

# マイクロチャンネルプレート (MCP)

浜松ホトニクス(株) 電子管事業本部  
奥山千代志

## Micro Channel Plate (MCP)

Chiyoshi Okuyama

Electron Tube Center HAMAMATSU PHOTONICS K.K.

近年、電子線やイオンをはじめとする荷電粒子、中性粒子、硬X線から軟X線、そして真空紫外線 (VUV) から近紫外線 (UV) の検出、さらにはそれらの二次元画像化に対する要求は、基礎計測や応用計測、産業計測と計測全般にわたっていて、ますます高まっている。これらの検出器として、マイクロチャンネルプレート (MCP) が注目されるようになり、我が社製 MCP やその応用製品の活躍の場も多くなってきている。

MCP の最初の開発は、米国の BENDIX 社研究所に於いて1960年代初期に開始され、1962年にはMCPとそのMCPを電子像倍部に用いたイメージ・インテンシファイア (暗視管: I・I) が同時に発表された。

我が社は1972年頃からMCPの開発に着手し、1975年頃に一応の完成をみたが、イメージ用としてはまだ実用の域に達していなかったため、一部の分野に販売を行ないながら改良研究が継続された。その後、真に品質が認められ本格的な実用化が始まるまでに更に10数年に及ぶ歳月を必要としたが、一步一步品質改善を行いつつ進んできた結果、現在ではI・Iをはじめとする我が社の微弱光および超高速検出用デバイスな

