

# 医用工学概論

## 第7回 電子回路

# 復習問題

次のあとに続くのは「大きい」「小さい」のいずれか

1. 抵抗のインピーダンス $Z_R$ は  
抵抗 $R$ が大きいほど...
2. コンデンサのインピーダンス $Z_C$ は  
容量 $C$ が大きいほど...
3. コンデンサのインピーダンス $Z_C$ は  
**角周波数** $\omega$ が高いほど...
4. コイルのインピーダンス $Z_L$ は  
インダクタンス $L$ が大きいほど...
5. コイルのインピーダンス $Z_L$ は  
**角周波数** $\omega$ が高いほど...

$$\left( Z = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} \right)$$

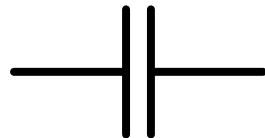
$$Z_R = R$$

$$Z_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$Z_L = \omega L$$

# 受動素子

- 抵抗
- コンデンサ
- コイル

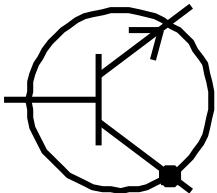
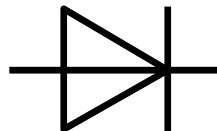
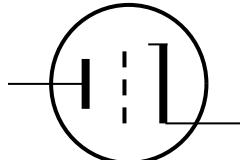


- 与えられた電力の大きさ、周波数に従い、電流を流す。
- **増幅、整流**は行わない。

# 能動素子

- 真空管
- ダイオード
- ツランジスタ

半導体



- 小さな電流を大きく増幅したり、電流の流れを整えたりする働きを持つ素子。
- **増幅、整流**を行う。

# 真空管

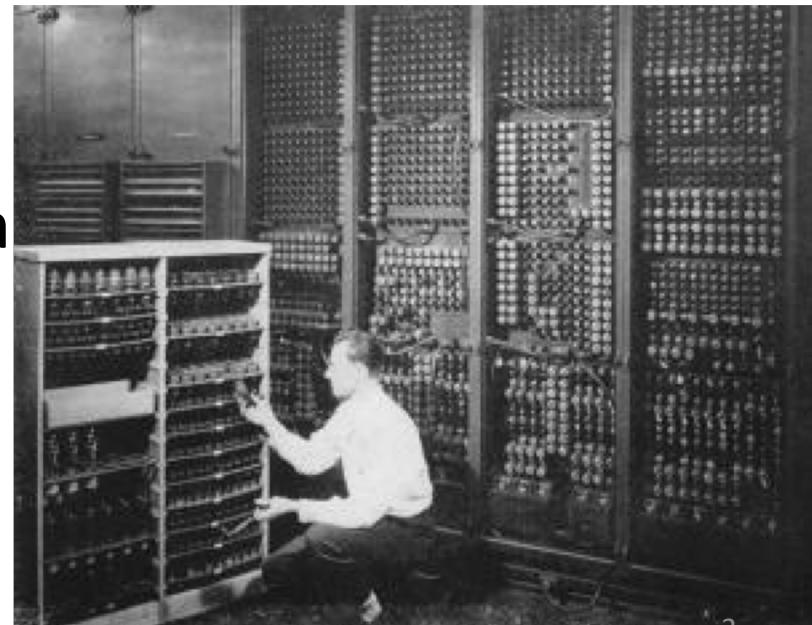
電球のフィラメントから電子が放出される現象(エジソン効果)を利用して電流の流れを制御する能動素子。

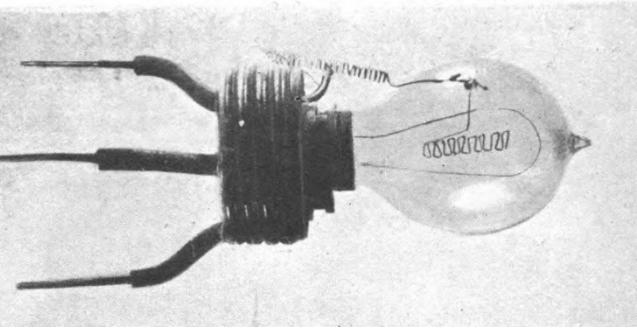
ENIAC(ニアック)

- ・最初のコンピュータ
- ・真空管17,468本。
- ・ダイオード7,200個。
- ・幅24m、高さ2.5m、奥行き0.9m
- ・総重量30トン

性能は現在の電卓以下。

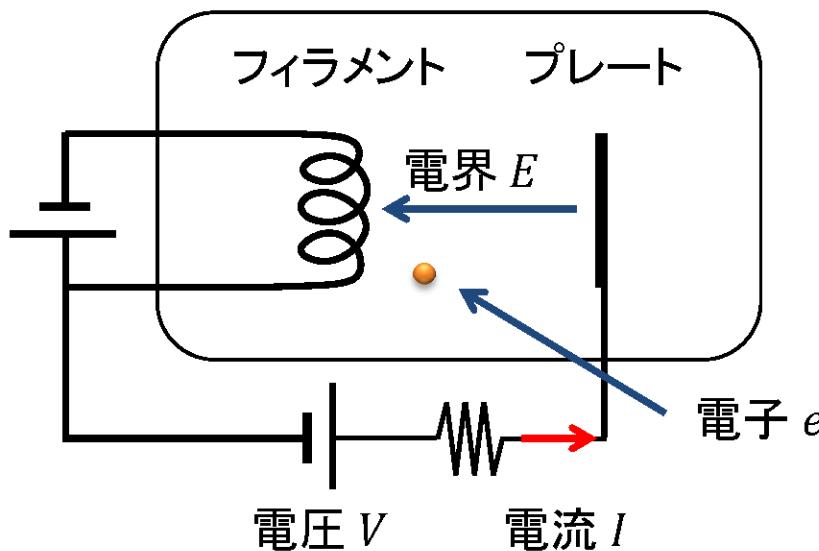
真空管が壊れるたびに手作業で交換 →





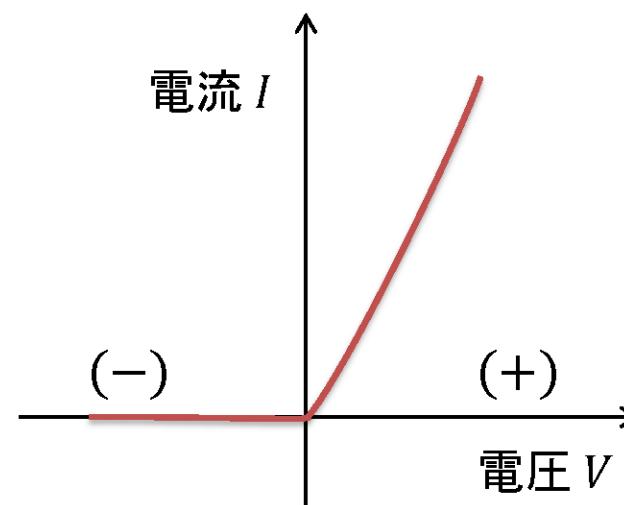
# 二極真空管（整流）

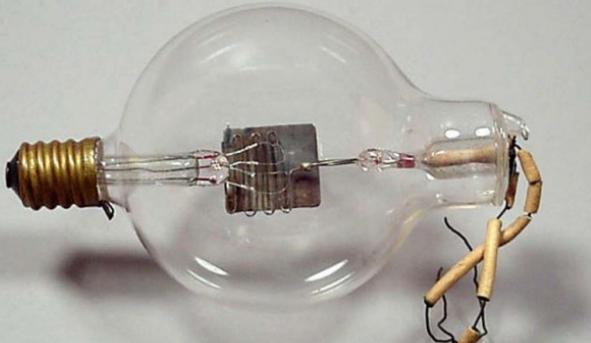
管内は真空に近い状態



- 電流は電荷の流れ
- 電子は負の電荷

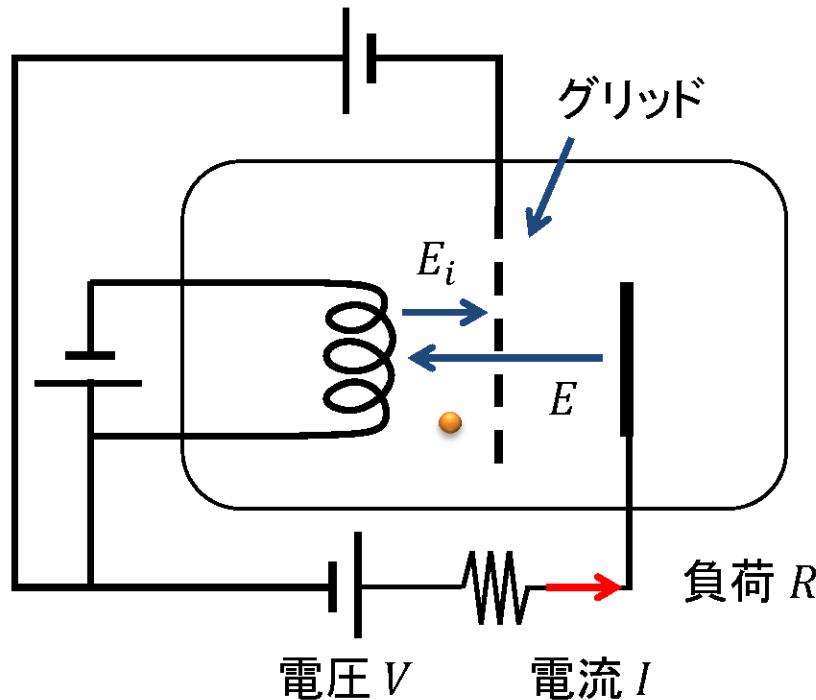
1. フィラメント(電熱線)に電流が流れることにより、加熱される。
2. 熱によるエネルギーで電子(熱電子)が飛び出す。
3. 電界の方向と逆へ電子が移動する。



