



電気・電子計測

【第7回】4章センサの基礎を学ぼう
(センサの基礎1)

<http://cobayasi.com/keisoku/7th/7th.pdf>

授業スケジュール

<第1回(4/12)>ガイダンス、電気・電子計測の学び方

<第2回(4/19)>計測の基礎

<第3回(4/26)>電気計測・直流1

<第4回(5/10)>電気計測・直流2

<第5回(5/17)>電気計測・交流1

<第6回(5/24)>電気計測・交流2

<第7回(5/31)>センサの基礎1

<第8回(6/7)>センサの基礎2

<第9回(6/14)>中間試験

<第10回(6/21)>センサによる計測技術1

<第11回(6/28)>センサによる計測技術2

<第12回(7/5)>アナログ・デジタル変換(計測値の変換)

<第13回(7/12)>デジタル計測制御システムの基礎

<第14回(7/19)>電子計測器

<第15回>定期試験(定期試験期間で実施)

今日の学習の要点

(テキストP43～P49)

機械に知覚機能を持たせるためのデバイス
=センサ(Sensor)について学ぶ

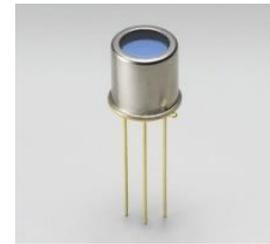
1. センサとは？
2. センサの役割を学ぼう
3. センサの種類と原理を知ろう





においセンサ

1. センサとは？



フォトダイオード

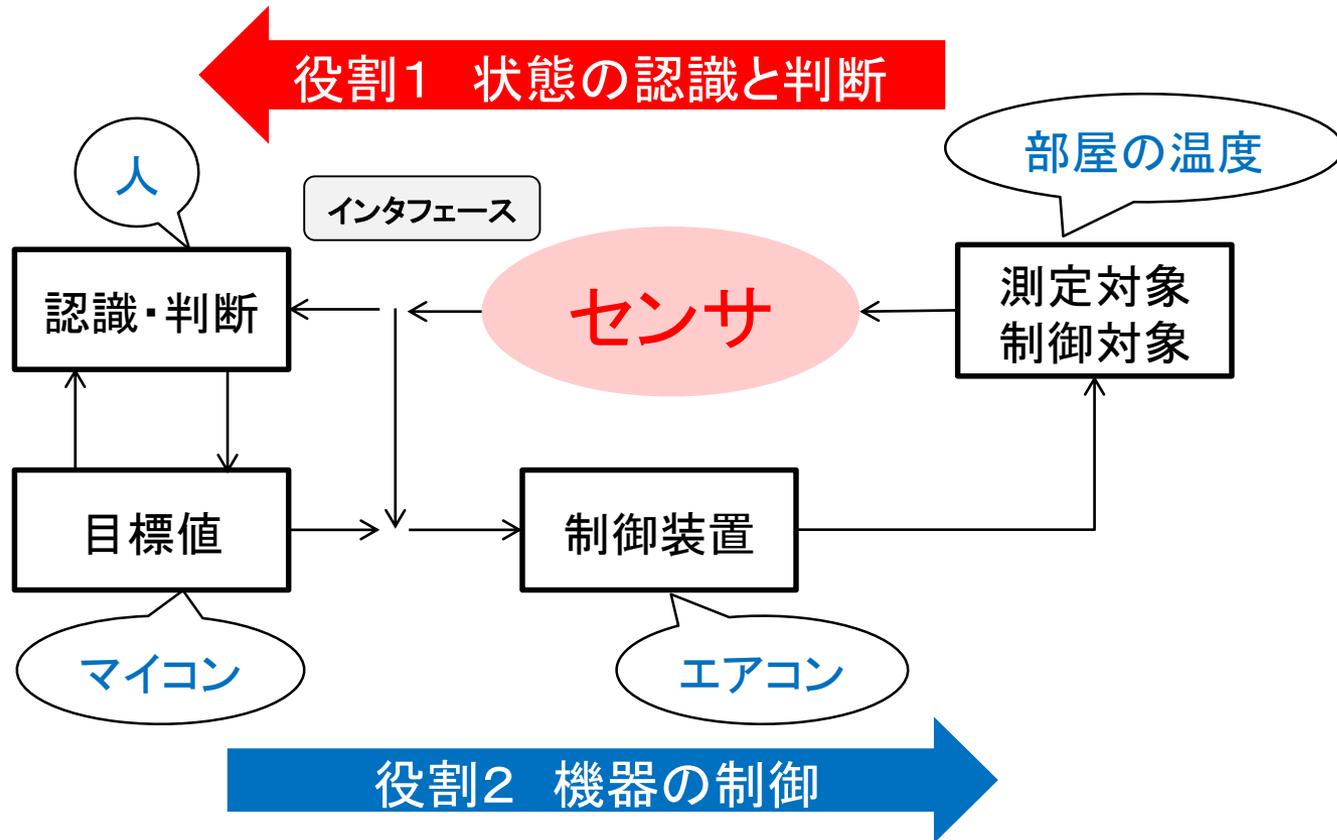
- 人間の**五感**(視覚、聴覚、触覚、味覚、臭覚)に代わって、外界の様々な現象を知覚する人工の感覚器が、**センサ(sensor)**である

