

DLCを用いたResistive μ -PICの 電極構造と絶縁素材の改良

神戸大理 山下 翼,
越智 敦彦, 谷口 大悟, 長崎 大智, 高橋 真斗

2021-12-18 MPGD&Active媒質TPC研究会

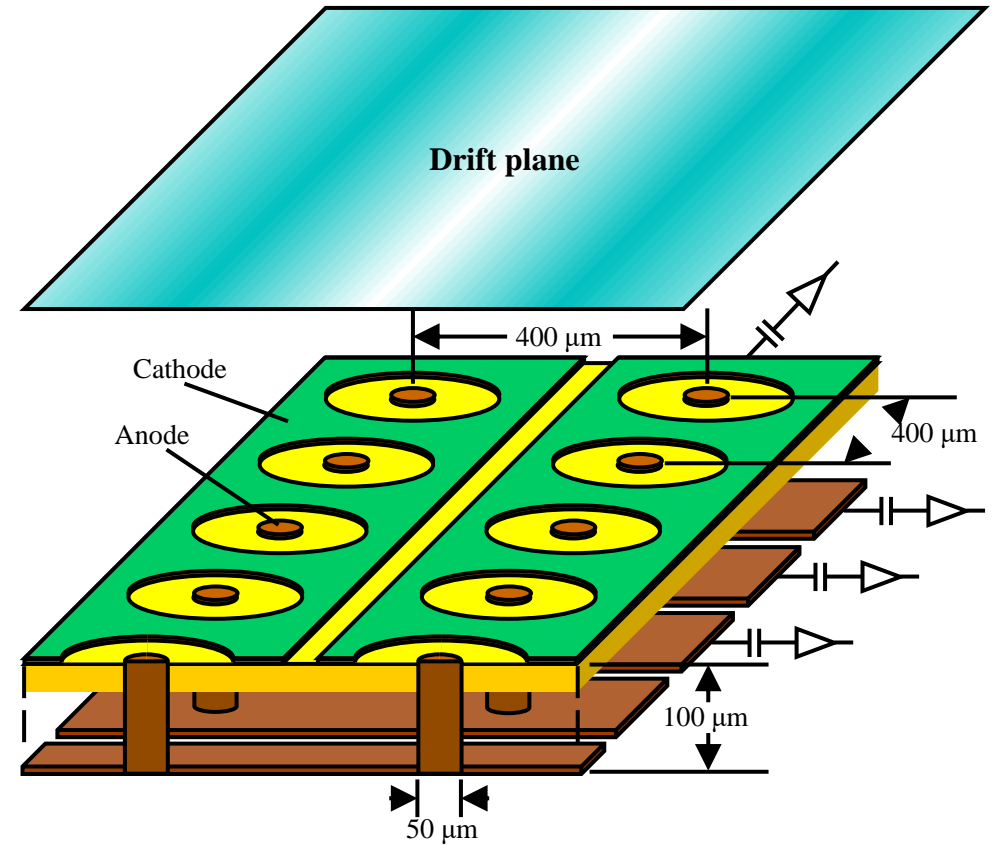
OUTLINE

1. Introduction
2. 現状のDLC μ -picの問題点と改善方法
 1. μ -picの形状とGainの相関
 2. 絶縁層の電極抵抗率
3. まとめ

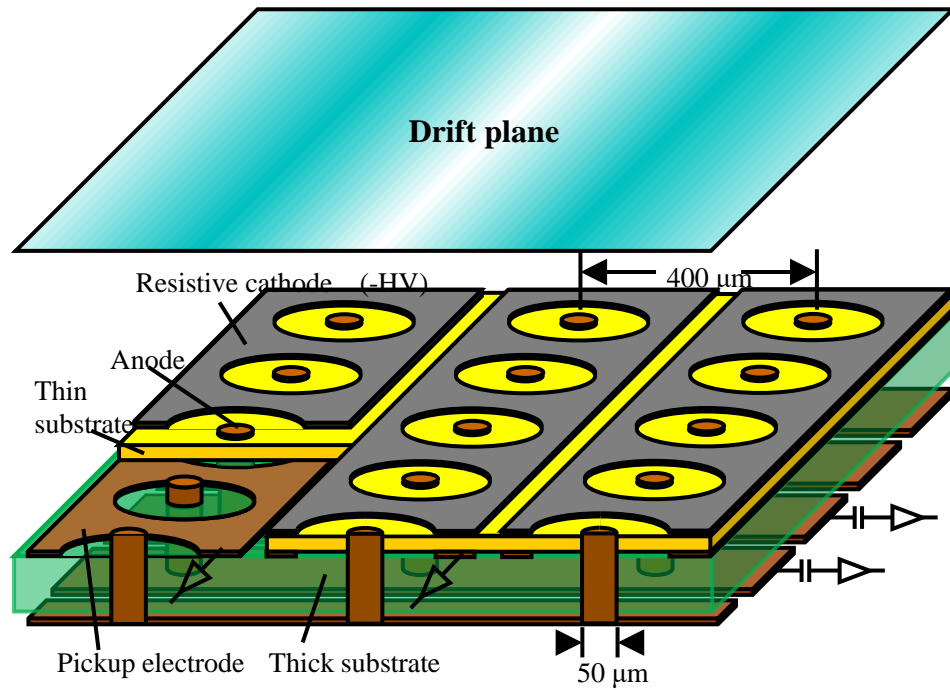
1. Introduction

Micro pixel chamber (μ -pic)

- MPGDの一つ
- PCB技術を用いて製作
- 点状に配置されたAnodeと、周りを囲んでいるCathodeに形成された高電場により、電子が増幅
- AnodeピクセルとCathodeを直交に配置することで、二次元情報を取得
- Anode-Cathode間の距離が短いため放電が起きやすい
(Raether limitが従来より減少しているため)

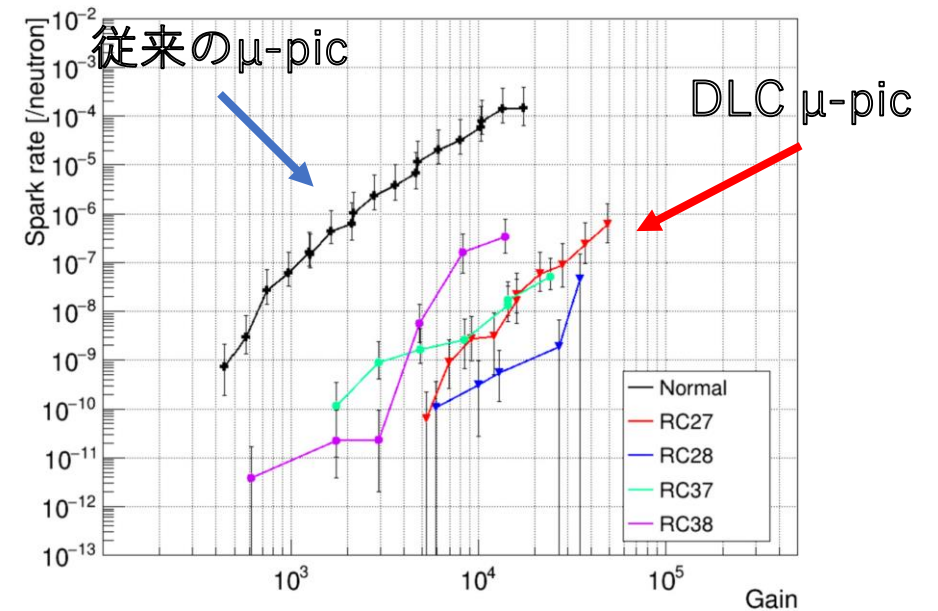


Resistive μ -pic



- 放電レートは3~4桁減少
- 表面抵抗率の違いで性能の差異はあるかを評価

- Cathodeに抵抗素材(DLC)を用いる
→電極間で大電流が流れると電圧降下が起こり、放電を抑制
- Anode、Cathodeの下に読出電極を配置して信号取得



