

一般セッション(ポスター講演) | 7 ビーム応用：7 ビーム応用 (ポスター)

■ 2023年9月19日(火) 16:00 ~ 18:00 | 会場 P02 (熊本城ホール)

■ [19p-P02-1~7] 7 ビーム応用 (ポスター)

[19p-P02-1] 実デバイス内部の希薄濃度試料に対するXAFS計測法の開発

○宇留賀 朋哉¹、金子 拓真¹ (1.高輝度セ)

[19p-P02-2] SPring-8 BL46XUにおける硬X線光電子分光計測技術の進展

○安野 聡¹、高木 康多¹、保井 晃¹、Seo Okkyun¹、大坂 泰斗²、菅原 道泰²、仙波 泰徳^{1,2}、山崎 裕史^{1,2}、小山 貴久^{1,2}、清水 冴月¹、齊藤 孝允¹、大橋 治彦^{1,2}、河村 直己¹、中嶋 享^{1,2}、本村 幸治²、佐藤 眞直¹、為則 雄祐¹、矢橋 牧名^{1,2} (1.JASRI、2.RIKEN SPring-8)

[19p-P02-3] シリカナノ粒子のイオン吸着によるナノインプリント表面充填構造形成

○江本 顕雄¹、松川 晴香²、渡邊 有希²、新井 翔²、岸本 章² (1.徳島大pLED、2.日鉄鉱業(株))

[19p-P02-4] 多段階イオンビーム照射によるGe表面構造の形態変化

○宮田 滯¹、大石 脩人¹、新田 紀子¹ (1.高知工大)

[19p-P02-5] 円筒面ガラスチャネルによりガイドされたAr⁸⁺イオンビームの位置と形状の時間発展

○關 誠晃¹、風祭 佑弥¹、小山 颯一郎²、湯浅 茉璃²、本橋 健次^{1,2} (1.東洋大院理工、2.東洋大理工)

[19p-P02-6] 数値シミュレーションによるイオンビーム引き出し系の最適化設計

○上田 雅也¹、坂本 和輝¹、松友 真哉¹、浅地 豊久¹ (1.新居浜高専)

[19p-P02-7] 超低地球軌道 (VLEO) 原子状酸素環境の地上対照試験

○横田 久美子¹、西岡 燦太¹、中山 開智¹、上田 一輝¹、堀本 流石¹、田川 雅人¹ (1.神戸大院工)

実デバイス内部の希薄濃度試料に対する XAFS 計測法の開発

Development of XAFS method for dilute sample in actual devices

高輝度セ¹ ○宇留賀 朋哉¹, 金子 拓真¹

JASRI¹

○Tomoya Uruga¹, Takuma Kaneko¹

E-mail: urugat@spring8.or.jp

本研究では、これまで計測が困難であった X 線吸収量が高いデバイス部材内部に設置された試料に含まれる希薄濃度元素に対する X 線吸収微細構造分光 (XAFS) 計測法を開発することを目的としている。

XAFS 法は、試料内に含まれる測定目的元素の X 線吸収スペクトルを計測することにより、化学状態や局所構造情報を結晶・非結晶に関わらず元素選択に得ることができる強力な分析手法である。XAFS 法の最も基本的な計測法は、試料の X 線光路上流・下流に設置された 2 台のイオンチェンバーを用いて測定目的元素の X 線吸収量を計測する透過 XAFS 法である。試料内の測定目的元素の濃度が希薄な場合は、X 線吸収ジャンプ量が小さいため、XAFS 信号 (Signal) とイオンチェンバー計測系のノイズ (Background noise) の比 (S/B 比) が低く、十分な精度をもつスペクトル計測が難しいため、測定目的元素からの蛍光 X 線量を計測する蛍光 XAFS 法が用いられる。しかしながら、X 線吸収量が高いデバイス部材内の試料の場合、試料からの蛍光 X 線の多くがデバイス部材により吸収され、蛍光 X 線検出器に到達する蛍光 X 線量が少なくなるため、十分な S/N 比でのスペクトル計測が難しい。

本研究では、これを解決するため、大型放射光施設 SPring-8 のビームライン BL36XU[1]において、高 X 線吸収部材 (X 線透過率: $\sim 10^{-4}$) 内部の希薄濃度試料 (X 線吸収ジャンプ量: $\sim 10^{-2}$) に対して、解析に十分な質をもつスペクトル計測を可能とする XAFS 計測システムの開発を行い、テスト計測に成功した。発表では、計測法の概要および、テスト計測の結果について報告する。

[1] T. Uruga et al., *Chem. Record*, **19**, 1444 (2019).

