

X線偏光観測衛星 IXPE

Imaging X-ray Polarimeter Explorer

理化学研究所・仁科加速器研究センター
高エネルギー宇宙物理研究室

玉川 徹

on behalf of the IXPE team

THE TEAM

 Marshall Space Flight Center	 IAPS INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA NATIONAL INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS
PI team, project management, SE and S&MA oversight, mirror module fabrication, X-ray calibration, science operations, and data analysis and archiving	Polarization-sensitive imaging detector systems
 Detector system funding, ground station	 CU LASP Mission operations
 Spacecraft, payload structure, payload, observatory I&T	 ROMA TRE UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  Stanford University Scientific theory
	 McGill Co-Investigator
	 Massachusetts Institute of Technology Co-Investigator



Science Advisory Team

PI: Martin Weisskopf (NASA Marshall Space Flight Center)

NASA 第14号 Small Explorer (SMEX) Program

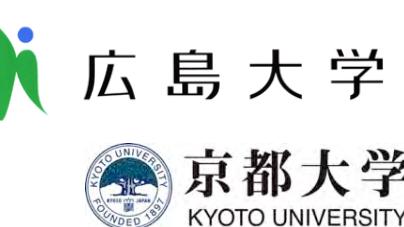
JAXA小規模計画(2018~2022年度)

理化学研究所: 玉川徹、北口貴雄、早藤麻美、周圓輝、内山慶祐

名古屋大: 三石郁之、田原譲、二村泰介、清水貞行、山口友洋

山形大: 郡司修一、広島大: 深澤泰司、水野恒史、山本龍哉

大阪大: 林田清、京都大: 梶戸輝揚、中央大: 岩切涉



CONTENTS

1. Introduction

2. MPGD polarimeter

3. Gas electron multiplier

4. Summary

1. 望遠鏡で撮像できない小さな構造を探る

- 中性子星 (R~10km) のX線放射場所
- ブラックホールの降着円盤構造

2. 光子の放出、輸送プロセスを探る

- 超新星残骸シェルからのシンクロトロン放射 (**衝撃波粒子加速**)
- 強磁場($>10^{12}$ G)での真空偏極 (**QED真空複屈折**)
- ブラックホール近傍の重力場によるライトベンディング効果 (**一般相対論**)

ガンマ線偏光観測

- PHENEX (2007年) 日本
- INTEGRAL衛星 (2008年)
- ASTROSAT衛星 (2015年)
- PoGO+ (2016年)
- X-Calibur (2018年)

X線偏光観測

- OSO-8衛星 (1976年)
- **高感度観測の実現へ**

PoGO+
Compton (20-160keV)

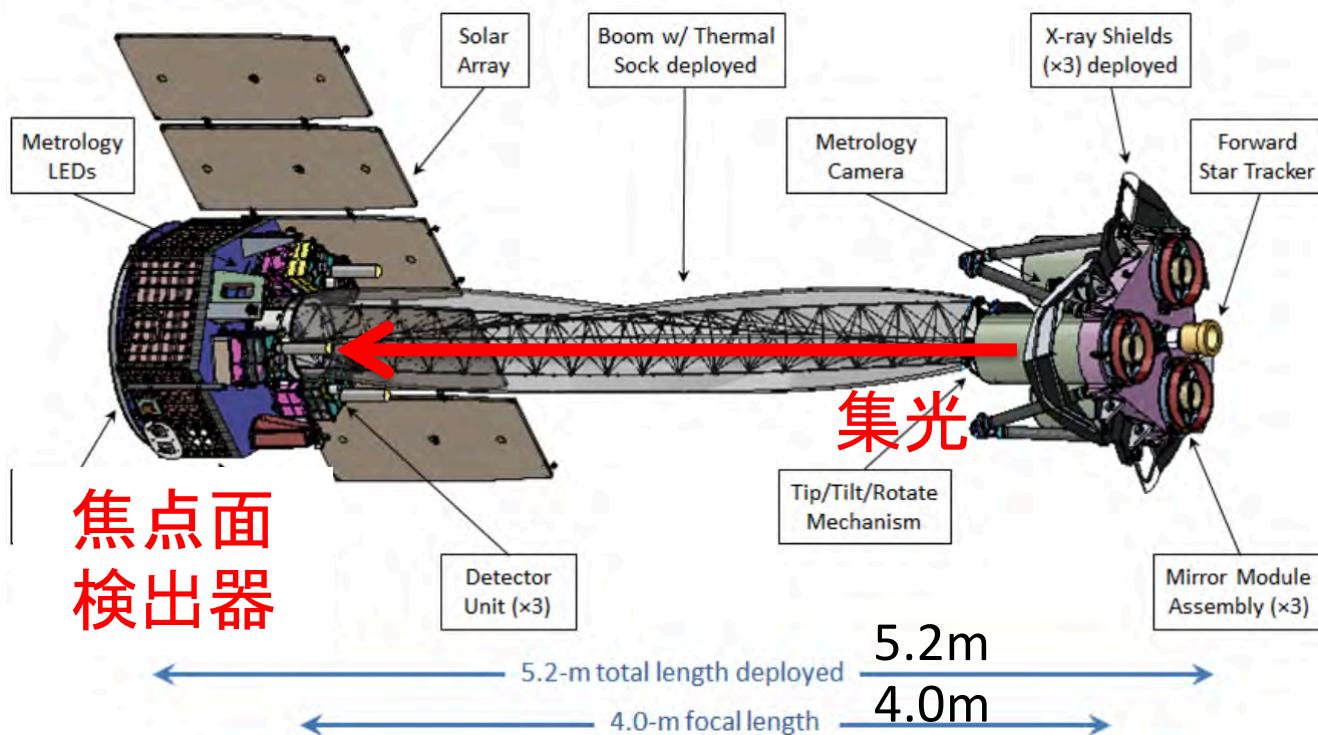


Crab (Chauvin+2017)

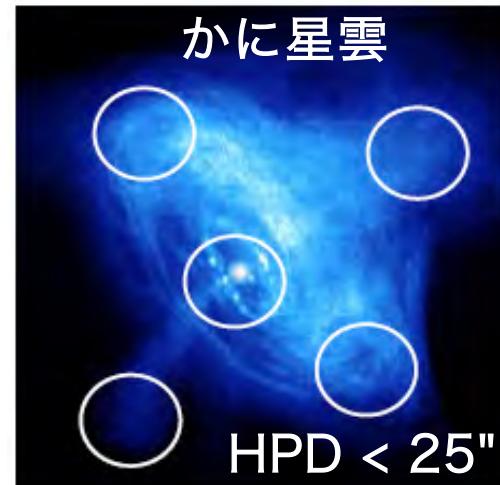
X-Calibur
X-ray mirror + Compton
Dec. 12



