

陽電子消滅分光法を用いたタングステン中の格子欠陥と水素の相互作用の検出 Detection of Interaction between lattice defect and hydrogen in tungsten using Positron Annihilation Lifetime

廣佐古 晃⁽¹⁾, 佐藤 紘一⁽¹⁾, 徐 虬⁽²⁾, 笠田 竜太⁽³⁾, 藪内 聖皓⁽³⁾, 木村 晃彦⁽³⁾

A. Hiroosako⁽¹⁾, K. Sato⁽¹⁾, Q. Xu⁽²⁾, R. Kasada⁽³⁾, A. Yabuuchi⁽³⁾, A. Kimura⁽³⁾

⁽¹⁾ 鹿児島大学理工学研究科, ⁽²⁾ 京都大学原子炉実験所, ⁽³⁾ 京都大学エネルギー理工学研究所

⁽¹⁾ Department of Science and Engineering, Graduate School of Kagoshima University

⁽²⁾ Research Reactor Institute, Kyoto University

⁽³⁾ Institute for Advanced Energy, Kyoto University

緒言

核融合炉におけるプラズマ対向材料は、高エネルギーで高線量の中性子照射に加えて、10keVまでの水素やヘリウムによる照射やプラズマからの熱負荷に耐えなければならない。プラズマ対向材料を選択する上での基準として高融点、高熱伝導率、低スパッタリング率があげられる。タングステン、モリブデン（高Z材料）はプラズマ内に不純物として混入した場合にはプラズマのパワー損失につながりやすいという欠点があるが、優れた熱特性と耐スパッタリング性をもつため、プラズマ対向材料として研究されている。本来、タングステンには水素が固溶しにくい、原子空孔などの格子欠陥との結びつきが強いため、格子欠陥が存在すると材料内部での水素保持量が多くなる。本研究の目的は陽電子消滅分光法を用いてタングステン中の格子欠陥と水素の相互作用を調べることが可能であることを示すことと、水素の保持が材料の硬さに与える影響を調べることである。

実験手順

本研究ではアライドマテリアル製の純度99.95%厚さ0.2mmタングステン板をレーザー放電加工により5mmφのディスク状に加工した。10⁻⁴ Pa以下の真空中で1773K、1時間の熱処理を行い、ひずみを取り除いた。試料内部に照射損傷として単空孔を導入するために京都大学原子炉実験所のLINACで電子線照射を行った。照射条件は粒子エネルギー8MeV、照射温度363Kで、フルエンス(損傷量)は1.4×10²¹/m² ~ 6.5×10²²/m² (1.4×10⁻⁵dpa~6.4×10⁻⁴dpa)とした。照射材に対し、573K、240h、10⁻⁴ Pa以下の真空中で熱処理を行い、空孔集合体を形成させた。その後、高圧ガスチャージによって試料内部の原子空孔に水素原子を捕獲させた。水素を試料全体に十分に充填させるためにチャージ条件は圧力5.8 MPa、炉内温度573K、チャージ時間240hとした。水素チャージ後323K~573Kまで50Kずつ温度を上げて1時間の等時焼鈍を行い、空孔に捕獲された水素原子が放出される過程を観察した。

試料内部の空孔と水素の検出には陽電子消滅寿命測定法を用いた。装置の時間分解能は190psで、200万カウント以上を溜めて得たスペクトルをPALSfitで成分分解し、欠陥に関する情報を得た。また同時にマイクロビッカース硬さ試験を、荷重0.987N、押し込み時間10秒、試験回数10回の試験条件で行い、照射損傷、水素チャージ、等時焼鈍による硬さへの影響を調べた。

結果と考察

陽電子消滅寿命測定により電子線照射された試料の寿命値は174psであった。これにより試料内部に単空孔が形成されていることがわかった。またフルエンスの増加に伴い長寿命成分のIntensityが増加することから、空孔濃度が増加していることが分かった。照射後の試料に水素チャージを行うと、寿命値が152psまで減少することが確認できた。これはシミュレーションから求められた単空孔に1つの水素原子が捕獲された時の寿命値に近い値なので^[1]、この結果より試料内部の単空孔に水素が捕獲されていることが分かった。水素チャージした各照射材を573Kまで1時間の等時焼鈍を行った結果、573K1時間の焼鈍まででは寿命値の変化は確認できなかった。これより、空孔内部の水素原子がまだ解離していないことが考えられる。また、ビッカース硬さ試験では、照射後の硬さの上昇は確認できなかったが、水素チャージ後には明らかな硬さの上昇が確認できた。これは水素原子が空孔捕獲され、変形時に転位の動きを阻害することで硬さの上昇に至ったと考えられる。その後等時焼鈍を行うと、573Kで硬さの回復が確認できたので、空孔から水素原子が解離していることが確認できた。

今後はさらに573Kの等温で焼鈍を行っていき、単空孔から水素原子が解離する挙動を陽電子消滅寿命測定法で調べる。

参考文献

[1] T. Troev, E. Popov, P. Staikov, T. Yoshiie, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267 (2009) 535-541.