

<u>竹村泰斗</u>,高田淳史,谷森達, Parker Joseph^A, 水村好貴,水本哲矢, 園田真也,友野大, 古村翔太郎,中増勇真,吉川慶,谷口幹幸 中村優太,松岡佳大,中村輝石,宮本奨平,身内賢太朗^B,澤野達哉^C 京大理 クロス東海^A 神戸大学^B 金沢大数物^C

µ-PICとその応用について

Micro-pixel chamber (µ-PIC)



- ▶ 二次元ガスイメージング検出
- ▶ 銅電極、ポリイミド基板

(プリント基板技術により作製)

- 大面積化: 10×10 cm², 30×30 cm²
- 各ピクセル400 µmピッチ
- 位置分解能:RMS~120 µm
- ▶ エネルギー分解能: 22%@22keV
- **ガスゲイン:**Max 16000,**Typical 6000**

µ-PIC応用

✓ MeVガンマ線望遠鏡
 Electron-Tracking Compton Camera (ETCC)

μ-PIC + 位置検出型シンチレータ [**要求①] 角度分解能 数度 :位置分解能 < 90 μm**

[要求2] µ-PIC単独での電子検出(GEMなし): Gain 20,000

✓ 中性子イメージング検出器
 [要求] 位置分解能 < 90 µm





MEMS技術によるµ-PIC

MEMS技術によるµ-PIC

MEMSとは

MEMS (Micro Electro Mechanical System)技術とは 半導体微細加工技術を用いて作られた 微小電気機械素子およびその創製技術のこと



MEMSによる天文分光用シャッタアレイ

(http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/toshilab/)



	MEMS µ-PIC	ΡϹΒ μ-ΡΙϹ
ピクセルピッチ	> 200 µm	> 400 µm
基板厚み	400 µm	100 µm
作製精度	数µm	約10 µm
基板材質	シリコン (半導体)	ポリイミド (絶縁体)



ゲイン実測+Simulation セットアップ



Simulation

Gmsh:3次元メッシュ作製 Elmer:有限要素法で電場計算 Garfield++:電子雪崩シミュレーション





0.05

0.04

0.02

0.01

-0.01

電子飛り

0 0.01 0.02 0.03

イオン飛跡

去年の結果(2015年春物理学会2演番号21pDL14)



考察(SiO₂膜のゲイン関与について)



Garfield++シミュレーションには 半導体を絶縁体として定義 **半導体内のキャリアを無視**

シリコンがアノード傍にいることから アノードの電圧により半導体内のキャリ**アが移動、** アノードまわりの電場を弱める

SiO₂膜はアノードとシリコン層の絶縁性を高める

SiO₂膜の厚いMEMS µ-PICはシミュレーション 値に近いゲイン値を有すると考えられる



MEMS µ-PIC スペクトル







SiO₂膜による絶縁の効いてると思われる箇所
シリコンの表面,アノード側面
どちらが顕著に効いているかを調べるため
以下の素子を作製
①SiO₂膜15 um, Pl膜11 um (表面:厚、側面;厚)
②SiO₂膜 1 um, Pl膜11 um (表面:厚、側面:薄)



高位置分解能 MEMS µ-PIC







高位置分解能MEMS µ-PIC実測

クロス東海との共同実験

2タイプの高位置分解能 MEMS µ-PICを 中性子ビームに当て信号検出を試みた

MEMS u-PIC構造: SiO₂膜 10 µm, PI膜 4 µm P10:CF₄/isobutane:³He (60:30:10) @ 2atm



信号検出



215 µmピッチµ-PICにより得られたTOF分布





まとめ

- □ MEMS技術によるµ-PICを作製し、その評価を行った
- 半導体キャリア由来と思われるゲイン降下があったが

SiO₂膜によりアノードとシリコン層の絶縁性を高めることにより

期待された高いゲインを得ることができた

MEMS µ-PIC SiO₂膜15 µm素子

安定ガスゲイン: 22,000

エネルギー分解能:18.6% (@5.9 keV)

μ-PICを高位置分解能化するにあたり

カソード面積がガスゲインに大きく関わることが実測、シミュレーションで示された

将来計画

- ◆ 10月に3cm角のMEMS µ-PIC(SiO₂膜15 µm)の作製が完了する
 - ゲインの均一性や二次元イメージング等のさらなる評価を行う
- ♦ 高位置分解能µ-PICについて

Anode 435um, Cathode 485 um, pitch 300 um, 位置分解能90 um MEMS µ-PICの作製

アノード・カソード構造の最適解をシミュレーション、実測により探す

バックトラペ

高位置分解能MEMS µ-PIC シミュレーション





μ-PIC 電子雪朋シミュレーション

μ-PICの設計にあたり 複数のパラメータを変化させて 作製するには膨大なコスト要



①電場計算

Gmsh: 3次元メッシュを作製

Elmer: 有限要素法で電場計算

②電子雪崩シミュレーション (Garfield++)

電子と分子の様々な反応に対する断面積を用いて、3次元で微視的なモンテカルロシミュレーションを行う

1電子に対する電子雪崩シミュレーション図





② MEMS μ-PICのゲインは同電圧においてPCB μ-PICの約2倍となる

MEMS µ-PIC 実測ゲイン



実測結果

- 実測値がシミュレーションによるゲイン値を大きく下回っている
- ② SiO₂膜の厚さによりゲイン値が大きく変化

実験セットアップ





SiO₂1µm,15µmタイプ比較

青 SiO₂ 1 µm 赤 SiO₂ 15 µm ともにAnode +460V G_{gem} ~ 19.5 ピークの位置はゲインに 比例(次ページ参照) SiO₂ 1 µm ->Gain~400 SiO₂ 15 µm ->Gain~2300 約6倍のゲイン上昇



電子飛跡検出型コンプトンカメラ

(Electron-Tracking Compton Camera: ETCC)

従来型コンプトン: ARMのみで評価 (SPD無限大)

ETCC: ARM+SPDで評価



ARM: エネルギー分解能に依存 SPD: 電子飛跡情報の精度に依存

SPDの向上により

点源に対する角度分解能

Point Spread Function (PSE)が大きく

SN比1:1000の条件でのシミュレーション







Micro-pixel chamber(µ-PIC)について



- ▶ 二次元ガスイメージング検出
- ▶ 銅電極、ポリイミド基板
- (プリント基板技術により作製)
- 大面積化: 10×10 cm², 30×30 cm²
- > 各ピクセル400 µmピッチ
- ▶ 位置分解能:RMS ~120 µm
- > エネルギー分解能: 22%@22keV
- > ガスゲイン:Max 16000,Typical 6000



µ-PICの応用について

✓ MeVガンマ線望遠鏡

Electron-Tracking Compton Camera (ETCC)



「要求]

位置分解能 < 90 µm







J. D. Parker, NIMA (2013)



さらなる高ゲイン・高位置分解能を実現するには



MEMS技術によるµ-PIC



高位置分解能MEMS µ-PIC実測

クロス東海との共同実験

2タイプの高位置分解能 MEMS µ-PICを 中性子ビームに当て信号検出を試みた





信号全く検出できず

~500



~1750

Ar/C₂H₆ 90/10, 1atm, Anode 460Vにおいて







