

低BG μ -PICの開発

神戸大理 石浦宏尚

2021/3/24

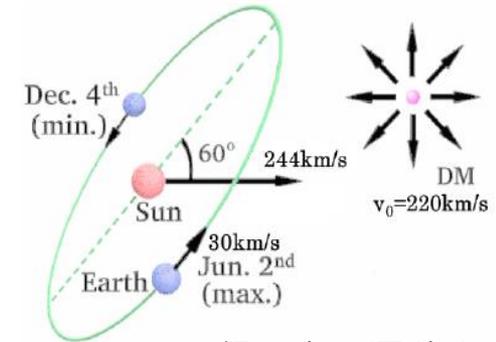
第七回極低放射能技術 研究会@オンライン

➤ 暗黒物質

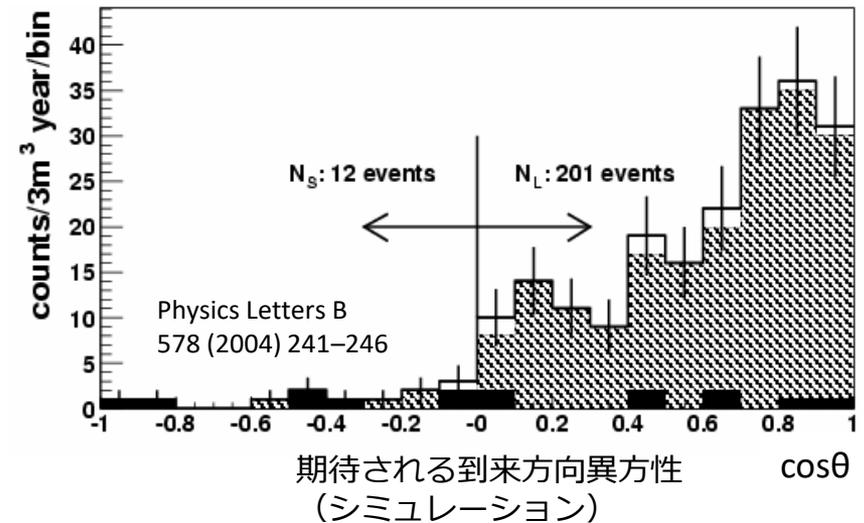
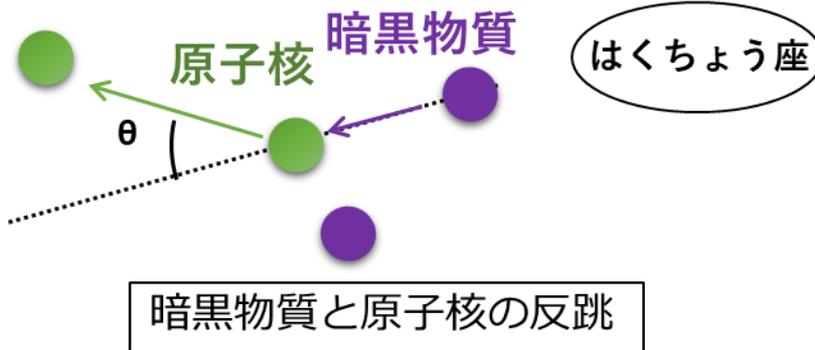
- 観測的証拠 → 存在すると考えられているが未発見
- 直接・間接・加速器による探索が行われている

➤ 方向感度を用いた暗黒物質探索手法

- 太陽系の運動による暗黒物質の「風」をとらえる
- 暗黒物質到来方向異方性が確実な証拠として期待



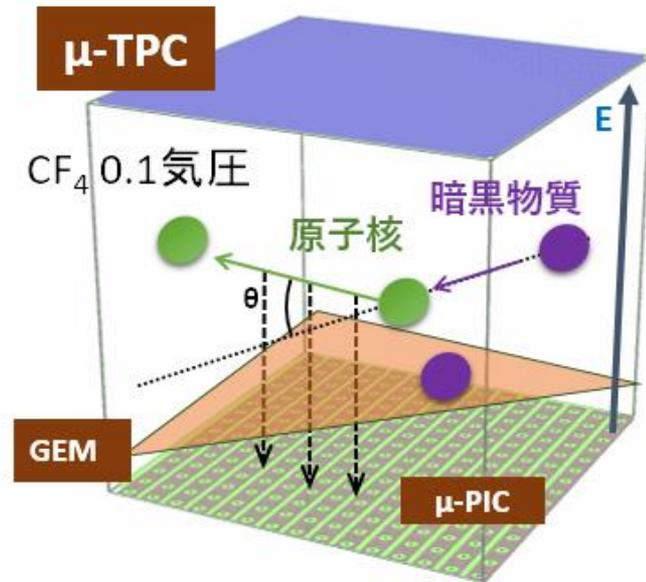
銀河中を運動する太陽系のモデル



➤ **NEWAGE** (NEw generation WIMP search with an Advanced Gaseous tracker Experiment)

