

Detector de Partículas Beta

Hernán Alejandro Silva
Facultad Regional Avellaneda
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina
hernansilva2002@gmail.com

Elías Ramírez
Facultad Regional Avellaneda
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina
foo@gmail.com

Florencia Mincone
Facultad Regional Avellaneda
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina
foo@gmail.com

Nicolás Lahorca
Facultad Regional Avellaneda
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina
nicolas.lahorca.k@gmail.com

Luciano Justiniano
Facultad Regional Avellaneda
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina
luciano.nicolas.justiniano@gmail.com

Abstract—Constantemente los objetos que nos rodean emiten partículas que los sentidos humanos no son capaces de percibir. Estas partículas pueden ser perjudiciales para la salud y es necesario cuantificarlas y/o detectarlas para evitar o reducir la exposición a ellas. Para lograr ese objetivo, en este documento se presenta la realización de un dispositivo que cumpla la función de detectar un tipo de radiación, llamada radiación β . En particular, se hará hincapié en la radiación por emisión de electrones, a este tipo de radiación se la conoce como radiación β^- . Además, se propone el análisis de su principio de funcionamiento, los materiales necesarios para su construcción y sus limitaciones.

I. INTRODUCCIÓN

El presente documento sirve como informe sobre el proyecto de fin de año de la asignatura Física Electrónica. Dicho proyecto se trata de un detector y contador de partículas beta, cubriendo de esta forma el tema de "Radiación" de la asignatura. Para más información sobre el proyecto, se recomienda visitar el repositorio del mismo que se encuentra en el siguiente enlace: (enlace al repo del proyecto).

II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

A. ¿Que son las radiaciones β ?

Las radiaciones β son un tipo de radiación ionizante, la cual se caracteriza por emitirse durante el proceso de desintegración o decaimiento β . Dicho proceso puede producirse de dos diferentes formas.

- 1) *Emisión de electrones*: Un núcleo inestable de un átomo emite un electrón y un antineutrino, convirtiéndose de esta manera un neutrón en un protón como *Desintegración β^-* .
- 2) *Emisión de positrones*: El núcleo inestable emite un positrón, es decir, un electrón cargado positivamente, junto con un neutrino. De esta forma se logra transformar un protón en un neutrón. Este proceso recibe el nombre de *Desintegración β^+* .

Generalmente, las fuentes más comunes de radiación de partículas β son piedras con pequeñas cantidades de uranio, y diferentes fuentes de potasio, como el cloruro de potasio

(KCl), el cual contiene baja cantidad del isótopo potasio 40 (K^{40}), capaz de emitir partículas β^- .

B. Formas de captar las partículas

El dispositivo electrónico más estudiado y utilizado para detectar la radiación de diferentes tipos de partículas es el diodo PIN o fotodiodo. Como muestra la Fig. 1, este es similar en cuanto a estructura a un diodo de juntura PN, la diferencia radica en que el PIN tiene una zona de material semiconductor intrínseco (zona I) entre la zona dopada positivamente (zona P) y la zona dopada negativamente (zona N).

Al ser un material semiconductor, la zona I contiene átomos de silicio que, al momento de ser impactados por una partícula irradiada debido a una fuente radioactiva, genera la rotura de los enlaces covalentes del átomo, produciendo un *par electrón-laguna*. La generación de este par tiene como consecuencia un pulso de corriente de decenas hasta cientos de microampere que atraviesan al diodo. Esta corriente puede ser medida. Cuando al diodo se lo polariza en forma inversa (cátodo con potencial más alto que el del ánodo), se generan dos regiones de vaciamiento: La primera se encuentra localizada entre la zona P y la zona I, y la otra entre dicha zona intrínseca y la zona N; en estas regiones, no se encuentran portadores libres, sino que existen iones fijos cargados positiva y negativamente. Estos iones fijos son los responsables que en dichas regiones se encuentre un campo eléctrico, el cual atrapa e impulsa a los portadores, aumentando la intensidad de corriente eléctrica a través del diodo.

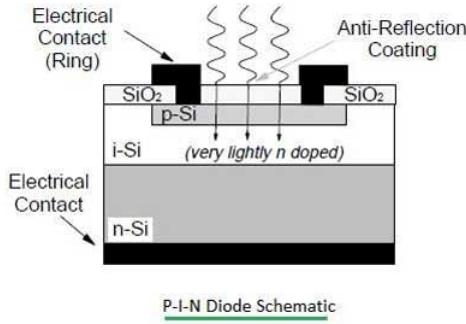


Fig. 1. Corte transversal de una estructura típica del diodo PIN

C. El fotodiodo como detector de partículas β

La zona intrínseca explicada anteriormente es conocida como *zona sensible*, porque es donde las partículas irradiadas impactan. Como se menciona en [1], las zonas sensibles de los fotodiodos son capaces de absorber algunos tipos de radiaciones ionizantes. La detección de las partículas que impactan está directamente relacionada con la profundidad de la zona sensible del diodo; esta zona (región de vaciamiento) aumenta de profundidad al elevar el voltaje de polarización inversa del dispositivo, dicha relación responde matemáticamente a

$$d(V) = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{C(V)} \quad (1)$$

donde:

- $d(V)$ es la profundidad de la zona sensible.
- ϵ_r es la permitividad relativa del material, en este caso el Si (silicio).
- ϵ_0 es la permitividad del vacío.
- A es el área física de la zona sensible del diodo.
- $C(V)$ es la capacitancia del diodo a un determinado nivel de voltaje de polarización inversa.