1.2 The IXPE satellite

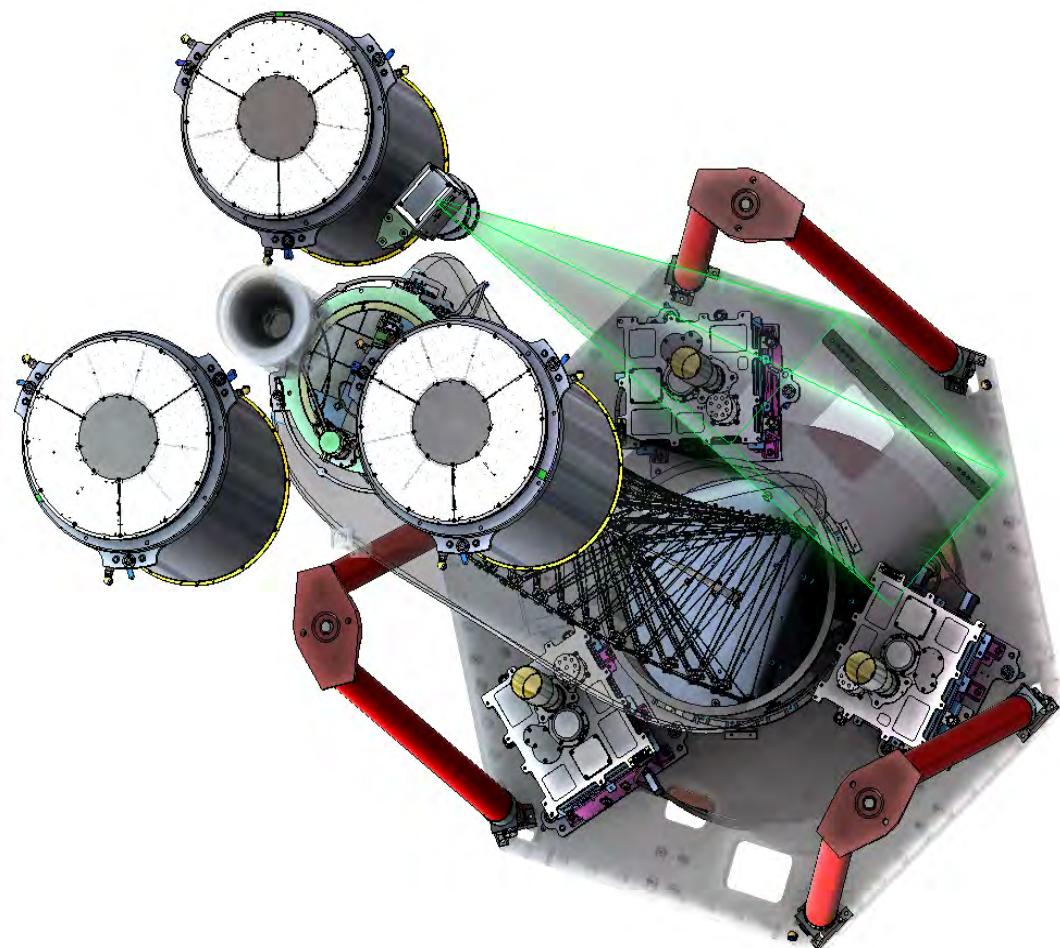


Weisskopf+2017



- NASA **SMEX** mission (米伊)
- X線反射鏡 (NiCo電鋳ミラー)
230cm² @2.3 keV **x3台**
- イメージング型X線偏光計 **x3台**
帯域 : 2-8 keV
FOV : 12'.9 × 12'.9
- 2021年4月打ち上げ (赤道軌道)
- 2年間 (baseline) + 1年 (enhance)
- データは即時公開
- 日本から提供するH/W
 - ガス電子増幅フォイル(理研)
 - 望遠鏡サーマルシールド (名大)
- 米伊に次いで3番目の規模で参加