どに広く応用されるようになり、現在もその心臓部として動作している。

最初に、MCPの理解を助ける意味でMCPの構造、動作原理、MCP用ガラス、MCPの製法に関する一般的な説明を行っておきたい。

### MCPの構造、動作原理

Fig-1 のように、MCPの入力側・出力側の2つの電極に電圧  $V_D$  を印加するとチャンネル方向に電位勾配が生ずる。

ここで入射電子が入力側の内壁に当たると複数の二次電子が放出される。これらの二次電子は電

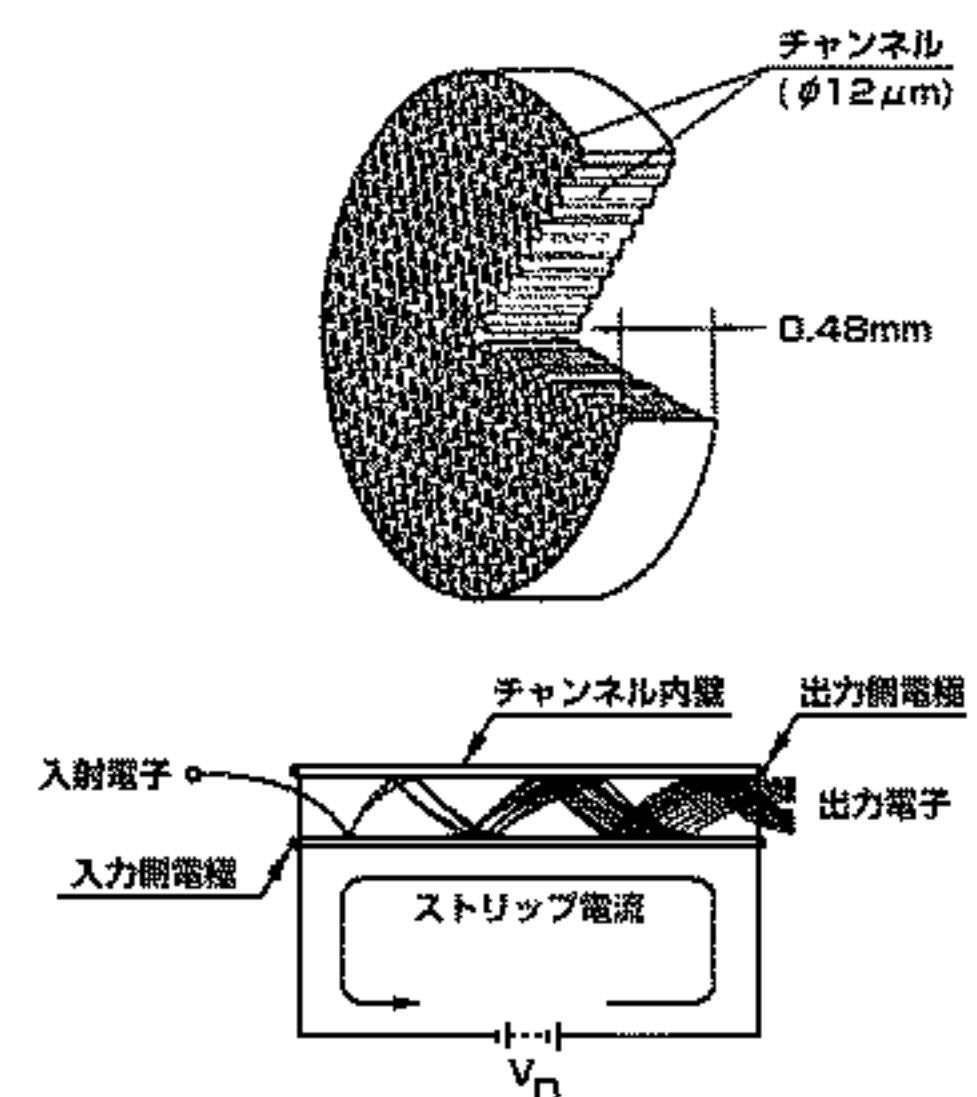


Fig-1 Schematic Construction and Operating Principle of MCP

位勾配によって加速されるため、初速度によって決めるある放物線軌道を進み、反対側の壁に衝突し再び二次電子を放出する。

こうして二次電子はチャンネル内壁に何回も衝突しながら出力側に進んでいき、結果として指数関数的に増倍された電子流が取りだされる。

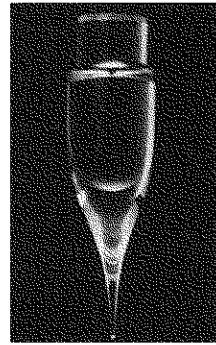
## MCP用ガラス

固体表面を電子線で衝撃するとその表面から電子放射が起こるが、この時の衝撃電子を一次電子、放射電子を二次電子と呼ぶ。一次電子1個当たりの二次電子の平均放射数は二次電子放出比と呼ばれ、通常 $\delta$ で表示される。MCPは $\delta$ の高いガラスの二次電子放射現象を利用した電子増倍器であり、超小型の導電性ガラス細管（チャンネル）を数十万～数百万本平行に束ねて、二次元面に電子増倍機能を持たせたデバイスである。過去、色々なガラスでMCPの製造法が研究されたが、現在では高鉛ガラス管を水素還元処理し、チャンネル表面に電気抵抗薄膜を作製しMCPを作る方法が主流である。高鉛ガラスは作業温度が高く加工性も優れているので、後述する2段階引法による製造が可能であり、全チャンネル表面に水素還元処理で均一な電気抵抗薄膜を作ることが出来るからである。

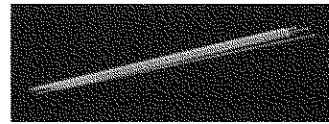
## MCP製造法

Fig-2のように、先ず酸可溶性芯ガラスを挿入したガラス管を引伸ばし、シングルファイバーを製造する。それを正六角の型に整列融着しマルチファイバー母材を作る。この母材を再度管引しマルチファイバーを製造し、型枠用ガラス管内に整列し、加熱融着する。次にこの母材をスライスした後、平面研磨を行いMCP素材が出来上がる。次にこの面板を酸溶液中に浸漬し芯抜き処理を行い、初めに挿入されていた酸可溶性芯ガラスが溶出される。芯抜き終了のチャンネルプレートは水素雰囲気電気炉中で加熱されるが、この工程で全チャンネル表面のPbOはPbに還元され所望の導電性薄膜が形成され

