

希ガス比例シンチレーション検出器の 開発

市川温子 京都大学
秋山晋一(M2)、久保一、
中家剛、南野 彰宏

はじめに

開発の動機 = ニュートリノレス二重ベータ崩壊
です。

途中で、おや、これってどっかで聞いたような
実験と同じじゃない？と思うかもしれません。

ちゃんと、それは(多分)わかっている話して
いるので安心してください。

^{136}Xe の素晴らしさ

	abound(%)	$\tau(2\nu\beta\beta)$ yr	Q(keV)	$Q^5/1E16$	$Q^5 \times \tau(2\nu\beta\beta)/1E36$	
48Ca	0.187	3.9E+19	4271	142.12	55.4	enrichment difficult
76Ge	7.8	1.7E+21	2039	3.52	59.9	
82Se	9.2	9.6E+19	2995	24.10	23.1	
96Zr	2.8	2.0E+19	3350	42.19	8.4	
100Mo	9.6	7.1E+18	3034	25.71	1.8	
110Pd	11.8		2013	5.71		
116Cd	7.5	2.8E+19	2972	17.27	4.8	
124Sn	5.64		2273	5.49		
130Te	34.5	7.6E+20	2529	10.35	78.6	
136Xe	8.9	2.2E+22	2479	9.36	208.8	
150Nd	5.6	9.2E+18	3367	43.27	4.0	enrichment difficult

* $\tau(2\nu\beta\beta) \propto Q^{11}$, $\tau(0\nu\beta\beta) \propto Q^5$

KamLAND-zen すごいなあ。でもエネルギー分解能
4.1%(σ)なら付け入る隙があるんじゃない？(2 $\nu\beta\beta$ の寿
命も短いみたいだし)

XenonでIonizationを使う場合のStatistical limit

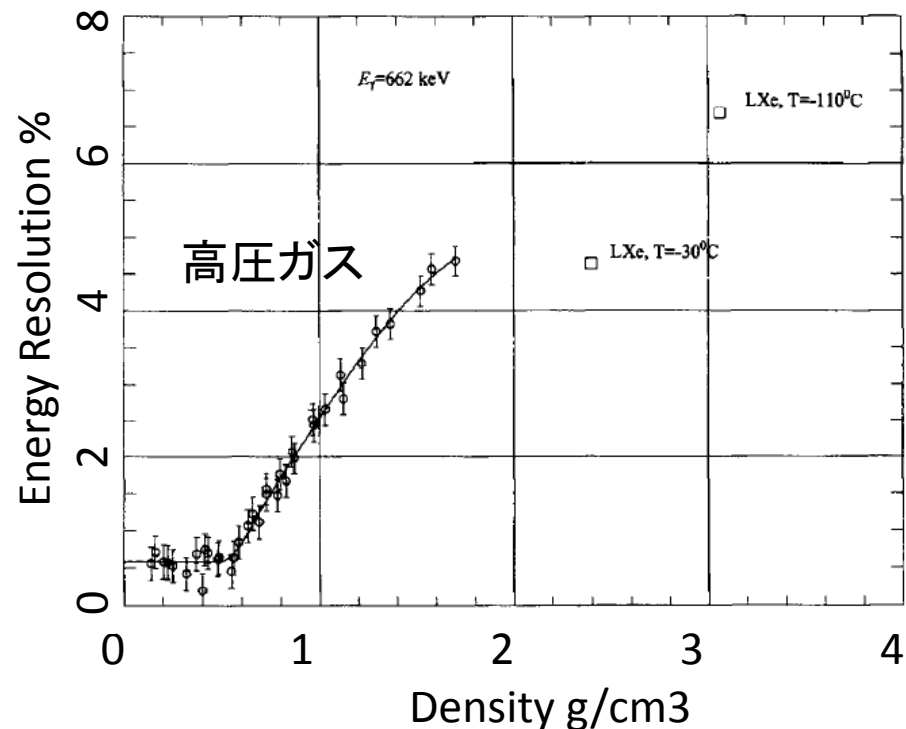
– W-value 21.5 eV, Fano factor<0.17

→ 0.12%(FWHM)@2.48MeV (0.23%(FWHM)@662keV)

