(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
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/133614 A1

(51) 国際特許分類:
C01B 31/02 (2006.01) *H01J 9/02* (2006.01)
H01B 13/00 (2006.01) *H01J 61/073* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/058301

(22) 国際出願日: 2012 年 3 月 29 日(29.03.2012)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2011-078922 2011 年 3 月 31 日(31.03.2011) JP
特願 2011-279567 2011 年 12 月 21 日(21.12.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社オーク製作所 **(ORC MANUFACTURING CO., LTD.)** [JP/JP]; 〒1940215 東京都町田市小山ヶ丘３丁目９番地６ Tokyo (JP). 国立大学法人信州大学 **(SHINSHU UNIVERSITY)** [JP/JP]; 〒3908621 長野県松本市旭三丁目１番１号 Nagano (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 清水 保雄 **(SHIMIZU Yasuo)** [JP/JP]; 〒3808553 長野県長野市若里４丁目１７番１号 国立大学法人信州大学内 Nagano (JP). 関野 充 **(SEKINO Mitsuru)** [JP/JP]; 〒3808553 長野県長野市若里４丁目１７番１号 国立大学法人信州大学内 Nagano (JP). 早川 壮則 **(HAYAKAWA Takenori)** [JP/JP]; 〒3910011 長野県茅野市玉川４８９６ 株式会社オーク製作所諏訪工場内 Nagano (JP). 芹澤 和泉 **(SERIZAWA Izumi)** [JP/JP]; 〒3910011 長野県茅野市玉川４８９６ 株式会社オーク製作所諏訪工場内 Nagano (JP).

(74) 代理人: 松浦 孝 **(MATSUURA Takashi)**; 〒1000005 東京都千代田区丸の内３丁目２番３号 富士ビル４１８号室 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, 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, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

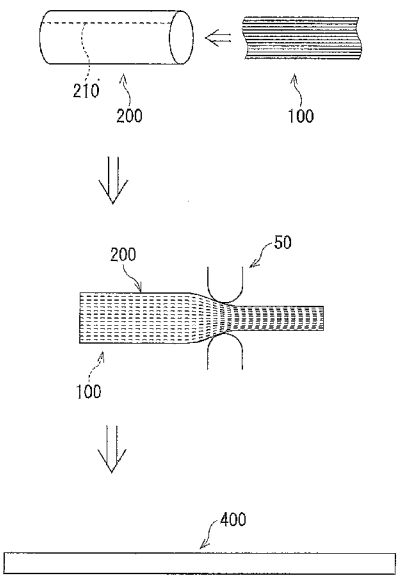
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) **Title**: CARBON FIBER BULK

(54) 発明の名称 : 炭素繊維バルク

[図1]



(57) **Abstract**: In this method for producing carbon fiber bulk, carbon fibers are aligned in the axial direction and packed into a cylindrical member and the cylindrical member packed with the carbon fibers is stretched and reduced in diameter. This carbon fiber bulk is a long fiber wherein anisotropic carbon fibers are formed integrally into a bundle shape and carbon is attached to the carbon fibers within the carbon fiber bundle, the packing rate of the carbon fibers within the carbon fiber bundle being 75% or higher.

(57) 要約: 本発明の炭素繊維バルクの製造方法は、筒状部材に、炭素繊維を軸方向に揃えて充填し、炭素繊維を充填した前記筒状部材を、引き伸ばして縮径させる。また、本発明の炭素繊維バルクは、長繊維であって異方性をもつ炭素繊維が束状になって一体的に形成されており、炭素繊維束内部において炭素が炭素繊維に付着し、炭素繊維束内における炭素繊維の充填率が７５%以上である。

WO 2012/133614 A1

ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 炭素繊維バルク

技術分野

[0001] 本発明は、長繊維の炭素材料を束状に形成した炭素繊維バルク、炭素繊維充填バルクの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 炭素繊維は、軽くて高強度であること及び導電性、熱伝導性、吸着性などに関して優れた機能性をもっており、様々な技術分野で使用されている。例えば、引張強度のある連続炭素繊維を導体中心線に設け、それを被覆して送電線を構成することが可能である（特許文献１参照）。

[0003] また、軽くて高強度である炭素繊維を長手方向に引き揃えた、薄肉太径の炭素繊維強化樹脂（ＣＦＲＰ）を中空状金属パイプに挿入し、動力伝達シャフトを構成することができる（特許文献２参照）。

[0004] 一方、炭素繊維の吸着性の高さに着目し、ガス分離用吸着槽の吸着材料として炭素繊維を使用することも可能である。例えば、窒素、酸素分離用の連続炭素繊維を吸着槽に充填し、高純度で窒素ガスを分離することができる（特許文献３参照）。

[0005] そこでは、炭素繊維を充填させる方法として、プレス圧入する方法が記載されている。まず、所定の長さの炭素繊維を軸線方向に並べて反割型治具に充填し、治具内に繊維束を形成する。そして、治具から充填槽に向けて繊維束を軸線方向に沿ってプレス圧入することで、炭素繊維を吸着槽に充填させる。

[0006] 熱伝導性を高めた炭素繊維複合材料（Ｃ／Ｃコンポジット）としては、炭素繊維を束状にし、その隙間に炭素を充填させた炭素繊維－炭化ホウ素複合材料が知られている（特許文献４参照）。

[0007] そこでは、高伝導性の炭素繊維束を製造するため、フェノール樹脂を溶解した溶液に束状の炭素繊維を浸し、乾燥させた後に高温で焼成する。焼結体

では、フェノール樹脂が炭化して炭素繊維束に付着し、炭化ホウ素の接触に起因する熱伝導率の低下を防ぐ。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特許第３４７５４３３号公報

特許文献2：特開２００２－２３５７２６号公報

特許文献3：特開平６－１９０２７２号公報

特許文献4：特開平８－８１２６１号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、従来にない高密度で炭素繊維を充填させた炭素繊維バルクを提供することに向けられている。なお、筒状部材に炭素繊維を充填させた炭素繊維充填バルクも、炭素繊維バルクに含まれるものとする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の炭素繊維バルクの製造方法は、筒状部材に、炭素繊維を軸方向に揃えて充填し、前記炭素繊維を充填した前記筒状部材を、引き伸ばして縮径させることを特徴とする。例えば、スエージング加工によって、前記筒状部材を引き伸ばして縮径させることが可能である。また、前記炭素繊維束を、充填率７５％以上で前記筒状部材に充填させることができる。

[0011] 例えば、製造方法において、充填された前記炭素繊維の少なくとも一部において断面形状が変形するように、前記筒状部材を引き伸ばして縮径させることができる。

[0012] また、製造方法において、縮径させた前記筒状部材の一方の端部側を、熱硬化性樹脂の含まれる溶液に浸し、繊維長さ方向に沿って熱硬化性樹脂を含浸させた炭素繊維束を、熱処理によって硬化させることが可能である。熱処理による硬化後、炭素繊維束に炭化処理を施すことが可能である。

[0013] 例えば、製造方法において、前記筒状部材の一方の端部を溶液内に浸すこ

とが可能である。また、前記筒状部材に充填された炭素繊維束の残空隙部分の７０～８０％の部分において熱硬化性樹脂が含浸されるように、前記筒状部材を浸すことが可能である。あるいは、熱硬化処理の後、炭素繊維束を前記筒状部材から取り出すことも可能である。

[0014] このような炭素繊維バルクの製造方法によって製造された炭素繊維バルクを、少なくとも一方の電極の一部として構成する放電ランプを提供することも可能である。

[0015] 一方、本発明の他の局面における炭素繊維バルクは、長繊維であって異方性をもつ炭素繊維が束状になって一体的に形成されており、炭素繊維束内部において炭素が炭素繊維に付着し、前記炭素繊維束内における炭素繊維の充填率が７５％以上であることを特徴とする。例えば、炭素繊維束内に含まれる炭素が異方性のないものになる。

[0016] 一例として、炭素繊維束の一方の端面付近における炭素の含有割合が、他方の端面付近における炭素の含有割合よりも低い。また、炭素繊維束以外の領域における炭素の占有率が、４０～９０％の範囲になることもある。さらには、炭素繊維束の長さ方向の熱伝導度は、長さ方向に垂直な方向の熱伝導度の５倍以上になることもある。

[0017] このような炭素繊維バルクを、少なくとも一方の電極の一部として構成する放電ランプを提供することが可能である。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、熱に関して優れた機能性をもつ炭素繊維を素材とした成形体を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第１の実施形態である炭素繊維充填バルクの製造方法を示した工程図である。

[図2]炭素繊維充填バルクを組み込んだ放電ランプ用電極の模式的断面図である。

[図3A]第２の実施形態である炭素繊維バルクの製造方法の前半を示した工程

図である。

[図3B]第２の実施形態である炭素繊維バルクの製造方法の後半を示した工程図である。

[図4]炭素繊維バルクを組み込んだ放電ランプ用電極の模式的断面図である。

[図5]炭素繊維を充填させた金属パイプを斜め方向から撮影した写真を示した図である。

[図6]光学顕微鏡を使って金属パイプを切断したときの炭素繊維の圧密充填状態を撮影した写真を示した図である。

[図7]サンプル１の炭素繊維充填バルクを切断し、ＳＥＭ観察によって切断面における炭素繊維の高密度充填状態を撮影した写真を示した図である。

[図8]サンプル２の炭素繊維充填バルクを切断し、ＳＥＭ観察によって切断面における炭素繊維の高密度充填状態を撮影した写真を示した図である。

[図9]フェノール樹脂を含浸させた炭素繊維束およびフェノール樹脂を含浸させていない炭素繊維束の断面を撮影した写真を示す図である。

[図10]炭化処理した後の炭素繊維束内部の顕微鏡写真を示す図である。

[図11A]熱伝導率の異方性を示したグラフである。

[図11B]熱膨張率の異方性を示したグラフである。

[図12]炭素繊維充填バルクにおける熱伝導度と温度との関係を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下では、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

[0021] 図１は、第１の実施形態である炭素繊維充填バルクの製造方法を示した工程図である。

[0022] 図１に示すように、バルク用素材として、所定の長さに揃えられた炭素繊維１００と、中空の筒状部材２００が用意される。炭素繊維１００は、数百本～数千本の炭素繊維フィラメントから成る炭素繊維ヤーンを単体とした繊維構造であり、複数の炭素繊維ヤーンから構成されている。

[0023] 筒状部材２００は、タンタルあるいはモリブデンなどの金属パイプによっ

て構成されており、ここでは、炭素繊維束１００に比べて軸方向長さが短く定められている。筒状部材２００は、溶接によってプレート状金属部材から成形される。溶接のつなぎ目２１０は、ここでは軸方向に形成されているが、螺旋状に形成することも可能である。

[0024] 最初に行われる充填工程では、炭素繊維１００が筒状部材２００に挿入され、充填される。炭素繊維１００は、筒状部材２００の内部空間を最大限埋め尽くす量だけ用意されており、炭素繊維１００は筒状部材２００内に束となって収容される。充填方法としては、手作業によって筒状部材２００に炭素繊維１００を押し込む方法などが適用可能であり、あるいは、プレス機などを使って圧入することも可能である。

[0025] 充填工程では、筒状部材２００が塑性変形したりすることがないように、炭素繊維束１００が筒状部材２００に挿入される。このとき、炭素繊維束１００の端面が筒状部材２００から突出するように充填されている。充填工程により、筒状部材２００の所定断面における充填率は、およそ６０～７０パーセントにここでは達している。ただし、充填率は、筒状部材２００の内部空間断面積に対する炭素繊維１００の断面積の割合を表す。また、軸方向に沿って炭素繊維１００の充填率がほぼ均一になっているものとする。

[0026] 炭素繊維束１００が充填された筒状部材２００は、スエージング加工機械にセッティングされる。そして、スエージング加工機械のダイス５０を通じてスエージング加工が施される。スエージング加工により、筒状部材２００は塑性変形し、軸方向に沿って伸びるとともに、周縁部が絞り込まれて縮径する。このとき、炭素繊維１００の充填率が９０パーセント以上になるように、また、充填率が軸方向に沿って均一と成るように、細径化される。ここでは、筒状部材２００の径が加工前のほぼ２／３となるように細径化されている。スエージング加工により、炭素繊維束１００の少なくとも一部もしくは全体的において、断面円形状である炭素繊維が圧接によって弾性変形する。その後、所定の長さにするため、炭素繊維束１００の端部を切断する。ここでは、ファインカッターなどの切断器具を使って切断している。

