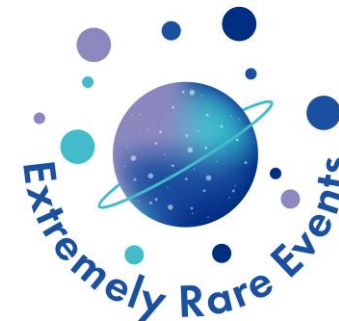




NEWAGE実験92: 暗黒物質探索に向けた ピクセル型読み出し陰イオンガスTPC開発

神戸大理 遠山和佳子

身内賢太郎 東野聡 生井凌太 西田汐里 佐村航星 白水渉太 高井優花

2026年 9月16日

方向感度をもつ暗黒物質直接探索実験

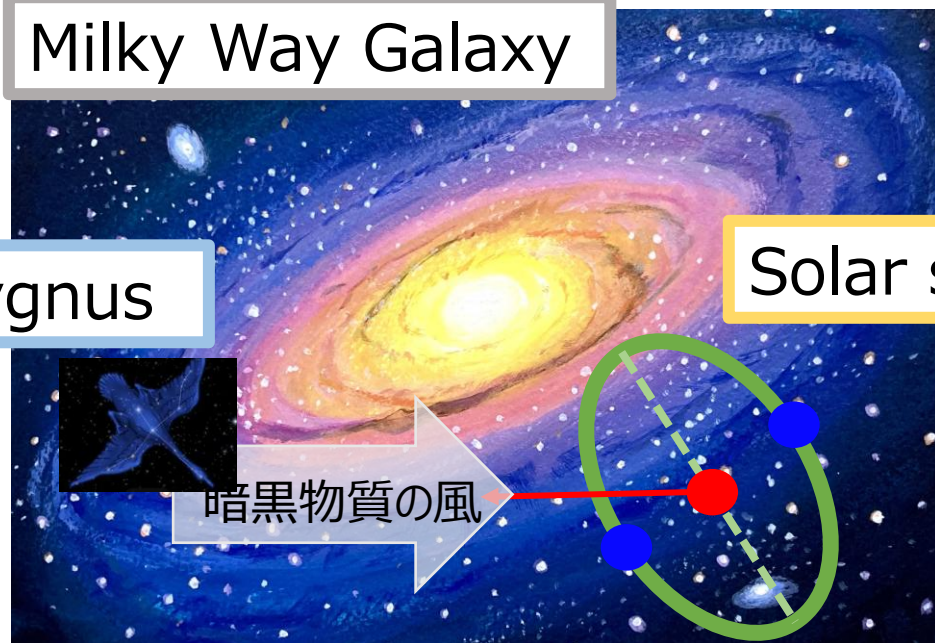


- 方向感度を持ったWIMP直接探索

Milky Way Galaxy

Cygnus

Solar system



$V=230 \text{ km/s}$

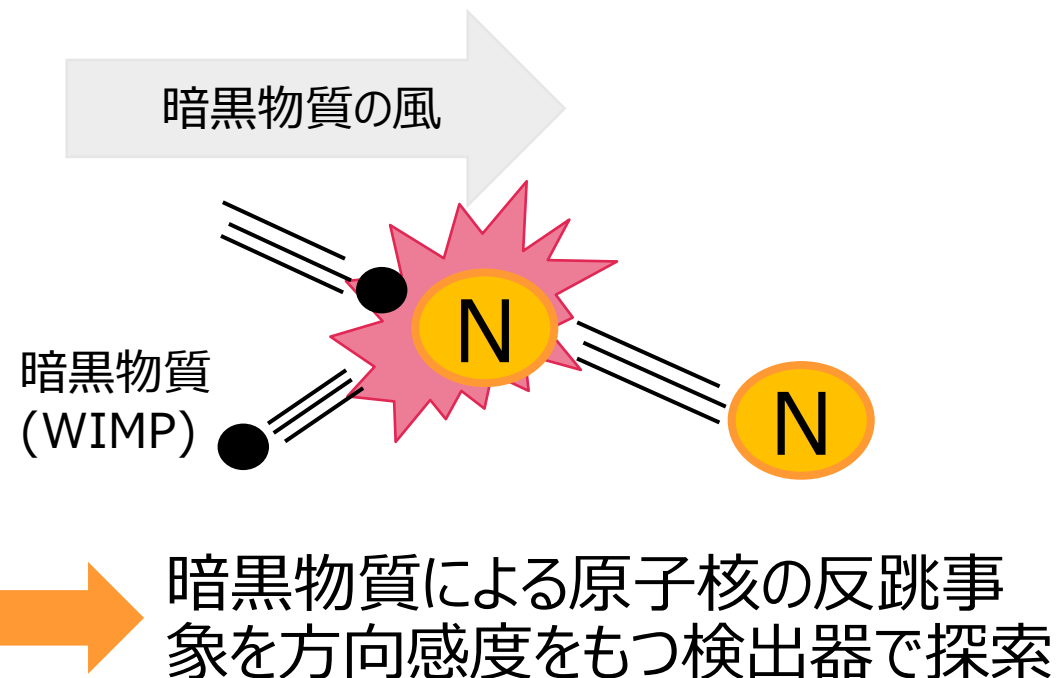
- 暗黒物質をWIMPと仮定して探索

暗黒物質が天の川銀河全体を覆っている



太陽系が230 km/sの速さで銀河を周回

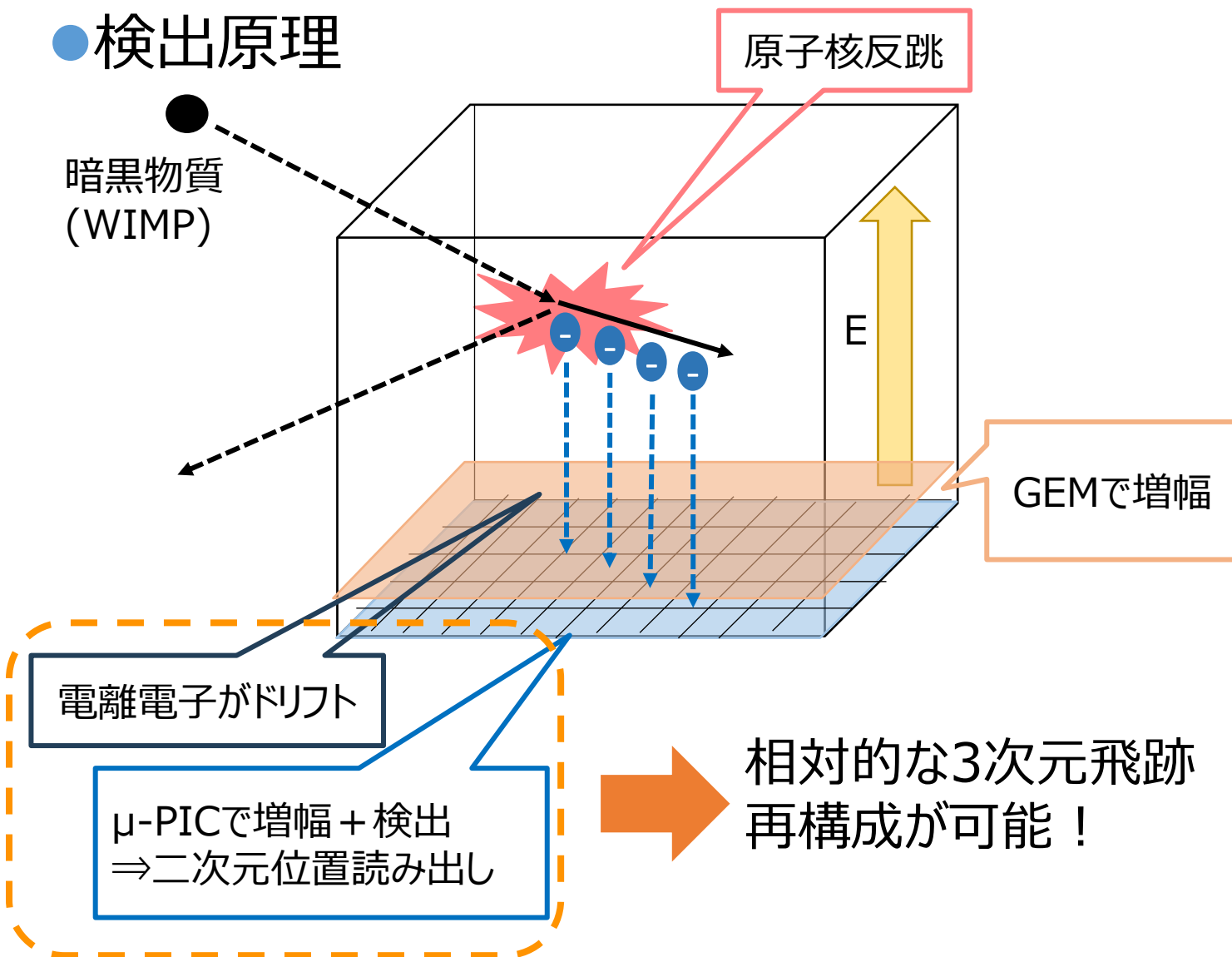
- 検出したい事象



はくちょう座の方向から暗黒物質がやってくるように見える。反跳核分布が指向性をもつため暗黒物質の強い証拠となる

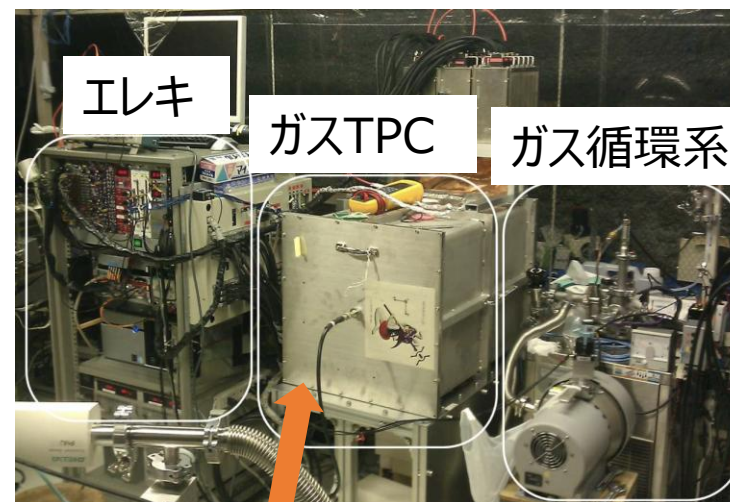
ガスTPCによる検出原理

●検出原理



●NEWAGE実験

神岡鉱山地下実験室(LabB)に
ガス検出器保有