A. Bolotnikov, B. Ramsey Nucl. Instr. And Meth. A396(1997) 360

オプション

- Ionization Chamber
大きくすると電気容量も大きい
ので電氣的(または機械的振
動による)S/Nが問題。
- Proportional Counter
増幅過程での揺らぎで分解能
が決まってしまう。
- Proportional Scintillation mode
大型でも高いエネルギー分解
の実績あり。



Electroluminescence

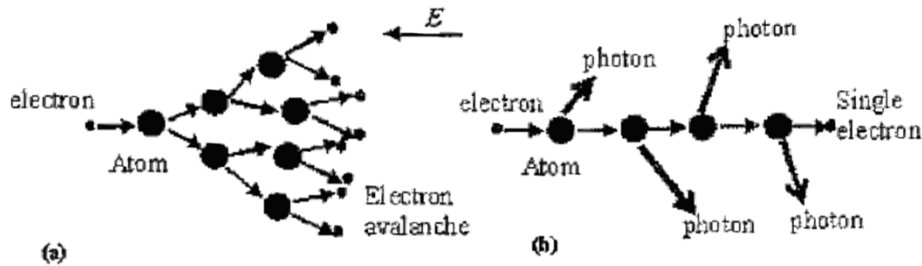


Fig. 6.2 Amplification process in gas detectors with gas gain (a) and electroluminescence (b) or proportional scintillation.

Good and stable linearity because

- A linear amplification process.
- #photons \propto voltage drop rather than to the field strength.

To keep original resolution determined by career generation, 400 photons/e at $\epsilon \sim 5\%$

w/ 4 mm gap

To get 200 (400) photons,

3.3(6.1) kV@1atm.

4.9 (7.7) kV@5atm.

15(18)kV@30atm.

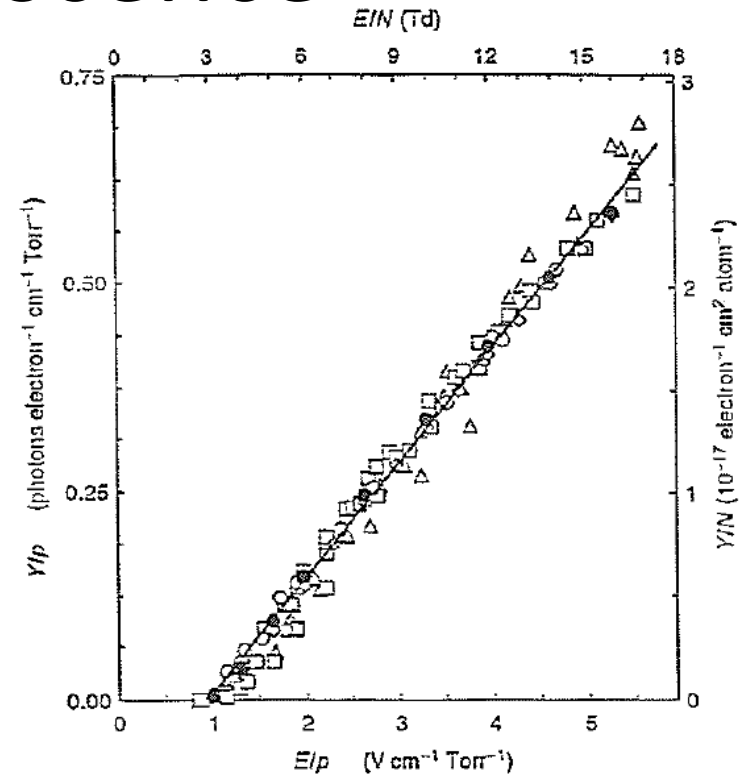
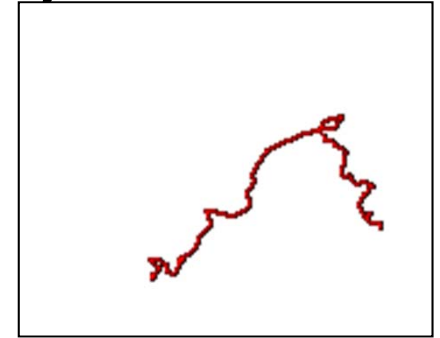


Fig. 3.17 Reduced light output of electroluminescence of xenon gas at 293 K temperature and normal pressure as a function of the reduced electric field strength (compilation of experimental and computer simulation data by Conde [143]).

