(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
2022年6月16日(16.06.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/124329 A1

(51) 国際特許分類:
H02K 3/34 (2006.01) *H02K 1/04* (2006.01)
H02K 15/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/045072

(22) 国際出願日： 2021年12月8日(08.12.2021)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

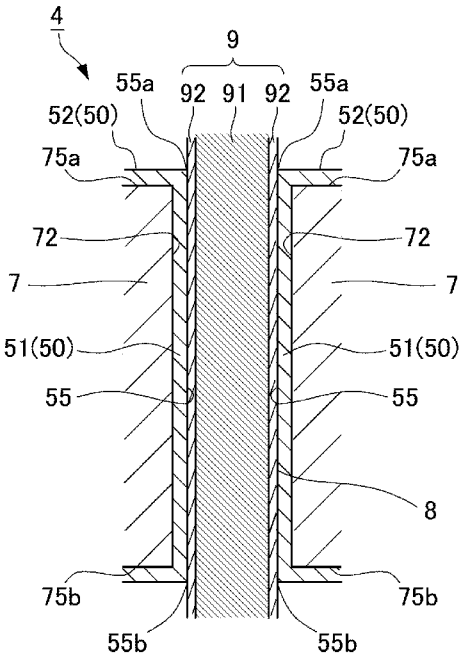
(30) 優先権データ：
特願 2020-203912 2020年12月9日(09.12.2020) JP
特願 2021-066387 2021年4月9日(09.04.2021) JP

(71) 出願人: 住友ベークライト株式会社(**SUMITOMO BAKELITE CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1400002 東京都品川区東品川２丁目５番８号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 西川 敦准 (**NISHIKAWA Atsunori**); 〒1400002 東京都品川区東品川２丁目５番８号 住友ベークライト株式会社内 Tokyo (JP). 原田 隆博(**HARADA Takahiro**); 〒1400002 東京都品川区東品川２丁目５番８号 住友ベークライト株式会社内 Tokyo (JP). 山本 晋也(**YAMAMOTO Shinya**); 〒1400002 東京都品川区東品川２丁目５番８号 住友ベークライト株式会社内 Tokyo (JP). 小坂 弥(**KOSAKA Wataru**); 〒1400002 東京都品川区東品川２丁目５番８号 住友ベークライト株式会社内 Tokyo (JP).

(54) **Title:** STATOR, ROTATING ELECTRIC MACHINE, AND METHOD FOR MANUFACTURING STATOR

(54) 発明の名称： ステータ、回転電機およびステータの製造方法



(57) **Abstract:** According to the present invention, a stator (4) comprises a stator core having a plurality of teeth (7), a slot (8) provided between the teeth (7) and accommodating a coil (9), and the coil (9) accommodated in the slot (8), wherein: the stator (4) has a resin layer (50) which is provided on the inner surface of the slot (8) and is composed of an insulating resin composition; a wall surface (a resin layer surface (55) of an inner resin layer (51)) of the inner side of the slot (8) of the resin layer (50) is provided parallel to the direction of the rotation axis; the resin composition of the resin layer (50)

WO 2022/124329 A1

［続葉有］

(74) 代理人：速水 進治(HAYAMI Shinji)；〒1410031 東京都品川区西五反田７丁目９番２号 ＫＤＸ五反田ビル９階 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

contains a thermosetting resin; and the glass transition temperature Tg of the thermosetting resin is 120 °C or higher.

(57) 要約：ステータ（４）は、複数のティース部（７）を有するステータコアと、前記ティース部（７）の間に設けられコイル（９）が収容されるスロット（８）と、前記スロット（８）に収容されたコイル（９）と、を有するステータであって、スロット（８）の内面に設けられ、絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層（５０）を有し、樹脂層（５０）のスロット（８）内部側の壁面（内面樹脂層（５１）の樹脂層表面（５５））は、回転軸方向と平行に設けられており、樹脂層（５０）の樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、熱硬化性樹脂のガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上である。

明　細　書

発明の名称 ： ステータ、回転電機およびステータの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、ステータ、回転電機およびステータの製造方法に関する。

背景技術

[0002] モータ（発動機）や発電機のような回転電機において、ステータに設けられたスロットにコイルを収容する際に、スロット内に絶縁紙や樹脂材料を充填して、スロットとコイルの絶縁を確保する技術が知られている（例えば特許文献１参照）。

特許文献１では、導体（コイル）とスロットの周壁部との間に、樹脂を注入し硬化させて絶縁層を形成する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許６８１４５６８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、モータとして性能向上において、コイルの絶縁を適正に保ちつつ正確に配置させるとともに、スロットの空間利用効率を向上させること、すなわち、よりスロット内においてコイルが占める比率を大きくすることができる技術が求められていた。

[0005] 本発明はこのような状況に鑑みなされたものであって、スロットの空間利用効率を向上させることができる技術を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明によれば、

複数のティース部を有するステータコアと、前記ティース部の間に設けられコイルが収容されるスロットと、前記スロットに収容されたコイルと、を有するステータであって、

前記スロットの内面に設けられ、絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層を有し、

前記樹脂層のスロット内部側の壁面は、回転軸方向と平行に設けられており、

前記樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、

前記熱硬化性樹脂のガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上である、

ステータが提供される。

本発明によれば、上述のステータを有する回転電機が提供される。

本発明によれば、

複数のティース部を有するステータコアと、前記ティース部の間に設けられコイルが収容されるスロットと、前記スロットに収容されたコイルとを有する回転電機に用いられるステータの製造方法であって、

前記スロットの内面に絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層を形成する樹脂層形成工程と、

前記樹脂層が設けられたスロット内に、前記コイルを配置するコイル配置工程と、

を有し、

前記樹脂層のスロット内部側の壁面は、前記回転電機の回転軸方向と平行に設けられており、

前記樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、

前記熱硬化性樹脂のガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上である、

ステータの製造方法が提供される。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、スロットの空間利用効率を向上させることができる技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第１の実施形態に係るモータの回転軸方向と垂直な方向の断面図である。

[図2]第１の実施形態に係るモータの回転軸方向の縦断面図である。

[図3]第１の実施形態に係るスロット周辺を拡大して示した図である。

[図4]第１の実施形態に係るスロット周辺を拡大して示した図であって、図３からスロット内のコイルや樹脂封止部を省いて示した図である。

[図5]第１の実施形態に係るスロット周辺の断面図であって、図３のＡ－Ａ断面図である。

[図6]第１の実施形態に係るスロット周辺の断面図であって、図４のＢ－Ｂ断面図である。

[図7]第２の実施形態に係るモータの回転軸方向と垂直な方向の断面図である。

[図8]第２の実施形態に係るモータの回転軸方向の縦断面図である。

[図9]第２の実施形態に係るスロット周辺を拡大して示した図である。

[図10]第３の実施形態に係るスロット周辺を拡大して示した図である。

[図11]第３の実施形態に係る４種類のライナー部材の形状を示した図である。

[図12]第４の実施形態に係る、パワーモジュールの模式図である。

[図13]第４の実施形態に係る、小径樹脂パイプの模式図である。

[図14]第４の実施形態に係る、小径樹脂パイプの製造方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0009] ＜＜第１の実施形態＞＞

＜概要＞

本実施形態では、回転電機（電動機、発電機または電動機／発電機の両用機）として電動機（モータ）に適用した例を説明する。図１はモータ１００の回転軸方向と垂直な方向の断面図を模式的に示している。図２はモータ１００の回転軸方向の断面図を模式的に示している。図３は、スロット周辺（図１の領域Ｘ）を拡大して示した図であって、コイル９がスロット８の端部から突出した部分の断面図を模式的に示している。図４は、図３からスロッ

ト８のコイル９や樹脂封止部６５を省いて示した図である。図５は図３のＡ－Ａ断面図である。図６は図４のＢ－Ｂ断面図である。なお、図３、図４および後述の図７では、樹脂層５０を便宜的に墨塗りで示している。また、以下では、モータ１００において回転軸３側を内周側（または回転軸側）、ケース１側を外周側として説明する。

[0010] 本実施形態の概要は次の通りである。モータ１００において、ステータ４のスロット８（ティース部７）の壁面７２を絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層５０で覆う。このとき、樹脂層５０の壁面（すなわち内面樹脂層５１の樹脂層表面５５）をモータ１００の回転軸と平行とする。言い換えると、図５や図６に示すように、樹脂層表面５５が、断面図で見た場合、一方（上側）の端部５５ａから他方（下側）の端部５５ｂまで、図６の直線Ｌで示すように、テーパ形状を設けずに直線に設けられている。また、樹脂層５０の樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、そのガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上となっている。

以下具体的に説明する。

[0011] ＜モータ１００の基本構造＞

モータ１００は、ケース１と、ケース１の内部に収容されたロータ２とステータ４とコイル９とを備える。

[0012] ＜ケース１＞

ケース１は、円筒部１ａと、この円筒部１ａの軸方向両端を閉塞する側板部１ｂ、１ｃとを有して構成される。ケース１の材料として、例えば、アルミニウム合金（鋳物鋳造品）や樹脂材料、それらを組み合わせたものを用いることができる。

[0013] ＜ロータ２＞

ロータ２は、ケース１の内部に収容されている。ロータ２の中心には出力軸として回転軸３が取り付けられている。回転軸３の両端がそれぞれベアリング３ａを介して側板部１ｂ、１ｃに支持されている。これによって、ロータ２は回転軸３を中心に回転自在となっている。

[0014] ロータ２には永久磁石５が内装されている。具体的には、図１に示すように、複数（ここでは８個）の永久磁石５が同一円周上に等間隔で配置されている。このとき、隣合う永久磁石５の磁極は互いに異なるように設置されている。

[0015] 円筒部１ａの内周側には円筒型のステータ４が、ロータ２の外周を取り囲むように配置され固定されている。ステータ４の内周面とロータ２の外周面との間には微少な間隙（エアギャップ）が設けられている。

[0016] ＜ステータ４＞

ステータ４は、複数の電磁鋼板を軸方向に積層し密着固定して設けられており、図１に示すように軸方向端部から見たときに、環状に設けられたヨーク部６と、ヨーク部６からロータ２側（内周側）に向かって延出する複数のティース部７とが設けられている。複数のティース部７は周方向に等間隔に配列されて設けられている。ここでは、図１に示すように、２４個のティース部７が設けられている。各ティース部７の間にスロット８が設けられている。また、ティース部７には、樹脂組成物で周回させて薄肉に覆った樹脂層５０が設けられている。

[0017] ＜コイル９＞

コイル９は、平角線Ｕ字形状であって、ティース部７を跨いで離間した二つのスロット８に収納されるようにして巻かれている。ここでは、スロット８に配置されたライナー部材２０にコイル９が分布巻きで収容されている。

コイル９は、銅等の良導体であって断面矩形のコイル本体９１と、コイル本体９１の表面を被覆する樹脂被覆層９２とを有する。樹脂被覆層９２は、後述する樹脂層５０の樹脂材料として説明するものと同じ材料を用いることができる。

[0018] ＜ティース部７＞

ティース部７は上述したロータ２の永久磁石５と対応して設けられ、各コイル９を順次励磁していくことにより、これに対応した永久磁石５との吸引、反発によりロータ２が回転する。

[0019] ティース部７は、外周側の周方向の幅が大きく、内周側の幅が小さく、内周側に向けて先細に形成されている。ティース部７の内周側の端部には、スロット８の幅を縮めるように周方向に沿って対向するティース部先端７１が形成されている。

[0020] ＜スロット８＞

スロット８は、隣接するティース部７間の空間であって、図３や図４に示すように、径方向に沿って対向するティース部７の壁面７２が平行面となるように設けられている。ティース部先端７１間がスロット８の内周側開口となっている。スロット８には、外周側（ヨーク部６側）に配置された複数のコイル９と、内周側（ティース部先端７１側）に設けられた樹脂封止部６５とを備える。

[0021] ＜樹脂層５０＞

図５や図６に示すように樹脂層５０は、ティース部７の周縁を樹脂組成物で一体に周回させて覆っており、ティース部７の壁面７２を覆う内面樹脂層５１と、ティース部７の上面７５ａ及び下面７５ｂを覆う外面樹脂層５２とを有する。

[0022] 樹脂層５０は、インサート成形によりティース部７を薄肉状に周回させて覆うことで、ステータ４、より具体的にはティース部７における、積層されている複数の電磁鋼板を密着固定する。

[0023] ティース部７の壁面７２を覆う内面樹脂層５１のスロット８内部側の面、すなわち樹脂層表面５５は、図５や図６に示すように、一方（上側）の端部５５ａから他方（下側）の端部５５ｂまで、テーパ形状を設けずに直線状（具体的には図６の直線Ｌ）に設けられている。テーパ形状を設ける場合、その形状に対するためにある程度の厚みが必要になる。しかし、本実施形態では、テーパ形状を設けないため、内面樹脂層５１の厚みを薄くすることができる。その結果、スロット８内で活用できる空間を増やすことがでる。例えば、コイル９の占める領域を増やすことができ、すなわち大径化やコイル本数の増加が可能となり、その結果モータ１００の出力増が可能になる。

[0024] 樹脂層５０の内面樹脂層５１の厚みは、５０μｍ以上５００μｍ以下である。厚みの下限値は、好ましくは１００μｍ以上であり、より好ましくは１５０μｍ以上である。厚みの上限値は、好ましくは４００μｍ以下であり、より好ましくは３００μｍ以下である。外面樹脂層５２の厚みは特に限定はしないが、内面樹脂層５１と同程度とすることができる。

厚みの下限値は、インサート成形時においてステータ軸長（すなわちステータ４の厚み）に対して、金型とティース部７（壁面７２）との間の極狭部における樹脂組成物の流動性確保の観点から、上記の範囲にすることが好ましい。

厚みの上限値は、コイル９をティース部７に巻装しスロット８に配置する構造において、スロット８内の空間利用効率を高め使用可能なコイル９のサイズの自由度や磁束密度等性能確保の観点から、上記の範囲にすることが好ましい。

[0025] ＜樹脂層５０の物性＞

樹脂層５０を構成する樹脂材料の硬化物の物性は例えば以下の通りである。

樹脂材料の硬化物の熱伝導率は０．５Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上である。熱伝導率の下限は、好ましくは１．０Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上であり、より好ましくは２Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上である。熱伝導率の上限は、特に限定しないが、現実的な値として１０Ｗ／（ｍ・Ｋ）である。

[0026] 樹脂層５０の樹脂組成物のガラス転移温度Ｔｇは１２０℃以上であり、好ましくは１４０℃以上、より好ましくは１６０℃以上である。ガラス転移温度Ｔｇを上記範囲とすることで、モータ１００を高温下で使用することができ、またコイル９の発熱に強くなり高出力で使用することができる。

樹脂層５０の樹脂組成物を以下に具体的に説明する。

[0027] ＜樹脂層５０の材料＞

樹脂層５０の樹脂組成物は、熱硬化性樹脂（Ａ）、充填剤（Ｂ）、および硬化剤（Ｃ）などを含むことが好ましい。

[0028] ［熱硬化性樹脂（Ａ）］

熱硬化性樹脂（Ａ）としては、たとえば、エポキシ樹脂、シアネート樹脂、ポリイミド樹脂、ベンゾオキサジン樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、シリコーン樹脂、ビスマレイミド樹脂、フェノキシ樹脂、およびアクリル樹脂等が挙げられる。熱硬化性樹脂（Ａ）として、これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

なかでも、高い絶縁性を有する観点から、熱硬化性樹脂（Ａ）としては、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、およびフェノキシ樹脂であることが好ましい。成形時における極狭部の流動確保の観点から、エポキシ樹脂が特に好ましい。

[0029] エポキシ樹脂としては、たとえば、ビスフェノールＡ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＦ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＥ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＳ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＭ型エポキシ樹脂（４，４’－（１，３－フェニレンジイソプリジエン）ビスフェノール型エポキシ樹脂）、ビスフェノールＰ型エポキシ樹脂（４，４’－（１，４－フェニレンジイソプリジエン）ビスフェノール型エポキシ樹脂）、ビスフェノールＺ型エポキシ樹脂（４，４’－シクロヘキシジエンビスフェノール型エポキシ樹脂）等のビスフェノール型エポキシ樹脂；フェノールノボラック型エポキシ樹脂、クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、トリスフェノール基メタン型ノボラック型エポキシ樹脂、テトラフェノール基エタン型ノボラック型エポキシ樹脂、縮合環芳香族炭化水素構造を有するノボラック型エポキシ樹脂等のノボラック型エポキシ樹脂；ビフェニル型エポキシ樹脂；キシリレン型エポキシ樹脂、ビフェニルアラルキル型エポキシ樹脂等のアリールアルキレン型エポキシ樹脂；ナフチレンエーテル型エポキシ樹脂、ナフトール型エポキシ樹脂、ナフタレンジオール型エポキシ樹脂、２官能ないし４官能エポキシ型ナフタレン樹脂、ビナフチル型エポキシ樹脂、ナフタレンアラルキル型エポキシ樹脂等のナフタレン型エポキシ樹脂；アントラセン型エポキシ樹脂；フェノキシ

型エポキシ樹脂；ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂；ノルボルネン型エポキシ樹脂；アダマンタン型エポキシ樹脂；フルオレン型エポキシ樹脂等が挙げられる。これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

[0030] エポキシ樹脂の中でも、耐熱性および絶縁信頼性をより一層向上できる観点から、ビスフェノール型エポキシ樹脂、ノボラック型エポキシ樹脂、ビフェニル型エポキシ樹脂、アリールアルキレン型エポキシ樹脂、ナフタレン型エポキシ樹脂、アントラセン型エポキシ樹脂、ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂からなる群から選択される１種または２種以上であることが好ましい。

[0031] フェノール樹脂としては、たとえば、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、ビスフェノールＡノボラック樹脂等のノボラック型フェノール樹脂、およびレゾール型フェノール樹脂等が挙げられる。これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

フェノール樹脂の中でも、フェノールノボラック樹脂であることが好ましい。

[0032] 熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量は、樹脂層５０の樹脂組成物全量に対し、１質量％以上が好ましく、５質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、樹脂層５０の樹脂組成物全量に対し、３０質量％以下が好ましく、２０質量％以下がより好ましい。

熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量が上記下限値以上であると、樹脂層５０の樹脂組成物全量のハンドリング性が向上し、内面樹脂層５１を形成するのが容易となるとともに、内面樹脂層５１の強度が向上する。

熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量が上記上限値以下であると、内面樹脂層５１の線膨張率や弾性率がより一層向上したり、熱伝導性がより一層向上したりする。