1.3 More on satellite



- 打ち上げ時は 1.8 m、上空で 4.0 m 伸展
- 光学ベンチの歪み計測と上空での補正

CONTENTS

1. Introduction

2. MPGD polarimeter

3. Gas electron multiplier

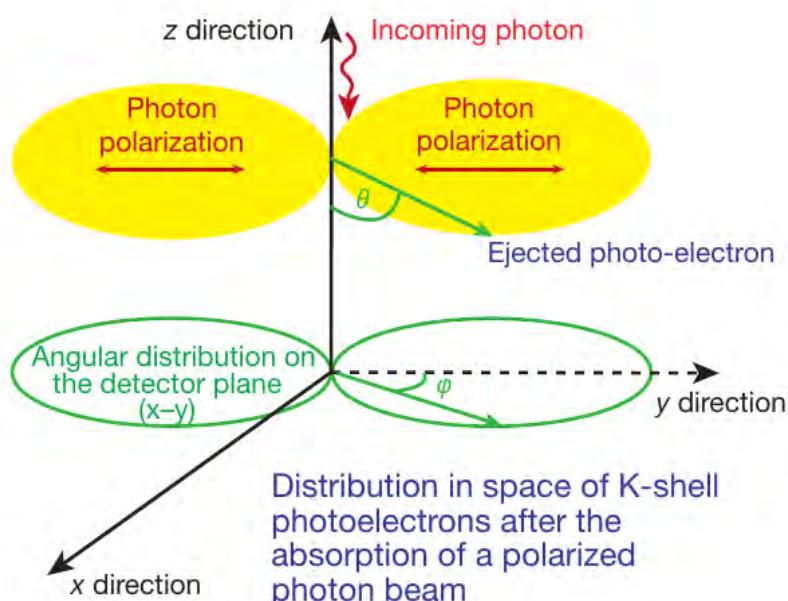
4. Summary

2.1 X-ray polarimeter concept

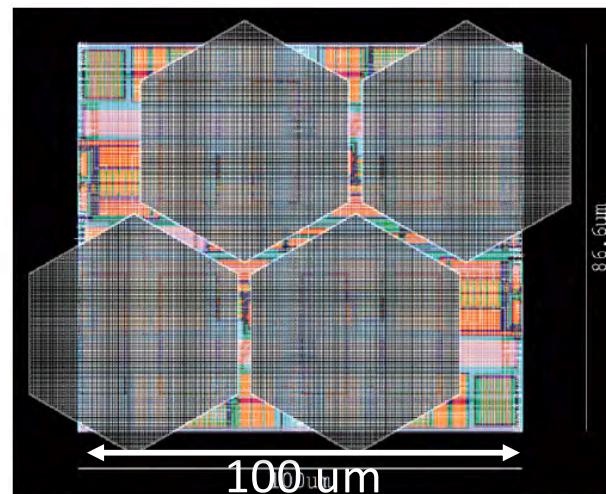
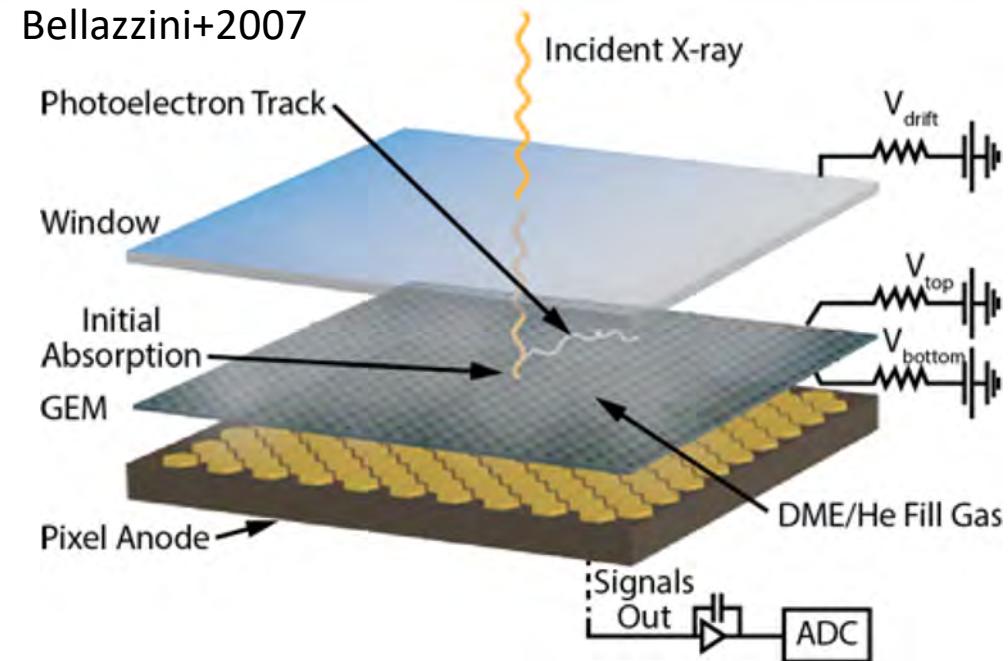
K殻光電子の微分散乱断面積

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

偏光方向に光電子が出やすい



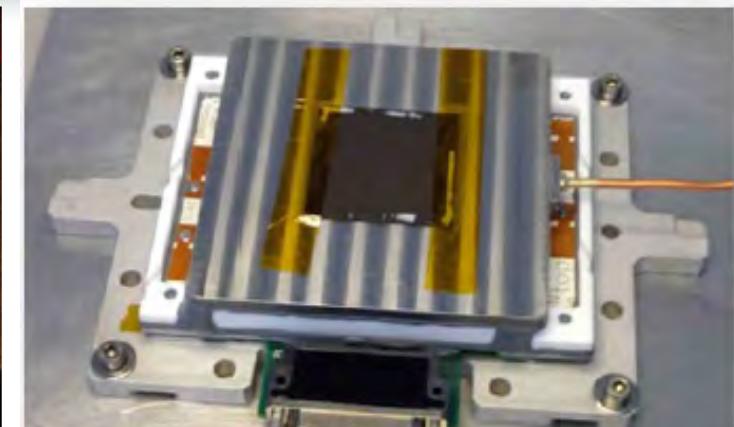
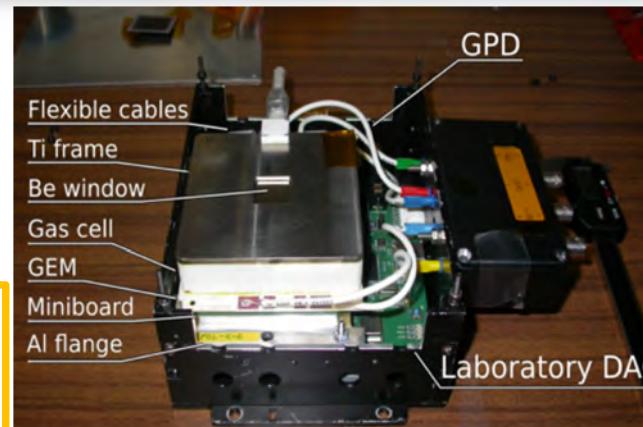
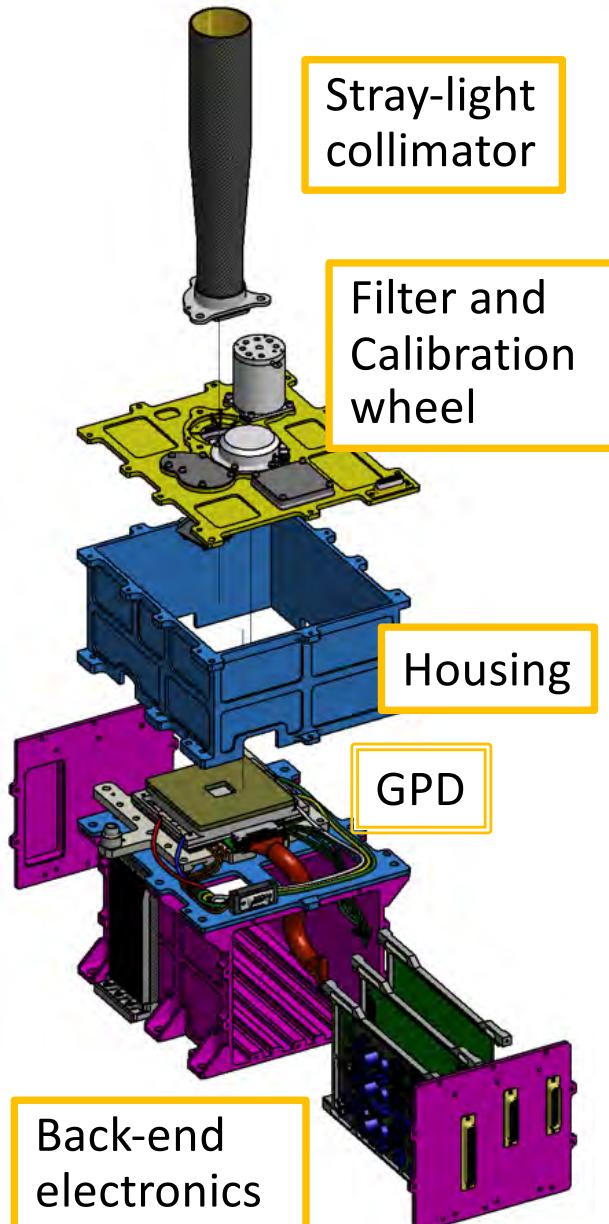
Bellazzini+2007



