

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-144389

(P2012-144389A)

(43) 公開日 平成24年8月2日(2012.8.2)

(51) Int.Cl.

C04B 35/573 (2006.01)

F 1

C04B 35/56

1 O 1 V

テーマコード(参考)

4 G 001

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願2011-2530 (P2011-2530)

(22) 出願日

平成23年1月7日(2011.1.7)

(71) 出願人 000000240

太平洋セメント株式会社

東京都港区台場二丁目3番5号

(74) 代理人 110000800

特許業務法人創成国際特許事務所

(72) 発明者 引田 友幸

宮城県仙台市泉区明通三丁目24番1号

太平洋セメント株式会社内

(72) 発明者 石井 守

宮城県仙台市泉区明通三丁目24番1号

太平洋セメント株式会社内

(72) 発明者 末松 謙一

宮城県仙台市泉区明通三丁目24番1号

太平洋セメント株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 S i C/S i 複合材料

## (57) 【要約】

【課題】高剛性でかつ高熱伝導率の S i C / S i 複合材料を支障なく提供する。

【解決手段】S i C 粒子の間に S i が充填された構造を有する S i C / S i 複合材料において、S i C 粒子が、粒度が異なる粗粉及び微粉により構成され、S i C の充填率が、86 ~ 94 体積%となるようにする。この場合、S i C 粒子の結晶相は、粗粉においては相のみであり、微粉においては 相のみであるか又は 相及び 相が混在しており、相及び 相の結晶の含有率をそれぞれ 体積% 及び 体積% とすれば、64 / (100 - ) 86 が成立する。

【選択図】なし

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

SiC粒子の間にSiが充填された構造を有するSiC/Si複合材料であって、SiC粒子は粒度が異なる粗粉及び微粉により構成され、SiCの充填率が86～94体積%であることを特徴とするSiC/Si複合材料。

**【請求項 2】**

前記SiC粒子の結晶相は、前記粗粉においては相のみであり、前記微粉においては相のみであるか又は相及び相が混在しており、該相及び相の結晶の含有率をそれぞれ体積%及び体積%とすれば、 $64 / (100 - ) = 86$ が成立することを特徴とする請求項1に記載のSiC/Si複合材料。

10

**【請求項 3】**

断面組織におけるSiスポットの平均直径が1～20μmであることを特徴とする請求項1又は2に記載のSiC/Si複合材料。

**【請求項 4】**

ヤング率が380～413GPaであり、かつ熱伝導率が190～214W/m·Kであることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載のSiC/Si複合材料。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、SiC粒子の隙間にSiが充填された構造を有するSiC/Si複合材料に関する。

20

**【背景技術】****【0002】**

従来、液晶製造装置や半導体製造装置におけるステージやチャック等の構成部材として、軽量で剛性が高く、熱膨張が小さいSiC/Si(炭化ケイ素-シリコン)複合材料が好ましく用いられている。

**【0003】**

このような複合材料の製造方法として、特許文献1には、SiC粉末にフェノール樹脂(10質量%)を添加し、これに金型による熱プレスを施してSiC含有率が70体積%の成形体を作製し、これをプリフォームとしてSiC/Si複合材料を製造する方法が記載されている。この方法では、プリフォームをSiとともに炉内に設置して真空1200で12時間保持することにより脱脂してフェノール樹脂を炭化させ、その後、1550に昇温させて溶融Siを含浸させ、SiC/Si複合材料を得るようにしている。

30

**【0004】**

一方、特許文献2には、反応焼結法を用いたSiC/Si複合材料の製造方法が、記載されている。この方法においては、中心粒径が1.1μmのSiCを、水、カーボンブラック、及びPVAとともに混合してスラリー状の混合粉体を調整し、この混合粉体を石膏型に鑄込んで得たグリーン体を仮焼してSiCとカーボンからなる多孔体を作製し、そして該多孔体中にレゾール型のフェノール樹脂をCIP処理により含浸させた後、再度仮焼して得られたSiC多孔体に溶融Siを含浸させてSiC/Si複合材料を得るようにしている。