[0033] ［充填剤（Ｂ）］

本実施形態における充填剤（Ｂ）は、樹脂層５０（より具体的には内面樹

脂層５１）の熱伝導性を向上させるとともに強度を得る観点から用いられる。

[0034] 充填剤（Ｂ）としては、無機充填剤が好ましく、熱伝導性フィラーであることが特に好ましい。より具体的には、充填剤（Ｂ）としては、熱伝導性と電気絶縁性とのバランスを図る観点から、たとえば、シリカ、アルミナ、窒化ホウ素、窒化アルミニウム、および炭化ケイ素等が挙げられる。これらは１種を単独で用いても、２種以上を併用してもよい。なかでも、充填剤（Ｂ）は、アルミナ、窒化ホウ素であることが好ましい。

[0035] 充填剤（Ｂ）の含有量は、すなわち上記のフィラーの含有量は、樹脂組成物全量に対し、６０質量％以上が好ましい。

[0036] ［硬化剤（Ｃ）］

樹脂組成物は、熱硬化性樹脂（Ａ）としてエポキシ樹脂、またはフェノール樹脂を用いる場合、さらに硬化剤（Ｃ）を含むことが好ましい。

[0037] 硬化剤（Ｃ）としては、硬化触媒（Ｃ－１）およびフェノール系硬化剤（Ｃ－２）から選択される１種以上を用いることができる。

硬化触媒（Ｃ－１）としては、たとえば、ナフテン酸亜鉛、ナフテン酸コバルト、オクチル酸スズ、オクチル酸コバルト、ビスアセチルアセトナートコバルト（ＩＩ）、トリスアセチルアセトナートコバルト（ＩＩＩ）等の有機金属塩；トリエチルアミン、トリブチルアミン、１，４－ジアザビシクロ［２．２．２］オクタン等の３級アミン類；２－フェニル－４－メチルイミダゾール、２－エチル－４－メチルイミダゾール、２，４－ジエチルイミダゾール、２－フェニル－４－メチル－５－ヒドロキシイミダゾール、２－フェニル－４，５－ジヒドロキシメチルイミダゾール等のイミダゾール類；トリフェニルホスフィン、トリ－ｐ－トリルホスフィン、テトラフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、トリフェニルホスフィン・トリフェニルボラン、１，２－ビス－（ジフェニルホスフィノ）エタン等の有機リン化合物；フェノール、ビスフェノールＡ、ノニルフェノール等のフェノール化合物；酢酸、安息香酸、サリチル酸、ｐ－トルエンスルホン酸等の有機酸；

等、またはこの混合物が挙げられる。硬化触媒（Ｃ－１）として、これらの中の誘導体も含めて１種類を単独で用いることもできるし、これらの誘導体も含めて２種類以上を併用したりすることもできる。

硬化触媒（Ｃ－１）の含有量は、特に限定されないが、樹脂組成物全量に対し、０．００１質量％以上１質量％以下が好ましい。

[0038] また、フェノール系硬化剤（Ｃ－２）としては、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、トリスフェノールメタン型ノボラック樹脂、ナフトールノボラック樹脂、アミノトリアジンノボラック樹脂等のノボラック型フェノール樹脂；テルペン変性フェノール樹脂、ジシクロペンタジエン変性フェノール樹脂等の変性フェノール樹脂；フェニレン骨格及び／又はビフェニレン骨格を有するフェノールアラルキル樹脂、フェニレン骨格及び／又はビフェニレン骨格を有するナフトールアラルキル樹脂等のアラルキル型樹脂；ビスフェノールＡ、ビスフェノールＦ等のビスフェノール化合物；レゾール型フェノール樹脂等が挙げられ、これらは１種類を単独で用いても２種類以上を併用してもよい。

これらの中でも、ガラス転移温度の向上及び線膨張係数の低減の観点から、フェノール系硬化剤（Ｃ－２）がノボラック型フェノール樹脂またはレゾール型フェノール樹脂が好ましい。

[0039] フェノール系硬化剤（Ｃ－２）の含有量は、特に限定されないが、樹脂組成物全量に対し、１質量％以上が好ましく、５質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、樹脂組成物全量に対し、３０質量％以下が好ましく、１５質量％以下がより好ましい。

[0040] ［カップリング剤（Ｄ）］

樹脂組成物は、カップリング剤（Ｄ）を含んでもよい。カップリング剤（Ｄ）は、熱硬化性樹脂（Ａ）と充填剤（Ｂ）との界面の濡れ性を向上させることができる。

[0041] カップリング剤（Ｄ）としては、特に限定されないが、たとえば、エポキシシランカップリング剤、カチオニックシランカップリング剤、アミノシラ

ンカップリング剤、チタネート系カップリング剤およびシリコーンオイル型カップリング剤の中から選ばれる１種または２種以上のカップリング剤を使用することが好ましい。

カップリング剤（Ｄ）の含有量は、特に限定されないが、充填剤（Ｂ）１００質量％に対して、０．０５質量％以上が好ましく、０．１質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、充填剤（Ｂ）１００質量％に対して、３質量％以下が好ましく、２質量％以下がより好ましい。

[0042] ［フェノキシ樹脂（Ｅ）］

さらに、樹脂組成物は、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含んでもよい。フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むことにより樹脂層５０の耐屈曲性を向上でき、また弾性率を低下させることが可能となり、樹脂層５０の応力緩和力を向上させることができる。

[0043] また、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むと、粘度上昇により、流動性が低減し、ボイド等が発生することを抑制できる。また、樹脂層５０を金属部材（すなわちティース部７）と密着させて用いる場合などに、金属と樹脂組成物の硬化体との密着性を向上できる。

[0044] フェノキシ樹脂（Ｅ）としては、たとえば、ビスフェノール骨格を有するフェノキシ樹

脂、ナフタレン骨格を有するフェノキシ樹脂、アントラセン骨格を有するフェノキシ樹脂、およびビフェニル骨格を有するフェノキシ樹脂等が挙げられる。また、これらの骨格を複数種有した構造のフェノキシ樹脂を用いることもできる。

[0045] フェノキシ樹脂（Ｅ）の含有量は、たとえば、樹脂組成物全量に対して、３質量％以上１０質量％以下であることが好ましい。

[0046] ［離型剤］

樹脂組成物は、好ましくは離型剤を含む。これにより、成形後の離型性を高めることができる。離型剤としては、例えばカルナバワックス等の天然ワックス、モンタン酸エステルワックスや酸化ポリエチレンワックス等の合成

ワックス、ステアリン酸亜鉛等の高級脂肪酸およびその金属塩類、ならびにパラフィン等が挙げられる。これらを単独で用いても２種以上を組み合わせて用いてもよい。

[0047] 離型剤を用いる場合、その含有量は、樹脂成形材料全体中、好ましくは０．０１～３質量％、より好ましくは０．０５～２質量％である。これにより、離型性向上の効果を確実に得ることができる。その結果、樹脂層５０の内面樹脂層５１の成形精度を高くすることができる。

[0048] ［その他の成分］

樹脂組成物には、本発明の効果を損なわない範囲で、ほかに酸化防止剤、レベリング剤等を含むことができる。

[0049] ＜樹脂封止部６５＞

樹脂封止部６５は、スロット８の内周側（ティース部先端７１側）に設けられている。樹脂封止部６５は、インサート成形によって設けられてもよいし、別部品として設けられてもよい。樹脂封止部６５に用いられる樹脂材料は、樹脂層５０の樹脂材料として説明したものを用いることができる。

[0050] ＜ステータ４の製造方法＞

本実施形態のステータ４の製造方法を説明する。

まず、複数の電磁鋼板を軸方向に積層し密着固定させたステータ４を用意する（ステータ準備工程）。

ついで、インサート成形によりティース部７の周縁（壁面７３、上面７５ａ及び下面７５ｂ）を絶縁性の樹脂組成物で一体に周回させて覆って樹脂層５０を形成する（樹脂層形成工程）。

つぎに、樹脂層５０が設けられたスロット８内に、コイル９を配置する（コイル配置工程）。

全てのコイル９の収容後、スロット８の内周側の領域に樹脂材料を充填してインサート成形することで樹脂封止部６５を得る（樹脂充填工程）。

以上の工程により、図３に示したステータ４が得られる。

[0051] ＜第１の実施形態のまとめ＞

以上、本実施形態の特徴をまとめると次の通りである。

（１）ステータ４は、複数のティース部７を有するステータコア４１と、前記ティース部７の間に設けられコイル９が収容されるスロット８と、スロット８に収容されたコイル９と、を有するステータであって、

スロット８の内面に設けられ、絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層５０を有し、

樹脂層５０のスロット８内部側の壁面（内面樹脂層５１の樹脂層表面５５）は、回転軸方向と平行に設けられており、

樹脂層５０の樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、

熱硬化性樹脂のガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上である。

樹脂層表面５５が回転軸方向と平行、すなわちテーパ形状などの傾斜が無く直線状に設けられているので、内面樹脂層５１を薄肉にすることができる。また、ガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上の熱硬化性樹脂を用いることで、モータ１００を高温下で使用することができる。また、モータ１００の高出力化に伴う発熱増に対応することができる。

（２）樹脂層５０の樹脂組成物は離型剤としてのワックスを含有している。これによって、成形後の離型性を高めることができ、内面樹脂層５１を薄肉した場合でも成形不良を抑制できる。

（３）樹脂層５０の樹脂組成物は充填剤としてフィラーを含有する。これによって、樹脂層５０の強度を高めることができる。

（４）樹脂層５０の樹脂組成物のフィラー含有量が樹脂組成物全量に対して６０体積％以上である。これによって、樹脂層５０の強度を高めることができる。

（５）樹脂層５０の厚みが５０μｍ以上５００μｍ以下である。これによって、スロット８内の空間利用効率を高めることができるとともに、極狭部における樹脂組成物の流動性を確保することができる。

（６）樹脂層５０の熱伝導率が０．５Ｗ/（ｍ・Ｋ）以上である。これによって、コイル９の熱をステータ４へ円滑に伝えることができる。

（７）熱硬化性樹脂がエポキシ樹脂である。これによって、高い耐熱性および絶縁信頼性が得られる。

（８）コイル９は、コイル表面（コイル本体９１）を樹脂により被覆した樹脂被覆層９２を有する。これにより、コイル９の絶縁性を良好に確保できる。

（９）上述のステータ４を有する回転電機（モータ１００）。

（１０）複数のティース部７を有するステータコア４１と、ティース部７の間に設けられコイル９が収容されるスロット８と、スロット８に収容されたコイル９とを有する回転電機（ここではモータ１００）に用いられるステータ４の製造方法であって、

スロット８の内面、すなわちティース部７の壁面７２に絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層５０を形成する樹脂層形成工程と、

樹脂層５０が設けられたスロット８内に、前記コイル９を配置するコイル配置工程と、

を有し、

樹脂層５０のスロット８内部側の壁面（内面樹脂層５１の樹脂層表面５５）は、回転電機（モータ１００）の回転軸方向と平行に設けられており、

樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、

熱硬化性樹脂のガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上である。

[0052] ＜＜第２の実施形態＞＞

図７～図９を参照して第２の実施形態を説明する。図７はモータ１００の回転軸方向と垂直な方向の断面図を模式的に示している。図８はモータ１００の回転軸方向の断面図を模式的に示している。図９は、スロット周辺（図７の領域Ｙ）を拡大して示した図であって、コイル９がスロット８の端部から突出した部分の断面図を模式的に示している。

以下では、第１の実施形態と異なる点について説明する。本実施形態では、第１の実施形態と異なり、樹脂封止部６５に冷却水路１０を設け、ケース１に外部の冷却流路とを連結部材１２を介して連結する外部接続流路１７が

設けられている。以下、具体的に説明する。

[0053] 本実施形態では、ケース１の側板部１ｂ、１ｃには、スロット８内の冷却水路１０と外部の冷却流路とを連結部材１２を介して連結する外部接続流路１７が設けられている。

[0054] 樹脂封止部６５には、軸方向に延びる冷却水路１０が設けられている。冷却水路１０には冷却液、例えば冷却水が循環する。この冷却水路１０は、樹脂材料を直接成形する方法や、筒状の部品をスロット８に挿入して周囲を樹脂材料で充填する方法により形成可能である。

[0055] 一つのスロット８に配置する冷却水路１０の数は１本または複数本のいずれでも良いが、スロット８の空間幅が狭い状況に於いては冷却液が通過する際の流路抵抗を考慮して流路の断面積が大きくなるように本数は少ない方が好ましい。冷却水路１０の断面形状は本実施形態の様な円形の他、四角やスロット８の形状に合わせることもできる。

[0056] ＜ステータ４の製造方法＞

本実施形態のステータ４の製造方法を説明する。

第１の実施形態と同様に、ステータ準備工程、樹脂層形成工程及びコイル配置工程を行う。つづいて、全てのコイル９の収容後、スロット８の内周側の所定の領域に冷却水路１０に対応する金型構造（入れ子構造）を配置してインサート成形することで、冷却水路１０を有する樹脂封止部６５を得る（樹脂充填工程）。

以上の工程により、図７～図９に示したステータ４が得られる。

[0057] 以上本実施形態の特徴を纏めると次の通りである。

本実施形態は、第１の実施形態の特徴（１）～（１０）と同様の特徴を有する。さらに、コイル９を冷却する構成として冷却水路１０を有することで、モータ１００の高出力化に対応することができる。

[0058] ＜＜第３の実施形態＞＞

図１０及び図１１を参照して第３の実施形態を説明する。

図１０はスロット周辺を拡大して示した図である。以下では、第２の実施

形態と異なる点について説明する。本実施形態では、第２の実施形態と異なり、スロット８にコイル９を収容するときにライナー部材２０を用いる。

[0059] ＜ライナー部材２０＞

ライナー部材２０は、樹脂材料で構成された回転軸方向に長尺状であって、断面が枠状に設けられた筒状の部材である。ライナー部材２０の枠内部がコイル９を収容するコイル収容部２１となっている。

[0060] ライナー部材２０の長さ方向の端部は、ステータ４の両端（すなわちスロット８の両端）から所定長だけ外側に出ている。ライナー部材２０は、例えば押し出し成形によって予め別部材として製造され、モータ１００の製造時にスロット８に配置される。

[0061] ライナー部材２０は、図１０に示すように、断面が口字の枠状に設けられている。ライナー部材２０がスロット８に配置された状態において、ライナー部材２０の外周面は、スロット８の壁面７２、７３および樹脂封止部６５に密着している。ここで、ライナー部材２０の外周面は、内面樹脂層５１と同様に、回転軸方向と平行に直線状に設けられる。これによって、内面樹脂層５１とライナー部材２０が全体的に密着することができ、ライナー部材２０から樹脂層５０への伝熱特性を良好にすることができる。いいかえると、内面樹脂層５１の樹脂層表面５５がテーパ形状を有さず回転軸方向と平行に直線状に設けられ、ライナー部材２０の外周面（樹脂層表面５５と接する領域）も同様にテーパ形状を有さず回転軸方向と平行に直線状に設けられている。これによって、ライナー部材２０と樹脂層表面５５とを、それらの間に隙間がなく密着させることができる。

[0062] ライナー部材２０の厚みは、最も薄い領域（壁面７２、７３とライナー部材２０のライナー内面との間）で、例えば０．３ｍｍ程度である。

[0063] ＜ライナー部材２０の材料＞

ライナー部材２０の材料は、第１の実施形態の樹脂層５０の材料として説明したものが挙げられる。

[0064] ＜ライナー部材２０の形状の種類＞

図１１はライナー部材２０の形状の例を示している。ここでは４種類の断面形状を例示している。

図１１（ａ）のライナー部材２０Ａは、図１０に示したライナー部材２０の形状に対応しており、断面が口字の枠状に設けられており、複数のコイル９が共通のコイル収容部２１に収容される。

図１１（ｂ）のライナー部材２０Ｂは、断面がコ字の枠状に設けられている。ライナー部材２０がスロット８に収容される際に、開口している端部側が、樹脂封止部６５側に位置するように配置される。

図１１（ｃ）のライナー部材２０Ｃは、断面が口字の枠状のコイル収容部２１が複数（ここでは５つ）繋がった形状を有する。それぞれのコイル収容部２１にコイル９が収容される。これによって、コイル９間の絶縁を確実に確保できる。

図１１（ｄ）のライナー部材２０Ｄは、第１の実施形態のライナー部材２０と樹脂封止部６５が一体となった構成である。

[0065] 以上本実施の形態の特徴を纏めると次の通りである。

本実施形態の特徴は、第１の実施形態の特徴（１）～（１０）と同様の特徴を有するとともに、下記（１１）の特徴を有する。

（１１）回転電機（モータ１００）は、コイル９を収容する樹脂製のライナー部材２０（２０Ａ、２０Ｂ、２０Ｃ、２０Ｄ）を有し、

コイル９は、前記ライナー部材２０に収容された状態で前記スロット８に収容されている。

これにより、コイル９を精度よくスロット８に収容することができる。その結果、モータ１００の出力効率を高めることができ、また、振動や騒音を抑制することもできる。

[0066] ＜＜第４の実施形態＞＞

本実施形態では、樹脂中空体、モジュール、樹脂中空体の製造方法、およびモジュールの製造方法に関して説明する。

[0067] 樹脂製のパイプ製品やパイプ部品等の樹脂中空体は、金属製のパイプと比

較して軽量であり成形性に優れるところから、様々な分野で利用されてきており、また各種の技術が提案されている。例えば、一方の端部を閉塞した樹脂パイプを射出成形で製造する際に、設計自由度を高める技術が提案されている（例えば特許第５８６４３７３号）。

[0068] 近年、上述したように、樹脂パイプの特徴から、樹脂パイプのような樹脂中空体を適用して各種製品を実現することが望まれるようになっている。特に、パワーモジュールや第２の実施形態で説明したモータ１００のように高温域で動作する製品に対して、小径パイプ構造の樹脂中空体を適用したいという需要が高まっている。一般に、小径パイプの製作については、長さＬが内径Ｄに対して長い場合（すなわちＬ／Ｄが大きい場合）、押出成形による製法、より具体的には、可塑品による成形品が用いられていたが、高温域で動作する製品においては要求される仕様を満たすことができないこともあり、熱硬化性樹脂を用いた技術が求められていた。

[0069] 本実施形態では、熱硬化性樹脂からなる長尺直線状のパイプ構造を有する樹脂中空体及びそれを用いたモジュール、およびそれらを製造する製造方法について説明する。

[0070] 本実施形態の概要は次の通りである。

１．熱硬化性樹脂からなる長尺直線状のパイプ構造を有する樹脂中空体であって、

前記パイプ構造の内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ／Ｄ１が２０以上、１２５以下である、樹脂中空体。

