

講義中の注意

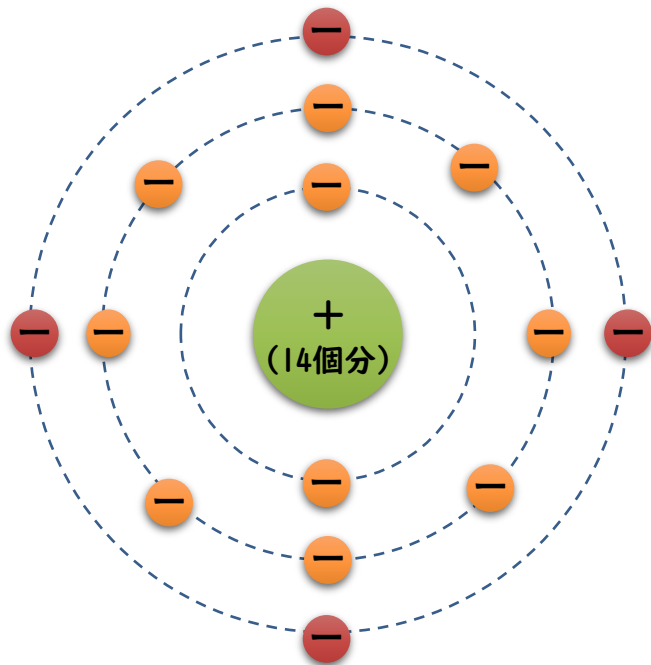


- 講義中は、参加者のマイク・カメラの機能はミュート状態になります。
- 進行はスタッフ及び講師が行いますので、指示に従ってください。
- 質疑応答の時間は、参加者のマイクをオンにして質問を受け付けることもあります。希望される方は「チャット欄」で申し出てください。

電験三種 ライブ講義

第7回 半導体

半導体とは



- + 原子核
(電子と同じ数の陽子 (+の電荷) を持つ)
- 電子 (-の電荷を持つ)
- 最外殻電子
(原子の電気的特性を決める)

- 最外殻に電子が4つある原子 (IV族の原子)
- 代表的な原子はSi (ケイ素、シリコン)
- 外部からのエネルギーにより最外殻の電子が外れたりくっついたりする

半導体 Si (ケイ素)、Ge (ゲルマニウム)
SiC (炭化ケイ素)、GaAs (ガリウムヒ素)

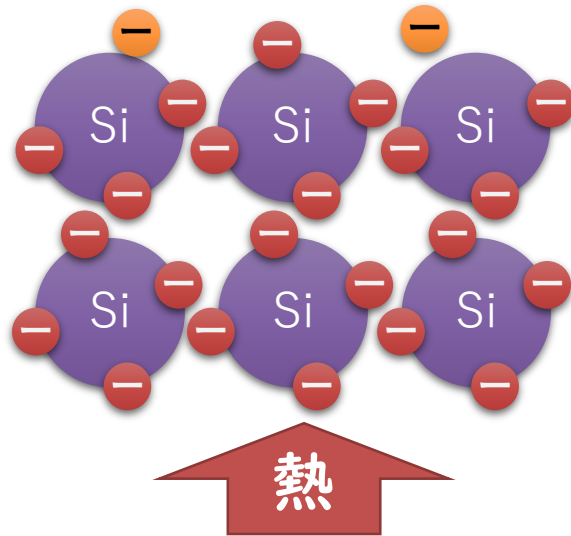
抵抗の大きさ: 導体の10000倍以上

外部エネルギー
で変化

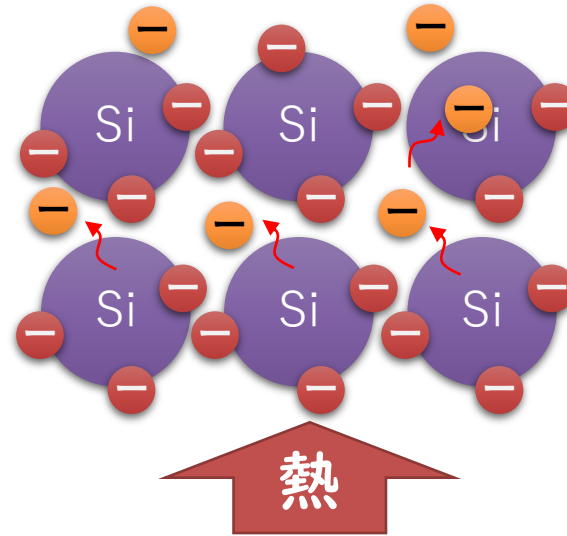
応用: 太陽電池、ダイオード、トランジスタ、FET、
ホール素子、ペルチェ素子、LED、レーザ、
CMOS、LSIなど

半導体と熱

半導体に熱を加える

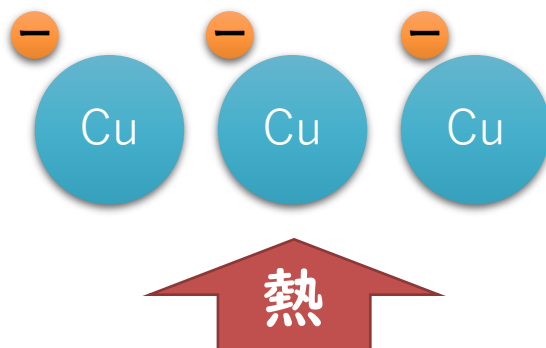


自由電子の数が増える

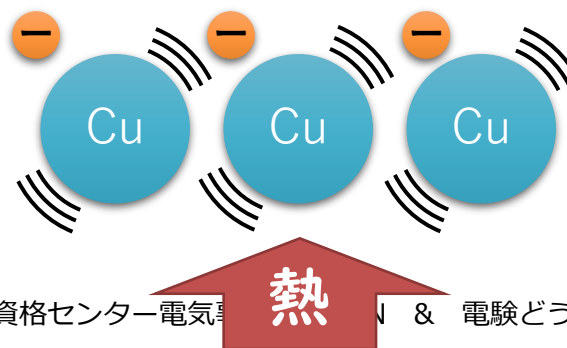


抵抗率が下がる
(導電率が上がる)

金属に熱を加える



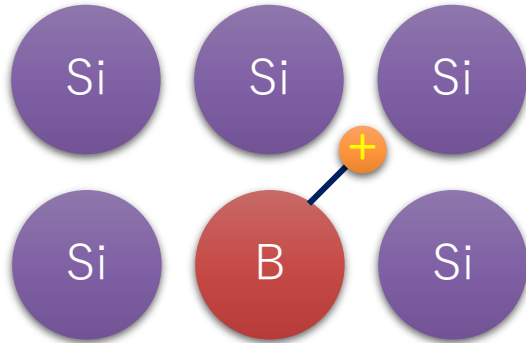
原子が振動する



電子の動きを阻害するため
抵抗率が上がる
(導電率が下がる)

半導体と不純物

IV族の半導体に**III族**の原子を混ぜる

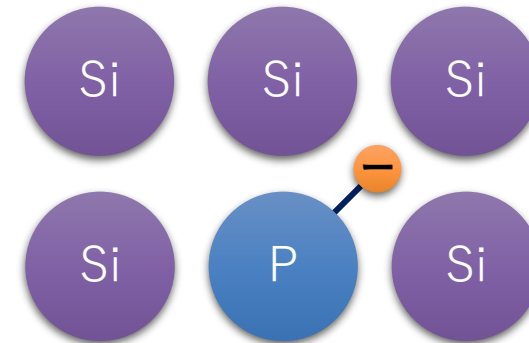


電子が足りない(電子の穴) → **正孔**となる
(+の電荷)

III族の原子(**アクセプタ**)
B(ホウ素), Al(アルミニウム),
Ga(ガリウム)など

p型半導体

IV族の半導体に**V族**の原子を混ぜる



電子が余る → **自由電子**となる
(-の電荷)

V族の原子(**ドナー**)
P(リン), As(ヒ素),
Sb(アンチモン)など

n型半導体

H25 問11

次の文章は、不純物半導体に関する記述である。

極めて高い純度に精製されたケイ素 (Si) の真性半導体に、微量のリン (P)、ヒ素 (As) などの ア 価の元素を不純物として加えたものを イ 形半導体といい、このとき加えた不純物を ウ という。

ただし、Si、P、Asの原子番号は、それぞれ14、15、33である。

上記の記述中の空白箇所ア、イ及びウに当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

| | ア | イ | ウ |
|-----|---|---|-------|
| (1) | 5 | p | アクセプタ |
| (2) | 3 | n | ドナー |
| (3) | 3 | p | アクセプタ |
| (4) | 5 | n | アクセプタ |
| (5) | 5 | n | ドナー |

H18 問11

極めて高い純度に精製されたけい素 (Si) の真性半導体に、微量のほう素 (B) 又はインジウム (In) などの ア 価の元素を不純物として加えたものを イ 形半導体といい、このとき加えた不純物を ウ という。

上記の記述中の空白箇所ア、イ及びウに当てはまる語句又は数値として、正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。

| | ア | イ | ウ |
|-----|---|---|-------|
| (1) | 5 | n | ドナー |
| (2) | 3 | p | アクセプタ |
| (3) | 3 | n | ドナー |
| (4) | 5 | n | アクセプタ |
| (5) | 3 | p | ドナー |

H25 問11

次の文章は、不純物半導体に関する記述である。

極めて高い純度に精製されたケイ素 (Si) の真性半導体に、微量のリン (P)、ヒ素 (As) などの 価の元素を不純物として加えたものを 形半導体といい、このとき加えた不純物を という。

ただし、Si、P、As の原子番号は、それぞれ 14、15、33 である。

上記の記述中の空白箇所ア、イ及びウに当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

| | ア | イ | ウ |
|-----|---|---|-------|
| (1) | 5 | p | アクセプタ |
| (2) | 3 | n | ドナー |
| (3) | 3 | p | アクセプタ |
| (4) | 5 | n | アクセプタ |
| (5) | 5 | n | ドナー |

H18 問11

極めて高い純度に精製されたけい素 (Si) の真性半導体に、微量のほう素 (B) 又はインジウム (In) などの 価の元素を不純物として加えたものを 形半導体といい、このとき加えた不純物を という。

上記の記述中の空白箇所ア、イ及びウに当てはまる語句又は数値として、正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。

| | ア | イ | ウ |
|-----|---|---|-------|
| (1) | 5 | n | ドナー |
| (2) | 3 | p | アクセプタ |
| (3) | 3 | n | ドナー |
| (4) | 5 | n | アクセプタ |
| (5) | 3 | p | ドナー |

H28 問11

半導体に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 極めて高い純度に精製されたシリコン (Si) の真性半導体に、価電子の数が3個の原子、例えばホウ素 (B) を加えると p 形半導体になる。
- (2) 真性半導体に外部から熱を与えると、その抵抗率は温度の上昇とともに増加する。
- (3) n 形半導体のキャリアは正孔より自由電子の方が多い。
- (4) 不純物半導体の導電率は金属よりも小さいが、真性半導体よりも大きい。
- (5) 真性半導体に外部から熱や光などのエネルギーを加えると電流が流れ、その向きは正孔の移動する向きと同じである。

H21 問11

半導体に関する記述として、誤っているのは次のうちどれか。

- (1) シリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) の真性半導体においては、キャリアの電子と正孔の数は同じである。
- (2) 真性半導体に微量のⅢ族又はⅤ族の元素を不純物として加えた半導体を不純物半導体といい、電気伝導度が真性半導体に比べて大きくなる。
- (3) シリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) の真性半導体にⅤ族の元素を不純物として微量だけ加えたものを p 形半導体という。
- (4) n 形半導体の少数キャリアは正孔である。
- (5) 半導体の電気伝導度は温度が下がると小さくなる。

