



第5章 フォト・ダイオードおよび フォト・トランジスタ、光導電素子など

光センサ用 フォト・ダイオードの基礎知識

石川 嘉隆/村松 徳之
Yoshitaka Ishikawa/Naruyuki Muramatsu

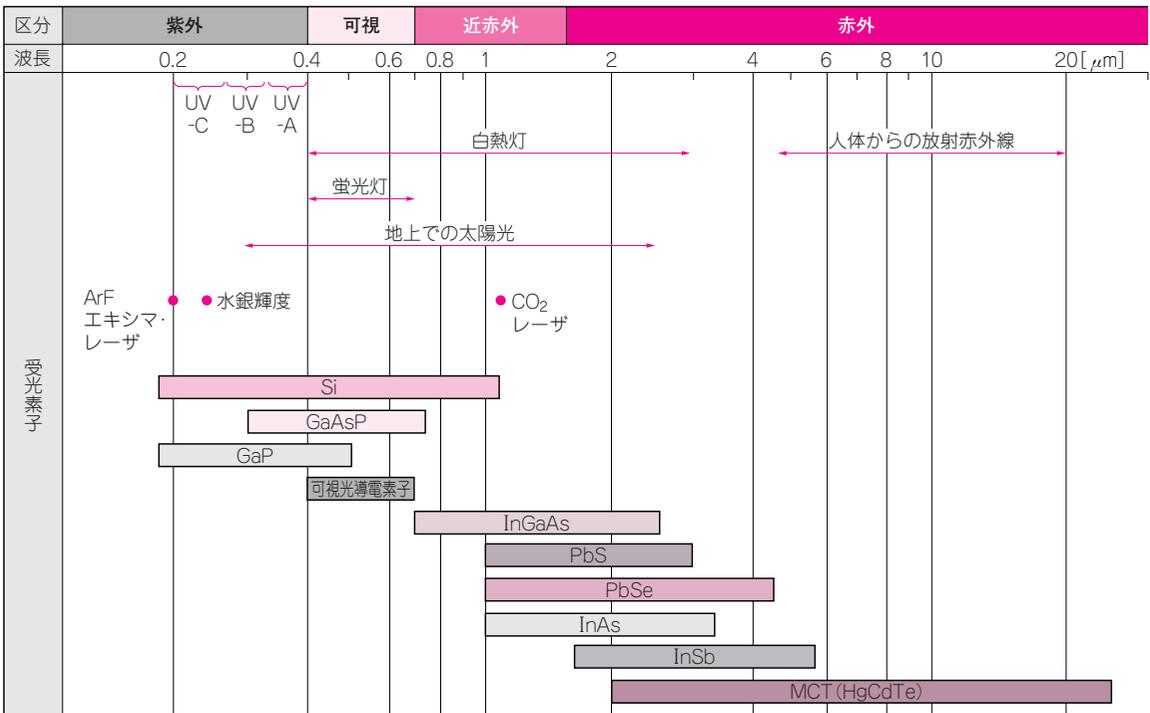
■ 光の世界へようこそ！

光は電磁波の一部で、電波と同じ性質のものです。波長が380 nm～780 nmの可視光、それよりも波長が短い紫外線と長い赤外線をまとめて「光」と呼んでいます。可視光は紫から赤までの虹のスペクトルとしておなじみです。紫外線よりもさらに波長が短いとX線の領域、赤外線よりも波長が長いと遠赤外線、さら

には電波の領域になっていきます。

光の特徴を決める物理量は、波長と強さです。光を捕らえる検出器は、入射光の特徴に合わせたものを使用する必要があります。一般に、紫外光から可視光の検出にはSiフォト・ダイオードや光電子増倍管が、赤外線の検出にはInGaAsPINフォト・ダイオードなどが使われます。図1に光の波長と主に使用される受光素子を示します。