謝辞

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP20003) の結果得られたものです。

SPring-8 BL46XU における硬 X 線光電子分光計測技術の進展

Advancement of measurement techniques at the Hard X-ray Photoelectron

Spectroscopy in BL46XU at SPring-8

JASRI¹, RIKEN SPring-8 Center²

○安野 聡¹, 高木 康多¹, 保井 晃¹, Seo Okkyun¹, 大坂 泰斗², 菅原 道泰², 仙波 泰徳^{1,2},
山崎 裕史^{1,2}, 小山 貴久^{1,2}, 清水 冴月¹, 齊藤 孝允¹, 大橋 治彦^{1,2}, 河村 直己¹, 中嶋 享^{1,2},
本村 幸治², 佐藤 眞直¹, 為則 雄祐¹, 矢橋 牧名^{1,2}

JASRI¹, RIKEN SPring-8 Center²

°S. Yasuno¹, Y. Takagi¹, A. Yasui¹, O. Seo¹, T. Osaka², M. Sugahara², Y. Senba^{1,2},
H. Yamazaki^{1,2}, T. Koyama^{1,2}, S. Shimizu¹, T. Saito¹, H. Ohashi^{1,2}, N. Kawamura¹,
K. Nakajima^{1,2}, K. Motomura², M. Sato¹, Y. Tamenori¹, M. Yabashi^{1,2}

E-mail: yasuno@spring8.or.jp

今春、SPring-8 BL46XU では光学系から計測装置に亘る大規模なアップグレードを実施し、大幅な性能の向上を達成した。本ビームラインは SPring-8 では、BL09XU に続く 2 番目の硬 X 線光電子分光(HAXPES)専用ビームライン “HAXPES II” として 2023 年 7 月よりユーザー利用が再開された。今回実施したアップグレードの特徴を以下に示す。

1. 2 つの異なる特徴を持つ HAXPES 装置の配置：上流の実験ハッチ 1 (EH1) には自動測定に特化したハイスループット HAXPES 装置、下流の EH2 にはガス雰囲気下での測定が可能な大気圧 HAXPES 装置を整備した。特に大気圧 HAXPES 装置は国内初の供用利用であり、ガス・湿潤雰囲気下の測定に対応し、固気・固液界面反応など幅広い利用が見込まれる。
2. 2 種類のダブルチャンネルカット結晶分光器の導入：従来は励起エネルギーが 6, 8, 10 keV に限定されていた HAXPES 計測において、定位置出射化により励起エネルギーの選択性が大幅に拡大した。また、2 種類の分光器を使い分け、分析目的に応じて最適な励起 X 線条件 (分解能、フラックス) を選択することで効率的な実験が可能になった。
3. Wolter 集光ミラーの導入：高フラックスかつ安定性の高い X 線の利用が可能である。

BL09XU の 2 台の装置を含めた 4 台の HAXPES 装置を使い分けることで、SPring-8 全体で幅広い測定対象や分析に対応できる。今後、一層の成果創出やユーザーの利便性向上に繋がるものと考えている。本報告では、コミッショニングで得られたビームラインスペックを紹介するとともに、最新の測定結果を紹介する。

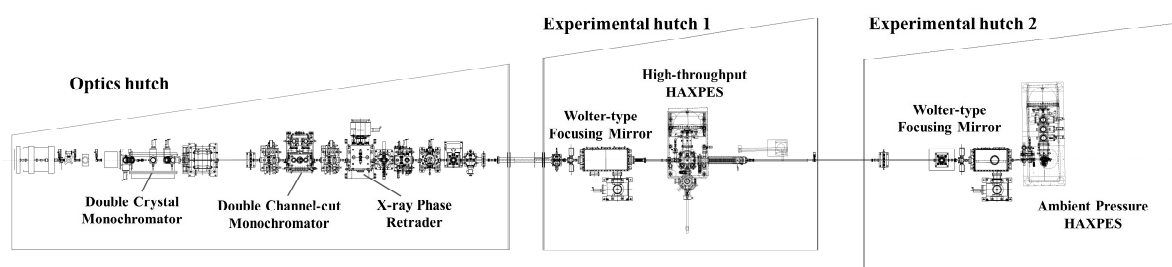


Fig. 1: Beamline layout of BL46XU in SPring-8.

