

30kV軽イオン照射装置の移設について

牟田口, 嵩史
九州大学応用力学研究所

<https://hdl.handle.net/2324/1956605>

出版情報：九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 19, pp.25-28, 2018-10. Research
Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

30kV 軽イオン照射装置の移設について

牟田口 嵩史

要旨

箱崎キャンパスの移転に伴い、廃棄されることになった 1250kV 超高圧電子顕微鏡付属の 30kV 軽イオン照射装置を、筑紫キャンパス応用力学研究所に移設した。そして、同装置を既設の高エネルギーイオン発生装置（1MV-タンデム）に新たなイオンビーム照射ラインとして増設し、3重イオンビーム照射システムを構築した。本レポートは、2016年から2017年にかけて行った、30kV 軽イオン照射装置の移設ならびに調整と運用方法について報告する。

キーワード

30kV 軽イオン照射装置 3重イオンビーム照射実験

1. はじめに

30kV 軽イオン照射装置は、箱崎キャンパスに設置されていた 1250kV 超高圧電子顕微鏡（図 1）に付属していた。本装置の目的は、電子顕微鏡にセットした試料へ軽イオンビームを照射することにより、試料の変質や損傷状況をリアルタイムで観察可能とするものである。箱崎キャンパスの移転に伴い、1250kV 超高圧電子顕微鏡が廃棄されることになった。その際に、装置の照射機能を有効に活用したいと、応用力学研究所渡辺英雄准教授が引き取ることを決めた。それは、既設の高エネルギーイオン発生装置（1MV-タンデム）の 2重イオンビームラインに増設し 3重イオンビーム照射場にするすることで、核融合炉や原子炉の実環境により近い状態で材料評価実験を行うためであった。装置の移設が決定し、装置の設計者と装置の再調整を委託した業者と共に、2016年2月より移設作業を開始した。



図 1 1250kV 超高圧電子顕微鏡

2. 30kV 軽イオン照射装置

30kV 軽イオン照射装置（図 2）は、1989年オリジン電気株式会社製であり、移設にあたり一部レイアウトを変更するなど改修を施した。イオンビームの加速電圧調整範囲は 1kV～30kV であり、イオン発生源には H⁺～He⁺の気体元素を用いる。イオン発生部には、デュオプラズマトロン型イオン源を用いている。イオンビームは、イオン発生部から質量分析マグネットを用いて 37.5° 偏向し、二つのレンズを通り照射ターゲットに至る。また、4極偏向装置を備えており、最終ビーム形状を任意に調整可能となっている。排気系統には、上流と下流それぞれにターボ分子ポンプを使用している。

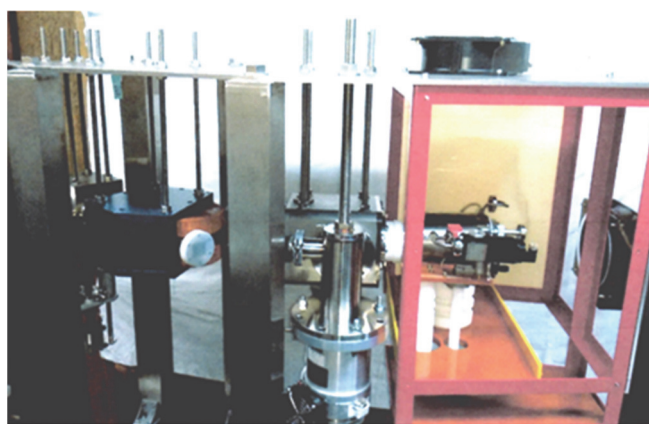


図 2 30kV 軽イオン照射装置

3. 移設作業

3-1. 解体作業

装置の設計者と装置の調整を委託した業者と共に、箱崎キャンパスの 1250kV 超高圧電子顕微鏡から、30kV 軽イオン照射装置のイオン発生部、質量分析マグネット、レンズユニット、各種真空バルブゲート、操作盤、電源、その他諸部品の解体作業を進め、筑紫キャンパス応用力学研究所へと移送した。

3-2. 搬入作業

30kV 軽イオン照射装置は、イオン発生源とマグネットの調整と再レイアウトを業者に委託した。2017 年 1 月に高エネルギーイオン発生装置 (IMV-タンデム) の 2 重イオン照射チャンバーへの増設作業を開始した。まず、架台に組み付けられた状態の装置を搬入し、重イオン照射チャンバーと 2 重イオン照射チャンバー間に設置した。図 3 に搬入の様子を示す。