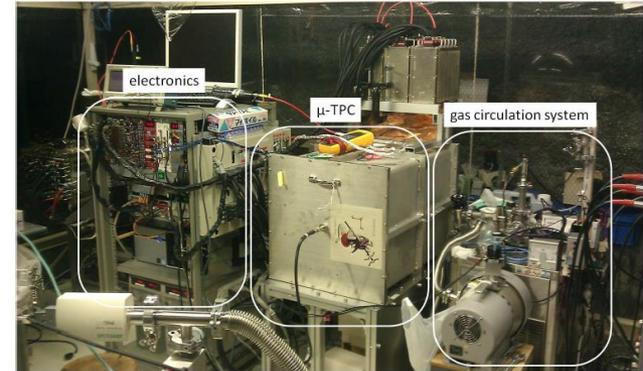
- **方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- 暗黒物質により原子核反跳されたフッ素原子核の飛跡をガスTPCでとらえる

3次元ガス飛跡検出器 μ -TPC

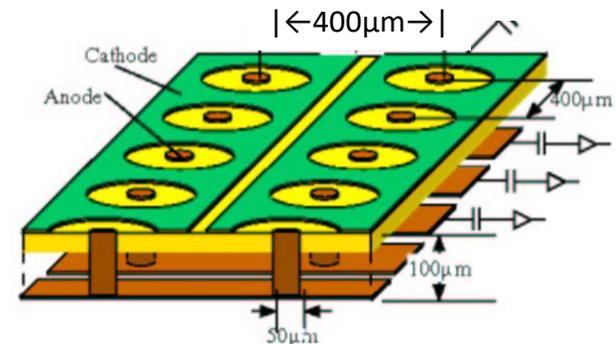


GEM：前段増幅器

μ -PIC：400 μ mピッチ 2次元イメージガス検出器
→今回はこの μ -PICの低BG化の話



NEWAGE-0.3b' 検出器
神岡宇宙素粒子研究施設地下で測定中



μ -PIC模式図

これまで

- 飛跡前後判定解析(RUN14-18) PTEP 2020 113F01
- 検出器の低アルファ線化(RUN22) arXiv:2101.09921
- 解析改善・高統計(RUN20-25)
 - 2017年12月 – 2020年3月 318日分データ
→ポスター P04 島田

→方向に感度を持つ実験として世界最高感度

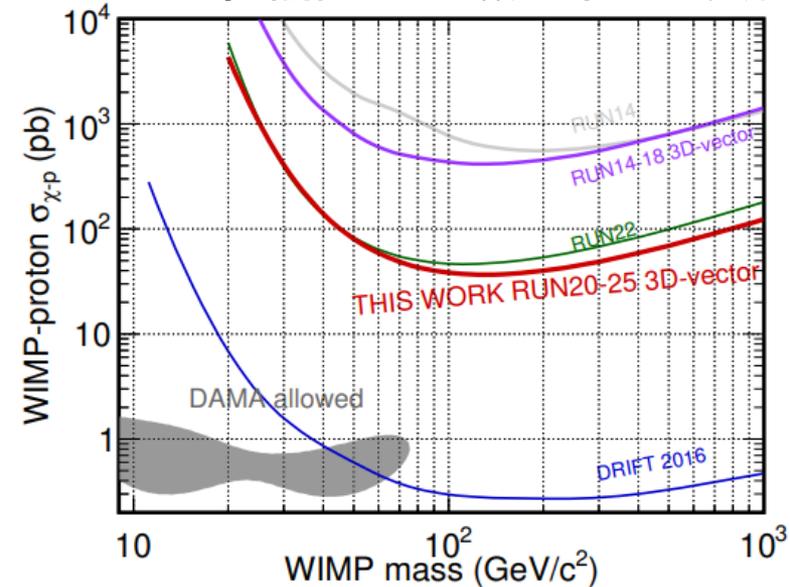
➤さらなる高感度化のため

低バックグラウンド化 → 低BG検出器開発(本Talk)

信号数増化 → 低エネルギーしきい値化(ポスター P08 窪田)
大型TPC開発(ポスター P06 東野)

NEWAGE現在の感度

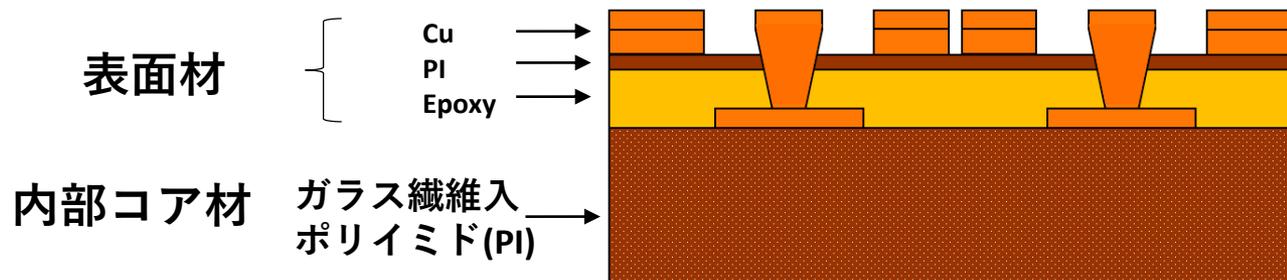
島田拓弥 修士論文 神戸大学 2021年2月



現行検出器: Low- α μ -PIC(LA μ -PIC)