人間の器官	人間の感覚	センサの種類	センサ素子の例
目	視覚	光センサ	フォトダイオード CCD
耳	聴覚	音響センサ	圧電素子 マイクロフォン
皮膚	触覚	振動センサ、圧力センサ 温度センサ	圧電素子 ひずみゲージ サーミスタ 焦電素子
舌	味覚	味覚センサ	ISFET(ion sensitive FET)
鼻	臭覚	においセンサ	セラミック素子

- 人間が感じることができない、**電磁波や赤外線、放射能**などを検出できるセンサもある
- センサとは、“**物理的、化学的、生物学的な被測定量を電気信号などに変換する機能を持った電子デバイス**”を言う

センサの役割を学ぼう

(1)基本的な役割



<センサの基本的な役割(教科書P44図4.1)>

(2)インテリジェントセンサ(スマートセンサ)

知能化センサ
とも呼ぶ

【目的】 局所的な分散処理により信号処理を効率化する

【構成】 センシング素子、LSI、CPUなどの素子をワンチップ化したもの

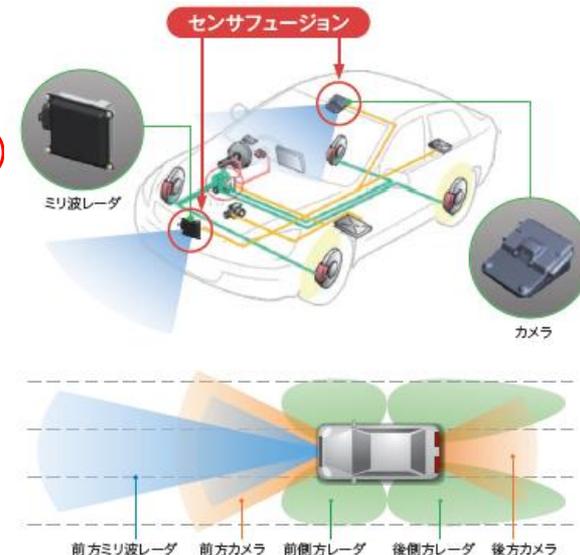
【機能】 ①判断 ②データ補正 ③統計処理 ④データ解析 ⑤複数のセンサ間で情報交換 ⑥環境への適応 ⑦適当量のメモリ空間

※①～⑦の機能を備えた高機能なセンサを**インテリジェントセンサ**と呼ぶ

(3)センサフュージョン(感覚融合)

いろいろな(異種の)センサからの情報を融合(統合)して、単一のセンサでは得られない情報を検出する

- 高度センシングシステム(自律移動ロボット、極限作業ロボット、複雑な判断を求められるシステム)に必要



2. センサの種類と原理を知ろう

- センサの(測定物による)分類

- ① **力学量**を検出するセンサ
- ② **光**を検出するセンサ
- ③ **電気・磁気**を検出するセンサ
- ④ **超音波**を検出するセンサ
- ⑤ **温度**を検出するセンサ
- ⑥ **ガス**を検出するセンサ
- ⑦ **成分量**を検出するセンサ
- ⑧ **X線**や**放射線**を検出するセンサ

