

13 画像処理ハードウェア

13.1 デジタルカメラ

画像データをコンピュータで処理するためには、画像データをデジタル化して取り込む必要があります。このような目的として利用されるのが、デジタルカメラやデジタルビデオカメラになります。デジタルカメラやデジタルビデオカメラでは、CCDと呼ばれる部品により、光の信号を電気信号へと変換します。CCDは、光の信号から電気信号への変換を、半導体技術を利用して行います。

まず、半導体とは何か、というところから見てみましょう。半導体とは、電気の流れやすさによって分類されたものです。物質は、電気の流れやすさによって、電気を流しやすい導体と、電気を流しにくい絶縁体、その間の電気抵抗を持った半導体に分類できます。導体の例としては、金や銀や鉄といった、金属があります。金属は、自由に動くことができる自由電子を持っていることから、電気を流しやすい性質があります。絶縁体の例としては、ゴムであるとか、石英ガラスなどが挙げられます。半導体の例としては、例えば、シリコンがあります。ただし、シリコンは、そのままではそれほど有用というわけではありません。しかし、微量の不純物を加えることで、特別な性質を持たせることができます。

まず、純粋なシリコンの様子を見てみましょう。シリコンは、一番外側の殻に4つの電子を持っています。この電子を共有することで、原子が結びつきます。それぞれのシリコンの周りの電子の数を数えると、8個になります。一般に、原子は、外側に8個の電子があると安定します。

ここで、不純物として、微量のリンを加えてみます。リンの原子は、最外殻に5つの電子を持っています。シリコンに、微量のリンを加えて結晶化すると、シリコンの結晶の一部がリンに置き換わります。シリコンが格子状に並んでいるので、リンは、その格子の中にはまった状態の方が安定します。このとき、リンはシリコンより1つ多く電子を持っていることから、その電子は、余った状態になります。この電子は、束縛されていないので、自由に動くことができます。このような、自由に動ける、マイナスの電荷を持った半導体はn型半導体と呼ばれます。

次に、不純物として、微量のホウ素を加えた場合を考えてみましょう。ホウ素は、最外殻に3つの電子を持っています。シリコンにホウ素を加えて結晶化した場合、ホウ素はシリコンより電子が1つ少ないことから、ホウ素の周りの電子の数を数えると、電子が1つ足りない状態になります。この部分は、マイナスの電荷が無いわけですから、あたかも、プラスの電荷があるように見えます。仮想的に、自由に動けるプラスの電荷を持った半導体を作ることができるわけです。このような半導体は、p型半導体と呼ばれます。

次に、n型半導体とp型半導体を組み合わせることを考えます。n型半導体は、自由に動けるマイナスの電荷を持っています。p型半導体は、仮想的に、自由に動けるプラスの電荷を持っています。ここで、図13-1の上側のように、n型半導体とp型半導体を接合させ、p型からn型に向かって電圧をかけてみます。この場合、プラスの電荷はn型半導体の方向へ流れます。また、マイナスの電荷は、p型半導体の方に流れ続けます。このため、電流が流れる状態になります。一方、逆方向に電圧をかけた場合を考えてみましょう。図の下側になります。この場合、プラスの電荷はマイナス極の方向へ流れます。また、マイナスの電荷はプラス極の方向へ流れます。これにより、半導体の接合部分近くに電荷が無い状態が生じ、電流が流れなくなります。このようにn型半導体とp型半導体を接合させると、一方向に電流を流すことができます。これが、一方向に電流を流すダイオードの原理になります。

ここで、図の上側の、ダイオードに順方向の電圧をかけた場合をもう少し詳しく見てみましょう。ダイオードに順方向の電圧をかけた場合、プラスの電荷はn型半導体の方に、マイナスの電荷はp型半導体の方に流れるという話をしましたが、接合部近くでは、プラスとマイナスの電荷が結びつくということが起きます。このとき、エネルギーの一部が光として放出されます。これがLED（発光ダイオード）の発光原理になります。逆に、接合部近くに光が当たった場合、逆の反応として、プラスとマイナスの電荷が生じます。これがフォトダイオードの原理です。光を電気信号へと変換できるわけです。