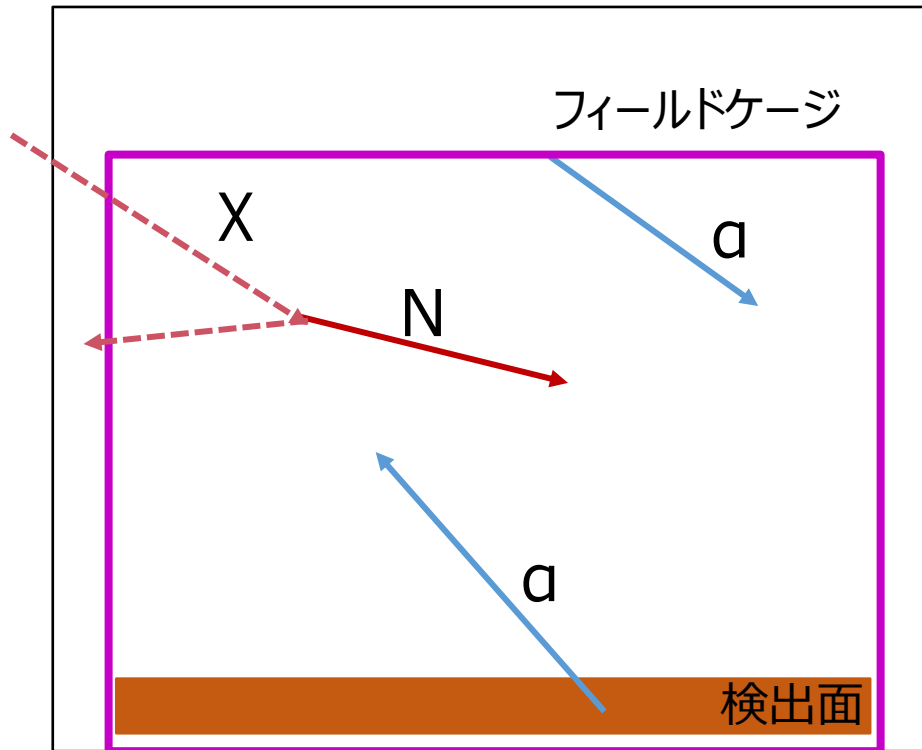


使用しているガスは CF_4
将来的には…「陰イオンガス」
である **SF_6** を使う！



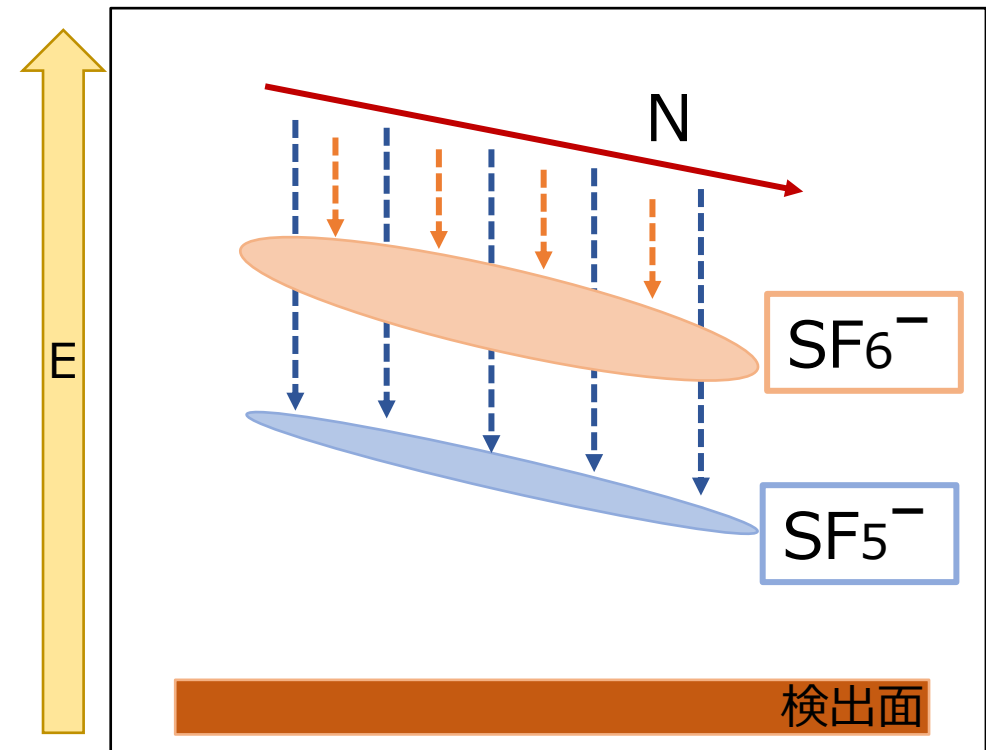
SF₆ガスのメリット

地下実験における大きなBG源として…
検出器内部のラドンからのα線



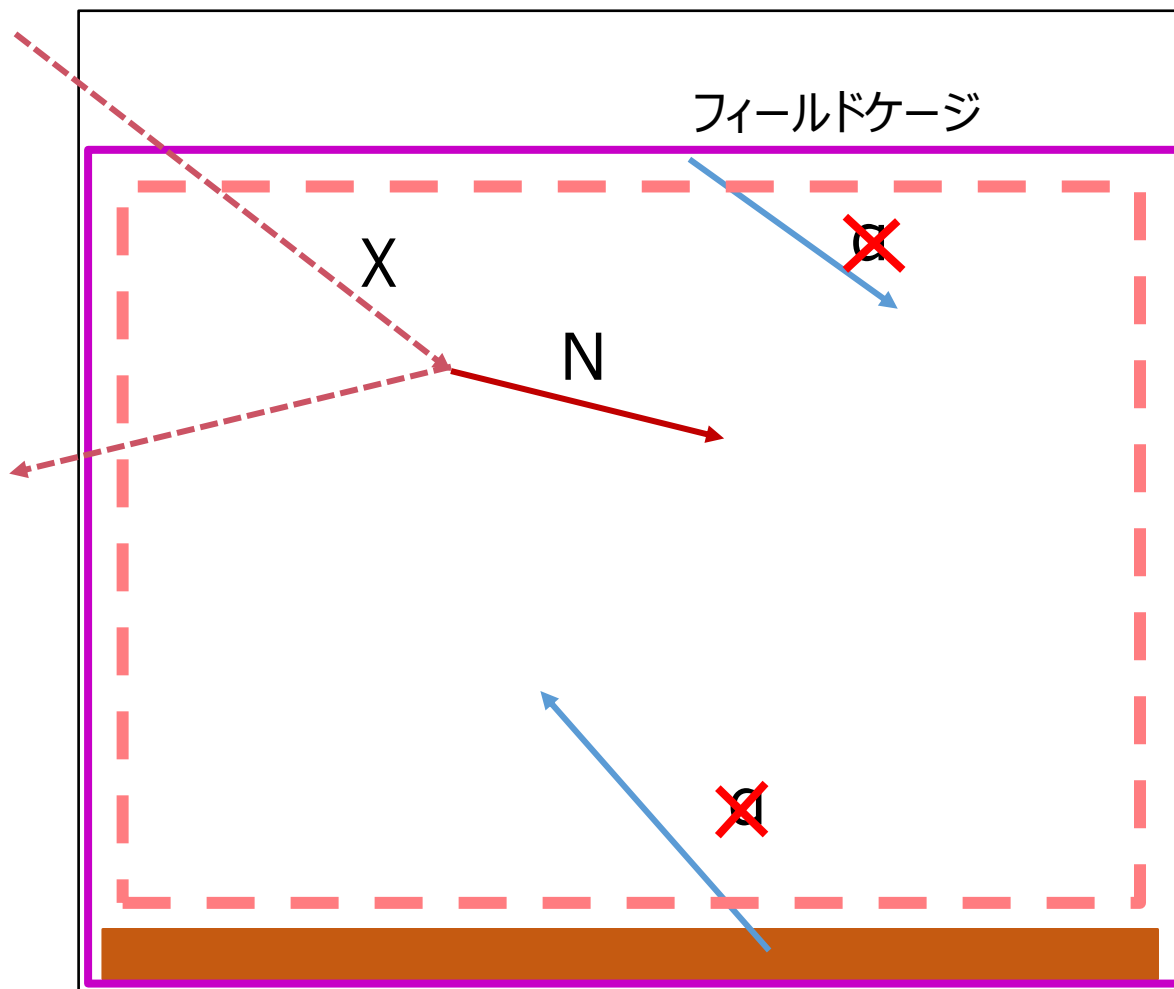
飛跡の相対的な位置しか分からないため、
ドリフト方向のカットが困難

SF₆ガスではSF₆⁻とSF₅⁻の二つの陰イオンが
生成されるため…



➡ SF₆⁻とSF₅⁻の到達時間差から
絶対位置の飛跡再構成が可能

SF₆ガスのメリット



壁付近の事象カットに加え、**ドリフト方向**に対するカットも可能



BG削減に有効！

他にも…

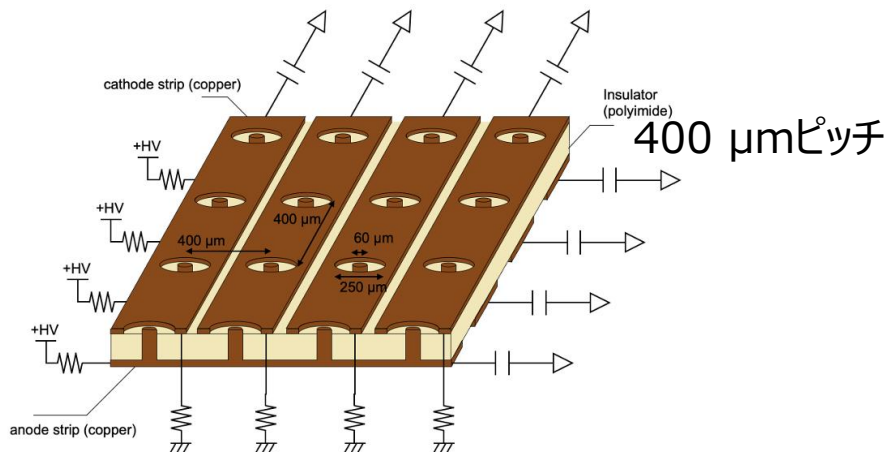
- 低拡散
- 放電に強いガスであるため、低圧での運用
⇒飛跡を伸ばせる

などの利点もある

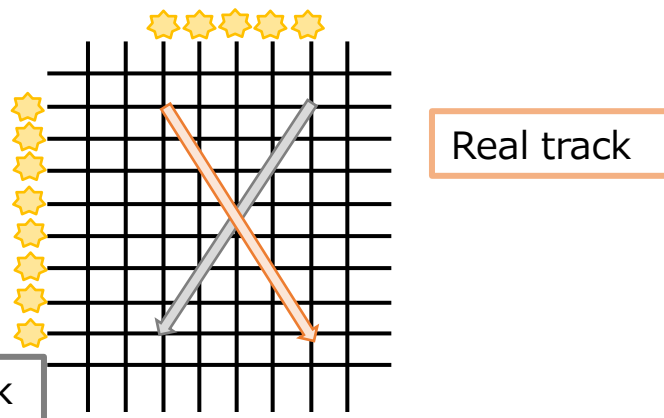
pixel読み出し

現在の読み出しは…

μ -PICを用いた2次元ストリップ読み出し

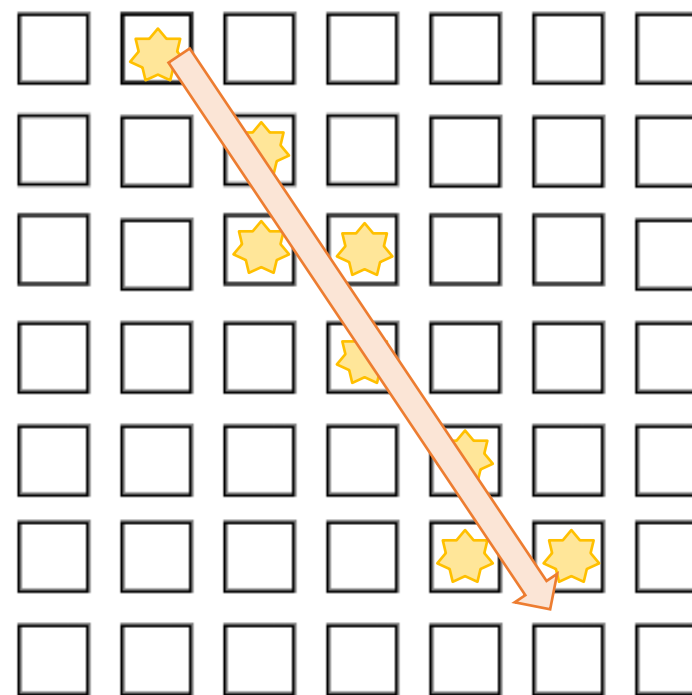


