

測定器開発に関するミニ研究会

TPC開発項目とコラボレーション可能性

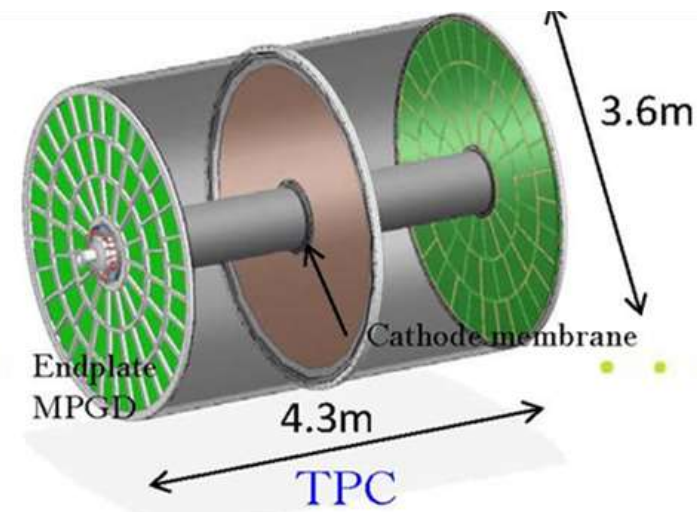
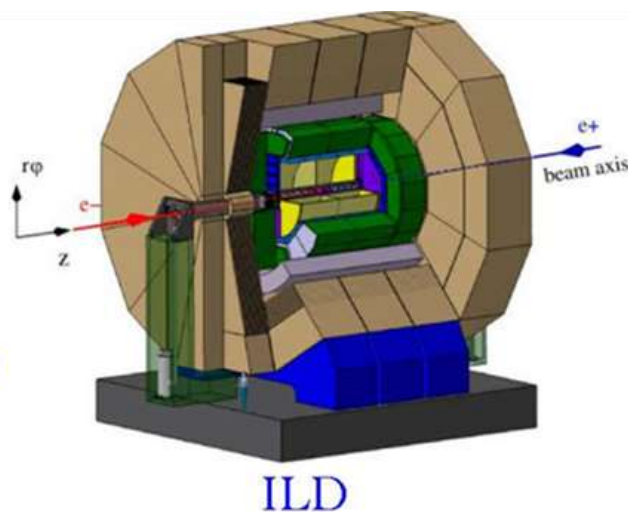
2023年7月26日

成田晋也(岩手大学)

ILC実験用TPC測定器(LCTPC)の概要

LCTPCの特徴

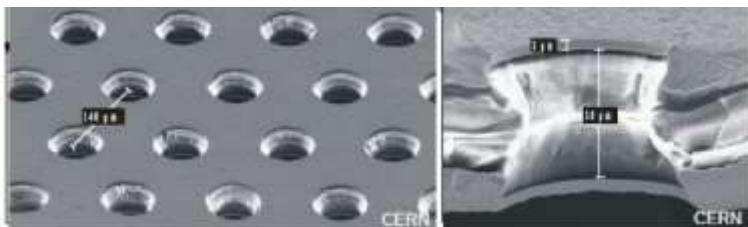
- ガス型荷電粒子飛跡検出器→物質量の低減
- 両端部読み出し装置としてガス増幅機構を備えた高精細二次元読み出し装置
(マイクロパターンガス検出器：MPGD)



