

# 世界最高感度のマイクロチャンネルプレートの開発



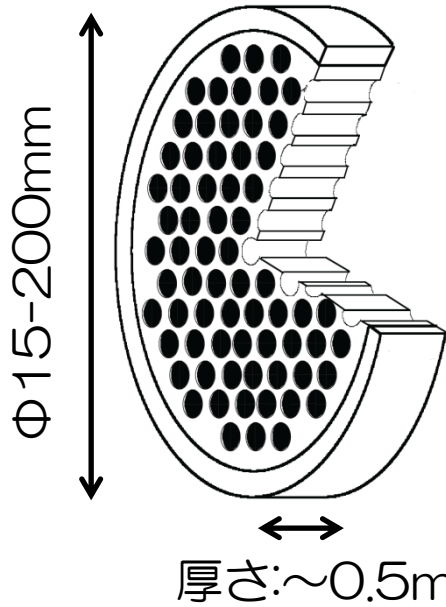
KEK 物質構造科学研究所  
技師 的場史朗

# 目次

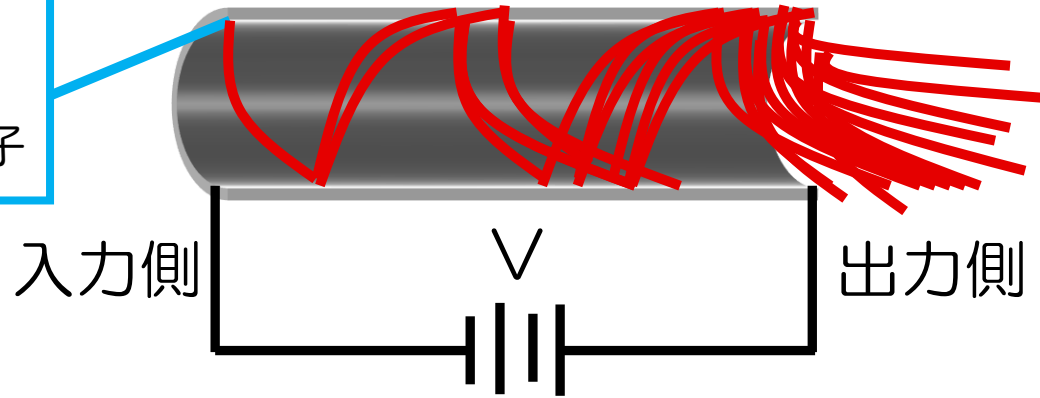
---

- 導入
  - Micro Channel Plateの検出効率特性
  - 検出効率向上に向けて～Tapered-MCP
- 実験
  - イオンの検出効率測定
  - 紫外光の検出効率測定
- 今後の展開・まとめ

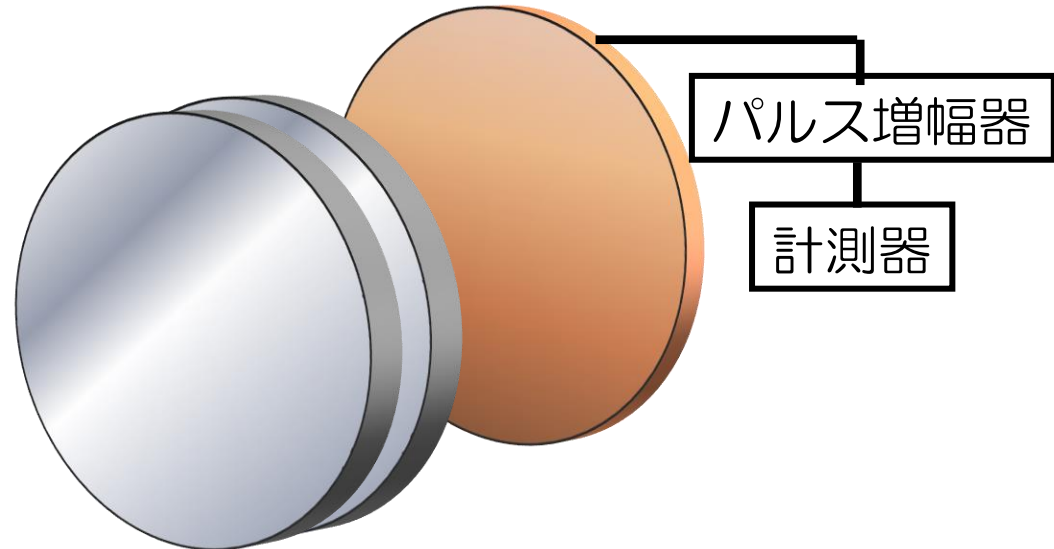
# MCP (Micro Channel Plate)



イオン・電子  
真空紫外光  
X線・ $\gamma$ 線  
高速中性粒子



- 高速検出くナノ秒
- アノードで用途を選択
  - ・シングル：大口径検出
  - ・マルチ：位置情報 (DLD、BG等)
  - ・蛍光板：画像読み出し
- イオン原子分子：keV~GeV  
電子：100 eV~MeV  
光子：赤外~ガンマ (要コンバータ)  
中性子：熱~熱外



# MCPの開発史

1926年：高柳健次郎らがブラウン管による電送受像に世界初成功

1930年：連続型電子増倍管のアイデア(P.T.Farnsworth, U.S. Patent 1969399)

1953年：弟子の堀内平八郎は暗視装置の研究開発等を経て1953年に浜松テレビ株式会社創業 → 1983年に浜松ホトニクス株式会社

1960年：最初のMCP試作機(W.C.Wiley *et al.*, IRE Trans. NS-9 No.3 (1962) 103.)

1960年代：アメリカを中心に開発進む

1971年に日本でもMCP市販。このころの解説記事も興味深い。

“平行平板型電子増倍管の製作とその特性，紺野ら，質量分析Vol17. No2, (1969) 629”

“チャンネル二次電子増倍面，世古ら，応用物理第41巻第6号(1972)635”

高開口率化は暗視装置中心に開発進む，特許中心だが一部論文も散見される

左図は，大庭弘一郎，日本物理学会誌第37巻第9号(1982)771

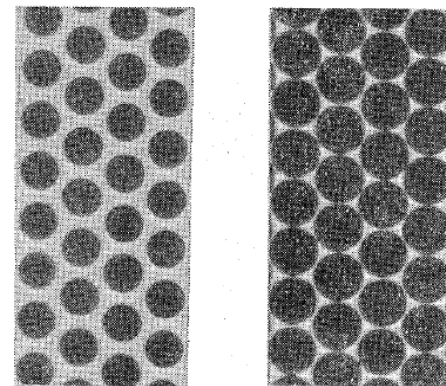
E.V. Patrick and A.R. Asam: *Proc. Technical Program Electro-Optical System Design Conf.*, 1976, p. 629.

