

新型LGAD検出器(AC-LGAD)の 光検出器への応用に関する研究

筑波大学大学院 素粒子実験研究室

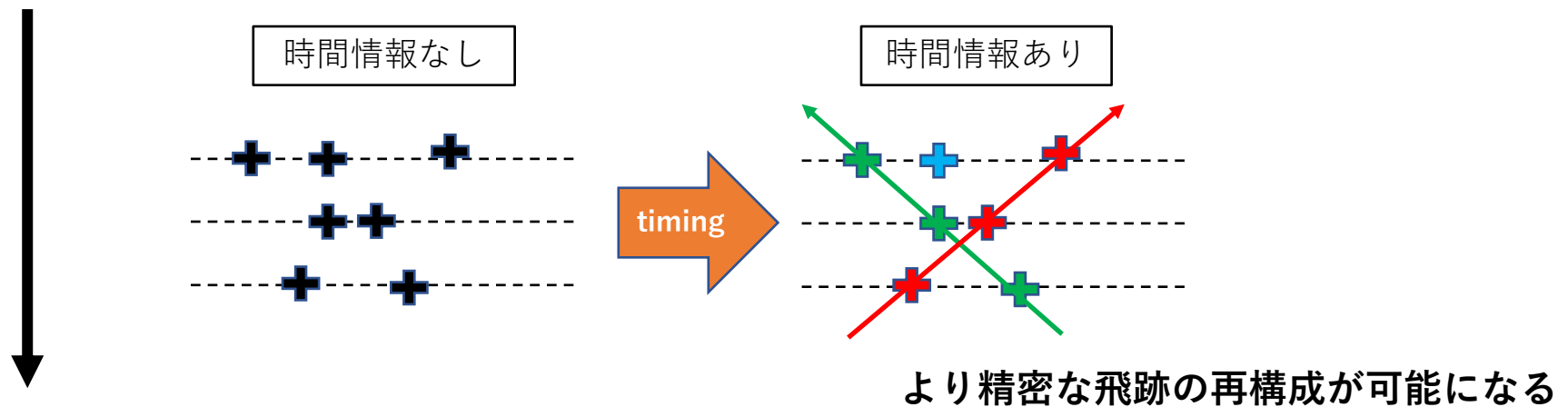
博士前期1年 五屋郁美

植田樹, 北彩友海, 原和彦, 中村浩二(KEK)

