

(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
2015 年 12 月 10 日(10.12.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/186470 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 23/473 (2006.01) H01L 25/07 (2006.01)
H01L 23/29 (2006.01) H01L 25/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/063406
- (22) 国際出願日: 2015 年 5 月 11 日(11.05.2015)
- (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 2014-114992 2014 年 6 月 3 日(03.06.2014) 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 2 5 2 0 番地 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者: 天羽 美奈(AMO Mina); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 徳山 健(TOKUYAMA Takeshi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 露野 円丈(TSUYUNO Nobutake); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 天明 浩之(TEMMEI Hiroyuki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 佐藤

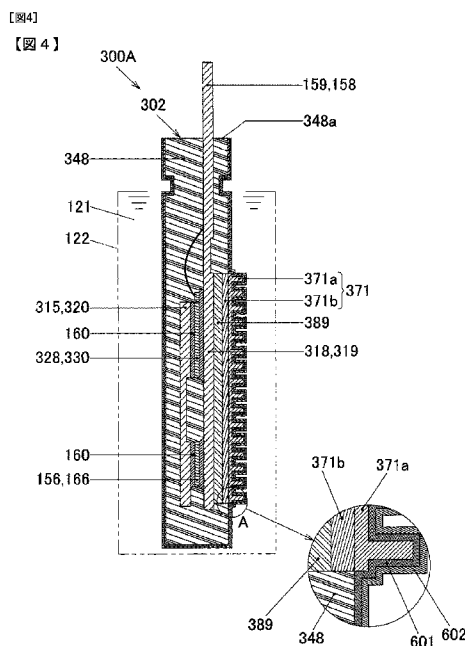
俊也(SATOH Toshiya); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP).

- (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, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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, ST, 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),

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR MODULE, METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR MODULE, AND ELECTRONIC CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体モジュールおよび半導体モジュールの製造方法ならびに電子制御装置



(57) Abstract: To improve waterproof effect of a semiconductor module. This semiconductor module is provided with: a semiconductor structure that is provided with a semiconductor element, a conductor member to which the semiconductor element is bonded, a heat dissipation member which is provided such that heat is transferable therefrom to the semiconductor element, and a sealing material which is formed of a material different from that of the heat dissipation member and seals the semiconductor element such that one surface of the heat dissipation member is exposed; a cover layer that covers at least the boundary between the heat dissipation member and the sealing material within a contact region of a coolant; and a waterproof layer which is formed of a material different from that of the cover layer and is formed on the surface of the cover layer.

(57) 要約: 半導体モジュールにおける防水効果の向上を図る。半導体モジュールは、半導体素子と、半導体素子が接合された導体部材と、半導体素子に熱伝導可能に設けられた放熱部材と、放熱部材とは異なる材質からなり、放熱部材の一面を露出して半導体素子を封止する封止材とを備える半導体構造体と、少なくとも冷媒の接触領域内における放熱部材と封止材との境界を覆う被覆層と、被覆層とは異なる材質からなり、被覆層の表面に形成される防水層とを備える。

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, 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：

半導体モジュールおよび半導体モジュールの製造方法ならびに電子制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体モジュールおよび半導体モジュールの製造方法ならびに電子制御装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、省エネルギー化の推進や低炭素社会の実現のため、電気自動車やハイブリッド自動車といった自動車の電動化が急速に進展している。特に、電動化システムの基本構成要素となるインバータの役割は今まで以上に多様化し、小型化と高出力化を同時に実現することが求められている。インバータには、その主要部品としてトランジスタやダイオード等のパワー半導体チップを樹脂で封止してなるパワー半導体モジュールが搭載されている。電気自動車、ハイブリッド自動車用のパワー半導体モジュールでは、デバイスの電流容量の増大や小型化による電流密度の増大に伴い、通電により発熱するため、パワー半導体モジュールの温度上昇を抑える冷却手段が設けられている。

[0003] パワー半導体モジュールなどの半導体装置の冷却方式として水冷方式が知られている（特許文献1参照）。特許文献1には、半導体装置の側面とケースの内壁とによって規定される空間が、半導体装置を冷却するための冷媒の流路を構成し、半導体装置が冷媒中に浸漬されている点が記載されている。また、特許文献1には、半導体装置の表面を覆う金属膜がめっきや半田付け等によって形成され、放熱性の向上と、冷媒に対する防水性を高めることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2004-119667号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 半導体モジュールでは、金属製の放熱板や放熱フィンなどの放熱部材を封止樹脂から露出させて、冷媒に接触させ、放熱効率を高めることが行われる。半導体モジュールの製造方法として、トランスファーモールド法がある。トランスファーモールド法では、半導体素子等を実装した基板を予め加熱された金型内に固定し、この金型にモールド樹脂を溶融させながら加圧注入し封止する。しかしながら、放熱部材と封止樹脂とが異種材料であるため、成形後、封止樹脂と放熱部材との境界面に極わずかな隙間が発生するおそれがある。

[0006] 境界面に隙間が存在していると、めっき処理を施しても、隙間を覆うように金属膜を形成することができず、この隙間から冷媒が浸入してしまうという問題点がある。

課題を解決するための手段

[0007] 請求項1に記載の半導体モジュールは、半導体素子と、半導体素子が接合された導体部材と、半導体素子に熱伝導可能に設けられた放熱部材と、放熱部材とは異なる材質からなり、放熱部材の一面を露出して半導体素子を封止する封止材とを備える半導体構造体と、少なくとも冷媒の接触領域内における放熱部材と封止材との境界を覆う被覆層と、被覆層とは異なる材質からなり、被覆層の表面に形成される防水層とを備える。

請求項8に記載の半導体モジュールの製造方法は、半導体素子と、半導体素子が接合された導体部材と、半導体素子に熱伝導可能に設けられた放熱部材と、放熱部材とは異なる材質からなり、放熱部材の一面を露出して半導体素子を封止する封止材とを備える半導体構造体を準備し、少なくとも冷媒の接触領域内における放熱部材と封止材との境界を覆う被覆層を形成し、被覆層の表面に被覆層とは異なる材質からなる防水層を形成する。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、防水効果の向上を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]ハイブリッド自動車の制御ブロックを示す図。

[図2]インバータ回路の電気回路の構成を説明する図。

[図3]半導体モジュールの斜視図。

[図4]図3（a）のI V a - I V a 線で切断した半導体モジュールの断面模式図。

[図5]半導体モジュールの回路構成を示す回路図。

[図6]半導体モジュールの封止樹脂を取り除いた導体板組みの斜視図。

[図7]図6の第1導体板および第3導体板を取り除いた導体板組みの斜視図。

[図8]半導体モジュールの製造手順を示すフローチャート。

[図9]塗布溶液により形成される塗膜について説明する説明図。

[図10]被覆層の形成について説明する説明図。

[図11]（a）は封止樹脂の成形後の状態を示す部分断面模式図、（b）は被覆層を設けずに、直接、半導体構造体の表面に防水層を設けた比較例を示す部分断面模式図。

[図12]被覆層および防水層を設けた本実施の形態を示す部分断面模式図。

[図13]第2の実施の形態に係る半導体モジュールの斜視図。

[図14]第2の実施の形態に係る半導体モジュールの断面模式図。

[図15]第3の実施の形態に係る半導体モジュールの断面模式図。

[図16]第4の実施の形態に係る半導体モジュールの断面模式図。

[図17]変形例1に係る半導体モジュールの部分拡大模式図。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照して本発明を実施するための形態について説明する。

－第1の実施の形態－

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。エンジンE G NおよびモータジェネレータM G 1は車両の走行用トルクを発生する。モ

ータジェネレータMG1は回転トルクを発生するだけでなく、モータジェネレータMG1に外部から加えられる機械エネルギーを電力に変換する機能を有する。

[0011] モータジェネレータMG1は、たとえば同期機あるいは誘導機であり、上述のごとく、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。モータジェネレータMG1を自動車に搭載する場合には、小型で高出力を得ることが望ましく、ネオジウムなどの磁石を使用した永久磁石型の同期電動機が適している。永久磁石型の同期電動機は誘導電動機に比べて回転子の発熱が少なく、この観点でも自動車用として優れている。

[0012] エンジンEGNの出力トルクは動力分配機構TSMを介してモータジェネレータMG1に伝達され、動力分配機構TSMからの回転トルクあるいはモータジェネレータMG1が発生する回転トルクは、トランスミッションTMおよびデファレンシャルギアDFを介して車輪に伝達される。一方、回生制動の運転時には、車輪から回転トルクがモータジェネレータMG1に伝達され、供給されてきた回転トルクに基づいて交流電力を発生する。発生した交流電力は後述するように電力変換装置200により直流電力に変換され、高電圧用のバッテリー136を充電し、充電された電力は再び走行エネルギーとして使用される。

[0013] 次に半導体素子のスイッチング動作によって電力を直流から交流に、交流から直流に変換する電力変換装置200について説明する。インバータ回路140は、バッテリー136と直流コネクタ138を介して電氣的に接続されており、バッテリー136とインバータ回路140との相互において電力の授受が行われる。モータジェネレータMG1をモータとして動作させる場合には、インバータ回路140は直流コネクタ138を介してバッテリー136から供給された直流電力に基づき交流電力を発生し、交流端子188を介してモータジェネレータMG1に供給する。モータジェネレータMG1とインバータ回路140からなる構成は電動発電ユニットとして動作する。

[0014] なお、本実施形態では、バッテリー136の電力によって電動発電ユニット

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MG1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、電動発電ユニットを発電ユニットとしてエンジンEGNの動力ある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、バッテリー136の充電ができる。

[0015] 電力変換装置200は、インバータ回路140に供給される直流電力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。

[0016] 電力変換装置200は、上位の制御装置から指令を受けたりあるいは上位の制御装置に状態を表すデータを送信したりするための通信用のコネクタ21を備えている。電力変換装置200は、コネクタ21からの指令に基づいて制御回路172でモータジェネレータMG1の制御量を演算し、さらにモータとして運転するか発電機として運転するかを演算し、演算結果に基づいて制御パルスが発生し、その制御パルスをドライバ回路174へ供給する。ドライバ回路174は、供給された制御パルスに基づいて、インバータ回路140を制御するための駆動パルスが発生する。

[0017] 次に、図2を用いてインバータ回路140の電気回路の構成を説明する。なお、本実施形態では半導体素子として絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（Insulated Gate Bipolar Transistor）を使用しており、以下略してIGBTと記す。

[0018] 上アームのIGBT328およびダイオード156と、下アームのIGBT330およびダイオード166とで、上下アームの直列回路150が構成される。インバータ回路140は、この直列回路150を、出力しようとする交流電力のU相、V相、W相の3相に対応して備えている。

[0019] これらの3相は、この実施の形態ではモータジェネレータMG1の電機子巻線の3相の各相巻線に対応している。3相のそれぞれの上下アームの直列回路150は、直列回路の midpoint 部分である中間電極169から交流電流を出力する。この中間電極169は、交流端子159および交流端子188を通して、モータジェネレータMG1への交流電力線である交流バスバー802

と接続される。

[0020] 上アームの IGBT 328 のコレクタ電極は、直流正極端子 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端子 506 に電氣的に接続されている。また、下アームの IGBT 330 のエミッタ電極は、直流負極端子 158 を介してコンデンサモジュール 500 の負極側のコンデンサ端子 504 に電氣的に接続されている。

[0021] 上述のように、制御回路 172 は上位の制御装置からコネクタ 21 を介して制御指令を受け、これに基づいてインバータ回路 140 を構成する各相の直列回路 150 の上アームあるいは下アームを構成する IGBT 328 や IGBT 330 を制御するための制御信号である制御パルスが発生し、ドライバ回路 174 に供給する。

[0022] ドライバ回路 174 は、上記制御パルスに基づき、各相の直列回路 150 の上アームあるいは下アームを構成する IGBT 328 や IGBT 330 を制御するための駆動パルスを各相の IGBT 328 や IGBT 330 に供給する。IGBT 328 や IGBT 330 は、ドライバ回路 174 からの駆動パルスに基づき、導通あるいは遮断動作を行い、バッテリー 136 から供給された直流電力を三相交流電力に変換し、この変換された電力はモータジェネレータ MG1 に供給される。

[0023] 上アームの IGBT 328 および下アームの IGBT 330 は、それぞれ、コレクタ電極と、信号用のエミッタ電極と、ゲート電極とを備えている。上アームのダイオード 156 が、コレクタ電極端子 153 とエミッタ電極端子 155 との間に電氣的に接続されている。また、ダイオード 166 が、コレクタ電極端子 163 とエミッタ電極端子 165 との間に電氣的に接続されている。

[0024] なお、スイッチング用パワー半導体素子としては金属酸化物半導体型電界効果トランジスタ（以下略して MOSFET と記す）を用いてもよい、この場合はダイオード 156 やダイオード 166 は不要となる。スイッチング用パワー半導体素子としては、IGBT は直流電圧が比較的高い場合に適して

いて、M O S F E Tは直流電圧が比較的低い場合に適している。

[0025] コンデンサモジュール500は、正極側のコンデンサ端子506と負極側のコンデンサ端子504と正極側の電源端子509と負極側の電源端子508とを備えている。バッテリー136からの高電圧の直流電力は、直流コネクタ138を介して、正極側の電源端子509や負極側の電源端子508に供給され、コンデンサモジュール500の正極側のコンデンサ端子506および負極側のコンデンサ端子504から、インバータ回路140へ供給される。

[0026] 一方、交流電力からインバータ回路140によって変換された直流電力は、正極側のコンデンサ端子506や負極側のコンデンサ端子504からコンデンサモジュール500に供給され、正極側の電源端子509や負極側の電源端子508から直流コネクタ138を介してバッテリー136に供給され、バッテリー136に蓄積される。

[0027] 制御回路172は、I G B T 3 2 8およびI G B T 3 3 0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。マイコンへの入力情報としては、モータジェネレータMG1に対して要求される目標トルク値、直列回路150からモータジェネレータMG1に供給される電流値、およびモータジェネレータMG1の回転子の磁極位置がある。

[0028] 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による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MG1に設けられたレゾルバなどの回転磁極センサ（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、電流センサ180は3相の電流値を検出する場合を例に挙げているが、2相分の電流値を検出するようにし、演算により3相分の電流を求めてもよい。

[0029] 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MG1のd軸、q軸の電流指令値を演算し、この演算されたd軸、q軸

の電流指令値と、検出された d 軸、q 軸の電流値との差分に基づいて d 軸、q 軸の電圧指令値を演算し、この演算された d 軸、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）信号としてドライバ回路 174 に出力する。

[0030] 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。

[0031] 直列回路 150 に設けられた温度センサ（不図示）からは直列回路 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および過電圧検知を行い、過温度ある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。