Y. HASEGAWA, T. HASHIZUME<sup>(1)</sup>, T. SAKURAI, Y. MIZUSHIMA\*

JOURNAL DE PHYSIQUE

Colloque C7, supplément au n° 11, Tome 47, Novembre 1986

C7-509



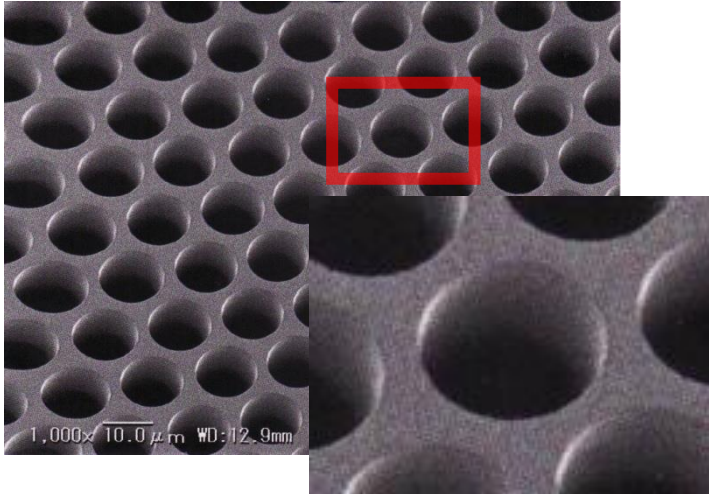
第3図 OARの異なったMCP. (a) OAR=60%, (b) OAR=90%.