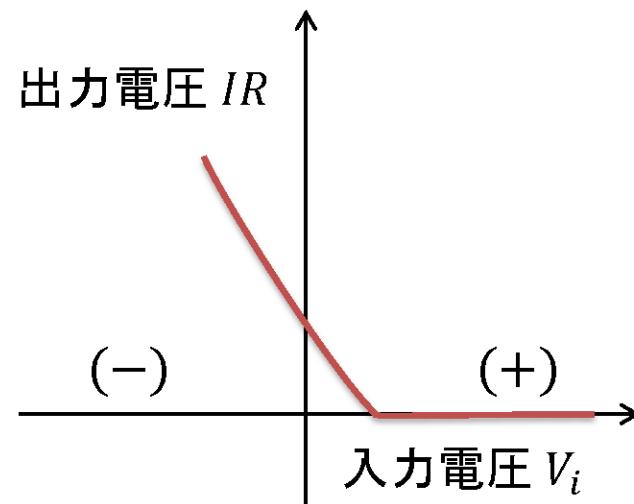


# 三極真空管（増幅）

入力電圧  $V_i$

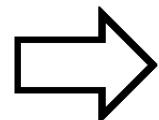


1. グリッドとフィラメント間に電界  $E_i$  を発生させる。
2. プレートとフィラメント間の電界  $E$  との足し合わせにより、電荷の受けける力（クーロン力）が決まる。



# 真空管の特徴

真空中を電子が移動するので、電子の運動を妨げるものがなく、電子の移動度が高い。



高い周波数 に対する応答が良い。

例) ブラウン管として、表示器に使われる。

ガラス管などで構成されるため、 機械的振動 に弱い。

フィラメントの 加熱 に電力と時間をする。

大型。

# 半導体素子

- ・ダイオード・トランジスタ

半導体の性質を利用して電子の流れを制御する素子。原子レベルで電子の制御を行うため、真空管に比べて小型化が可能。

- ・世界最小のコンピュータ

IBMが開発した米粒よりも小さいコンピュータ。

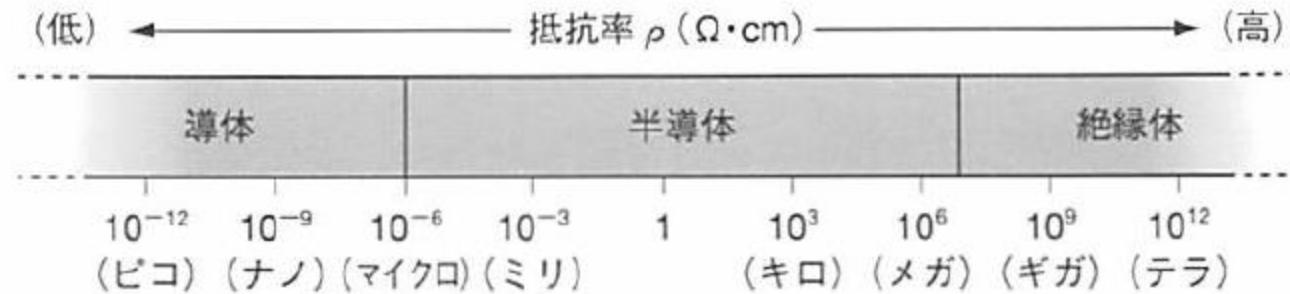
数万個のトランジスタが入っている。



# 導体・半導体・不導体(絶縁体)

銅などの金属

ガラス・ゴムなど



## 主な半導体

炭素(カーボン) C

ケイ素(シリコン) Si

ゲルマニウム Ge

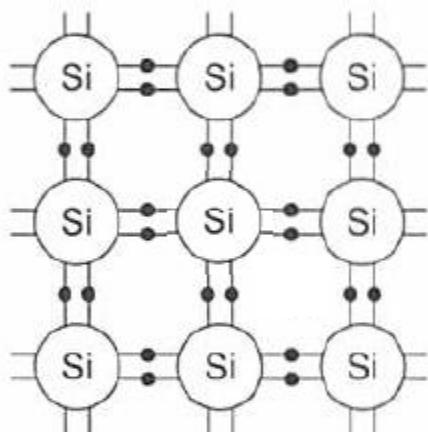
ガリウムアスベスト GaAs

						2 He
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr

# 半導体の結晶

## 不純物半導体

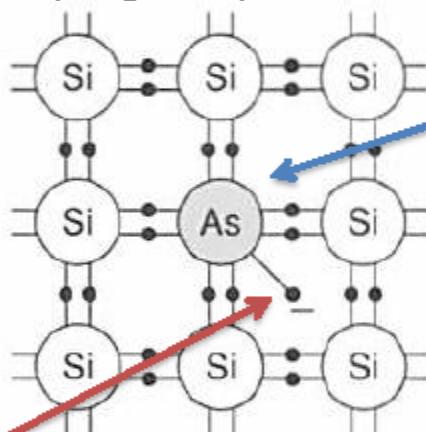
### 真性半導体



すべての電子が共有結合に使われているため、抵抗率が高い（絶縁体に近い）

### N型半導体

(Negative)

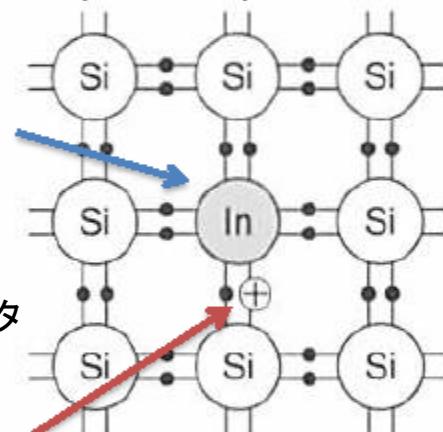


電子

5価の原子が含まれているため、共有結合されていない電子がある

### P型半導体

(Positive)