[0032] 図 3～図 7 を参照して、インバータ回路 140 に使用される半導体モジュール 300a～300c の構成を説明する。なお、上記半導体モジュール 300a～300c（図 2 参照）はいずれも同じ構造であるため、代表して半導体モジュール 300a（以下、半導体モジュール 300A と記す）の構成を説明する。

[0033] 図 3 は半導体モジュール 300A の斜視図である。図 4 は半導体モジュール 300A の断面模式図であり、図 3（a）の I Va—I Va 線で切断した断面模式図である。なお、図 4 では、I V b—I V b 線で切断した断面において表される構成部材の符号についても付記している。図 5 は、半導体モジ

ジュール 300A の回路構成を示す回路図である。図 6 は、理解を助けるために、半導体モジュール 300A の封止樹脂 348 を取り除いた導体板組み 950 の斜視図である。図 7 は、図 6 の第 1 導体板 315 および第 3 導体板 320 を取り除いた導体板組み 950 の斜視図である。

[0034] 図 4 に示すように、半導体モジュール 300A は、図 2 および図 5 に示す直列回路 150 を構成するパワー半導体素子（IGBT 328，IGBT 330，ダイオード 156，ダイオード 166）を含んで構成され、これらパワー半導体素子が樹脂からなる封止樹脂 348 により封止されてなる。

[0035] 図 5 を参照して半導体モジュールの回路構成について説明する。図 5 に示すように、上アーム側の IGBT 328 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、第 1 導体板 315 を介して接続されている。同様に、下アーム側の IGBT 330 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、第 3 導体板 320 を介して接続されている。上アーム側の IGBT 328 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、第 2 導体板 318 を介して接続されている。同様に、下アーム側の IGBT 330 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、第 4 導体板 319 を介して接続されている。第 2 導体板 318 と第 3 導体板 320 は中間電極 329 によって接続されている。こうした回路構成により上下アームの直列回路 150 が形成される。

[0036] 図 4 および図 7 に示すように、パワー半導体素子（IGBT 328，IGBT 330，ダイオード 156，ダイオード 166）は、板状の扁平構造であり、当該パワー半導体素子の各電極は表裏面に形成されている。

[0037] 図 4 および図 6 に示すように、パワー半導体素子の各電極は、それぞれの電極面に対向して配置される第 1 導体板 315 と第 2 導体板 318、または第 3 導体板 320 と第 4 導体板 319 によって挟まれる。つまり、第 1 導体板 315 と第 2 導体板 318 は、IGBT 328 およびダイオード 156 を介して略平行に対向した積層配置となる。同様に、第 3 導体板 320 と第 4 導体板 319 は、IGBT 330 およびダイオード 166 を介して略平行に

対向した積層配置となる。図6に示すように、第3導体板320と第2導体板318は中間電極329を介して接続されている。この接続により上アーム回路と下アーム回路が電氣的に接続され、上下アーム直列回路が形成される。

[0038] 直流側の第1導体板315と交流側の第3導体板320は、略同一平面状に配置される。第1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のカソード電極が固着される。第3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のカソード電極が固着される。同様に、交流側の第2導体板318と直流側の第4導体板319は、略同一平面状に配置される。第2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のアノード電極が固着される。第4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のアノード電極が固着される。

[0039] 第1導体板315からは直流正極端子157が延在し、第2導体板318からは交流端子159が延在し、第4導体板319からは直流負極端子158が延在している。

[0040] 本実施の形態に係る各導体板315、318、319、320は、大電流回路用配線であり、純銅もしくは銅合金等の熱伝導率が高くて電気抵抗の低い材料からなり、厚さは0.5mm以上がよい。

[0041] 図4に示すように、各導体板315、318、319、320には各パワー半導体素子が金属接合材160を介してそれぞれ接合されている。金属接合材160は、たとえば銀シートや微細金属粒子を含んだ低温焼結接合材、あるいは、熱伝導率が高くて環境性に優れた鉛フリーはんだ等、たとえば、Sn-Cuはんだ、Sn-Ag-Cuはんだ、Sn-Ag-Cu-Biはんだ等である。

[0042] ドライバ回路174と接続するためのゲート電極端子154、164およびエミッタ電極端子155、165は、ワイヤボンディング、リボンボンデ

ィング等により、パワー半導体素子のゲート電極およびエミッタ電極に接続されている。ワイヤやリボンにはアルミニウムや金を用いることが好適である。ワイヤやリボンに代えて、はんだ等を用いて接続してもよい。ゲート電極端子 154, 164 およびエミッタ電極端子 155, 165 は、純銅もしくは銅合金を用いることが好適である。なお、直流正極端子 157、直流負極端子 158 および交流端子 159、ならびに、ゲート電極端子 154, 164 およびエミッタ電極端子 155, 165、その他、電流検出用端子、温度検出用端子等は、一列に配置され、所定の間隔で絶縁性樹脂等からなるタイバー 951 により接続され、一体的に保持されている。

[0043] 図 4 および図 6 に示すように、半導体モジュール 300A は、放熱フィン 371 を備えている。図 4 に示すように、放熱フィン 371 は、フィン板 371a と、フィン板 371a の剛性を高める補強板 371b とを有している。フィン板 371a は矩形平板状の基部と、基部の一面に突設された円柱状の複数のフィンとを有している。補強板 371b は矩形平板状であり、補強板 371b の外形はフィン板 371a の基部の外形と略同一とされている。フィン板 371a の基部と補強板 371b とは、フィン板 371a の基部の外周側面と補強板 371b の外周側面とが面一となるように位置決めされ、接合される。

[0044] 半導体モジュール 300A はケース 122 内に配置され、放熱フィン 371 はケース 122 内の冷媒 121 との間で熱交換を行い、半導体モジュールで発生した熱を冷媒 121 に放熱する。冷媒 121 は、各フィンと直交する方向に流れ、図示しない循環装置によりケース 122 内を循環する。

[0045] 第 2 導体板 318 および第 4 導体板 319 の外側面（半導体素子の接合面の反対側の面）には絶縁性を有する絶縁板 389 が接合され、絶縁板 389 の外側面には補強板 371b が接合され、後述のトランスファーモールド成形の後、補強板 371b の露出面にフィン板 371a が接合される。つまり、フィン板 371a におけるフィンが形成される面は封止樹脂 348 から露出する。絶縁板 389 は、絶縁性を有するセラミックスなどの無機化合物や

絶縁性を有する樹脂などの有機化合物からなり、放熱フィン 371 と導体板 318, 319 との間に配置されて、両者を絶縁する。絶縁板 389 の材質は、熱伝導率の高いものを選択することが好ましい。絶縁板 389 を樹脂で形成する場合、樹脂成分が完全に硬化する前の状態、すなわち粘着性を有する状態で導体板 318, 319、および、補強板 371b に接続することが好ましい。なお、放熱フィン 371 を構成する補強板 371b やフィン板 371a が絶縁性を有する材料で形成される場合は、絶縁板 389 を省略することができる。

[0046] 補強板 371b およびフィン板 371a は、アルミニウム、銅、マグネシウムなど、封止樹脂 348 に用いられる材料に比べて熱伝導率の高い金属材料やアルミナなどのセラミックス材料からなる。補強板 371b の材質は、フィン板 371a の材質よりも剛性の高い材質を選択することが好適である。本実施の形態では、補強板 371b とフィン板 371a とは異なる材質が選択されている。

[0047] 第2導体板 318 または第4導体板 319 と、絶縁板 389 と、補強板 371b と、フィン板 371a とは、溶接、はんだ、摩擦攪拌接合 (FSW: Friction Stir Welding) などにより接合される。なお、フィン板 371a の強度が十分な場合には、補強板 371b を省略することができる。

[0048] このように第2導体板 318 および第4導体板 319 は、それぞれ絶縁板 389 を介して放熱フィン 371 に熱伝導可能に結合されている。半導体素子 156, 166, 328, 330 で発生した熱は、第2導体板 318 または第4導体板 319 に伝わり、絶縁板 389 を介して放熱フィン 371 に伝わり、放熱フィン 371 から後述の被覆層 601 および防水層 602 を介して冷媒 121 に放熱される。

[0049] 導体板組み 950 をトランスファーモールド法などにより、絶縁性を有する封止樹脂 348 でモールドすることで半導体構造体 302 が形成される。トランスファーモールド法では、導体板組み 950 を予め加熱された金型内に固定し、金型内にエポキシ系樹脂などの熱硬化性樹脂を溶融させながら加

圧注入して成形することで、パワー半導体素子を含む導体板組み 950 が封止樹脂 348 により封止され、半導体構造体（モジュール封止体）302 が形成される。なお、トランスファーモールドを行う際、補強板 371b の外側面（絶縁板 389 との接合面の反対側の面）は封止樹脂 348 より露出される。図 3 および図 4 に示すように、封止樹脂 348 は、各端子 157, 158, 159, 154, 155, 164, 165 が相互に絶縁された状態で配置される端子面 348a を有している。

[0050] このように導体板組み 950 をモールド成形する場合、半導体構造体 302 の表面における封止樹脂 348 と導体板組み 950 との境界にごくわずかな隙間（窪み）が生じることがある。隙間（窪み）は、幅が 1～500 μm 、深さが 1～500 μm の範囲内のものが多く、境界面に沿って深さ方向に細長く生じることもある。境界面に隙間が生じると、この隙間から冷媒が浸入してしまう問題が生じる。

[0051] そこで、本実施の形態では、半導体構造体 302 の外表面に、隙間を覆う被覆層 601 と、被覆層 601 の表面に形成される防水層 602 とを形成するようにした。被覆層 601 が形成される領域は、半導体構造体 302 における冷媒 121 の接触領域の全体を含む領域である。

[0052] 第 1 の実施の形態における半導体モジュール 300A の製造方法について説明する。図 8 は、半導体モジュール 300A の製造手順を示すフローチャートである。図 8（a）に示すように、半導体モジュール 300A は、半導体構造体 302 を準備する準備工程 S100、被覆層 601 を形成する被覆層形成工程 S110、防水層 602 を形成する防水層形成工程 S120 を経て作製される。

[0053] 被覆層 601 および防水層 602 の形成方法について詳しく説明する。

－被覆層形成工程－

図 8（b）に示すように、被覆層形成工程 S110 は、塗布溶液作製工程 S112、浸漬工程 S115、および、加熱硬化工程 S118 を含む。

[0054] －塗布溶液作製工程 S112－

市販のポリアミドイミドを6重量%で、かつ粘度が $0.3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ になるようにN-メチル-2-ピロリドンで希釈、調整した塗布溶液を作製する。

[0055] ー浸漬工程S115ー

塗布領域以外の部分、たとえば端子面348aや端子面近傍の各端子を養生テープや養生シート、養生用の治具などの養生部材（不図示）を用いて覆った後、ディップ法により、半導体構造体302を塗布溶液に浸漬し、塗膜する。この際、端子面348aは浸漬しないように塗布溶液の量および浸漬させる高さなどを調整する。

[0056] ー加熱硬化工程S118ー

浸漬塗膜後、 100°C 、 170°C で各々1時間加熱することで溶媒（N-メチル-2-ピロリドン）を除去するとともに樹脂（ポリアミドイミド）を硬化させ、図4のA部拡大図で示される被覆層601を形成する。

[0057] 図9は、塗布溶液Lにより形成される塗膜Fについて説明する説明図であり、説明の便宜上、窪みS0の開口面を上にして、水平にした状態で塗膜Fを形成した例について示している。封止樹脂348の表面には、成形の際に発生するボイドに起因して、窪みS0が形成される。図9（a）に示すように、端子側を上にして半導体構造体302を塗布溶液Lに浸漬し、その後、半導体構造体302を引き上げると、図9（b）に示すように、窪みS0の天井面（上側面）から塗布溶液Lが流れ落ち、窪みS0の天井面に比べて底面（下側面）に付着する塗膜Fの厚みが厚くなる。

[0058] 塗布溶液Lの粘度が $0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 未満であると、窪みS0に塗布された塗布溶液Lが流れ落ち、窪みS0の内面の一部が露出してしまう。また、塗布溶液Lの粘度が $100 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ を超えると、窪みS0に塗布溶液Lを入れることができず、埋め込み効果がなくなってしまう。このため、塗布溶液Lの粘度は、 $0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以上 $100 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下とすることが好ましい。

[0059] 図10は、被覆層601の形成について説明する説明図である。図10（a）に示すように、塗布溶液Lにより塗膜Fを形成し（図9参照）、塗膜Fによって窪みS0を覆う。その後、塗膜Fを所定時間加熱し、硬化させるこ

とで、図10(b)に示すように、被覆層601が形成される。

[0060] ここで、塗膜Fの厚みをY、樹脂含有量をC重量%とすると、被覆層601の厚みはC・Y、窪みS0内の被覆層601の厚みはC・(Y+Z0)となる。窪みS0の深さをZ0とすると、被覆層601の窪みS1の深さZ1は、次式(1)で表される。

$$\begin{aligned} Z1 &= Z0 + C \cdot Y - C \cdot (Y + Z0) \\ &= Z0 + C \cdot Y - C \cdot Y - C \cdot Z0 \\ &= Z0 - C \cdot Z0 \\ &= Z0 (1 - C) \end{aligned} \quad \dots (1)$$

[0061] 塗布溶液Lは種々の成分で構成することができるが、式(1)で表されるように、樹脂含有量Cが多いほど窪みS0を埋める効果が高い。5重量%未満の場合では、窪みS0を埋める効果が小さいため、樹脂含有量Cは5重量%以上100重量%以下であることが望ましい。このように被覆層601により、窪みの高さを小さくする効果が得られるので、被覆層601は封止樹脂348の表面を平坦にする平坦化層としての機能がある。

[0062] ー防水層形成工程ー

図8(c)に示すように、防水層形成工程S120は、無電解銅めっき工程S122、および、無電解ニッケルめっき工程S125を含む。

ー無電解銅めっき工程S122ー

無電解銅めっきにより0.5μmの銅膜を下地膜として形成する。

ー無電解ニッケルめっき工程S125ー

下地膜の上に、無電解ニッケルめっきにより20μmのニッケル膜を形成し、図4のA部拡大図で示されるように、銅膜とニッケル膜とからなる防水層602を形成する。下地膜については省略することもできるが、下地膜を形成することで有機化合物からなる被覆層601との密着力を向上できるため、下地膜を形成することが好ましい。防水層602の形成後、養生部材を取り外し、半導体モジュール300Aが完成する。

[0063] なお、防水層602の厚みは、500μmを超えると、めっき工程に時間

を要し、製造が困難となる。したがって、防水層 602 の厚みは、 $500\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