２．前記パイプ構造の内面の端部がテーパ形状の無いストレートに形成されている、１．に記載の樹脂中空体。

３．前記熱硬化性樹脂はエポキシ樹脂からなる、１．または２．に記載の樹脂中空体。

４．前記パイプ構造の前記内径Ｄ１が１．８ｍｍ以上３．５ｍｍ以下である、１．から３．までのいずれかに記載の樹脂中空体。

５．前記パイプ構造の肉厚ｔが０．１０ｍｍ以上１ｍｍ以下である、１．か

ら４．までのいずれかに記載の樹脂中空体。

６．前記パイプ構造の外径Ｄ２が２．０ｍｍ以上４．５ｍｍ以下である、１．から５．までのいずれかに記載の樹脂中空体。

７．上記１．から６．までのいずれかに記載の樹脂中空体を一体に備えたモジュール。

８．前記樹脂中空体が冷却用水路として設けられている、７．に記載のモジュール。

９．長尺直線状のパイプ構造を有する樹脂中空体の製造方法であって、

前記パイプ構造の内周面に対応する外周面を有する長尺直線状の金型ピンを有する成形用金型に熱硬化性樹脂を充填する樹脂充填工程と、

前記金型ピンを引き抜く金型ピン引抜工程と、

を有し、

前記パイプ構造の内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ／Ｄ１が２０以上１２５以下である、樹脂中空体の製造方法。

１０．前記金型ピンは、引き抜き用のテーパ形状を有さない、９．に記載の樹脂中空体の製造方法。

１１．前記熱硬化性樹脂はエポキシ樹脂からなる、９．または１０．に記載の樹脂中空体の製造方法。

１２．前記パイプ構造の前記内径Ｄ１が１．８ｍｍ以上３．５ｍｍ以下である、９．から１１．までのいずれかに記載の樹脂中空体の製造方法。

１３．前記パイプ構造の肉厚ｔが０．１０ｍｍ以上１ｍｍ以下である、９．から１２．までのいずれかに記載の樹脂中空体の製造方法。

１４．前記パイプ構造の外径Ｄ２が２．０ｍｍ以上４．５ｍｍ以下である、９．から１３．までのいずれかに記載の樹脂中空体の製造方法。

１５．前記成形用金型に前記熱硬化性樹脂を充填する際の充填圧力が１０ＭＰａ以上１２ＭＰａ以下である、９．から１４．までのいずれかに記載の樹脂中空体の製造方法。

１６．上記９．から１５．までのいずれかに記載の樹脂中空体の製造方法を

用いて、前記樹脂中空体を有するモジュールを製造するモジュールの製造方法。

１７．前記樹脂中空体を冷却用水路として製造する、１６．に記載のモジュールの製造方法。

[0071] 以下、樹脂パイプ（樹脂中空体）をパワーモジュール（パワー半導体チップ）の冷却に適用した構成について具体的に説明するが、その他に、例えば、上述した第２の実施形態のモータ１００の冷却水路１０に適用することができる。

[0072] ＜パワーモジュール２０１＞

本実施形態に係るパワーモジュール２０１について説明する。

図１２は本実施形態に係るパワーモジュール２０１の模式図であって、断面図を示している。図１３は小径樹脂パイプ２００の模式図である。

[0073] パワーモジュール２０１は、パワー半導体チップ２０２と、シンタリング層２０３と、Ｃｕ回路２０４と、放熱シート２０５と、Ｃｕベースプレート２０６と、リードフレーム２０７とを有し、樹脂封止層２０９（封止材）により封止されている。さらに、パワーモジュール２０１は、樹脂封止層２０９に設けられた第１冷却用水路２１０と、Ｃｕベースプレート２０６に設けられた第２冷却水路２２０とを有する。

[0074] ＜パワー半導体チップ２０２＞

パワー半導体チップ２０２は、例えば、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（ＩＧＢＴ；Ｉｎｓｕｌａｔｅｄ Ｇａｔｅ Ｂｉｐｏｌａｒ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）およびダイオード等である。パワー半導体チップ２０２の上面には図示しない電極パターンが形成され、パワー半導体チップ２０２の下面には図示しない導電パターンが形成されている。

[0075] パワー半導体チップ２０２の下面は、接合層であるシンタリング層２０３を介してＣｕ回路２０４の一方の面に接合されている。パワー半導体チップ２０２の上面の電極パターンは、リードフレーム２０７に対して電気的に接続されている。

[0076] ＜シンタリング層２０３＞

シンタリング層２０３は、金属粒子が含有されたシンタリングペーストを焼結させ接合層である。シンタリングペーストとしては、銀粒子を含有するＡｇシンタリングペースト、アルミニウム粒子を含有するＡＬシンタリングペースト、銅粒子を含有するＣｕシンタリングペーストのいずれかを用いることができる。

[0077] パワー半導体チップ２０２とＣｕ回路２０４との間に上記のようなシンタリングペーストを設けて積層し、焼結工程により、パワー半導体チップ２０２とＣｕ回路２０４がシンタリング層２０３により接合される。また、リードフレーム２０７とＣｕ回路２０４とがシンタリング層２０３により接合されている。

[0078] シンタリング層２０３では、金属粒子によるシンタリングネットワーク（金属結合バス）が形成されており、高熱伝導性や低い電気抵抗が実現される。なお、シンタリング層２０３による接合性の向上の観点から、Ｃｕ回路２０４やリードフレーム２０７に、シンタリングペーストに含有される金属によるメッキの表面処理が施されてもよい。具体的には、本実施形態では、Ｃｕ回路２０４やリードフレーム２０７の表面にＡｇメッキが施されてもよい。

[0079] ＜Ｃｕ回路２０４＞

Ｃｕ回路２０４は、導電性を有する金属材料で構成された金属回路基板である。Ｃｕ回路２０４の一方の面（図示で上側の面）に形成された回路パターンに、接合層であるシンタリング層２０３を介して、パワー半導体チップ２０２が設けられている。

[0080] Ｃｕ回路２０４は、金属材料をパターンニングした回路基板であって、例えば厚みが０．３ｍｍ以上５ｍｍ以下である。Ｃｕ回路２０４を構成する金属材料には、例えば、厚銅（圧延銅）を好適に用いることができる。これにより、Ｃｕ回路２０４は、比較的抵抗値が小さくなる。なお、Ｃｕ回路２０４は、その少なくとも一部がソルダーレジスト層で覆われていてもよい。

[0081] Ｃｕ回路２０４は、例えば、Ｃｕベースプレート２０６の上面に放熱シート２０５を介して積層された金属層（厚銅など）を切削及びエッチングにより所定のパターンに加工することにより形成されたり、または予め所定のパターンに加工された状態で放熱シート２０５によりＣｕ回路２０４に貼りつけられる。

[0082] Ｃｕ回路２０４の厚さの下限値は、例えば、０．３ｍｍ以上である。このような数値以上であれば、高電流を要する用途であっても、回路パターンの発熱を抑えることができる。また、回路パターンの厚さの上限値は、例えば、５．０ｍｍ以下であり、好ましくは４．０ｍｍ以下であり、さらに好ましくは３．０ｍｍ以下である。このような数値以下であれば、回路加工性を向上させることができ、また、基板全体としての薄型化を図ることができる。

[0083] ＜放熱シート２０５＞

放熱シート２０５は、Ｃｕ回路２０４とＣｕベースプレート２０６の間に配置される。パワー半導体チップ２０２の熱をＣｕ回路２０４で受け、さらに、放熱シート２０５を介して放熱手段であるＣｕベースプレート２０６に伝熱される。

[0084] 放熱シート２０５の平面形状は、特に限定されず、Ｃｕ回路２０４やＣｕベースプレート２０６の形状に合わせて適宜選択することが可能であるが、たとえば矩形とすることができる。放熱シート２０５の膜厚は、例えば５０μｍ以上２５０μｍ以下である。これにより、機械的強度や耐熱性の向上を図りつつ、Ｃｕ回路２０４の熱をより効果的にＣｕベースプレート２０６へ伝えることができる。さらに、放熱シート２０５の放熱性と絶縁性のバランスが優れる。放熱シート２０５の熱伝導率として、特に限定はしないが、好ましくは１０Ｗ／ｍＫ（１７５℃）以上、より好ましくは１５Ｗ／ｍＫ（１７５℃）以上のものが用いられる。

[0085] ［放熱シート２０５の材質］

放熱シート２０５は、例えば樹脂シートであって、シート用樹脂組成物を用いて形成されている。以下、シート用樹脂組成物について説明する。

本実施形態において、シート用樹脂組成物は、熱硬化性樹脂（Ａ）、充填剤（Ｂ）、および硬化剤（Ｃ）などを含むことが好ましい。熱硬化性樹脂を含む場合、放熱シート２０５は、熱硬化性樹脂（Ａ）をＢステージ化したものである。

[0086] ［熱硬化性樹脂（Ａ）］

熱硬化性樹脂（Ａ）としては、たとえば、エポキシ樹脂、シアネート樹脂、ポリイミド樹脂、ベンゾオキサジン樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、シリコーン樹脂、ビスマレイミド樹脂、フェノキシ樹脂、およびアクリル樹脂等が挙げられる。熱硬化性樹脂（Ａ）として、これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

なかでも、高い絶縁性を有する観点から、熱硬化性樹脂（Ａ）としては、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、およびフェノキシ樹脂であることが好ましい。

[0087] エポキシ樹脂としては、たとえば、ビスフェノールＡ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＦ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＥ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＳ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＭ型エポキシ樹脂（４，４’－（１，３－フェニレンジイソプリジエン）ビスフェノール型エポキシ樹脂）、ビスフェノールＰ型エポキシ樹脂（４，４’－（１，４－フェニレンジイソプリジエン）ビスフェノール型エポキシ樹脂）、ビスフェノールＺ型エポキシ樹脂（４，４’－シクロヘキシジエンビスフェノール型エポキシ樹脂）等のビスフェノール型エポキシ樹脂；フェノールノボラック型エポキシ樹脂、クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、トリスフェノール基メタン型ノボラック型エポキシ樹脂、テトラフェノール基エタン型ノボラック型エポキシ樹脂、縮合環芳香族炭化水素構造を有するノボラック型エポキシ樹脂等のノボラック型エポキシ樹脂；ビフェニル型エポキシ樹脂；キシリレン型エポキシ樹脂、ビフェニルアラルキル型エポキシ樹脂等のアリールアルキレン型エポキシ樹脂；ナフチレンエーテル型エポキシ樹脂、ナフトール型エポキシ樹脂、ナ

フタレンジオール型エポキシ樹脂、２官能ないし４官能エポキシ型ナフタレン樹脂、ビナフチル型エポキシ樹脂、ナフタレンアラルキル型エポキシ樹脂等のナフタレン型エポキシ樹脂；アントラセン型エポキシ樹脂；フェノキシ型エポキシ樹脂；ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂；ノルボルネン型エポキシ樹脂；アダマンタン型エポキシ樹脂；フルオレン型エポキシ樹脂等が挙げられる。これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

[0088] エポキシ樹脂の中でも、耐熱性および絶縁信頼性をより一層向上できる観点から、ビスフェノール型エポキシ樹脂、ノボラック型エポキシ樹脂、ビフェニル型エポキシ樹脂、アリールアルキレン型エポキシ樹脂、ナフタレン型エポキシ樹脂、アントラセン型エポキシ樹脂、ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂からなる群から選択される１種または２種以上であることが好ましい。

[0089] フェノール樹脂としては、たとえば、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、ビスフェノールＡノボラック樹脂等のノボラック型フェノール樹脂、およびレゾール型フェノール樹脂等が挙げられる。これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

フェノール樹脂の中でも、フェノールノボラック樹脂であることが好ましい。

[0090] 熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量は、シート用樹脂組成物全量に対し、１質量％以上が好ましく、５質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、シート用樹脂組成物全量に対し、３０質量％以下が好ましく、２０質量％以下がより好ましい。

熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量が上記下限値以上であると、シート用樹脂組成物のハンドリング性が向上し、放熱絶縁シートを形成するのが容易となるとともに、放熱絶縁シートの強度が向上する。

熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量が上記上限値以下であると、放熱絶縁シートの線膨張率や弾性率がより一層向上したり、熱伝導性がより一層向上したり

する。

[0091] ［充填剤（Ｂ）］

本実施形態における充填剤（Ｂ）は、放熱シート２０５の熱伝導性を向上させるとともに強度を得る観点から用いられる。

[0092] 充填剤（Ｂ）としては、熱伝導性フィラーであることが好ましい。より具体的には、充填剤（Ｂ）としては、熱伝導性と電気絶縁性とのバランスを図る観点から、たとえば、シリカ、アルミナ、窒化ホウ素、窒化アルミニウム、および炭化ケイ素等が挙げられる。これらは１種を単独で用いても、２種以上を併用してもよい。なかでも、充填剤（Ｂ）は、アルミナ、窒化ホウ素であることが好ましい。

[0093] 充填剤（Ｂ）の含有量は、シート用樹脂組成物全量に対し、９０質量％以下が好ましく、８０質量％以下がより好ましい。一方、熱伝導性の観点から、当該含有量は、シート用樹脂組成物全量に対し、４０質量％以上が好ましく、５０質量％以上がより好ましい。

[0094] ［硬化剤（Ｃ）］

シート用樹脂組成物は、熱硬化性樹脂（Ａ）としてエポキシ樹脂、またはフェノール樹脂を用いる場合、さらに硬化剤（Ｃ）を含むことが好ましい。

[0095] 硬化剤（Ｃ）としては、硬化触媒（Ｃ－１）およびフェノール系硬化剤（Ｃ－２）から選択される１種以上を用いることができる。

硬化触媒（Ｃ－１）としては、たとえば、ナフテン酸亜鉛、ナフテン酸コバルト、オクチル酸スズ、オクチル酸コバルト、ビスアセチルアセトナートコバルト（ＩＩ）、トリスアセチルアセトナートコバルト（ＩＩＩ）等の有機金属塩；トリエチルアミン、トリブチルアミン、１，４－ジアザビシクロ［２．２．２］オクタン等の３級アミン類；２－フェニル－４－メチルイミダゾール、２－エチル－４－メチルイミダゾール、２，４－ジエチルイミダゾール、２－フェニル－４－メチル－５－ヒドロキシイミダゾール、２－フェニル－４，５－ジヒドロキシメチルイミダゾール等のイミダゾール類；トリフェニルホスフィン、トリ－ｐ－トリルホスフィン、テトラフェニルホス

ホニウム・テトラフェニルボレート、トリフェニルホスフィン・トリフェニルボラン、１，２－ビス－（ジフェニルホスフィノ）エタン等の有機リン化合物；フェノール、ビスフェノールＡ、ノニルフェノール等のフェノール化合物；酢酸、安息香酸、サリチル酸、ｐ－トルエンスルホン酸等の有機酸；等、またはこの混合物が挙げられる。硬化触媒（Ｃ－１）として、これらの中の誘導体も含めて１種類を単独で用いることもできるし、これらの誘導体も含めて２種類以上を併用したりすることもできる。

硬化触媒（Ｃ－１）の含有量は、特に限定されないが、シート用樹脂組成物全量に対し、０．００１質量％以上１質量％以下が好ましい。

[0096] また、フェノール系硬化剤（Ｃ－２）としては、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、トリスフェノールメタン型ノボラック樹脂、ナフトールノボラック樹脂、アミノトリアジンノボラック樹脂等のノボラック型フェノール樹脂；テルペン変性フェノール樹脂、ジシクロペンタジエン変性フェノール樹脂等の変性フェノール樹脂；フェニレン骨格及び／又はビフェニレン骨格を有するフェノールアラルキル樹脂、フェニレン骨格及び／又はビフェニレン骨格を有するナフトールアラルキル樹脂等のアラルキル型樹脂；ビスフェノールＡ、ビスフェノールＦ等のビスフェノール化合物；レゾール型フェノール樹脂等が挙げられ、これらは１種類を単独で用いても２種類以上を併用してもよい。

これらの中でも、ガラス転移温度の向上及び線膨張係数の低減の観点から、フェノール系硬化剤（Ｃ－２）がノボラック型フェノール樹脂またはレゾール型フェノール樹脂が好ましい。

[0097] フェノール系硬化剤（Ｃ－２）の含有量は、特に限定されないが、シート用樹脂組成物全量に対し、１質量％以上が好ましく、５質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、シート用樹脂組成物全量に対し、３０質量％以下が好ましく、１５質量％以下がより好ましい。

[0098] ［カップリング剤（Ｄ）］

シート用樹脂組成物は、カップリング剤（Ｄ）を含んでもよい。カップリ

ング剤（Ｄ）は、熱硬化性樹脂（Ａ）と充填剤（Ｂ）との界面の濡れ性を向上させることができる。

[0099] カップリング剤（Ｄ）としては、特に限定されないが、たとえば、エポキシシランカップリング剤、カチオニックシランカップリング剤、アミノシランカップリング剤、チタネート系カップリング剤およびシリコーンオイル型カップリング剤の中から選ばれる１種または２種以上のカップリング剤を使用することが好ましい。

カップリング剤（Ｄ）の含有量は、特に限定されないが、充填剤（Ｂ）１００質量％に対して、０．０５質量％以上が好ましく、０．１質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、充填剤（Ｂ）１００質量％に対して、３質量％以下が好ましく、２質量％以下がより好ましい。

[0100] ［フェノキシ樹脂（Ｅ）］

さらに、シート用樹脂組成物は、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含んでもよい。フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むことにより放熱シート２０５の耐屈曲性を向上できる。

また、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むことにより、放熱シート２０５の弾性率を低下させることが可能となり、放熱シート２０５の応力緩和力を向上させることができる。

[0101] また、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むと、粘度上昇により、流動性が低減し、ボイド等が発生することを抑制できる。また、放熱シート２０５を金属部材と密着させて用いる場合などに、金属とシート用樹脂組成物の硬化体との密着性を向上できる。これらの相乗効果により、パワーモジュール２０１の絶縁信頼性をより一層高めることができる。

[0102] フェノキシ樹脂（Ｅ）としては、たとえば、ビスフェノール骨格を有するフェノキシ樹

脂、ナフタレン骨格を有するフェノキシ樹脂、アントラセン骨格を有するフェノキシ樹脂、およびビフェニル骨格を有するフェノキシ樹脂等が挙げられる。また、これらの骨格を複数種有した構造のフェノキシ樹脂を用いること

もできる。

[0103] フェノキシ樹脂（Ｅ）の含有量は、たとえば、シート用樹脂組成物全量に対して、３質量％以上１０質量％以下であることが好ましい。

[0104] ［その他の成分］

シート用樹脂組成物には、本発明の効果を損なわない範囲で、ほかに酸化防止剤、レベリング剤等を含むことができる。

[0105] ＜第１冷却用水路２１０＞

パワー半導体チップ２０２やリードフレーム２０７の上部には図示で左右に延びる第１冷却用水路２１０が設けられている。第１冷却用水路２１０は、後述する小径樹脂パイプ２００が樹脂封止層２０９に埋め込まれた構成として設けられている。小径樹脂パイプ２００は、必要とされる放熱条件に応じて複数設けられる。第１冷却用水路２１０には冷媒（例えば冷却水）が循環して、パワー半導体チップ２０２が発する熱を外部に放熱する。