[0027] スエージング加工によって軸方向に延伸した筒状部材２００を製造し、切断処理を行った後、所定温度（例えば１５００℃～２０００℃）の温度雰囲気の下、筒状部材２００に対して熱処理を数時間行う。この熱処理を経て、炭素繊維充填バルク４００が製造される。炭素繊維充填バルク４００は、炭素繊維の充填密度（かさ密度）を極度に高めた成形体であって、断面円状の炭素繊維が弾性変形するまで互いに圧接され、圧密充填されている。また、内部の炭素繊維束は高い集束性をもっている。このような高密度充填によって、炭素繊維充填バルク４００は熱伝導性、熱拡散性が優れた成形体になっており、例えば、放電ランプ用電極の伝熱体、あるいはヒートポンプなどの熱伝導部材として使用することができる。

[0028] 図２は、炭素繊維充填バルクを組み込んだ放電ランプ用電極の模式的断面図である。

[0029] 陽極３０は、ショートアーク型放電ランプ１０に用いられる放電用電極であり、電極支持棒４０によって鉛直方向に保持されている。陽極３０は、電極本体３２中心部に筒状空間３３を有し、筒状空間３３には炭素繊維充填バルク３６が収容されている。

[0030] 筒状空間３３のサイズに合わせた柱状の電極蓋３９は、電極本体３２と結合して筒状空間３３を密封する。電極支持棒４０は電極蓋３９に連結固定されており、電極蓋３９を介して陽極３０を保持している。

[0031] 電極本体３２、電極蓋３９、電極支持棒４０は、タングステン（W）によって構成される。一方、陽極３０内部で電極軸に沿って延在する炭素繊維充填バルク３６は、炭素繊維３８をタンタル金属からなる中空パイプ３７内に高密度充填した伝熱体として構成されており、上述した製造方法に従って成形されている。

[0032] 高い集束性をもつ炭素繊維３８の端面は、中空パイプ３７両端から突出しており、両端面とも平滑である。すなわち、炭素繊維フィラメント各々端部が軸方向に沿って揃うことにより、炭素繊維端面全体が歪なく平面を規定するように滑らかであり、一部炭素繊維フィラメントが突出あるいは長さ不足

となる状態が実質的に生じていない。また、炭素繊維３８の一方の端面は、電極蓋３９と筒状空間３３の底面と密着し、電極先端部３２Ｓと繋がっている。したがって、放電中に電極先端部３２Ｓが受ける陰極（図示せず）からの電子との衝突によって生じる熱は、熱伝導性、熱応答性の優れた高密度充填された炭素繊維３８によって電極支持棒側へ輸送される。

[0033] これにより、電極先端部３２Ｓが局所的に過熱することなく、陽極３０の温度が全体的に均一化される。その結果、電極先端部３２Ｓの溶融、蒸発によって失透し、発光効率が低下するのを防ぎ、電極消耗を抑えることができる。また、好適な導電性をもつため、入力電力が大きくなって電流量が増大しても、放電に影響しない。

[0034] このように本実施形態によれば、複数のヤーンによって構成される炭素繊維１００と、金属からなる中空筒状部材２００を用意し、炭素繊維１００を中空筒状部材２００に対し軸方向に揃えながら充填させる。充填後、中空筒状部材２００に対してダイス５０を利用したスエージング加工を施す。スエージング加工の後、切断して熱処理を施し、炭素繊維充填バルク４００を成形する。

[0035] 炭素繊維を充填させた後に引き伸ばし、すなわち縮径を行うことにより、引き伸ばし前の段階では比較的多くの炭素繊維間で隙間があったものが、炭素繊維が弾性変形するほど実質的に隙間なく炭素繊維が圧密状態で充填される。その結果、炭素繊維自体の熱伝導性、熱拡散性を損なうことなく、バルク内部の軸方向長さ全体に沿って優れた熱伝導性、熱拡散性をもつことになる。また、バルク断面いずれの部分においてもその熱伝導性、拡散性が等しく、熱輸送能力の均一性が保たれる。特に、充填率を９０パーセント以上にすることにより、隙間がなくなるように炭素繊維同士が弾性変形しながら互いに密接し、よりすぐれた熱伝導性をもつことができる。

[0036] なお、充填方法、スエージング加工については、上記炭素繊維の充填方法、スエージング加工には限定されない。引き伸ばして縮径させるのには、軸方向に沿って略均一に縮径させる他の塑性加工であってもよい。また、充填

工程においては、筒状部材を塑性変形させるような力を加えない程度で、炭素繊維を筒内部空間にできる限り圧密充填させればよい。さらに、炭素繊維はヤーン単位のフィラメント状炭素繊維に限定されず、任意の断面形状であって複数の炭素繊維を束状に充填させた構造であればよい。炭素繊維端面の平滑化については、少なくとも一方の端面において行うようにしてもよい。また、炭素繊維端面を平滑化させなくてもよい。

[0037] 次に、図３、４を用いて、第２の実施形態である炭素繊維充填バルクの製造方法について説明する。第２の実施形態では、熱伝導性の優れた炭素繊維充填バルクを製造する。

[0038] 図３Ａ、図３Ｂは、第２の実施形態である炭素繊維充填バルクの製造方法を示した工程図である。

[0039] 図３Ａに示すように、バルク用素材として、所定の長さに揃えられた長繊維である炭素繊維（ＣＦ）１００と、中空の筒状部材２００が製造前に用意される。炭素繊維１００は、数百本～数千本の炭素繊維フィラメントから成る炭素繊維ヤーンを単体とした繊維構造であり、複数の炭素繊維ヤーンから構成されている。

[0040] 炭素繊維１００は、熱伝導性に関し極めて高い異方性を備えており、繊維長さ方向の熱伝導率は、その垂直方向に比べて極めて大きい。例えば、高熱伝導度を実現する高性能炭素繊維であるメソフェーズピッチＣＦが適用可能である。

[0041] 筒状部材２００は、タンタル、モリブデンあるいはステンレス鋼（ＳＵＳ）などの金属パイプによって構成されており、ここでは、炭素繊維１００に比べて軸方向長さが短く定められている。筒状部材２００は、溶接によってプレート状金属部材から成形される。溶接のつなぎ目２１０は、ここでは軸方向に形成されているが、螺旋状に形成することも可能である。

[0042] 最初に行われる充填工程では、炭素繊維束１００を、束状にして筒状部材２００に挿入し、充填する。このとき、炭素繊維１００を筒状部材２００の軸方向に揃え、繊維が交差しないように充填させる（以下では、束状の炭素

繊維１００を、炭素繊維束１００とも表現する）。

[0043] 炭素繊維１００は、筒状部材２００の内部空間をできる限り埋め尽くす量だけ用意されている。充填方法としては、手作業によって筒状部材２００に炭素繊維１００を押し込む方法などが適用可能であり、あるいは、プレス機などを使って圧入することも可能である。

[0044] 充填工程では、筒状部材２００が塑性変形したりすることがないように、炭素繊維束１００が筒状部材２００に挿入される。また、炭素繊維束１００の端面が筒状部材２００から突出するように充填されている。

[0045] 充填工程により、筒状部材２００の所定断面における充填率は、ここではおよそ６０～７０％に達する。ただし、充填率は、筒状部材２００の任意の内部空間断面積に対する炭素繊維束１００の占める断面積の割合を表す。また、軸方向に沿った炭素繊維束１００の充填率は、ほぼ均一であるものとする。

[0046] 炭素繊維束１００が充填された筒状部材２００は、ダイス１５０を含むスエージング加工機械にセッティングされる。セッティング後、ダイス１５０を通じてスエージング加工が施される。スエージング加工により筒状部材２００は塑性変形し、軸方向に沿って伸びるとともに、周縁部が絞り込まれて縮径する。

[0047] このとき、炭素繊維１００の充填率が７５％以上になるように（好ましくは８０％以上）細径化される。また、充填率が軸方向に沿って略均一と成るように、細径化される。

[0048] ただし、細径化に関しては、最も高密度となる理想充填率が理論的に最大約９１％であり、繊維間の接触によって炭素繊維が弾性変形しない上記最大充填率に抑えるのが好ましい。細径化後、所定の長さにするため、炭素繊維束１００の一方の端部を切断する。ここでは、ファインカッターなどの切断器具を使って切断する。

[0049] 次に、スエージング加工によって軸方向に延伸した筒状部材３００を、その端部側から容器Ｍに入った溶液４００’に浸す（図３Ｂ参照）。溶液４０

０’は、熱硬化樹脂Ｆを含む溶液であり、例えば、溶液として、レゾールタイプのフェノール樹脂を溶かした溶液が用いられる。ノボラックタイプのフェノール樹脂も適用可能であり、この場合、熱硬化用添加物が加えられる。

[0050] 炭素繊維束１００の浸漬工程においては、筒状部材３００全体を溶液４００’の中に浸すようなことをせず、炭素繊維束１００の端部１００Ｔを溶液４００’内に浸し、図示しない他方の端部を浸さないようにしている。このように炭素繊維束１００を部分的に浸しておくと、毛細管現象により、溶液４００’の熱硬化樹脂Ｆが炭素繊維束１００へ吸い上げられ、液状の熱硬化樹脂Ｆが炭素繊維束１００の内部に含浸する。

[0051] 炭素繊維束１００に対し、熱硬化樹脂Ｆを一方向に沿って含浸させることにより、炭素繊維束１００内部の空気は、熱硬化樹脂Ｆの浸透に応じて炭素繊維束１００の浸されていない他端から排出される。その結果、炭素繊維束１００内部における空隙部分に熱硬化樹脂Ｆが多く含浸される。

[0052] 毛細管現象は、液体の表面張力、材料の濡れ性および液体の密度で吸い込み高さが決まるため、熱硬化樹脂は粘性が低く低密度であることが望ましい。また、熱硬化樹脂は、残炭素率が高い熱硬化樹脂を用いることが望ましい。

[0053] 炭素繊維束１００に熱硬化樹脂Ｆを含浸させると、次に、所定の温度（ここでは、１４０℃以上）によって加熱装置６００を使った熱硬化処理を施す。さらに、真空雰囲気下において、所定の温度（例えば７００℃以上）で不純物の除去処理を施す。その結果、炭素繊維束１００に含まれていた液状の熱硬化樹脂Ｆが硬化する。

[0054] 上述した溶液４００’への浸漬処理、熱硬化処理、そして不純物除去処理を、複数回繰り返し行う。具体的には、熱硬化樹脂Ｆが炭素繊維束１００の空隙部分の７０～８０％を占めるようになるまで繰り返す。

[0055] そして、筒状部材５００から炭素繊維バルク１００’が取り出される。筒状部材５００と炭素繊維材料の熱膨張率の違い等により、炭素繊維束１００’を押し出しなどによって筒状部材５００から引き出すことができる。

[0056] 取り出された炭素繊維バルク１００’は、光沢のある一塊の成形体を成しており、熱硬化樹脂Ｆはバルク表面にまで露出している。このような炭素繊維バルク１００’に対し、真空炉７００（あるいは不活性ガスを入れた加熱装置）を使って所定の温度（例えば１０００～２３００℃）による炭化処理を最後に行う。

[0057] その結果、炭素繊維バルク１００’内部には、熱伝導性に関して異方性のない炭素が炭素繊維間に付着し、空隙部分を部分的に埋める。炭素繊維束以外の空間領域における炭素占有率は、４０～９０％に至る。

[0058] 炭素占有率は、炭素繊維束１００の繊維長さ方向に沿って４０～９０％範囲内に略納まっているが、フェノール樹脂を炭素繊維束内に一方向から含浸させているため、溶液に浸かっていない他方の炭素繊維束端部における炭素の占有割合は、溶液に浸かっていた端部側の炭素占有割合よりも小さい。できるだけ他方の端部の炭素占有割合を含浸側端部の炭素占有割合に近づけるため、ここでは２回以上の浸漬を行なっている。

[0059] 炭素繊維バルク１００’は、炭素繊維の充填密度（かさ密度）を極めて高めた成形体であって、内部の炭素繊維束は高い集束性をもっている。このような高密度充填によって、炭素繊維バルク１００’は熱伝導性、熱拡散性が優れた成形体になる。