シリカナノ粒子のイオン吸着によるナノインプリント表面充填構造形成

Packing structure formation of silica nano particles by ion adsorption on nanoimprint surface

徳島大 pLED¹, 日鉄鉱業(株)² °江本 顕雄¹, 松川 晴香², 渡邊 有希², 新井 翔², 岸本 章²

Tokushima Univ. pLED¹, Nittetsu Mining Co., Ltd.², °Akira Emoto¹, Haruka Matsukawa²,

Yuki Watanabe², Tsubasa Arai² and Akira Kishimoto²

E-mail: emoto.akira@tokushima-u.ac.jp

近年、微粒子材料の酸化防止・凝集抑制および高機能化を目的に、その表面を更に微小な粒子でコーティングする技術が発展している。例えば、磁性微粒子である Fe 微粒子の光学特性を制御するために、更に微小なシリカナノ微粒子で、表面を均一にコーティングする手法が知られている。このとき、シリカナノ微粒子の表面はイオン性の界面活性剤で修飾されており、被吸着微粒子(Fe 微粒子)の表面の荷電状態に基づいて、イオン吸着による表面コーティングが可能となる。

上記のような吸着による積層構造の場合、蒸着やスパッタなどによる積層構造の形成とは異なり、表面の体積変調に追従して積層膜を形成できるため、単純なコーティングに留まらず更なる応用が期待できる。その一つとして、微細構造形成が挙げられる。今日の微細加工技術は、電子ビームやイオンビームによる直接描画と、リソグラフィやナノインプリントのような構造転写の 2 種類に大別され、前者が主に硬い材料に、後者は柔らかい材料に、それぞれ適用されるのが一般的である。もしこのような関係性を打開し、例えば、硬い材料への直接的な構造転写が可能となれば、材料加工やデバイス開発に大きな変化をもたらすと期待される。このような観点に基づき、本研究では、イオン吸着を利用して微細なシリカナノ微粒子をナノインプリント構造に充填することで、柔らかい材料から硬い材料に微細構造を転写する検討を行った。

図1に、実際にシリカナノ微粒子を充填したナノインプリント構造の断面を示す。吸着処理時間が長くなるにつれて、ナノインプリントによる表面構造にシリカナノ微粒子が充填され、最終的に逆構造が得られていることが分かる。微粒子の充填構造であっても、ある程度緻密な構造体を得られており、適切な吸着レートを実現できていると予想される。当日は、これらの形成過程の詳細や、逆構造体の評価結果等を報告する。

本研究の一部は、JSPS 科研費「20H02767」の支援によるものです。

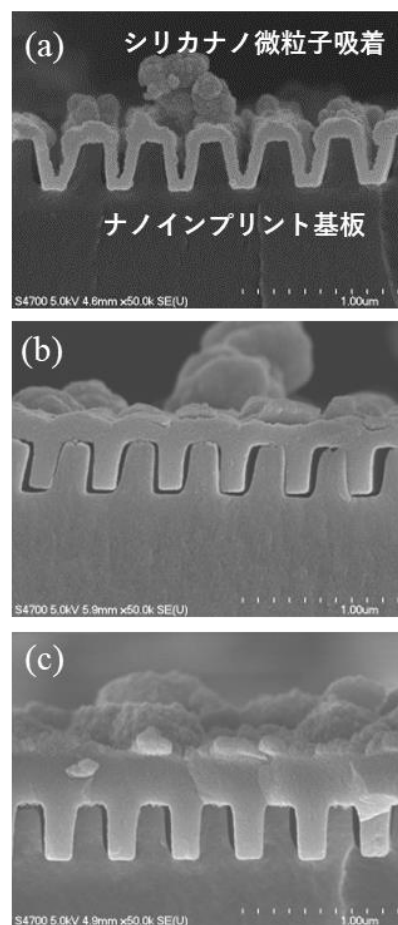


図1 シリカナノ微粒子の吸着によるナノインプリント表面の充填構造 (吸着処理時間: (a)~90min, (b)~180min, (c)~360min)

