

高温プラズマ・壁相互作用による再堆積層の形成挙動とその特性

九大・総理工 時谷政行, 島根大・総理工 宮本光貴, 九大・応力研 徳永和俊, 九大・応力研 藤原 正,
 九大・応力研 吉田直亮, 九大・応力研 関子秀樹, 九大・応力研 坂本瑞樹, 九大・応力研 花田和明,
 九大・応力研 TRIAM 実験グループ, 東北大・金研 永田晋二, 東北大・金研 土屋 文

1. はじめに

高温プラズマ閉じ込め装置において, 高密度のプラズマを長時間に亘り維持・制御するためには, 燃料粒子リサイクリングとそれに伴う壁排気特性の理解が重要である. 九州大学応用力学研究所の TRIAM-1M では, 連続した大きな壁排気と一時的な壁排気能力の減少が確認されており[1], このような壁排気なしでは TRIAM-1M のプラズマ維持は困難であることも報告されている[2]. TRIAM-1M では, リミターとダイバータに Mo が使用されており, 放電中に飛散した Mo 粒子によって真空容器表面は金属共堆積層で覆われる. 金属共堆積層であっても水素同位体を保持することが実験的に報告されており, 実機中で形成された共堆積層に保持された水素の定量は TRIAM-1M の壁排気特性を理解する上で極めて重要である. 本研究では, 東北大学金属材料研究所のタンデム加速器を用い, 共堆積層の厚さとそこに保持された水素の定量分析を実施した. 本報告書では, 現在までに得られている成果の一部を報告する.

2. 研究経過

TRIAM-1M に設置されているマテリアルプローブシステムを用い, 水素プラズマ放電中に材料照射実験を行った. プローブ試料には鏡面研磨を施した単結晶 Si と多結晶タングステンを用いた. 図 1 に照射時の試料位置を示す. 試料を固定したコレクタープローブをスクレイブ・オフ層(SOL)まで挿入した. コレクタープローブ上における試料位置をプラズマ電流に対して E-Side(Electron-drift-side), P-Side(Plasma-facing-side)とし, 双方に 45 度の角度を持つ面を Slope と定義した. まず, 長時間の定常運転における壁排気特性を確認するために, 低密度($n_e \sim 10^{18} \text{m}^{-3}$)の長時間(1 shot, 4320s)放電への照射実験を行った. さらに, 今後の核融合実験装置において求められる高密度プラズマ放電時の壁排気特性を検討する目的で, 高密度($n_e \sim 10^{19} \text{m}^{-3}$)プラズマの短パルス繰り返し放電(186 shot, 計 407s)への照射実験を行った. 照射後の試料表面に堆積した Mo 堆積層の厚さとそこに保持されている水素量をラザフォード後方散乱法(RBS), 反跳粒子検出法(ERD)によって定量化した.

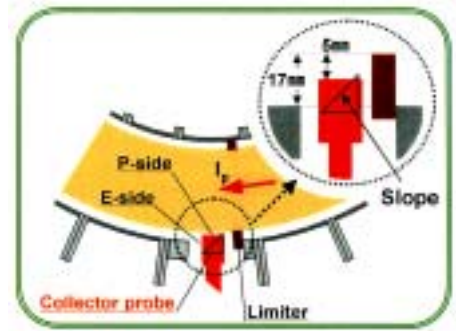


図 1. TRIAM-1M における照射試料位置

3. 研究成果

図 2 に低密度長時間放電において形成された共堆積層中の Mo と水素の濃度比を, 同じく図 3 に高密度放電において形成された共堆積層中の Mo と水素の濃度比をそれぞれ示した. 両放電ともに試料の位置によって様々な厚さの堆積層 (1 ~ 30nm) が確認された. 堆積層の結晶構造は低密度放電の P-side では 1-2nm の fcc 多結晶構造であったが, 低密度放電の E-Side 及び高密度放電の P-Side, E-Side では 10-20nm

