

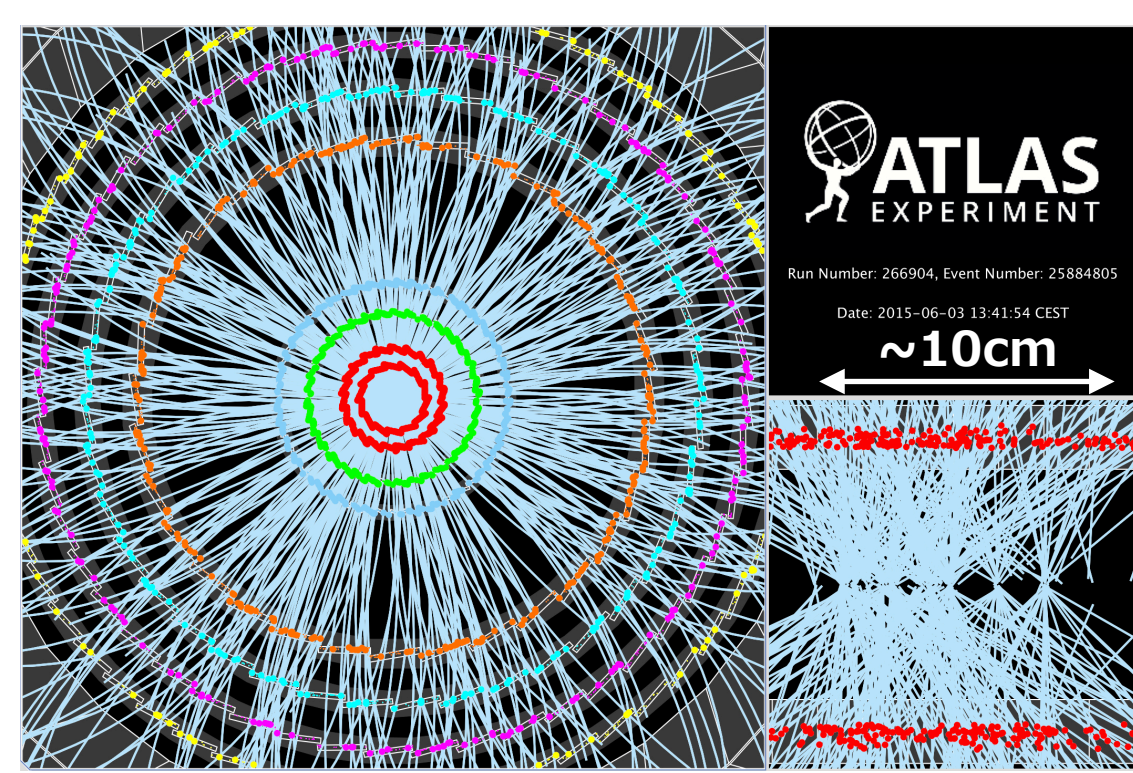
高時間分解能・位置分解能を達成できる 4次元半導体検出器の開発

第4回 TIA 光・量子計測シンポジウム
2019年3月8日 @つくば国際会議場



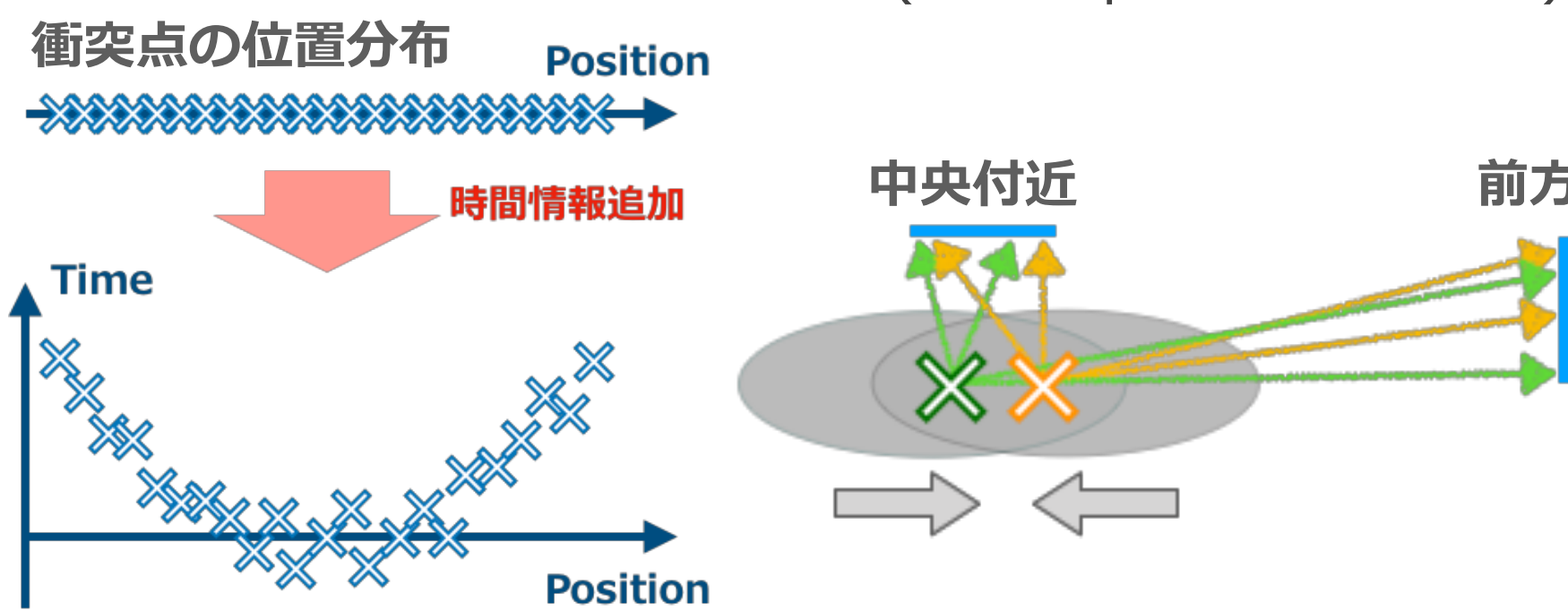
筑波大学 和田冨, 大鳴匡至, 原和彦, KEK-INPS 海野義信, 中村浩二

4次元飛跡検出



ATLAS実験の衝突点再構成の様子
(17衝突点が再構成された事象)
→ HL-LHCでは200/衝突となる予想

- 飛跡に時間情報を追加できれば、...
- 位置情報だけでは困難な衝突点の区別が可能
 - 特にVertex精度の劣る前方では時間測定が有効
($\Delta t = 10\text{ps} \gtrsim \Delta z = 3\text{mm}$)

