

# *B physics seminar: Semiconductor Detectors*

## 10.6 Position-Sensitive Detectors

Reference :W.R.Leo “Techniques for nuclear and particle physics experiments”

## 10.6 Position sensitive detector

半導体検出器...高い位置分解能  
磁気スペクトログラフに使われている  
photographic emulsionの代わりになる  
全電子化されたdetectorが必要。

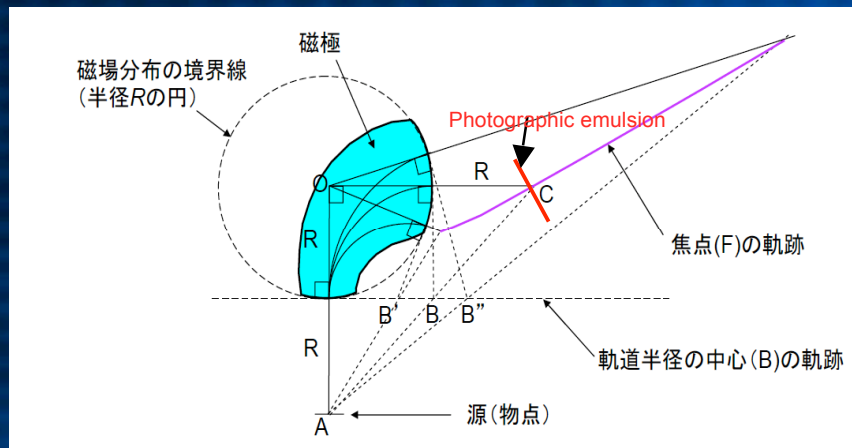
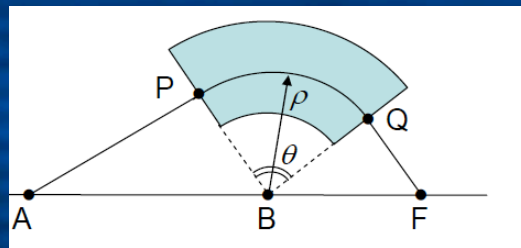


注目

### two methods

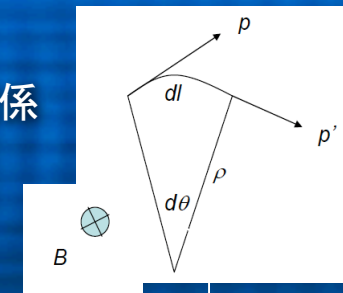
1. Continuous readout with resistive charge division
2. Discrete array with readout element  
(どちらも1D2D両方可)

# 磁気スペクトログラフ



- Barber's rule:  
物点(A)から出たある運動量のイオンが一樣磁場によって曲げられ焦点(F)に像を結ぶときAとFと磁場中の軌道の中心(B)は一直線上に結ばれる。

- Lorentz eq:  
運動量p, 磁場B, 軌道半径ρの関係  
 $pc[eV] = cB\rho[Tm]$



$$F = ev \times B$$

$$F dt = e v dt B$$

$$p d\theta = e B dl \quad (v dt = dl \quad F = dp/dt \quad dp = p d\theta)$$

$$\rho = e B p$$

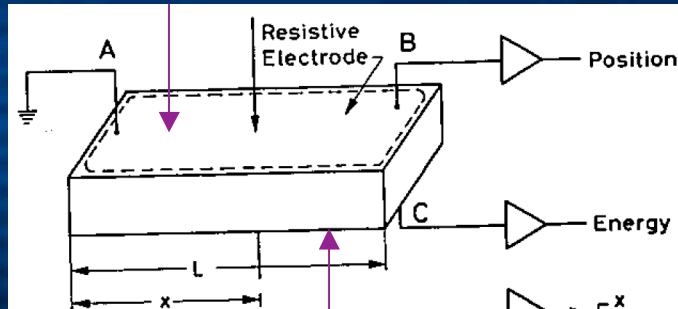
- 高いエネルギーの粒子によって写真上に残る

Photographic emulsion: 写真感光乳剤(不溶解性の感光性結晶)