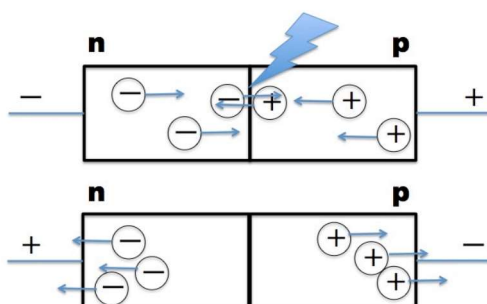


図13-1 ダイオードの原理

CCDでは、このフォトダイオードを格子状に並べます。例えば、弱い光が当たったフォトダイオードには少し、電荷が生じます。強い光が当たれば、より多くの電荷が生じます。CCDでは、この電荷を転送して電気信号へと変換することで、光の強弱を読み取ることができます。

ただし、このCCDを対象物に向けたとしても画像を取得できるわけではありません。これは、CCDにあらゆる方向の光が入り込み、平均化されてしまうためです。このため画像を得るためには、特定の方向の光のみを選択する仕組みが必要になります。最も簡単な方法の1つが、ピンホールカメラです。ピンホールカメラでは、例えば、箱の1つの面に小さな穴を開け、撮影したい対象物に向けてやります。すると、光の方向が制限されることで、反対側の面に、対象物の上下を反転した像が映ります。この部分にフィルムやCCDを置けば、対象を画像として取り込むことができます。レンズも同様に、光の方向を制限するのに利用することができます。ピンホールカメラに比べて、より広い範囲の光を1点に集めることができることから、より明るい画像を取得できるという利点があります。

カラー画像を撮影するには、最も簡単には、フォトダイオードにRGBを通すフィルタを貼り付けてやります。これにより、RGBそれぞれの強度を測定することができます。また、別の方法として、入射した光を3方向に分割し、それぞれ、赤、緑、青の光を通すフィルタを通し、CCDでそれぞれの光の強度を電気信号へと変換することで、RGBそれぞれの強度を得ることができます。

13.2 ディスプレイ

画像を表示するためのディスプレイについて見てみましょう。画像を表示するディスプレイとして代表的なものの1つとしてブラウン管があります。ブラウン管の基本的な構造としては、真空の管の中に陰極と陽極があります。両極の間は、高電圧をかけた状態にします。しかし、このままでは、両極の間が繋がってはいないので、電流が流れません。ここで、陰極をヒーターで加熱してやります。すると、陰極上の電子の振動が激しくなり、電子が陰極から飛び出るようになります。一度、飛び出た電子は陽極へと引っ張られます。ただし、陽極には、電子がそのまま直進するように穴が開いているので、電子はそのまま直進することになります。そして、ブラウン管の表示面に衝突します。表示面には蛍光物質が塗ってあり、そこに電子が衝突することで、発光します。ただし、このままでは、表示面の中心のみが光ります。そこで、時間的に変わる磁場等をかけてやることで、光る点を左上から右側に、次に左側の2行目に、と移動させてやります。このとき、電子が飛び量を制御してやることで、それぞれの点の明るさを調整してやります。これにより画面上に白黒の画像を表示することができます。カラーの画像を表示する場合には、表示面に赤、緑、青の光を通すフィルタを用意しておき、それぞれの点のRGBの値を調整してやります。

また、発光ダイオード（LED）も画像の表示に利用することができます。青色LEDが開発されたことで、光の3原色のRGBをLEDで実現できるようになりました。このようなLEDを利用したディスプレイは、例えば、競馬場の超大型ディスプレイ等で利用されています。

ディスプレイとして、最も広く利用されるものの1つとして、液晶ディスプレイがあります。液晶ディスプレイの原理を知るために、まず、液晶とは何かから見ていきましょう。液晶は、分子の状態の1つです。基本的に、固体の場合、分子の位置や方向は決まっています。液体の場合は、分子の位置や方向は自由になります。一方、液晶では、分子の位置は自由ですが、分子の方向はほぼそろっています。液晶は、液体と固体との中間的な状態とすることができます。