[0064] 上述した第 1 の実施の形態によれば、次の作用効果が得られる。

(1) 半導体モジュール 300A は、半導体素子 328, 330, 156, 166 と、半導体素子が接合された導体板 318, 319 と、半導体素子に導体板 318, 319 および絶縁板 389 を介して熱伝導可能に固着された放熱フィン 371 と、放熱フィン 371 とは異なる材質からなり、放熱フィン 371 の一面を露出して半導体素子を封止する封止樹脂 348 とを備える半導体構造体 302 と、少なくとも冷媒 121 の接触領域内における放熱フィン 371 と封止樹脂 348 との境界を覆う被覆層 601 と、被覆層 601 とは異なる材質からなり、被覆層 601 の表面に形成される防水層 602 とを備える。

被覆層 601 を形成することによって、封止樹脂 348 と放熱フィン 371 との境界に沿って形成される隙間（窪み）が覆われる。

防水層 602 を形成することによって、冷媒 121 が封止樹脂 348 内に浸入することを防止することができるため、半導体モジュール 300A の長寿命化を図ることができる。

[0065] 図 11 (a) は、封止樹脂 348 の成形後の状態を示す部分断面模式図であり、図 11 (b) は、被覆層 601 を設けずに、直接、半導体構造体 302 の表面に防水層 602 を設けた例（以下、比較例と記す）を示す部分断面模式図である。図 12 は、被覆層 601 および防水層 602 を設けた本実施の形態を示す部分断面模式図である。図 11 (a), (b) および図 12 は、それぞれ図 4 の A 部に相当する部分の断面を模式的に示したものである。

[0066] 図 11 (a) に示すように、封止樹脂 348 の成形後、封止樹脂 348 の熱収縮により、封止樹脂 348 と放熱フィン 371 の補強板 371b との境界面に極わずかな隙間 G が発生することがある。図 11 (b) に示すように、比較例では、被覆層 601 が形成されておらず、無電解銅めっきおよび無電解ニッケルめっきにより $0.5\mu\text{m}$ の銅膜および $20\mu\text{m}$ のニッケル膜と

からなる防水層 602 が形成されている。しかしながら、比較例では、図 11 (b) に示すように隙間 G が十分に覆われず、放熱フィン 371 と封止樹脂 348 の境界面に沿って冷媒 121 が浸入し、半導体素子のリーク電流が増加して、正常に起動することができないという検証結果が得られた。仮に、隙間 G がめっき処理により形成された防水層 602 で覆われたとしても、異種部材の境界では応力が集中しやすいため、長期に亘って防水性を確保するのは困難である。

[0067] これに対して、本実施の形態では、図 12 に示すように、被覆層 601 で隙間（窪み）G を埋めるようにして、被覆層 601 を覆い、被覆層 601 の表面に防水層 602 を形成しているため、冷媒 121 の浸入を防止して、長期に亘って正常に半導体モジュール 300A を動作させることができる。表面に存在する窪み S0, G を埋める被覆層 601 を有しているので、比較例に比べて、防水層 602 の密着性が良くなり、信頼性が向上する効果がある。

[0068] (2) 封止樹脂 348 の成形後、封止樹脂 348 の表面にはボイドによる窪みが発生する。本実施の形態では、被覆層 601 が、放熱フィン 371 と封止樹脂 348 との境界を含む、冷媒 121 の接触領域の全体に形成され、この被覆層 601 の表面に防水層 602 が形成されている。これにより、冷媒 121 の接触領域の全体で、封止樹脂 348 に対する冷媒 121 の直接的な接触を防止して、半導体モジュール 300A の長寿命化を図ることができる。

[0069] (3) 被覆層 601 を有機化合物で形成したので、数 μm ～数百 μm の窪みを覆うことができる。このため、放熱フィン 371 と封止樹脂 348 との境界に形成される隙間（窪み）や封止樹脂 348 の表面に形成される複数の窪みの幅や深さにばらつきがあっても、各窪みを被覆層 601 で覆うことができる。

[0070] (4) 防水層 602 を金属で形成したので、冷媒 121 を遮断して、冷媒 121 が被覆層 601 に直接的に接触することを防止できる。

[0071] このように、被覆層 601 と防水層 602 の多層構造（積層構造）を採用することで、成形時に意図しない窪み S0、G が形成されたとしても、冷媒 121 の浸入を遮断し、半導体チップやチップ部品等の素子周辺の吸水を防止し、吸水による半導体チップのリーク電流の増加や、複数の素子間のマイグレーションによる絶縁抵抗の低下等の絶縁性能の低下を防止することができる。

これは、複数種の異なる部材で構成される表面に被膜する際には、部材ごとに密着性が異なることから不均一になるのに対して、異種部材同士の境界に被覆層 601 を形成することで、その表面が単一材料となり、防水層 602 を均一に密着させることができるためである。これにより、長期に亘って正常に動作する信頼性の高い半導体モジュール 300A および電力変換装置 200 を提供することができる。

[0072] ー第 2 の実施の形態ー

図 13 および図 14 を参照して第 2 の実施の形態に係る半導体モジュール 300B について説明する。図 13 は、図 3（a）と同様の図であり、第 2 の実施の形態に係る半導体モジュール 300B の斜視図である。図 14 は、図 4 と同様の図であり、第 2 の実施の形態に係る半導体モジュール 300B の断面模式図である。図中、第 1 の実施の形態と同一もしくは相当部分には同一符号を付し、説明を省略する。以下、第 1 の実施の形態との相違点について詳しく説明する。

[0073] 第 1 の実施の形態では、放熱フィン 371 が半導体モジュール 300A の一方の面にのみ設けられている例について説明したが、第 2 の実施の形態では、半導体モジュール 300B の両方の面に放熱フィン 371 が設けられている。

[0074] 図 14 に示すように、第 1 導体板 315 および第 3 導体板 320 の外側面には絶縁性を有する絶縁板 389 が接合され、絶縁板 389 の外側面には補強板 371b が接合され、トランスファーモールド成形の後、補強板 371b の露出面にフィン板 371a が接合される。絶縁板 389 は、絶縁性を有

するセラミックスなどの無機化合物や絶縁性を有する樹脂などの有機化合物からなり、放熱フィン371と導体板315, 320との間に配置されて、両者を絶縁する。絶縁板389の材質は、熱伝導率の高いものを選択することが好ましい。絶縁板389を樹脂で形成する場合、樹脂成分が完全に硬化する前の状態、すなわち粘着性を有する状態で導体板315, 320、および、補強板371bに接続することが好ましい。なお、放熱フィン371を構成する補強板371bやフィン板371aが絶縁性を有する材料で形成される場合は、絶縁板389を省略することができる。

[0075] 補強板371bおよびフィン板371aは、アルミニウム、銅、マグネシウムなど、封止樹脂348に用いられる材料に比べて熱伝導率の高い金属材料やアルミナなどのセラミックス材料からなる。補強板371bの材質は、フィン板371aの材質よりも剛性の高い材質を選択することが好適である。

[0076] 第1導体板315または第3導体板320と、絶縁板389と、補強板371bと、フィン板371aとは、溶接、はんだ、摩擦攪拌接合などにより接合される。なお、フィン板371aの強度が十分な場合には、補強板371bを省略することができる。

[0077] このような第2の実施の形態によれば、第1の実施の形態と同様の作用効果を奏する。なお、第1の実施の形態に比べて、放熱フィン371の放熱面積が増えているため、第1の実施の形態よりも冷却性能を向上できる。

[0078] ー第3の実施の形態ー

図15を参照して第3の実施の形態に係る半導体モジュール300Cについて説明する。図15は、図4と同様の図であり、第3の実施の形態に係る半導体モジュール300Cの断面模式図である。図中、第1の実施の形態と同一もしくは相当部分には同一符号を付し、説明を省略する。以下、第1の実施の形態との相違点について詳しく説明する。

[0079] 第1の実施の形態では、各端子が一の端子面348aに配置されていたが、第3の実施の形態では、一の端子面348aの反対側の面（以下、他の端

子面 3 4 8 b) にも端子が配置されている。第 3 の実施の形態では、一の端子面 3 4 8 a からは、図 5 に示される直流負極端子 1 5 8、直流正極端子 1 5 7 および交流端子 1 5 9、ゲート電極端子 1 5 4, 1 6 4、エミッタ電極端子 1 5 5, 1 6 5 が延在し、他の端子面 3 4 8 b からは電流検出端子 1 9 0 が延在している。

[0080] 第 3 の実施の形態では、図 1 5 に示すように、2 つの端子面 3 4 8 a, 3 4 8 b が露出しているため、すなわち 2 つの端子面 3 4 8 a, 3 4 8 b には被覆層 6 0 1 および防水層 6 0 2 が形成されていないため、第 1 の実施の形態に比べて、被覆層 6 0 1 および防水層 6 0 2 が形成されない面積が増えている。第 3 の実施の形態では、2 つの端子面 3 4 8 a, 3 4 8 b や端子を養生部材で覆い、塗布溶液により被覆層 6 0 1 を形成する。その後、防水層 6 0 2 を形成し、養生部材を取り外す。

[0081] このような第 3 の実施の形態によれば、第 1 の実施の形態と同様の作用効果を奏することができる。なお、第 1 の実施の形態よりも被覆層 6 0 1 および防水層 6 0 2 が形成される面積が少ないので、第 1 の実施の形態よりも重量およびコストを低減できる。

[0082] ー第 4 の実施の形態ー

図 1 6 を参照して第 4 の実施の形態に係る半導体モジュール 3 0 0 D について説明する。図 1 6 は、図 4 と同様の図であり、第 4 の実施の形態に係る半導体モジュール 3 0 0 D の断面模式図である。図中、第 1 の実施の形態と同一もしくは相当部分には同一符号を付し、説明を省略する。以下、第 1 の実施の形態との相違点について詳しく説明する。

[0083] 第 1 の実施の形態では、半導体構造体 3 0 2 における冷媒 1 2 1 の接触領域の全体に被覆層 6 0 1 および防水層 6 0 2 が形成されていたが、第 4 の実施の形態では、放熱フィン 3 7 1 の周縁部を除き、放熱フィン 3 7 1 には被覆層 6 0 1 および防水層 6 0 2 が形成されていない。

[0084] 第 4 の実施の形態では、被覆層形成工程において、放熱フィン 3 7 1 の表面を養生部材で覆った状態で塗布溶液に浸漬し、被覆層 6 0 1 を形成する。

その後、防水層 602 を形成し、養生部材を取り外す。第 4 の実施の形態では、フィン板 371a の周縁部、すなわち放熱フィン 371 と封止樹脂 348 の境界近傍における放熱フィン 371 には、被覆層 601 および防水層 602 が形成されている。

[0085] 第 4 の実施の形態では、被覆層 601 および防水層 602 は、封止樹脂 348 における冷媒 121 の接触領域の全体に形成されるが、放熱フィン 371 には被覆層 601 および防水層 602 が形成されずに露出している。このため、第 1 の実施の形態と同様の作用効果に加え、放熱フィン 371 を直接冷媒に接触させて熱交換をすることができるので、放熱効果をより高めることができるという作用効果を奏する。また、第 1 の実施の形態よりも重量およびコストを低減できる。なお、第 2 の実施の形態や第 3 の実施の形態でも同様に、放熱フィン 371 を冷媒に接触させる構成を採用することができる。

[0086] 次のような変形も本発明の範囲内であり、変形例の一つ、もしくは複数を上述の実施形態と組み合わせることも可能である。

(変形例 1)

フィン板 371a、補強板 371b および絶縁板 389 の位置関係は、上述した実施の形態に限定されない。たとえば、図 17 (a) に示すように、補強板 371b の外形をフィン板 371a の外形よりも一回り大きくしてもよい。上述した実施の形態では、封止樹脂 348 と補強板 371b の境界において、封止樹脂 348、補強板 371b、フィン板 371a および被覆層 601 の 4 種類の異なる材料からなる 4 つの構成部材が交わる部分が存在していた (図 4 の A 部拡大図参照)。これに対して、本変形例では、補強板 371b の大きさをフィン板 371a よりも大きくすることで、封止樹脂 348 と補強板 371b の境界 (B1 部) において、封止樹脂 348、補強板 371b および被覆層 601 の 3 つの異種部材が交わる部分とすることができる。これにより 4 つの異種部材が交わる第 1 の実施の形態に比べて、交点の部分 (B1 部) における応力集中を緩和することができる。

[0087] (変形例2)

フィン板371a、補強板371bおよび絶縁板389の材料をそれぞれ異なるものとする場合に限定されない。たとえば、図17(b)に示すように、補強板371bとフィン板371aとを同じ材料で形成することで、封止樹脂348と補強板371bの境界(B1部)において、3つの異種部材が交わることになる。このため、4つの異種部材が交わる構造に比べ、応力集中を緩和することができる。なお、図17(c)に示すように、補強板371bを省略した場合も同様にB1部における応力集中を緩和することができる。

[0088] (変形例3)

上述した実施の形態では、ポリアミドイミドにより被覆層601を形成する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。ポリアミドイミドに代えて、ポリイミド、ポリイミダゾール、フェノール樹脂、エポキシ樹脂、メラミン樹脂など、種々の熱硬化性樹脂により被覆層601を形成することができる。塗布溶液は、少なくとも溶剤と樹脂成分から構成されている。なお、無機フィラーを配合してもよい。なお、防水層602を金属で形成することを考慮し、耐薬品性や耐熱性に優れたものを選択することが好適である。

[0089] たとえば、20重量%エポキシ樹脂で粘度が30Pa・sのメチルエチルケトン溶液を作製し、その後、この塗布溶液を用いて半導体構造体302の表面を塗膜する。150℃で1時間加熱硬化させることにより、被覆層601が形成される。

[0090] (変形例4)

上述した実施の形態では、塗布溶液に浸漬するディップ法により被覆層601を形成する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。塗布溶液の塗布の方法は、浸漬に限定されず、スプレーや刷毛により塗布溶液を半導体構造体302に塗布して、被覆層601を形成してもよい。ディップ(浸漬)、スプレー、はけ塗り、あるいは、それらの組み合わせを用いるこ

ともできる。埋め込み性が不十分な場合には、重ね塗りを行うことで改善できる。

[0091] (変形例5)

上述した実施の形態では、溶媒としてN-メチル-2-ピロリドンを採用した例について説明したが、本発明はこれに限定されない。室温で被覆層601を構成する樹脂との相溶性に優れる種々の溶媒を採用できる。たとえば、ジメチルスルホキシド、ジメチルホルムアミド、ジメチルアセトアミド、ジエチレングリコールジメチルエーテル、メチルエチルケトンなどの極性溶媒を用いることができる。

[0092] (変形例6)