➤ 表面材にガラス繊維(放射性不純物有)を含まない検出器 → 低アルファ線化を達成

検出器: NIM A 977 (2020) 164285, 物理:arXiv:2101.09921



LA μ -PIC断面図

ただし

➤ 内部コア材にガラス繊維入ポリイミドを使用

➤ U/Th 系列 ^{222}Rn , ^{220}Rn 放出 → ガス中バックグラウンドに

➤ ^{222}Rn 娘核種 ^{218}Po の検出器表面埋め込み(保管時) → 検出器表面から出る α 線に

→Next : 内部コア材低BG化へ

内部コア材選定

- 方向性：石英ガラスクロス+樹脂 (信越化学工業)を多層で
 - 低BG材料として実績があった (他分野での利用 & HPGe測定)

➤ 候補1 石英ガラスクロス入 樹脂

- HPGe測定結果→良
- **ただし、Tg(ガラス転移温度)低**→ 加工に適さない
→高Tgのものを模索

➤ 候補2 石英ガラスクロス入 高Tg 樹脂材料

- HPGe測定では候補1の方が良
- 高温で加工可能、従来コア材より低放射能

→今回の試作でこちら採用へ

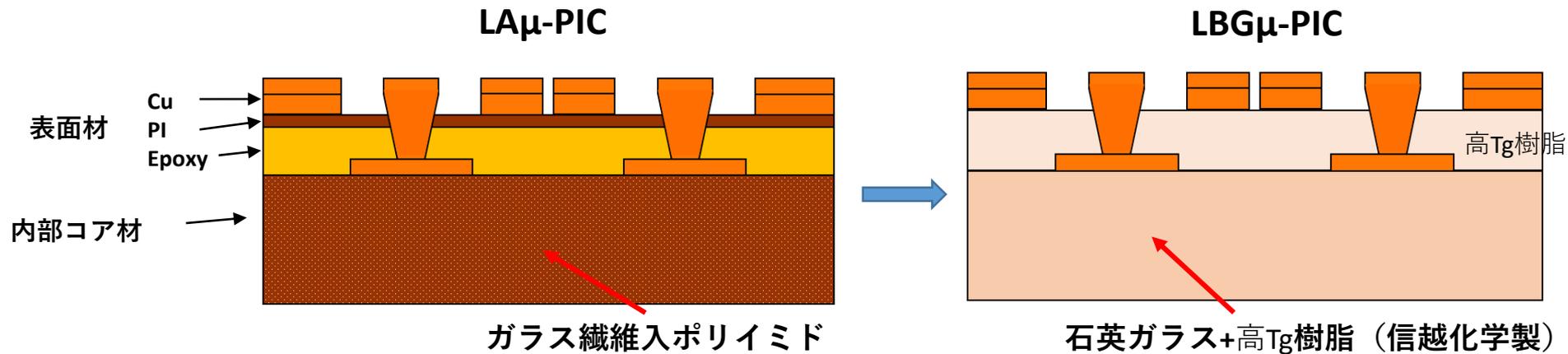
HPGe 測定結果	^{238}U middle(ppm)	^{238}U upper (ppm)	^{232}Th (ppm)
候補1 (石英ガラス クロス + 樹脂)	$< 2.4 \times 10^{-3}$	$< 1.3 \times 10^{-3}$	$< 3.7 \times 10^{-3}$
候補2 (石英ガラス クロス + 高Tg 樹脂)	$(5.6 \pm 5.2) \times 10^{-3}$	$(5.1 \pm 1.0) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^{-2}$

Low Background μ -PIC(LBG μ -PIC)開発へ 7

新規にLBG μ -PIC を開発、製作(DNP製)

内部コア材を放射性不純物の少ないものに

- ガラス繊維入ポリイミド→石英ガラス+樹脂(信越化学製)へ
- ラドンBGを低減、保管時の ^{218}Po 埋め込み由来表面 α も低減



HPGe 測定結果	^{238}U middle(ppm)	^{238}U upper (ppm)	^{232}Th (ppm)
LA μ -PIC 内部コア材(従来) ガラス繊維入ポリイミド	$(7.8 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$(7.6 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	3.42 ± 0.03
LBG μ -PIC 内部コア材(今回) 石英ガラス+高Tg樹脂	$(5.6 \pm 5.2) \times 10^{-3}$	$(5.1 \pm 1.0) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^{-2}$
LAμPIC/LBGμPIC 削減比 (今回) / (従来)	1/140	1/150	1/300

