

論文題目要旨

学位申請者：小林 浩之（物理学専攻）

論文題目: 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）

日時: 2023年8月2日（水）13:30—15:00

場所: 理学研究科 H棟7階セミナー室（H701号室）

主査: 豊田 岐聡

副査: 兼松 泰男、木村 真一、松野 丈夫、大塚 洋一、横田 勝一郎

論文要旨:

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^{12-16} 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という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。