

B物理ゼミ

10.4.5 Sensitivity and Intrinsic Efficiency

~

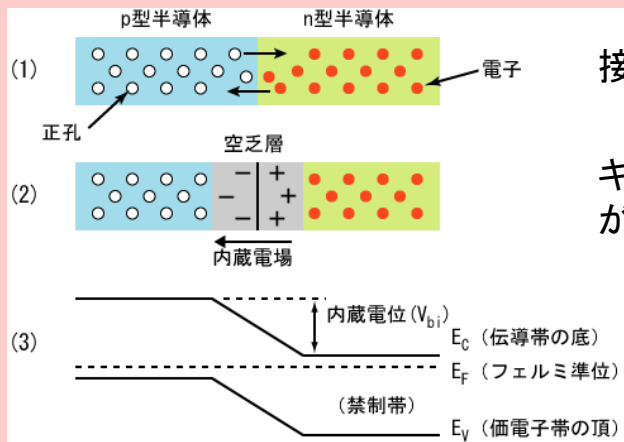
10.5.4 Lithium-Drifted Silicon Diodes -Si(Li)

W.R.Leo

Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment

概要

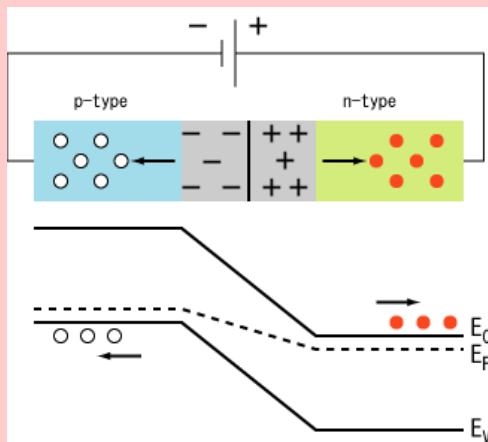
・空乏化



接合面でe,hが結合

キャリアなし(空乏層)ができる。

<逆バイアス時>

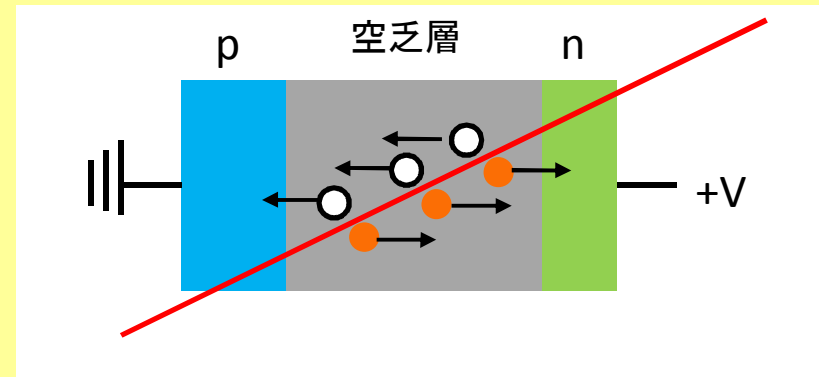


電源から少数キャリアが入ってくる→結合

空乏層大きくなる
バイアス電圧分の
電位差ができる

フリー百科事典『ウィキペディア』より

・粒子の検出



・空乏層でのイオン化により検出

・電極からのシグナルはイオン化した電荷よりも電極での電荷の動きが関係してくる。(→10.4.6)

・Si検出器はいろいろな形が開発されている。(→10.5)

10.4.5 Sensitivity and Intrinsic Efficiency

・荷電粒子

- ・検出効率 $\approx 100\%$
荷電粒子 \gg イオン化のエネルギー (\Rightarrow Table 10.2)

・問題点

リーク電流によるノイズ \rightarrow シグナル埋もれる



“空乏層(センサー部)を大きくする。”

イオン化の量が多くなる
 \rightarrow シグナル大 \rightarrow 解決!