Analog ASIC

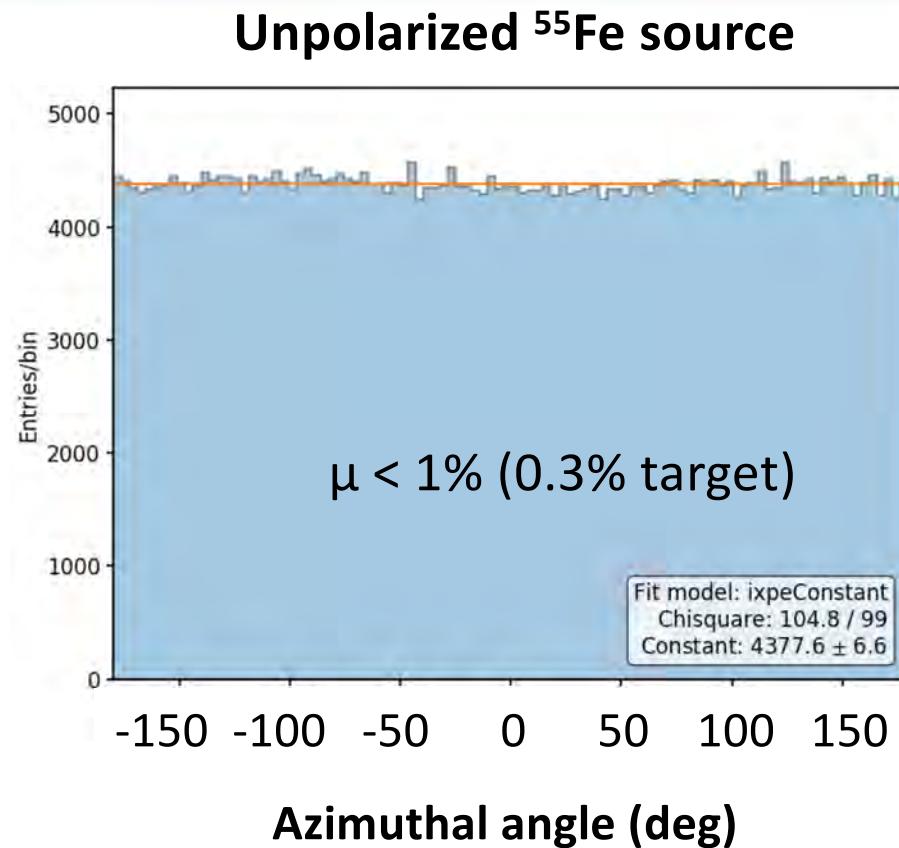
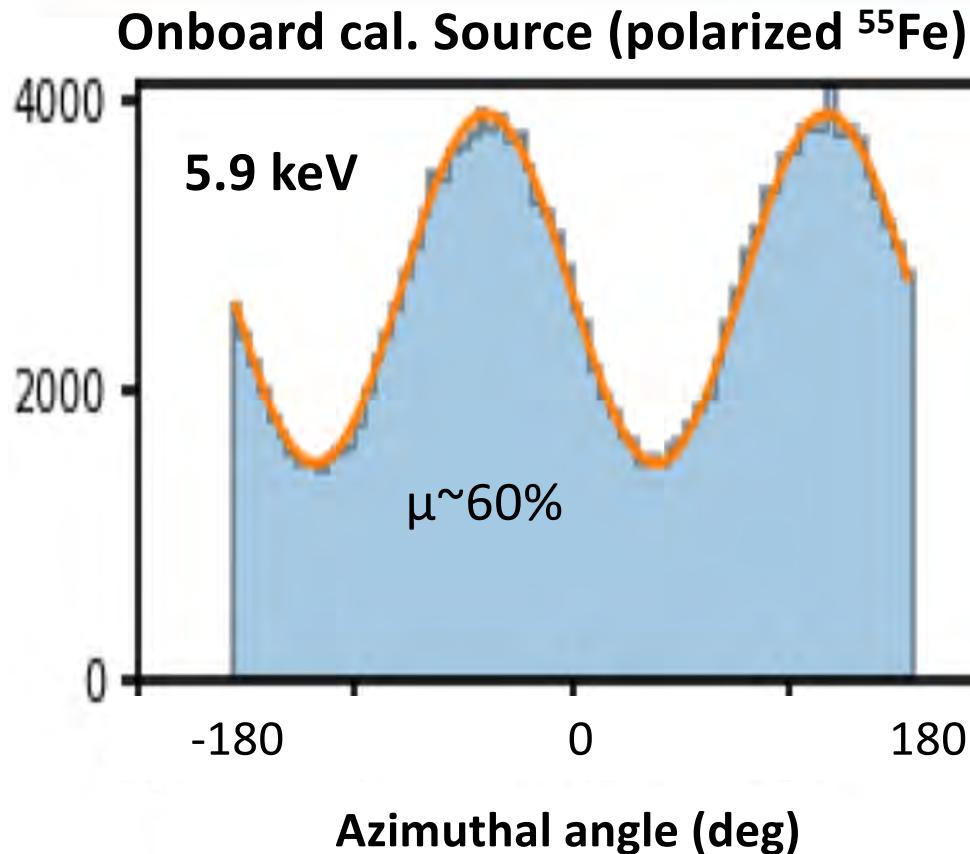
- Dev. at INFN/Pisa
- 50 micron pitch
- 105 k hex. pixel
- Self-triggering
- Metal frac. 90%
- Pix noise 50e ENC
- Frame rate 10 kHz