多段階イオンビーム照射による Ge 表面構造の形態変化

Morphological Change of Ge Surface Structure Induced by Multi-step Ion Beam Irradiation

高知工科大学 ○(M2)宮田 滯, (D)大石 脩人, 新田 紀子

Kochi University of Technology, ○Rei Miyata, Naoto Oishi, Noriko Nitta

E-mail: 265075s@gs.kochi-tech.ac.jp

【緒言】

特定の半導体材料にイオンビームを照射すると、試料中に導入された点欠陥の自己組織化及びスパッタリングによって表面にナノポーラス構造が形成される^{1),2)}。これらの微細構造は、照射条件の影響を受けてサイズや形態が変化する。これまでの研究から、Geに対し照射角度を変更した照射や2回重畳照射を行うことで、垂直入射で得られるものとは異なった形態をもつ表面構造が形成することがわかっている³⁾。そこで、本研究では重畳照射によるGe表面構造形成の効果をさらに検証するため、複数回重畳照射、重畳する際の照射量を変更して実験を行った。

【実験方法】

試料は単結晶Geを用いた。基板表面に対してイオンビームによる照射を行うことでナノポーラス構造を作製した。照射にはFIB (FEI,QUANTA3D200i) を用いた。この際、照射イオン種はGa⁺、加速電圧は30 kV、照射量は 5×10^{19} - 1×10^{21} ions/m²、照射電流値は510-550 pA、照射角度は0°、30°、45°、60°である。これらの構造評価にはSEM (HITACHI, SU8020)、AFM (OXFORD, Cypher VRS) 及びSiカンチレバー (OXFORD, AC160TSA-R3) を用いて表面観察を行った。

【結果と考察】

1回目の照射角度0°、2回目の照射角度60°で 1×10^{20} ions/m²ずつ照射を行ったところ、ピラーとポーラス構造がミックスした構造が形成された。また重畳回数を3回、4回と増やして照射した場合にも、ピラーとポーラス構造がミックスした構造が形成していることを確認した。これらのサンプル評価をAFMにて行ったところ、重畳回数が増加するにつれてRmsも増加した。さらに、照射量を変更して実験を行った。2回目の照射量を減らして重畳照射を行った場合 (1回目の照射角度0°で照射量 1×10^{20} ions/m²、2回目の照射角度60°で照射量 5×10^{19} ions/m²)、ピラーに含まれるポーラス構造の数が増加した。さらに、2回目の照射量を倍にして重畳照射を行った場合 (1回目の照射角度0°で照射量 1×10^{20} ions/m²、2回目の照射角度60°で照射量 2×10^{20} ions/m²)、ピラーに含まれるポーラス構造の数は減少した。これは、2回目の照射量が多い方がGe表面に及ぼすスパッタリング作用がより大きくなるため、ポーラス構造よりもピラー構造が有利に形成されたと考える。このことから、2回重畳照射による構造の形成は、2回目の照射条件に依存する傾向が見られた。

【参考文献】

- 1) H. Wilson, J. Appl. Phys. **53**, 1698-1705 (1982).
- 2) N. G. Rudawski and K. S. Jones, J. Mater. Res. **28**, 1633-1645 (2013).
- 3) 宮田滯, 大石脩人, 新田紀子, 第 172 回日本金属学会春期講演大会, (2023).

円筒面ガラスチャネルによりガイドされた Ar^{8+} イオンビームの位置と形状の時間発展

Time evolution of position and shape of Ar^{8+} ion beam guided by cylindrical glass channels

東洋大院理工¹, 東洋大理工² ○(M2) 關 誠晃¹, (M2) 風祭 佑弥¹,

(B) 小山 颯一郎², (B) 湯浅 茉莉², 本橋 健次¹²

Toyo Univ., Tomoaki Seki, Yuya Kazamatsuri, Souichiro Oyama, Mari Yuasa, Kenji Motohashi

