

NEWAGE実験59： 感度向上のための 低バックグラウンド μ -PIC開発

神戸大理, 京大理^A, 東大ICRR^B, 東北大^C, 早大^D

身内賢太郎, 池田智法^A, 東野聡, ○石浦宏尚, 島田拓弥, 窪田諒
安部航^B, 伊藤博士^B, 中村輝石^B, 市村晃一^C, 小林兼好^D

2021/3/12

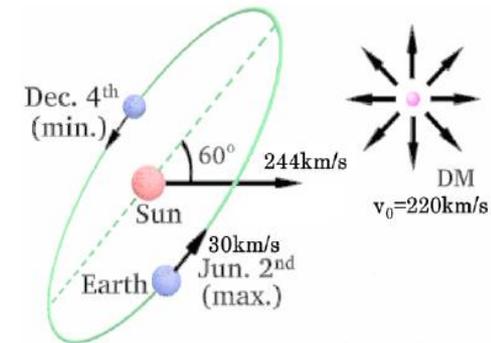
日本物理学会 第76回 年次大会

➤ 暗黒物質

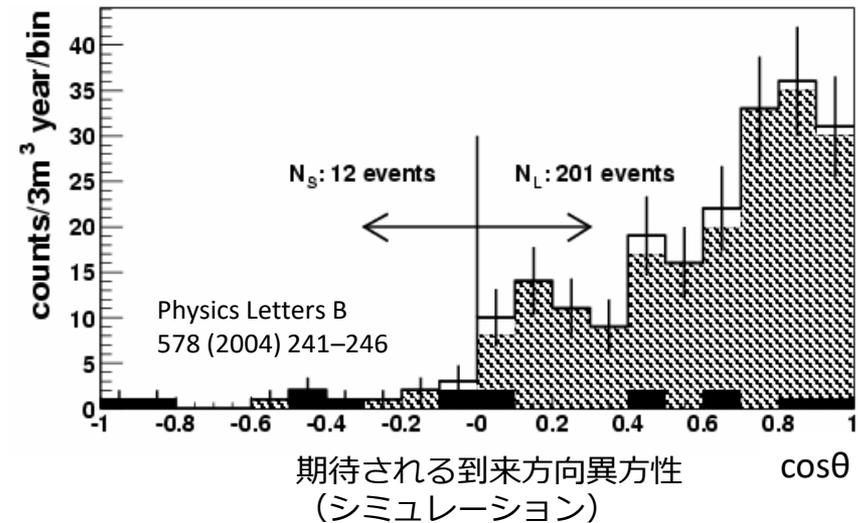
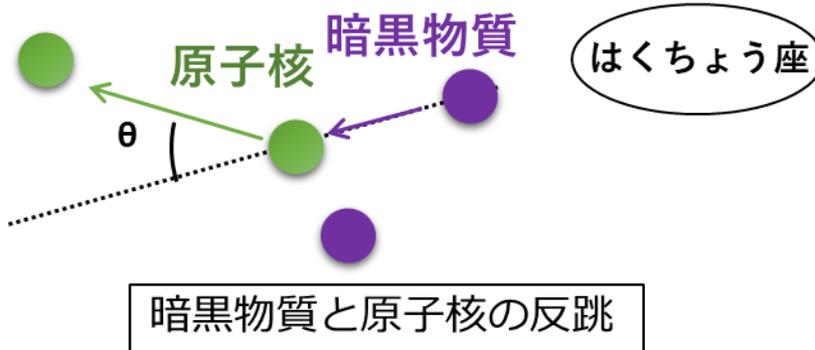
- 存在すると考えられているが未発見
- 直接・間接・加速器による探索が行われている

➤ 方向感度を用いた暗黒物質探索手法

- 太陽系の運動に依る暗黒物質の「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

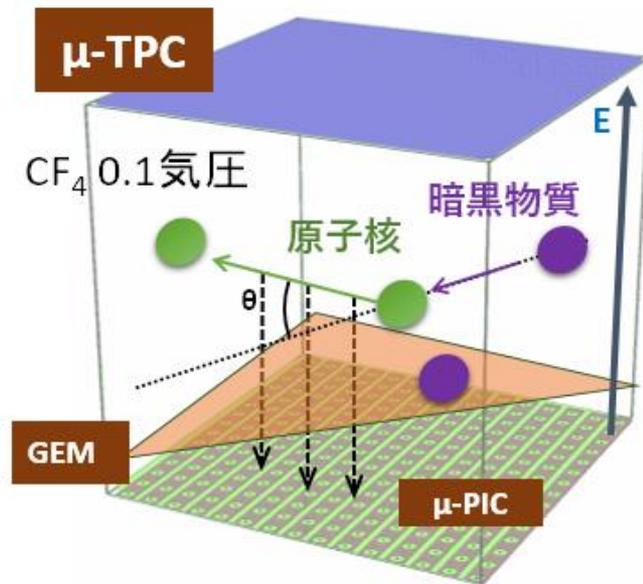


➤ **NEWAGE** (NEw generation **W**IMP search with an **A**dvanced **G**aseous tracker **E**xperiment)