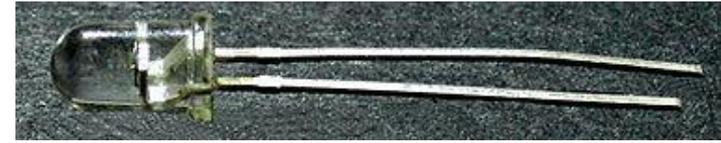
■ 光センサ

- 光を検出して、電気信号に変換する**光電効果**を利用している
- 検出範囲が広く、検出分解能や対ノイズ性に優れ、種類も多い

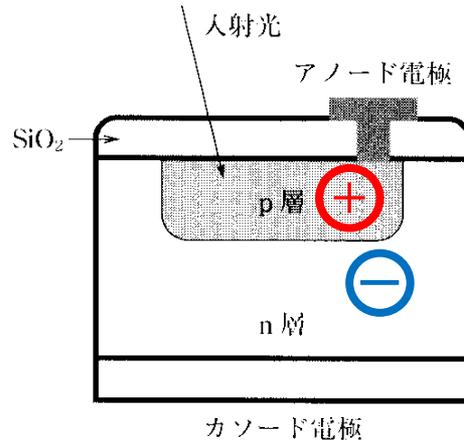
4.2 光センサの種類(教科書P45)

素子構造	素子名	材料
pn接合	pnフォトダイオード	Si, Ge, GaAs
	pinフォトダイオード	Si
	アバランシェフォトダイオード	Si, Ge
	フォトランジスタ	Si
	フォトIC、フォトサイリスタ	Si
pn接合なし	光導電素子	Cds, CdSe, CdS・Se, PbS
	焦電素子	PZT, LiTaO ₃ , PbTiO ₃
真空管	光電管、フォトマル、撮像管、UVトロン	

フォトダイオード (photodiode)



直流から交流(低周波)やパルス状の入射光に対して、**光起電力**
(**光量に比例した光電流が流れる現象**)が発生する



<pnフォトダイオードの構造>

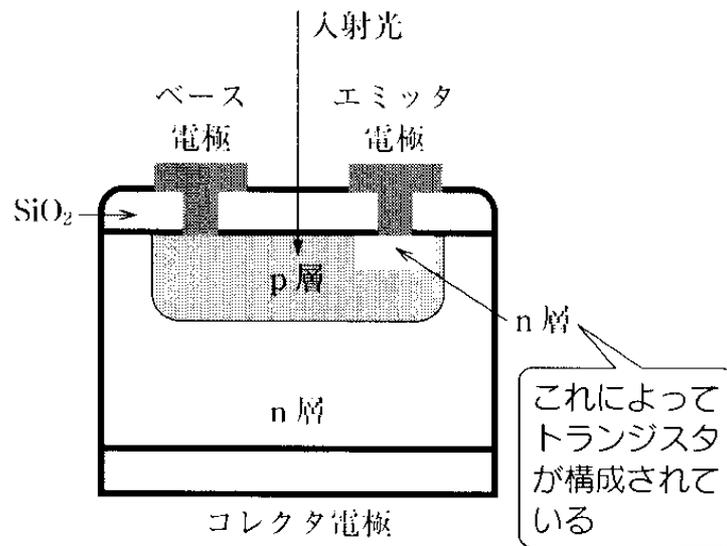


<pnフォトダイオードの回路図記号>

- p形とn形の半導体を接合し、接合部の受光面積に比例した光電流が流れる
- 入射光に比例して、p形層内の**正電荷**、n形層内の**負電荷**によって、起電力が生じる。暗電流が小さく、応答速度が低速。(用途:照度計、太陽電池など)
- p形とn形の半導体の接合部分に、真性半導体(絶縁体:1層)を挟んだものが、pinフォトダイオードである。暗電流が大きく、応答速度が高速。(用途:光通信、リモコン受光器など)

フォトランジスタ (phototransistor)

