

Title	High-energy-beam induced amorphous structures in SiC and their recrystallization processes
Author(s)	裴, 寅兌
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/45902
DOI	
rights	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏 名	峯 寛 允
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 19031 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 9 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科マテリアル科学専攻
学 位 論 文 名	High-energy-beam induced amorphous structures in SiC and their recrystallization processes (高エネルギービーム照射による SiC の非晶質化と再結晶化過程)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 弘 津 禎 彦 (副査) 教 授 森 博 太 郎 教 授 白 井 泰 治 助 教 授 石 丸 学

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、原子炉の構造材料、半導体デバイスの基板材料としての応用が考えられているシリコンカーバイド (SiC) のイオンおよび電子線照射誘起構造変化を透過電子顕微鏡法ならびに計算機シミュレーションにより調べ、本物質のアモルファス化および再結晶化過程に関して考察を行ったものであり、以下の 6 章から構成されている。

第 1 章では、本論文の歴史的背景、研究目的および論文の構成について述べている。

第 2 章では、本論文で用いたアモルファス構造解析手法である電子線動径分布解析法の詳細ならびに本手法の有有用性について述べている。

第 3 章では、Ar イオン照射により誘起されたアモルファス SiC の化学的短範囲規則状態を電子線動径分布解析法により調べ、アモルファス状態では結晶 SiC の原子配置と異なり、異種原子対 (Si-C) と同種原子対 (Si-Si、C-C) が第 1 隣接原子として共存することを見出している。熱処理により第 1 隣接原子としての同種原子対は減少するのに対し異種原子対は増加し、構造緩和に伴い化学的不規則性が減少することを明らかにした。これらの実験で得られた構造モデルの妥当性を分子動力学シミュレーションにより確認した。

第 4 章では、アモルファス SiC の固相エピタキシャル成長過程について調べた結果を述べている。異なる照射量で Xe イオン注入を施した SiC の構造解析を行い、照射量の増加に伴いアモルファス構造はより化学的不規則状態に移行すると共に、構造緩和ならびに再結晶化が遅れることを見出した。加えて、高分解能透過電子顕微鏡法およびエネルギー分散型 X 線分光法により、再結晶層での不純物元素分布について調べ、再結晶化過程および双晶形成との関係を明らかにした。

第 5 章では、電子線照射に伴う SiC の構造変化を「その場」観察により調べた結果について述べている。室温での電子線照射では、炭素原子のみが優先的にはじき出される条件でアモルファス化が起こることを見出し、格子間原子の蓄積が本物質のアモルファス化に寄与することを提案している。また、炭素原子の優先はじき出しに起因して、アモルファス SiC からアモルファスシリコンへの構造変化が長時間の電子線照射で起こることを見出した。一方、高温での電子線照射では SiC のアモルファス化が抑制され、結晶 SiC から結晶シリコンへの構造変化が起こることを見出すと共に、その形成メカニズムについて考察した。

第6章では、本研究で得られた結果を総括し、本論文を締めくくっている。

論文審査の結果の要旨

シリコンカーバイド (SiC) は、次世代の半導体デバイス材料、原子炉材料として注目されている。前者の応用にはイオン注入によるドーピング技術の確立が、後者の応用には照射下における材料の損傷過程に関する情報が必要不可欠である。このため、エネルギービーム誘起構造変化に関する知見は、将来の電力・エネルギー関連産業上極めて重要である。本論文は、電子線照射ならびにイオン照射による SiC の構造変化ならびに照射損傷の回復過程を系統的に調べ、多くの基礎的知見を得ている。主な成果を要約すると以下のようになる。

- (1) 従来の X 線回折や電子回折に較べて、より高い空間周波数領域までの電子回折図形の精密強度解析を行い、空間分解能の高い 2 体分布関数を求めている。その結果、アモルファス SiC の第 1 隣接原子間では異種原子対 (Si-C) と同種原子対 (Si-Si、C-C) が共存することを回折手法により初めて実証している。
- (2) 電子線動径分布解析ならびに分子動力学シミュレーションによりアニールに伴うアモルファス SiC の構造変化を調べ、構造緩和に伴い同種原子対と異種原子対の比が変化することを明らかにしている。加えて、照射量が大きくなるとアモルファス SiC の化学的不規則性が顕著になり、構造緩和が起こりにくくなることを見い出している。
- (3) 高分解能電子顕微鏡法およびエネルギー分散型 X 線分光法によりアモルファス SiC の固相エピタキシャル成長を調べ、再結晶化に伴い結晶/アモルファス界面において不純物元素の蓄積が起こること、この不純物元素の取り込みに関連して双晶が発生することを見い出した。従来報告されているアモルファス SiC の固相エピタキシャル成長温度は 700~1500°C と研究者によりばらついていたが、イオン注入量をパラメーターとすることにより統一的に解釈出来ることを示した。
- (4) 電界放出型電子銃を搭載した透過電子顕微鏡を用いて結晶 SiC への電子線照射の「その場」観察を行い、高照射量のもとでの結晶 SiC の構造変化過程を調べている。その結果、SiC の構成元素のうち炭素原子のみが優先的にはじき出される照射条件で、室温では SiC のアモルファス化が起こることを見い出し、格子間原子の蓄積が照射誘起アモルファス化を引き起こすことを提案している。加えて、照射温度を変化させることにより室温~200°C ではアモルファスシリコンが、200~600°C では結晶シリコンが形成されることを見い出している。

以上のように、本論文は透過電子顕微鏡法および計算機シミュレーションにより、SiC の照射誘起構造変化を調べ、SiC のアモルファス化過程、構造緩和過程、再結晶化過程の詳細を明らかにしており、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。