MPGD基本技術

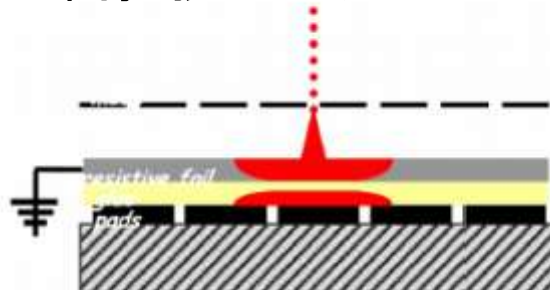
LCTPCでは、以下の技術が検討されている。

GEM

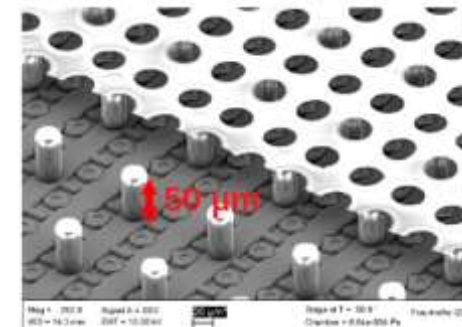


パッド読み出し

高抵抗マイクロメガス



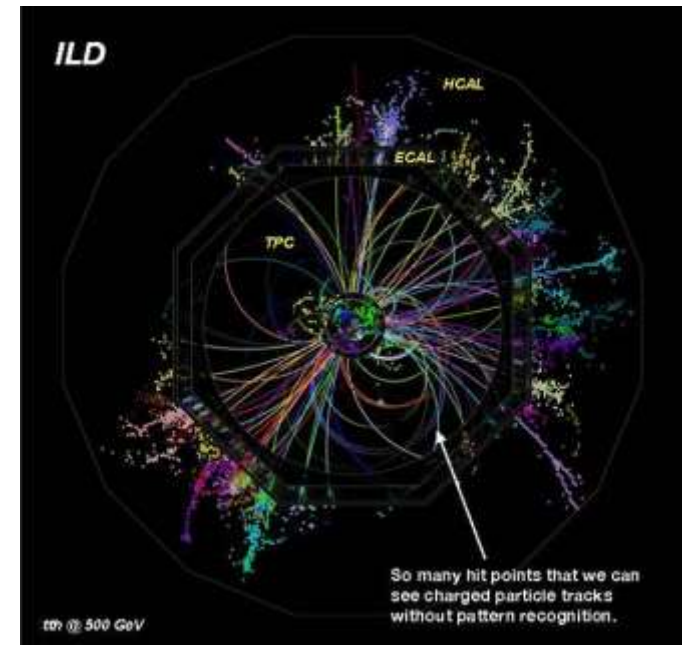
GridPix



ピクセル読み出し

LCTPCの特徴

- 長さ: 2.3m x 2、内径: 0.33m、外径: 1.8m
- 飛跡に沿って1粒子あたり200点以上のヒット情報を高S/Nで得ることができる
- 位置分解能:
 $\sigma_{r\phi}$ (全ドリフト長) < 100 μ m @3.5T
- 運動量分解能
 $\delta(1/p_t) \sim 2 \times 10^{-5} / \text{GeV}/c$ (ILD全体)



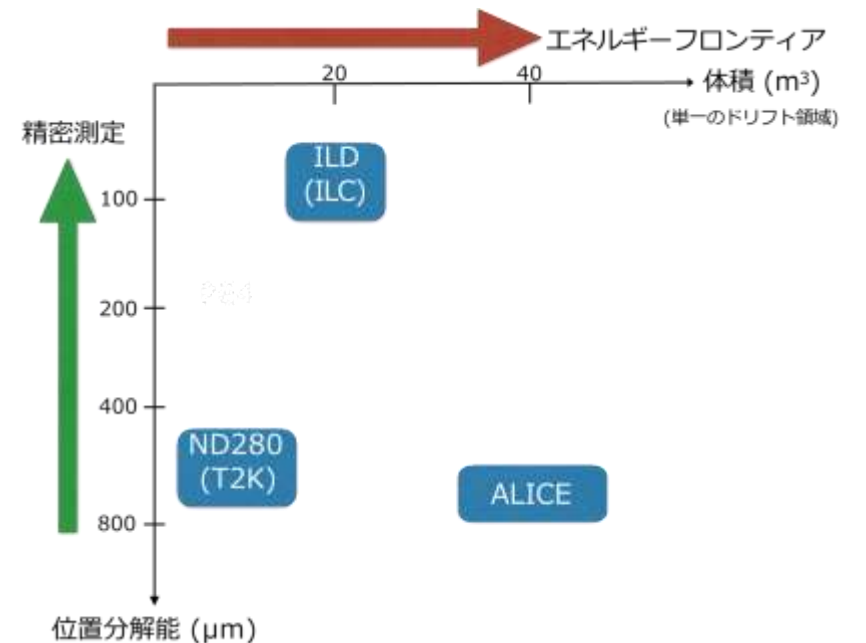
ヒット点の連なりで飛跡が可視化されている

【主要な開発目標】

一様な高電場形成、ドリフト速度や拡散の最適制御

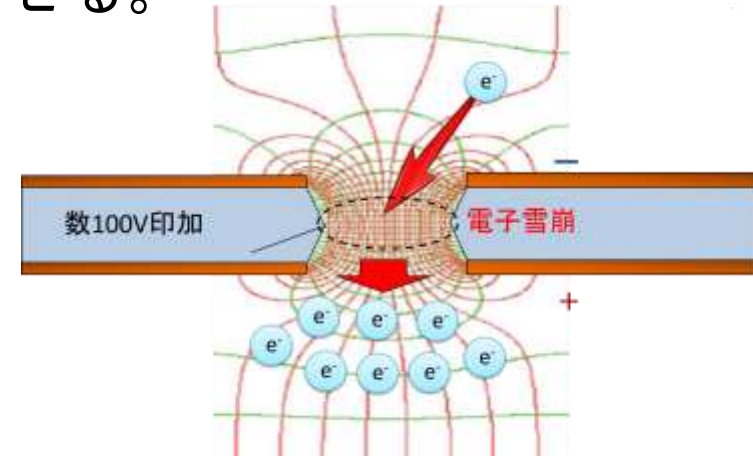
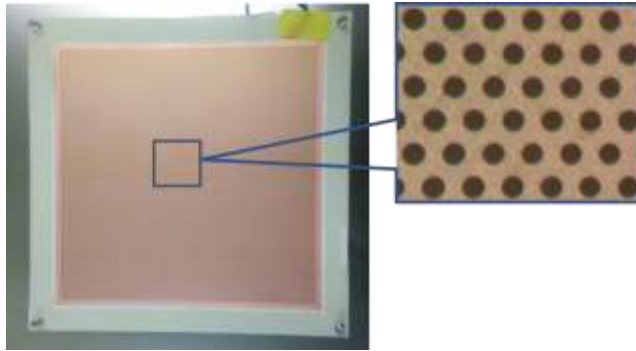
【解決すべき課題】