40

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0005】**

**【特許文献1】**特開2008-50181号公報

**【特許文献2】**特許第4260629号公報

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

しかしながら、上述の反応焼結法を用いたSiC/Si複合材料の製造方法によれば、

50

得られる SiC / Si 複合材料は、高剛性ではあるが、SiC の微粉を使用しているため、熱伝導率が低い。

#### 【0007】

そこで、SiC / Si 複合材料の高剛性化を図るために、上述のようなプリフォームを介して SiC / Si 複合材料を製造する方法において、プリフォームに Si を含浸させる際に生成される SiC を増大させることが考えられる。このためには、Si と反応するカーボン源を増大させるべく、プリフォームに含まれるフェノール樹脂又はカーボンを増やす必要がある。

#### 【0008】

しかし、フェノール樹脂を増やすと、プリフォームの開気孔率が低下し、プリフォームに変形や亀裂が生じたり、プリフォームに Si を含浸させたときにメタルベインといわれる層状又は亀裂状の Si 相が生じたりするおそれがある。

#### 【0009】

また、カーボンを増やすと、Si の含浸時に Si と化合して SiC が生じることに伴う体積膨張によって、変形や亀裂が生じるおそれがある。また、カーボンの粒径によっては、SiC の生成に伴う発熱反応により、亀裂を生じるおそれがある。

#### 【0010】

本発明の目的は、このような従来技術の問題点に鑑み、高剛性でかつ高熱伝導率の SiC / Si 複合材料を支障なく提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

本発明者らは、この目的を達成すべく鋭意研究した結果、SiC / Si 複合材料中の SiC 粒子が粒度の異なるものを含み、SiC / Si 複合材料における SiC の充填率が所定の高い範囲の値であれば、SiC / Si 複合材料が、従来にない高い剛性及び熱伝導率を同時に達成することを知見し、本発明をなすに至った。

#### 【0012】

すなわち、第 1 の発明に係る SiC / Si 複合材料は、SiC 粒子の間に Si が充填された構造を有する SiC / Si 複合材料であって、SiC 粒子は粒度が異なる粗粉及び微粉により構成され、SiC の充填率が 86 ~ 94 % であることを特徴とする。

#### 【0013】

これによれば、SiC / Si 複合材料のヤング率及び熱伝導率を、従来達成できなかつた 380 GPa 及び 190 W / m · K 以上とすることができます。SiC の充填率が 86 % に満たない場合には、このヤング率及び熱伝導率を達成することができない。一方、SiC の充填率が 94 % を超える場合には、Si の含浸時に生じた Si の未含浸部分が発生し、SiC / Si 複合材料中にボアや未反応カーボンとして存在するので好ましくない。

#### 【0014】

第 2 の発明に係る SiC / Si 複合材料は、第 1 発明において、前記 SiC 粒子の結晶相は、前記粗粉においては 相のみであり、前記微粉においては 相のみであるか又は相及び 相が混在しており、該 相及び 相の結晶の含有率をそれぞれ 体積 % 及び 体積 % とすれば、64 / (100 - ) 86 が成立することを特徴とする。

#### 【0015】

ここで、(100 - ) は、SiC / Si 複合材料を製造する際に使用されるプリフォームにおける SiC 粒子間の隙間の体積を示している。また、 / (100 - ) は、この SiC 粒子間の隙間を - SiC がどの程度充填しているかを表している。 / (100 - ) の値と、SiC / Si 複合材料における SiC の充填率とは相関関係にあり、64 / (100 - ) 86 は、上述の SiC の充填率 86 ~ 94 % に対応する。

#### 【0016】

したがって、 / (100 - ) が 64 未満であれば、上述の 380 GPa 以上のヤング率及び 190 W / m · K 以上の熱伝導率を達成することができず、86 を超える場合には、Si の含浸時に生じた Si の未含浸部分が存在するので好ましくない。

10

20

30

40

50

## 【0017】

第3の発明に係るSiC/Si複合材料は、第1又は第2発明において、SiC/Si複合材料の断面組織におけるSiスポットの平均直径が1~20μmであることを特徴とする。

## 【0018】

ここで、Siスポットの平均直径は、Si含浸経路の断面の平均直径に相当する。Siスポットの平均直径が1μm未満の場合、SiC/Si複合材料を製造する際のSi含浸工程において、炭素とSiとの結合により生成する-<sub>-</sub>SiCは炭素の約2倍の体積を有するため、生成した-<sub>-</sub>SiCによりSiの含浸経路が閉塞され、Siの未含浸が発生するので好ましくない。また、Siスポットの平均直径が20μmを超える場合には、プリフォーム強度が低下し、ハンドリングに十分な強度を確保できないため好ましくない。10