## 10.6.1: Continuous and discrete detectors

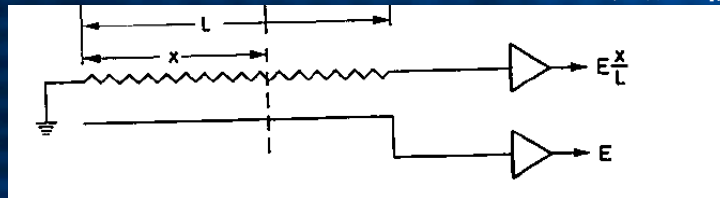
# Continuous detectors

一様抵抗電極



概略図

低抵抗電極 ※一次元検出器の場合



回路

- B · 接点Bで収集される電荷の大きさ
  - C · 接点Cで収集される電荷の大きさ
  - E · 入射してきた荷電粒子のエネルギーの大きさ
- 一般的にL~5cm

$$B \propto E, \text{ resistance}$$

$$C \propto E$$

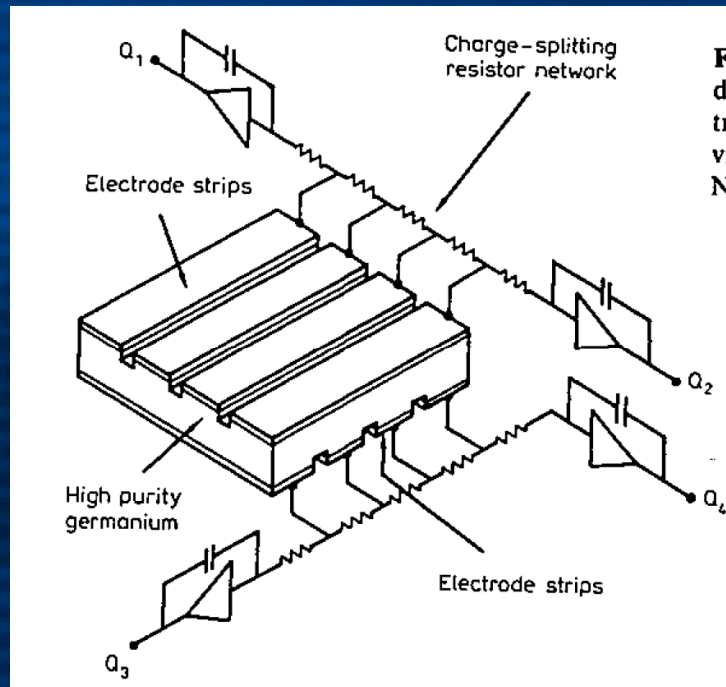
$$B = E \frac{x}{L}$$

$$\therefore x = L \frac{B}{C}$$

← 位置情報

Resistive charge division method

# Discrete-type detector



## Resistive charge division method

で連続に

External method

strip間にhigh ohmic resistanceをいれるmethod

←← Opposite charge

※シンプルな2Dのdevice(matrix detector)の概略図  
(1Dはstrip detector)

# Continuous readout with resistive charge division and discrete array with readout element

## Continuous

- 短所:

position signalの線形性を保証しなければならない。

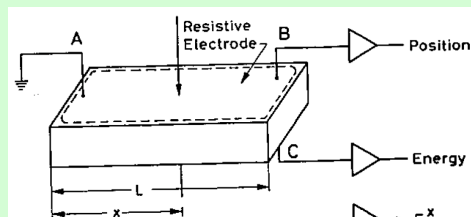
要求  $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{半導体の抵抗層が非常に一様かつ均質} \\ \rightarrow \text{Output signalの正しいshaping} \end{array} \right.$

- 限界:

非線形性  $\leq$  検出器長(length)1%にできる。

10.4.2では $\Delta E$ が非線形性の要因 $\rightarrow$ 検出器のdepth

$\rightarrow$ 位置分解能 $\sim 250\mu\text{m}$



## discrete

- 短所:

同じ半導体基板の上に独立なstrip状の電極がいくつもある。

要求  $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{必要な電子機器が多い。} \\ \text{電極がそれぞれ独立な検出器として働く。} \\ \rightarrow \text{それぞれにpreAmp等のunitが必要。} \end{array} \right.$

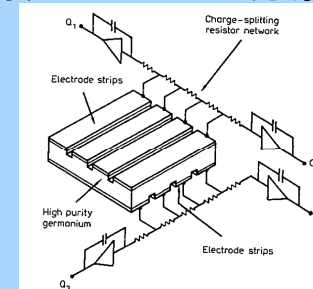
前の図のように外部のresistive divider networkにつなげれば

discrete $\rightarrow$ continuousに。基本同じ。

- 限界:

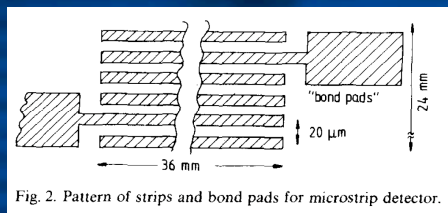
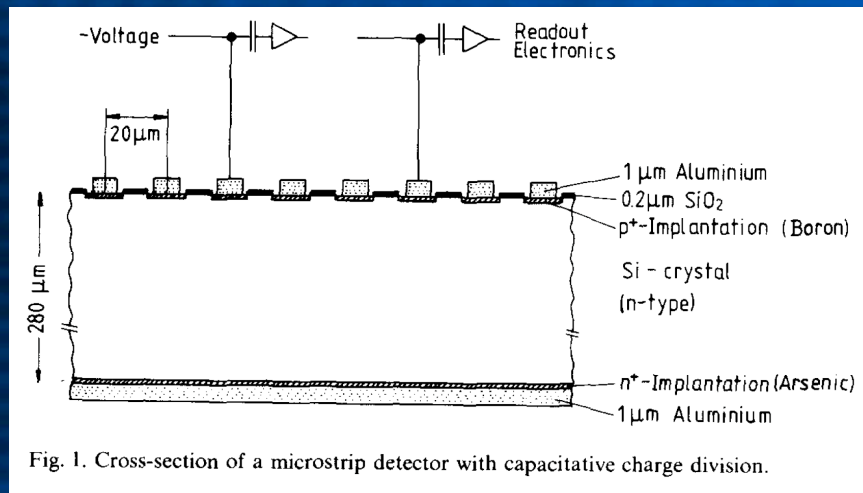
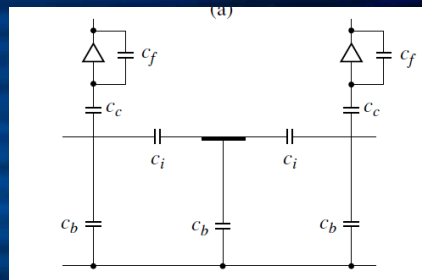
位置分解能が電極のwidthにしか制限されていない。(approx.0.2~0.4mm)

$\rightarrow$ より高い時間、エネルギー分解能



# 10.6.2: micro-strip detectors

~capacitive charge division method~



- \* strip 20μm間隔。
- \* 60μm毎の読み出し(Channel 数減少の為)
- \* 全Channel読み出した->2μm分解能。  
(Large scale integrated technology使用)
- \* 電荷収集10ns以下で行われる。→high counting rate
- \* Capacitive charge division methodを適用。  
(収集荷電の重心計算->5μm以内分解能)
- \* size小さい、全空乏化(短い応答時間→トリガーdeviceとして有用)
- \* 粒子イオン化のエネルギーを最小にするには  
Si中の平均energy loss~39KeV/100μmで  
100の電子イオン対/μm生成。  
(合計30,000対がdetector内に。)

図10.16概略図



## 一般に.....

- **半導体**

比較的放射線ダメージに対してsensitive

→分解能の悪化、もれ電流増加

対策:

電場Eを増加

半導体の放射線耐性を向上(多くの接合面のfabrication method)

# resistive and capacitive charge division

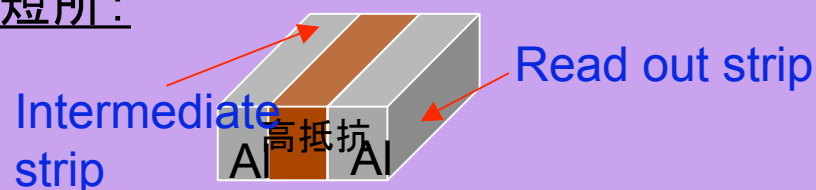
## Charge division

### 利点:

- 必要electronics channelsの削減。

### 短所:

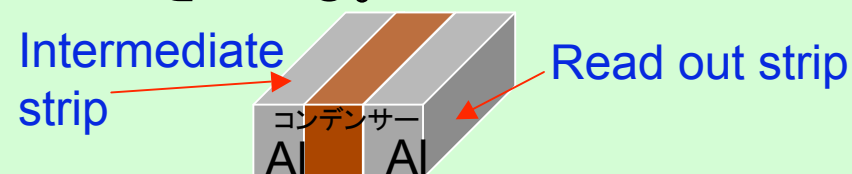
- High noise large loss  
しかもtrackの位置に依存
- ∴ low noise analog electronics 必要
- 直接各channelの読み出しを行うより2  
particle separation, pulse height測  
定が悪くなる。