正確な飛跡再構成が困難



微細ピクセル読み出し

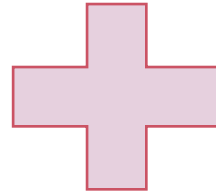
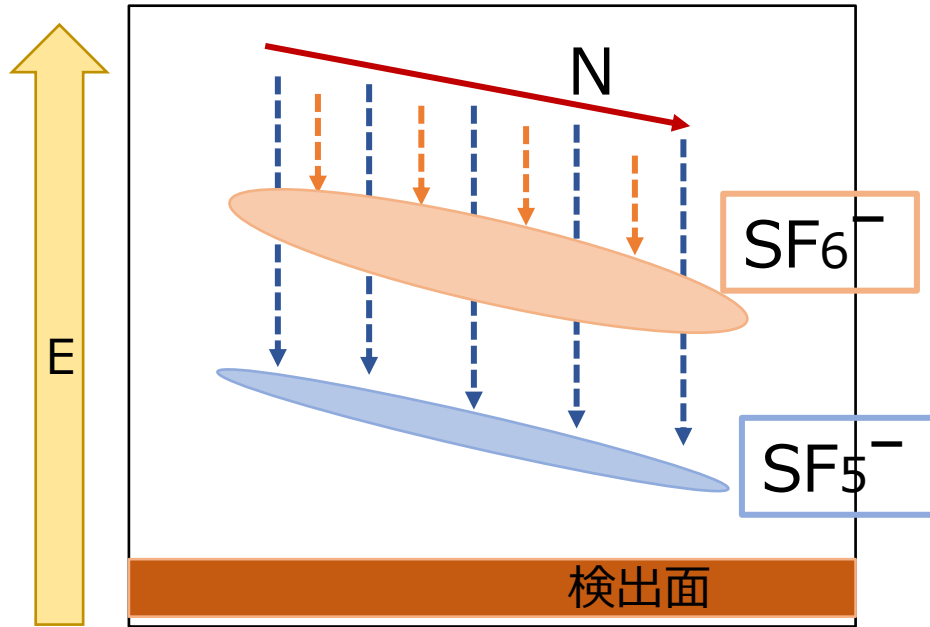
Real trackとghost trackを区別可能



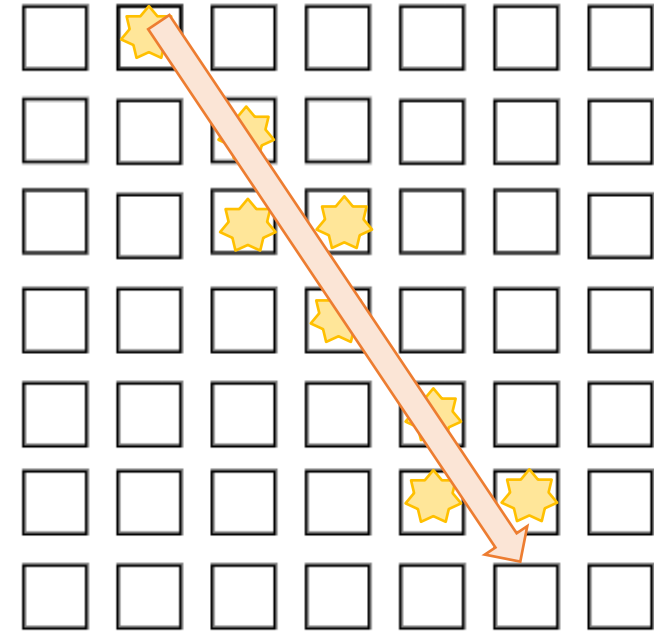
飛跡再構成に対する角度分解能向上!!

本研究の目的は…

SF₆ガスでの運用

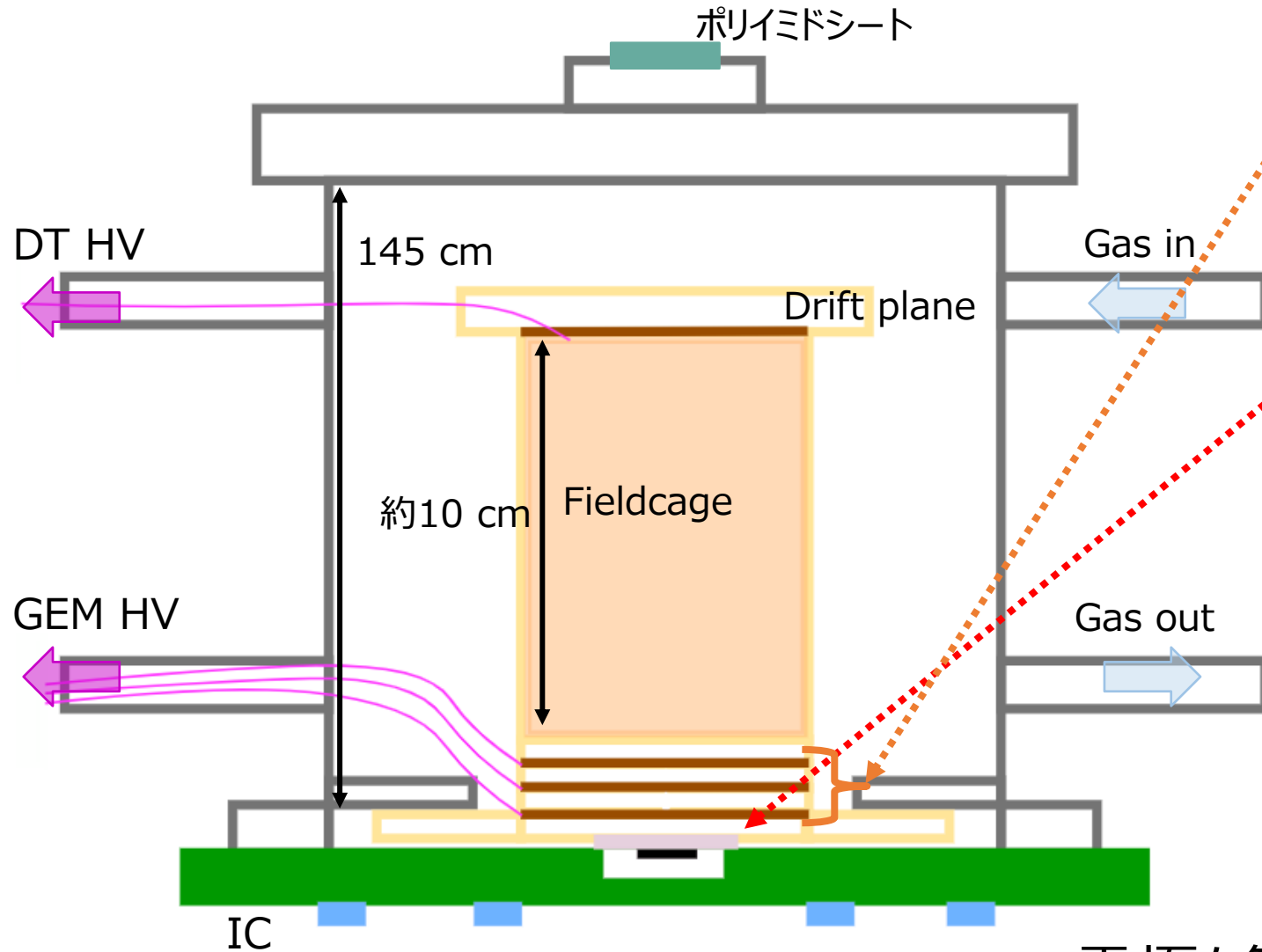


Pixel読み出し



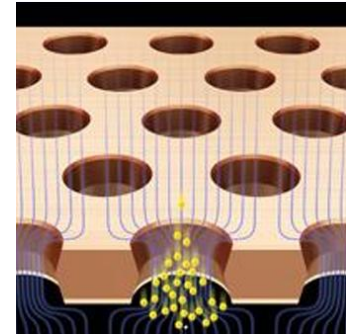
SF₆ガスでの運用 と pixel読みだし を実現し、将来の暗黒物質探索のためのプロトタイプ検出器を開発する！！

検出器概観

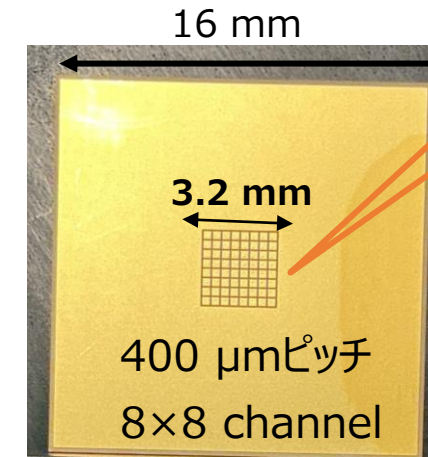


GEM

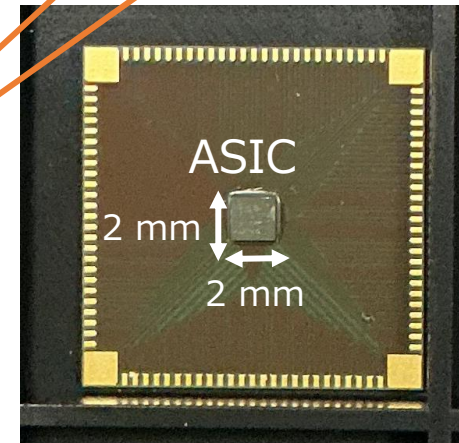
140 μm ピッチ
2.6 cm角のGEMを
3枚使用



電極基板



読み出し領域

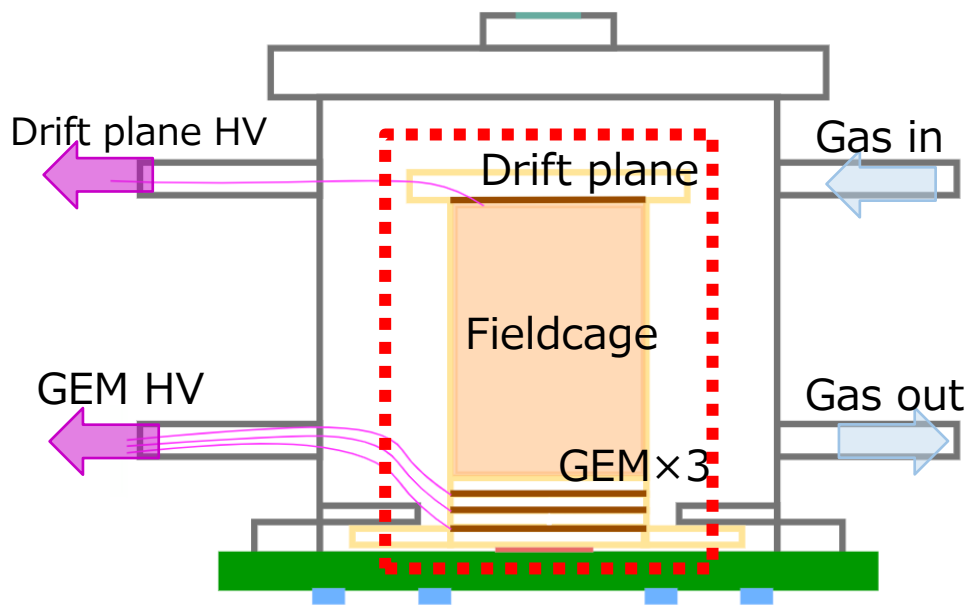


放電などでASICが壊れる可能性ある…



電極を簡易的なものに変更した**ver0**を作成!!