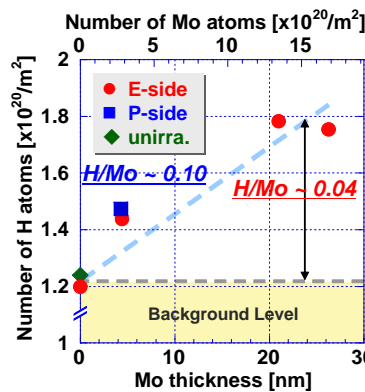


図 2. 低密度放電(4320s)において形成された共堆積層中の Mo と水素の濃度比

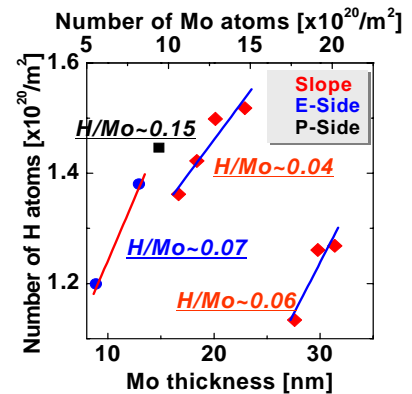


図 3. 高密度放電(407s)において形成された共堆積層中の Mo と水素の濃度比

の bcc 多結晶で構成されていた. 真空容器中の酸素と Mo が共堆積した場合に fcc の微細粒が形成されること知られているが[3], 高密度放電の P-Side の場合では早い堆積速度であったため堆積層中に酸素が取り込まれ, Mo と酸素の共堆積層が容易に形成されたのではないかと考えられる. 図 2 と図 3 からわかるように, 総放電時間から算出される Mo の堆積速度は高密度放電の方が低密度放電と比較して約 10 倍高い. しかしながら, 共堆積層中に保持された水素から算出される水素濃度(H/Mo)は低密度放電の場合 0.04 ~ 0.10, 高密度放電の場合 0.04 ~ 0.15 であり, その差はほとんどないと言える. これらの結果から導出された TRIAM-1M における壁排気率は, 低密度放電の場合 $\sim 1.3 \times 10^{16}$ [$\text{H}/\text{m}^2\text{s}$], 高密度放電の場合 $\sim 3.6 \times 10^{17}$ [$\text{H}/\text{m}^2\text{s}$]であった. これらの値は低密度放電, 高密度放電それぞれにおいて報

告されている粒子バランスから求めた壁排気率[1]にほぼ等しく，TRIAM-1Mにおける大きな壁排気を十分に説明できるものである。

4. まとめ

TRIAM-1M 材料プローブ実験後，試料上に形成された共堆積層の厚さとそこに保持されている水素量をラザフォード後方散乱法(RBS)及び反跳粒子検出法(ERD)によって定量化した。その結果，低密度放電，高密度放電後の共堆積層中には粒子バランスから導出された壁排気率を十分に説明できる量の水素が保持されていることが確認された。これらの結果から，金属不純物の共堆積層は TRIAM-1M における壁排気に重要な役割を果たし，共堆積層が形成され続ける限り，TRIAM-1M における壁排気は飽和することなく持続することが明らかになった。

イオンビーム分析を用いた材料分析がプラズマ・壁相互作用の研究において有効であることがこのたびの共同研究によって示された。

高密度放電における壁排気特性について，第 12 回核融合材料の国際会議(ICFRM-12)にて報告予定である。

References

- [1] M. Sakamoto et al., Nucl. Fusion 42 (2002) 165-168
- [2] Y. Hirooka et al., J. Nucl. Mater. 313-316 (2003) 588-594
- [3] T. Hirai et al., J. Nucl. Mater. 283-287 (2000) 1177-1181

5. 発表(投稿)論文

“The effect of co-deposition of hydrogen and metals on wall pumping in long duration plasma in TRIAM-1M”, M. Miyamoto, M. Tokitani, K. Tokunaga, T. Fujiwara, N. Yoshida, M. Sakamoto, H. Zushi, S. Nagata, K. Ono, TRIAM group J.Nucl. Mater. 337-339 (2005) 436-440