

Kostengünstiger β - und γ -Detektor mit Fotodiode

Universität Osnabrück, Fachbereich Physik, Forschungsgruppe Didaktik der Physik
Sven Schalk

Abstract

Beschrieben werden Schaltung und Aufbau eines auf der Fotodiode BPW34 basierenden Halbleiterdetektors für β - und γ -Strahlung, der sich zum Nachweisen und Zählen von ionisierender Strahlung eignet. Die Kosten belaufen sich je nach Aufwand auf ungefähr 10 Euro.

1. Hintergrund

Das Messprinzip von Halbleiterdetektoren beruht auf dem Effekt, dass ionisierende Strahlung beim Durchgang durch Halbleitermaterial Elektron-Loch-Paare erzeugt. Besitzt beispielsweise ein Photon ausreichende Energie, um Elektronen aus dem Valenzband ins Leitungsband anzuheben, können die entstandenen Elektron-Loch-Paare zu einem kurzen Stromimpuls führen, der durch empfindliche Verstärker messbar wird. Die maßgeblich an der Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren beteiligten Prozesse sind der innere Photoeffekt, Compton-Effekt und Stoßionisation.

Einige der primär für den sichtbaren Wellenlängenbereich konzipierten Fotodioden eignen sich auch zur Detektion von γ - und β -Strahlung, was sie besonders interessant für den Einsatz im Schulunterricht macht, da sie und die übrigen Materialien zum Bau eines Detektors sehr kostengünstig zu erwerben sind. Die Materialkosten des im Folgenden beschriebenen Detektors liegen im Bereich von 10 Euro.

2. Schaltung

Die in Abbildung 1 gezeigte Schaltung ist bereits in vielen Variationen und mit ausführlichen Erklärungen im Internet zu finden. Es lassen sich also vielfältige Anregungen zur Weiterentwicklung finden.

Die PIN-Fotodiode BPW34 eignet sich insbesondere aufgrund ihrer geringen Ansprechzeit, hohen Sensitivität und verhältnismäßig großen Fläche ausgezeichnet zur Detektion. Sie wird in Sperrrichtung betrieben und ist im Normalfall nichtleitend. Trifft ionisierende Strahlung auf die Diode, so fließt ein kurzer Stromimpuls, der im ersten Transistor verstärkt wird. Das am Kollektor abgegriffene Signal wird im zweiten Transistor erneut verstärkt und anschließend über einen Kondensator gleichanteil-frei abgegriffen und in eine Koaxialleitung eingespeist. Das Signal kann dann beispielsweise mit einem Speicheroszilloskop analysiert werden.

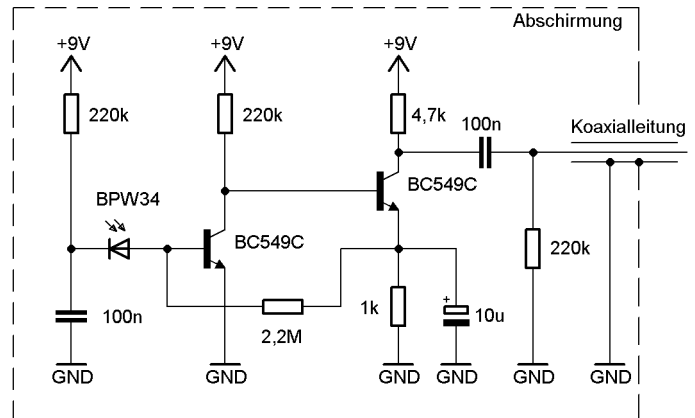


Abbildung 1. Schaltplan

Für einen erfolgreichen praktischen Nachbau des Detektors sind mehrere Dinge zu beachten:

1. Für die Transistoren hat sich der rauscharme Typ BC549C bewährt. Soll ein anderer Transistortyp genutzt werden, empfiehlt es sich, einen ähnlich rauscharmen Typ zu verwenden.
2. Für die beiden unpolaren 100nF-Kondensatoren können einfache Vielschicht-Keramik Kondensatoren verwendet werden. Auf keinen Fall dürfen sie durch polare Elektrolyt-Kondensatoren ersetzt werden.
3. Die Abschirmung der Schaltung ist kritisch. Ein Testaufbau auf einem Steckbrett ohne Abschirmung hat gezeigt, dass die eingefangenen Störsignale das eigentliche Fotosignal um Größenordnungen überlagern. Daher muss die gesamte Schaltung direkt in ein geschlossenes Metallgehäuse eingebaut werden. Die Signalleitung sollte als Koaxialleiter ausgeführt werden.
4. Die Fotodiode muss abgedunkelt werden, damit nicht durch das Umgebungslicht ein Photostrom erzeugt wird. Hierfür hat sich Haushalts-Aluminiumfolie bewährt, die einlagig die Fotodiode bedeckt. Die Folie muss wie das Gehäuse auf Masse-Potential liegen und kann z.B. mit einem Gummiband am Gehäuse befestigt werden. Sie ist dünn genug, um auch β -Strahlung passieren zu lassen.
5. Die Spannungsquelle muss eine störfreie Gleichspannung im Bereich von 5 bis 15 Volt liefern. Eine gute Möglichkeit ist es, eine 9V-Blockbatterie zu verwenden und direkt mit in das geschirmte Gehäuse

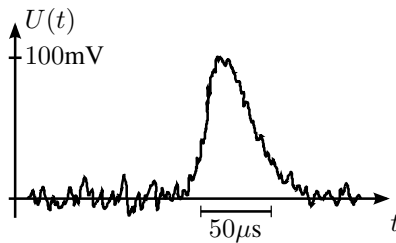


Abbildung 2. Ausgangssignal

einzubauen. Mit einem Kippschalter lässt sich dann der Verstärker einschalten. Die Leistungsaufnahme ist so gering, dass eine Blockbatterie etliche Betriebsstunden gewährleistet.