## Capacitive charge division meth

### 利点:

- 中間のcapacitor によってadditional noiseやsignal delayは生じない。
- Geometryで既にstrip間でcapacitorが  
できている。



## 10.6.3: Novel position-sensing detectors

### Micro-strip detectorの成功

欠点:

Strip それぞれにamp等読み出しの電子機器が必要。Charge division readoutならさらに必要。

→ 体積の制限、接続問題、熱散逸 etc...

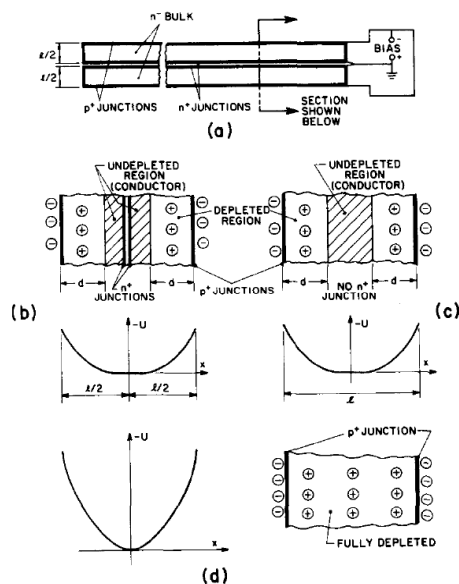
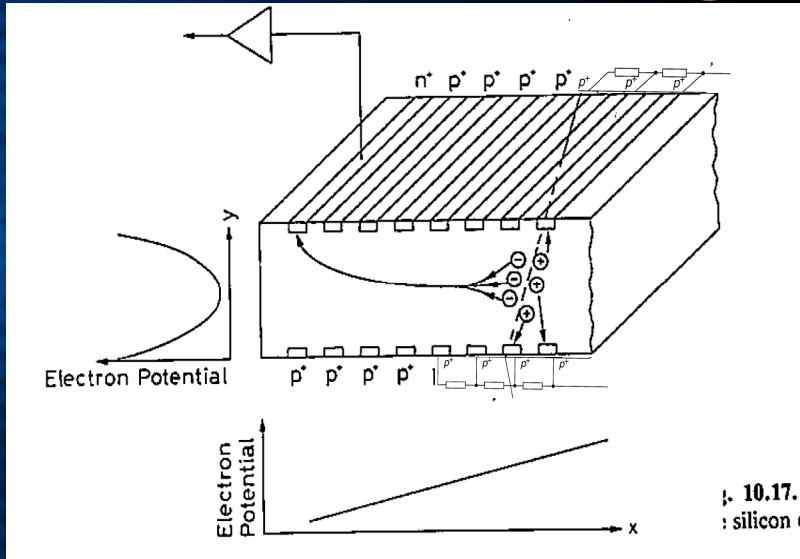
位置検出器のNew idea



1. silicon drift chamber

2. charge coupled device (CCD) etc.

# Silicon drift chamber



- 原理

Gas drift chamber と同様に drift 時間を測定することで位置情報を得る。

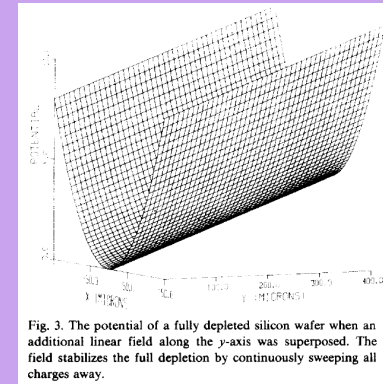
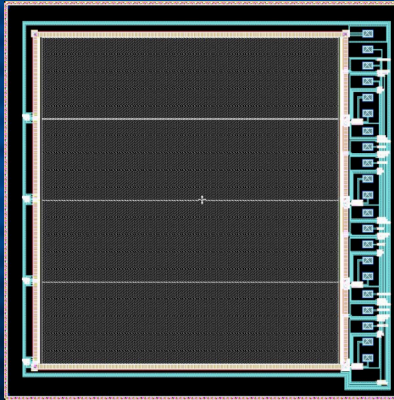