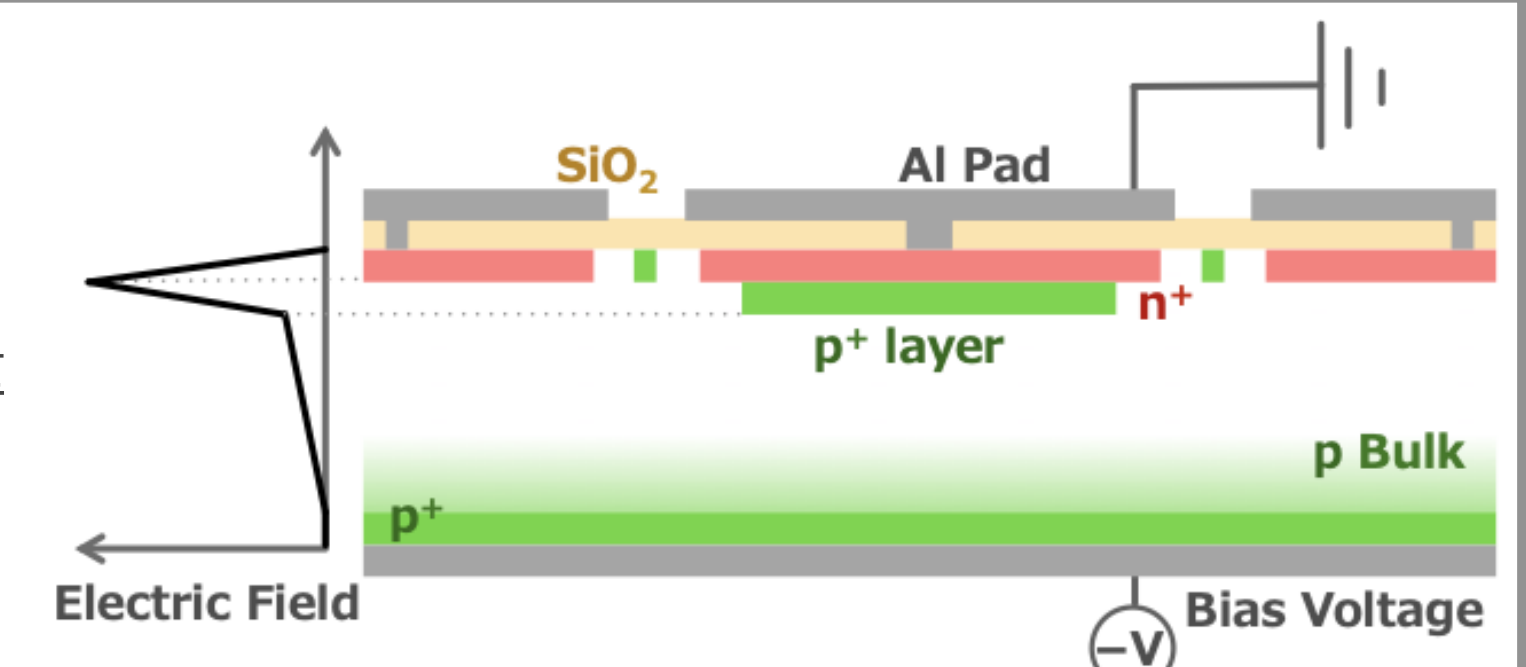


- ヒットひとつひとつに時間情報を追加できれば、...
- 時間情報を繋ぐだけで飛跡を再構成することが可能
 - 間違った飛跡の除去かつ飛躍的な再構成時間の低減

→ 飛跡再構成法の革新

Low-Gain Avalanche Detector (LGAD)

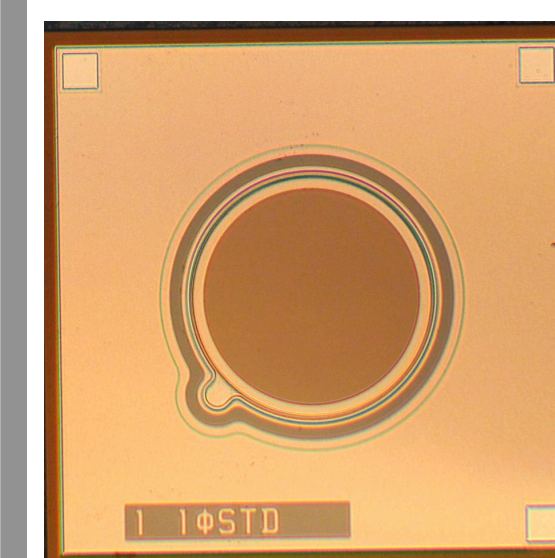
読み出しn+電極直下にp+層を形成.
高電場によるアバランシェ増幅.
→ より薄い(50 μm)基板でも十分な信号量
→ 短い収集時間かつ速い立ち上がり



→ 高時間分解能O(10ps)

同時に高位置分解能O(10 μm)を併せ持つことで4次元検出器の候補となり得る。

浜松ホトニクス社製サンプル



Padタイプ

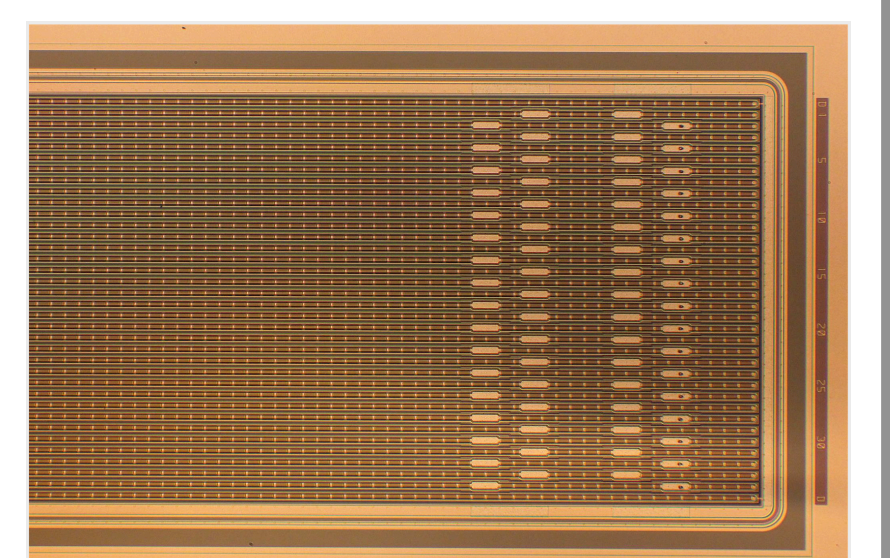
受光窓: 直径1mm

活性層厚: 50 or 80 μm (センサー厚: 150 μm)