Die Schaltung sollte möglichst kompakt mit einer „guten Masse“ aufgebaut werden. Ein kleines Stück Streifen- oder Punktraster-Platine bietet ausreichend Platz für die wenigen Bauteile. Das Gehäuse wird genau einmal mit dem Massepotential der Schaltung verbunden. Dies geschieht an der Durchführung der Koaxialleitung. In eine Gehäusewand kann ein circa 1cm großes Loch gebohrt werden, hinter dem die Fotodiode platziert wird. Anschließend wird dieses Loch mit etwas Aluminiumfolie von außen lichtundurchlässig verschlossen.

Die sensitive Fläche des Detektors kann vergrößert werden, indem mehrere Fotodioden parallel geschaltet werden. Ein Aufbau mit drei parallel geschalteten Dioden liefert sehr gute Ergebnisse. Acht parallel geschaltete Dioden erhöhen die wirksame Fläche weiter. Allerdings wird dann der Signal-Rauschabstand bereits merklich schlechter.

3. Signalauswertung

Das Ausgangssignal dieser Schaltung ist bereits groß genug, um mit einem Oszilloskop oder über den AUX-Eingang einer Soundkarte ausgewertet zu werden. Der typische pulsförmige Spannungsverlauf, der durch ein ionisierendes Teilchen oder γ -Quant hervorgerufen wird, ist in Abbildung 2 zu sehen. Die Spitzenspannung eines Pulses kann bis zu circa 200mV betragen. Sie variiert jedoch zufällig und kann deutlich kleiner ausfallen. Die Pulsbreite liegt in der Größenordnung von $50\mu s$. Da es sich bei radioaktiven Zerfallsprozessen um statistisch verteilte Ereignisse ohne Periodizität handelt, muss ein digitales Speicheroszilloskop verwendet werden, da es nur so möglich ist, einzelne Triggerereignisse zu detektieren und „einzufrieren“.

Soll eine Auswertung über die Soundkarte stattfinden, so muss darauf geachtet werden, dass (a) ggf. eine geeignete Schutzschaltung den Soundkarteneingang vor Überspannung schützt und (b) die eingestellte Abtastrate ausreichend ist, um das Signal sicher zu detektieren.

Der Ausgang der Schaltung, wie sie in Abbildung 1 gezeigt ist, liefert bislang ein analoges Signal. Mithilfe eines Komparator-ICs (LM311) kann die Schaltung um einen einfachen Schwellwertdetektor erweitert werden, der ab einer bestimmten über das Potentiometer einstellbaren Schwellenspannung einen digitalen high-Pegel

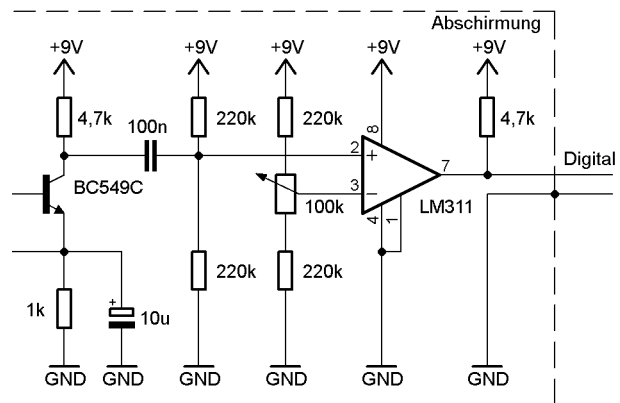


Abbildung 3. digitaler Ausgang

liefert. Die in Abbildung 3 gezeigte Erweiterung der ursprünglichen Schaltung liefert bei der Detektion eines ionisierenden Teilchens einen kurzen high-Pegel in Höhe der Betriebsspannung (9 Volt). Dieser Ausgang kann direkt an geeignete Digitalzähler angeschlossen werden.

Es wird dringend empfohlen zunächst mit dem Aufbau der Schaltung aus Abbildung 1 zu beginnen, um die Fehlersuche zu vereinfachen.

4. Ergebnisse

Der Detektor eignet sich als Zähler für Durchgänge ionisierender β - und γ -Strahlung. Anders als in einigen Internetquellen vermutet wird, konnte bislang kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Pulshöhe und der Energie der γ -Quanten festgestellt werden, was Voraussetzung für Gammaspektroskopie wäre. Diese Beobachtung ist wenig verwunderlich, da die Abmessungen der Sperrschicht in der Fotodiode viel zu klein sind, um die gesamte Energie der Quanten einsammeln zu können.

Da sich dieser Detektor sehr kostengünstig mit etwas Geschick aufbauen lässt, eignet er sich gut für den Einsatz in Schulen. Es wäre denkbar, dass mehrere Detektoren an Schüler ausgeteilt werden, die dann selbständig Experimente mit frei zugänglichen radioaktiven Präparaten durchführen können. Diesbezüglich liegen jedoch noch keine Erfahrungsberichte vor.

5. Quellen

Alternative Bauanleitungen als Inspirationsquelle sind unter dem Stichwort „Gammadetektor BPW34“ in Suchmaschinen und Videoportalen zu finden. Darunter: <http://www.elektronik-labor.de>

6. Kontakt

Bei Fragen, Anregungen oder Erfahrungen, die Sie uns mitteilen möchten, wenden Sie sich bitte an:

Schalk, Sven sven.schalk@gmx.de