The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Study on the Mechanism of Gain Drop in a Microchannel Plate
Author(s)	小林, 浩之
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/93019
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（小林浩之）	
論文題名	Study on the Mechanism of Gain Drop in a Microchannel Plate (マイクロチャンネルプレートのゲイン低下のメカニズムに関する研究)

論文内容の要旨

マイクロチャンネルプレート（ＭＣＰ）は、高い信号増幅率（ゲイン）と優れた時間特性から荷電粒子及び光検出器として、質量分析学、高エネルギー物理学、天文学など、様々な分野で使用されている。ＭＣＰは数万～数１００万個のマイクロメートルスケールの孔(チャンネル)を持った厚さ数百マイクロメートルの鉛ガラスよりなり、１チャンネル当たり$10^{12\text{-}16}$ Ωの電気抵抗を有している。ＭＣＰの入射面側に負の電圧を印加することで、チャンネル方向に電位勾配を与え使用される。粒子がチャンネル内壁に衝突すると二次電子が放出され、放出された二次電子は電位勾配によって加速されて内壁に衝突し、複数の二次電子が放出される。この加速と二次電子放出のプロセスが繰り返され、１つの粒子は約10^4個の電子に変換されチャンネルから出力される。さらに単一粒子を検出できる高いゲイン10^6を得るために、２枚のＭＣＰをスタックしたシェブロンＭＣＰとして使用される。

ＭＣＰは優れた特性を持つ一方で、信号を増幅すると一時的にゲインが下がる‘ゲイン低下現象’が知られている。この現象により後続の信号に対する出力が下がるため、過小評価もしくは不検出となる。この現象は、電子増倍過程でチャンネル内壁に正の電荷(壁電荷)が形成されることに起因し、電源からチャンネル内壁に電子が補給されるまで続くと考えられていた。したがって、ＭＣＰのゲイン回復の時定数はＭＣＰの電気抵抗Rと静電容量C の積RC に一致すると予想された。しかしながら、ＭＣＰのゲイン回復時間を調べた過去の研究では、時定数はRCの２～２７,５００倍と報告されている。またゲイン低下現象は電子増倍したチャンネルの周辺のチャンネルにも広がることが報告されているが、そのメカニズムは明らかにされていなかった。

本研究では、多重周回型飛行時間型質量分析計（ＭＵＬＴＵＭ）及び紫外光を用いた光学実験系を用い、イオン、紫外光をシェブロンＭＣＰに照射することで、ＭＣＰのゲイン回復時間を評価した。その結果、ゲイン回復時の時定数は入射粒子(イオン、光子)には依存せず、RC相当であることが確認された。過去の研究で使われた評価方法では、ゲイン低下空間広がりの影響によって時定数が過大評価されてしまうことがわかった。さらにゲイン低下空間広がりのメカニズムを調べるために、紫外レーザー光をＭＣＰの約７チャンネルに集光して電子増倍を引き起こし、その直後にＬＥＤ光を周辺チャンネルに照射しゲインの空間分布を評価した。ゲインの低下範囲はレーザー光の照射によって出力される電荷の量に依存し、レーザー照射部から近い位置では出力電荷に対して線形、遠い位置では平方根で広がった。本実験結果は、壁電荷が形成する電場が周辺のチャンネルのゲインを下げるというモデルから予想されるゲイン低下範囲と整合がとれた。これにより壁電荷の形成する電場がゲイン低下の空間広がりの主要因と結論付けられた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　小林　浩之　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	豊田岐聡
	副 査　教 授	兼松泰男
	副 査　教 授	松野丈夫
	副 査　教 授	木村真一
	副 査　准教授	大塚洋一
	副 査　准教授	横田勝一郎

論文審査の結果の要旨

マイクロチャンネルプレート（MCP）は、高い信号増幅率（ゲイン）と優れた時間特性から荷電粒子および光検出器として、質量分析学、高エネルギー物理学、天文学など、様々な分野で使用されている。MCP は数万～数 100 万個のマイクロメートルスケールの孔（チャンネル）を持った厚さ数百マイクロメートルの鉛ガラスよりなり、1 チャンネル当たり $10^{12\text{-}16}\,\Omega$ の電気抵抗を有している。MCP の入射面側に負の電圧を印加することで、チャンネル方向に電位勾配を与え使用される。粒子がチャンネル内壁に衝突すると二次電子が放出され、放出された二次電子は電位勾配によって加速されて内壁に衝突し、複数の二次電子が放出される。この加速と二次電子放出のプロセスが繰り返され、1 つの粒子は約 10^4 個の電子に変換され、チャンネルから出力される。さらに単一粒子を検出できる高いゲイン 10^6 を得るために、2 枚の MCP をスタックしたシェブロン MCP として使用される。

MCP は優れた特性を持つ一方で、信号を増幅すると一時的にゲインが下がる「ゲイン低下現象」が知られている。この現象により後続の信号に対する出力が下がるため、過小評価もしくは不検出となる。この現象は、電子増倍過程でチャンネル内壁に正の電荷（壁電荷）が形成されることに起因し、電源からチャンネル内壁に電子が補給されるまで続くと考えられていた。したがって、MCP のゲイン回復の時定数は、MCP の電気抵抗 R と静電容量 C の積 RC に一致すると予想された。しかしながら、MCP のゲイン回復時間を調べた過去の研究では、時定数は RC の 2～27,500 倍と報告されている。またゲイン低下現象は電子増倍したチャンネルの周辺のチャンネルにも広がることが報告されているが、そのメカニズムは明らかにされていなかった。

本研究では、多重周回型飛行時間型質量分析計（MULTUM）および紫外光を用いた評価実験系を構築し、イオン、紫外光をシェブロン MCP に照射することで、MCP のゲイン回復時間を評価した。その結果、ゲイン回復時の時定数は、入射粒子（イオン、光子）には依存せず、RC 相当であることが確認された。過去の研究で使われた評価方法では、ゲイン低下空間広がりの影響によって時定数が過大評価されていたことがわかった。さらにゲイン低下空間広がりのメカニズムを調べるために、紫外レーザー光を MCP の約 7 チャンネルに集光して電子増倍を引き起こし、その直後に LED 光を周辺チャンネルに照射しゲインの空間分布を評価した。ゲインの低下範囲はレーザー光の照射によって出力される電荷の量に依存し、レーザー照射部から近い位置では出力電荷に対して線形、遠い位置では平方根で広がった。本実験結果は、壁電荷が形成する電場が周辺のチャンネルのゲインを下げるというモデルから予想されるゲイン低下範囲と良い一致を示した。これにより壁電荷が形成する電場がゲイン低下の空間広がりの主要因と結論付けられた。

上記のように、本博士論文の研究内容は、光子や荷電粒子の検出では優れた特性を持つマイクロチャンネルプレートで問題になっていた、信号を増幅すると一時的にゲインが下がる「ゲイン低下現象」の起源を明らかにしたものとして高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。