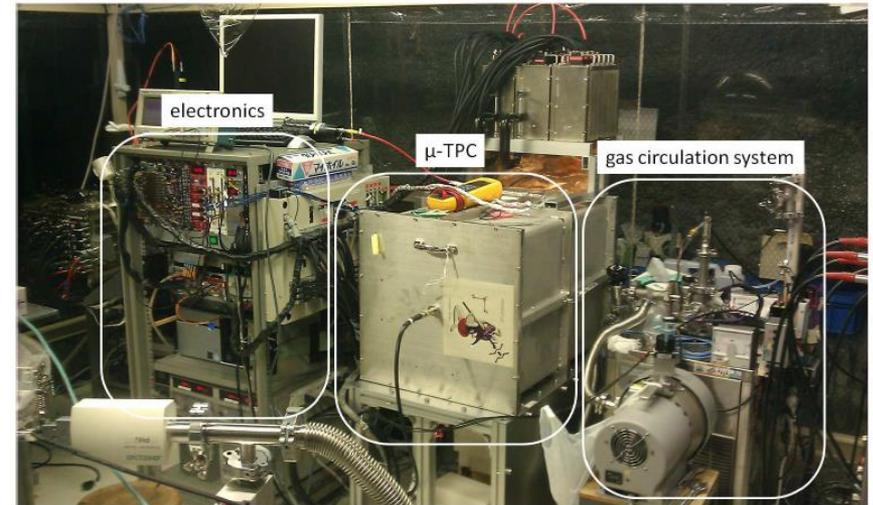
- **方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- 暗黒物質により原子核反跳されたフッ素原子核の飛跡をガスTPCでとらえる

NEWAGE 検出器

- 3次元ガス飛跡検出器 μ -TPC



μ -PIC : 400 μ mピッチ 2次元イメージガス検出器
GEM : 前段増幅器



NEWAGE-0.3b 検出器
神岡宇宙素粒子研究施設地下で測定中

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

→ 方向に感度を持つ実験として世界最高感度

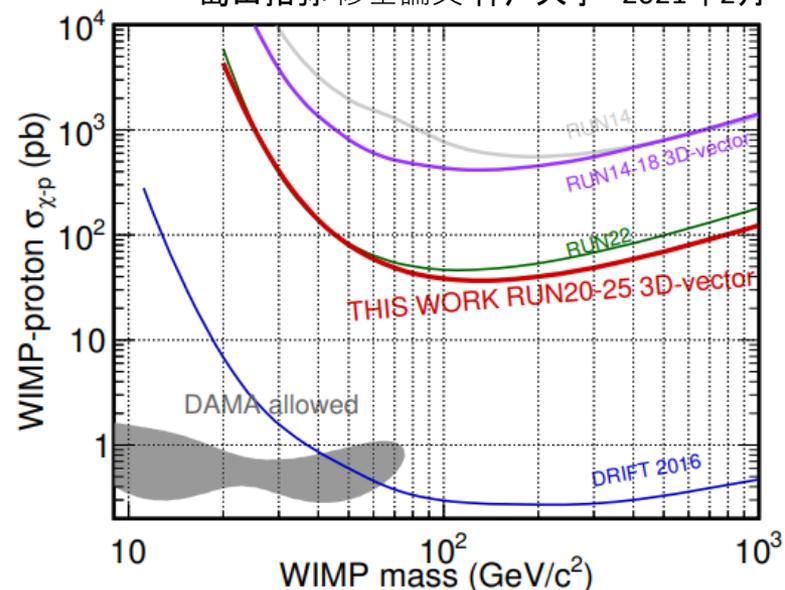
➤ さらに高感度化のため

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 (窪田諒 12pV3-9)
大型TPC開発 (東野聡 12pV3-10)