3-3. 設置作業

装置の設置においては、イオンビームの光軸が確実に照射試料の位置に来ることが重要である。そのために、装置架台の 4 カ所とビームが通過するフランジに、レーザー発光器を取り付け、装置本体の傾きとイオンビームの光軸調整を行った。装置本体に取り付けたレーザー発光器から、壁に設置した方眼紙にレーザーを照射し、その位置を記録しながら本体の傾き調整を行った。また、フランジに取り付けたレーザー発光器は、対面のフランジに取り付けたアクリル板のピンホールを目標にレーザーを照射し、その穴を通すことでイオンビーム光軸のアライメントを行った。その後、電源から操作盤、装置本体への配線、真空ゲートバルブへの配管、真空排気系統の設置を行った。



図 3 30kV 軽イオン照射装置搬入の様子

4. イオンビーム照射試験

4-1. 30kV 軽イオン照射装置立ち上げ手順

以下に、30kV 軽イオン照射装置の装置立ち上げの流れを示す。

- ① 真空排気を行い、装置容器内を 1×10^{-4} Pa 以下の真空度にする。
- ② ガスイオン源を流入させる。
- ③ イオン発生源内のタングステン製フィラメントを加熱し、ガスイオン源をプラズマ化させイオンビームを引き出す。
- ④ 実験に合わせた加速電圧まで上昇させる。
- ⑤ 偏向マグネットとレンズを使い、照射位置におけるビーム電流値と形状を調整する。

この時、ビーム形状の確認には CCD カメラを用いるが、装置スペースの都合で三脚が使用できないため、専用のカメラ固定台 (図 4) を製作し使用した。

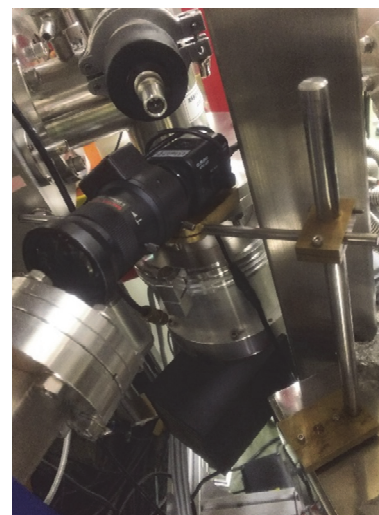


図 4 製作したカメラ固定台

4-2. イオンビーム調整

装置の設置が終了し、30kV 軽イオン照射装置の装置を上記の手順で立ち上げ、イオンビームが実際に通るか確認作業を行った。まず、ガスイオン源に He を使用し、加速電圧 5kV でビームが通るかテストを行った。ガスイオン源の圧力、質量分析マグネットの電流値、フィラメント電流値、アーク電流電圧値など各種パラメータを変更し、イオンビームの出力が最大になるよう調整を行った。He でのイオン

ビーム確認の後、ガスイオン源を D（重水素）に変更し、同様の調整を行った。D においては、加速電圧を 5kV～30kV まで可変させパラメータのサンプルを採取した。

4-3. 試料照射位置へのファラデーカップ増設

装置を設置した当初は、試料照射位置に専用のファラデーカップはなく、ビーム経路上に設けた 2 つのファラデーカップを使用していた。これでもおおよそのビーム電流値は計測できたが、より正確に試料照射位置でのビーム電流値を計測するため、試料ホルダーの一つを潰し専用のファラデーカップを増設した。増設したファラデーカップは、試料運搬装置（図 5）の中心にあり、直径 2mm の荷電粒子入射部を 5 つ持っている。この 5 つの計測値を均一に調整することで、一定の面積に均等なビームが照射可能となった。



図 5 試料搬送装置

5. 3 重イオンビーム照射実験

5-1. 3 重イオンビーム照射システムの概要

図 6 に示す 3 重イオンビーム照射システムは、高エネルギーイオン発生装置（1MV-タンデム）、30kV 軽イオン照射装置、10kV 軽イオン照射装置で構成されている。

