜７１０を形成した状態の断面図である。この構造のベース板３０７を用いて作成したモジュールケース３０４の断面図を図３７（ｂ）に示す。放熱部３０７Ａの上面には、溶射膜７１０が形成されている。上記放熱部３０７Ａの形状は、一例を示したものに過ぎず、放熱部３０７Ａは他に、種々の形状を採用することができる。

[0176] また、上述の実施形態３では、実施形態１と同様に、溶射膜７１０が単層である構造として例示した。しかし、実施形態２と同様に、フィラー含有樹脂層３４０が含浸された第１の溶射膜７１０Ａと、この第１の溶射膜７１０Ａ上に形成された第２の溶射膜７１０Ｂを形成するようにしてもよい。

[0177] -実施形態４-

図３９は、本発明の実施形態４を示し、図３９（ａ）は樹脂層による応力緩和を増大した接着構造の断面図あり、図３９(ｂ)はケース側に段部と凹部を設けた構造の断面図である。図３９（ａ）、３９（ｂ）は、実施形態１に示した構造に対応する。また、図４０は、本発明の実施形態４を示し、図４０（ａ）樹脂層による応力緩和を増大した接着構造の断面図あり、図４０(ｂ)はケース側に段部と凹部を設けた構造の断面図である。

[0178] パワーモジュール３００は求められる機能に必要な部材で構成されるため、様々な熱膨張係数の部材を積層した構造となる。このように、様々な熱膨張係数の部材を接合や接着すると、応力が端部に集中し端部から剥離が発生、進展していく。これに対し、溶射膜７１０の外周に設けられた弾性的な樹脂層７３０の面積を増大すれば、応力緩和による端部剥離の発生や進展を抑制することが可能である。また、導体板３１５、３２０、３１８、３１９の外周を封止する一次封止樹脂３４８は、導体板３１５、３２０、３１８、３１９よりも熱伝導率がはるかに低いため、その領域では絶縁層７００の熱伝導率は低くても、パワー半導体モジュール３０２モジュールの放熱性は変化しない。

[0179] 図３９（ａ）および図４０（ａ）は溶射膜７１０上に形成する絶縁膜７２

０の供給量を増加して応力緩和を増大した構造の例である。接着時の加圧を増加して、絶縁膜７２０から溢れた樹脂層７３０により接着用フィレットを形成させる。樹脂層７３０は、放熱部３０７Ａ、３０７Ｂの周側部の側面および薄肉部３０４Ａの根元部に回り込み、接着力が増大すると共に応力緩和機能が増大する。絶縁膜７２０の供給量を増加することに代えて、絶縁膜７２０上に別の樹脂層を形成して樹脂を増量するようにしてもよい。図３９（ａ）は、樹脂層７３０が薄肉部３０４Ａの中間部まで回り込んだ構造であり、図４０（ａ）は、樹脂層７３０が薄肉部３０４Ａまで達ていない構造である。

[0180] 図３９（ｂ）は、放熱部３０７Ａ、３０７Ｂの外周部の一部あるいは全周に段部３４８ａおよび凹部３４８ｂを設けた構造である。図４０（ｂ）は、モジュールケース３０４の放熱部３０７Ａ、３０７Ｂの外周部の全周あるいは一部に凹部３０４ａおよび段部３０４ｂを設けた構造である。段部３４８ａ、３０４ｂや凹部３４８ｂ、３０４ａを設けることにより、段部３４８ａ、３０４ｂや凹部３４８ｂ、３０４ａ内に樹脂が充填され、接着力を増大することができる。また、アンカー効果が生じるので、応力の緩和効果が大きくなる。

[0181] また、モジュールケース３０４の挿入口３０６側において、一次封止樹脂３４８に段部３４８ａを形成したり（図３９（ｂ）参照）、放熱板３０７Ａ、３０７Ｂに凹部３０４ａまたは段部３０４ｂを形成したりすることによりパワー半導体モジュール３０２の表面と放熱部３０７Ａ、３０７Ｂとの厚さ方向の間隙が増大する。この間隙から樹脂を侵入させることにより、パワー半導体モジュール３０２とモジュールケース３０４の放熱部３０７Ａと３０７Ｂを仮付け、あるいは接着した状態で溶射膜７１０にフィラー含有樹脂の含浸を行うことが容易となる。また、いずれの例でも、残る空間は二次封止樹脂３５１で封止される。

[0182] -実施形態５-

図４１は、本発明の実施形態５に係るパワーモジュールを示す図であり、

（ａ）は樹脂封止型の片面冷却パワー半導体モジュールの平面図であり、（ｂ）、（ｃ）は、図４１（ａ）におけるＸＸＸＸＩ－ＸＸＸＸＩ断面図であり、図４１（ｂ）は端子を折曲した状態図であり、図４１（ｃ）は端子を折曲する前の状態図である。図４１において信号端子３２５Ｕは、図２に開示したゲート電極１５４および信号用エミッタ電極１５５に対応し、信号端子３２５Ｌは、図２に開示したゲート電極１６４およびエミッタ電極１６５に対応する。また直流正極端子３１５Ｂは、図２に開示した正極端子１５７と同一のものであり、直流負極端子３１９Ｂは、図２に開示した負極端子１５８と同一のものである。また交流端子３２０Ｂは、図２に開示した交流端子１５９と同じものである。

[0183] 図４１（ａ）は、図２６の回路を実現するパワー半導体素子と導体板の配置を示している。この配置では、導体板３１８と３２０が同電位となり一枚の導体板で形成できる（以下、導体板３１８と称す）。ＩＧＢＴ３２８、３３０およびダイオード１５６、１６６の表面主電極は、複数の金属ワイヤ３７２あるいは金属リボン３７２により接続され、さらに導体板３１８、３１９に接続される。ワイヤやリボンの材質は、Ａｌ、Ａｌ合金、Ｃｕ、Ｃｕ合金の単体および複合材である。ＩＧＢＴ３２８およびダイオード１５６の裏面電極は、金属接合部１６０により導体板３１５に金属接合される。導体板３１５、３１８とベース板３０７は、絶縁層７００を介して接合される。ＩＧＢＴ３３０およびダイオード１６６の裏面電極は、金属接合部１６０により導体板３１８に金属接合される。導体板３１５、３１８、３１９と金属ベース３０７は、絶縁層７００を介して接合される。

[0184] 図４１（ｂ）に図示されるように、金属ベース３０７側に溶射膜７１０が形成されており、パワー半導体素子から発熱した熱が導体板３１５、絶縁層７００、金属ベース３０７を通り効率良く外部に放熱される。ここでは、金属ベース３０７側に溶射膜７１０を設け、導体板３１５、３１８、３１９側を絶縁膜７２０で接合した例を示したが、導体板３１５、３１８、３１９側に溶射膜７１０を設け、金属ベース３０７側に絶縁膜７２０を設けてもよい

。

[0185] 溶射膜７１０上に絶縁膜７２０を設けて、溶射膜７１０の空孔７１２内にフィラー含有樹脂を含浸した後、図４１（ｃ）に示すように、パワー半導体モジュール３０２のパワー半導体素子裏面を導体板３１５に接合する。また、ワイヤやタイバー３７２を表面電極にワイヤボンディングした後に、一次封止樹脂３４８により封止する。このように、一次封止樹脂３４８により封止することで、絶縁層７００に接合する際、導体板３１５と放熱部３０７Ｂに与える加圧力による機械的な損傷を防止することができる。また、この例では、ベース板３０７側に溶射膜７１０を形成したが、導体板３１５、３１８、３１９側に溶射膜７１０を形成する場合には、溶射膜形成工程におけるパワー半導体モジュール３０２機械的な損傷を防止することができる。

[0186] －実施形態６－

上記各実施形態では、パワー半導体モジュール３０２を多数のフィン３０５を有する放熱部３０７Ａ、３０７Ｂにより冷却する構造であった。しかし、他の冷却器により冷却するようにすることもできる。図４２は、本発明の実施形態６を示す図であり、冷却器を備えたパワーモジュール３００の断面図である。パワー半導体モジュール３０２は、実施形態５に示した構造と同一である。絶縁層７００はフィラー含有樹脂が含浸された溶射膜７１０と、この溶射膜７１０上に形成された絶縁膜７２０を含んでおり、絶縁膜７２０に、冷却器３８０が密着して配置されている。冷却器３８０内には、冷媒流路３８１が形成されていて、ここを冷媒が流れることにより、パワー半導体モジュール３０２が冷却される。他の構成は、実施形態５と同様であり、対応する構成に同一の符号を付して説明を省略する。

[0187] なお、図４２では、パワー半導体モジュール３０２の片面のみに冷却器３８０を配置した構造として例示した。しかし、冷却器３８０は、パワー半導体モジュール３０２の両面に配置する構造とすることもできる。また、実施形態１～５に示したパワーモジュール３００においても、パワー半導体モジュール３０２を冷却する放熱部３０７Ａ、３０７Ｂに代えて、図４２に図示

された冷却器３８０を用いることもできる。

[0188] 図４３を用いて本発明に用いられる絶縁層７００の絶縁性能について説明する。図４３の横軸は溶射膜の膜厚であり、縦軸は１００μｍ厚の溶射膜単体の絶縁破壊電圧を１とした場合の規格化絶縁破壊電圧である。図４３に示すように、溶射膜単体では膜中に孔を有しているため絶縁性能に劣るが、樹脂を含浸、さらにフィラー分散樹脂を含浸することにより、絶縁破壊電圧は向上する。このように、本発明の絶縁層７００は、溶射膜単体よりも絶縁性能に優れており、パワーモジュールに適用する際、絶縁に必要な厚さを薄くすることができる。絶縁層の厚さを薄くできることで、絶縁層の熱抵抗が低下し、パワーモジュールの放熱性を向上することができる。

[0189] 図４４を用いて、本発明に用いられる絶縁層７００の表面粗さについて説明する。図４４の縦軸は表面粗さ（最大高さＲｙ）の測定結果である。図４４に示すように、溶射膜の表面粗さは溶射膜の膜厚と共に増加するが、平均粒子サイズが小さい粒子から構成される溶射膜の表面粗さは、平均粒子サイズが大きい場合に比べて、小さい。ただし、平均粒径サイズが小さい粒子から構成される溶射膜は、膜厚が５０μｍを超えると熱応力により剥離した。

[0190] よって、絶縁耐圧に必要な溶射膜は、平均粒径サイズが小さい粒子から構成される溶射膜のみでは形成できない。本発明では、平均粒径サイズが大きい粒子から構成される溶射膜で絶縁耐圧に必要な膜厚を確保した上で、平均粒径サイズが小さい粒子から構成される溶射膜で表面粗さを低減する。このように、本発明の絶縁層７００は、溶射膜単体よりも絶縁性能及び表面粗さに優れており、パワーモジュールに適用する際、絶縁層の熱抵抗が低下し、パワーモジュールの放熱性を向上することができる。

[0191] 図４５を用いて本発明の絶縁層の比較例である各構成の放熱特性を説明する。厚さ２ｍｍの１５０ｍｍ角のＡｌ板に対してアルミナを用いてサンドブラスト処理した後、粒径１０～３０μｍのアルミナ粒子を出力４０ｋＷにてプラズマ溶射した。この時、Ａｌ板に形成する溶射膜の空孔率を抑制し、冷却時の溶射膜の割れを防止するために、Ａｌ板は１８０℃に予熱した。さら

に、溶射膜に分散したエポキシ樹脂を含浸したもの、及びフィラー分散したエポキシ樹脂を含浸したものも作製した。密度計による密度の測定、レーザフラッシュ法による熱拡散率の測定、示差走査熱量測定による比熱容量の測定をそれぞれ行い、熱伝導率を算出した。熱伝導率は、代表値として厚さ６０μｍの溶射膜での値で除して、規格（無次元）化してある。

[0192] 図４５に示すように、各試験片の規格化熱伝導率は、溶射膜の膜厚と共に低下し、試験毎に見ると、フィラー分散樹脂を含浸材、樹脂を含浸材、含浸なし材の順で低かった。本発明に従い、フィラー分散樹脂した溶射膜の厚さを薄くすることにより、熱伝導率を向上することができる。このように、本発明の絶縁層７００は、溶射膜単体よりも熱伝導特性に優れており、パワーモジュールに適用する際、絶縁層の熱抵抗が低下し、パワーモジュールの放熱性を向上することができる。

[0193] 以上説明した通り、本発明のパワー半導体モジュール３０２の各実施形態によれば、下記に示す効果を奏する。

（１）溶射膜７１０を構成する各溶射素材７１１ｂの間に存在する空孔７１２内にフィラー含有樹脂７２０が含浸されているので、導体板３１５、３２０、３１８、３１９（以下、代表して「３１５」とする。）またはベース板３０７の熱伝導率を向上し、放熱性の劣化を防止することができる。

（２）溶射膜７１０にフィラー含有樹脂を含浸させることにより、溶射膜７１０内に内包されているガスの巻き込みボイドの発生を防止することができる。

[0194] （３）フィラー含有樹脂は、導体板３１５よりも熱膨張係数が小さいセラミックスフィラーと、導体板３１５よりも熱膨張係数が大きい樹脂を含むため、絶縁層７１０の熱膨張係数を、導体板３１５に近づけることができる。このため、パワー半導体モジュール３０２の温度変化により発生する熱応力を小さくすることができる。

[0195] （４）実施形態２に示すように、第１の溶射膜７１０Ａ上に形成する第２の溶射膜７１０Ｂの溶射素材７１１ｂの平均粒子径を、第１の溶射膜７１０Ａ

の溶射素材７１１ａよりも大きくした。これにより、第２の溶射膜７１０Ｂの表面粗さが小さくなり、導体板３１５またはベース板３０７との接着力を増大することができる。

[0196] （５）溶射膜７１０にフィラー含有樹脂を含浸する際、溶射膜７１０の溶射工程と、含浸工程とを交互に複数回繰り返すことにより、含浸を容易かつ確実に行うことができる。

（６）フィラー含有樹脂が含浸された溶射膜７１０を複数層形成し、各溶射膜７１０に含浸されるフィラー含有樹脂に含まれるフィラーの充填率を異なるようにすることにより、各溶射膜７１０の熱膨張係数を調整し、導体板３１５またはベース板３０７との間に発生する熱応力を低減することができる。

[0197] （７）絶縁膜７２０および溶射膜７１０の周側部にフィラーを含有しないか、あるいはごく少量含有する樹脂層７３０を形成したため、絶縁層７００、導体板３１５および放熱部３０７Ｂからなる積層体に発生する応力を緩和することができる。

（８）溶射膜７１０上に絶縁シート７２０Ａを配置し、この絶縁シート７２０Ａを圧着して溶射膜７１０を含浸すると共に、応力緩和用の樹脂層７３０を形成するので、作業効率が向上する。

[0198] （９）導体板３１５の溶射膜７１０形成面に、ブラスト処理などによる微小な凹凸を形成するので、溶射膜７１０と導体板３１５との接合力を大きくすることができる。

（１０）パワー半導体素子および導体板３１５、３２０、３１８、３１９を封止する一次封止樹脂３４８を形成した後、ブラスト処理を行うようにしたので、溶射処理時に半導体素子やボンディングワイヤ３７１などへの物理的、化学的な影響を、一次封止樹脂３４８によって防止することができる。

[0199] なお、本発明のパワー半導体モジュールは上記各実施形態に限られるものではなく、上述した各実施形態は、適宜、組み合わせて適用することが可能である。また、それ以外にも、発明の趣旨の範囲内で、種々、変形して適用

することが可能である。

要は、導体板に形成される溶射膜に、溶射膜を構成する各溶射素材の間に存在する空孔の少なくとも一部にフィラー含有樹脂が含浸されるようしたものであればよい。

符号の説明

[0200] ３００　パワーモジュール

３０４　モジュールケース（放熱用部材）

３０４Ａ　薄肉部

３０４ａ　凹部

３０４ｂ　段部

３０５　フィン

３０７　ベース板

３０７Ａ、３０７Ｂ　放熱部

３１５、３１８、３１９、３２０　導体板

３４８　一次封止樹脂（樹脂封止部）

３４８ａ　段部

３４８ｂ　凹部

３５１　二次封止樹脂

３５２　保護フィルム

３８０　冷却器

３８１　冷媒流路

７００　絶縁層

７１０　溶射膜

７１０Ａ　第１の溶射膜

７１０Ｂ　第２の溶射膜

７１１、７１１ａ、７１１ｂ　溶射素材

７１２、７１２ａ、７１２ｂ　空孔

７２０　絶縁膜

７２０Ａ　絶縁シート

７２１　樹脂

７２２　フィラー

７３０　樹脂層

７４０　フィラー含有樹脂層

請求の範囲

[請求項1] 半導体素子と、

一面に前記半導体素子が搭載された導体板と、

前記導体板の側面部を覆い、前記一面に対向する他面の少なくとも一部を露出する樹脂封止部と、

前記樹脂封止部の一面および前記導体板の前記樹脂封止部から露出した前記他面の一部に設けられた溶射膜と、

前記溶射膜上に設けられた絶縁膜と、を備え、

前記溶射膜には、前記溶射膜を構成する各溶射素材の間に存在する空孔の少なくとも一部にフィラー含有樹脂が含浸されていることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項2] 請求項１に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記絶縁膜は、フィラーを含有する樹脂により構成され、前記溶射膜の前記空孔内には、前記絶縁膜を構成する前記フィラーが含有された樹脂が含浸されていることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項3] 請求項１または２に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記溶射膜は、第１の溶射膜と、前記第１の溶射膜上に配置された第２の溶射膜とを備え、

少なくとも前記第１の溶射膜には、前記第１の溶射膜を構成する各溶射素材の間に存在する空孔の少なくとも一部に前記フィラー含有樹脂が含浸されていることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項4] 請求項３に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記第２の溶射膜の前記空孔内には、前記絶縁膜を構成する樹脂が含浸されていることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項5] 請求項３または４に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記第１の溶射膜を構成する溶射素材の平均粒子径および空孔サイズは、それぞれ、前記第２の溶射膜を構成する溶射素材の平均粒子径および空孔サイズよりも大きいことを特徴とするパワー半導体モジュ

ール。

[請求項6] 請求項３乃至５のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記第１の溶射膜は、前記第２の溶射膜よりも熱伝導率が高いことを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項7] 請求項３乃至８のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記第２の溶射膜の表面粗さの最大値は、前記第１の溶射膜の表面粗さの最大値よりも小さいことを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項8] 請求項３乃至７のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記第１の溶射膜の前記空孔のサイズは、０．４～６μｍ程度であることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項9] 請求項３乃至８のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記第２の溶射膜の表面粗さは、最大値が１５μｍ以下であることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項10] 請求項１乃至９のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールにおいて、前記フィラー含有樹脂が含浸された複数層の前記溶射膜を有し、少なくとも、いずれか１つの前記溶射膜は他の溶射膜とは、フィラー充填率が異なることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項11] 請求項１乃至１０のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記溶射膜および前記絶縁膜の周囲に応力緩和用樹脂層が形成されていることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項12] 請求項１乃至１１のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールと、放熱用部材とを備え、前記放熱用部材は、前記溶射膜を介して前

記パワー半導体モジュールに熱伝導可能に設けられていることを特徴とするパワーモジュール。

[請求項13] 請求項１２に記載のパワーモジュールにおいて、前記放熱用部材の周側部または前記半導体モジュールの前記樹脂封止部の周側部に段部または凹部が形成され、前記段部または凹部に応力緩和用の樹脂が充填されていることを特徴とするパワーモジュール。

[請求項14] 請求項１２または１３に記載のパワーモジュールにおいて、

前記パワー半導体モジュールの導体板は、前記半導体素子の表面側に熱伝導可能に接合された表面側導体部と前記半導体素子の裏面側に熱伝導可能に接合された裏面側導体部とを含み、

前記放熱用部材は、それぞれ、複数の放熱用フィンを有し、前記溶射膜を介して前記表面側導体部および前記裏面側導体部に熱伝導可能に接合された第１の放熱部および第２の放熱部と、それぞれ、前記第１の放熱部および前記第２の放熱部の周囲に形成された、塑性変形可能な薄肉部を有することを特徴とするパワーモジュール。

[請求項15] 半導体素子が一面に搭載された導体板と、前記導体板の側面部を覆い、前記一面に対向する他面の少なくとも一部を露出する樹脂封止部とを有するパワー半導体モジュールと、放熱用部材とを準備する工程と、

前記パワー半導体モジュールまたは前記放熱用部材の一方の一面に、溶射素材間に空孔を有する溶射膜を形成する第１の工程と、

前記溶射膜の前記空孔内にフィラー含有樹脂を含浸させる第２の工程と、を備えることを特徴とするパワーモジュールの製造方法。

[請求項16] 請求項１５に記載のパワーモジュールの製造方法において、

前記第２の工程の後、前記フィラー含有樹脂が含浸された前記溶射膜上に、別の溶射膜を形成する工程を備えることを特徴とするパワーモジュールの製造方法。

[請求項17] 請求項１５に記載のパワーモジュールの製造方法において、

前記第１の工程と前記第２の工程とを複数回繰り返すことを特徴とするパワーモジュールの製造方法。

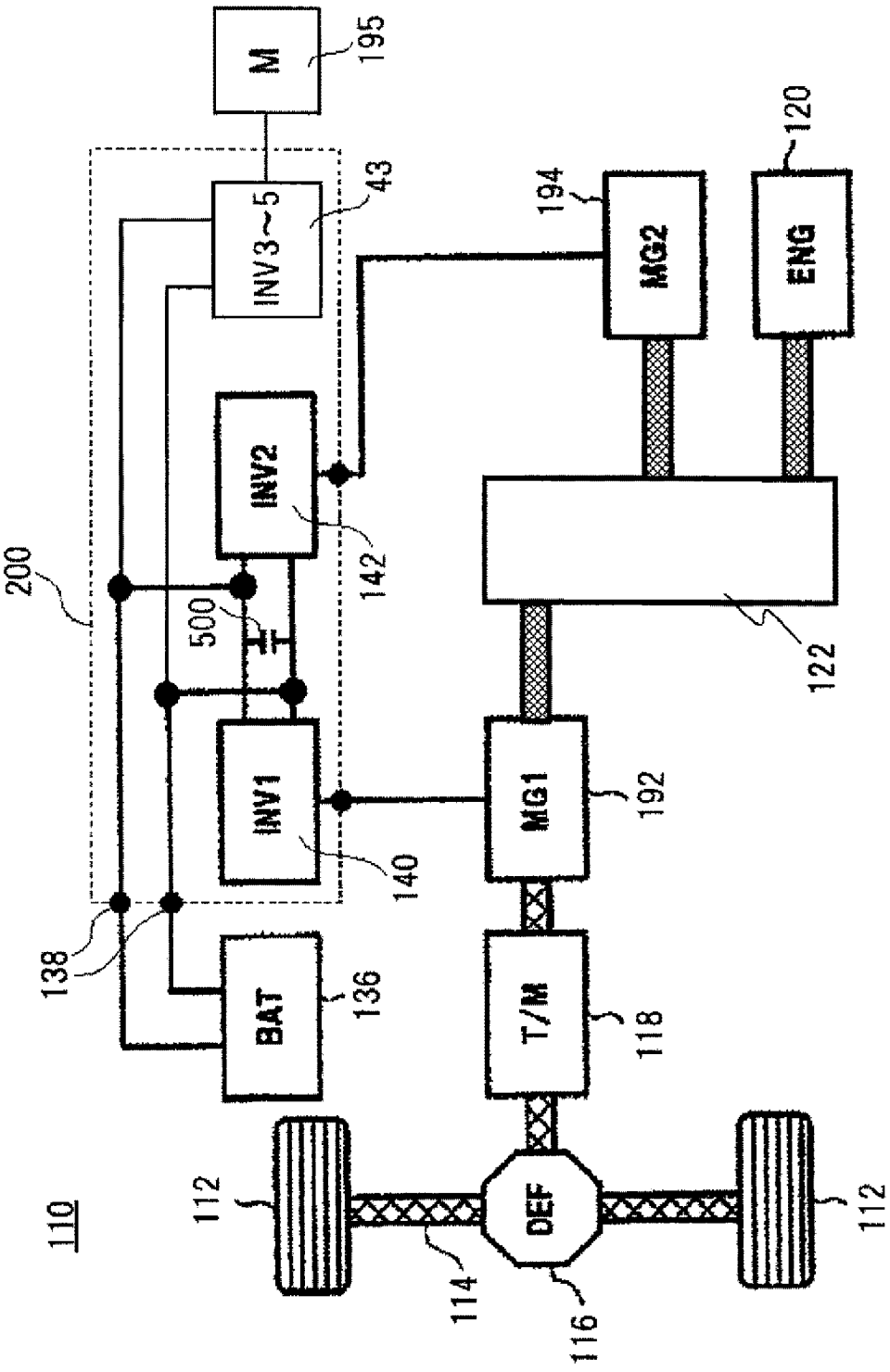
［請求項18］ 請求項１５乃至１７のいずれか１項に記載のパワーモジュールの製造方法において、