Fig. 3. The potential of a fully depleted silicon wafer when an additional linear field along the  $y$ -axis was superposed. The field stabilizes the full depletion by continuously sweeping all charges away.

- 利点

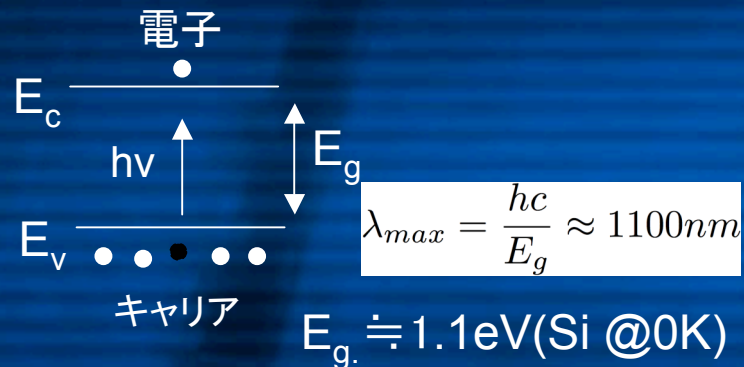
位置分解能は $5\mu\text{m}$ とmicro-stripと同じだが必要な電子機器の占める体積が少ない。

# Charge coupled detector(CCD)



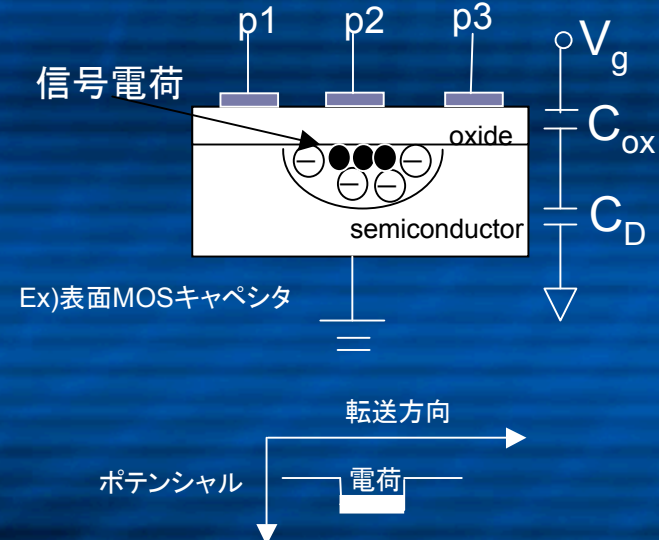
1. 光電効果(photo diode)
2. 電荷の蓄積(photo diode)
3. 電荷の転送(CCDの機能)
4. 電荷の検出(電荷を電気信号に)

## 1. 光電効果



## 2. 電荷の蓄積

Si結晶中に電荷が蓄積できるような電位の高いポテンシャル井戸を作る。



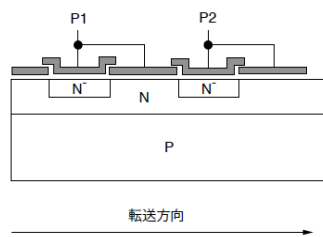
# Charge coupled detector (CCD)

## 3. 電荷の転送 ( CCDの機能)

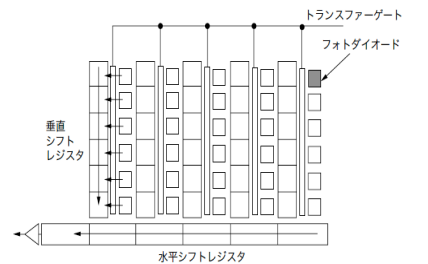
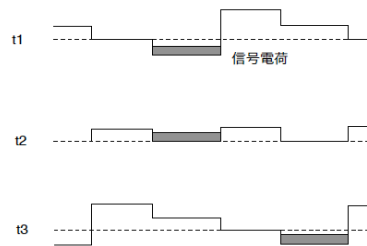
2相CCD: 1pixelを2本の電極で構成したCCD