[0060] 特に、炭素繊維バルク１００’は繊維配列方向に沿って優れた熱伝導性を備え、また、熱伝導性に関して大きな異方性をもつ。具体的には、繊維長さ方向の熱伝導率は、その垂直方向と比べて５倍以上であり、例えば２０倍以上になる。したがって、放電ランプ用電極の伝熱体、あるいはヒートポンプおよび熱電変換素子などの熱伝導部材として使用することができる。したがって、放電ランプ用電極の伝熱体、あるいはヒートポンプおよび熱電変換素子などの熱伝導部材として使用することができる。

[0061] 図４は、炭素繊維バルクを組み込んだ放電ランプ用電極の模式的断面図である。

[0062] 陽極３０は、ショートアーク型放電ランプ１０に用いられる放電用電極で

あり、電極支持棒４０によって鉛直方向に保持されている。陽極３０は、電極本体３２中心部に筒状空間３７を有し、筒状空間３７には炭素繊維バルク５０が収容されている。なお、陰極にも同様の構成を採用することが可能である。

[0063] 筒状空間３７のサイズに合わせた柱状の電極蓋３９は、電極本体３２と結合して内部空間３７を密封する。電極支持棒４０は電極蓋３９に連結固定されており、電極蓋３９を介して陽極３０を保持している。

[0064] 電極本体３２、電極蓋３９、電極支持棒４０は、タングステン（W）によって構成される。一方、陽極３０内部で電極軸に沿って延在する炭素繊維バルク５０は、上述したように、高密度に炭素繊維３８が束状の塊となった伝熱体であり、上述した製造方法に従って成形されている。

[0065] 炭素繊維バルク５０の両端面は平滑であり、電極蓋３９と筒状空間３７の底面両方とも密着し、電極先端部３２Ｓと繋がっている。したがって、放電中に電極先端部３２Ｓが受ける陰極（図示せず）からの電子との衝突によって生じる熱は炭素繊維バルク５０によって電極支持棒側へ輸送される。

[0066] これにより、電極先端部３２Ｓが局所的に過熱することなく、陽極３０の温度が全体的に均一化される。その結果、電極先端部３２Ｓの溶融、蒸発によって失透し、発光効率が低下するのを防ぎ、電極消耗を抑えることができる。また、好適な導電性をもつため、入力電力が大きくなって電流量が増大しても、放電に影響しない。さらに、炭素繊維バルク５０と電極内空間との間に隙間が存在するため、径方向、斜め方向に関しても放熱性に優れた構造となっている。

[0067] このように第２の実施形態によれば、長繊維である炭素繊維を束状にして管状部材内の軸方向に揃えて充填し、管状部材を縮径させる。そして、炭素繊維束の一方の端部１００Ｔを熱硬化樹脂Ｆの含まれる溶液４００’内に浸し、熱硬化樹脂Ｆを炭素繊維束１００内に含浸させる。その後、熱硬化処理した後に炭化処理を施し、炭素繊維バルク１００’を生成する。

[0068] 炭素繊維束の充填した筒状部材を縮径して充填率を向上させ、炭素繊維束

の一方の端部側から熱硬化性樹脂を全体へ含浸させることにより、わずかな炭素繊維の隙間に炭素が付着し、さらには束表面にまで露出するほど多くの炭素が付着する。その結果、高密度の炭素繊維束が強固な塊として成形される。そして、繊維長さ方向に極めて優れた熱伝導性をもつことができる。

[0069] 特に、炭素繊維束が筒状部材内で充填されるとき、その充填率が７５％以上であるため、熱硬化処理を行ったときに熱伝導率の異方性を容易に確保することができるのに加え、毛細管現象による熱硬化樹脂の浸透が容易となる。

[0070] さらに、筒状部材内で炭素繊維間の空隙部分に対し、７０～８０％の領域で熱硬化樹脂を含浸させることにより、炭化処理後の炭素の空隙部分に占める割合が４０～９０％となり、炭素繊維バルクがより強固に一体的構造となる。炭素が９０％以上の場合、炭化処理のときに炭素繊維バルクが収縮するが、このとき歪が生じやすくなって、クラックが発生する恐れがある。熱硬化性樹脂の含浸程度を調整することにより、これを防ぐことができる。

[0071] また、炭素繊維を充填させた後に引き伸ばし、すなわち縮径を行うことにより、引き伸ばし前の段階では比較的多くの炭素繊維間で隙間があったものが、炭素繊維が密接した状態で充填される。その結果、炭素繊維自体の熱伝導性、熱拡散性を損なうことなく、バルク内部の軸方向長さ全体に沿って優れた熱伝導性、熱拡散性をもつことになる。

[0072] なお、上記炭素繊維バルクの製造方法に関しては、スエージング加工せずに筒状部材内の炭素繊維束に熱硬化性樹脂を含浸させてもよい。さらには、炭素繊維束を筒状部材に充填させず、それ以外の構成で炭素繊維束を一体的に保持し、熱硬化性樹脂を一方の端部から浸透させてもよい。また、筒状部材の一方の端部を溶液に浸す以外の方法によって含浸させてもよい。

[0073] 以上、第１の実施形態、第２の実施形態について説明したが、本発明は、このような実施形態に限定されるものではない。第１の実施形態、第２の実施形態によって説明された本発明は、以下のような課題に着目し、従来にはない製造方法によって優れた炭素繊維充填バルクを実現している。

[0074] まず、第１の実施形態に関する本発明について説明する。

[0075] 従来、炭素繊維を筒状部材に充填させた成形体は、機械的強度、吸着性などを考慮した成形体として構成されている。しかしながら、これらの炭素繊維充填バルクは、直接的に外力が働く電線、動力伝達シャフト、あるいは、外気を吸入させる吸着装置といった製品を前提とした構造であり、これら製品は、良好なフレキシビリティ、あるいは外気流入が必然的である。したがって、炭素繊維の充填に関しても、繊維間にある程度の隙間、空隙を設けた構成になっている。

[0076] 一方、炭素繊維は高温（約３０００℃）で黒鉛化処理されていることから、熱伝導性、熱拡散（温度拡散）性が優れており、高温状態になる製品に炭素繊維充填バルクを使用することが考えられる。例えば、ショートアーク型放電ランプにおいては、良好なランプ始動性を確保するため電極を早期に安定点灯状態まで加熱する必要がある一方、ランプ点灯中高温になる電極（特に電極先端部）の熱放出が必要であり、熱伝導性等の優れた素材による電極が求められる。

[0077] しかしながら、このような製品に炭素繊維充填バルクを適用しようとしても、炭素繊維の熱伝導性、熱拡散性を充分に引き出すようなバルク製造方法が従来確立していないため、熱に関する優れた機能性をもつ炭素繊維充填バルクを成形することができない。

[0078] 本発明は、炭素繊維充填バルクの製造方法であり、従来にない高密度で炭素繊維を充填させたバルクを提供する製造方法であって、充填工程と、充填された炭素繊維をさらに高密度化させる（充填率を向上させる）工程を含む。充填工程では、筒状部材に、炭素繊維を軸方向に揃えて充填する。そして、高密度化（高充填率化）工程では、炭素繊維を充填した筒状部材を引き伸ばして縮径させる。

[0079] 本発明では、充填工程によってすでに内部が炭素繊維に埋め尽くされた筒状部材に対し、引き伸ばしという、従来のバルク成形では機能性損失の観点から採りえない加工を行うことによって、管状部材を軸方向に延伸させて細

径化し、さらなる高密度な充填状態を筒状部材内部に作り出している。これにより、バルクの内部密度は炭素繊維に極限まで近付き、炭素繊維間の隙間がほとんどなくなる。

[0080] 一般的に、熱伝導率は、熱拡散率と比熱容量と比重とを乗算することで定まる。本願発明のような高密度で圧接した状態（圧密状態）の炭素繊維充填構造によれば、炭素繊維が束状に充填されても、炭素繊維本来の熱伝導性が損なわれることなくそのままバルクにおいて良好な熱輸送能力が機能する。それればかりか、本願発明のように筒状部材の引き伸ばしー縮径によって高密度化を実現させることにより、バルク単体としての軸方向に沿った熱伝導率がより一層高められることになり、バルクの軸方向に沿った熱輸送能力が有効に活用され、熱伝導性に優れたバルクを成形することができる。

[0081] また、引き伸ばしによって筒状部材を縮径させるため、筒状部材内部の炭素繊維は従来の炭素繊維充填バルクと比べて、より一体的で密接な状態で収容されるとともに、軸方向に関して圧密充填の程度が均一化されており、どの断面においても充填率がほぼ等しい。

[0082] このように、従来にはない高密度、高充填率で炭素繊維を充填化することにより、熱伝導性、熱容量、熱拡散など熱に関する機能性が優れたバルクを成形することができる。その一方、炭素繊維としての高強度、電気伝導性といった従来の機能も十分に備えており、複雑な構造体、金属材料を組み合わせたアッセンブリーなどに組み込むことが可能である。特に、炭素繊維はタングステンなどの金属に比べて比重が小さいため、体積効率の優れた（より細径で）熱輸送能力のあるバルクを成形することが可能である。

[0083] このような高密度充填を実現させた炭素繊維充填バルクは、様々な製品に適用可能であり、電気伝導性ともに耐熱性、熱伝導性といった熱に関する機能性が重要となる製品に使用することが可能である。例えば、炭素繊維充填バルクは、ショートアーク型放電ランプなど放電ランプの電極本体もしくはその一部として構成することが可能である。また、炭素繊維充填バルクは、大電流を供給する電線にも利用可能であり、電力の発熱損の影響を抑えるこ

とができる。あるいは、ヒートパイプなどの熱伝導部材としても使用可能である。

[0084] 炭素繊維充填工程においては、様々な充填方法を適用することが可能であり、筒状部材が充填工程において塑性変形させる力をできるだけ加えない程度において、筒状部材内部空間にできるだけ隙間なく炭素繊維を埋め尽くすように挿入させればよい。手作業によって炭素繊維を充填してもよく、あるいは、プレス機などの機械を使って炭素繊維を充填させてもよい。また、熱伝導率を高める、あるいは他の部材との結合等を考慮し、炭素繊維の少なくとも一方の端面が筒状部材から突出するように、充填処理を行ってもよい。

[0085] 筒状部材を引き伸ばして縮径する工程では、金属などで構成される塑性の筒状部材を安定して縮径させることを考慮し、スエージング（swaging）加工を施すのが望ましい。スエージング加工によって、筒状部材が均一な肉厚で縮径し、軸方向に沿って炭素充填率が均一なバルクを成形することが可能となる。また、スエージング加工後に熱処理することで、炭素繊維の機能性を向上させることができる。

[0086] 筒状部材については、例えばパイプなどの中空状、管状部材が適用可能であり、特に、スエージング工程のときに安定して塑性変形する金属パイプなどを適用するのがよい。炭素繊維の構成も様々な態様の炭素繊維を充填させることが可能であり、手作業で充填させる場合には、ある程度の本数（数千～数万本）の長炭素繊維フィラメントから成るヤーンを充填させてもよい。

[0087] 手作業、あるいは圧入プレスなどの機械加工によって充填したとき、そのときの充填率（体積率）には限度があり、スエージング工程前の充填率は、例えばおよそ７５パーセント以下である。高密度充填を実現させるためには、炭素繊維の充填率が少なくとも８５パーセント以上になるように、引き伸ばすのがよい。あるいは、充填された複数の炭素繊維の少なくとも一部においてその断面形状が弾性変形、あるいは塑性変形するように、筒状部材を引き伸ばして縮径させることによっても、同等の熱輸送能力の高いバルクを成形することができる。特に、９０パーセント以上の充填率によって、炭素繊

維間の隙間を極力排した高密度炭素繊維充填構造が実現される。

[0088] 高密度充填を実現するためには、スエージング工程において適度な縮径を行うのがよい。縮径の程度については、筒状部材の材料特性、炭素繊維の強度、サイズなどに基づいて定められる。例えば、筒状部材径を１／４～３／４の範囲で縮径することによって、高密度充填できる。特に、筒状部材径を３／４ほど縮径することによって、９５パーセント近い充填率のバルクを成形することが可能となる。これは、断面円状炭素繊維を正方格子配列させた場合の理論密度７８．６パーセントよりも大きな密度になる。