[0106] ＜小径樹脂パイプ２００（樹脂中空体）＞

小径樹脂パイプ２００は、熱硬化性樹脂（Ａ）からなる長尺直線状のパイプ構造を有する樹脂中空体である。なお、本実施形態では、小径樹脂パイプ２００（樹脂中空体）をパワー半導体チップ２０２の冷却に適用した構成について例示しているが、その他に例えば、上述した第２の実施形態のモータ１００の冷却水路１０に適用することができる。

[0107] 熱硬化性樹脂（Ａ）としては、たとえば、エポキシ樹脂、シアネート樹脂、ポリイミド樹脂、ベンゾオキサジン樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、シリコーン樹脂、ビスマレイミド樹脂、フェノキシ樹脂、およびアクリル樹脂等が挙げられる。熱硬化性樹脂（Ａ）として、これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよいが、エポキシ樹脂が好ましい。

[0108] エポキシ樹脂としては、たとえば、ビスフェノールＡ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＦ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＥ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＳ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＭ型エポキシ樹脂（４，４’－（

１，３－フェニレンジイソプリジエン）ビスフェノール型エポキシ樹脂）、ビスフェノールＰ型エポキシ樹脂（４，４’－（１，４－フェニレンジイソプリジエン）ビスフェノール型エポキシ樹脂）、ビスフェノールＺ型エポキシ樹脂（４，４’－シクロヘキシジエンビスフェノール型エポキシ樹脂）等のビスフェノール型エポキシ樹脂；フェノールノボラック型エポキシ樹脂、クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、トリスフェノール基メタン型ノボラック型エポキシ樹脂、テトラフェノール基エタン型ノボラック型エポキシ樹脂、縮合環芳香族炭化水素構造を有するノボラック型エポキシ樹脂等のノボラック型エポキシ樹脂；ビフェニル型エポキシ樹脂；キシリレン型エポキシ樹脂、ビフェニルアラルキル型エポキシ樹脂等のアリールアルキレン型エポキシ樹脂；ナフチレンエーテル型エポキシ樹脂、ナフトール型エポキシ樹脂、ナフタレンジオール型エポキシ樹脂、２官能ないし４官能エポキシ型ナフタレン樹脂、ビナフチル型エポキシ樹脂、ナフタレンアラルキル型エポキシ樹脂等のナフタレン型エポキシ樹脂；アントラセン型エポキシ樹脂；フェノキシ型エポキシ樹脂；ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂；ノルボルネン型エポキシ樹脂；アダマンタン型エポキシ樹脂；フルオレン型エポキシ樹脂等が挙げられる。これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

[0109] エポキシ樹脂の中でも、耐熱性および絶縁信頼性をより一層向上できる観点から、ビスフェノール型エポキシ樹脂、ノボラック型エポキシ樹脂、ビフェニル型エポキシ樹脂、アリールアルキレン型エポキシ樹脂、ナフタレン型エポキシ樹脂、アントラセン型エポキシ樹脂、ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂からなる群から選択される１種または２種以上であることが好ましい。

[0110] フェノール樹脂としては、たとえば、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、ビスフェノールＡノボラック樹脂等のノボラック型フェノール樹脂、およびレゾール型フェノール樹脂等が挙げられる。これらの中の１種類を単独で用いてもよいし、２種類以上を併用してもよい。

フェノール樹脂の中でも、フェノールノボラック樹脂であることが好ましい。

[0111] 熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量は、樹脂中空体用樹脂組成物全量に対し、１質量％以上が好ましく、５質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、樹脂中空体用樹脂組成物全量に対し、３０質量％以下が好ましく、２０質量％以下がより好ましい。

熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量が上記下限値以上であると、樹脂中空体用樹脂組成物のハンドリング性が向上し、小径樹脂パイプ２００（樹脂中空体）を形成するのが容易となるとともに、小径樹脂パイプ２００の強度が向上する。

熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量が上記上限値以下であると、小径樹脂パイプ２００の線膨張率や弾性率がより一層向上したり、熱伝導性がより一層向上したりする。

[0112] ［充填剤（Ｂ）］

本実施形態における充填剤（Ｂ）は、小径樹脂パイプ２００の熱伝導性を向上させるとともに強度を得る観点から用いられる。

[0113] 充填剤（Ｂ）としては、熱伝導性フィラーであることが好ましい。より具体的には、充填剤（Ｂ）としては、熱伝導性と電気絶縁性とのバランスを図る観点から、たとえば、シリカ、アルミナ、窒化ホウ素、窒化アルミニウム、および炭化ケイ素等が挙げられる。これらは１種を単独で用いても、２種以上を併用してもよい。なかでも、充填剤（Ｂ）は、アルミナ、窒化ホウ素であることが好ましい。

[0114] 充填剤（Ｂ）の含有量は、樹脂中空体用樹脂組成物全量に対し、９０質量％以下が好ましく、８０質量％以下がより好ましい。一方、熱伝導性の観点から、当該含有量は、樹脂中空体用樹脂組成物全量に対し、４０質量％以上が好ましく、５０質量％以上がより好ましい。

[0115] ［硬化剤（Ｃ）］

樹脂中空体用樹脂組成物は、熱硬化性樹脂（Ａ）としてエポキシ樹脂、ま

たはフェノール樹脂を用いる場合、さらに硬化剤（Ｃ）を含むことが好ましい。

[0116] 硬化剤（Ｃ）としては、硬化触媒（Ｃ－１）およびフェノール系硬化剤（Ｃ－２）から選択される１種以上を用いることができる。

硬化触媒（Ｃ－１）としては、たとえば、ナフテン酸亜鉛、ナフテン酸コバルト、オクチル酸スズ、オクチル酸コバルト、ビスアセチルアセトナートコバルト（ＩＩ）、トリスアセチルアセトナートコバルト（ＩＩＩ）等の有機金属塩；トリエチルアミン、トリブチルアミン、１，４－ジアザビシクロ［２．２．２］オクタン等の３級アミン類；２－フェニル－４－メチルイミダゾール、２－エチル－４－メチルイミダゾール、２，４－ジエチルイミダゾール、２－フェニル－４－メチル－５－ヒドロキシイミダゾール、２－フェニル－４，５－ジヒドロキシメチルイミダゾール等のイミダゾール類；トリフェニルホスフィン、トリ－ｐ－トリルホスフィン、テトラフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、トリフェニルホスフィン・トリフェニルボラン、１，２－ビス－（ジフェニルホスフィノ）エタン等の有機リン化合物；フェノール、ビスフェノールＡ、ノニルフェノール等のフェノール化合物；酢酸、安息香酸、サリチル酸、ｐ－トルエンスルホン酸等の有機酸；等、またはこの混合物が挙げられる。硬化触媒（Ｃ－１）として、これらの中の誘導体も含めて１種類を単独で用いることもできるし、これらの誘導体も含めて２種類以上を併用したりすることもできる。

硬化触媒（Ｃ－１）の含有量は、特に限定されないが、樹脂中空体用樹脂組成物全量に対し、０．００１質量％以上１質量％以下が好ましい。

[0117] また、フェノール系硬化剤（Ｃ－２）としては、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、トリスフェノールメタン型ノボラック樹脂、ナフトールノボラック樹脂、アミノトリアジンノボラック樹脂等のノボラック型フェノール樹脂；テルペン変性フェノール樹脂、ジシクロペンタジエン変性フェノール樹脂等の変性フェノール樹脂；フェニレン骨格及び／又はビフェニレン骨格を有するフェノールアラルキル樹脂、フェニレン骨格及び

／又はビフェニレン骨格を有するナフトールアラルキル樹脂等のアラルキル型樹脂；ビスフェノールＡ、ビスフェノールＦ等のビスフェノール化合物；レゾール型フェノール樹脂等が挙げられ、これらは１種類を単独で用いても２種類以上を併用してもよい。

これらの中でも、ガラス転移温度の向上及び線膨張係数の低減の観点から、フェノール系硬化剤（Ｃ－２）がノボラック型フェノール樹脂またはレゾール型フェノール樹脂が好ましい。

[0118] フェノール系硬化剤（Ｃ－２）の含有量は、特に限定されないが、樹脂中空体用樹脂組成物全量に対し、１質量％以上が好ましく、５質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、シート用樹脂組成物全量に対し、３０質量％以下が好ましく、１５質量％以下がより好ましい。

[0119] ［カップリング剤（Ｄ）］

樹脂中空体用樹脂組成物は、カップリング剤（Ｄ）を含んでもよい。カップリング剤（Ｄ）は、熱硬化性樹脂（Ａ）と充填剤（Ｂ）との界面の濡れ性を向上させることができる。

[0120] カップリング剤（Ｄ）としては、特に限定されないが、たとえば、エポキシシランカップリング剤、カチオニックシランカップリング剤、アミノシランカップリング剤、チタネート系カップリング剤およびシリコーンオイル型カップリング剤の中から選ばれる１種または２種以上のカップリング剤を使用することが好ましい。

カップリング剤（Ｄ）の含有量は、特に限定されないが、充填剤（Ｂ）１００質量％に対して、０．０５質量％以上が好ましく、０．１質量％以上がより好ましい。一方、当該含有量は、充填剤（Ｂ）１００質量％に対して、３質量％以下が好ましく、２質量％以下がより好ましい。

[0121] ［フェノキシ樹脂（Ｅ）］

さらに、樹脂中空体用樹脂組成物は、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含んでもよい。フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むことにより小径樹脂パイプ２００の耐屈曲性を向上できる。

また、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むことにより、小径樹脂パイプ２００の弾性率を低下させることが可能となり、小径樹脂パイプ２００の応力緩和力を向上させることができる。

[0122] また、フェノキシ樹脂（Ｅ）を含むと、粘度上昇により、流動性が低減し、ボイド等が発生することを抑制できる。

[0123] フェノキシ樹脂（Ｅ）としては、たとえば、ビスフェノール骨格を有するフェノキシ樹

脂、ナフタレン骨格を有するフェノキシ樹脂、アントラセン骨格を有するフェノキシ樹脂、およびビフェニル骨格を有するフェノキシ樹脂等が挙げられる。また、これらの骨格を複数種有した構造のフェノキシ樹脂を用いることもできる。

[0124] フェノキシ樹脂（Ｅ）の含有量は、たとえば、樹脂中空体用樹脂組成物全量に対して、３質量％以上１０質量％以下であることが好ましい。

[0125] ［その他の成分］

樹脂中空体用樹脂組成物には、本発明の効果を損なわない範囲で、ほかに酸化防止剤、レベリング剤等を含むことができる。

[0126] ＜小径樹脂パイプ２００のパイプ構造＞

小径樹脂パイプ２００が呈するパイプ構造の特徴は次の通りである。

小径樹脂パイプ２００は、内面２１１の端部２１２がテーパ形状の無いストレートに形成された円筒パイプである。本実施形態では、断面が円形の円筒パイプを例示しているが、断面が楕円や多角形等の異形パイプであってもよい。

[0127] 小径樹脂パイプ２００の内径Ｄ１は１．８ｍｍ以上３．５ｍｍ以下である。なお、小径樹脂パイプ２００が異形パイプの場合は、内径の最狭幅をＤ１とする。内径Ｄ１の下限は、好ましくは１．９ｍｍ以上であり、より好ましくは２．０ｍｍ以上である。上限は好ましくは３．２ｍｍ以下であり、より好ましくは３．０ｍｍ以下である。

[0128] 小径樹脂パイプ２００の外径Ｄ２は２．０ｍｍ以上４．５ｍｍ以下である

。好ましくは２．１ｍｍ以上であり、より好ましくは２．２ｍｍ以上である。上限は好ましくは４．２ｍｍ以下であり、より好ましくは４．０ｍｍ以下である。

[0129] 小径樹脂パイプ２００の肉厚ｔ（＝（Ｄ２－Ｄ１）／２）が０．１０ｍｍ以上１ｍｍ以下である。肉厚ｔの下限は、好ましくは０．１５ｍｍ以上であり、より好ましくは０．２０ｍｍ以上である。上限は、好ましくは０．９ｍｍ以下であり、より好ましくは０．８ｍｍ以下である。

[0130] 小径樹脂パイプ２００の長さＬは６０ｍｍ以上２５０ｍｍ以下である。長さＬの下限は、好ましくは７０ｍｍ以上であり、より好ましくは８０ｍｍ以上である。上限は、好ましくは２３０ｍｍ以下であり、より好ましくは２００ｍｍ以下である。

[0131] 小径樹脂パイプ２００の内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ／Ｄ１が２０以上、１２５以下である。

比Ｌ／Ｄ１の下限は、好ましくは２５以上であり、より好ましくは３０以上である。上限は、好ましくは１２０以下であり、より好ましくは１００以下である。例えば、長さＬが６０ｍｍ、内径Ｄ１が３ｍｍの場合、比Ｌ／Ｄ１は２０である。長さＬが２５０ｍｍ、内径Ｄ１が２ｍｍの場合、比Ｌ／Ｄ１は１２５である。

[0132] ＜Ｃｕベースプレート２０６＞

Ｃｕベースプレート２０６は、放熱部材の一種であって、銅の板状の基部と、基部の図示下側領域に設けられた第２冷却水路２２０とを有する。

[0133] 放熱部材として、Ｃｕベースプレート２０６の他に、例えばアルミニウムのベースプレートが採用されてもよい。また、パワー半導体チップ２０２の発熱をＣｕ回路２０４を介して取得して他に逃がす機能を有すれば、一般的な放熱部材に限らず、他の構成の一部（例えばハウジング）などであってもよい。

[0134] ＜第２冷却水路２２０＞

第２冷却水路２２０は、第１冷却用水路２１０と同様に、内部に冷媒が循

環して、Ｃｕベースプレート２０６の熱を外部に放出する機能を有する。第２冷却水路２２０は、Ｃｕベースプレート２０６をくり抜いて形成し全ての内壁面がＣｕベースプレート２０６の一部として構成されてもよいし、Ｃｕベースプレート２０６にパイプ配置構造を軽視しそこに小径樹脂パイプ２００と同様の樹脂中空体を配置し、周囲を樹脂で埋めることで構成してもよい。

[0135] ＜リードフレーム２０７＞

リードフレーム２０７は、パワー半導体チップ２０２を支持固定し、また外部配線との電気的接続をするものであって、銅や鉄などの金属素材の薄板をプレス加工やエッチング加工等によって作られた部品である。

[0136] ＜樹脂封止層２０９＞

樹脂封止層２０９は、例えばモールド樹脂であって、パワー半導体チップ２０２と、シンタリング層２０３と、Ｃｕ回路２０４と、放熱シート２０５と、Ｃｕベースプレート２０６と、リードフレーム２０７と、第１冷却用水路２１０をその内部に一体封止している。

[0137] 樹脂封止層２０９として、モールド樹脂の他に、シリコーンゲルなどが用いられてもよい。以下では、モールド樹脂で一体封止する構成について説明する。

[0138] この封止において、リードフレーム２０７の一部が封止され、封止されない他部は、外部機器に接続される。また、Ｃｕベースプレート２０６については、Ｃｕベースプレート２０６の上面及び側面が、樹脂封止層２０９により覆われ封止されている。Ｃｕベースプレート２０６の下面及び第２冷却水路２２０は樹脂封止層２０９に覆われていない。すなわち、樹脂封止層２０９は、Ｃｕベースプレート２０６の基部５Ａの厚さ方向の側面の一部又は全部を覆うように、パワー半導体チップ２０２を覆って封止している。ここでは、Ｃｕベースプレート２０６の基部５Ａの側面の全てが樹脂封止層２０９により覆われている構成を例示している。

[0139] ［樹脂封止層２０９（モールド樹脂）の成分］

樹脂封止層２０９のモールド樹脂は、熱硬化性樹脂（Ａ）および無機充填材（Ｂ）を含む熱硬化性組成物（Ｃ）の硬化体である。熱硬化性組成物（Ｃ）には、硬化促進剤（Ｄ）が含まれる。

[0140] ［硬化促進剤（Ｄ）］

本実施形態の硬化促進剤（Ｄ）は、活性が強いものである。これにより、低温硬化を実現する一方で、特段の工夫をせずにそのまま用いると保存中に反応が進行する等し、保存性が低下する。

硬化促進剤（Ｄ）としては、たとえば、有機ホスフィン、テトラ置換ホスホニウム化合物、ホスホベタイン化合物、ホスフィン化合物とキノン化合物との付加物、または、ホスホニウム化合物とシラン化合物との付加物等のリン原子含有化合物；１，８－ジアザビシクロ（５，４，０）ウンデセン－７、イミダゾール等のアミジン系化合物；ベンジルジメチルアミン等の３級アミン、アミジニウム塩、またはアンモニウム塩等の窒素原子含有化合物等が挙げられる。

なかでも、硬化促進剤（Ｄ）が、イミダゾール系硬化促進剤またはリン系硬化促進剤であることが好ましい。イミダゾール系硬化促進剤として、例えば、アミジン系化合物のイミダゾール化合物を含むことがより好ましい。イミダゾール化合物としては、２－メチルイミダゾール、２－フェニルイミダゾール、イダゾール－２－カルボアルデヒド、５－アザベンゾイミダゾール、４－アザベンゾイミダゾール等が挙げられるがこれらに限定されない。中でも、２－メチルイミダゾールが好ましく用いられる。

[0141] 封止樹脂組成物中における硬化促進剤（Ｄ）の含有量は、とくに限定されないが、たとえば封止樹脂組成物全体に対して、０．１質量％以上５質量％以下であることが好ましく、０．２質量％以上４質量％以下であることがより好ましい。

硬化促進剤（Ｄ）の含有量を上記下限値以上とすることにより、封止樹脂組成物を適切に硬化しやすくなる。一方、硬化促進剤（Ｄ）の含有量を上記上限値以下とすることにより、溶融状態を長くし、より低粘度状態を長くで

きる結果、低温封止を実現しやすくなる。

[0142] ［熱硬化性樹脂（Ａ）］

熱硬化性樹脂（Ａ）としては、例えば、フェノール樹脂、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、メラミン樹脂、およびポリウレタン等が挙げられる。これらは、１種を単独で使用してもよいし、２種以上を併用してもよい。中でも、フェノール樹脂およびエポキシ樹脂のうちの少なくとも一方を含むことが好ましく、エポキシ樹脂を含むことがより好ましい。

[0143] エポキシ樹脂としては、１分子内にエポキシ基を２個以上有するモノマー、オリゴマー、ポリマー全般を用いることができ、その分子量や分子構造は特に限定されない。