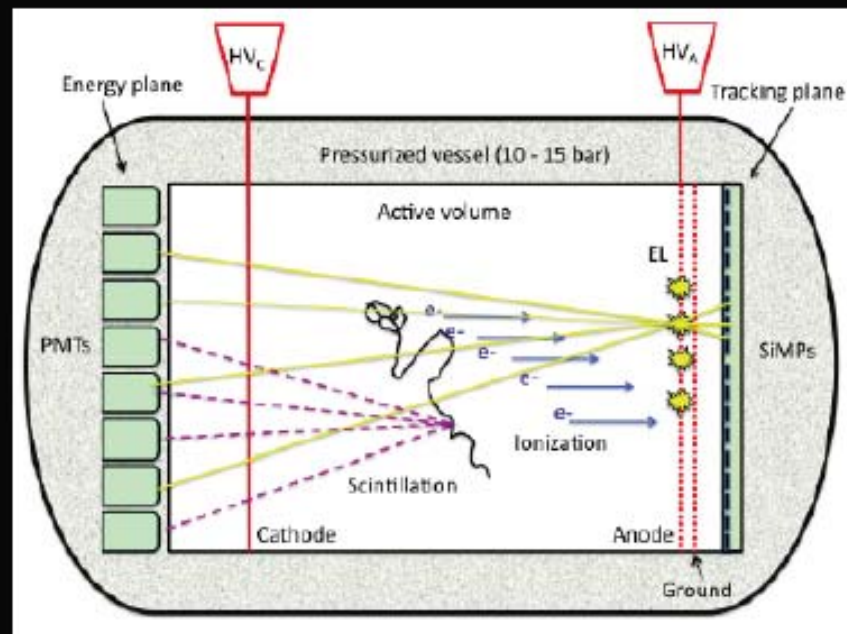
Baseline design(目標)

- 1 ton enriched ^{136}Xe gas (not liquid)
 - At 15~30 times higher density than STP
 - $\rho = 0.068 \sim 0.18 \text{ g/cm}^3$
 - e.g. $\phi 2 \text{ m} \times 1.7 \text{ m}$ cylinder at 0.18 g/cm^3
- Use proportional scintillation mode (Electroluminescence) for energy measurement
 - Energy resolution goal $< 0.5\%$
 - Ultraviolet photon($\sim 170 \text{ nm}$) detected by MPPC
- Tracking as TPC
 - Range(2.5 MeV e) $\sim 210 \text{ cm}$ at STP
 - T_0 by primary scintillation signal
 - Sample 15~20 points using pads. $\sim 5 \text{ mm}$ spacing.
 - Purpose is to identify two blobs at track ends. \rightarrow distinguish from e^+e^- and γ 's.
 - Electric field for drift : $\sim 2.5 \text{ kV/cm}$ @ 30 bar \rightarrow drift velocity $\sim 1 \text{ m/ms}$



NEXT Detection Concept

- Cylindrical single drift volume
- Scintillation signal for t_0
- Ionization signal for separated energy and tracking measurements
 - Converted into EL light
- Instrumented endcaps
 - PMTs on energy plane
 - SiPMs on tracking plane
- TPB coating: 170 \rightarrow 430 nm light



NEXT strengths:

- Scalability to ton-scale relatively easy
- 0.5-1% FWHM energy resolution
- Tracking and dE/dx information for event topology