直流から交流(低周波)の比較的弱い入射光に対して、**光起電力**を発生する



<pnフォトランジスタの構造>

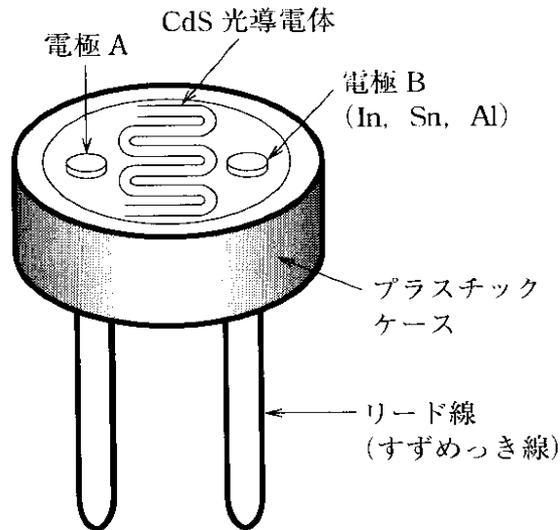


<pnフォトダイオード(ST-1KLA)の写真>

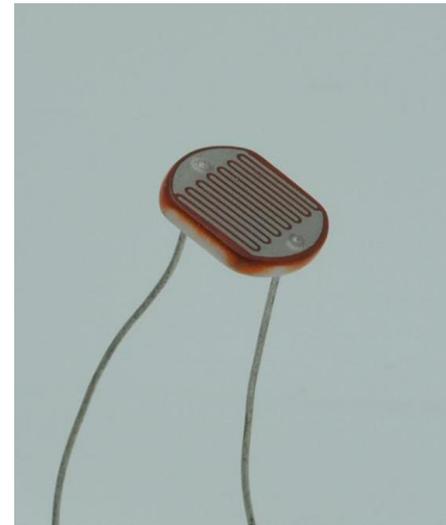
- フォトダイオードの出力をトランジスタで増幅するような構造
- 用途はサーボモータの回転数のカウント、無接点スイッチなど

光導電素子 (photoconductive cell)

直流から交流(低周波)までの入射光に対して、**光導電効果**(光の照射により内部抵抗が変化する現象)で**光電流**が変化する



<CdSセル(Cadmium Sulfide cell)の構造>

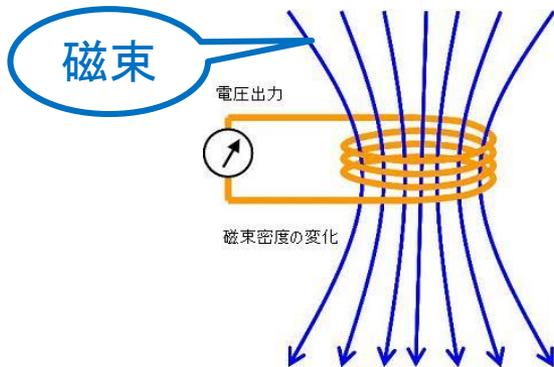


<CdSセルの写真>

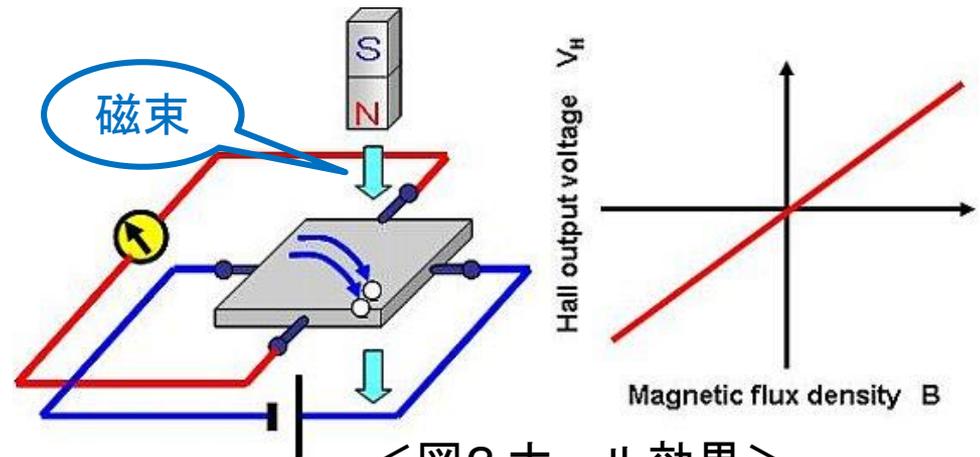
- たいへんよく使用される光センサ素子の1つであるが、フォトダイオードやフォトトランジスタに比べて、応答速度が遅い
- 用途は街路灯の自動点灯器、カメラの露出計など