エポキシ樹脂としては、具体的には、ビフェニル型エポキシ樹脂、ビスフェノールＡ型エポキシ樹脂、ビスフェノールＦ型エポキシ樹脂、テトラメチルビスフェノールＦ型エポキシ樹脂等のビスフェノール型エポキシ樹脂、スチルベン型エポキシ樹脂、ハイドロキノン型エポキシ樹脂等の結晶性エポキシ樹脂；クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、フェノールノボラック型エポキシ樹脂、ナフトールノボラック型エポキシ樹脂等のノボラック型エポキシ樹脂；フェニレン骨格含有フェノールアラルキル型エポキシ樹脂、ビフェニレン骨格含有フェノールアラルキル型エポキシ樹脂、フェニレン骨格含有ナフトールアラルキル型エポキシ樹脂、アルコキシナフタレン骨格含有フェノールアラルキルエポキシ樹脂等のアラルキル型エポキシ樹脂；トリフェノールメタン型エポキシ樹脂、アルキル変性トリフェノールメタン型エポキシ樹脂等の３官能型エポキシ樹脂；ジシクロペンタジエン変性フェノール型エポキシ樹脂、テルペン変性フェノール型エポキシ樹脂等の変性フェノール型エポキシ樹脂；トリアジン核含有エポキシ樹脂等の複素環含有エポキシ樹脂が挙げられる。これらは１種類を単独で用いてもよく、２種類以上を組み合わせて用いてもよい。これらの中でも、アルミニウム電解コンデンサの信頼性、および成形性のバランスを向上させる観点からは、アラルキル型エポキシ樹脂およびナフチルエーテル型エポキシ樹脂のうちの少なくとも一方を用

いることがより好ましい。

[0144] 熱硬化性樹脂（Ａ）の１５０℃におけるＩＣＩ粘度は、無機充填材（Ｂ）の含有量により適宜設定されることが好適であるが、たとえば、上限値は、好ましくは６０ポアズ以下であり、より好ましくは５０ポアズ以下であり、さらに好ましくは４０ポアズ以下である。これにより、封止用樹脂組成物の流動性を向上させ、また、低温封止を実現しやすくする。

一方、熱硬化性樹脂（Ａ）の１５０℃におけるＩＣＩ粘度の下限値は、特に限定されないが、例えば、０．０１ポアズ以上としてもよい。

なお、１ポアズは、０．１Ｐａ・ｓである。

[0145] 熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量は、とくに限定されないが、たとえば封止樹脂組成物全体に対して、１質量％以上５０質量％以下であることが好ましく、２質量％以上３０質量％以下であることがより好ましく、５質量％以上２０質量％以下であることがさらに好ましい。

熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量を上記下限値以上とすることにより、封止樹脂組成物の流動性や成型性をより効果的に向上させることができる。また、熱硬化性樹脂（Ａ）の含有量を上記上限値以下とすることにより、アルミニウム電解コンデンサの信頼性をより効果的に向上させることができる。

[0146] ［無機充填材（Ｂ）］

無機充填材（Ｂ）としては、例えば、シリカ、アルミナ、カオリン、タルク、クレイ、マイカ、ロックウール、ウォラストナイト、ガラスパウダー、ガラスフレーク、ガラスビーズ、ガラスファイバー、炭化ケイ素、窒化ケイ素、窒化アルミ、カーボンブラック、グラファイト、二酸化チタン、炭酸カルシウム、硫酸カルシウム、炭酸バリウム、炭酸マグネシウム、硫酸マグネシウム、硫酸バリウム、セルロース、アラミド、または木材等が挙げられる。これらは、１種単独で用いてもよいし、２種以上を混合して用いてもよい。

[0147] 上記のシリカとしては、結晶性シリカ（破砕状の結晶性シリカ）、溶融シリカ（破砕状のアモルファスシリカ、球状のアモルファスシリカ）、および

液状封止シリカ（液状封止用の球状のアモルファス止シリカ）が挙げられる。なかでも、低温、低圧封止を実現しやすくする観点から、溶融球状シリカであることが好ましい。

[0148] 無機充填剤（Ｂ）の平均粒径は、特に限定されないが、典型的には１～１００μｍ、好ましくは１～５０μｍ、より好ましくは１～２０μｍである。平均粒径が適当であることにより、後述の造粒工程において、溶融混合物を含むシェルがより均一にコーティングされる等の効果が得られると考えられる。また、最終的に得られたコアシェル粒子を半導体封止材として使用するときに、金型キャビティ内での半導体素子周辺への充填性を高めることができる。

なお、無機充填材（Ｂ）の体積基準粒度分布は、市販のレーザー式粒度分布計（たとえば、株式会社島津製作所製、ＳＡＬＤ－７０００）で測定することができる。

[0149] 無機充填材（Ｂ）の含有量は、とくに限定されないが、たとえば封止樹脂組成物全体に対して、５０質量％以上９５質量％以下であることが好ましく、６０質量％以上９５質量％以下であることがより好ましく、６５質量％以上８５質量％以下であることがさらに好ましい。

無機充填材（Ｂ）の含有量を上記下限値以上とすることにより、封止樹脂組成物により封止されたアルミニウム電解コンデンサの信頼性を効果的に向上させることができる。また、無機充填材（Ｂ）の含有量を上記上限値以下とすることにより、封止樹脂組成物の流動性を良好なものとし、成形性をより効果的に向上させることが可能となる。

[0150] 本実施形態の封止樹脂組成物は、上記以外に、以下の成分を含んでもよい。

［硬化剤（Ｃ）］

封止樹脂組成物は、硬化剤（Ｃ）を含むことができる。硬化剤（Ｃ）としては、熱硬化性樹脂（Ａ）と反応して硬化させるものであればとくに限定されないが、たとえば、エチレンジアミン、トリメチレンジアミン、テトラメ

チレンジアミン、および、ヘキサメチレンジアミン等の炭素数２～２０の直鎖脂肪族ジアミン、ならびに、メタフェニレンジアミン、パラフェニレンジアミン、パラキシレンジアミン、４，４’－ジアミノジフェニルメタン、４，４’－ジアミノジフェニルプロパン、４，４’－ジアミノジフェニルエーテル、４，４’－ジアミノジフェニルスルホン、４，４’－ジアミノジシクロヘキサン、ビス（４－アミノフェニル）フェニルメタン、１，５－ジアミノナフタレン、メタキシレンジアミン、パラキシレンジアミン、１，１－ビス（４－アミノフェニル）シクロヘキサン、ジシアノジアミド等のアミン類；アニリン変性レゾール樹脂、ジメチルエーテルレゾール樹脂等のレゾール型フェノール樹脂；フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、ｔｅｒｔ－ブチルフェノールノボラック樹脂、ノニルフェノールノボラック樹脂等のノボラック型フェノール樹脂；フェニレン骨格含有フェノールアラルキル樹脂、ビフェニレン骨格含有フェノールアラルキル樹脂等のフェノールアラルキル樹脂；ナフタレン骨格やアントラセン骨格のような縮合多環構造を有するフェノール樹脂；ポリパラオキシスチレン等のポリオキシスチレン；ヘキサヒドロ無水フタル酸（ＨＨＰＡ）、メチルテトラヒドロ無水フタル酸（ＭＴＨＰＡ）等の脂環族酸無水物、無水トリメリット酸（ＴＭＡ）、無水ピロメリット酸（ＰＭＤＡ）、ベンゾフェノンテトラカルボン酸（ＢＴＤＡ）等の芳香族酸無水物等を含む酸無水物等；ポリサルファイド、チオエステル、チオエーテル等のポリメルカプタン化合物；イソシアネートプレポリマー、ブロック化イソシアネート等のイソシアネート化合物；カルボン酸含有ポリエステル樹脂等の有機酸類が挙げられる。これらは１種類を単独で用いてもよく、２種類以上を組み合わせて用いてもよい。これらの中でも、封止樹脂組成物の低温・低圧封止を実現させる観点からは、ノボラック型フェノール樹脂またはフェノールアラルキル樹脂のうちの少なくとも一方を用いることがより好ましい。

[0151] 封止樹脂組成物中における硬化剤（Ｃ）の含有量は、とくに限定されないが、たとえば封止樹脂組成物全体に対して、１質量％以上１２質量％以下で

あることが好ましく、３質量％以上１０質量％以下であることがより好ましい。

硬化剤（Ｃ）の含有量を上記下限値以上とすることにより、封止樹脂組成物を適切に硬化しやすくなる。一方、硬化剤（Ｃ）の含有量を上記上限値以下とすることにより、適度な流動性を保持し、低温・低圧封止を実現しやすくなる。

[0152] ［カップリング剤（Ｅ）］

封止樹脂組成物は、たとえばカップリング剤（Ｅ）を含むことができる。カップリング剤（Ｅ）としては、たとえばエポキシシラン、メルカプトシラン、アミノシラン、アルキルシラン、ウレイドシラン、ビニルシラン等の各種シラン系化合物、チタン系化合物、アルミニウムキレート類、アルミニウム／ジルコニウム系化合物等の公知のカップリング剤を用いることができる。

より具体的には、ビニルトリクロロシラン、ビニルトリメトキシシラン、ビニルトリエトキシシラン、ビニルトリス（β－メトキシエトキシ）シラン、γ－メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン、β－（３，４－エポキシシクロヘキシル）エチルトリメトキシシラン、γ－グリシドキシプロピルトリメトキシシラン、γ－グリシドキシプロピルトリエトキシシラン、γ－グリシドキシプロピルメチルジメトキシシラン、γ－メタクリロキシプロピルメチルジエトキシシラン、γ－メタクリロキシプロピルトリエトキシシラン、ビニルトリアセトキシシラン、γ－メルカプトプロピルトリメトキシシラン、γ－アミノプロピルトリエトキシシラン、γ－アニリノプロピルトリメトキシシラン、γ－アニリノプロピルメチルジメトキシシラン、γ－［ビス（β－ヒドロキシエチル）］アミノプロピルトリエトキシシラン、Ｎ－β－（アミノエチル）－γ－アミノプロピルトリメトキシシラン、Ｎ－β－（アミノエチル）－γ－アミノプロピルトリエトキシシラン、Ｎ－β－（アミノエチル）－γ－アミノプロピルメチルジメトキシシラン、Ｎ－フェニル－γ－アミノプロピルトリメトキシシラン、γ－（β－アミノエチル）アミノ

プロピルジメトキシメチルシラン、Ｎ－（トリメトキシシリルプロピル）エチレンジアミン、Ｎ－（ジメトキシメチルシリルイソプロピル）エチレンジアミン、メチルトリメトキシシラン、ジメチルジメトキシシラン、メチルトリエトキシシラン、Ｎ－β－（Ｎ－ビニルベンジルアミノエチル）－γ－アミノプロピルトリメトキシシラン、γ－クロロプロピルトリメトキシシラン、ヘキサメチルジシラン、ビニルトリメトキシシラン、γ－メルカプトプロピルメチルジメトキシシラン、３－イソシアネートプロピルトリエトキシシラン、３－アクリロキシプロピルトリメトキシシラン、３－トリエトキシシリル－Ｎ－（１，３－ジメチル－ブチリデン）プロピルアミンの加水分解物等のシラン系カップリング剤；イソプロピルトリイソステアロイルチタネート、イソプロピルトリス（ジオクチルパイロホスフェート）チタネート、イソプロピルトリ（Ｎ－アミノエチル－アミノエチル）チタネート、テトラオクチルビス（ジトリデシルホスファイト）チタネート、テトラ（２，２－ジアリルオキシメチル－１－ブチル）ビス（ジトリデシル）ホスファイトチタネート、ビス（ジオクチルパイロホスフェート）オキシアセテートチタネート、ビス（ジオクチルパイロホスフェート）エチレンチタネート、イソプロピルトリオクタノイルチタネート、イソプロピルジメタクリルイソステアロイルチタネート、イソプロピルトリドデシルベンゼンスルホニルチタネート、イソプロピルイソステアロイルジアクリルチタネート、イソプロピルトリ（ジオクチルホスフェート）チタネート、イソプロピルトリクミルフェニルチタネート、テトライソプロピルビス（ジオクチルホスファイト）チタネート等のチタネート系カップリング剤が挙げられる。これらは、１種を単独で用いてもよく、２種以上を組み合わせて用いてもよい。

[0153] 封止樹脂組成物中におけるカップリング剤（Ｅ）の含有量は、とくに限定されないが、たとえば封止樹脂組成物全体に対して、０．０５質量％以上３質量％以下であることが好ましく、０．１質量％以上２質量％以下であることがさらに好ましい。カップリング剤（Ｅ）の含有量を上記下限値以上とすることにより、封止樹脂組成物中における無機充填材（Ｂ）分散性を良好な

ものとすることができる。また、カップリング剤（Ｅ）の含有量を上記上限値以下とすることにより、封止樹脂組成物の流動性を良好なものとし、成形性の向上を図ることができる。

[0154] さらに、本実施形態の封止樹脂組成物は、上記成分の他に、たとえば、カーボンブラック等の着色剤；天然ワックス、合成ワックス、高級脂肪酸もしくはその金属塩類、パラフィン、酸化ポリエチレン等の離型剤；ハイドロタルサイト等のイオン捕捉剤；シリコーンオイル、シリコーンゴム等の低応力剤；水酸化アルミニウム等の難燃剤；酸化防止剤等の各種添加剤を含むことができる。

[0155] ＜小径樹脂パイプ２００の製造方法＞

図１４のフローチャートを参照して小径樹脂パイプ２００の製造方法を説明する。

[0156] （金型準備工程Ｓ１０）

小径樹脂パイプ２００の成形品を製造するための金型として、合わせ面に凹部が形成された割型を用意する。凹部は円柱形状であって、小径樹脂パイプ２００の外周面形状に対応する。例えば、二つの割型から構成される場合には、それぞれの割型の凹部が、小径樹脂パイプ２００の外形形状の半周に対応する。

凹部には、軸方向（パイプ長さ方向）に延びるように、長尺直線状の金型ピン（コアピン）が配置される。金型ピンの外周面が、小径樹脂パイプ２００の内周面に対応する。樹脂充填の際に金型ピンがズレないようにコアピンの両端が支持される。金型ピンを配置し型閉じた後に次の樹脂充填工程Ｓ２０に移る。

[0157] （樹脂充填工程Ｓ２０）

凹部及び金型ピン（コアピン）とで構成される空隙（キャビティ）に、上述した熱硬化性樹脂（例えばエポキシ樹脂）が高圧で充填される。このときの充填圧力は１０ＭＰａ以上１２ＭＰａ以下であることが好ましい。このような充填圧力で熱硬化性樹脂を充填することで、樹脂の流れをムラ無くスム

ーズにして、ショートショット等の充填不具合を抑制することができる。

[0158]（金型ピン引抜工程Ｓ３０）

充填された熱硬化性樹脂が硬化したら、所定の治具を用いて金型ピンを小径樹脂パイプ２００から引き抜く。引き抜く力は、例えば、６０ｋｇ重～１３０ｋｇ重とすることができ、小径樹脂パイプ２００の肉厚が薄い場合には、引き抜く力を小さくし、離型時の座屈や表面傷等の発生を抑制する。

[0159]（型開工程Ｓ４０）

金型ピンから小径樹脂パイプ２００を離型したのち（Ｓ３０）、型開きして金型から小径樹脂パイプ２００を取り出す。

[0160] 以上の小径樹脂パイプ２００の製造方法によると、

充填時の樹脂の流れがスムーズであって金型の凹部表面や金型ピンのピン表面への貼り付きを抑制できていることから、離型時、特に金型ピンから小径樹脂パイプ２００を引き抜くときをスムーズに行える。言い換えると、小径樹脂パイプ２００に引き抜き用のテーパ（型抜きテーパ）が設けられていない場合であっても、破損することなく小径樹脂パイプ２００を引き抜くことができる。すなわち、型抜きテーパのない直線状の小径樹脂パイプ２００（樹脂中空体）を製造することができる。

[0161]＜パワーモジュール２０１の製造方法＞

パワー半導体チップ２０２と、シンタリング層２０３と、Ｃｕ回路２０４と、放熱シート２０５と、Ｃｕベースプレート２０６（第２冷却水路２２０を含む）と、リードフレーム２０７とを固定したセットと、上述の製造方法で製造された小径樹脂パイプ２００を所定の金型に配置し、樹脂封止層２０９で封止することで、パワーモジュール２０１を製造する。

[0162]＜実施形態の特徴のまとめ＞

本実施形態の特徴を纏めると次の通りである。

（１）小径樹脂パイプ２００は、熱硬化性樹脂からなる長尺直線状のパイプ構造を有する樹脂中空体であって、

パイプ構造（すなわち小径樹脂パイプ２００）の内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ

／Ｄ１が２０以上、１２５以下である。

熱硬化性樹脂を用いて長尺直線状のパイプ構造を有する樹脂中空体を成形する際に、内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ／Ｄ１を上記範囲とすることで、熱硬化性樹脂の材料および成形圧力を調整して、品質上の問題なく小径樹脂パイプ２００を成形することができる。

小径樹脂パイプ２００が熱硬化性樹脂からなるため、高温領域での使用が想定される製品に適用することができる。

（２）小径樹脂パイプ２００において、パイプ構造の内面の端部１０２がテーパ形状の無いストレートに形成されている。

上述のように内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ／Ｄ１を上記範囲とすることで、熱硬化性樹脂の材料および成形圧力を調整することで、金型成形時においてパイプ内面がテーパ形状の無いストレートにすることができる。

（３）小径樹脂パイプ２００において、熱硬化性樹脂はエポキシ樹脂からなる。

特に高熱伝導のエポキシ樹脂を用いることで、パワーモジュール２０１の第１冷却用水路２１０や、モータの冷却水路等に活用することができ、絶縁性能と熱効率（熱伝導性）に優れた構造を実現できる。

（４）小径樹脂パイプ２００において、パイプ構造の内径Ｄ１が１．８ｍｍ以上３．５ｍｍ以下である。

内径Ｄ１が上記範囲のような小径の樹脂中空体、すなわち小径樹脂パイプ２００を熱硬化性樹脂で成形できるため、小径のパイプ形状を樹脂中空体として有する各種製品を実現できる。

（５）小径樹脂パイプ２００において、パイプ構造の肉厚ｔが０．１０ｍｍ以上１ｍｍ以下である。

肉厚ｔが上記範囲のような小径かつ薄肉の樹脂中空体、すなわち小径樹脂パイプ２００を熱硬化性樹脂で成形できるため、小径かつ薄肉のパイプ形状を樹脂中空体として有する各種製品を実現できる。

（６）小径樹脂パイプ２００において、パイプ構造の外径Ｄ２が２．０ｍｍ

以上４．５ｍｍ以下である。

外径Ｄ２が上記範囲のような小径の樹脂中空体、すなわち小径樹脂パイプ２００を熱硬化性樹脂で成形できるため、内径Ｄ１及び外径Ｄ２ともに小径のパイプ形状を樹脂中空体として有する各種製品を実現できる。