Este valor de profundidad permite conocer la energía cinética máxima que se puede detectar de una partícula. Como se mencionó anteriormente, los valores de interés corresponden a partículas β^- (electrones). Para establecer el valor de energía mencionado, es necesario conocer la magnitud del rango *CSDA* (*continuous slowing down approximation*). El rango CSDA es una aproximación muy cercana de la media de longitud de una trayectoria que recorre una partícula cargada a medida que se frena hasta alcanzar el reposo [2]. Para los electrones, los valores del CSDA están tabulados en [2].

Para obtener una medición fiable, es necesario que el rango CSDA sea menor o igual que la profundidad de la zona sensible del diodo; esto es

$$R_p \leq d(V) \quad (2)$$

donde R_p es el rango CSDA.

De esta forma, la energía de la partícula incidente es completamente disipada en el interior de la zona sensible.

III. CARACTERÍSTICAS CONTRUCTIVAS DEL DETECTOR

El dispositivo a realizar para detectar las partículas tiene como foco ser portable y producir una señal de detección a la salida con amplitud observable al medir con un osciloscopio digital. Con estos objetivos definidos, el dispositivo estará compuesto por dos etapas:

- Etapa de detección: La opción mas documentada para la detección de estas partículas es el diodo PIN BPW34, que es posible observar en la Fig. 2(a); si se logra aislarlo completamente de la luz incidente y de interferencias electromagnéticas, es capaz de detectar radiaciones ionizantes en su zona sensible.
- Etapa de amplificación: Es necesario tener un nivel de ruido muy reducido, ya que un nivel alto escondería los picos debido a los impactos de las partículas. El candidato ideal que satisface esos requerimientos es un amplificador operacional de alta impedancia de entrada, como lo es la serie OPAx134 del fabricante Texas Instruments. A su vez, esta etapa está compuesta por una etapa de transimpedancia (conversión de la corriente de los fotodiodos en tensión) y otra de amplificación diferencial.

Ambas etapas deben tener su especificación correspondiente.

A. Etapa de detección

Debido a que uno de los objetivos es que el dispositivo detector sea portable, la alimentación del circuito es de una pila de 9 V, con una tensión nominal de 9,9 V. Con este valor de alimentación, el circuito amplificador entrega aproximadamente 8 V de polarización inversa a los diodos. La Fig. 2(b) muestra que para un nivel de tensión de 8 V de V_R corresponde una capacitancia de aproximadamente 22 pF.

Reemplazando la capacitancia (para 8 V de V_R) en (1), se obtiene

$$\begin{aligned} d(V) &= \frac{11,68 \times 8,85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} \times 7.02 \text{ mm}^2}{22 \text{ pF}} \\ d(V) &= 32,98 \text{ } \mu\text{m} \\ d(V) &\approx 33 \text{ } \mu\text{m} \end{aligned}$$

Esto nos indica que un electrón puede viajar como máximo 33 μm dentro de la zona sensible, de manera tal que se cumpla lo expresado con anterioridad en (2).

Debido a que la base de datos de [2] expresa los valores de rango CSDA en unidades de g/cm^2 , es necesario que el $d(V)$ calculado esté también en dicha unidad; para esto, calculamos

$$\sigma = \rho t$$

donde σ es la densidad superficial, ρ es la densidad y t es el espesor de la zona sensible ($d(V)$ calculado). Para 33 μm , esto es

$$\begin{aligned} \sigma &= \rho t \\ \sigma &= 2,32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \times 0,0033 \text{ cm} \\ &= 7,6 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \end{aligned}$$

En la base de datos de [2] es posible observar que para Si, la energía cinética máxima del electrón para un rango de $7,6 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ es 60 KeV.

B. Etapa de amplificación

REFERENCES

- [1] O. Keller, M. Benoit, A. Müller, and S. Schmeling, "Smartphone and tablet-based sensing of environmental radioactivity: Mobile low-cost measurements for monitoring, citizen science, and educational purposes," *Sensors*, vol. 19, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/19/4264>
- [2] M. Berger, J. Coursey, M. Zucker, and J. Chang, "Stopping-power & range tables for electrons, protons, and helium ions," National Institute of Standards and Technology, Tech. Rep., October 2009. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions>
- [3] U.S Department of Energy. Doe explains...beta decay. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/science/doe-explainsbeta-decay>

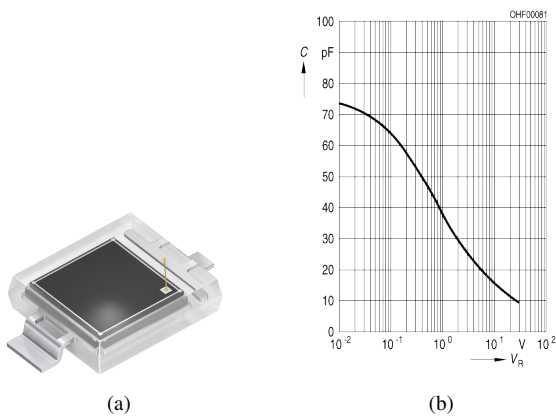


Fig. 2. Fotodiodo BPW34S de la marca Osram. (a) Imágen real del fotodiodo. (b) Curva característica C-V del BPW34S