■ 磁気センサ

- **磁気**を検出して、電気信号に変換するセンサ
- ファラデーの**電磁誘導現象**(コイル内に磁界が通過すると、コイルに電流が流れる現象)を利用して、**磁束量**を測定する<図1 ファラデーの電磁誘導>
- 電磁誘導現象を利用するセンサでは、使用環境に大きく左右されるので、現在、**ホール効果**(磁束と電流の相互作用によって起電力が発生する)を利用したホール素子が利用されている<図2 ホール効果>
※後で説明する
- 悪い環境(粉じん、オイルミストなど)下の使用に強い、構造が比較的安易で小型化しやすい



<図1 ファラデーの電磁誘導>



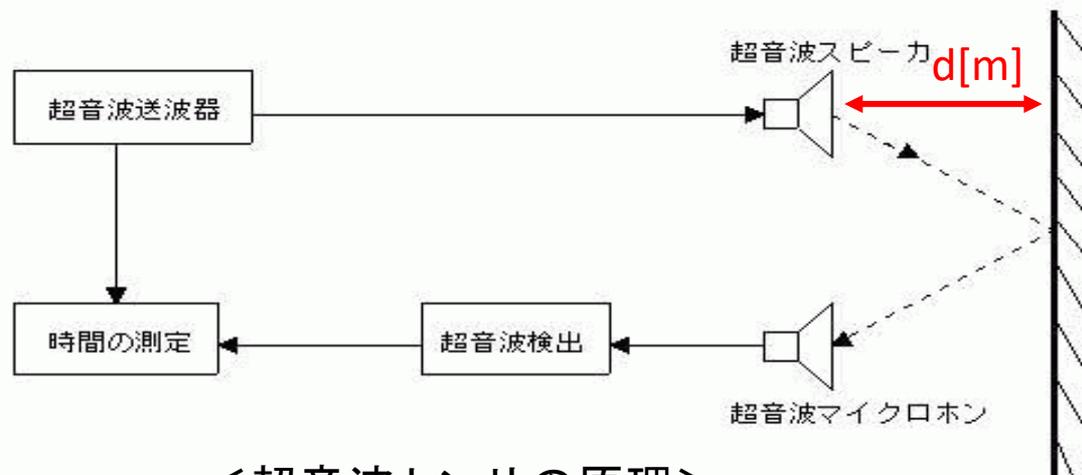
<図2 ホール効果>

■ 超音波センサ

- 人間の可聴範囲以上（周波数が約20[kHz]以上）の音波を使って、障害物の検知や距離を測定するセンサ
- 超音波は、音であるので常温の空气中を速度約340[m/s]で伝搬する。超音波を発射してから障害物に反射して戻ってくるまでの時間T[sec]を測定することで、障害物までの距離d[m]を知ることができる。ただし、温度は20[°C]とする。

$$d = \frac{1}{2}T \times 340 = 170T$$

- 用途は物体の非破壊検査が、流量計測など

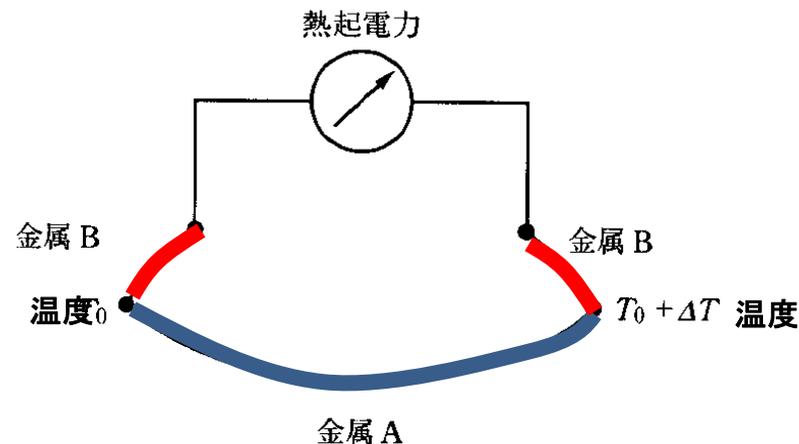


<超音波センサの原理>

センサに利用されている性質・効果

(a)ゼーベック効果(Seebeck effect)