## 【0019】

第4の発明に係るSiC/Si複合材料は、第1~第3のいずれかの発明において、ヤング率が380~413GPaであり、かつ熱伝導率が190~214W/m·Kであることを特徴とする。これによれば、従来達成できなかったヤング率及び熱伝導率を達成し、SiC/Si複合材料の適用範囲を広げることができる。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0020】

本発明に係るSiC/Si複合材料は、SiC粒子の間にSiが充填された構造を有するSiC/Si複合材料である。そして、SiC粒子は粒度が大きい粗粉及び粒度が粗粉よりも小さい微粉により構成され、SiCの充填率は86~94体積%である。粗粉及び微粉の平均粒径は、たとえば200μm及び20μm程度である。20

## 【0021】

これにより、SiC/Si複合材料は、380~413GPaのヤング率、190~214W/m·Kの熱伝導率を達成している。

## 【0022】

SiCの充填率のより好ましい範囲は、90~94体積%である。この場合、400GPa以上のヤング率、及び200W/m·K以上の熱伝導率を達成することができる。

## 【0023】

また、本発明に係るSiC/Si複合材料では、SiC粒子の結晶相は、粗粉においては相のみであり、微粉においては相のみであるか又は相及び相が混在している。30

## 【0024】

ここで-<sub>-</sub>SiCによる充填率である。プリフォームにおいて-<sub>-</sub>SiCのみが存在する。(100-)は、該プリフォームにおける-<sub>-</sub>SiC粒子間の隙間の割合に相当する。また、は該プリフォームに対するSiの含浸時に生じた-<sub>-</sub>SiCによる充填率に相当する。すなわち、/(100-)は、-<sub>-</sub>SiC粒子の隙間を、-<sub>-</sub>SiCがどの程度充填しているかを表す。

## 【0025】

-<sub>-</sub>SiCの充填率は、プリフォームを構成する原料の密度とその体積割合、及びプリフォームについて測定した嵩密度から求めることができる。なお、プリフォームにおける充填率はすべて-<sub>-</sub>SiC結晶によるものである。また、SiC/Si複合材料についてのSiC充填率+は、SiC/Si複合材料について測定した嵩密度から複合則に基づいて求めることができる。40

## 【0026】

なお、微粉において相のみが存在する場合は、プリフォームの形成が、粗粉の-<sub>-</sub>SiCのみを用いて行われたことを意味する。また、微粉において相及び相が混在している場合は、プリフォームの形成に使用された微粉の-<sub>-</sub>SiCと、プリフォーム中に添加された炭素とSiとが反応して生成した微粉の-<sub>-</sub>SiCとが混在していることを意味する。50

**【0027】**

本発明に係るSiC/Si複合材料においては、SiC/Si複合材料の断面組織におけるSiスポットの平均直径は、1~20μmが好ましい。

**【0028】**

Siスポットの平均直径は、電子顕微鏡で観察したSiC/Si複合材料の断面組織像から画像処理ソフトでSiスポット部の面積を読み取り、等価な円の直径に換算した値を用いて算出することができる。

**【0029】**

ここで、Siスポットの平均直径は、SiC/Si複合材料の製造に使用したプリフォームにSiを含浸させたときの含浸経路における断面の平均直径に相当する。Siスポットの平均直径が1μm未満であると、Siの含浸時に生成した-SiCによりSiの含浸経路が閉塞され、Siの未含浸が発生した可能性がある。Siの未含浸部分が発生した場合、ポアや未反応カーボンが残留してSiC/Si複合材料の機械的特性を劣化させるおそれがあるので、好ましくない。

10

**【0030】**

また、Siスポットの平均直径が20μmを超える場合には、プリフォーム強度が低下し、ハンドリングに十分な強度を確保できないため好ましくない。

**【0031】**

本発明に係るSiC/Si複合材料は、以上のようにして、支障なく、380~413GPaのヤング率、及び190~214W/m·Kの熱伝導率を、同時に達成している。さらに、より好ましい範囲のものとして、400~413GPaのヤング率及び200~214W/m·Kの熱伝導率を達成することができる。このような、従来達成できなかつたヤング率及び熱伝導率により、SiC/Si複合材料の適用範囲を広げることができる。