H28 問11

半導体に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

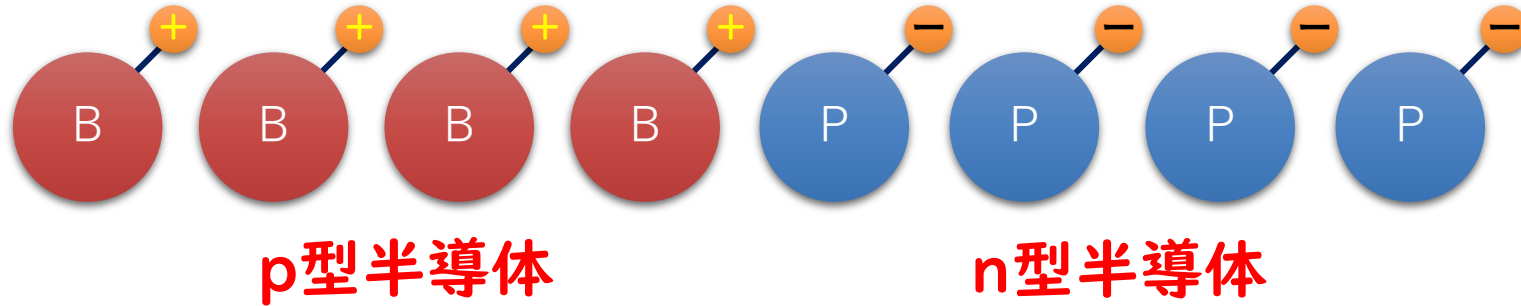
- (1) 極めて高い純度に精製されたシリコン (Si) の真性半導体に、価電子の数が3個の原子、例えばホウ素 (B) を加えると p 形半導体になる。
- (2) 真性半導体に外部から熱を与えると、その抵抗率は温度の上昇とともに増加する。
- (3) n 形半導体のキャリアは正孔より自由電子の方が多い。
- (4) 不純物半導体の導電率は金属よりも小さいが、真性半導体よりも大きい。
- (5) 真性半導体に外部から熱や光などのエネルギーを加えると電流が流れ、その向きは正孔の移動する向きと同じである。

H21 問11

半導体に関する記述として、誤っているのは次のうちどれか。

- (1) シリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) の真性半導体においては、キャリアの電子と正孔の数は同じである。
- (2) 真性半導体に微量のⅢ族又はⅤ族の元素を不純物として加えた半導体を不純物半導体といい、電気伝導度が真性半導体に比べて大きくなる。
- (3) シリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) の真性半導体にⅤ族の元素を不純物として微量だけ加えたものを p 形半導体という。
- (4) n 形半導体の少数キャリアは正孔である。
- (5) 半導体の電気伝導度は温度が下がると小さくなる。