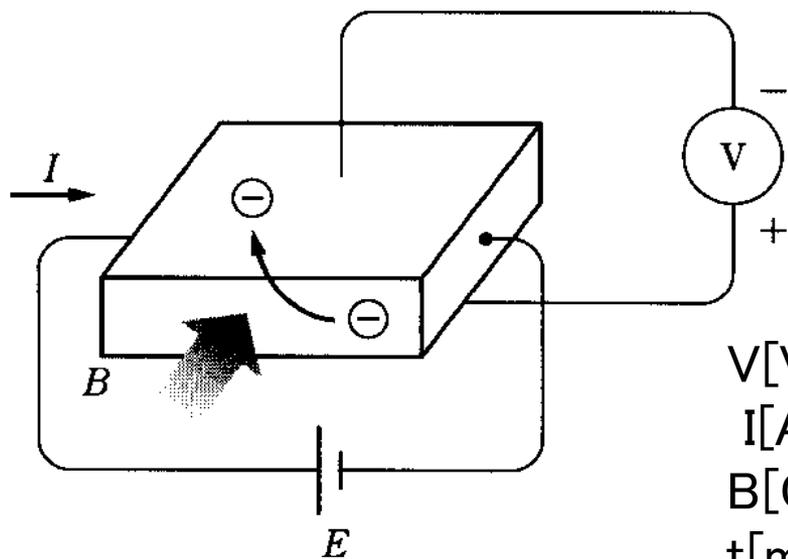
- 異種類の金属A,Bまたは半導体A,Bの接合部分に温度差を設けることで、起電力が発生する現象
- 異種類の金属例 : 白金と白金ロジウム合金、銅とコンスタンタン、など
- 熱電対として利用することで、精密な温度計測ができる



<図4.2ゼーベック効果>教科書P47

(b) ホール効果(Hall effect)

- 電流が流れている物体(通常は半導体)に、電流Iに対して磁界Bを垂直にかけると、半導体内のキャリア(荷電子)がローレンツ力により電流と磁界の両方に直交する方向に起電力Vが生じる現象
- 半導体ホール素子は、位置や回転などのセンサに利用している



<図4.3ホール効果>
教科書P47

$$V = R_H \frac{BI}{t}$$

V[V] : ホール効果によって発生した起電力

I[A] : ホール素子(半導体)に流す電流

B[G] : ホール素子(半導体)に与える磁束密度

t[mm] : ホール素子の厚さ

R_H : ホール素子の固有係数

(材質によって異なる値)

(c) ピエゾ抵抗効果(Piezoresistance effect)

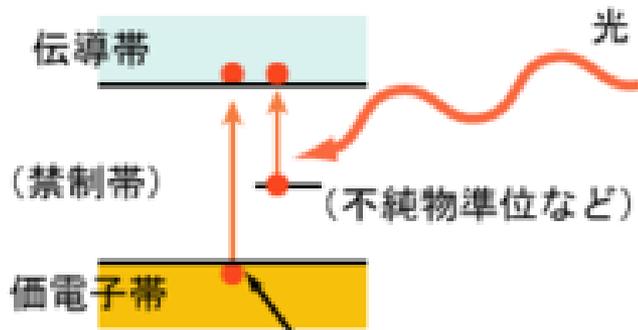
- 機械的な応力によって、金属や半導体(GeやSiなど)の**内部抵抗値**が変化する現象
- 半導体ひずみゲージや圧力センサなどに用いられる

(d) 光電効果(Photoelectric effect)

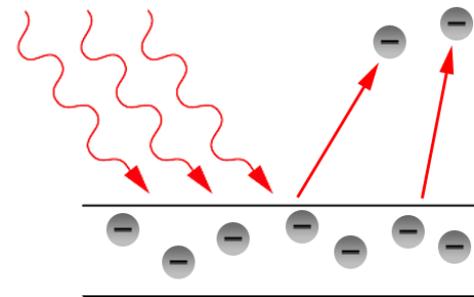
- 物質に光を照射すると、物質の抵抗値が変化する現象(光導電)、起電力が生じる現象(光起電力)、物質の表面から電子が放出する現象(光電子放出)の総称