（７）小径樹脂パイプ２００において、上述の樹脂中空体を一体に備えたモジュール（ここではパワーモジュール２０１）である。

小径樹脂パイプ２００のようなパイプ形状をベースとした各種形状に対応した様々なモジュールに適用することが容易になる。

（８）小径樹脂パイプ２００において、樹脂中空体が冷却用水路（第１冷却用水路２１０）として設けられている。パワーモジュール２０１やモータ等のモジュールにおいて、絶縁性能と熱効率（熱伝導性）に優れた冷却構造（水路構造）を実現できる。

（９）長尺直線状のパイプ構造を有する樹脂中空体（小径樹脂パイプ２００）の製造方法であって、

パイプ構造の内周面に対応する外周面を有する長尺直線状の金型ピンを有する成形用金型に熱硬化性樹脂を充填する樹脂充填工程（Ｓ２０）と、

金型ピンを引き抜き抜く金型ピン引抜工程（Ｓ３０）と、

を有し、

パイプ構造の内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ／Ｄ１が２０以上、１２５以下である。

樹脂中空体を金型ピンを有する金型（成形金型）を用いて製造できるため、パイプ内径部分に相当する構造を犠牲材を入れて成形後除去する製造方法と比べて、生産性を大幅に向上させることができる。

（１０）小径樹脂パイプ２００の製造法において、金型ピンは、引き抜き用のテーパ形状を有さない。

上述のように内径Ｄ１と長さＬの比Ｌ／Ｄ１を上記範囲とすることで、熱硬化性樹脂の材料および成形圧力を調整することで、金型成形時においてパイプ内面がテーパ形状の無いストレートにすることができる。

引抜力を例えば６０～１３０ｋｇ重とすること、テーパ形状の無い構造であっても、樹脂割れ等の成形不良を回避して離型を実現できる。

（１１）小径樹脂パイプ２００の製造法において、熱硬化性樹脂はエポキシ樹脂からなる。

特に高熱伝導のエポキシ樹脂を用いることで、パワーモジュール２０１の第１冷却用水路２１０や、モータの冷却水路等に活用することができ、絶縁性能と熱効率（熱伝導性）に優れた構造を実現できる。

（１２）小径樹脂パイプ２００の製造法において、パイプ構造の前記内径Ｄ１が１．８ｍｍ以上３．５ｍｍ以下である。

内径Ｄ１が上記範囲のような小径の樹脂中空体、すなわち小径樹脂パイプ２００を熱硬化性樹脂で成形できるため、小径のパイプ形状を樹脂中空体として有する各種製品を実現できる。

（１３）小径樹脂パイプ２００の製造法において、パイプ構造の肉厚ｔが０．１０ｍｍ以上１ｍｍ以下である。

肉厚ｔが上記範囲のような小径かつ薄肉の樹脂中空体、すなわち小径樹脂パイプ２００を熱硬化性樹脂で成形できるため、小径かつ薄肉のパイプ形状を樹脂中空体として有する各種製品を実現できる。

（１４）小径樹脂パイプ２００の製造法において、パイプ構造の外径Ｄ２が２．０ｍｍ以上４．５ｍｍ以下である。

外径Ｄ２が上記範囲のような小径の樹脂中空体、すなわち小径樹脂パイプ２００を熱硬化性樹脂で成形できるため、内径Ｄ１及び外径Ｄ２ともに小径のパイプ形状を樹脂中空体として有する各種製品を実現できる。

（１５）小径樹脂パイプ２００の製造法において、成形用金型に前記熱硬化性樹脂を充填する際の充填圧力が１０ＭＰａ以上１２ＭＰａ以下である。

充填圧力を上記範囲に制御して硬化性樹脂を充填することで、充填時の樹脂の流れをムラ無くスムーズにして、ショートショット等の充填不具合を抑制することができる。

（１６）上記の樹脂中空体（小径樹脂パイプ２００）の製造方法を用いて、

樹脂中空体を有するモジュール（パワーモジュール２０１）の製造方法である。

小径樹脂パイプ２００のようなパイプ形状をベースとした各種形状に対応した様々なモジュールに適用することが容易になる

（１７）パワーモジュール２０１の製造方法において、樹脂中空体を冷却用水路（第１冷却用水路２１０）として製造する方法である。

[0163] 以上、図面を参照して本発明の実施形態について述べたが、これらは本発明の例示であり、上記以外の様々な構成を採用することもできる。

実施例

[0164] 本発明の第４の実施態様を、実施例に基づき詳細に説明する。なお、本発明は実施例に限定されるものではない。

[0165] 表１に上述した第４の実施形態の小径樹脂パイプ２００に対応する樹脂パイプ（樹脂中空体）を熱硬化性樹脂で成形した成形品（実施例１～６）に用いた熱硬化性樹脂の配合例（ｗｔ％）を示す。実施例１～３が３Ｗ高熱伝導エポキシ材（シリカベース）、実施例４～６が５Ｗ高熱伝導エポキシ材（アルミナベース）である。表２に、実施例１～６について評価した結果を示す。

[0166] 実施例１～６の樹脂パイプ（樹脂中空体）の製造条件は次の通りである。

成形方式：トランスファー成形

金型温度：１７０℃

タブレット径：φ３０ｍｍ

プランジャー径：φ３５ｍｍ

タブレット予熱温度：９０℃

材料注入圧力：８ＭＰａ

材料注入時間：８秒

硬化時間：１８０秒

[0167] 実施例１、４では、樹脂充填工程の樹脂の充填性が良好であり、また、金型ピン引抜工程におけるピン破損が無かった。引抜力１３０ｋｇ以下での離

型が可能であることが確認できた。

[0168] 実施例２、５では、樹脂充填工程の樹脂の充填性が良好であり、また、金型ピン引抜工程におけるピン破損や成形不良が無かった。引抜力６０ｋｇ以下での離型が可能であることが確認できた。

[0169] 実施例３、６では、樹脂充填工程の樹脂の充填性が良好であり、また、金型ピン引抜工程におけるピン破損が無かった。引抜力６０ｋｇ以下での離型が可能であることが確認できた。ただし、薄肉の影響と考えられる離型時の座屈が発生することがあった。

[0170] [表1]

表1

		実施例1-3	実施例4-6
		3W高熱伝導エポキシ材	5W高熱伝導エポキシ材
無機充填剤	アルミナ	75	
	シリカ	15	90
樹脂	エポキシ樹脂	5	5
硬化剤		2	2
その他		3	3
合計		100	100

wt%

[表2]

表2

	成形品						評価	
	熱伝導	引抜長(全長(L))	外径(D2)	内径(D1)	肉厚(t)	L/D1	充填性	引抜
実施例1	3W	205mm	φ3.9mm	φ2.0mm	0.95mm	102.5	◎	◎
実施例2				φ2.9mm	0.50mm	70.7	◎	◎
実施例3				φ3.3mm	0.30mm	62.1	◎	○
実施例4	5W			φ2.0mm	0.95mm	102.5	◎	◎
実施例5				φ2.9mm	0.50mm	70.7	◎	◎
実施例6				φ3.3mm	0.30mm	62.1	◎	○

[0171] この出願は、２０２０年１２月９日に出願された日本出願特願２０２０－２０３９１２号および２０２１年４月９日に出願された日本出願特願２０２１－０６６３８７号を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

符号の説明

[0172] １００　モータ

１　ケース

２　ロータ

４　ステータ

５　永久磁石

６　ヨーク部

７　ティース部

８　スロット

９　コイル

１０　冷却水路

２０、２０Ａ、２０Ｂ、２０Ｃ、２０Ｄ　ライナー部材

２１　コイル収容部

５０　樹脂層

５１　内面樹脂層

５２　外面樹脂層

５５　樹脂層表面

５５ａ、５５ｂ　端部

６５　樹脂封止部

７１　ティース部先端

７２、７３　壁面

７５ａ　上面

７５ｂ　下面

１００　モータ

２００　樹脂パイプ

２０１　パワーモジュール

２０２　パワー半導体チップ

２０３　シンタリング層

２０４　Ｃｕ回路

２０５　放熱シート

２０６　Ｃｕベースプレート

２１０　第１冷却用水路

２２０　第２冷却用水路

２１１　内面

２１２　端部

請求の範囲

[請求項1] 複数のティース部を有するステータコアと、前記ティース部の間に設けられコイルが収容されるスロットと、前記スロットに収容されたコイルと、を有するステータであって、

前記スロットの内面に設けられ、絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層を有し、

前記樹脂層のスロット内部側の壁面は、回転軸方向と平行に設けられており、

前記樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、

前記熱硬化性樹脂のガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上である、ステータ。

[請求項2] 前記樹脂組成物は離型剤としてのワックスを含有している、請求項１に記載のステータ。

[請求項3] 前記樹脂組成物は充填剤としてフィラーを含有する、請求項１または２に記載のステータ。

[請求項4] 前記樹脂組成物のフィラー含有量が樹脂組成物全量に対し６０体積％以上である、請求項３に記載のステータ。

[請求項5] 前記樹脂層の厚みが５０μｍ以上５００μｍ以下である、請求項１から４までのいずれか１項に記載のステータ。

[請求項6] 前記樹脂層の熱伝導率が０．５Ｗ/（ｍ・Ｋ）以上である、請求項１から５までのいずれか１項に記載のステータ。

[請求項7] 前記熱硬化性樹脂がエポキシ樹脂である、請求項１から６までのいずれか１項に記載のステータ。

[請求項8] 前記コイルは、コイル表面を樹脂により被覆した樹脂被覆層を有する、請求項１から７までのいずれか１項に記載のステータ。

[請求項9] 前記コイルを収容する樹脂製のライナー部材を有し、

前記コイルは、前記ライナー部材に収容された状態で前記スロットに収容されている、

請求項１から８までのいずれか１項に記載のステータ。

[請求項10] 請求項１から９までのいずれか１項に記載のステータを有する回転電機。

[請求項11] 複数のティース部を有するステータコアと、前記ティース部の間に設けられコイルが収容されるスロットと、前記スロットに収容されたコイルとを有する回転電機に用いられるステータの製造方法であって、

前記スロットの内面に絶縁性の樹脂組成物で構成される樹脂層を形成する樹脂層形成工程と、

前記樹脂層が設けられたスロット内に、前記コイルを配置するコイル配置工程と、

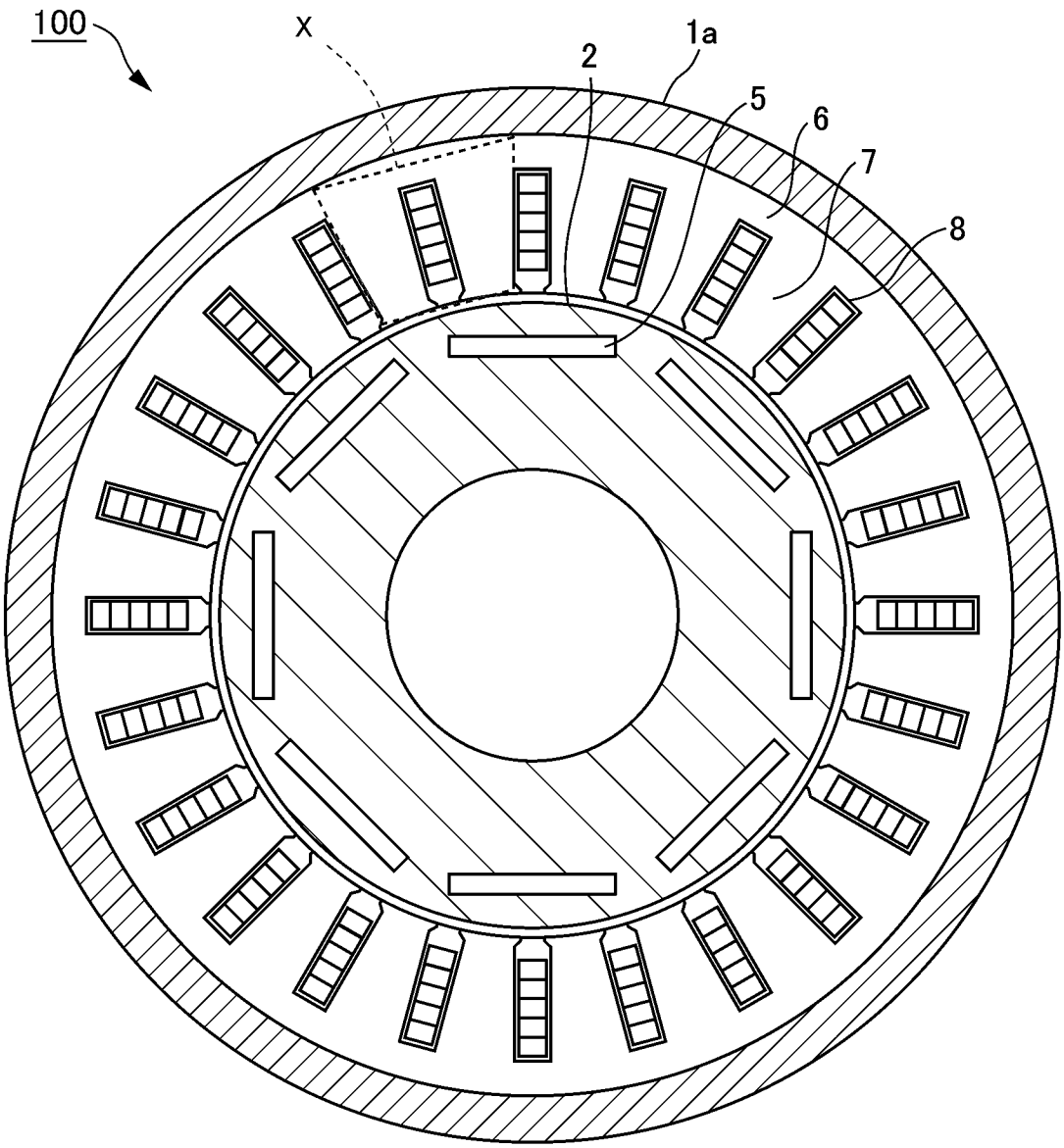
を有し、

前記樹脂層のスロット内部側の壁面は、前記回転電機の回転軸方向と平行に設けられており、

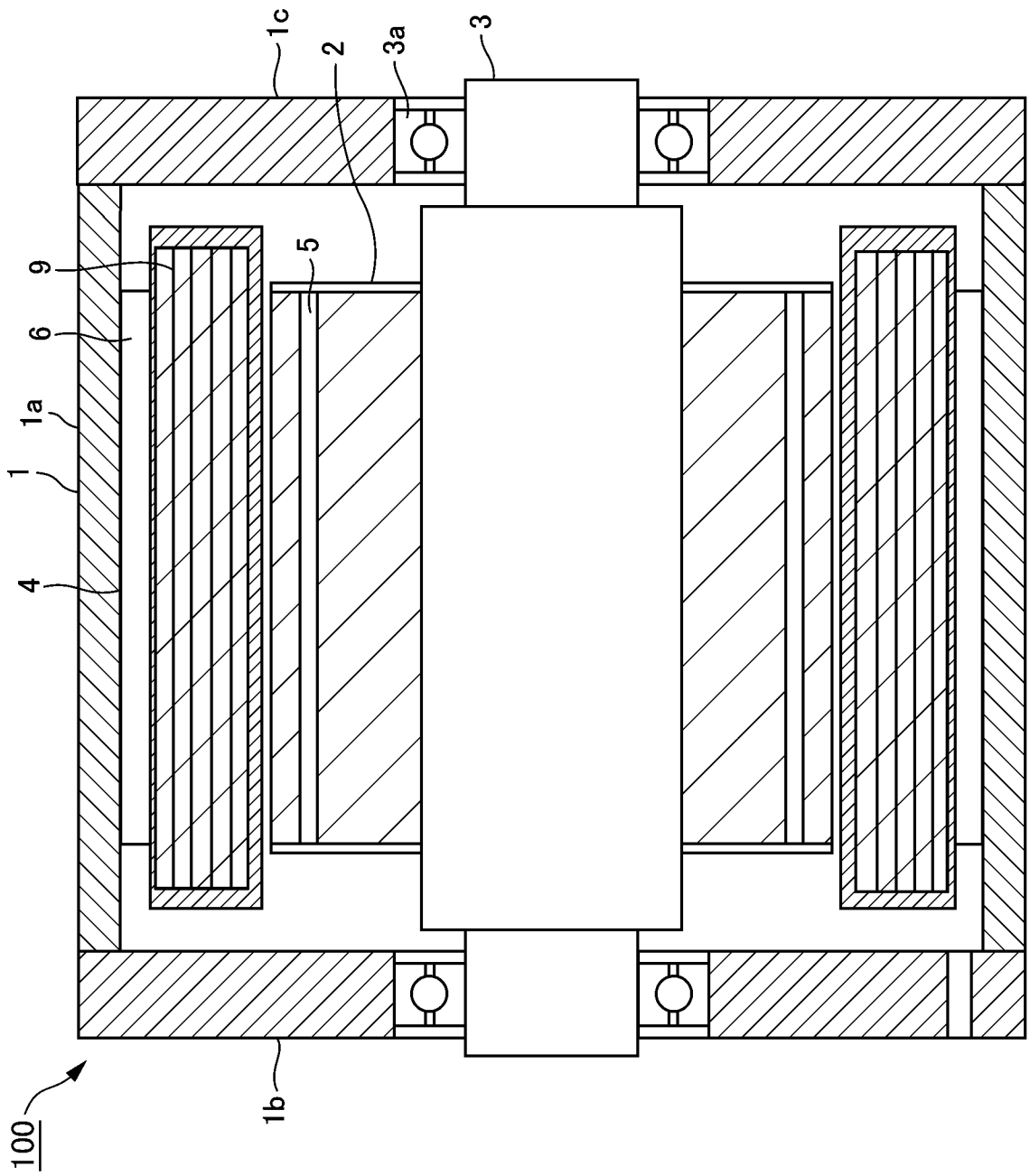
前記樹脂組成物は熱硬化性樹脂を含み、

前記熱硬化性樹脂のガラス転移温度Ｔｇが１２０℃以上である、ステータの製造方法。

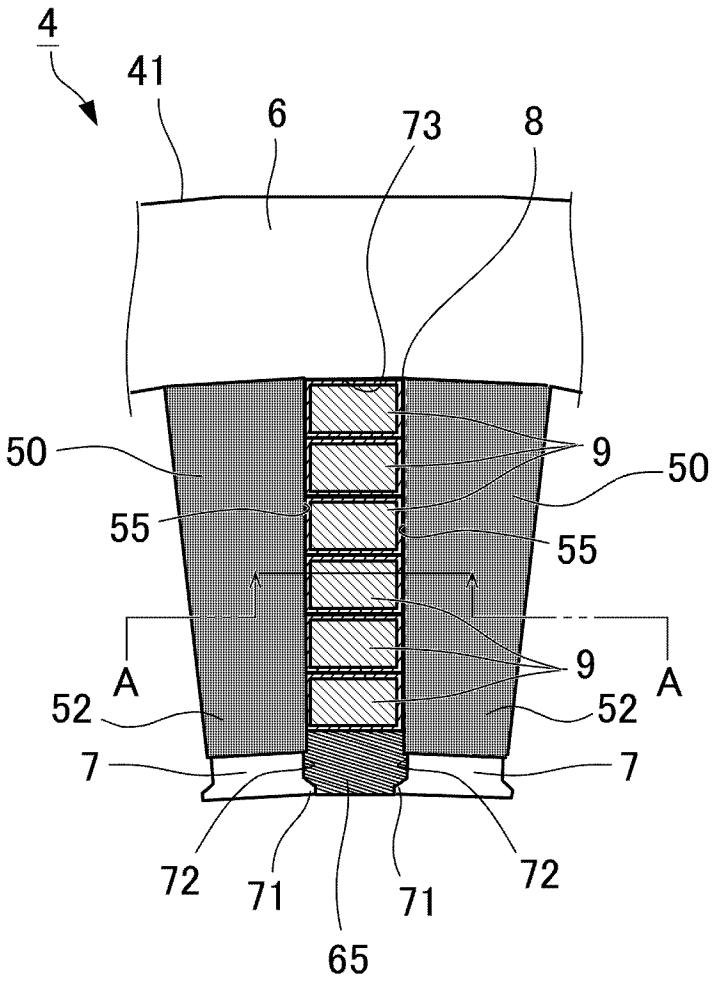
[図1]