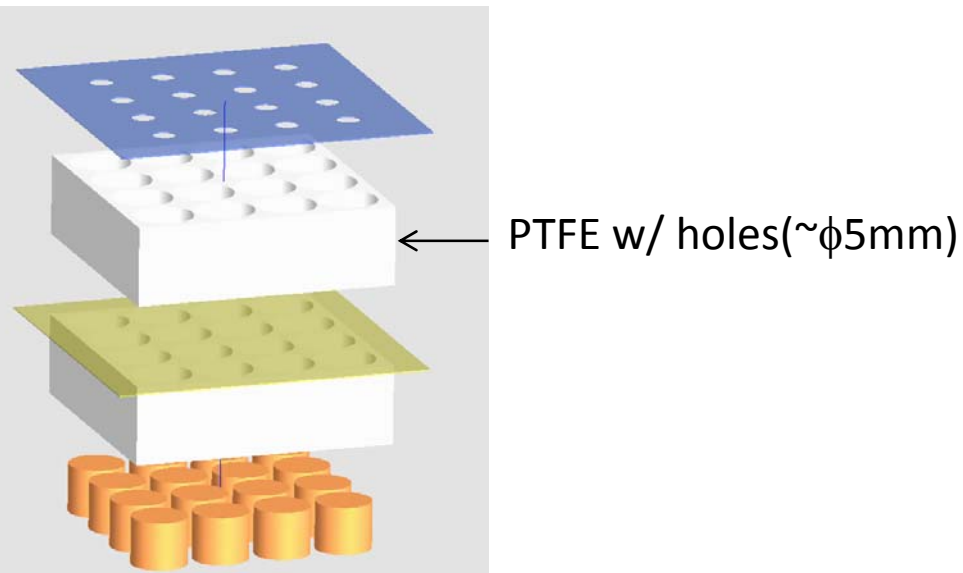
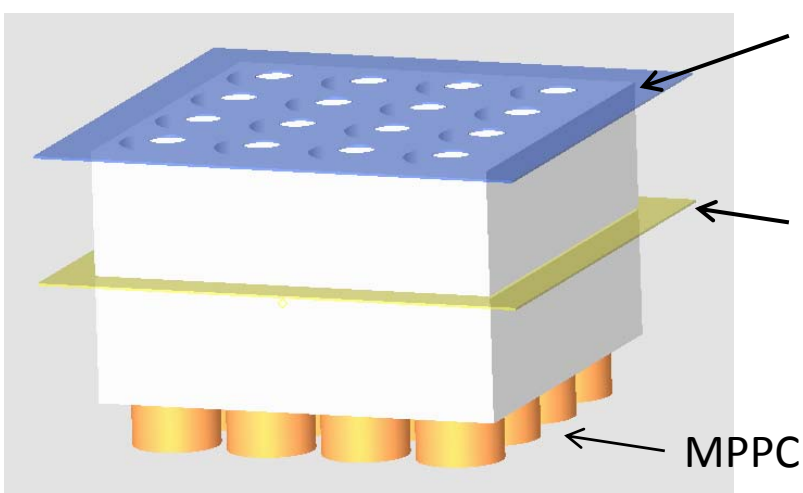
どこが違うの？