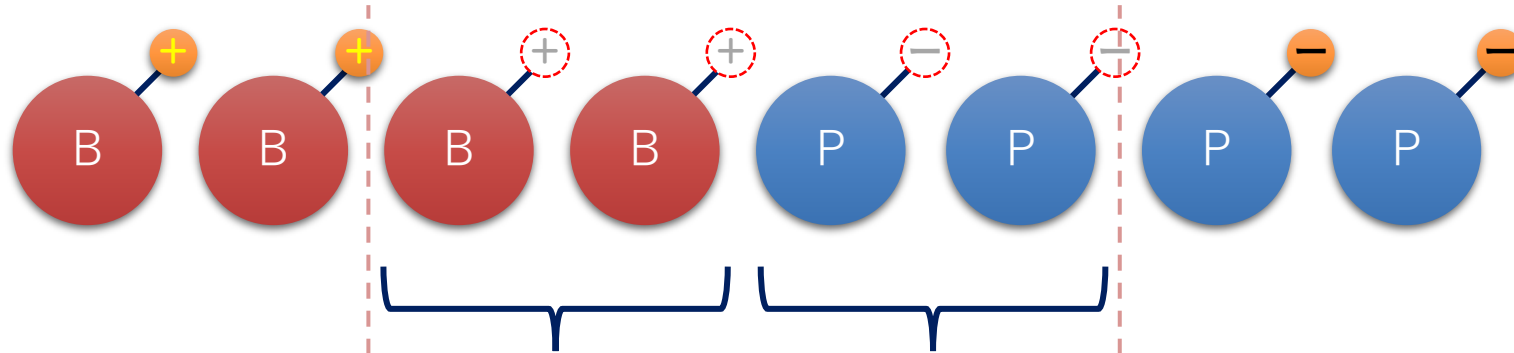
pn接合



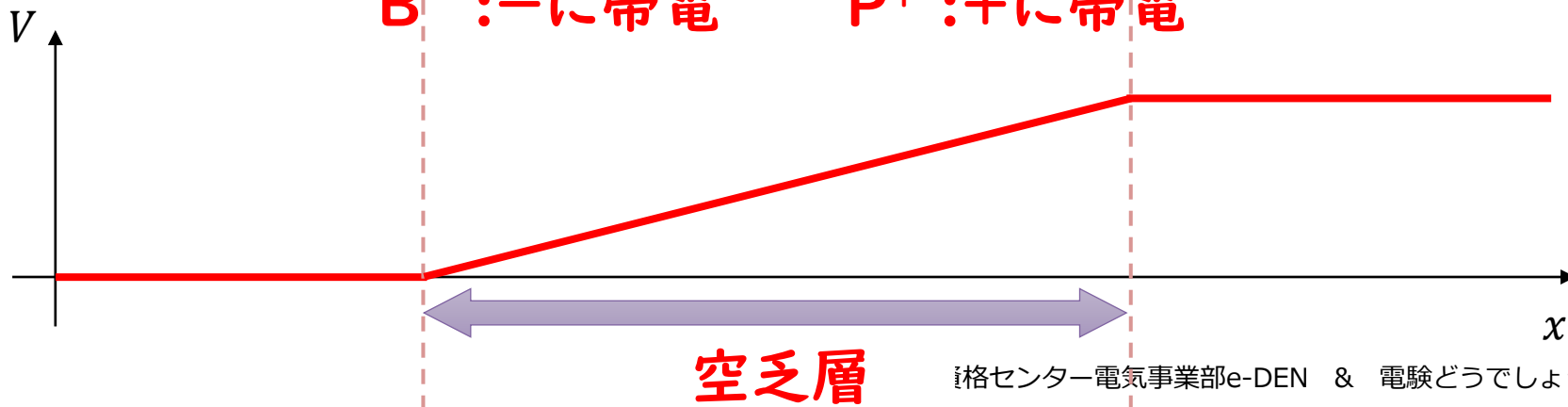
p半導体とn型半導体をくっつける



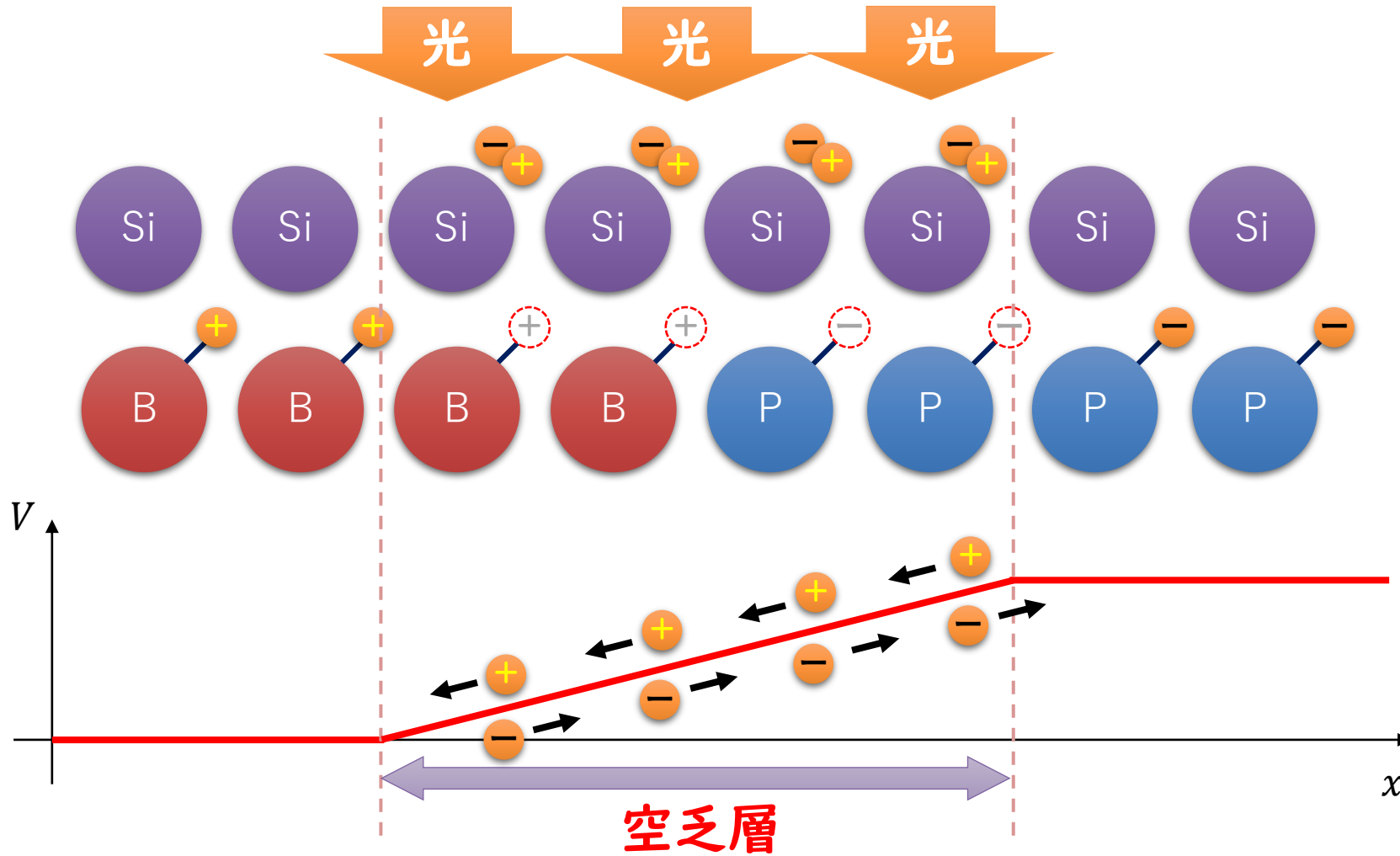
接合面の自由電子と正孔が結合してなくなる



接合面に**電位差**ができる
この部分を**空乏層**という



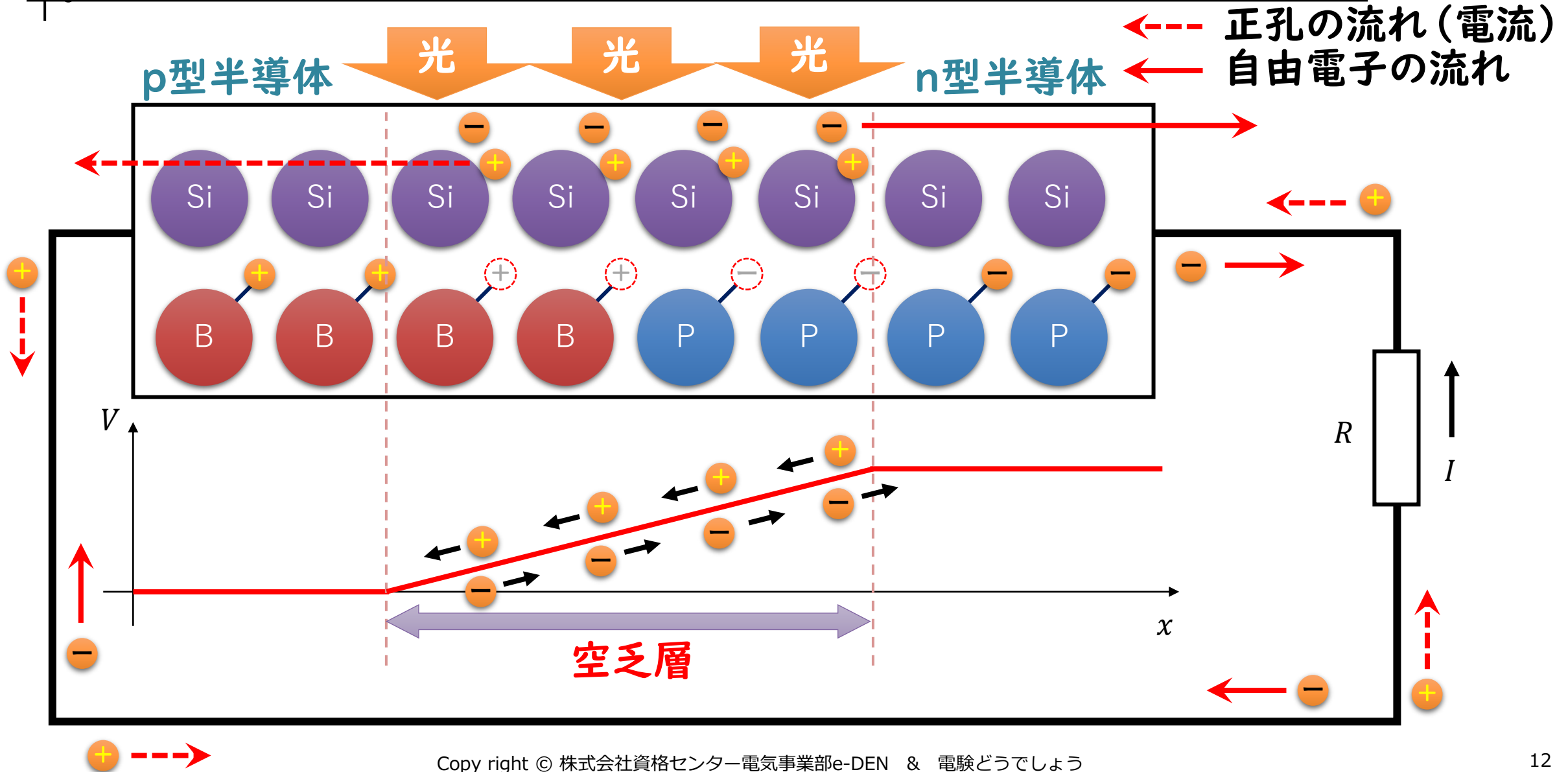
pn接合の応用（太陽電池）



接合面に光をあてると、
Siから自由電子と正孔
が発生する

空乏層の電位差により
自由電子と正孔はそれぞれ
決まった方向に動こうとする

pn接合の応用（太陽電池）



RO I 問 I I

問 11 次の文章は、太陽電池に関する記述である。

太陽光のエネルギーを電気エネルギーに直接変換するものとして、半導体を用いた太陽電池がある。p 形半導体と n 形半導体による pn 接合を用いているため、構造としては (ア) と同じである。太陽電池に太陽光を照射すると、半導体の中で負の電気をもつ電子と正の電気をもつ (イ) が対になって生成され、電子は n 形半導体の側に、(ウ) は p 形半導体の側に、それぞれ引き寄せられる。その結果、p 形半導体に付けられた電極がプラス極、n 形半導体に付けられた電極がマイナス極となるように起電力が生じる。両電極間に負荷抵抗を接続すると太陽電池から取り出された電力が負荷抵抗で消費される。その結果、負荷抵抗を接続する前に比べて太陽電池の温度は (ウ) 。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)及び(ウ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

| | (ア) | (イ) | (ウ) |
|-----|--------|------|------|
| (1) | ダイオード | 正孔 | 低くなる |
| (2) | ダイオード | 正孔 | 高くなる |
| (3) | トランジスタ | 陽イオン | 低くなる |
| (4) | トランジスタ | 正孔 | 高くなる |
| (5) | トランジスタ | 陽イオン | 高くなる |

ROI 問11

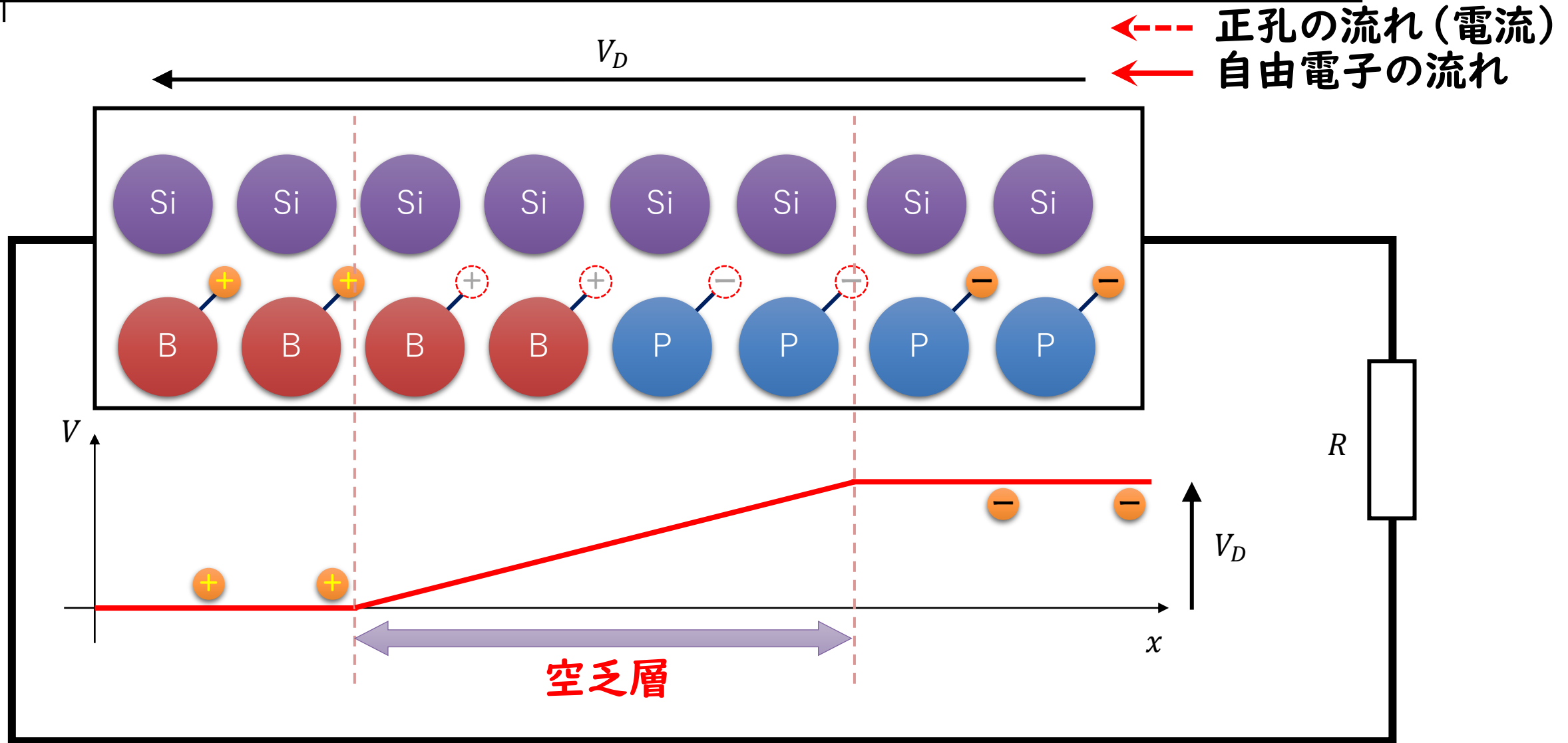
問 11 次の文章は、太陽電池に関する記述である。

太陽光のエネルギーを電気エネルギーに直接変換するものとして、半導体を用いた太陽電池がある。p 形半導体と n 形半導体による pn 接合を用いているため、構造としては (ア) と同じである。太陽電池に太陽光を照射すると、半導体の中で負の電気をもつ電子と正の電気をもつ (イ) が対になって生成され、電子は n 形半導体の側に、(ウ) は p 形半導体の側に、それぞれ引き寄せられる。その結果、p 形半導体に付けられた電極がプラス極、n 形半導体に付けられた電極がマイナス極となるように起電力が生じる。両電極間に負荷抵抗を接続すると太陽電池から取り出された電力が負荷抵抗で消費される。その結果、負荷抵抗を接続する前に比べて太陽電池の温度は (ウ) 。

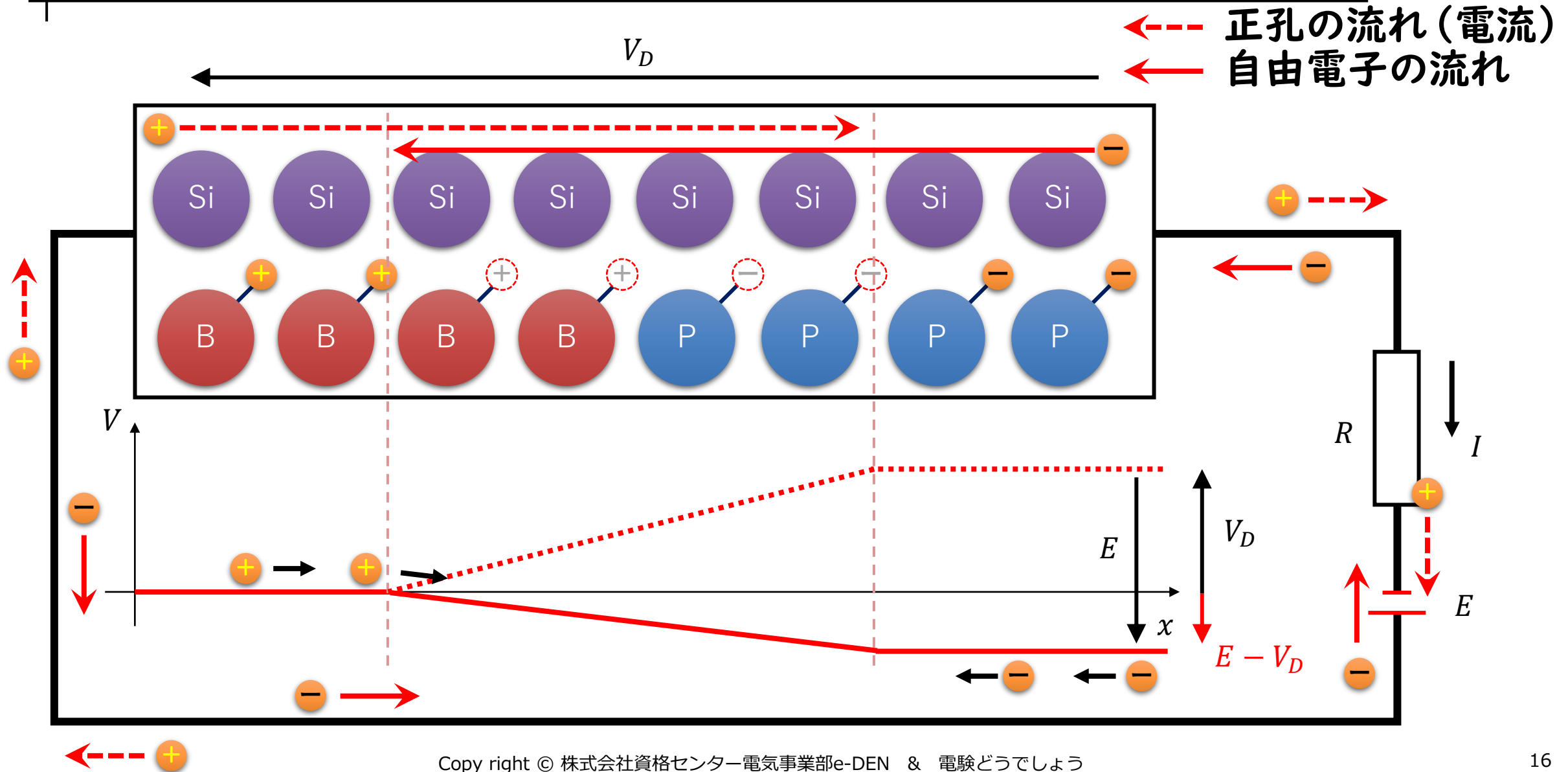
上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)及び(ウ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

| | (ア) | (イ) | (ウ) |
|-----|--------|------|------|
| (1) | ダイオード | 正孔 | 低くなる |
| (2) | ダイオード | 正孔 | 高くなる |
| (3) | トランジスタ | 陽イオン | 低くなる |
| (4) | トランジスタ | 正孔 | 高くなる |
| (5) | トランジスタ | 陽イオン | 高くなる |