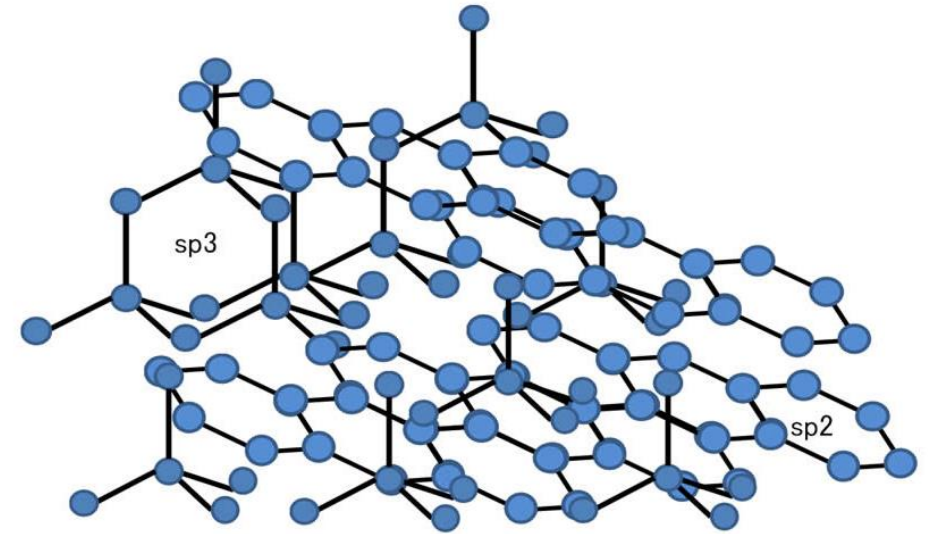
引用：Fumiya Yamane, Atsuhiko Ochi, Kohei Matayoshi, Keisuke Ogawa, Yusuke Ishitobi, "Development of the Micro Pixel Chamber with DLC cathodes"

Diamond Like Carbon

- ダイヤモンド構造(sp^3 構造)とグラファイト構造(sp^2 構造)が不規則に混在する

~特徴~

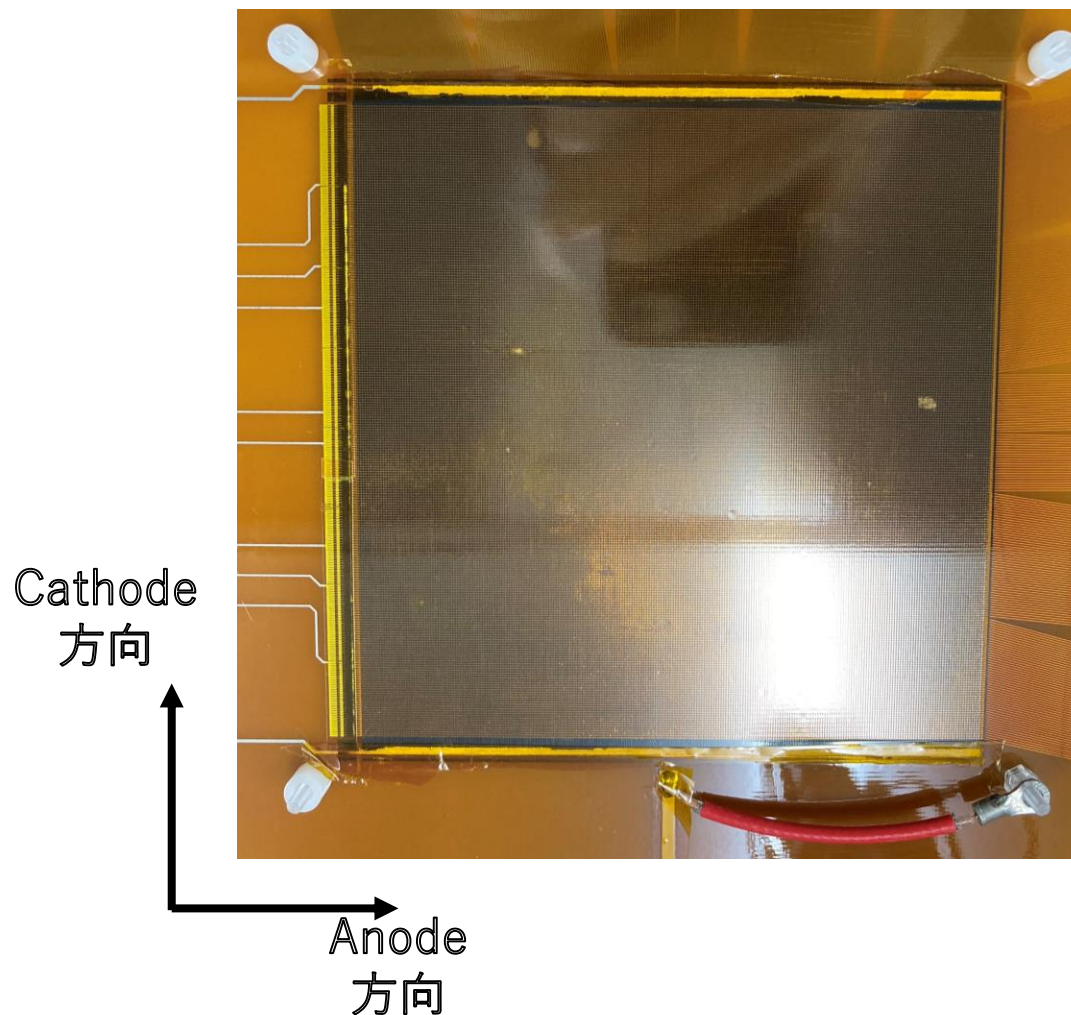
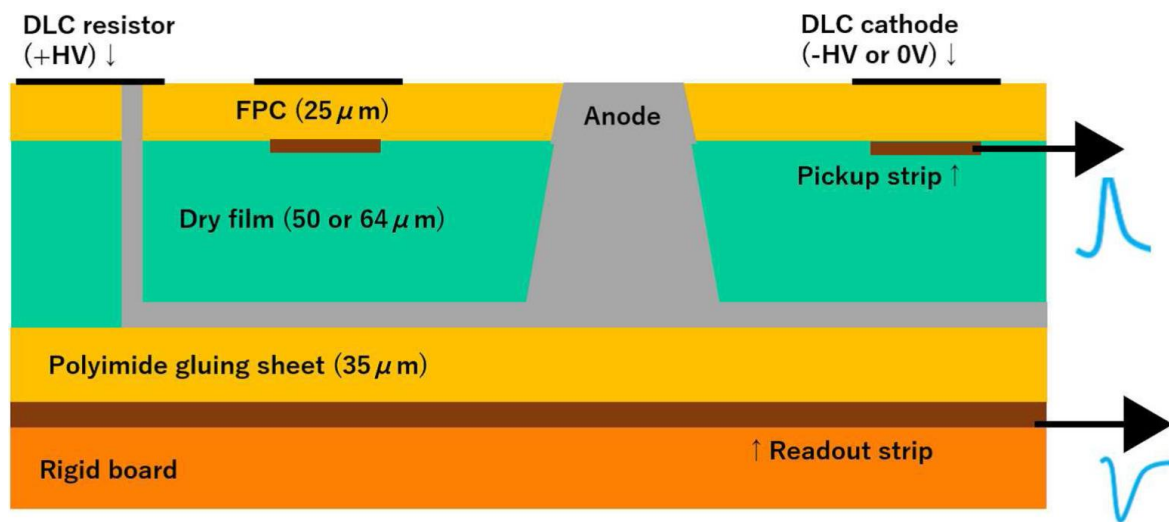
- 任意の抵抗値を設定可能($50k \sim 3G \Omega / \square$)
 - 膜厚調整
 - 窒素ドーピング
- ポリイミドに対する付着力が高く、物理的・化学的に安定



引用:<https://tohkenthermo.co.jp/technology/dlc/>

検出器の概要

- Anode × Cathode : 256 × 256ch
- 今回は複数chをまとめて読出
- 表面抵抗率の異なる4種類の μ -picを使用
 - 1M Ω / \square
 - 15M Ω / \square
 - 50M Ω / \square
 - 500M Ω / \square