- 空間的に一様に電荷収集できるモジュールの開発
- 陽イオンバックフローの抑制
- ドリフト領域での温度勾配の低減
- 高信号雑音比、省消費電力読み出し回路の開発
- アライメントシステム、環境モニターシステムの開発



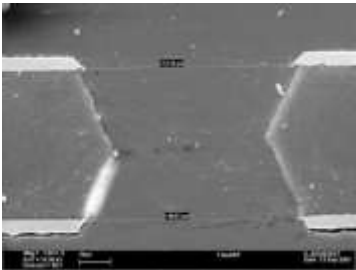
ガス電子増幅器 (GEM: Gas Electron Multiplier)

多数の細孔を開けた絶縁基板両面に電極を成膜し、電極間に電位差を与えることで、孔内に高電場を形成させ、そこを通過した電子をなだれ増幅させる。



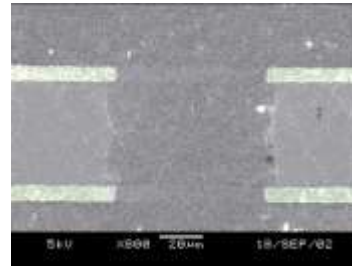
主なGEM製法

ケミカルエッチング



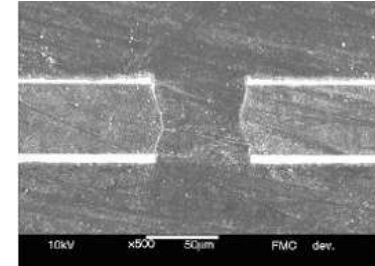
使用する素材の必要な部分にのみ防食処理を施し、腐食剤によって不要部分を除去する。

プラズマエッチング



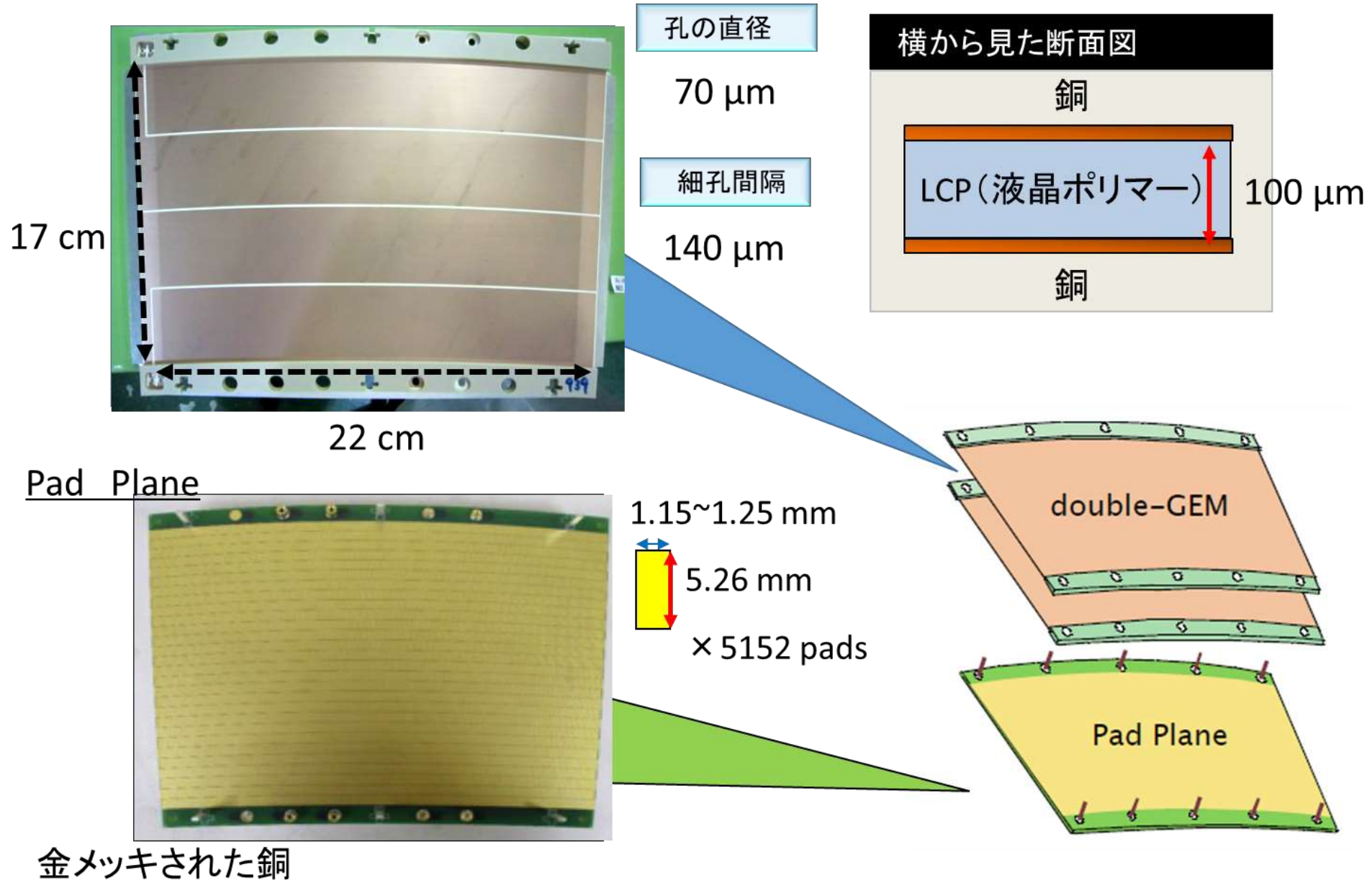
表面の銅のみを薬品を用いて溶かしていった後、絶縁体部分をアルゴンのプラズマを当てることによって削る。