前記第２の工程は、前記溶射膜上に絶縁膜を形成する工程を含むことを特徴とするパワーモジュールの製造方法。

［請求項19］ 請求項１５乃至１８のいずれか１項に記載のパワーモジュールの製造方法において、

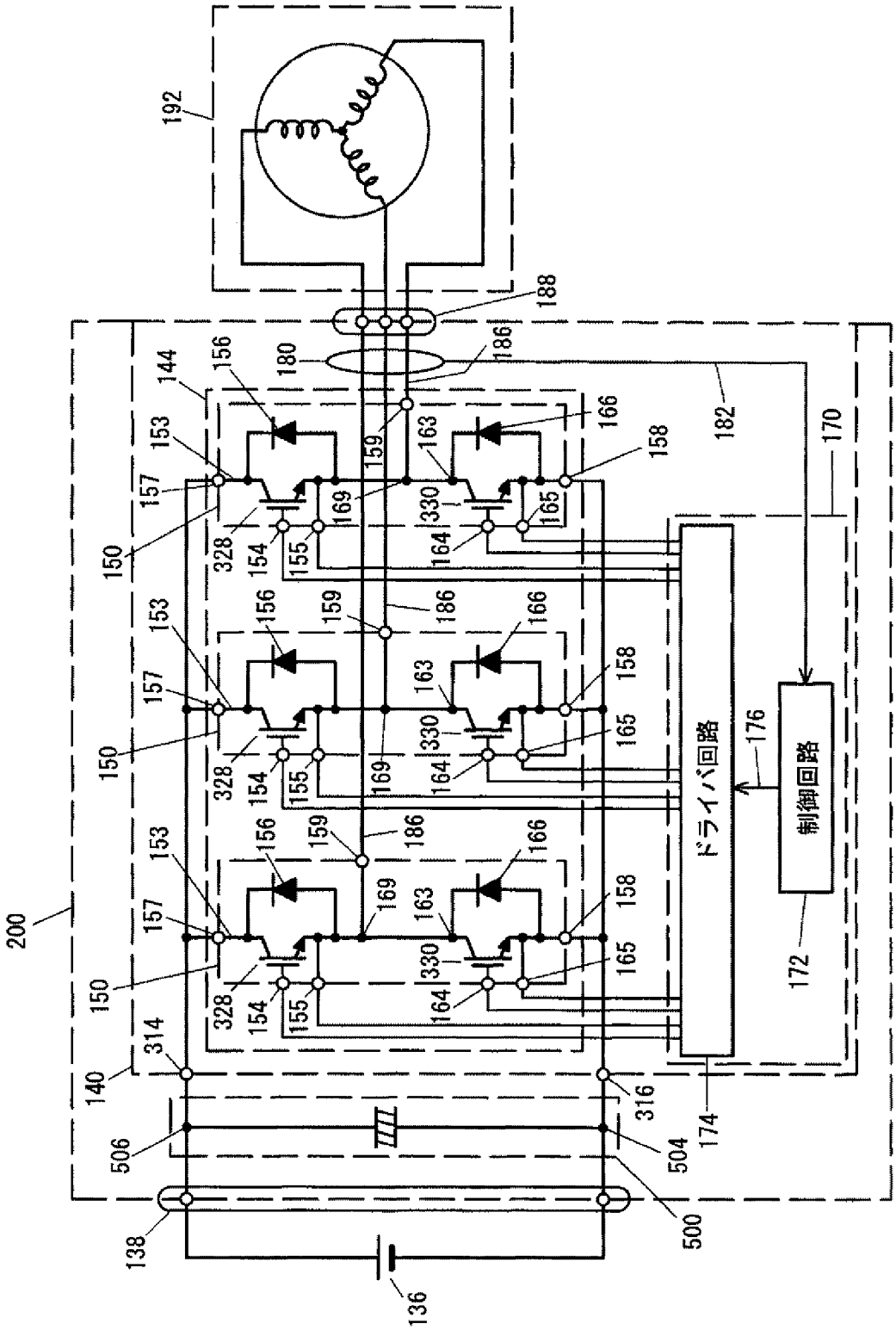
前記第２の工程は、前記の溶射膜上にフィラー含有樹脂からなる絶縁シートを配置し、前記絶縁シートを加圧して前記溶射膜の前記空孔内にフィラー含有樹脂を含浸させる工程を含むことを特徴とするパワーモジュールの製造方法。

[図1]


M
195
INV3～5
43
INV2
142
INV1
140
200
500
138
BAT
136
194
MG2
120
ENG
122
MG1
192
T/M
118
DEF
110
112
114
116
112

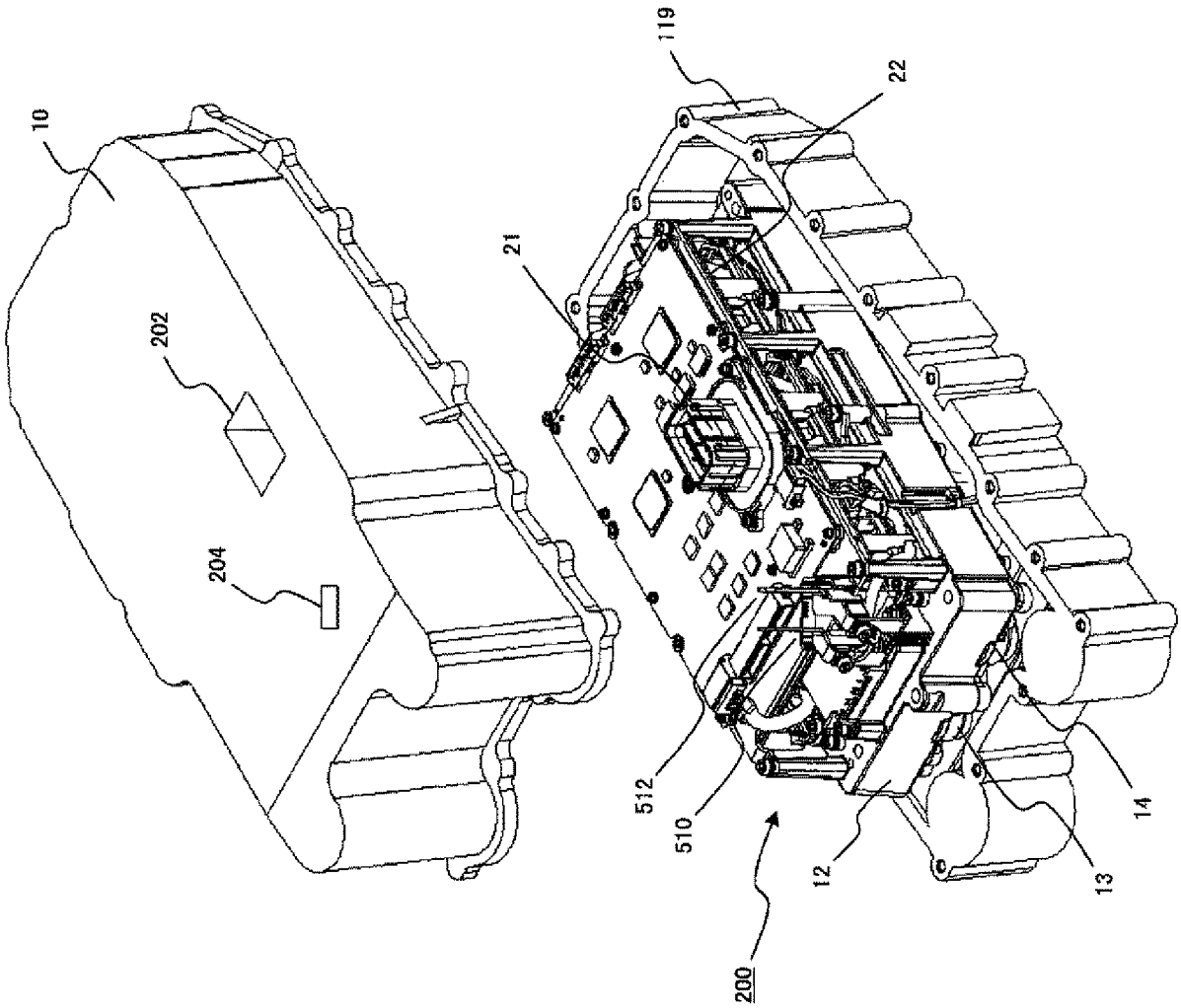
【図1】

[図2]


192
188
186
180
144
156
182
170
153
166
158
157
163
159
169
330
165
328
154
155
164
150
200
ドライバ回路
176
制御回路
172
314
140
316
174
506
504
500
138
136

【図2】

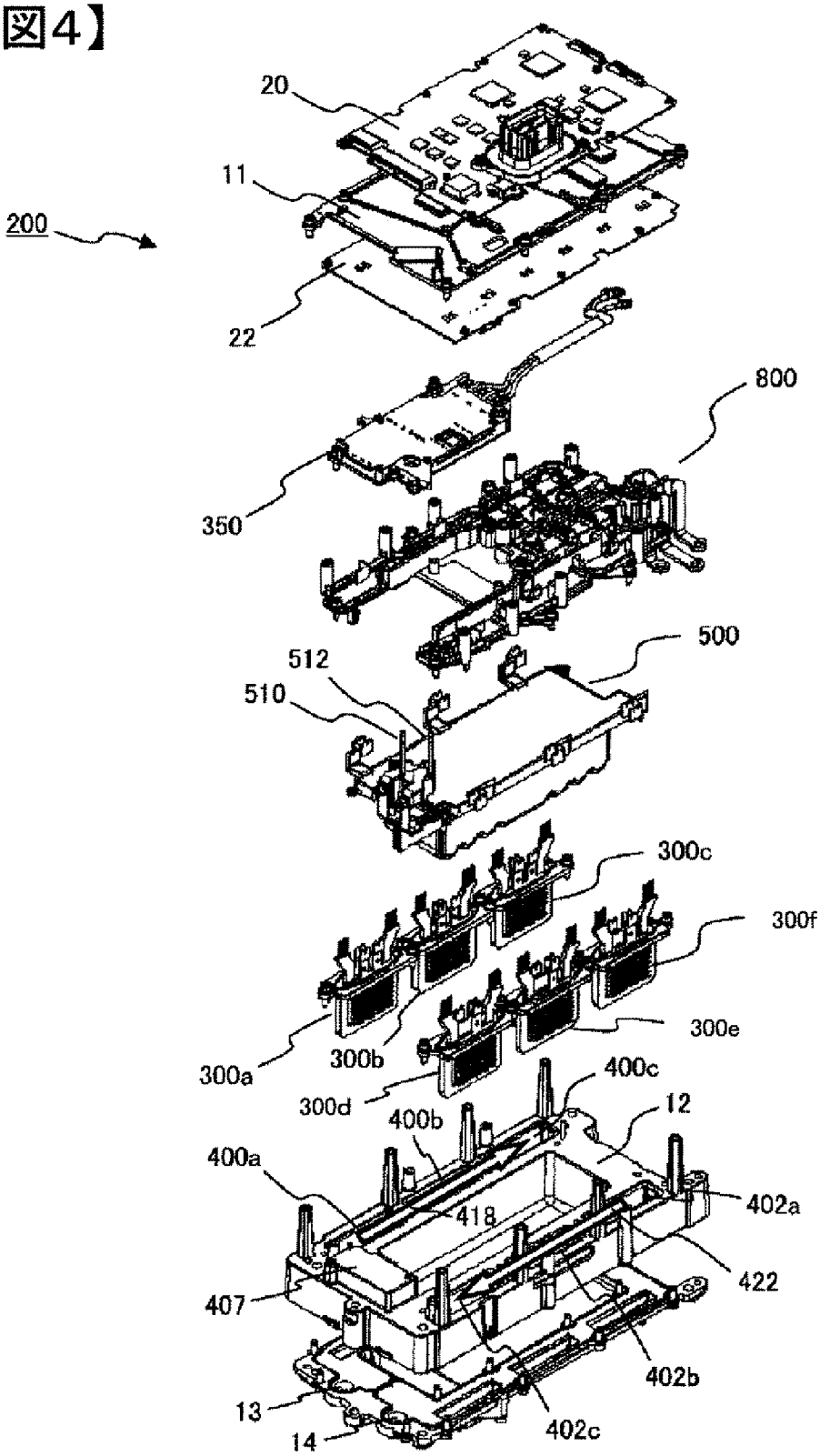
[図3]



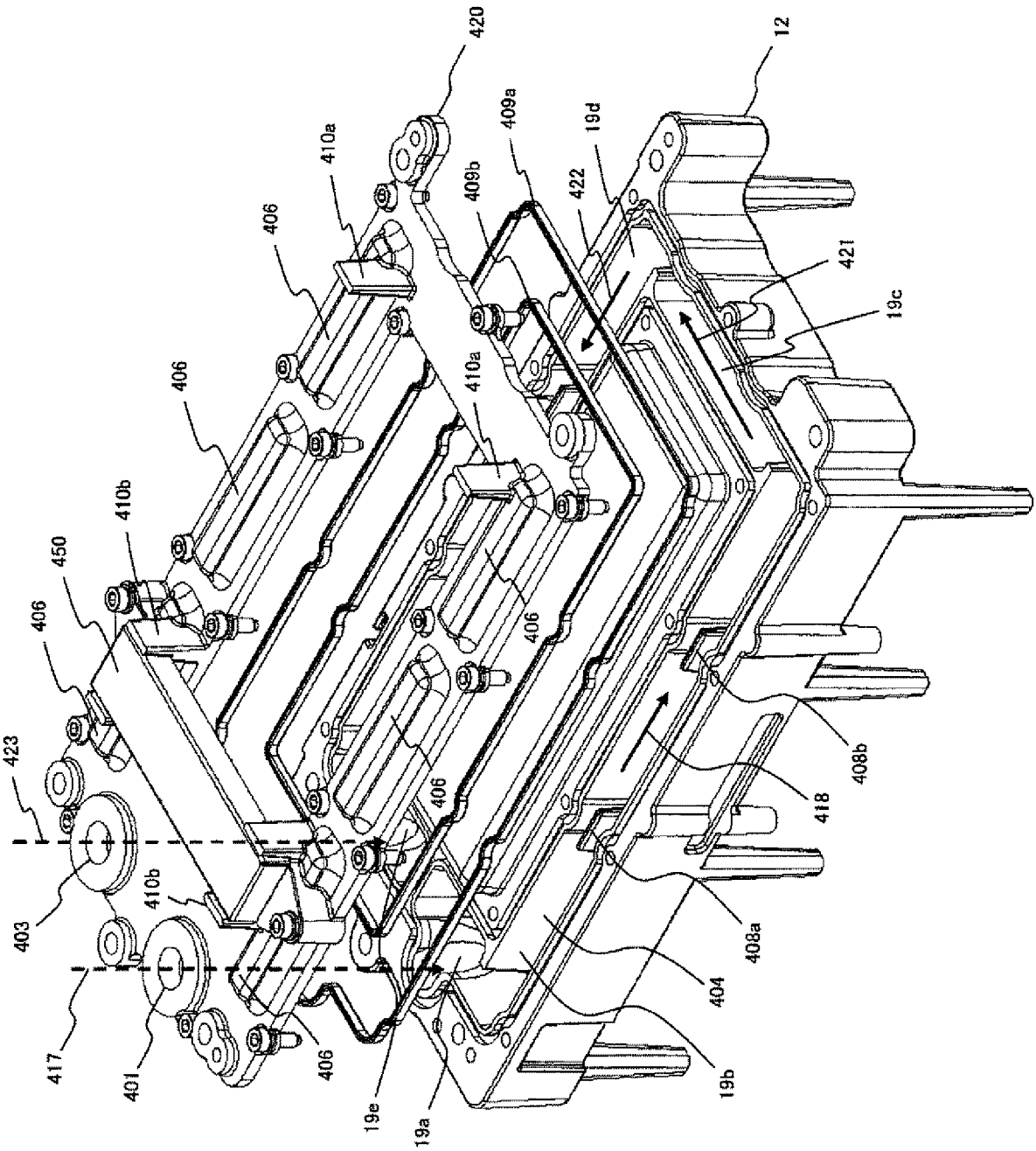
【図3】

[図4]

【図4】

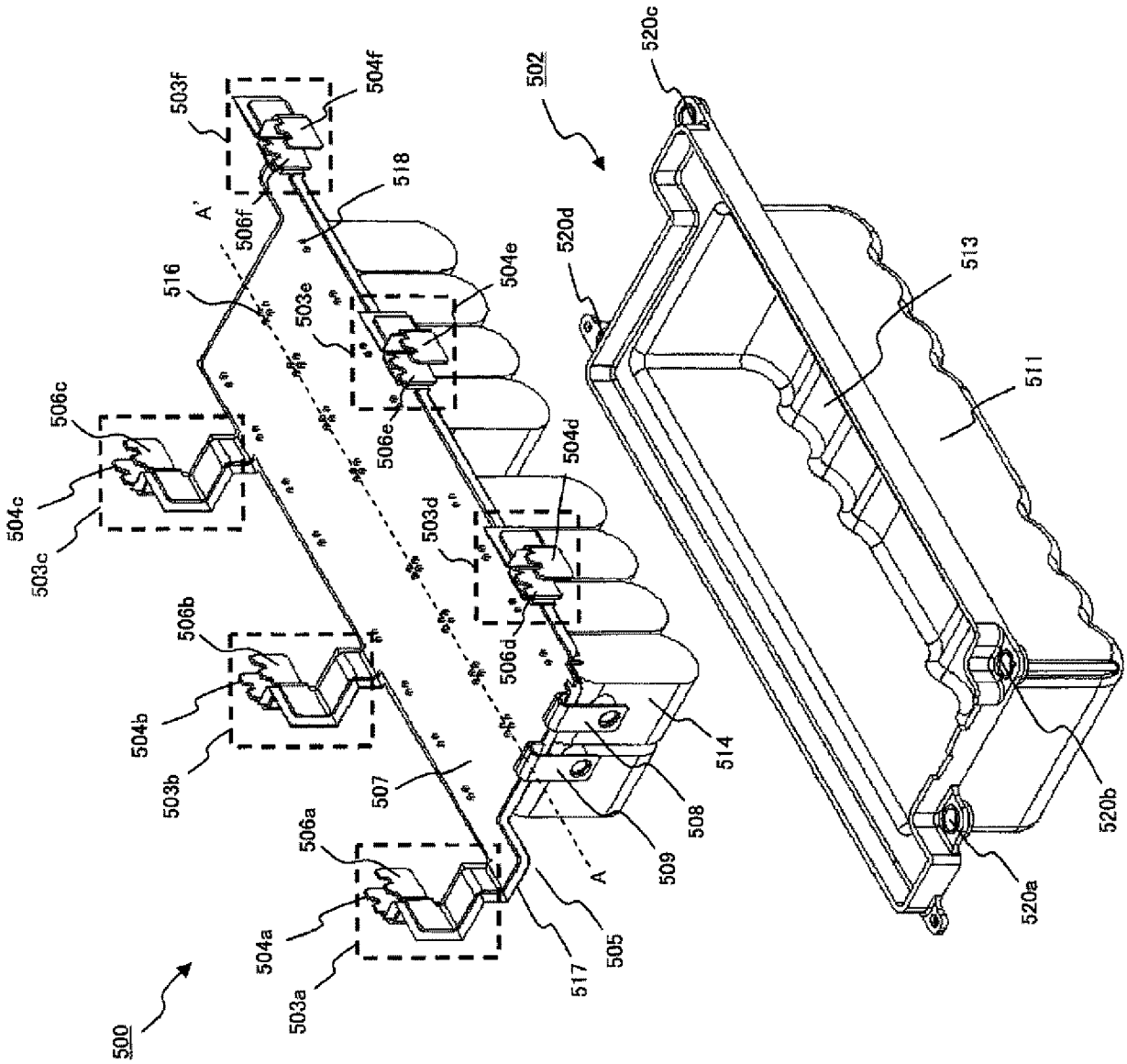

20
11
200
22
800
350
500
512
510
300c
300f
300e
300a
300b
300d
400c
12
400b
400a
418
402a
422
407
402b
13
402c
14

[図5]


420
12
409a
19d
410a
408b
422
406
421
19c
410a
406
410b
450
406
406
423
406
408b
418
410b
403
408a
404
401
417
406
19e
19a
19b

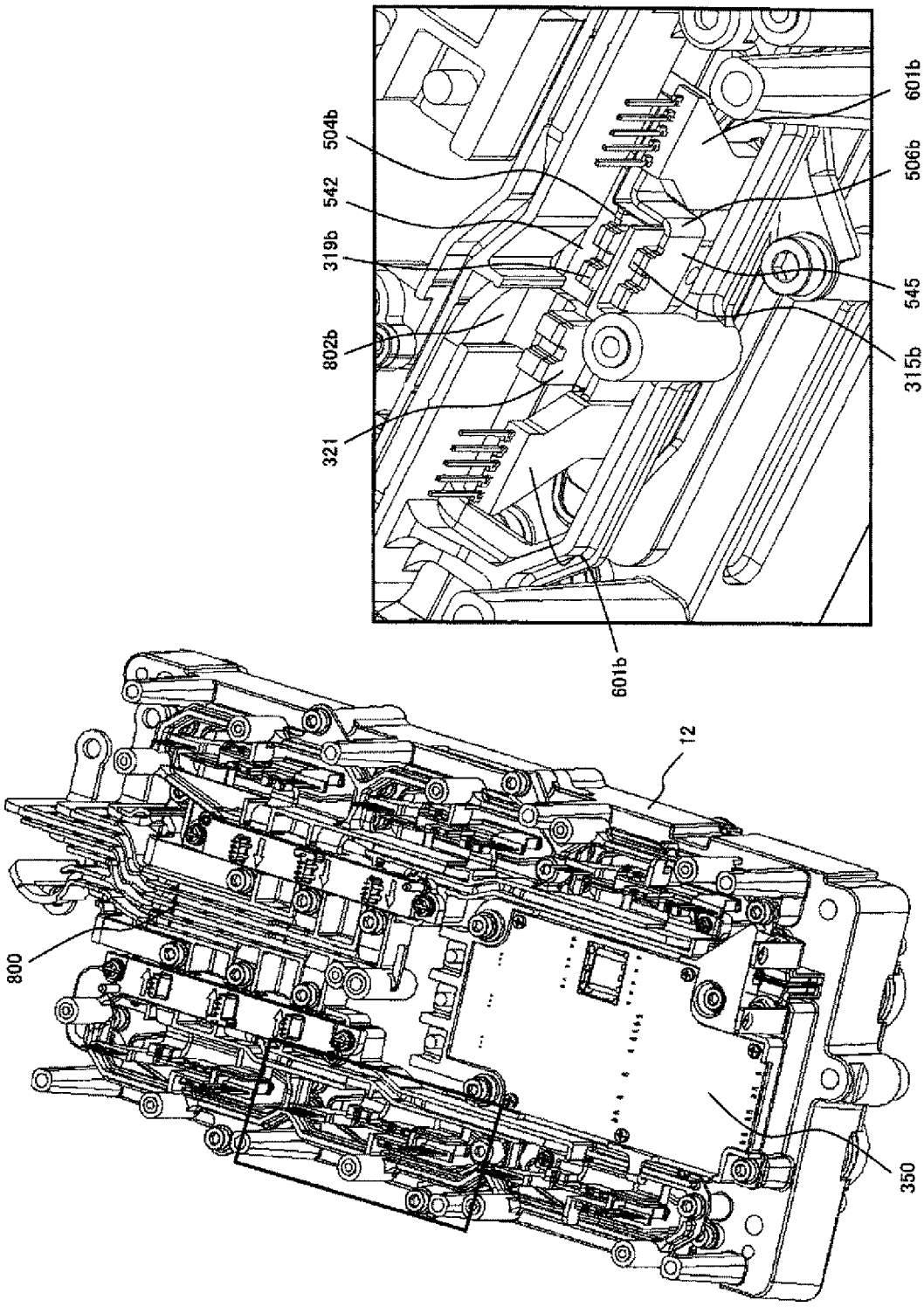
【図5】

[図6]


