

# Semiconductor Detector

齋藤智之

2010/1/9 Belleセミナー

# Introduction

## 半導体検出器

材料: Si、Ge

1950年後半  
から開発始まる

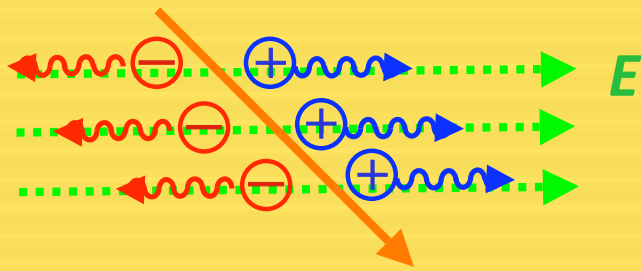


原子核分野の  
エネルギー  
測定に使用



最近、高エネルギー分野  
のトラック検出器として  
注目されている

原理 : 気体のイオン化検出器と同じ



長所

- ▶ 電子-ホール対を作るのに必要なエネルギー低い
- ▶ 小さくて速い

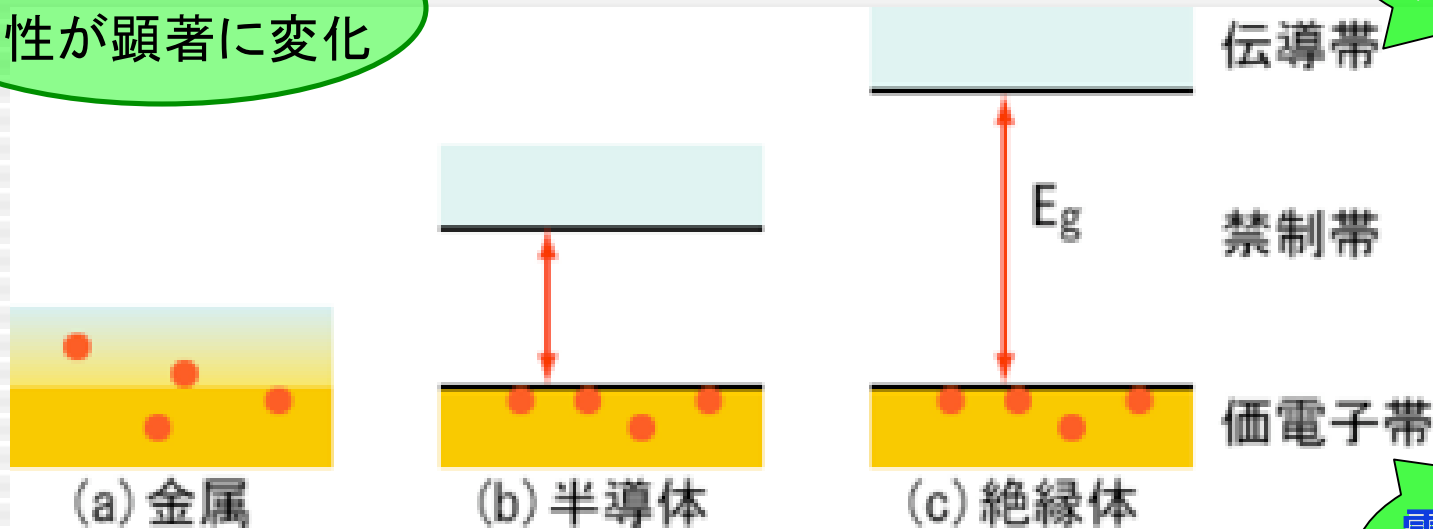
短所

- ▶ 低温動作
- ▶ 放射線損傷に敏感

# バンド構造

半導体の特徴 ⇒ バンド構造に由来

外的要因により  
物性が顕著に変化



電子は自由に  
動き回れる

(a) 金属  
↓  
電子簡単に  
伝導帯へ

(b) 半導体  
↓  
中間

(c) 絶縁体  
↓  
電子全て価電子帯に

電子は原子と  
結びついている

# キャリア

T = 0K 全ての電子は格子原子に束縛

T > 0K 励起した電子が伝導帯へ ⇒ 自由電子 & ホール

半導体の電流源：電子& ホールの移動  
(キャリア)

電子 or ホールの濃度

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) = AT^{3/2} \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

$$\left[ \begin{array}{l} n_i (300K) = 2.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3} \text{ (Ge)} \\ \quad \quad \quad 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} \text{ (Si)} \end{array} \right]$$

格子原子は  $10^{22} \text{ cm}^{-3}$  存在

$N_C$  : 伝導帯での状態の数  
 $N_V$  : 価電子帯での状態の数  
 $E_g$  : 0Kでのenergy gap

# 移動度 (Mobility)

移動度：電場中の荷電粒子の移動のしやすさ

$$v_e = \mu_e E \quad v_h = \mu_h E$$

$\mu$ は $E$ と $T$ の関数

$E$ (V/cm)	$\mu$
$<10^3$	一定
$10^3-10^4$	$E^{-1/2}$ で変化
$>10^4$	$E^{-1}$ で変化

$v_e = 1350 \times 10^4 \sim 10^7$  cm/s  
で飽和

$T^{-m}$ で変化  
(100~400K)