上述した実施の形態では、有機化合物により被覆層601を形成する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。無機化合物により被覆層601を形成してもよい。窪みS0、Gの幅や深さが小さい場合には、無機化合物により薄い被覆層601を形成することで、無駄なく被覆層601を形成することができる。たとえば、酸化ケイ素、酸化チタン、酸化ジルコニウム等の無機化合物により被覆層601を形成することができる。これらは、テトラエトキシシラン、テトラブトキシチタン、ジルコニウム(IV)プロポキシドなどを用いて、熱硬化させることにより酸化膜が形成される。熱硬化には使用した溶媒の沸点程度の加熱で十分なことから、ガラス被膜と異なり、半導体チップや封止樹脂348にダメージを与えることなく形成可能である。

[0093] 溶媒は、無機化合物に応じて選択する。たとえば、エタノール、プロパノール、ブタノール、ヘキサノール、ペンタノールなどのアルコール系溶媒やトルエン、キシレン、シクロヘキサンなどを溶媒として選択できる。希釈溶液の安定性を得るために酢酸を加えてもよい。

[0094] 無機化合物により被覆層601を形成する場合、塗布溶液に対する無機元素比率が2重量%を超えると、数秒から数時間で自己縮合が開始され、固形化するため、作業性が悪くなる。このため、全体の塗布溶液に対して無機元

素比率は2重量%以下とすることが好ましい。全体の塗布溶液に対して無機元素比率が2重量%以下であれば、化学変化が起こらず、安定な塗布溶液として使用することができる。なお、無機化合物による被覆層形成方法としては、ディップ（浸漬）、スプレー、はけ塗り、あるいは、それらの組み合わせを用いることができる。埋め込み性が不十分な場合には、重ね塗りを行うことで改善できる。

[0095] 無機化合物により被覆層601を形成する一例としては、1重量%テトラエトキシシランのエタノール溶液を作製し、その後、この塗布溶液をスプレーにて半導体構造体302に噴霧し塗膜する。100℃で1時間加熱硬化させることにより酸化ケイ素膜が形成される。この工程を2、3回程度繰り返し行うことで窪みS0、Gを埋めるように覆う被覆層601が形成される。

[0096] 無機化合物により被覆層601を形成する他の一例としては、1重量%テトラブトキシチタンのトルエン溶液を作製し、その後、この塗布溶液に半導体構造体302を浸漬すること（ディップ法）によって塗膜する。浸漬塗膜後、80℃、120℃で各々1時間加熱することで硬化させ、酸化チタン膜を形成する。この工程を2、3回程度繰り返し行うことで窪みS0、Gを埋めるように覆う被覆層601が形成される。

[0097] （変形例7）

上述した実施の形態では、非金属により被覆層601を形成する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。クロム、チタン、銅およびそれらの合金などの金属により被覆層601を形成してもよい。金属からなる被覆層（金属膜）は、スパッタ、蒸着、無電解めっき等によって形成することができる。金属膜は、窪みS0、Gを埋めるように覆う機能だけでなく、金属からなる防水層602との密着性を向上させる機能を有する。

[0098] 金属により被覆層601を形成する一例としては、スパッタ法により、下地膜として0.1μmのクロム膜を形成した後に、1μmの銅膜を形成した。スパッタは、たとえば、被覆層601を形成する半導体構造体302の各面ごとに行うことで、ターゲットとなる金属からの距離が一定となり、均一

な金属膜を得ることができる。

[0099] (変形例 8)

上述した実施の形態では、銅膜（下地膜）の上にニッケル膜を形成し、銅膜とニッケル膜とからなる防水層 602 を形成する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。下地膜を形成せずに、無電解ニッケルめっきを施してニッケル膜のみで防水層 602 を形成してもよい。材料については、銅（Cu）やニッケル（Ni）に限定されず、錫（Sn）、亜鉛（Zn）や、銅、ニッケル、錫、亜鉛を含む合金（たとえば、ニッケルリン（Ni-P）合金、ニッケルボロン（Ni-B）合金、ニッケルリンボロン（Ni-P-B）多元合金）を用いることができる。ニッケルは耐食性に特に優れており、銅は熱伝導性に特に優れているため、用途に応じて選択することが好ましい。

[0100] (変形例 9)

上述した実施の形態では、無電解めっきにより防水層 602 を形成する例について説明したが、本発明はこれに限定されない。電気めっき、あるいは無電解めっきと電気めっきの組み合わせにより防水層 602 を形成してもよい。無電解めっきや電気めっきは、量産に適しているだけでなく、コールドスプレーや溶射と言った方法に比べて、半導体構造体 302 に与えるダメージが小さいためである。

[0101] (変形例 10)

上述した実施の形態では、封止樹脂 348 における冷媒 121 の接触領域の全体に被覆層 601 および防水層 602 が形成されている例について説明したが、本発明はこれに限定されない。少なくとも、封止樹脂 348 と放熱フィン 371 との境界を覆うように被覆層 601 が設けられ、この被覆層 601 を覆うように防水層 602 を設ければよい。

[0102] (変形例 11)

上述した実施の形態では、放熱フィン 371 および絶縁板 389 が、導体板 318, 319, 315, 320 の熱を伝える伝熱部材として構成されて

いる例について説明したが、本発明はこれに限定されない。絶縁板 389 に代えてシート状の絶縁シートを設けてもよい。上述したように、放熱フィン 371 の補強板 371 b を、絶縁性を有する材料により形成し、絶縁板 389 を省略してもよい。放熱フィン 371 のフィン形状は円柱形状に限定されず、種々のフィン形状を採用できる。さらに、放熱フィン 371 に代えて、フィンを有していない平板状の放熱板を採用してもよい。

[0103] (変形例 12)

上述した実施の形態では、電子制御装置の一例として電力変換装置（インバータ）を挙げて説明したが、本発明はこれに限定されない。半導体モジュールを備える種々の電子制御装置に本発明を適用できる。

[0104] 本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の形態についても、本発明の範囲内に含まれる。

符号の説明

[0105] 21 コネクタ、121 冷媒、122 ケース、136 バッテリ、138 直流コネクタ、140 インバータ回路、150 直列回路、153 コレクタ電極端子、154 ゲート電極端子、155 エミッタ電極端子、156 ダイオード、157 直流正極端子、158 直流負極端子、159 交流端子、160 金属接合材、163 コレクタ電極端子、165 エミッタ電極端子、166 ダイオード、169 中間電極、172 制御回路、174 ドライバ回路、180 電流センサ、188 交流端子、190 電流検出端子、200 電力変換装置、300A, 300B, 300C, 300D 半導体モジュール、302 半導体構造体、315 第1導体板、318 第2導体板、319 第4導体板、320 第3導体板、329 中間電極、348 封止樹脂、348a, 348b 端子面、371 放熱フィン、371a フィン板、371b 補強板、389 絶縁板、500 コンデンサモジュール、504 コンデンサ端子、506 コンデンサ端子、508 電源端子、509 電源端子、601 被覆層、602

防水層、８０２ 交流バスバー、９５０ 導体板組み、９５１ タイバー

請求の範囲

- [請求項1] 半導体素子と、前記半導体素子が接合された導体部材と、前記半導体素子に熱伝導可能に設けられた放熱部材と、前記放熱部材とは異なる材質からなり、前記放熱部材の一面を露出して前記半導体素子を封止する封止材とを備える半導体構造体と、
- 少なくとも冷媒の接触領域内における前記放熱部材と前記封止材との境界を覆う被覆層と、
- 前記被覆層とは異なる材質からなり、前記被覆層の表面に形成される防水層とを備える半導体モジュール。
- [請求項2] 請求項1に記載の半導体モジュールにおいて、
- 前記被覆層は、前記封止材における冷媒の接触領域の全体に形成されている半導体モジュール。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の半導体モジュールにおいて、
- 前記被覆層は、有機化合物からなる半導体モジュール。
- [請求項4] 請求項1または2に記載の半導体モジュールにおいて、
- 前記被覆層は、無機化合物からなる半導体モジュール。
- [請求項5] 請求項1または2に記載の半導体モジュールにおいて、
- 前記被覆層は、金属からなる半導体モジュール。
- [請求項6] 請求項1または2に記載の半導体モジュールにおいて、
- 前記防水層は、厚みが500 μm 以下の金属膜である半導体モジュール。
- [請求項7] 請求項1または2に記載の半導体モジュールを備える電子制御装置。
- [請求項8] 半導体素子と、前記半導体素子が接合された導体部材と、前記半導体素子に熱伝導可能に設けられた放熱部材と、前記放熱部材とは異なる材質からなり、前記放熱部材の一面を露出して前記半導体素子を封止する封止材とを備える半導体構造体を準備し、
- 少なくとも冷媒の接触領域内における前記放熱部材と前記封止材と

の境界を覆う被覆層を形成し、

前記被覆層の表面に前記被覆層とは異なる材質からなる防水層を形成する半導体モジュールの製造方法。

[請求項9] 請求項8に記載の半導体モジュールの製造方法において、
前記被覆層を形成する際、前記封止材における冷媒の接触領域の全体に前記被覆層を形成する半導体モジュールの製造方法。

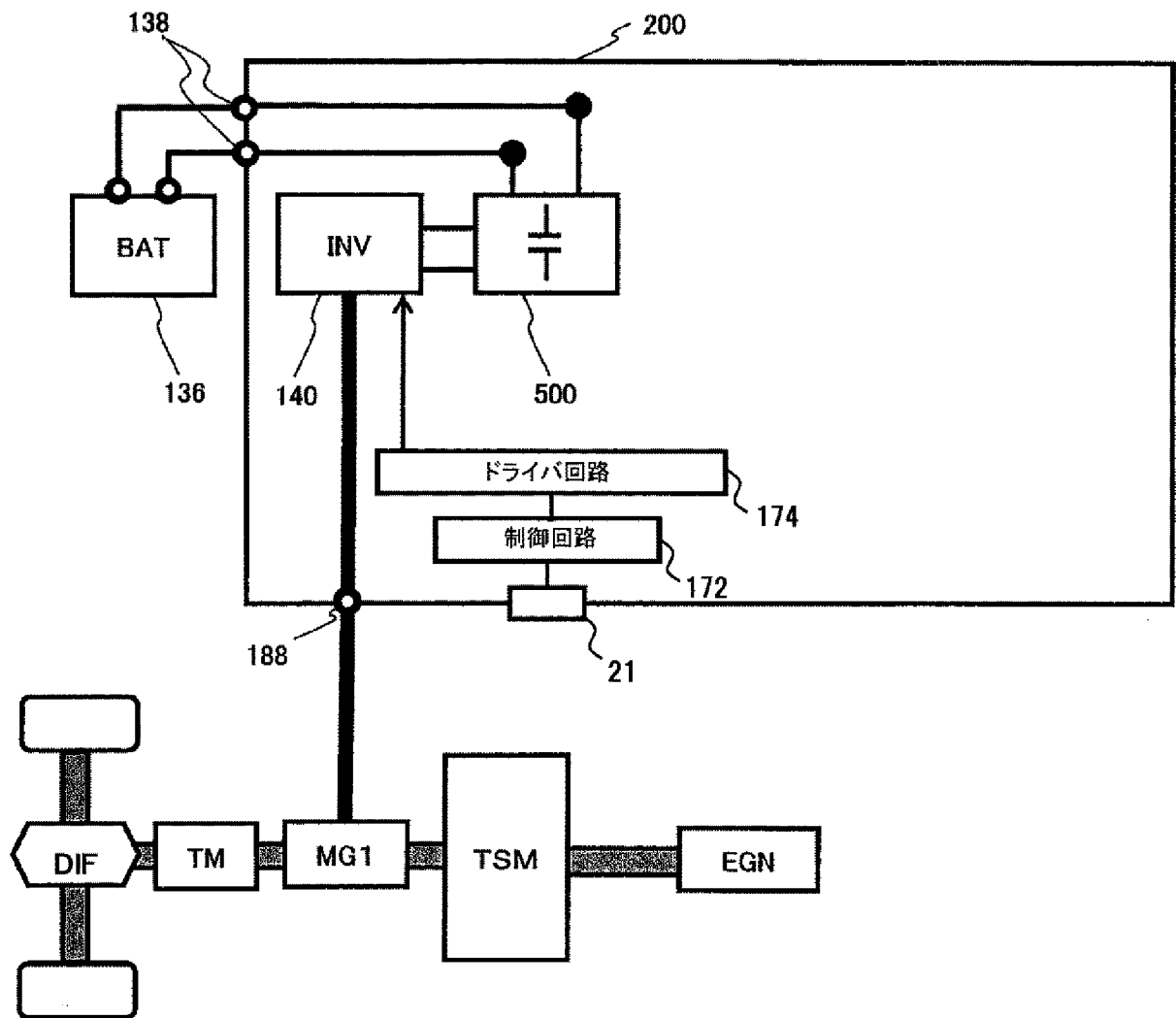
[請求項10] 請求項8または9に記載の半導体モジュールの製造方法において、
前記被覆層を形成する際、樹脂の含有量が5重量%以上100重量%以下の塗布溶液を塗布することで、前記被覆層を形成する半導体モジュールの製造方法。

[請求項11] 請求項8または9に記載の半導体モジュールの製造方法において、
前記被覆層を形成する際、粘度が $0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以上 $100 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下の塗布溶液を塗布することで、前記被覆層を形成する半導体モジュールの製造方法。