レーザーエッチング



ケミカルエッチングで銅に孔を開け、次に片面ずつ炭酸ガスレーザーで孔を開ける。

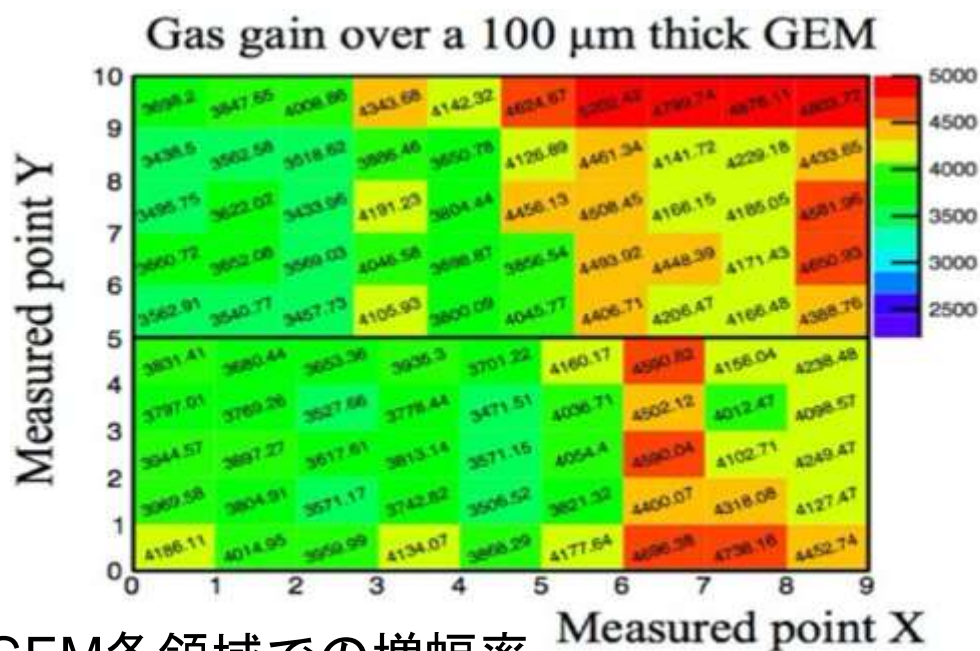
LCTPCで用いるGEMモジュール案



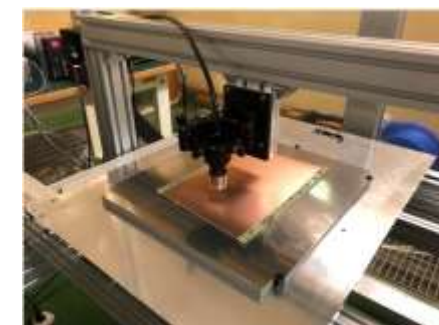
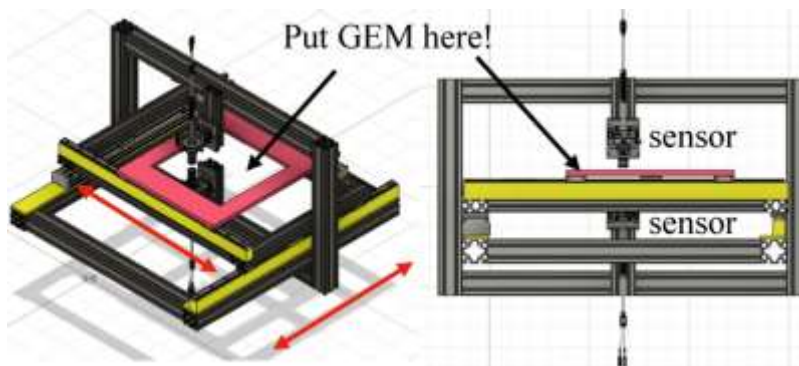
現状の課題