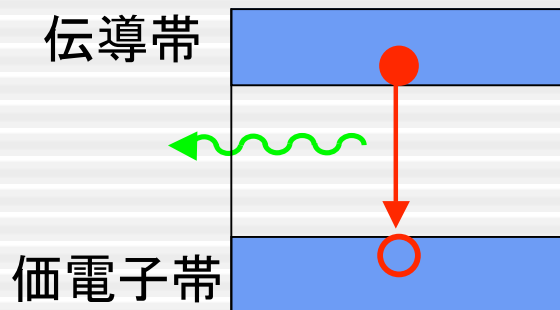
		$m$
Si	e	2.5
	h	2.7
Ge	e	1.66
	h	2.33

$\mu$ は電流を決定

$$J = en_i(\mu_e + \mu_h)E$$

# 再結合

再結合 : キャリアの寿命を決める



割とレアな現象



キャリアの寿命 1秒程度になるはず



実験では 1ns ~ 100 $\mu$ s

他に何らかのメカニズム？

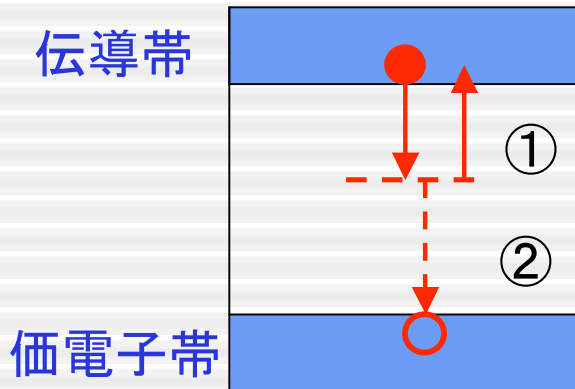
# 不純物によって生じる再結合

結晶中の不純物 → gap中に新しいエネルギー準位を形成

ここに電子が落ちる



- ① 再び伝導帯に戻る
- ② ホールと対消滅（再結合）



不純物により再結合が増える



キャリアの寿命が短くなる

検出器の  
精度落ちる

半導体検出器はpureがよい ⇒ 不純物  $< 10^{10} \text{ cm}^3$

# 不純物によるその他の影響

## ○ 不純物によるトラップ (前ページ①)

トラップしている時間 ~ キャリアのcollection time



検出器の精度落ちる

## ○ 不純物による格子欠陥 → 強度の低下

悪いことばかりではない !!

**“不純物半導体”**



# 不純物半導体

真性半導体 ⇒ ホールの数 = 電子の数 in 伝導帯



価電子数の異なる不純物混入

不純物半導体 ( Doped or Extrinsic Semiconductor )

真性半導体                      不純物半導体

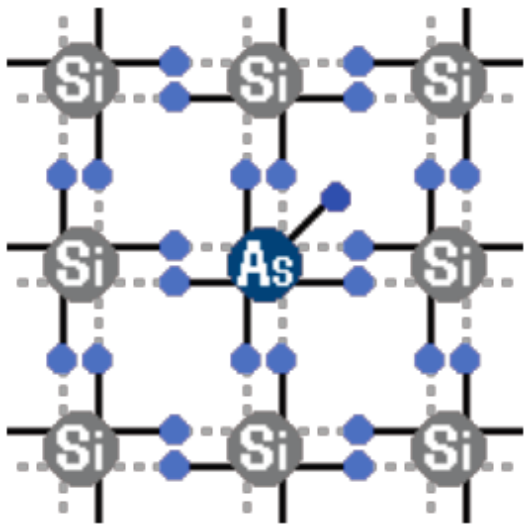
抵抗率     $10^3 \Omega/\text{cm}$      $\longrightarrow$      $10^{-3} \sim 10^{-4} \Omega/\text{cm}$

$10^{10} \text{ cm}^{-3}$

ほぼ導体

# N型半導体

N型半導体：ドナー = 5価の原子 (P、As、Sb)



1つ電子余る



energy gapにドナー準位形成

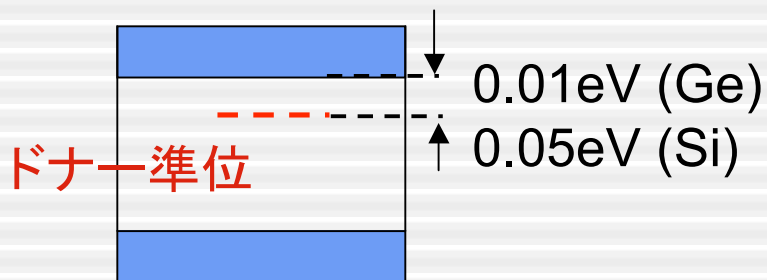


少しのエネルギーで電子は伝導帯へ



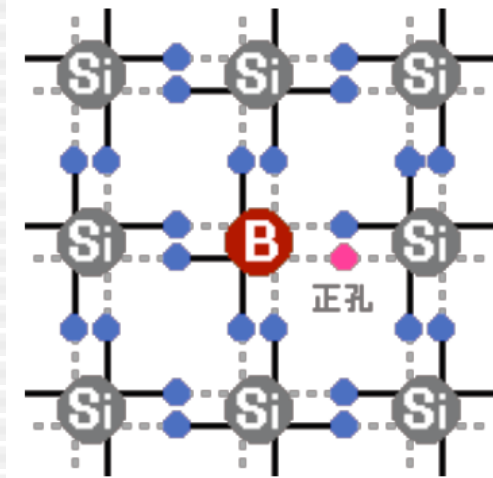
電気伝導率up

キャリアは主に電子



# P型半導体

P型半導体 : ドナー = 3価の原子 (Ga、B、In)



1つホール余る



energy gapにアクセプター準位形成



電子は簡単にアクセプター準位へ



電気伝導率up



アクセプター準位

キャリアは主にホール

