

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

2024年4月19日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 藤 洋作 様

所属部局 工学研究科 航空宇宙工学専攻

職名 准教授

氏名 占部 継一郎

助成の種類	令和5年度 ・ 研究活動推進助成			
申請時の科研費 研究課題名	真空極限環境下にあるマテリアル表面のマルチ高調波インピーダンス分光計測			
上記以外で助成金を 充当した 研究内容	なし			
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名) なし			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) 両角潤樹, 江利口浩二, 占部継一郎, 「非線形回路解析のための高調波分光法の開発とプラズマ 曝露下でのプラズマ・材料特性同時計測への応用」, 第84回応用物理学学会秋季学術講演会, 2023年9月19日～23日, 熊本城ホール, 23p-A301-6.			
成果の概要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、 添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)			
会計報告	交付を受けた助成金額	1,000,000	円	
	使用した助成金額	1,000,000	円	
	返納すべき助成金額	0	円	
	助成金の使途内訳	費目	金額	
		プラズマ発生装置用消耗品	44万円	
		計測システム用消耗品	25万円	
学会費用(参加費・旅費)		31万円		
当財団の助成に ついて	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 科研費に不採択となった研究活動の継続のため、応募させて頂きました。おかげさまで、助成金を活用した 実験・情報収集・発表活動により、2024年4月からの科研費(基盤研究(B))に採択されました。これからも同様 の状況にある先生方の研究継続のための助成を続けて頂ければありがたいです。			

成果の概要／占部 継一郎

極限環境の1種であるプラズマ中にある固体の表面は、プラズマからの反応性粒子やイオン、真空紫外光照射により改質される。例えば、金属探針を用いた反応性プラズマ計測では、プローブ表面に改質層が形成され計測が困難になることが知られている。この固体表面に形成される改質層は、その近傍のプラズマ特性と密接に関係し、プラズマ・材料相互作用を理解する上で重要な情報源と成り得る。我々はこの改質層の電気特性に着目し、プラズマ曝露環境下での改質層抵抗・容量 (R_{mod} , C_{mod}) 計測や、反応性プラズマ中での改質層抵抗 (R_{mod}) の連続計測を行ってきた。このプラズマ曝露下の改質層電気特性に加えて、近傍のプラズマ特性 (電子温度, 電子密度等) を同時に計測できれば、プラズマ・材料相互作用を包括的に捉える手法へ発展することが期待される。

そこで、本研究ではイオンシースの非線形抵抗から発生する高調波電流 ($i_{n\omega}$) を利用した高調波プローブ法を発展させ、改質層電気特性 (R_{mod} , C_{mod}) およびプラズマ電子温度 (T_e) を同時計測可能な「高調波分光法」を提案し、計測実験を行った。タングステン製プローブをアルゴン(Ar)/酸素(O₂)混合ガス (圧力 10 Pa) 中のマイクロ波プラズマに10分間曝露し、プローブ表面に改質層を形成した。次に Ar プラズマに切り替え、交流電圧 (振幅 2.5 V, 周波数 10 Hz~100 kHz) をプローブに印加し、図1に示す測定系を用いて基本波・高調波電流の振幅 ($i_{1\omega}$, $i_{2\omega}$) と位相 ($\phi_{i,1}$, $\phi_{i,2}$) を測定した。

計測した $i_{2\omega}/i_{1\omega}$ の周波数スペクトルと、実験値に対するフィッティング結果を図2に示す。 $i_{2\omega}/i_{1\omega}$ は改質層が無い場合には T_e にのみ依存し周波数分散が見られないはずであるが、計測した $i_{2\omega}/i_{1\omega}$ は周波数分散を有している。この周波数スペクトルから、プローブ表面に改質層が形成していること、そしてフィッティングから $R_{\text{mod}}=2.3 \text{ k}\Omega$, $C_{\text{mod}}=290 \text{ nF}$, $T_e=1.2 \text{ eV}$ という改質層とプラズマのパラメータを同時に得ることが出来た。これらの結果は、本研究で提案・構築した高調波分光計測システムが極限環境下のマテリアル特性やその劣化過程の解明に貢献できることを示している。

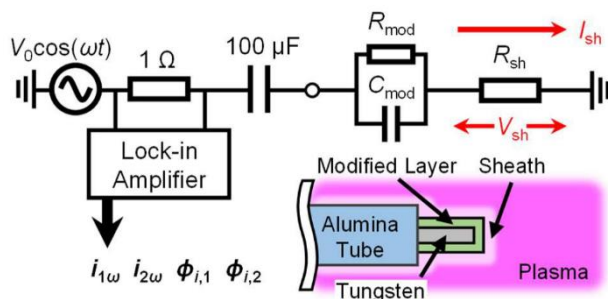


図1：本研究で行った高調波分光法の計測システムとプラズマによる改質層形成の概略図。

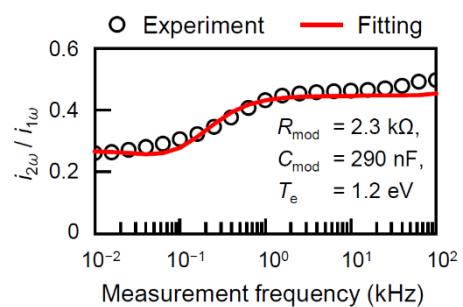


図2：高調波分光計測とフィッティング解析結果の例。