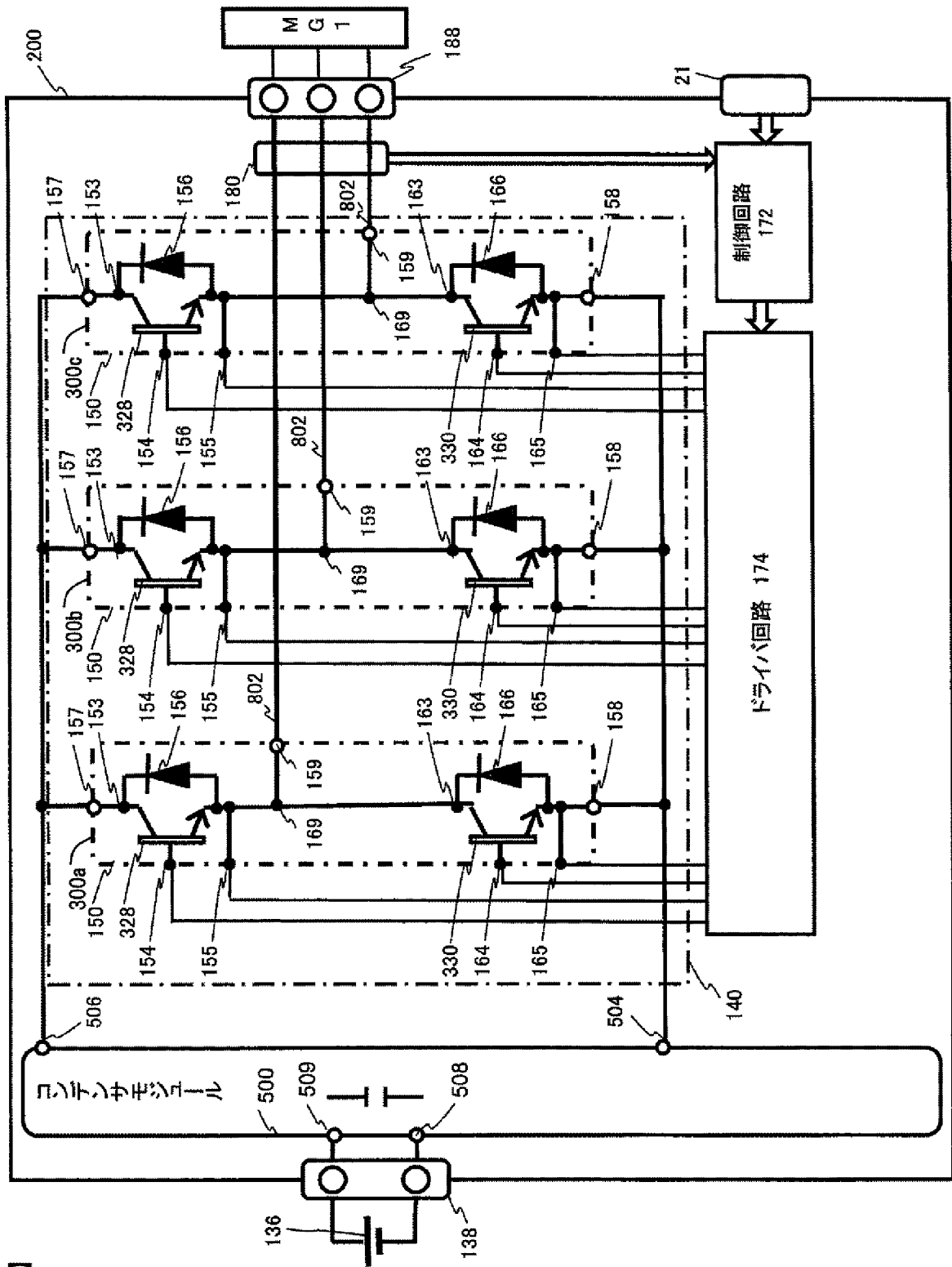
[請求項12] 請求項8または9に記載の半導体モジュールの製造方法において、
前記被覆層を形成する際、無機元素比率が2重量%以下の塗布溶液を塗布することで、前記被覆層を形成する半導体モジュールの製造方法。

[図1]

【図1】



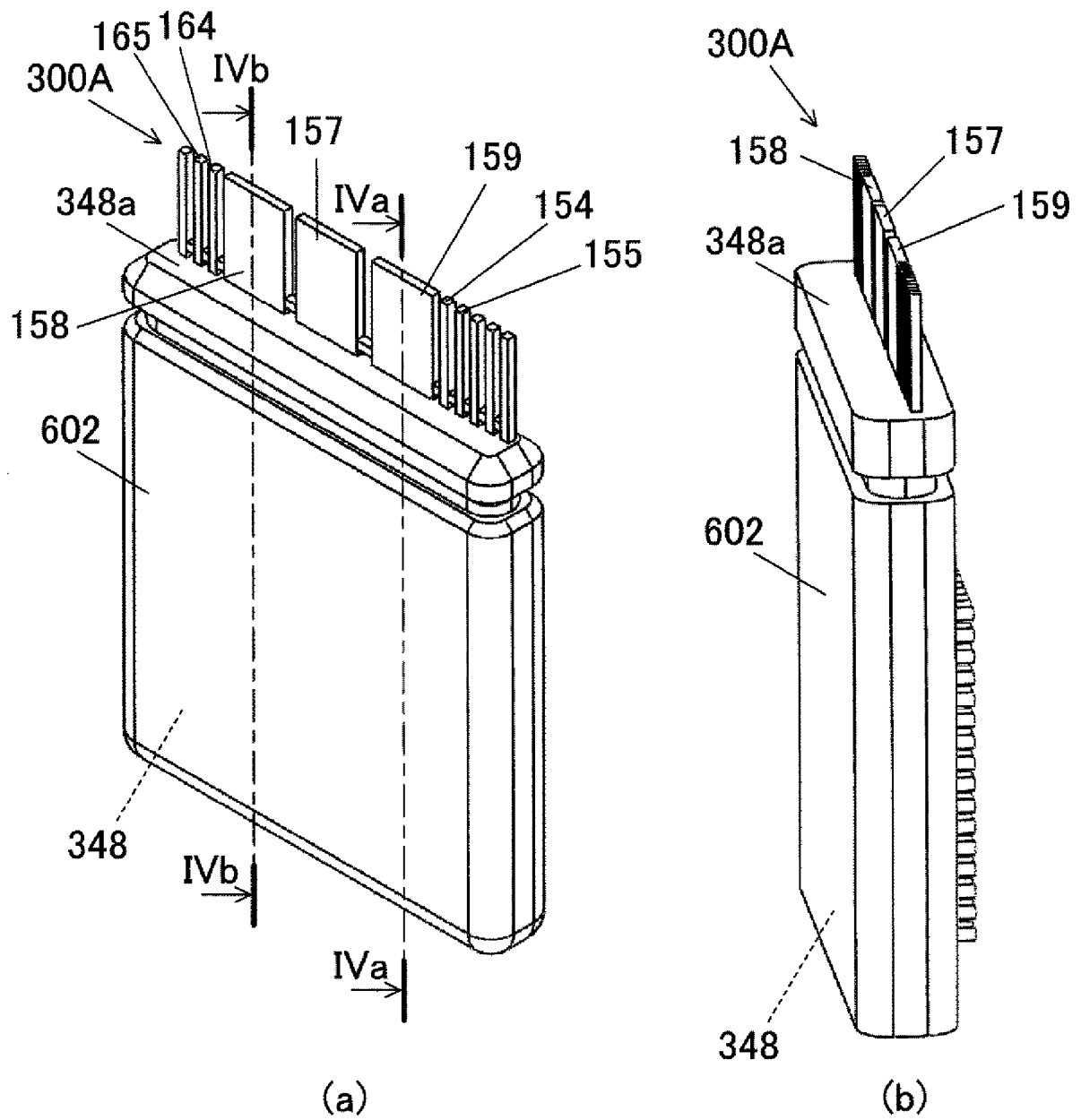
【図2】



【図2】

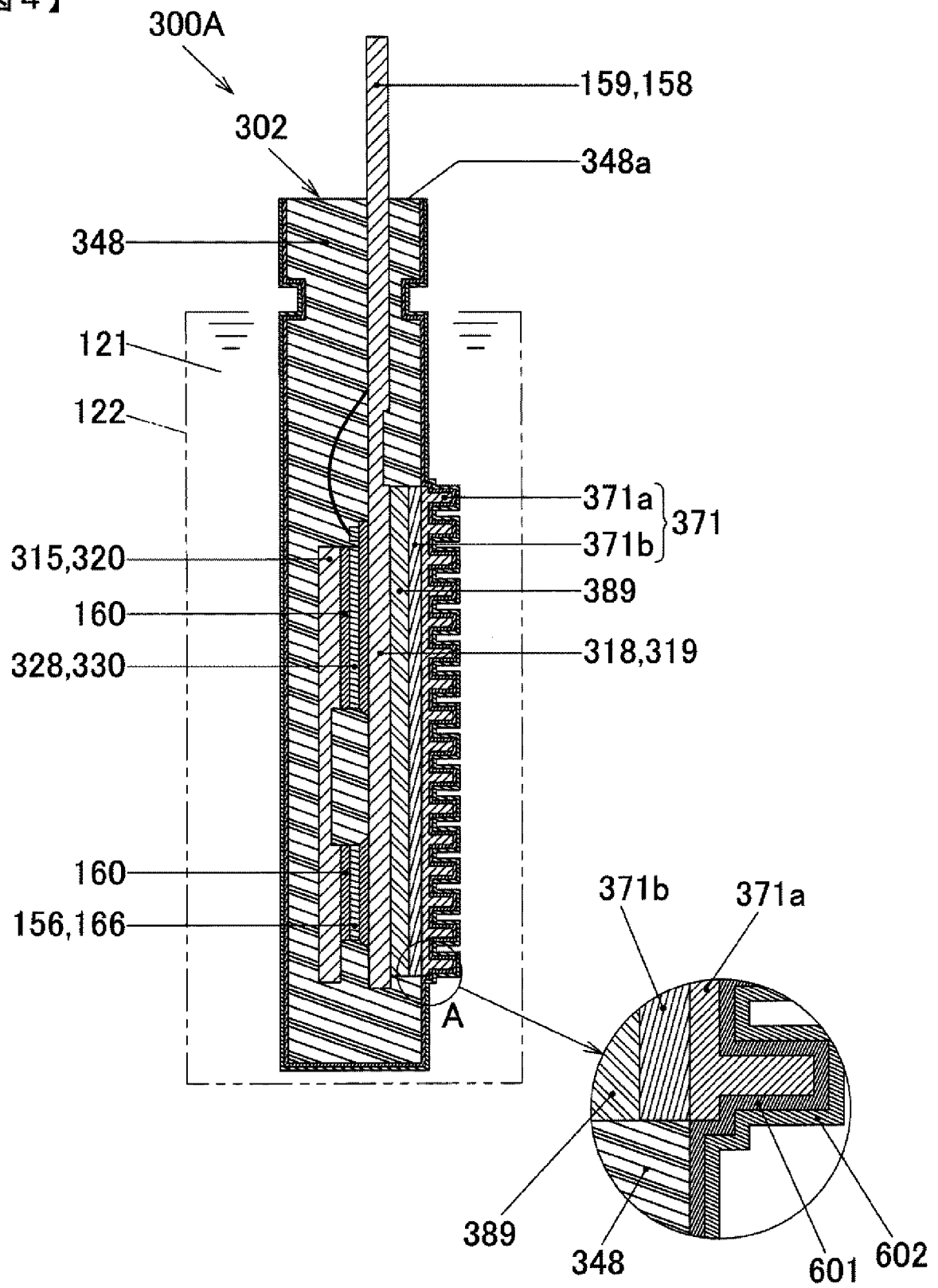
[図3]

【図3】



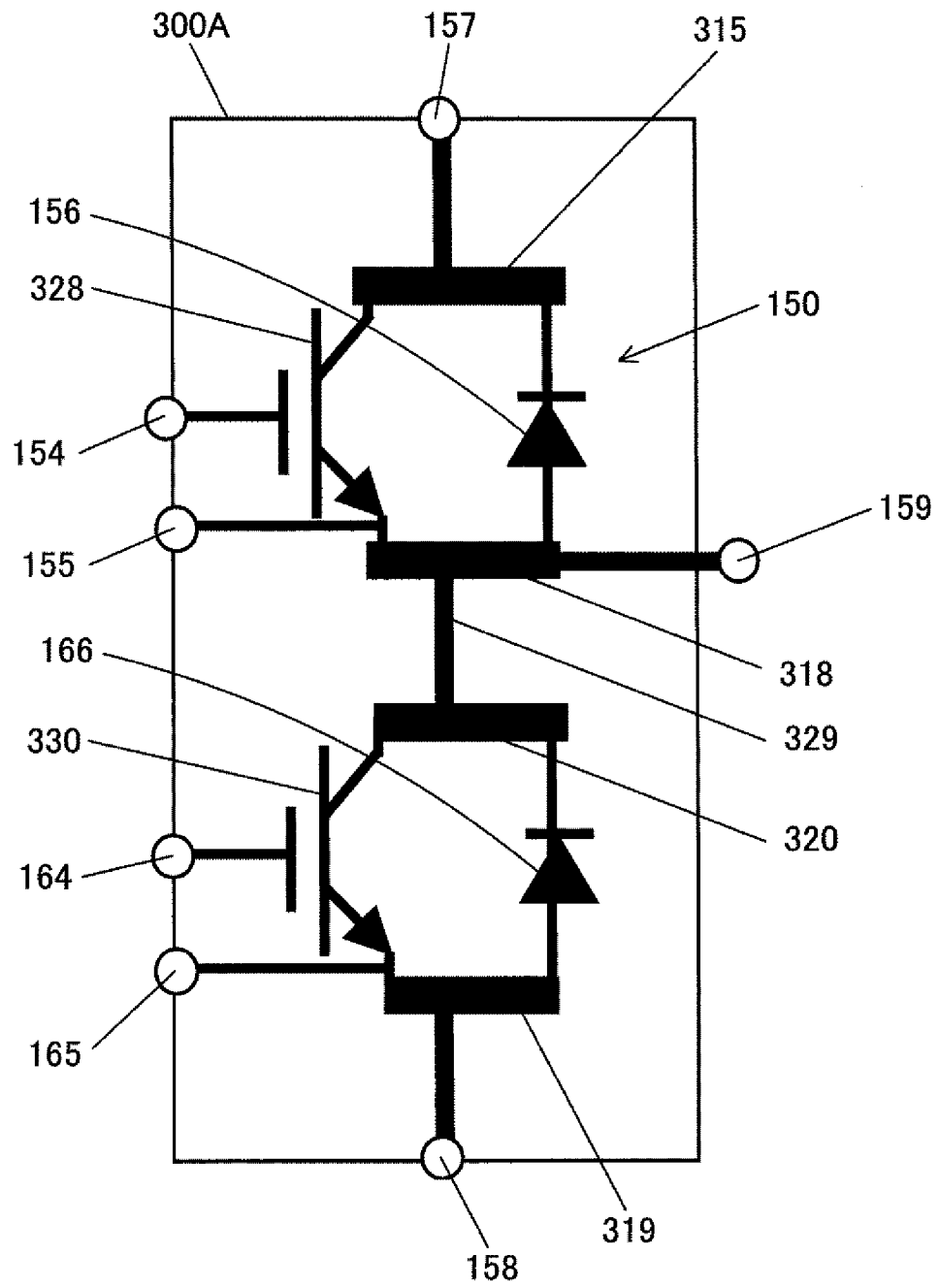
[図4]