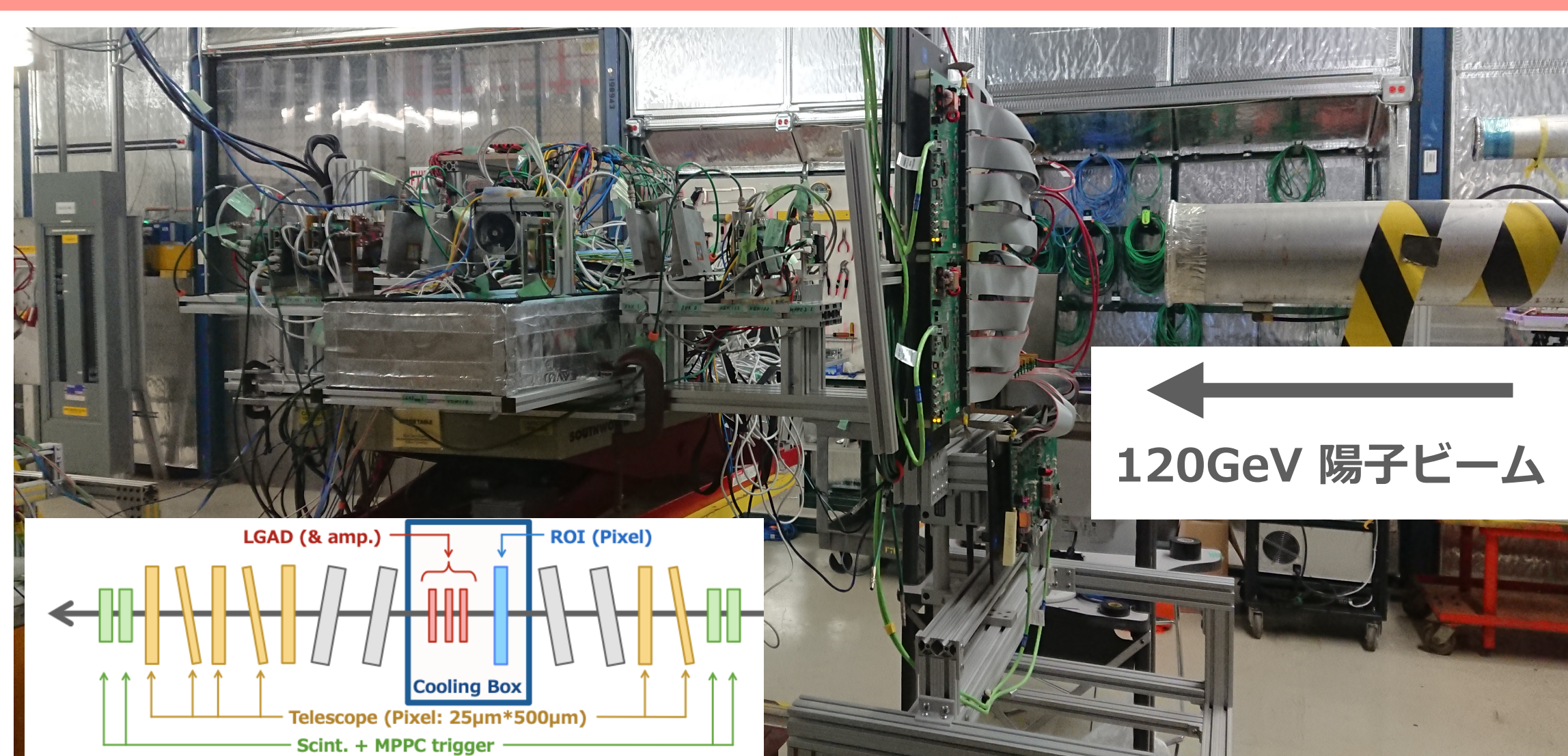
p+層不純物濃度: 4段階 (A<B<C<D)