500
502
503a
503b
503c
503d
503e
503f
504a
504b
504c
504d
504e
504f
505
506a
506b
506c
506d
506e
506f
507
508
509
511
513
514
516
517
518
520a
520b
520c
520d
A
A'

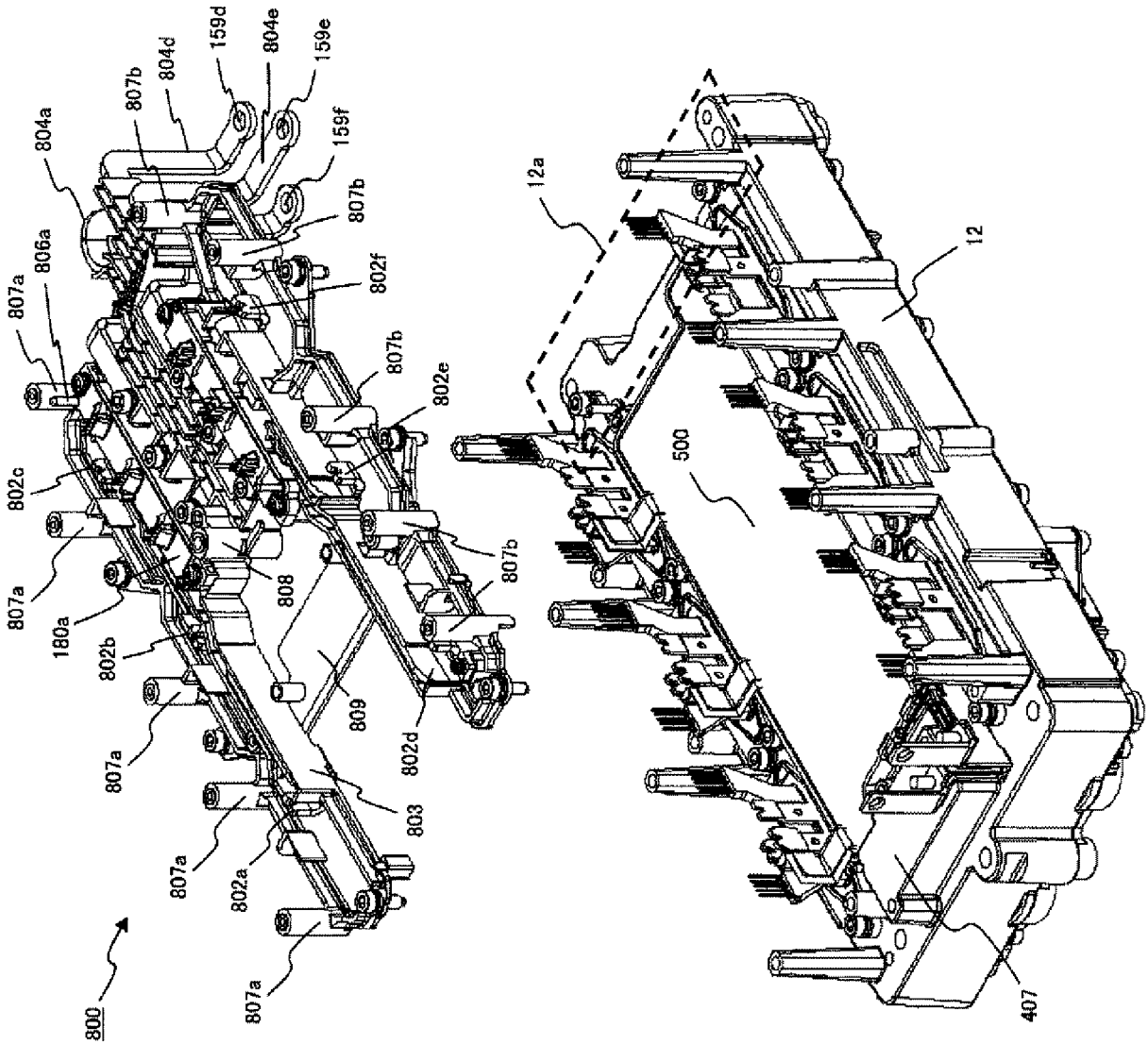
【図6】

[図7]



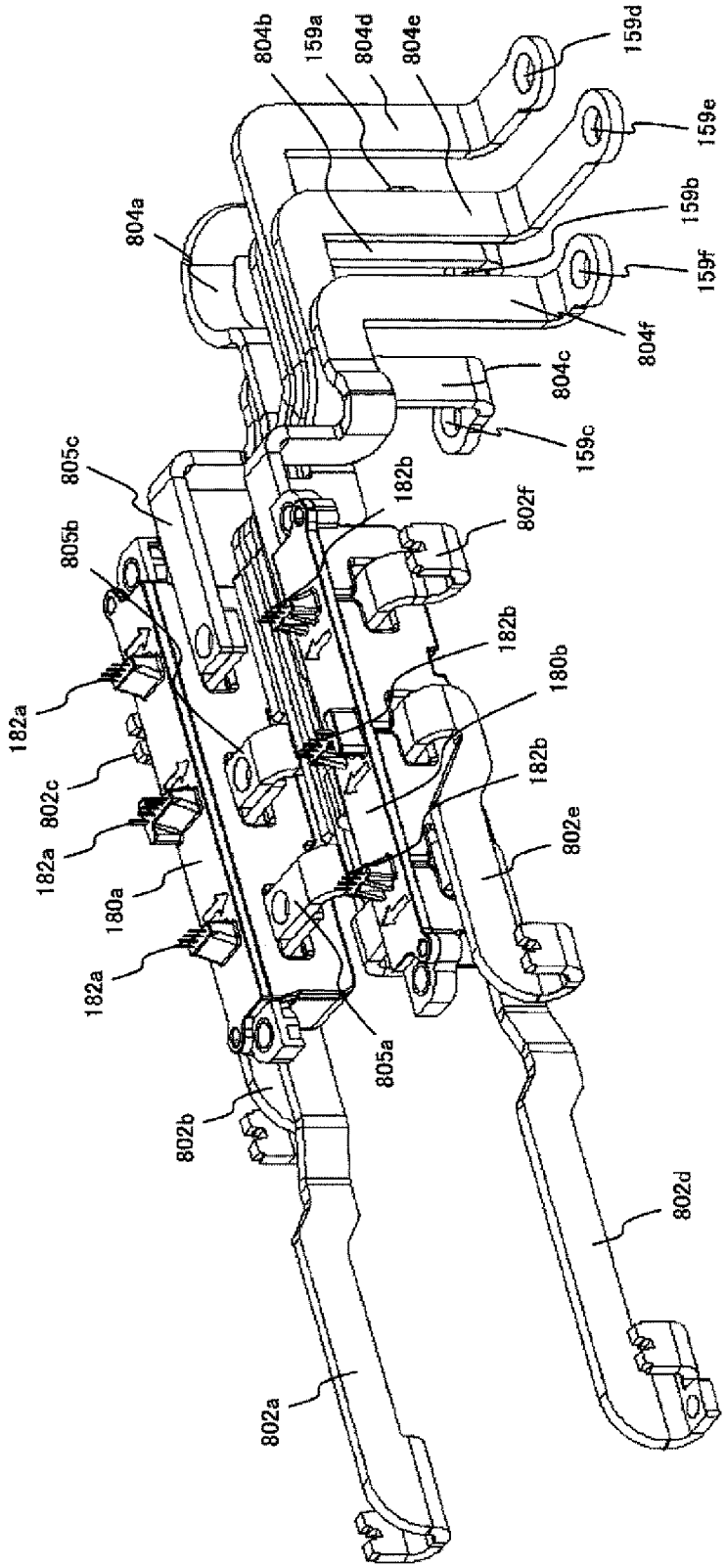
【図7】

[図8]


800
807a
802a
807a
803
802d
809
807a
802b
180a
807a
802c
807a
806a
804a
807b
804d
159d
804e
159e
159f
807b
802f
807b
802e
807b
808
12a
500
12
407

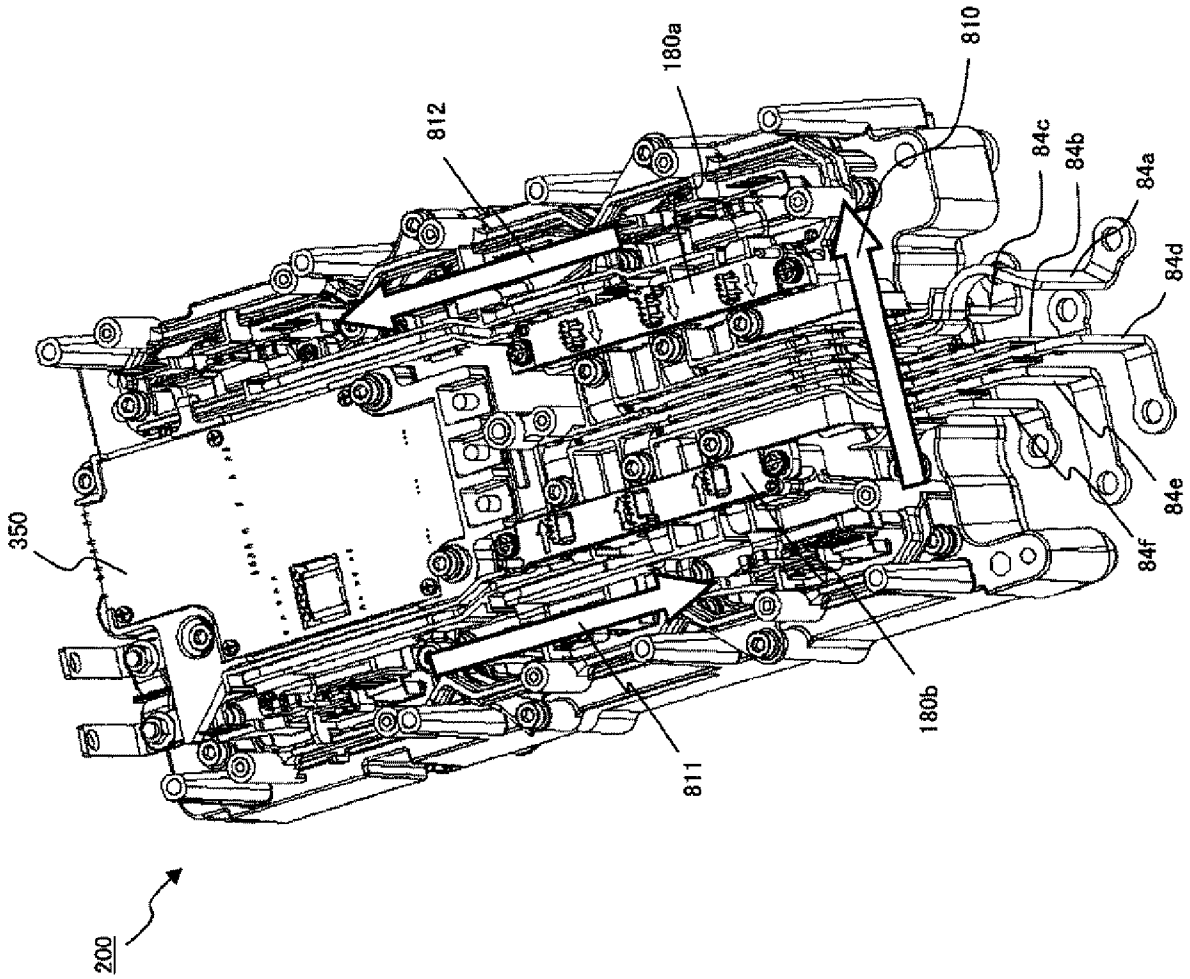
【図8】

[図9]


804b
159a
804d
804e
159d
159e
804a
159b
159f
804f
804c
159c
805c
805b
182b
802f
182a
802c
180b
182b
802e
180a
805a
802b
802d
802a

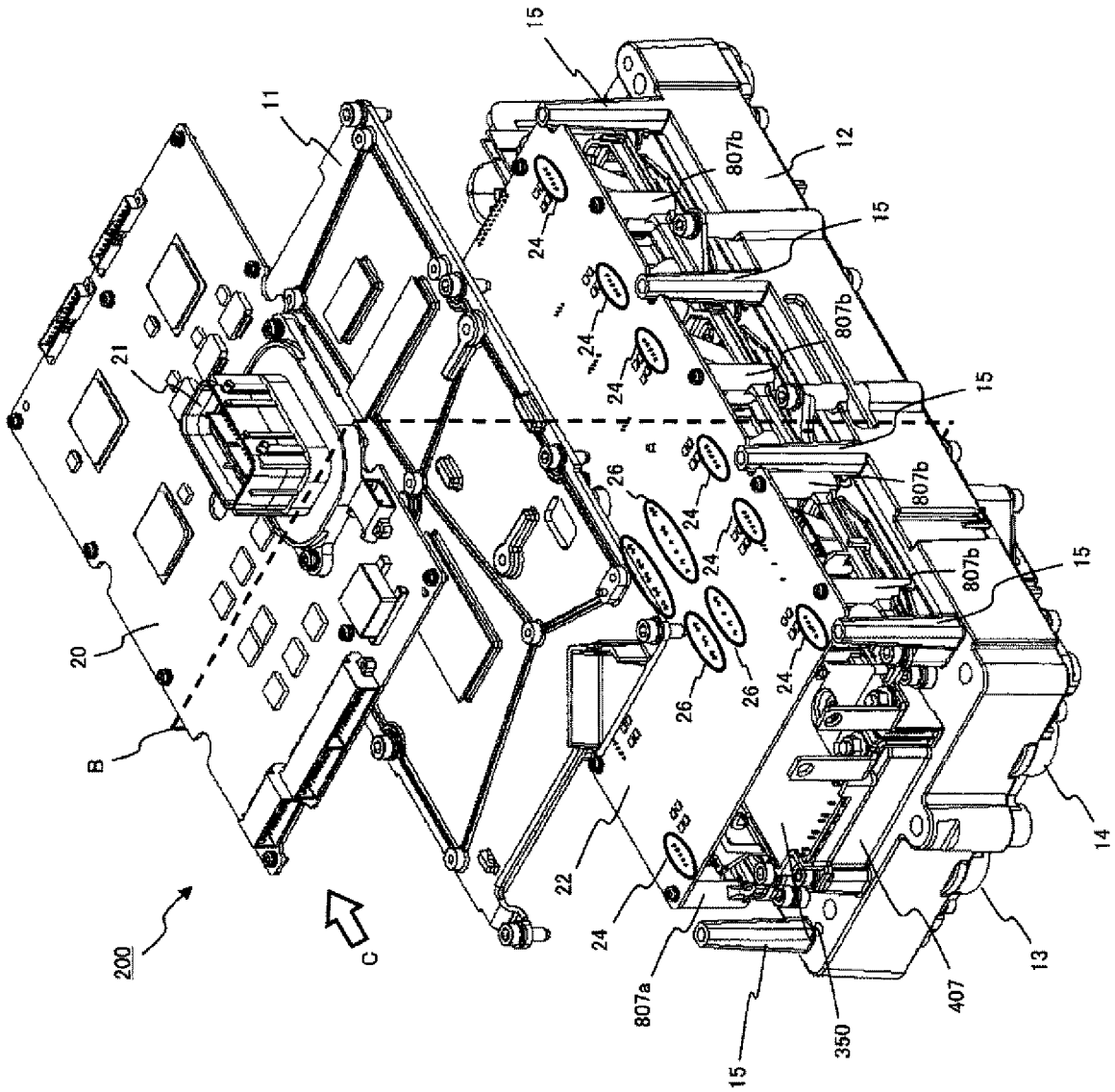
【図9】

[図10]



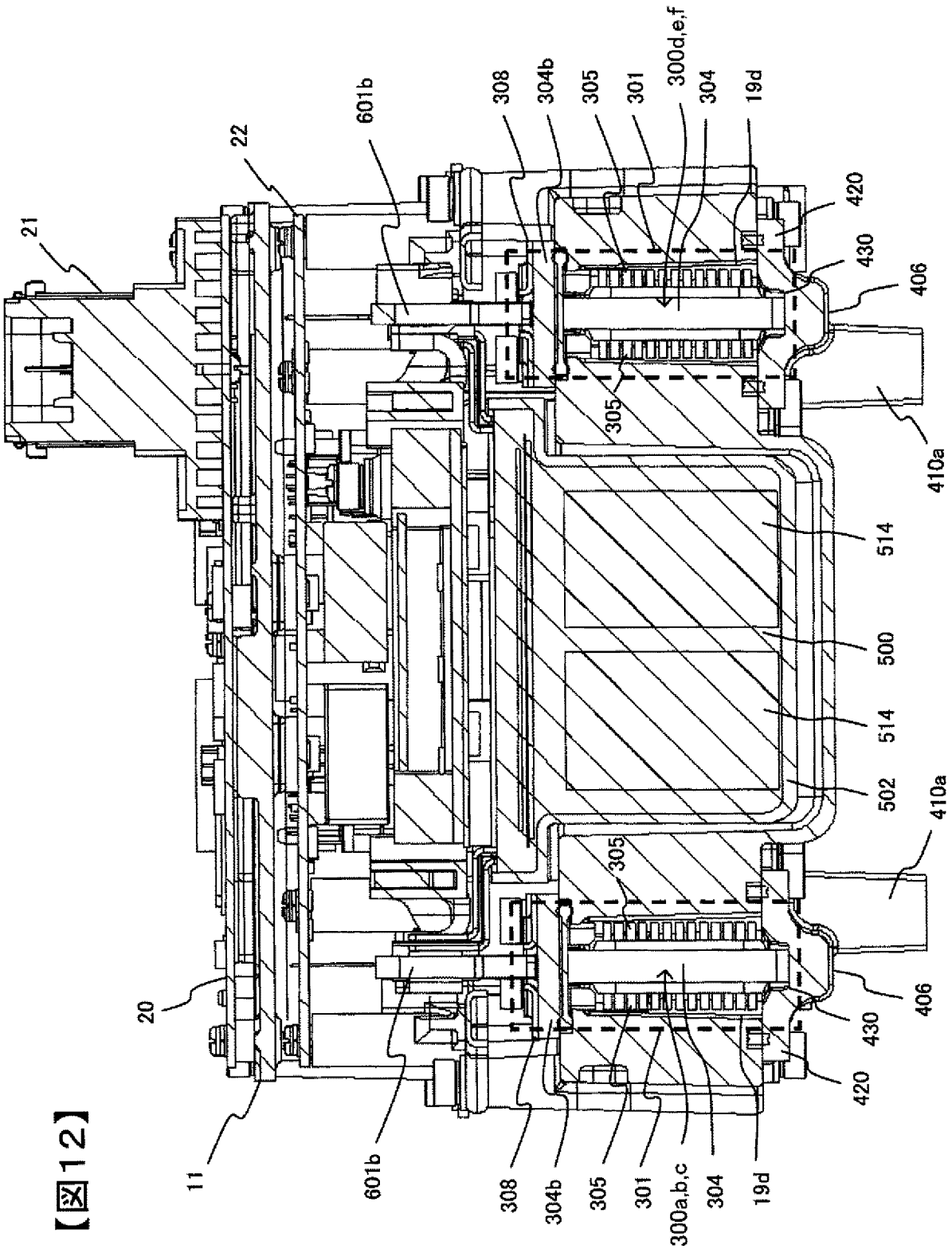
【図10】

[図11]


15
11
807b
12
15
24
807b
21
15
26
807b
20
15
B
26
26
24
14
22
24
807a
15
350
407
13
200
C

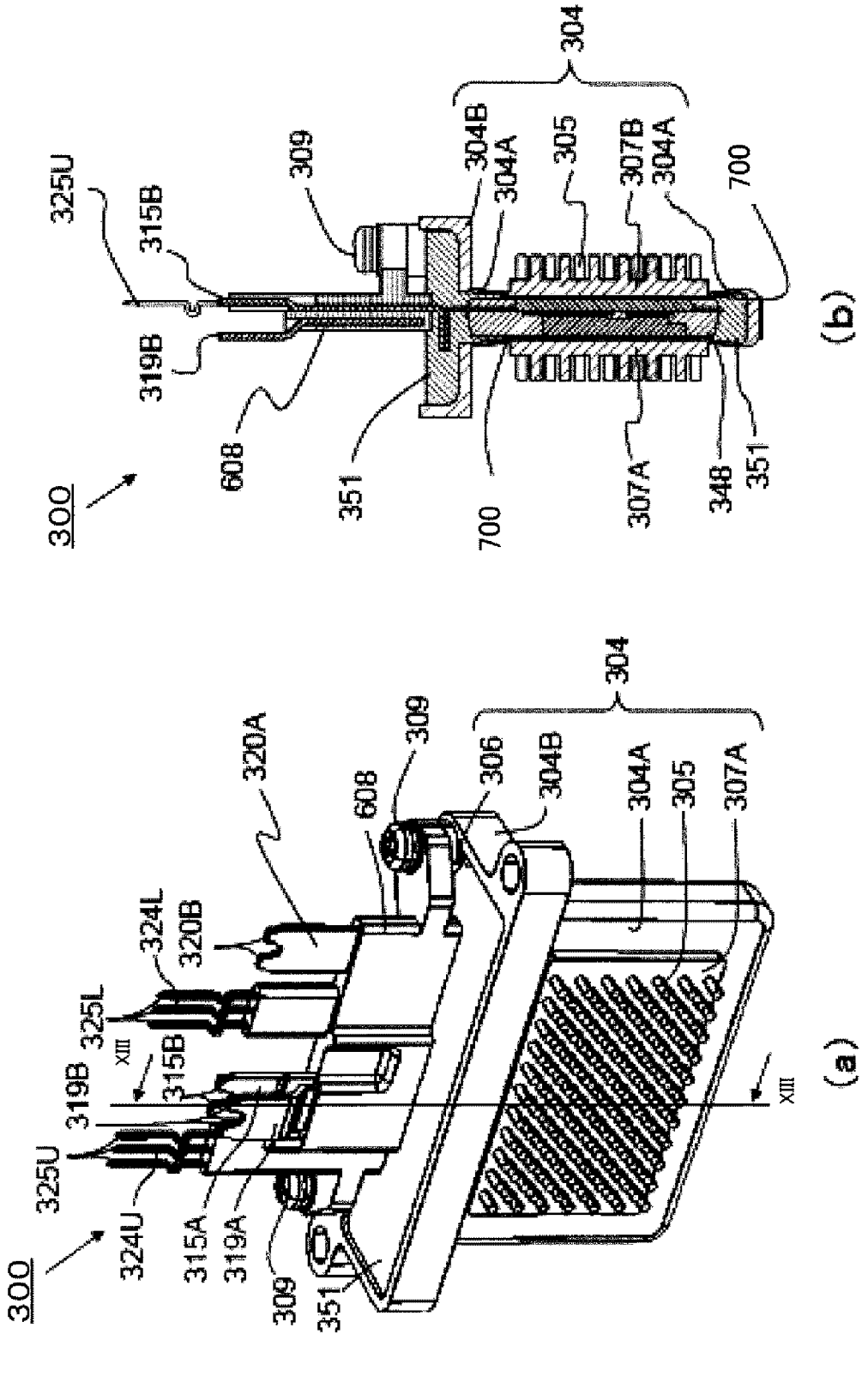
【図１１】

[図12]


