

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	李 泳柱
論文題目	機能性炭化珪素材料の開発とその物理的特性に関する研究		
(論文内容の要旨) 本論文は、次世代原子力エネルギーシステムの安全性・効率性を高めるために要求されている機能性炭化珪素材料の開発を主目的として、その物理的特性について論じた結果をまとめたもので、7章からなっている。 第1章は序論で、世界の人口増加および産業発達に伴うエネルギー消費量の増加に伴う、エネルギー不足、環境破壊の問題を提起し、将来のエネルギーとしての次世代原子力エネルギーシステムの必要性及び安全性について述べられている。また、本研究の目的として次世代原子力エネルギーシステムに要求される特性を満たす機能性炭化珪素開発の必要性がまとめられている。 第2章は概論で、炭化珪素材料の物理特性に及ぼす材料学的因子がまとめられ、物理特性制御方法の議論に基づき、次世代原子力エネルギーシステムに要求される性能及び機能に対応する炭化珪素材料の開発のための材料設計指針が述べられている。更に、従来の炭化珪素材料における限界を把握し、より広範な実用化を目指す機能性炭化珪素材料の開発に向けた新しい概念・方法論が提示されている。 第3章では、ホットプレスを用いた液相焼結法において、従来十分な知見の得られていない1900℃以上の高温を含む温度、圧力及び時間等の焼結条件と微細組織との関係を明らかにし、炭化珪素セラミックスの焼結メカニズムをまとめている。さらに、本研究で目的とする機能性炭化珪素材料を得るための理論的組織制御に向けた材料組織学的知見が述べられている。 第4章では、機能性炭化珪素複合材料のマトリックスに相当する炭化珪素セラミックスの作製法について述べられている。炭化珪素セラミックスに高熱伝導度を付与するため、第3章で得られた知見に基づき結晶粒径制御を行い、従来の液相焼結で作製された炭化珪素セラミックスに比べ、格段に高い熱伝導度を持つ材料を開発した。一方、これとは逆に、断熱性の高い炭化珪素材料の開発も求められていることから、ポーラス構造の炭化珪素の可能性を検討した結果、炭化珪素原料に炭素粉末を添加し、高温大気雰囲気中で脱炭処理を行うことにより、気孔率を制御することが可能になった。 第5章では、次世代原子力エネルギーシステムの構造・機能材料に対する要件を満たす機能性炭化珪素複合材料の開発のため、炭化珪素強化繊維の複合化により、破壊靱性等の強度特性を確保した上で、更に機能性を付与することを目指した材料開発について述べられている。高熱伝導度の炭化珪素複合材料を作製するために、マトリックス炭化珪素の粒径を制御することで高い熱伝導度のマトリックスが適用された。その結果、従来の化学蒸気浸透法で作製される炭化珪素複合材料に比べ、4倍以上の高い熱伝導度を示す機能性			

炭化珪素複合材料の作製に成功し、製造プロセス技術が確立された。

一方、断熱性及び絶縁性が求められる複合材料においては、熱伝導の低いポーラス構造の炭化珪素マトリックスが用いられた。電気伝導においては、繊維/マトリックス間の炭素界面相が問題となることが明らかとなり、ポーラス構造の制御により、炭素界面相の無い複合材料の作製を試み、擬延性や高信頼性を確保すると同時に、十分に低い熱伝導度や電気伝導度を持つ複合材料が開発された。

第6章では、次世代原子力エネルギーシステムの実環境で問題となる中性子照射が炭化珪素複合材料の熱伝導度に及ぼす影響について述べられている。中性子照射された炭化珪素複合材料に対して、照射温度を超える温度まで昇温しながら評価を行い、中性子照射による欠陥の生成と回復が熱伝導に及ぼす効果について、理論的な検証を行った結果、本研究で開発された材料が、目標とする要件を満たす可能性のあることが示された。

第7章は総括であり、本研究の成果と意義について述べている。本研究で得られた機能性のメカニズムの理解に基づく材料の組織・構造制御の技術開発の成果は、核融合を含めた次世代原子力システムに貢献する成果であるとともに、様々なエンジニアリングセラミックスに応用が期待できる成果である。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、機能性炭化珪素材料の開発とその物理的特性に関して研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

炭化珪素材料は高温での優れた強度特性等から、次世代原子力システムをはじめとして、エネルギー分野への応用が期待されている。従来検討されている高エネルギー変換システムへの応用には、高温での強度特性と高い熱伝導度が求められてきた。一方、近年炭化珪素の絶縁性が着目され、機能材料として電気伝導度や熱伝導度の低い材料としての利用も検討されている。本研究では、炭化珪素材料の電気伝導や熱伝導等の物理特性を決める因子を理解するとともに、構造材料としての信頼性が確保された炭化珪素繊維強化複合材料に対して、上記の物理特性制御を行うための材料開発研究を目的としている。

本研究は、①炭化珪素材料の熱特性および電気特性を決める因子の理解、②①に基づいて物理特性を制御した複合材料の開発、③これらの特性に及ぼす環境因子の影響の理解、に大別される。まず、電子顕微鏡等を用いた微細構造評価を行い物理特性との関係を明らかにし、熱伝導度に及ぼす結晶粒因子、複合材料の電気伝導度に及ぼす界面相の因子を明らかにした。これらの知見をもとに、結晶粒制御による高熱伝導炭化珪素複合材料の開発や、界面相が無く、低熱伝導および低電気伝導を示す新しい多孔質マトリックス炭化珪素複合材料の開発を行った。また、実環境で想定される、高温での物性や中性子照射効果の評価を行い、開発した材料が実環境で要件を満たすことを明らかにした。

核融合炉の構造材料やダイバータでは、中性子照射環境下で高い熱伝導度が求められるが、高温熱媒体を利用するためのインサート材では、逆に低い熱伝導度と低い電気伝導度が求められている。本研究では、これらの相反する要件に対応可能な炭化珪素複合材料を提供することに直接貢献する成果が得られており、一般工業分野においても、新たな機能性を備えたエンジニアリングセラミックスとして貢献できるものと期待される。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年2月17日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降