【図 4】



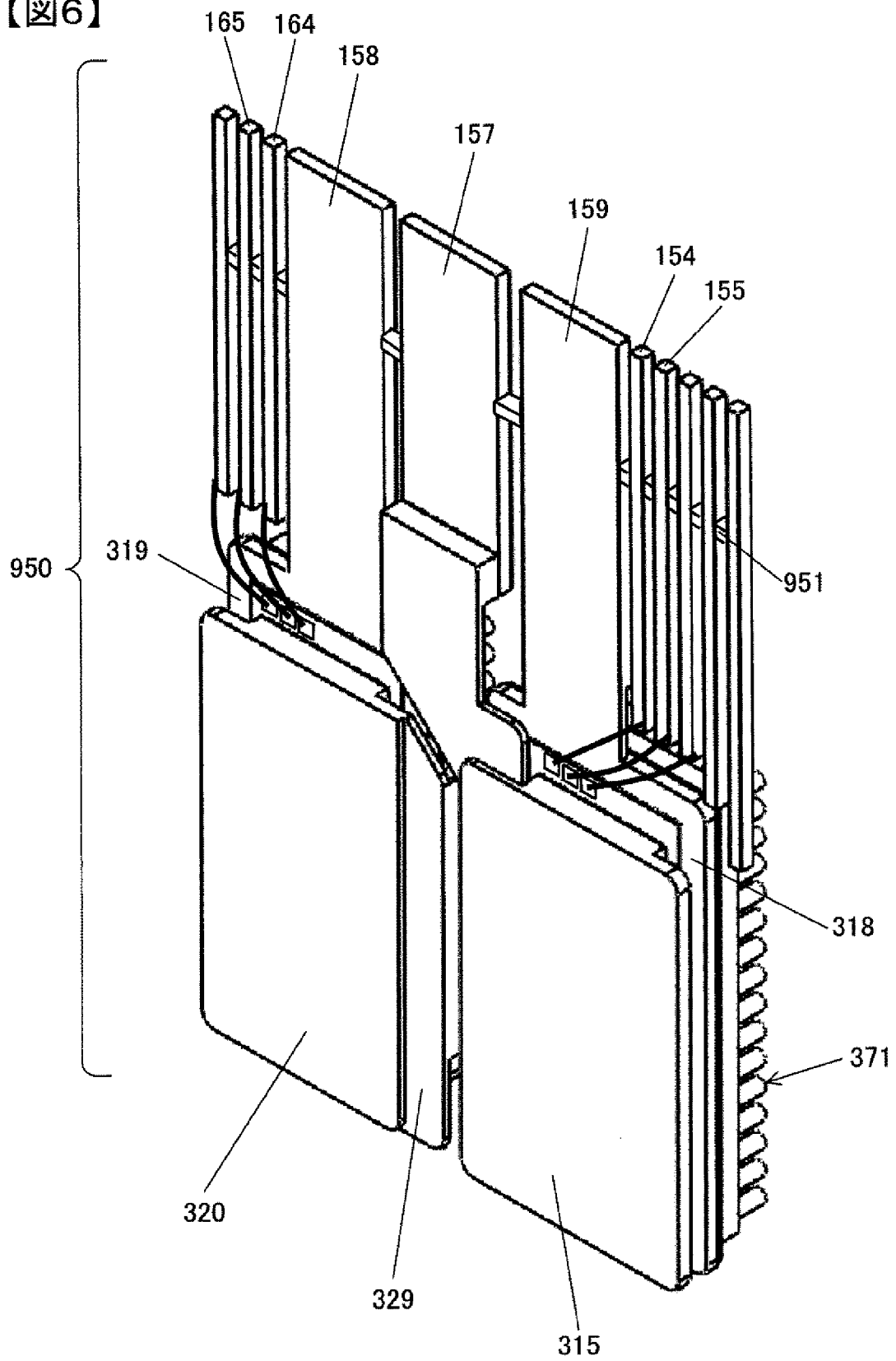
[図5]

【図5】



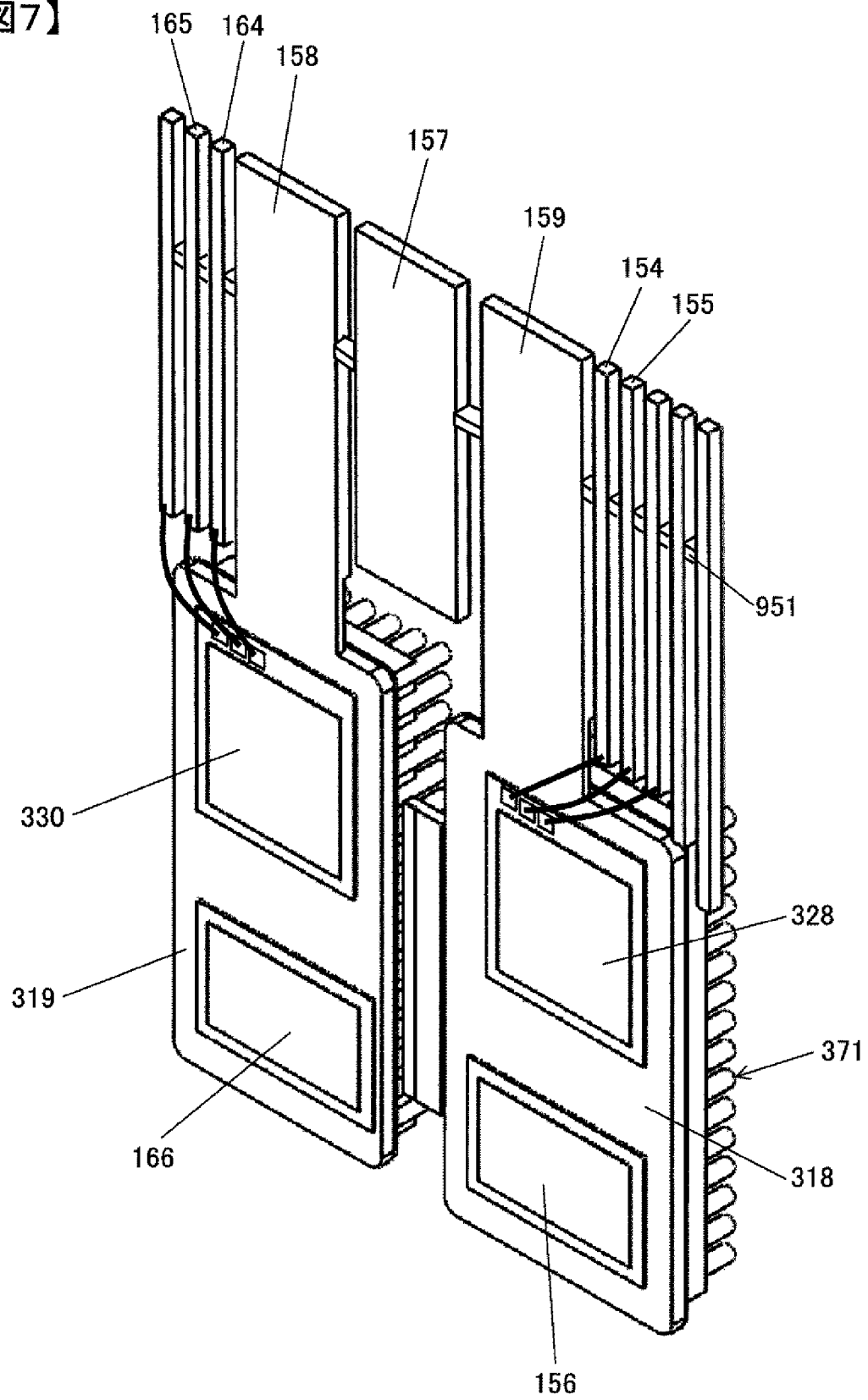
[図6]

【図6】



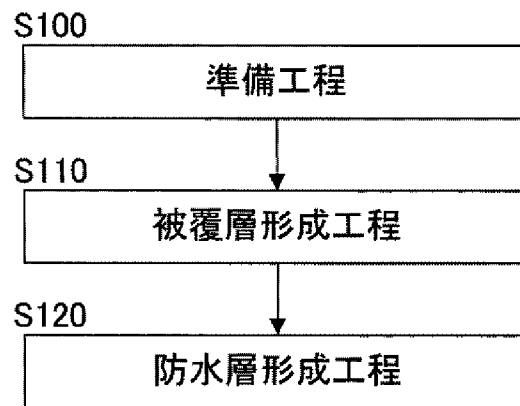
[図7]

【図7】

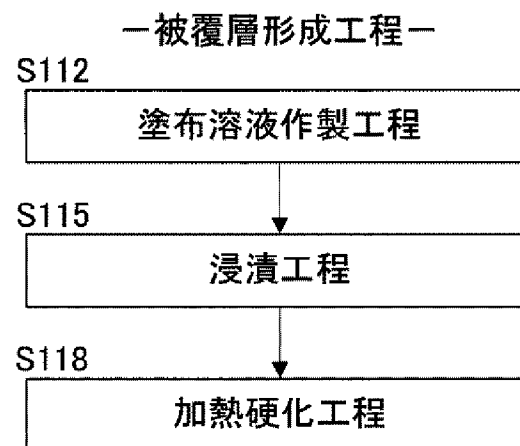


[図8]

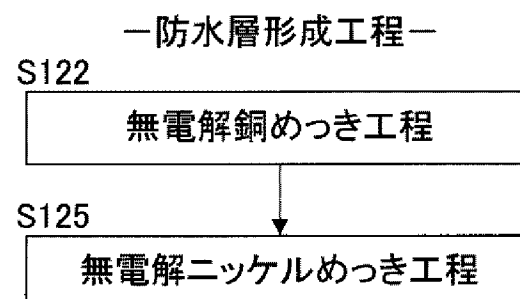
【図8】



(a)



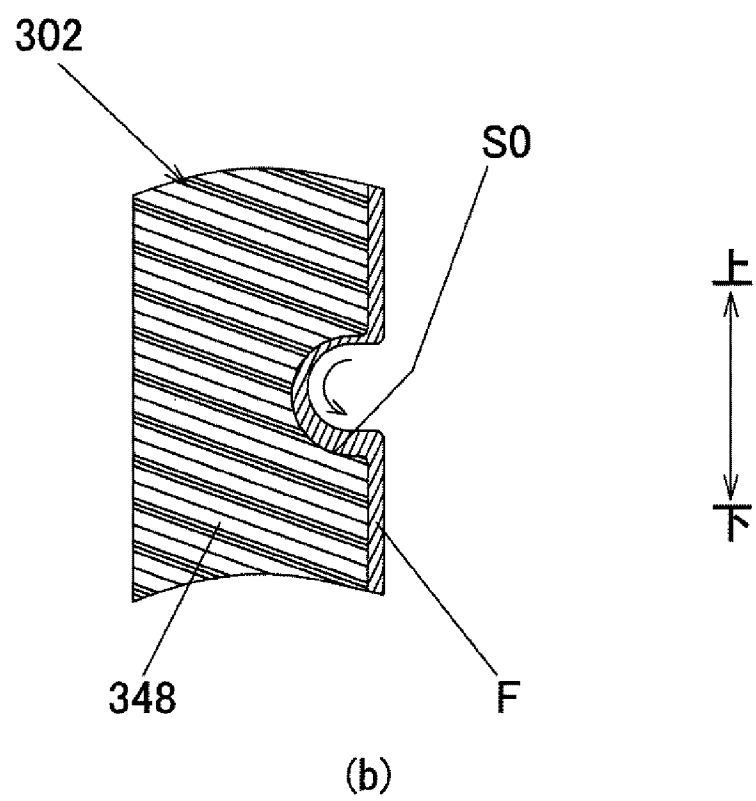
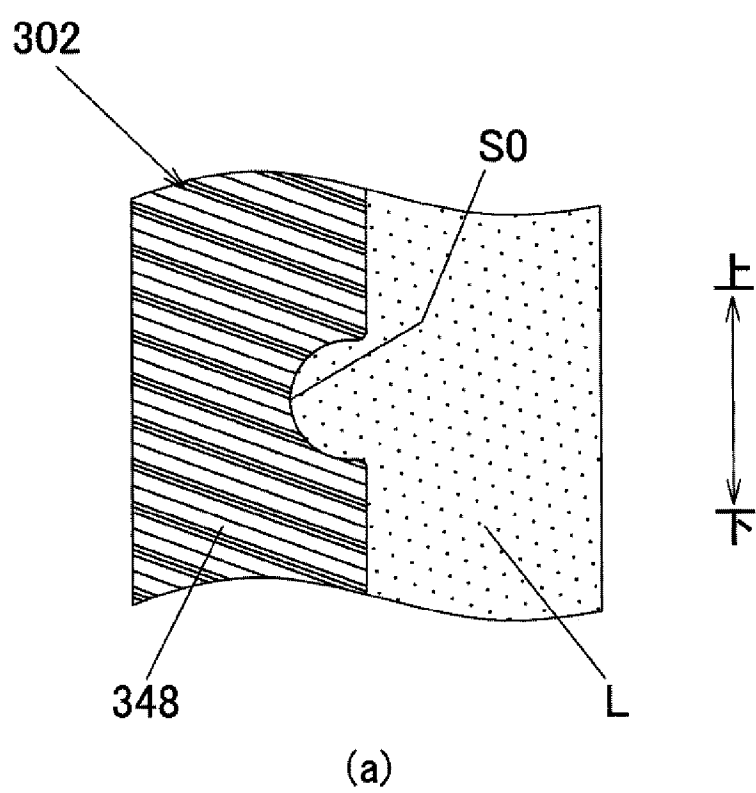
(b)



(c)

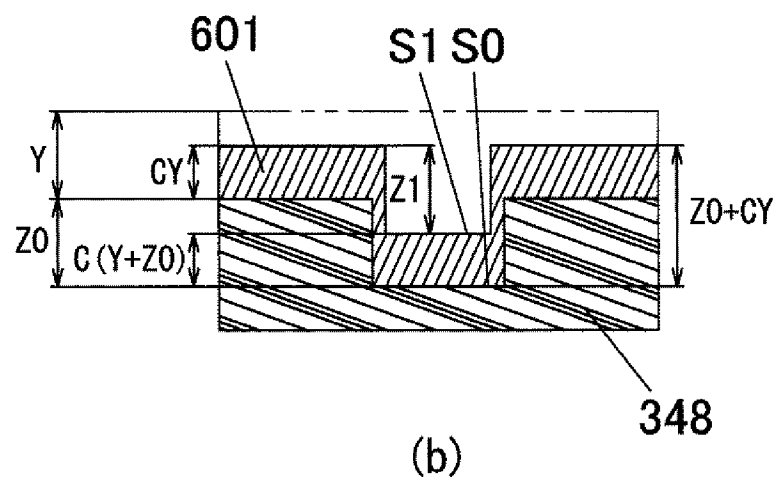
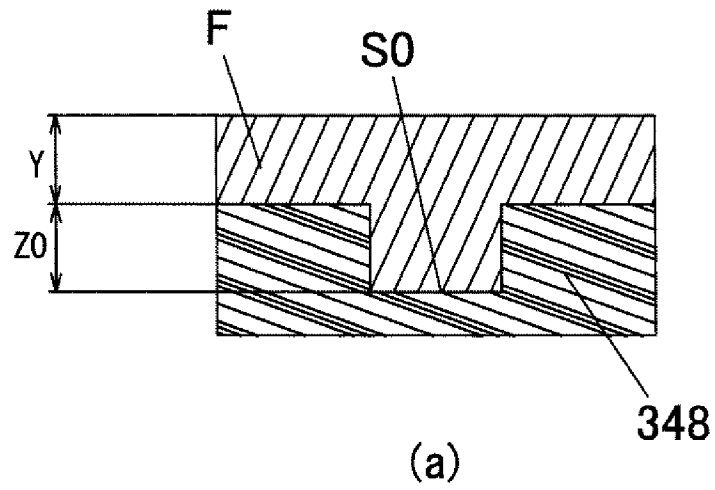
[図9]