NEWAGE現在の感度

島田拓弥 修士論文 神戸大学 2021年2月

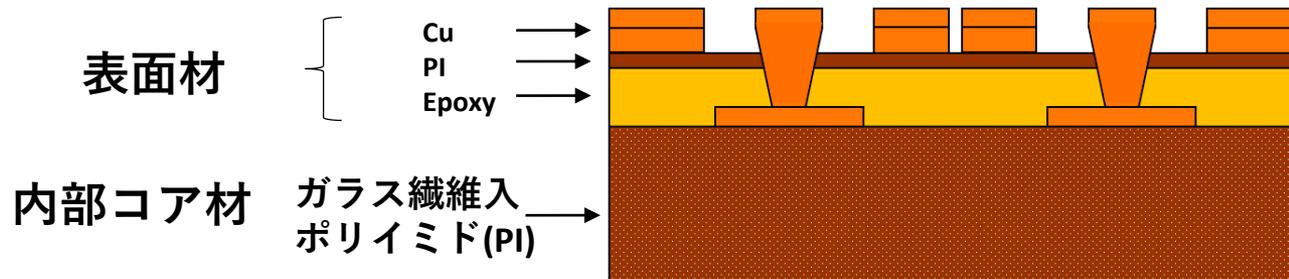


▶ バックグラウンド

- ▶ 一つとして検出器材料から出る ^{222}Rn , ^{220}Rn 由来 α 線

現在の検出器: **Low- α μ -PIC (LA μ -PIC)**

- ▶ **表面材にガラス繊維を含まない検出器** NIM A 977 (2020) 164285



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**

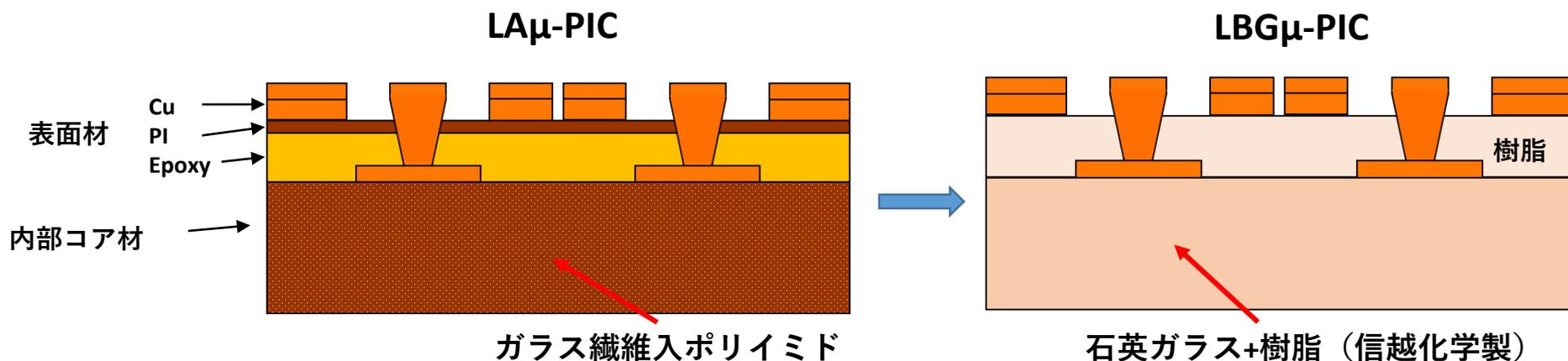
- ▶ U/Th 系列 ^{222}Rn , ^{220}Rn 放出 → ガス中バックグラウンドに

- ▶ ^{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

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

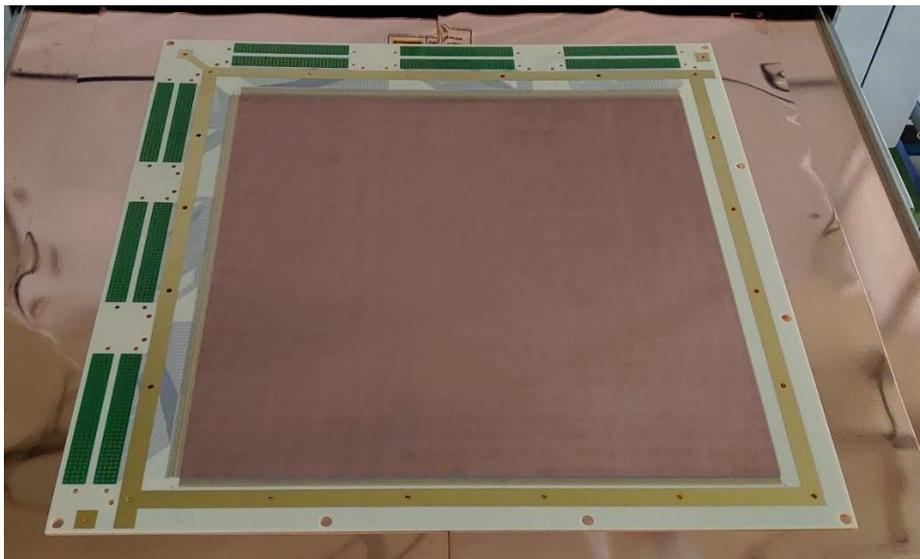
- ガラス繊維入ポリイミド→石英ガラス+樹脂(信越化学製)へ
- ラドンBGを低減、保管時の ^{218}Po 埋め込み由来表面 α も低減