Stripタイプ

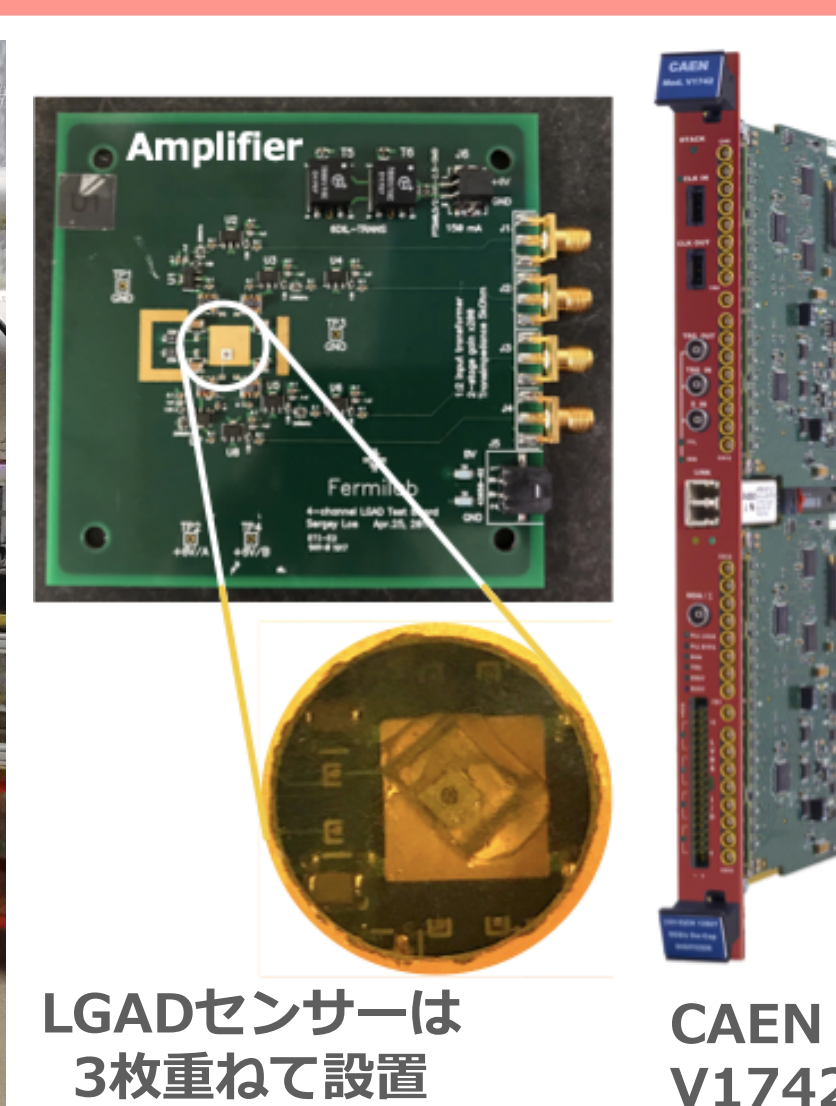
ストリップピッチ: 80 μm



高エネルギービーム試験による時間分解能評価



120GeV 陽子ビーム



LGADセンサーは3枚重ねて設置

CAEN V1742

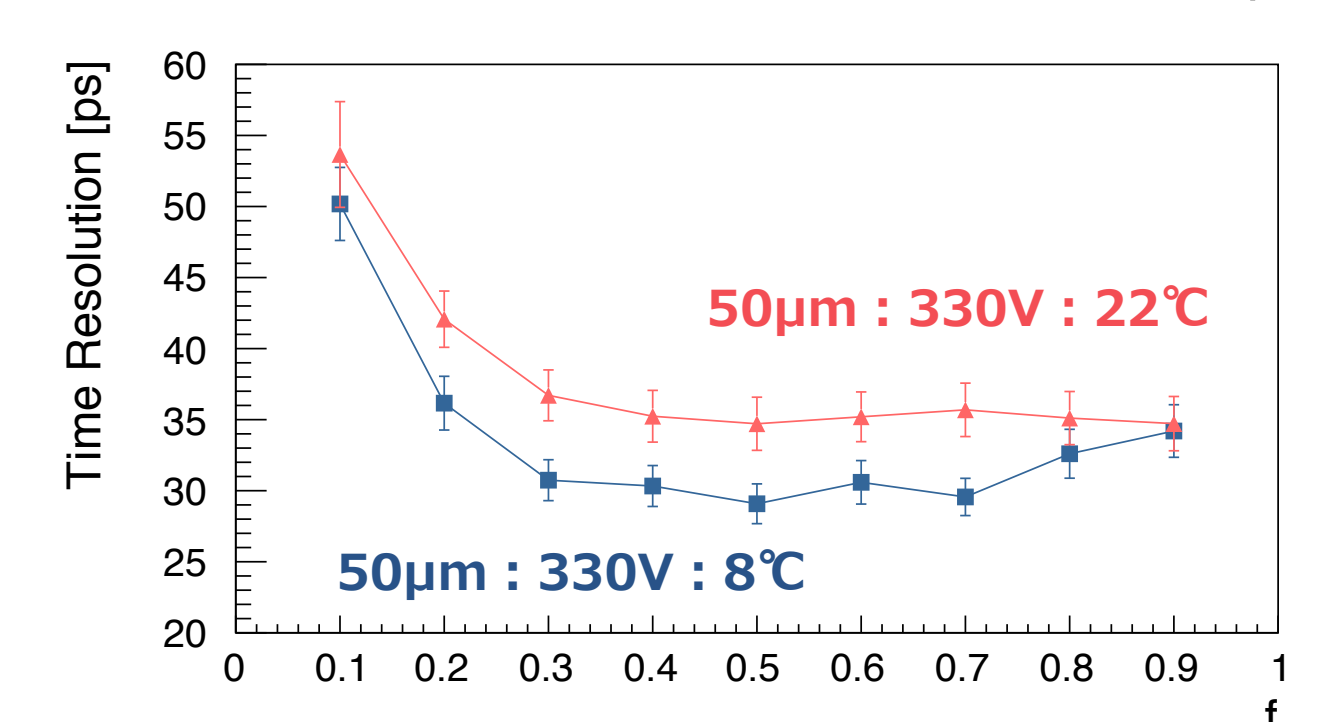
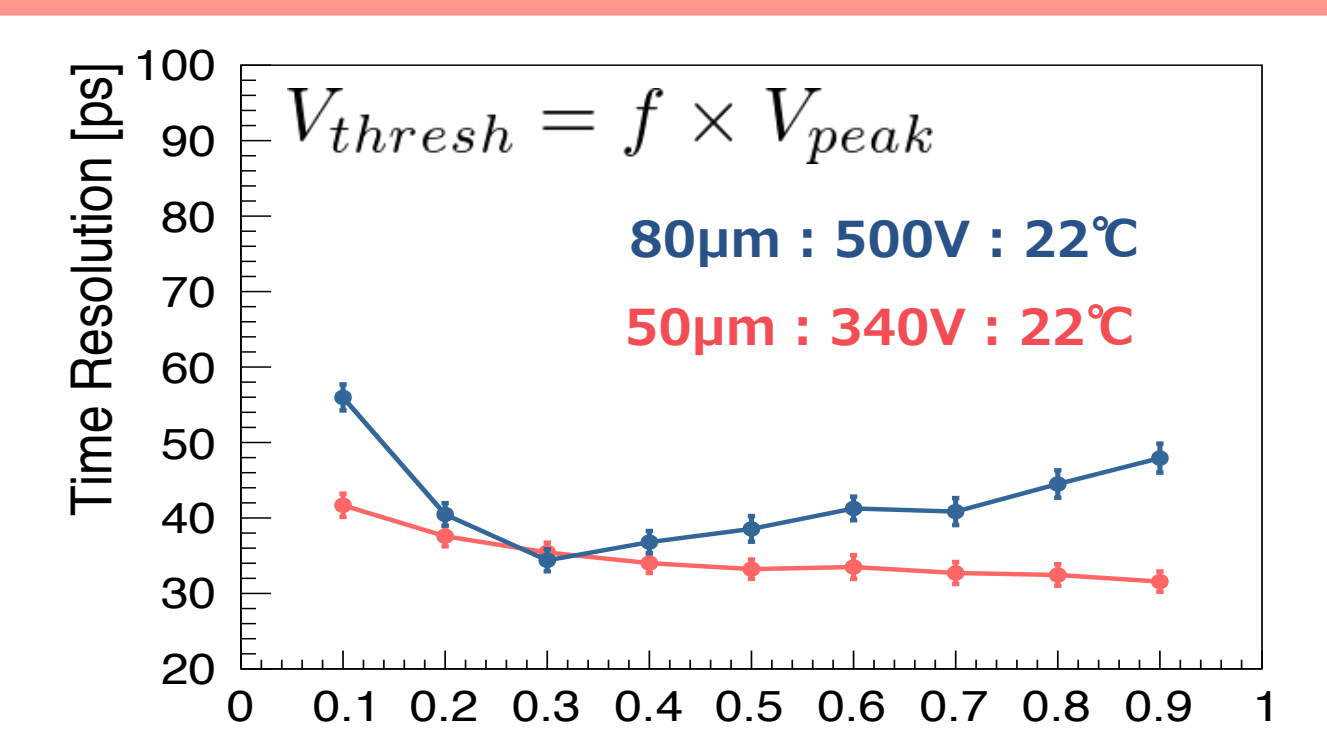
読み出し方法

LGAD信号は増幅器(高速トランジスタ)で増幅後, Flash ADC (5GS/s)で読み出した.