【図 9】



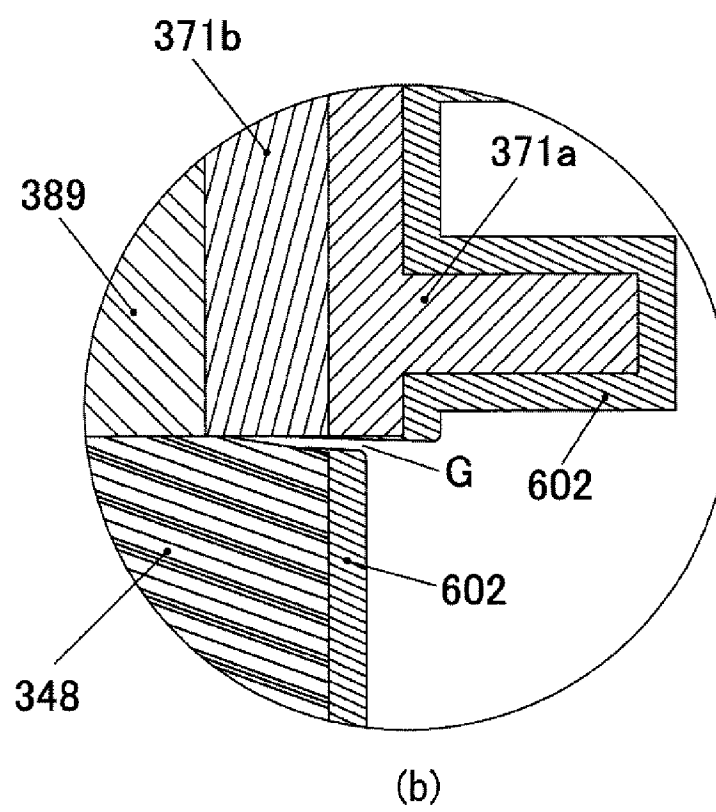
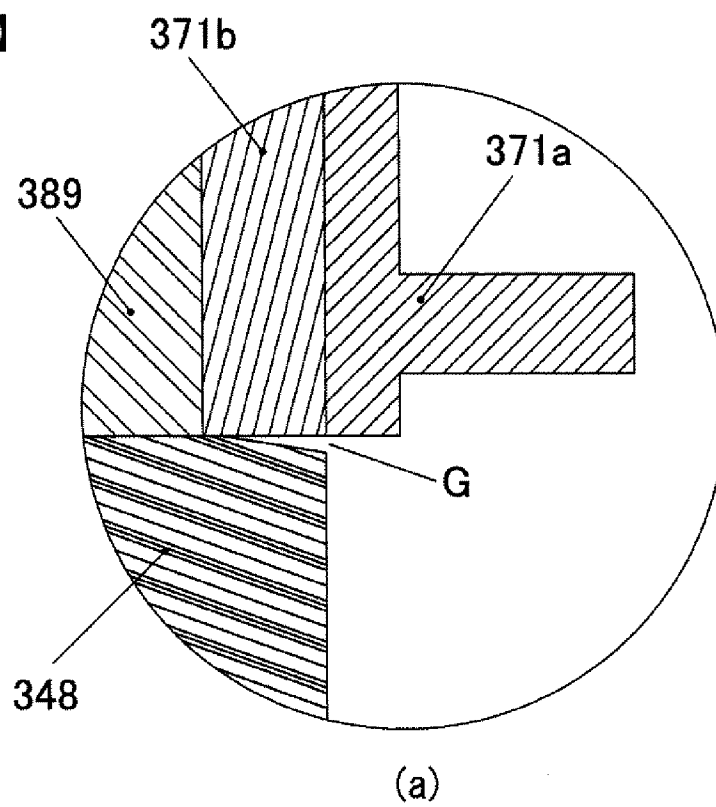
[図10]

【図 10】



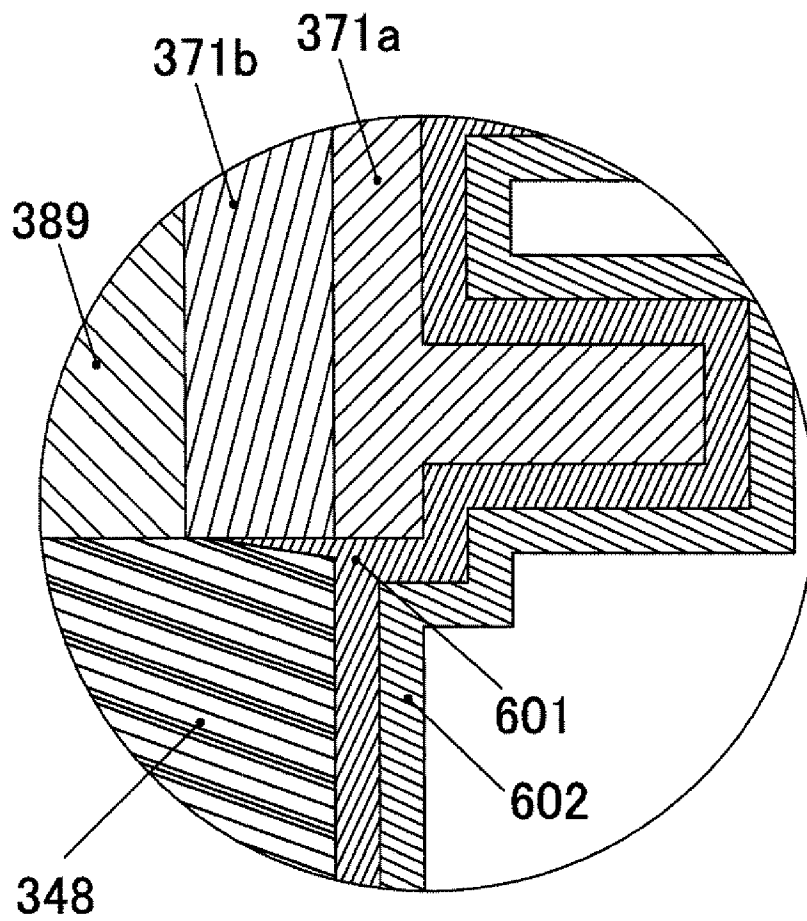
[図11]

【図 1 1】



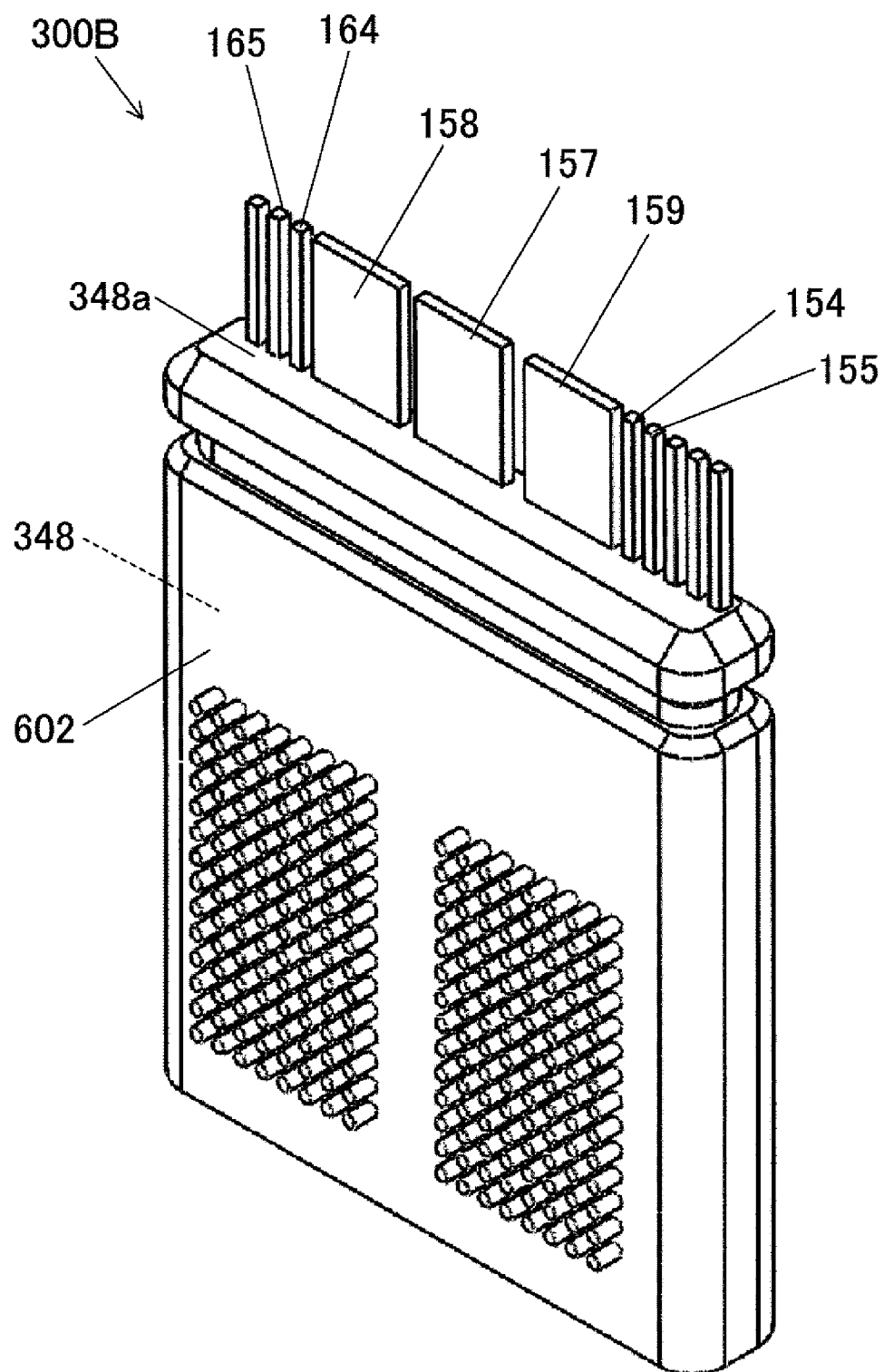
[図12]

【図 1 2】



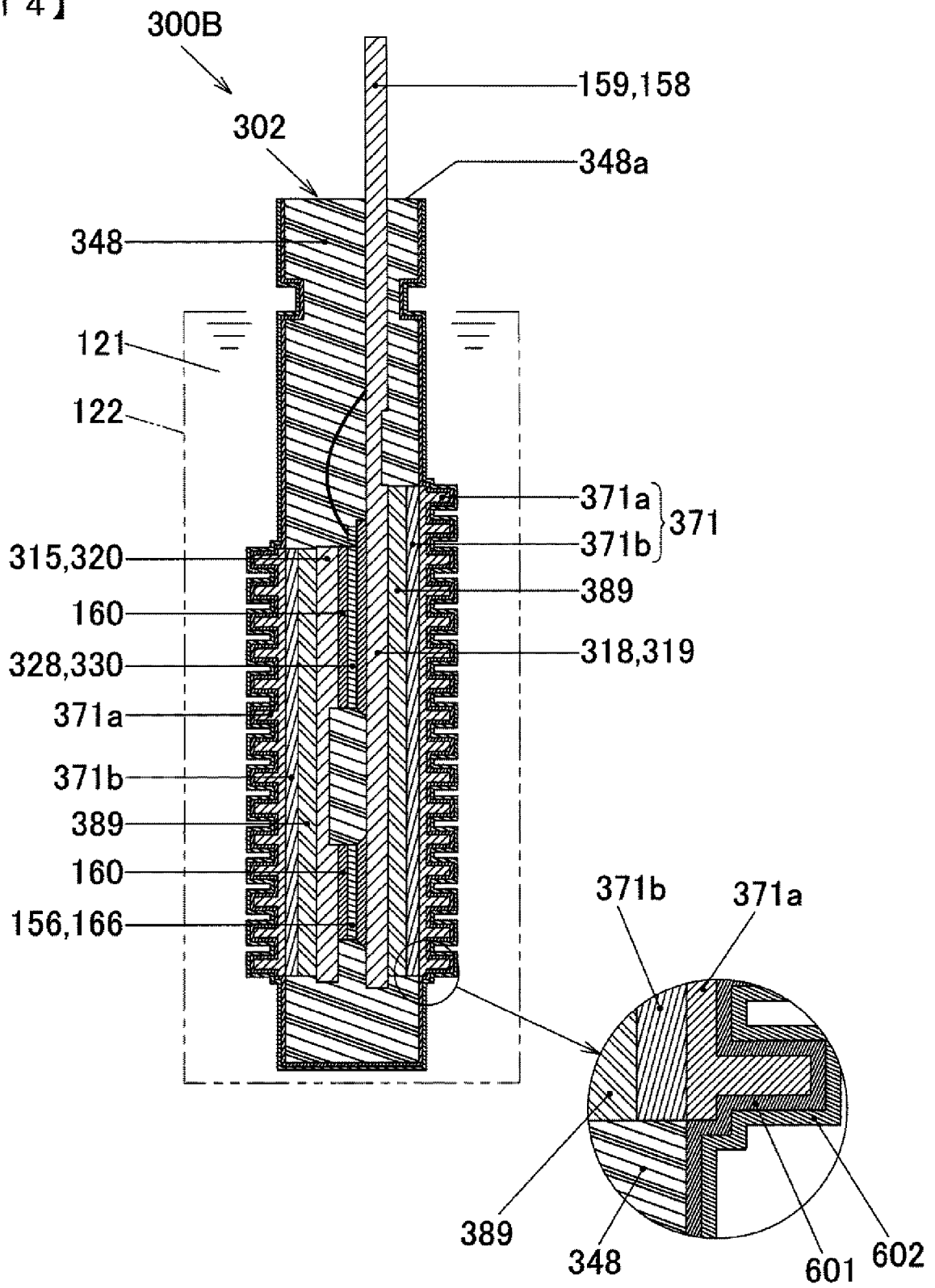
[図13]