内部光電効果

外部光電効果



<内部光電効果> 電子

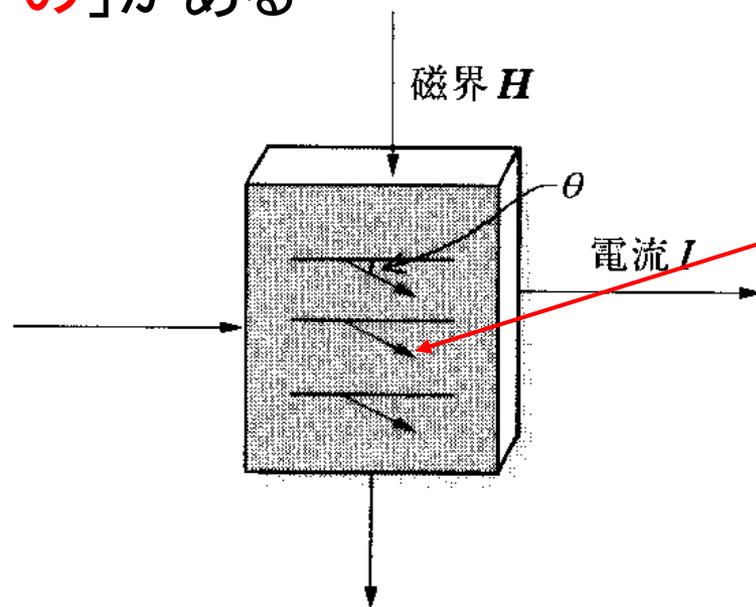


<外部光電効果>

(e) 磁気抵抗効果(Magnetoresistive effect)

- 導体の電気抵抗が磁界で変化する現象
- 「磁界により、導体のキャリアの経路が変化するもの」と「磁界により、導体の磁化の方向が変化して抵抗が変化するもの」がある

ハードディスク
に応用



非磁性体(半導体など)に磁界を与えると、ローレンツ力により電子の進行方向が曲がる

<図4.5非磁性体の磁気抵抗効果>教科書p49

【問題1】

次の表は、人間の五感とセンサの対応表である。
表中の①～④部分に、適切な言葉を入れなさい。

人間の感覚	センサの種類	センサ素子の例
視覚	光センサ	フォトダイオード
聴覚	音(響)センサ	マイクロフォン
触覚	振動センサ、圧力センサ、温度センサ	サーミスタ
味覚	味覚センサ	ISFET(ion sensitive FET)
臭覚	においセンサ	セラミック素子

【問題2】

インテリジェントセンサの機能として、以下の
a.～b.から不適切なものを挙げよ

a. データ補正

b. 環境への適応

c. 自己制御

d. 適当量のメモリ空間

【問題3】

pinフォトダイオードの特徴について、以下のa.~b.から適切なものを挙げよ

- a. p形半導体とn形半導体を直接接合した構造である
- b. 暗電流が小さく、応答速度が低速である
- c. 照度計や太陽電池に向いている
- d. p形半導体とn形半導体の間に真性半導体を挟んだ構造である

【問題4】

以下の内容に当てはまる適切な「センサに利用されている性質効果」の名称を答えなさい

- a. 導体に磁界を当て導体内の磁化の方向を変化させて、導体内部の情報を書き換える

磁気抵抗効果

- b. 電流が流れている半導体に磁界を当てて、起電力を発生させる

ホール効果

- c. 機械的な応力(圧力など)によって、半導体の内部抵抗値を変化させる

ピエゾ抵抗効果

【問題5】 本日の提出課題

超音波センサを使って、障害物までの距離を計測した。超音波が障害物から反射して戻ってきた時間が $T=100[\text{msec}]$ のとき、障害物までの距離 $d[\text{m}]$ を求めよ

$$\begin{aligned}d &= \frac{1}{2} T[\text{sec}] \times 340[\text{m}/\text{sec}] \\ &= 170T \\ &= 170 \times 100 \times 10^{-3} \\ &= 17 [\text{m}]\end{aligned}$$

