GEM-TPC と関連機器

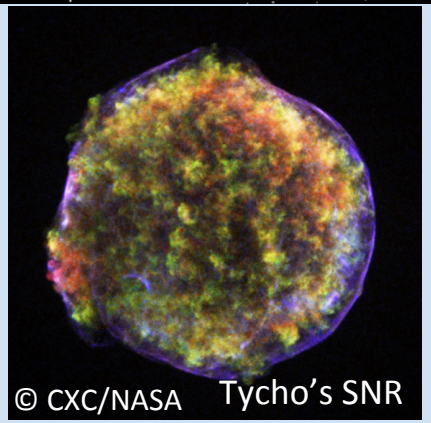
玉川 徹 (理研仁科センター)

内容

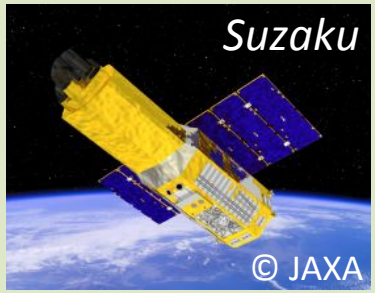
1. GEM-TPC と GEM
2. 低圧封じ切りチェンバー
3. キャリブレーション用X線発生装置

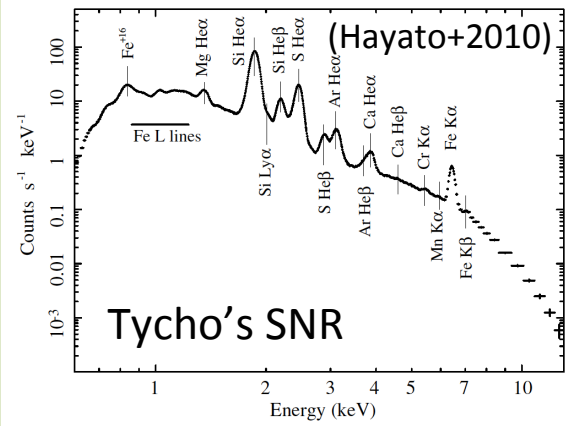
0. X線観測の新しい次元

撮像(空間)

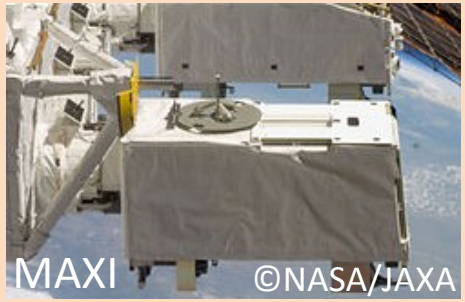


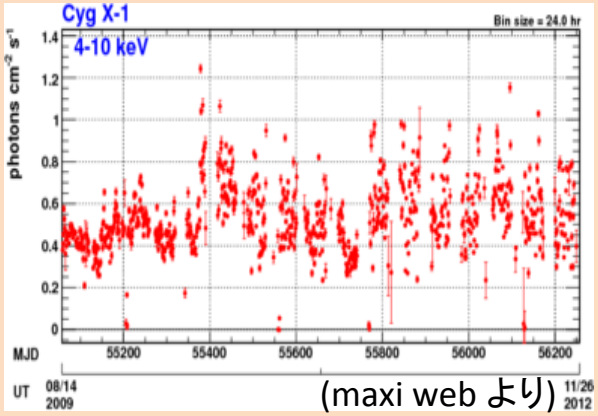
分光(エネルギー)





光度曲線(時間)





偏光

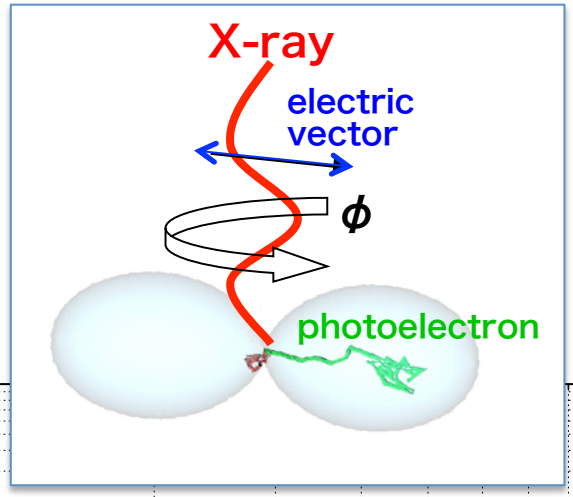
- 過去の観測の延長線上ではない「異次元の物理量」
- 最後の未踏領域

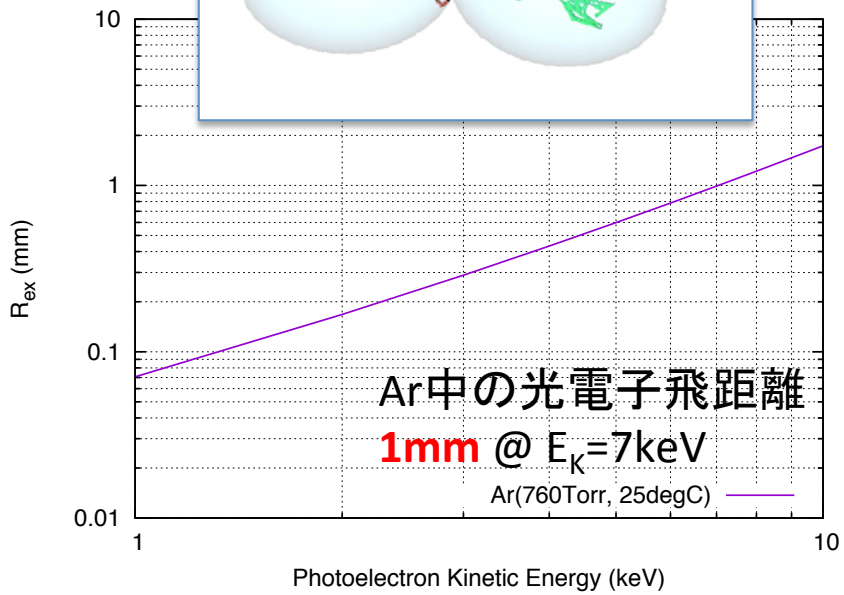
- 可視光・電波に比べ観測が困難
- もはや波ではない。光子一個一個の電気ベクトル測定が必要