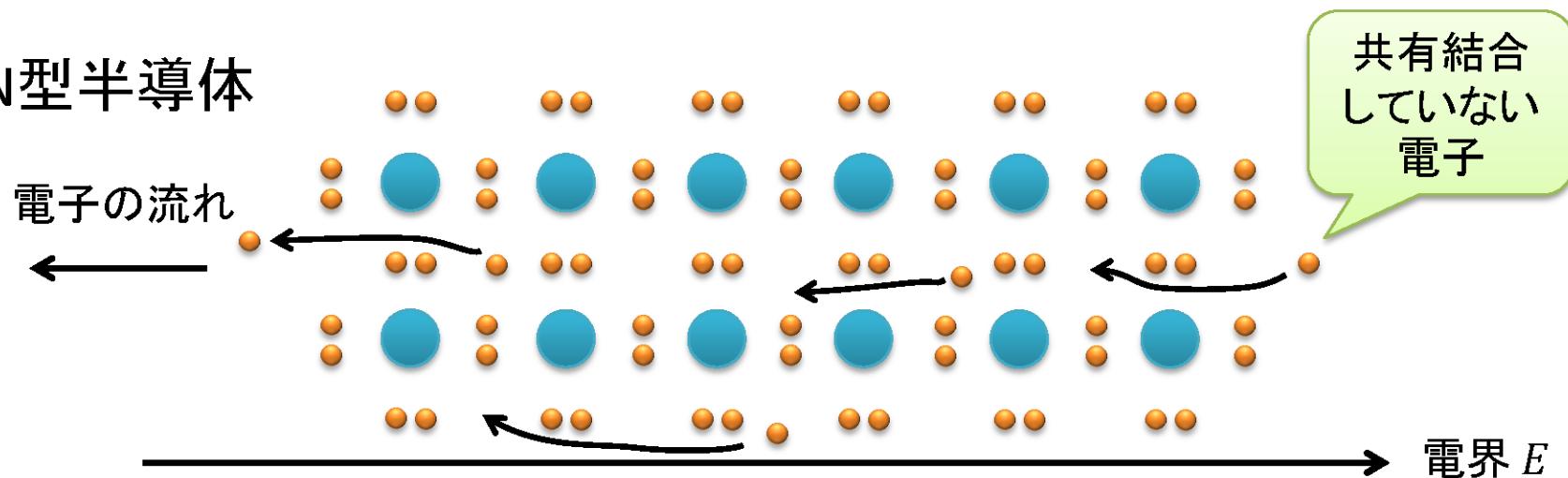


正孔（ホール）

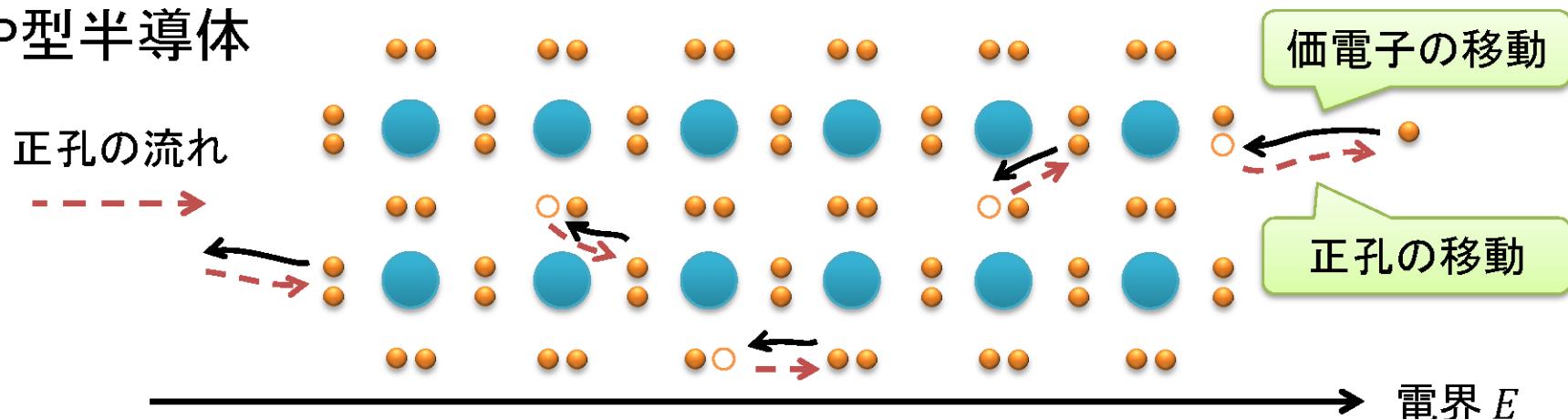
3価の原子が含まれているため、共有結合に電子が欠乏している

# 結晶中の電子の流れ

## N型半導体



## P型半導体

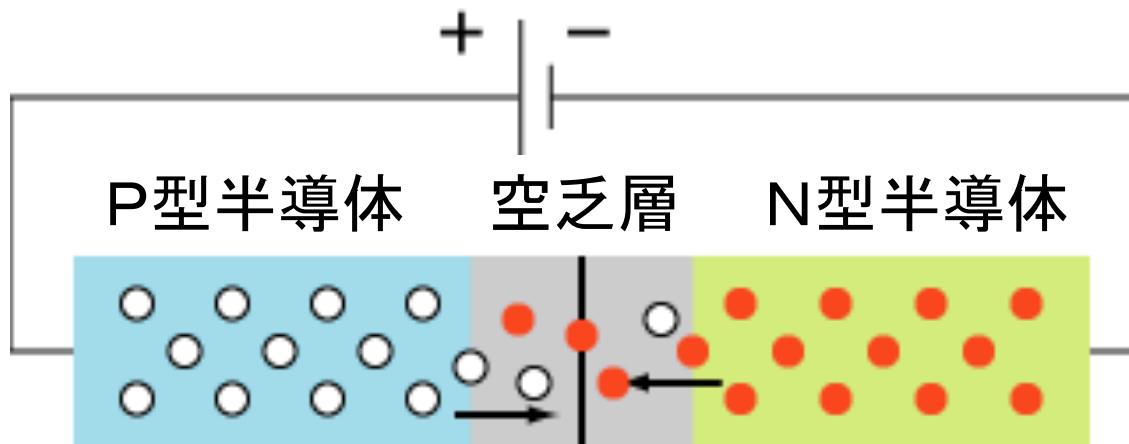


P型半導体での電子の流れは、**正孔の動き** として考えることができる。

半導体中の自由電子、正孔は電流を流す運び屋の役割をするので **キャリア** と呼ばれる。

# PN接合

正孔 電子



P型とN型を接合すると、接合面で正孔と電子が打ち消し合って空乏層が生まれる。

P側から電圧をかけると空乏層が狭まり電流が流れる。

N側から電圧をかけると空乏層が広がり電流が流れない。



# ダイオード Diode

P形半導体とN形半導体を接合したもの。

電流をアノード側からカソード側にしか流さない。

(整流、検波、検流)

普通ダイオード



発光ダイオード



フォトダイオード



定電圧ダイオード  
(ツエナーダイオード)



トンネルダイオード  
(エサキダイオード)



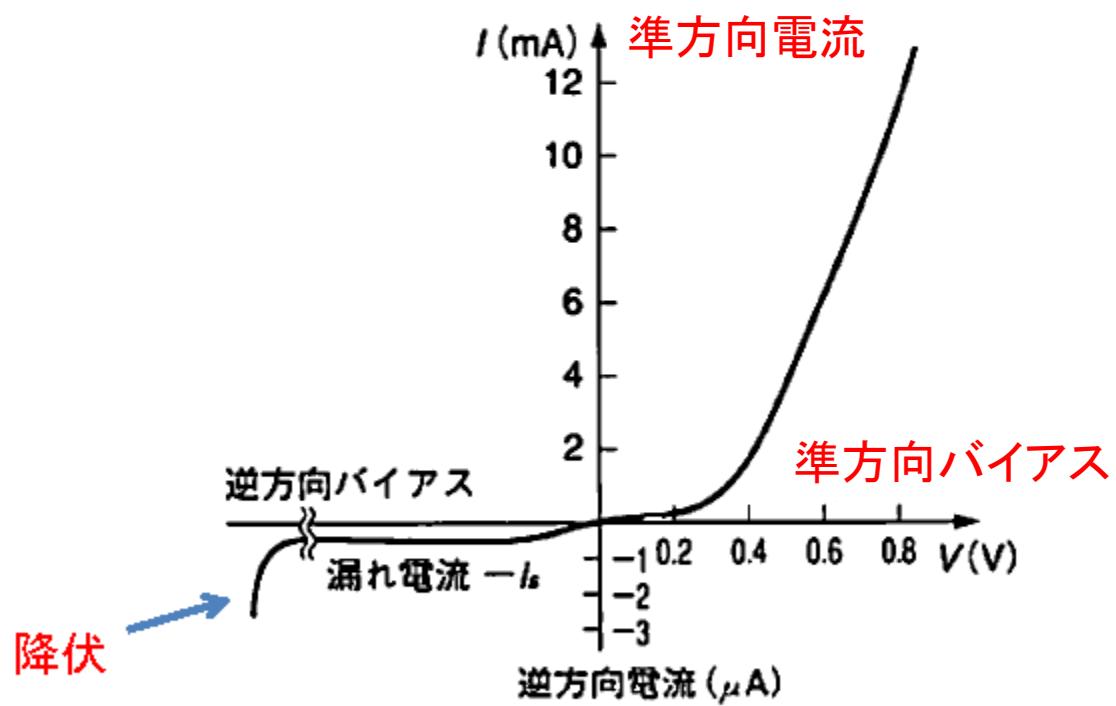
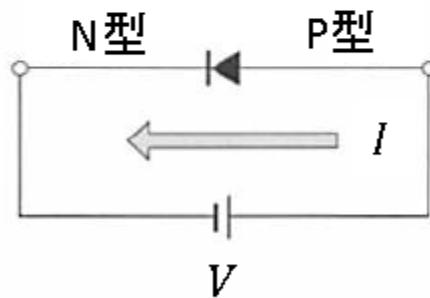
※トンネルダイオードは、負性抵抗、增幅効果を持つ