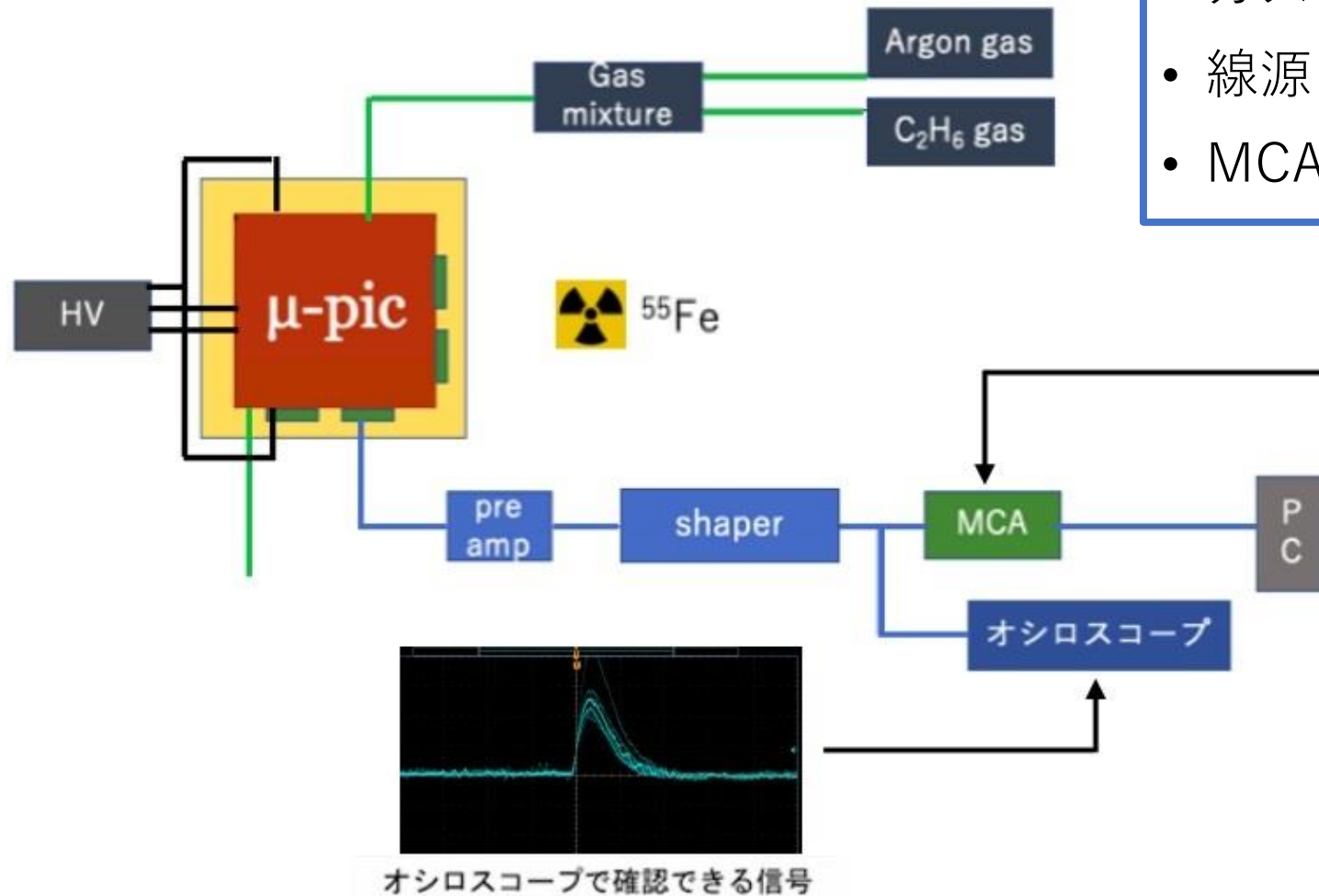


2. 現状の問題点と改善方法

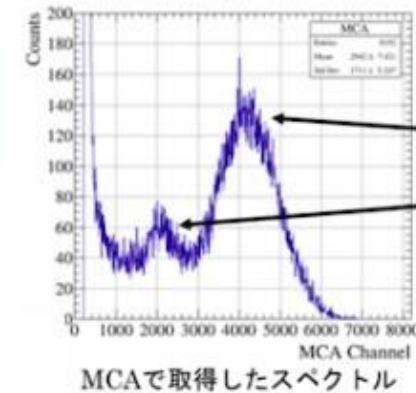
2-1 μ -picの形状とGainの相関

2-1 μ -picの形状とGainの相関

- 実験 Set up



- ガス：Ar/ C_2H_6 =70/30
- 線源： ^{55}Fe (collimate 3.5mm)
- MCAで波高をデジタル変換



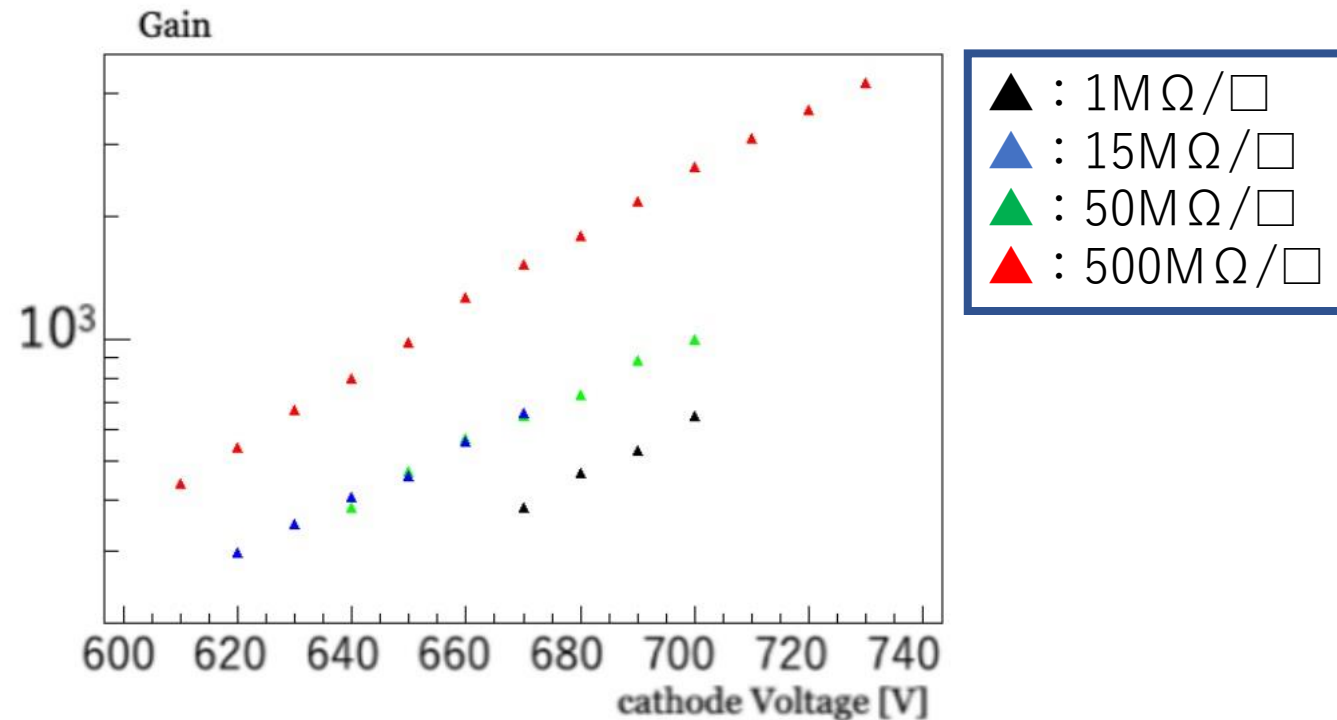
Main peak
(5.9keV)
Escape peak
(2.7keV)