[0089] ある部材間にバルクを接続させ、熱伝導機能を発揮させる場合、炭素繊維端面を全体的に接触させるのが望ましい。そのため、圧密充填された炭素繊維の少なくとも一方の端面が平滑となるように、炭素繊維を充填させるのがよい。ただし、ここでの平滑は、一般的な繊維端面において必要とされる平滑性を意味し、例えば、ＳＥＭ観察などによっても、炭素繊維それぞれの端部がその軸方向に揃えられ、炭素繊維端面が全体的に平面を規定するほどの滑らかさをもつ。切断処理は、延伸処理後であって熱処理前あるいは熱処理後に行えばよい。

[0090] 本発明の炭素繊維充填バルクは、引き伸ばされて縮径されている筒状部材と、筒状部材内部に高密度に充填された炭素繊維とを備え、炭素繊維が、軸方向に揃って充填されている。そして、炭素繊維の少なくとも一部においてその断面形状が変形するように、炭素繊維が筒状部材内に充填されていることを特徴とする。これにより、熱に関する優れた機能性をもたせることができる。一方、同等の熱に関する機能性をもつ本発明の炭素繊維充填バルクは、炭素繊維の少なくとも一部においてその断面形状が変形するように炭素繊維が筒状部材内に充填されていることを特徴とする。この充填率は、炭素繊維充填後に引き伸ばされて縮径される筒状部材によって実現可能な充填率である。

[0091] 次に、第２の実施形態に関する本発明について説明する。

[0092] 従来の炭素繊維束の製造方法では、高密度の炭素繊維束を製造することが

できず、十分な熱伝導性もつ炭素繊維束にはならない。特に、Ｃ／Ｃコンポジットの炭素繊維材料に依存しない高密度の炭素繊維束を得ることが求められる。

[0093] 本発明は、高密度で繊維配列方向に沿った熱伝導性が非常に優れた一体的／一塊の炭素繊維バルクを提供する製造方法であり、長繊維である炭素繊維を束状にし、炭素繊維束の一方の端部側を熱硬化性樹脂の含まれる溶液に浸し、繊維長さ方向に沿って熱硬化性樹脂を含浸させた炭素繊維束を、熱処理によって硬化させる。熱硬化処理の後、不純物除去処理を行うことも可能である。含浸、熱硬化処理を（あるいは不純物除去処理も含めて）複数回繰り返し行なうことが可能である。

[0094] 炭素繊維束の集束性、高密度を向上させることを考慮すると、熱処理による硬化後、炭素繊維束に炭化処理を施すことが可能である。この場合、熱硬化処理の後、炭素繊維束を筒状部材から取り出し、炭化処理をしてもよい。また、浸漬の工程では、炭素繊維束を、軸方向に揃えて筒状部材に充填させ、充填後に炭素繊維バルクの端部を溶液内に浸すことが可能である。

[0095] 熱伝導率の繊維長さ方向に沿った異方性を確保することを考慮すると、炭素繊維束を、充填率７５％以上で筒状部材に充填させるのが望ましい。また、炭化処理によって生成される異方性のない炭素の残空隙部分の含有率を４０～９０％にするのが望ましく、そのためには、充填された炭素繊維束の残空隙部分の７０～８０％の部分において熱硬化性樹脂が含浸されるように、炭素繊維束を浸すのがよい。

[0096] 熱硬化樹脂を含浸させて炭素繊維間にできるだけ樹脂を含浸させるため、炭素繊維束を充填した筒状部材を、引き伸ばして縮径させるのがよい。

[0097] 本発明の他の局面における炭素繊維バルクは、長繊維であって異方性をもつ炭素繊維が束状になって一体的に形成されており、炭素を含む熱硬化性樹脂を含浸させたことなどによって、炭素繊維束内部に炭素が炭素繊維に付着し、炭素繊維束内における炭素繊維の充填率が７５％以上である。

[0098] これによって、高密度で集束性が強く、繊維方向に熱伝導性に関して非常

に大きな異方性をもつ炭素繊維バルクが生成される。ただし、ここでの充填率は、所定の断面における炭素繊維周縁によって規定される断面積に対する炭素繊維の占める断面積を表す。

[0099] 特に、炭素繊維束の一方の端部から熱硬化性樹脂を含浸させることによって、高密度の状態を維持したまま炭素繊維間に多くの炭素が付着する。この場合、炭素繊維束の一方の端面付近における炭素の含有割合が、他方の端面付近における炭素の含有割合よりも低い。炭素繊維バルクの集束性を高める構成として、例えば、炭素繊維束以外の領域における炭素の占有率が、４０～９０％の範囲であるのがよい。

[0100] また、炭素繊維束の長さ方向の熱伝導度は、長さ方向に垂直な方向の熱伝導度の５倍以上である。この異方性の特性により、すぐれた熱伝導を実現させることができる。

実施例

[0101] 以下では、図５～１２を用いて、本発明の実施例について説明する。第１の実施例は、第１の実施形態に対応する実施例であり、第２の実施例は、第２の実施形態に対応する。

[0102] まず、図５～８を用いて、第１の実施例について説明する。

[0103] 第１の実施例では、第１の実施形態と同様の製造方法によって高密度充填炭素繊維充填バルクを製造し、充填率、熱伝導率、比重を測定し、参考となる金属と比較した。また、熱処理前と熱処理後において、上記物理量をそれぞれ測定した。ここでは、炭素繊維の種類に応じて、２つの高密度炭素繊維充填バルク（以下、サンプル１、サンプル２という）を製造した。

[0104] 筒状部材については、金属材料としてタンタル（Ｔａ）板材をサンプル１、２のために用意し、タンタル板材を丸めて溶接することで金属パイプを成形した。このとき、つなぎ目が軸方向に沿うように溶接した。サンプル１、２のために用意された金属パイプは、直径３０ｍｍ、長さ２００ｍｍ、肉厚１．０ｍｍとなるように成形された。

[0105] 炭素繊維（ＣＦ）については、サンプル１用にＧＲＡＮＯＣ（登録商標）

ＸＮ－９０－６０Ｓ（日本グラファイトファイバー（株）製）が使用され、炭素繊維フィラメント６０００本からなるヤーン状繊維を多数用意した。このヤーン状炭素繊維の熱伝導率は５００Ｗ／ｍ・Ｋ、炭素繊維密度は２．１９ｇ／ｃｍ^{3}である。サンプル２では、ダイアリード（登録商標）Ｋ１３Ｄ２Ｕ（三菱樹脂（株）製）が使用され、炭素繊維フィラメント２０００本からなるヤーン状繊維を多数用意した。熱伝導率は８００Ｗ／ｍ・Ｋ、炭素繊維密度は２．２１ｇ／ｃｍ^{3}である。

[0106] まず、充填工程では、手作業によって炭素繊維ヤーンを軸方向に揃えながら金属パイプに挿入した。パイプ内部を、サンプル１については約５３０本、サンプル２については約１３２０本の炭素繊維ヤーンで埋め尽くした。いずれにおいても、炭素繊維ヤーンの端面がパイプから突出するように充填処理されている。

[0107] 図５は、サンプル１の炭素繊維ヤーンを充填させた金属パイプを斜め方向から撮影した写真を示した図である。図６は、光学顕微鏡を使って金属パイプを炭素繊維軸方向に切断したときのサンプル１の炭素繊維が軸方向に揃った状態を撮影した写真を示した図である。図５、６から明らかなように、炭素繊維は金属パイプ内部に充填されており、軸方向に沿って揃えられている。サンプル２においても、同様に炭素繊維が充填されている。

[0108] 次に、炭素繊維が充填されたサンプル１、２用の金属パイプに対し、スエージング加工を施した。ここでは、円周状に配置した複数のハンマーダイス対を用いて金属パイプを引き抜き、外径２０ｍｍに縮径させた。そして、スエージング加工処理後、炭素繊維ヤーンの両端面を切断した。サンプル１については、旋盤を用いて炭素繊維を切断し、サンプル２については、炭素繊維端面平滑化のため、ファインカッターを用いて炭素繊維を切断した。

[0109] 成形されたサンプル１の炭素繊維充填バルクにおける炭素繊維の体積は３５．３５４ｃｍ^{3}となり、炭素繊維密度は２．００１ｇ／ｃｍ^3、充填率は９１．８パーセントとなった。一方、成形されたサンプル２の炭素繊維充填バルクにおける炭素繊維の体積は３５．３５４ｃｍ^{3}となり、炭素繊維密度は２

．０６４ｇ／ｃｍ^3、充填率は９３．４パーセントとなった。以下の表１に示す。なお、ここでは炭素繊維切断面における炭素繊維密度および充填率を測定しているが、パイプ内部における炭素繊維の高集束性により、任意の炭素繊維断面における充填状態も炭素繊維切断面と実質的に等しいものとみなせる。

[0110] [表1]

		熱伝導率 (W／m・K) [at25℃]	比重 (g／cm^3)	充填率 (%)
高密度充填炭素繊維バルク（サンプル１）	熱処理前	３５０．２	２．００１	９１．８
	熱処理後	２９４．３	１．８６８	８５．７
高密度充填炭素繊維バルク（サンプル２）	熱処理前	６７８．８	２．０６４	９３．４
	熱処理後	８００．８	１．９９０	９０．１
銅		３９５	８．９２	—
タングステン		１７４	１９．３	—

[0111] このように炭素繊維が高密度充填されたバルクに対し、熱伝導率を測定した。熱伝導率測定では、炭素繊維切断面の中心部に対し、フラッシュ法、具体的にはナノフラッシュ（Nano Flash）法により熱伝導率を測定するとともに、比重を求めた。熱伝導率は、熱拡散率×密度×比熱容量の式に基づいて算出した。また、比重はアルキメデス法で求めた。

[0112] なお、熱伝導率算出の際に用いられる比熱容量は、比較法に基づき計算で求めた。このとき比較する標準試料は、同じ炭素元素からなるPoco Graphiteを使用した。その結果、比熱容量は、サンプル１、２ともに０．４９Ｊ・Ｋ／ｇであった。また、熱伝導率算出に用いられる熱拡散率（温度拡散率）は、筒体切断面に赤外線を照射して赤外線の温度時間変化をサンプル１、２についてそれぞれ測定し、以下の式に基づいて算出した。

$$\alpha = 0.1388 \times D^2 / T \qquad \cdots\cdots (1)$$

ただし、αは熱拡散率（ｍ^2／ｓ）、Ｄは充填炭素繊維の断面直径（ｍｍ）を

表す。また、Ｔは、温度最大値の１／２に到達するまでの時間（ｓ）を表す。

[0113] 熱伝導率測定の結果、サンプル１については、熱伝導率３５０．２Ｗ／ｍ・Ｋとなった。一方、炭素繊維端面が平滑になっているサンプル２については、熱伝導率６７８．８Ｗ／ｍ・Ｋとなった（表１参照）。

[0114] 次に、サンプル１、２の高密度炭素繊維充填バルクに対して熱処理を施し、熱処理後の密度、充填率、熱伝導率を測定した。熱処理工程では、１８００℃で１時間に渡る加熱を行った。その結果、サンプル１については、炭素繊維密度１．８６８ｇ／ｃｍ^3、充填率８５．７パーセント、熱伝導率２９４．３Ｗ／ｍ・Ｋとなった。一方、サンプル２については、炭素繊維密度１．９９０ｇ／ｃｍ^3、充填率９０．１パーセント、熱伝導率８００．８Ｗ／ｍ・Ｋとなった（表１参照）。

[0115] 加熱前後の炭素繊維密度、熱伝導率の変化については、熱処理による収縮、ヤーン状炭素繊維ヤーンに含まれているサイジング材等の影響によるもと推定される。また、ヤーン状炭素繊維の種類の違い等により、その変化もサンプル１、２において相違する。しかしながら、熱処理後においても十分な充填率（８５パーセント以上）、熱伝導率を維持している。特に、サンプル２では、熱処理後の熱伝導率が、ヤーン状炭素繊維の熱伝導率８００Ｗ／ｍ・Ｋとほぼ等しくなった。

[0116] 図７は、熱処理後のサンプル１の炭素繊維切断面における炭素繊維の高密度充填状態をＳＥＭ観察した写真を示す図である。ただし、ここでは炭素繊維端面の縁部分を観察している。