20

**【0032】**

本発明に係るSiC/Si複合材料の製造に際しては、まず、SiC粉末、熱硬化性樹脂、及びカーボン粉末を含む混合物を熱プレス機により成形し、多孔質SiC成形体であるプリフォームを得る。次に、このプリフォームを所定雰囲気下で脱脂し、Siを含浸することによりSiC/Si複合材料を得る。

30

**【0033】**

ここで、SiC粉末としては、研磨剤等として使用される比較的粒の粗い市販品を用いることができる。その場合、粒度の異なるSiC粉末を組み合わせて用いるのが好ましい。たとえば、平均粒径が2.0~40μmの微粉と、平均粒径が40~300μmの粗粉とを組み合わせることによりSiC粉末の充填を高めることができる。

**【0034】**

また、熱硬化性樹脂としては、たとえばフェノール樹脂、アミノ樹脂、不飽和ポリエステル、エポキシ樹脂、ポリウレタン、ジアリルフタレート樹脂、ケイ素樹脂等を用いることができる。フェノール樹脂は、脱脂後の残炭率が高いので好ましい。また、粉末状のものを用いるのが好ましい。たとえば、平均粒径1~100μmの粉末状の樹脂を用いることができる。

40

**【0035】**

SiC粉末及び熱硬化性樹脂の混合は、乾式、湿式を問わず、種々の方法を採用することができる。十分に混合することで両者が分散し、均質なプリフォームを得ることができる。

**【0036】**

SiC/Si複合材料の高剛性化を図るために、Siを含浸させるときの反応SiCの生成量をさらに増やしたい場合は、熱硬化性樹脂にカーボン粉末を添加することもできる。カーボン粉末としては、カーボンブラック、カーボンビーズ、コークス粉等を用いることができる。カーボン粉末の形態は、無定形、針状、球状を用いることができるが、高充填させるためには特に球状が好ましい。また、カーボン粉末の平均粒径は2~20μmが

50

好ましい。2 μmより細かい場合はプリフォーム作製時に - SiC の充填を阻害し、20 μmより大きい場合は炭素と Si が反応して - SiC が生成する際の発熱により割れが発生するからである。

#### 【0037】

混合物の成形方法としては、プレス成形、CIP 成形、湿式成形等を用いることができる。なかでも加熱しながら圧力を加える熱プレス成形が好ましい。熱プレスは、0.5 ~ 30 MPa の圧力で、1 ~ 12 時間プレスすることが好ましい。また、熱硬化樹脂の硬化反応により生成する縮合水の蒸気の抜けを妨げないように、上記圧力でプレスを加えた後に、又はプレスを加えながら加熱することが好ましい。このように熱プレスの条件を制御することで、SiC 粉末の充填を高めることができる。

10

#### 【0038】

上記のように成形しプリフォームを得た後、有機バインダーを脱脂する。脱脂工程の雰囲気は非酸化雰囲気が好ましく、真空中、アルゴン若しくは窒素雰囲気中、又は減圧下でのアルゴン若しくは窒素のパーシャル圧気流中を採用することができる。なかでも真空雰囲気中又は減圧下でのArガスのパーシャル圧気流中が好ましい。真空圧は1 ~ 100 Pa、パーシャル圧は10 ~ 1000 Pa とすることが好ましい。脱脂温度は、800 ~ 1200 が好ましい。また、脱脂工程中の昇温速度は30 / hr 以下が好ましい。

#### 【0039】

プリフォームに Si を浸透させる方法としては、たとえば、融点以上の温度に加熱され溶融した Si をプリフォームと接触させる方法を採用することができる。溶融した Si とプリフォーム中の炭素が反応して - SiC を生成する。浸透工程の雰囲気は、非酸化雰囲気が好ましく、真空中、またはアルゴン雰囲気を採用することができる。真空雰囲気の場合圧力は1 ~ 100 Pa が好ましい。