では、この液晶を使ってどのように液晶ディスプレイを作るか見ていきましょう。液晶ディスプレイでは、まず、2枚のガラス板の間に液晶分子を挟み込みます。そして、液晶分子の方向をそろえることが行われます。まず、液晶分子を横に寝かせることを考えましょう。このためには、ガラス板の表面に、配向膜と呼ばれる、液晶分子と親和性の高い膜を張ってやります。液晶分子は、なるべく配向膜に接する方が安定するため、横向きに寝るようになります。次に、ローラーを使って、配向膜を同じ方向にこすってやります。すると、液晶分子の方向を一定の方向にそろえることができます。

ここで、液晶ディスプレイの動作原理を理解するために必要な、偏光についてお話しします。偏光は、特定の方向に振動する光であり、自然光には、さまざまな振動方向の光が含まれています。ここでは、縦方向に振動する光と、横方向に振動する光として説明を行います。

偏光板は、特定の振動方向の光のみを通すために利用されます。例えば、合成樹脂のフィルムを一定方向に引き延ばすことで、偏光板を作ることができます。分子の方向をそろえることで、特定の振動方向の光のみが通りやすいといった性質が生じます。縦方向の偏光板に、縦方向の光と、横方向の光が入った場合、偏光板の方向と同じ縦方向の光は偏光板を通り抜けますが、横方向の光は通り抜けません。偏光板は、特定の方向の振動の光のみを通すことができるわけです。

ここで、偏光板を2枚重ねた場合について考えます。縦方向の光を通す偏光板を2枚重ねた場合、1枚目の偏光板を通った光は、縦方向に振動しており、この光は、2枚目の偏光板も通り抜けます。このため、縦方向の光を通す偏光板を2枚重ねた場合、光は通り抜けます。一方、縦方向の偏光板と、横方向の偏光板を重ねた場合、1枚目の偏光板を通った光は、縦方向に振動しており、この光は、2枚目の横方向の偏光板を通り抜けることができません。このため、縦方向の偏光板と、横方向の偏光板を重ねた場合、光は通り抜けません。

2枚のガラス板の間の液晶分子の方向をそろえた場合についても、特定の振動方向の光を通しやすくなります。ここでは、液晶分子の方向に振動する光が通りやすいとしましょう。このとき、縦方向の偏光板、縦方向の液晶を挟んだ2枚のガラス板、縦方向の偏光板を順に並べるとします。この場合、1枚目の偏光板を通った光は、縦方向に振動しています。この光は、縦方向の液晶を挟んだ2枚のガラス板を通り抜けます。そして、この光は、2枚目の偏光板を通り抜けることができます。すなわち、このような配置にすると、光は、そのまま通り抜けることが分かります。

では、ここで、2枚目のガラス板と2枚目の偏光板と一緒に90度回転させたとします。この場合、光は通るでしょうか、通らないでしょうか？ 1枚目の偏光板が縦方向、2枚目の偏光板が横方向であるため、光は通らないようにも思えます。しかし、この場合、光は通り抜けます。1枚目のガラス板付近の液晶は縦方向であり、2枚目のガラス板付近の液晶は横方向になりますが、その間の液晶は、なるべく液晶同

士で同じ方向になろうとするため、徐々に方向が縦方向から横方向に変わっていきます。そして、光は、液晶分子の方向に振動しやすいため、液晶分子の方向の回転とともに、光の方向が徐々に変わっていくということが起こります。そして、2枚目のガラス板を抜けた時点で、光の方向は90度変わっています。液晶の回転により、光の振動方向が90度回転するということです。このため、光は横方向の振動になっており、2枚目の偏光板を通り抜けることができます。2枚目のガラス板と2枚目の偏光板を一緒に90度回転させても、光は通ったままになるということです。

では、この状態で、2枚のガラス板の間に電圧をかけたら、どうなるでしょうか。この場合、電圧により、液晶分子の方向が強制的にそろいます。このため、液晶が徐々に回転するということが無くなり、液晶によって光の方向が変わらなくなります。すると、1枚目の偏光板と2枚目の偏光板の方向が異なるため、光は2枚目の偏光板を通り抜けることができなくなります。

