



Title	定常水素・炭素混合ビーム装置の開発とタングステンへの照射効果に関する研究
Author(s)	島田, 朋尚
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44213
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	島 田 朋 尚
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 7 8 4 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 15 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	定常水素・炭素混合ビーム装置の開発とタングステンへの照射効果に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 西川 雅弘 (副査) 教 授 朝日 一 教 授 田中 和夫 教 授 飯田 敏行 教 授 堀池 寛 教 授 三間 罔興 教 授 西原 功修 教 授 栗津 邦男 助教授 上田 良夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では水素イオンと同時に炭素イオンを長時間連続して照射できるような定常高粒子束イオンビーム装置 (High Flux Ion beam Test device : HiFIT) を開発した。そして、HiFIT により、水素・炭素混合ビームをタングステンに照射したときに試料表面に及ぼす効果について論じた。

論文の構成は、以下のような 6 章構成であった。

第 1 章では緒言として、国際熱核融合実験炉 (ITER) に代表される次世代型核融合炉における運転パラメータや、核融合炉としてのタングステン材料に関する位置付け、本研究の目的について説明した。

第 2 章では、定常高粒子束イオンビーム装置の開発について報告した。実際に装置より引き出されたビームのエネルギーや粒子束に関して核融合炉第一壁 ($100\sim 500\text{ eV}$; $10^{19}\sim 10^{21}/\text{m}^2\text{s}$)、バップル ($1\sim 100\text{ eV}$ 、 $10^{20}\sim 10^{22}/\text{m}^2\text{s}$) にほぼ相当するビームを引き出すことが出来たことを説明した。

第 3 章では、水素・炭素混合ビーム中に含まれる成分比の構成及びその定量的な評価に関する説明を行った。質量スペクトルの測定結果より、各イオンの定量的な評価を行うことが可能であること、炭素イオンを含んだ水素プラズマを生成し、水素・炭素混合ビーム中の炭素の割合を $0.05\sim 10\%$ まで制御できたことを示した。

第 4 章では、混合ビームを実際にタングステン表面に照射したときに及ぼす表面効果についての結果を報告した。ビーム中に含まれる炭素イオンの割合により試料表面状態が大きく変わることを初めて実験的に示したこと、また、照射後の試料表面状態は、ビーム照射量や試料温度、ビームエネルギーにも大きく依存したことを説明した。

第 5 章では、試料の断面観察や X 線光電子分光法を用いた元素分析により、ブリスタが如何にして形成されたのか、その発生機構に関して検証を行ったことを報告した。照射後の試料表面を覆うタングステンカーバイド (WC) が水素にとって表面方向への拡散の障壁となることで水素の試料内部方向への拡散を促進し材料中の結晶粒界に捕捉されたこと、そして捕捉された水素の内部圧力により粒界に沿って亀裂が広がったことによりブリスタが形成されるのではないかと考察したことを述べた。

第 6 章では、結論として本研究で得られた主たる総括を述べた。

論文審査の結果の要旨

タングステンは、高融点、低損耗、低ガス吸蔵といった特徴を持っており、核融合炉対向壁用材料候補として注目されている。国際熱核融合実験炉（International Thermonuclear Experimental Reactor : ITER）における設計報告においても、ダイバータにて熱負荷が集中するストライクポイントでは従来から対向壁として使用されている炭素材の使用が検討されているが、ダイバータのドームやバッフルでは大型トカマク装置としては初めてタングステンを使用することが検討されている。そのため、実際にプラズマを点火した際、ダイバータにおいて損耗してイオン化された炭素がタングステンに入射することで、損耗や堆積のみならずプリスタリングに代表される表面状態の変化、水素やヘリウムガスの吸蔵に大きな影響を与えることが懸念される。

ITER では、入射イオンのエネルギーや粒子束に関して、第一壁では $100\sim 500$ eV、 $10^{19}\sim 10^{21}/\text{m}^2\text{s}$ 、ダイバータでは $1\sim 100$ eV、 $< 10^{24}/\text{m}^2\text{s}$ と想定されており、さらに従来型のトカマク炉にくらべて長時間の放電（約 400 秒）が計画されている。

そこで、本研究では水素イオンと同時に炭素イオンを ITER の第一壁環境に近いエネルギーと粒子束で長時間連続して照射できるような定常高粒子束イオンビーム装置の開発、及び、水素・炭素混合ビームをタングステンに照射したときに試料表面に及ぼす効果について調べている。本論文で得られた成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 定常高粒子束イオンビーム装置（HiFIT）の開発を行い、イオンビームのエネルギーや粒子束が、核融合炉第一壁やバッフルの環境にほぼ相当することが述べられている。
- (2) イオン源内に炭素板を設置するか或いはメタンガスを導入することにより、炭素イオンを含んだ水素プラズマを生成することで、水素と炭素の混合イオンビーム中に含まれる炭素の割合を $0.05\sim 10\%$ まで制御できること、また、質量分析器内に設置しているガスセル内に水素ガスを導入して各イオンの実効的な反応断面積を求めることにより、イオンビームの各成分を精密に決定したことが述べられている。
- (3) 炭素の割合をパラメータとして、水素・炭素混合ビームをタングステン多結晶焼結材に照射したところ、 0.11% では炭素及び酸素イオンによる損耗が起こるのみでプリスタの形成は確認されないこと、 0.35% 以上では照射後にプリスタの形成が確認されたこと、 0.95% の場合は、 0.35% の場合と比較してより多数のプリスタ（ 50 個/ mm^2 から 270 個/ mm^2 程度へ）、より形の大きなプリスタ（最大約 1 mm）が形成されたこと、 2.35% ではビーム中の炭素が試料表面に堆積しプリスタは形成されなかったことを明らかにしている。また、プリスタはビームのエネルギーが $0.3\sim 3.0$ keV の間において形成されること、ビームの照射量や試料温度がそれぞれ、 $3.7\times 10^{23}/\text{m}^2$ 以上、 388 K～ 738 K で形成されることも明らかにしている。タングステン多結晶応力除去材においても同様の現象が確認されている。
- (4) 試料断面の組織観察や表面分析を行うことで、プリスタが形成される機構について考察を行ったところ、試料表面に形成されたプリスタの断面観察より、表面から約 $20\ \mu\text{m}$ 内部において、横方向への亀裂が生じていることを確認している。この亀裂の発生原因を調べるために、未照射試料断面の組織観察を行ったところ、断面には表面に並行な方向に密に結晶粒界が存在していたことを明らかにしている。

また、表面分析の結果、プリスタが形成されている試料には、タングステンがすべて周辺の炭素と結合してカーバイド状に変化する層が発生していたことを確認している。表面に形成された WC 層が水素にとって表面方向への拡散の障壁となるため、水素の試料内部方向への拡散を促進し、材料に備わっている結晶粒界に捕捉されること、そして捕捉された水素の内部圧力により粒界に沿って亀裂が広がったことがプリスタ形成の原因ではないかと考察している。

以上のように、本論文は、低エネルギーで高粒子束の水素・炭素混合ビームを定常的に引き出すことに成功し、混合イオンビーム中に含まれる炭素成分比の違いにより、試料表面状態が大きく変化することを初めて実験的に示したものである。これらの成果は、核融合炉におけるプラズマとタングステン材料との相互作用研究の分野において非常に大きく寄与するものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。