20

#### 【0040】

浸透温度は、1450 ~ 1600 とすることができる。このような範囲であれば、Si が十分に溶融するので浸透が進行し、また Si の揮発による不良も生じ難い。

#### 【0041】

このような SiC / Si 複合材料の製造方法により、上述の SiC の充填率 86 ~ 94 % を達成し、並びに - SiC 及び - SiC の充填率に関する関係式 64 / (100 - ) 86 を成立させるためには、プリフォームを得るために使用する SiC 粉末、熱可塑性樹脂、カーボン粉末、プレス圧が適宜選択される。

30

#### 【0042】

たとえば、SiC 粉末として、平均粒径が 208 μm の粗粉と、平均粒径が 18 μm の微粉とを 65 / 35 の重量比で配合したものを用い、熱硬化性樹脂として所定量のフェノール樹脂を用い、カーボン粉末として所定量のカーボンビーズを用い、3 MPa のプレス圧を付加し、150 で 3 時間熱プレス成形することによりプリフォームを得ることが必要とされる。

#### 【0043】

次に、本発明の実施例及び比較例について説明する。

#### 【実施例 1】

平均粒径が 208 μm の - SiC 及び平均粒径が 18 μm の - SiC を 65 : 35 の配合比で混合した SiC 粉末に対して、脱脂後の不揮発分が 50 % であるフェノール樹脂と、平均粒径が 6 μm のカーボンビーズとを、フェノール樹脂の含有量が 8 wt %、カーボンビーズの含有量が 7 wt % となるように混合し、原料粉末を作製した。

40

#### 【0044】

次に、この原料粉末に熱プレス成形を施して多孔質 SiC 成形体としてのプリフォームを得た。熱プレス成形は、原料粉末を金型に充填し、150 に加熱しながら 3 MPa のプレス圧を付加し 3 時間を費やして行った。

#### 【0045】

次に、得られたプリフォームについて、10 Pa の真空雰囲気中 1000 で脱脂し、

50

その後、Siと共に10Paの真空雰囲気中で1600℃の温度で3時間保持し、Siを含浸させることによりSiC/Si複合材料を得た。

#### 【0046】

次に、このプリフォームにおける $\alpha$ -SiCの充填率、及びSiC/Si複合材料におけるSiCの充填率 $\beta$ を求め、 $\alpha/\beta \times 100$ を算出した。及び $\alpha + \beta$ はそれぞれ次の式1及び式2により求めた。

#### 【0047】

#### 【数1】

$$\alpha = (a/b) \times c$$

10

#### 【0048】

#### 【数2】

$$\alpha + \beta = \{(d - e) / (f - e)\} \times 100$$

#### 【0049】

ただし、数1式中のaはプリフォームの嵩密度、bは空隙が無い場合のプリフォームの論理密度、cはプリフォーム中の $\alpha$ -SiCの体積分率である。数2式中のdはSiC/Si複合材料の密度、eはSiC/Si複合材料におけるSiの密度、そしてfはSiC/Si複合材料におけるSiCの密度である。

#### 【0050】

なお、密度の値としては、SiCについては3.2g/cm<sup>3</sup>、Siは2.3g/cm<sup>3</sup>、フェノール樹脂は1.2g/cm<sup>3</sup>、カーボンビーズは2.0g/cm<sup>3</sup>を用いて計算した。

20

#### 【0051】

この結果をそれぞれ、表1における実施例1の「SiC充填率 プリフォーム」、「SiC充填率 MMC」、及び「 $\alpha$ -SiC/空隙」の欄に示す。 $\alpha/\beta \times 100$ は、プリフォームにおけるSiC粒子間の空隙をSiの含浸により生じた生成SiCがどの程度充填しているかを示している。

#### 【0052】

なお、本実施例で使用した原料粉末における $\alpha$ -SiCの粒径と配合比、フェノール樹脂及びカーボンビーズの添加量を、併せて表1における実施例1の「 $\alpha$ -SiC粒径」、「 $\alpha$ -SiC配合比」、「フェノール樹脂」、及び「カーボンビーズ」の欄に示す。

30

#### 【0053】

次に、得られたSiC/Si複合材料について、Siスポットの平均直径とヤング率及び熱伝導率を測定した。この結果を表1における実施例1の「Si直径」、「ヤング率」及び「熱伝導率」の欄に示す。