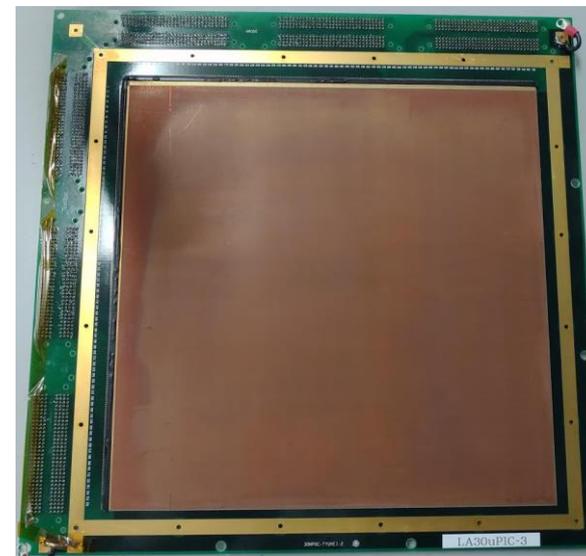
HPGe 測定結果	^{238}U middle(ppm)	^{238}U upper (ppm)	^{232}Th (ppm)
LA μ -PIC コア材(従来) ガラス繊維入ポリイミド	$(7.8 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$(7.6 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	3.42 ± 0.03
LBG μ -PIC コア材(今回) 石英ガラス+樹脂	$(5.6 \pm 5.2) \times 10^{-3}$	$(5.1 \pm 1.0) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^{-2}$
LAμPIC/LBGμPIC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

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



LBG μ -PIC



(参考) LA μ -PIC

- 検出器と読み出し部を一体化して製作
- ソルダレジスト→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)	$(3.9 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$< 2.3 \times 10^{-3}$	$(4.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$

- 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

- ▶ 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)	$(3.08 \pm 0.58) \times 10^{-4}$	0.57
樹脂 w/ 石英(LBG μ -PIC)	$(6.11 \pm 0.58) \times 10^{-4}$	0.43

- ▶ 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	$(4.62 \pm 0.41) \times 10^{-4}$

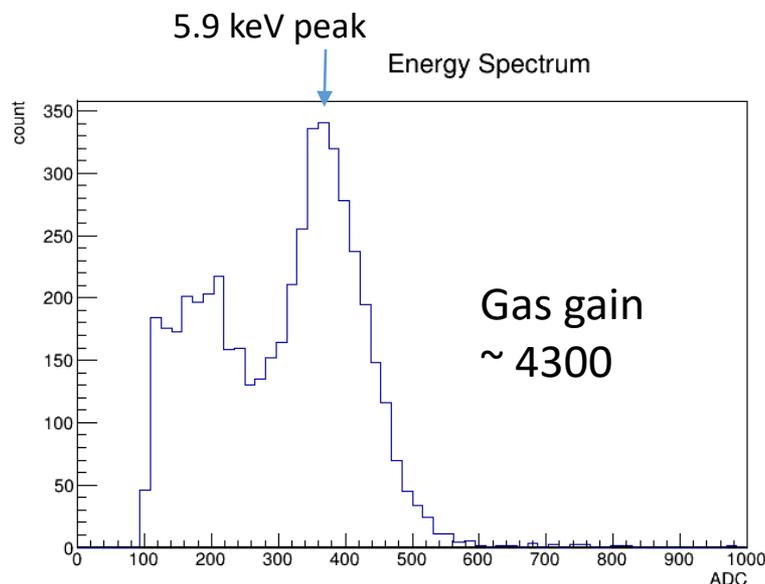
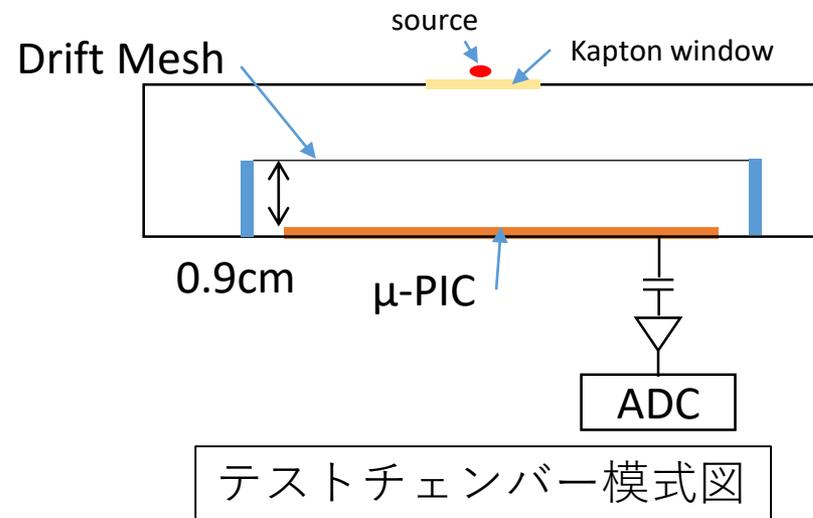
素材と同等の α 線量