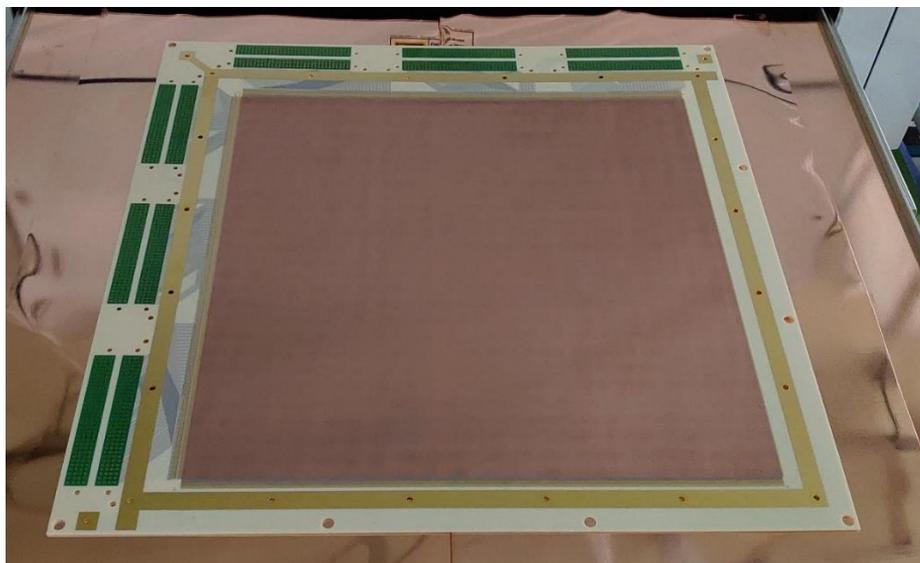
→材料ベースで**1/100**以下を達成 **BG低減が期待**

- 検出器と読み出し部を一体化して製作
 - ワイヤーボンディング等不要
- ソルダレジスト(SR)→コネクタ周りのみに使用 使用量 1/15に
 - 将来的には不使用を視野に

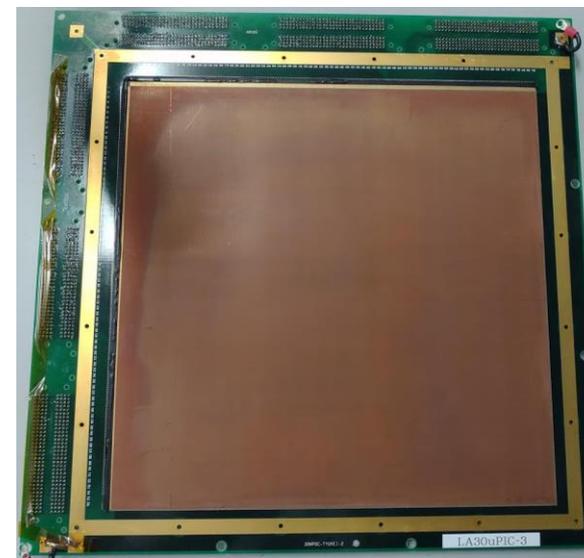
(参考)

HPGe 測定結果	238U middle (ppm)	238U upper(ppm)	232Th(ppm)
ソルダレジスト(SR)	$(3.9 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$< 2.3 \times 10^{-3}$	$(4.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$

➤ 30cm角 LBG μ -PIC 製作(開発期間:2018~2020年) (DNP製)



今回製作したLBG μ -PIC



(参考) LA μ -PIC

- 1. アルファ線カウンターUltraLoを用いた表面 α 測定
- 2. 検出器としての動作確認
- (3. ラドン量測定) (今回は行っていない)

製造時における α 線源混入を調査した

➤ 表面アルファ線測定装置UltraLo を用いて表面から出てくる α 線量を測定

➤ **LBG μ -PIC 表面に用いた素材 測定結果**

サンプル	表面 α 線量 (2.5<E<5.8MeV) [α /cm ² /hr]	面積比
銅箔(LBG μ -PIC)	$(3.08 \pm 0.59) \times 10^{-4}$	0.57
樹脂 (LBG μ -PIC)	$(6.11 \pm 0.58) \times 10^{-4}$	0.43
銅箔+樹脂 (参考 面積で重み付け後)	$(4.38 \pm 0.42) \times 10^{-4}$	1

➤ **今回製作した LBG μ -PIC アルファ線量 測定結果**

サンプル	表面 α 線量(2.5<E<5.8MeV)[α /cm ² /hr]
LBG μ -PIC	$(4.62 \pm 0.41(\text{stat.}) \pm 1.0(\text{sys.})) \times 10^{-4}$

