ｐｎ接合（１）

Si,Geの４価の真性半導体の中に原子が５個のヒ素（As）、りん（P）、アンチモン（Sb）などをごく微量混ぜて結晶を作ると、５価の価電子のうち４個はSiの価電子と共有結合するが、残りの余った電子１個（過剰電子）は自由電子となることができる。

この過剰電子はエネルギー的に価電子帯よりも伝導体に近い禁制帯に位置していて、このエネルギー準位をドナー準位と言い、過剰電子を生じさせる元素をドナーと呼んでいる。

このドナー電子は過剰電子を失うと、正電荷を得たこととなり、陽イオンとなる。ドナー準位にできた正孔は価電子帯にできる正孔と異なり、禁制帯にあるため、電子が入り込むことができず、キャリアとしての作用をすることができないので、キャリアの働きは電子のみが行う。このような半導体をｎ型半導体という。

　一方で、４価の真性半導体の中に不純物として３価の元素アルミニウム（Al）またはガリウム（Ga）、ホウ素（B）、インジウム（In）をごく微量入れて結晶を作ると、３価の電子は価電子が３個しかないため、正孔ができる。このように正孔を生じさせる元素をアクセプタといい、正孔のエネルギー準位はアクセプタ準位と言われる。ドナー準位とは逆に価電子帯のすぐそばの禁制帯に位置しているので、正孔には価電子帯の電子が飛び込みやすく、アクセプタは陰イオンとなる。このような半導体をp型半導体という。

ｎ型半導体での電子、p型半導体での正孔は多数キャリアと呼ばれ、ｎ型半導体中に存在するわずかな正孔、ｐ型半導体に存在するわずかな電子はキャリアと呼ばれる。

ｐｎ接合（２）

ｐ型、ｎ型半導体を結合させたｐｎ接合を考える。接合によって、接合面の近くの電子と正孔は一部が結合し、ｎ型半導体領域に電子を失った正イオン、ｐ型半導体領域には電子を余分に持った負イオンが現れる。（図１）

このようなキャリアの欠乏した領域を空乏層という。空乏層は、多数キャリアの移動がだんだん少なくなり空乏層の広がり方も収まっていき、多数キャリアと少数キャリアの移動する量が釣り合った後は空乏層の幅は安定する。次に、図２（a）のようにｐ側にマイナス、ｎ側にプラスの電圧を加えると、ホールはｐ型の電極の方に動き、電子はｎ型の電極の方に引き寄せられることで、接合付近にはキャリアが不足し、電流はほとんど流れない。そして、空乏層の幅は広がる。

次に、図２（b）のようにｐ側にプラス、ｎ側にマイナスの電圧を加えると、接合面の電位障壁を通り抜けて、電子がｐ型へ、ホールはｎ型に侵入する。また、両電極から電子、ホールがそれぞれ補給されるので電流は流れ続ける。

図２（b）電源電圧を順方向電圧、この時の電流を順方向電流という。また、

図２（a）の電源電圧を逆方向電圧、この時の微量な電流を逆方向電流という。

ｐｎ接合ダイオード

順方向電圧を加えると小さい電圧で大きな電流が流れる。一方、逆方向に電圧を印加した場合には少数キャリアによる微量な逆方向電流が流れる。さらに、

逆方向電圧を大きくしていくと、ツェナ現象と雪崩現象によって急激に電流が増加する。

ツェナ効果

逆電圧の増加によって接合部の電界が強くなり、価電子帯の電子がこの電界からエネルギーを得て伝導体に上がり、多量の自由電子と正孔の対ができて逆電流が流れる。

雪崩現象

接合部の逆電界で加速された自由電子と正孔が空乏層内の電子に衝突して、自由電子と正孔の対を発生させて逆電流が流れる。これらを積極的に利用し、逆方向電圧を加えて一定電圧を得るために作られたのがツェナダイオードまたは定電圧ダイオードである。