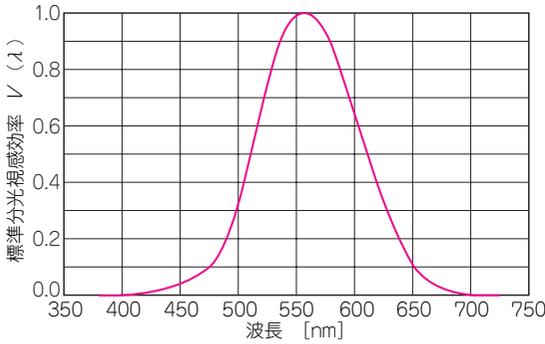
〈図1〉 光の波長と主に使用される受光素子



Keywords

Si フォト・ダイオード、光電子増倍管、InGaAsPIN フォト・ダイオード、放射測定、測光、分光密度、分光感度特性、フォトン、光子、光電放出、光導電素子、APD、アバランシェ・フォト・ダイオード、PN フォト・ダイオード、PIN フォト・ダイオード、ショットキー・フォト・ダイオード、バンド・ギャップ・エネルギー、NEP、等価雑音電力。

〈図2〉人間の目の視感度



● 光の強さと光の明るさ

光の測定には、**光の強さを測定する「放射測定」**と、**明るさを測定する「測光」**の2種類があります。人間の目は図2のような視感度をもちます。横軸は波長、縦軸は555 nmの光に対して感じる明るさを1とした場合の相対値です。

目に見えない光は、たとえ強度が強くても明るいと感じないので、「放射測定」ではある強さが観測されても「測光」ではほとんど観測されないという結果に

なります。一般的に、ある放射量の分光密度 $X_e(\lambda)$ と測光量 X_v [lm] との関係は式(1)のようになります。

$$X_v = K_m \int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} X_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 K_m ：測光量と放射量を結び付ける定数、 X_e ：波長あたりの入射エネルギー [W]

K_m は683 lm/Wと規定されており、 $V(\lambda) = 1$ となる波長の555 nmにおいて測光量と放射量を結び付ける定数です。

放射量と測光量では単位も使い分けます。照度に関しては、**放射測定では W/m^2** 、**測光量では lx** です。通常私たちが生活している環境は数lxから数千lxの間にあります。また、光は粒子としての性質ももち、そのエネルギー E はプランク定数 h と振動数 ν から、

$$E = h\nu \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 E ：光のエネルギー [J]、 h ：プランク定数 [J/sec] (6.626×10^{-34})、 ν ：毎秒振動数 (光速を c とすると $\nu = c/\lambda$)

で表され、受光素子が検出できる波長範囲を決めています。図1には、検出できる波長とセンサの種類を示しています。

■ フォトンとは

光が波動性と粒子性をもつことはよく知られています。場合により、光を波として扱ったほうが良い場合と、粒子として扱ったほうが良い場合とに分けられます。

例えば、センサに入射した光は連続した出力として現れます。つまり実際の光の入射は図A(a)でも、センサの出力波形は図(b)のように現れます。この光を微弱にして、超高速の光センサで観察すると、最初は切れ目なく現れていたセンサの出力信号が、次第に直流からほど遠い、図(c)のような不規則なパルス列になります。このパルスの一つ一つが、非連続的にセンサに捕らえられていた光の粒子といえます。このような光の粒子性を強調して、光の粒子をフォトン(光子)と呼ぶことがあります。

光半導体センサの内部でも同様な現象が起きています。通常、フォトン1個から電荷1個と負の電荷1個が生じます。フォト・ダイオードは、これを電流としてそのまま取り出しますが、フォト・トランジスタや光導電型素子ではこれを増幅した形で外部へ取り出します。ただし、電荷1個は $1.6 \times 10^{-19}C$ のため、内部増倍率が小さいタイプの半導体光センサではフォトン一つ一つを検出するのは大変難しいこ

とです。通常は、1秒間に $10^4 \sim 10^5$ 個以上のフォトンのグループでないと検知できません。

〈図A〉⁽³⁾実際の光とその観測波形

