

ノート

吸着トリチウムのリアルタイムイメージング(I)

——マイクロチャンネルプレートの可能性——

市村 憲 司・渡 辺 国 昭

富山大学トリチウム科学センター
〒930 富山市五福3190

Real-Time Imaging of Adsorbed Tritium(I)

—— Potential of Microchannel Plate ——

Kenji ICHIMURA and Kuniaki WATANABE

Tritium Research Center, Toyama University,
Gofuku 3190, Toyama 930, Japan
(Received December 25, 1986)

Abstract

To investigate microscopic processes of trapping and diffusion of tritium on/through materials, autoradiography has been widely applied. This technique, however, gives us only qualitative information. One aim of this study is to examine the potential of a microchannel plate for in-situ measurements of the amounts of adsorbed tritium and its distribution on sample surfaces.

Microchannel plates(MCP, Hamamatsu Photonics Ltd.) were mounted in an oil-free ultra-high vacuum chamber. By use of a MCP with a phosphorescent anode plate, the image of the thermal electrons from a hot filament was observed. When the applied voltage and electron fluence were above 1.5kV and $10\text{e}^-/\text{sec}$, respectively, it was possible to obtain in-situ image of hot electrons with real-time. These results indicate that tritium of over 10^{-9} Ci can be detected. This means that tritium of 10^{-3} in the coverage is detectable. Therefore, the above-mentioned imaging apparatus is applicable to in-situ measurements of the distribution of adsorbed tritium. In addition, the combination of the lens system and image processing one will provide us a powerful technique to investigate the distribution of tritium adsorbed on materials and its motion.

核融合反応研究での大量トリチウムの取り扱いに際して、各種の核融合炉材料とトリチウムとの相互作用（吸着、溶解、拡散、透過など）に関する基礎的知見の蓄積が不可欠である。従来のこの種のデータは試料全体についてのある種の平均値として測定されており、組織・構造と捕獲サイトあるいは拡散経路等との微視的關係を明らかにできない。この点を解明するには、試料表面あるいは試料中のトリチウムの分布を明らかにする必要がある。トリチウムの吸着―捕獲サイトの微視的研究は従来オートラジオグラフィにより行われているが、露光のための試料調製によりリアルタイム化し難く、また、露光―現像一定着条件の変動のため定量性に乏しい。

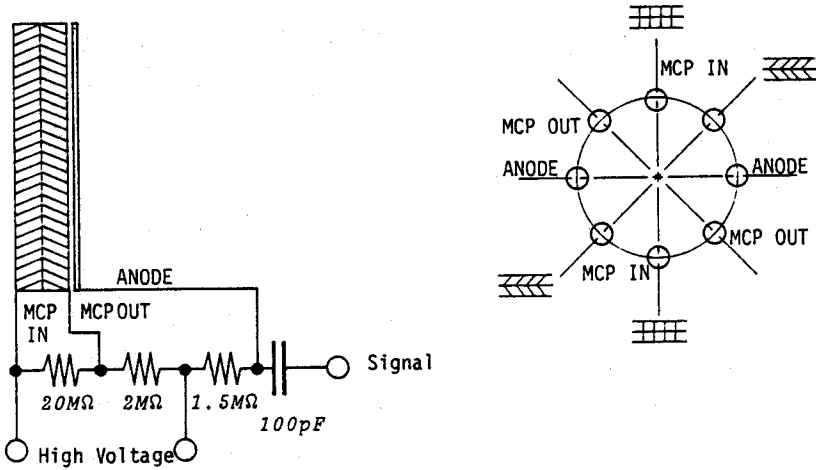
マイクロチャンネルプレート(MCP)は約 $10^5/\text{cm}^2$ のチャンネル密度を有し、 $10^5\sim 10^6$ の利得が得られる一種の二次電子増倍管である。チャンネル密度および利得が極めて大きいことから、1cps程度の微弱な信号を検出できるのみならず、信号の二次元分布をも測定できる。したがって、このMCPの利用により、吸着トリチウムの量および分布をリアルタイムかつin-situに測定できる可能性がある。本報においては、熱電子を用いてこの可能性を検討した結果について報告する。

マイクロチャンネルプレート(浜松ホトニクス社, MCPF1094-21s および F2223-21p)を、オイルフリーの超高真空装置に取り付けた。本真空装置は、ターボ分子ポンプ、スパッタイオンポンプおよびバルクゲッターポンプにより排気され、残留圧は通常 5×10^{-10} Torr 以下である¹⁾。Fig. 1 に使用した MCP の取り付け回路図を示す。F1094-21s は Ni 板をアノードとしたアッセンブルドタイプで MCP 有効直径は20mm, F2223-21p は蛍光面(P-20)をアノードとしたデマウントブルタイプで MCP 有効直径は27mmである。前者は8端子付70mm 直径 ICF フランジに取り付け、後者は70mm 直径 ICF フランジ取り付けポート3箇所を有す203mm 直径 ICF フランジの内側に固定し蛍光面部外側をビューイングポートとした。

