

P235 ~ 247

10.6 Position Sensitive Detectors

- ・半導体検出器の発展の初期から高エネルギーの分野で位置の検出に使われるようになった。
- ・最初には2次元しか検出できなかった。

- continuous detector
- discrete detector.

10.6.1 Continuous and Discrete Detectorscontinuous detector.

- ・1枚のダイオードのウエハーに抵抗の高い電極と低い電極を張り合わせたもの。
- ・Fig 10.14 は 1次元の位置を検出する。

→前面に抵抗の高い電極(B面) 背面に低い電極(C面)

荷電粒子がダイオードの中を横切って出来た e-h対は

→A面、B面とC面へ集められる。

B面で検出されるエネルギーは

- ・入射粒子のエネルギー E に比例
- ・B面の抵抗がある。

なので

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

(10.38)

C面では、 E に比例するだけなので

$$C = L \frac{B}{R}$$

(10.39)

これを resistive charge division とする。

要点

- ・抵抗の層を均一、均質にして位置 (10.39) の線形性を確保しなくてはならない。
- 非線形性は最大で全体の1%以下

このタイプの検出限界は $250\mu\text{m}$ ほど

discrete detector

1枚の半導体に電極の線を何本も入れたもの。

電極 1枚1枚がそれぞれ検出器の役割をする。

Fig 10.15 は 2次元の検出器 $\leftrightarrow$ matrix detector

1次元 $\leftrightarrow$ strip detector

難点

各電極が検出器になるのでそれぞれにフォンプンク諸々が必要。

コストが重み かつ 面倒。

Fig 10.15 のように、それぞれの電極に抵抗を挿入して繋げてやると

continuous detector と同じ原理

検出限界は電極の幅と等しく $0.2-0.4\text{mm}$ ほど。

10.6.2 Micro-Strip Detectors

1980年代に作られた (Si製)

抵抗の高、 n 型 Si 半導体 ($2000\Omega\text{cm}$) をベースに

片面全体を n^+ にして Al 電極をつけ

反対側は $20\mu\text{m}$ 間隔で p^+ にして電極をつける。

Fig 10.16 では n^+ 側に Li 素、 p^+ 側に Boron 素。

厚さは $300\mu\text{m}$ ほどで、空気層を最大にする印加電圧は 160V

Si の エネルギー損失は $39\text{keV}/100\mu\text{m}$ なので $100\text{ electron-ion pairs}/\mu\text{m}$ ほど作られる。

4. 検出器合計で 3000 対作られる。

channel 数を減らすために $60\mu\text{m}$ 毎の電極だけが読み出される。

(Fig 10.16.下段)

読み出しは電荷を積分して行われる。

集められた電荷の重心を計算することによって $5\mu\text{m}$ 以内の幅で検出できる。

空気層の小ささと検出器が小さいことにより反応速度が速く様々な利点がある。

- ・ 10ns 以下で高レートで検出できる。

- ・ 全 Channel を使えば $2\mu\text{m}$ オーダーでの検出も可能

難点

放射線による損傷に弱い。

- ↳ 分解能を悪くし、リーク電流の原因になる。

電場を大きくして補ったり、接合部を加えて、損傷に作る等対策

10.6.3 Novel Position Sensing Detectors

micro-strip detector の成功を受けて様々なものが作られた

- ・ silicon drift chamber

Fig 10.17. 参照

Gatti と Rahal が考案

n 型 Si 半導体の両面に P^+ 極の線を入れ、片面の端に n^+ 極

- ↳ Fig 10.17. のように電場かけできるので電子が移動する

時間を測れば位置が測定できる。

ガス検出器と原理は似てる。

試作品で $5\mu\text{m}$ ほどの分解能を micro-strip と同じくらい

利点は、必要な電子部品が少なくて済む。

charge coupled devices (CCD)