E-mail: s36B02200146@toyo.jp

低速の多価イオンが入射イオンビーム軸に対して傾いた絶縁体毛細管内を進行する現象¹⁾が見つかり、そのガイド効果を利用した応用研究が盛んに行われている。このイオンビームガイド効果は、主に多価イオンと絶縁体表面原子の電荷交換過程による正の帯電が後続の多価イオンに対して静電的斥力を及ぼすことで起こると考えられている。前回の報告²⁾では、毛細管ではなく二枚のガラス円筒面を対向させた2種類の円筒面ガラスチャネル(凹凸, 凸凸)を用いて、 Ar^{6+} イオンビームを照射し続けたときの出射イオンの位置と形状の時間発展を測定した。その結果、円筒面ガラスチャネルの形状によって異なるイオンビームの軌道の変化を確認した。本研究では前回より高価数の Ar^{8+} イオンビームを照射し続けたときの出射イオンの位置と形状の時間発展を測定した。具体的には金属オリフィスと円筒面ガラスチャネルに Ar^{8+} イオンビームを入射したときの出射イオンの位置と形状の時間発展を測定した。また、出射イオンを平衡平板電極に通すことで出射イオンの価数も測定した。Fig.1 は2種類の円筒面ガラスチャネルによる出射イオンの偏向角の時間発展を示している。凹凸でも両凸でも、時間経過に伴い徐々に出射イオンの偏向角の増加が見られた。さらに、凸凸チャネルにおいては前回の Ar^{6+} と比較して2倍程度の大きな偏向角が観測された。一方、ガラス円筒面チャネルのチルト角が 0° の場合でも偏向が見られたことから、入射ビームが広がっているせいでチルトさせる前から内部の帯電が始まったと考えられる。

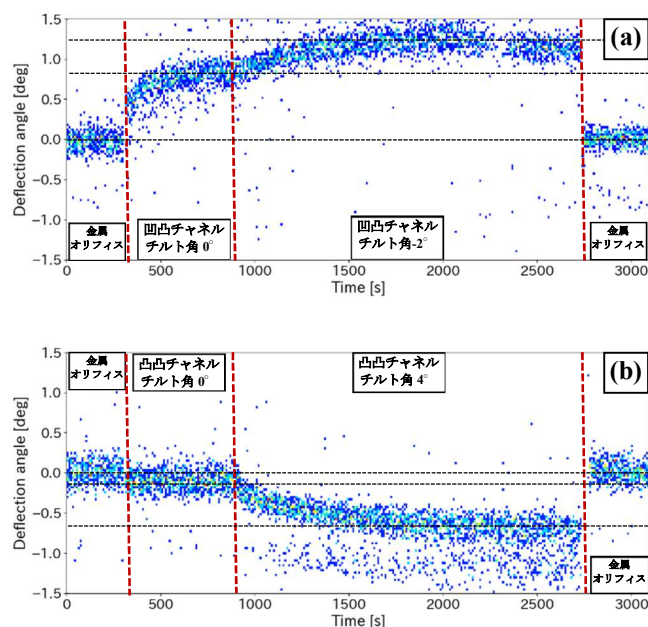


Fig.1 2種類の円筒面ガラスチャネルによる出射イオンの偏向角の時間発展 (a:凹凸, b: 凸凸)

- 1) N. Stolterfoht *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 133201 (2002).
- 2) 關誠晃, “ガラス円筒面チャネルによりガイドされた Ar^{6+} イオンビームの位置と形状の時間発展”, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 17a-PA01-5 (2023).

数値シミュレーションによるイオンビーム引き出し系の最適化設計

Optimal Design of Ion Beam Extraction System by Numerical Simulation

新居浜高専 ○(B) 上田 雅也, (B) 坂本 和輝, 松友 真哉, 浅地 豊久

National Institute of Technology, Niihama College,

○Masaya Ueda, Kazuki Skamoto, Shinya Matsutomo, Toyohisa Asaji

E-mail: s.matsutomo@niihama-nct.ac.jp

1. 背景と目的

イオン注入は半導体製造において基板材料に不純物をドーピングするために欠かせない技術であり、イオンビームの効率的な生成は、装置開発において重要である。本研究の目的は、数値シミュレーションを利用してイオン注入装置におけるイオンビーム引き出し系の最適化設計を行うものである。特に、本研究では遺伝的アルゴリズムを活用した完全自動計算での最適化設計を試みており、その結果を報告する。

