

降伏現象

p n 接合に逆バイアスを印加しても電流は僅かにしか流れない。しかし、印加電圧を高くしていくと、ある時点で急激に電流が流れるようになる。これを降伏現象という。

降伏現象には2つのメカニズムがある。

1 番目はツェナー降伏で、これはトンネル効果によるもので、ドーパ量の多い場合に発生する。ドーパ量が多いと空乏層の幅が狭くなる。このため、電場印加により p と n のエネルギーレベルが変化していくときに、両方に状態がある状況が発生するとトンネルで電流が流れるようになる。

ツェナーダイオードの降伏電圧はドーパ量などにより調整が可能である。このため、ツェナーダイオードは基準電圧を発生するのに用いられている。秋葉原の店頭では 0.1V 刻み程度の降伏電圧のツェナーダイオードが販売されている。

2 番目の機構はアバランシェ機構である。この場合には電子はトンネルではなく、電場によるエネルギー的な励起により飛び移りを生じる。その為には、強い電場が必要で、飛び移り後の電子は電場により加速され、他の電子などを散乱して励起し、結果的に雪崩(すなわち avalanche)のように大きくなって流れ落ちていく。

アバランシェダイオードは、それだけだと何に使うのか分からないようなものだけでも、光検出に用いると、自己増幅効果があるので、非常に便利なものである。半導体のバンドギャップ以上の光で電子とホールが対が作られる。これが p n 接合部分で生じると、接合部分の電場により電子とホールが分離して電荷が発生する。これが太陽電池やシリコンを使った光検出器の仕組みである。

通常のシリコンダイオードでは1つの光子により発生する電子数は最大で1個である。しかし、アバランシェフォトダイオードでは、この1個の電子から非常に沢山の電子が生まれ出るので、感度の良い光計測が可能である。

光学的性質

原子系と光の相互作用

ローレンツモデル

ここからの話は、すでに何度か聞いたことのある話である。たぶん、レオロジーの授業では貯蔵弾性率と損失弾性率という言葉が出てきており、前期の授業でもローレンツモデル事態が出ているはずである。それにも関わらず、複素感受率の話は、理解度が低い話なのである。今日の授業の目的は、複素感受率について、物理的な背景をきちんと認識してもらうことである。

毎度おなじみの、バネに質量 m のおもりが付いたシステムを考える。外部からは電場で駆動するので、質点には $-e$ の電荷があるものとする。この時の運動方程式は

であり、これを解いて変位を求めると

$$x =$$

となる。変位に電荷をかけると双極子の大きさで、さらに単位体積あたりの個数をかけると分極になる

$$P =$$

これと誘電率の標識より、比誘電率は

となる。これを実数部分と虚数部分にわけて

である。

ここまでが数学の話で、これからが物理の話である。

まず、 $\omega \ll \omega_0$ の場合を考えよう。この時、質点は外場と同期した動きをする。つまり、位相が等しいのである。バネを平衡状態から延ばしたり縮めたりする場合には場は系に対して仕事をする。しかし、延ばしたものが平衡に戻るときには系から場に仕事が行われる。1 周期では仕事は 0 となる。これは、単純にバネにエネルギーを蓄えて、そこから、再び開放する作業である。

これに対して ω が ω_0 に近い場合には、話が異なる。物質には慣性があるために、周波数が高くなってくると、物質の動きと外場の動きにずれが生じる。このため、バネが伸びていく状態でも、縮んでいく状態でも外場からシステムに仕事が行なわれるようになる。その結果、システムの振幅は大きくなっていくのだけれど、そうなると、粘性抵抗が大きくなり、ついにはあるところで平衡に達する。

少しばかり微妙な言い方になるのだけれど、外場から系へエネルギーの移動は、粘性項がなくても生じる。その場合には、系の振幅は最終的には無限大に発散する。

$\omega \gg \omega_0$ の場合は、系が外場の応答に追従できない。このため、システムの振幅は小さく、吸収もほとんど見られないものになる。

誘電率と屈折率

通常の交流にたいする物質の応答を記述するのが誘電率である。一方、遥かに高周波の光に対する物質の応答は屈折率である。両方とも電磁波に対する物質の応答であり、両者の間には密接な関連がある。

一般に複素誘電率の平方根が複素屈折率である。複素屈折率は屈折率と消衰係数の和であり

とかける。

消衰係数は吸収係数との間に

という関係があり、吸収係数は単位厚さあたりの吸収を、消衰係数は電磁波 1 振動毎の吸

収を示すものである。

複素誘電率と複素屈折率は

で結ばれておりこれより

という関係式が得られる