1. WLS+MPPCではなく、UV sensitiveなMPPCを使う。
最近、MEGと浜ホトでいい感じ。

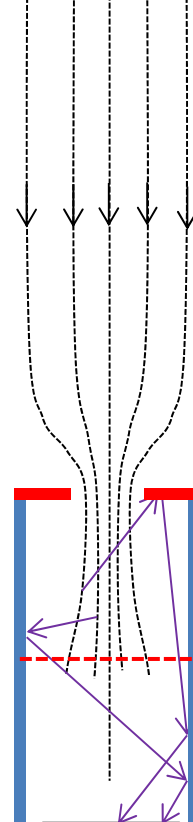
つつこみ:それなら、向こうも購入するんじゃない？

2. Proportional scintillation (Electro-luminescence)の
読み出し部にアイデア

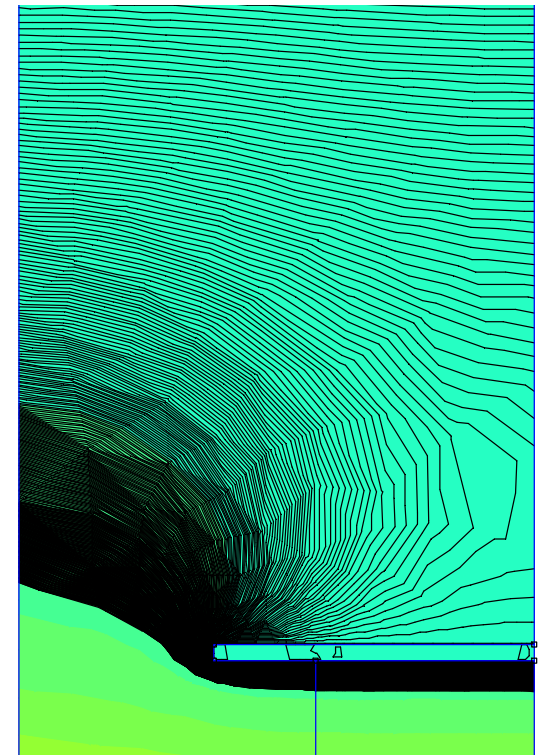
Readout by light collection cell (名付けてELCC)



Line of electric force



FEMMによる計算