[0117] 一方、図８は、熱処理後のサンプル２の炭素繊維切断面における炭素繊維の高密度充填状態をＳＥＭ観察した写真を示す図である。ただし、ここでは炭素繊維端面の縁近くの部分を観察している。

[0118] 図８から明らかなように、サンプル２における炭素繊維フィラメントは、互いに境界なく（隙間なく）密接しながら充填されている。また、計測された充填率は、理想的充填率、すなわち、断面円状の炭素繊維が最密で配列す

るときの充填率９０．６５パーセントを超えている。このことは、断面円状炭素繊維が弾性変形しながら圧密充填されていることを示している。

[0119] さらに、図７との比較で明らかなように、サンプル２の炭素繊維端面では、炭素繊維フィラメントが軸方向に揃っており、端面が平滑となって圧密充填されている。炭素繊維切断面全体が一平面を規定するように、繊維不揃い、あるいは歪みなく平らであることがわかる。

[0120] 一方、図７に示すサンプル１では、切断器具がサンプル２と違うため、炭素繊維端面が一部不揃いとなっているが、これは旋盤での切断加工においては、炭素繊維が引き抜かれながら切断されることに原因している。しかしながら、充填率は理想的充填率を超えており、炭素繊維が互いに弾性変形しながら隙間なく密接して充填されていることは、図７からも明らかである。

[0121] 次に、測定した熱伝導率および比重を、高熱伝導性金属と比較した。ここでは、比較対象となる高熱伝導性金属として、高熱伝導性金属の銅（Ｃｕ）、高耐熱性金属のタングステン（Ｗ）を用いている。熱伝導率及び比重を比較した結果も、表１に示している。

[0122] 表１から明らかなように、高密度充填させた金属パイプ内部の熱伝導性は、銅やＷに比べて２倍から７倍程度優れていることが分かる。炭素繊維束は比重が銅の１／４であることを考えると、熱伝導性きわめて高いと言える。また、放電ランプの電極に使用される高融点金属の１つであるタングステン（Ｗ）の熱伝導率（１７４Ｗ／ｍ・Ｋ）よりもはるかに大きな熱伝導率をもつ。特に、炭素繊維の比重はタングステンの比重の約１／９であることを考えると、体積効率はおよそ２０倍になる。

[0123] 以上により、第１の実施例の炭素繊維充填バルクが、すぐれた熱伝導性、体積効率をもつことが確かめられた。

[0124] 次に、図９～１２を用いて、第２の実施例について説明する。

[0125] 本実施例では、第２の実施形態と同様の製造方法によって２つの高密度炭素繊維充バルク（以下、サンプル１、サンプル２という）を製造し、熱伝導率およびその異方性を測定した。

[0126] 筒状部材については、金属材料としてサンプル１にＳＵＳ板材、サンプル２にＴａの板材を用意し、板材を丸めて溶接することで金属パイプを成形した。このとき、つなぎ目が軸方向に沿うように溶接した。サンプル１、２のために用意された金属パイプは、直径３０ｍｍ、長さ２００ｍｍ、肉厚１．０ｍｍとなるように成形された。

[0127] 炭素繊維（ＣＦ）については、サンプル１用にＧＲＡＮＯＣ（登録商標）ＸＮ－９０－６０Ｓ（日本グラファイトファイバー（株）製）が使用され、炭素繊維フィラメント６０００本からなるヤーン状繊維を多数用意した。

[0128] このヤーン状炭素繊維の熱伝導率は５００Ｗ／ｍ・Ｋ、炭素繊維密度は２．１９ｇ／ｃｍ^{3}ある。サンプル２では、ダイアリード（登録商標）Ｋ１３Ｄ２Ｕ（三菱樹脂（株）製）が使用され、炭素繊維フィラメント２０００本からなるヤーン状繊維を多数用意した。熱伝導率は８００Ｗ／ｍ・Ｋ、炭素繊維密度は２．２１ｇ／ｃｍ^{3}である。

[0129] 充填工程では、手作業によって炭素繊維ヤーンを軸方向に揃えながら金属パイプに挿入した。いずれにおいても、炭素繊維ヤーンの端面がパイプから突出するように充填処理されている。

[0130] 次に、炭素繊維が充填されたサンプル１、２用の金属パイプに対し、スエージング加工を施した。ここでは、円周状に配置した複数のハンマーダイス対を用いて金属パイプを引き抜き、外径２０ｍｍに縮径させた。

[0131] そして、スエージング加工処理後、炭素繊維ヤーンの両端面を切断した。サンプル１、２とも切断は旋盤で切削し、フェノール樹脂浸漬面のヤーン１本１本を解けさせることによって、毛細管現象によるフェノール樹脂の含浸を効率的に行なった。

[0132] その後、ノボラックタイプのフェノール樹脂が含まれる溶液を入れた容器を用意し、その中に金属パイプを立ててパイプ端面側を溶液に浸けた。そして、１４０℃による熱硬化処理および７００℃による真空雰囲気下での不純物除去処理を行い、含浸から不純物除去処理までを１セットとして、２セット以上繰り返した。

[0133] サンプル１、サンプル２ともに、フェノール樹脂として大日本インキ化学工業（株）のＩＦ－３３００を使用した。残炭率は６３％である。

[0134] 図９は、フェノール樹脂含浸後の炭素繊維束の断面を拡大顕微鏡で撮影した写真を示す図である。図９に示すように、フェノール樹脂が炭素繊維束内に含浸されていることがわかる。図９には、比較のため、フェノール樹脂が含まれていない炭素繊維束を示している。

[0135] そして、熱硬化処理（１４０℃）および不純物除去処理（１８００～２０００℃）による炭化処理を行った。成形された炭素繊維バルクについて、炭素の付着および熱伝導性について調べた。

[0136] 図１０は、炭化処理後の炭素繊維束の軸方向断面を電子顕微鏡で撮影した写真を示す図である。図１０に示すように、炭素繊維表面には、フェノール樹脂の炭化処理により生成された炭素成分が付着していることがわかる。

[0137] 図１１Ａは、サンプル１における熱伝導性に関する異方性を示したグラフである。図１１Ｂは、サンプル１における熱膨張率を示したグラフである。ここでは、炭素繊維長さ方向をａ軸、その垂直方向（断面方向）をｃ軸としている。

[0138] 図１１Ａに示すように、温度変化によって熱伝導率は変化する。繊維方向の熱伝導率は、その垂直方向に比べて最大で約７０倍である。放電ランプ使用時などの高温度状態であったとしても、繊維方向の熱伝導率は、その垂直方向に比べて、５倍以上、２０倍以上となることが明らかである。

[0139] 図１２は、サンプル１、２における熱伝導率を示した図である。図１２から明らかなように、炭素繊維束の充填率を７５％以上、８０％以上にすることによって、高い熱伝導率を得ることができる。

[0140] 以上により、第２の実施例の炭素繊維バルクがすぐれた熱伝導性をもつことが確かめられた。

[0141] 本発明に関しては、添付されたクレームによって定義される本発明の意図および範囲から離れることなく、様々な変更、置換、代替が可能である。さらに、本発明では、明細書に記載された特定の実施形態のプロセス、装置、

製造、構成物、手段、方法およびステップに限定されることを意図していない。当業者であれば、本発明の開示から、ここに記載された実施形態がもたらす機能と同様の機能を実質的に果たし、又は同等の作用、効果を実質的にもたらす装置、手段、方法が導かれることを認識するであろう。したがって、添付した請求の範囲は、そのような装置、手段、方法の範囲に含まれることが意図されている。

[0142] 本願は、日本出願（特願２０１１－０７８９２２号、２０１１年３月３１日出願）、および日本出願（特願２０１１－２７９５６７号、２０１１年１２月２１日出願）を基礎出願として優先権主張する出願であり、基礎出願の明細書、図面およびクレームを含む開示内容は、参照することによって本願全体に組み入れられている。

符号の説明

[0143] １０　ショートアーク型放電ランプ

３０　陽極

５０　ダイス

１００　炭素繊維、炭素繊維束

１００’　炭素繊維バルク

２００　中空筒状部材

３００　筒状部材

４００　炭素繊維充填バルク

４００’　溶液

Ｆ　熱硬化樹脂

請求の範囲

[請求項1] 筒状部材に、炭素繊維を軸方向に揃えて充填し、

前記炭素繊維を充填した前記筒状部材を、引き伸ばして縮径させることを特徴とする炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項2] スエージング加工によって、前記筒状部材を引き伸ばして縮径させることを特徴とする請求項１に記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項3] 充填された前記炭素繊維の少なくとも一部において断面形状が変形するように、前記筒状部材を引き伸ばして縮径させることを特徴とする請求項１乃至２のいずれかに記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項4] 縮径させた前記筒状部材を、熱硬化性樹脂の含まれる溶液に浸し、

繊維長さ方向に沿って熱硬化性樹脂を含浸させた炭素繊維束を、熱処理によって硬化させることを特徴とする請求項１乃至２のいずれかに記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項5] 熱処理による硬化後、炭素繊維束に炭化処理を施すことを特徴とする請求項４に記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項6] 前記筒状部材の一方の端部を溶液内に浸すことを特徴とする請求項４に記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項7] 前記炭素繊維束を、充填率７５％以上で前記筒状部材に充填させることを特徴とする請求項１乃至２のいずれかに記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項8] 前記筒状部材に充填された炭素繊維束の残空隙部分の７０～８０％の部分において熱硬化性樹脂が含浸されるように、前記筒状部材を浸すことを特徴とする請求項４に記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項9] 熱硬化処理の後、炭素繊維束を前記筒状部材から取り出すことを特徴とする請求項１乃至２のいずれかに記載の炭素繊維バルクの製造方法。

[請求項10] 請求項１乃至２のいずれかに記載された炭素繊維バルクの製造方法によって製造された炭素繊維バルクを、少なくとも一方の電極の一部

として構成することを特徴とする放電ランプ。

[請求項11] 長繊維であって異方性をもつ炭素繊維が束状になって一体的に形成されており、

炭素繊維束内部において炭素が炭素繊維に付着し、

前記炭素繊維束内における炭素繊維の充填率が７５％以上であることを特徴とする炭素繊維バルク。

[請求項12] 炭素繊維束の一方の端面付近における炭素の含有割合が、他方の端面付近における炭素の含有割合よりも低いことを特徴とする請求項１１に記載の炭素繊維バルク。

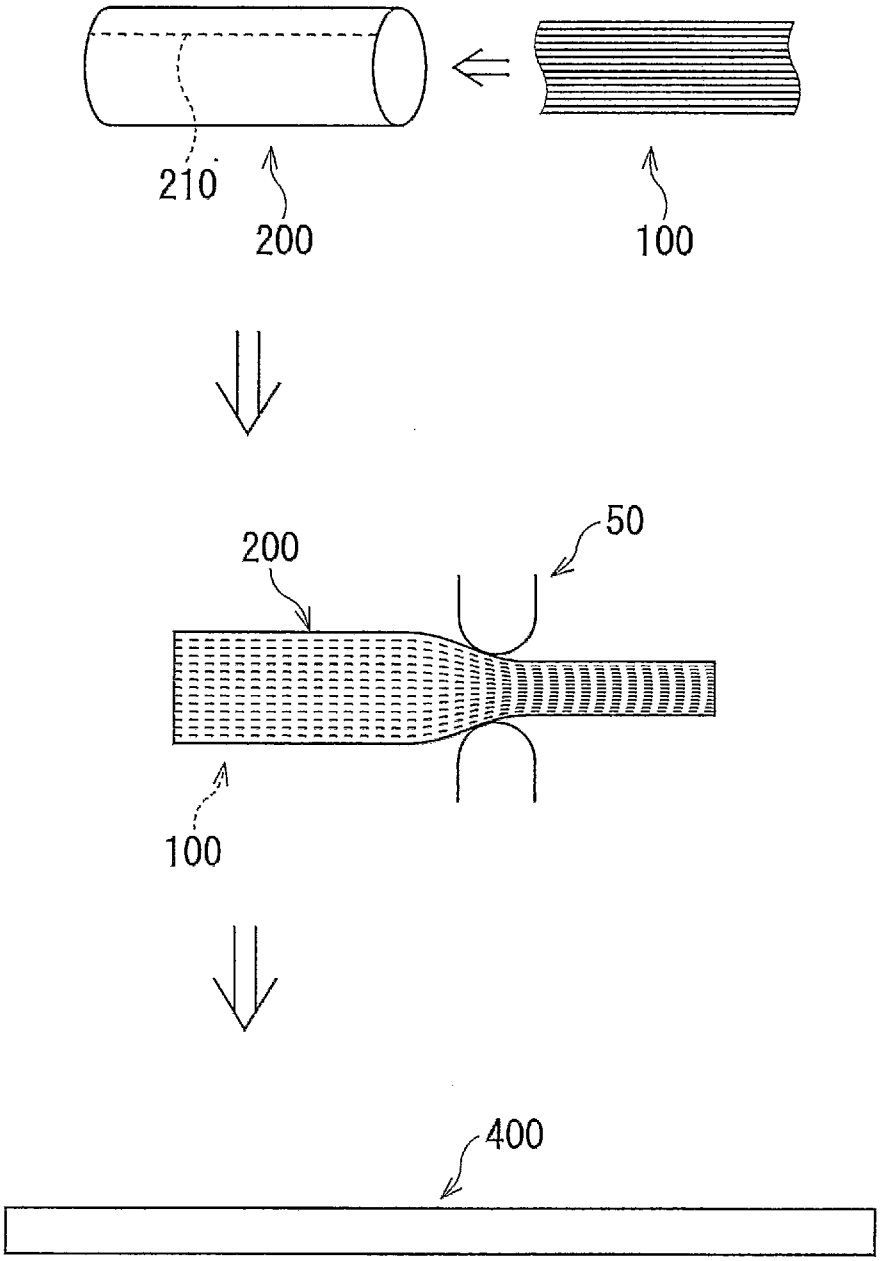
[請求項13] 炭素繊維束以外の領域における炭素の占有率が、４０～９０％の範囲であることを特徴とする請求項１１乃至１２のいずれかに記載の炭素繊維バルク。

