

氏 名	きし もと ひろ たつ 岸 本 弘 立
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 47 号
学位授与の日付	平 成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 応 用 科 学 専 攻
学位論文題目	SiC 材料への照射効果の研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 香 山 晃	教 授 宮 崎 健 創	教 授 木 村 晃 彦
--------	--------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、低放射化材料である炭化珪素 (SiC) の照射下物性の解明と、核融合用構造材料である SiC/SiC 複合材料の開発の応用に関しての加速器照射実験による SiC の微細組織研究成果の報告であり、全7章よりなる。

第1章は、核融合炉開発の経過と現状についての記述であり、これに基づく本研究の位置付けと論文内容の概略を述べている。

第2章においては、SiC への照射効果の理解を容易にするための知識を、論文及び書籍より抽出して要約している。本研究は材料学、加速器工学、原子力工学の各分野の知識の複合により達成されており、金属材料を背景とした核融合炉材料研究で蓄積された知識を基礎とする。加えて SiC の特徴である物性、低放射化特性について詳述し、照射下における核反応、活性化エネルギー研究を紹介している。

第3章は、第2章における知見に基づいて加速器設備を構築し、加速器と核融合炉用セラミックス材料研究に必要なサブシステム構築について記述した。本施設に設置された高温・高線量・核変換ヘリウム生成に代表される核融合炉ブランケット第一壁環境を高精度に模擬するための照射ステーションについて、特に損傷量に対する適正なヘリウム生成比を達成するディグレーダーシステムと BPM システム開発による損傷量評価法確立に重点をおいて述べている。

第4章では、イオン照射による高精度スウェリング評価法の確立とスウェリング挙動評価を通じた欠陥蓄積過程と欠陥の移動、ヘリウム効果について論じている。試料は、CVD 法で作成した高純度 β -SiC より作製し、干渉法を用いたナノスケールの表面形状測定により点欠点スウェリングの精密評価及び透過電子顕微鏡による微細組織挙動評価を行っている。スウェリングは、表面形状測定を用いて温度・損傷量・損傷速度の諸照射条件依存性を個々に明らかにした後、透過性電子顕微鏡観察による組織評価により決定している。これにより得られた SiC のスウェリング挙動と照射下組織変化の結果に、照射効果の一般的知見及びセラミックス物性と活性化エネルギーによる考察を加えている。さらに、照射下における欠陥蓄積挙動の成果を元にスウェリング挙動へのヘリウム効果の評価を行い、ヘリウム効果の温度依存性を初めて見出している。また熱誘起と照射誘起のヘリウム集合体形成挙動を比較研究し、核融合炉環境下におけるヘリウム集合体形成によるスウェリングの定量評価を行っている。これらの結果から、ヘリウムの照射欠陥安定化機構を欠陥生成及び移動の活性化エネルギーにより議論し、欠陥とヘリウムの相関関係を明らかにしている。

第5章では、第4章から得られた SiC の照射効果の知見を元に、SiC/SiC 複合材料の核融合炉における照射下組織挙動を整理した後、デュアル照射実験による重照射研究から商用炉で想定される高温・高線量照射の極限環境における SiC/SiC 複合材料の照射下安定性を明らかにした。工業生産に適した前駆体法により作成された先進 SiC 繊維の高分解能透過電子顕微鏡による原子配列レベルまでの照射効果研究から、結晶粒度と化学量論組成と照射効果の相関を示し、照射環境用構造材料における高結晶化と化学量論組成の重要性を指摘している。これらの基礎的な知見に準じて作成された高結晶化 SiC を用いた SiC/SiC 複合材料をデュアル照射実験に用い、高温・高線量・ヘリウム生成環境における複合材料の組織挙

動評価により、高結晶化 SiC 繊維強化 SiC 複合材料の繊維、マトリックスの寸法安定性を確認するとともに、繊維・マトリックス界面を構成する界面層への照射研究を行っている。複合材用における寸法安定性への繊維被覆・界面構造設計の重要性を指摘し、炭素層の照射効果の定量評価から、多重被覆の照射下組織安定性が優越していることを示し、今後の材料開発の方針を明らかにしている。

第6章では、セラミックス物性を考慮した点欠陥モデルにより SiC のスウェリング挙動を記述し、実験結果との比較研究を通して照射下における欠陥挙動を考察した。転位芯を横断する欠陥の電化を欠陥消滅項として用いることでセラミックスの特徴である電気的中性条件を記述し、照射下における欠陥集合体形成過程とスウェリング挙動の相関の議論を行った。

第7章では、全体の総括を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、核融合炉用構造材料としての SiC の加速器を用いたイオン照射による照射下組織挙動研究の成果をまとめたものである。

SiC の核融合炉に相当する照射効果の研究は極めて少なく、原子レベルの機構論に踏み込む精度を持つ研究はほぼ皆無である。SiC の欠陥蓄積及び14MeV 中性子による核変換生成ガスと欠陥の相互作用は、核融合炉用 SiC/SiC 複合材料の開発指針の確立、使用条件決定及び寿命予測に多大なる影響を及ぼすとされ、本研究の成果は、核融合炉材料開発へ大きく寄与するものである。

本研究においては、高温・高精度材料照射ステーションと付随する測定・制御サブシステムを含む複合ビーム材料照射施設 (DuET) を京都大学に建設してデュアルイオン照射法による SiC/SiC 複合材料ブランケット第一壁の環境模擬を達成し、ナノスケールの表面形状評価による照射誘起体積膨張評価法と先進的加工法による微細組織観察技術を確立して、他の手法では困難であった核融合炉環境下の諸照射条件因子と材料組織挙動の厳密な対応に基づく体系的評価を可能とした。

これらの設備を用いた SiC の照射下スウェリングの評価を行い、さらにデュアルイオン照射実験を通して欠陥挙動へのヘリウム効果を明らかにした。これら SiC の照射下におけるマクロ挙動の精密な評価を通して欠陥挙動を議論し、セラミックス物性に基づく SiC の欠陥集合体形成抑判機構や活性化エネルギーからのヘリウム効果理論を構築した。SiC の照射効果の特徴であるセラミックス物性の照射効果への寄与を点欠陥モデルによって記述し、照射効果寄与因子の検討を行って核融合炉環境下における SiC の照射欠陥蓄積過程の基礎的理論を完成させた。これらの研究成果は核融合炉構造材料開発及びブランケット構造設計への提言となるものであり、原子レベルから工業材料レベルまでの一貫した照射効果理論の体系化を行っている。

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14年2月14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。