もうひとつメリットが... \downarrow

“エネルギー測定幅が広がる。”

※

エネルギー測定には、センサー部で
エネルギーを全部失わせる必要がある。

Range < 空乏層

が必要。(Fig 10.9)

・電磁波

[γ 線]

・Geのほうがいい

∴)

荷電粒子 $>$ 電磁波

$E_g(\text{Si}) > E_g(\text{Ge})$

よりsensitiveなGeのほうがシグナル取りやすい。

常温 \times \rightarrow 熱ノイズで使えない

低温 \circ (液体窒素レベル)

[低エネルギーX線($\approx 30\text{keV}$)]

・Siのほうがいい

∴) 光電効果を気にする必要

K-edge(Ge) : 11keV

K-edge(Si) : 1.8keV

GeではX線の吸収でエネルギーがほぼ使われる
Siならばそうでもない

※K-edge

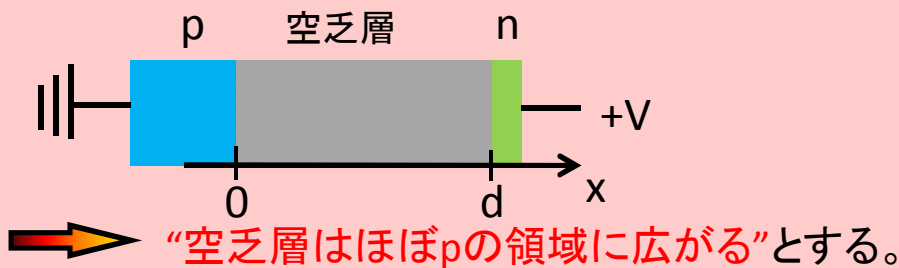
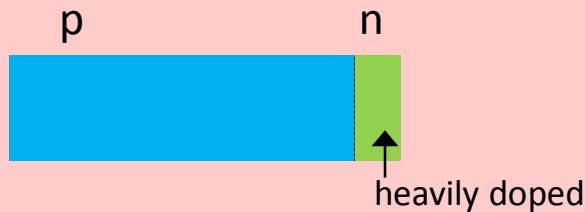
光電効果で物質が吸収するエネルギーの目安?

KはK殻のこと

10.4.6 Pulse Shape. Rise Time

電荷・ホールペアをシグナルとして読みだす時間、電荷を定式化しよう。

〈pn接合〉



〈空乏層の環境〉

平行電極間の電荷qについて、(6.29)から

$$dQ = \frac{qdx}{d} \quad (10.28)$$

空乏層での電場は、p領域のもの(10.13),(10.9)から

$$E = -\frac{eN_A}{\epsilon}x = -\frac{x}{\mu_h \tau} \quad (10.30)$$

($\tau = \epsilon/\sigma = \rho\epsilon$)

〈電子〉

移動度 μ の定義から

$$v = \frac{dx}{dt} = -\mu_e E = \frac{\mu_e}{\mu_h} \frac{x}{\tau} \quad (10.31)$$