21
22
601b
308
304b
305
301
300d,e,f
304
19d
420
430
406
410a
514
500
514
502
410a
406
430
420
20
11
601b
308
304b
305
301
300a,b,c
304
19d

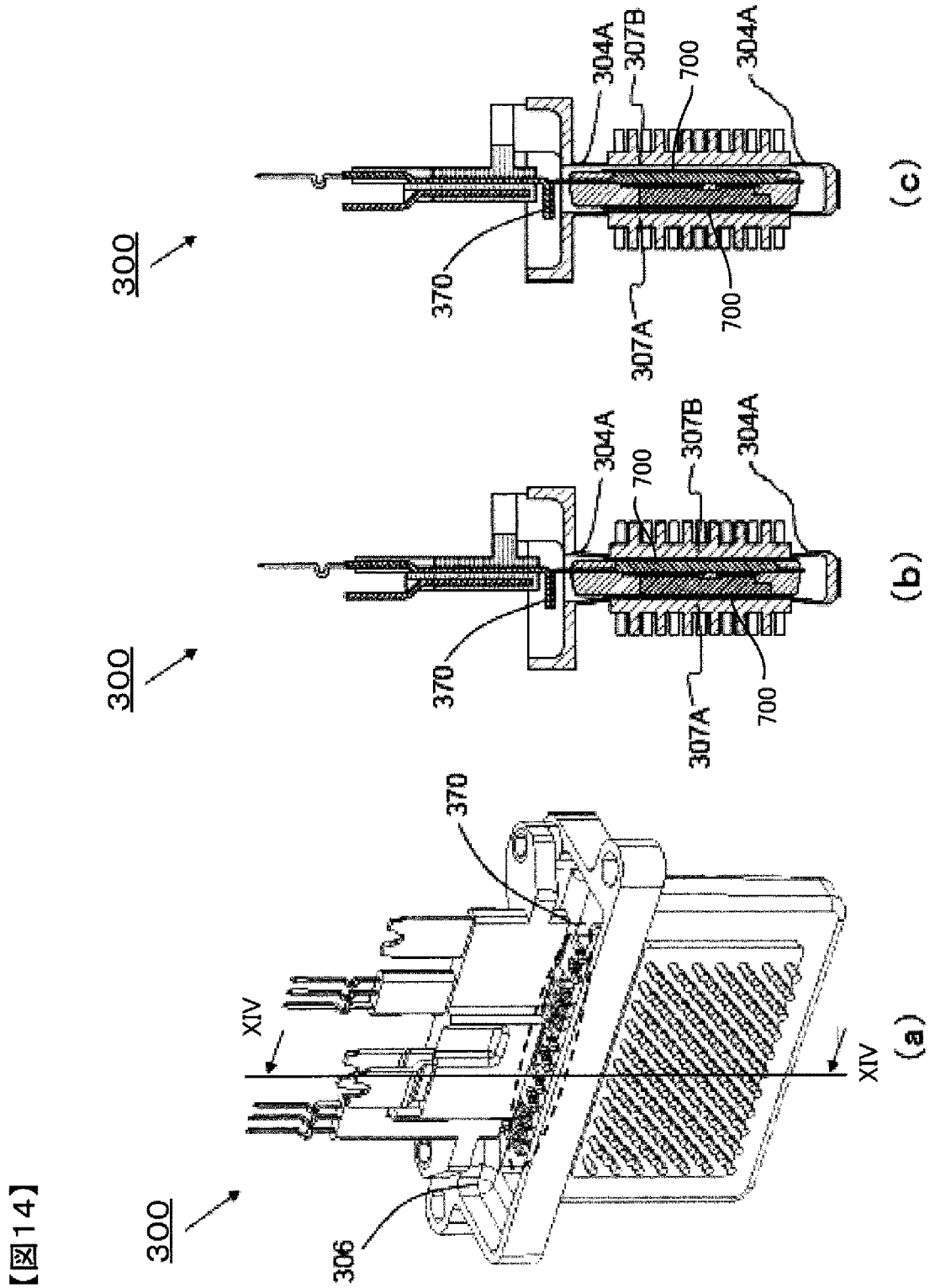
【図12】

[図13]


300
325U
315B
319B
608
351
309
304B
304A
305
307B
304A
700
307A
348
351
700
(b)
300
324U
315A
319A
309
351
325U
319B
315B
325L
324L
320B
320A
608
309
306
304B
304
304A
305
307A
XIII
XIII
(a)

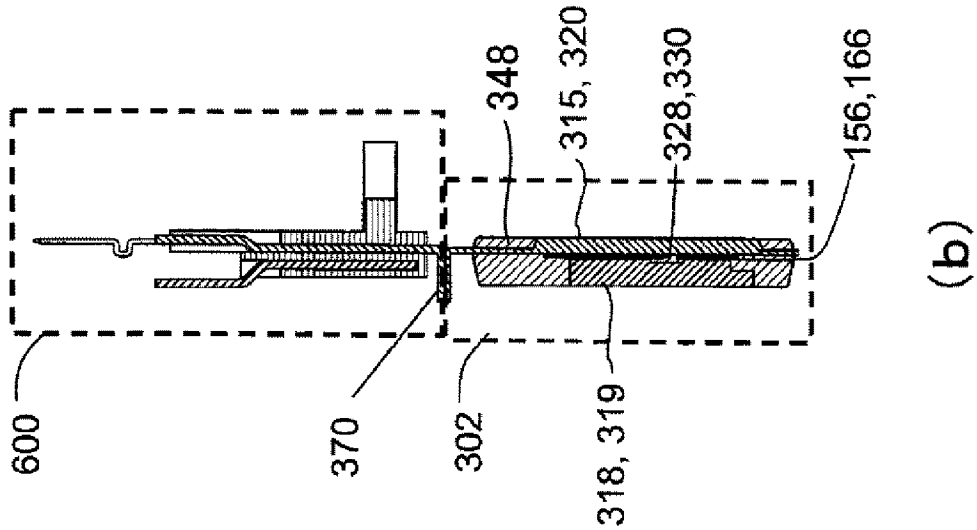
【図13】

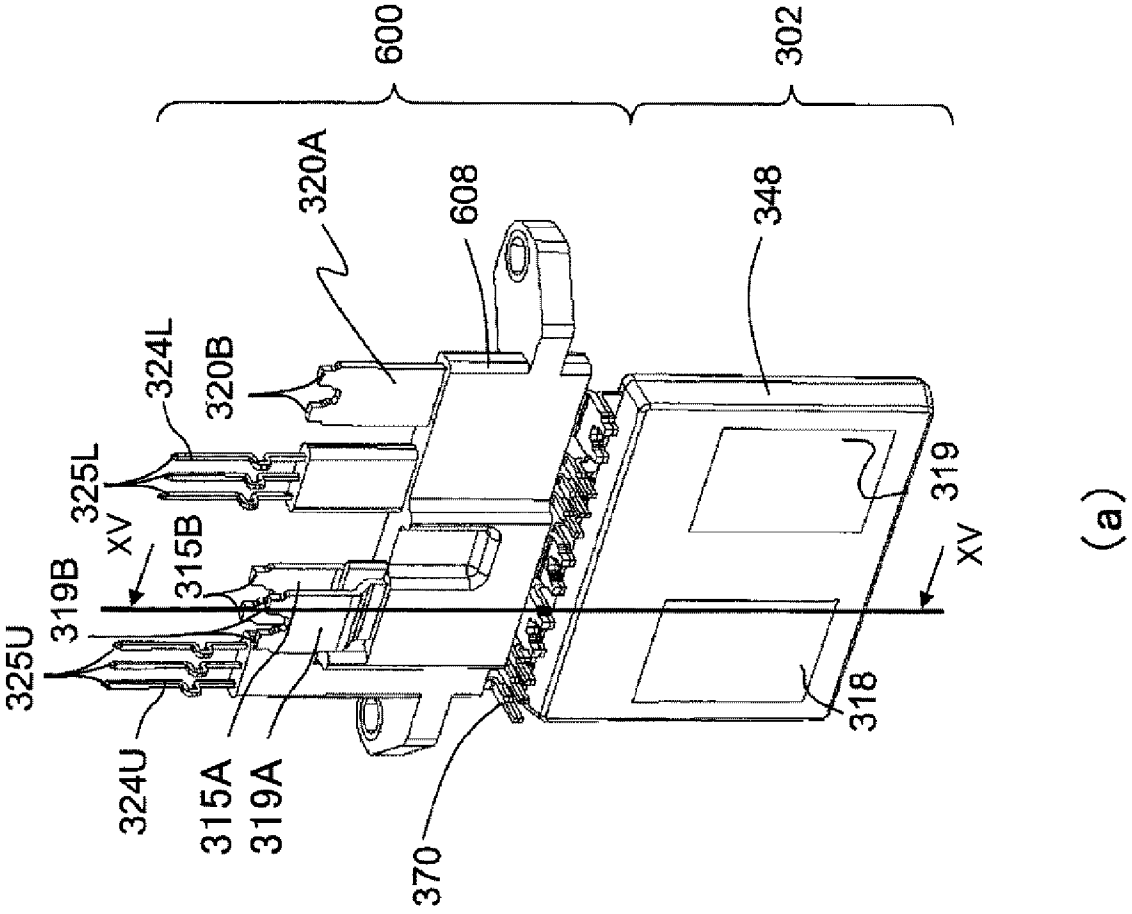
[図14]


300
370
304A
307B
700
304A
307A
700
(c)
300
370
304A
700
307B
304A
307A
700
(b)
300
370
XIV
XIV
306
(a)

【図14】

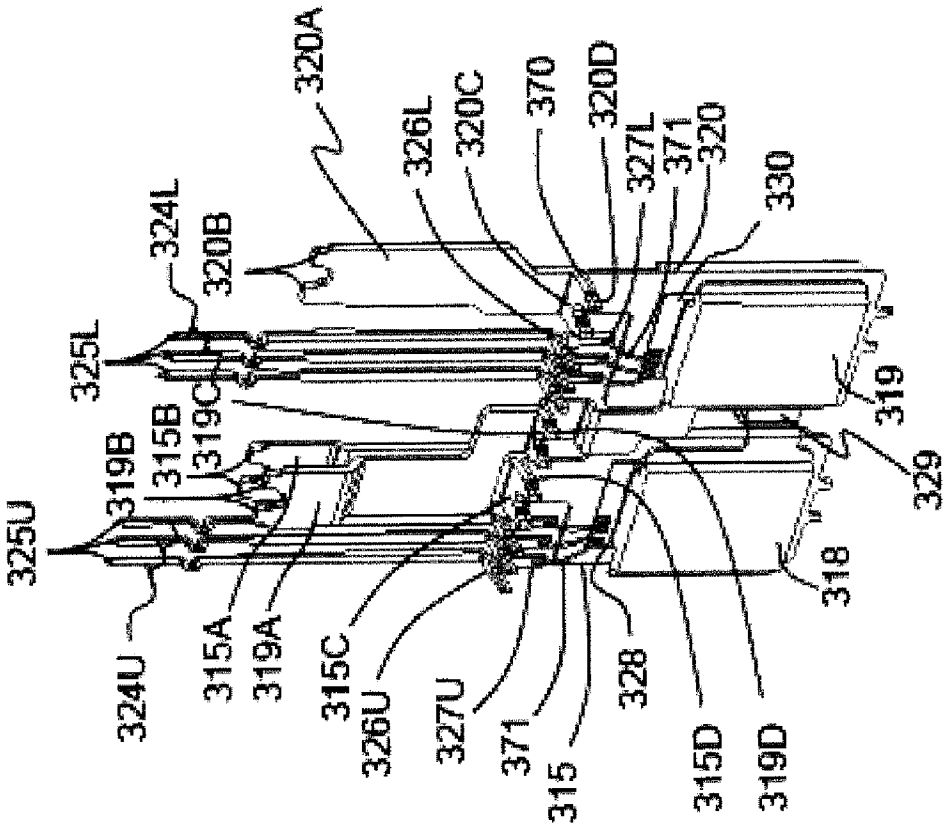
[図15]


600
370
302
318, 319
348
315, 320
328,330
156,166
(b)


600
302
320A
608
348
324L
320B
325L
XV
315B
319B
325U
324U
315A
319A
370
319
318
XV
(a)

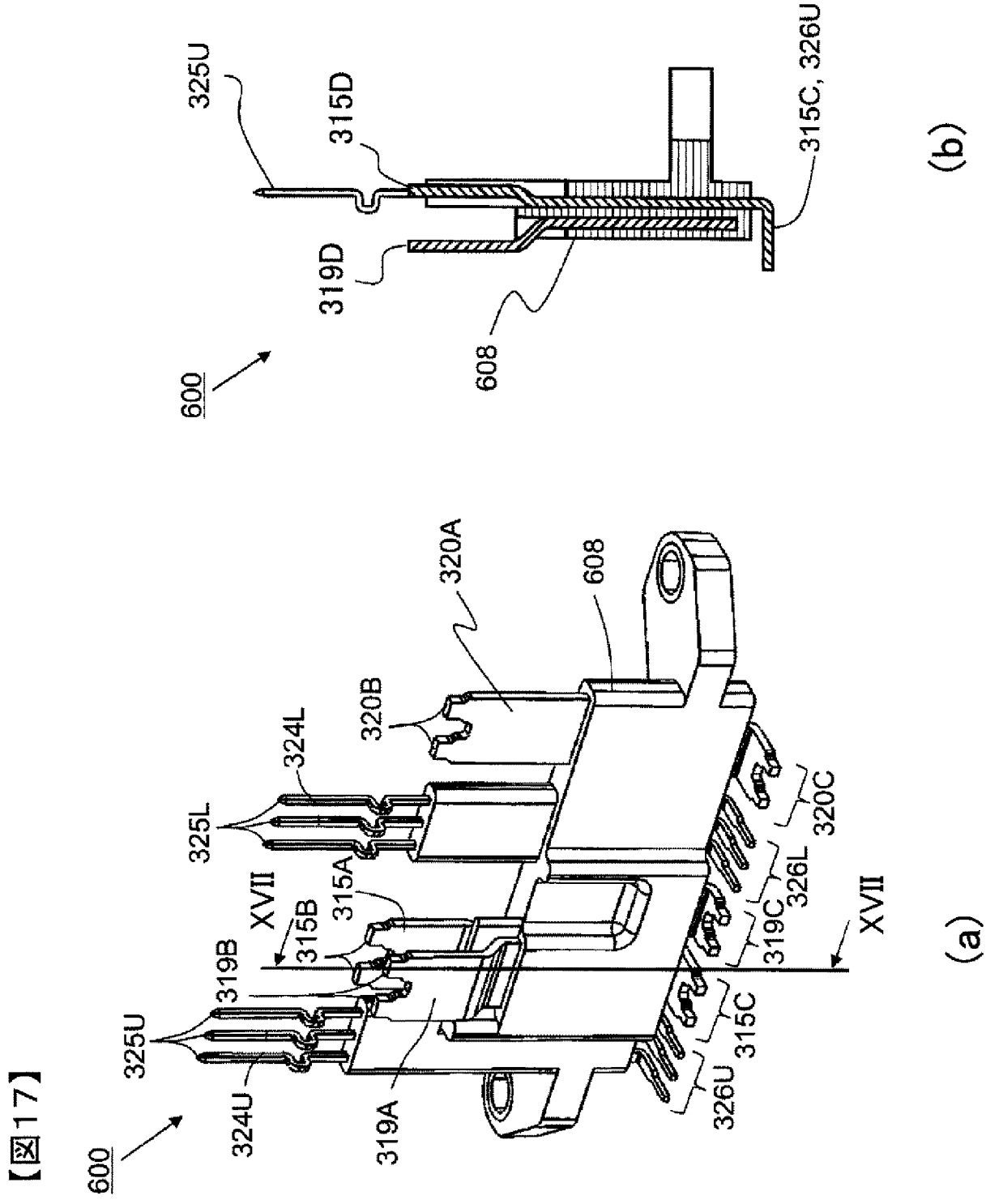
【図15】

[図16]


320A
326L
320C
370
320D
327L
371
320
330
324L
320B
325L
319C
315B
319B
325U
319
329
318
324U
315A
319A
315C
326U
327U
371
315
328
315D
319D

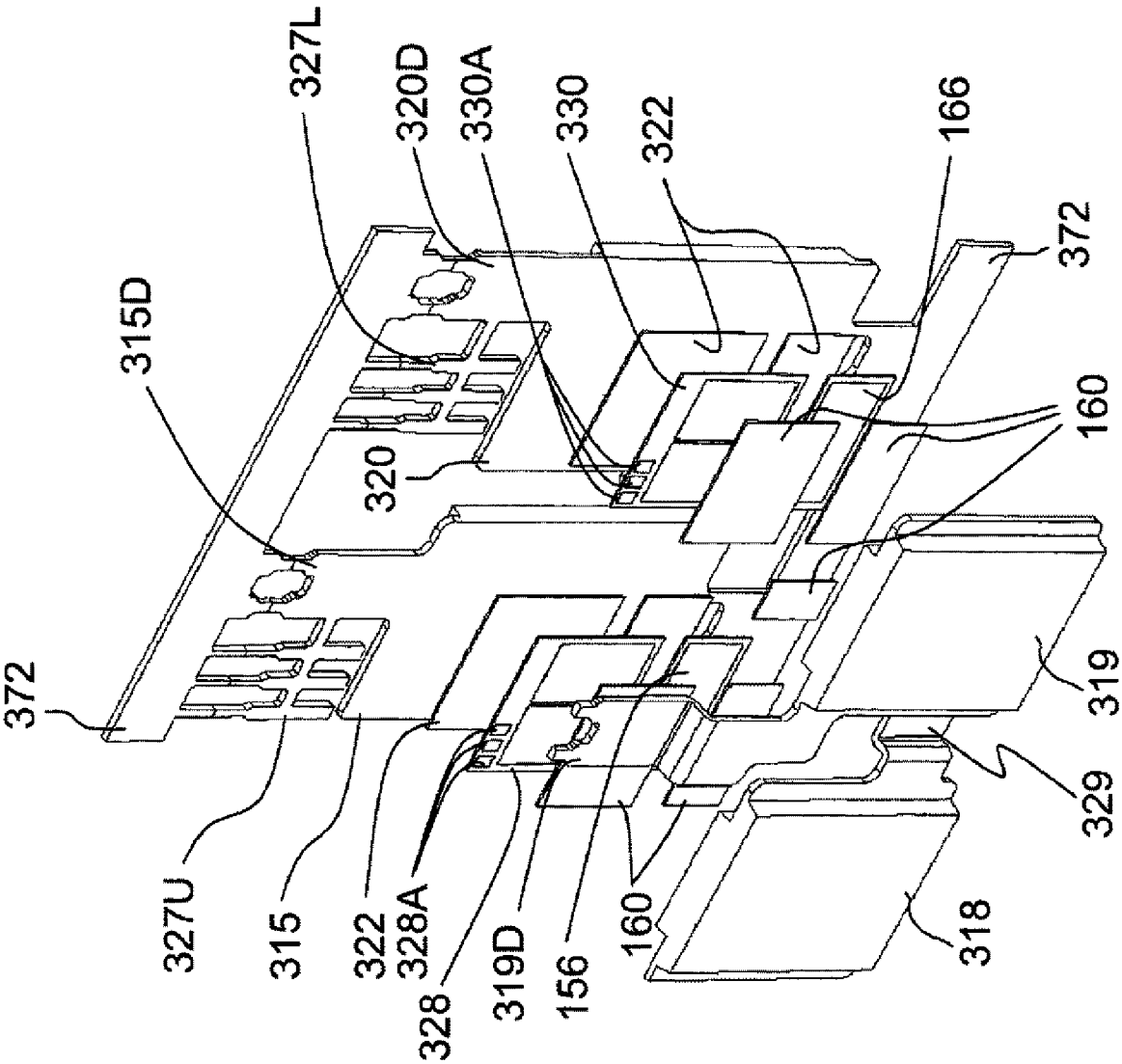
【図16】

[図17]


600
325U
315D
319D
608
315C, 326U
(b)
600
325U
324U
319A
319B
315B
315A
XVII
325L
324L
320B
320A
608
320C
326L
319C
315C
326U
XVII
(a)

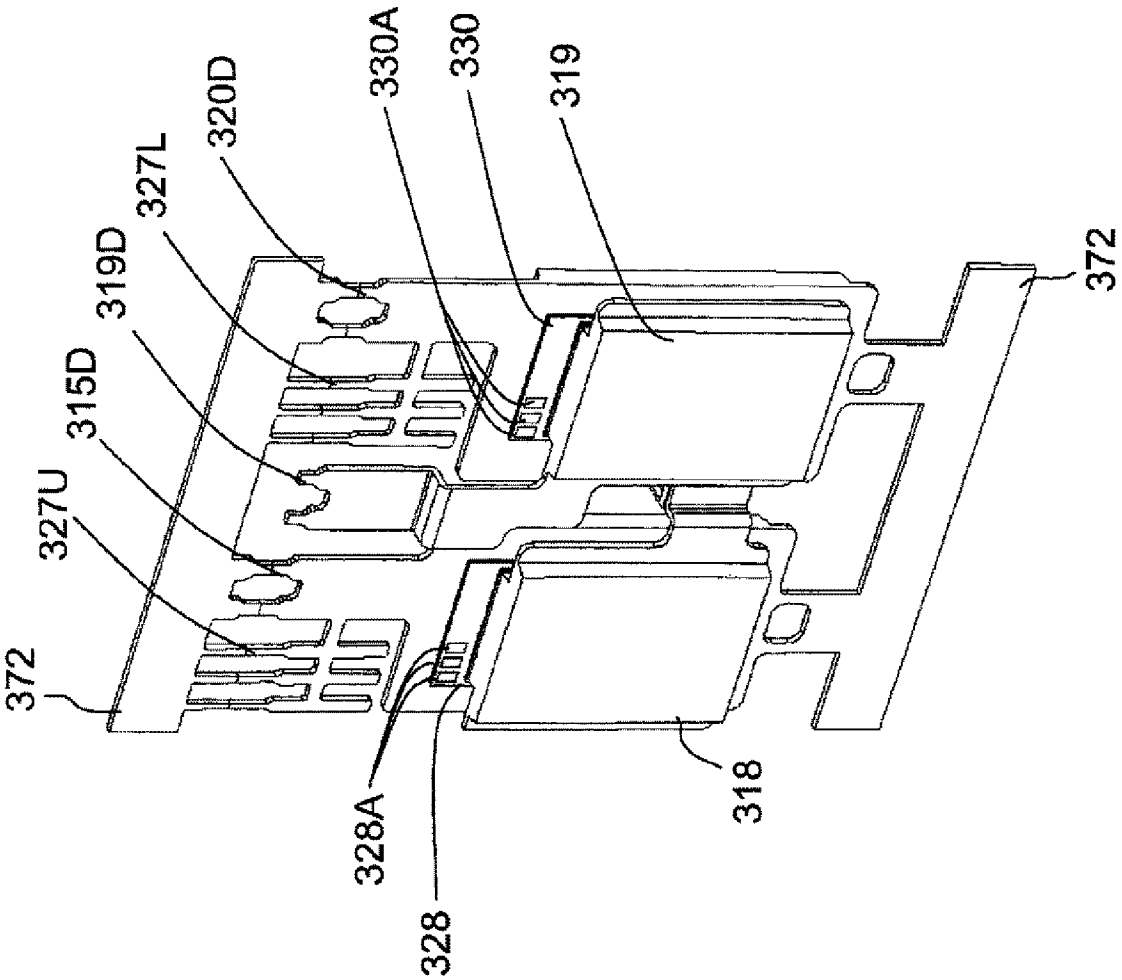
【図17】

[図18]