[請求項14] 炭素繊維束の長さ方向の熱伝導度は、長さ方向に垂直な方向の熱伝導度の５倍以上であることを特徴とする請求項１１乃至１２のいずれかに記載の炭素繊維バルク。

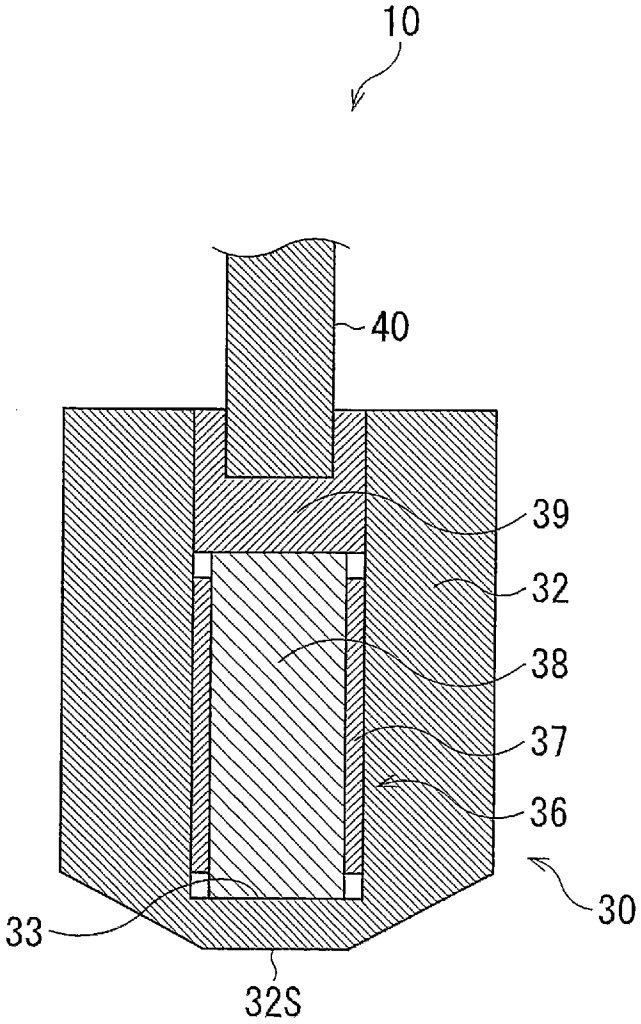
[請求項15] 炭素繊維束内に含まれる炭素が異方性のないことを特徴とする請求項１１乃至１２のいずれかに記載の炭素繊維バルク。

[請求項16] 請求項１１乃至１２のいずれかに記載された炭素繊維バルクを、少なくとも一方の電極の一部として構成することを特徴とする放電ランプ。

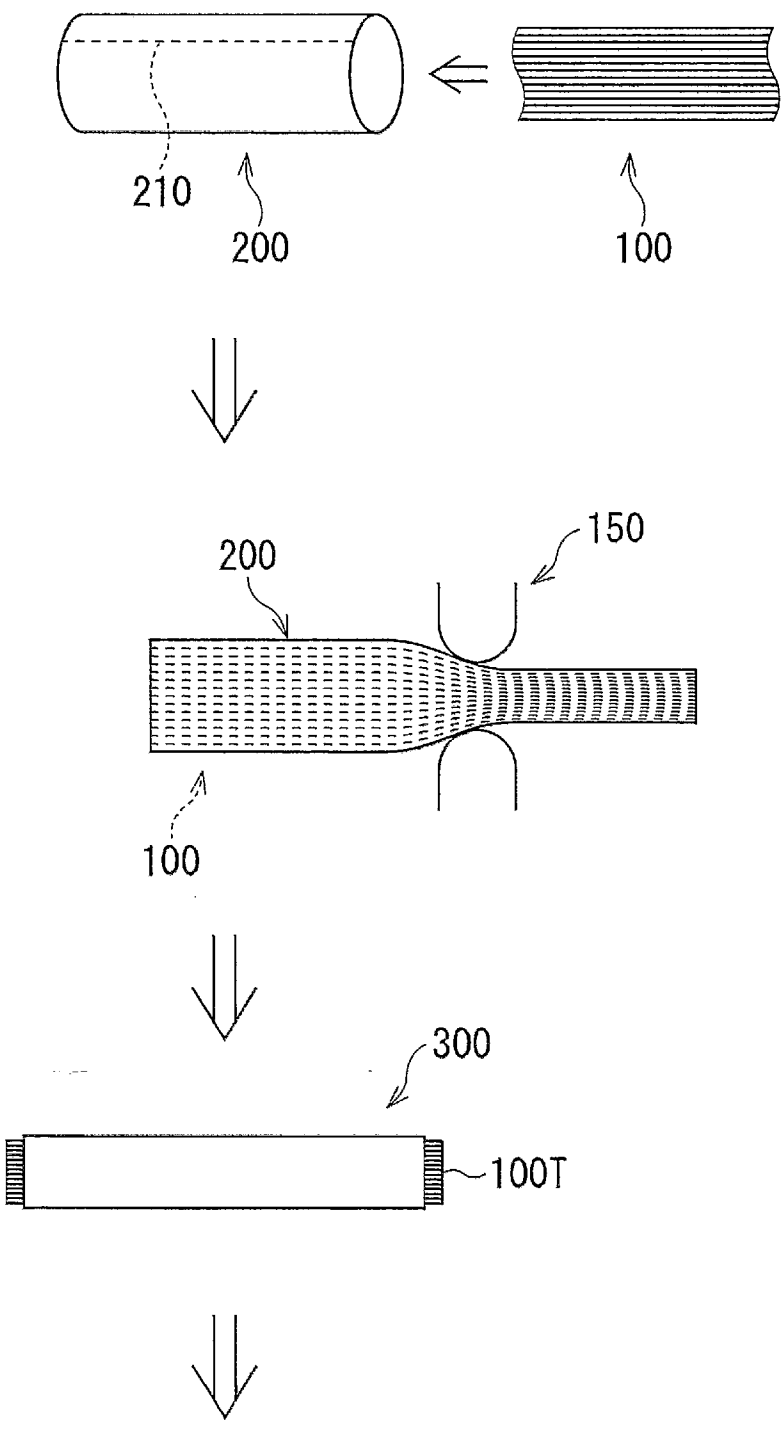
[図1]



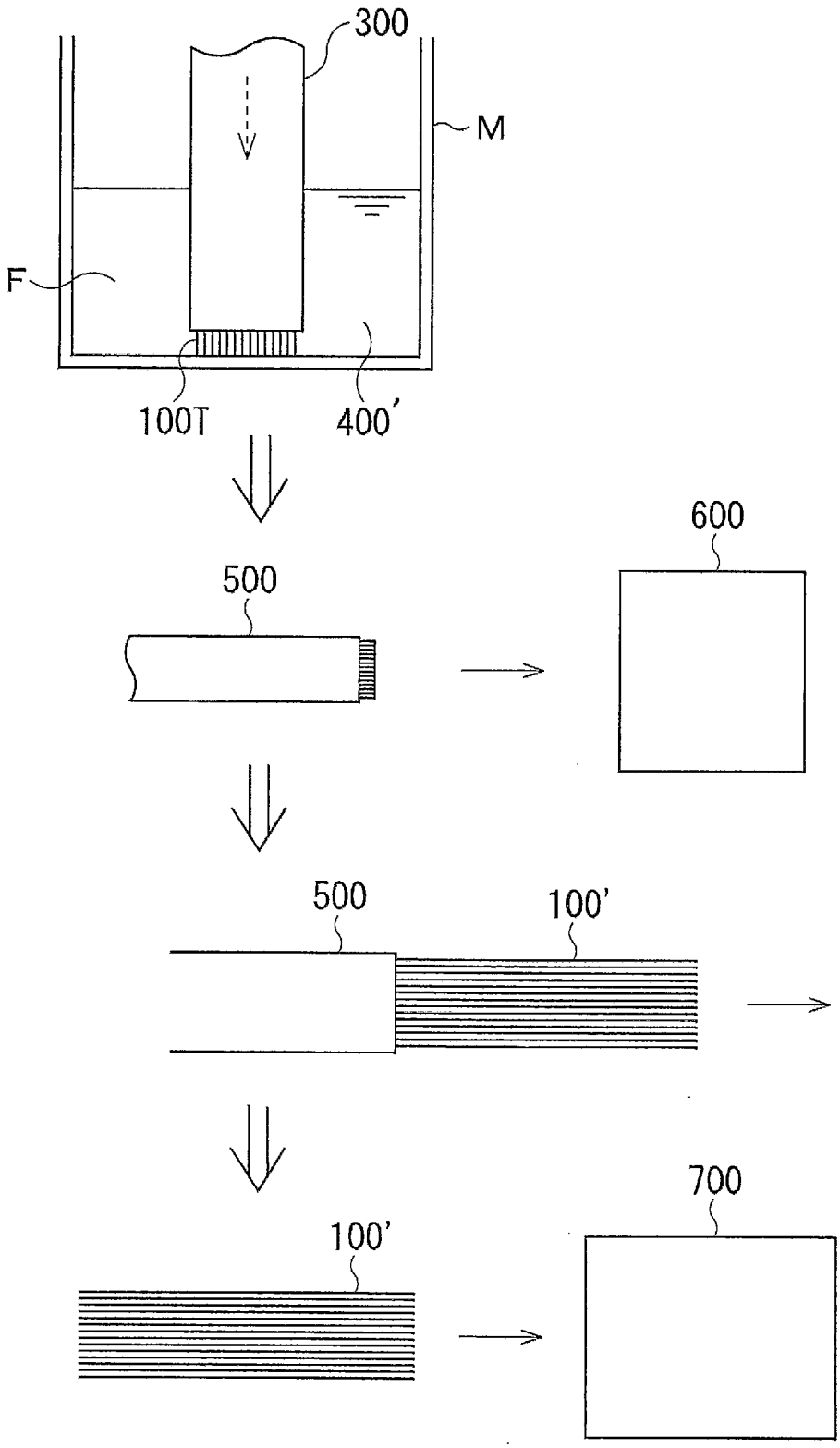
[図2]