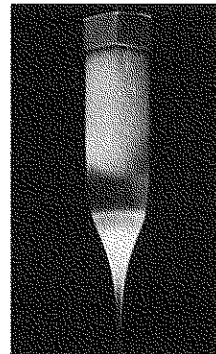
## 2段階引法によるMCP製造工程



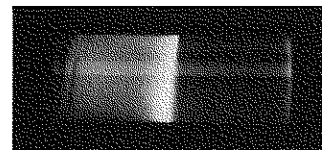
シングルファイバーの管引



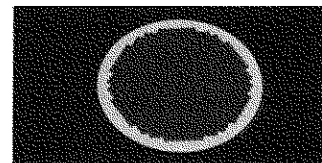
管引されたファイバー



マルチファイバー管引



スライス



電極蒸着

Fig-2 MCP Production Process by Rod in Tube Method

る。最後にチャンネルプレートの両面に、電極用金属が蒸着されMCP製造工程が完了する。

## 開発秘話

自分は昭和48年5月浜松ホトニクスに入社したが、入社面接の場で社長から、MCPの開発の仕事があるかどうかと問われ、MCPのなんたるかを知らないまま何とかなるだろうと安易な気持ちで引受けた記憶がある。その結果、入社後の約18年にわたりMCPの開発から生産化に至るまで一貫して携わることとなり、自分のライフワークになった。

入社当時は先任者がMCPの開発に取り組んでいたが、その開発方式は、引伸された中空ガラス毛细管を多数本束ねて融着するという方式であり、いわゆる1段引法であった。これは当時早稲田大学で開発された方式であることから「早稲田方式」と呼ばれていた。

当面この方式を引継ぐという形をとったが、先任者の開発進行状況は、管引装置を試作し管引実験が終了したという段階であった。引継ぎ後のスタッフは自分一人であり、他に経験者が1人もいない上、参考になる文献も殆んど見当らなかった。先ず早稲田方式を修得することが先決と考え、早稲田大学に実習を申入れたところ受入れられたので、約2週間にわたる実習を行い、1段引法の製造技術をマスターすることが出来た。

こうして、自社に帰り中空管方式の研究開発に着手したわけだが、当初は自社製の管引装置が1台あるのみで他に試作設備は何もなかった。試作設備として、ガラス溶解用電気炉、水素還元炉、電気抵抗測定器（ピコアンメータ）等は最低必要であったが、実績がないため大きな設備購入予算を取ることが出来ず、電気炉や水素還元炉は耐火煉瓦を組立てて自作し、ピコアンメータは他部門から借りて作業を開始した。

その後、2年間にわたり中空管方式の1段引法の試作研究を行ったが、この方法ではチャンネル径は100~120 $\mu\text{m}$ φが限界であり、イメ

ージ管に要求されるチャンネル径15~12 $\mu\text{m}$ φのMCPの製造は不可能であるということが分った。そしてチャンネル径15~12 $\mu\text{m}$ φのMCPの製造には、Fig-2に示された2段引法をとる必要があることも分った。

幸いなことに、中空管方式の研究結果からある程度レポートが出せるようになった昭和50年度に至り、当時我が社が手掛けていた通産省の重要技術研究補助金テーマ「高感度・高速撮像蓄積管に関する応用研究」の中に、撮像蓄積管のパーツとして計上されていたMCP開発研究費を使って開発を行うことが出来るようになり、ガラス溶解電気炉、水素還元炉、熱膨張係数測定装置、自動管引装置、スライディングマシンをはじめ、MCP試作の全工程に必要な設備を整えることが出来た。しかし試作を行う場所は1段引法で試作していた場所をそのまま使用したので、これらの装置を全部納めると人が自由に歩くことの出来る空間は殆んどなくなり、その様子はあたかも潜水艦内部を思わせるものであった。更に、この年にあらたなスタッフが2名加わり、名実共に研究体制が整い本格的な2段引法MCPの研究開発が開始されたのである。