2.2 Gas Pixel Detector



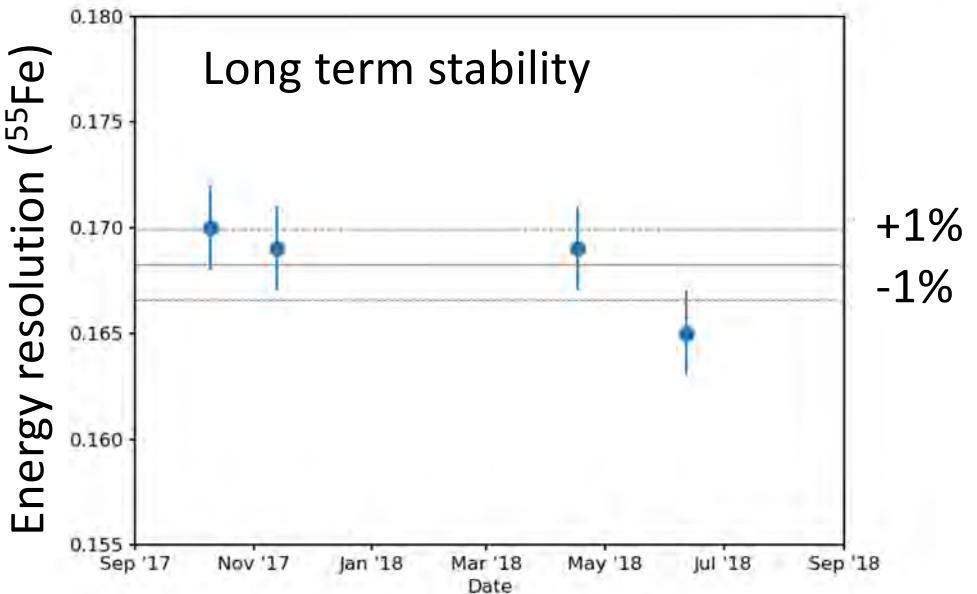
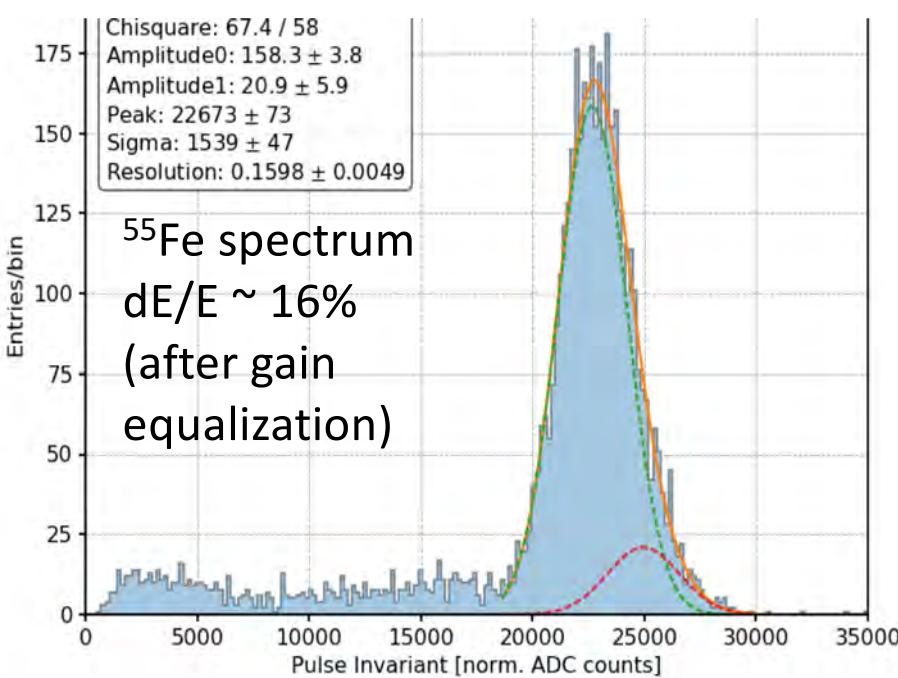
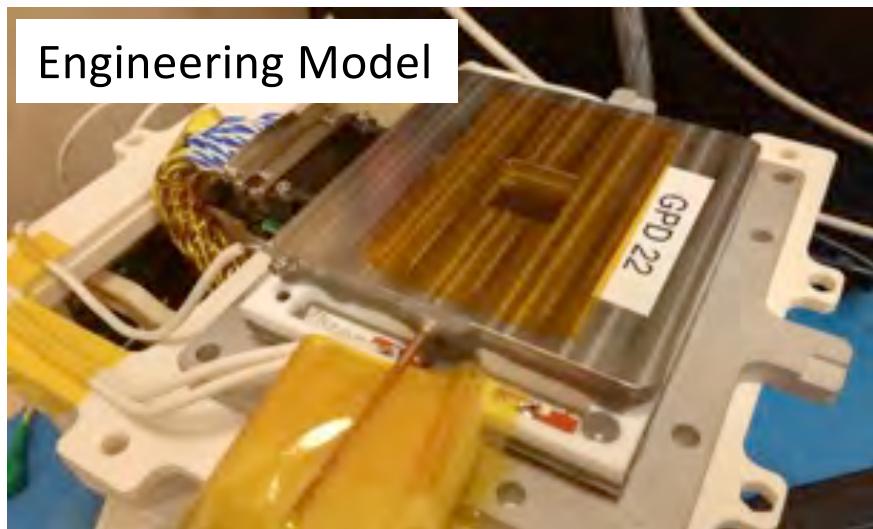
Parameter	Value
Sensitive area	15 mm × 15 mm
Fill gas and composition	He/DME (20/80) @ 1 atm
Detector window	50-µm thick beryllium
Absorption and drift region depth	10 mm
GEM (gas electron multiplier)	copper-plated 50-µm liquid-crystal polymer
GEM hole pitch	50 µm triangular lattice
Number ASIC readout pixels	300 × 352 =105k
ASIC pixelated anode	Hexagonal @ 50-µm pitch
Spatial resolution (FWHM)	≤ 123 µm (6.4 arcsec) @ 2 keV
Energy resolution (FWHM)	0.54 keV @ 2 keV ($\propto \sqrt{E}$)

2.3 Detector performance



- ・ ジメチルエーテル (DME) 0.8 気圧、1 cm 厚、量子効率 $\sim 20\%$ at 2.6 keV
- ・ Pixel anode with 50 micron readout pitch gives 120 micron spatial resolution at 2.3 keV
- ・ 29% modulation factor at 2.6 keV

2.4 Detector stability

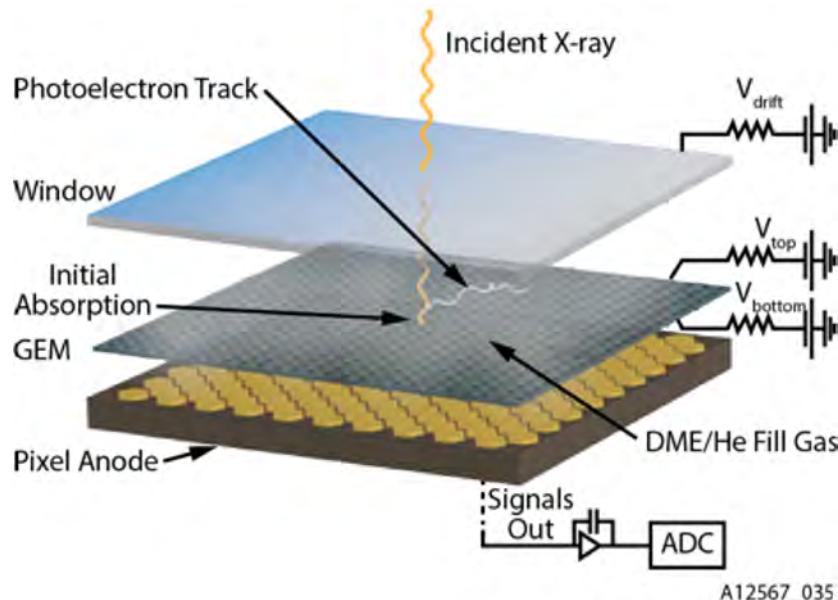


History recap:

- Assembled @ INFN in Summer 2017
- Backed-out and filled @ OIA
- Sealed on September 18, 2017
- 12+ months of operation, so far