数 μm^2 をカバーするポテンシャルの井戸を持つ小さな Si 半導体を数万個並べたもの。
放射線が当たると放出された電子を井戸で捕らえて測れる。

- ↳ それぞれの井戸の中を通っていく中を逐次読み出していく。

光学イメージにすのくに主に使われ非常に感度が高くノイズが小さい。

分解能は $2\mu\text{m}$ ほど。

4
難点は、カウントレートがとて制限される。

10.7 Germanium Detectors

- ・ Si より Z が大きいので断面積が大きく、検出に使われる。



↳ 光電効果の断面積は 60 倍以上

- ・ 禁止帯と伝導帯のギャップが大きいので低温で使う。
- ・ 荷電粒子に使うには、冷やすというデメリットを考えると Si で十分。

10.7.1 Lithium-Drifted Germanium - Ge(Li)

- ・ γ -ray を測るのに最初々作られた検出器に Li をドリフトさせた Ge が使われた。
- ・ Ge(Li) の厚さの限界が 15 or 20 mm なので感応領域を最大にするため様々な工夫がされた。(Fig 10.18 参照) → coaxial Ge(Li)
- ・ 室温では、Ge 中の Li イオンが重た因子なので、常に液体窒素を入れて冷やす必要あり。
↳ 使うときは N_2 のデュークで冷やしながら
- ・ Ge(Li) 表面の不感層や冷却装置の窓があるために coaxial Ge(Li) は、低エネルギーのものは測れない。
↳ 基本的には 30 keV が限界だが、金で薄い窓を使えば数 keV まで。

10.7.2 Intrinsic Germanium

- ・ 不純物が 10^{10} 個/cm³ 以下の高純度の Ge → HP Ge と呼ぶ
- ・ このタイプで作られた検出器は高電圧をかけると王だけ冷やせばよい。
- ・ Ge(Li) と同じように検出器を作る。
- ・ Li ドリフトによって P 型 or N 型のほうが作りやすい。
- ・ とても薄い窓を使えば 10 keV 以下まで測れる。
- ・ 放射線による損傷がいくらか強い。

10.7.3 Gamma Spectroscopy with Germanium Detectors

5

γ -ray は 数 keV から 10 MeV まで 測れる。

Fig 10.14 は ^{60}Co を NaI で 測ったものと Ge とを比べたもの。

1.33 MeV では、Ge では 0.15% の誤差。

NaI では 8% !

キャリアーレスを行う放射線源としては、セロウの最も高いところか、光電効果の起るや低いところが理想。

このとき、バックグラウンドは無視できる。

また、崩壊のレートが高すぎると pile up が起るので高すぎても良くない。

10.8 Other Semiconductor Materials

室温で使えて Z の大きい半導体

CdTe : Z は 48 と 52

エネルギーギャップは 1.45 eV

HgI₂ : Z は 80 と 53

エネルギーギャップは 2.14 eV

e-h 対を作るのに必要なエネルギーは 44 eV と

Si や Ge よりやや大きい。

どちらも高純度の結晶を作りにくく、また 放射線透過。

10.9 Operation of Semiconductor Detectors

10.9.1 Bias Voltage

空乏層を広げる役割。かけすぎると break down を起こす可能性。

SSB なら 50-300V Ge では 4000-4500V

オシロスコピーなどで見ていくと、電流が流れていないか等チェック。

薄いものほど注意が必要。

20 μm の検出器で 10V あげると電場は 5000 V/cm も上がる。

とにかくゆくり操作する。

10.9.2 Signal Amplification

検出器からの信号はとても小さいためノイズによる影響を受けやすい。

そのため、プリアンプがまず最初に置かれる。

半導体の容量は温度によって変わるため検出器の次に charge-sensitive な

プリアンプが置かれる (詳しくは 4.1)。

安定性を確保するため、プリアンプの容量は、他の装置 (10pF オーダー) より

十分に大きくなければならぬ (10nF オーダー)。

SSB は 1 or 2 nF あるので 2 の場合はもっと大きく。

ノイズによる電荷 (ENC) は、アウトプットのノイズの平均電圧 V_{rms} を用いて

$$ENC = e \frac{V_{rms}}{W} C \quad (10.40)$$

C: 検出器とプリアンプの全容量

W: e-h 対を作るのに必要なエネルギー

e-h 対の半値幅 FWHM を用いて

$$\frac{FWHM}{2.35 W} = ENC \quad (10.41)$$

と表せる

(10.40) から C が小さければノイズが小さくなるので

ケプラーの静電容量を小さくするため、プリアンプと検出器はなるべく近接する。

Ge で γ -ray を測るときのように低温で扱う場合容量を小さくするため

検出器とプリアンプを直接つなぐ (DC coupling)

DC coupling は リーク電流を直接モニターできる。