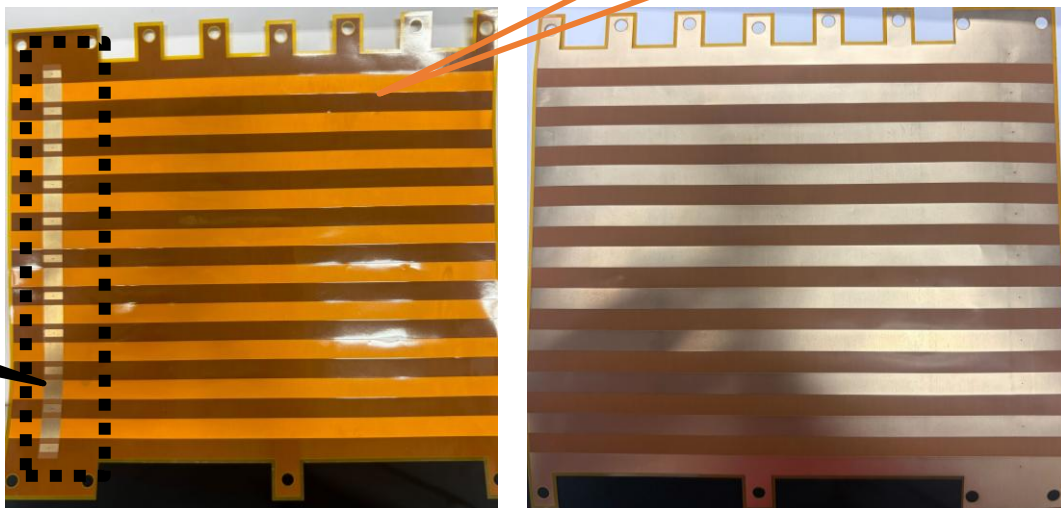
検出器部品 ～フィールドケージ&枠～



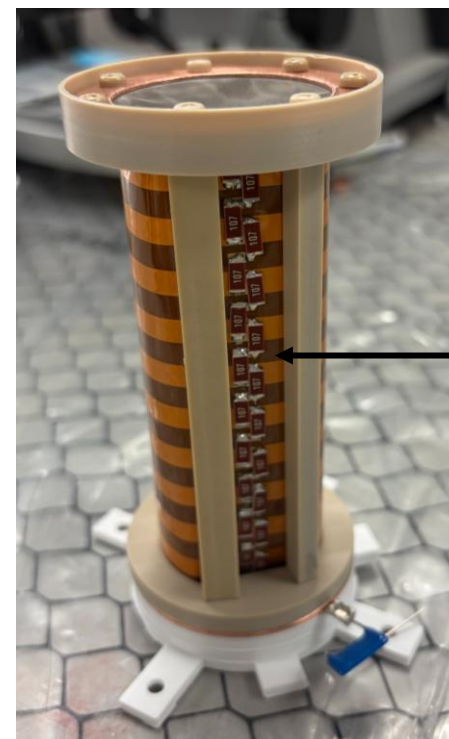
フィールドケージ
(フレキシブル基板)