1-1. 光電吸収を利用したX線偏光計

光電吸収の微分断面積

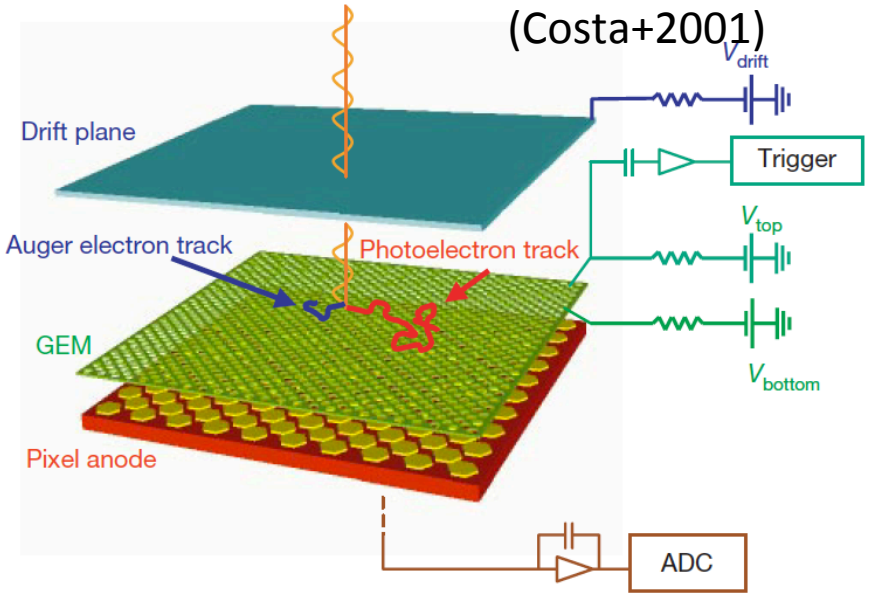
$$\frac{\partial\sigma}{\partial\Omega} = r_0^2 \frac{Z^5}{137^4}\left(\frac{mc^2}{h\nu}\right)^{\frac{7}{2}} \frac{4\sqrt{2}\sin^2(\theta)\cos^2(\varphi)}{(1-\beta\cos(\theta))^4}$$



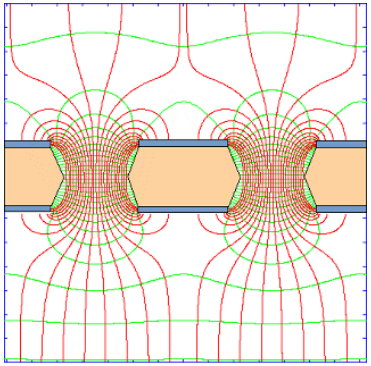


Ar中の光電子飛距離
1mm @ E_K=7keV

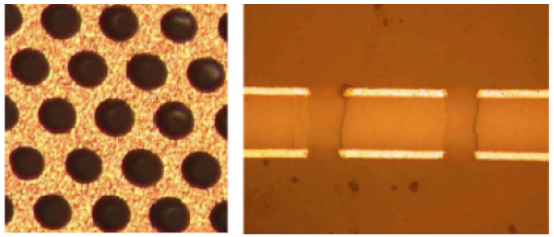
(Costa+2001)



十分な飛距離: ガス検出器が唯一の解
多重散乱を軽減: Z の低いガス (He, CO_2, DME)
電子数 ~ 200個 => 電子増幅過程は必須

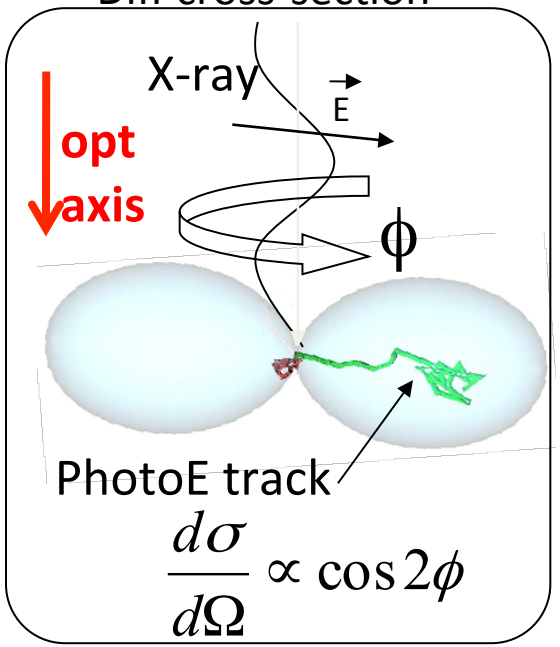


宇宙利用に向けたGEM開発
増幅度安定性・放電耐性



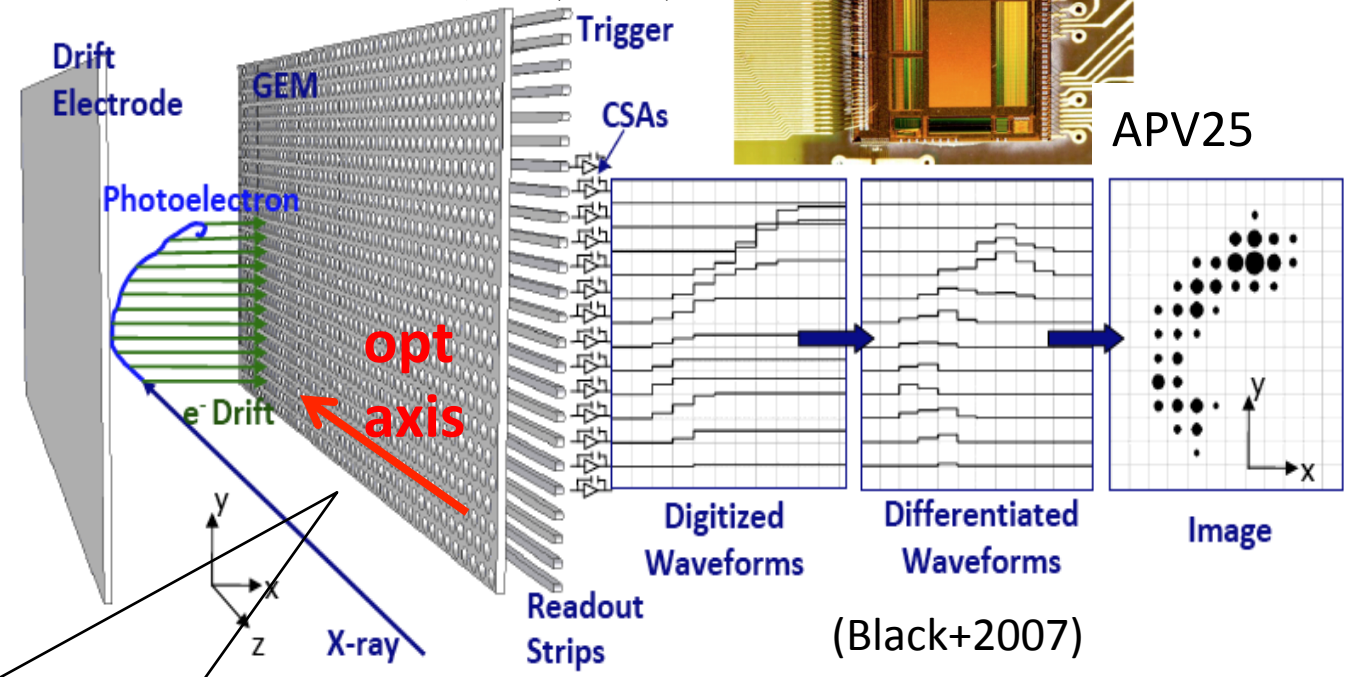
1-2. 低圧ガス GEM-TPC

Diff cross-section



$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \cos 2\phi$$

190 Torr ジメチルエーテル（DME）

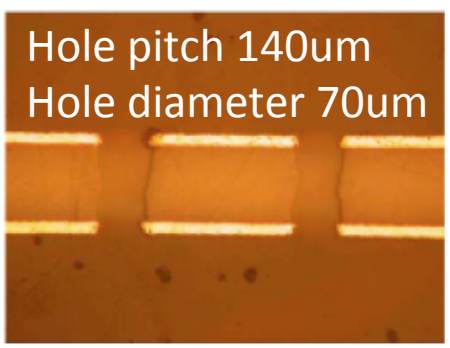


Readout ASIC

APV25

(Black+2007)