2008年 高開口率MCP(T-MCP)の開発スタート

2015年 浜ホトによる高感度型MCP(T-MCP, 浜ホト商品名ファネル型MCP)のカタログ化

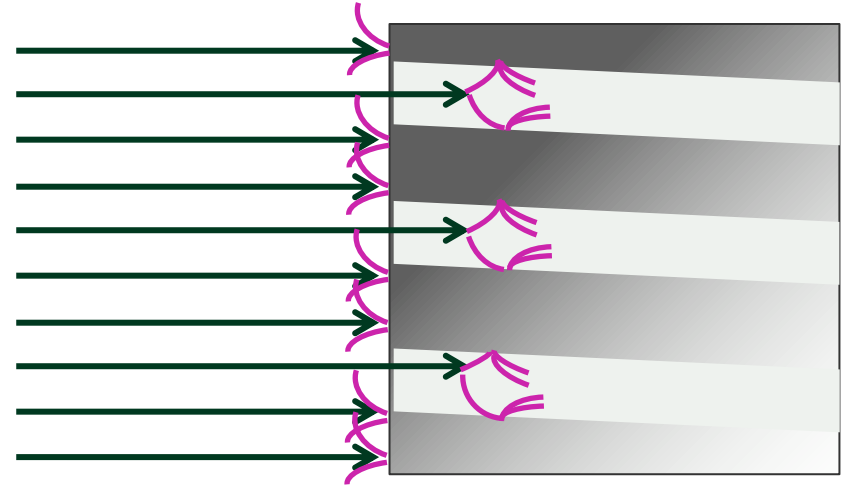
# 開口率と検出効率

- Conventional-MCP  
開口率: 60%



- 浜松ホトニクス社製  
直径: 50 mm  
チャンネル径: 12 μm  
厚さ: 0.48 mm

- C-MCPの断面図



- チャンネルに入射した粒子のみを検出

検出効率 ≤ 開口率

# イオン検出効率のエネルギー依存性

- 検出効率  $\propto E/M^{0.5}$
- 矢印：2 keVイオンの検出効率
- 右図から検出効率を推定可能  
開口率 $\sim 50\%$

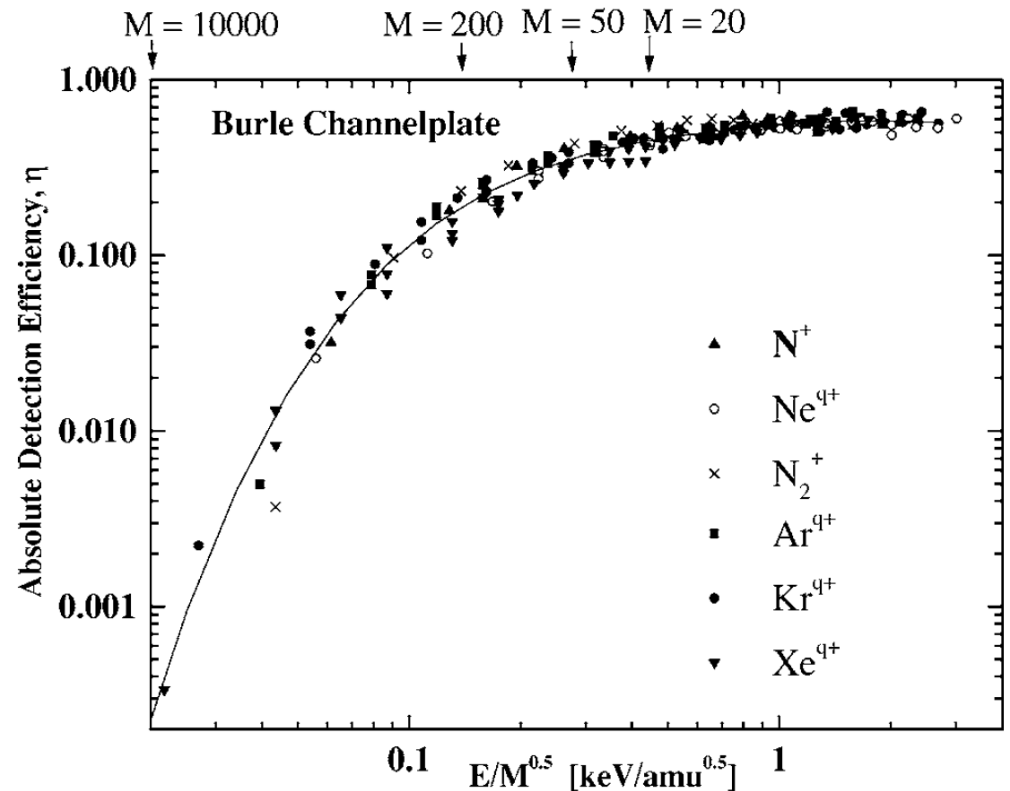


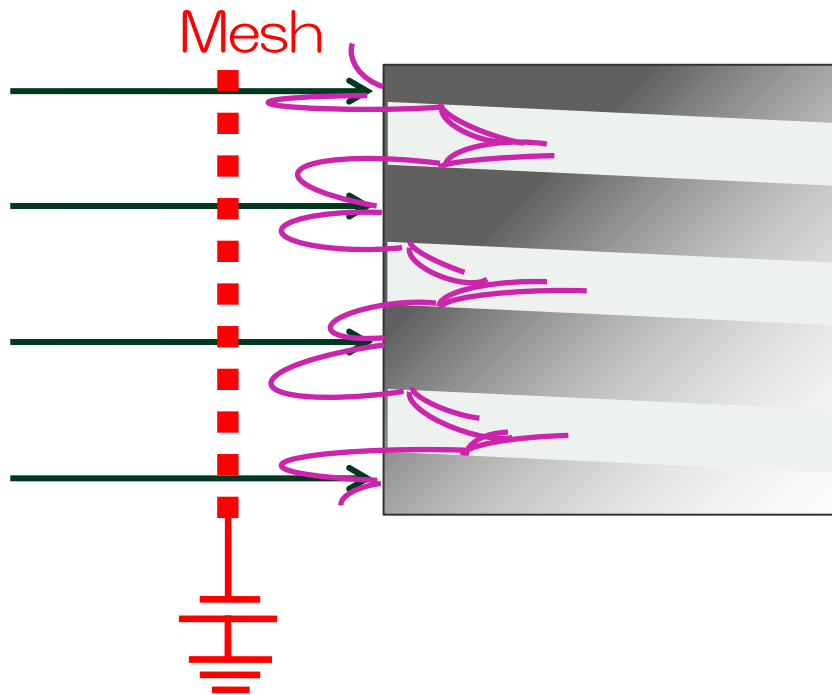
FIG. 3. Absolute ion detection efficiencies for a channelplate. The efficiencies are plotted vs the impact energy divided by the square root of the ion mass. The solid line is a polynomial fit to all the data. Arrows on the top axis indicate values of the abscissa for detecting singly charged positive ions of various masses if the front plate is biased at  $-2$  kV and the backplate of a chevron pair is grounded as is often used for channelplate pairs.

# 目次

---

- 導入
  - Micro Channel Plateの検出効率特性
  - 検出効率向上に向けて～Tapered-MCP
- 実験
  - イオンの検出効率測定
  - 紫外光の検出効率測定
- 今後の展開・まとめ

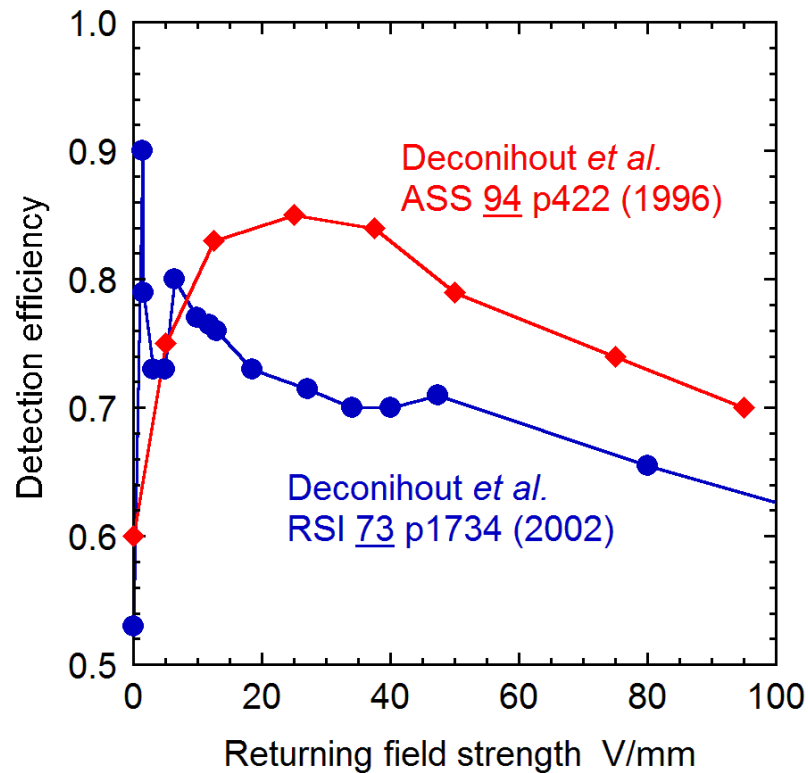
# 検出効率向上に向けて ~二次電子追い返し~



メッシュは検出効率を増大

しかし、検出効率 < 透過率

## ● Repeller effect for ions





# 検出効率向上に向けて

- チャンネル径を広げる

大きな開口率 → 脆い

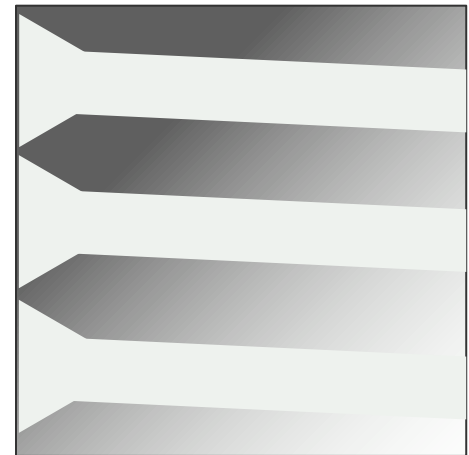
開口率 < 100%



- Tapered-MCP

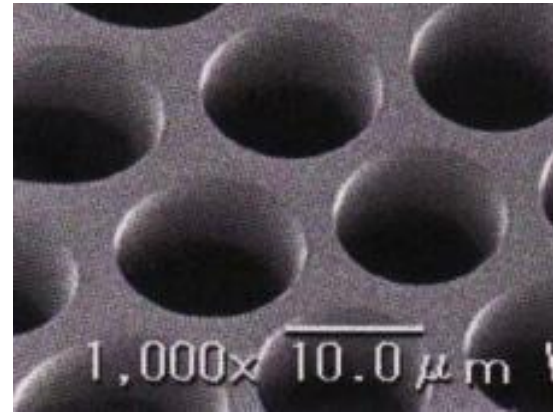
テーパ加工によって表面の開口率のみを向上

開口率100%も達成可能!