メタルむき出し部

外側ポリイミド膜



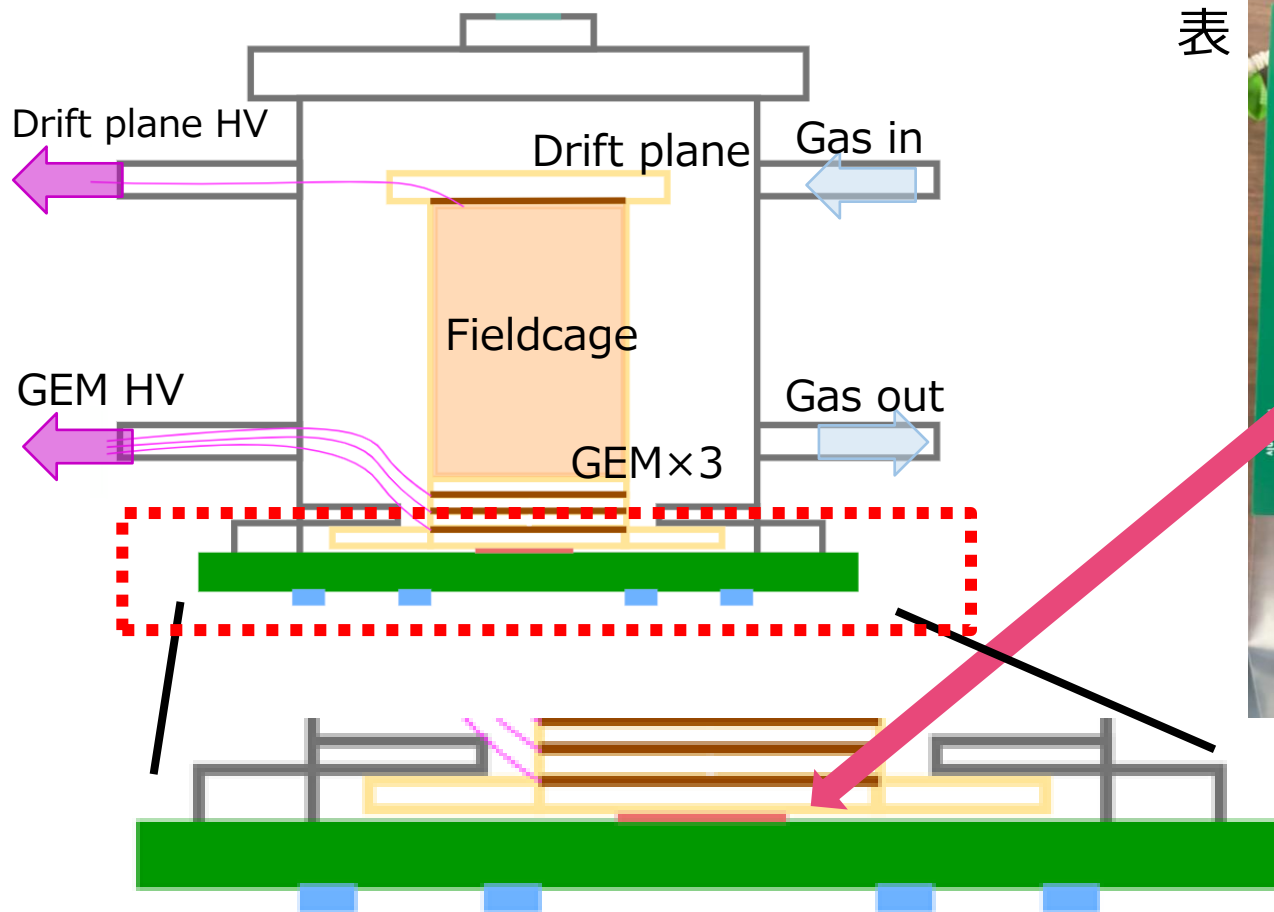
ドリフト面構造



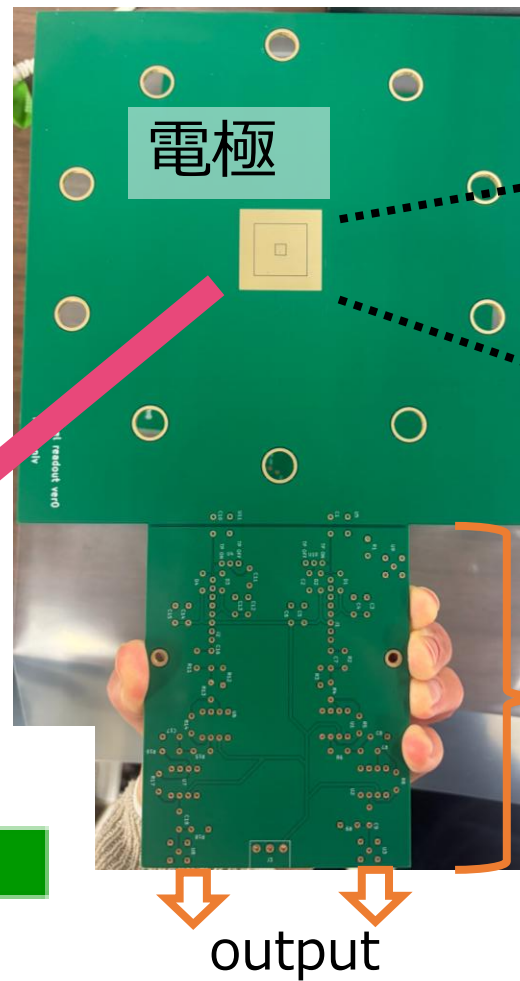
枠：PEEK

100 MΩ抵抗×20

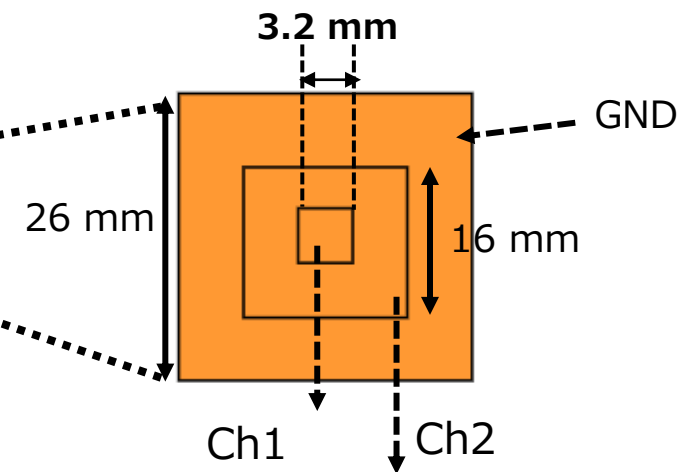
検出器部品 ~基板~



表

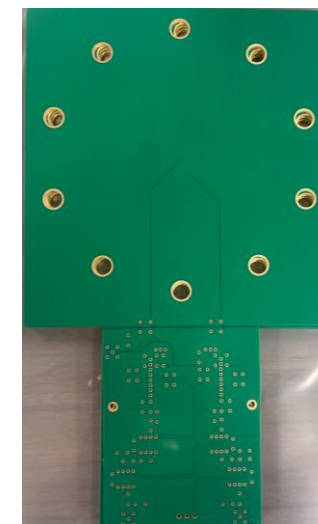


2Ch読み出し電極

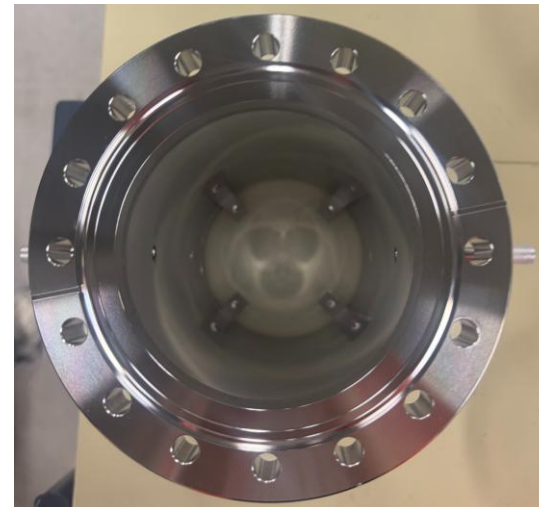
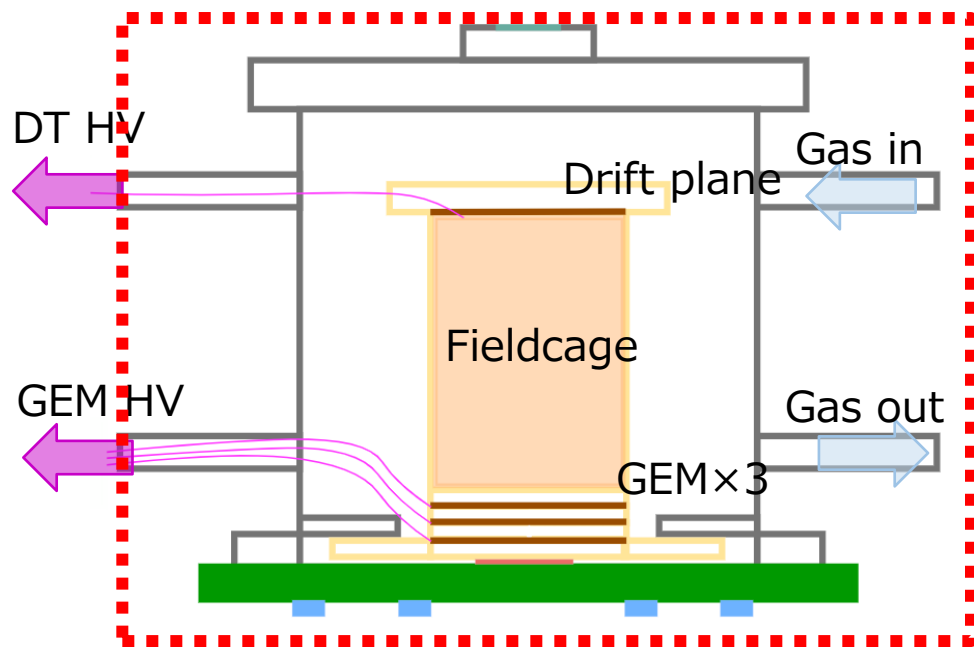


アンプ

裏

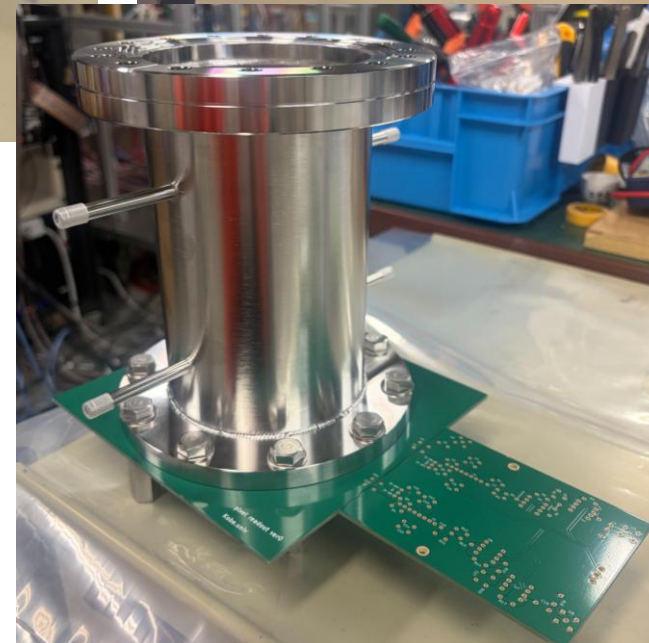


検出器部品 ～チェンバー～



- ICF152フランジを用いた特注ニップル

基板に直接つける



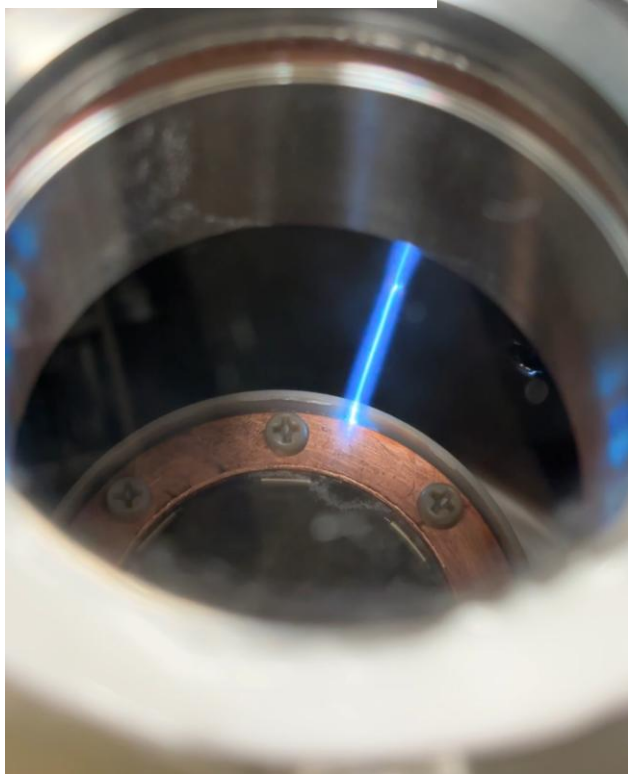
放電試験

SF₆イオンドリフトのための電場はオーダーとして～1000 V/cm ...が理想(ドリフト面に-13 kV印加)

➡ ドリフト面に高電圧をかける必要があり、そのために放電試験・対策を繰り返した

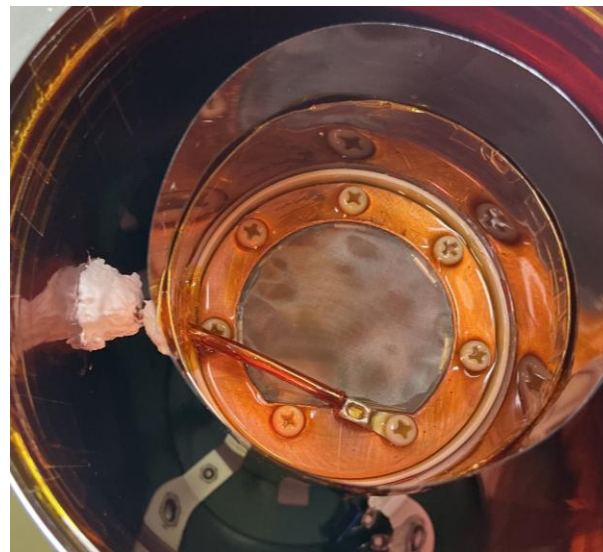
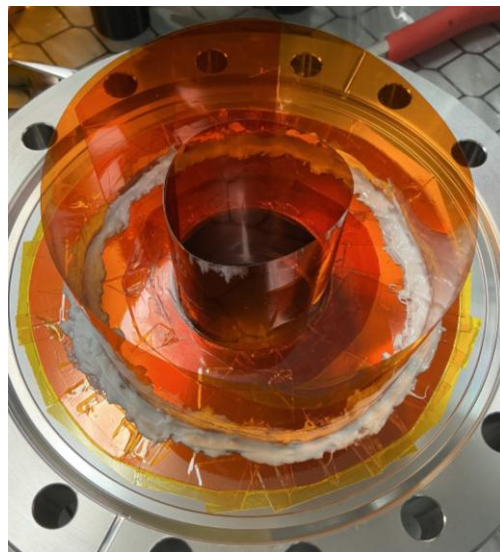
放電の様子

(ドリフト面-4.3 kV)



放電対策として…

電極-GND間の経路を長くした！！

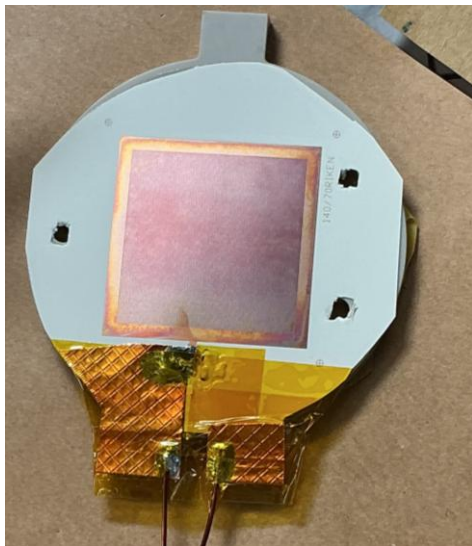


ポリイミドシートなどを用い、
放電対策を実施

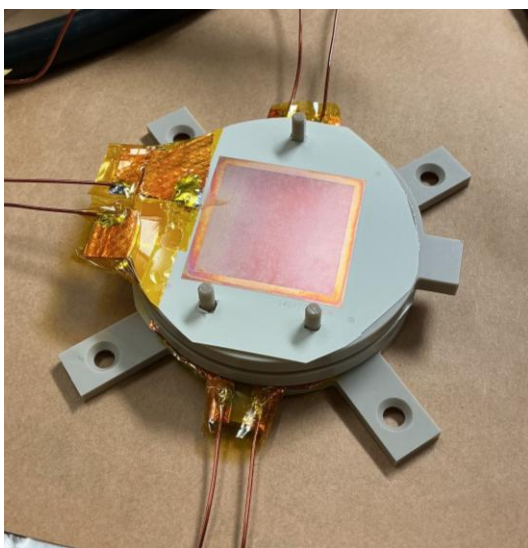
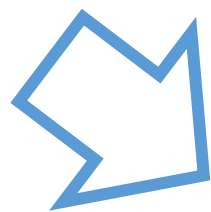
最終的にSF₆ガス0.04 atmでドリフト電場を約**860V/cm**かけることに成功