信号電荷を転送するクロックとして二つの異なる電圧レベル(P1P2)をもったパルスを印加することで信号電荷を転送できる。

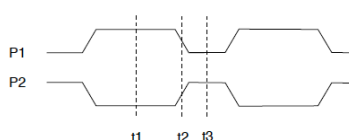
(1) 2相CCDの構造



(2) ポテンシャル図

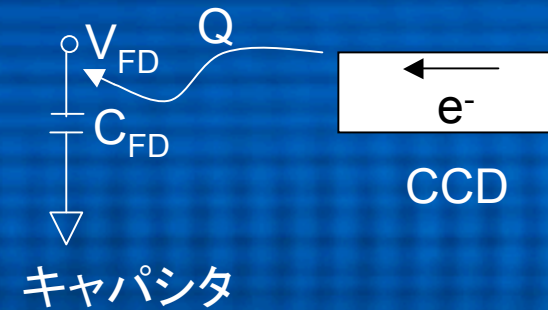


(3) タイミング図



## 4. 電荷の検出(電荷を電気信号に)

- CCD→キャパシタ 信号電荷受け渡し



$$\Delta V_{FD} = \frac{Q}{C_{FD}}$$

## 利点

- 感度高くnoiseが少ない。  
(ポテンシャル井戸からのもれ)
- 位置分解能2μmよりよくなると予想。

## 短所

- Counting rateが限られている。

# Charge coupled detector(CCD)

## ● 読み出し

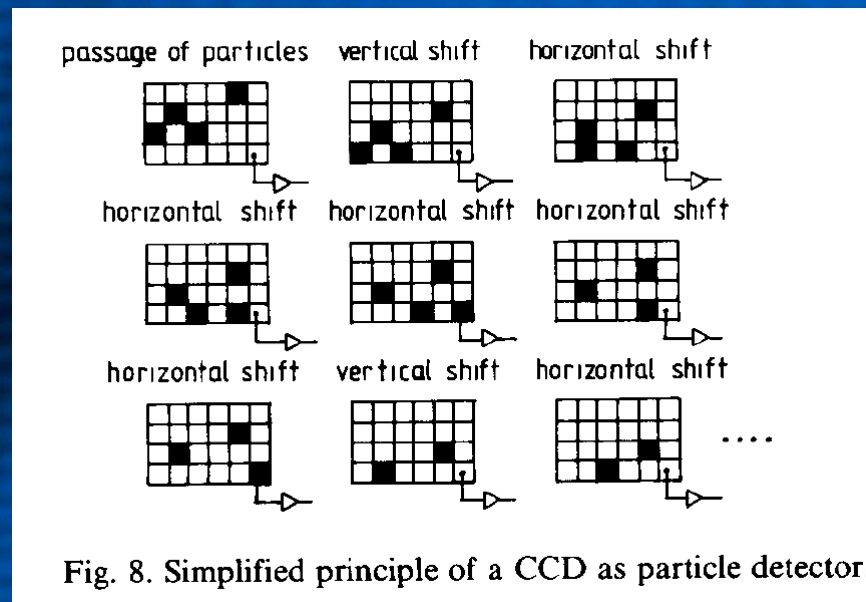


Fig. 8. Simplified principle of a CCD as particle detector.

## *Silicon detector の performance table*

Performance of various silicon detectors

Detector	Strip detector	Drift chambers	CCD
Spatial resolution	$\geq 3 \mu\text{m}$	$5 \mu\text{m}$	$4.3 \times 6.1 \mu\text{m}$
Two particle separation	$50 \mu\text{m}$	$80 \mu\text{m}$	$40 \mu\text{m}$ in space
Memory time	$10 \text{ ns}$	$\sim 1-10 \mu\text{s}$ (1 cm drift)	$\leq 50 \text{ ms}$
Readout time	$10 \text{ ns}$	$\sim 1-10 \mu\text{s}$ (1 cm drift)	$50 \text{ ms}$ 今は数百 $\mu\text{s}$

1985年当時のDataです！  
しかもかなりover simplifyしてます。