# ダイオード

ダイオードは、**整流作用**を持つ

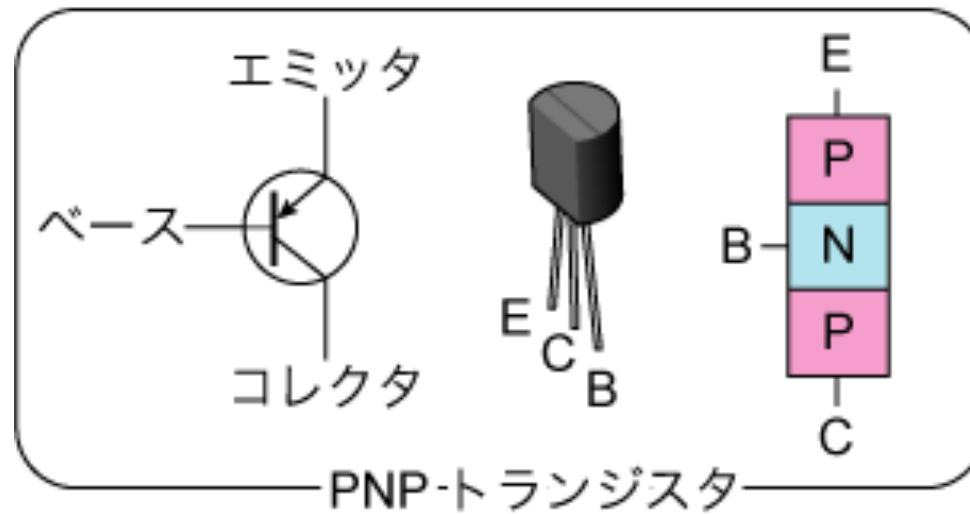
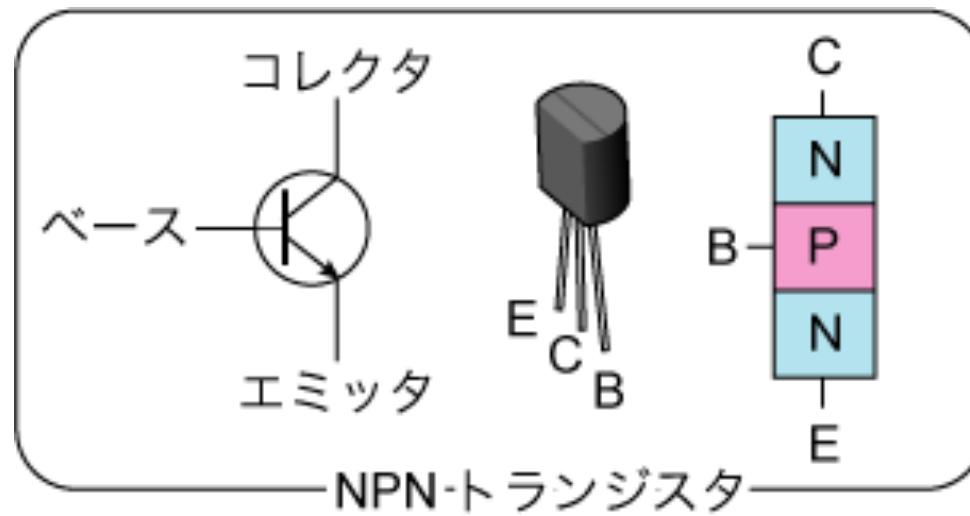
記号

カソード  アノード



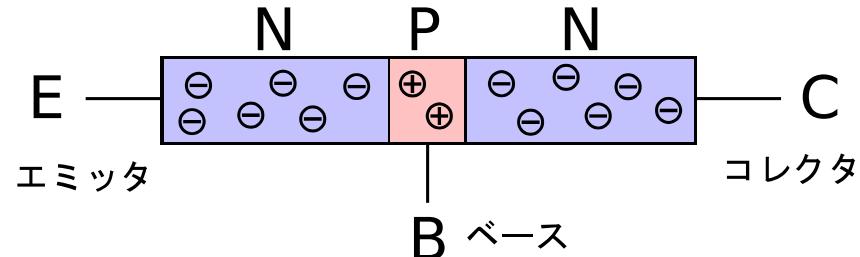
一定以上の逆電圧  
をかけると大電流  
が流れる。

# バイポーラトランジスタ

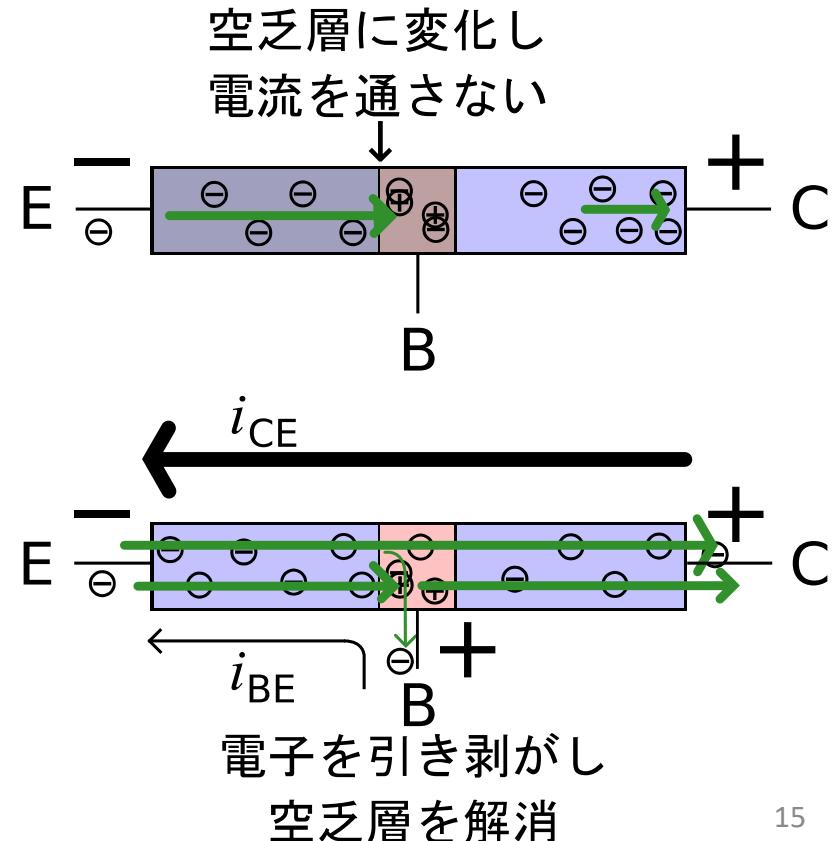


# (NPN型)バイポーラトランジスタ

E-C間に電圧をかけても  
電流は流れない。

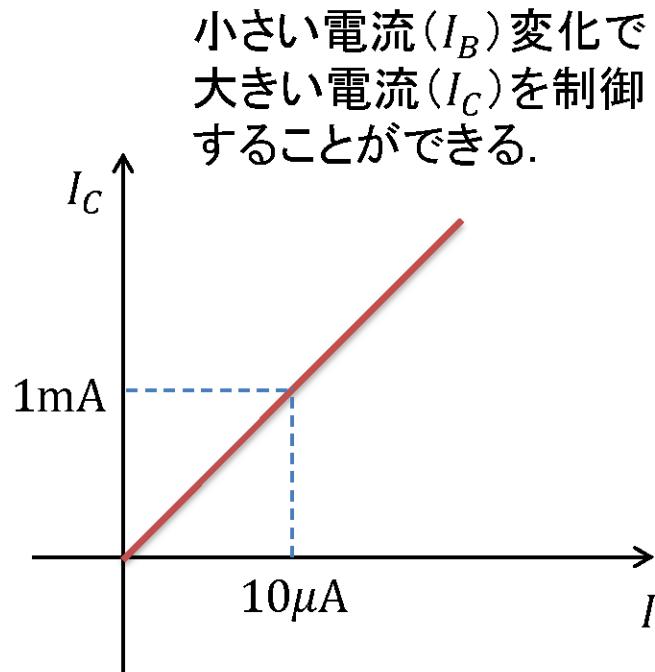
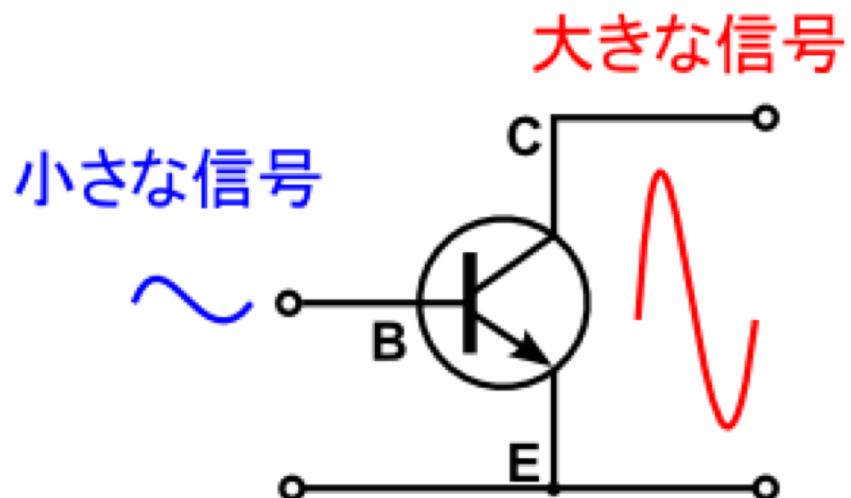