2-1 μ -picの形状とGainの相関

- Gain測定において μ -picに個体差が生じている
 - 右図：それぞれの表面抵抗率でのGain Curve

- 表面抵抗率に依存性は見られない
→ 電極構造に違いがあるのではないか？

- 原因として以下のことが考えられる
 1. Anode径
 2. Anode ring

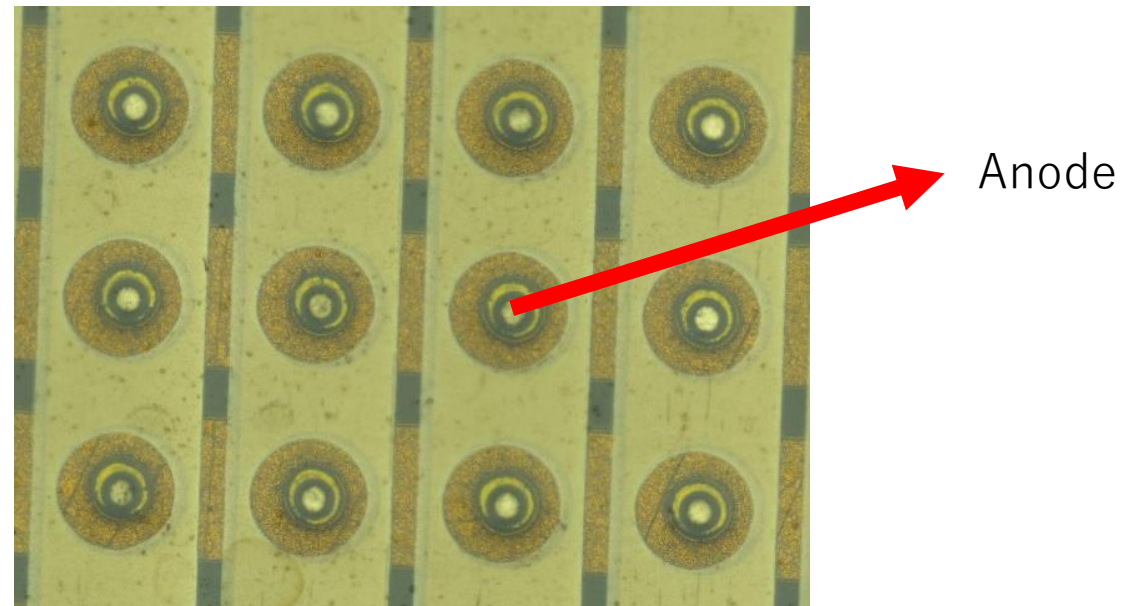


2-1 μ -picの形状とGainの相関

1. Anode径とGain

- 製造過程で個体ごとにAnode径に差が生じている
Anode径はエッチングの速度や時間に影響
- Anode径が小さい
 - 形成電場が強くなる
 - Gainに個体差が出現

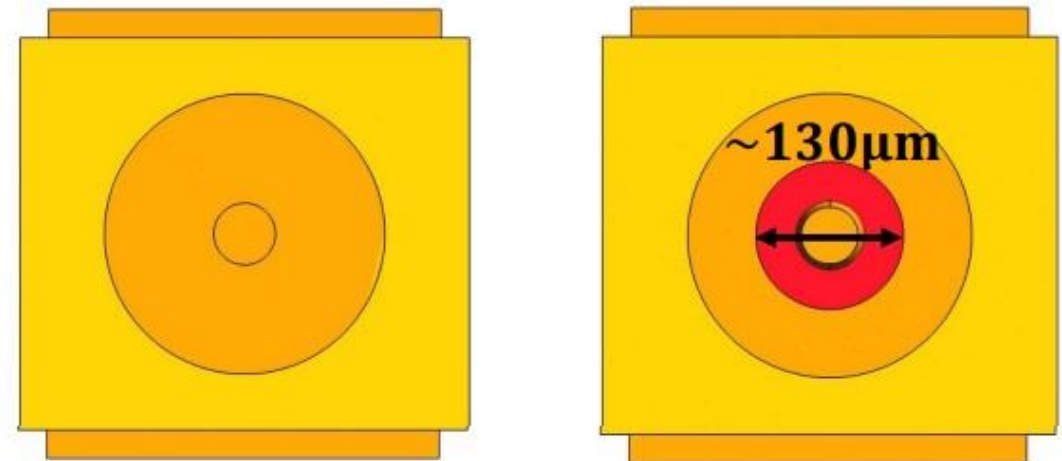
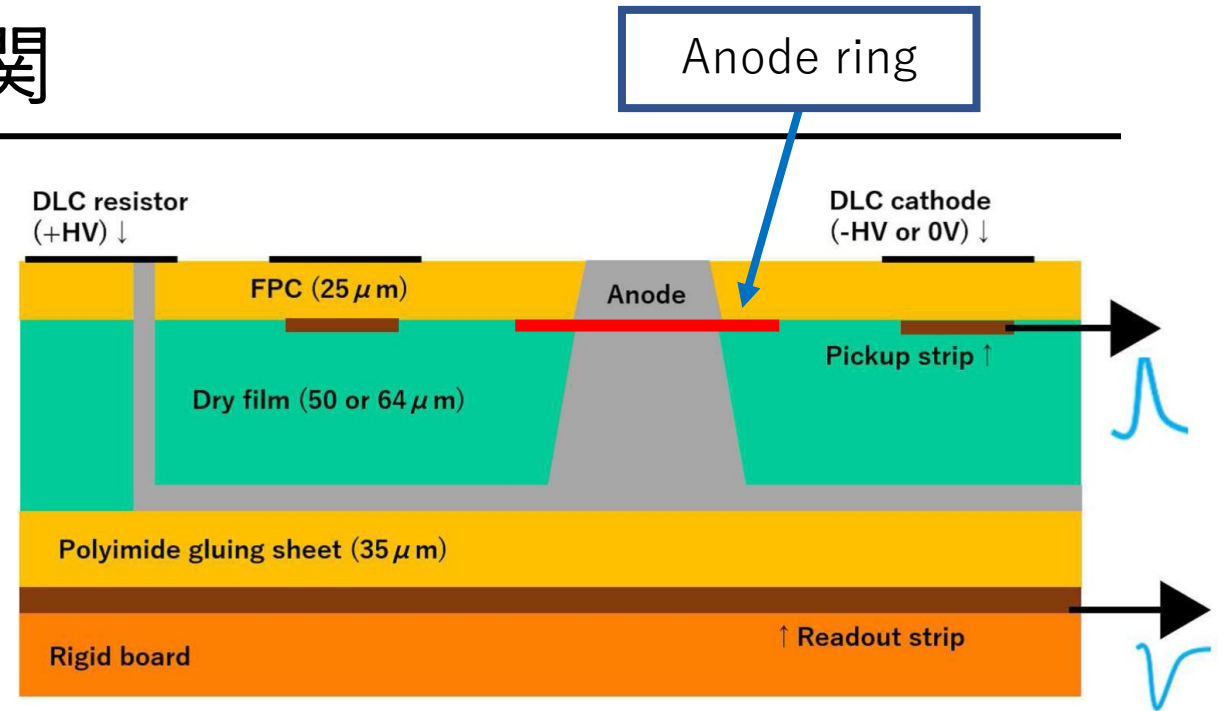
個体	Anode径(μm)
1M Ω /□	52
15M Ω /□	51
50M Ω /□	50
500M Ω /□	46