モチベーション

Low-Gain Avalanche Diode 検出器

- 高い**時間分解能**と**位置分解能**を併せ持つ半導体検出器
- 加速器実験分野で将来の高輝度化に向けて飛跡検出器として開発を進めている

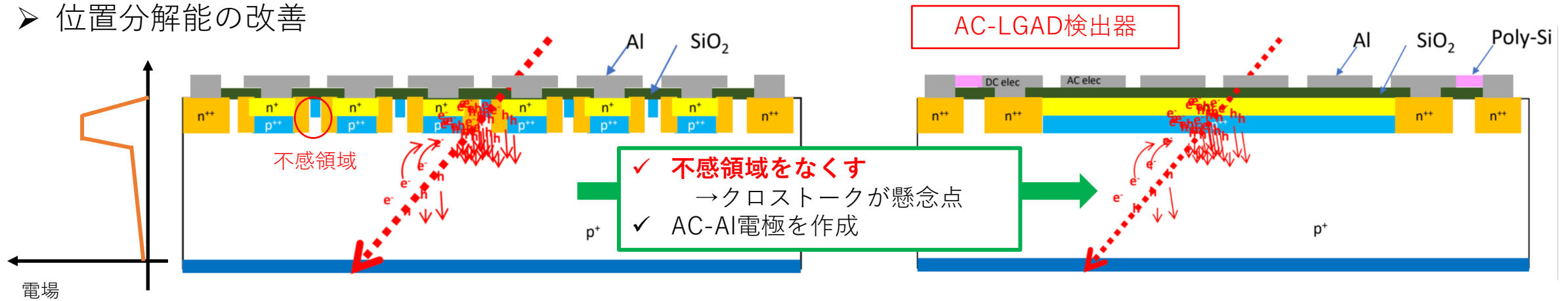


時間分解能も位置分解能も良い検出器を他分野で応用できないか？

- ✓ 医療, 産業, 分子イメージングなどへの応用→赤外光や可視光への感度が要求される

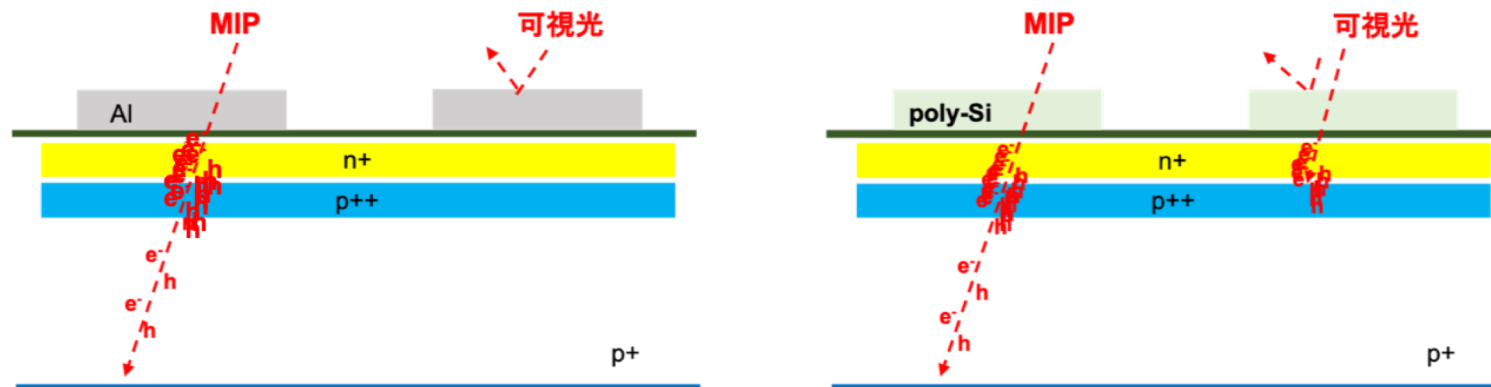
光検出器としてのAC-LGAD検出器

位置分解能の改善



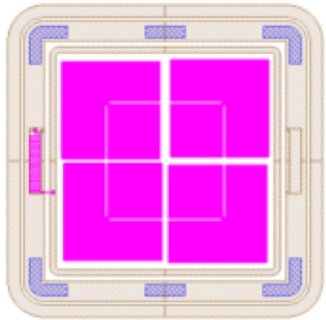
光検出器としてのAC-LGAD検出器

AC電極をAlから透明電極poly-Siにすると可視光や赤外線を透過する

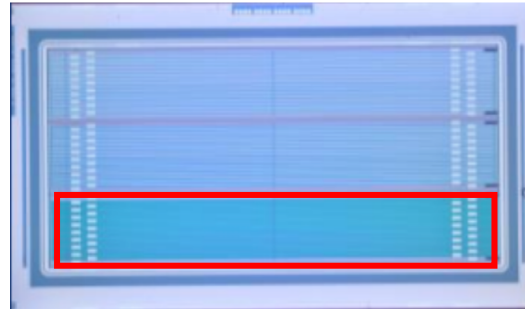


poly-Si電極サンプル

- ▶ サンプルの電極タイプ
E-bタイプ(n+抵抗,接合容量が最も大きい)を用いて評価した



pad型センサー
500um角
4 channels

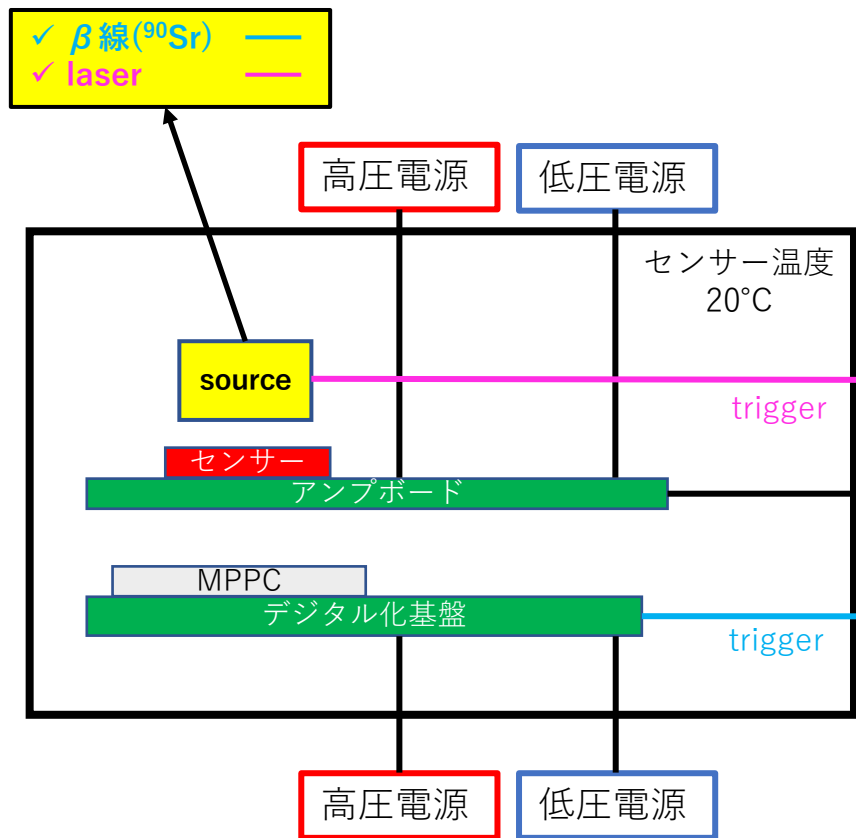


strip型センサー
80um pitch
35um width × 8 channels
45um width × 8 channels

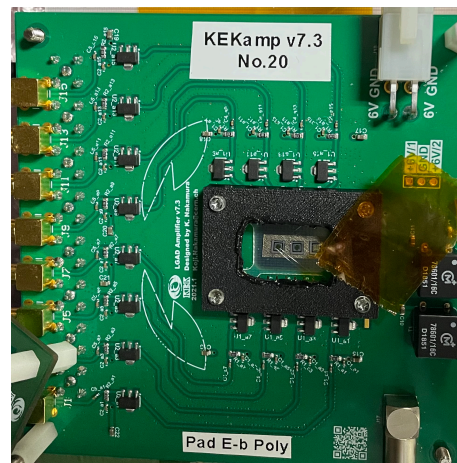
- ▶ 評価項目
 1. 光の透過率⇒pad
 2. 時間分解能⇒pad
 3. poly-Si電極に変えたことによる信号の減衰の有無⇒strip