→ 波高: 12bit, 1Vpp
(1V/4096 ~ 0.25mV)

→ 時間: 10bit, 5GS/s
(200ps*1024~200ns)

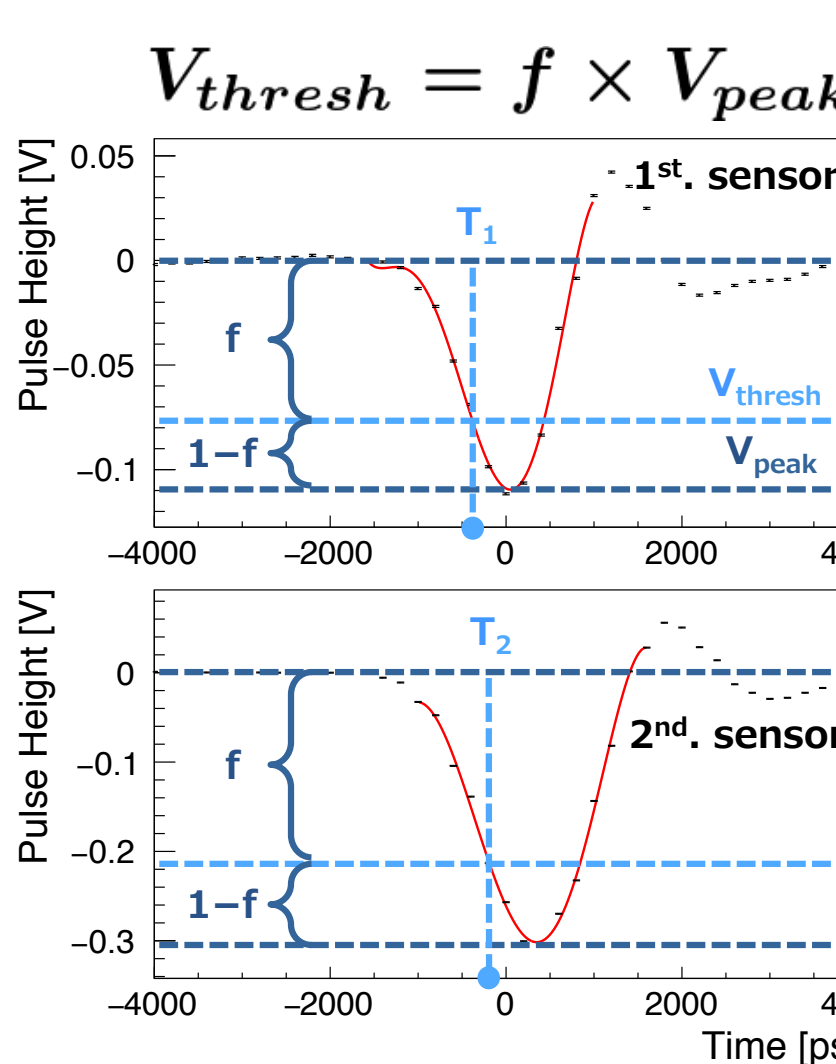
2018年2月20日~3月4日
@フェルミ国立研究所 (シカゴ)



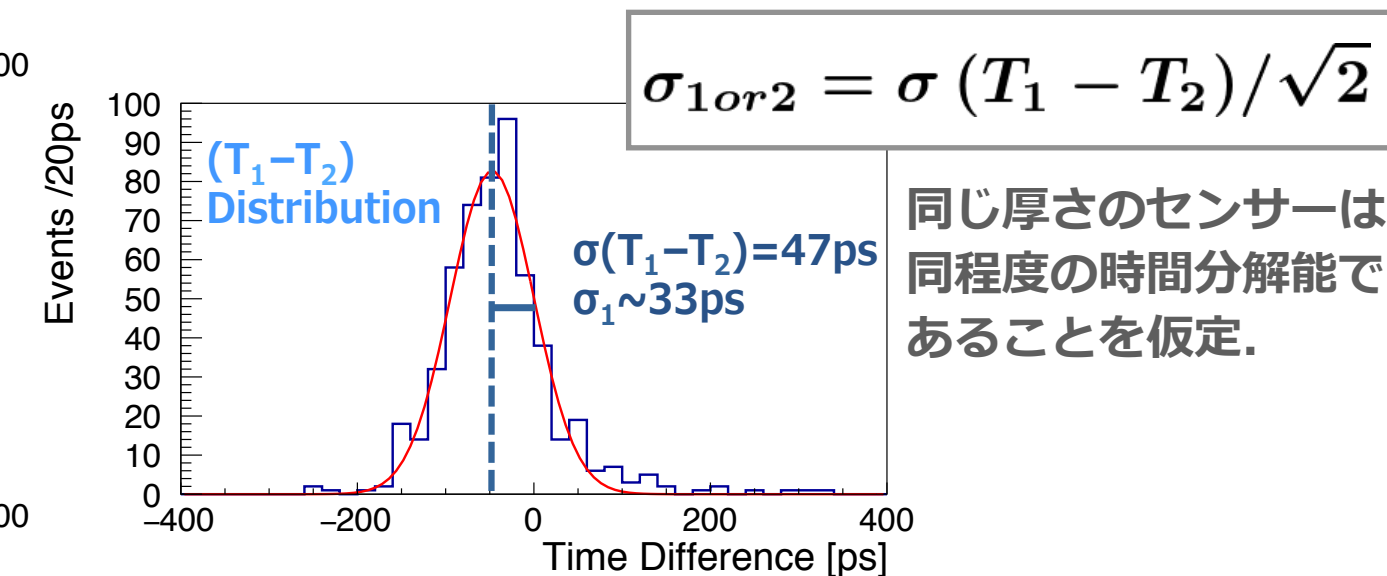
結果

- より良い時間分解能は,
- より薄い活性層厚で得られた.
 - 50 μm : ~30ps @340V (f=0.9)
 - 80 μm : ~40ps @500V (f=0.3)
 - より低い温度で得られた.
 - 22 $^{\circ}\text{C}$: ~35ps @330V (f=0.5)
 - 8 $^{\circ}\text{C}$: ~28ps @330V (f=0.5)