液晶ディスプレイにおいて、液晶は、例えば、何か発光するために使われているわけではありません。これまでお話ししたことをまとめると、液晶に電圧をかけない状態だと光が通り、電圧をかけると光が通らないということです。つまり、液晶は、電圧をかけるかかけないかで、光が通る状態と光が通らない状態を制御するために使われていたわけです。

液晶の後ろには、バックライトがあります。液晶ディスプレイで実際に光っている部分は、この部分です。しばしば、LEDなどがバックライトの光源として利用されます。そして、ガラス板の間に電圧をかけることで、液晶の方向が変わり、透過する光の量を調整することができます。これだけでは白黒画面になりますが、ガラス板にRGBの光を通すフィルタを貼り、それぞれのフィルタを透過する光の量を調整することで、RGBの値を調整し、カラーの画面を表示させることができるようになります。

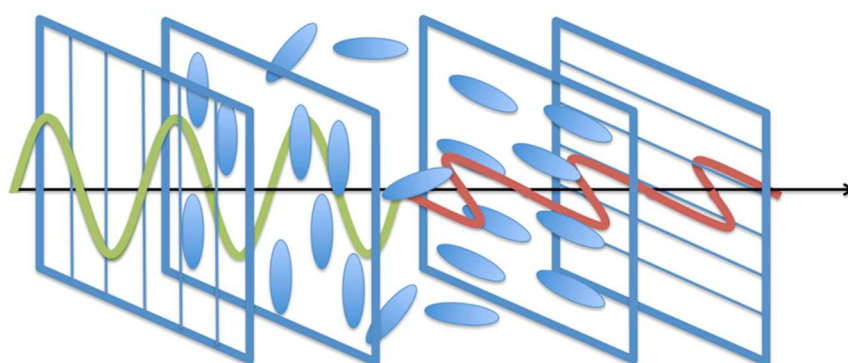


図13-2 液晶ディスプレイの原理

13.3 プリンタ

次に、プリンタについて見てみましょう。サーマルプリンタは、熱により印刷を行います。感熱式の場合、熱により発色する特殊な紙を利用し、熱した部分の色を変えることで印刷を行います。例えば、レシートの印刷などで用いられています。熱転写式の場合、インクリボン（インクが塗られたリボン）を紙に当て、ヒーターで熱してやります。すると、インクが熱で溶け、紙に転写されます。温度が下がれば、インクが紙に定着します。熱転写式の場合、通常の紙に印刷を行えるという利点があります。

インクジェットプリンタは、ごく微量のインクを紙の表面に飛ばすことで、印刷を実現します。インクを飛ばす方法としては、圧電素子を用いる方法があります。圧電素子に電圧をかけることで、変形が起こります。その変形により、ごく少量のインクを飛ばします。また、別の方法としては、微小なヒーターを使う方法もあります。微小なヒーターに電気を流すことで気泡をつくり、その圧力でごく少量のインクを飛ばします。白黒印刷を行う場合は黒いインクを飛ばし、カラーで印刷する場合は、シアン、マゼンタ、イエローの色の3原色のインクを適切な量飛ばすことで、任意の色の印刷を実現します。

レーザープリンタは、印刷するイメージの作成をレーザー光を用いて行います。まず、円筒形の形をした感光ドラムを帯電させます。ここでは、マイナスに帯電させるとして説明します。次に、感光ドラム上の印刷したい文字や画像にあたる部分にレーザー光を当ててやります。感光ドラムは、半導体でできており、レーザー光が当たった部分は、電荷が失われた状態になります。そこに、マイナスに帯電したトナーを振りかけてやると、文字や画像に当たる部分にトナーが付着します。背景部分は、トナーと同じマイナスの電荷を帯びているため、トナーが付着しません。このトナーを、印刷する紙にこすりつけ、転写してやります。最後に、熱を加えるなどしてトナーを定着させます。これにより、文字や画像の印刷を実現しています。