実験機器

・電源：スイッチングジェネレータAC100Ⅴin/ＤＣ５Ｖout

・基盤：ブレッドボード　・固定抵抗：２２０Ω

・可変抵抗：２ＫΩ２５回転ポテンショメータ

・ダイオード：発光ダイオード(ＬＥＤ)実験①、②ツェナダイオード　実験③

・電流計：デジタルマルチメータ（ＹＯＫＯＧＡＷＡ732-01）

・電圧計：カードハイテスター（Ｈ10Ｋ13244）

実験①　図７の回路にて電流計のレンジを400/4000μＡに設定し、多回転ポテンショを回して、電流計の表示が1,2,4,7,10,20,40,70,μＡの時の電圧を調べた。その後、図8の回路に組み替え、電流計のレンジを400/4000μＡに設定し、多回転ポテンショを回して電流計の表示が7,10,20,40,70,100,200,400,700,

1000,2000,4000μＡの時の電圧を調べた。

さらに、図8の回路と同じ構成で電流計のレンジを40/400ｍＡに設定し、多回転ポテンショを回して、電流計の表示が、0.4,0.7,1,2,4,7,10,ｍＡの時の電圧を調べた。

実験②

実験①－２，３の回路からダイオードの正負を逆にし、電流計のレンジを40/400ｍＡに設定し、多回転ポテンショを回して、電圧計が1.0,1.5,2.0,2.5Ｖの時の電流を調べた。

実験③

実験②の回路からＬＥＤをツェナダイオードに変え、電流計のレンジを400/4000μＡに設定し、多回転ポテンショを回して電流計の表示が7,10,20,40,70,100,200,400,700,1000,2000,4000μＡの時の電圧を調べる。（図１２）次に電流計のレンジを40/400ｍＡに設定し、多回転ポテンショを回して電流計の表示が0.4,0.7,1,2,4,7,10ｍＡの時の電圧を調べた。さらに、図１３のように回路を組み替え、電流計のレンジを400/4000μＡに設定し、多回転ポテンショを回して、電流計の表示が1,2,4,7,10,20,40,70,μＡの時の電圧を調べた。

考察

実験①-２，３において、順方向特性のデータを実用ダイオードの式を用いて解析する。実用ダイオードの式Ｉ=Ｉ₀exp(eV/nkT)を変形すると、㏒Ｉ=e/nkT・ｖ+logⅠ₀となるこの式の左辺はI-Vグラフを片対数で取ったグラフの縦軸に相当するので、片対数グラフで最小二乗法を用いることで傾きを求めることができる。図　の縦軸4000,7000,10000μAの座標のグループBとそれ以外のグループAでグループ分けをし、最小二乗法で直線の式（y=ax+b）を求める公式a=Sxy/Sx²、b=y-axから、グループＡでは傾きe/nkT=0.049639、切片logI₀=1.420275となった。また、グループＢでは傾きe/nkT=0.106607、切片logI₀=0.979609となった。よってグループＡとグループＢで各定数を代入したとき、それぞれのｎが１と２に近似された。方眼紙のグラフと見比べた時、このｎが切り替わる座標は電流が急激に増加する電圧の付近である。したがって、拡散電流が支配的であるときはｎ=１、再結合電流が支配的であるときはｎ＝２である。

次に、逆方向特性を理想ダイオードの式で比較する。理想ダイオードの式

Ｉ=Ｉｓ｛exp(eV/kt)-1｝（逆方向飽和電流）を実験結果と比較すると、式と傾向があっているとわかる。

次に、実験①と実験③でそれぞれ二つの回路を用いて測定をしたが、これらの測定結果にずれが生じるのは電圧計と電流計の接続のしかたが原因である。

電流計に流れる電流をＩ、ダイオードに流れる電流をＩ₀、電圧計の電圧をＶ，ダイオードの抵抗をR,ダイオードに加わる電圧をＶ₀、電流計の内部抵抗、電圧計の内部抵抗をそれぞれRa、Rbとすると、実験①、③の最初の回路において、V=V₀+RaⅠ₀、Ⅰ=Ⅰ₀となる。組み替えた後の回路ではV=V₀、Ⅰ=Ⅰ₀+V₀/Rvとなる。よって、最初の回路と組み替えた後の回路では、測定結果に違いがでるということになる。