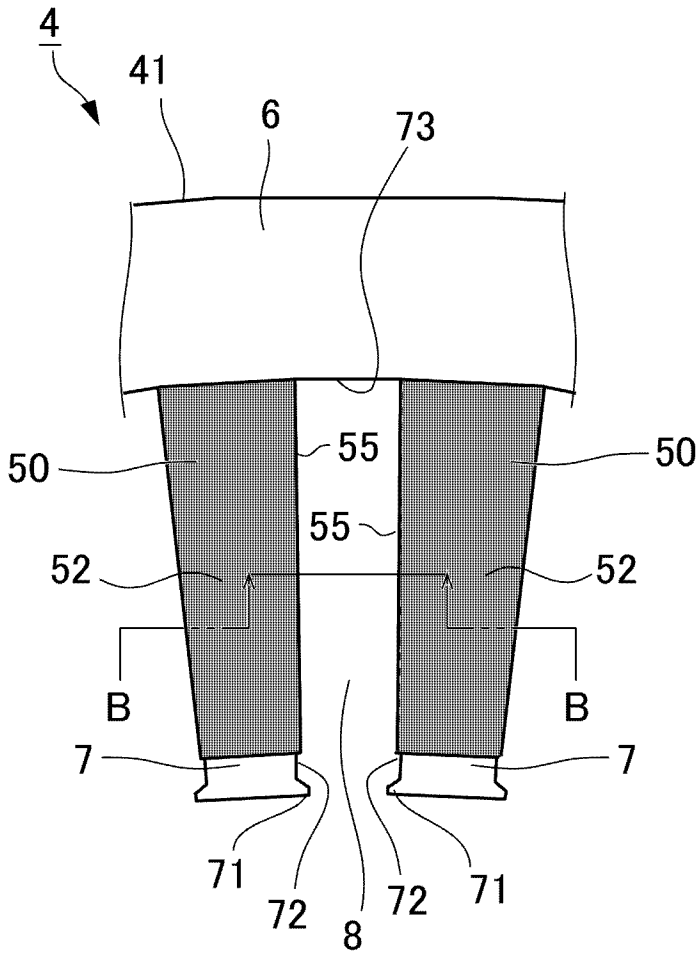
[図2]



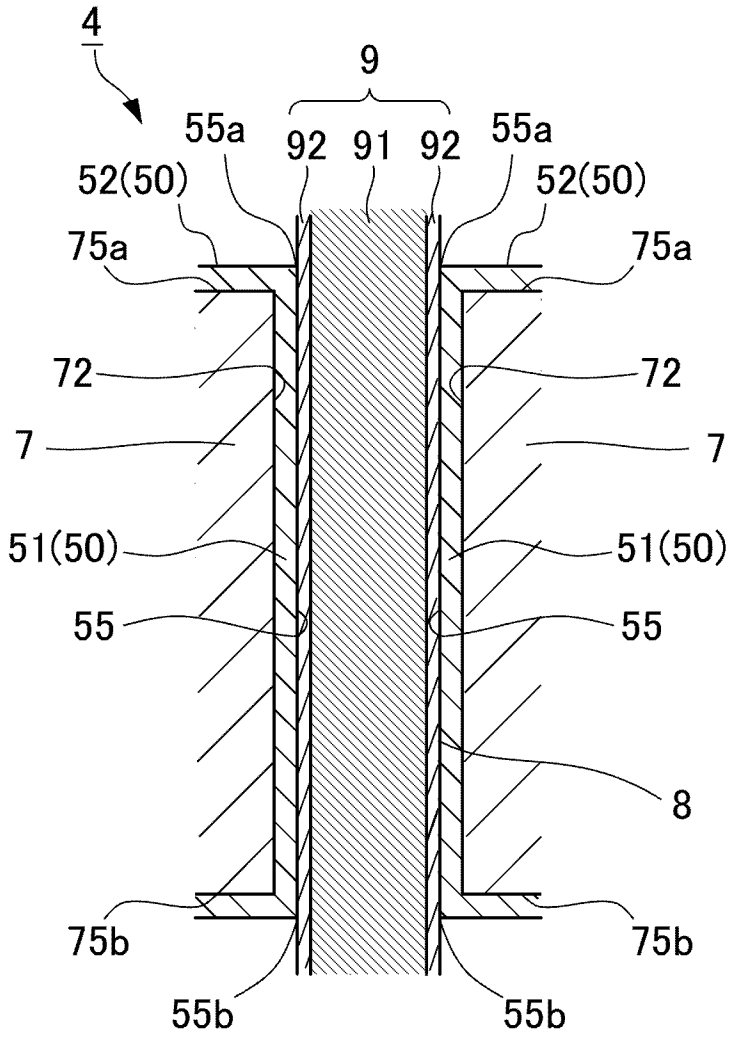
[図3]



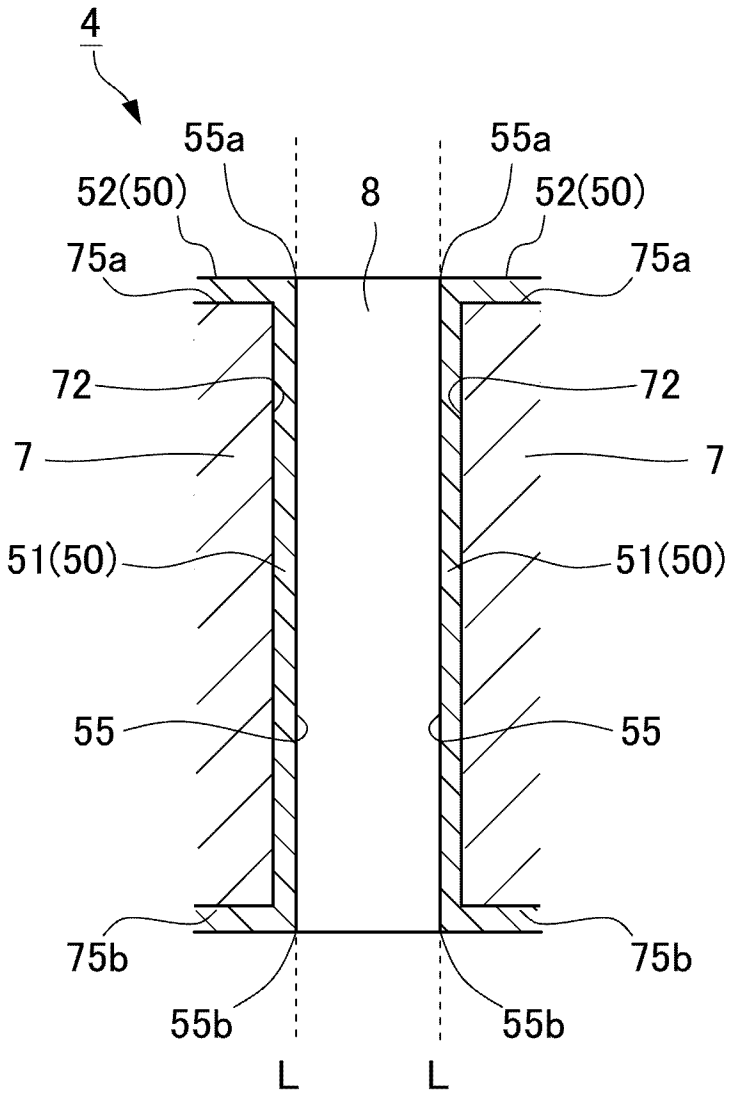
[図4]



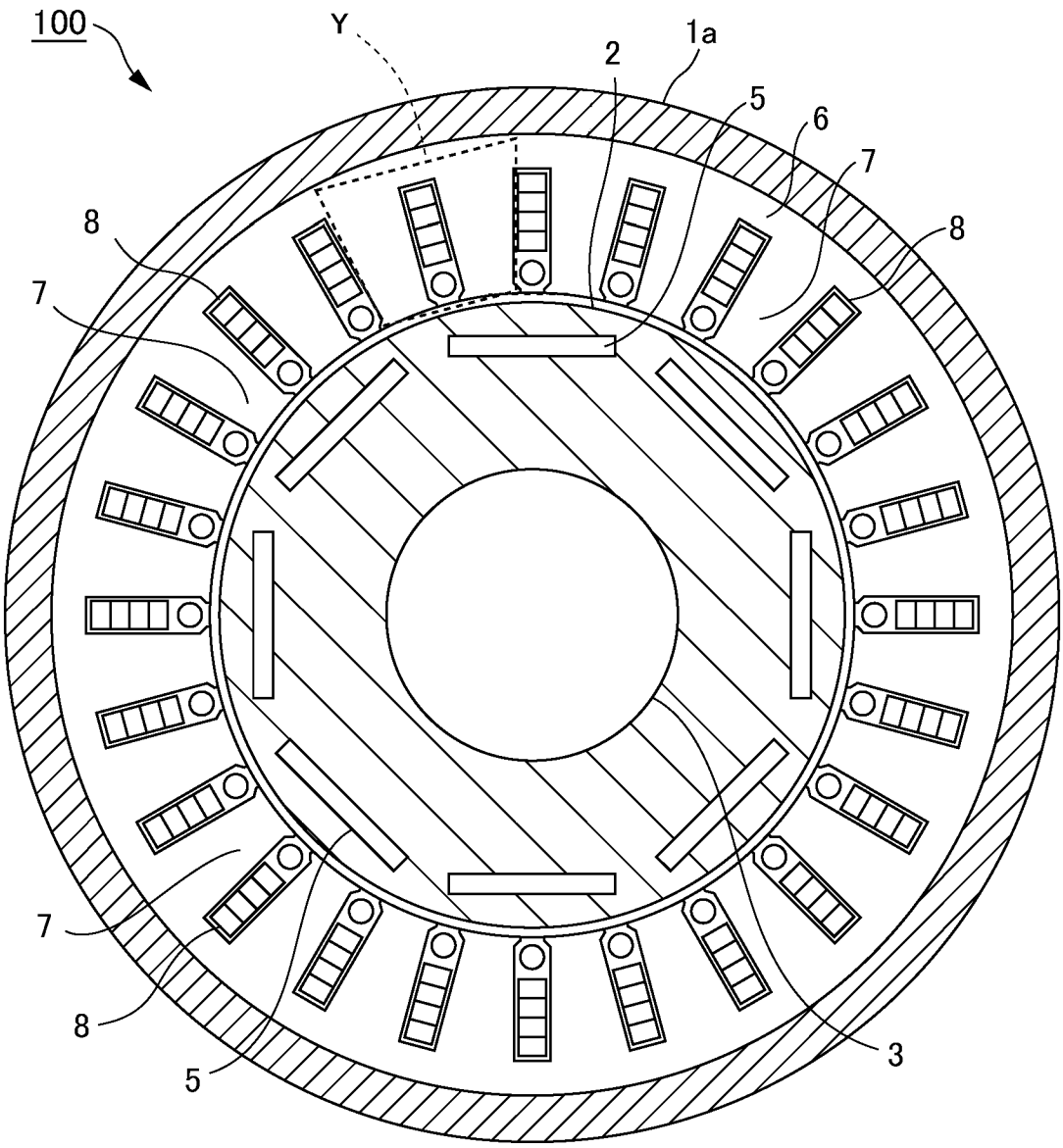
[図5]


4
9
55a
92
91
92
55a
52(50)
52(50)
75a
75a
72
72
7
7
51(50)
51(50)
55
55
8
75b
75b
55b
55b

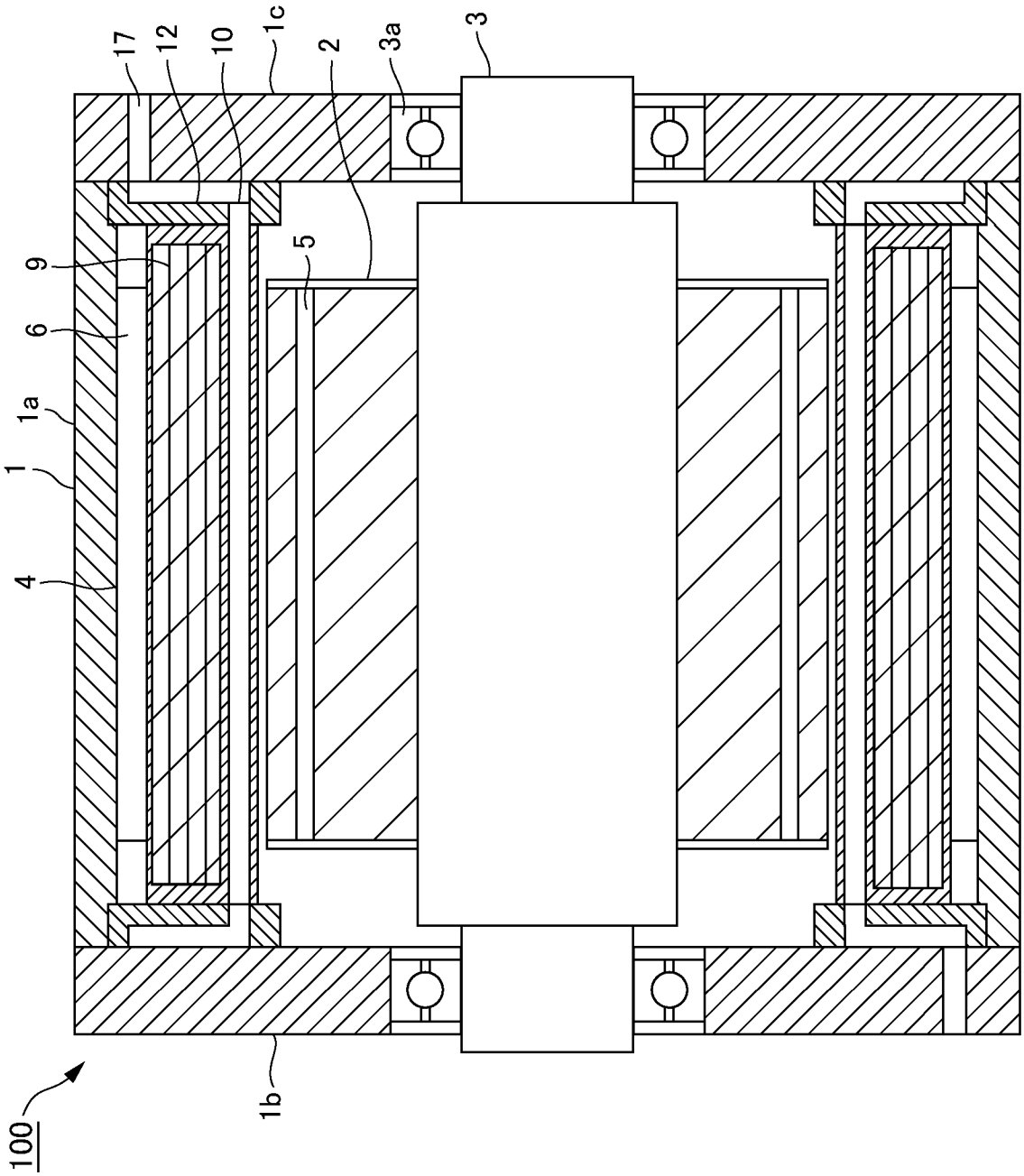
[図6]


4
55a
55a
52(50)
8
52(50)
75a
75a
72
72
7
7
51(50)
51(50)
55
55
75b
75b
55b
55b
L
L

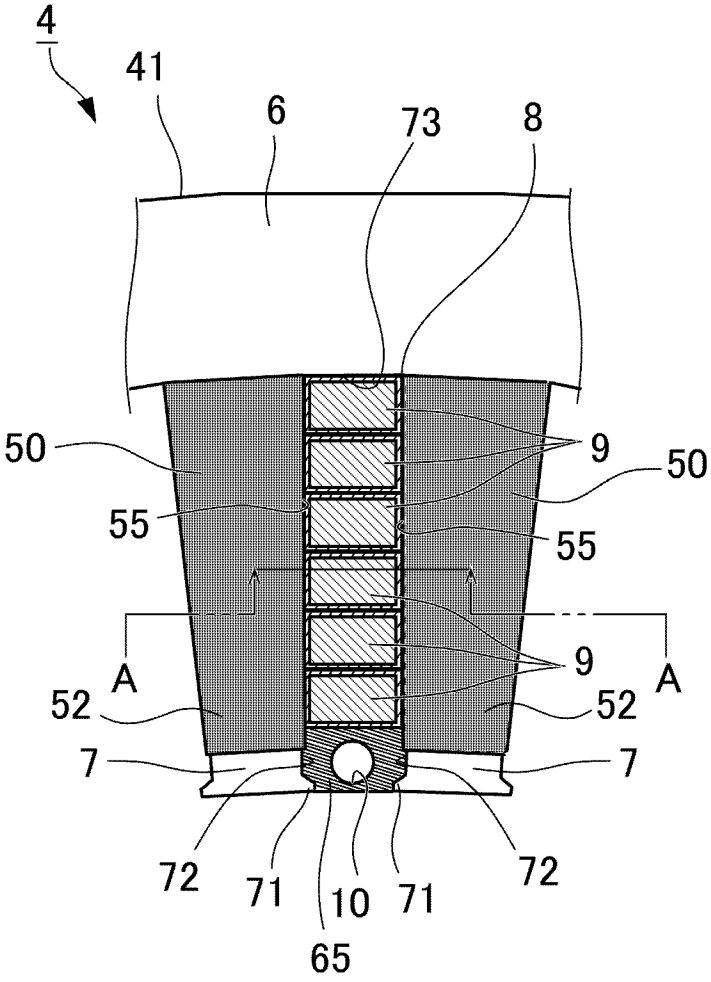
[図7]