セットアップ

➤ β 線, レーザー(赤外, 赤色)を用いた測定



アンプボード (KEK 16ch)



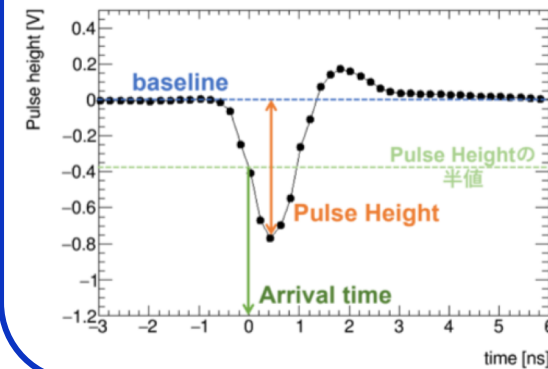
シンチレータ (MPPC)



WaveRunner 8208HD
帯域 2GHz
Ch数 8
サンプリング速度 10GS/s
垂直分解能 12bit
※FlashADCでとったデータもあります

デジタルイザー (FlashADC)
5GS/s 10bit
12bit ADC
2V full range

波高の定義



レーザーを用いた透過率

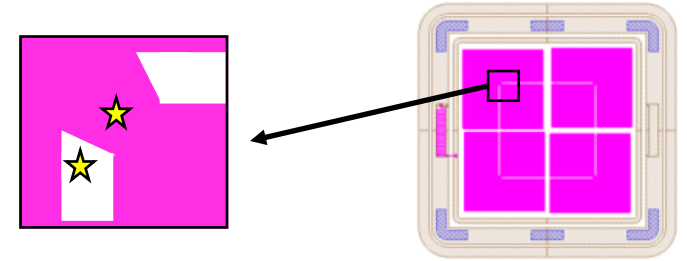
※bias voltage : -150V

- 赤外光レーザー
 - ✓ 波長：1064.25nm
 - ✓ パルス幅：38ps
 - ✓ 出力：10mW以上