評価方法

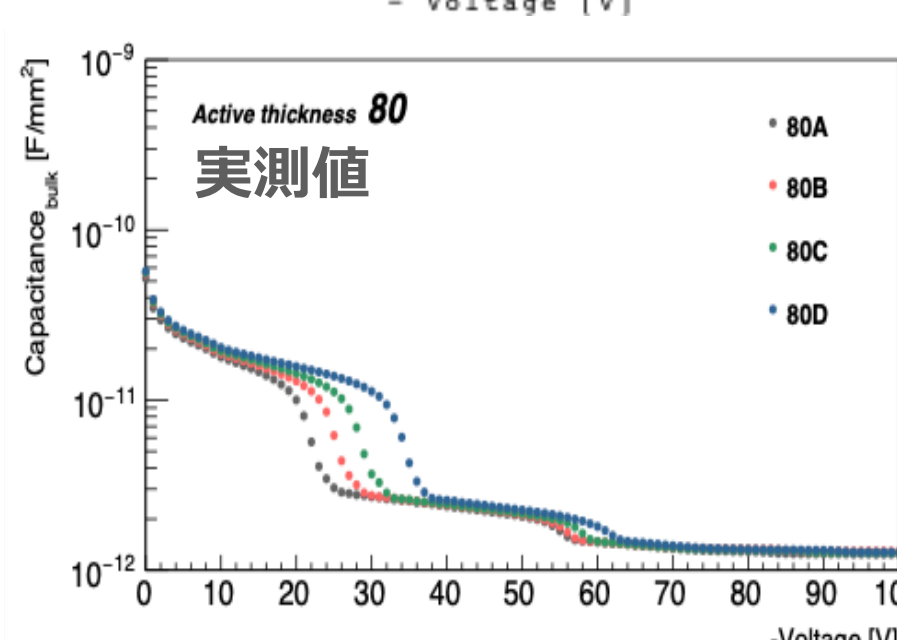
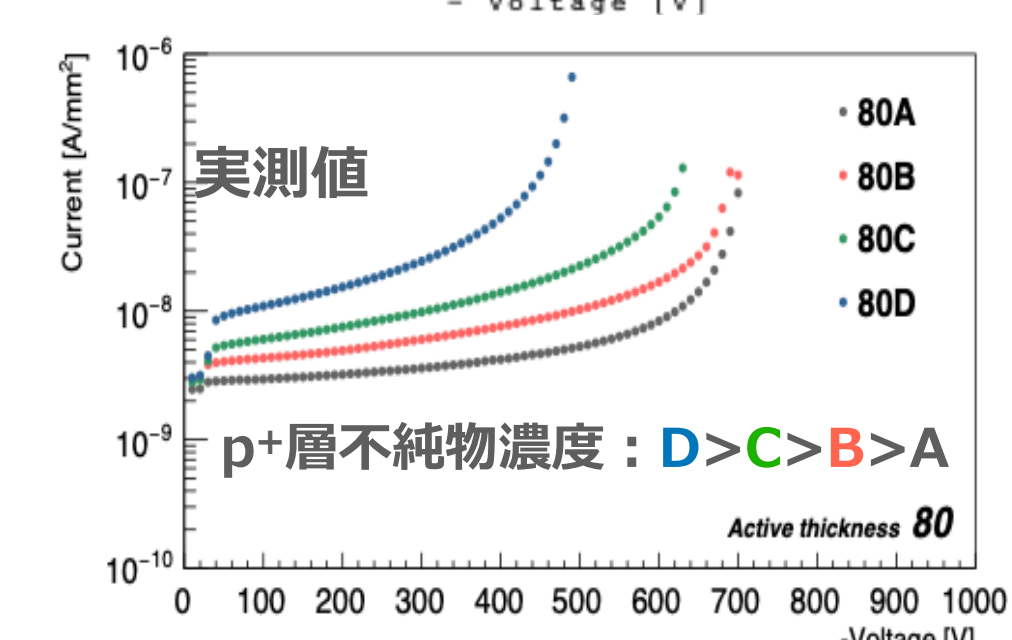
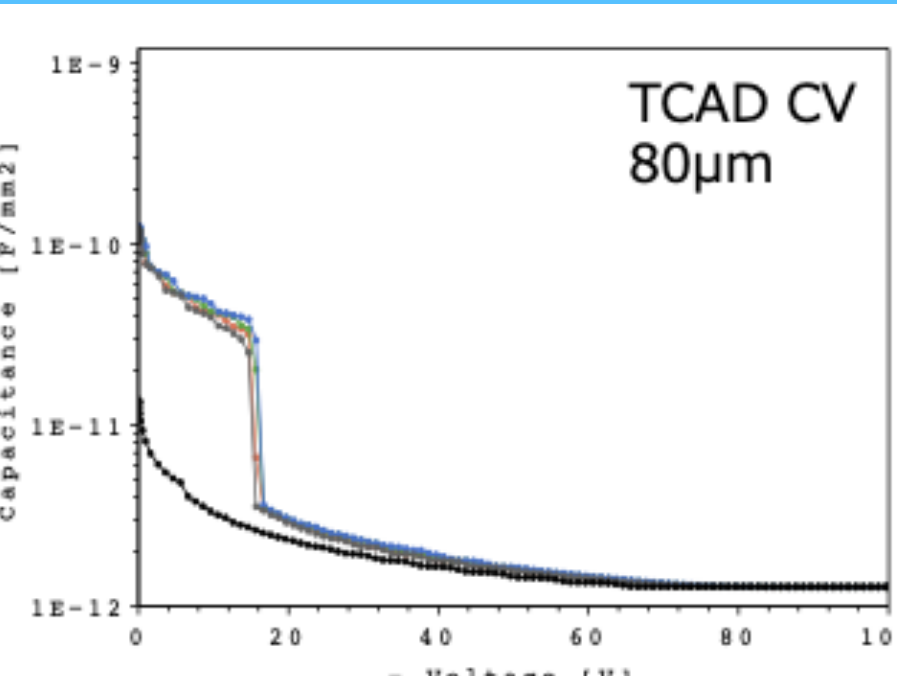
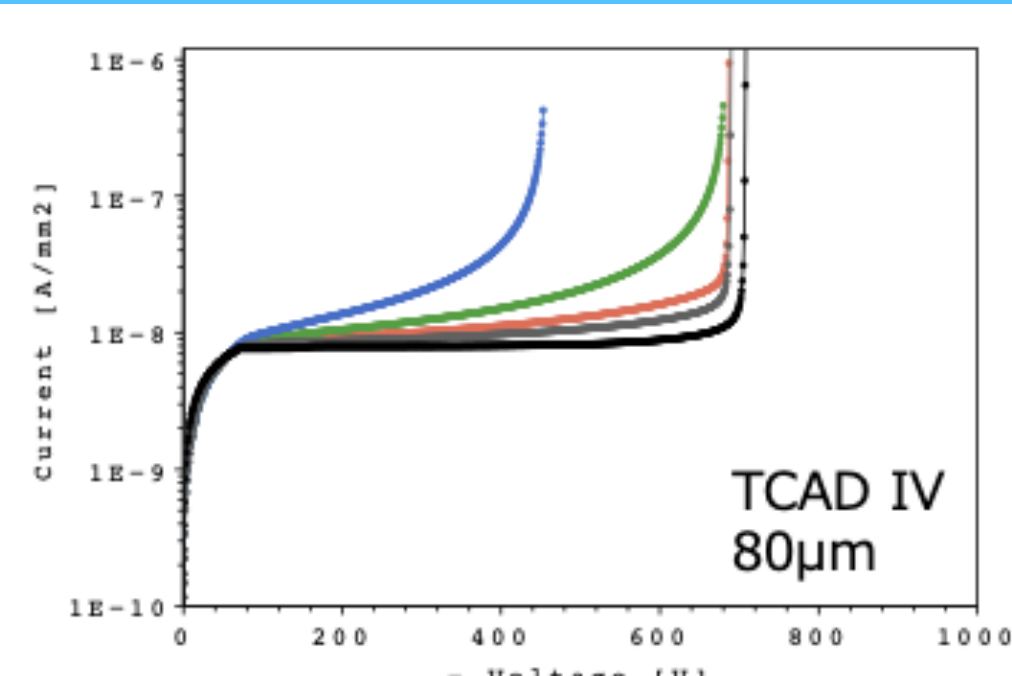


5次関数でフィットした波形のピーク値に係数fをかけて閾値を定め, それを超える時間を2つのセンサーでそれぞれ求める. その時間差分布のシグマから時間分解能を算出する.