E-B間にすこし電流を  
流すと、  
E-C間に大電流を  
流せるようになる。



# バイポーラトランジスタ

バイポーラトランジスタは、**増幅作用**を持つ

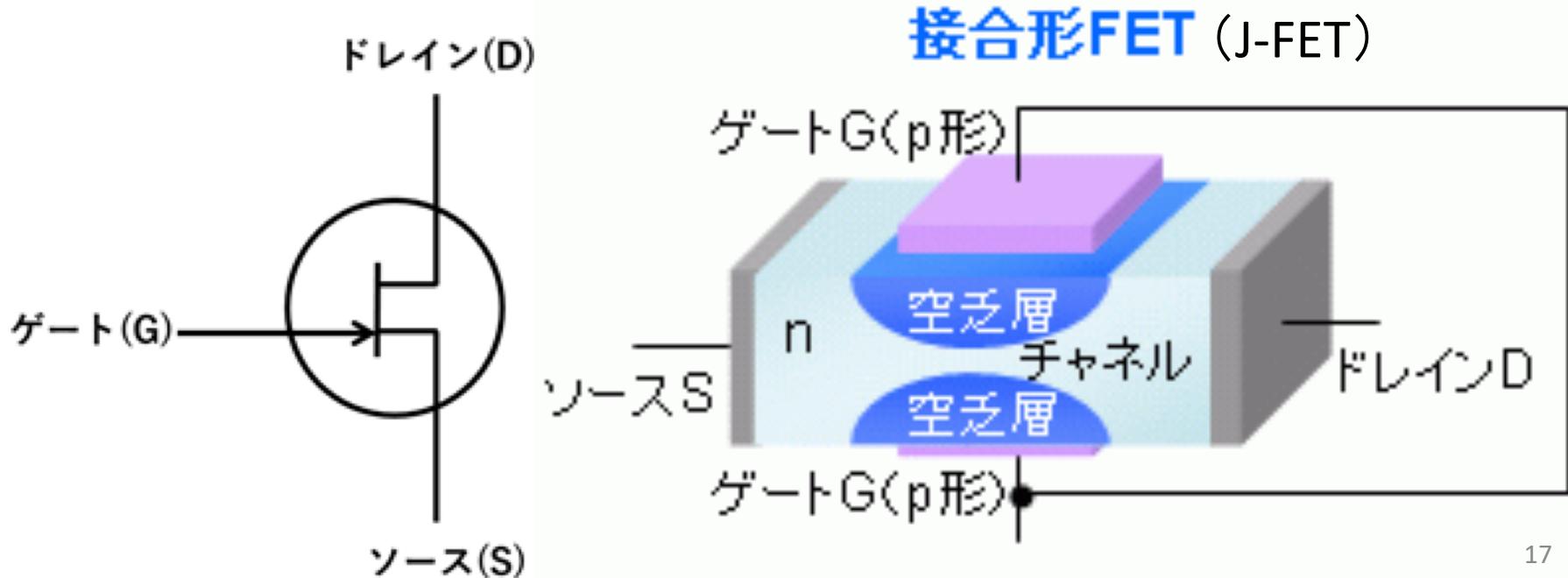


$$\text{電流増幅率} h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

# FET(電界効果トランジスタ)

## Field Effect Transistor

ゲートに逆電圧(電界)をかけ空乏層の厚さを変えると、キャリアの通り道(チャネル)の幅が変わるので、ソース・ドレイン間を流れる電流を制御できる。



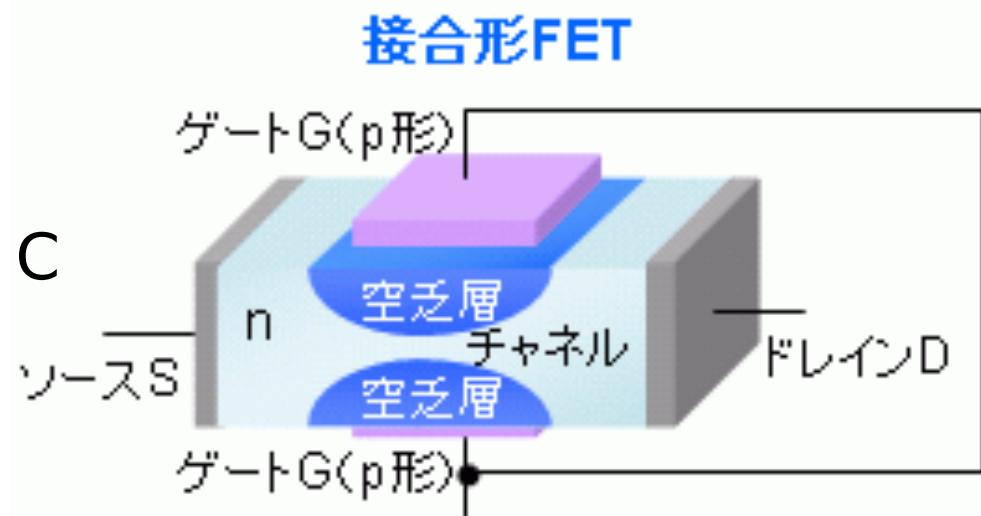
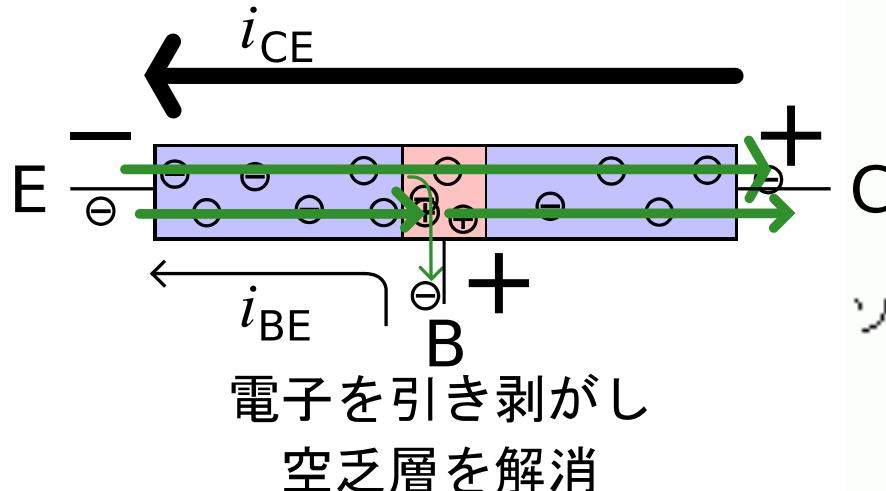
# バイポーラ型 vs 電界効果型

電流 で電流を制御

低い 入力インピーダンス

電圧 で電流を制御

高い 入力インピーダンス



# IC

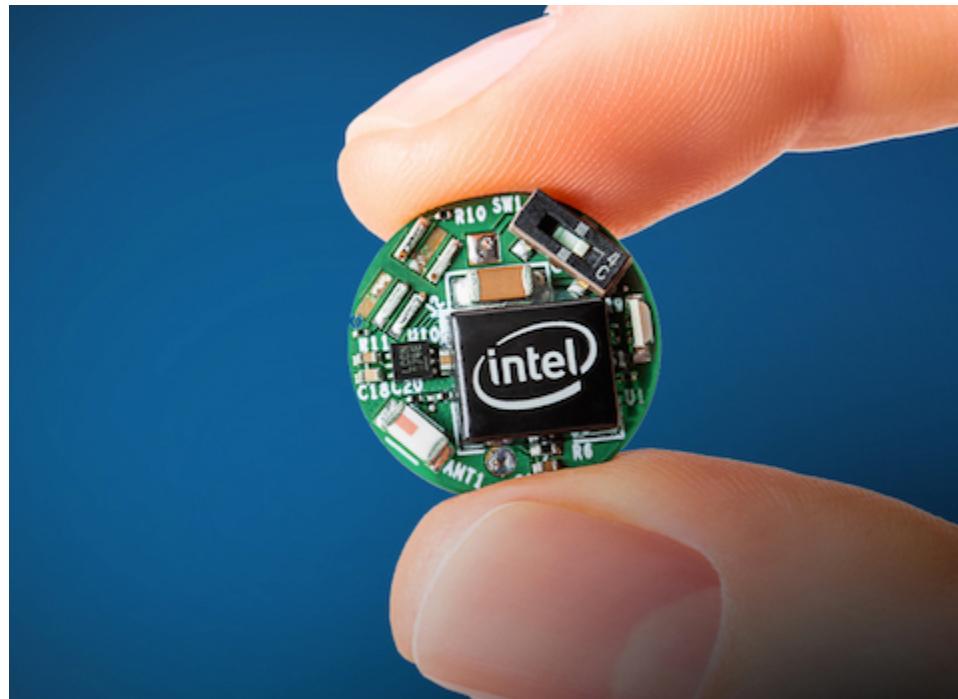
集積回路(IC)とは、半導体上に基本的な素子を集積して、機能的な働きをするように作られた回路

呼称	集積度の目安 (IC 上の素子数)
SSI	100 個以上
MSI	100~1,000 個
LSI	1,000 個以上
VLSI	10 万個以上
ULSI	1,000 万個以上

IC : integrated circuits (集積回路)  
SSI : small scale integration (小規模集積回路)  
MSI : medium scale integration (中規模集積回路)  
LSI : large scale integration (大規模集積回路)  
VLSI : very large scale integration (超大規模集積回路)  
ULSI : ultra large scale integration (超超大規模集積回路)