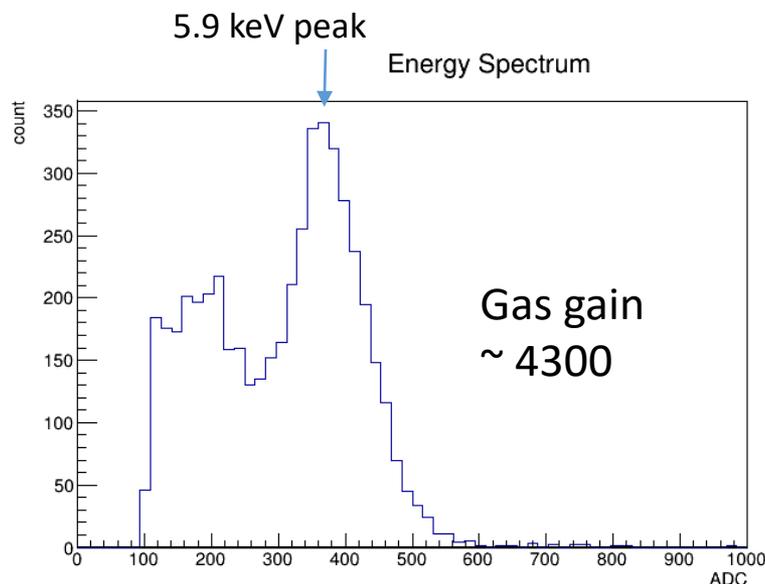
→材料と同程度 製造時の混入無しと考えられる

*今回の放射能測定ではXMASSグループによって確立されたLowBG技術を利用

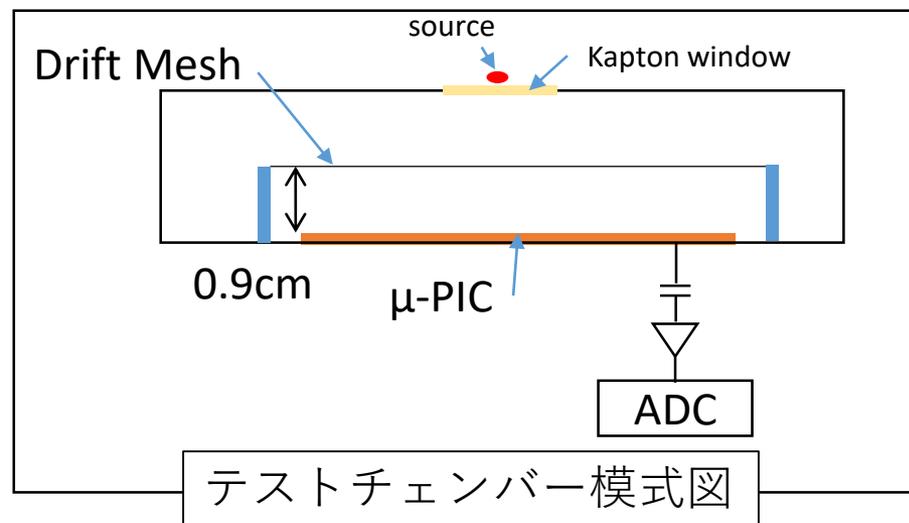
新規製作したLBG μ -PICの動作試験 & 性能評価を行った

➤ テストチャンバーセットアップ

- Ar+C₂H₆ (9:1) 1atm
- ドリフト電場 0.5 kV/cm
- 線源 ⁵⁵Fe 5.9 keV X線
- Anode 520V



**5.9 keV X線由来の信号確認
& エネルギースペクトル取得**



新規製作したLBG μ -PICについて

- **ガス検出器としての動作確認OK**
- **L μ -PICと同程度ガスゲインを達成**

今後電圧特性や位置依存について測定

- 今後
 - LBG μ -PIC ラドン放出量を低減確認
 - 性能評価（位置依存性など）
 - ソルダーレジストを使わない新 μ -PICの開発

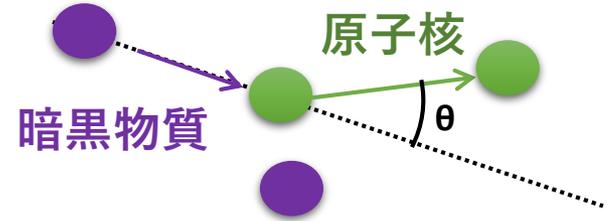
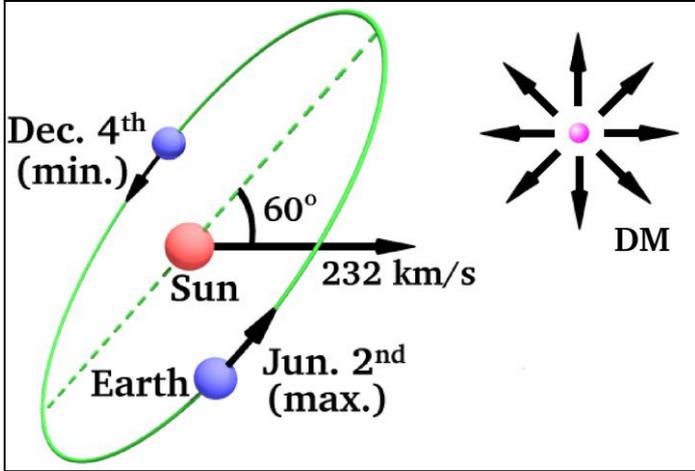
- まとめ
 - 暗黒物質直接探索実験NEWAGEでは検出器の低BG化を推進
 - 検出器部材からのBGを減らすため、
内部コア材の放射性不純物材1/100以下にした「LBG μ -PIC」を開発製作
 - ラドン放出等他BGについては今後検証
 - 今回新規に開発製作したLBG μ -PICが動作することを確認

▶ 季節変動

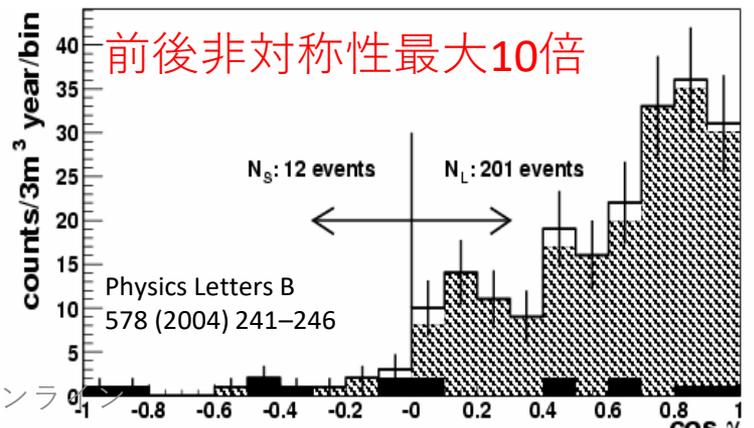
- ▶ DM haloに対する地球の相対速度が季節で変動
(haloに対する太陽系の速度+公転速度)
- ▶ 速度：夏最大、冬最小 ($\pm 15\text{km/sec}$ ほど)
→ 計数率が季節変動

