

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高速炉用炭化ホウ素中性子吸収材の中性子照射効果
Title(English)	Effect of Fast Neutron Irradiation on B4C Absorber for Fast Reactors
著者(和文)	You Yan
Author(English)	Yan You
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10898号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:矢野 豊彦,小原 徹,小林 能直,高橋 実,吉田 克己
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10898号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	You, Yan		
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	審査員	主査	矢野 豊彦	教授	吉田 克己	准教授
		審査員	小原 徹	教授		
			小林 能直	教授		
			高橋 実	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は Effect of Fast Neutron Irradiation on B₄C Absorber for Fast Reactors (高速炉用炭化ホウ素中性子吸収材の中性子照射効果)と題し、8章からなっている。

第1章“Introduction”では、まず初めに高速炉制御材として用いられている炭化ホウ素(B₄C)の諸特性を概観し、その制御材としての利点に言及している。次いで、中性子吸収材として用いるときの課題について、中性子照射に関する既往研究を整理し、中性子吸収反応により生成する He や原子空孔による組織変化とそれに伴う耐熱衝撃性の低下が制御棒の寿命を制約する主な要因であり、安全性の向上と長寿命化を達成するためには、実制御材中に中性子照射により導入される欠陥、特に He や原子空孔の挙動解明が重要であると指摘し、本研究の意義と目的を述べている。

第2章“Neutron-Irradiated B₄C samples for experiments”では、本研究に用いた高速炉常陽で使用した B₄C 制御材の性状、推定燃焼度、推定照射温度などの照射条件について記載している。

第3章“XRD analysis of the neutron-irradiated B₄C”では、照射による格子定数と半値幅の変化を X 線回折法により測定し、未照射試料のそれと比較し、B₄C が a 軸は膨張し c 軸は収縮するという異方的な変化をすることと、照射により半値幅が大きくなることを燃焼度の異なる試料に関して明らかにしている。次いで、種々の温度で照射試料を最高 1000°C まで段階的に熱処理して格子定数変化を計測し、a 軸は 600°C 程度、c 軸は 900°C 程度で照射以前の値に回復するが、半値幅はあまり回復しないことを明らかにしている。すなわち、1000°C までの熱処理では一部の欠陥は回復しないと指摘している。

第4章“TEM observation of the neutron-irradiated B₄C samples”では、透過型電子顕微鏡を用いて、照射 B₄C の微構造を観察し、次のことを明らかにしている。実制御棒の B₄C では、中および高燃焼度試料には、直径が数 nm の球状あるいは楕円状の He バブルが粒内に鎖状に形成されていたが、一定温度で照射した B₄C 試料には板状の He バブルが(111)面上に形成されていることを明らかにし、照射条件により形状が異なる理由として、実制御棒では He バブルの成長が抑制されるためであると推論している。さらに、高温試料ホルダーを用いた電子顕微鏡内その場加熱実験では、800°C 以上で試料表面に液滴状の噴出物が形成されることを見出し、別途実施した加熱後の X 線回折結果と総合することにより、もう一つの核反応生成物である Li 原子の挙動を初めて実験的に明らかにしている。

第5章“Density functional theory”では、第6~7章で行う第一原理シミュレーションの基礎となる密度汎関数理論(DFT)に関して解説している。

第6章“First-principles investigation of neutron-irradiation-induced point defects in B₄C”では、DFT を基礎とした第一原理計算により、B₄C 結晶中の点欠陥の生成エネルギーを比較し、さらに、それらの移動度を推定している。まず初めにエネルギー的に安定な B₄C の結晶構造を特定し、種々の原子位置に置いた空孔の安定度、および格子間位置に配置した He 原子ならびに B および C 格子間原子の安定度とそれらの移動度を評価している。その結果 C-B-C 直鎖の中間の B 空孔が相対的に容易に形成すること、B₁₂ 籠状構造は極めて安定であること、He や格子間原子の(111)面内の移動が容易であること、Li も同様であること、さらに、B および C 格子間原子の移動度は小さいこと等を明らかにしている。

第7章“First-principles study on the helium migration energies in B₁₂X₂ (X=O, Si, P, As) crystals”では、塑性変形能が高く、より耐照射損傷性に優れていると推定される B₄C 類似構造を有する B₁₂X₂(X=O, Si, P, As)結晶に関して、第7章と同様に第一原理計算により各結晶内での He の移動度を評価している。その結果、B₁₂O₂ と B₁₂Si₂ 結晶では、He の移動は B₄C 結晶に比べてより容易であることを見出しており、それらの制御材としての可能性を提案している。

第8章“Conclusions”では、各章で得られた成果を総括して本研究の結論を述べている。

これを要するに、本論文は高速炉常陽で実際に使用された制御棒材料である B₄C の燃焼による特性変化を実験により明らかにし、また、第一原理計算により理論的に解析し、さらに、新規な制御材候補を提示しており、高速炉の制御材に関して新たな知見を明らかにしたもので、高速炉開発に関して学術上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(学術)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。