→新規製作過程においても表面アルファ線量をコントロールして製作できた

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**
- **LA 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

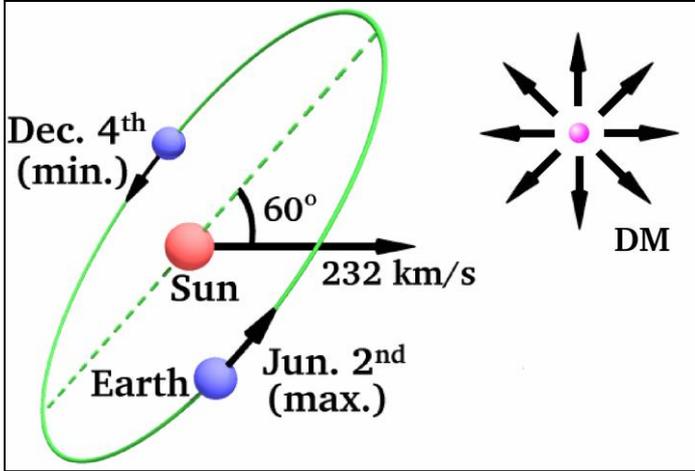
- LBG μ -PIC ラドン放出量を低減確認
- 性能評価（位置依存性など）
- ソルダレジストを使わない新 μ -PICの開発

➤ 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 & それに伴う表面 α 線を減らすため、今回新たに内部の放射性不純物を減らした「LBG μ -PIC」を開発製作
- 製造過程由来の表面 α 線量についてはコントロール、ラドン放出量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