# SoC (System-on-a-Chip)

システムの動作に必要な機能を  
ひとつのチップに詰め込んだ、全部入りのIC



# 練習問題

# FET(電界効果トランジスタ)について 誤っているのはどれか？

1. P型とN型半導体からできている
2. 電源の極性が反対で特性は同じ素子がある
3. 周囲温度の影響を受ける
4. 電流制御形である
5. 真空管と同様、高入力抵抗である

増幅作用をもつのはどれか。

a トランジスタ

b 変圧器

c コンデンサ

d FET

e 三極真空管

1. a, b, c

2. a, b, e

3. a, d, e

4. b, c, d

5. c, d, e

問 102 ☆☆

(既出問題)

ダイオードについて正しいのはどれか。

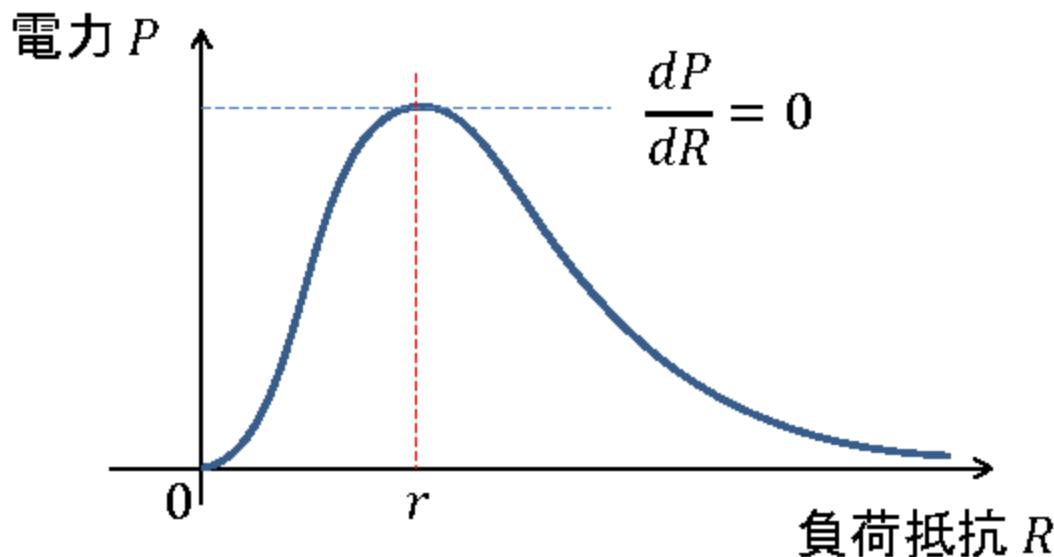
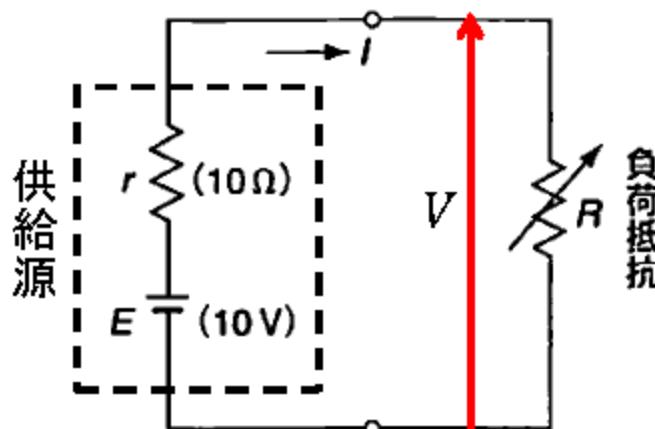
- a ダイオードは一般に整流器、検流器に使用される。
  - b トンネルダイオードには増幅作用がある。
  - c シリコンやガラスは半導体である。
  - d 発光ダイオードは光をあてると明るさに応じてダイオードを流れる電流が変化する。
  - e 定電圧ダイオードは安定化直流電源の基準電圧をつくる時に利用される。
- 1. a, b, c
  - 2. a, b, e
  - 3. a, d, e
  - 4. b, c, d
  - 5. c, d, e

# 電気回路 補足

# インピーダンスマッチング

負荷に、**最大電力** を供給するための方法

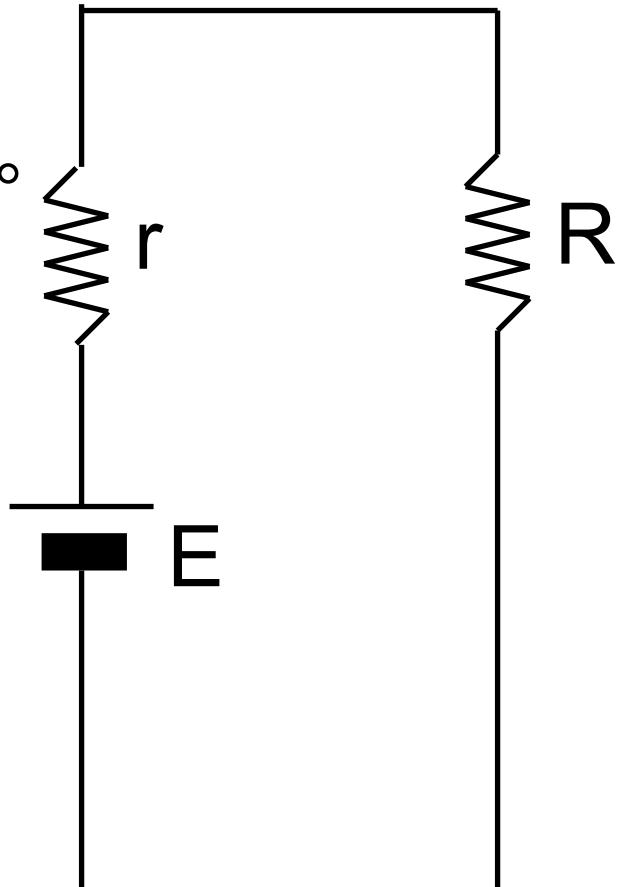
負荷抵抗  $R$  に供給される電力  $P = VI = \frac{R}{(R + r)^2} E^2$



# 例題

図の回路において $r$ は電源 $E$ の内部抵抗、 $R$ は回路に接続された負荷を表す。

- (1) 負荷 $R$ の消費電力の式を求めよ
- (2) 負荷 $R$ に最大電力が供給される時の $R$ の式を求めよ。
- (3)  $r=1$ 、 $E=10$ とした時の負荷 $R$ における最大電力を求めよ。



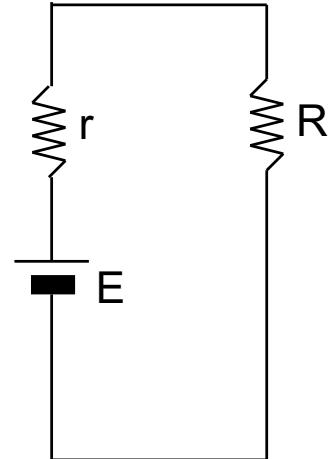
# 例題 解答

(1)

$$P = VI = RI I = RI^2$$

$$I = \frac{E}{r + R}$$

$$P = RI^2 = R \frac{E^2}{(r + R)^2} = E^2 \frac{R}{(r + R)^2}$$



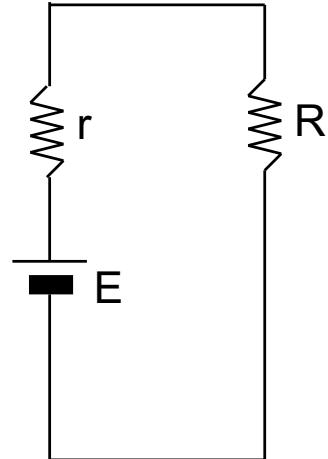
# 例題 解答

(2) 最大電力を得る負荷抵抗  $R_{\max}$  は

$$\frac{\partial P}{\partial R} = 0$$

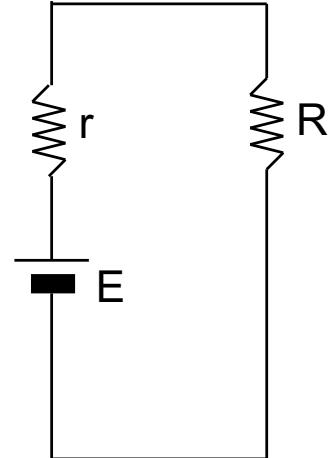
を解くことで求めることができる。

$$\begin{aligned}\frac{\partial P}{\partial R} &= \frac{\partial}{\partial R} \left( E^2 \frac{R}{(r+R)^2} \right) = E^2 \frac{\partial}{\partial R} \left( \frac{R}{(r+R)^2} \right) \\ &= E^2 \left( \frac{(r+R)^2 \frac{\partial}{\partial R} R - R \frac{\partial}{\partial R} (r+R)^2}{(r+R)^4} \right) \\ &= E^2 \left( \frac{(r+R)^2 - 2R(r+R)}{(r+R)^4} \right) \\ &= E^2 \left( \frac{(r+R) - 2R}{(r+R)^3} \right) = E^2 \left( \frac{r - R}{(r+R)^3} \right) = \frac{(r - R)}{(r+R)^3} E^2\end{aligned}$$