組み立て

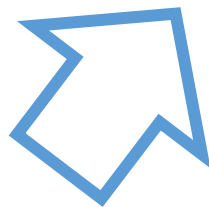
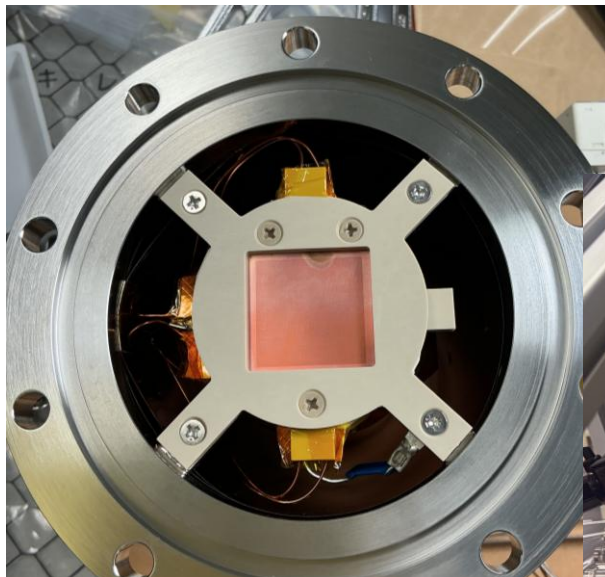
PEEKの枠にGEMを貼り付けて…



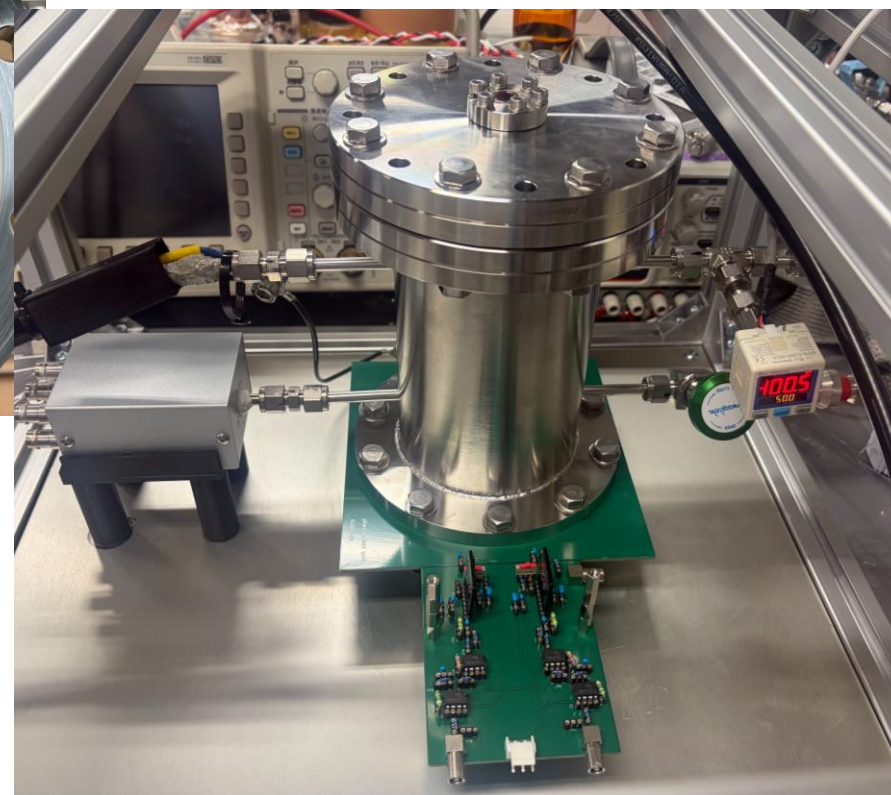
3枚重ねる



チェンバーに取り付けた



検出器全体像



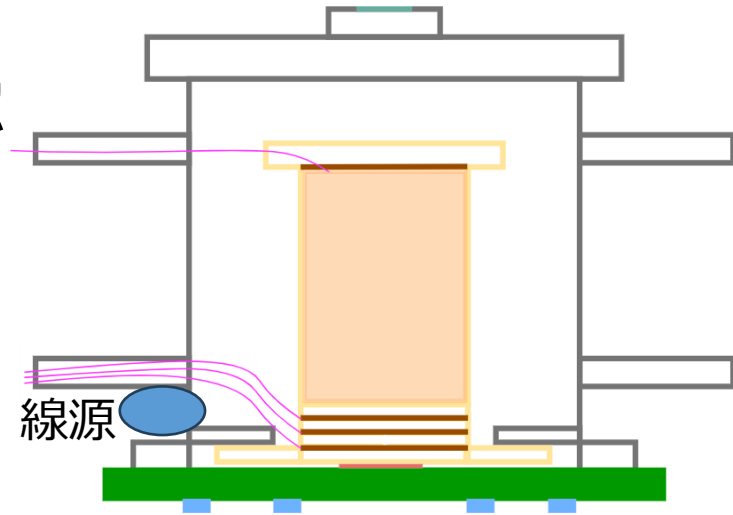
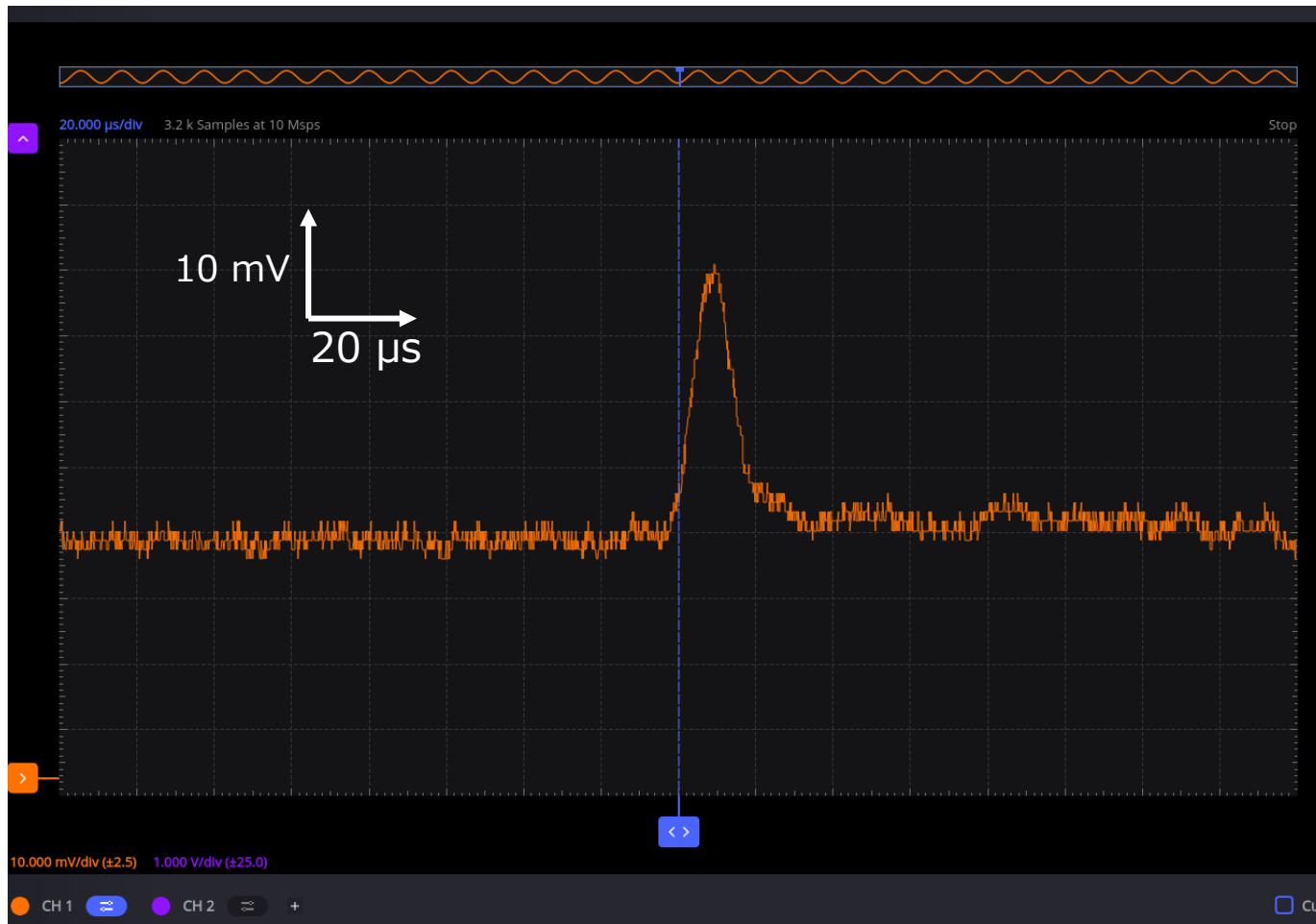
いざ、信号チェックへ