検出面がアノードタイプの場合、パルス計測系(エクストラニュクリア社, モデル031-3, 032-3, 019-13)を用い、電子源とした熱電子の計数率を測定するのに使用した。次に、アノードプレートを蛍光面とし(F2223-21p), MCP から約1 cm の所にフィラメントを配置し、熱電子を電子源として電子像を観察した。

結果を、Fig. 2 に示す。(a)は、MCP の印加電圧を1.5kV 一定とし、フィラメントの電流を1.70~1.85A と0.05A 毎に増加させたときの像の変化である。このときの入射電子数は、同様な測定条件下で F1094-21s を用いて計数率を測定した結果、 $10\sim 10^2$ cps オーダーの変化と評価できた。したがって、この入射率領域では十分にリアルタイムイメージングができることが知られた。尚、このときの像撮影はポラロイドフィルムを用いた。フィルムタイプおよび露出・シャッタースピードは、各々タイプ667および22・2秒である。また、

F1094-21s Anode Type



F2223-21p Phosphor Type

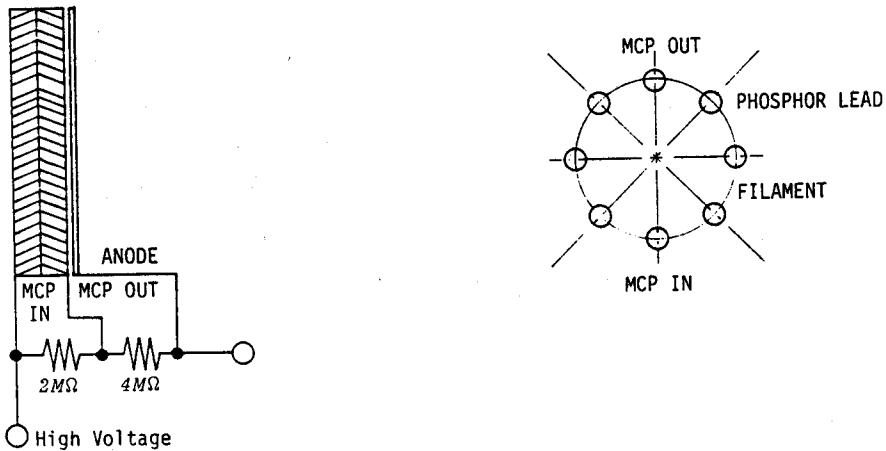


Fig. 1. Schematic diagrams of MCP circuits.

(b)に示されるように、電子の入射率を10cps オーダー一定とし、MCPの印加電圧を1.4, 1.5, 1.6kVと変えたとき、1.5kV以上で十分に像観察ができた。したがって、1.5kVの印加電圧下では10cps以上の電子をリアルタイムで観察できることが知られた。また、印加電圧を2kVとすれば電流利得が約1~2桁改善されることより、1cps程度の微弱領域の電子像をイメージングできると評価される。

この結果は、本MCPの検出効率を10%程度とすれば、2kVの印加電圧下において、 10^{-10}Ci (100pCi)以上のトリチウムをリアルタイムイメージングできることを示している。