327L
320D
330A
330
322
166
372
315D
160
320
372
319
329
327U
315
322
328A
328
319D
156
160
318

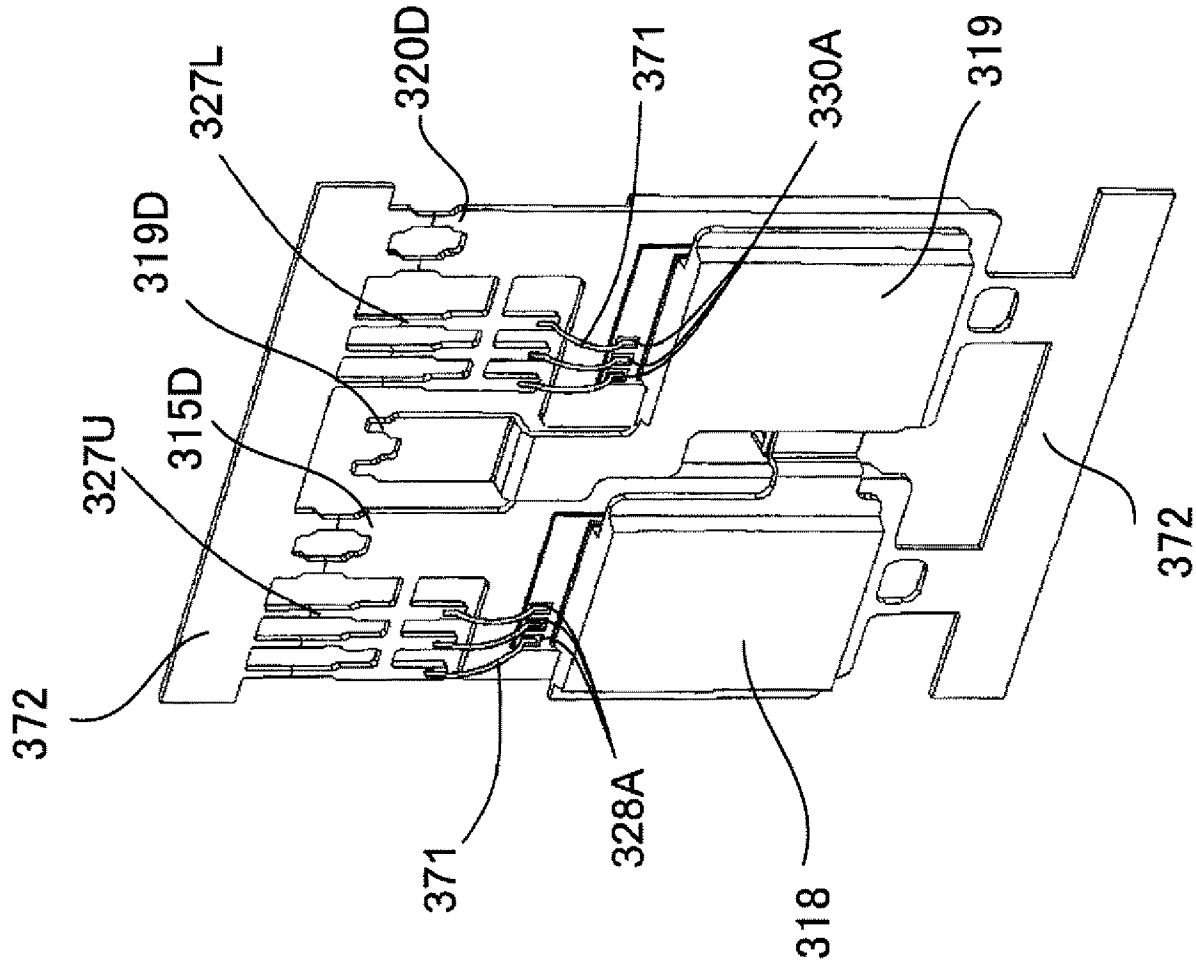
【図18】

[図19]



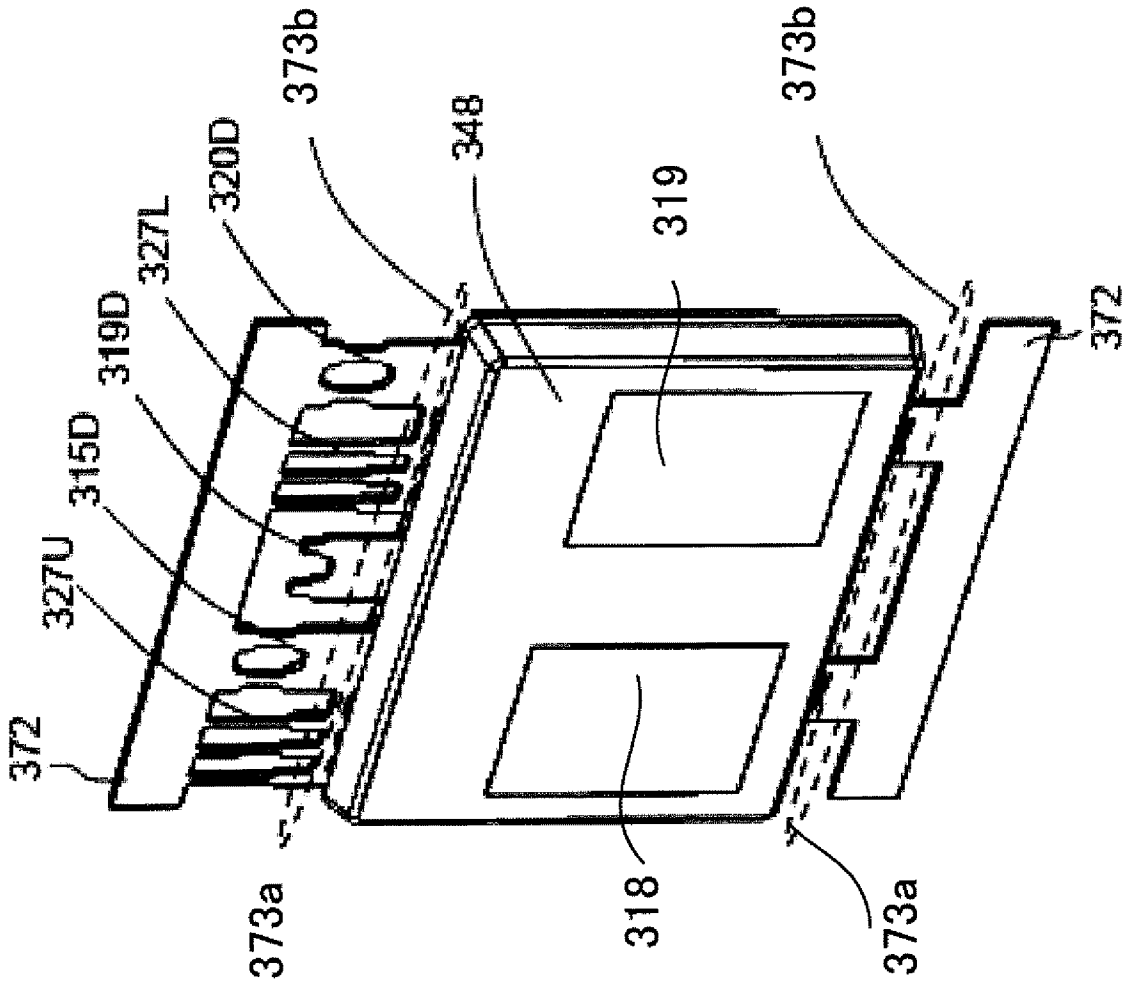
【図19】

[図20]



【図20】

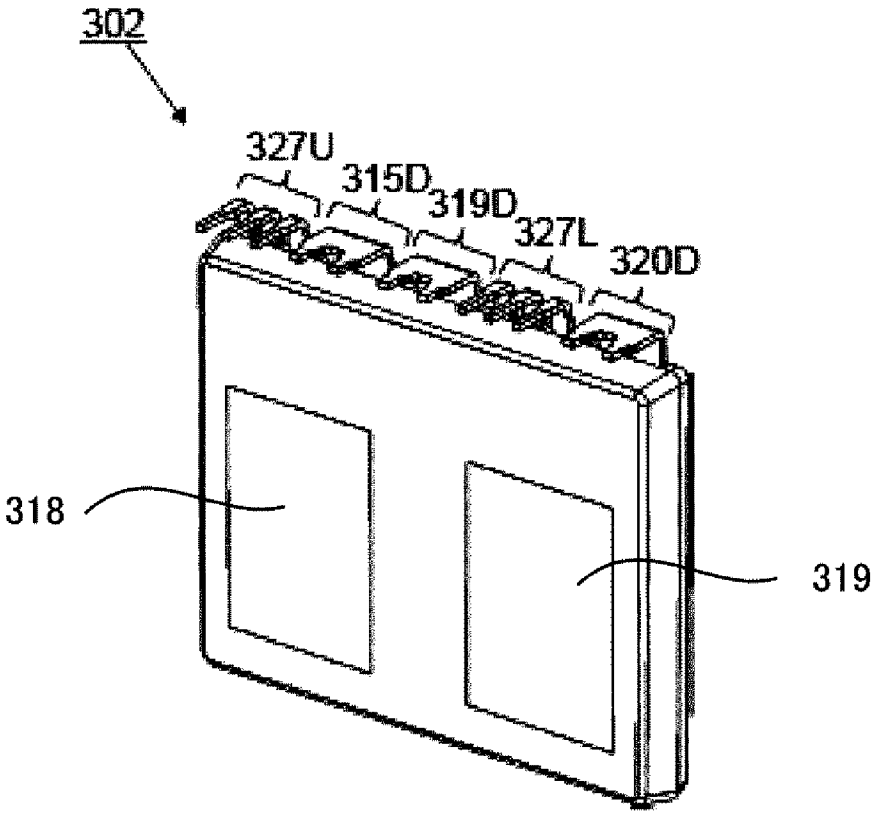
[図21]


373b
348
320D
327L
319D
315D
327U
372
373a
319
318
373b
372
373a

【図21】

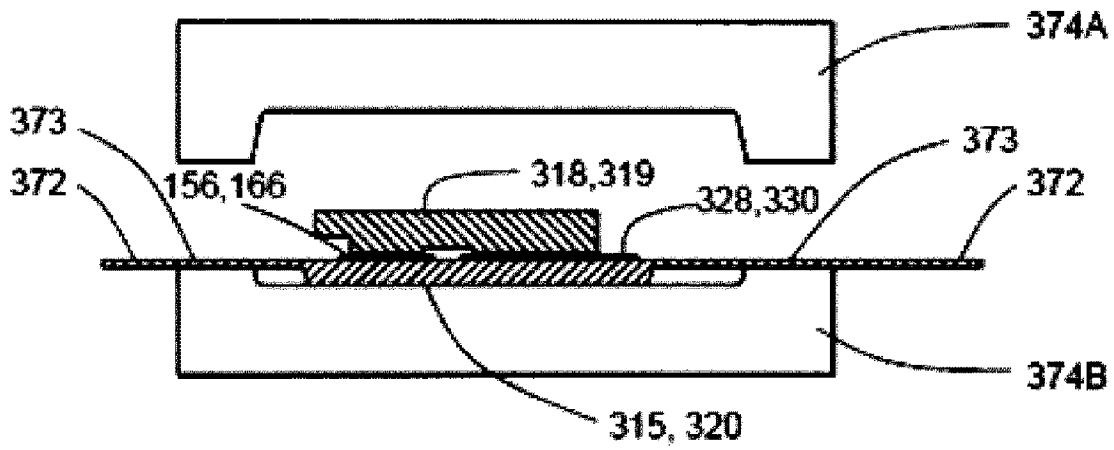
[図22]

【図22】

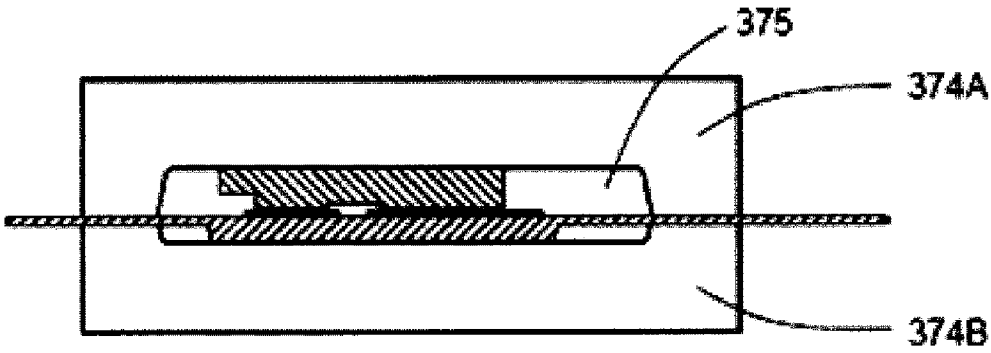


[図23]

【図23】


374A
373
372
156,166
318,319
328,330
373
372
374B
315, 320

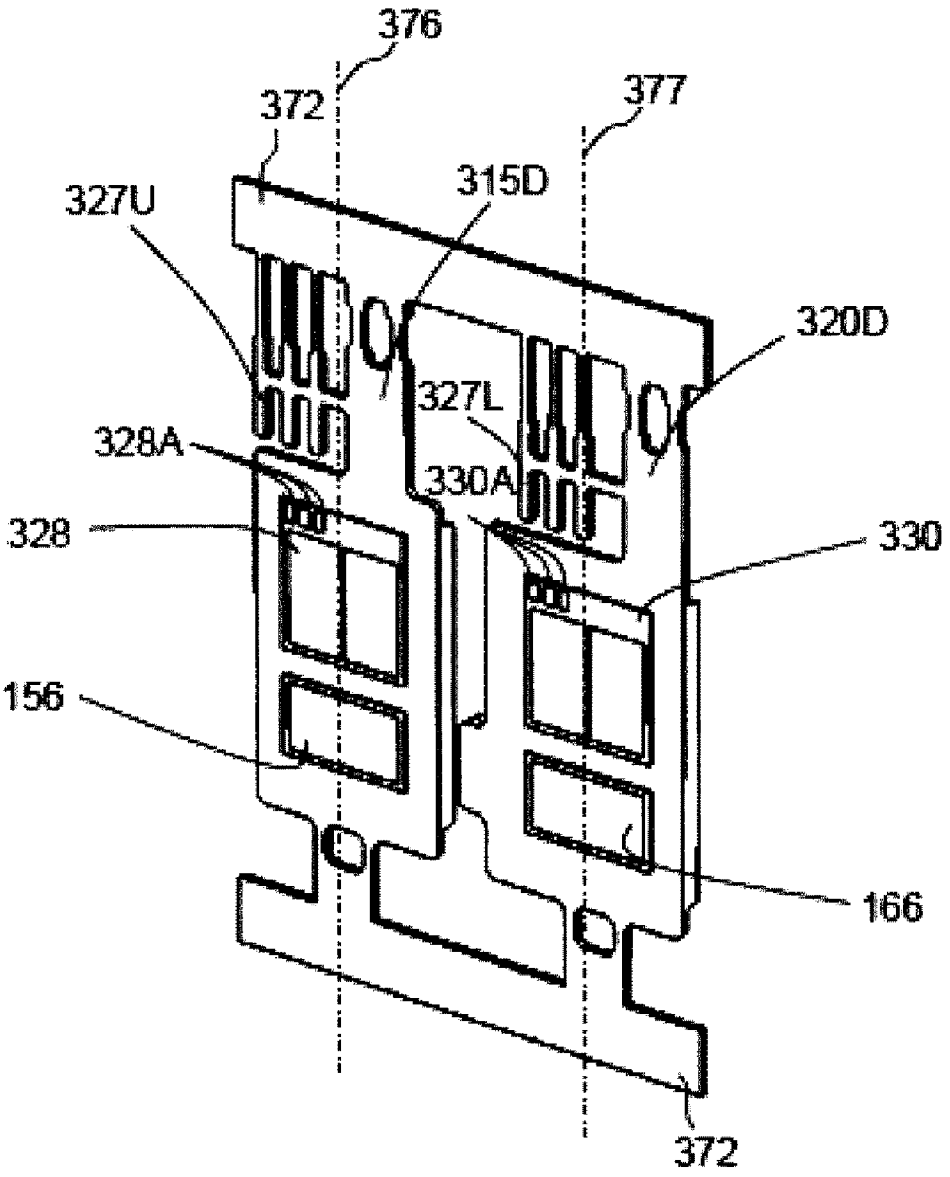
(a)


375
374A
374B

(b)

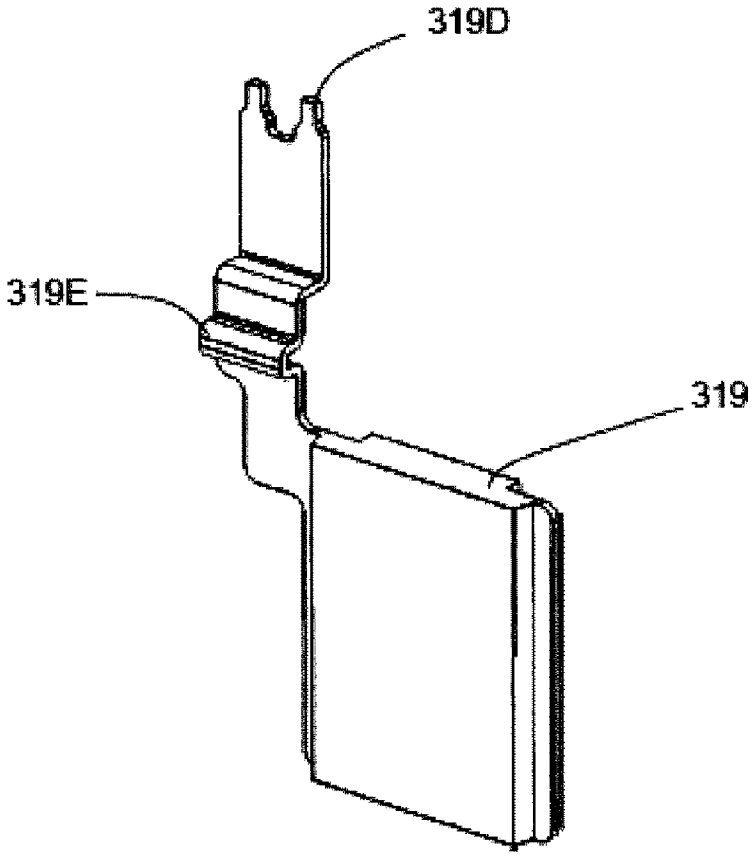
[図24]

【図24】

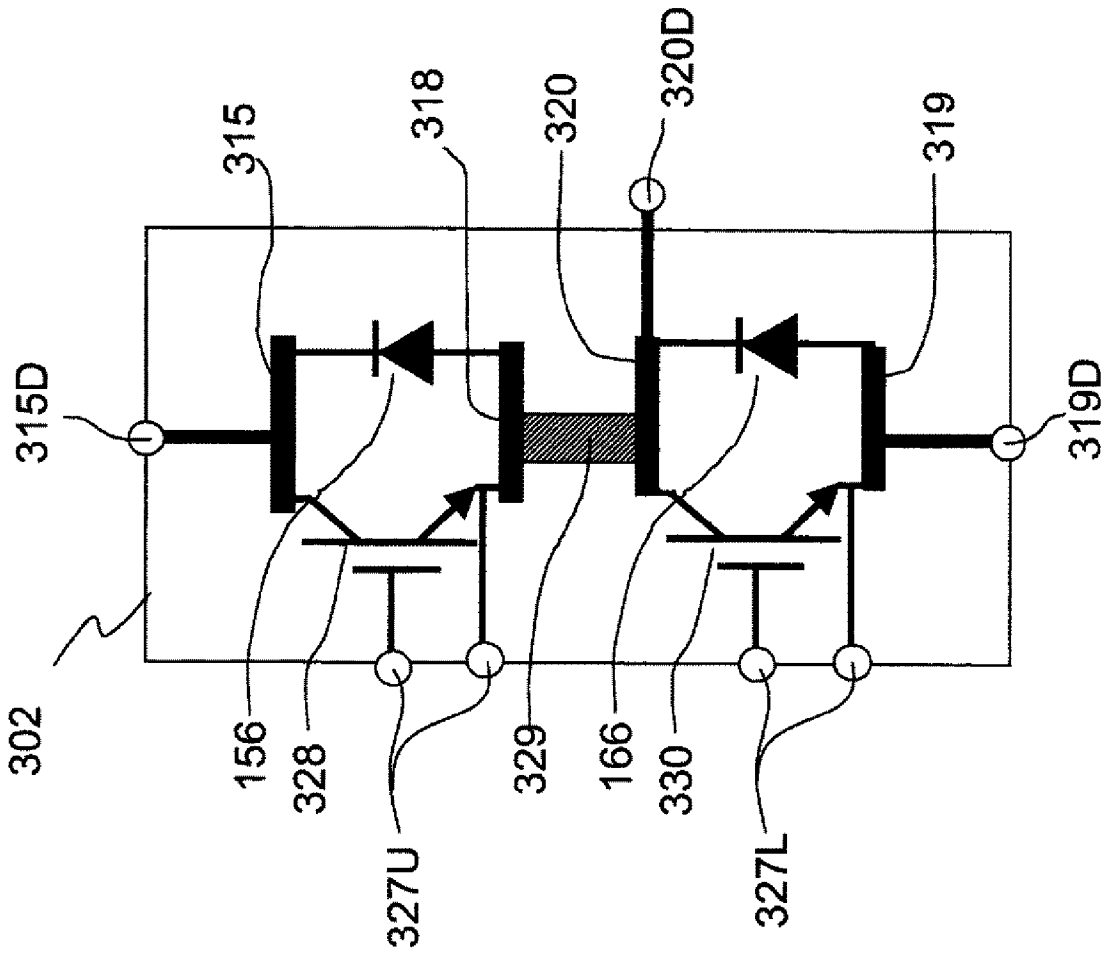


[図25]

【図25】

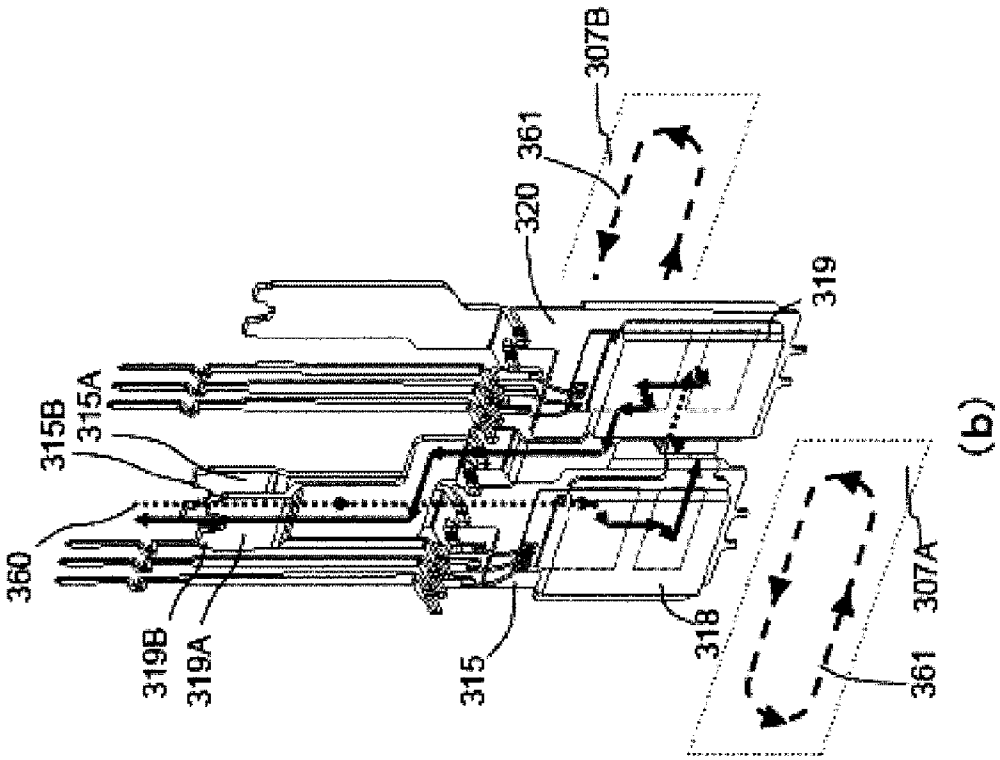


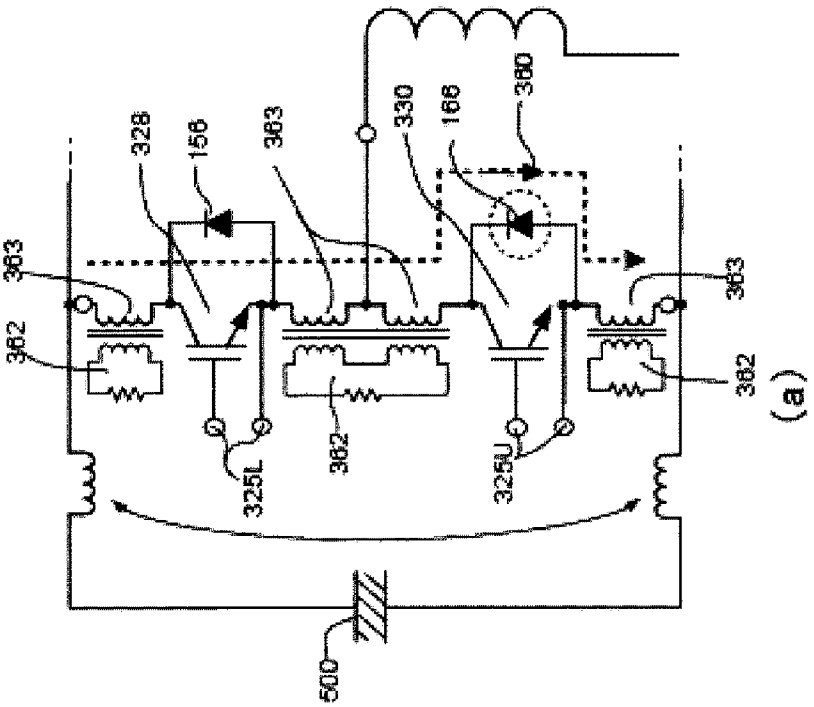
[図26]