動作試験

SF₆ガス 0.04 atmで動作試験を実施

⇒²⁵²Cfを用いた中性子による原子核反跳の信号を確認



検出器の動作を実証

今後の課題として…

ゲインをさらに上げる必要がある

展望

- 既知のエネルギーでエネルギー較正を行う
- ガスゲインの測定
- SF₅によるマイノリティピークの観測
- ガス純度の調査

等の基礎測定

- ver0からpixelを用いたver1へ移行
⇒現在、電極基板を搭載した基板を作成中！

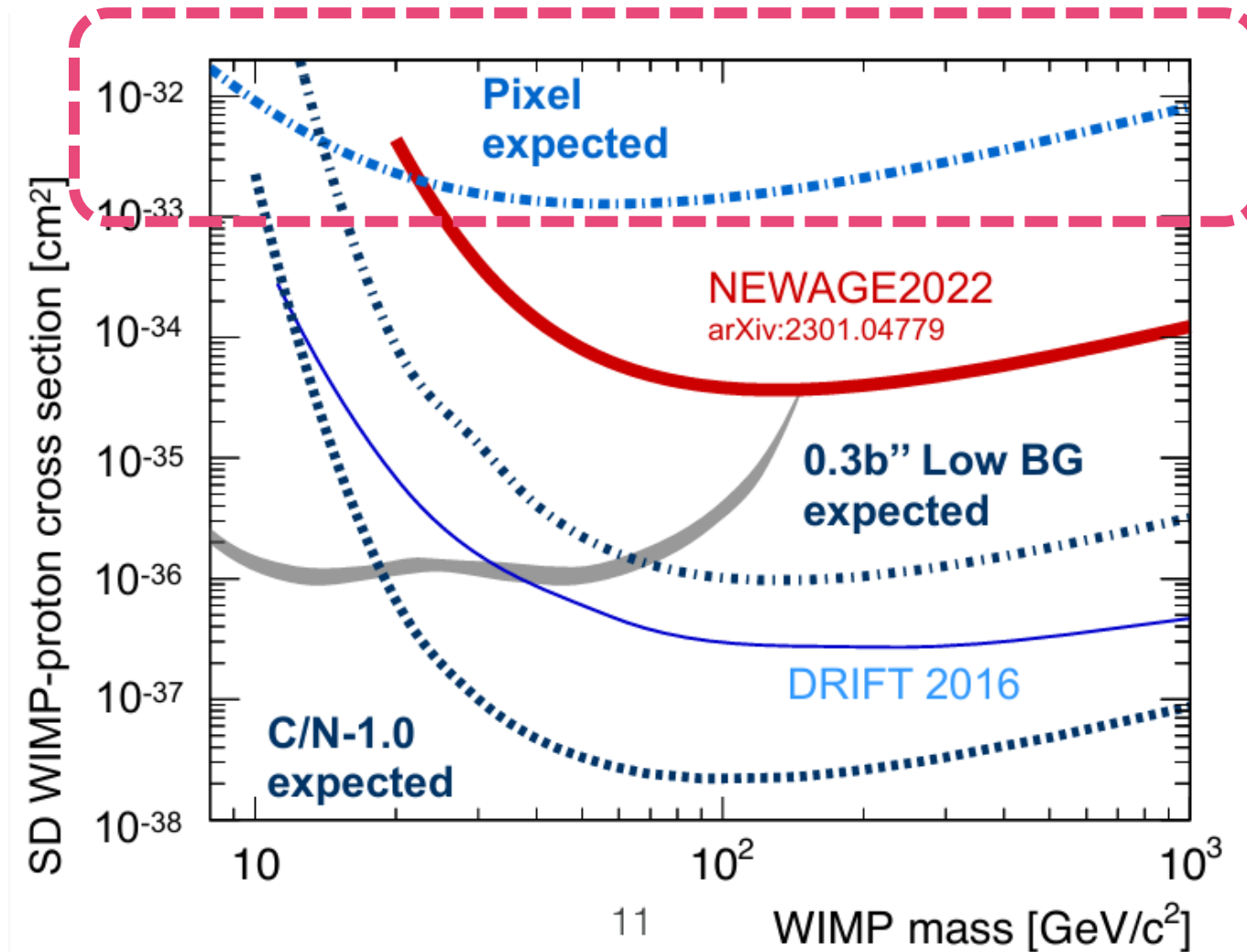
結論

- 将来的な方向感度をもつ暗黒物質直接探索実験のためのプロトタイプ検出器を開発
 - SF₆ガスでの運用
 - ⇒ 3次元飛跡再構成における絶対位置特定、低BG化
 - Pixel化
 - ⇒ 角度分解能向上
- 特注のチェンバー、フィールドケージ、基板を作成した
 - pixel化に先立って1Chパッド読み出しで試験を実施
- 開発したプロトタイプ検出器で²⁵²Cf を用いた中性子由来の信号を確認した

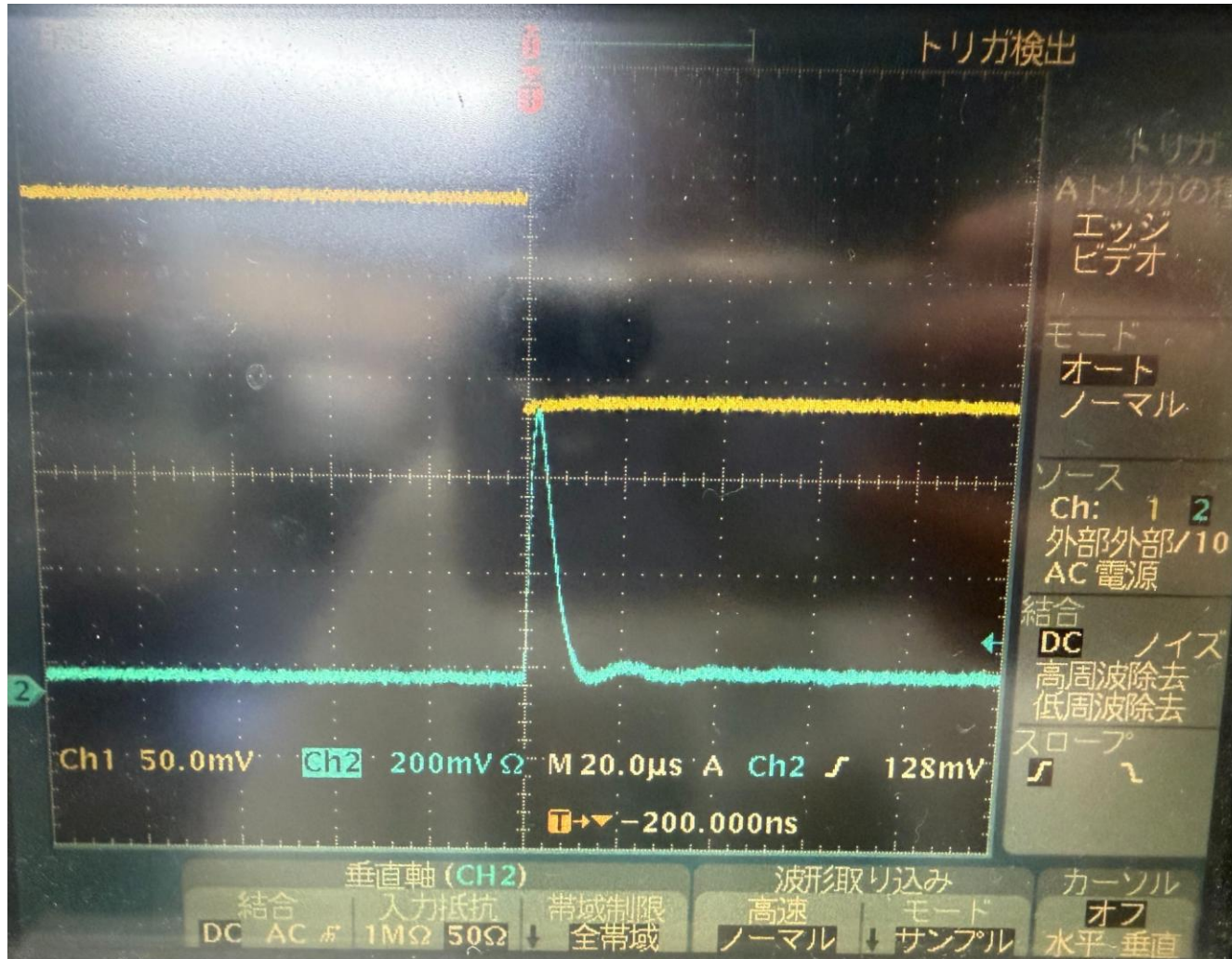
Back up

Expected limit

低BG化 & ピクセル読み出しでの低質量領域の探索



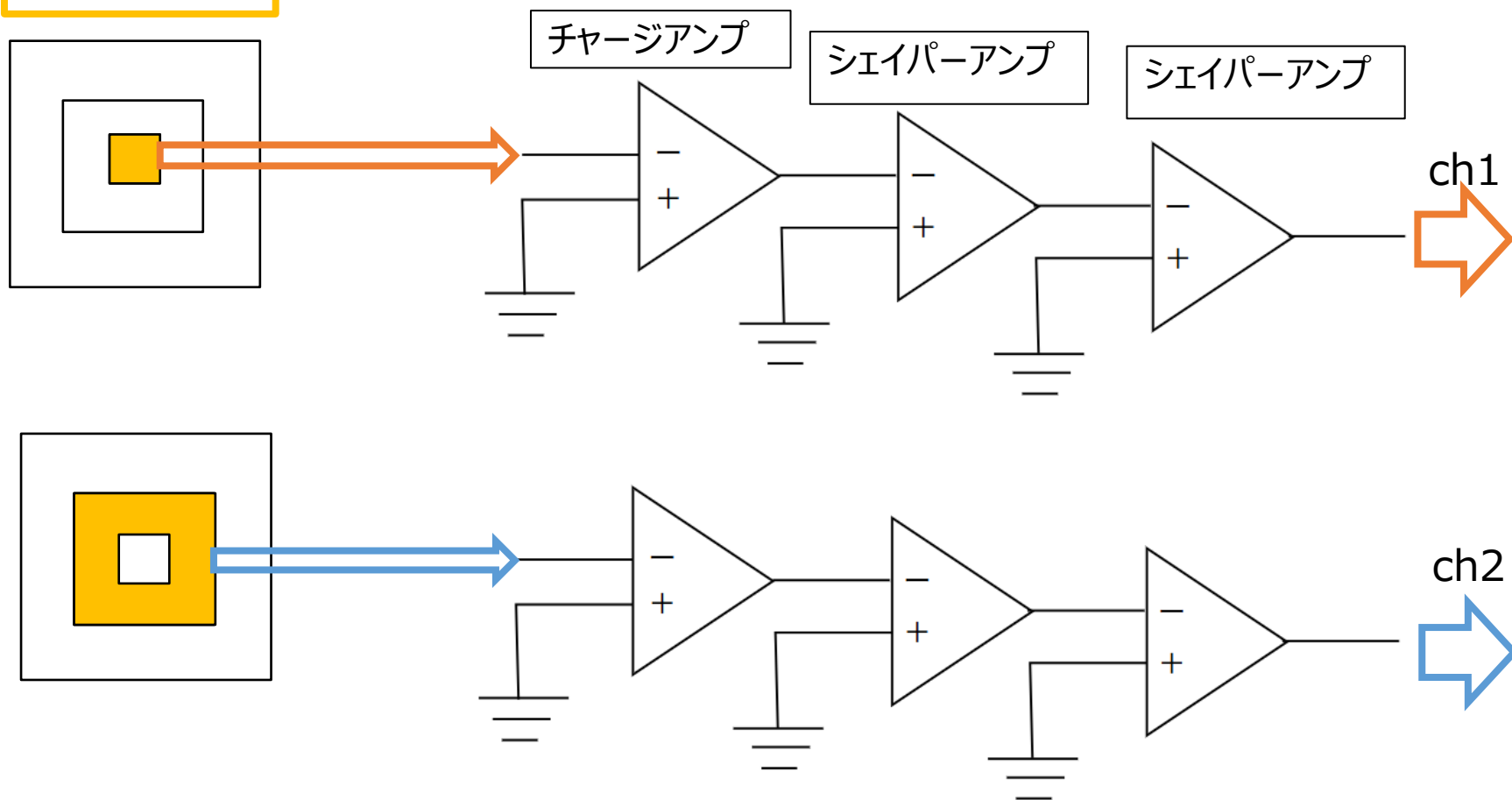
テストパルス



Ampについて

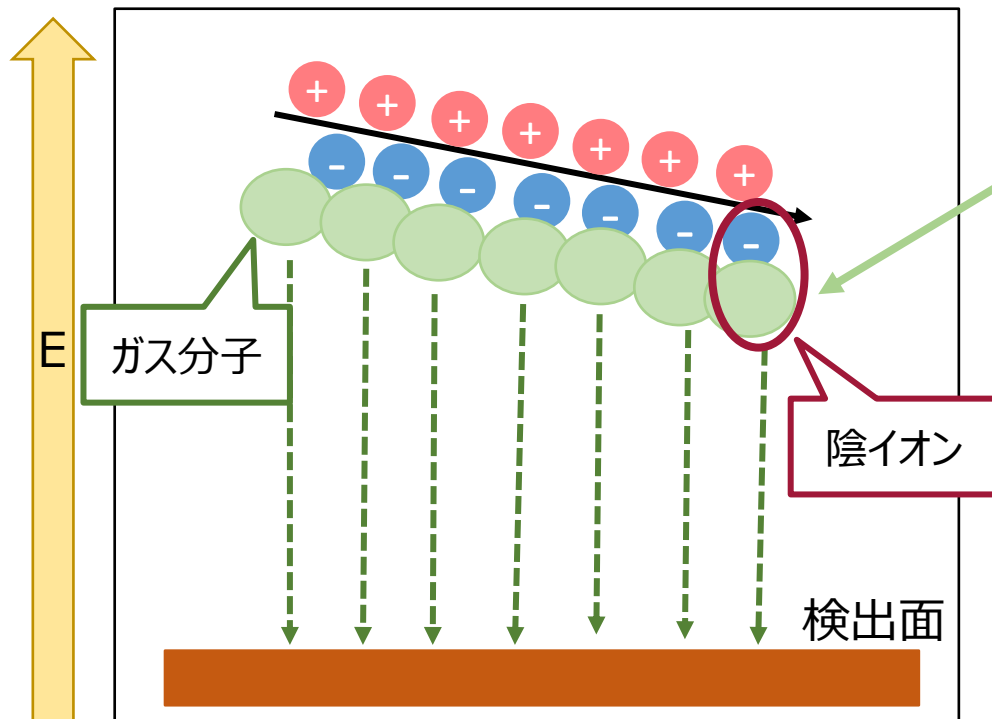
Ampゲイン約6 V/pC

読み出し電極



陰イオンガスTPC

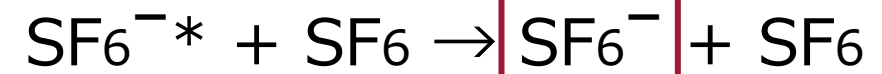
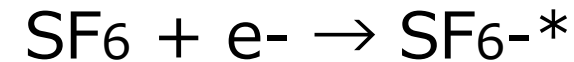
電離電子をアタッチして生成された
陰イオンがドリフト



→ ゆっくりドリフト、低拡散

陰イオンガスの中でも注目しているガスは..