# 例題 解答

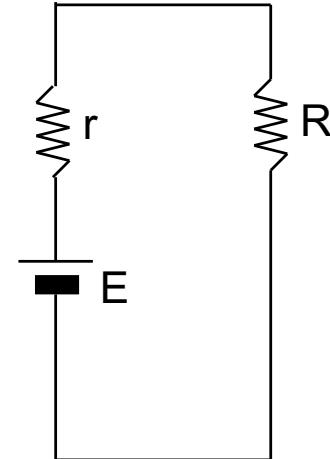
$$\begin{aligned}\frac{\partial P}{\partial R} &= \frac{(r - R)}{(r + R)^3} E^2 = 0 \\ (r - R)E^2 &= 0 \\ (r - R) &= 0 \\ r &= R\end{aligned}$$



# 例題 解答

(3)

$$\begin{aligned} P &= E^2 \frac{R}{(r+R)^2} = E^2 \frac{r}{(r+r)^2} \\ &= E^2 \frac{r}{(2r)^2} = E^2 \frac{r}{4r^2} = E^2 \frac{1}{4r} = \frac{10^2}{4 \times 1} = \frac{100}{4} \\ &= 25[W] \end{aligned}$$

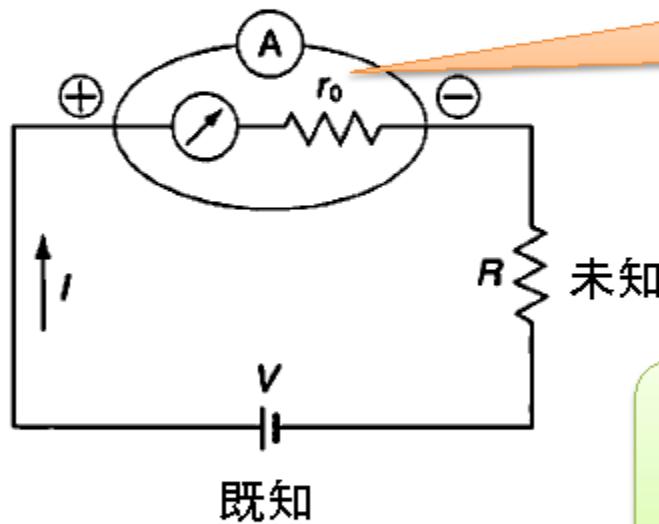


# 電流計

測りたい電流が流れる区間に **直列** に接続する。

メータの示す電流値

$$I_A = \frac{1}{r_0 + R} V$$



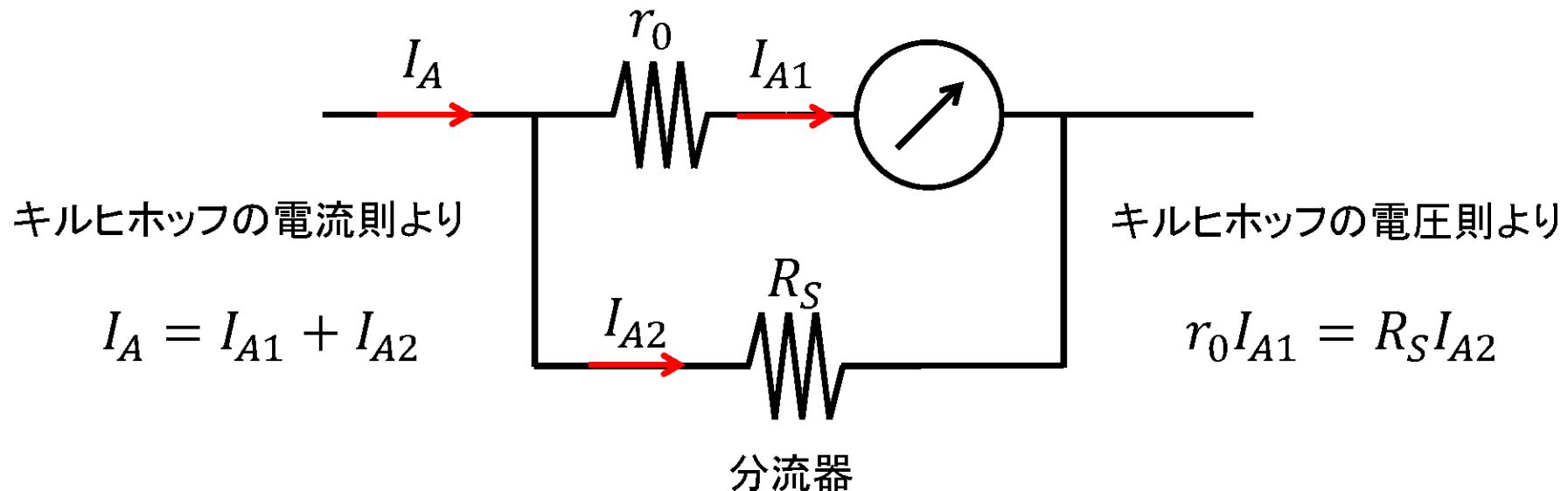
内部抵抗

例) 電圧が既知の場合、  
電流が分かれば抵抗も  
分かる。

電流を正しく測るために、 $r_0 \ll R$  であることが必要。  
(=動作を邪魔しない)

# 分流器

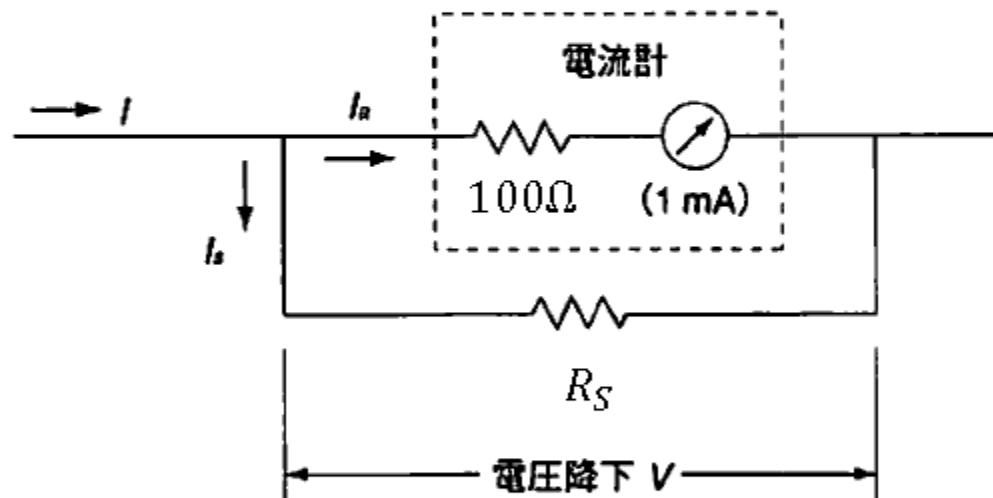
電流計 の測定範囲を広げるために用いる抵抗器



$$(\text{倍率}) = \frac{I_A}{I_{A1}} = \frac{I_{A1} + I_{A2}}{I_{A1}} = 1 + \frac{r_0}{R_S}$$

# (計算例)

100mAの電流まで測れるようにする分流器は何Ωか.