315
318
320
320D
319
315D
319D
302
156
328
327U
329
166
330
327L

【図26】

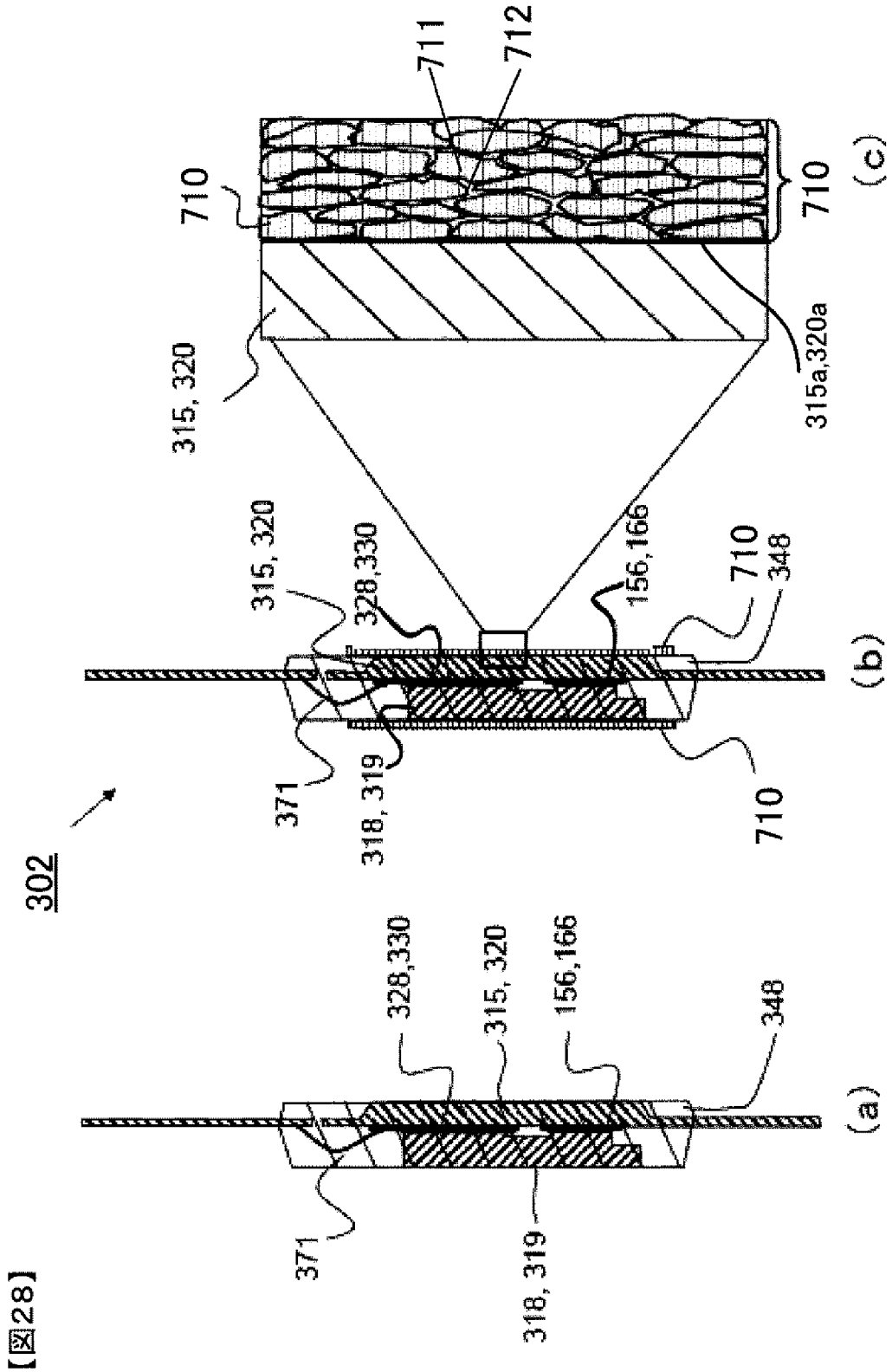
[図27]


307B
361
320
319
315B
315A
360
319B
319A
315
318
307A
361
(b)


328
156
363
330
166
380
363
362
325L
362
325U
363
362
(a)
500

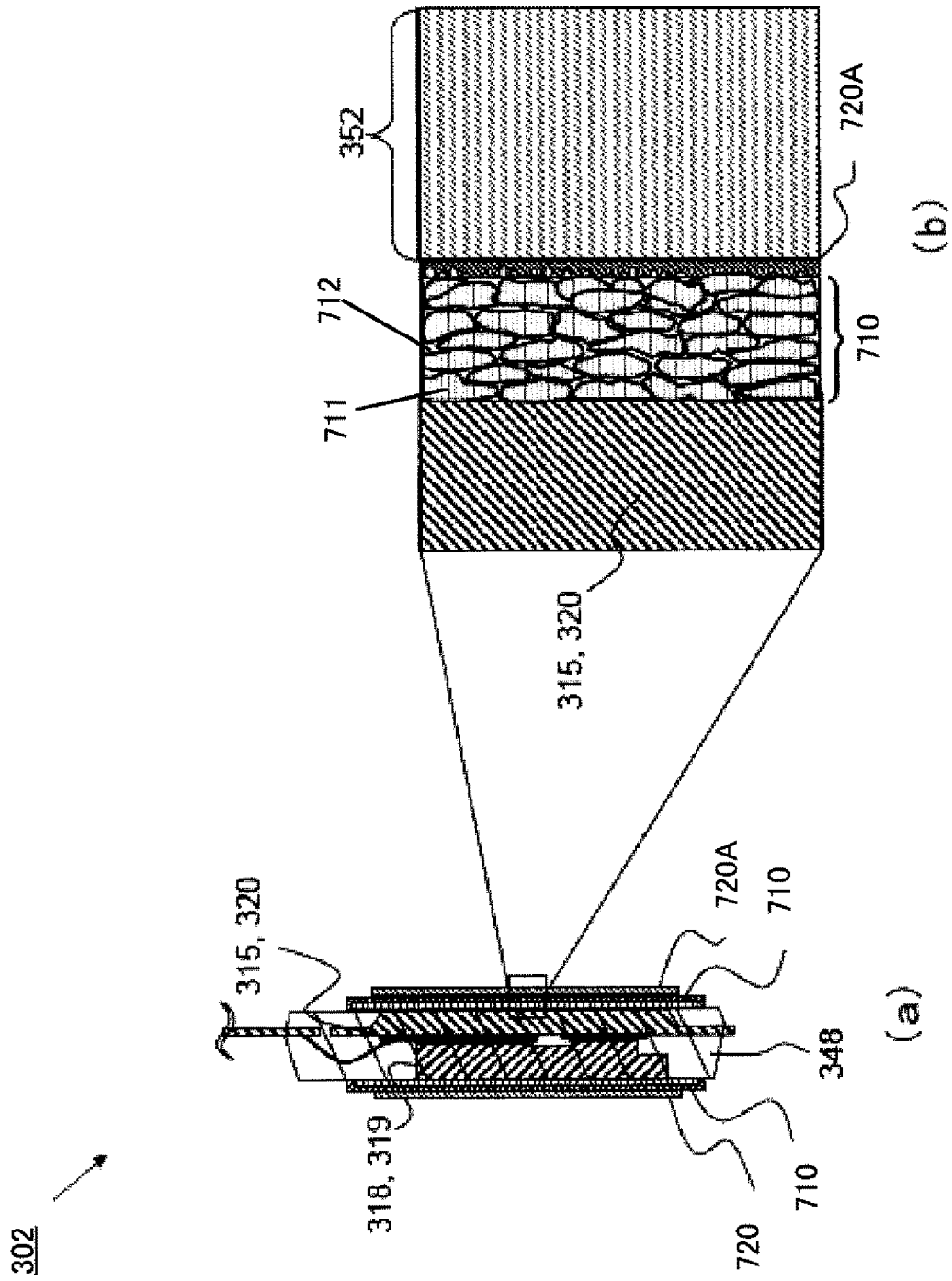
【図27】

[図28]


711
712
710
710
(c)
315, 320
315a,320a
315, 320
328,330
156,166
710
348
(b)
371
318, 319
710
302
328,330
315, 320
156,166
348
(a)
371
318, 319

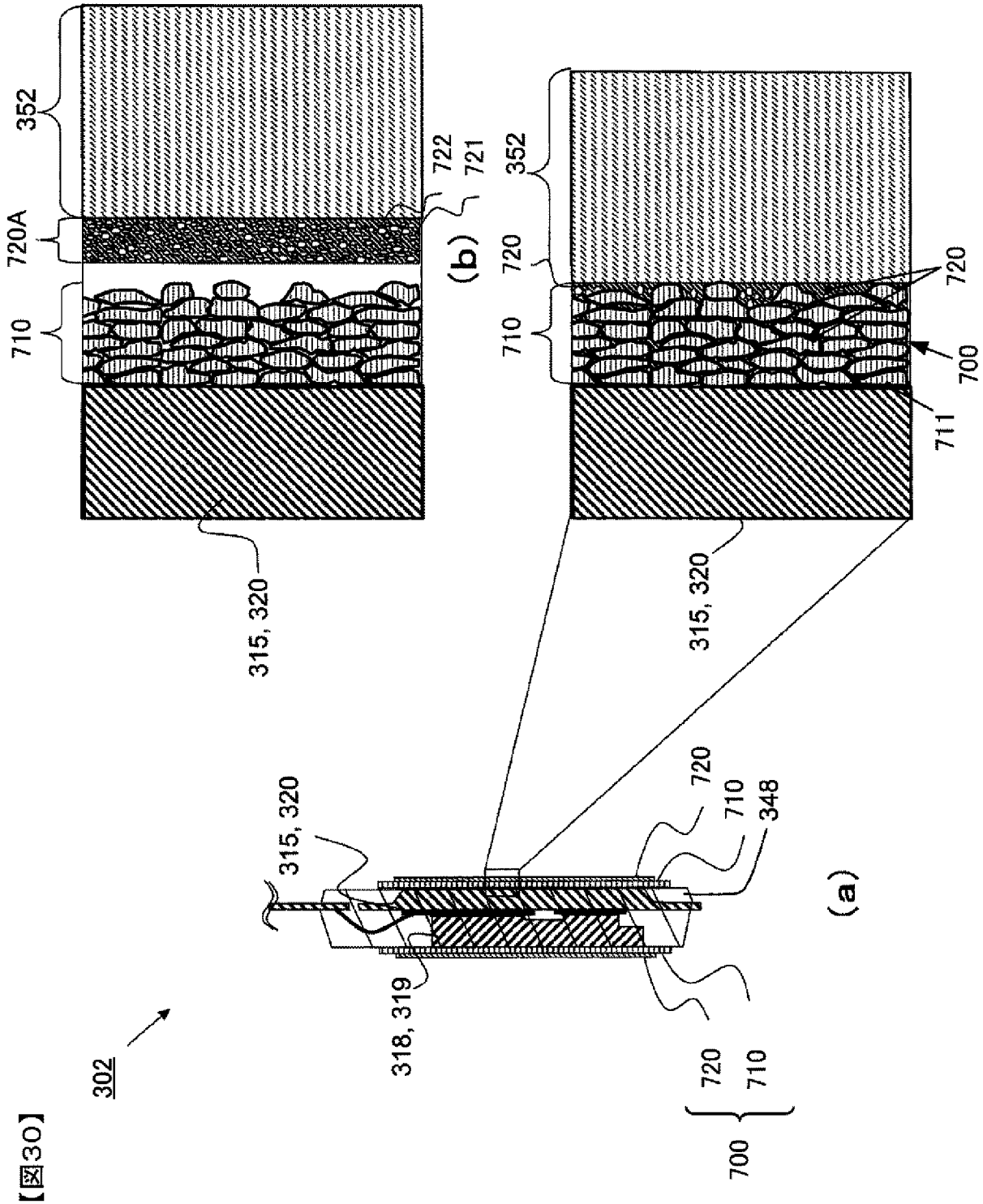
【図28】

[図29]


302
315, 320
318, 319
720
710
348
720A
710
315, 320
(a)
352
720A
712
711
710
(b)

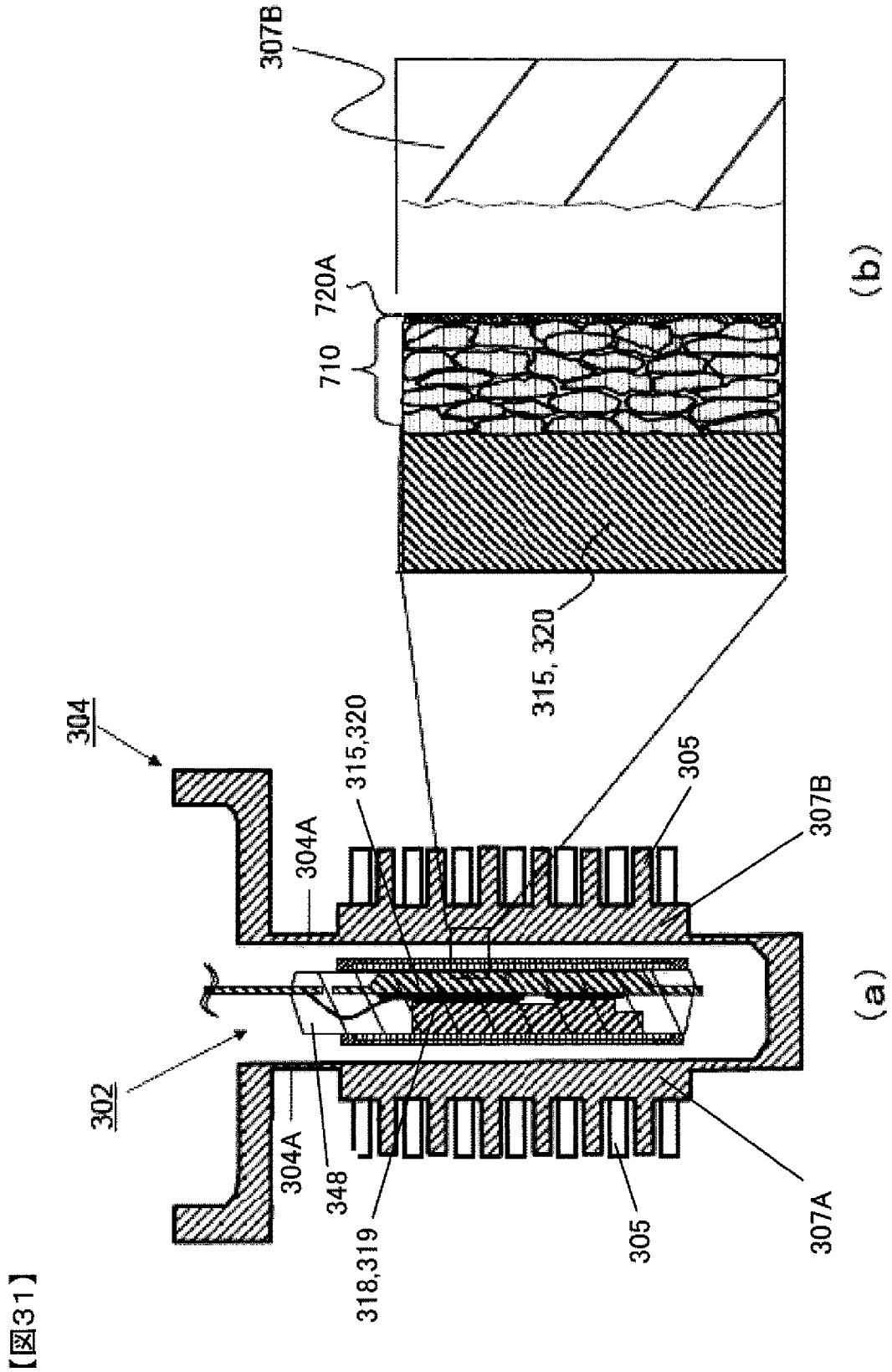
【図29】

[図30]


352
720A
710
722
721
(b)
315, 320
315, 320
352
720
710
720
700
711
315, 320
720
710
348
(a)
318, 319
302
720
710
700

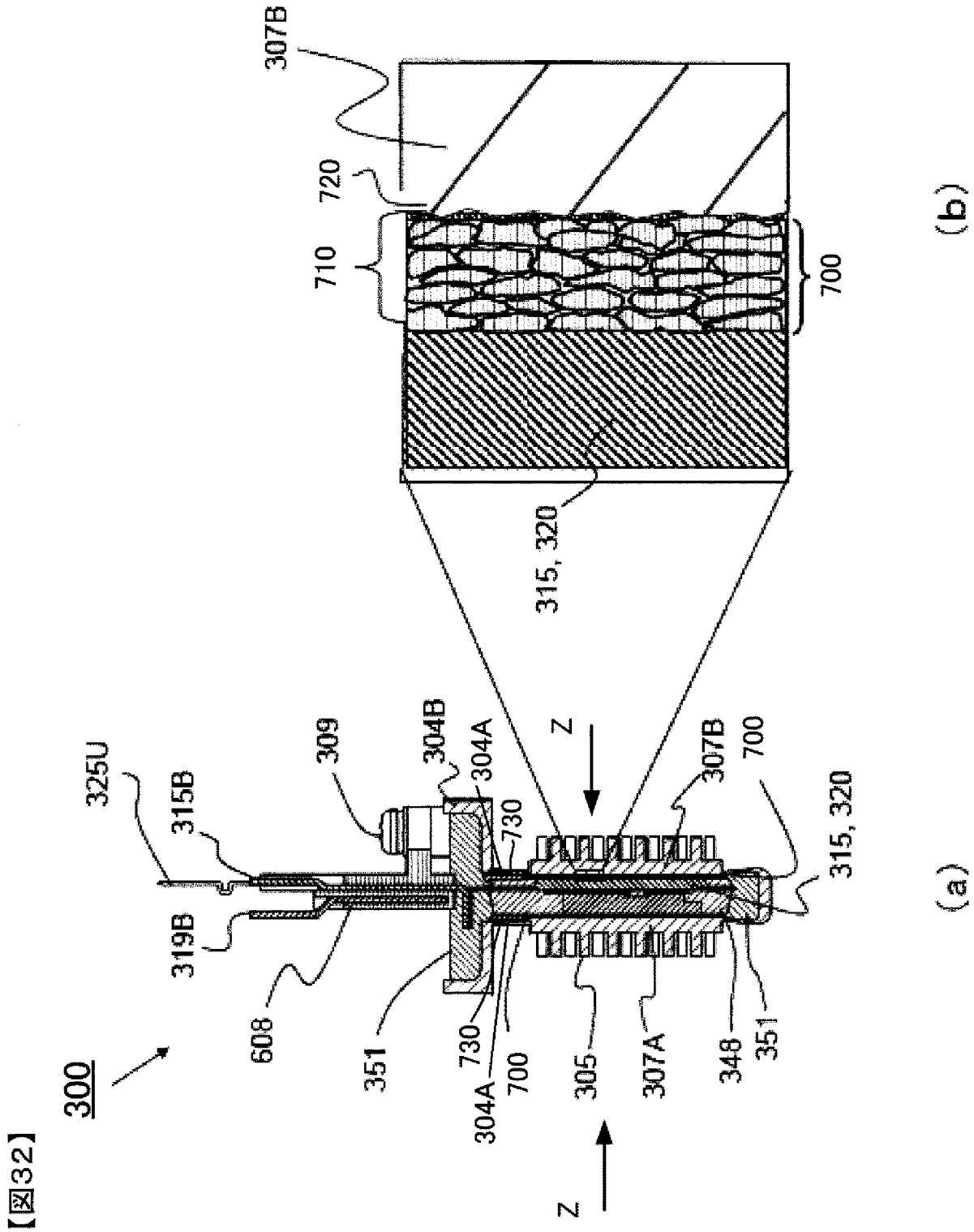
【図30】

[図31]


307B
720A
710
(b)
315, 320
304
315,320
305
307B
304A
(a)
302
304A
348
318,319
305
307A

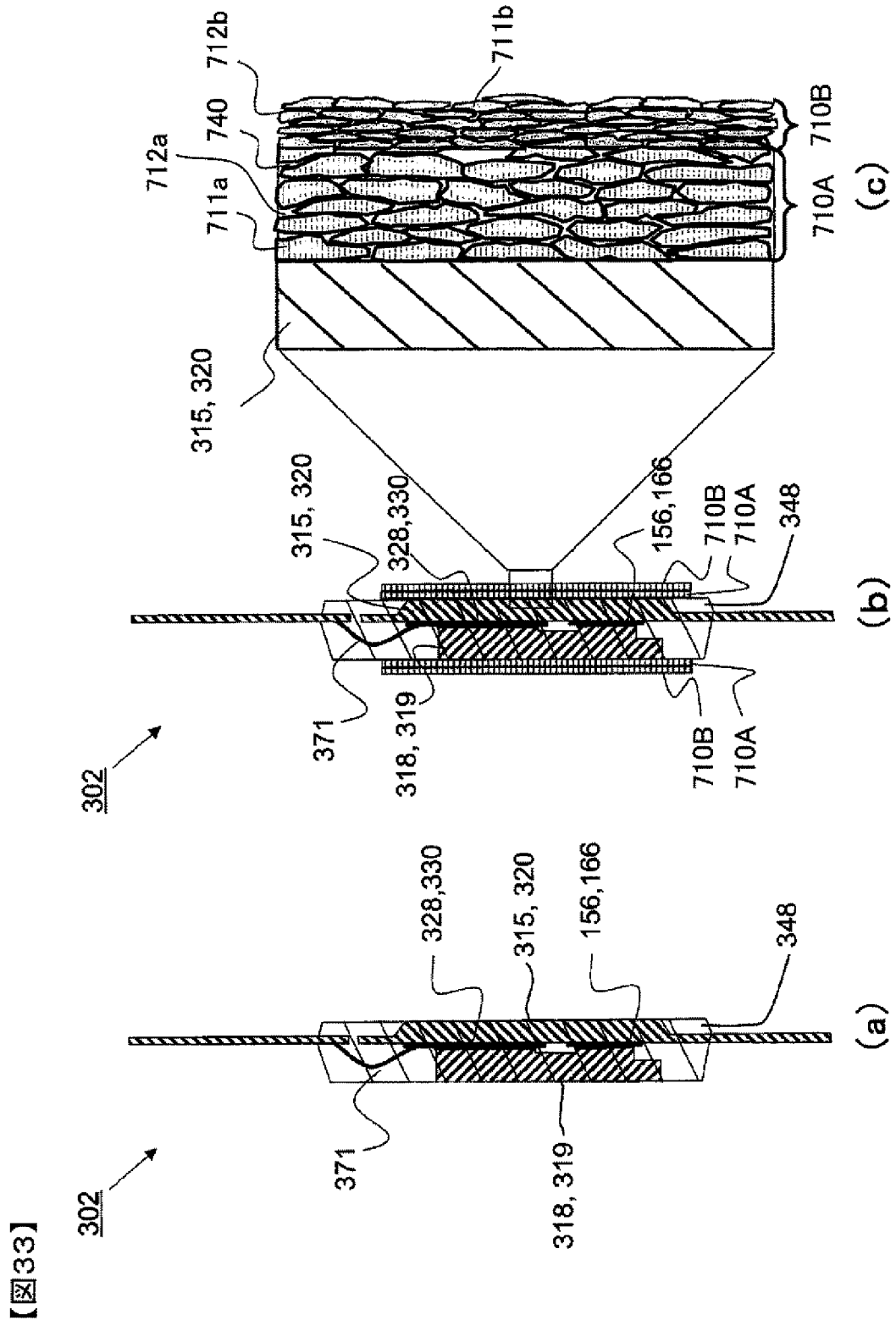
【図31】

[図32]