 - ✓ jitter：10ps

- 赤色レーザー
 - ✓ 波長：634nm
 - ✓ パルス幅：99ps
 - ✓ 最大ピーク出力：89mW
 - ✓ jitter：30ps

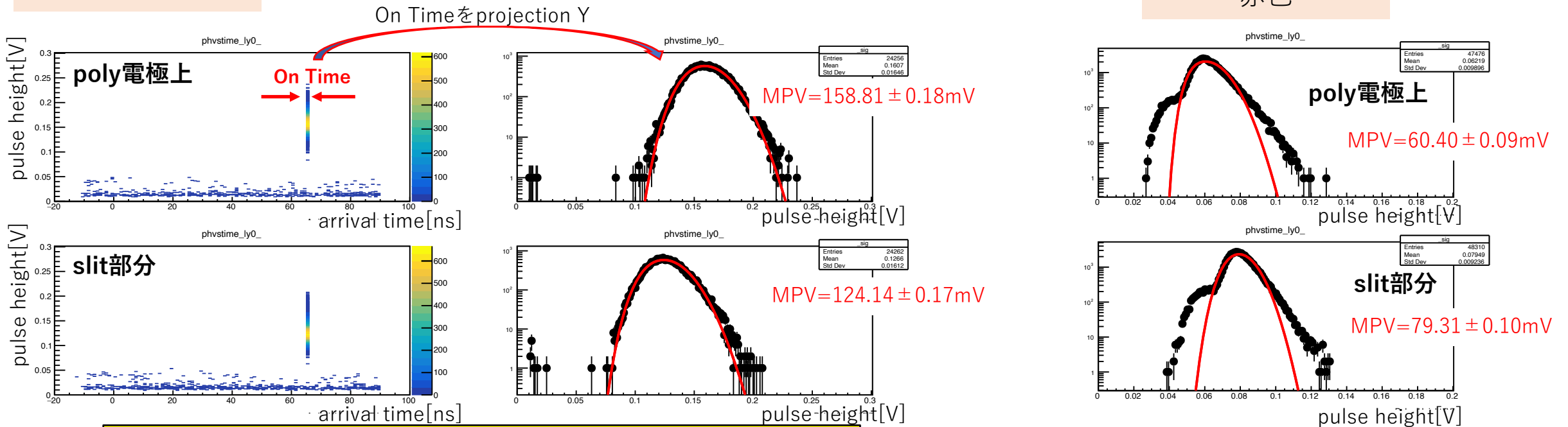
➤ 透過率

padのpoly電極上とslit部分に入射しMPVから透過率を求めた



赤外光

赤色



MPV(poly) > MPV(slit) ⇨ 裏面のAlでの反射が原因か

透過率：76.16 ± 0.15 %

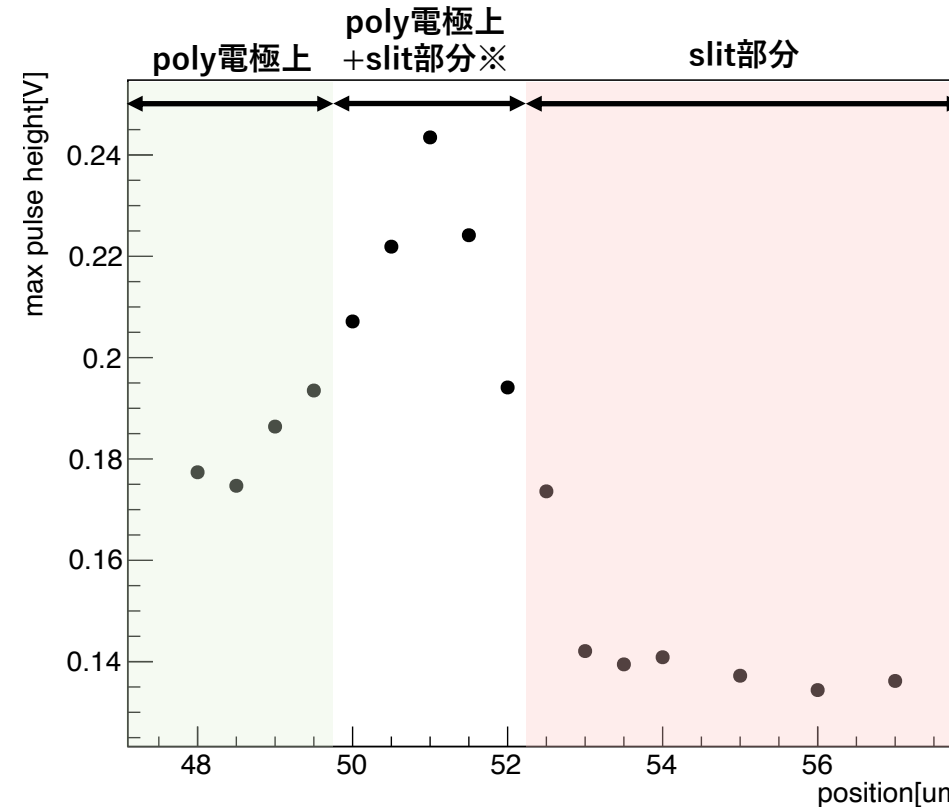
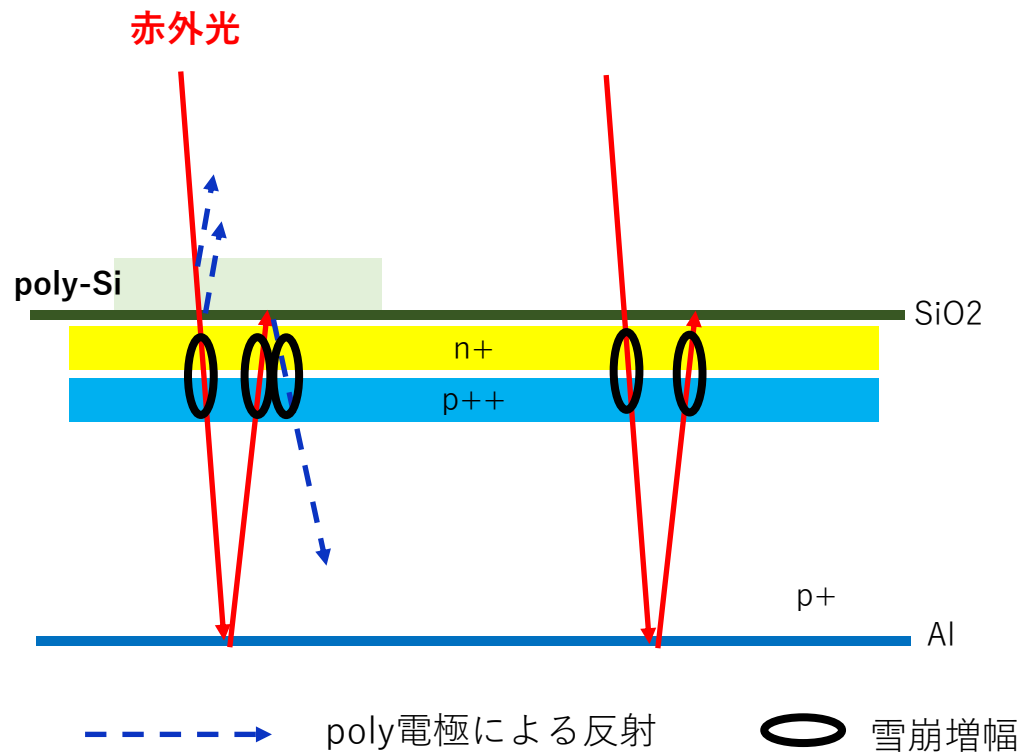
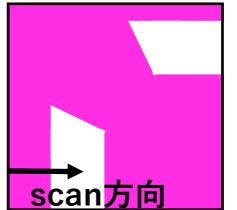
裏面AIでの赤外光の反射