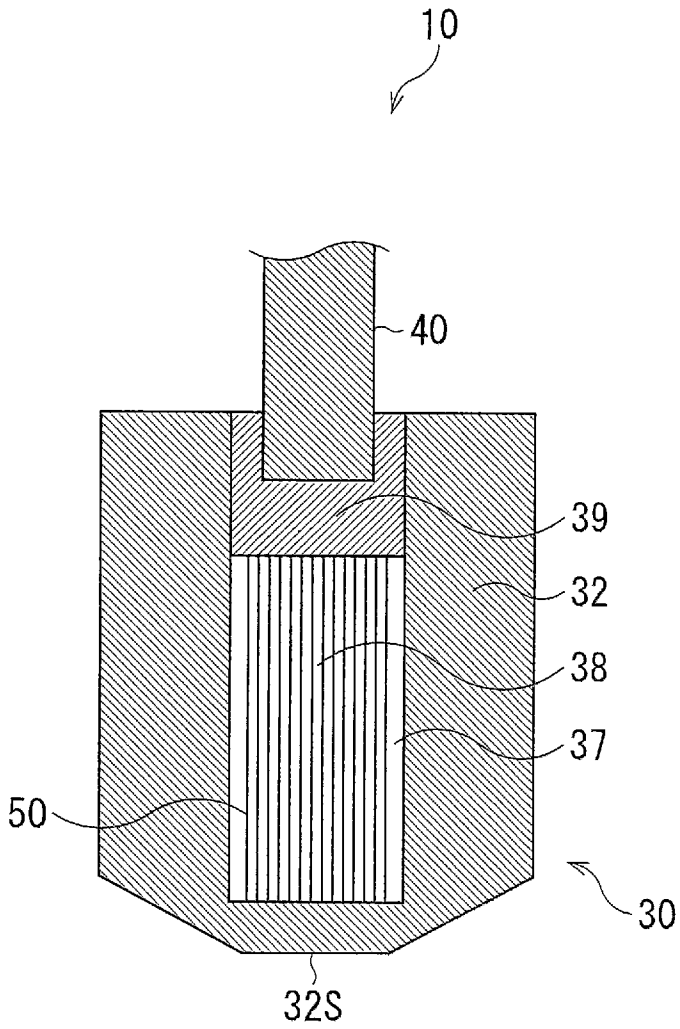
[図3A]



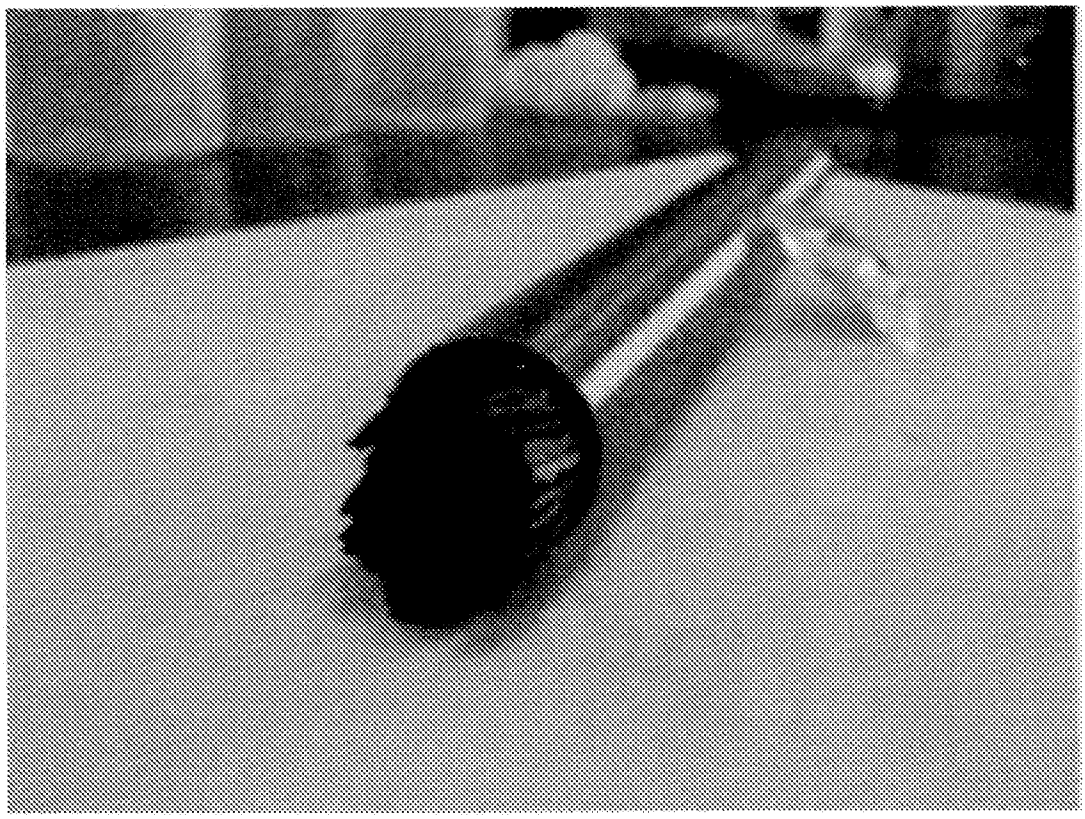
[図3B]



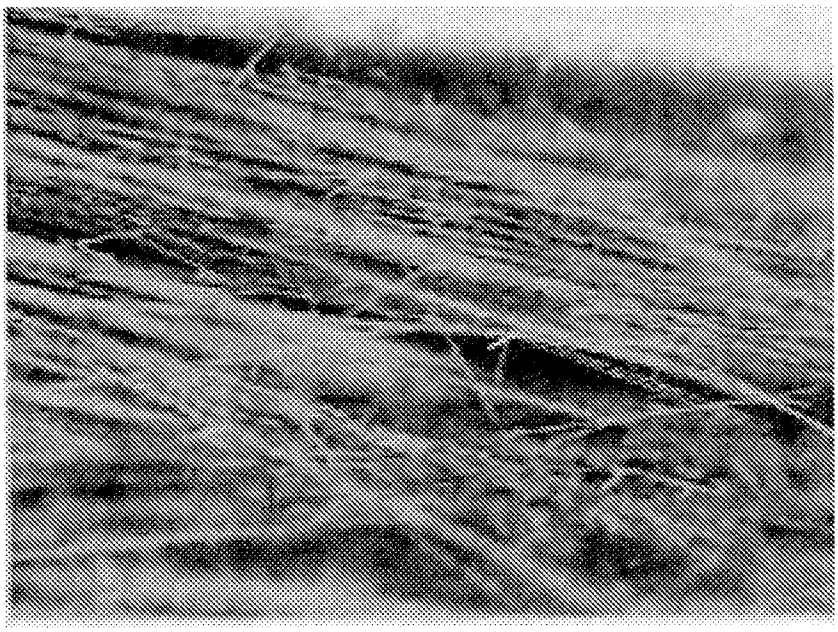
[図4]



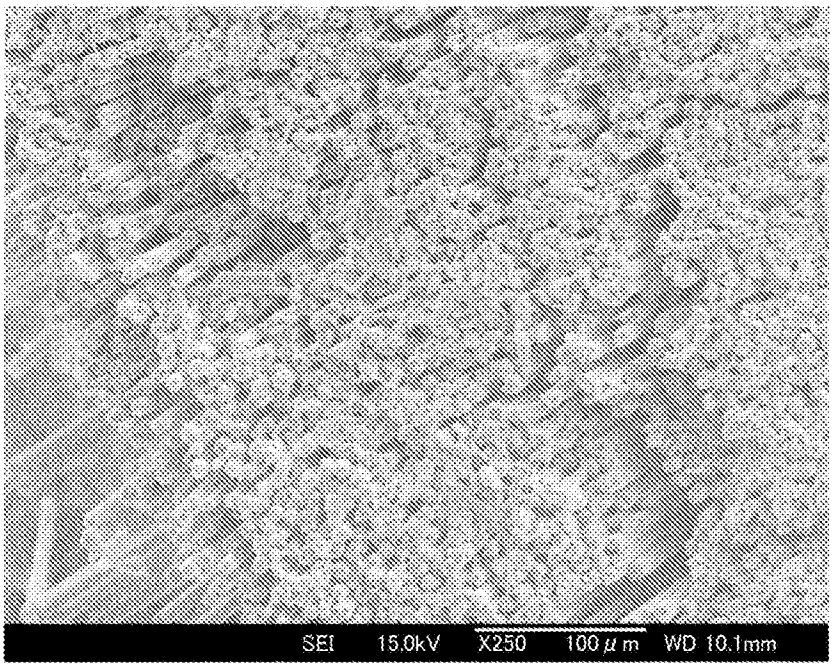
[図5]



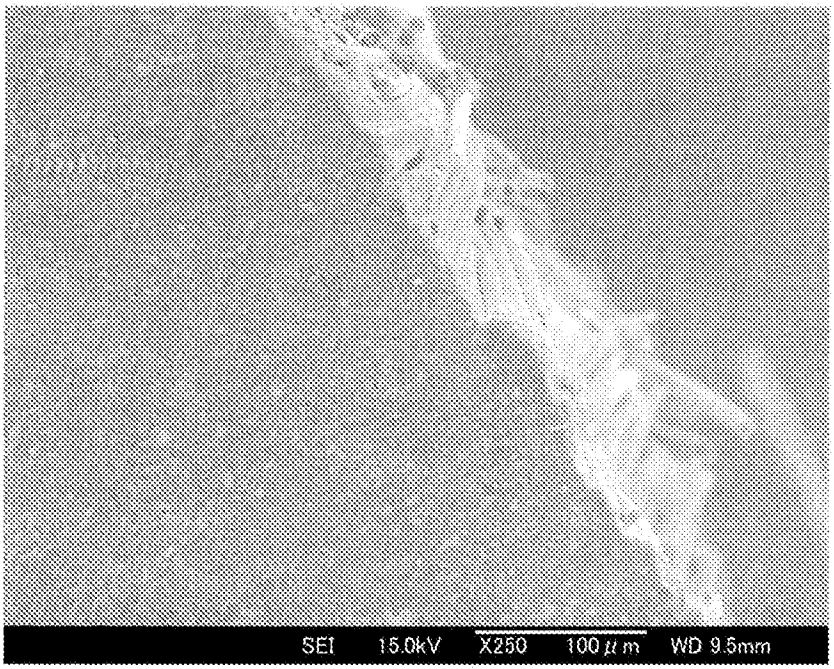
[図6]



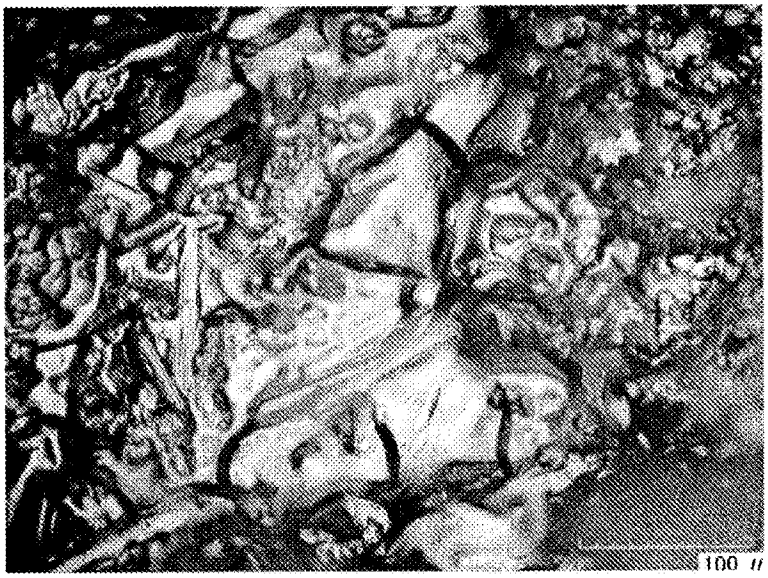
[図7]



[図8]



[図9]