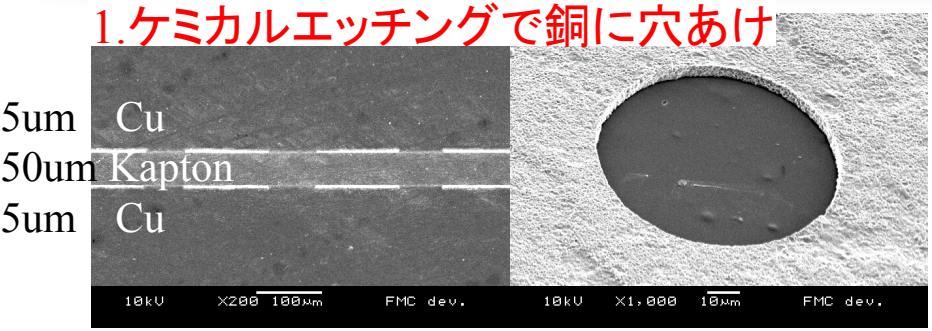
Gas Electron Multiplier (GEM)



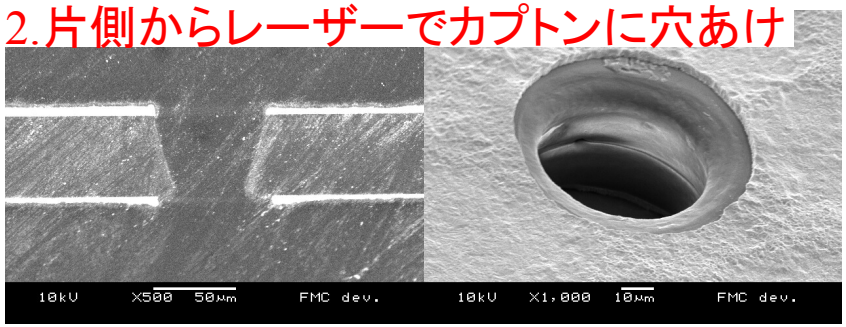
- 電子雲形状保持のため 2D電子増幅できる Gas Electron Multiplier を利用
- 20MHz で信号をアナログサンプルし飛跡を再構成 50ns = 120um

1-3. レーザー加工によるGEMの製作

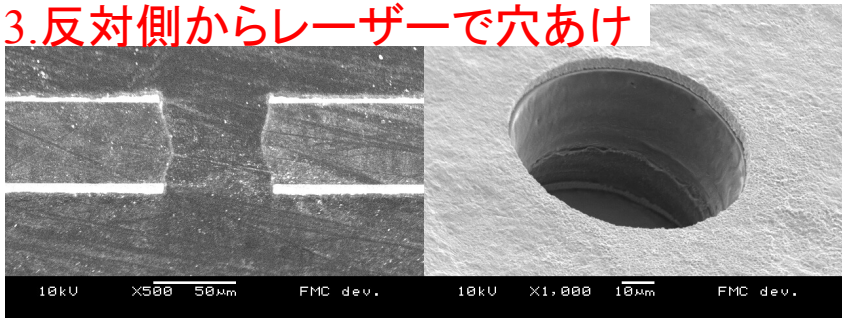
1.ケミカルエッチングで銅に穴あけ



2.片側からレーザーでカプトンに穴あけ



3.反対側からレーザーで穴あけ

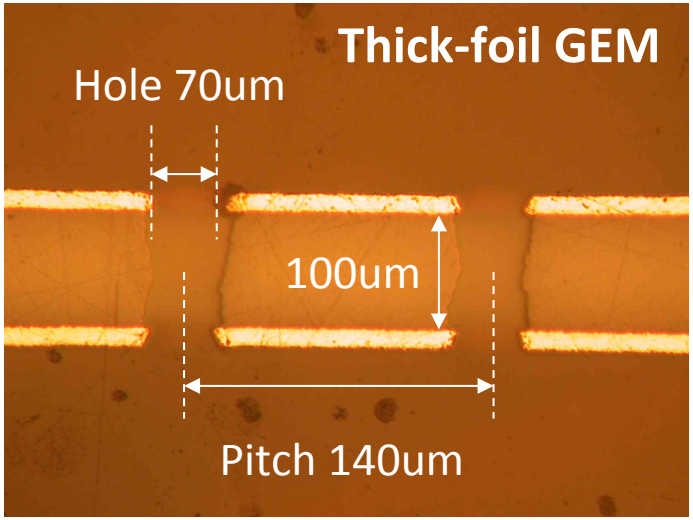


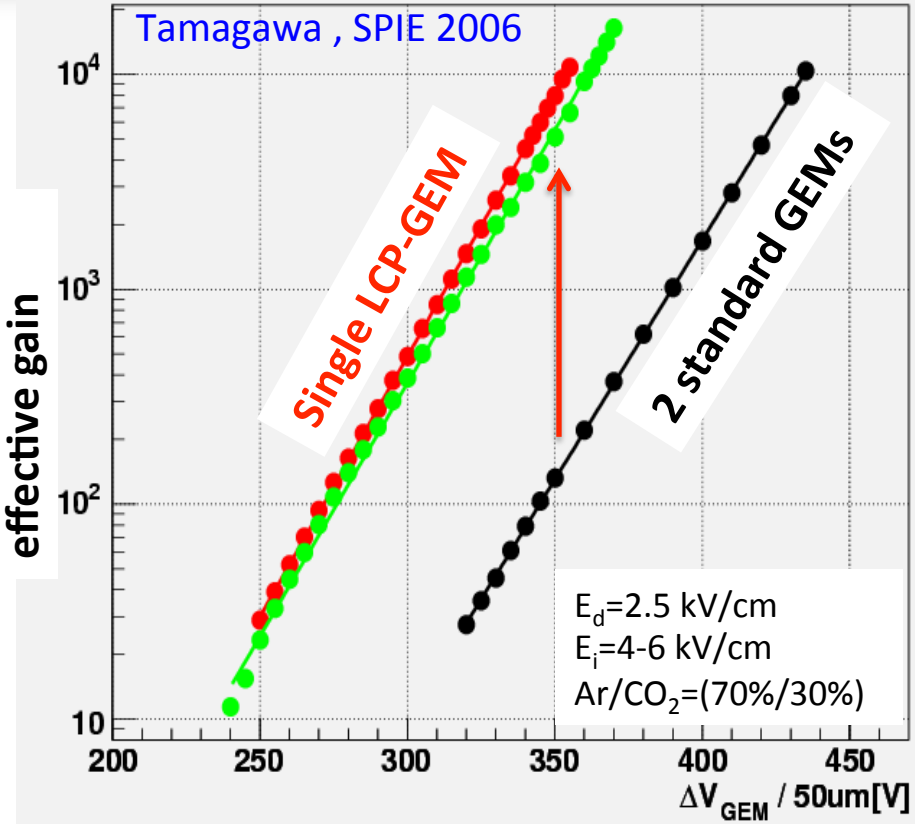
(Tamagawa+2006)