▶ 方向感度

- ▶ 太陽系：銀河系内を移動
→ 銀河に付随するDMに対して動く
→ 暗黒物質の風を受ける、原子核が前方散乱
- ▶ 散乱角度を捉え、到来方向を同定



FT ($\cos \gamma_0 = 0$) $M_{\text{WIMP}} = 80\text{GeV}, \sigma_{\text{p-WIMP}} = 0.1\text{pb}$

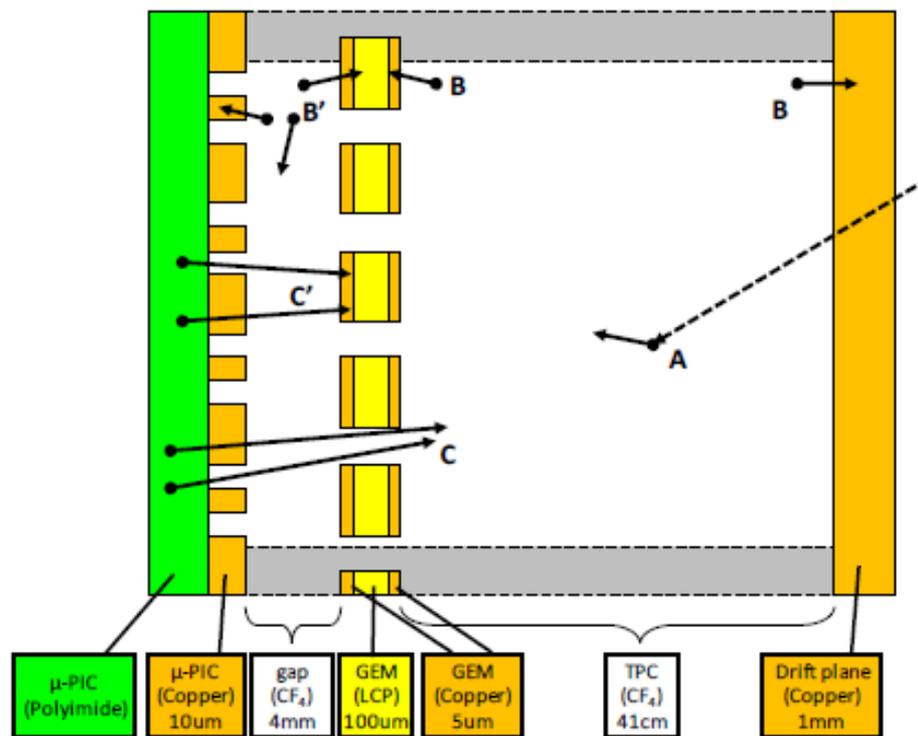


外部由来

- A: 環境ガンマ線、中性子など

内部由来

- B: ガス中ラドン由来BG
- C: μ -PIC 由来BG



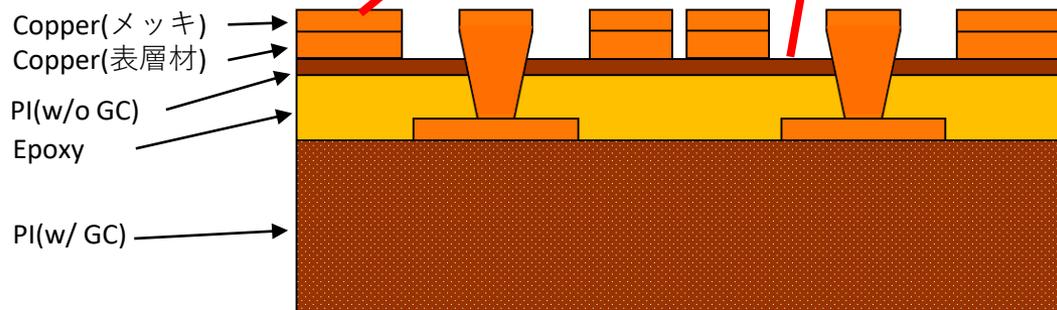
μ -TPC 断面図

➤ α 線BG候補として

➤ 表面 α :

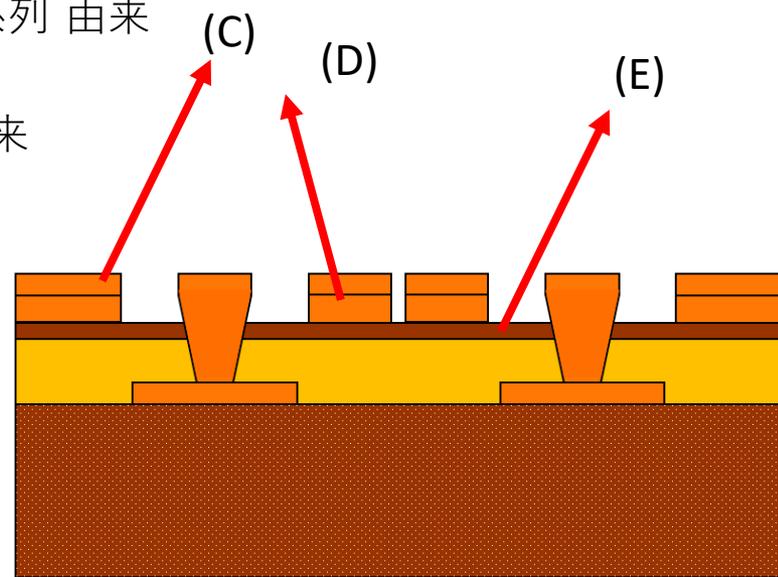
- (A) 空气中Rn 崩壊で埋め込まれた娘核種埋め込み
- (B) PI表面に埋め込まれたPo 由来