※bias voltage : -150V

➤ MPVがpoly電極上>slit部分となるのはなぜか？

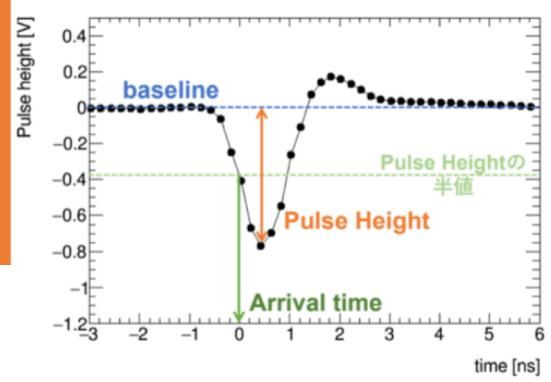
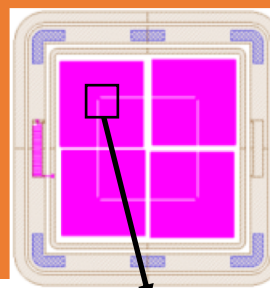
裏面のAIで反射した光が
さらにpoly電極で反射する

電極表面での反射(+電極内での散乱)



※レーザーの大きさによってpoly電極上とslit部分にまたがっている領域

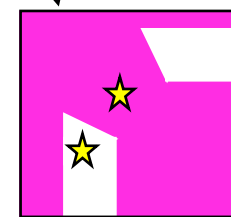
レーザーを用いた時間分解能測定



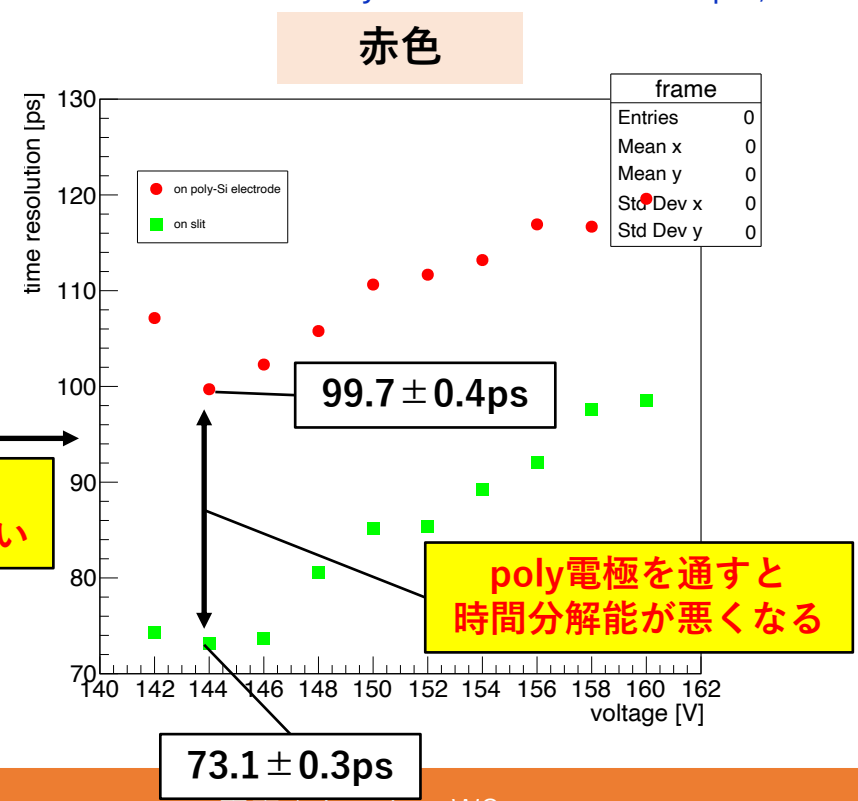
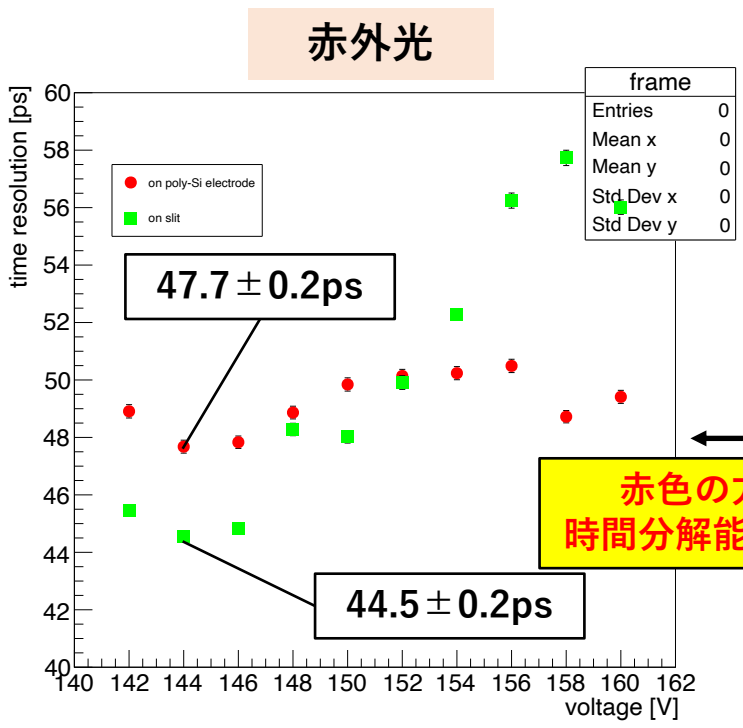
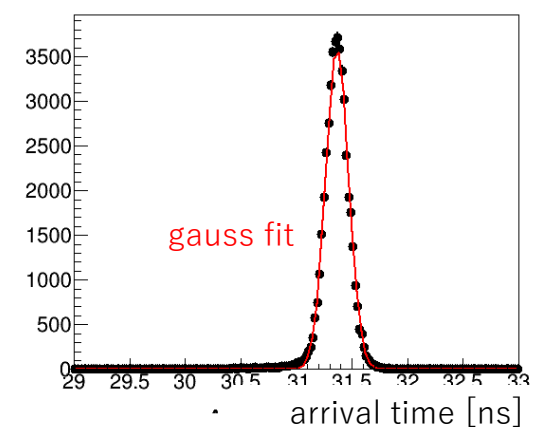
- poly電極上とslit部分で2Vステップでvoltage scanを行った
- 時間分解能：trigger信号との時間差(=arrival time)の σ