307B
720
710
700
315, 320
(b)
325U
315B
319B
309
304B
304A
730
608
351
730
304A
700
305
307A
348
351
307B
700
315, 320
Z
Z
300
(a)

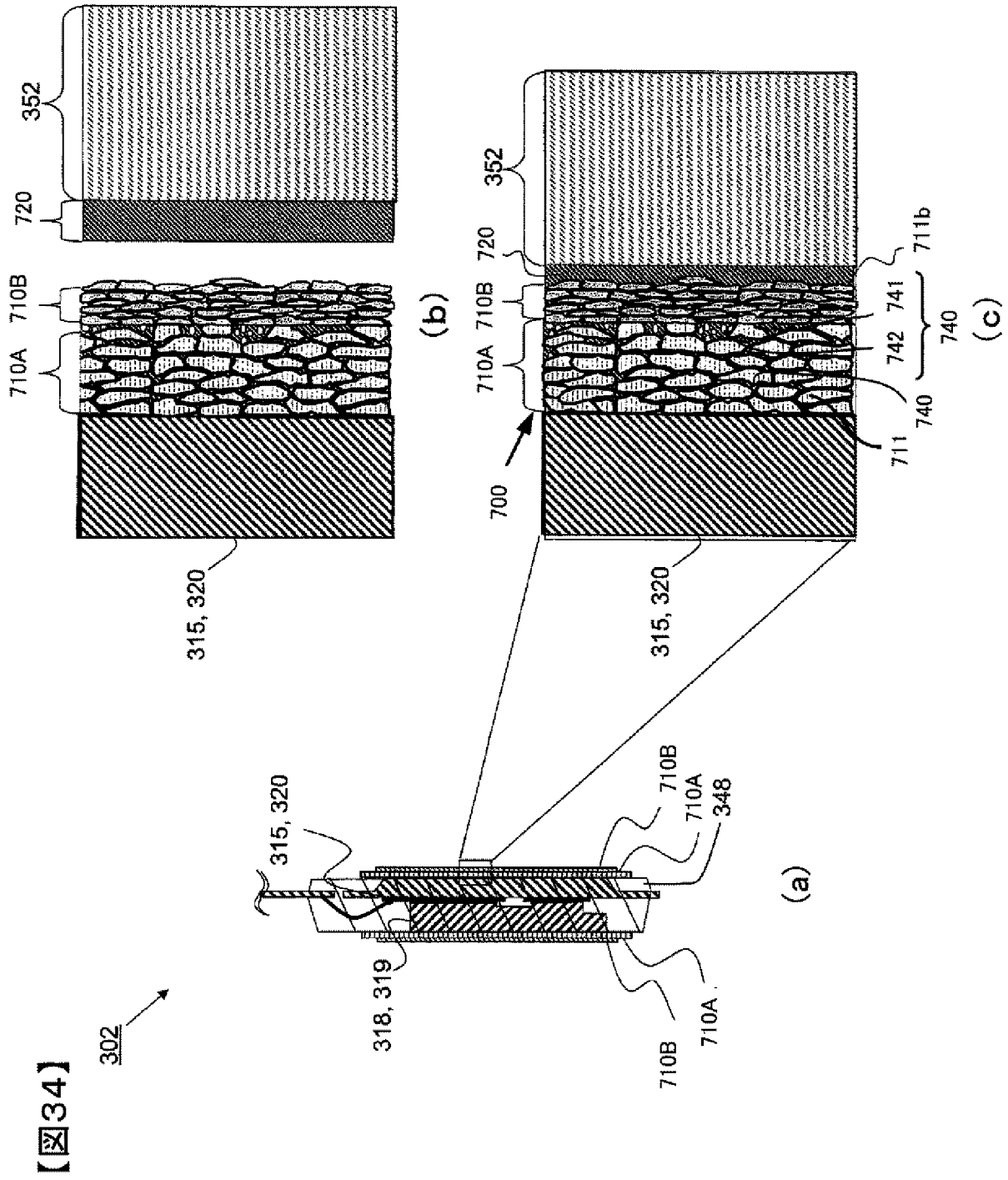
【図32】

[図33]


712b
711b
740
712a
711a
710B
710A
(c)
315, 320
315, 320
328,330
156,166
710B
710A
348
(b)
371
318, 319
710B
710A
302
328,330
315, 320
156,166
348
(a)
371
318, 319
302

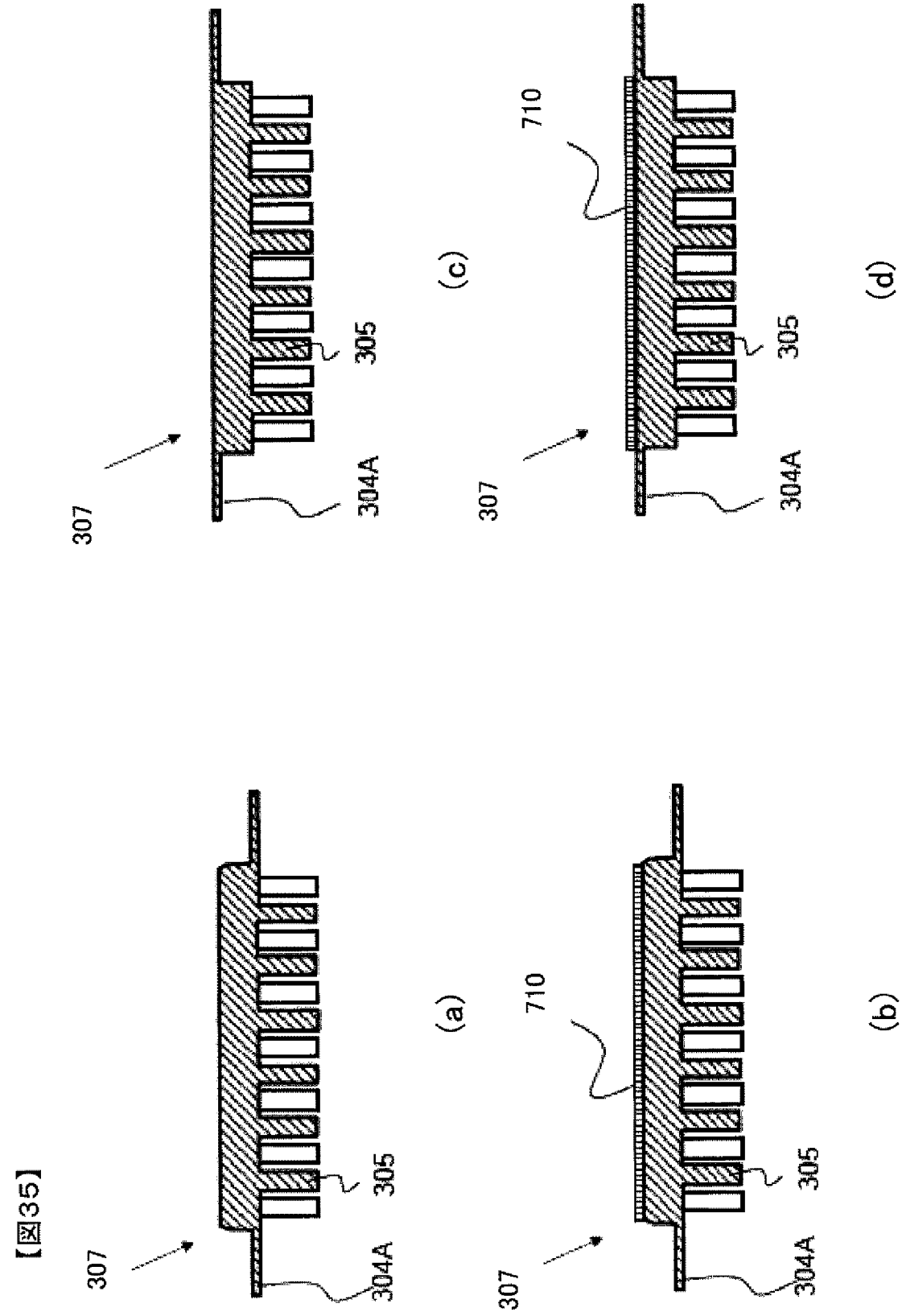
【図33】

[図34]

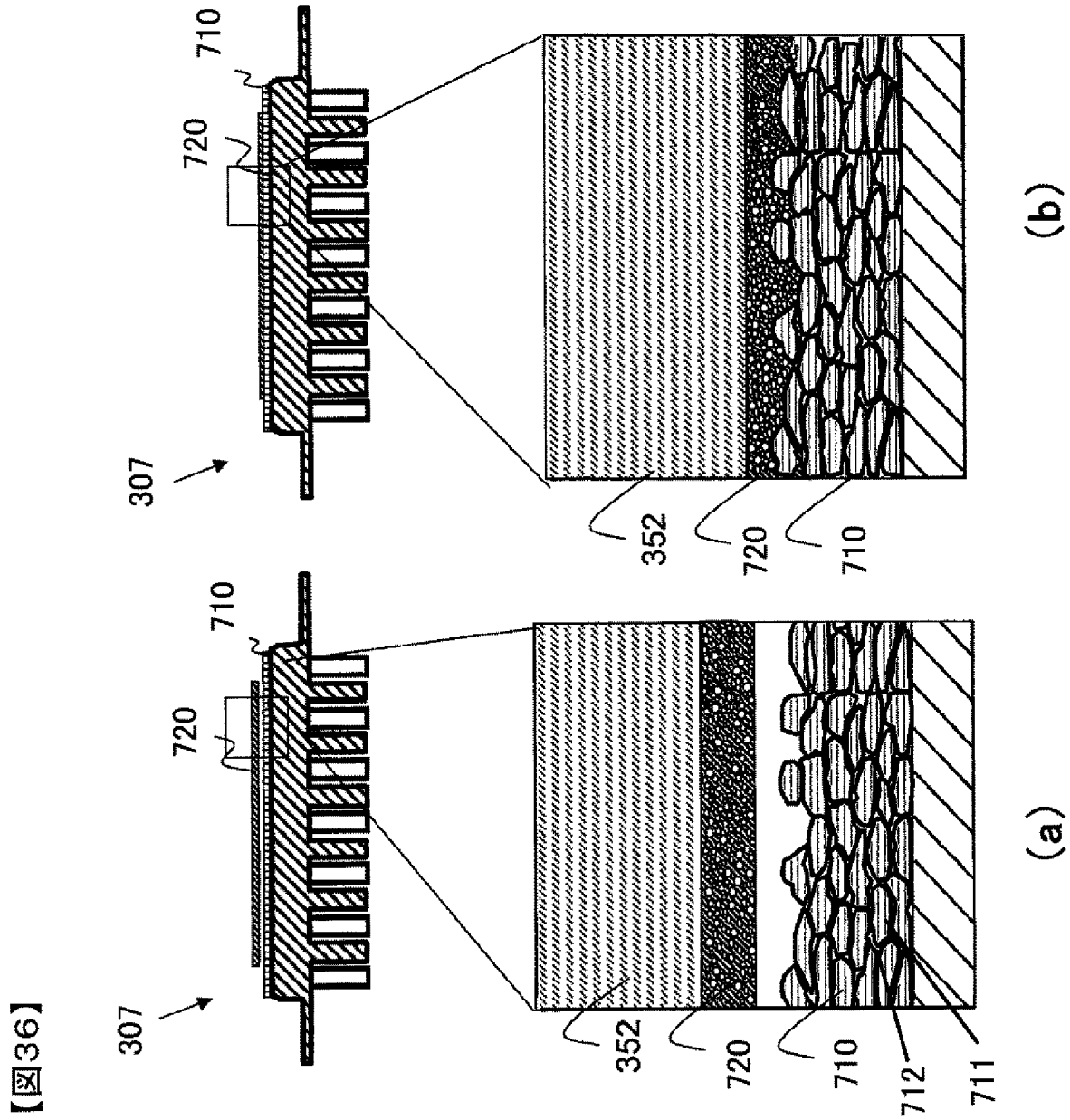

352
720
710B
710A
315, 320
(b)
352
720
710B
710A
700
711b
741
742
740
711
740
(c)
315, 320
710B
710A
348
315, 320
318, 319
710B
710A
(a)
302

【図34】

[図35]

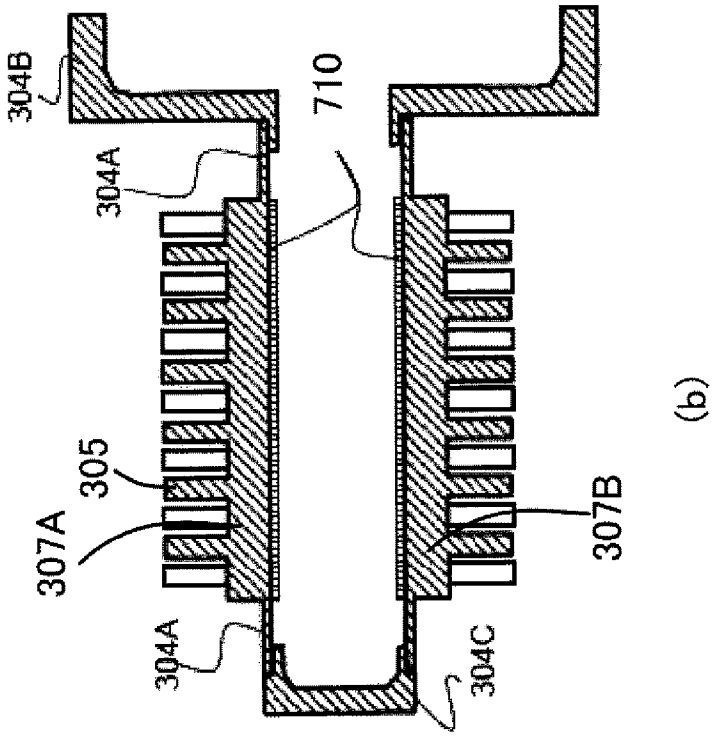

307
304A
305
(c)
710
307
304A
305
(d)
【図35】
307
304A
305
(a)
710
307
304A
305
(b)

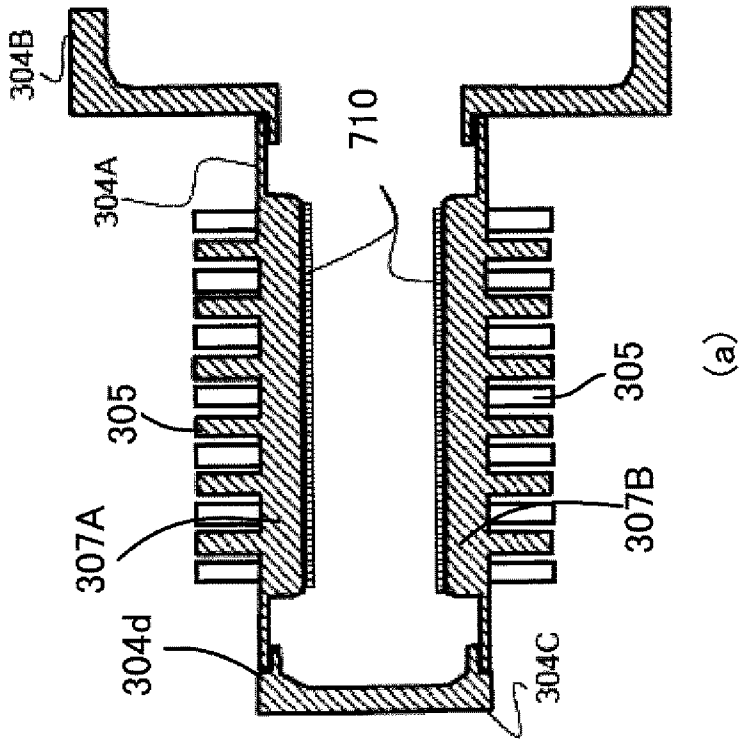
[図36]



【図36】

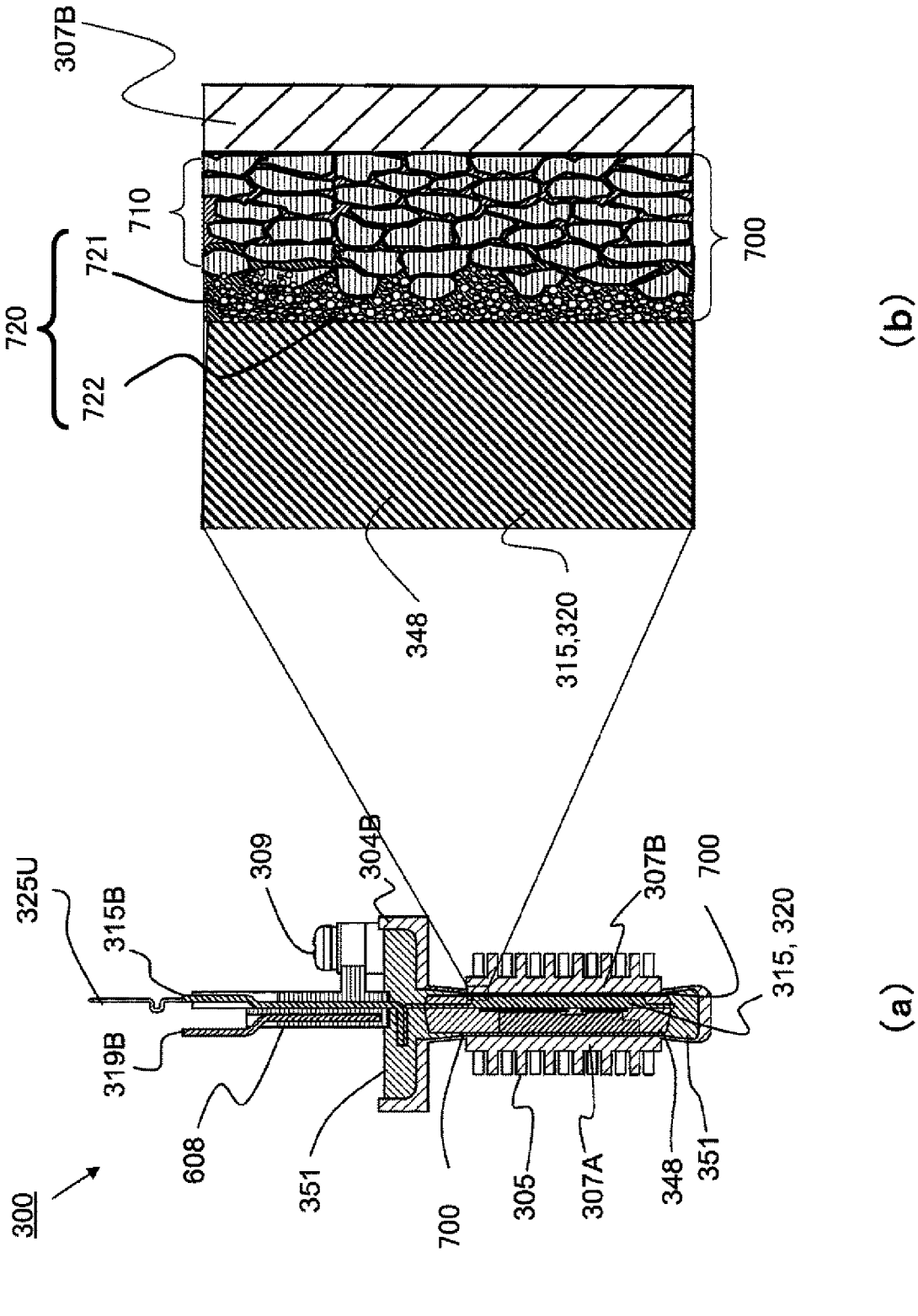
[図37]


304B
710
304A
305
307A
307B
304A
304C
(b)


304B
304A
710
305
307A
307B
304d
304C
(a)

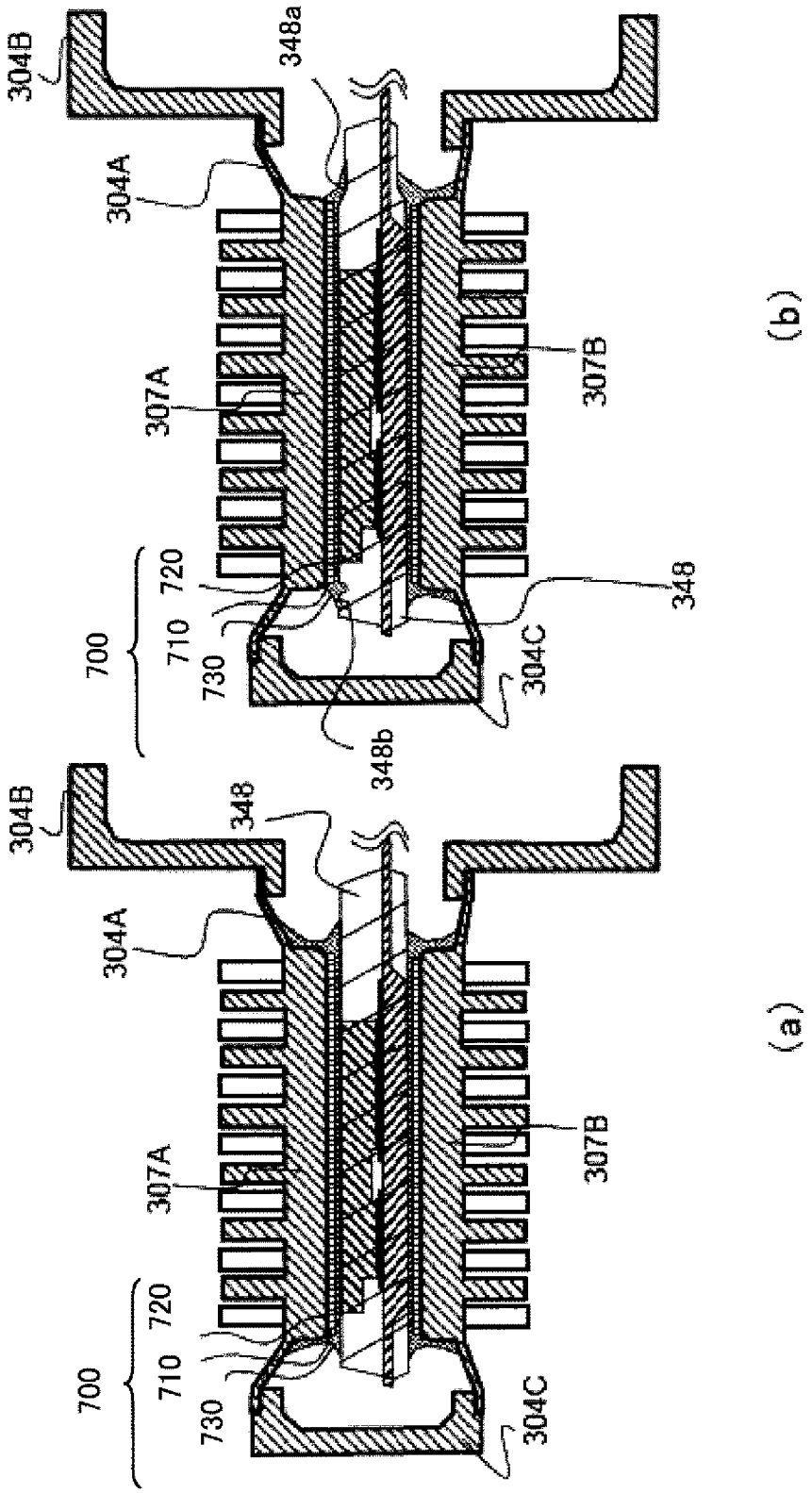
【図37】

[図38]


