

# 折り返し積分を用いた

## ピクセル ADC 内蔵擬似 3 次元粒子検出 LSI に関する研究 Quasi-3D Pixel Readout LSIs for Gaseous Particle Detectors with Folding Integration Technique

永塩 啓  
Akira Nagashio

K. P. Sengendo  
K. P. Sengendo

宮原 正也  
Masaya Miyahara

松澤 昭  
Akira Matsuzawa

東京工業大学大学院理工学研究科電子物理学専攻  
Department of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology

### 1. まえがき

素粒子の情報を 3 次元で得る技術として Time Projection Chamber(TPC)がある[1]。TPC では、素粒子がガス領域を通過した時にエネルギー損失に従うイオン対が電離によって生成される。この電離電子はドリフト電場により検出用ピクセルに誘導され、素粒子の 3 次元情報となる。このための読み出し回路として、ピクセル毎に ADC を積載し直接電荷を測定する擬似 3 次元粒子検出 LSI である Quasi-3D Pixel Readout LSI(QPIX)が提案されている[2]。QPIX では Charge Sensitive Amplifier(CSA)で電荷-電圧変換し、ADC で直接測定する。しかし、CSA には電荷分解能とダイナミックレンジ (DR) にトレードオフ関係があり両者の性能向上が困難であった。この問題を解決する方法として、折り返し積分を用いた CSA を提案する。この方法により電荷分解能を 10 倍、DR 14dB の性能向上を達成した。

### 2. 従来の CSA

従来の CSA を図 1 に示す[2]。パッドで検出した電荷を帰還容量  $C_f$  に蓄積することで電圧に変換し、直接 ADC で電荷測定する。 $A_0$  を十分大きい理想状態とすると、この  $C_f$  は増幅器の最大出力  $V_{int,max}$  と蓄積電荷の最大値  $Q_{i,max}$  から、

$$C_f = \frac{Q_{i,max}}{V_{int,max}} \quad (1)$$

で表される。一方で、CSA の電荷-電圧利得  $A_Q$  は、

$$A_Q = \frac{V_{int}}{Q_i} = -\frac{1}{C_f} \quad (2)$$

となる。電荷分解能の向上のためには小さな  $C_f$  が必要となるが、式 1 より電荷の最大値は減少する。このため従来の方法では電荷分解能と DR にトレードオフの関係がある。

### 3. 折り返し積分を用いた CSA

折り返し積分を用いた CSA を図 2 に示す。CSA 出力  $V_{int}$  が参照電圧  $V_{RC}$  より小さいとき (積分期間)、比較器は Low を出力しスイッチ  $\phi_1$  が ON、 $\phi_2$  が OFF となる。CSA は通常に動作し、放電回路は  $C_{dis}$  の右側のノードに正電荷を蓄える。 $C_f$  に電荷が貯まり、 $V_{int}$  が  $V_{RC}$  よりも大きくなると (折り返し期間)、比較器は High を出力しカウンタに 1 が足され、スイッチ  $\phi_1$  が OFF、 $\phi_2$  が ON となる。 $C_f$  の左側のノードには負電荷が蓄積するが、このノードに  $C_{dis}$  に蓄積されていた正電荷が流れ込み  $C_f$  の電荷の一部を打ち消す。このため  $V_{int}$  は低下し、比較器が Low となり積分期間へ切り替わる。入力電荷が大きいと各期間を繰り返す(図 3)。この折り返し制御によって電荷分解能の

向上と DR の向上が両立され、10 倍の電荷分解能と DR 14dB の向上が得られた(図 4)。

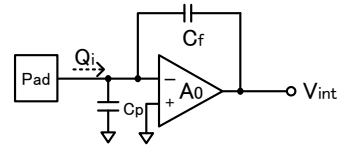


図 1 従来の CSA

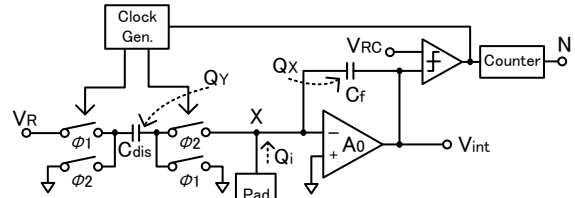


図 2 折り返し積分を用いた CSA

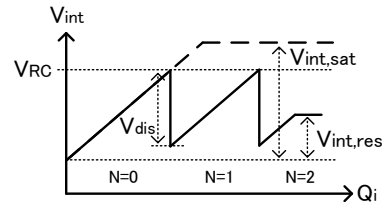


図 3 折り返し特性

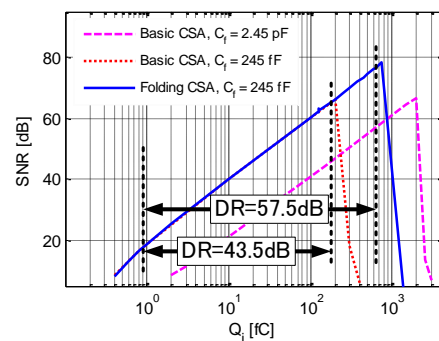


図 4 DR のシミュレーション結果

### 謝辞

本研究の一部は、高エネルギー加速器研究機構による大学支援事業、並びに東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社の協力で行なわれたものである。また AFS プラットフォームをご提供いただいた Berkeley Design Automation 社に感謝する。

### 参考文献

- [1] W.M.C. Sansen et al., IEEE TCS, Vol.37, pp.1375-1382,1990.
- [2] F.Li et al., NIMPR, Vol.650, pp.101-105,2011