$$\sigma_{arrival\ time} = \sqrt{\sigma_{sensor}^2 + \sigma_{trigger}^2} \Rightarrow \sigma_{sensor} = \sqrt{\sigma_{arrival\ time}^2 - \sigma_{trigger}^2}$$

jitter → 赤外光 : 10ps, 赤色 : 30ps

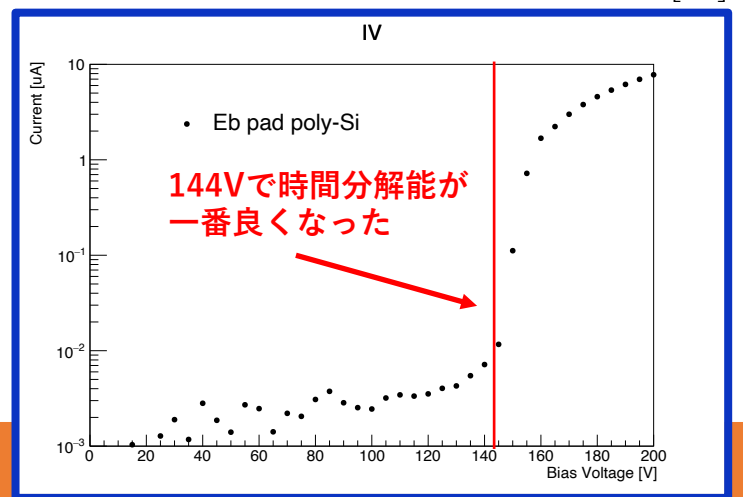


tit例
赤色レーザー, poly電極上, @144V
arrivaltime_ly0_

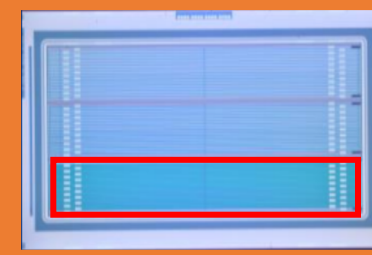


赤色の方が時間分解能が悪い

poly電極を通すと時間分解能が悪くなる

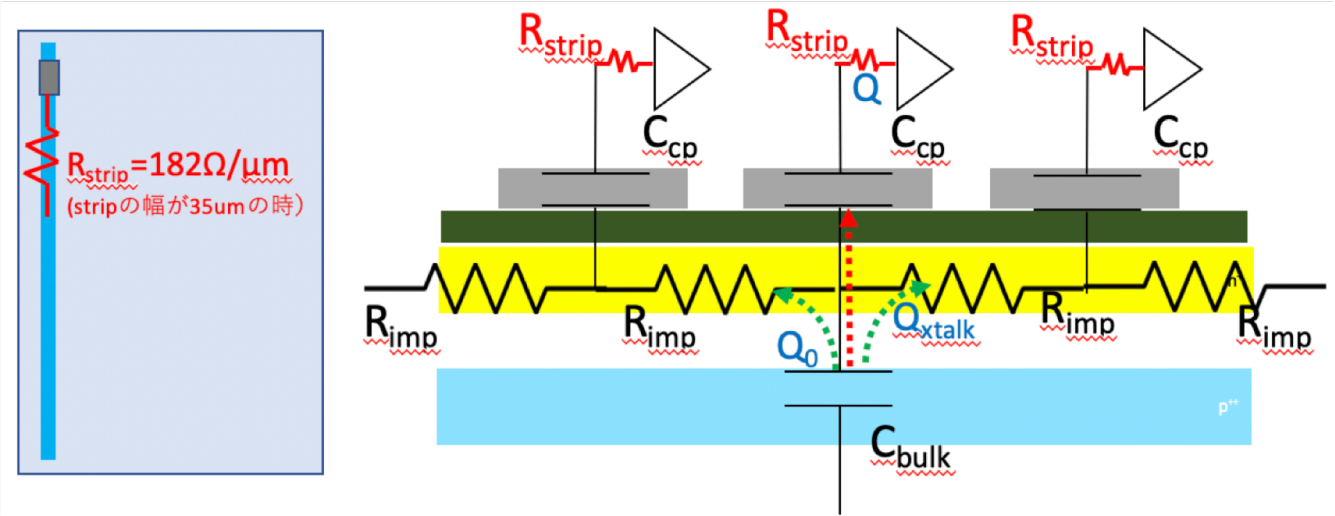
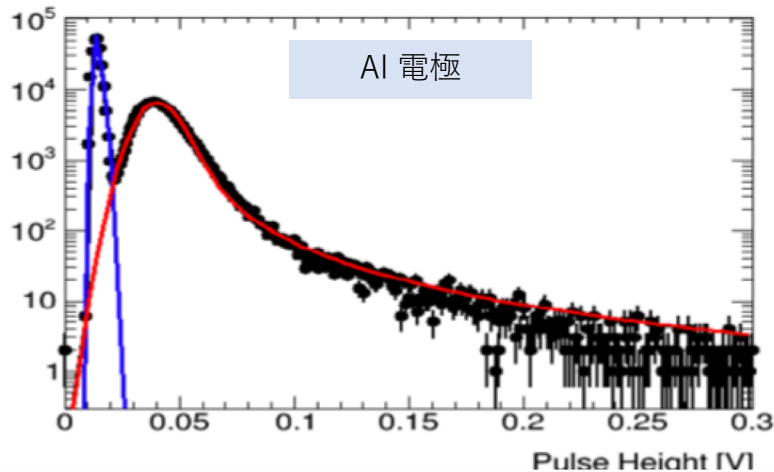
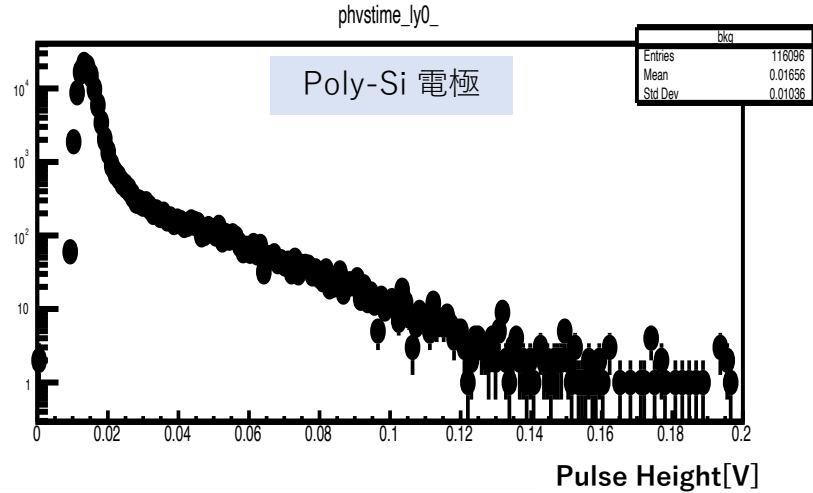