4.洗浄（デスミア）
ケミカル・プラズマ

- 加工の特徴
  - 銅自身をマスクとして用いる
- CO_2レーザーの特徴
  - スミア（カーボン）が出にくい
  - 銅を傷めない
  - テーパーが少ない（チャージアップしない）
  - 加工面がきれい（放電に強い）
- 加工面積
  - 1ショット$1.8\times0.9\mathrm{mm}^2$
  - $3\times3\mathrm{cm}^2$ なら～10分
  - 最大$30\times30\mathrm{cm}^2$ (レーザー加工機の制限)
- 値段
  - $3\times3\mathrm{cm}^2$：～1万円（大半はレーザ代）

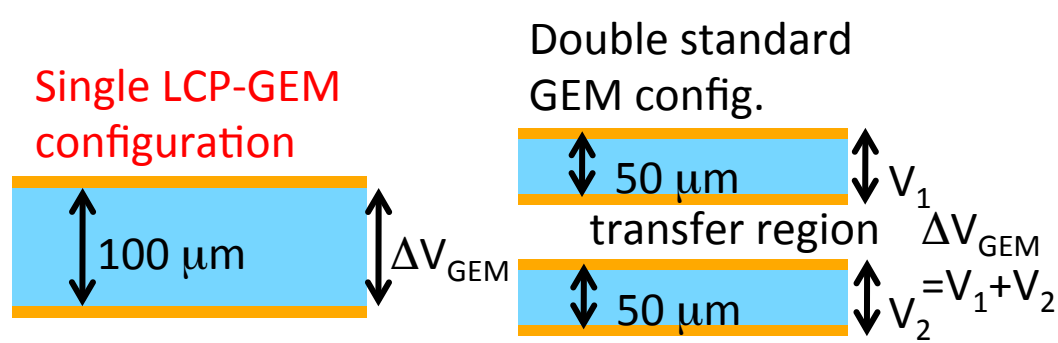
1-4. Thick-foil LCP-GEM



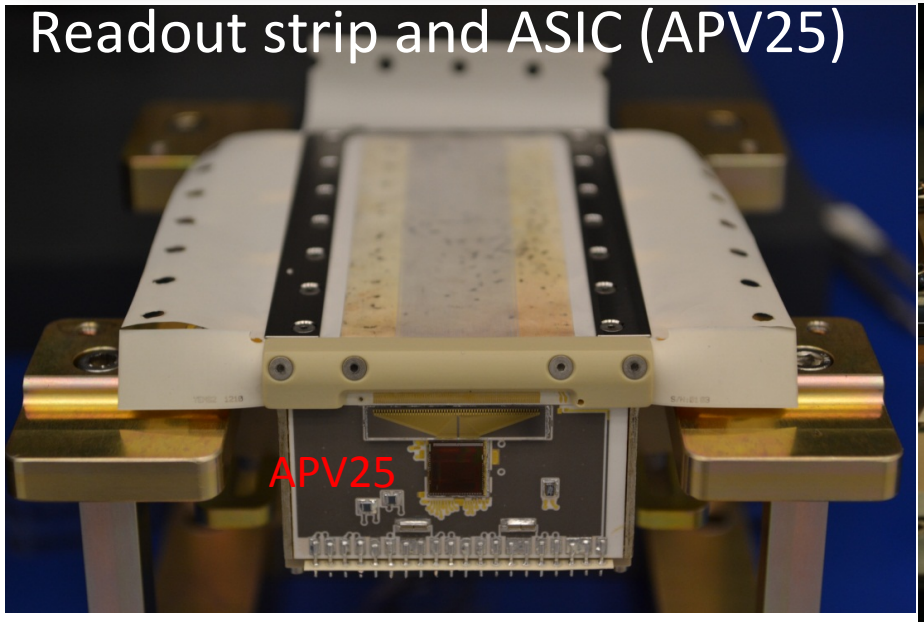


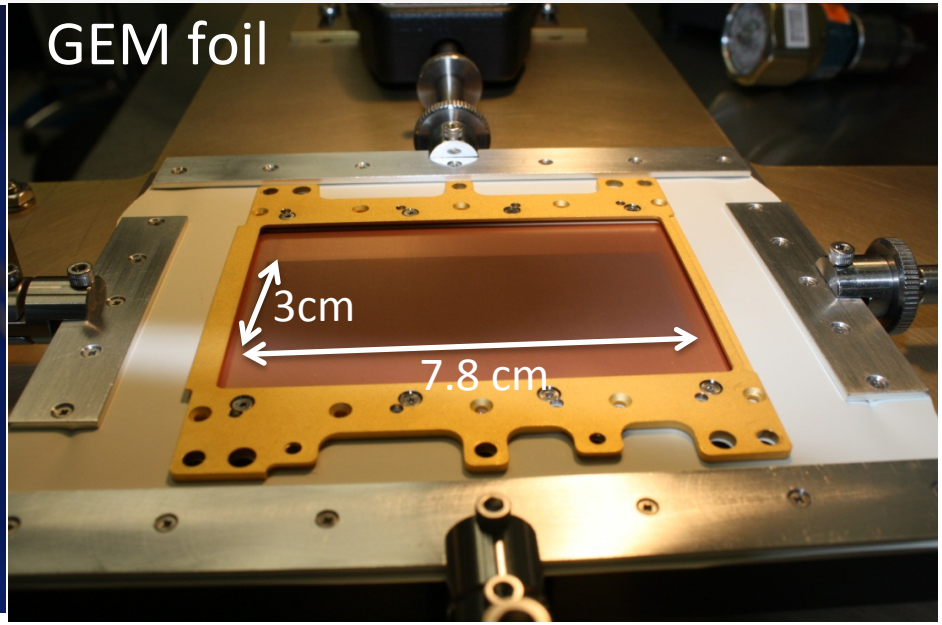
- Laser Drilling (Tamagawa+2006)
- Liquid Crystal Polymer (LCP)
- Two times thicker insulator foil than standard GEM

Thick-foil GEM
= efficient way to get higher gain at lower HV.