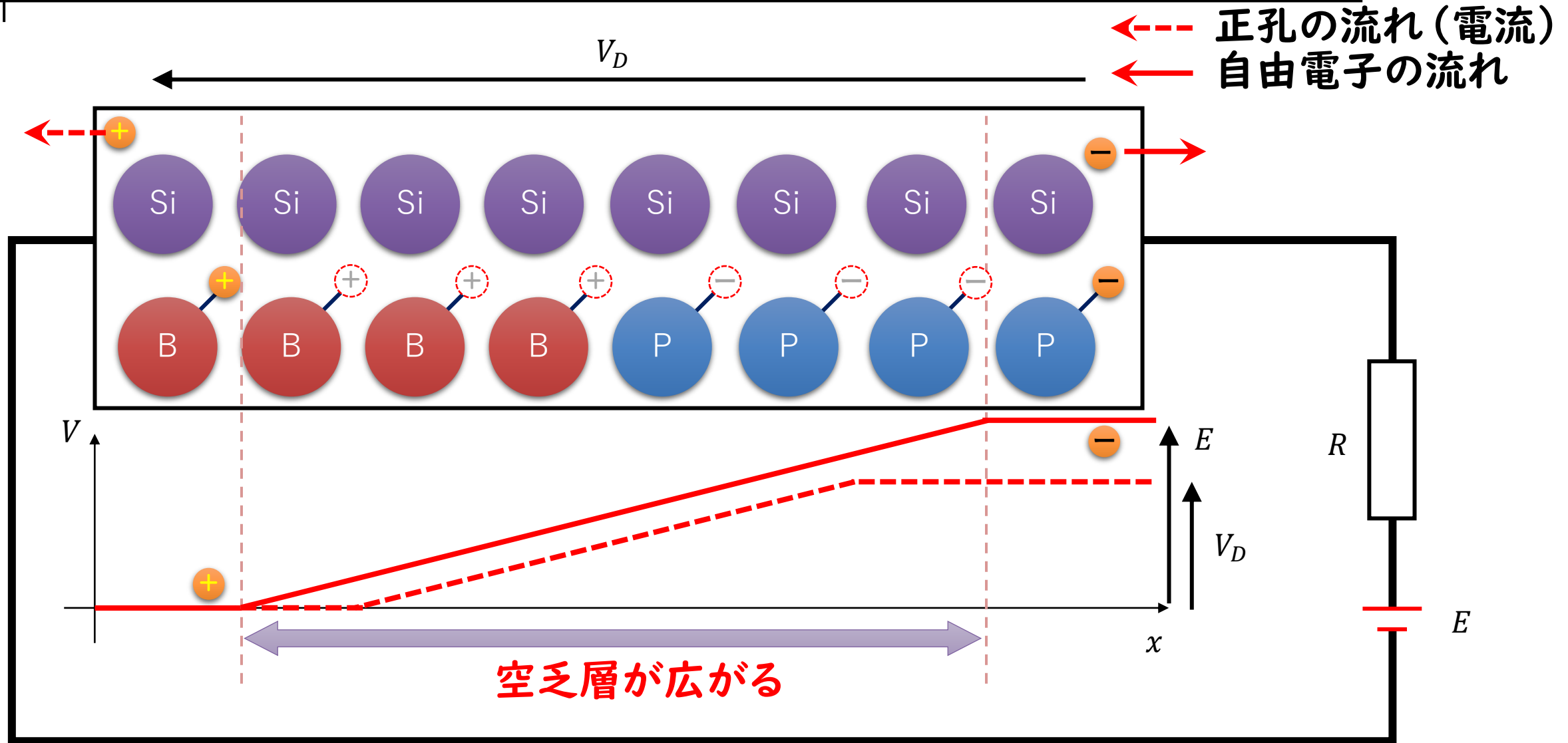
pn接合の応用 (ダイオード/整流作用)



pn接合の応用 (ダイオード/整流作用)



pn接合の応用 (ダイオード/整流作用)

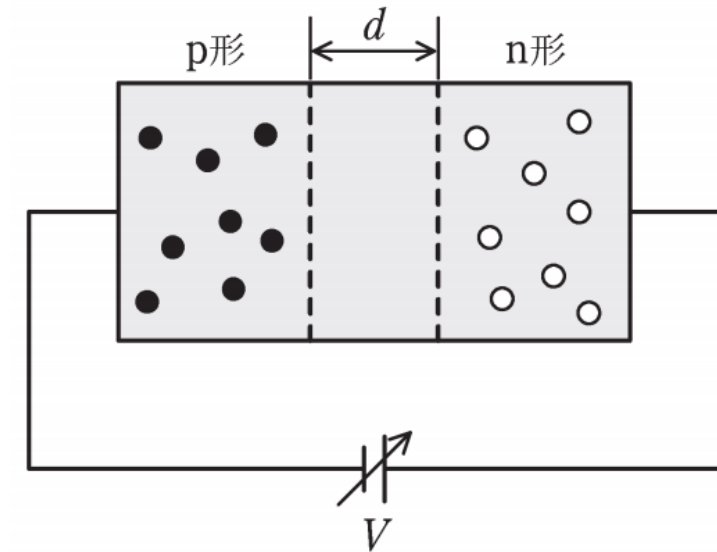


R02 問11

問 11 次の文章は、可変容量ダイオード(バリキャップやバラクタダイオードともいう)に関する記述である。

可変容量ダイオードとは、図に示す原理図のように 電圧 V [V] を加えると静電容量が変化するダイオードである。p 形半導体と n 形半導体を接合すると、p 形半導体のキャリア(図中の●印)と n 形半導体のキャリア(図中の○印)が pn 接合面付近で拡散し、互いに結合すると消滅して と呼ばれるキャリアがほとんど存在しない領域が生じる。可変容量ダイオードに 電圧を印加し、その大きさを大きくすると、 の領域の幅 d が なり、静電容量の値は なる。この特性を利用して可変容量ダイオードは などに用いられている。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



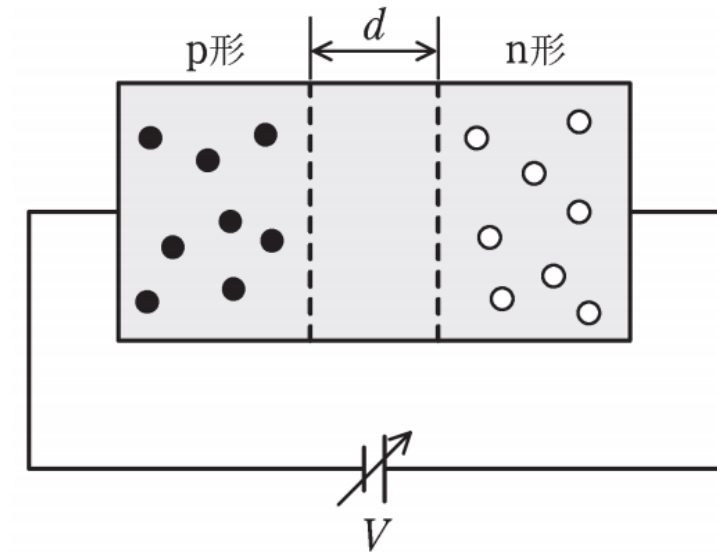
| | (ア) | (イ) | (ウ) | (エ) | (オ) |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| (1) | 逆方向 | 空乏層 | 広く | 小さく | 無線通信の同調回路 |
| (2) | 順方向 | 空乏層 | 狭く | 小さく | 光通信の受光回路 |
| (3) | 逆方向 | 空乏層 | 広く | 大きく | 光通信の受光回路 |
| (4) | 順方向 | 反転層 | 狭く | 大きく | 無線通信の変調回路 |
| (5) | 逆方向 | 反転層 | 広く | 小さく | 無線通信の同調回路 |

R02 問11

問 11 次の文章は、可変容量ダイオード(バリキャップやバラクタダイオードともいう)に関する記述である。

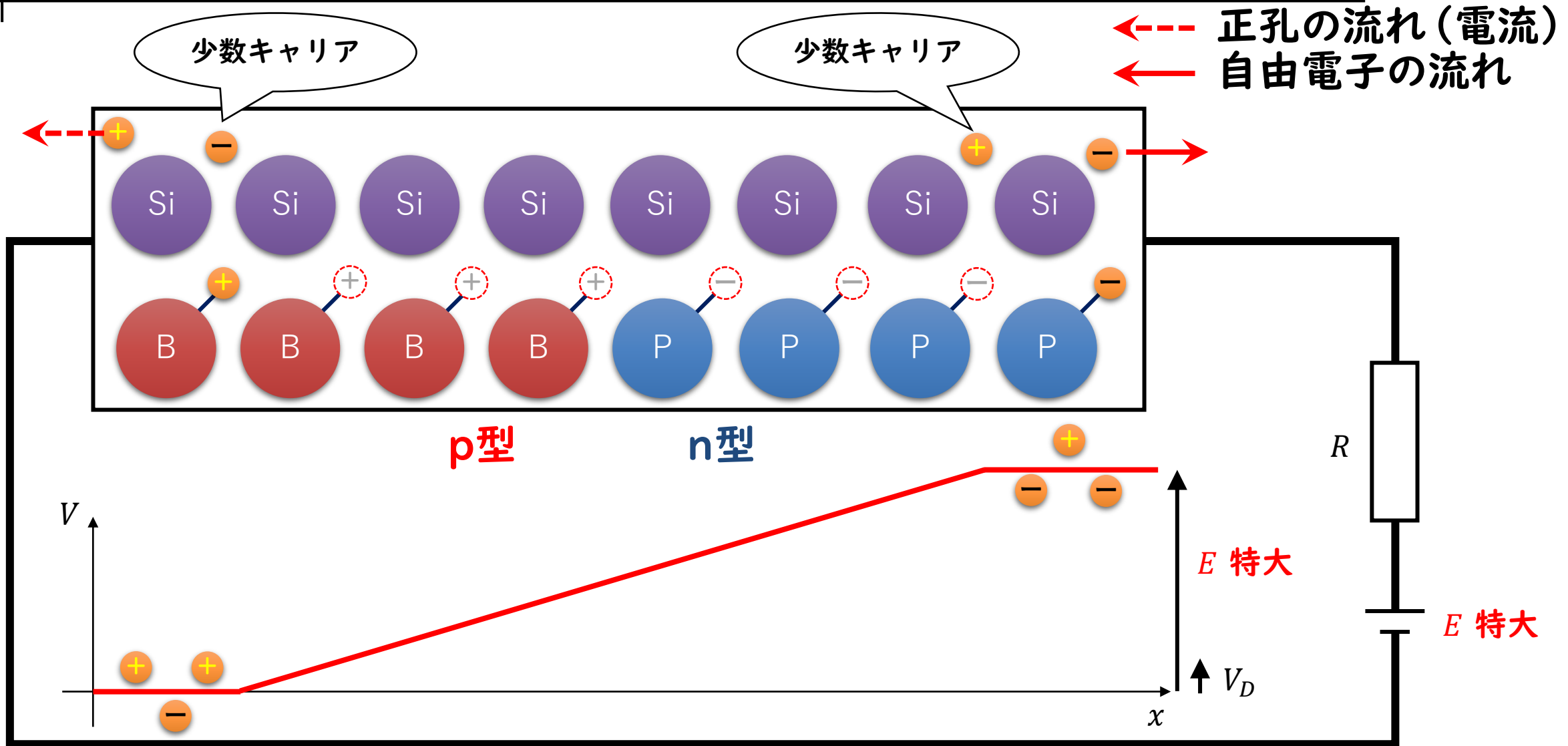
可変容量ダイオードとは、図に示す原理図のように 電圧 V [V] を加えると静電容量が変化するダイオードである。p 形半導体と n 形半導体を接合すると、p 形半導体のキャリア(図中の●印)と n 形半導体のキャリア(図中の○印)が pn 接合面付近で拡散し、互いに結合すると消滅して と呼ばれるキャリアがほとんど存在しない領域が生じる。可変容量ダイオードに 電圧を印加し、その大きさを大きくすると、 の領域の幅 d が なり、静電容量の値は なる。この特性を利用して可変容量ダイオードは などに用いられている。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