2. 研究の概要

本研究で対象としたデスクトップ型イオンビーム装置の構成図を Fig.1 に示す。

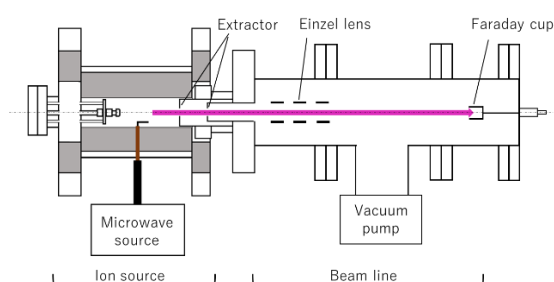


Fig.1 Schematic diagram of the ion beam system

引出電極(Extractor)から引き出されたイオンビームは静電レンズ(Einzel lens)によって絞られ Faraday cup に入ったものが電流として観測される。数値シミュレーションではイオンビームの初期位置を決め、イオンビームの軌道を計算し、Faraday cup に入るビーム本数が最大になることを設計目標とした。

数値シミュレーションソフトは MATLAB で開発し、電界解析は有限要素法で行っている。イオン源からのイオンビームは 100 本と仮定して計算を行った。最適化計算の手法には、生命の進化を模した遺伝的アルゴリズムを採用し、ユーザが試行錯誤することなく、完全に自動で最適解を見つけ出すことを実現した。最適化設計での設計変数は、「引出電極間の距離」、「静電レンズの電圧」、「引出電極と静電レンズとの距離」の 3 変数である。

3. 最適化設計の結果

遺伝的アルゴリズムでは、個体数 20 個体、世代数 200 世代で計算を行った。これはすなわち、4000 ケースの設計候補を自動で試行し、最適解を求め

たということである。1 世代目、70 世代目、最終世代のイオンビームの軌道を Fig.2 に示す。また、その時の設計変数値を Table 1 に示す。

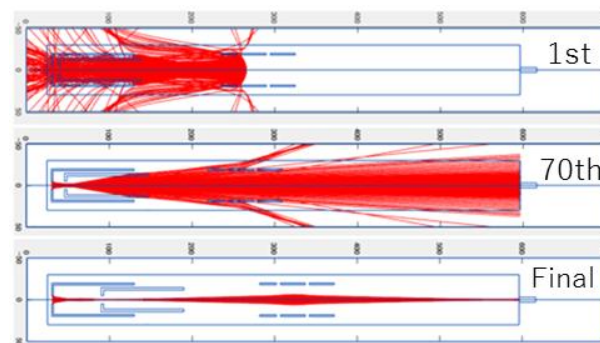


Fig.2 Candidate solutions in genetic algorithms

Table 1 Parameters for each variable

	1 世代目	最終世代
静電レンズの電圧[V] (探索範囲:0.001~6000)	4353	2094
電極とレンズ距離[mm] (探索範囲:0.001~100)	96.0	92.15
電極間距離[mm] (探索範囲:5~100)	6.49	57.9

Faraday cup に入ったビーム本数は、1 世代目で 0 本、最終世代では 97 本であった。Fig.2 より、1 世代目のケースでは静電レンズの電圧が高すぎ、静電レンズよりもビームが下流に進行できず、引き出し系の設計としてまったく成り立っていない。しかし、計算が進むにつれて優秀な個体が生き残るという淘汰のアルゴリズムが機能して、最終世代では、97 本のビームが Faraday cup に到達できるという設計が実現できている。

4. まとめ

遺伝的アルゴリズムを利用したイオンビーム引き出し系の最適化設計を行うプログラムを開発し、その機能を確認した。今後は、変数をさらに増加させ、質量分析装置等も含めた総合的な最適化設計に発展させ、実機との実験的な比較も行う計画である。