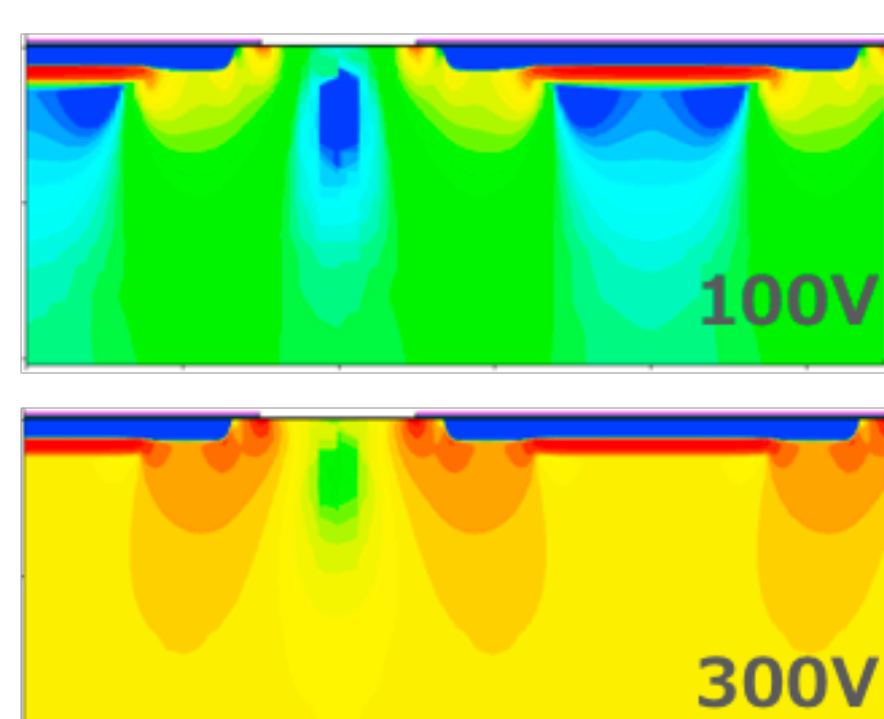


構造最適化のためのTCADシミュレーション

TCAD Sentaurus™
(synopsys社)

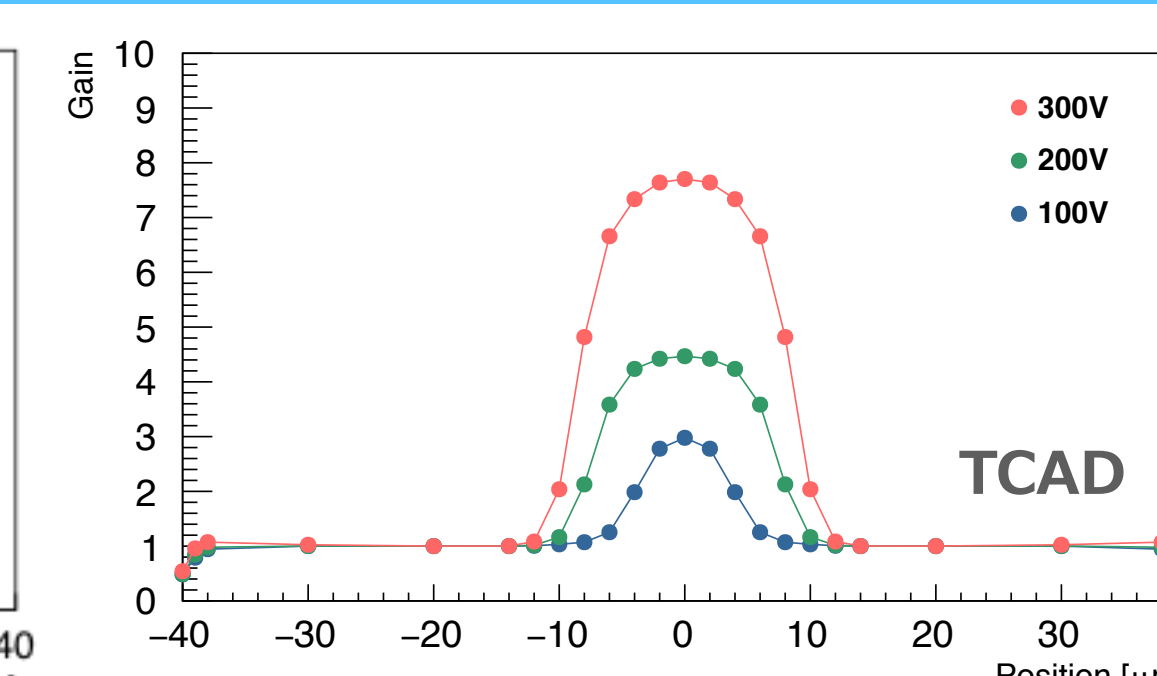
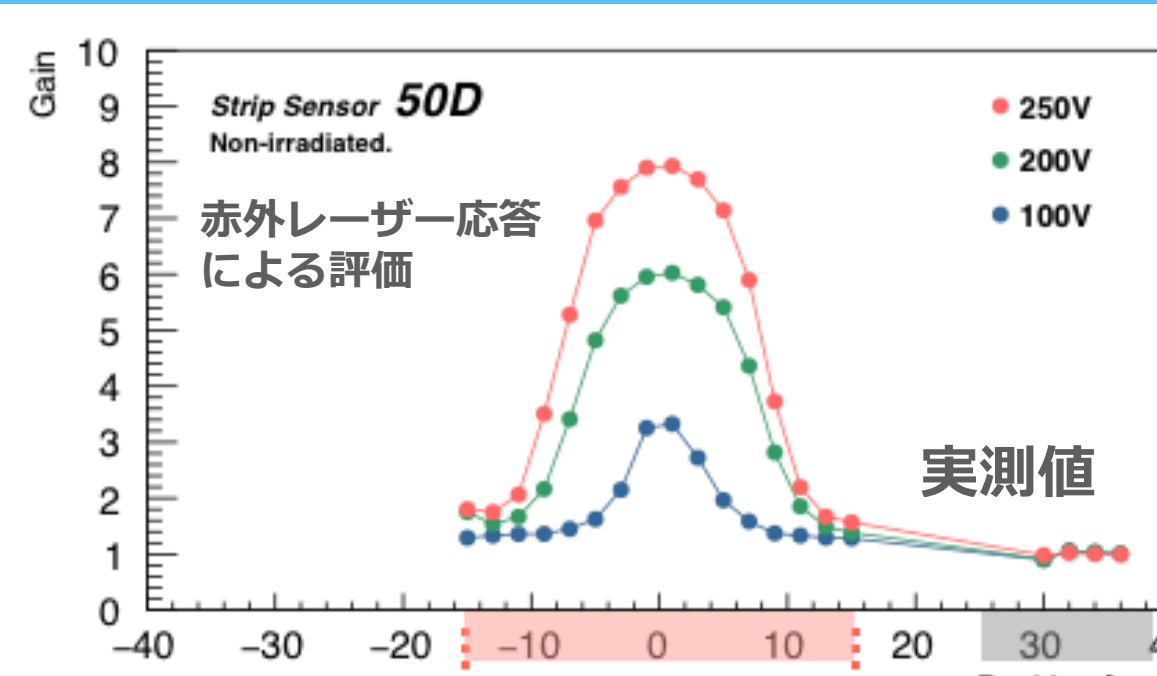