増幅率の非一様性

- ① GEM厚とゲインとの相関の理解（検証中）
- ② 厚さ変動のゲインに対する影響が最小となるGEM設計の検討（シミュレーションにより検証中）
- ③ 十分な増幅率を得るための高電圧が印加可能なGEM素材の検討（放電耐性に優れた素材の検討）



GEM各領域での増幅率



100 μm nominal thickness

これ以外に、厚みの揺らぎが増幅率に与える影響を最小にするようなGEM設計の最適化を理論計算/シミュレーションにより行っている。

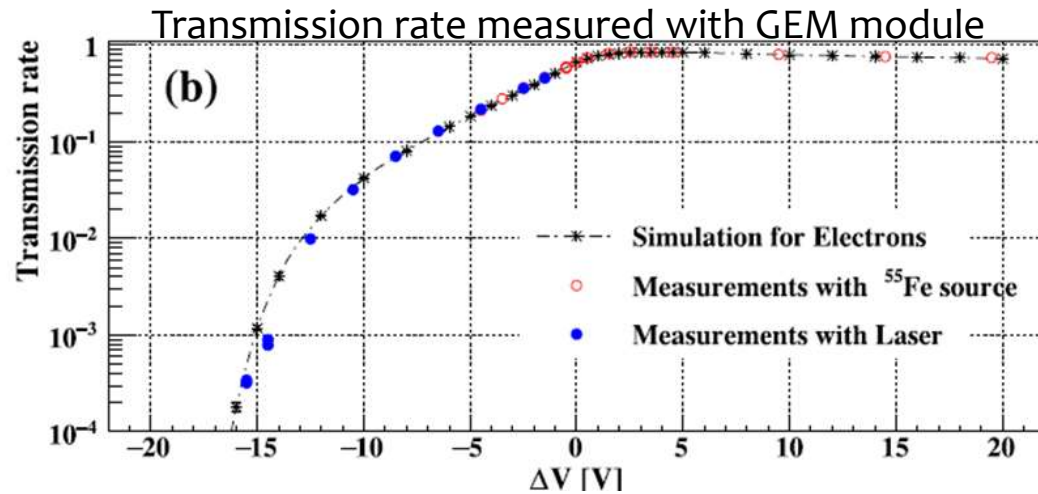


陽イオンゲートの性能評価（継続）、大量生産、品質管理方法の確立

ガス増幅で発生する陽イオンのドリフト領域の逆流抑制 ⇒ 陽イオンゲート

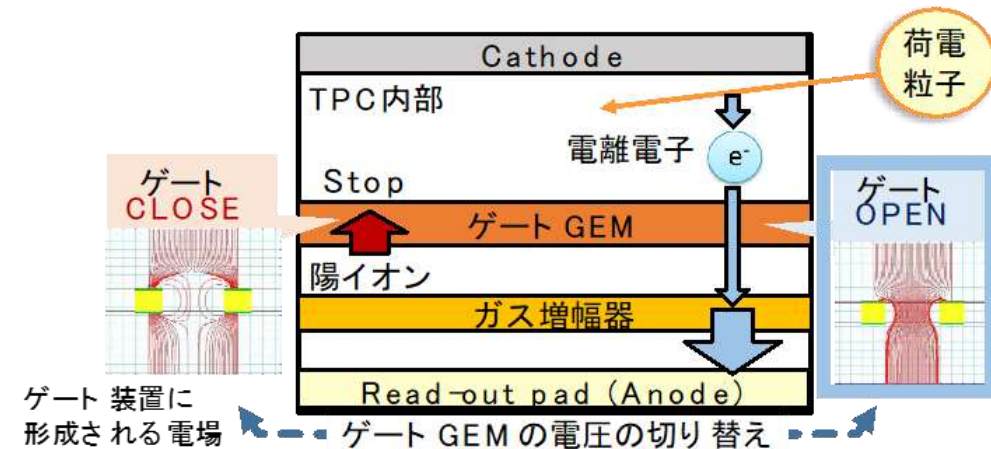
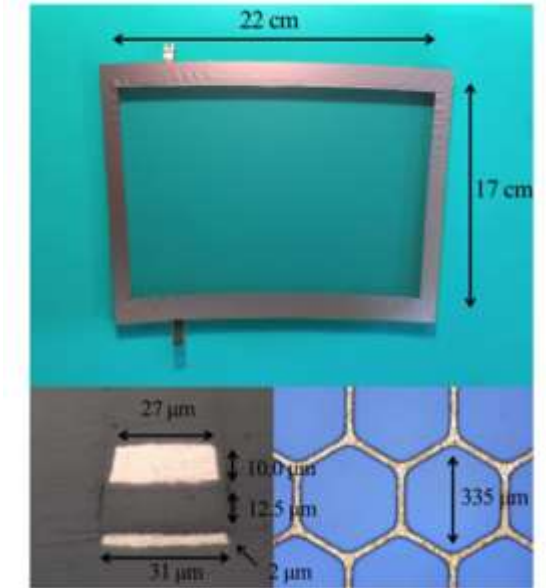
<これまでの成果>