どこが違うの？

1. WLS+MPPCではなく、UV sensitiveなMPPCを使う。
最近、MEGと浜ホトでいい感じ。

つつこみ: それなら、向こうも購入するんじゃない？

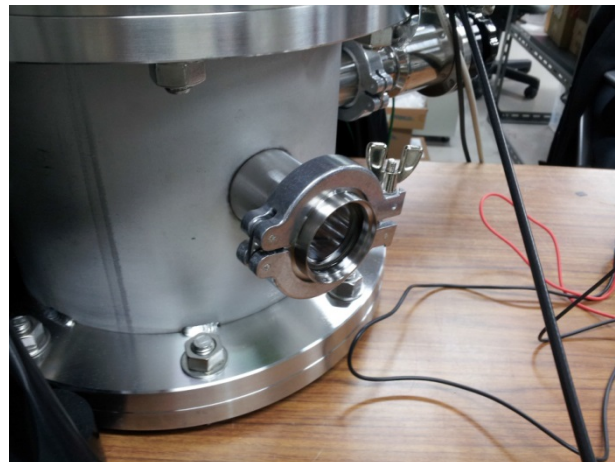
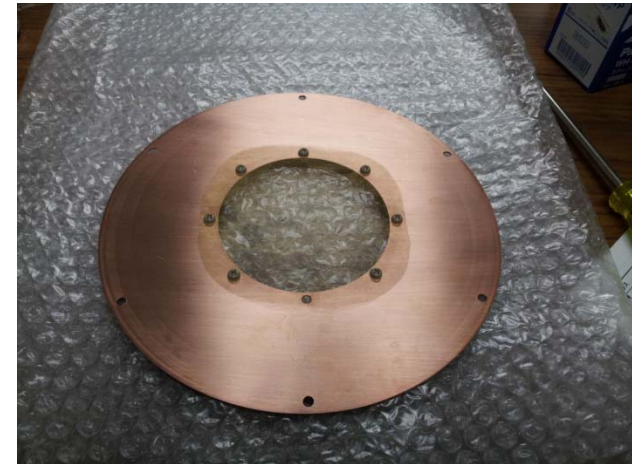
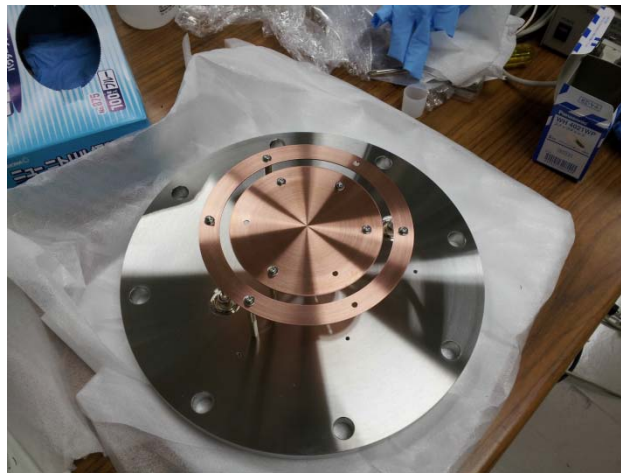
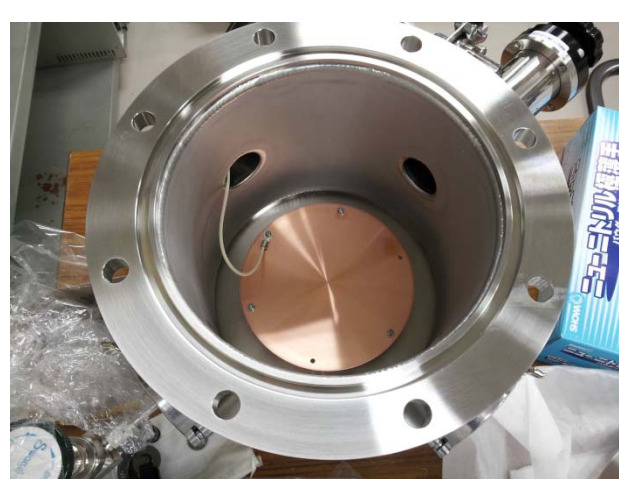
2. Proportional scintillation (Electro-luminescence) の読み出し部にアイデア