xについて解いてあげる。

$$x(t) = x_0 \exp\left(\frac{\mu_e}{\mu_h} \frac{t}{\tau}\right) \quad (10.32)$$

電子はnの方に進む → $x=d$ がゴール
電子1つが検出されるまでの時間は

$$t = \tau \frac{\mu_e}{\mu_h} \ln\left(\frac{d}{x_0}\right) \quad (10.33)$$

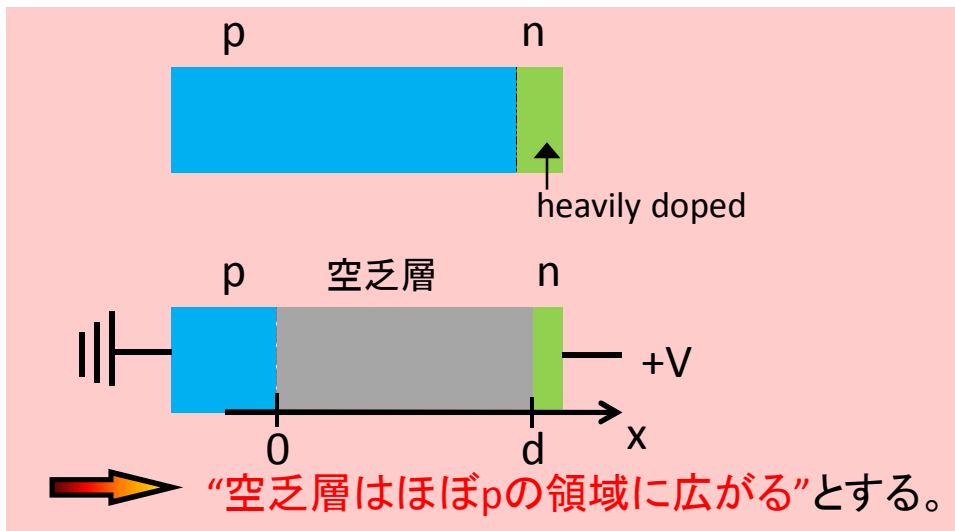
電極nに誘導された電荷量($0 < t < d$)は

$$Q_e(t) = -\frac{e}{d} \int \frac{dx}{dt} dt = -\frac{e}{d} x_0 \left(1 - \exp\left(\frac{\mu_e}{\mu_h} \frac{t}{\tau}\right)\right) \quad (10.34)$$

10.4.6 Pulse Shape. Rise Time

電荷・ホールペアをシグナルとして読み出す時間、電荷を定式化しよう。

〈pn接合〉



〈空乏層の環境〉

平行電極間の電荷qについて、(6.29)から

$$dQ = \frac{qdx}{d} \quad (10.28)$$

空乏層での電場は、p領域のもの(10.13),(10.9)から

$$E = -\frac{eN_A}{\epsilon} x = -\frac{x}{\mu_n \tau} \quad (10.30)$$

($\tau = \epsilon / \sigma = \rho \epsilon$)

〈ホール〉

移動度 μ の定義から

$$v = \frac{dx}{dt} = \mu_n E = -\frac{x}{\tau} \quad (10.35)$$

xについて解いてあげる。

$$x(t) = x_0 \exp\left(-\frac{1}{\tau} t\right) \quad (10.36)$$

ホールはpの方に進む → $x=0$ がゴール
ホール1つが検出されるまでの時間は

$$t \rightarrow \infty$$

電極pに誘導された電荷量($0 < t < \infty$)は

$$Q_e(t) = -\frac{e}{d} \int \frac{dx}{dt} dt = -\frac{e}{d} x_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\tau} t\right)\right) \quad (10.37)$$



$$t \rightarrow \infty \text{ で } Q_{\text{tot}} = -e$$

Fig 10.10 ⇒ τ : rise timeのパラメータ

10.5 Silicon Diode Detector

このセクションではSi検出器の具体例を紹介

- ・ Si検出器 全般の特徴

○**Advantage**: 常温で動作、Sensitive

×**Disadvantage**: サイズが小さくなってしまうこと

各プロセス方法と特徴を紹介していきます。↓

10.5.1 Diffused Junction Detector (拡散接合型ダイオード)

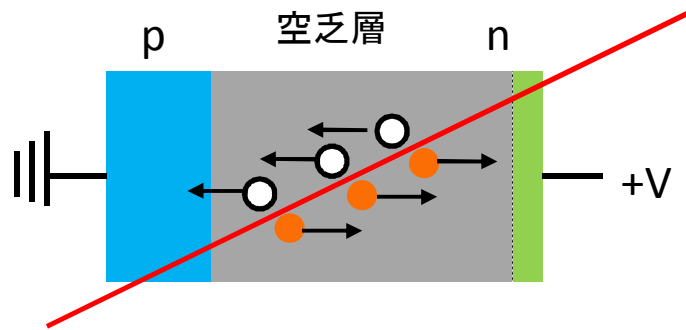
10.5.2 Surface Barrier Detector (表面障壁型検出器)