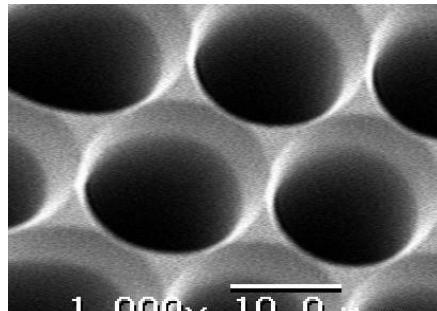
# Tapered-MCP

- Conventional-MCP  
浜松ホトニクス社製  
F1217  
開口率：60%  
最大検出効率：62%  
(Xeイオン0.5-13 keV)



- T-MCP  
F1217にエッチングでテーパ加工

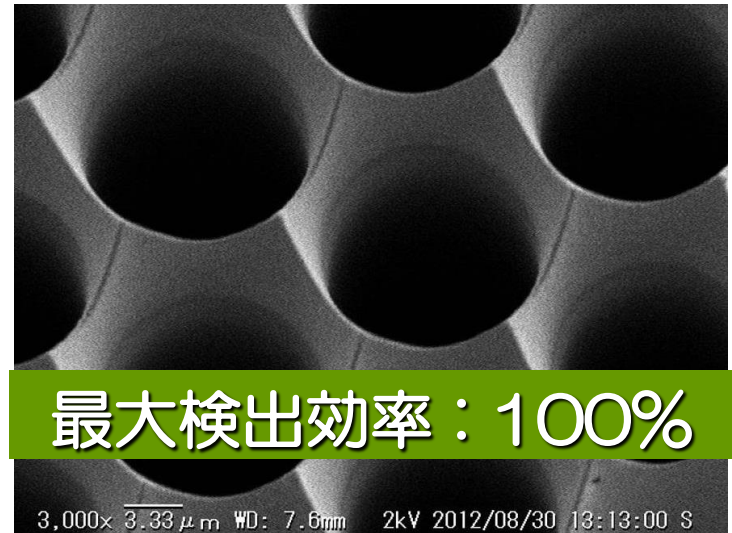
開口率：90%



最大検出効率：89%

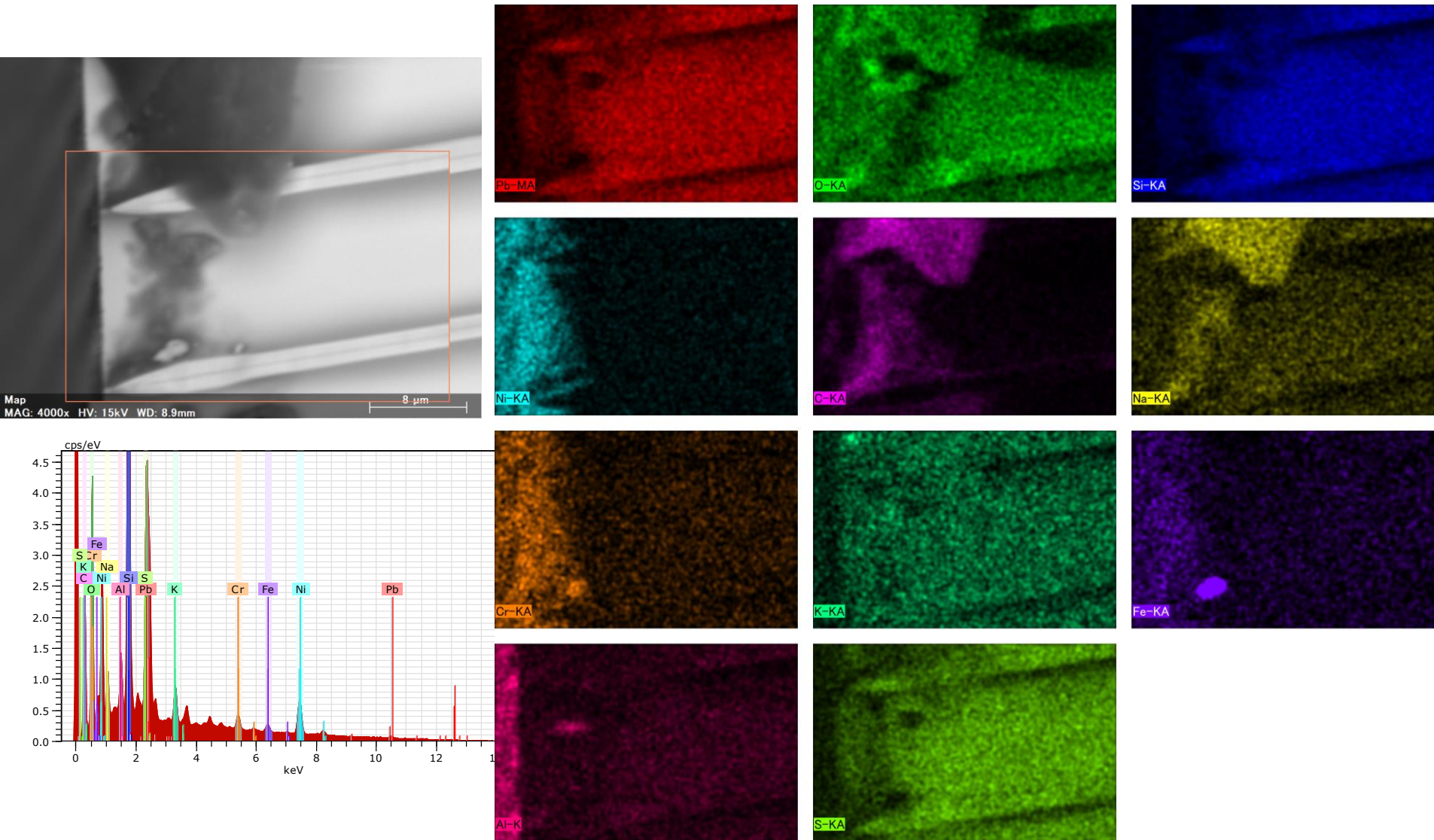
Matoba *et al.*, Rev. Sci. Instrum.  
85 (2014) 086105