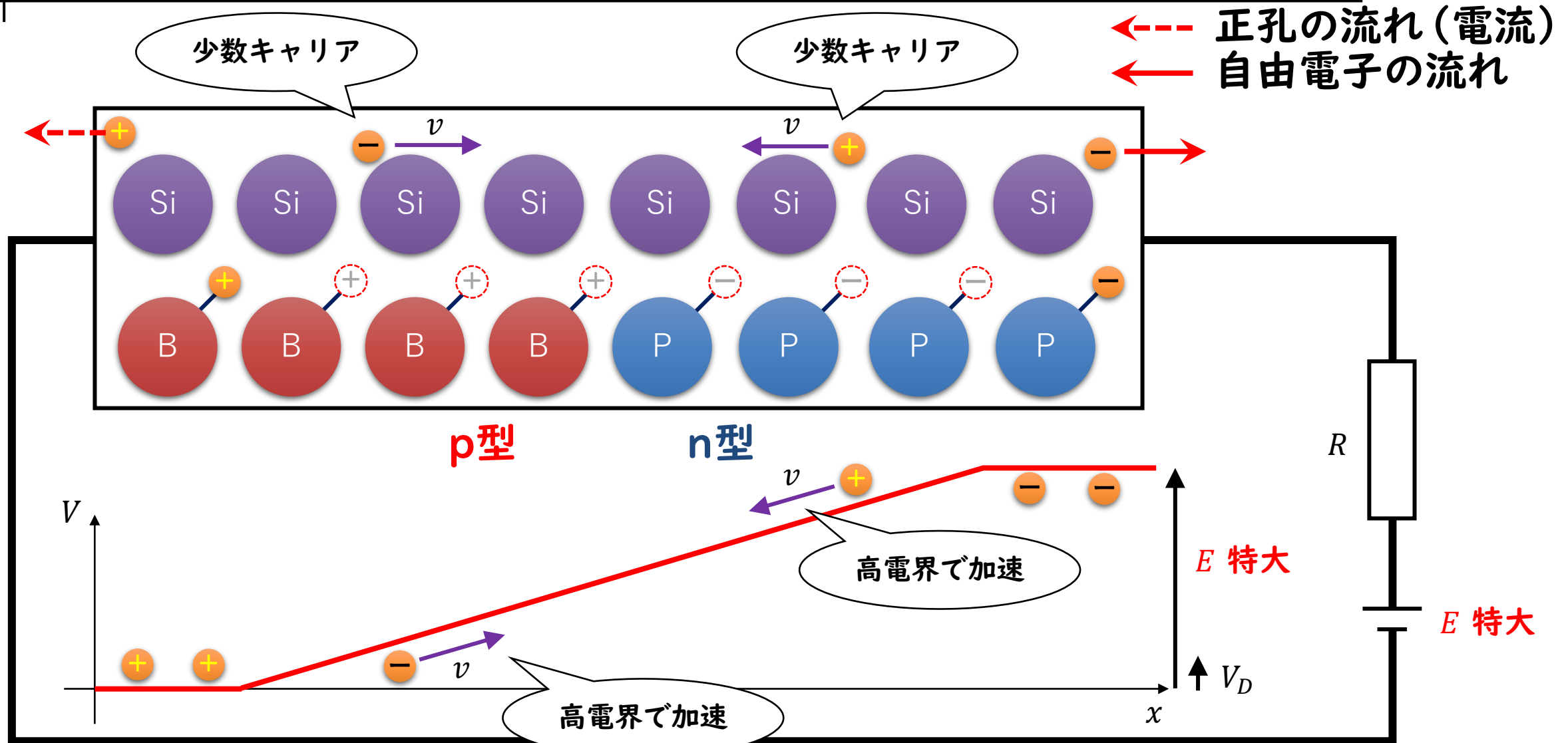


| | (ア) | (イ) | (ウ) | (エ) | (オ) |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| (1) | 逆方向 | 空乏層 | 広く | 小さく | 無線通信の同調回路 |
| (2) | 順方向 | 空乏層 | 狭く | 小さく | 光通信の受光回路 |
| (3) | 逆方向 | 空乏層 | 広く | 大きく | 光通信の受光回路 |
| (4) | 順方向 | 反転層 | 狭く | 大きく | 無線通信の変調回路 |
| (5) | 逆方向 | 反転層 | 広く | 小さく | 無線通信の同調回路 |

降伏現象

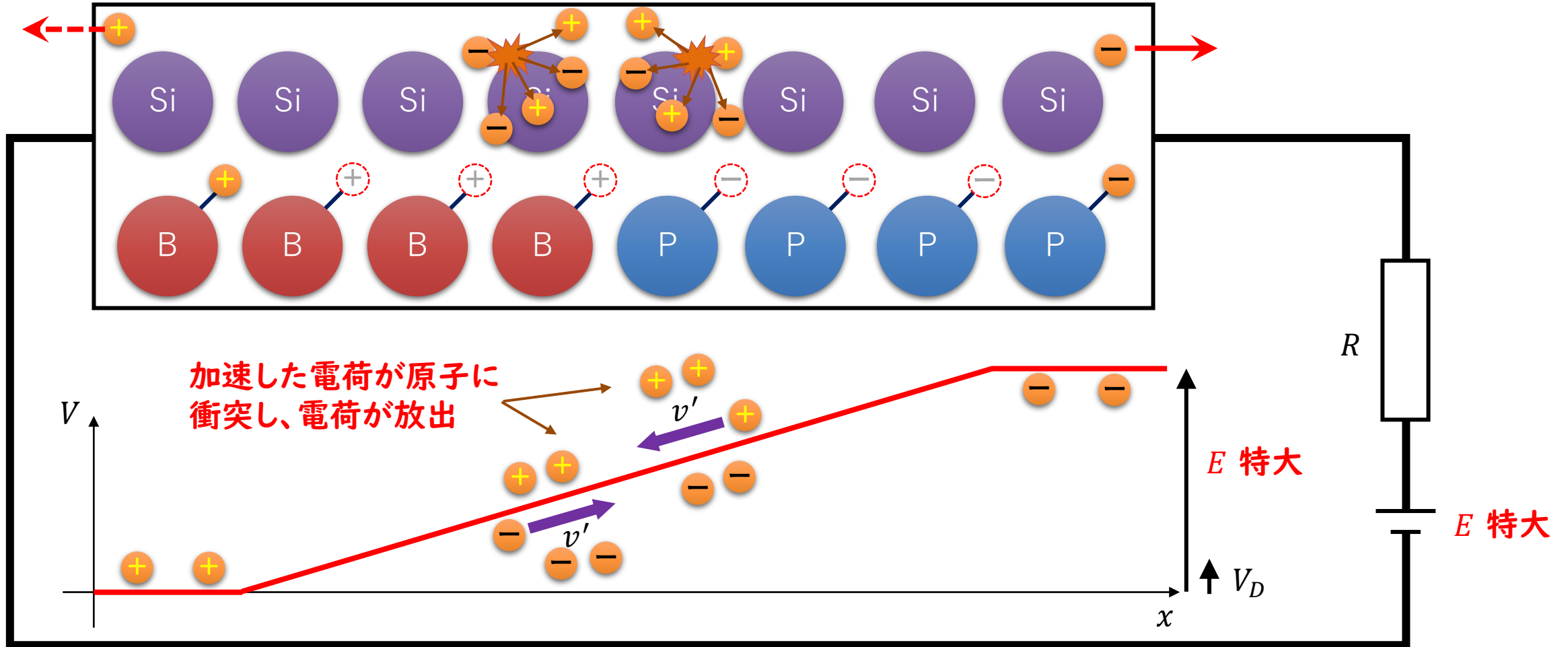


降伏現象



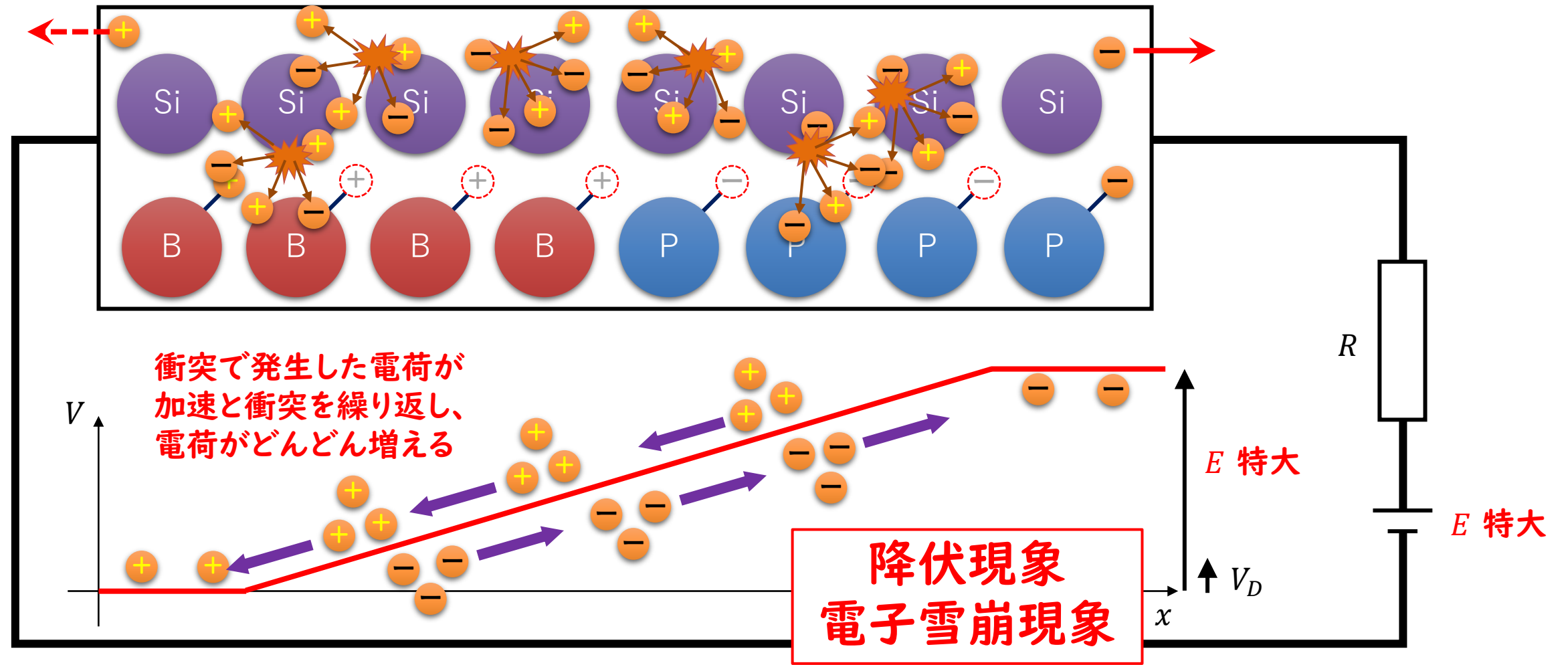
降伏現象

←-- 正孔の流れ (電流)
← 自由電子の流れ



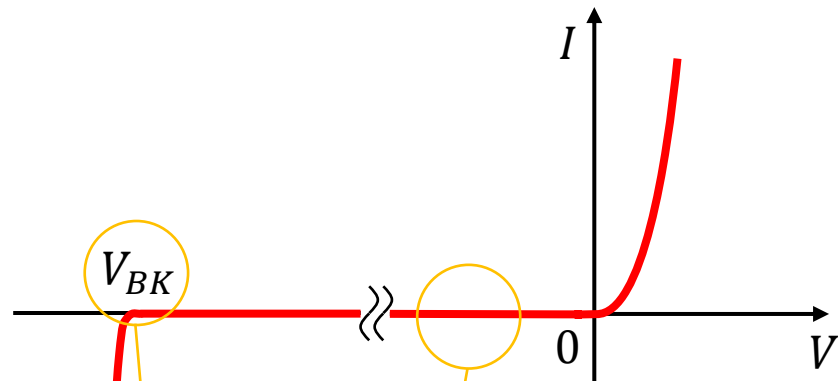
降伏現象

←-- 正孔の流れ (電流)
← 自由電子の流れ



降伏現象とその応用

逆方向のI-V特性



拡大すると

マイナス方向に少し電流が流れている → “暗電流”

ある電圧で一気に電流が流れる!
このときの電圧 → 降伏電圧

ツェナー現象、アバランシェ現象 (電子雪崩現象)