- 基板両面に適切に電位差を与えることで
 - > 80%の電子透過率
 - $O(10^{-4})$ のイオン阻止能を達成することが実証されている。



<今後の課題>

- 陽イオン阻止能の正確な評価
- 量産化に向けた製造、品質管理方法の確立
- 電源システムの開発



新しいGEM材料の検討

← 共同研究の可能性

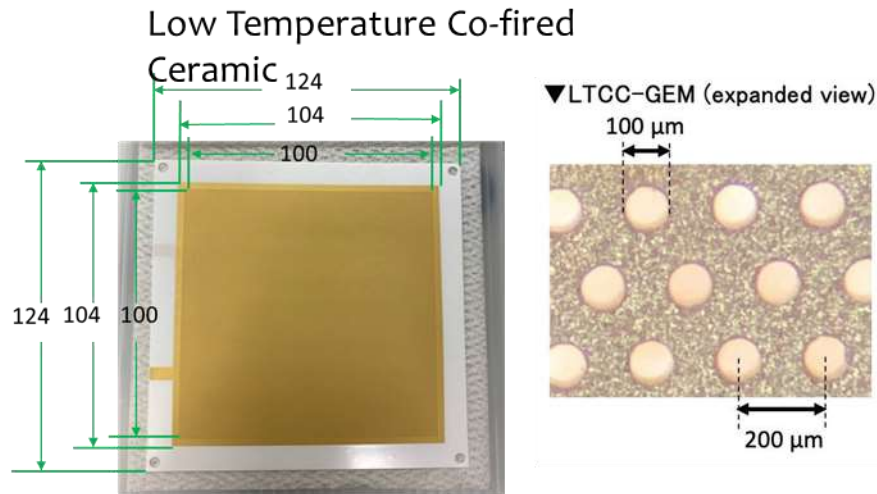
<開発の方向性>

- 単層で十分なゲインが得られること → モジュール構造の簡略化
- 高い放電耐性 → 高ゲインを得るために高電圧印加可能
- 自立型基板 → 組立工程の簡略化

材料候補：（低温焼成）セラミック、ガラス

Ceramic

平井精密工業（株）



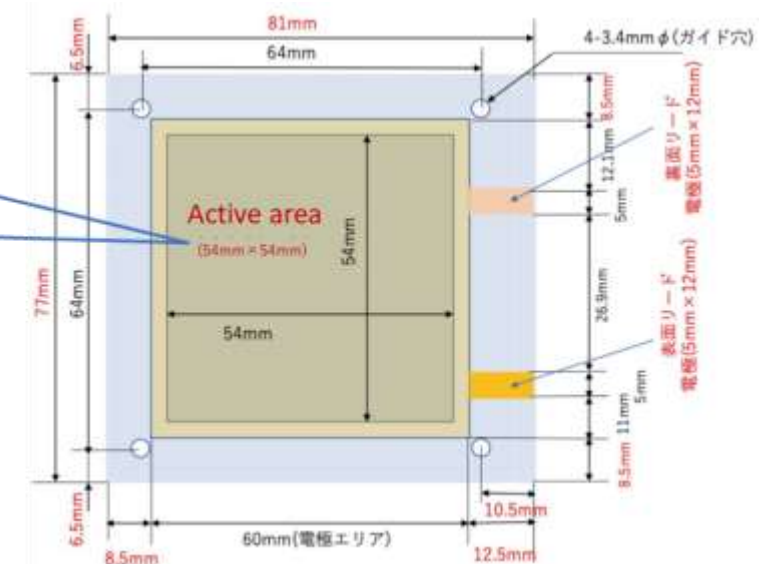
Active area 100 mm x 100 mm, 10 mm x 10 mm
 Dia. 100 μm
 Pitch 200 μm
 Thickness 100, 200 μm