開口率：100%



最大検出効率：100%

# Tapered-MCPのSEM写真



# 目次

---

- 導入
  - ・ Micro Channel Plateの検出効率特性
  - ・ 検出効率向上に向けて～Tapered-MCP
- 実験
  - ・ イオンの検出効率測定
  - ・ 紫外光の検出効率測定
- 今後の展開・まとめ

# イオン検出効率測定

$$\text{検出効率} = \frac{\text{単位時間にMCPで検出した粒子数}}{\text{単位時間にMCPへ入射した全粒子数}} = \frac{N_{\text{MCP}}}{I_{\text{FC}} / eq}$$

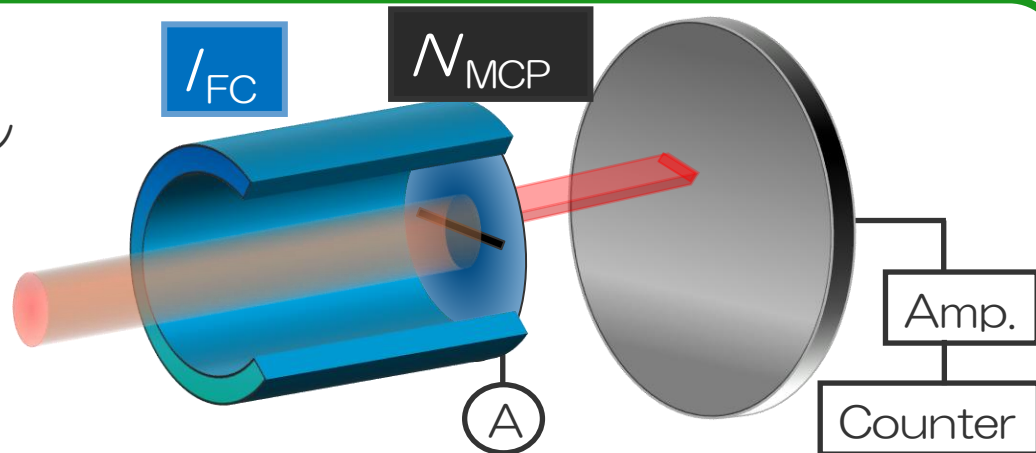
■ 100 eV-10 keV@立教大学

スリットつきFCでイオンビームをスキャン

イオンビーム径：3mm

スリットサイズ：74.1 μm×14mm

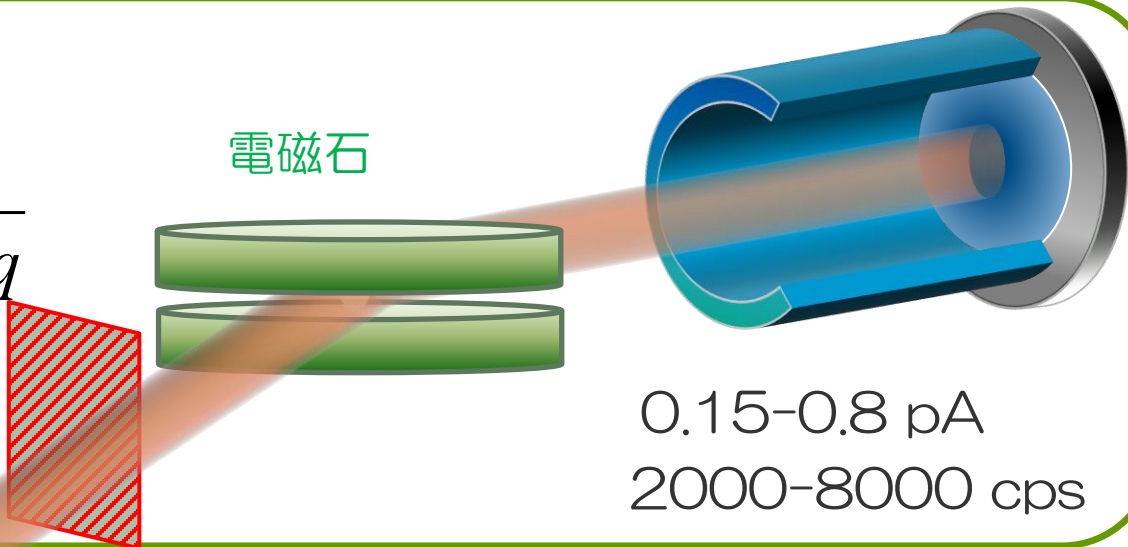
$$N_{\text{MCP}} = \int N(x) dx = \sum_i n(x_i) \frac{\Delta x}{s}$$