PI: ポリイミド



➤ バルク α

- (C) メッキ液に含まれる放射性不純物U/Th系列 由来
- (D) メッキ加工の下地 (表層材) 表面 α 由来
- (E) PIに含まれる放射性不純物U/Th 系列 由来



表面 α (A): 保管時に埋め込みが生じると考えられる

→ 検出器材料内部のU/Th系列放射性不純物 低減

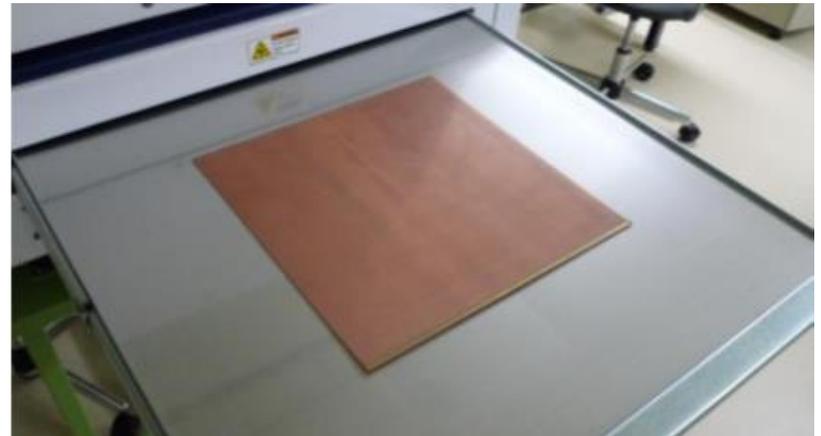
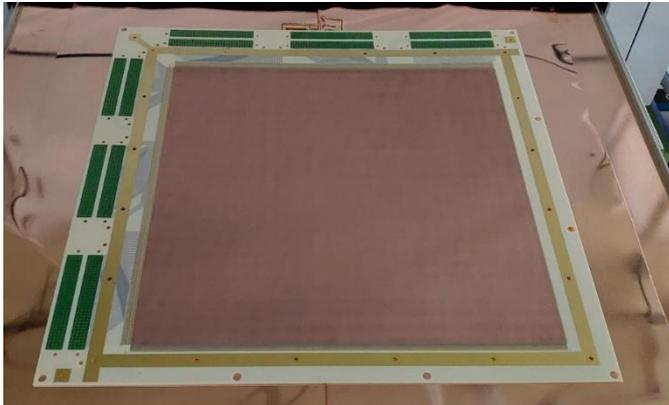
and ガスバリア性のあるEVOH袋などによる保管必要

これらを考慮した材料スクリーニングを実施

▶ LBGuPICとLAuPIC測定状況

▶ LAuPICは表層のみ、LBGuPICは一体型なので基板と合わせて測定

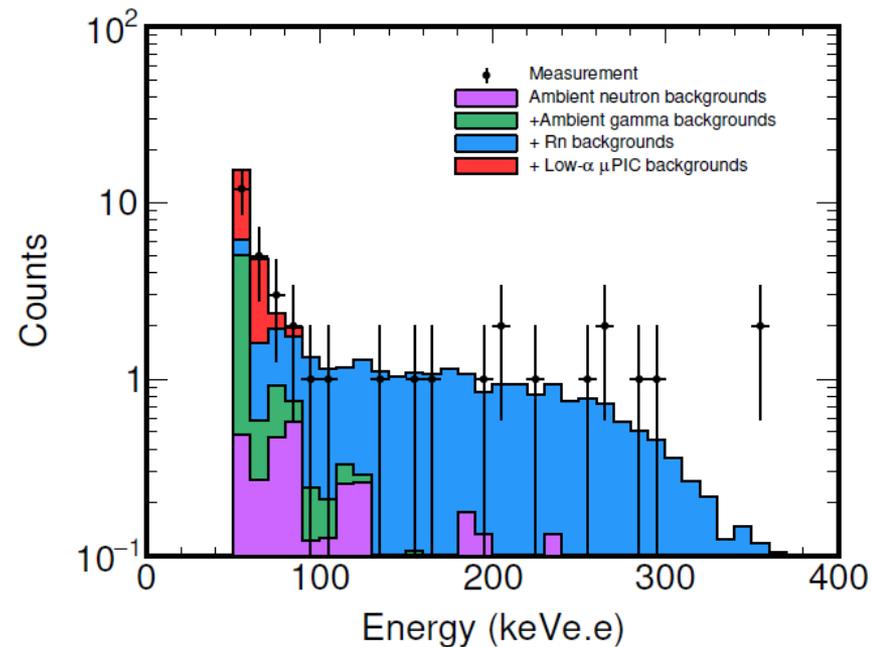
▶ 今回の測定では直接的な評価はしていない



➤ 現状のBG源

Source	w/o roundness	w/ roundness
Ambient gamma-rays	4.6 ± 2.7	1.5 ± 1.5
Ambient neutrons	$(4.8 \pm 1.2) \times 10^{-1}$	$(3.5 \pm 0.9) \times 10^{-1}$
^{222}Rn	$(8.6 \pm 3.5) \times 10^{-2}$	$(5.3 \pm 2.2) \times 10^{-2}$
^{220}Rn	1.1 ± 0.1	$(6.1 \pm 0.7) \times 10^{-1}$
LA μ -PIC surface	9.1 ± 2.3	$< 1.2 \times 10^{-1}$
Total background	15 ± 3.5	2.5 ± 1.5
Measurement	12 ± 3.5	2.0 ± 1.4