当時、2段引法によるMCPの製造は欧米の先行技術であり、重要なガラスに関する情報は殆んど得られなかった。そこで米国のMCPを購入し、そのガラス組成を調べた結果、米国のコーニング社の高鉛ガラスを使用していることが判明した。そこで、よろこび勇んでこのガラス管を購入しMCPを試作してみたが、このガラスは対酸性が悪く、又我々の酸可溶性芯ガラスとのマッチングも悪く、MCP製造工程の芯ガラス除去の酸処理でチャンネル壁が侵蝕され崩れる等の問題が生じ、どうしてもMCP製造用元管として使いこなすことが出来なかった。又、芯硝子は購入したMCPには全く残存していないので、外国MCPメーカーがどのような芯ガラスを使用しているのか知る手立てはなかったし、文献や特許にも記載されていなかった。この為、独自にチャンネルガラス、芯ガラスの

組成開発が必要となり、この仕事が2段引法によるMCP開発の出発点となったのである。

チャンネルガラスの開発作業は、先ず電気炉で小さなアルミナルツボを使用してガラスを溶解するところからスタートするが、外径1~2mmφの細い棒状のサンプルを採取し、これを水素還元処理して電気抵抗値を測定し、更に熱膨張係数、耐酸性、芯硝子とのマッチング特性測定等の作業も平行して行う必要があるため、かなり大変な作業であった。

芯ガラスは $B_2O_3$ 、BaO、 $La_2O_3$ 系のガラスをアレンジしたガラスを使用するが、この系のガラスは高温時の粘性が極めて低く、その上耐火物の侵蝕性も強いので、粘土質ルツボでの溶解ではたちまちルツボが侵蝕され底に穴があいてしまい、ガラスは電気炉の底部耐火物に吸込まれ跡形も無くなってしまうので、侵蝕に強い高アルミナ質ルツボを使用するようにしたが、ガラス組成によってはアルミナルツボでも侵蝕され底に穴があくこともあった。またアルミナルツボは熱ショックに弱いため、原料粉末投入時の急冷でクラックが入りやすく、ガラスが流出することがしばしばあった。このような経験から、芯ガラス溶解には白金ルツボを使用する方法に切替わっていった。

このように、ガラス組成開発は試行錯誤の繰返しであったが、この間に試作されたガラス組成は200種類に及んだ。そしてこれらの実験を通して、耐酸性が良く、適当な電気抵抗値を持ち、芯ガラスとのマッチングの良いチャンネルガラス組成が決定されたのである。

2段引法の場合、チャンネルガラスと芯ガラスの組合せ方によってMCPの特性は全く変わってしまうため、その組合せの数は無限に近く、結果的に見てMCPの開発はこのガラス材料試験に明け暮れたといっても過言ではない。更にそのガラス材料の組合せが適切か否かは、I・IやPMT（光電子増倍管）等に組込みMCPとして動作させて初めて判明するため、その評価結果が出るまでには長時間を要した。

昭和52年頃になり、どうにかチャンネル径15~12 $\mu$ mφのMCPが作れるようになり、電気特性面も活性化処理の研究によって改善されたので、これで実用的なMCPが完成したと思った。しかしながらI・Iへ応用してみると、画質上でのブロックムラ（マルチファイバー外径変動が原因）や蛍光面上に輝点（MCPに入射電子が無くても、どこかのチャンネルから増幅された電子流が飛出す現象で1種のノイズ）が出る等、多くの欠点が浮彫りになり、まだイメージ用としての使用は不可能であることが分った。その後はそれらの改良に臨むことになったが、特に輝点の改善には予想をはるかに越える努力が要求され、関係者の苦労は並大抵のものではなかった。なにしろ、I・Iに使用される外径25mmφ、有効径22mmφ、チャンネル径12 $\mu$ mφのMCPには、約150万個もの穴（チャンネル）があいていて、この中から1個でも輝点が出ればMCPとしては不良になるからである。又、輝点の原因を特定することが極めて困難であったことも苦戦を強いられた大きな要因であった。しかしこの問題も芯抜き後のMCP活性化処理法の研究によって改善されていった。