1-5. Readout strip and GEM foils



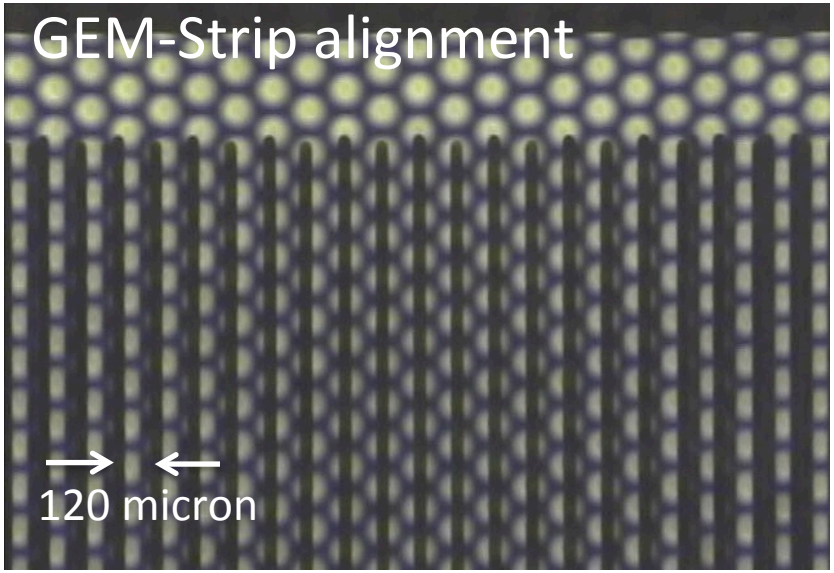


Readout strip

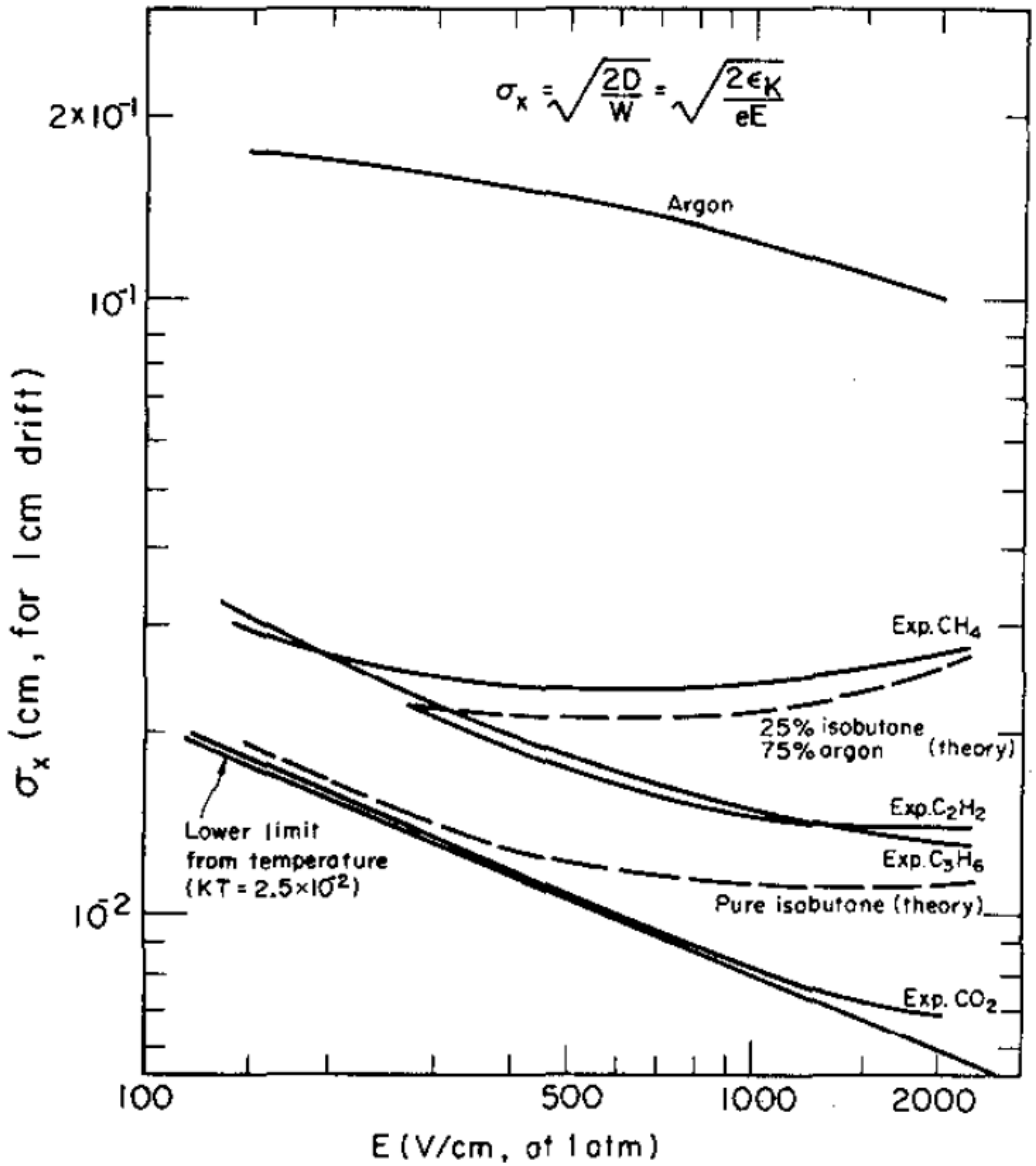
- 128 strips (pitch 120, width 60 micron, 7.8 cm long)
- veto region in both side
- connecting to APV25 (20 MHz clock)

GEM foil

- LCP-GEM
- 140 micron pitch, 70 micron hole
- 100 micron thick



1-6. ジメチルエーテル

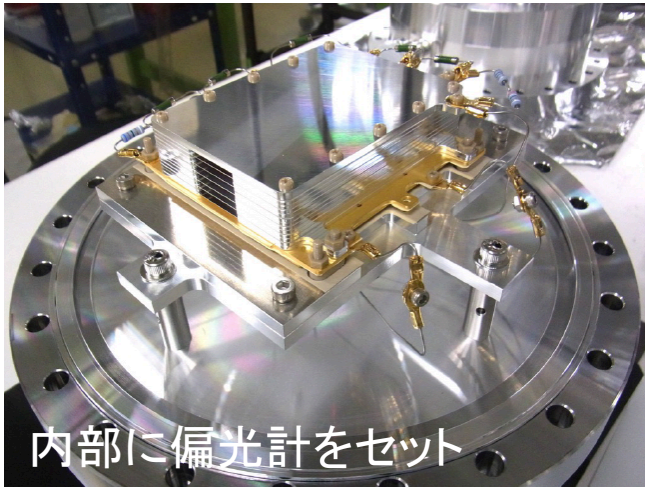


- cold ガス（拡散が少ない）
- slow (ドリフト速度が遅い）
  不純物の影響を受けやすい
- 膨潤作用あり
  ゴム系は全て不可
  金属ガスケット等

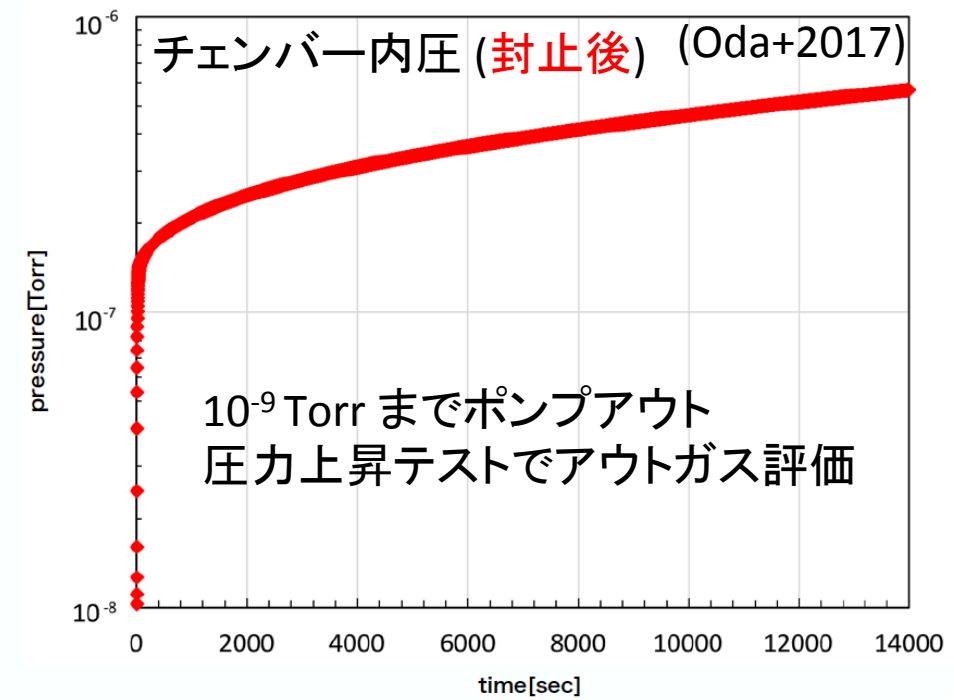
2. アルミ製封じ切りチェンバー

アルミ製チェンバーの製作

- 軽量化
- 低アウトガス（長期封じ切り）



不純物によるガス吸着量の評価



- 2.5 L のチェンバー
- アウトガス：10-11 Torr/s
- 不純物ガスによる電子吸着率

5年後 gain 低下 0.5% (for 10cm drift)

