

半導体検出器について

検出器の回路

検出器はまず右の図のように組み立てる。その図を元に検出器がどのような構造でその性能を示すのか、又各々の機材が検出器中でどのような役割をするのかを説明していく。

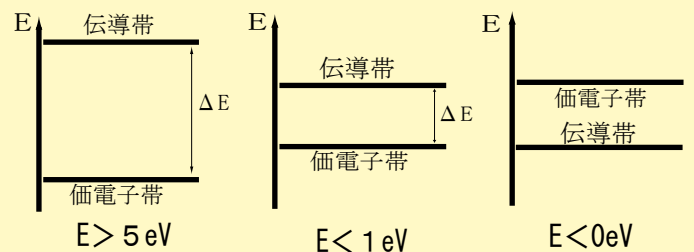
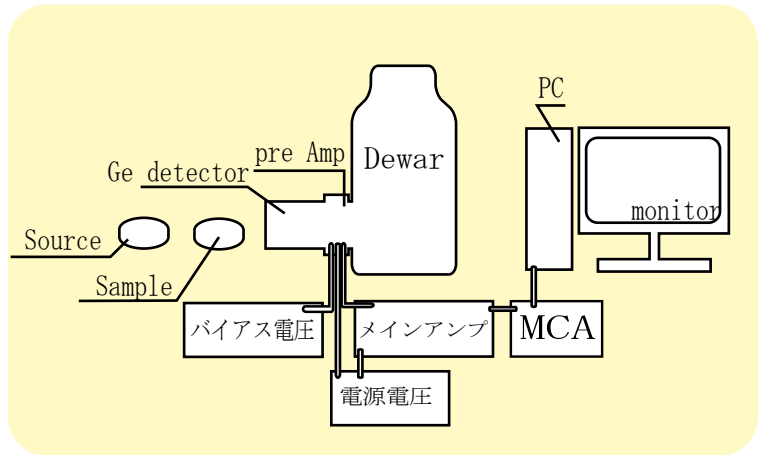
Ge検出器について

図のGe detectorは高純度Geで出来ている。その中を粒子線が通るとき価電子帯の電子が粒子の起こす熱的なエネルギーによって励起され、正孔と電子に分かれる。このとき粒子が電子に与えるエネルギーはその半導体固有のエネルギーギャップより大きい。

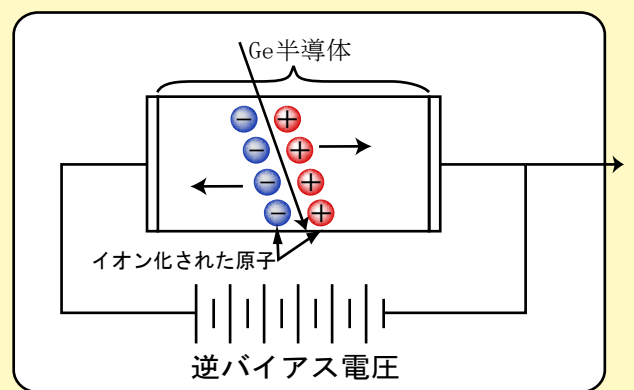
この事自体は全ての原子で起こりうることだが、絶縁体であれば励起に大きなエネルギーが必要である。つまり分解能が悪い検出器しか出来ない。又、伝導体であればエネルギーギャップが存在しないので検出器として成り立たない。

さて、粒子線を検出するためには、粒子によって分かれた正孔や電子を電流として観測したい。このとき観測される電流は、ひとつの粒子によって正孔と電子に分かれる数が限定されるから、電流はパルスで発生する。そのパルスひとつで粒子ひとつのエネルギーであると観測できる。エネルギーの低い粒子線は半導体原子をイオン化する数が少ないので、小さい電流値を持つパルスが発生する。大きいエネルギーであればイオン化する数が増え大きい電流値を持つパルスとなる。普通入射した粒子線は半導体内で減衰し半導体内でとまるが、エネルギーが大きいと半導体を貫いて出射し、その粒子線のエネルギーを測ったことにはならない。つまり半導体の大きさによって検出エネルギー限度が決定される。

半導体内でイオン化されるだけでは電流が流れず検出したことにならない。この問題を解決するために、半導体に電圧をかけイオン化によって生じた電子・正孔を電極に運ぶ。この電圧を逆バイアス電圧という。



エネルギーギャップ図



半導体構造

今回用いた半導体は高純度Ge半導体であるのでほかの半導体検出器と少し異なることがある。他の半導体検出器 (pn接合型、表面障壁型、リチウムドリフト型など) は逆バイアス電圧は別の意味を持つ。他の不純物の混ざった検出器の場合、逆バイアス電圧をかけることでキャリアを両極へもって行き空乏層を作ることを目的とする。粒子線は空乏層を通して初めて観測される。