■ 10 keV-1 MeV@高崎研TIARA

$$\frac{N_{\text{MCP}}}{I_{\text{FC}} \times \text{透過率} / eq}$$

アッテネータ  
透過率は1/270





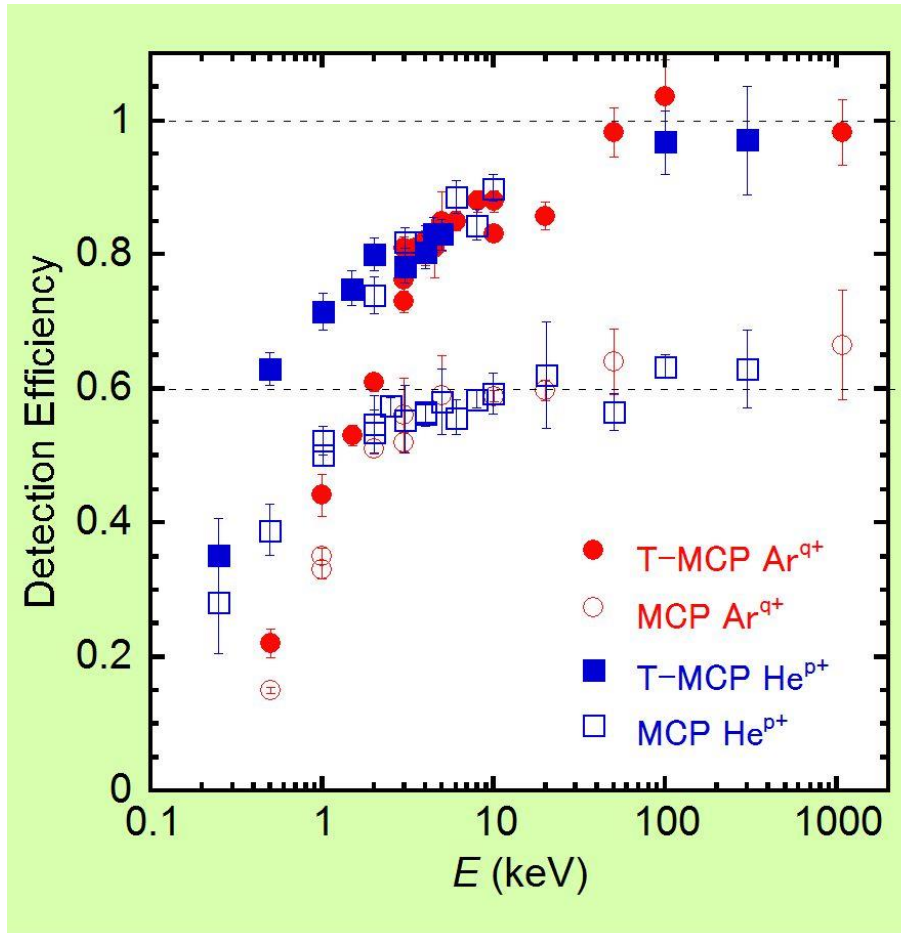
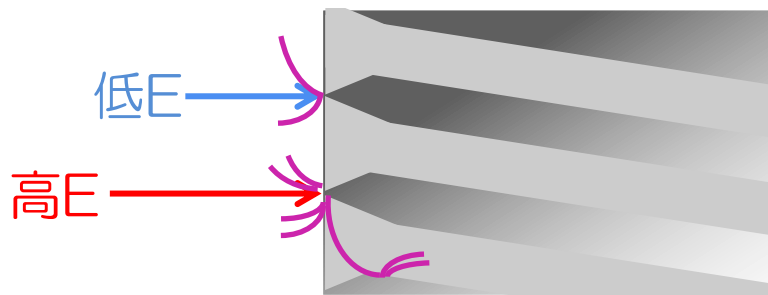
# イオン検出効率のエネルギー依存性

10 keV以下 …立教大学にて測定

10 keV以上…TIARA(イオン注入Eライン)にて測定

- 50 keV以上でT-MCPの検出効率100%
- 全測定領域でT-MCPの検出効率は増大
- 検出効率が開口率に達するEは通常MCPの方が低い

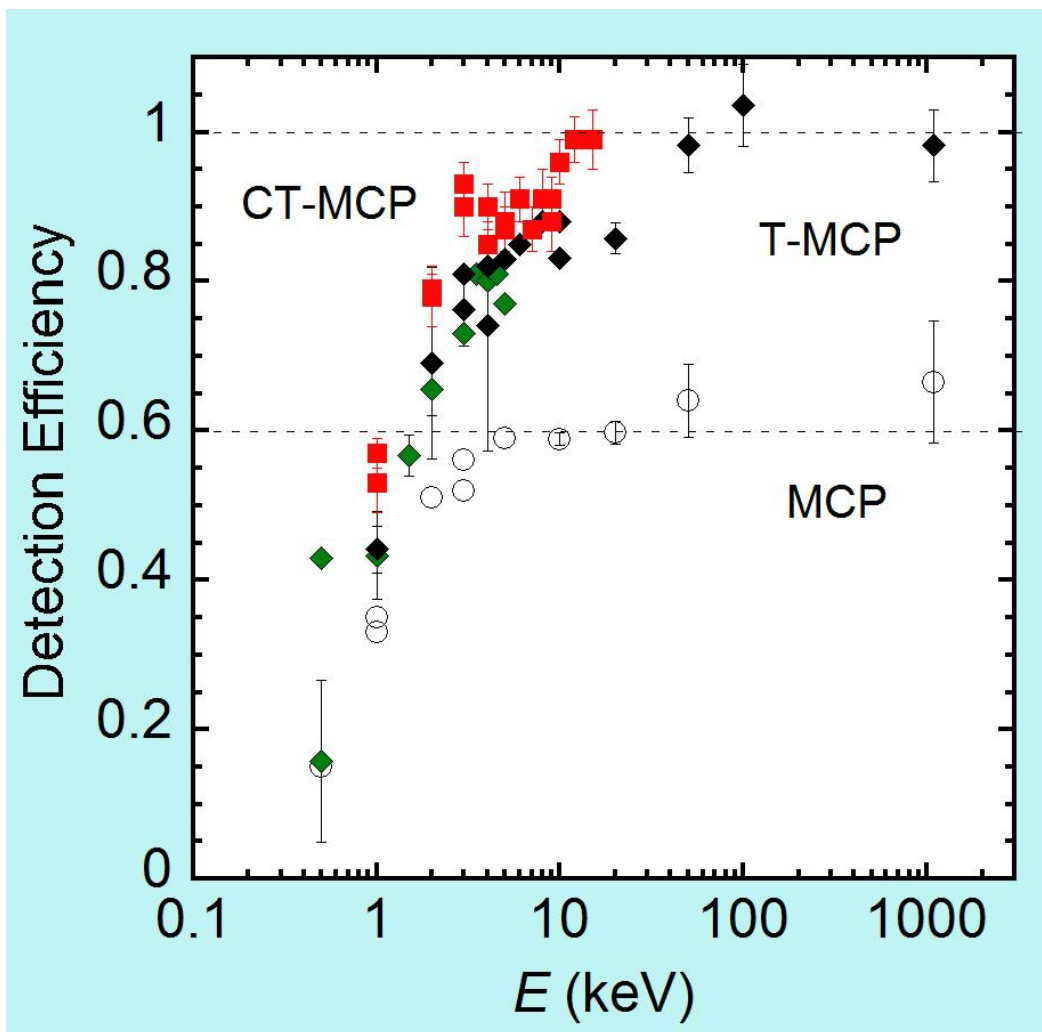
$E \geq 100\text{keV} \rightarrow$  二次電子多い