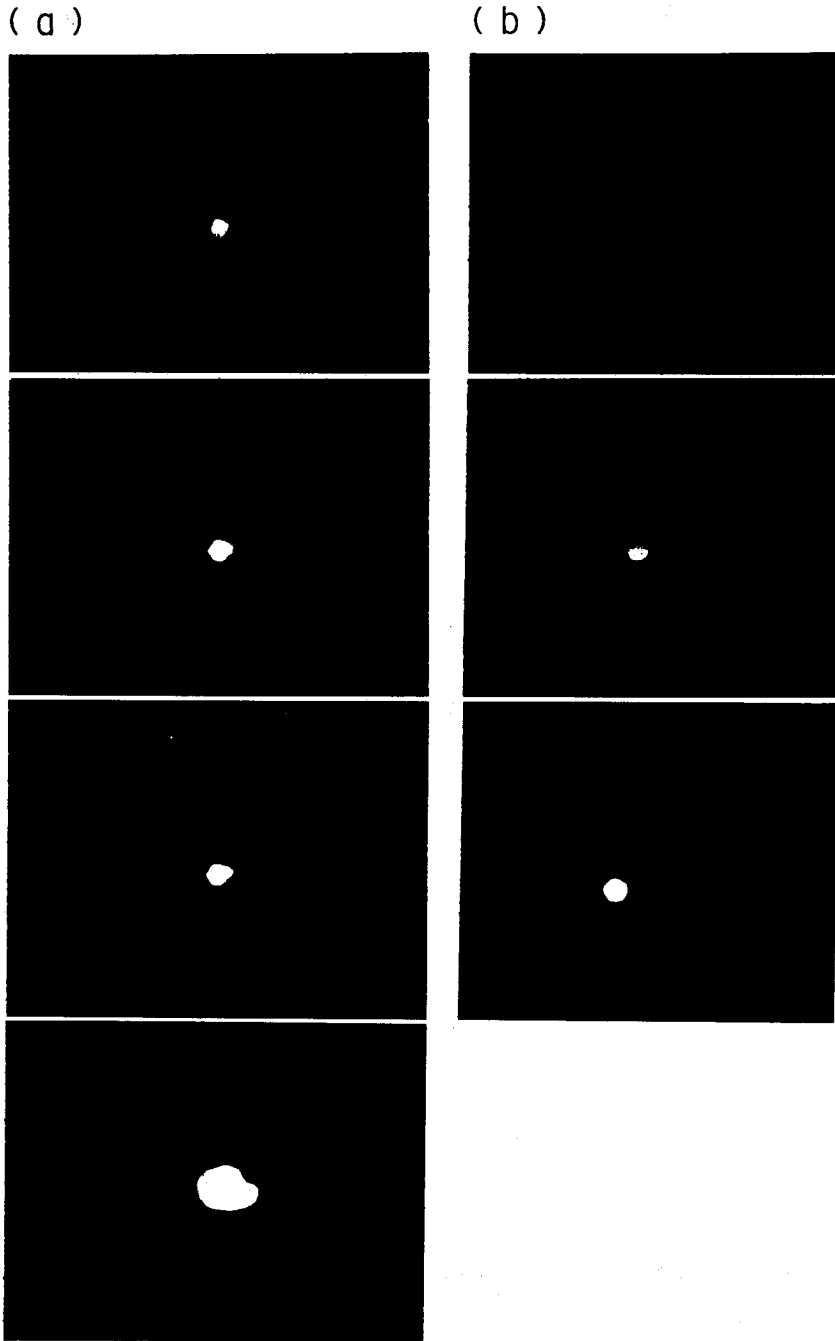


Fig. 2. Changes in the image intensity of thermal electrons.

- (a) dependence on filament current ; applied voltage=1.5kV and filament current=1.70-1.85A at 0.05A intervals.
- (b) dependence on applied voltage ; applied voltage=1.4, 1.5, 1.6kV and filament current=1.6A.

別に行ったトリチウム吸着測定によれば、トリチウム接触量が約 10^{-4} Torr·secの場合の吸着量は $10^3 \sim 10^4$ Bq/cm²(被覆率 $10^{-3} \sim 10^{-4}$)である。したがって、上記イメージング装置で吸着トリチウムの二次元分布を観察し得る。

以上の結果、本法により試料表面でのトリチウム分布を in-situ かつリアルタイムで測定できることが明らかとなった。また、蛍光面と画像処理システムとの組み合わせにより定量性および分解能を一層向上し得るが、このための基礎的技術を確立することができた。

尚、マイクロチャンネルプレート(MCP)のチャンネル直径およびピッチは、各々12および15 μ mであり、MCPの限界分解能は約40 μ mである。一方、透過型電子顕微鏡オートラジオグラフィでは、10~0.1 μ mの観察が行われている。したがって、トリチウムの吸着した試料表面を数倍~数百倍に拡大することにより、透過型電子顕微鏡によるオートラジオグラフィとほぼ同程度の倍率でMCP像観察が行える。一方、トリチウム雰囲気下におけるトリチウム吸着によるノイズレベルの増加に伴う計測上の障害が予測されるが、本MCPの増倍作用面はFe-Cr半導体であり、セラトロンの場合と同様に、光照射により^{2,3)}その障害は避けられるものと考えられる。これらの概念図を、Fig. 3に示す。これらの電子像の拡大およびトリチウムメモリー効果を検討・改良することにより、上記システムと合わせて、高倍率・高分解能・定量性のあるリアルタイムイメージング装置が可能である。

尚、本研究は一部文部省科学研究費奨励(A)の補助を受けて行われた。

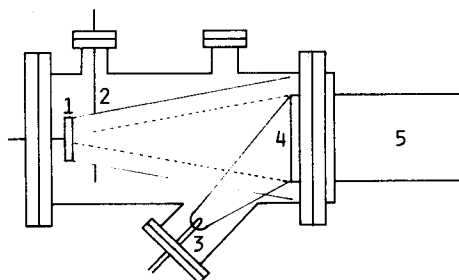


Fig. 3. Schematic diagram of the advanced real-time imaging apparatus.

1. Sample, 2. electrostatic lens, 3. lamp for decontamination, 4. MCP, 5. image processing system

文 献

- 1) K. Ichimura, M. Matsuyama, K. Watanabe and T. Takeuchi, Fusion Technol., **8**(1985)2407.
- 2) K. Ichimura, K. Watanabe, K. Nishizawa and J. Fujita, Nucl. Instr. Methods, **226**(1984)470.
- 3) 渡辺国昭, 市村憲司, 松山政夫, 富山大学トリチウム科学センター研究報告, **5**(1985) 1.