極低アウトガスを達成

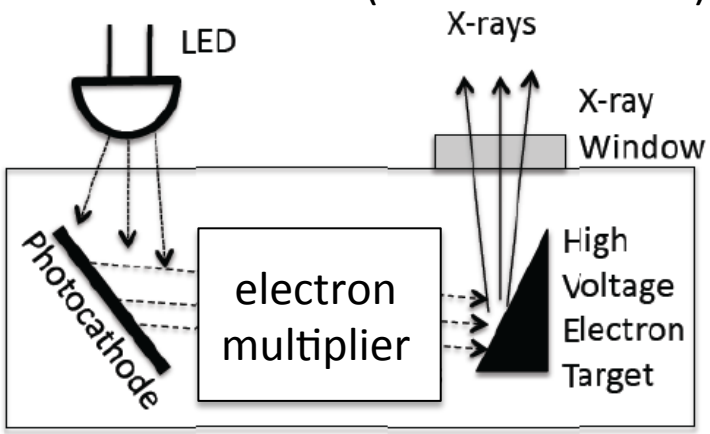
3-1. 較正用X線発生装置

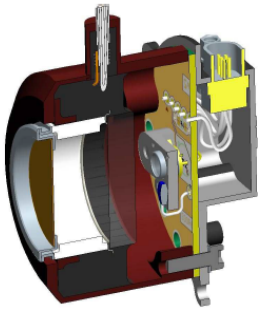
軌道上でのTPC較正

- 目的:エネルギー、タイミング較正
- 小型・軽量
- それなりのX線強度

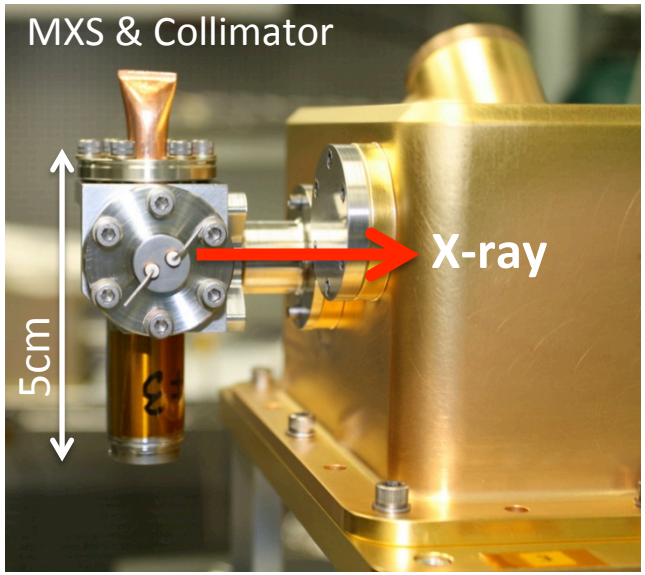
変調型X線発生装置 (MXS)

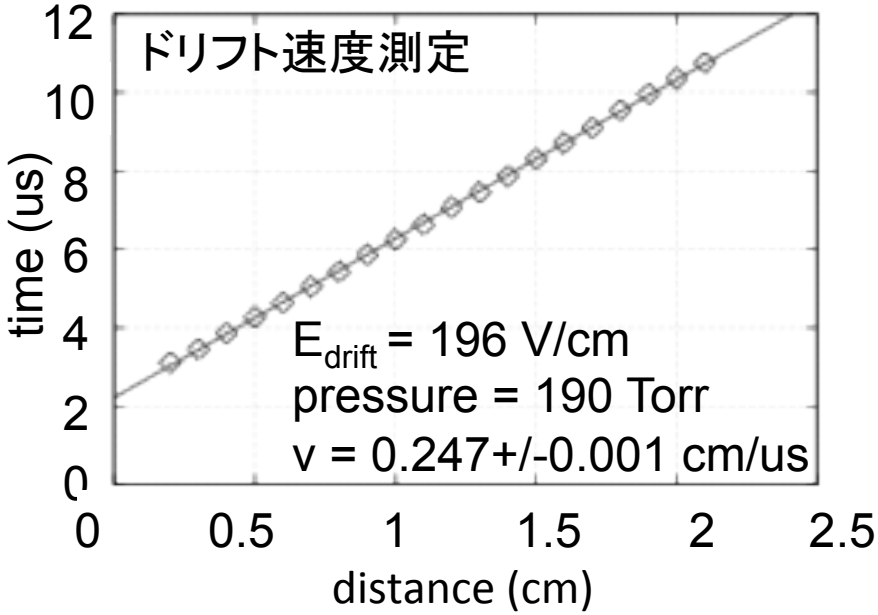
(Gendreau+2012)





ASTRO-H用 MXS
(de Vries +2012)