アンプについて

逆バイアス電圧でパルス電流を流すように出来たが、その信号はまだ小さい。そこで、プリアンプを用いて信号を大きくしておく。信号を大きくするためにメインアンプ・プリアンプがあるが、なぜ二つも必要なのだろうか。

プリアンプ

信号を伝えるとき、いくつかの要因においてその信号に雑音が入る。雑音はある程度まで防ぐことが出来るが完全に防ぐことは不可能である。そのため、雑音を極力小さくする努力が必要になる。

プリアンプは普通検出器のすぐ近くに置かれる。そこである程度信号の増幅を行い、その後の雑音が相対的に小さくなるようにしておく。そうすることであらかじめ雑音を無視できるようにすることを目的とするのがプリアンプである。

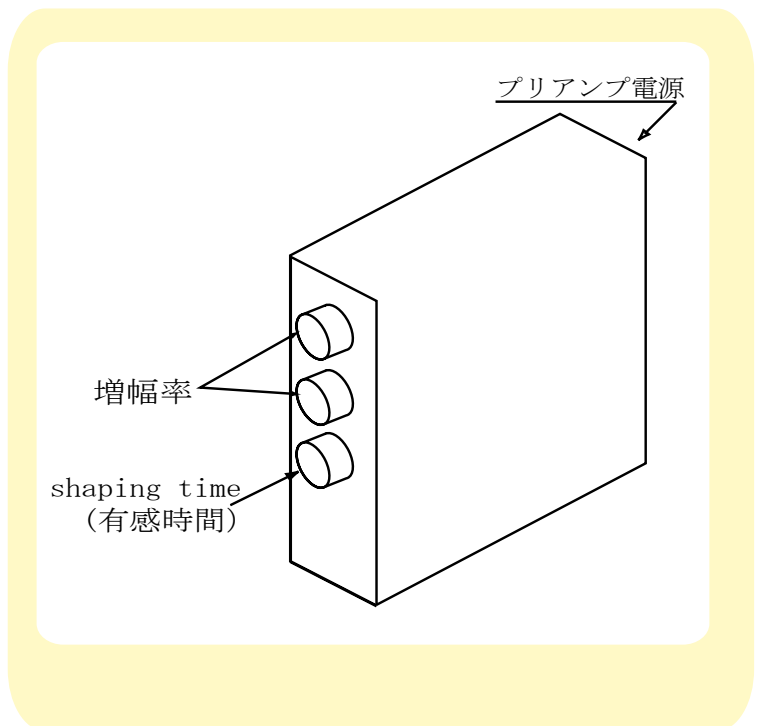
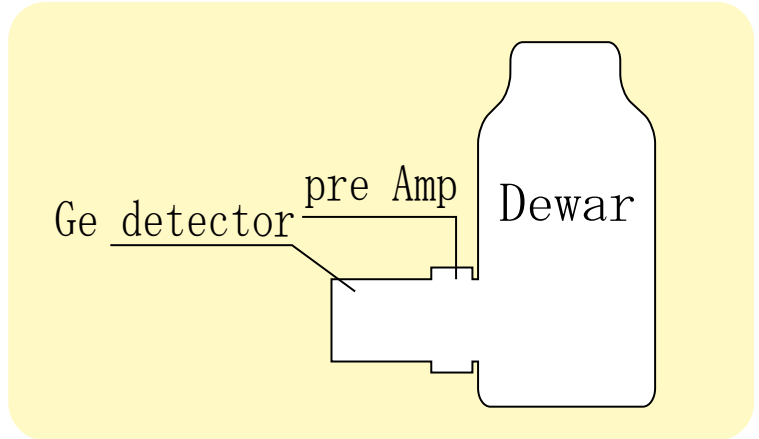
メインアンプ

メインアンプは信号を増幅するだけではない。

電流がパルス状に発生するといったが、それではどのようにして粒子一つ一つを観測したことにするのだろうか。ただパルス状というだけでありさらに周期的でもないものに電流計をつないでもそれを個々の反応であると認識するのは難しい。

今、視点を変えて γ 線の出る数について考えてみる。 γ 線は凡そ一秒間に 個出る。つまり、 秒程度より小さい間隔ではそのパルスは個々の粒子線のエネルギーによって起こされた電流だといえる。