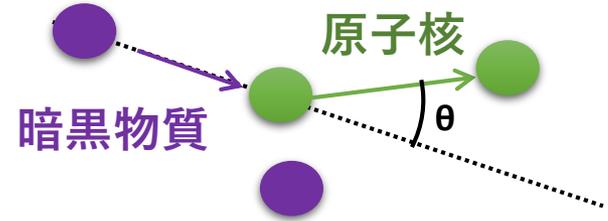
▶ 季節変動

- ▶ 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

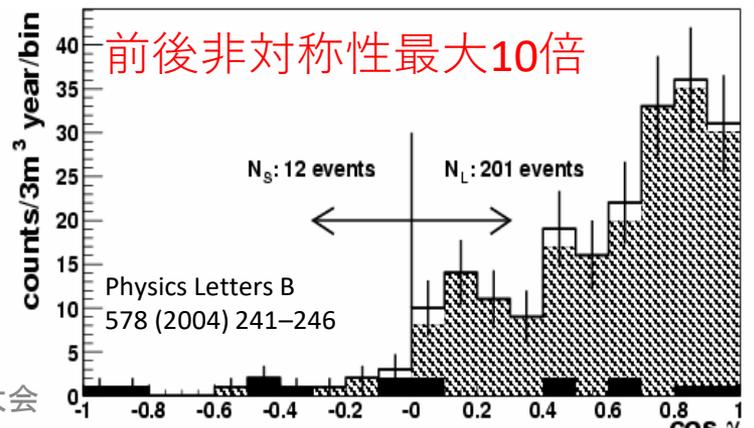


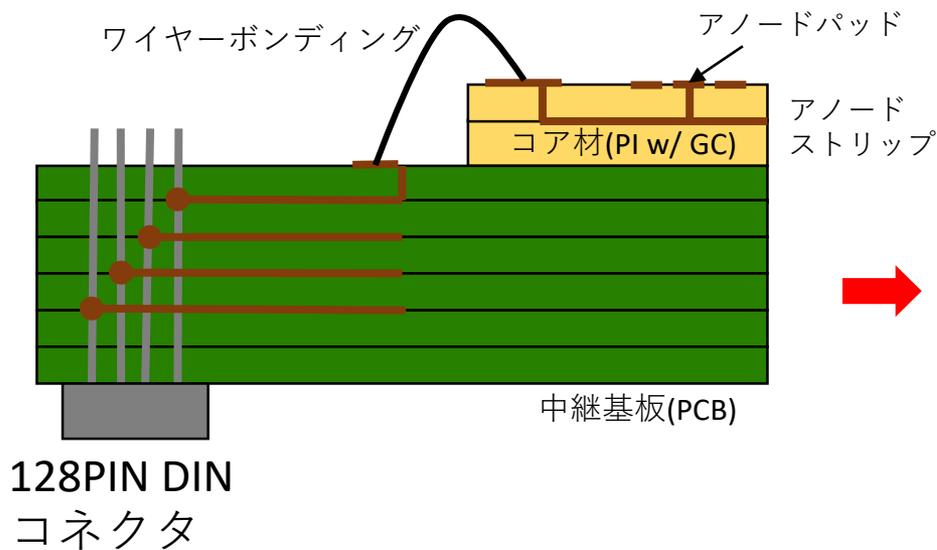
▶ 方向感度

- ▶ 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

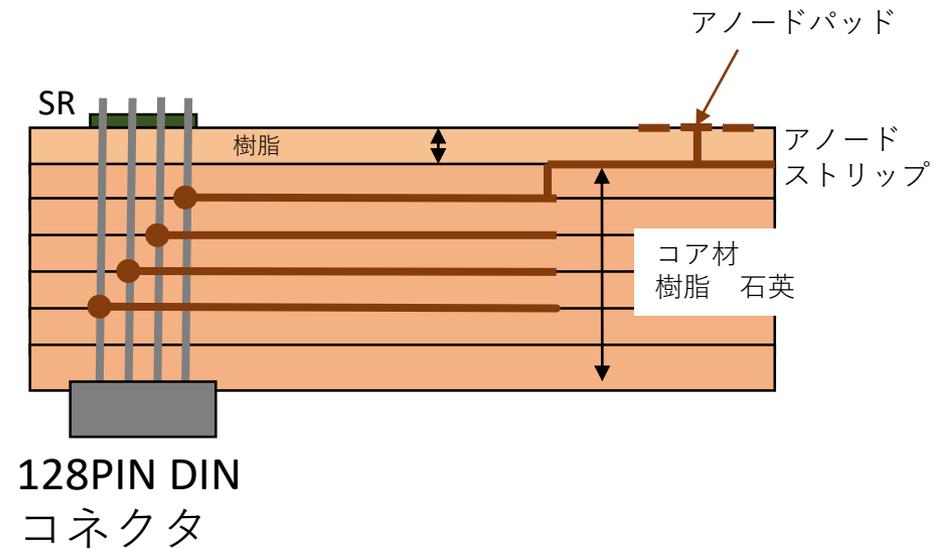


FT ($\cos \gamma_0 = 0$) $M_{\text{WIMP}} = 80 \text{ GeV}, \sigma_{\text{p-WIMP}} = 0.1 \text{ pb}$





LAμ-PIC 基板断面図 (従来)