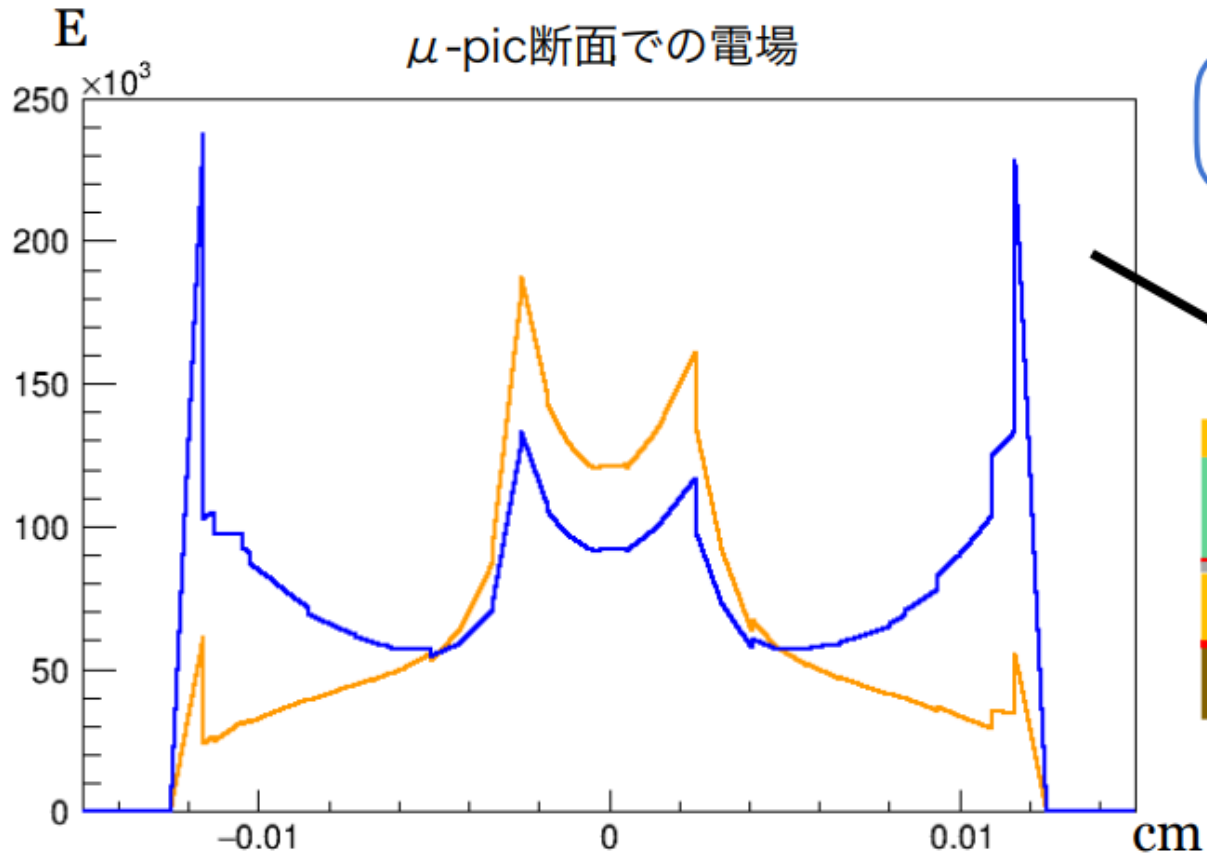
2-1 μ -picの形状とGainの相関

2. Anode ringとGain

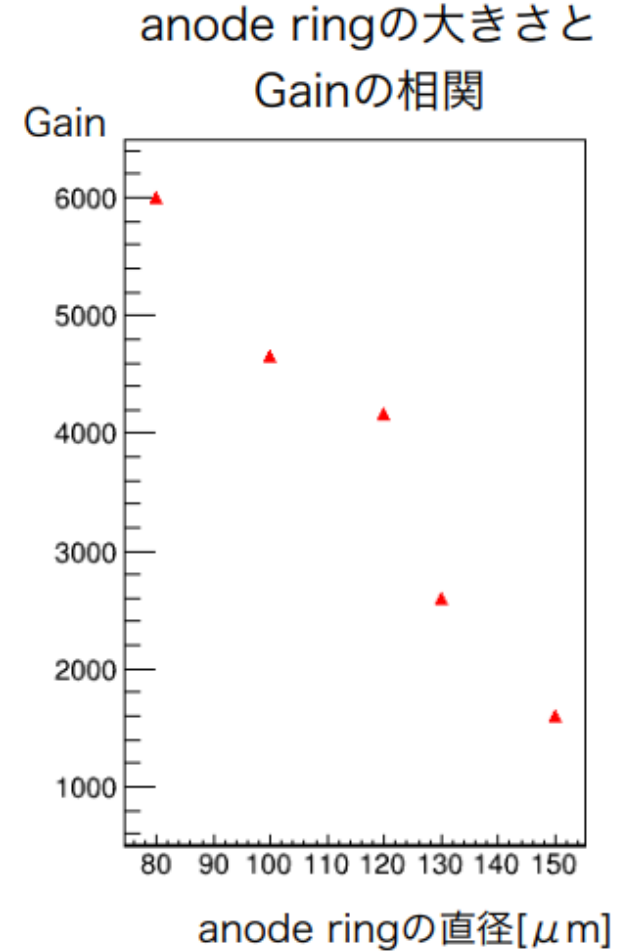
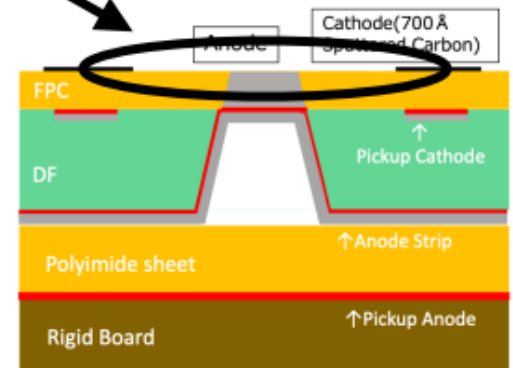
- 製造過程の都合上、Anodeに想定よりも多くのメッキを施していた
= Anode径が大きくなっている
- Anode ring : 理想のAnodeの形状よりはみ出た部分 (赤色部分)
- 大きさは個体によって違う



2-1 μ -picの形状とGainの相関



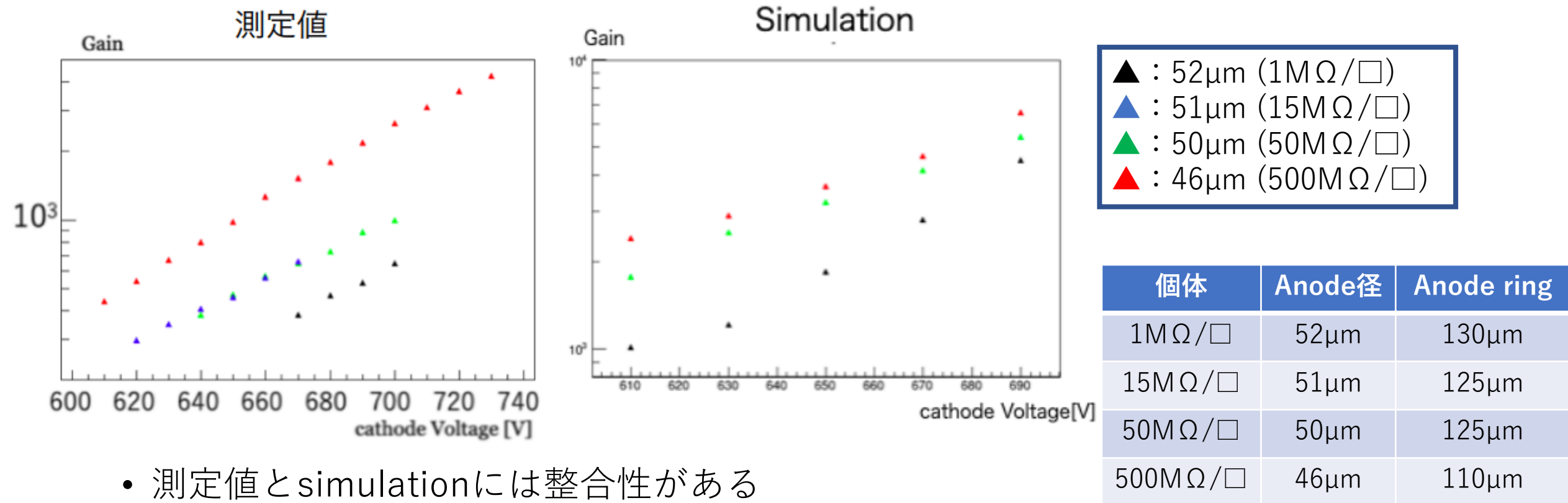
— anode ring あり
— anode ring なし



- Simulation (Garfield++) の結果
 - Anode ringがない方がGainが高く、放電しにくい
 - ringが大きくなるほどGainが小さくなる