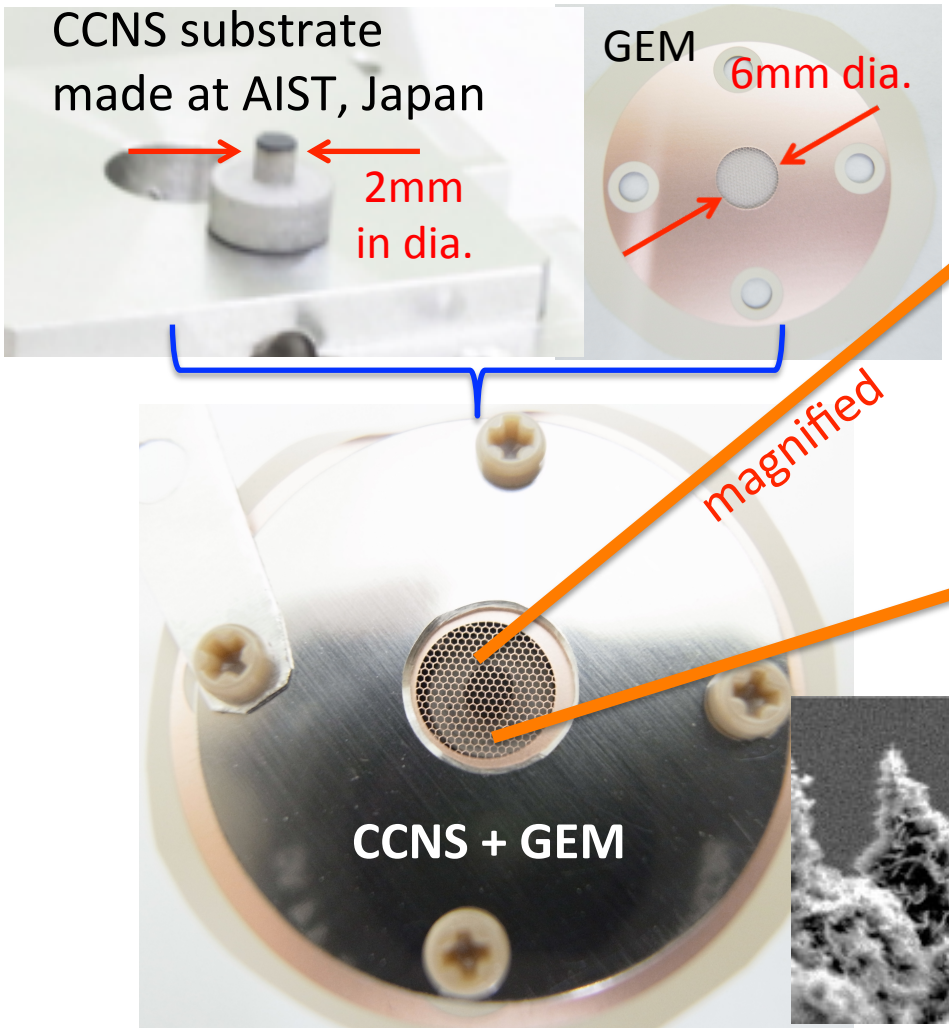


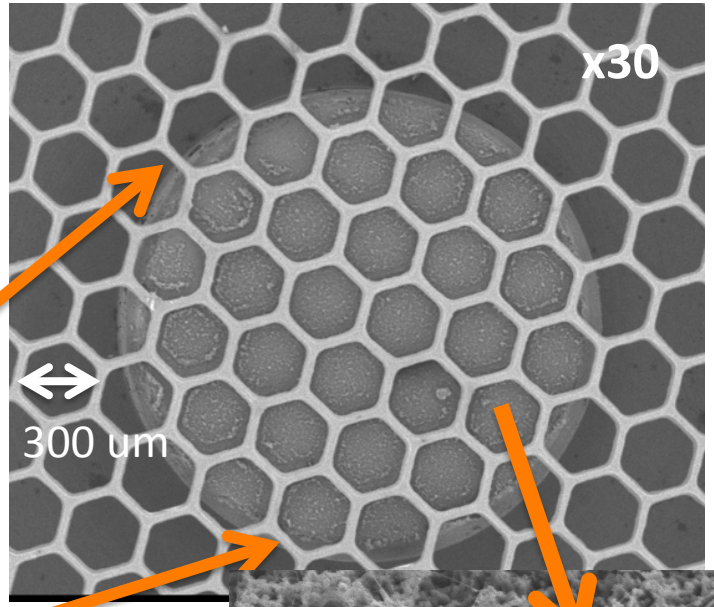
3-2. Electron source: CCNS+GEM

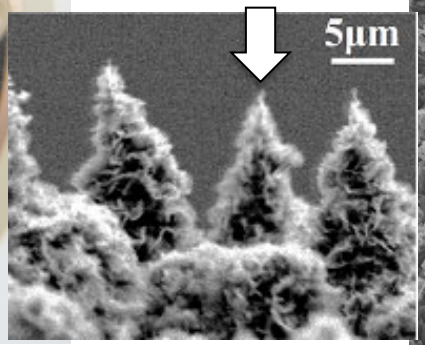
Electron source

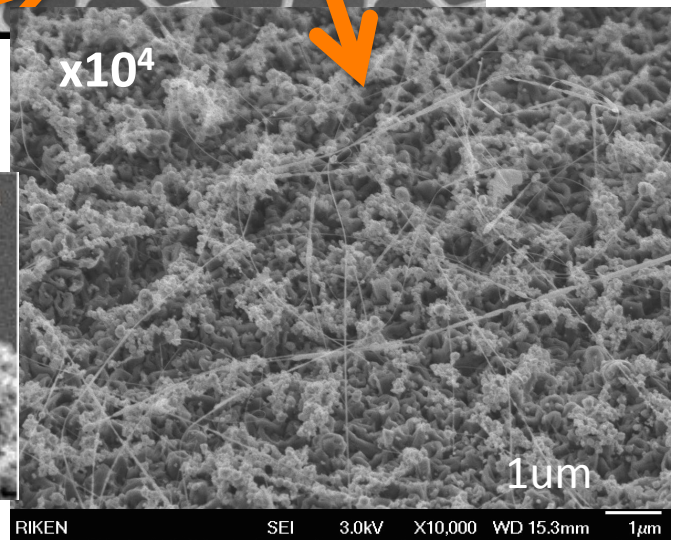
SEM images

(Tamagawa+2015)





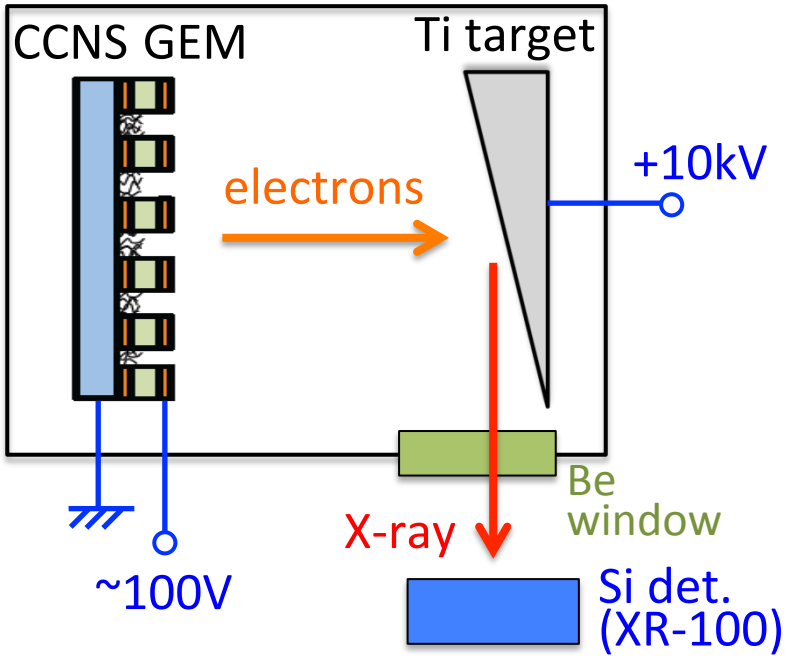




GEM mesh fabricated by Fujikura.