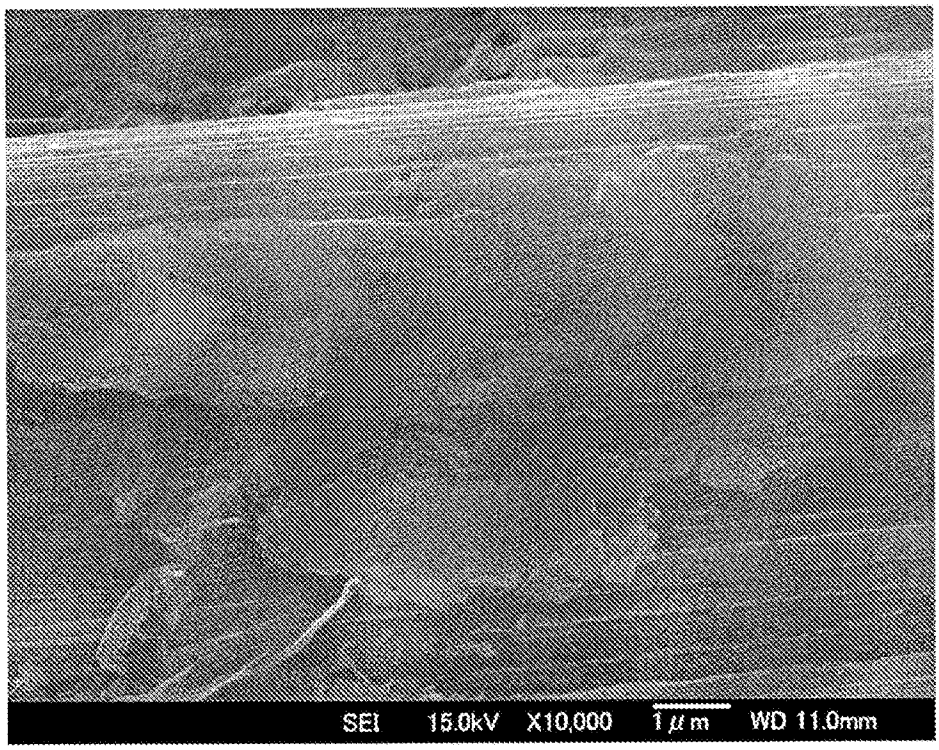


（フェノール樹脂含浸）

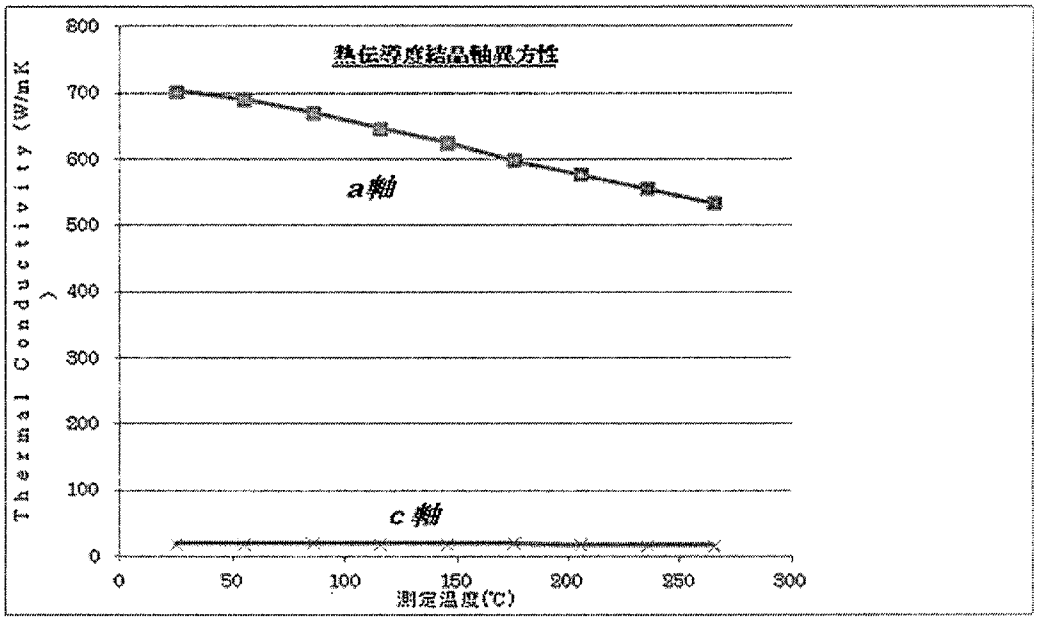


（フェノール樹脂非含浸）

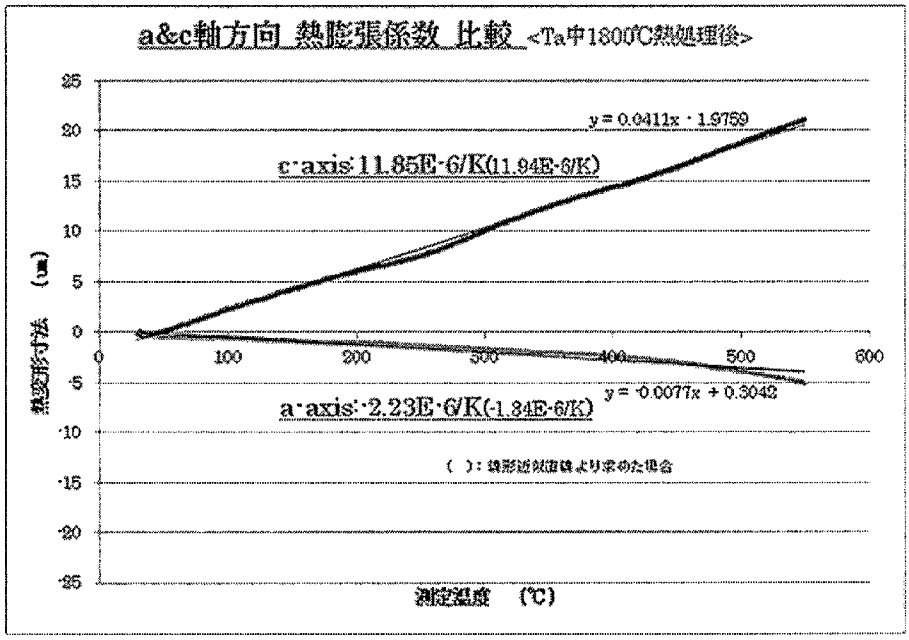
[図10]



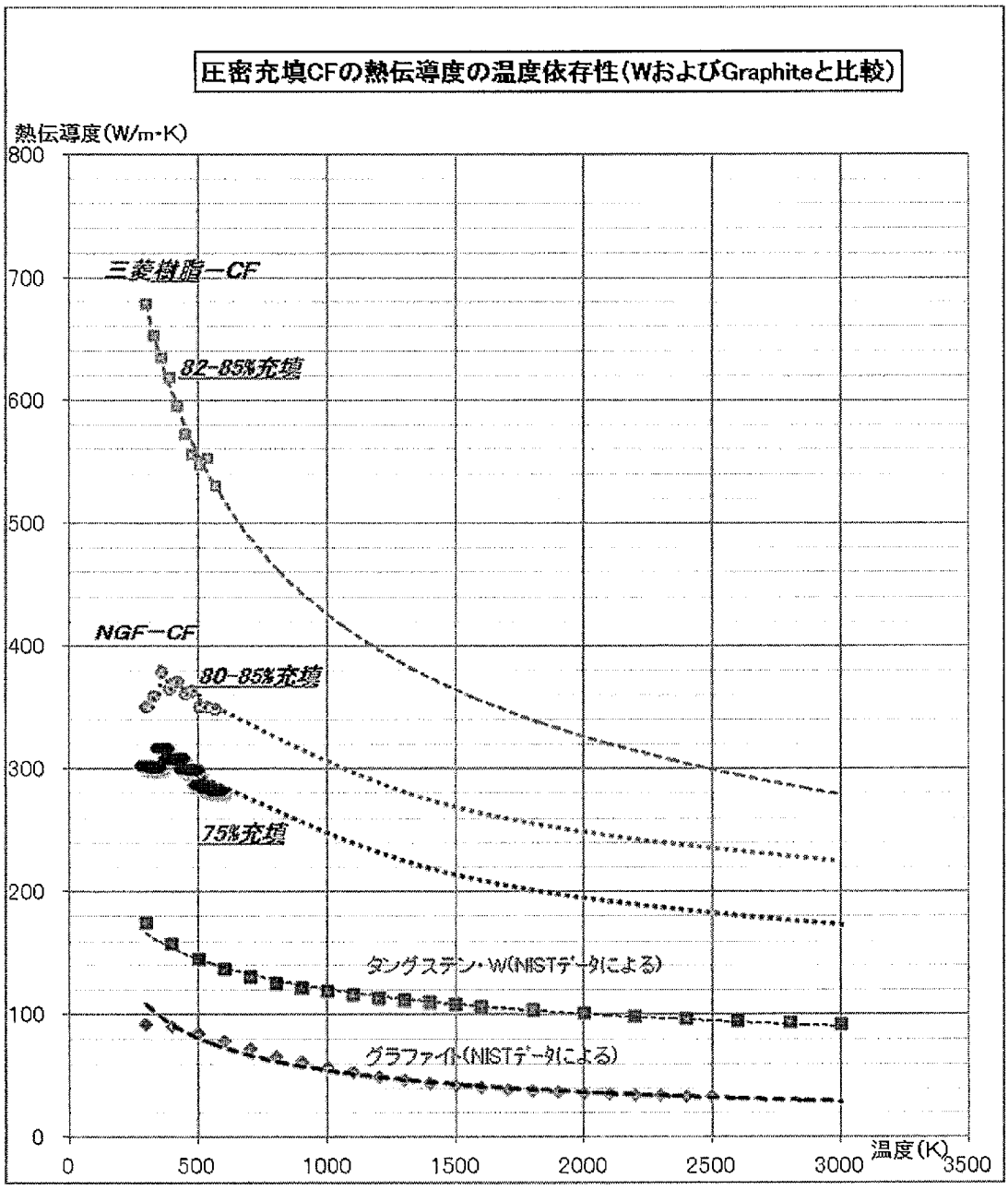
[図11A]


熱伝導度結晶軸異方性
Thermal Conductivity (W/mK)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
a軸
c軸
0
50
100
150
200
250
300
測定温度(℃)

[図11B]


a&c軸方向 熱膨張係数 比較 <Ta中1800℃熱処理後>
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
y = 0.0411x - 1.9759
c-axis:11.85E-6/K(11.94E-6/K)
y = -0.0077x + 0.3042
a-axis:-2.23E-6/K(-1.84E-6/K)
0
100
200
300
400
500
600
熱変形寸法 (μm)
測定温度 (℃)

[図12]


圧密充填CFの熱伝導度の温度依存性(WおよびGraphiteと比較)
熱伝導度(W/m-K)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
三菱樹脂ーCF
82-85%充填
NGFーCF
80-85%充填
75%充填
タングステン・W(NISTデータによる)
グラファイト(NISTデータによる)
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
温度(K)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/058301

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C01B31/02(2006.01)i, *H01B13/00*(2006.01)i, *H01J9/02*(2006.01)i, *H01J61/073*(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)
C01B31/00-31/36, H01B13/00, H01J9/02, H01J61/073

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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.
A	JP 2002-235726 A (NTN Corp.), 23 August 2002 (23.08.2002), entire text & US 2002/0117228 A1 & EP 1231391 A2	1-16
A	JP 08-081261 A (Hitachi, Ltd.), 26 March 1996 (26.03.1996), entire text (Family: none)	1-16
A	JP 10-088256 A (President of The University of Tokyo), 07 April 1998 (07.04.1998), entire text (Family: none)	1-16

☒ 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
19 June, 2012 (19.06.12)	03 July, 2012 (03.07.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/058301

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 57-096453 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 15 June 1982 (15.06.1982), entire text (Family: none)	1-16
A	JP 04-083529 A (Chiyoda Kohan Co., Ltd.), 17 March 1992 (17.03.1992), entire text (Family: none)	1-16
A	JP 2002-184351 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 28 June 2002 (28.06.2002), entire text (Family: none)	1-16

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０５８３０１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C01B31/02(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01J9/02(2006.01)i, H01J61/073(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C01B31/00-31/36, H01B13/00, H01J9/02, H01J61/073

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	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２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
A	JP 2002-235726 A (エヌティエヌ株式会社) 2002.08.23, 全文 & US 2002/0117228 A1 & EP 1231391 A2	1-16
A	JP 08-081261 A (株式会社日立製作所) 1996.03.26, 全文 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 10-088256 A (東京大学長) 1998.04.07, 全文 (ファミリーなし)	1-16

☑　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 １９．０６．２０１２	国際調査報告の発送日 ０３．０７．２０１２
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｇ　３７７４ 若土　雅之 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４１６

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 57-096453 A (松下電工株式会社) 1982.06.15, 全文 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 04-083529 A (千代田工販株式会社) 1992.03.17, 全文 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 2002-184351 A (浜松ホトニクス株式会社) 2002.06.28, 全文 (ファミリーなし)	1-16