#### 【0054】

#### [実施例2~19]

フェノール樹脂及びカーボンビーズの添加量をそれぞれ、実施例2~19の「フェノール樹脂」、及び「カーボンビーズ」の欄に示す各値とした以外は、実施例1の場合と同様にして、SiC/Si複合材料を取得し、 $\alpha/\beta \times 100$ を算出し、Siスポットの平均直径、ヤング率及び熱伝導率を測定した。この結果を、実施例1の場合と同様にして、表1の実施例2~19の欄に示す。

40

#### 【0055】

#### [実施例20、21]

SiC粉末として、平均粒径が88μmの $\alpha$ -SiC及び平均粒径が13μmの $\alpha$ -SiCを70:30の配合比で混合したものを用い、フェノール樹脂及びカーボンビーズの添加量をそれぞれ、実施例20及び21の「フェノール樹脂」及び「カーボンビーズ」欄に示す各値としたこと以外は、実施例1の場合と同様にして、SiC/Si複合材料を取得し、 $\alpha/\beta \times 100$ を算出し、Siスポットの平均直径、ヤング率及び熱伝導率を

50

測定した。この結果を、実施例1の場合と同様にして、表1の実施例20及び21の欄に示す。

### 【0056】

#### [実施例22、23]

$\text{SiC}$ 粉末として、平均粒径が $60\ \mu\text{m}$ の $\alpha$ - $\text{SiC}$ 及び平均粒径が $9\ \mu\text{m}$ の $\beta$ - $\text{SiC}$ を $70:30$ の配合比で混合したものを用い、フェノール樹脂及びカーボンビーズの添加量をそれぞれ、実施例22及び23の「フェノール樹脂」及び「カーボンビーズ」欄に示す各値としたこと以外は、実施例1の場合と同様にして、 $\text{SiC}/\text{Si}$ 複合材料を取得し、 $\sqrt{(100-\alpha)}$ を算出し、 $\text{Si}$ スポットの平均直径、ヤング率及び熱伝導率を測定した。この結果を、実施例1の場合と同様にして、表1の実施例22及び23の欄に示す。

10

### 【0057】

#### [実施例24~26]

$\text{SiC}$ 粉末として平均粒径が $208\ \mu\text{m}$ 、 $88\ \mu\text{m}$ 、 $60\ \mu\text{m}$ の $\alpha$ - $\text{SiC}$ を単粒で用いて、フェノール樹脂及びカーボンビーズの添加量をそれぞれ、実施例24~26の「フェノール樹脂」及び「カーボンビーズ」欄に示す各値としたこと以外は、実施例1の場合と同様にして、 $\text{SiC}/\text{Si}$ 複合材料を取得し、 $\sqrt{(100-\alpha)}$ を算出し、 $\text{Si}$ スポットの平均直径、ヤング率及び熱伝導率を測定した。この結果を、実施例1の場合と同様にして、表1の実施例24~26の欄に示す。

20

### 【0058】

#### 【表1】

### 実施例

No.	$\alpha$ - $\text{SiC}$				添加量[wt%]	SiC充填率[%]	$\beta$ - $\text{SiC}$ /空隙	Si 直徑 [ $\mu\text{m}$ ]	MMC特性	
	粒径[ $\mu\text{m}$ ]		配合比						ヤング率 [GPa]	熱伝導率 [W/m·K]
	粗粉	微粉	粗粉	微粉						
1	208	18	65	35	8	7	59	88	70	11 383 210
2	208	18	65	35	10	8	60	86	66	9 382 207
3	208	18	65	35	11	6	61	89	74	9 391 211
4	208	18	65	35	11	8	60	89	73	9 394 208
5	208	18	65	35	11	15	55	93	83	3 405 206
6	208	18	65	35	12	8	60	89	74	8 393 208
7	208	18	65	35	12	10	55	88	74	5 389 208
8	208	18	65	35	12	13	56	94	86	3 413 207
9	208	18	65	35	12	14	55	93	84	2 407 207
10	208	18	65	35	13	2	63	86	64	12 380 212
11	208	18	65	35	13	4	62	88	70	10 385 211
12	208	18	65	35	13	8	60	92	80	8 404 209
13	208	18	65	35	13	13	56	92	82	3 401 206
14	208	18	65	35	14	2	64	89	69	12 387 214
15	208	18	65	35	14	10	58	92	82	4 408 207
16	208	18	65	35	14	13	56	93	83	2 405 206
17	208	18	65	35	15	3	63	89	69	11 386 211
18	208	18	65	35	15	8	58	91	79	7 402 209
19	208	18	65	35	15	9	60	94	85	3 411 209
20	88	13	70	30	12	10	55	88	74	4 389 207
21	88	13	70	30	12	14	51	88	75	1 388 195
22	60	9	70	30	13	8	52	87	73	3 385 194
23	60	9	70	30	13	10	48	86	73	1 380 190
24	208	-	100	-	14	8	58	90	76	20 400 208
25	88	-	100	-	14	8	57	89	74	12 395 205
26	60	-	100	-	14	8	55	86	69	9 380 202