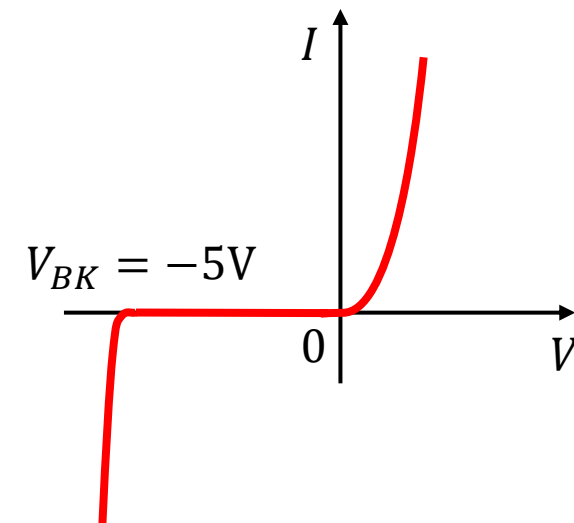
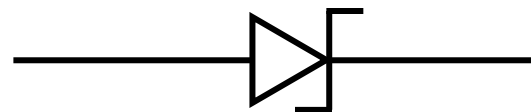
降伏電圧 → 通常 500Vくらい



不純物をうまく添加すると → 数Vくらい



積極的に降伏現象を使う素子 “ツェナーダイオード”