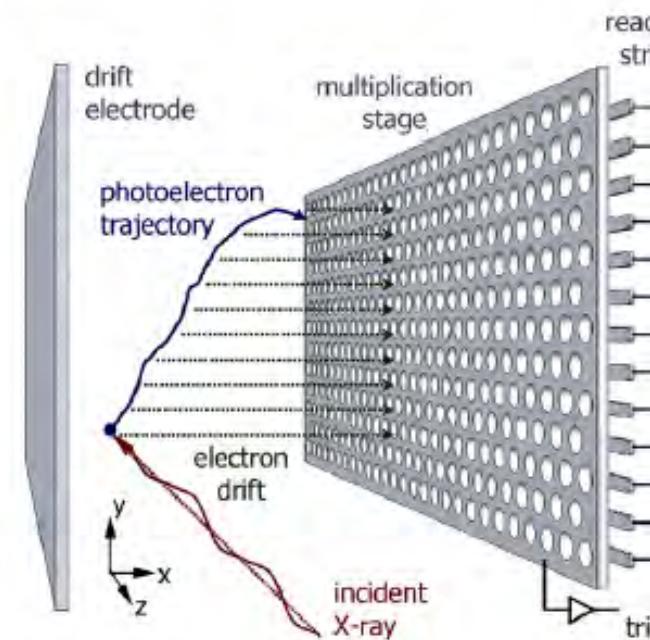
2.5 Comparison

Imaging X-ray Polarimeter



Pros: イメージング能力
Cons: 低い検出効率

TPC Polarimeter



Pros: 高い量子効率
Cons: イメージング不可

IXPE衛星に搭載、世界初の
X線撮像偏光観測 (2021-)

次世代広帯域偏光観測衛星
X-ray Polarimeter Probe (XPP, 2030~)
への搭載を検討中

CONTENTS

1. Introduction

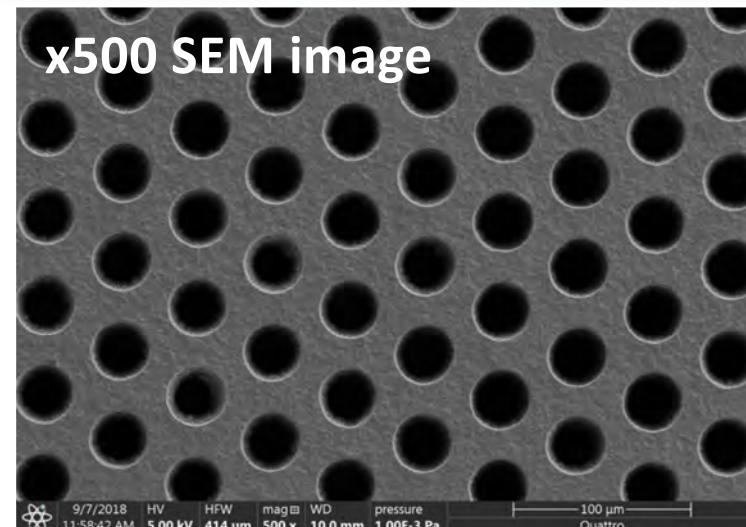
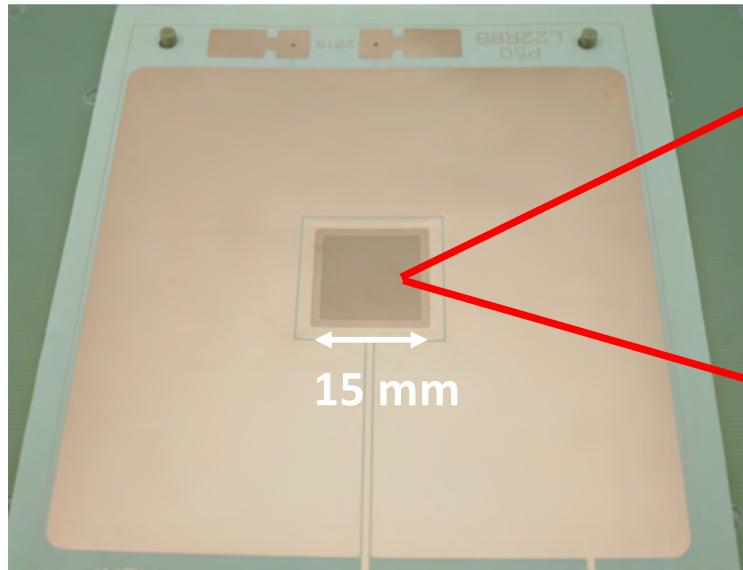
2. MPGD polarimeter

3. Gas electron multiplier

4. Summary

3.1 Gas Electron Multiplier

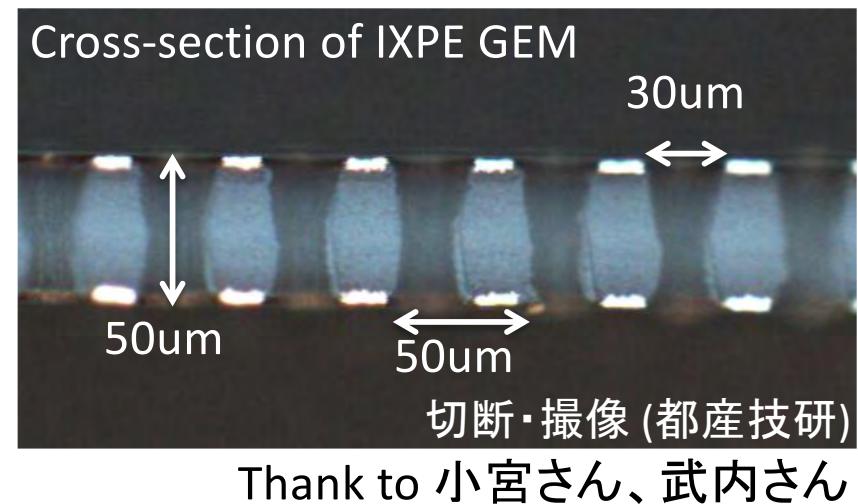
IXPE GEM



Fine pitch GEM

50 μm ピッチ、30 μm 穴直径、
50 μm 厚

製作が困難 => 製造時の工夫に
ついては、次の内山講演

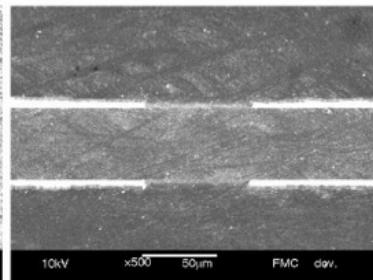
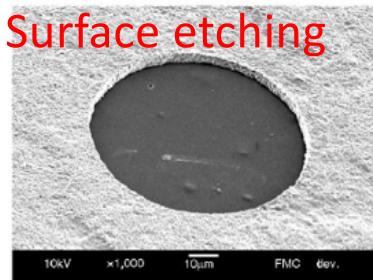