【図13】



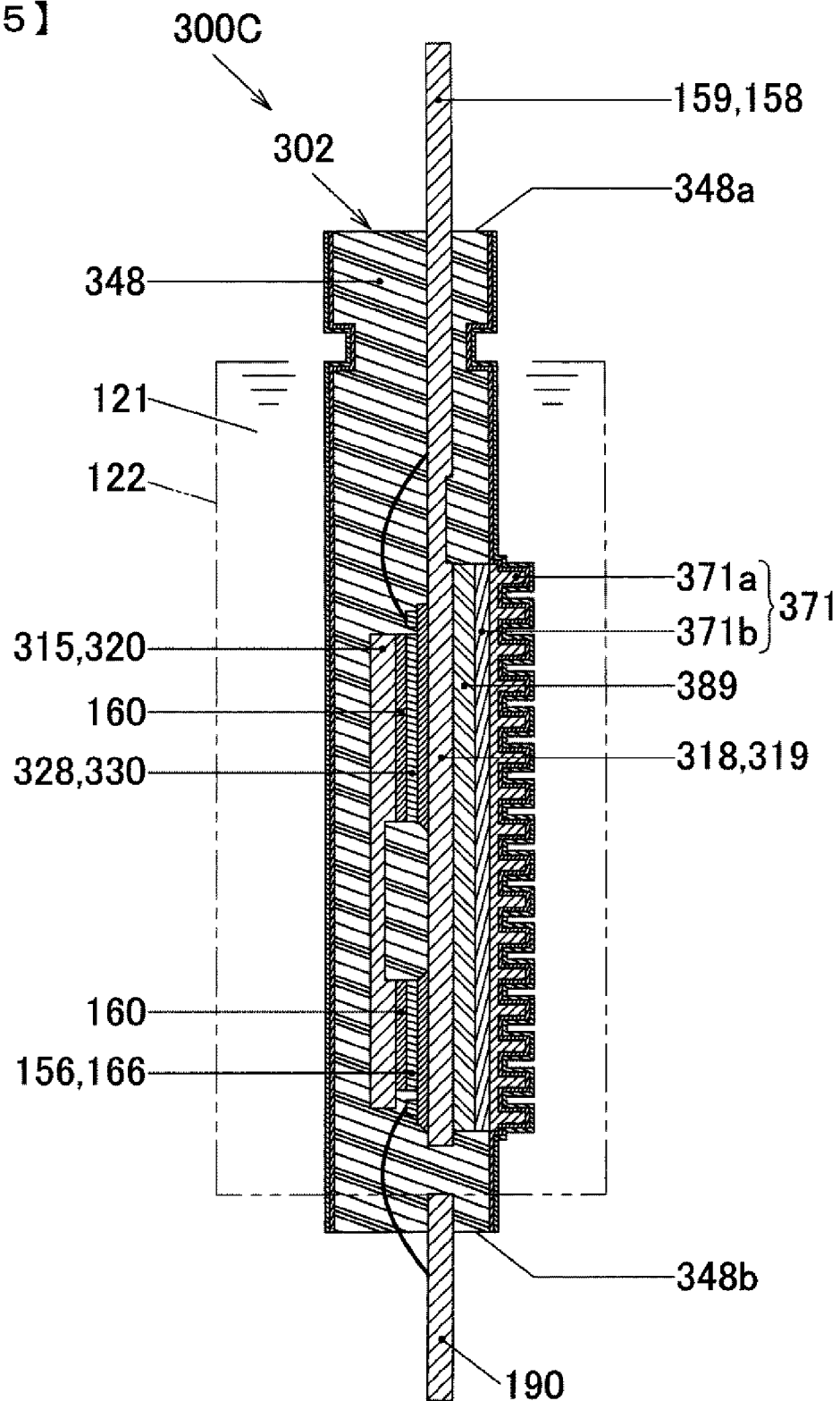
[図14]

【図 1 4】



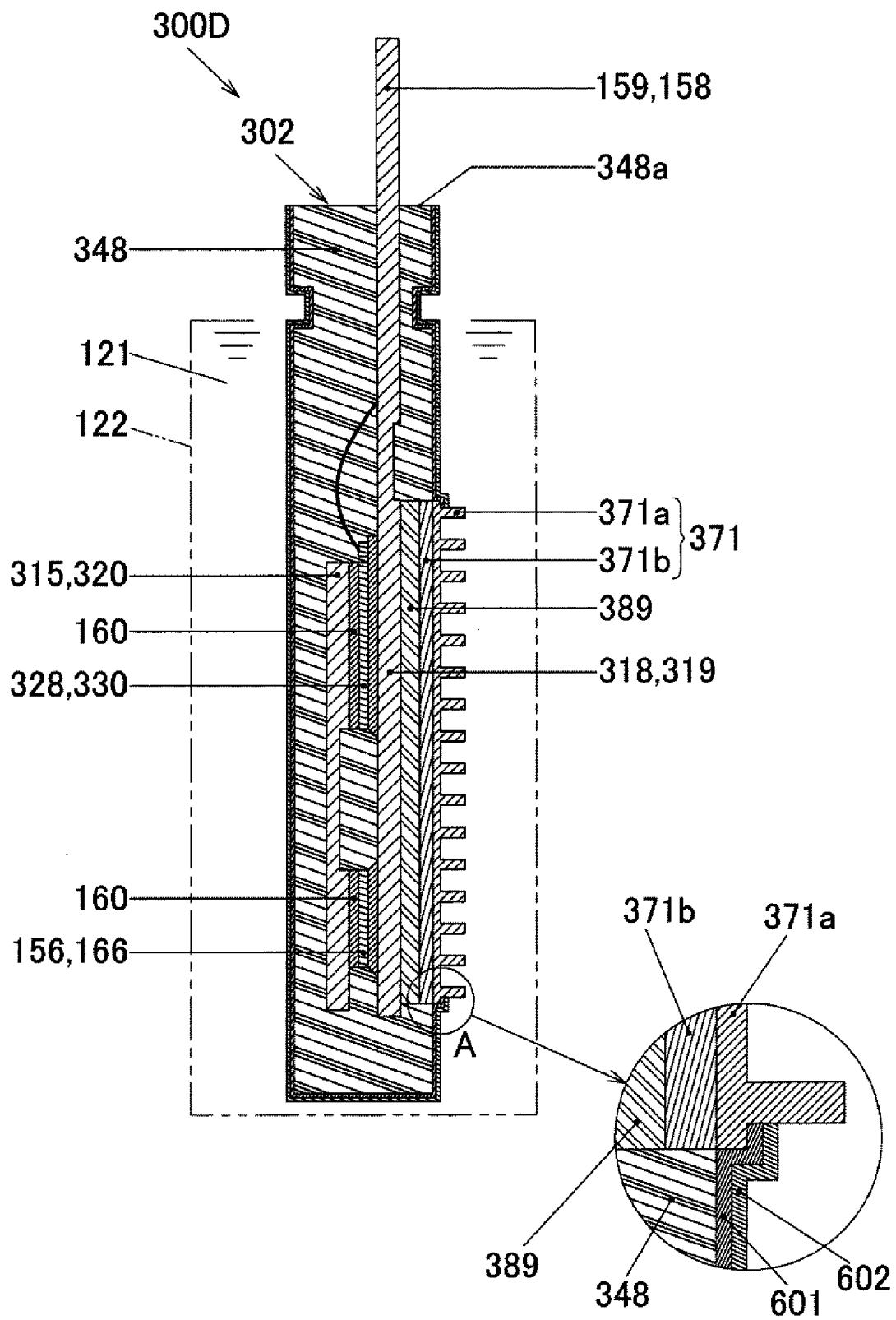
[図15]

【図 1 5】



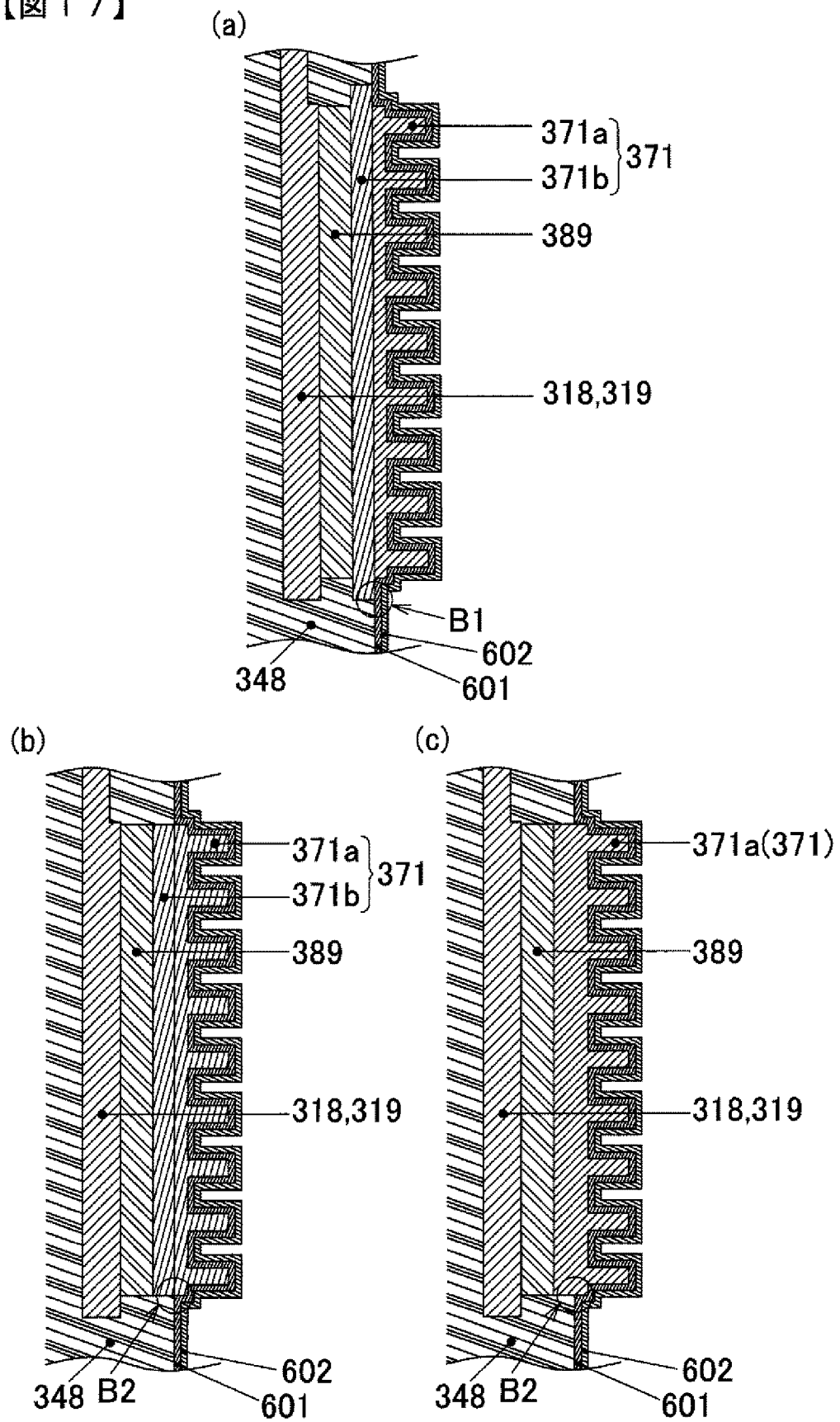
[図16]

【図 1 6】



[図17]

【図 17】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/063406

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L23/473(2006.01)i, H01L23/29(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)

H01L23/473, H01L23/29, 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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
X Y A	JP 2006-128260 A (Toyota Motor Corp.), 18 May 2006 (18.05.2006), paragraphs [0024] to [0035]; fig. 2 (Family: none)	1-4, 7-9 10, 11 12
X	JP 2004-119667 A (Mitsubishi Electric Corp.), 15 April 2004 (15.04.2004), paragraphs [0048], [0049]; fig. 4, 38 & US 2004/0061138 A1 & DE 10322745 A	1, 2, 5, 6, 8, 9
Y	JP 61-166053 A (Nitto Electric Industrial Co., Ltd.), 26 July 1986 (26.07.1986), page 6, lower right column, line 1 to page 7, upper left column, line 3 (Family: none)	10, 11

☒ 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
21 July 2015 (21.07.15)

Date of mailing of the international search report
04 August 2015 (04.08.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/063406

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-60150 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 28 February 1990 (28.02.1990), pages 2 to 4, 'Constitution of the Invention'; fig. 1 & US 5147822 A & US 6191492 B1 & US 6756670 B1	1, 2, 4, 8, 9, 12
A	JP 2012-191057 A (Mitsubishi Electric Corp.), 04 October 2012 (04.10.2012), paragraphs [0017] to [0022], [0030] to [0035]; fig. 1 (Family: none)	1-4, 8, 9
A	JP 2013-105884 A (Denso Corp.), 30 May 2013 (30.05.2013), paragraphs [0022], [0023], [0035], [0037]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-4, 8, 9
A	JP 2014-13931 A (Denso Corp.), 23 January 2014 (23.01.2014), paragraphs [0028] to [0035]; fig. 1 (Family: none)	1, 2, 4, 8, 9, 12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L23/473(2006.01)i, H01L23/29(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（I P C））

Int.Cl. H01L23/473, H01L23/29, 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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
X Y A	JP 2006-128260 A（トヨタ自動車株式会社）2006.05.18, [0024]-[0035]、図2（ファミリーなし）	1-4, 7-9 10, 11 12
X	JP 2004-119667 A（三菱電機株式会社）2004.04.15, [0048], [0049], 図4, 38 & US 2004/0061138 A1 & DE 10322745 A	1, 2, 5, 6, 8, 9
Y	JP 61-166053 A（日東電気工業株式会社）1986.07.26, 第6頁右下 欄第1行ー第7頁左上欄第3行（ファミリーなし）	10, 11

☒ 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

2 1 . 0 7 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 4 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

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）

麻川 倫広

電話番号 03-3581-1101 内線 3551

5 D

4 4 4 8

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 2-60150 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 1990. 02. 28, 第 2 - 4 頁「発明の構成」、第 1 図 & US 5147822 A & US 6191492 B1 & US 6756670 B1	1, 2, 4, 8, 9, 12
A	JP 2012-191057 A (三菱電機株式会社) 2012. 10. 04, [0017]-[0022], [0030]-[0035], 図 1 (ファミリーなし)	1-4, 8, 9
A	JP 2013-105884 A (株式会社デンソー) 2013. 05. 30, [0022], [0023], [0035], [0037], 図 1, 3 (ファミリーなし)	1-4, 8, 9
A	JP 2014-13931 A (株式会社デンソー) 2014. 01. 23, [0028]-[0035], 図 1 (ファミリーなし)	1, 2, 4, 8, 9, 12