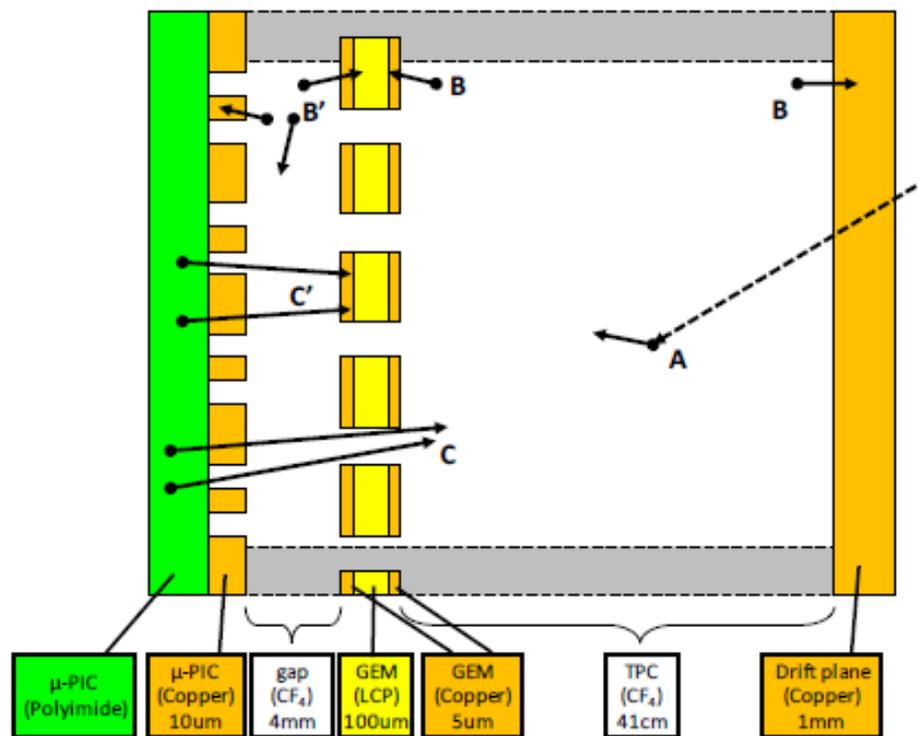
LBGμ-PIC 基板断面図 (今回製作)

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



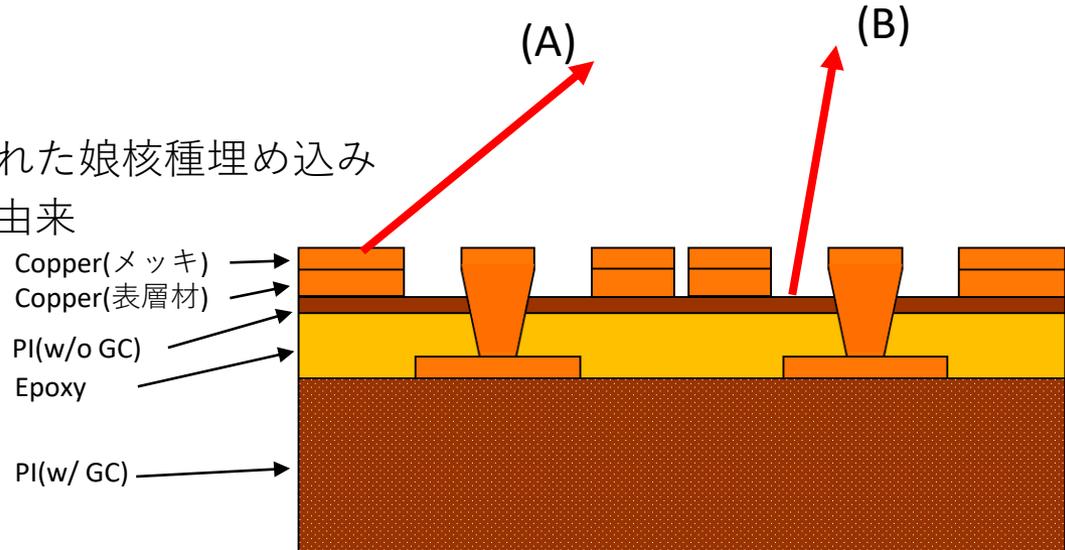
μ -TPC 断面図

➤ α 線BG候補として

➤ 表面 α :

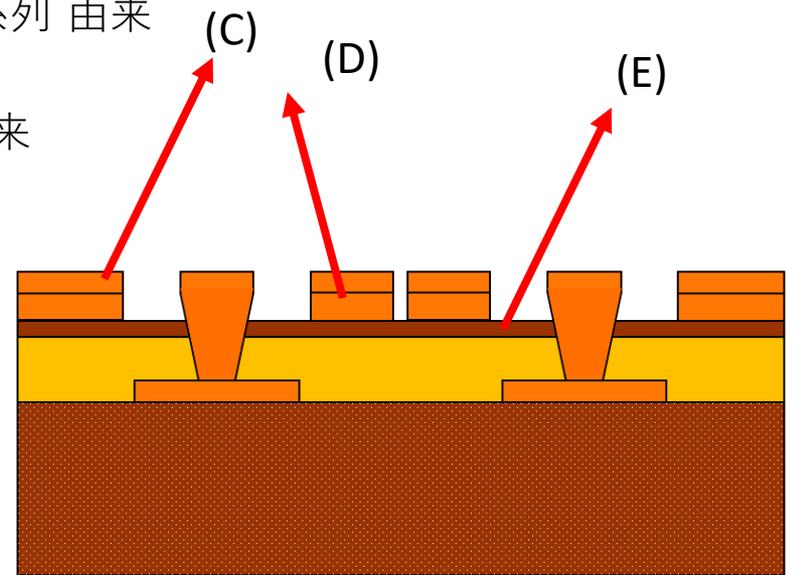
- (A) 空气中Rn 崩壊で埋め込まれた娘核種埋め込み
- (B) PI表面に埋め込まれたPo 由来