ELCC

- ① Electro-luminescence光の収集効率は格段に良くなる(はず)
- ② トラッキングの際のクロストークが小さくなる(はず)
- ③ エネルギーもMPPCで測定。場所依存が小さくなってエネルギー分解能が上がる(はず)
- ④ 構造的にも大きくしやすい(はず)

開発実情(1)

まず、Electro-luminescence光を見る。



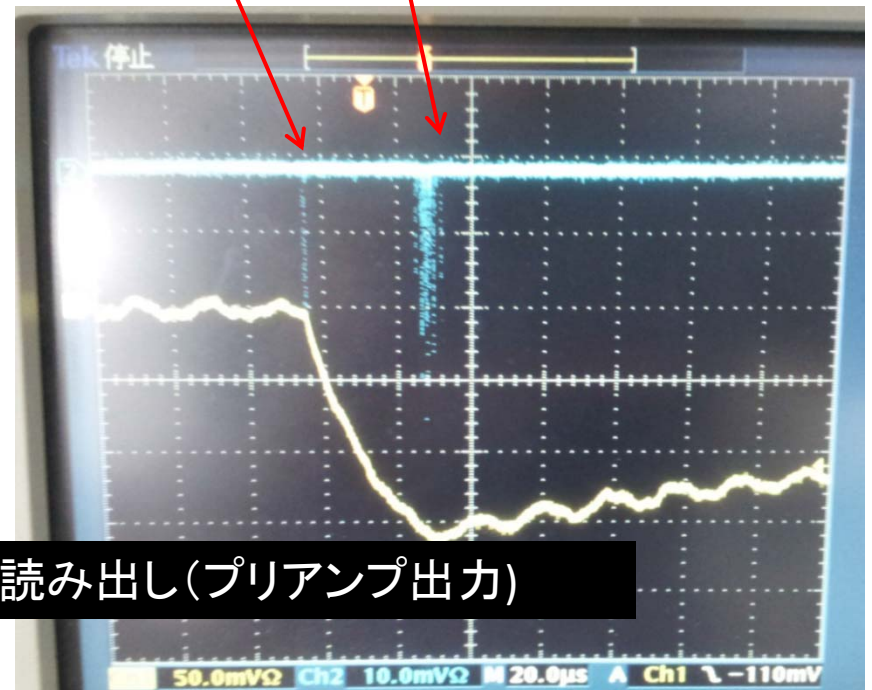
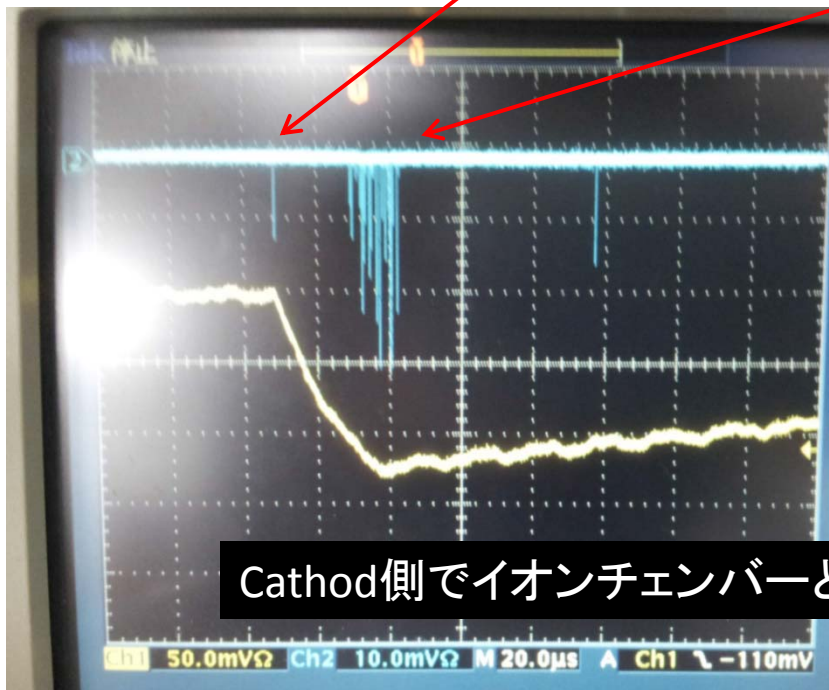
ランタンのThからの α 線

