光半導体素子を用いたプラスチックシンチレーション検出器の性能評価

防衛大学校　本科 54 期　応用物理学科　　福田 達哉

1. 研究目的

短冊型プラスチックシンチレータの両端に光電子増倍管等の高感度光検出器を設置することにより、放射線の入射位置を測定することができる。近年浜松ホトニクス社によって開発された MPPC は、微弱光測定のための光半導体素子であり、光電子増倍管に並ぶ増幅率と光子検出効率を持つにもかかわらず、コンパクトで、磁場に対する耐性を持ち、70 V 程度の低電圧で動作することなどの数々の優れた性能を持つ。従って、光検出器として MPPC を用いた場合、光電子増倍管の場合よりも小型で低消費電力のシンチレーション検出器が設計可能になる。本研究ではそのような検出器の開発を目的とし、MPPC を用いたシンチレーション検出器を製作した上で、基礎性能である位置分解能および時間分解能を評価した。さらに光電子増倍管を用いた場合との性能比較も行った。

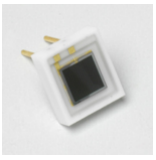

図 1　MPPC 素子（受光面：3 mm×3 mm）

2. シンチレーション検出器

本研究では図 2 のようなプラスチックシンチレータ（5×10×150mm）の両端に MPPC（S10362-33-050C：受光面 3×3mm、ピクセルサイズ 50×50μm²）を取り付けた検出器を製作した。集光率を上げる為に、プラスチックシンチレータを反射材で巻き、MPPC をシリコングリースで光学的に接続した。

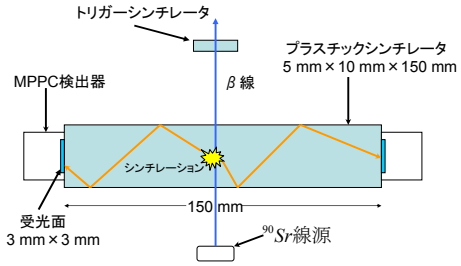

図 2　β線を用いた位置分解能測定のセットアップ

3. 実験結果

図 2 のように ^{90}Sr 線源から放出される β線がトリガーシンチレータで検出されたことを条件に測定すると、プラスチックシンチレータ内で発生した光が左右の MPPC に到達するまでの時間差から β線の通過位置を測定できる。ここで、β線によって厚さ 5 mm のシンチレータに与えられるエネルギーは、約 1 MeV と見積もられる。実験の結果、図 3 の様に ^{90}Sr 線源の位置を変化させたときの左右の MPPC の測定時間差の関係が直線となった。このことは時間差から β線の通過位置を測定できることを示している。この直線関係と時間差分布の広がりから、中心位置における位置分解能が 1.89 cm と求められた。比較の為、光電子増倍管を用いた位置分解能を測定したところ 0.54 cm となった。この違いは、MPPC による受光面積が光電子増倍管の場合の 20%程度であることに由来する検出光子数の統計変動が主な原因と考えられる。よって、片端に取り付ける MPPC を 2 個に増やしたり、ライトガイドを取り付けたりするなどしてシンチレーション光の集光率を向上させることで、位置分解能がさらに向上すると期待される。

時間分解能の測定は、^{22}Na および ^{60}Co 線源から同時に放出される 2 本のγ線を NaI(Tl)検出器とプラスチックシンチレーション検出器で検出し、その検出時間差の揺らぎから求めた。この結果、^{22}Na 線源からのγ線（0.511 MeV）に対する時間分解能（標準偏差）は 1.15 ns、^{60}Co 線源からのγ線（平均 1.25 MeV）に対する時間分解能は 0.83 ns であった。一方、光電子増倍管を用いた検出器では ^{22}Na 線源に対し 1.18 ns、^{60}Co 線源に対し 0.80 ns であり、時間分解能に大きな差は無かった。

基礎性能の一つであるエネルギー分解能の測定も試みた。ここでは単一のエネルギー付与に対する応答を調べる為、^{137}Cs 線源のγ線がプラスチックシンチレーション検出器の中でコンプトン散乱を起こし、かつ 180 度に散乱されたガンマ線が NaI(Tl)検出器で検出された事象を測定した。その結果、光電子増倍管を用いた検出器のエネルギー分解能は、0.478 MeV の反跳電子に対し標準偏差で 8.9 %であった。このとき片端の光電子増倍管得られた光量は約 120 光電子である。一方、MPPC を用いた検出器では、集光量が少ないため反跳電子によるピークとバックグランドが明確に分離されなかった。従ってエネルギー分解能を測定するためには実験手法の改善が必要であると言える。いずれにせよ、集光率が改善されれば光量が増加し、エネルギー分解能の測定も可能になると考えられる。

4. 結論

MPPC を用いたプラスチックシンチレーション検出器によって、1 MeV 程度のエネルギーを付与する β線の入射位置を測定することが可能であることが分かった。また、時間分解能について、光電子増倍管を用いた場合と大きな差が無いことも分かった。以上の結果より、小型・低消費電力の放射線検出器への応用が可能であることが本研究によって示された。

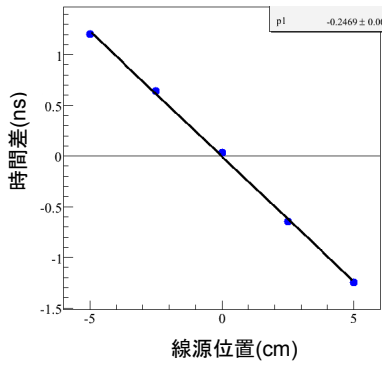

図 3　^{90}Sr 線源からの β線を測定した左右の MPPC の応答時間差と線源位置の関係

指導教官　　新川 孝男 教授，松村 徹 助教