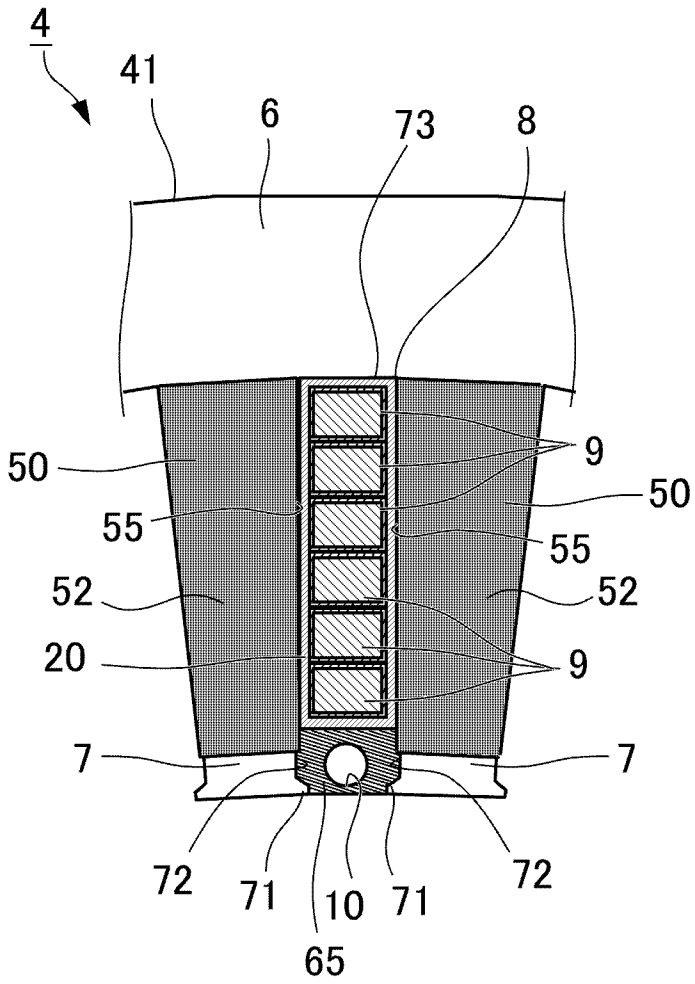
[図8]



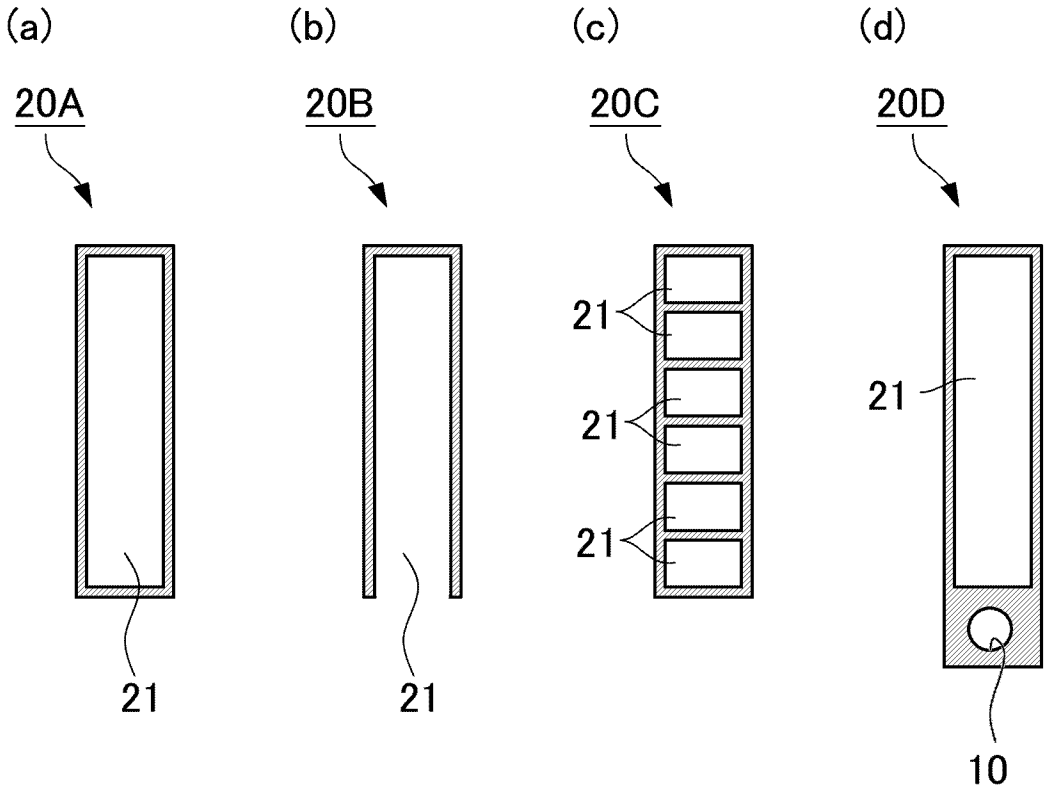
[図9]



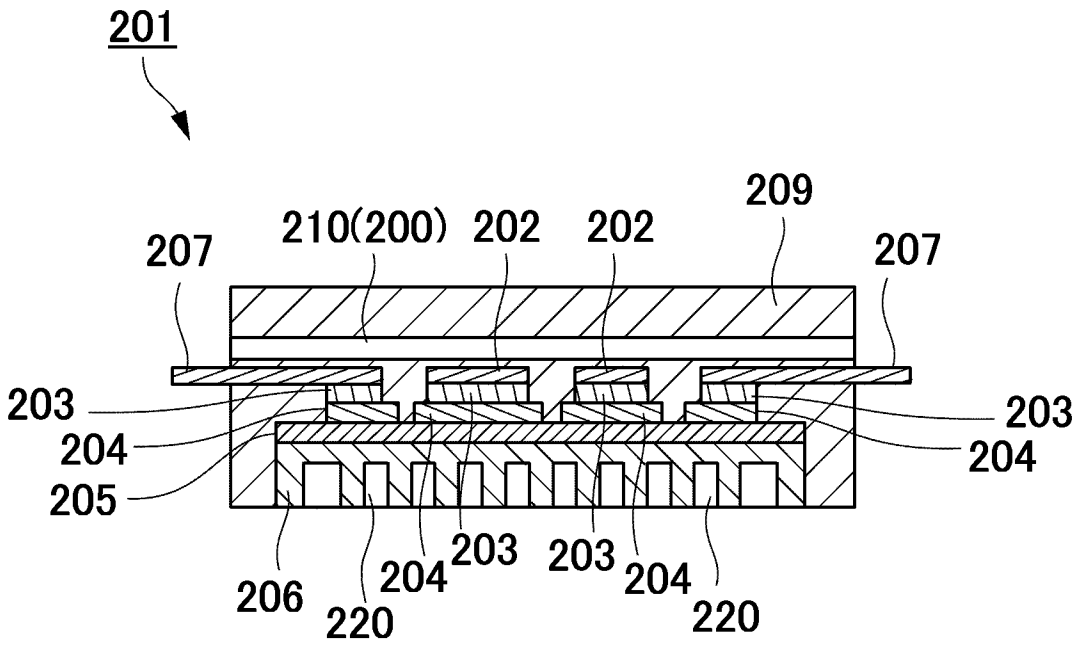
[図10]



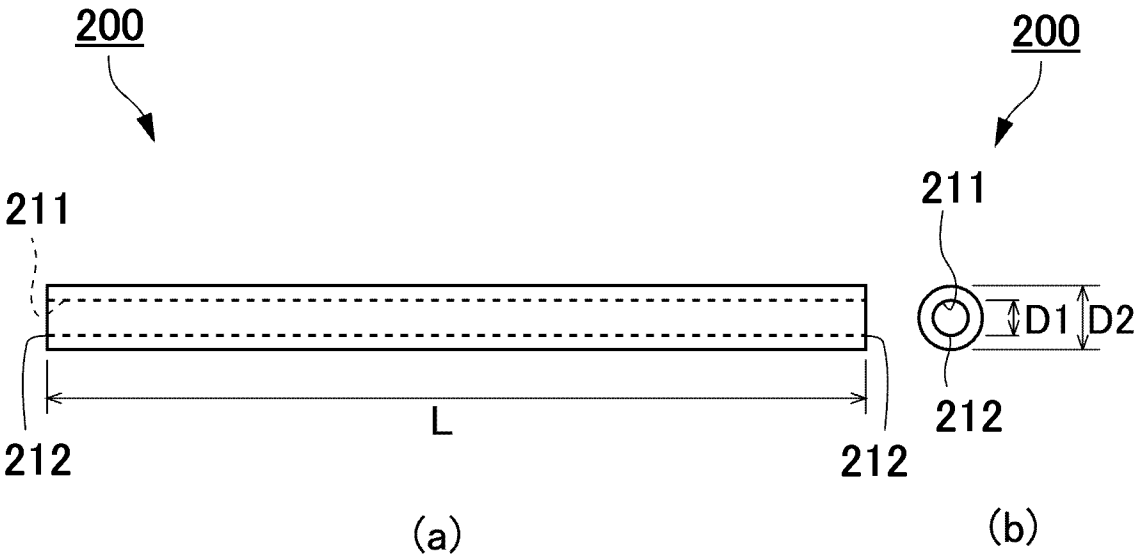
[図11]


(a)
(b)
(c)
(d)
20A
20B
20C
20D
21
21
21
21
21
21
10

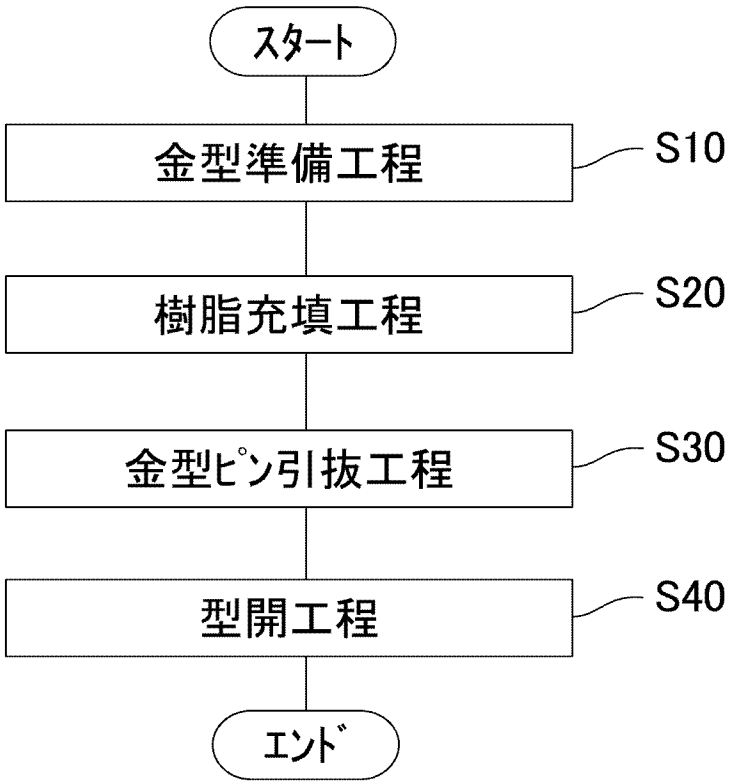
[図12]


201
209
207
210(200)
202
202
207
203
204
205
203
204
206
220
204
203
203
204
220

[図13]


200
200
211
211
D1
D2
L
212
212
212
(a)
(b)

[図14]


スタート
金型準備工程
S10
樹脂充填工程
S20
金型ピン引抜工程
S30
型開工程
S40
エンド

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/045072

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 3/34(2006.01)i; ***H02K 15/10***(2006.01)i; ***H02K 1/04***(2006.01)i
FI: H02K3/34 C; H02K1/04 A; H02K15/10

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)

H02K3/34; H02K15/10; H02K1/04

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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	JP 2017-163797 A (HONDA MOTOR CO LTD) 14 September 2017 (2017-09-14) abstract, claims 1-8, paragraphs [0001]-[0065], fig. 1-6	1-11
Y	JP 2018-44129 A (SOMAR CORP) 22 March 2018 (2018-03-22) abstract, paragraphs [0001]-[0034]	1-11
Y	JP 2020-94092 A (SUMITOMO BAKELITE CO) 18 June 2020 (2020-06-18) abstract, paragraphs [0001]-[0064]	1-11
Y	JP 2020-502974 A (AMERICAN AXLE & MANUFACTURING, INC) 23 January 2020 (2020-01-23) abstract	3-10
Y	JP 2010-154731 A (TOSHIBA CORP) 08 July 2010 (2010-07-08) abstract	3-10
Y	WO 2020/044892 A1 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS LTD) 05 March 2020 (2020-03-05) abstract	3-10

☑ 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
07 February 2022	**08 March 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2009/0179506 A1 (SAGA, Yuji) 16 July 2009 (2009-07-16) paragraph [0033]	3-10
Y	JP 2018-26930 A (MITSUI HIGH TEC) 15 February 2018 (2018-02-15) paragraph [0037]	3-10
Y	JP 2010-259316 A (DENSO CORP) 11 November 2010 (2010-11-11) abstract	3-10
Y	JP 2008-503993 A (VISTEON GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 07 February 2008 (2008-02-07) abstract	3-10
A	JP 2012-44831 A (TOYOTA MOTOR CORP) 01 March 2012 (2012-03-01) abstract, fig. 1-12	1-11
A	JP 2015-80368 A (DENSO CORP) 23 April 2015 (2015-04-23) abstract, fig. 5-6, 14	1-11
A	JP 2007-1266 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 11 January 2007 (2007-01-11) abstract	1-11
A	JP 10-225036 A (FUJI ELECTRIC CO LTD) 21 August 1998 (1998-08-21) abstract	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/045072

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2017-163797 A	14 September 2017	(Family: none)	
JP 2018-44129 A	22 March 2018	(Family: none)	
JP 2020-94092 A	18 June 2020	(Family: none)	
JP 2020-502974 A	23 January 2020	US 2018/0166951 A1 abstract US 2021/0194328 A1 GB 2572079 A WO 2018/112066 A2 CN 110073575 A KR 10-2019-0087463 A	
JP 2010-154731 A	08 July 2010	(Family: none)	
WO 2020/044892 A1	05 March 2020	JP 2020-33433 A CN 112566968 A	
US 2009/0179506 A1	16 July 2009	WO 2009/055626 A1	
JP 2018-26930 A	15 February 2018	(Family: none)	
JP 2010-259316 A	11 November 2010	US 2010/0244615 A1 abstract DE 102010016241 A1	
JP 2008-503993 A	07 February 2008	US 2005/0280327 A1 abstract US 2005/0280328 A1 WO 2006/007425 A1 CN 1973419 A KR 10-1120352 B1	
JP 2012-44831 A	01 March 2012	(Family: none)	
JP 2015-80368 A	23 April 2015	US 2015/0108857 A1 abstract, fig. 5-6, 14	
JP 2007-1266 A	11 January 2007	(Family: none)	
JP 10-225036 A	21 August 1998	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/045072

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H02K 3/34(2006.01)i; H02K 15/10(2006.01)i; H02K 1/04(2006.01)i
FI: H02K3/34 C; H02K1/04 A; H02K15/10

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））

H02K3/34; H02K15/10; H02K1/04

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	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２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 2017-163797 A (本田技研工業株式会社) 14.09.2017 (2017-09-14) 要約, 請求項1-8, 段落0001-0065, 図1-6	1-11
Y	JP 2018-44129 A (ソマール株式会社) 22.03.2018 (2018-03-22) 要約, 段落0001-0034	1-11
Y	JP 2020-94092 A (住友ベークライト株式会社) 18.06.2020 (2020-06-18) 要約, 段落0001-0064	1-11
Y	JP 2020-502974 A (アメリカン アクスル アンド マニュファクチャリング, インコーポレイテッド) 23.01.2020 (2020-01-23) 要約	3-10
Y	JP 2010-154731 A (株式会社東芝) 08.07.2010 (2010-07-08) 要約	3-10
Y	WO 2020/044892 A1 (日立オートモティブシステムズ株式会社) 05.03.2020 (2020-03-05) 要約	3-10

☑ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
07.02.2022	08.03.2022

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
小林　紀和 3V 4240

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

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	US 2009/0179506 A1 (SAGA, Yuji) 16.07.2009 (2009-07-16) 段落0033	3-10
Y	JP 2018-26930 A (株式会社三井ハイテック) 15.02.2018 (2018-02-15) 段落0037	3-10
Y	JP 2010-259316 A (株式会社デンソー) 11.11.2010 (2010-11-11) 要約	3-10
Y	JP 2008-503993 A (ビステオン グローバル テクノロジーズ インコーポレイテッド) 07.02.2008 (2008-02-07) 要約	3-10
A	JP 2012-44831 A (トヨタ自動車株式会社) 01.03.2012 (2012-03-01) 要約, 図1-12	1-11
A	JP 2015-80368 A (株式会社デンソー) 23.04.2015 (2015-04-23) 要約, 図5-6,14	1-11
A	JP 2007-1266 A (松下電工株式会社) 11.01.2007 (2007-01-11) 要約	1-11
A	JP 10-225036 A (富士電機株式会社) 21.08.1998 (1998-08-21) 要約	1-11

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2021/045072

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2017-163797 A	14.09.2017	（ファミリーなし）	
JP 2018-44129 A	22.03.2018	（ファミリーなし）	
JP 2020-94092 A	18.06.2020	（ファミリーなし）	
JP 2020-502974 A	23.01.2020	US 2018/0166951 A1 要約 US 2021/0194328 A1 GB 2572079 A WO 2018/112066 A2 CN 110073575 A KR 10-2019-0087463 A	
JP 2010-154731 A	08.07.2010	（ファミリーなし）	
WO 2020/044892 A1	05.03.2020	JP 2020-33433 A CN 112566968 A	
US 2009/0179506 A1	16.07.2009	WO 2009/055626 A1	
JP 2018-26930 A	15.02.2018	（ファミリーなし）	
JP 2010-259316 A	11.11.2010	US 2010/0244615 A1 要約 DE 102010016241 A1	
JP 2008-503993 A	07.02.2008	US 2005/0280327 A1 要約 US 2005/0280328 A1 WO 2006/007425 A1 CN 1973419 A KR 10-1120352 B1	
JP 2012-44831 A	01.03.2012	（ファミリーなし）	
JP 2015-80368 A	23.04.2015	US 2015/0108857 A1 要約，図5-6,14	
JP 2007-1266 A	11.01.2007	（ファミリーなし）	
JP 10-225036 A	21.08.1998	（ファミリーなし）	