ゼーベック効果とペルチェ効果

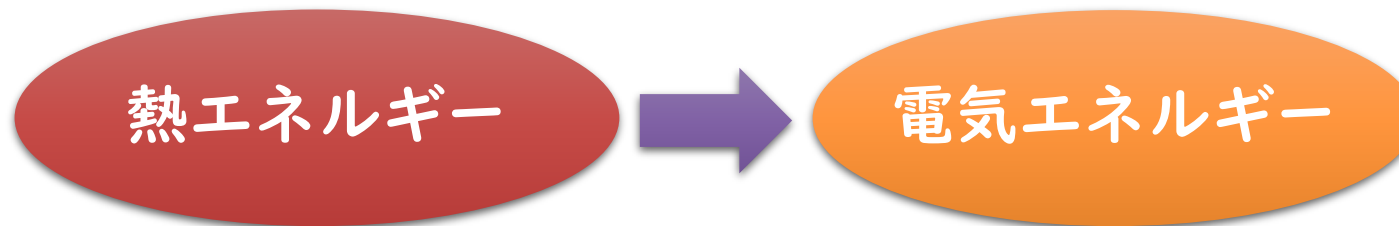


半導体の性質：温度が上がると、電流が流れやすくなる

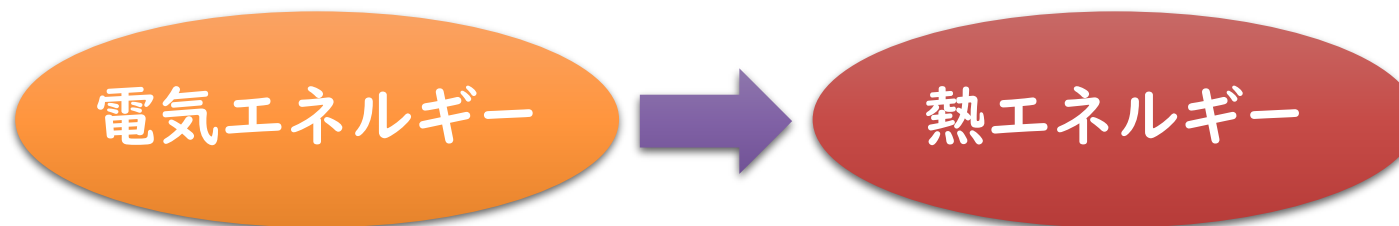
→温度が高いところから低いところへ電流が流れる（ゼーベック効果）

→電流が流れると温度が高いところと低いところができる（ペルチェ効果）

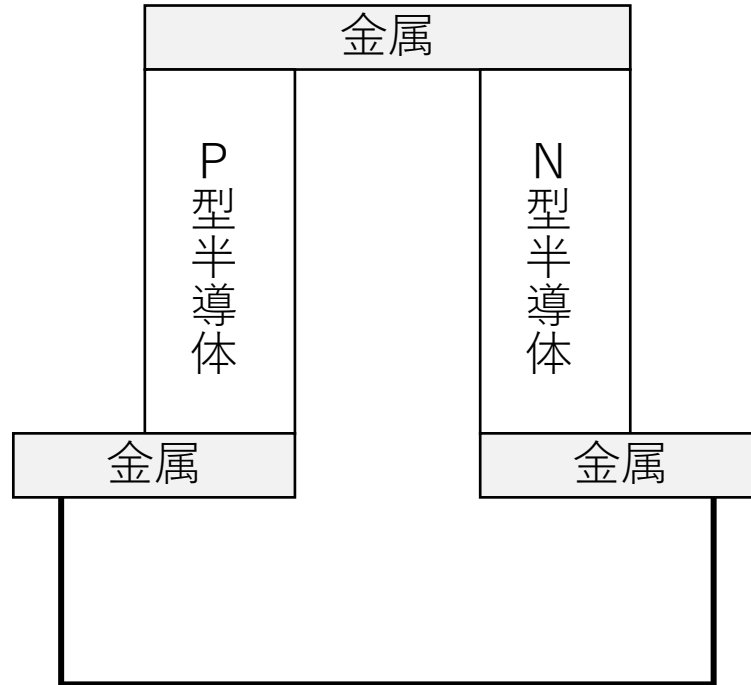
ゼーベック効果：物体の温度差が電圧に直接変換される現象



ペルチェ効果：異なる金属（半導体）を接合し電圧をかけ電流を流すと、接合点で熱の吸収・放出が起こる効果



ゼーベック効果

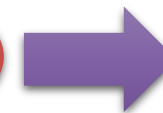


ゼーベック効果

物体の温度差が電圧に直接変換される現象

半導体の場合、過熱するとその部分のキャリアが増加することから、高温部から低温部にキャリアが移動する。

熱エネルギー

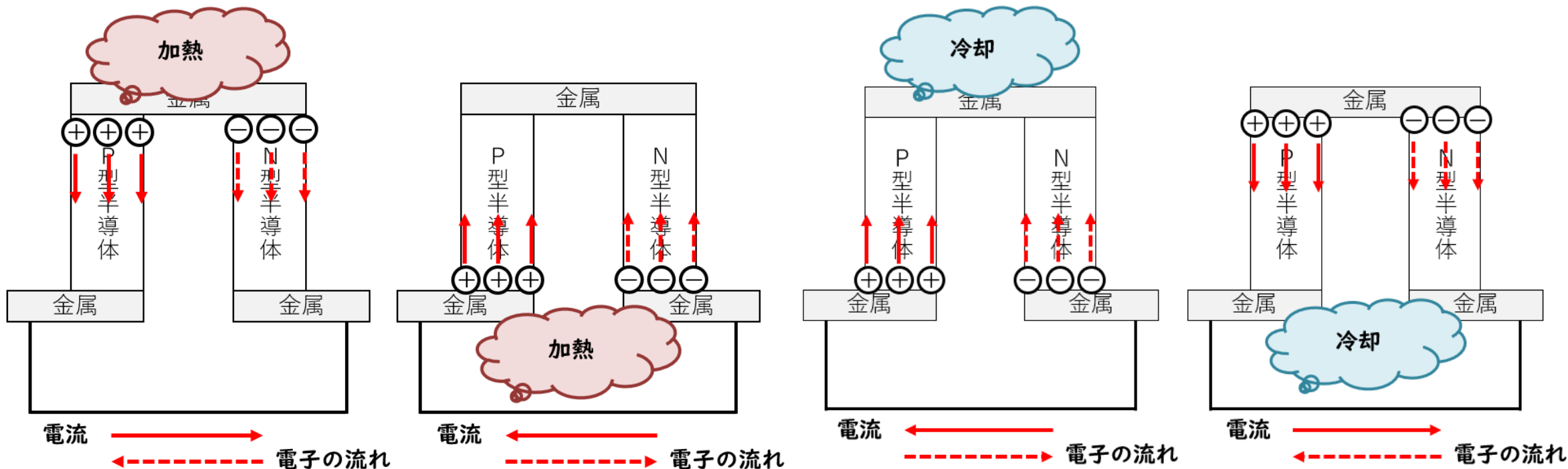


電気エネルギー

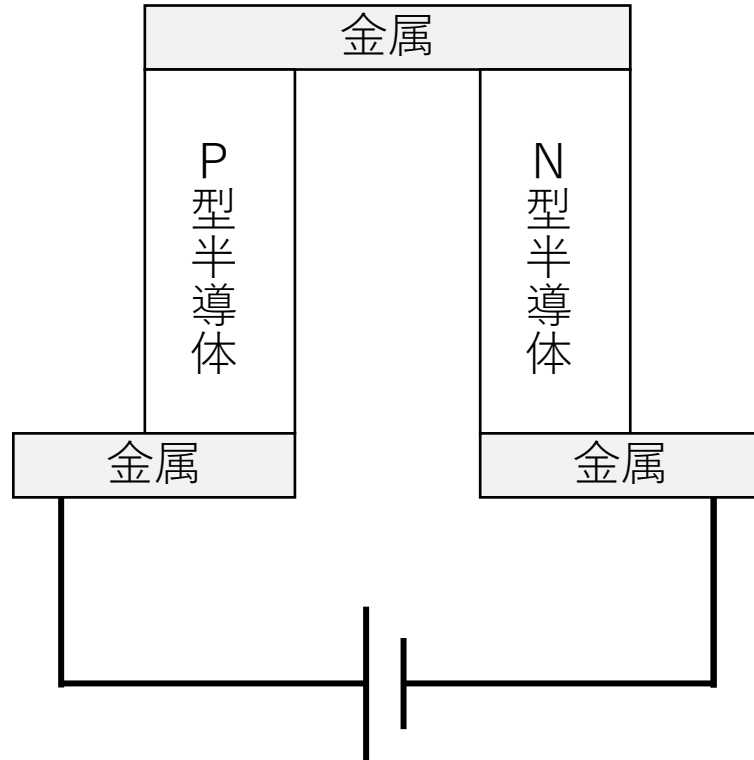
ゼーベック効果

金属を加熱するとき

金属を冷却するとき



ペルチェ効果

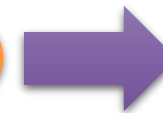


ペルチェ効果

異なる金属（半導体）を接合し電圧をかけ、電流を流すと、接合点で熱の吸収・放出が起こる効果

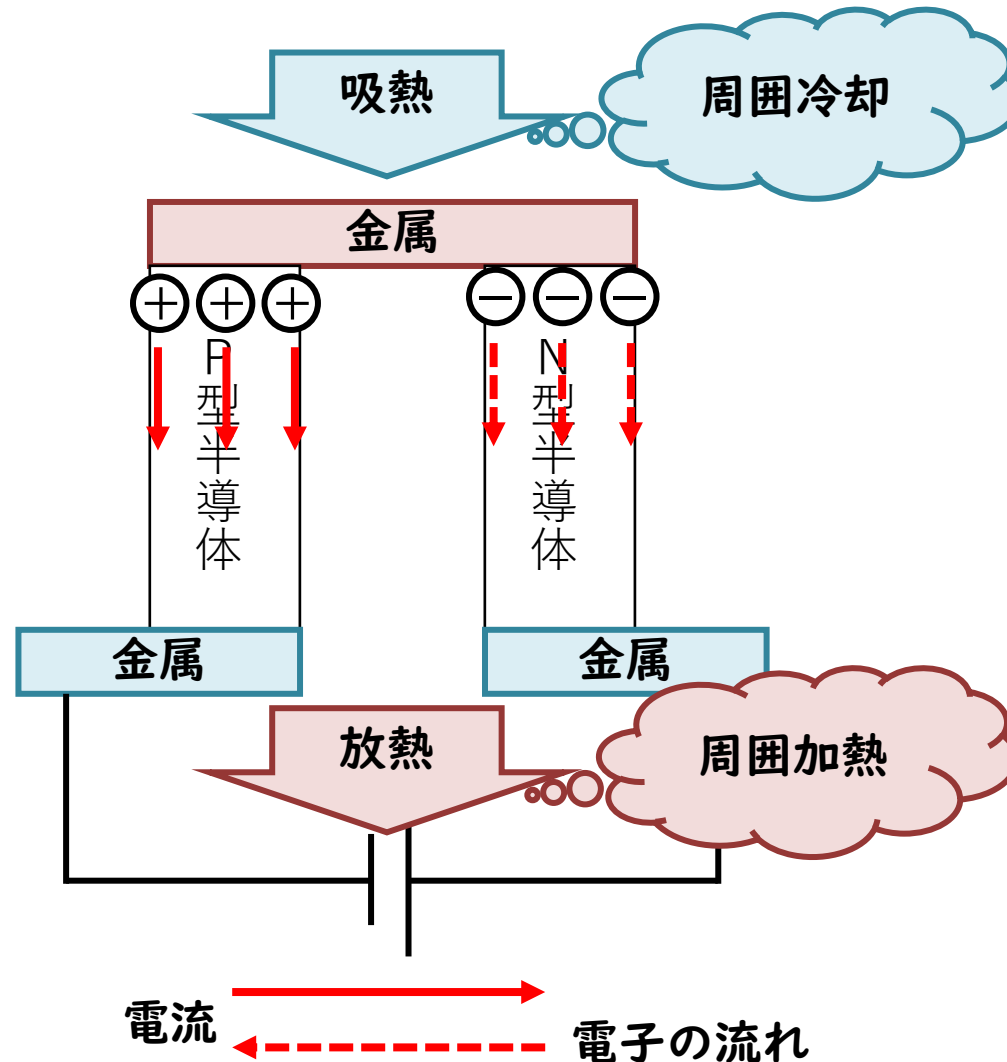
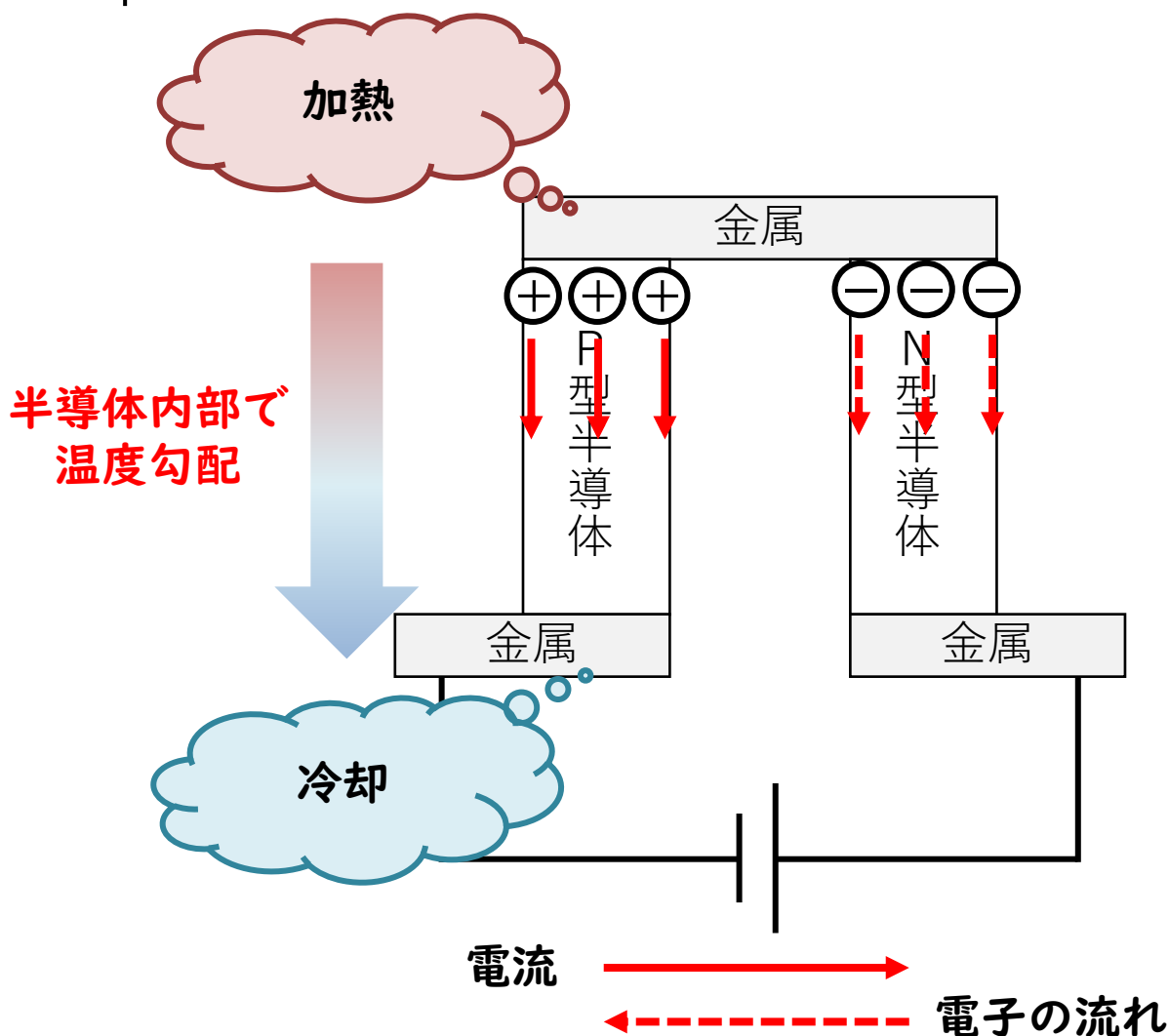
半導体の場合、電流が流れるとキャリア密度が変わり温度勾配が発生し、この温度変化には外部からの熱を利用される。

電気エネルギー

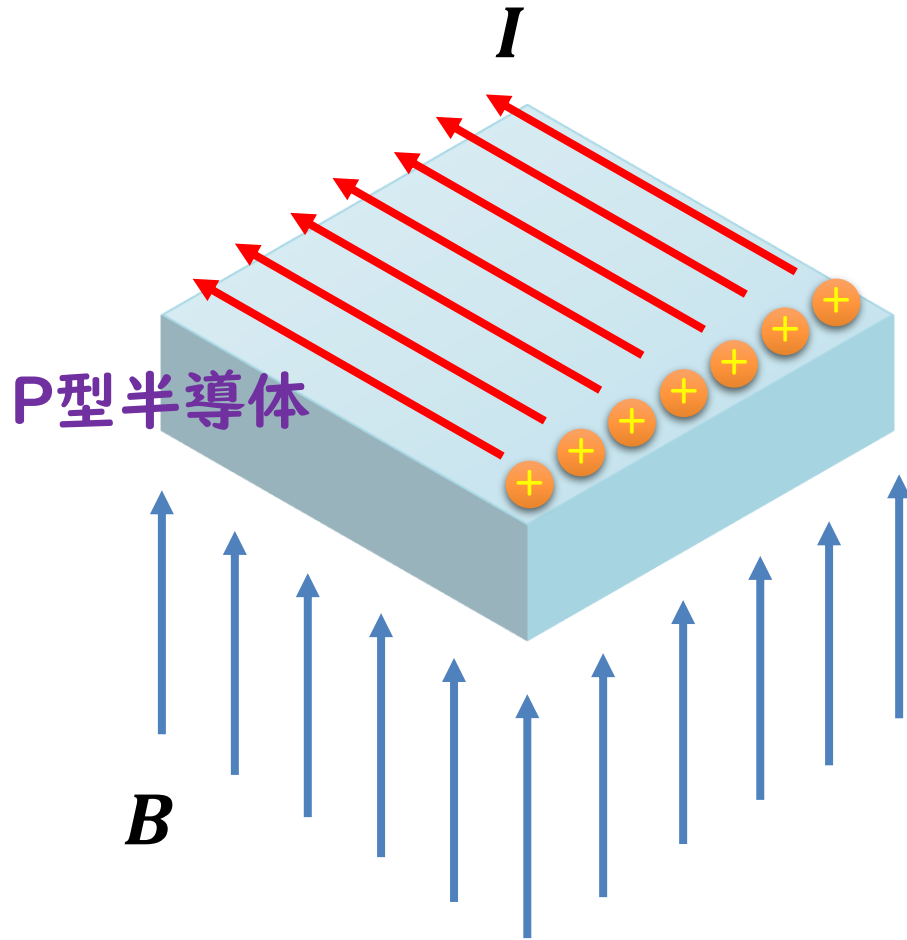


熱エネルギー

ペルチェ効果



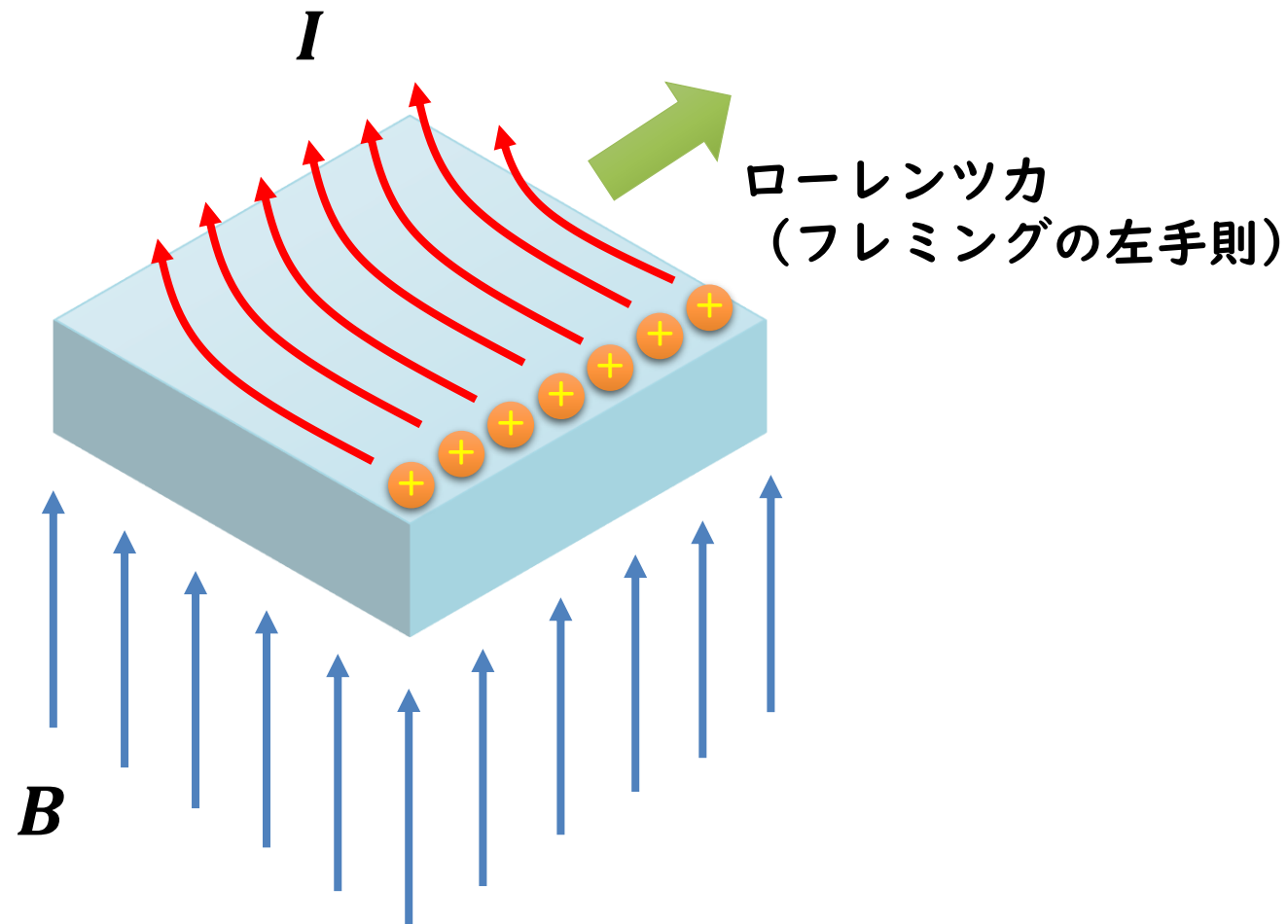
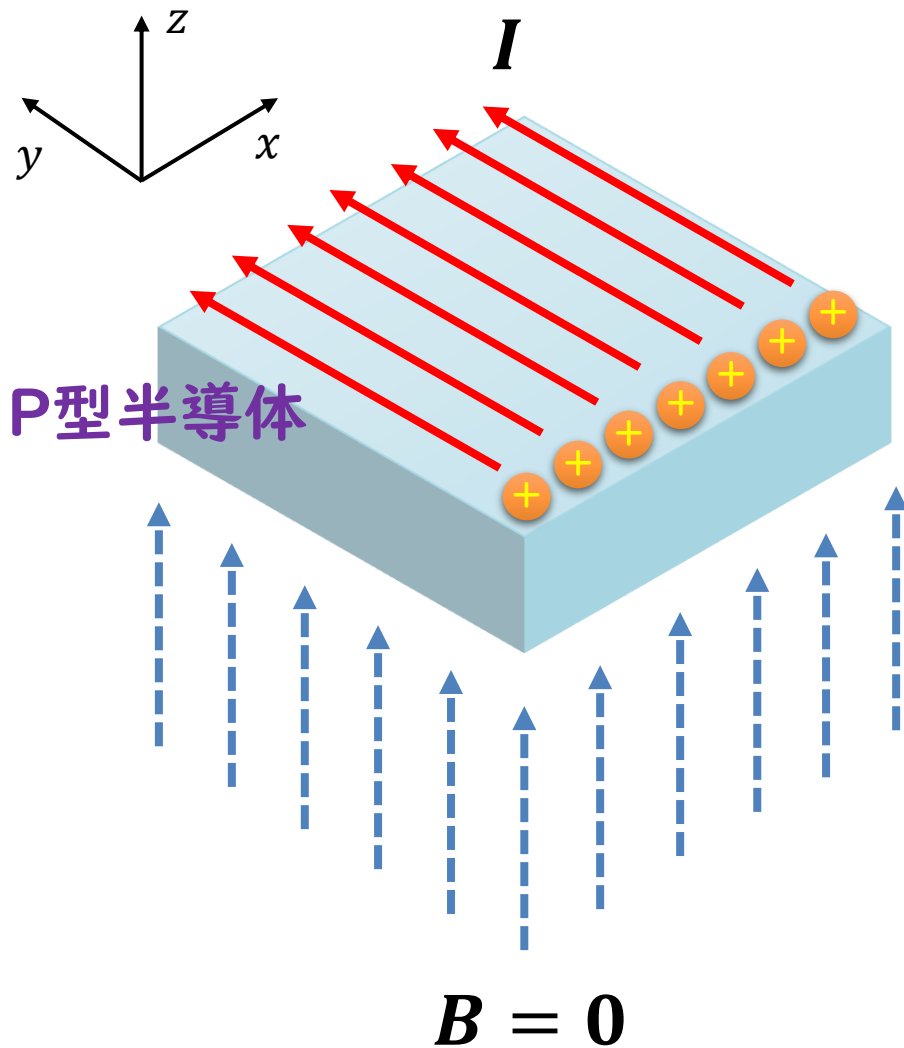
ホール効果