※anode ringがないときは直径を80 μ mで計算

2-1 μ -picの形状とGainの相関

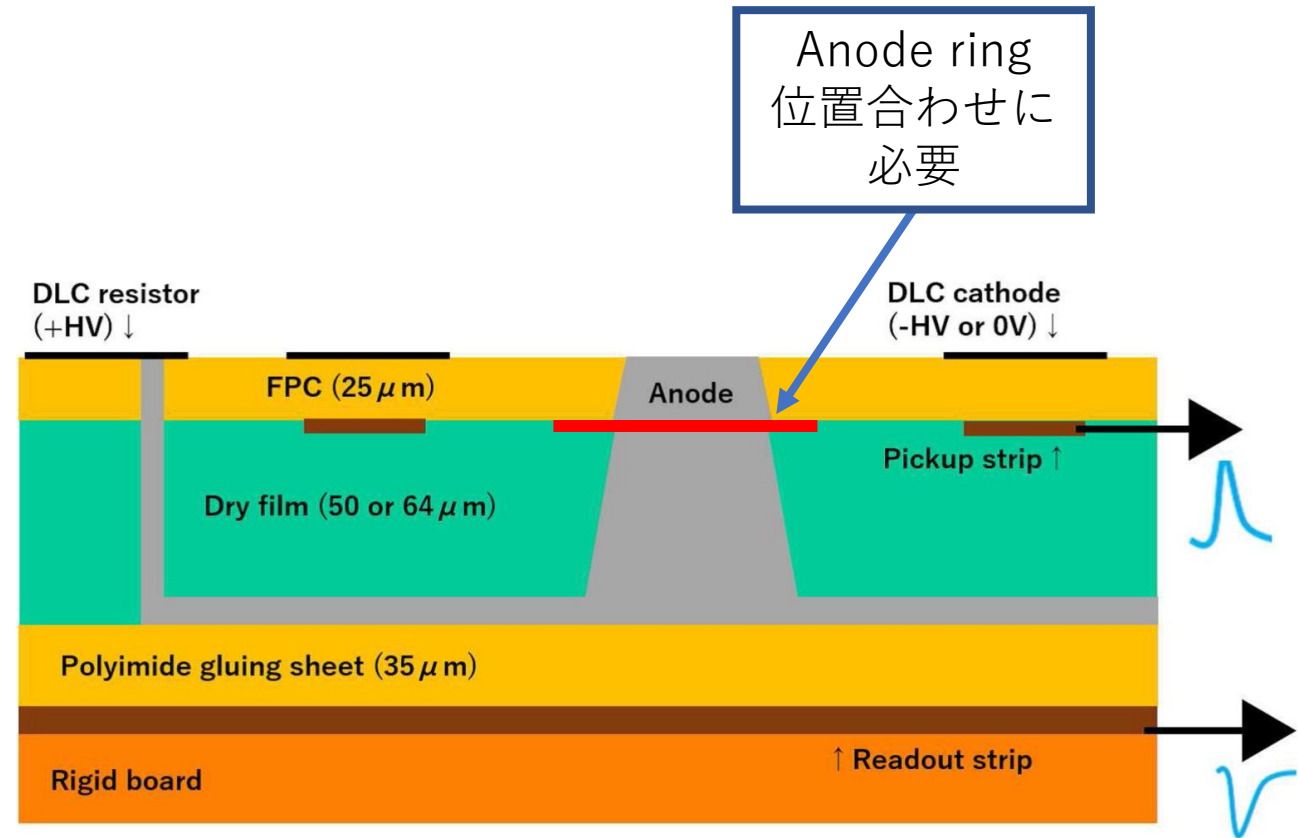


- 測定値とsimulationには整合性がある
- Simulationでの50 μ m(50M Ω /□)と46 μ m(500M Ω /□)の値にはあまり差がない
→他にGainに影響を与えるパラメータがある可能性(現時点では不明)

2-1 μ -picの形状とGainの相関

～改善案～

- 今までは、FPC(黄色部分)に穴を空けてニッケルをメッキさせた後、絶縁層(緑部分)を貼っている
 - 穴の位置合わせが困難
 - 今までは余分にニッケルをメッキすることで解決
 - Anode ring形成の原因
- 別の方法をAnode ringが生まれな
いような製作を試みる