<謝辞>

本研究は JSPS 科研費 JP20K04219 の助成を受けたものです。

超低地球軌道（VLEO）原子状酸素環境の地上対照試験

Ground-based simulation of atomic oxygen environment in VLEO

神戸大院工 ○横田 久美子, 西岡 燦太, 中山 開智, 上田 一輝, 堀本 流石, 田川 雅人

Kobe Univ., ○Kumiko Yokota Santa Nishioka, Kaichi Nakayama,

Kazuki Ueta, Sasuga Horimoto and Masahito Tagawa

E-mail: yokota@mech.kobe-u.ac.jp

宇宙ビジネスの急速な拡大に伴い、今後、低軌道では多くの新規材料や各種コンポーネントが使用される。このような宇宙機用材料等は地上とは全く異なる環境下でのミッションを完遂させる必要があるため、打上げ前に耐環境性試験を実施し、その宇宙環境下での耐久性を保証する必要がある。耐衝撃試験、振動試験、熱真空試験、耐放射線や耐紫外線試験などが代表的なものであるが、低地球軌道（LEO）や超低地球軌道（VLEO）では耐原子状酸素試験が重要な項目になる。現在、地上原子状酸素試験が可能な機関は国内では JAXA と神戸大のみであり、いずれもレーザーデトネーション方式による超熱原子ビームを用いている。しかしながら JAXA の装置は VLEO に対応した試験が不可能であることから、今後、利用の急速な拡大が予想される VLEO での原子状酸素環境試験は神戸大学でしか実施できないのが現状である。本ポスターでは国内で唯一である神戸大学 VLEO 原子状酸素環境試験装置（図 1）について紹介し、その試験環境を紹介する[1]。さらに本装置を用いて行ったいくつかの照射結果と、実際の VLEO 環境でのフライトデータとの比較結果[2]についても紹介する。

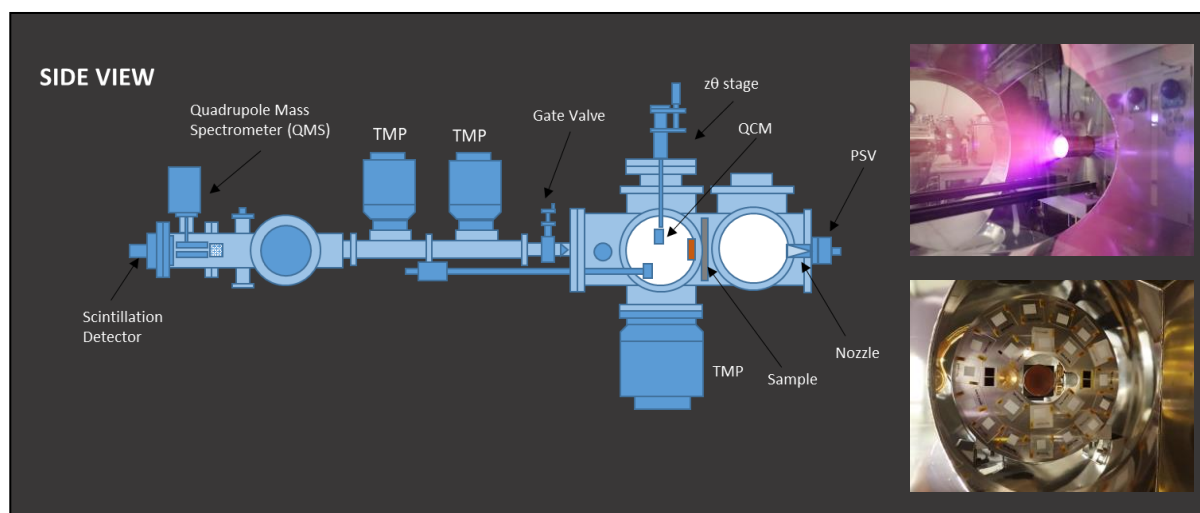


図1 原子状酸素照射実験装置（左）とレーザープラズマ（右上）およびサンプルホルダー（右下）

- [1] M. Tagawa, R. Okura, W. Ide, S. Horimoto, K. Ezaki, A. Fujita, K. Shoda, K. Yokota, Laser-detonation hyperthermal beam source applicable to VLEO environmental simulations, CEAS Space Journal (2022) in press.
- [2] K. Yokota, M. Tagawa, Y. Fujimoto, W. Ide, Y. Kimoto, Y. Tsuchiya, A. Goto, K. Yukumatsu, E. Miyazaki, S. Imamura, Effect of simultaneous N₂ collisions on atomic oxygen-induced polyimide erosion in sub-low Earth orbit: comparison of laboratory and SLATS data, CEAS Space Journal, Vol.13, No.3, 2021 pp389-397.