10.5.3 Ion-Implanted Diode

10.5.4 Lithium-Drifted Silicon Diodes Si(Li) (PINダイオード)

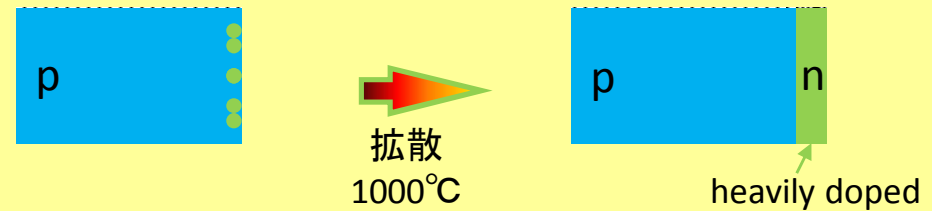
10.5.1 Diffused Junction Diode

最初のほうにできた検出器(pn接合)



プロセス方法

p-typeにnの不純物(P:リン)をいれて、
高温(1000°C)にして拡散させる(diffuse)。
cf.)Siの融点:約1400°C



× Disadvantage

・不感帯(dead layer)ができる。

➡ その分、エネルギー測定幅せまくなる。

・高温処理 → キャリアの寿命が縮まる。ノイズが大きくなる。

○ Advantage

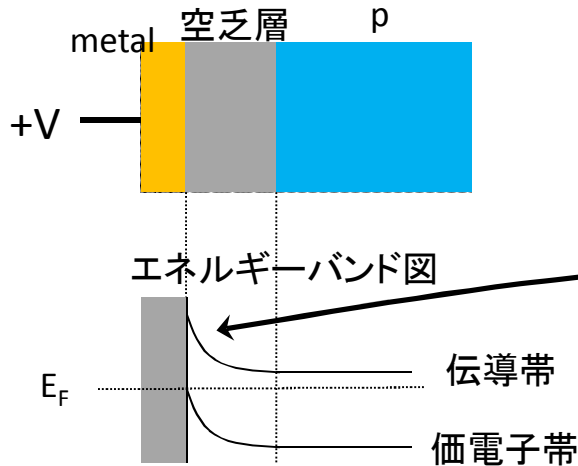
・耐久性に優れる。

・検出器表面の汚れに強い。→ windowがいらぬ。

他の検出器で薄いwindowが作れるのであまり魅力的でない。

10.5.2 Surface Barrier Detector (SSB)

最も使われている検出器



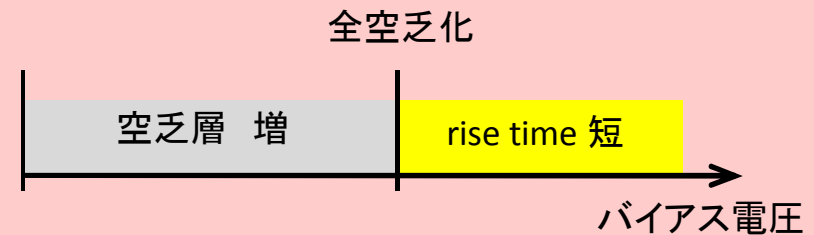
プロセス方法

常温、Si表面をエッチング+oxide
Metalを薄く(40ug/cm²)蒸着させる
⇒(Fig10.12)