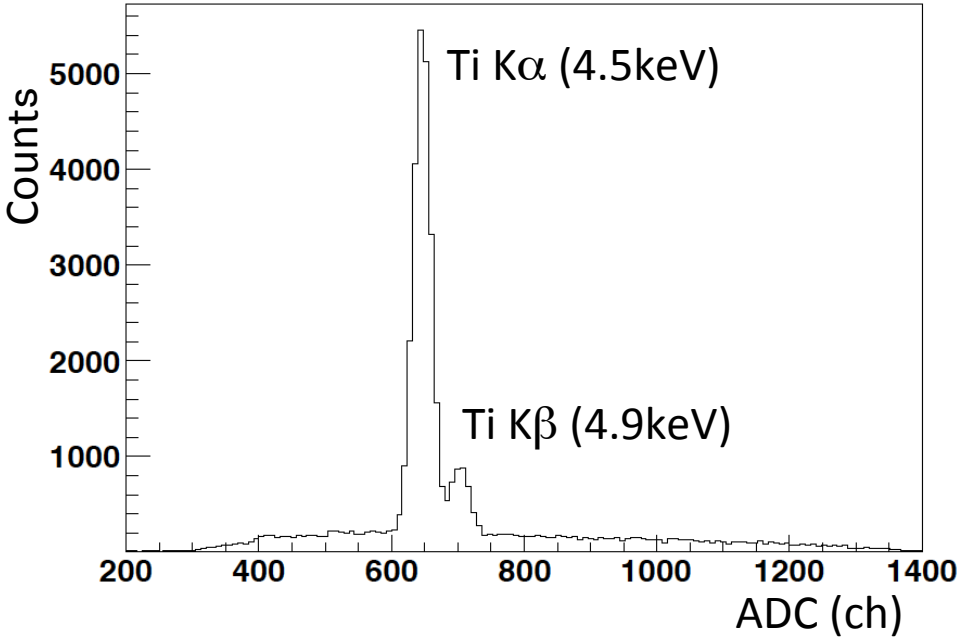
3-3. X-ray emission test

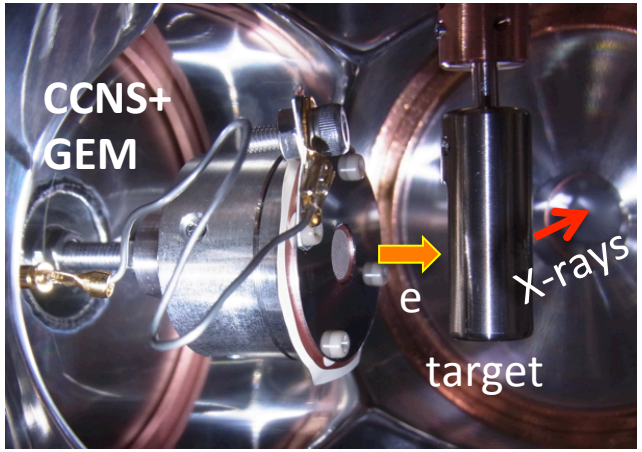
Test Setup



X-ray Spectrum

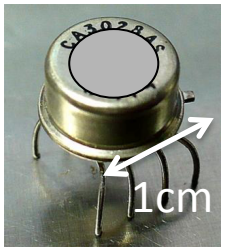
(Nishida+2017)





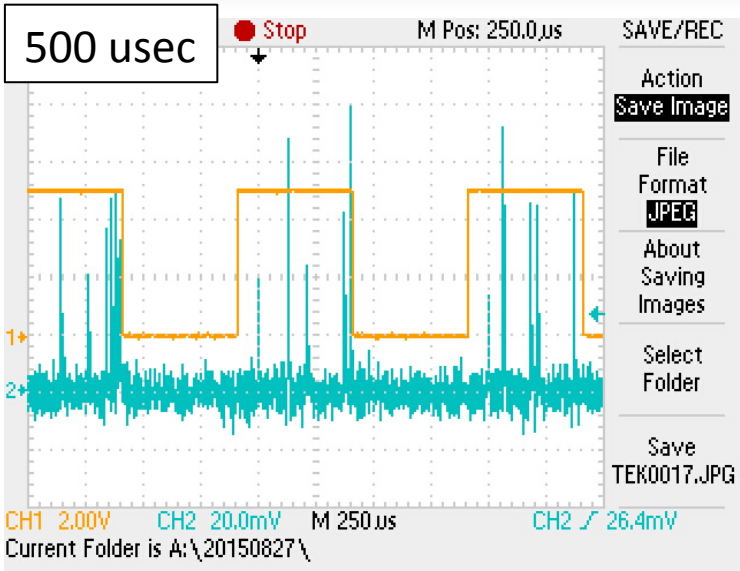
- X-ray emitted at 75 V (75um thick GEM)
- Typical X-ray flux: 10^7~10^8 c/s/sr

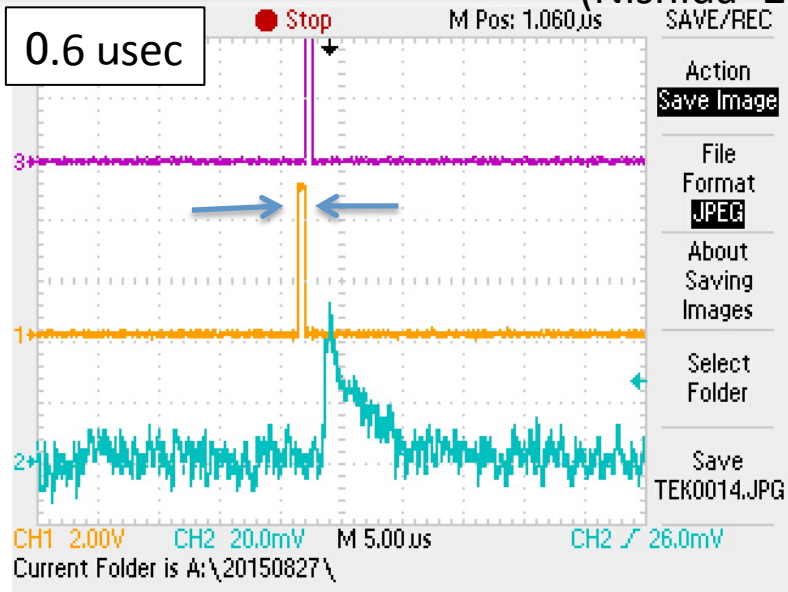
最終的には。。。
これぐらいの大きさの
X線発生装置にしたい
（惑星探査ランダー用等）

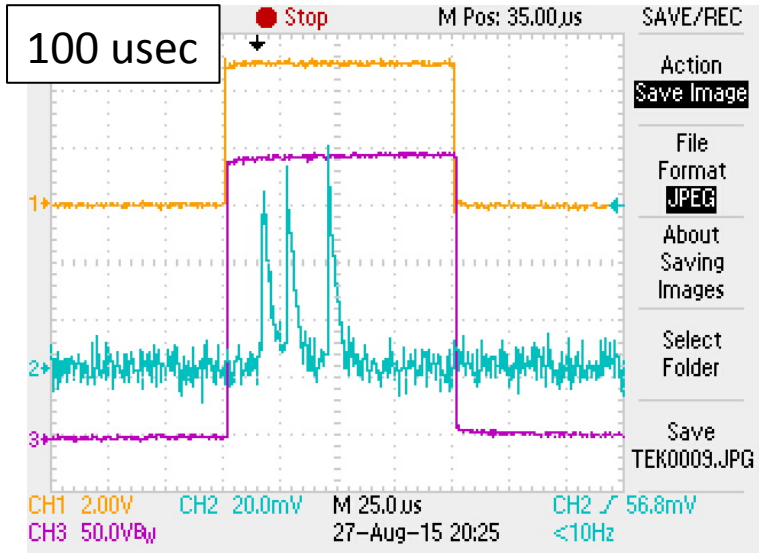


3-4. Timing capability

(Nishida+2017)







X-rays when pulse-on, no X-ray when pulse-off

NOTE: The minimum width was limited by the gate driver IC. We can improve more.

Pulsed operation succeeded. CCNS-GEM X-ray gen. working as a triggerable X-ray generator.