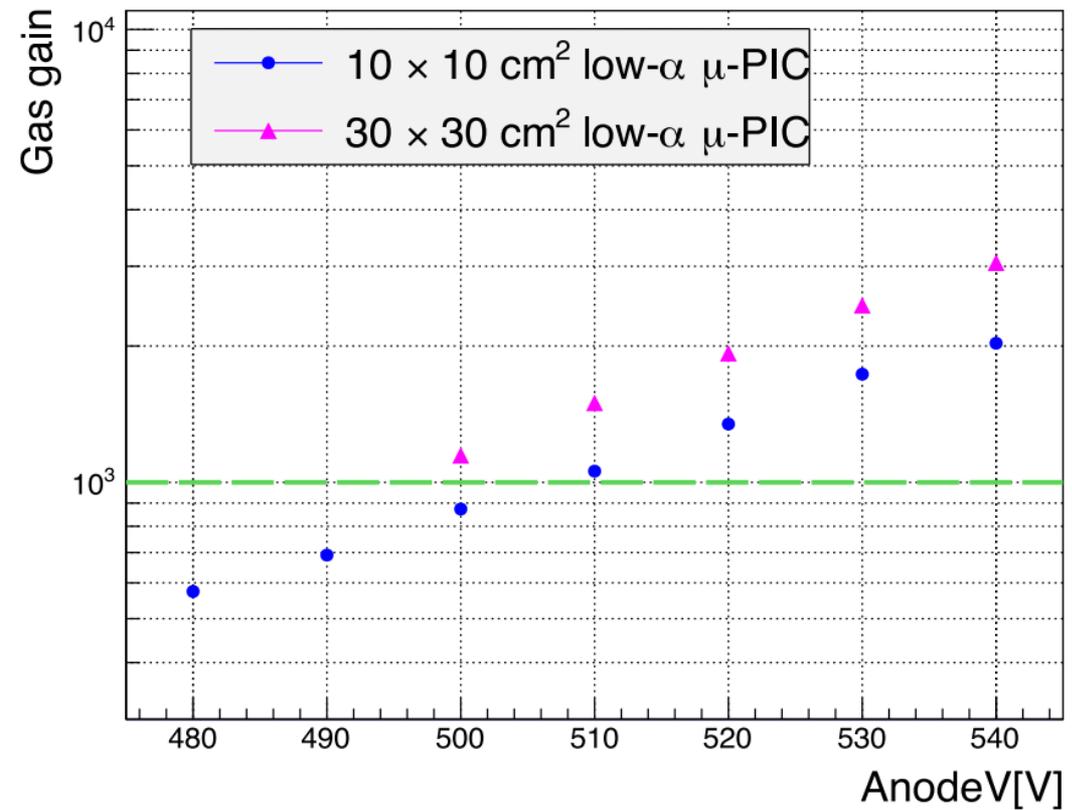
counts/keV/kg/days



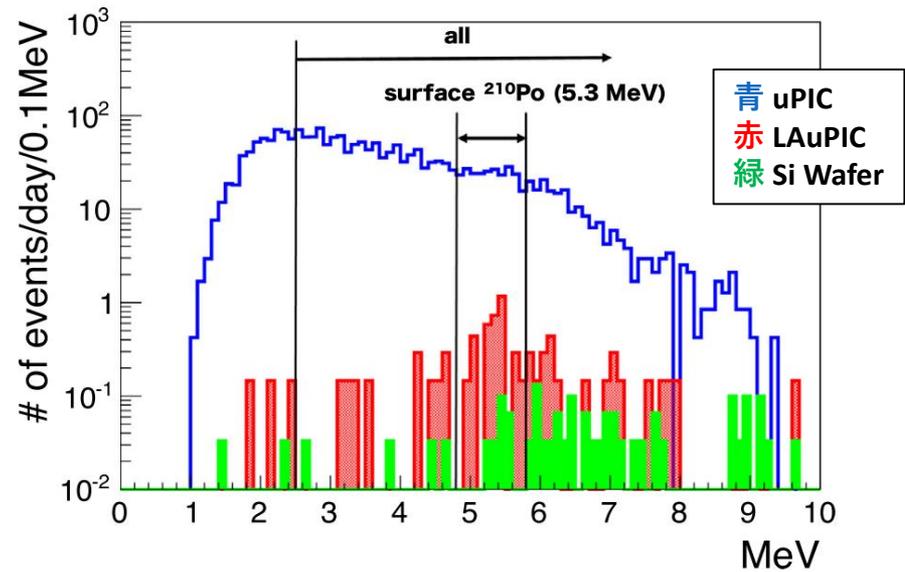
roundness cut 前のBG 構成

神戸大 2020年池田智法 博士論文

➤ NIM A 977 (2020) 164285



➤ LAuPIC 表面 α 測定 NIM A 977 (2020) 164285



- Micro Pattern Gaseous Detector
- 微細加工技術を用いたガス検出器