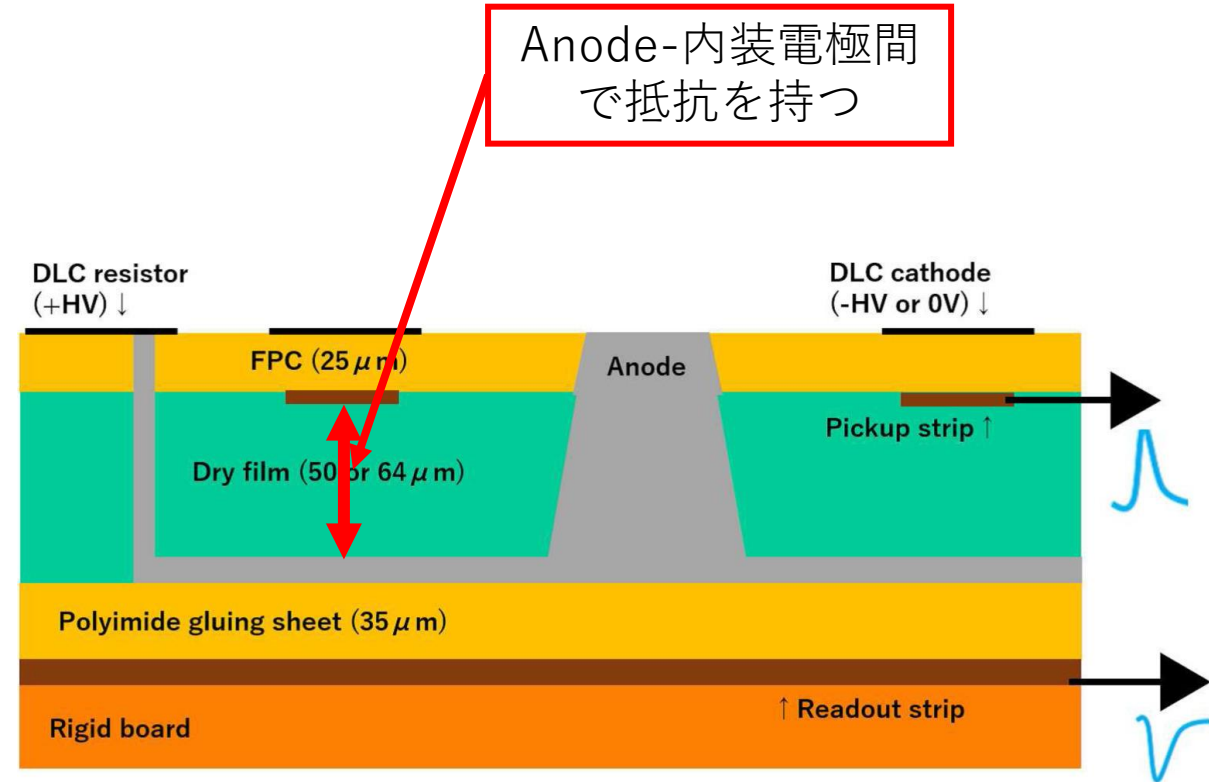


2. 現状の問題点と改善方法

2-2 絶縁層の電極抵抗率

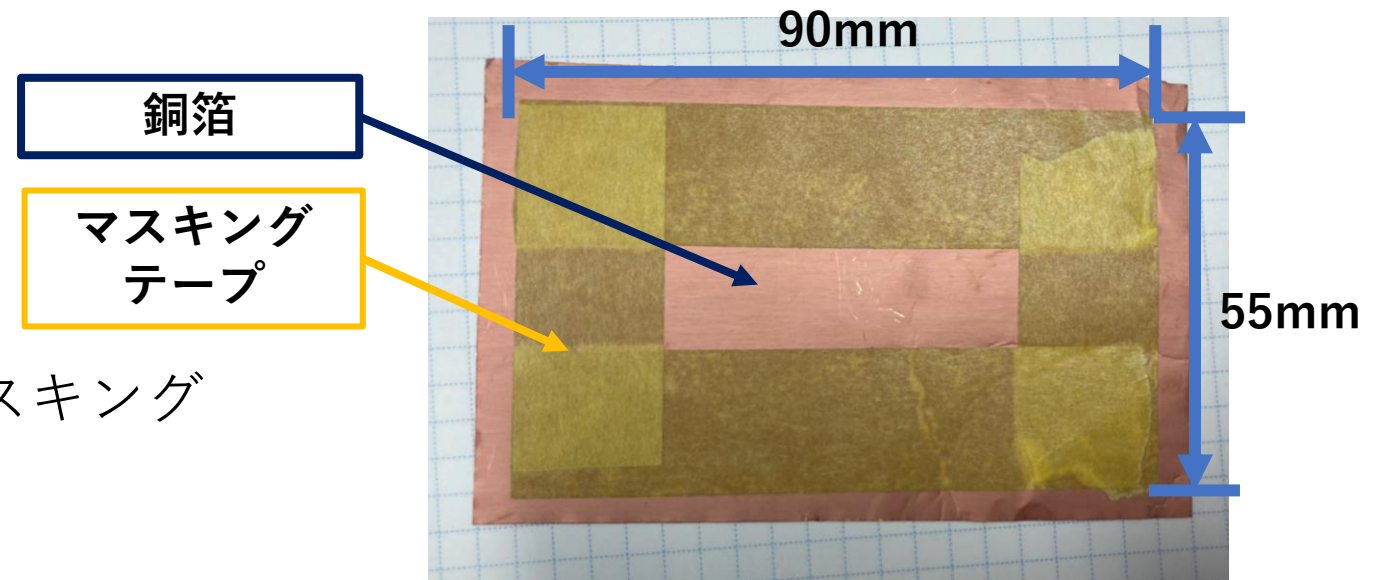
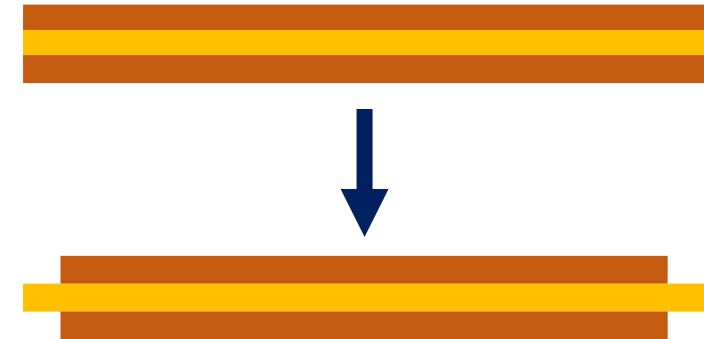
2-2 絶縁層の電極抵抗率

- Anodeから内挿電極間に電流が流れることが頻発
→FPC-絶縁層の間に解け残りがあることを疑ったが、違った
- 絶縁層がバルクで抵抗を持つ？
 - 絶縁層内に電流が流れ、導通する
→検出器として動作に支障有
 - 内挿電極とAnodeが等電位になる
→電場構造が変化
- サンプルの抵抗値を測定し、ドライレジスト(DR)が使えるか確認
- DRはDuPont社のPyraluxを使用



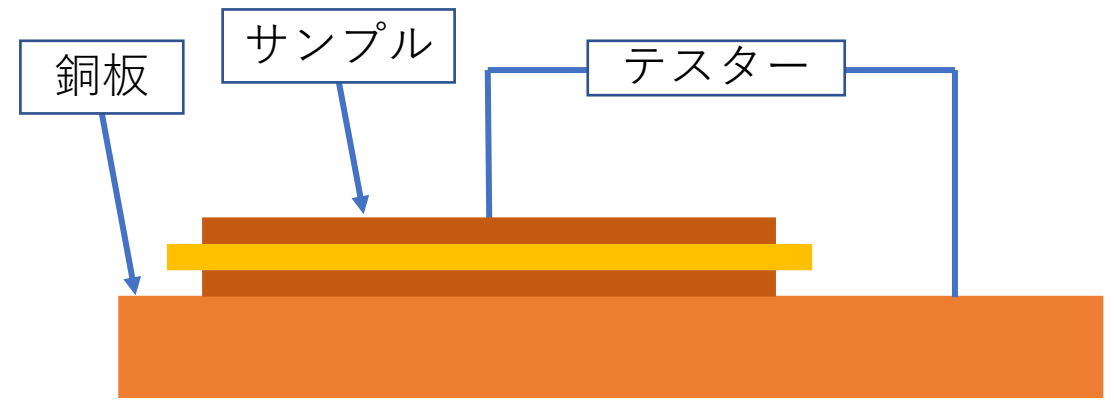
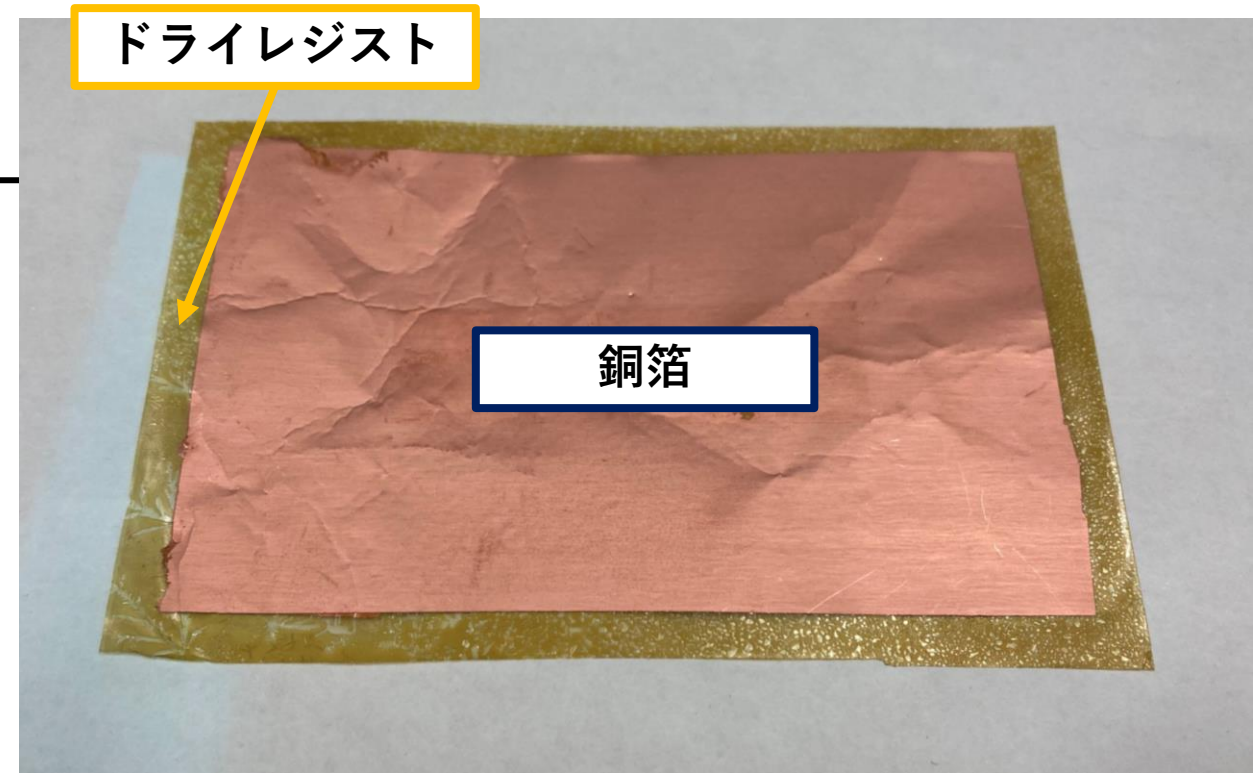
2-2 絶縁層の電極抵抗率