3.2 Fabrication

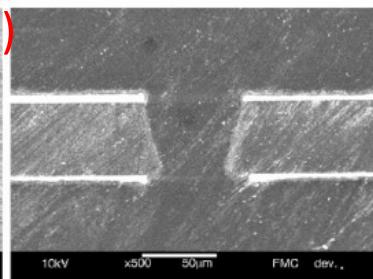
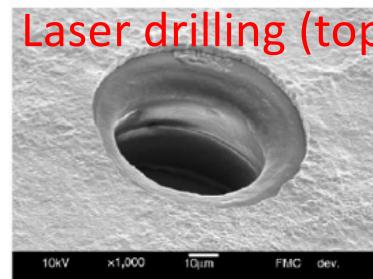
レーザー加工による穴あけ

Production process

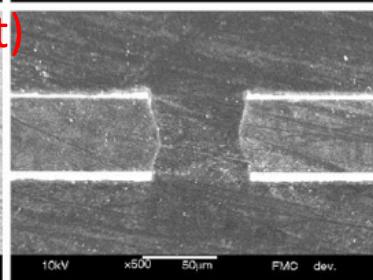
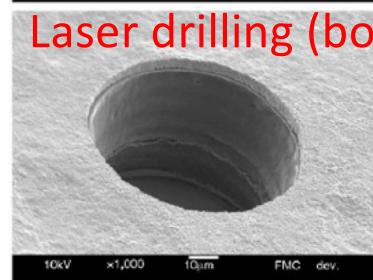
Surface etching



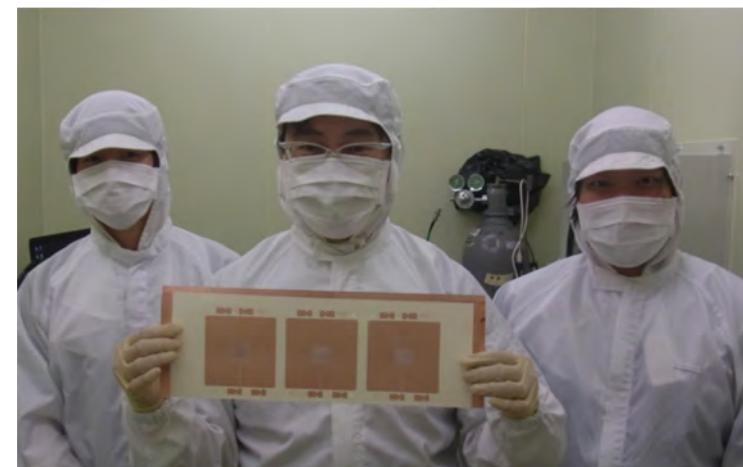
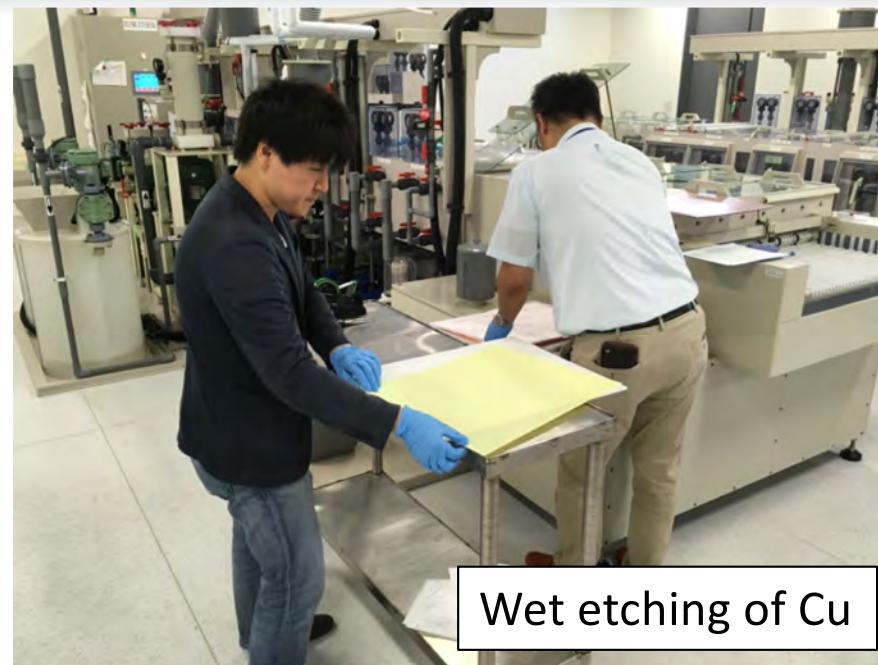
Laser drilling (top)



Laser drilling (bot)