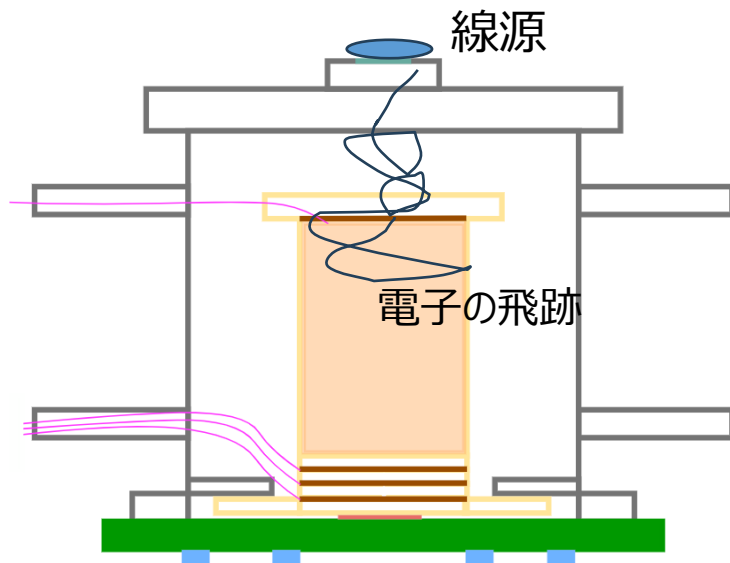
→ **SF₆**



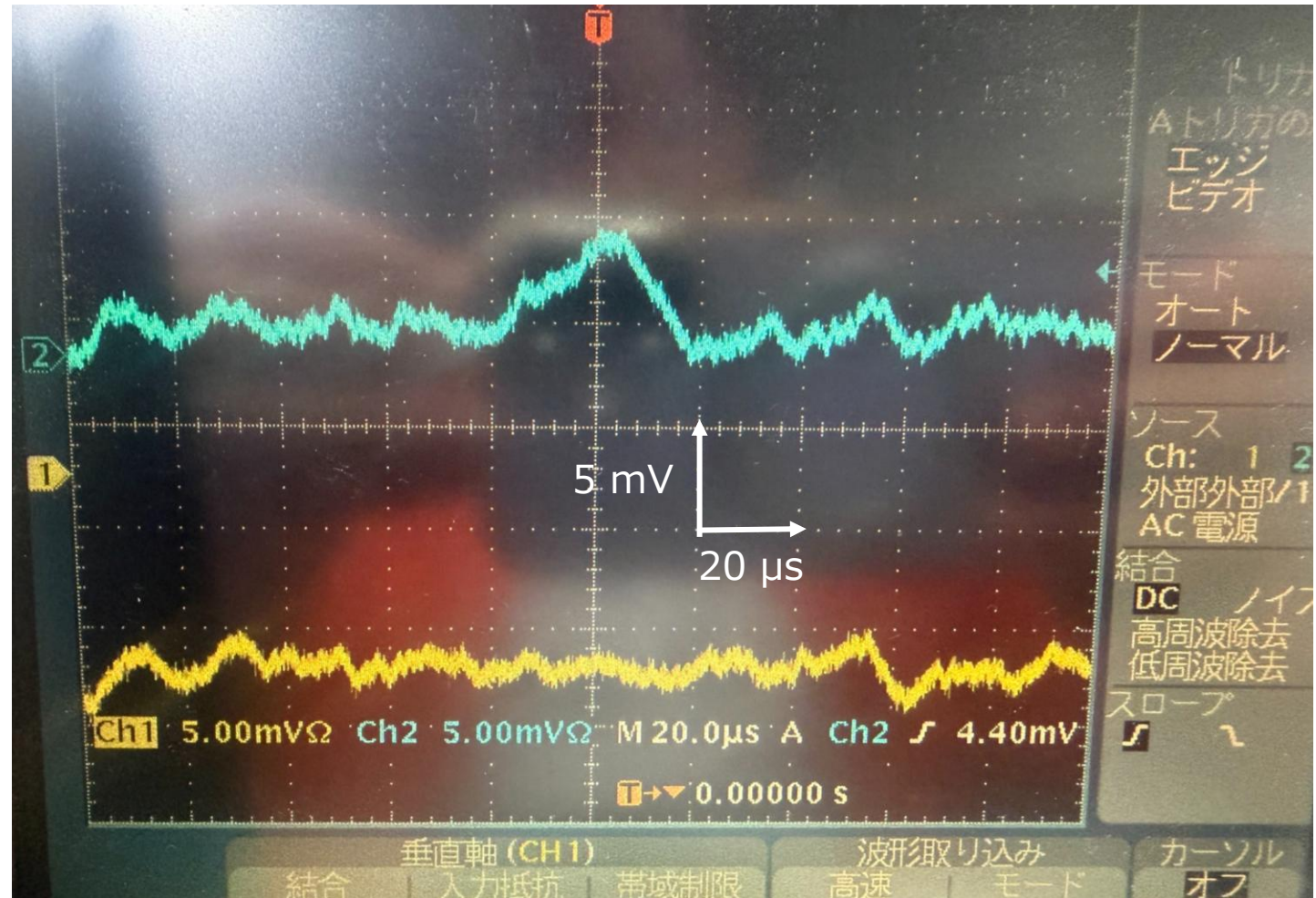
SF₆⁻ と **SF₅⁻**
2つの陰イオンが生成

電子反跳

^{90}Sr β 線

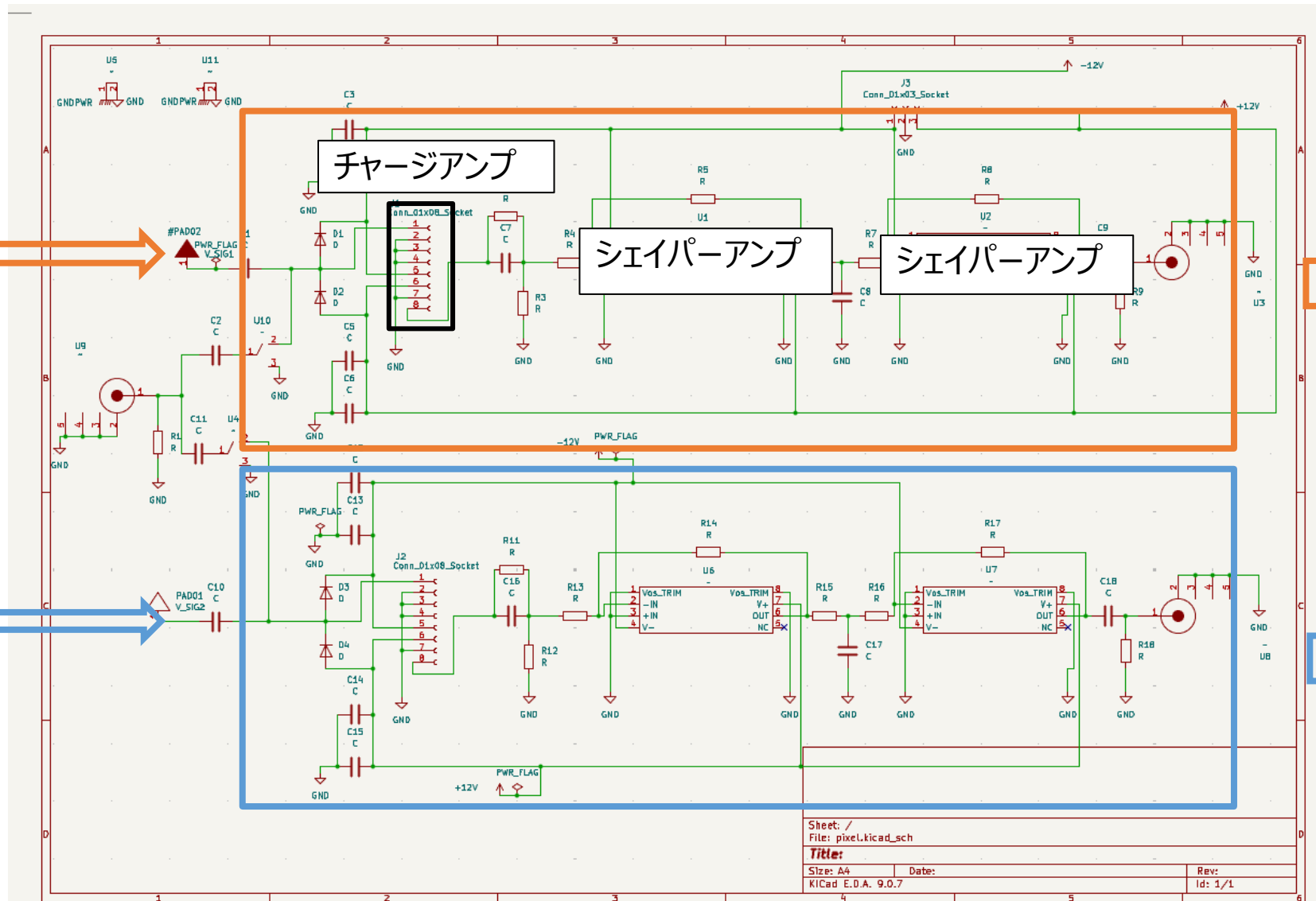
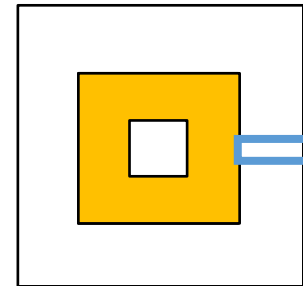
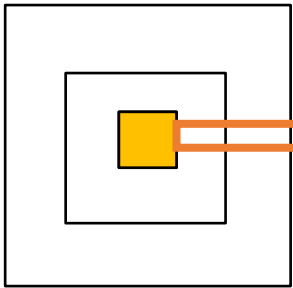


低圧でかつ電子の飛跡である
ことから波形がなまっている



Ampについて

読み出し電極



放電対策