Arガスでテスト

シンチレーション光

パルス幅=アルファ線トラックの傾き

EL光

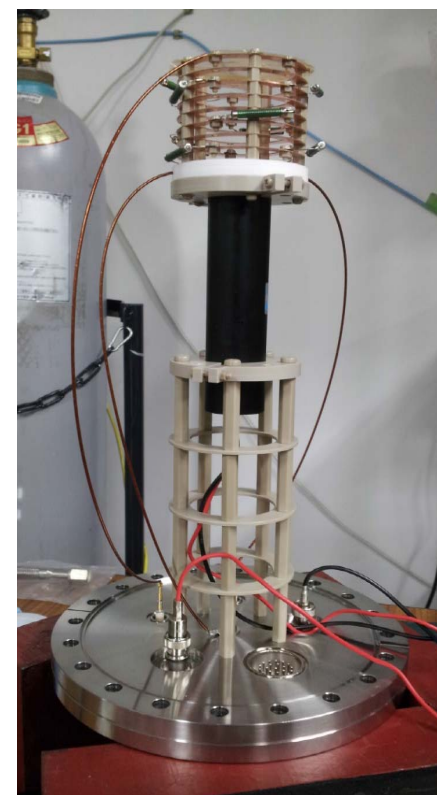
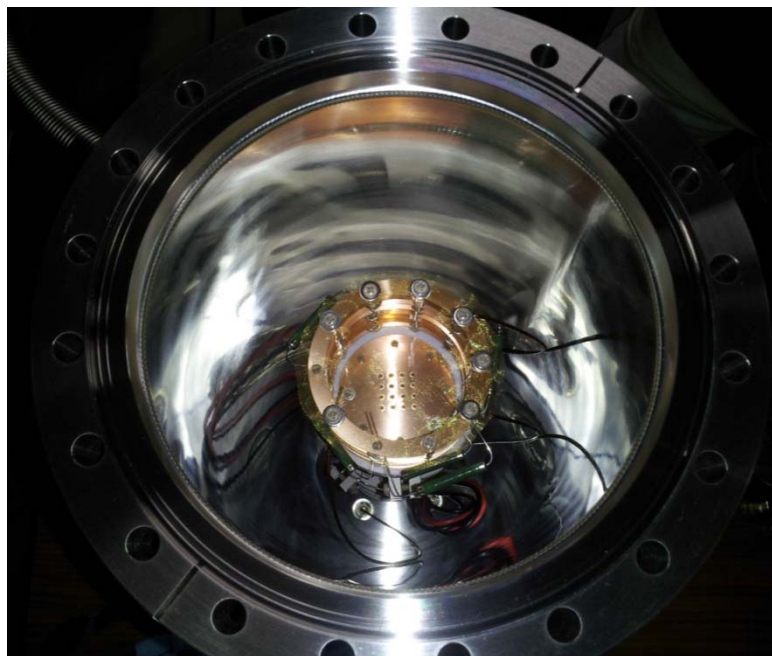
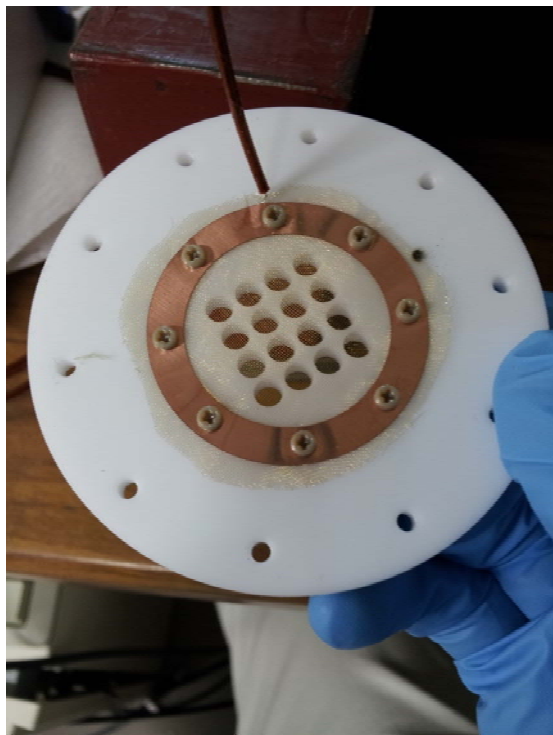


Cathod側でイオンチェンバーとして読み出し(プリアンプ出力)

1メモリ20 μ s

開発実情(2)

ELCCプロトタイプをPMTで読みだす。





Arガス
ランタン Thからのアルファ線

ランタンをELCC アノードプレートの上に乗っている。
増幅の時間幅とドリフトの時間幅が同じくらいなので、三角形の信号

苦勞しているところ 初歩の初歩です。。。

- Arが空気より放電しやすいことを認識していなかったのので
 - フィードスルーで定格よりも低い電圧で放電。
 - ELCCの4mmのギャップで放電
 - バリ？
- プロトタイプのエネルギー分解能の評価に用いるソース
 - Rangeが30mm以下。有効領域で全エネルギーを落としてくれないといけない。
 - 241Am 60keV X線
 - シンチレーション光が小さ過ぎ
 - 不純物？ WLSがへたった？
 - 反射材を入れる？ PMTを大きくする？
 - α 線
ガスに出てきて崩壊してくれる
(そしてガスを汚さない、真空引きできる)線源
ないでしょうか？



年次計画

今年度

- Xe 1気圧, UVPMTでELCC conceptを実証 (X線、 γ 線、 α 線でエネルギー分解能評価)
- UV sensitiveなMPPCでelectro-luminescenceの検出
- MPPCの開発 (w/ 浜ホト)
- MPPC用の読み出し回路の検討
- 5気圧~10気圧のシステム製作
- 科研費を通す。

来年度

- 5気圧~10気圧、MPPCでトラッキングとエネルギー測定
- 読み出し回路の開発
- 全体のコンポーネントの詳細をつめる。