こうして次第に改良効果も実りはじめ、MCP実用化への道が開けていった。そして昭和53年に至り、いよいよMCPの販売を開始したのである。しかしながらこの時期における我が社のMCPはイメージ用として使用可能な品質を確立するには至っていなかったため、試作品をもっぱら大学や研究所、民間企業の研究用として販売しながら開発研究を継続することになった。この時期に販売したMCPの主な用途はイオン及び電子の像倍器であった。時代の要求もあり、この時点からI・I用高品質MCPの本格的試作を開始したが、まだブロックむらや輝点など画質上の欠点が目立ち、これがI・Iの不良原因になることが多く、当時我が社のI・Iに採用されていた米国製MCPの品質には遠く及ばなかったため、社内では採用してもらえないというのが実情であった。そこで試作品を

社内で試験的に使用してもらい評価を受けながら問題点を改善していくという方法がとられたが、I・Iは高価なものであるため、それに使用されるMCPの検査作業には多くの時間を要し、管に組込まれる前には入念な中にも入念な検査を行う必要があった。

しかし、このような苦労を重ねながらも一歩一歩品質は改善されていき、昭和56年には第一次MCP工場が新設され、その生産体制が強化された。

昭和60年を過ぎる頃には、それまで人手による人海戦術で行っていたマルチ・ファイバーの外径選別作業が我が社の自動化グループが開発した自動外径選別機の完成によって大幅に効率化が図られ、ブロックむらも減少して、I・Iの画質向上に大きく奇与することが出来た。これに加えて管引用電気炉の構造改善や、特注したMCP用高性能ファイバー引出装置の導入によってマルチ・ファイバーの外径変動も著しく低減し、品質や寿命の長さの点でようやく米国製MCPを凌ぐ評価結果を得ることが出来るようになったのである。そして、この実績が評価されて、ようやく我が社のI・Iにも採用されるようになった。又、この時期にはチャンネル径12 $\mu$ m $\phi$ の他に、10 $\mu$ m $\phi$ 、6 $\mu$ m $\phi$ のMCPも順次開発され応用分野も次第に拡大していった。

このように、用途に合せた自由な設計が可能になるなどMCPを自社生産することのメリットは大きく、独自性のある競争力の高い応用製品を製造し得るようになった。

さらに、MCP生産工程での品質管理の徹底や充実した検査体制を整えることでその品質も完全に保証されている。

10数年に及ぶ開発から工業化生産に至る迄の過程を振り返って見る時、ここまでこれたのは、多くの関係者の協力とチームワークの賜物であると共に、長い目で見守って頂いた社長の深遠な配慮の賜物であるとあらためて感謝している。

又、我が社の気風が“「先ず実践」が独創生む”というものであり、理屈は分らなくてもとにかく“もの”を作ってみようというものであったことも長期間にわたる仕事が継続出来た大きな原動力であったように思う。我が社は研究工業であるというのが企業精神である。従って社員全員が研究者であり、全員が試作研究テーマや年間作業目標を掲げて仕事を行っている。そして年2回行われる試作研究発表会には社長自らが必ず出席し熱心な質疑応答が行われる。そしてこの試作研究発表会を通じて社長と社員との間に深いコミュニケーションが生まれ、明日への活力が生まれる。

自分も“MCPの試作研究”という一つのテーマで約10年余りにわたり研究発表を行ったが、最後の方になったら社長から“いいかげん顔を見るのにも飽きたからそろそろ若い人に発表の場を譲ったらどうか”との提案が出される一幕もあった。

“継続は力なり”という格言があるが、少しずつ努力を重ねることが大きな成果につながる最も確実な道であるように思う。