Glass

（株）レジメント・ラボ



Dia. 170 μm
 Pitch 280 μm
 Thickness 570 \pm 30 μm



近畿大、岩手大学で基礎研究を行っている。

信号読み出しエレクトロニクスの開発

読み出し技術に対応した読み出し回路

パッド読み出しに対応した高集積、省電力ASIC回路
低消費電力ピクセル読み出し（主に欧州グループ）

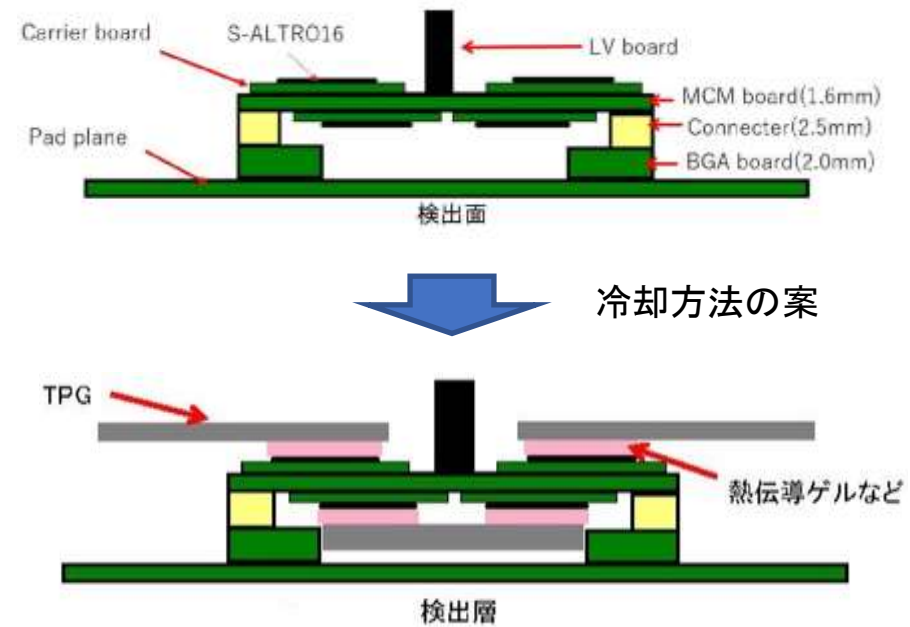
<これまでの成果>

- 冷却方法の検討
マルチチップモジュール（MCM）モックアップの作製
シミュレーションによるCO2冷却法の検討

<今後の課題>

- GEMモジュール+パッド読み出し回路の性能評価
- 二相CO2冷却の有効性評価（温度勾配1°C以下が目標）
- デジタル読み出しの検討（国際協力）
ピクセルチップの大面积化
物質量の低減

- 16ch /chip
- Chip power: 0.94W → 188W/module



TPC関連の課題（1）

1. GEM関連

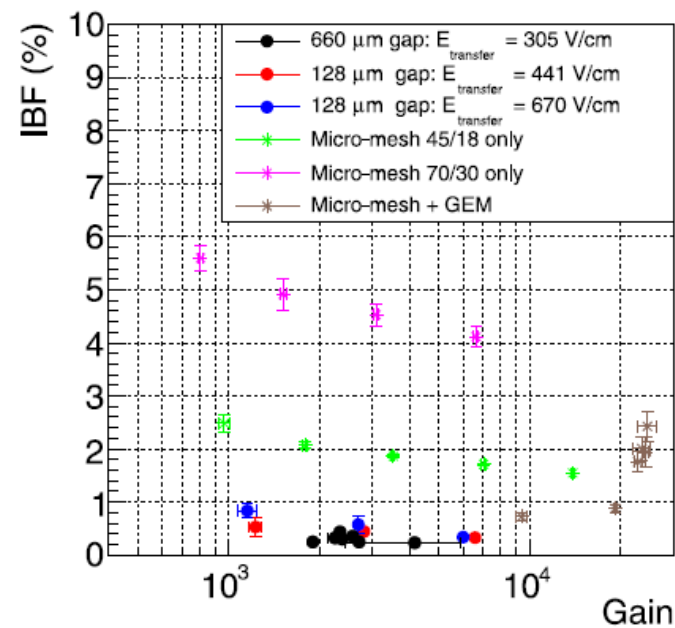
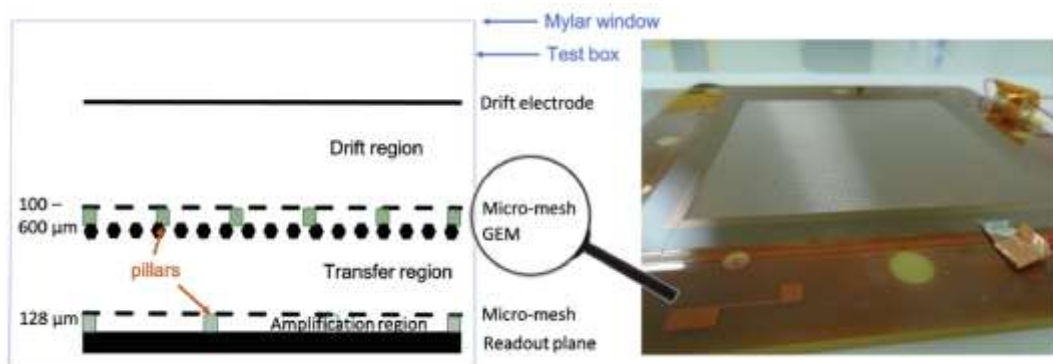
- a. ガスゲインの面一様性の向上厚さ測定→影響評価→改良可否検討
（GEM厚さ、孔径、ピッチなどの最適化検討）
- b. ガラスやセラミックなどの自立型GEMの検討（従来のLCPの代替材料）
ゲイン特性、安定性試験
作製方法の改良（レーザー加工等）
モジュールサイズに適合する大型化の検討、他分野への応用検討