307B
710
721
720
722
700
348
315,320
(b)
325U
315B
309
304B
307B
700
315, 320
319B
608
351
700
305
307A
348
351
300
(a)

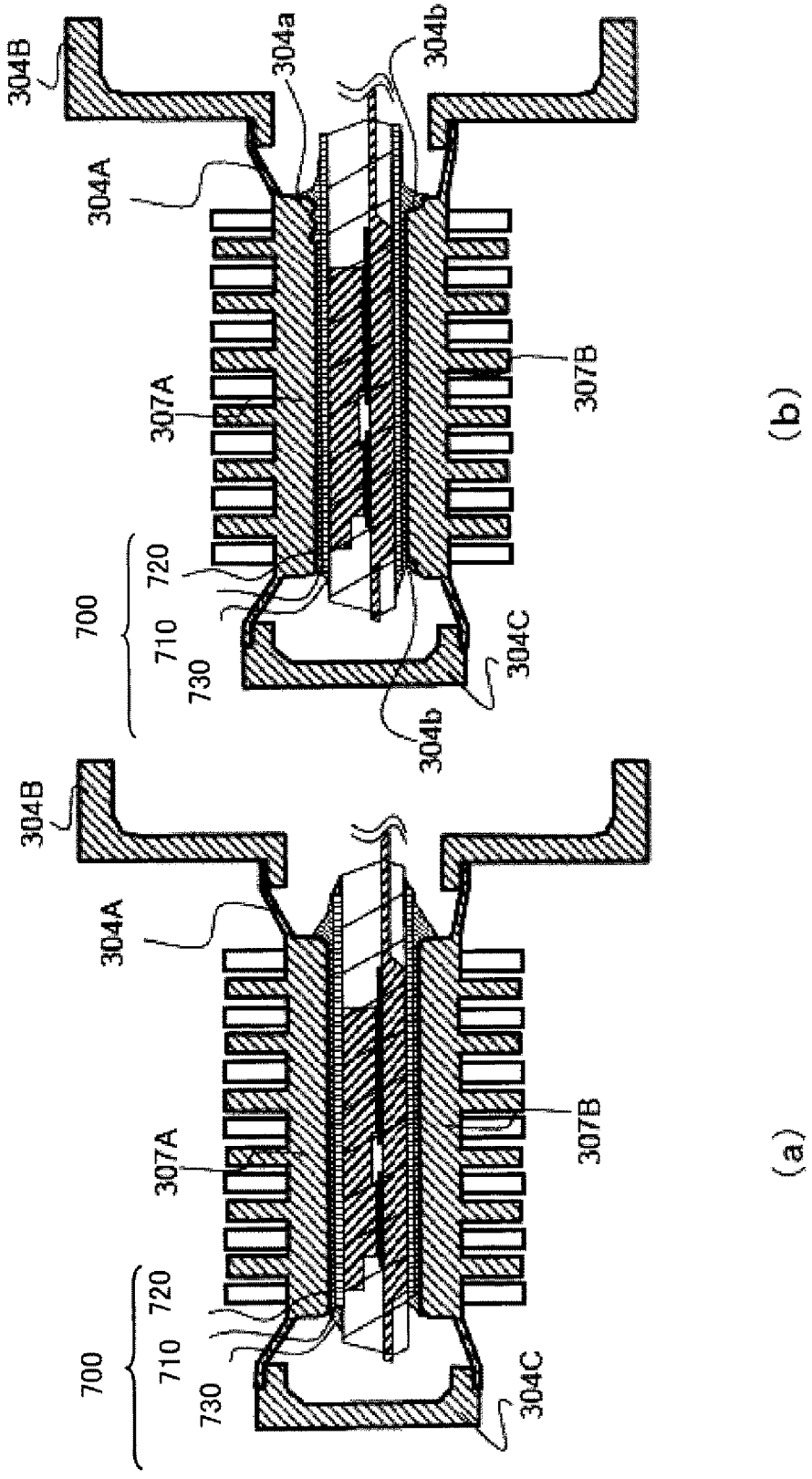
【図38】

[図39]


304B
348a
304A
307B
307A
720
710
730
700
348
304C
348b
(b)
304B
348
304A
307B
307A
720
710
730
700
304C
(a)

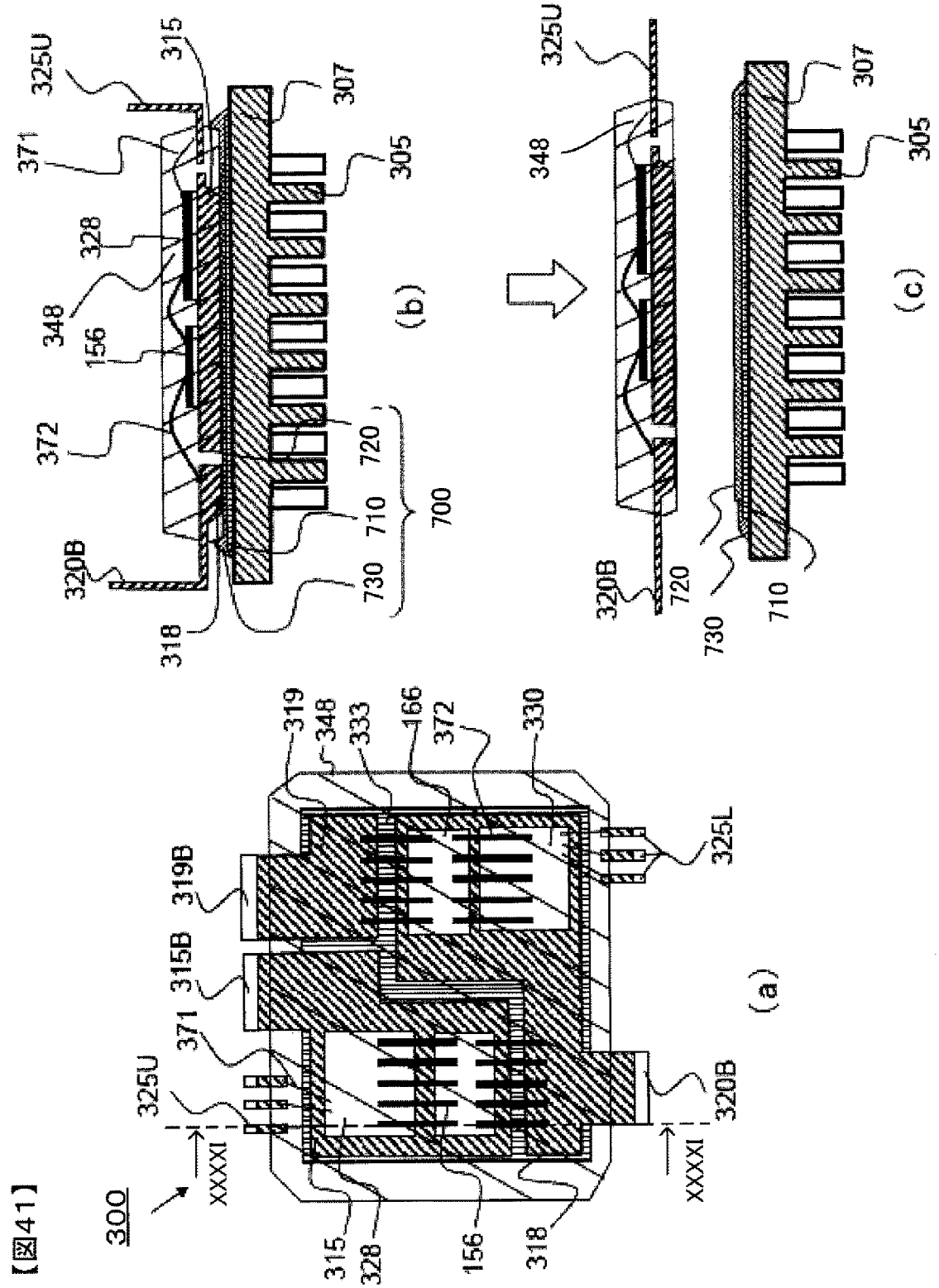
【図39】

[図40]


304B
304a
304b
304A
307B
307A
720
700
710
730
304C
304b
(b)
304B
304A
307B
307A
720
700
710
730
304C
(a)

【図40】

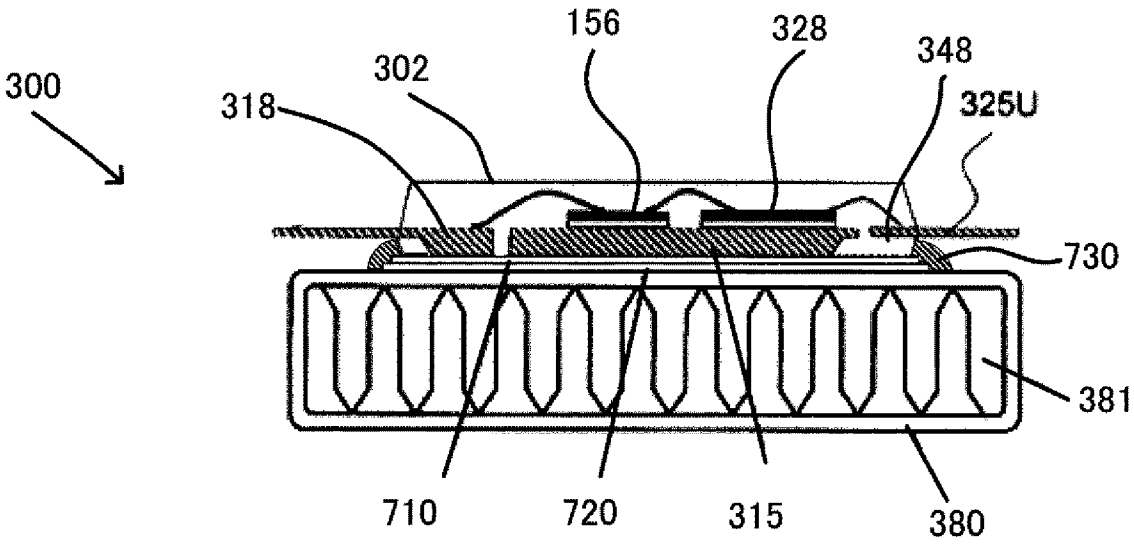
[図41]


325U
315
307
371
305
328
348
156
372
720
710
700
320B
730
318
(b)
325U
348
307
305
320B
720
730
710
(c)
319
348
333
166
372
330
325L
319B
315B
371
325U
320B
300
XXXXI
XXXXI
315
328
156
318
(a)

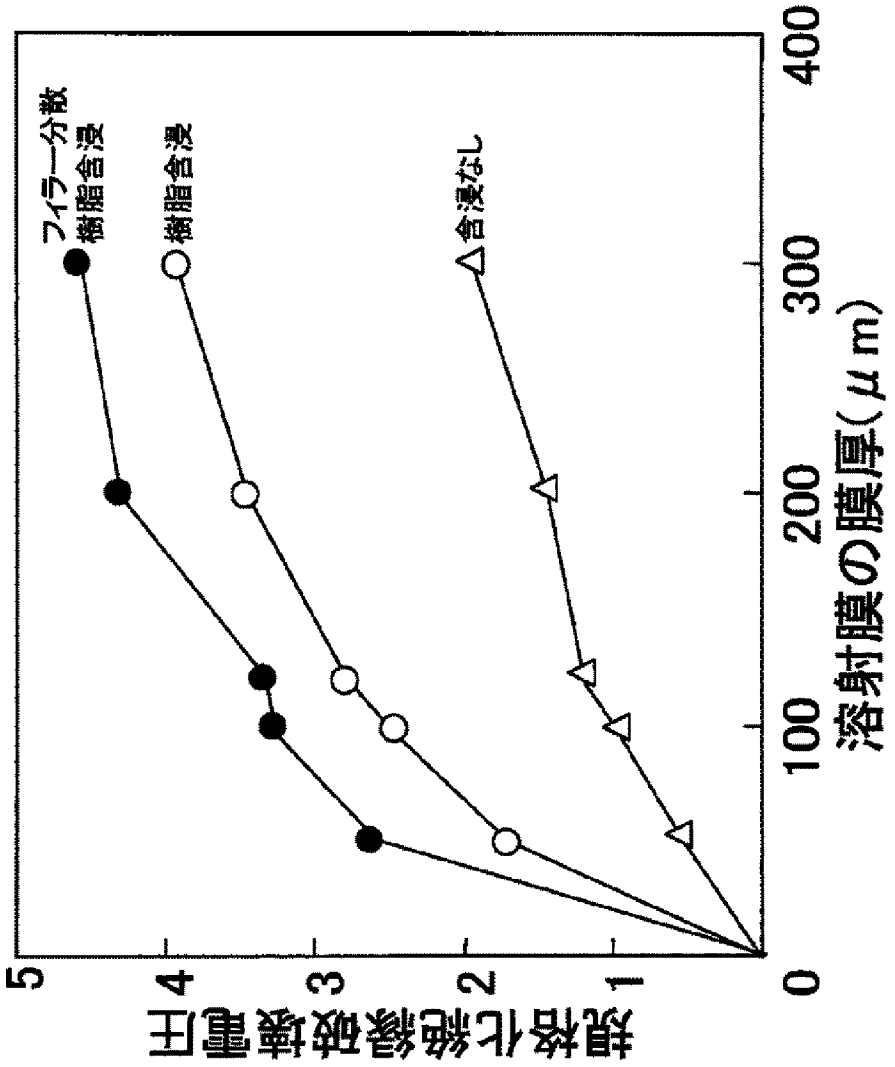
【図41】

[図42]

【図42】

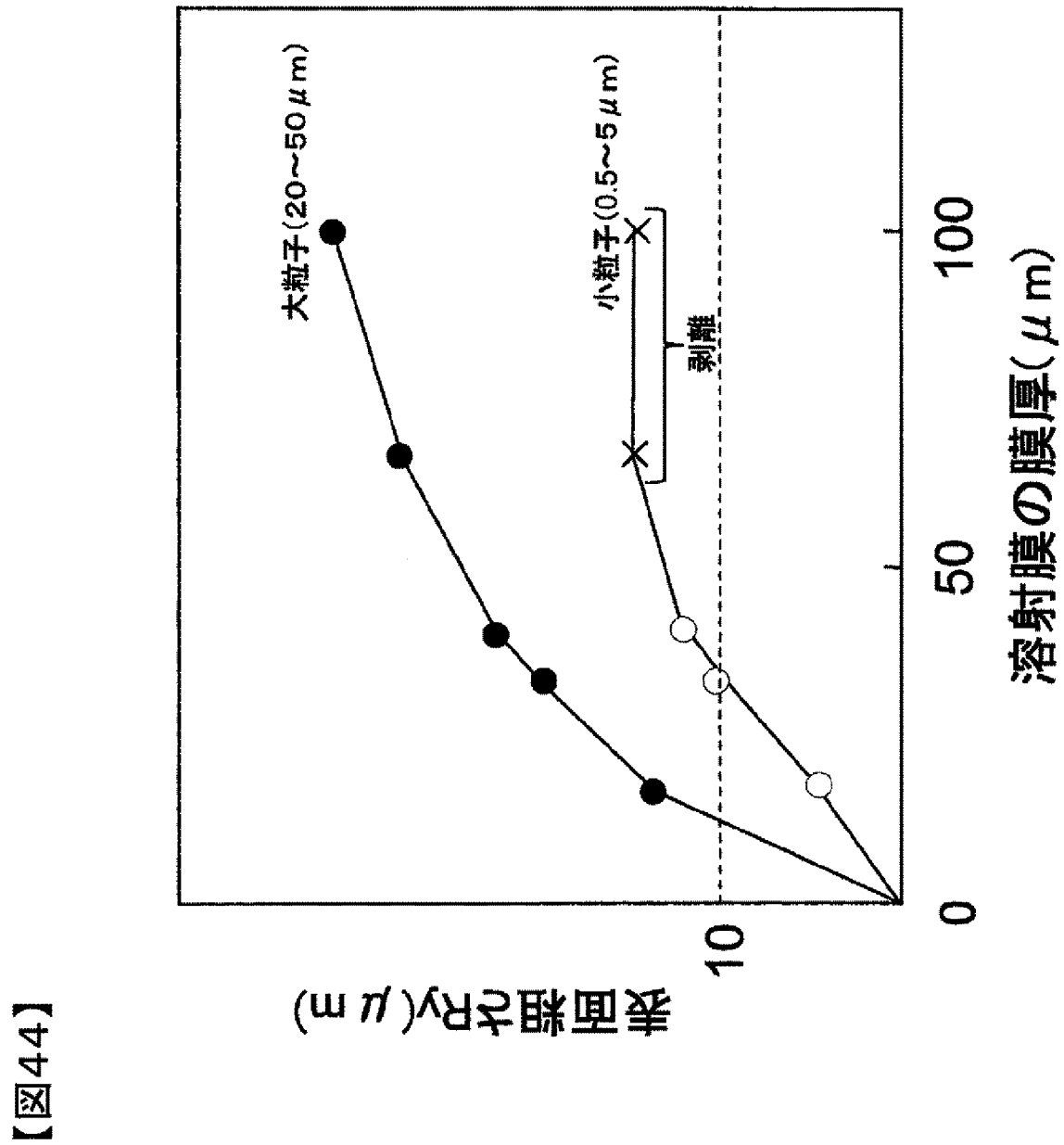


[図43]


フィラー分散
樹脂含浸
樹脂含浸
含浸なし
規格化絶縁破壊電圧
溶射膜の膜厚(μm)
0
100
200
300
400
1
2
3
4
5

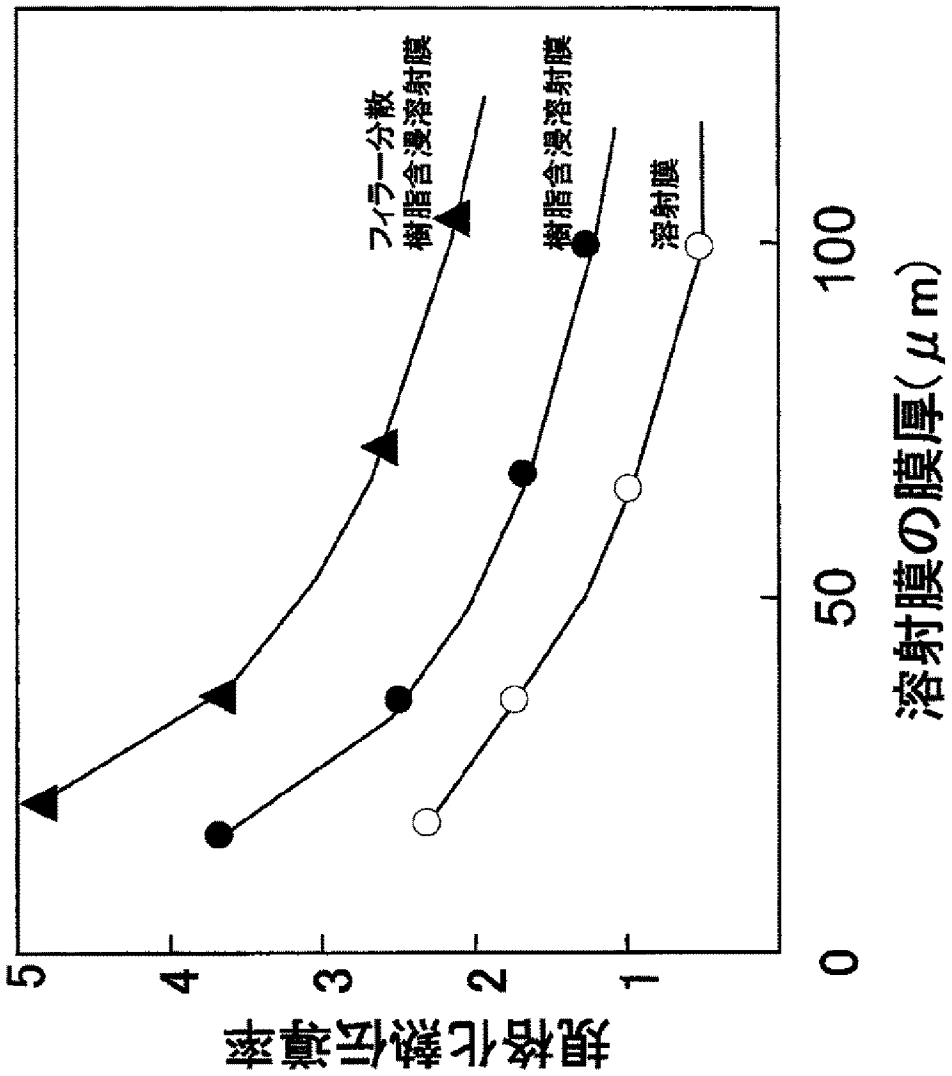
【図43】

[図44]



【図44】

[図45]



【図45】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/079058

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L23/36(2006.01)i, *H01L25/07*(2006.01)i, *H01L25/18*(2006.01)i

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)
H01L23/36, H01L25/07, H01L25/18

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2011-91259 A (Denso Corp.), 06 May 2011 (06.05.2011), paragraphs [0073] to [0113]; fig. 3 to 4 (Family: none)	1,2,11-15,18 3-10,16,17, 19
Y	JP 2007-291440 A (Naigai Co., Ltd.), 08 November 2007 (08.11.2007), paragraph [0035] (Family: none)	1,2,11-15,18
A	JP 2003-13259 A (Toshiba Corp.), 15 January 2003 (15.01.2003), paragraphs [0029], [0038]; fig. 6 (Family: none)	10

☒ 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
08 February, 2013 (08.02.13)	19 February, 2013 (19.02.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/079058

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-329362 A (Hitachi, Ltd.), 20 December 2007 (20.12.2007), paragraphs [0022] to [0027]; fig. 1 & US 2007/0246833 A1 & US 2010/0289148 A1 & DE 102007019523 A & DE 102007063793 A	11
Y	JP 2011-217546 A (Hitachi Automotive Systems, Ltd.), 27 October 2011 (27.10.2011), paragraphs [0026] to [0030]; fig. 6 to 8 (Family: none)	12,14
Y	JP 2003-31765 A (Hitachi, Ltd.), 31 January 2003 (31.01.2003), paragraph [0045]; fig. 14 (Family: none)	13

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０７９０５８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L23/36(2006.01)i, H01L25/07(2006.01)i, H01L25/18(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L23/36, H01L25/07, H01L25/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2011-91259 A（株式会社デンソー）2011.05.06, 【0073】-【0113】, 【図３】-【図４】	1,2,11-15,18
A	（ファミリーなし）	3-10,16,17,19
Y	JP 2007-291440 A（ナイガイ株式会社）2007.11.08, 【0035】（ファミリーなし）	1,2,11-15,18

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ０８．０２．２０１３	国際調査報告の発送日 １９．０２．２０１３
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｒ　９１６９ 今井　拓也 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４７１

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2003-13259 A (株式会社東芝) 2003.01.15, 【0029】, 【0038】, 【図6】 (ファミリーなし)	10
Y	JP 2007-329362 A (株式会社日立製作所) 2007.12.20, 【0022】-【0027】, 【図1】 & US 2007/0246833 A1 & US 2010/0289148 A1 & DE 102007019523 A & DE 102007063793 A	11
Y	JP 2011-217546 A (日立オートモティブシステムズ株式会社) 2011.10.27, 【0026】-【0030】, 【図6】-【図8】 (ファミリーなし)	12,14
Y	JP 2003-31765 A (株式会社日立製作所) 2003.01.31, 【0045】, 【図14】 (ファミリーなし)	13