strip型センサーを用いた poly-Si電極による信号減衰の測定



※bias voltage : -155V

➤ Al電極と波高分布を比較



- poly-Si電極の信号はAl電極と比較して小さい
⇒ノイズと区別できない
⇒poly-Si電極自身の抵抗が大きいことが原因か？

$$Q = \frac{Z_{R_{imp}}}{Z_{R_{imp}} + Z_{C_{cp}} + Z_{R_{strip}}} Q_0$$

($Z_{R_{strip}}$ はワイヤーボンドパッドからの距離に比例して大きくなる)

⇒test beam @ELPH を行い、信号の入射位置依存性を確認した

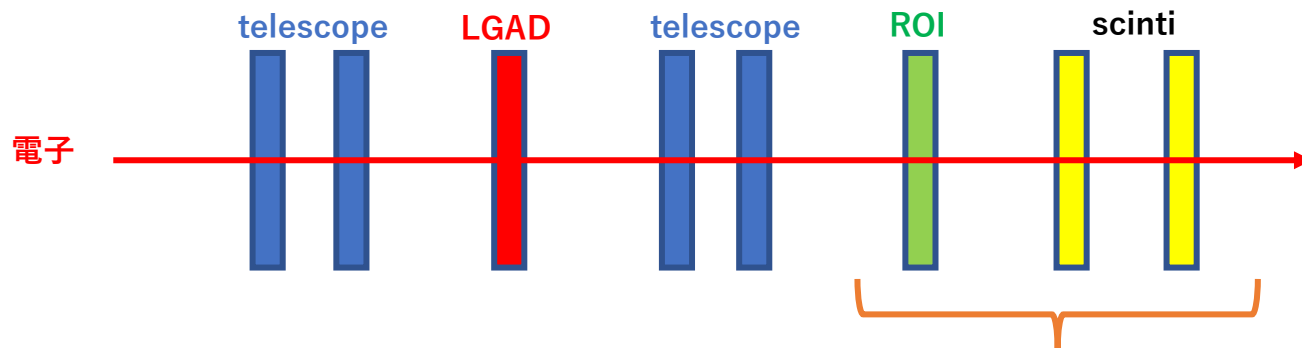
テストビーム@ELPH

➤ 東北大学電子光物理学センター(ELPH) : 7/8,9

- ✓ 800MeVの電子beam
- ✓ beam rate : 200~400Hz
- ✓ beam current : 14.38mA
- ✓ Qmagnet current : 1.23A(上流),0.81A(下流)