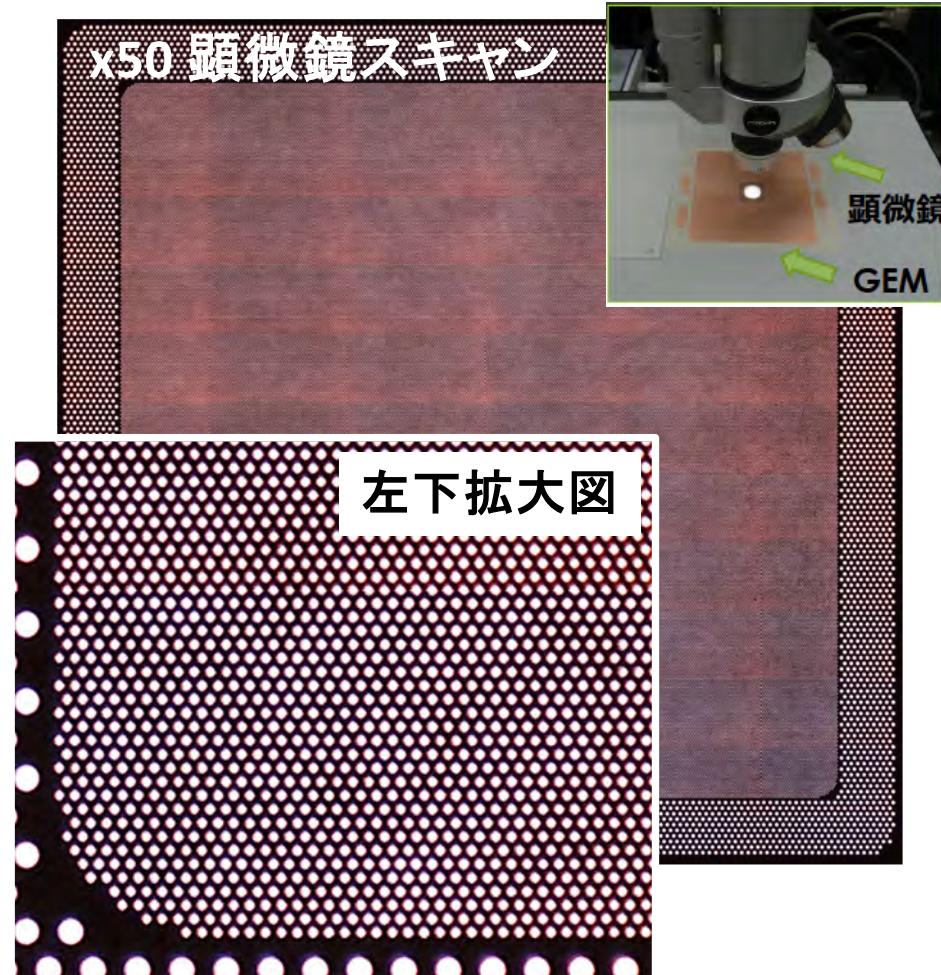


Tamagawa+2006

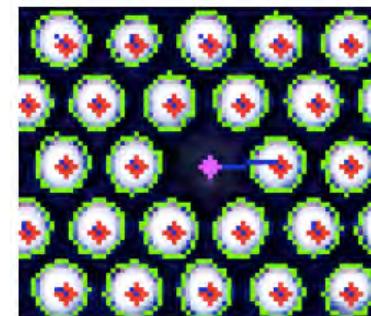


3.3 hole inspection

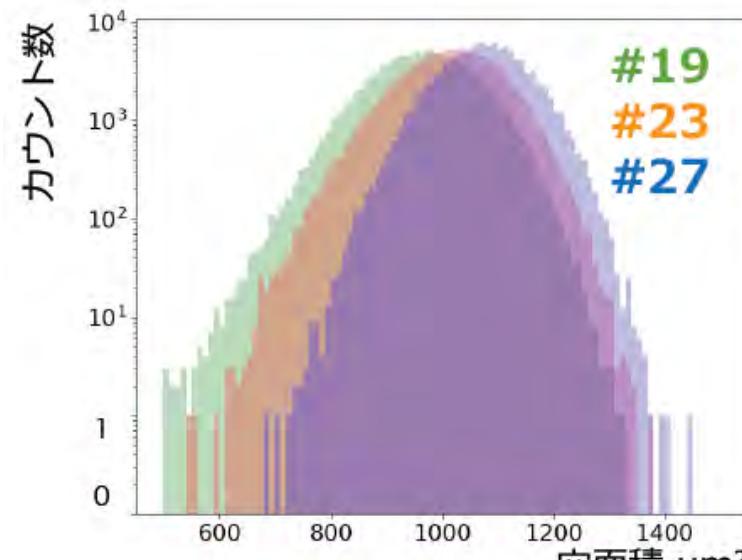
顕微鏡による GEM 全数、全穴 (110k/GEM) の表面、裏面、穴確認



Automatic scan/fit program
(周ほか, MPGD14)



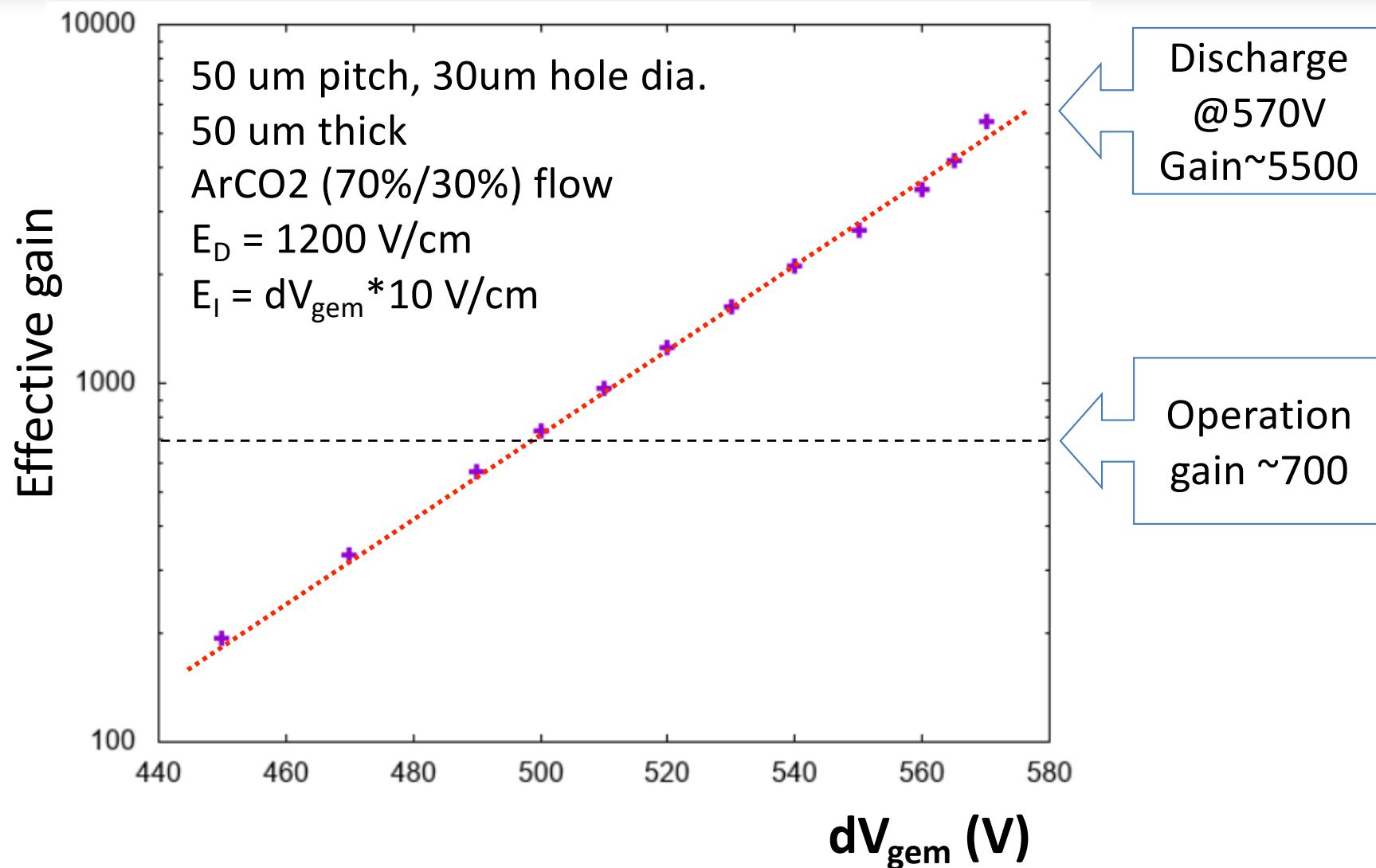
非貫通穴の検出
 $N < \text{a few}$ in 110k holes.



GEMの穴面積分布

- 穴面積、パターン、離心率等
- フライト品選定の基準として利用
- 閾値は協議中

3.4 gain curve and discharge



Heavy ion irradiation test at HIMAC is scheduled from January 8 to 10.

4. Summary

1. NASA により Imaging X-ray Polarimeter Explorer (IXPE) が採択され、2021年4月に打ち上げ。
2. 日本グループは GEM の提供で参加、INFN/Pisa と共にガスピクセル偏光計 (GPD) を製作、試験中。
3. 2018年9月より、フライ特品の製作、試験、提供が進行中。