$$\text{分流器 } R_S = \frac{100}{99} \Omega$$

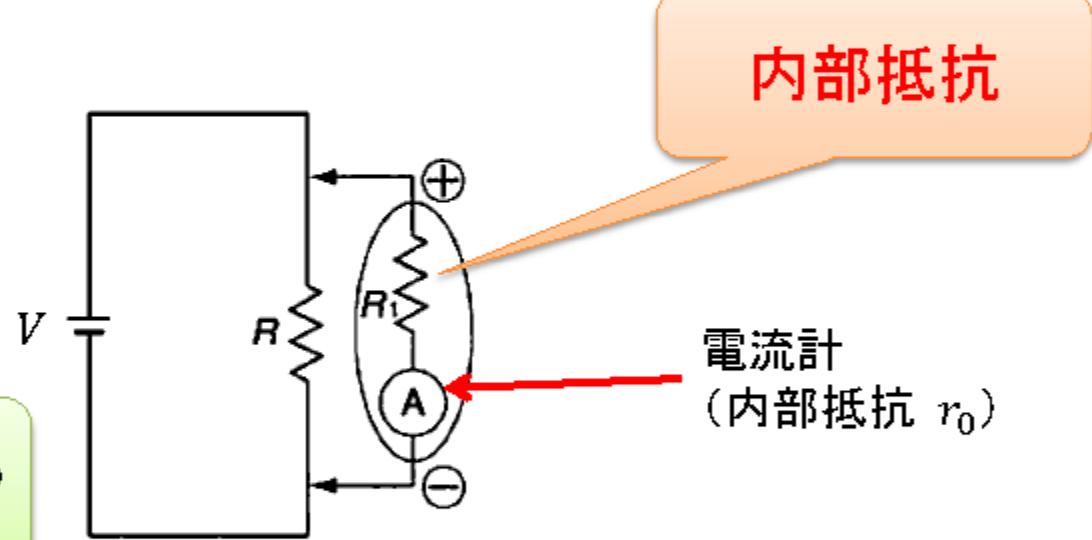
# 電圧計

測りたい電圧が加わる区間に **並列** に接続する。

メータの示す電圧値

$$V_A = (R_1 + r_0)I_A$$

メータに流れる電流はできる限り小さいほうがよい。

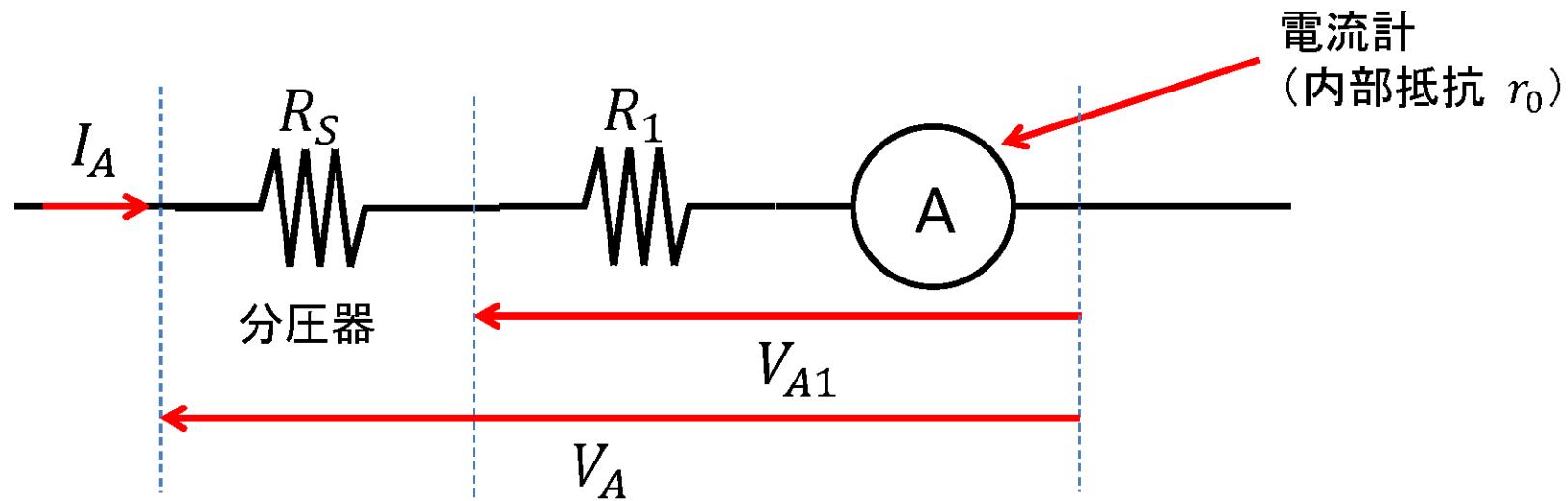


電圧を正しく測るためにには,  $R_1 \gg r_0$  であることが必要。

動作を邪魔しないためにには,  $R_1 \gg R$  であることが必要。

# 分圧器

電圧計 の測定範囲を広げるために用いる抵抗器

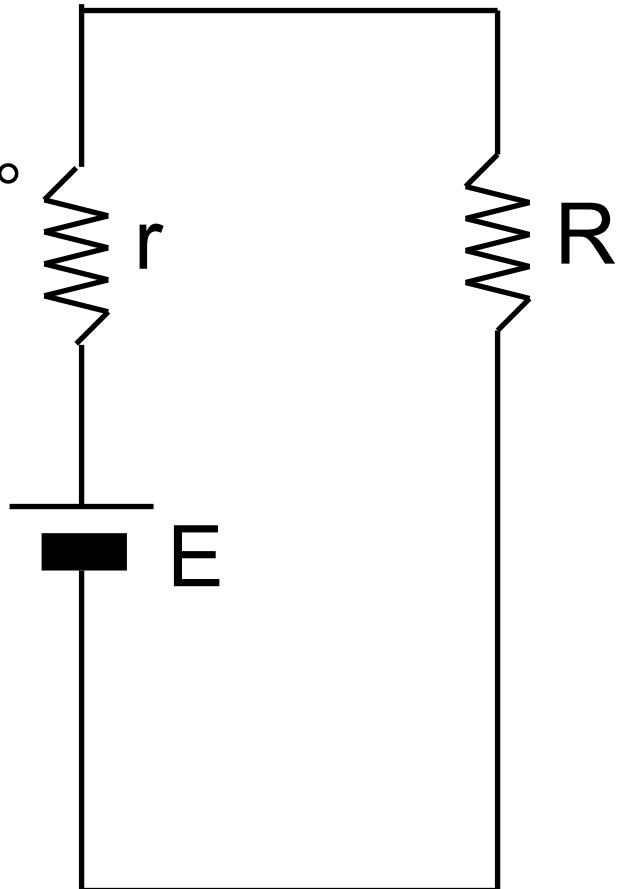


$$(\text{倍率}) = \frac{V_A}{V_{A1}} = 1 + \frac{R_S}{R_1 + r_0}$$

# 練習問題1

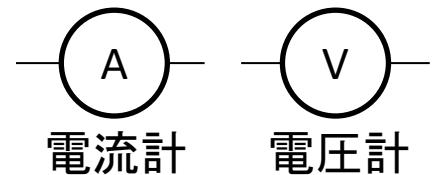
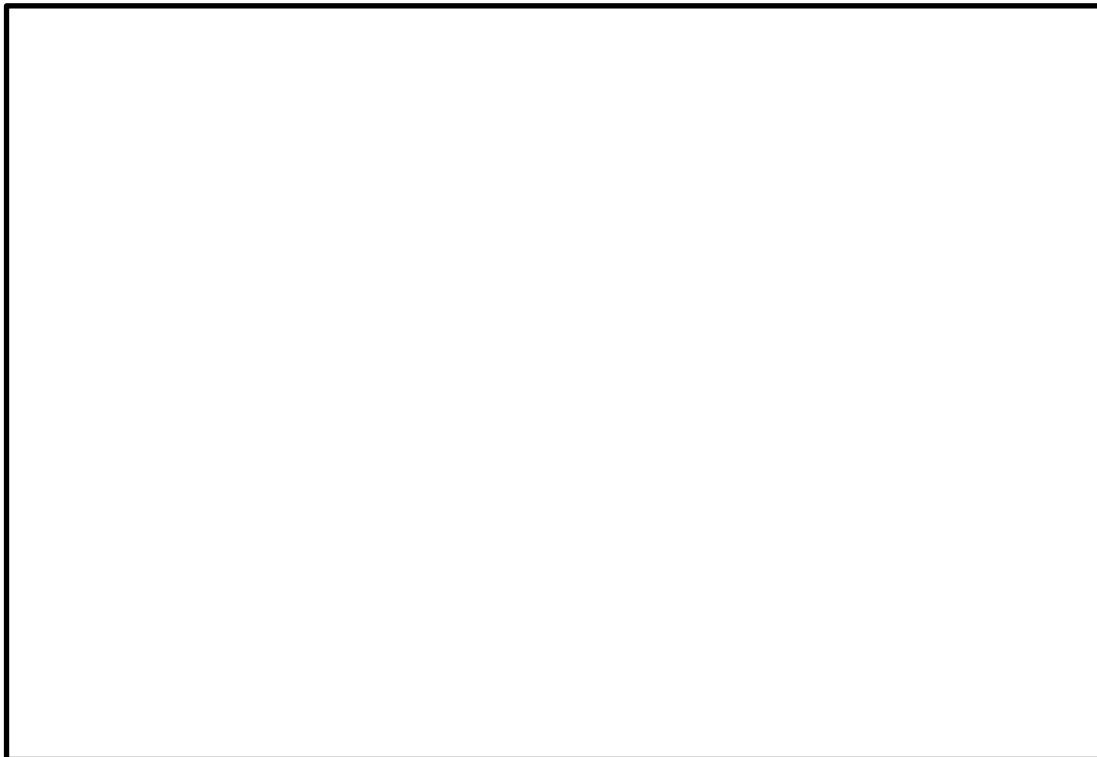
図の回路において $r$ は電源 $E$ の内部抵抗、 $R$ は回路に接続された負荷を表す。

(1)  $r=10$ 、 $E=100$ とした時の負荷 $R$ における最大電力を求めよ。



# 練習問題2

1つの抵抗にかかる電圧、流れる電流を測る時、電圧計、電流計をそれぞれどのように接続すれば良いか。



# 練習問題2 解答

1つの抵抗にかかる電圧、流れる電流を測る時、電圧計、電流計をそれぞれどのように接続すれば良いか。