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



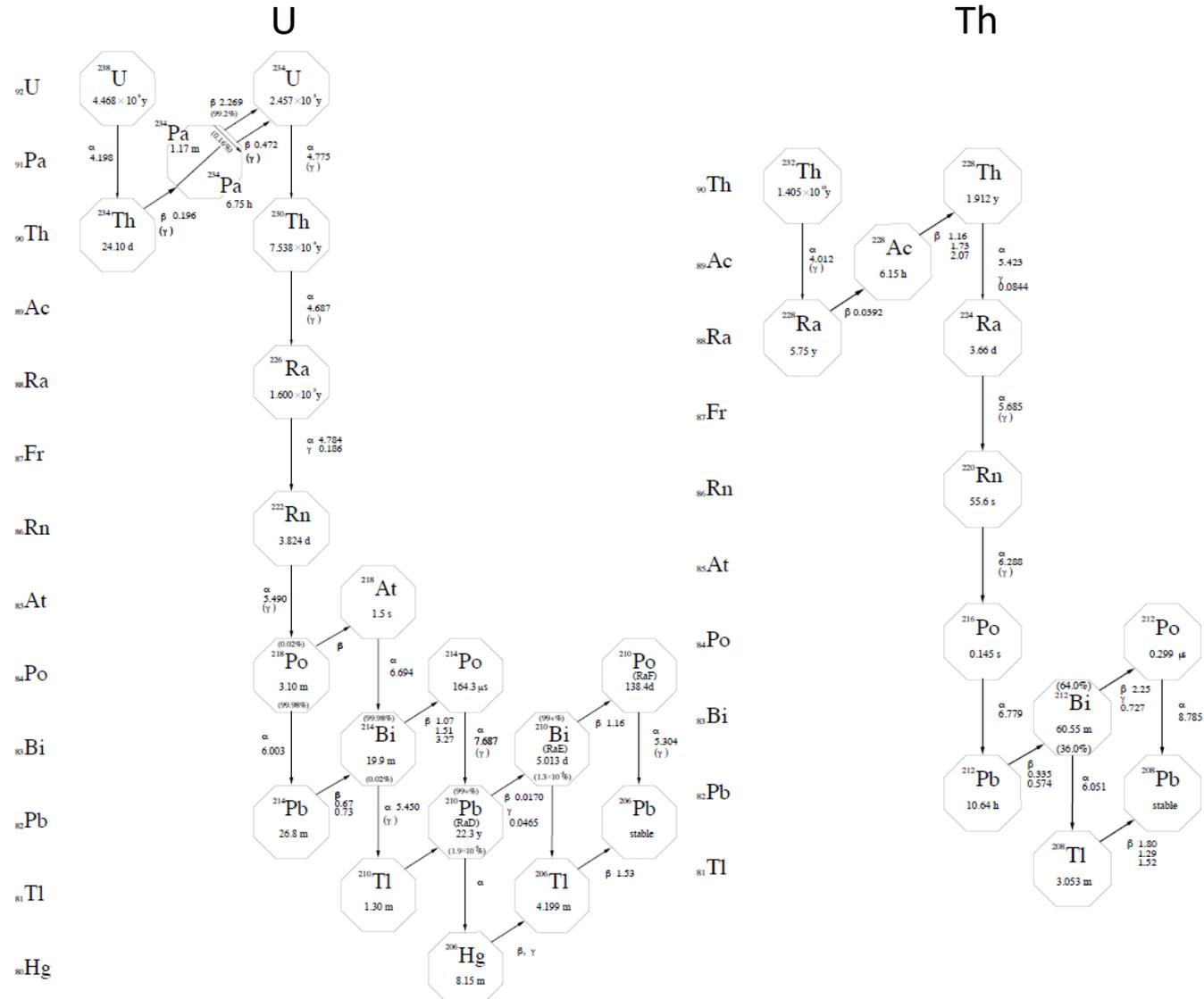
表面 α (A): 保管時に埋め込みが生じると考えられる

→ 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

➤ ^{226}Ra , ^{210}Pb の前後で分けて上流 中流 下流



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