30

40

50

## 【0059】

## 【比較例1～10】

使用した $\alpha$ -SiCの粒径と配合比、フェノール樹脂及びカーボンビーズの添加量をそれぞれ、表2の比較例1～10の「 $\alpha$ -SiC粒径」、「 $\alpha$ -SiC配合比」、「フェノール樹脂」、「カーボンビーズ」の欄に示す各値としてプリフォームを形成したこと以外は、実施例1の場合と同様にしてSiC/Si複合材料を取得し、 $/ (100 - \cdot)$ を算出し、Siスポットの平均直径、ヤング率及び熱伝導率を測定した。この結果を、表2の比較例1～10の欄に示す。

## 【0060】

## 【表2】

## 比較例

No.	$\alpha$ -SiC				添加量[wt %]	SiC充填率[%]	$\beta$ -SiC /空隙	Si 直径 [ $\mu$ m]	MMC特性		備考		
	粒径 [ $\mu$ m]		配合比						ヤング率 [GPa]	熱伝導率 [W/m · K]			
	粗粉	微粉	粗粉	微粉					$\alpha$	$\alpha + \beta$	$\beta / (100 - \alpha)$		
1	208	18	65	35	11	17	53	92	82	0.7	402	189	未含浸
2	208	18	65	35	11	19	51	91	81	0.6	400	179	
3	208	18	65	35	12	16	52	95	89	0.5	406	185	
4	208	18	65	35	12	18	52	93	85	0.5	402	180	
5	208	18	65	35	8	5	60	85	63	13	372	188	
6	208	18	65	35	12	0	67	83	48	12	363	180	
7	208	18	65	35	12	2	65	84	56	13	369	185	
8	208	18	65	35	11	4	63	85	61	11	374	189	
9	310	—	100	—	14	8	60	91	78	24	405	209	割れ
10	40	—	100	—	14	8	52	86	56	0.9	380	178	未含浸

## 【0061】

表1及び表2から、SiC/Si複合材料は、SiCの充填率 $+ \cdot$ が、86%（実施例2）～94%（実施例8、19）の範囲内において、380GPa（実施例10、20、26）～413GPa（実施例8）の範囲内のヤング率を達成できることがわかる。また、この充填率 $+ \cdot$ の範囲においては、64（実施例10） $/ (100 - \cdot)$ ～86（実施例8）が成立することがわかる。

## 【0062】

一方、SiCの充填率 $+ \cdot$ が、86%を下回る（比較例5～8）場合には、ヤング率が380GPaを下回ることがわかる。また、この充填率 $+ \cdot$ の範囲においては $/ (100 - \cdot)$ の値は64を下回ることがわかる。

## 【0063】

また、SiCの充填率 $+ \cdot$ が、90%（実施例24）～94%（実施例8）の範囲内においては、400GPa（実施例24）～413GPa（実施例8）の範囲内のヤング率を達成できことがわかる。また、この充填率 $+ \cdot$ の範囲においては、76 $/ (100 - \cdot)$ ～86が成立することがわかる。

## 【0064】

Siスポットの平均直径が $1 \mu\text{m}$ を下回っている比較例1～4、及び10では未含浸が発生し、SiC/Si複合材料組織中にポアや未反応カーボンが存在した。

## 【0065】

Siスポットの平均直径が $20 \mu\text{m}$ を上回っている比較例9ではプリフォーム強度が弱く、保形できずに割れた。

10

20

30

40

---

フロントページの続き

F ターム(参考) 4G001 BA22 BA60 BA62 BB22 BB62 BC12 BC13 BC17 BC33 BC47  
BC54 BD03 BD12 BD13 BE01 BE26