- 体積抵抗値を計測するために、DRに銅箔を貼り合わせたサンプルを使用
- サンプルの縁が銅箔でつながっているので、抵抗値を測定することが出来ない
→端をエッチング
- エッチングに使用した板
 - 面積90mm×55mm
 - 厚さ64 μ m
- 端から約5mmの部分を開けてマスクングテープを張る



2-2 絶縁層の電極抵抗率

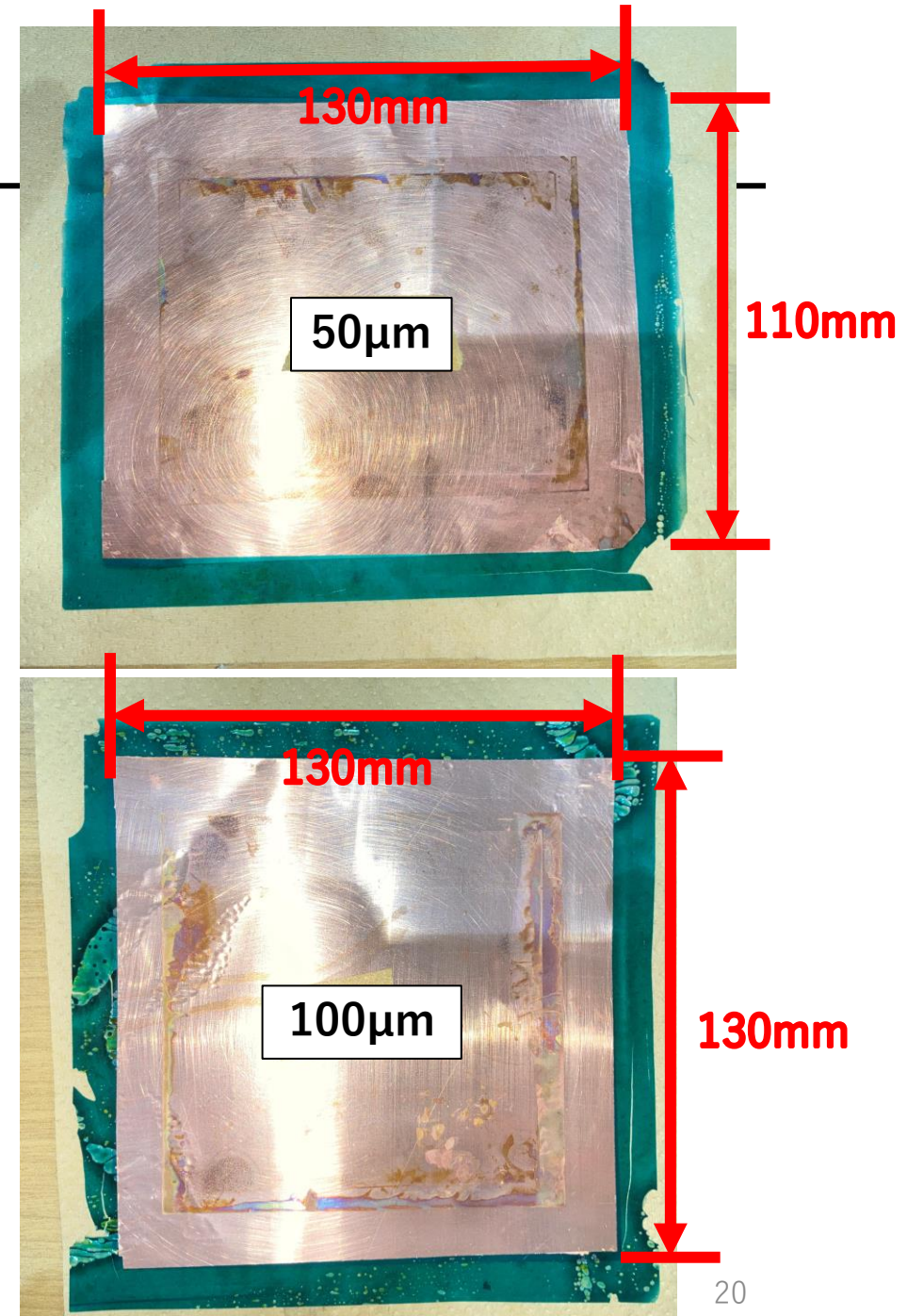
- 右上図：実際にエッチングしたもの
- 右下図のようにサンプルを銅板の上に置き、抵抗値を測定
→13.2~13.5[MΩ]
- 体積抵抗率を計算
 - 抵抗値を13.2[MΩ]、
 - 面積を90×55[mm²]、
 - 厚さを64.0[μm]→体積抵抗率は、 1.02×10^9 [Ω・m]
- 実際のμ-picの抵抗値を計算すると、6.53MΩ
→小さすぎて電流がながれる



2-2 絶縁層の電極抵抗率

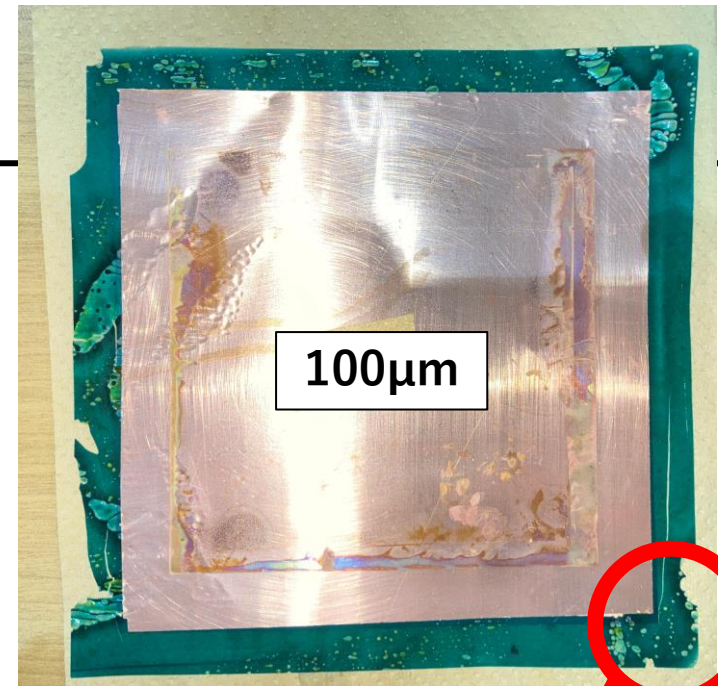
～改善案～

- DRの代わりにソルダレジスト(SR)に変更(DRが生産中止されていたため)
- DRの測定と同様にSRの体積抵抗値を測定
 - 厚さが50 μm と100 μm のサンプルを使用
 - 50 μm : 面積 130mm \times 110mm
 - 100 μm : 面積 130mm \times 130mm
- 抵抗値は
 - 50 μm : 20~60 Ω 程度
 - 100 μm : テスターで測定不可能
- 50 μm に関しては、導通が見られた



2-2 絶縁層の電極抵抗率

- SRの方が抵抗値が大きいので($> 500\text{M}\Omega$)、絶縁層として使用可能?
- 現在SRを使った μ -picを製作中
- DRと比べ、かなり硬く脆い
→今まで以上に取り扱いに注意しなければならない



3. まとめ

3. まとめ

- 現状、DLC μ -picはいくつかの問題点が存在

1. 電極の構造
2. 絶縁素材

1. 電極の構造

- 個体によってAnode径が不均一 →Anode径が大きいほどGain低下
- Anode ringが存在 →ringがあるとGainが低下
- 改善案 →製造過程を従来のものから一部変更して製作を試みる

2. 絶縁素材

- 絶縁層がバルクで抵抗を持つ →Anode-内挿電極間に電流が流れる
- 改善案 →ドライレジスト(DR)をソルダーレジスト(SR)に変更して製作
→SRの方が抵抗値が高い($> 500M\Omega$)ため、絶縁層として使用可能か？