# MgOコーティングT-MCPのイオン検出効率

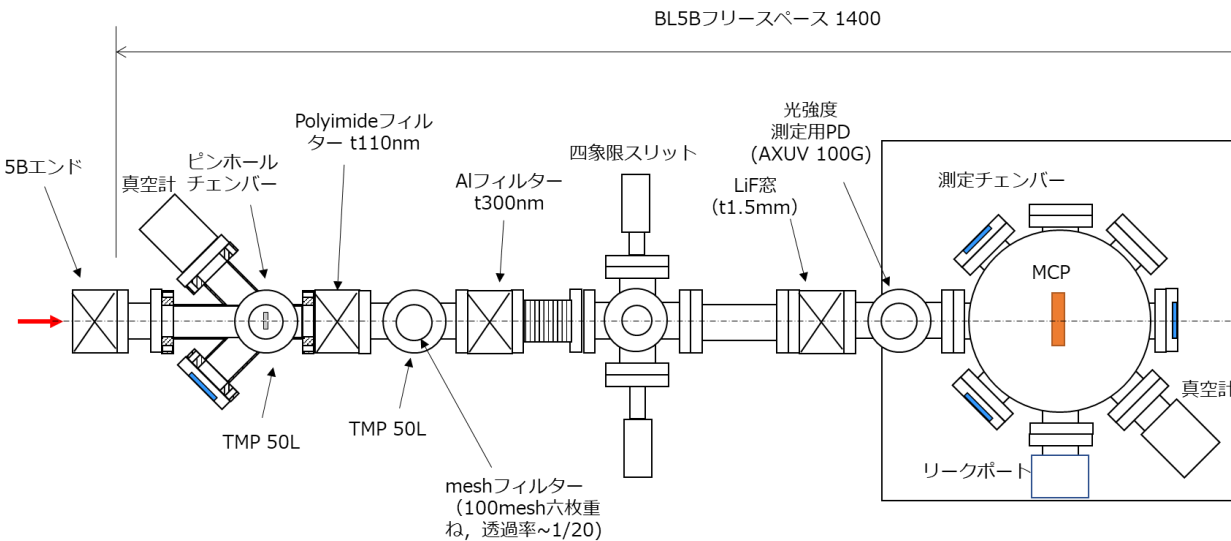
$Ar^{q+}$  ( $q=1-3$ )に対する検出効率

- T-MCP表面にMgOをコーティング  
→仕事関数を低下させる
- 高エネルギー領域の検出効率  
MCP . . . 66%  
T-MCP . . . 100%  
CT-MCP . . . 100%  
開口率に比例
- 開口率に達するエネルギー  
T-MCP . . . 50 keV  
CT-MCP . . . 12 keV
- テーパー先端部からの二次電子  
はチャンネルへ突入確率が低い  
→二次電子収量の増大に伴い  
検出効率も向上

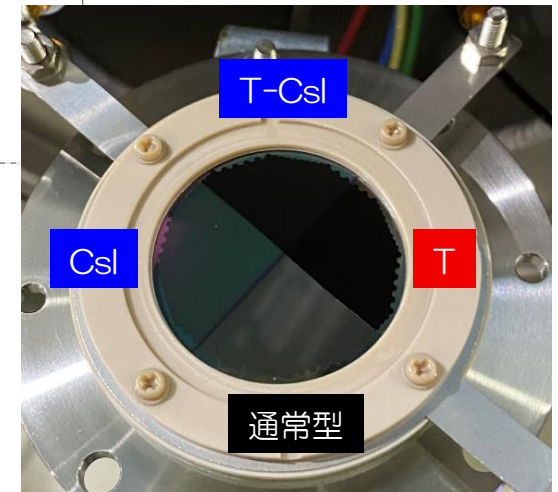


# 紫外光検出効率測定

- 分子研UVSOR BL5Bにて実施。
- 30-190 nm, ビーム径~1mm
- 上流のメッシュ電流をモニタしながら, ビーム位置に各象限を移動させ300秒間の平均カウントレートを計測
- 各象限でのカウントレートの比を相対検出効率とした