2. 陽イオンゲート関連

- a. 微小イオン電流によるイオンフィードバック除去能力の実証試験
- b. パワーパルス電源を基本構成としたゲートシステムの開発
- c. 品質管理、量産方法の確立
- d. 多用途への応用検討
- e. ゲートシステムを用いない陽イオンバックフローの低減方法の検討

Suppress the IBF without gating

- It is absolutely difficult to use an active gating system for the circular machine.
- We should consider to modify the design and configuration of the MPGD readout system to suppress the backflowing ions.
 - It has been reported recently that a combined Micromegas with GEM readout module can suppress ion backflow¹⁾.
 - Graphene membrane might be useful²⁻⁴⁾.



1) *Nuclear Inst. And Methods in Physics Research*, A1051 (2023) 168134.

2) *Nuclear Inst. And Methods in Physics Research*, A824 (2016) 571.

3) *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A 1031 (2022) 166521.

4) https://indico.cern.ch/event/1219224/contributions/5130761/attachments/2567723/4427337/MPGD_Conference_2022_CERN.pptx

TPC関連の課題（2）

3. 読み出しエレクトロニクス

a. MPGD用読み出し回路の開発

高密度実装可能なアナログ、デジタル混載回路開発、消費電力の低減

b. 2相CO₂冷却法の確立

シミュレーションやモックアップ機による冷却性能評価

冷却性能（熱伝導率）に優れた基板や部品（コネクタ等）の検討

4. TPC全体（他のILD測定器グループとの協働含む）

a. モジュール全体構成、配置等の最適化

b. 磁場中での性能評価

c. LV供給、HV供給・分配法の検討

d. モニター、較正システムの検討（ガス組成、ドリフト速度）

e. 大型構造物、機械強度の検討

TPCの固定方法、エンドプレートの機械強度と物質量の最適化

エンドプレートへの読み出しモジュール固定方法

f. ILD全体とのシステム統合

TPC関連の課題（3）

5. ソフトウェア開発

- a. 2ヒット／トラック分離性能の向上
- b. ピクセル型検出器におけるクラスターファインディングアルゴリズムの開発（トラックファインディング、 dE/dx の評価）
- c. 上記への機械学習の導入

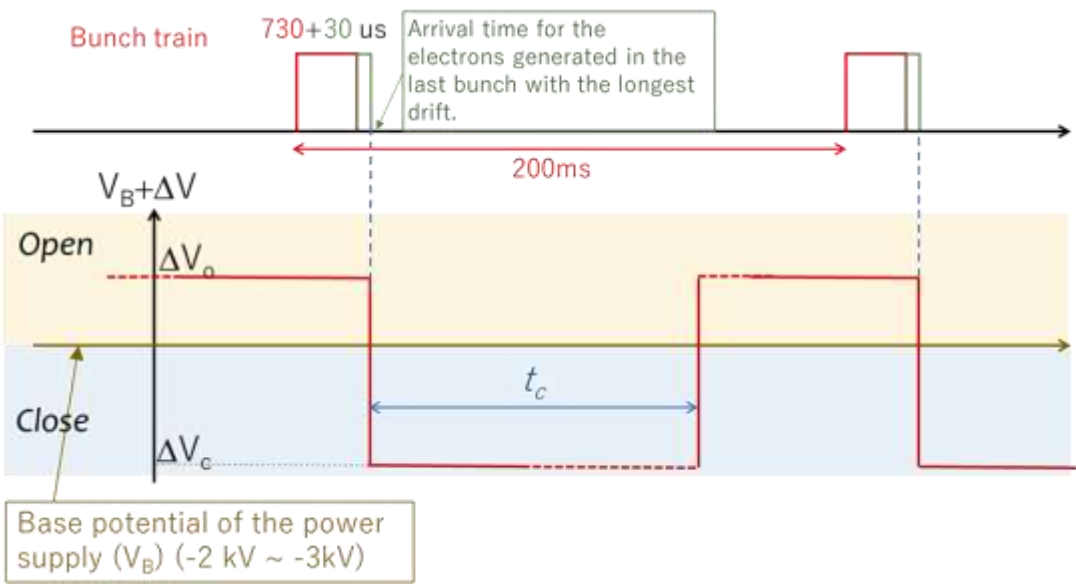
6. その他（海外グループとの連携による新しい取組等）

- a. LCTPC欧州グループが進めているピクセル型検出器開発への参画
読み出しと一体となった回路の開発、大面積化、冷却法の検討
- b. シミュレーションスタディ

Backup

Power supply for the gating GEM

- Japanese group has developed the power supply system for the gate considering the structure of the bunch train of the ILC.
- The system is based on the pulse generator and can be operated at a plane biased $\sim 3\text{kV}$.



Spec.
 Amplitude : -20V ~ +10V
 Width : a few ms ~ several 10ms
 Fall(rise) time : < 200 us

