

学位論文題名

マイクロチャンネルプレート (MCP) 光電子増倍管
の開発と化学への応用

学位論文内容の要旨

近年、光応用機器が多くの分野でひろく用いられ、とくに化学および工学においては、物質の表面構造評価のための超短パルスレーザーを用いた高速時間分解分光計測が重要となり、それに伴って光検出器の特性向上が求められている。従来、高速応答光検出器としては、光電子増倍管、ストリーク管などが使用されてきたが、時間応答特性、ダイナミックレンジ、分光感度特性などの点において改良が望まれてきた。本研究では、このような要請に応えるために、マイクロチャンネルプレート(MCP)を電子増倍器とする光電子増倍管を開発し、化学および工学への応用試験を行い、その結果、時間応答特性について言えば従来の光電子増倍管と比較して50倍優れていることなど、期待された特性をもつ光電子増倍管を製作することに成功した。以下に本研究の経過について概括する。

先ず、MCP光電子増倍管を開発するうえで基本的な設計指針は、(1)光検出感度に関して、従来の光電子増倍管と同程度の電子増倍率をもち、光の最小単位である1個の光子を検出し、いわゆる光子計数測定ができること、(2)時間応答特性に関して、MCP光電子増倍管を構成する光電面、MCPおよびアノードの空間配置に関する内部構造および周辺電子回路の構成はピコ秒時間分解能を達成するべく設計すること、(3)分光感度特性に関して、紫外から近赤外領域(200~1200nm)の測定に対応できること、などがあげられた。本研究ではこれらの目標に対して次のようにして到達した。(1)に関しては2枚のMCPを用いることにより利得すなわち電子増倍率を高めることができ、光子計数を可能にする十分な感度を得ることができた。逆に強い光に対する飽和特性に起因する強い光に対する測定限界は従来の光子計数型光電子増倍管と同程度であり、とくに強い光信号を扱わない限り従来型と同様に使用できること、さらに暗電流および雑音指数については、電子冷却器を装着することにより解決できること、などがわかった。(2)に関しては、電子走行時間が時間特性を決定する最大の要因となることがわかり、電子走行時間の広がり小さくするために次の3段階にわたって、試作改善を行なった。すなわち(イ)静電収束型から近接型へ、(ロ)MCPチャンネル内径の微細化、 $12\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ へ、(ハ)MCP表面にアルミニウム薄膜を蒸着、などについて改良を行なった。その結果、最終的に得ら

れたMCP光電子増倍管の時間応答特性は、装置応答関数パルス波形の半値幅として20psが得られた。これは従来の、本研究以前の光電子増倍管の半値幅 ~ 1 nsと比較すると、50倍の性能向上が達成されたことを意味する。

本研究ではこれを発展させて、次の2種のMCP光電子増倍管を開発した。

(1)ゲート機能付MCP-PMT。化学および工学においてはしばしば、物質表面に繰り返しパルスレーザを照射し、ルミネッセンスの時間挙動を測定することがある。ここにおいてレーザ照射の時間を不感時間としてそれ以後の時間挙動を計測することになり、いわゆる一定時間毎に検出器にゲートをかけることが必要となる。本研究では光電面に近接したゲートメッシュを用いることにより、MCP-PMT本来の高速性を維持しつつゲート時間2nsの特性が得られた。

(2)光信号の位置検出機能をもつマルチアノード型MCP-PMT。複数の陽極、すなわち 10×10 チャンネルの2次元マルチアノードおよび32チャンネルの1次元リニアノードを内蔵したMCP-PMTを開発した。この検出器は微弱光信号の高速変換を行なうとともに、光信号の位置情報をも得られる検出器として有用であり、物質表面の空間位置毎のルミネッセンス時間挙動の観測に応用することができる。

次いで、本研究において製作されたMCP光電子増倍管を化学および工学におけるいくつかの実験研究へ適用し、実際的な立場からその特性の評価を行い、MCP光電子増倍管を使用する意義について検討した。その結果、化学においては高速光化学反応の解析、高分子、液晶、LB膜、生体光受容帯などの構造と機能の解析、また工学においては半導体表面における構造評価などの研究に偉力を発揮することがわかった。とくに時間分解能に関連して、従来不可能であったピコ秒時間スケールでの測定が可能となることが示され、ここで行われた応用研究が端緒となり、このMCP光電子増倍管は現在世界各国でひろく使用されるに至った。

以上の本研究の重要な課題に関連して、MCP光電子増倍管に関連した二三の問題について研究を行った。すなわち(1)高磁界中で動作し、2次元空間分解能をもつ光電子増倍管の開発、(2)マルチアノード型光電子増倍管における多チャンネル電流信号の処理方法、である。これらの研究に基づいて、10KGaussまで耐えられるファインメッシュ型光電子増倍管、1.8mm分解能を有するマルチアノード光電子増倍管などが実用化されるに至った。

学位論文審査の要旨

主査	教授	山崎	巖
副査	教授	竹澤	暢恒
副査	教授	杉野目	浩
副査	教授	吉田	宏
副査	教授	山下	幹雄

学位論文題名

マイクロチャンネルプレート (MCP) 光電子増倍管 の開発と化学への応用

近年、化学および工学においては、物質の表面構造評価のために超短パルスレーザーを用いた高速時間分解分光計測が重要となり、それに伴って光検出器の特性すなわち、時間応答特性、ダイナミックレンジ、分光感度特性などにおいて向上が望まれていた。本研究では、このような要請に応えるために、マイクロチャンネルプレート (MCP) を光電変換素子とする光電子増倍管を開発し、化学および工学への応用試験において大きな成果を収め、本論文はその概要を記述したものである。主要な成果は次のように要約される。

イ. 従来、2次元画像光電変換素子に用いられていたMCPが微細な光電子増倍器として動作することに着目し、これを用いて新しい型の光電子増倍管を設計試作した。
ロ. 試作したMCP光電子増倍管の静的特性としては、利得に関しては2枚のMCPを用いることにより十分な特性を得ることができ、飽和特性に関しては、とくに強い光信号を扱わない限り従来型と同様に使用できること、暗電流および雑音指数については、電子冷却器を装着することにより解決できること、などがわかった。

ハ. 動的特性としては、電子走行時間が時間特性を決定する最大の要因となることがわかり、電子走行時間の広がり小さくするために次の3段階すなわち、静電収束型から近接型へ、MCPチャンネル内径の微細化 (12 μm から 6 μm へ)、MCP表面のアルミニウム薄膜の蒸着、などの改良を重ねた。

ニ. これらの研究の結果、最終的に時間分解能 20 ps を有する光電子増倍管が得られた。これは従来の光電子増倍管の時間分解能 (~ 1 ns) と比較すると、50 倍の向上が達成されたことを意味する。実際に、LB膜、生体光受容体、半導体表面などの構造と機能の解析など、化学および工学における研究に適用し大きな成果を収め、現在世界各国でひろく使用されるに至った。

これを要するに著者は、MCPを用いて超高速光電子増倍管を開発することに成功するとともに、光電子増倍管における新しい知見を得たのであり、化学および工学に対して寄与するところ大である。

よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。