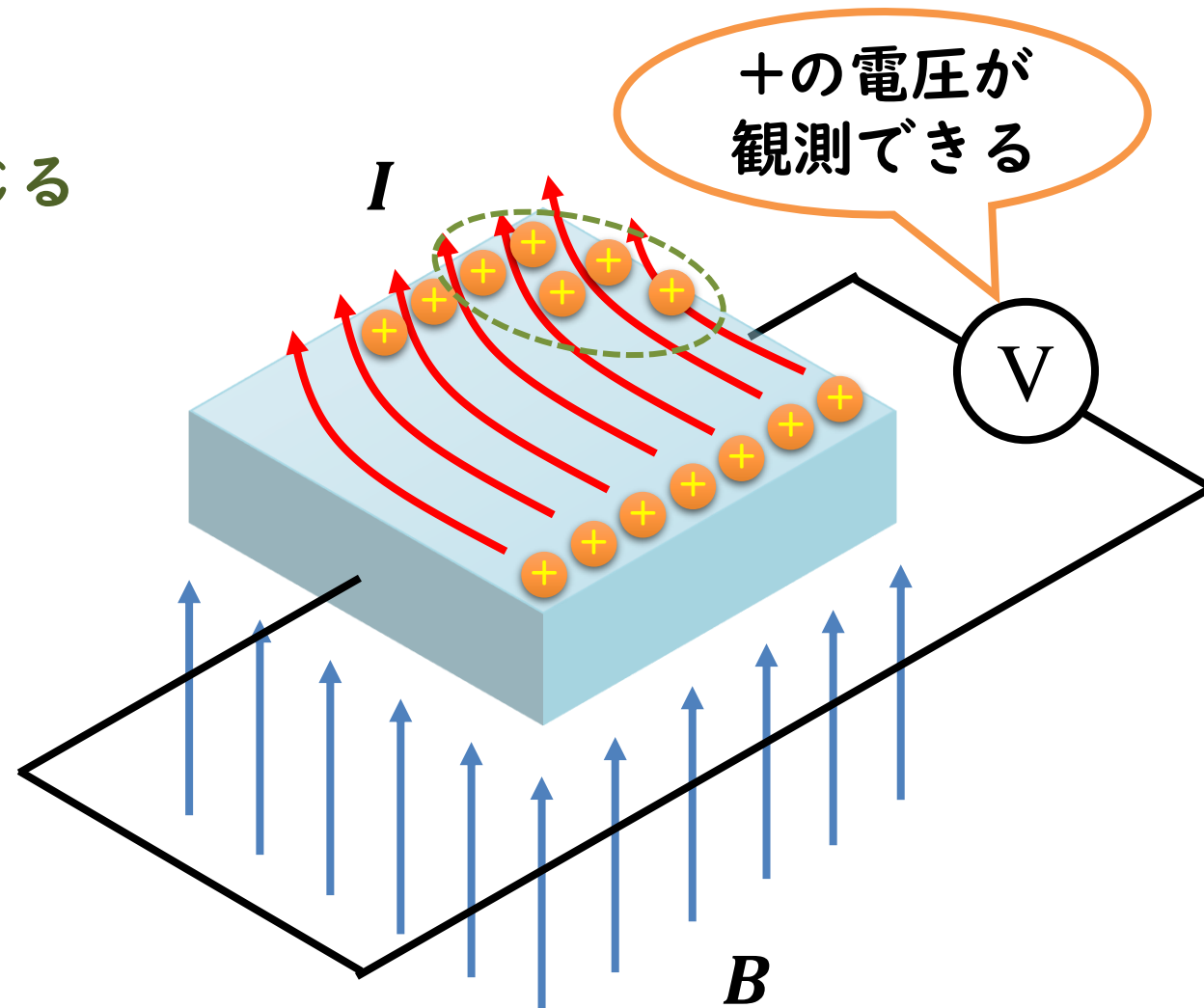
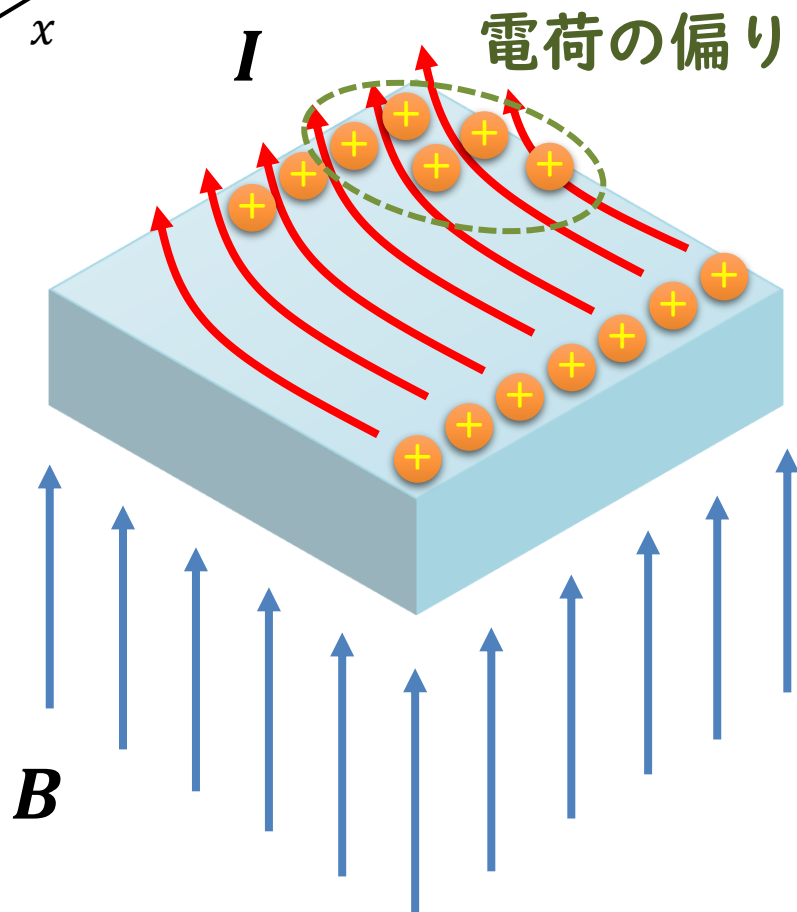
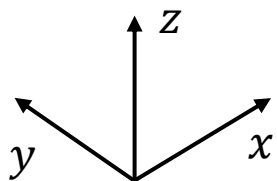
ホール効果

電流が流れている半導体に磁場を掛けるとローレンツ力が発生し、電荷が物体の端に移動し、電荷の偏りによって起電力が発生する現象。

ホール効果



ホール効果



H26 問12

問12 半導体の pn 接合を利用した素子に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) ダイオードに p 形が負、n 形が正となる電圧を加えたとき、p 形、n 形それぞれの領域の少数キャリアに対しては、順電圧と考えられるので、この少数キャリアが移動することによって、極めてわずかな電流が流れる。
- (2) pn 接合をもつ半導体を用いた太陽電池では、その pn 接合部に光を照射すると、電子と正孔が発生し、それらが pn 接合部で分けられ電子が n 形、正孔が p 形のそれぞれの電極に集まる。その結果、起電力が生じる。
- (3) 発光ダイオードの pn 接合領域に順電圧を加えると、pn 接合領域でキャリアの再結合が起こる。再結合によって、そのエネルギーに相当する波長の光が接合部付近から放出される。
- (4) 定電圧ダイオード(ツェナーダイオード)はダイオードにみられる順電圧・電流特性の急激な降伏現象を利用したものである。
- (5) 空乏層の静電容量が、逆電圧によって変化する性質を利用したダイオードを可変容量ダイオード又はバラクタダイオードという。逆電圧の大きさを小さくしていくと、静電容量は大きくなる。

H26 問12

問12 半導体の pn 接合を利用した素子に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) ダイオードに p 形が負、n 形が正となる電圧を加えたとき、p 形、n 形それぞれの領域の少数キャリアに対しては、順電圧と考えられるので、この少数キャリアが移動することによって、極めてわずかな電流が流れる。
- (2) pn 接合をもつ半導体を用いた太陽電池では、その pn 接合部に光を照射すると、電子と正孔が発生し、それらが pn 接合部で分けられ電子が n 形、正孔が p 形のそれぞれの電極に集まる。その結果、起電力が生じる。
- (3) 発光ダイオードの pn 接合領域に順電圧を加えると、pn 接合領域でキャリアの再結合が起こる。再結合によって、そのエネルギーに相当する波長の光が接合部付近から放出される。
- (4) 定電圧ダイオード(ツェナーダイオード)はダイオードにみられる順電圧・電流特性の急激な降伏現象を利用したものである。
- (5) 空乏層の静電容量が、逆電圧によって変化する性質を利用したダイオードを可変容量ダイオード又はバラクタダイオードという。逆電圧の大きさを小さくしていくと、静電容量は大きくなる。

H29 問11

問 11 半導体の pn 接合の性質によって生じる現象若しくは効果，又はそれを利用したものとして，全て正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 表皮効果，ホール効果，整流作用
- (2) 整流作用，太陽電池，発光ダイオード
- (3) ホール効果，太陽電池，超伝導現象
- (4) 整流作用，発光ダイオード，圧電効果
- (5) 超伝導現象，圧電効果，表皮効果

H29 問11

問 11 半導体の pn 接合の性質によって生じる現象若しくは効果，又はそれを利用したものとして，全て正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 表皮効果，ホール効果，整流作用
- (2) 整流作用，太陽電池，発光ダイオード
- (3) ホール効果，太陽電池，超伝導現象
- (4) 整流作用，発光ダイオード，圧電効果
- (5) 超伝導現象，圧電効果，表皮効果

ご聴講ありがとうございました!!