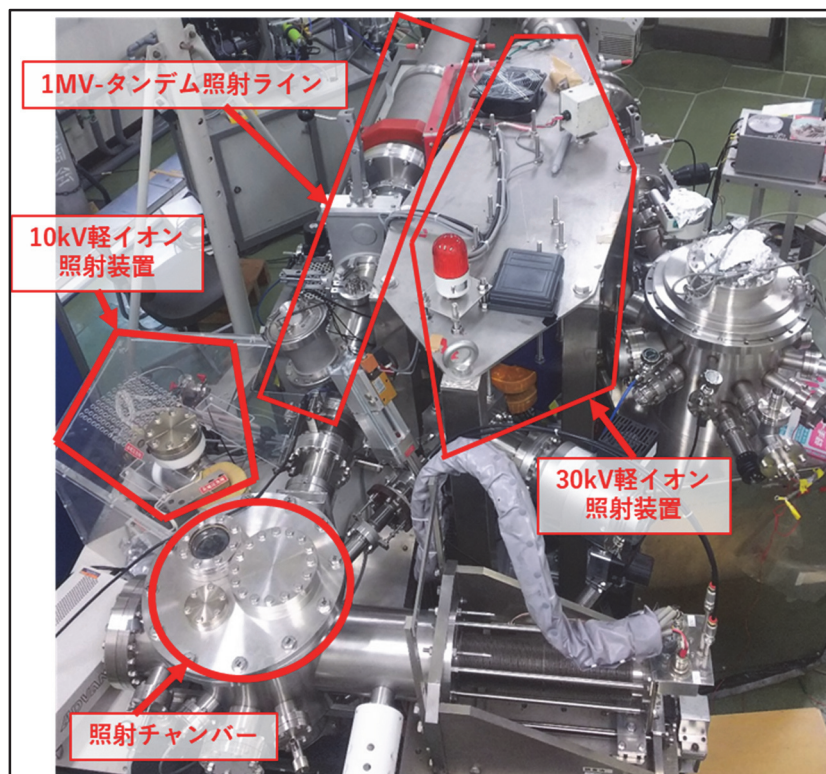


図 6 3 重イオンビーム照射システム

5-1-1. 高エネルギーイオン発生装置 (1MV-タンデム)

高エネルギーイオン発生装置は、HVEE 社のタンデム型加速器である。最大ターミナル電圧は 1MV で、数百 dpa (displacements per atom) の重照射が可能である。また、イオン源にはコーンと呼ばれる円筒状の金属の端面に、すり鉢状の窪みを設けたものを使用している。このコーンの材質を変更することで、様々な種類の金属イオンビーム照射が可能である。現在では、Fe、Cu、Ni、Zr のイオンを主に使用している。

5-1-2. 10kV 軽イオン照射装置

10kV 軽イオン照射装置は、1994 年オリジン電気株式会社製であり、30kV 軽イオン照射装置と同じく、イオン発生部にデュオプラズマトロン型イオン源を採用している。加速電圧は 1kV~10kV の範囲で任意に変更でき、イオンビームを質量分析マグネットにより 30° 偏向し照射する。イオン源には、H⁺~He⁺の気体元素を用いる。

5-2. 照射実験

3重イオンビームの照射を行うには、システムを構成する3つの装置に1人ずつオペレーターが付き、各々にイオンビームの調整を行う必要がある。また照射試料の取り付け後に、照射チャンバー内を十分な真空度にするために、照射実験前日に試料の取り付け作業を行う必要がある。さらに、イオンビームは時間経過により照射位置が変動する場合があるので、一定時間ごとに照射位置の確認が必要となる。

2018年4月に、実用的な3重ビーム照射実験を行った。照射時間は2時間ほどで、イオンビームの照射位置の推移を確認したが、装置やオペレーションなどに問題はなく無事終了することができた。

6. おわりに

幾度か照射実験を重ねるうちに、30kV 軽イオン照射装置において改良すべき点が二つ見つかった。一つは、ビーム形状が不安定な点である。これはレンズの焦点距離が関係しており、現在のレンズと照射位置の間にもう一つレンズを増設すれば解決する見込みである。もう一つは、加速電圧とレンズ電圧の電源において、現在設けられているリミットが低いことから、許容限界のところで使用した場合に頻繁にダウンする点である。備え付けられている電源の許容値にはまだ余裕があるため、今後設定を変更する予定である。

謝辞

今回の装置移設から調整運用に関わる機会を頂きました九州大学応用力学研究所先進炉材料分野の渡辺英雄准教授へ、この場を借りて感謝の意を表します。