Shottky Barrier ⇒ pn接合同様
⇒空乏化のdepthも計算可

○ Advantage

- ・全空乏化したものが作成可能。
⇒ 透過型 (transmission) 検出器に有効
- ・rise timeを早くできる(全空乏化後)。



× Disadvantage

- ・高いsensitivity (1.1eV) ⇒ 可視光(2~4eV)も検出
➡ 困いが必要
- ・表面の汚れに弱い ⇒ cleanにする

10.5.3 Ion-Implanted Diode

プロセス方法

不純物のイオン(beam)を半導体に打ち込んで、ドーピングさせる方法。

Beamのエネルギーを調節⇒密度を変えられる

放射線損傷⇒高温処理(500°C)が必要

○ Advantage

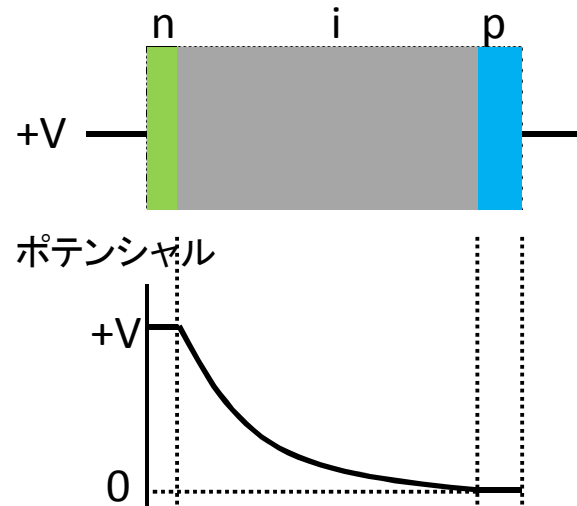
- ・oxide passivationで表面のリーク電流、ノイズが減らせる。
- ・SSBよりも安定
- ・windowを薄くできる(34nm)。

× Disadvantage

- ・高温処理⇒キャリアの寿命が縮まる。(拡散よりも小さい)
- ・お金がかかる

10.5.4 Lithium-Drifted Silicon Diode Si(Li)

空乏層を大きくとれる検出器



プロセス方法

p-typeにLiをいれ拡散→nの領域を作る
逆バイアス電圧をかけて、Liをドリフトさせる。



Liがpのキャリアと相殺
相殺された領域、真性半導体領域
(compensated zone)をつくる

○ Advantage

- ・広い空乏層がとれる。⇒相殺領域の長さ:10~15mm

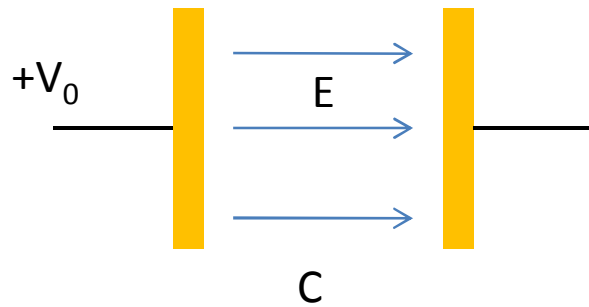
× Disadvantage

- ・広いことで熱によるノイズが大きくなる。
 ➡ Cooling(低温)が必要
- ・保管も低温にするべき(Liが拡散してしまう)

メモ

(10.28) 導出

〈環境設定〉



平行板コンデンサの電場、電位、容量は

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{CV_0}{\epsilon S}$$

$$\varphi = -\frac{CV_0}{\epsilon S}r + V_0 = V_0\left(1 - \frac{r}{d}\right)$$

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

〈電荷を動かす〉

※(6.29)の導出

$$W = \frac{1}{2}CV^2 \longrightarrow dW = CV_0dV \quad \text{: 静電エネルギー}$$

$$W = q\varphi(r) \longrightarrow dW = q \frac{d\varphi}{dr} dr \quad \text{: 電荷qの仕事}$$



$$CV_0dV = q \frac{d\varphi}{dr} dr \quad (6.29)$$

代入



$$V_0dQ = -q \frac{V_0}{d} dx$$



$$dQ = -\frac{q}{d} dx$$

-は勘弁してください