➤ LGAD

- ✓ strip 両極読み出し
- ✓ 36万トリガー
- ✓ bias voltage : -155V



Xilinx KC705 Evaluation board

トリガーロジックユニット
telescopeとLGADの
信号の同期を行う

ビームのポイント位置同定

- ✓ サイズ25×500umのpixelセンサー
- ✓ 90度回転させて設置し、2枚1組で使用

トリガーシステム

- ✓ サイズ50×250umのpixelセンサー : ROI
トリガー信号を出す範囲を指定できる
- ✓ scinti 2枚

WaveRunner 8208HD

帯域 2GHz
Ch数 8
サンプリング速度 10GS/s
垂直分解能 12bit

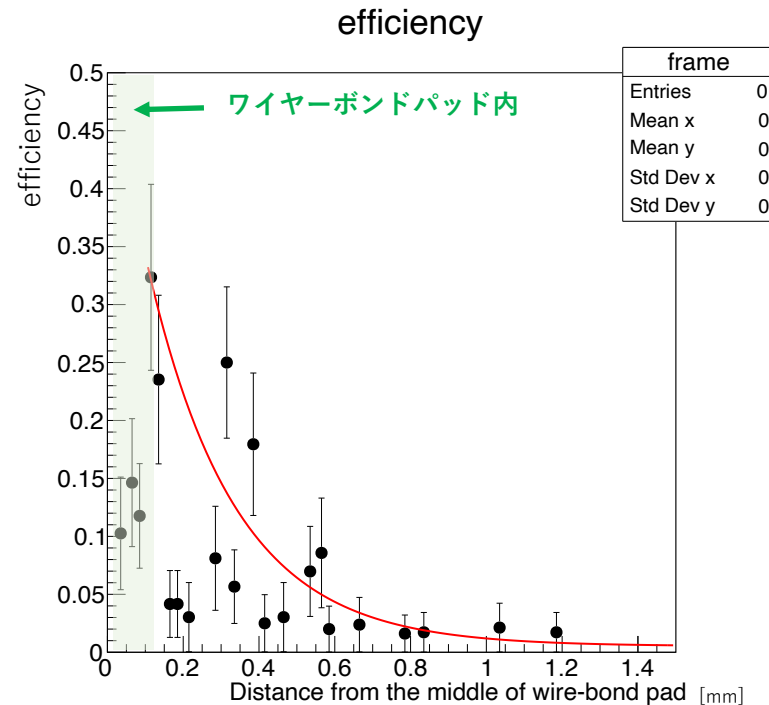
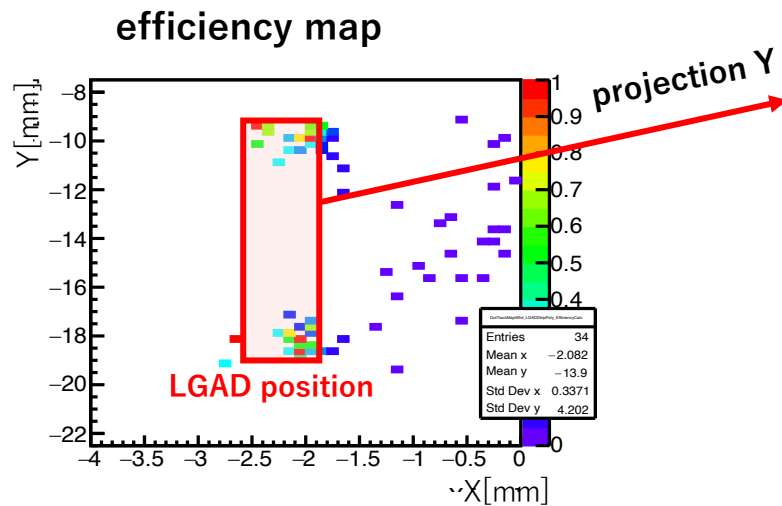


信号読み出しの位置依存性

➤ 解析方針

- ✓ LGADのhit = 20mV以上の信号
- ✓ 隣り合うstripにhitがあった場合は最大のpulse heightを持つhitを採用する
- ✓ tracking⇒telescope4枚 + ROIの5枚のセンサーのhit positionから直線fitする
 - ▣ x方向、y方向ともにChi squareが20より小さいtrackを採用
 - ▣ LGADのhit position : trackの指すLGADのpositionがLGADのalignmentの範囲内にあるときのtrackのposition

➤ 結果



➤ 関数を仮定してfit:

$$y = A \exp\left(-\frac{x}{\tau}\right) + B$$

efficiencyが1/eになる
WBの中心からの距離

$$\tau = 0.23 \pm 0.05 \text{ mm}$$

Poly-Si電極自身の抵抗によって信号が
減衰していることが確認できた

↓
poly電極の抵抗を下げる

まとめ

- ▶ 光検出器として応用できるAC-LGAD検出器を開発している
⇒AC電極をAlから透明電極poly-Siに置き換えたサンプルを作成、評価した

①透過率

- ✓ 赤色光：76.16 ± 0.15 %
- ✓ 赤外光：裏面のAlで反射が起こっていると考えられる
⇒裏面のAl剥離したサンプルで透過率を評価

透過率の波長依存性

②時間分解能

- ✓ 赤色光の方が赤外光よりも時間分解能が悪くなる
- ✓ 赤色光：poly電極上に入射すると時間分解能が悪くなる
⇒原因を調べる

③poly-Si電極による信号の減衰の有無

- ✓ poly-Si電極の抵抗により信号が減衰している
⇒poly-Si電極の抵抗を下げたサンプルを作成、評価