

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14511 号
------	---------------

氏 名 田村 晃汰

論 文 題 目

SnおよびSn-Bi-Li-Er合金の水素プラズマ相互作用に関する研究
(Study on hydrogen plasma interaction of Sn and Sn-Bi-Li-Er alloy)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	豊田 浩孝
委員	名古屋大学	低温プラズマ科学研究センター	教授	堀 勝
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	大野 哲靖
委員	富山大学	水素同位体科学研究センター	教授	波多野 雄治

論文審査の結果の要旨

田村晃汰君提出の論文「SnおよびSn-Bi-Li-Er合金の水素プラズマ相互作用に関する研究」は、核融合炉におけるプラズマ対向機器の候補材料として注目されているSnおよびSn-Bi-Li-Er合金(SBLE)について、非熱平衡水素プラズマを用いた基礎実験により水素プラズマ照射下での特性を明らかにすることを目的とし、固体および液体Snへの水素プラズマ照射における水素吸蔵量、水素プラズマによるスパッタリング収率について評価するとともに、液体SBLEへの水素プラズマ照射における発泡現象という新しい現象を発見し、その挙動について報告している。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、まず近年の世界的なエネルギー需要や環境対策への動向から、化石燃料を用いた発電手段の代替として核融合炉を用いた核融合発電が有望であることについて述べている。続いて、商用発電用核融合炉の実現において最も重要な機器であるダイバータ、ブランケットについて触れ、それらへの工学的要求、現状の課題について述べた。そして、それらを解決することが期待されるSn系液体金属を用いた液体金属ダイバータ、カートリッジ式液体金属ブランケットのコンセプトについて解説がされている。さらに、液体金属ダイバータの候補材料としてSnを、カートリッジ式液体金属ブランケットで用いられるブランケット流体の候補材料としてSn-Bi-Li-Er合金(SBLE)を挙げ、それらと水素同位体プラズマ相互作用に関する先行研究および課題について述べている。そしてこれらをもとにした本研究の目的として、非熱平衡水素プラズマ照射を行った際のSnおよびSBLEの挙動を、実験室レベルのプラズマ装置を用いて調査する旨を述べている。

第2章では、第3章から第5章にて用いた真空装置やプラズマ生成手法、測定機器および測定法についての説明がされている。

第3章では、固体Sn、および液体Snへ直流グロー放電によって生成したH₂プラズマ照射を行った際のSnの水素吸蔵量測定について述べている。水素吸蔵量測定には昇温脱離法(TDS)が採用され、TDS測定の際に必要な、TDS装置部の実効排気速度、実験装置で生成されるプラズマのイオン組成などを求めた上で、H₂プラズマ照射を固体Sn試料に対して行い、水素吸蔵量の測定が行われた。プラズマ照射時間を変化させることで水素イオンフルエンスを変化させつつ固体Snの水素吸蔵量を測定したところ、水素吸蔵量の線形的な増加が見られた。この結果からSnの水素吸蔵比を求めたところ、10⁻³という値が得られた。これを固体ダイバータ材料であるW、CFCなどと比較したところ、同様のプラズマ照射条件におけるW、CFCよりも固体Snは低水素吸蔵性を示すことが述べられている。続いて、液体SnへH₂プラズマ照射を行い、同様にTDS測定を行ったところ、吸蔵水素の存在を示す信号は検出されず、定量的な水素吸蔵比は算出できなかったものの、液体Snが固体Snよりさらに低い水素残留性を持つことを示唆する結果が得られた。これらの結果は、低電子温度の水素プラズマを定常照射した際のSnの低水素吸蔵性を定量的に評価したものであり、Snの液体金属ダイバータへの高い応用性を示唆する重要な知見である。

第4章においては、H₂プラズマ照射時のSnのスパッタリング挙動について述べられている。スパッタリングの測定には原子吸光分光法(AAS)が用いられている。今回用いられたプラズマ装置では、AASによって観測されるSn原子の光吸収による測定光透過率の変化は0.03程度と小さいことが予測されたため、透過率変化を精度よく測定できるよう、光強度の積算、繰り返し測定を行える測定系が構築されている。AAS測定においては、Sn試料への印加バイアス電圧を変化させた際の透過率変化から、スパッタされるSn原子密度を算出しており、Sn原子密度のICP電力依存性を測定したところ、ICP電力の増加に対応した線形増加が確認されている。続いて、試料からのスパッタリングで放出されるSn原子のフラックスを計算し、イオン粒子フラックスと比較することでスパッタ収率を算出したところ、 ~ 0.01 atoms/ionという値が得られた。加えて、試料温度の増加により、スパッタ収率が增大するという傾向も観測された。このスパッタ収率を、先行研究によって示された水素イオンビーム照射によるSnスパッタ収率から、本実験と同様の実験条件に外挿した推定値と比較したところ、およそ20%程度スパッタ収率が増加していることが示唆された。加えて、液体金属ダイバータの候補材料である液体Li、液体Sn-Liの水素イオンビームによるスパッタ収率との比較から、Snがこれらと比較してスパッタリングされにくい材料であることを示している。この結果は、定常的なH₂プラズマ照射下にあるSnの挙動について、スパッタリングという動的な水素プラズマとの相互作用について重要な知見を与えるものである他、プラズマ照射時とイオンビーム照射時のスパッタ収率について差異が発生する可能性が得られていることも、有用な知見である。

第5章においては、SBLEへのH₂プラズマ照射実験と、その際に見られる発泡現象について述べている。SBLEを真空中で液化させ、H₂ガス環境下での攪拌を行った後にH₂プラズマ照射を行ったところ、SBLEの発泡現象が観測された。さらに、直流負バイアス印加によってLi原子に由来したオレンジ色の発光が見られることも発見され、また、高速度赤外線カメラによる測定の結果、泡の破裂による液滴放出が示されている。その後装置を変更し、四重極質量分析器(QMA)による発泡現象の定量的な測定を試みた。まず、QMAにより発泡中のH₂分圧変化を測定したところ、泡内部にH₂ガスが蓄積されていることが明らかにされた。続いて、SBLEへのイオン粒子フラックスを変化させつつ高速度カメラとQMAによる同時測定を行ったところ、イオン粒子フラックスの増加によって泡破裂あたりのH₂放出量および時間平均的なH₂放出量が増加することが示された。さらに、泡殻の組成を調査するために、前述の液滴放出によって飛散する液滴を収集し、X線光電子分光法による組成分析を行った。その結果、泡殻がほぼLiで構成されていることを示唆するデータが得られている。そして、上記の測定から得られた結果より、SBLEにおける発泡発生機構の考察、Li組成が発泡現象に及ぼす影響などについて議論されており、さらに核融合炉

論文審査の結果の要旨

での使用を想定した場合、発泡現象への対策が不可欠であることについても言及されている。本章における結果は、SBLEの発泡現象という新しい現象の報告がなされており、学術的に非常に価値が高い。また、これまでほとんど報告例のない、三元素以上の合金液体金属と水素プラズマの相互作用という面でも先駆的なデータを提供しており、重要な知見を与えている。

第6章では、本論文の内容を総括し、今後の展望について記述している。

以上のように本論文ではSnおよびSBLE合金の水素プラズマ相互作用に関する様々な特性を明らかにしている。これらの評価方法並びに得られた結果は、SnやSBLEの核融合炉材料への応用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である田村晃汰君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。