- 四象限MCPアッセンブリ  
有効径42mm 2段構成  
※二段目は通常型MCP



UVSOR BL5B  
2022年2月1日-4日, 8日-11日



# 紫外光検出効率測定

## ● カウントレート

TCsI-MCP : 6066cps

CsI-MCP : 2241cps

T-MCP : 199cps

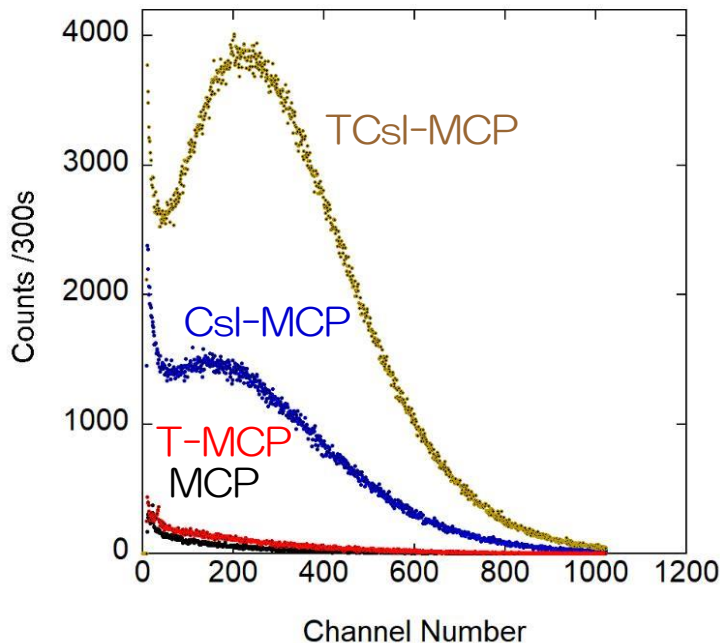
MCP : 107cps

ノイズ~ : ~1cps

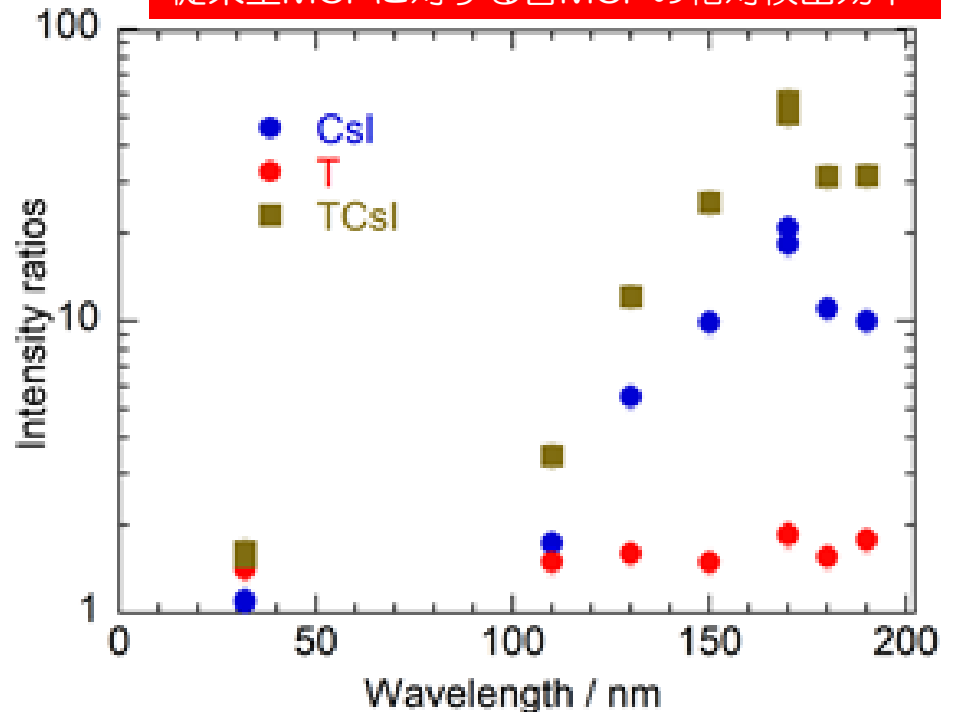
● MCAで計測されたすべてのカウントを検出シグナルとして計上した。

- テーパーによる検出効率向上 : 1.4-1.9倍
- 30 nmではCsIより向上効果あり
- CsIによる向上効果の波長依存性は既報と同様
- **テーパーとCsIの組み合わせは有効**

170nmにおける各MCPのパルス高分布



従来型MCPに対する各MCPの相対検出効率



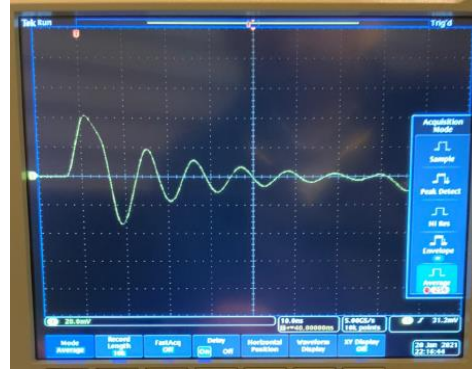
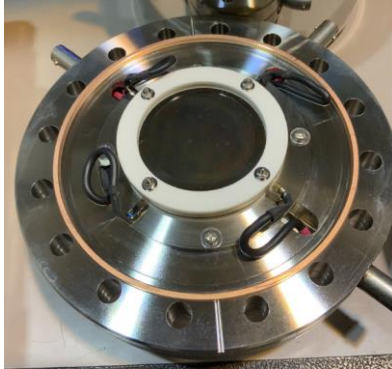
# 目次

---

- 導入
  - ・ Micro Channel Plateの検出効率特性
  - ・ 検出効率向上に向けて～Tapered-MCP
- 実験
  - ・ イオンの検出効率測定
  - ・ 紫外光の検出効率測定
- 今後の展開・まとめ

# 今後の展開

- 高空間分解能中性子イメージングに向けて  
京大複合原子力科学研究所にて、熱中性子ビームをボロン入りMCPに照射し、初シグナルをオシロで波形計測

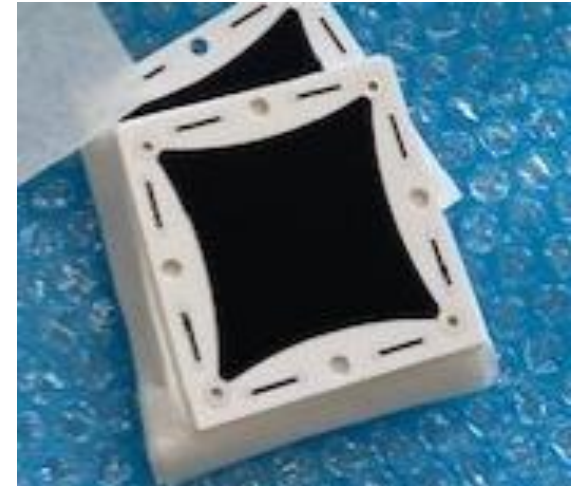


ホウ珪酸ガラスMCPによる高感度中性子検出  
※RoHS指令によりEUでは鉛フリー化が必須

- 超小型人工衛星へ搭載し高感度EUV観測の実証実験(東大新領域)  
→惑星大気からの発光現象
- 超小型年代測定装置の検出器(東農地科学センター)  
→加速電圧が低い(~50 keV)のでMCPを利用

# 共同研究体制

- TIA連携プログラム探索推進事業「かけはし」  
「量子線イメージングの高速化/汎用化に向けた調査」  
東大新領域，KEKミュオン中性子，東北大惑プラ，産総研標準  
抵抗アノードによるイメージング  
宇宙→中性子・ミュオン・イメージ  
ング二次イオン質量分析
- 科研費B：「新たな超高感度マイクロチャネルプレー  
トで拓く粒子・光子検出の新世界」  
KEKミュオン中性子，東大新領域，産総研標準



# まとめ



- テーパー型MCPの検出効率は荷電粒子・光子において増大
- テーパー型MCPへのコーティングでさらに検出効率上昇
  - 荷電粒子→MGOコーティング：12 keV以上で100%
  - 光子→CsIコーティング：100nm以上の長波長で有効
- 中性子検出への応用を模索中
  - 全てのMCP利用機器に適応可能だが、コインシデンス実験、人工衛星ミッション・加速器等のビームタイムが限られている実験に特に有用