ここでメインアンプの機能について触れる。メインアンプでは送られてきた電気信号を増幅するだけでなく、その信号を設定されたshaping timeの間隔で認識することが出来る。たとえば $2 \mu \text{ sec}$ と設定されているとき送られてきた電気信号（パルス電流）を $2 \mu \text{ sec}$ 間隔で認識する。このとき放射線物質の γ 線数は一秒あたり 個、つまり secに一個なので、 $2 \mu \text{ sec}$ というのは粒子線一つ一つを認識するのに十分短い時間である。もちろん複数の粒子が同時に入射し、実際のエネルギーより大きくなることもあるだろうが、それは全体から見て小さいと考えられる。



機材を見ると分かるがアンプ背後に電源がつながっている。P. 1では電源の位置を分かりやすく並列に書いた。

MCAについて

MCAはアンプで増幅された信号を各エネルギーごとにカウントする機材である。右にMCAでえられた結果を示す。これはMCAをPCにつなぎ専用のソフトで解析したものである。

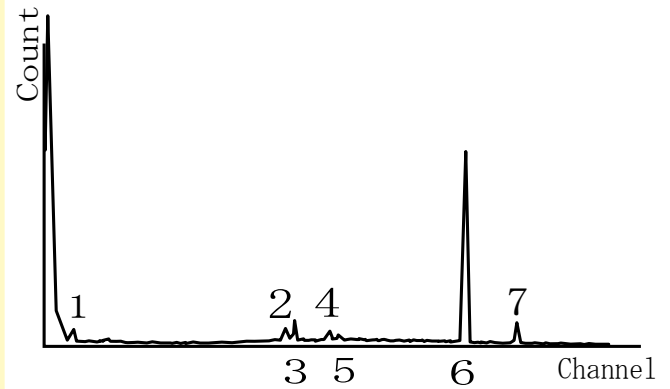
この図は水平軸をチャンネル、垂直軸をカウント数としている。本当なら横軸を単にエネルギーとしたいが、パルス信号のエネルギーはアンプによって増幅されているのでPC上に示されるエネルギー値はあてにならない。よって校正曲線が必要になる。

次の図がその校正曲線である。校正曲線は、よく知られた線元の放射線を、研究対象にしている試料と同じ条件下でそのエネルギーピークを調べる事で得られる。線元の放射線ピークはよく分かっているので、それを元にチャンネルと実際のエネルギーを修正する式を求める。それが校正曲線である。

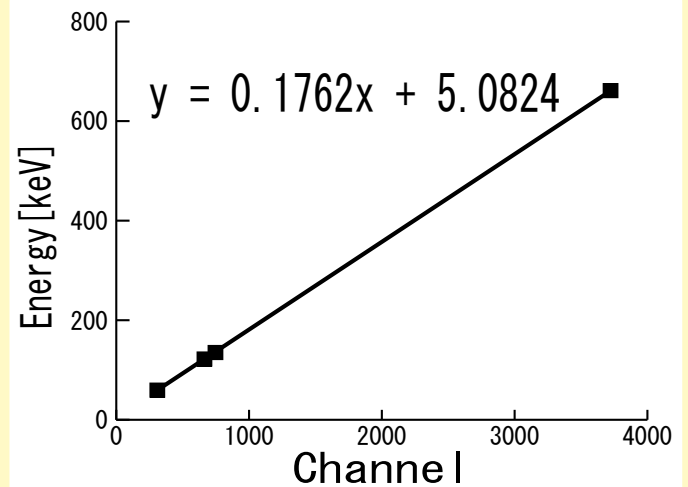
話をアンプに戻す。

検出器の用いる時、分解能がより高いことが求められる。分解能は主にアンプのGeinとshaping timeを操作することである程度変化させることができる。Geinは増幅率を変化させる。Geinを大きくすると、送られてくる信号が全て比例して大きくなる。それは各々のチャンネル間の幅が広がることを示す。つまり、分解能がよくなる。

またshaping timeははいてくる信号を[設定された時間]毎にパルス電流を感知する。設定時間が短いほど入ってくる放射線のエネルギーを重ねて数えることのないようにすることができる。小さいエネルギーを持つ粒子線でのよい分解能を得るためにはshaping timeがより小さいことが望ましい。shaping timeが小さくなるとReal time (実験を続けた時間) に比べてLive time (測定した時間) が遅く進むので、注意されたい。これは設定時間を短くすることでMCAの計算処理する回数が増えるためであると考えられる。



1. この校正曲線無しにPC上で増幅によるエネルギー変化の修正ができるらしいが、ソフトの操作がいまいちよく分からない。
2. エネルギー 0 eVあたりで大きなピークが見られる。これは線元があまりに近すぎると検出器内部で反射が起こり小さなエネルギーの散乱が起こるためであると思われる。



| | Channel | Energy |
|-------|---------|--------|
| Am241 | 309 | 59.54 |
| Co57 | 664 | 122.06 |
| | 746 | 136.47 |
| Cs137 | 3727 | 661.65 |