シミュレーションによる実測値の再現



電離衝突頻度分布

100Vでは増幅層下の電場が弱く, 増幅できていないことが分かる.
300Vでは電極下だけでなく電極端の電場が大きくなり, これがブレイクの原因であることが分かった.



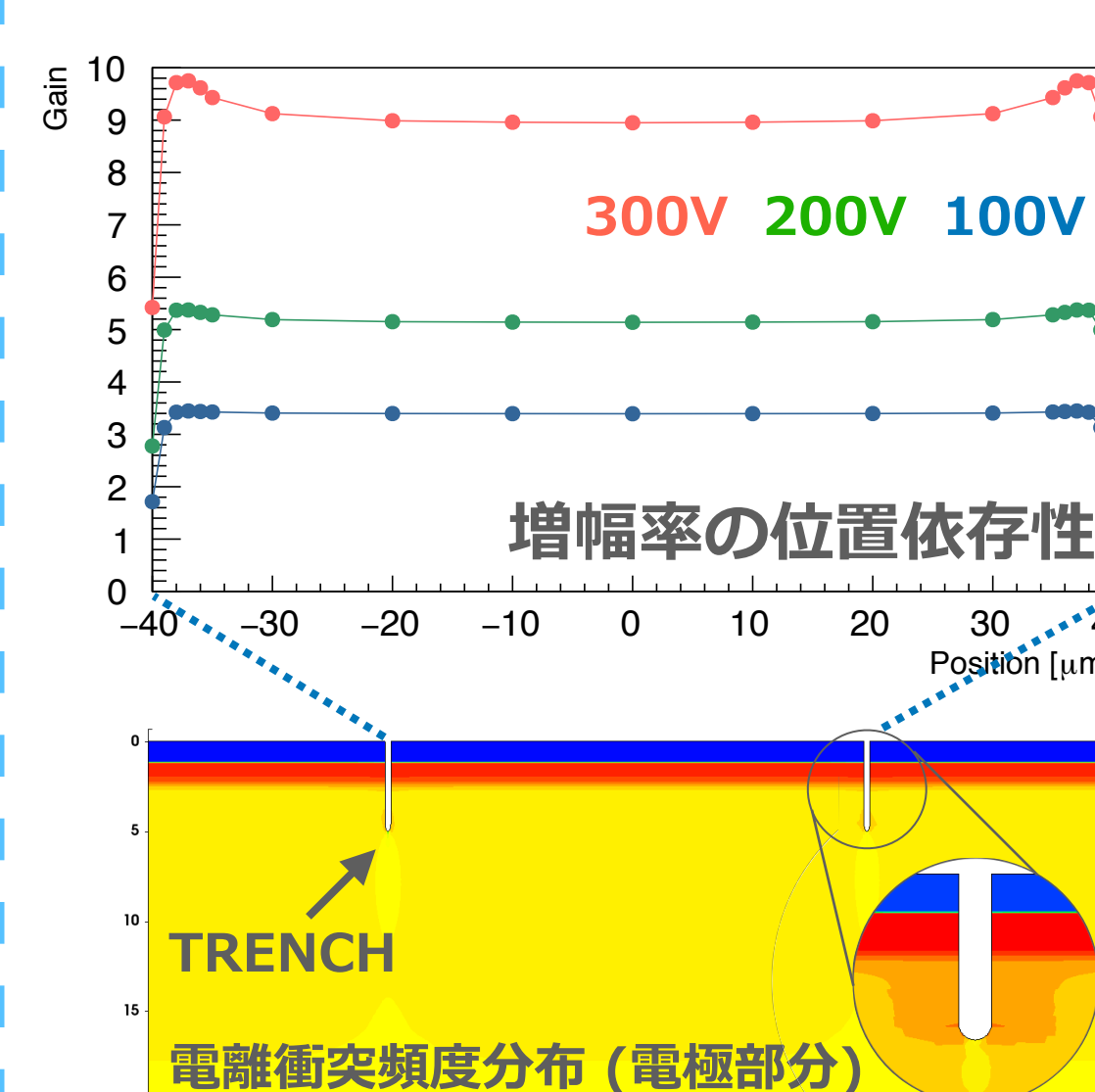
増幅率の位置依存性

シミュレーションでも再現されたように, ストリップ型センサーでは増幅率が一定ではないことを確認済.
実用化のためには, 十分な増幅率をより広い領域で一様に得ることが必要.

→ シミュレーションによる電極構造の検討が必須

新たな電極構造候補: トレンチ構造

電極分離を物理的な溝で行う構造



- 溝の周辺数 μm を除いて, 従来の構造と同等の増幅率を一様に得られた.
- 高電圧では溝付近で増幅率の上昇が見られるが, 電離衝突頻度分布から溝付近には電場が集中し, より増幅されるためだと考えられる.
- IV特性からは, 同電圧で得られる増幅率は従来の構造よりも大きく, 高電圧下でもブレイクしにくいことが分かった.

→ トレンチ構造は新たな電極構造候補として有望であることが分かった

まとめ 4次元飛跡検出の実現を目指し, LGADの開発を進めている.

- ビーム試験によりLGADの信号を確認し, 30psより優れた時間分解能を達成した.
- シミュレーションでは実測値の再現と共に, 新たな電極構造としてトレンチ構造が有力であることを示した. パラメータの最適化や他の電極構造の検討が今後の課題となる.

Acknowledgement

