

Informe 10: Fotoconductividad

Juana Valeria Pinzón* and Sergio Laverde**

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 25 de mayo de 2024)

Este experimento de laboratorio se centró en investigar las propiedades de fotoconductividad de un fotorresistor basado en sulfuro de cadmio. A través de análisis experimentales, se examinó el comportamiento del fotorresistor bajo diferentes irradiancias y ángulos de polarización. El experimento reveló que la conductividad del fotorresistor variaba linealmente con el voltaje aplicado, siguiendo la ley de Ohm. Además, se encontró que la resistencia interna del fotorresistor era inversamente proporcional a su conductividad eléctrica, la cual estaba influenciada por la irradiancia y el ángulo de polarización de la luz incidente. Adicionalmente, se exploró la relación entre la fotocorriente y el ángulo entre polarizadores. Aunque la fotocorriente no mostró una tendencia lineal con el ángulo entre polarizadores, se observó una relación lineal al graficar la fotocorriente contra el cuadrado del coseno del ángulo, en concordancia con la ley de Malus. Además, los resultados experimentales respaldan la aplicación de conceptos fundamentales como la teoría de bandas y el efecto fotoeléctrico interno en la comprensión y diseño de dispositivos semiconductores.

I. INTRODUCCIÓN

La propiedad de fotoconductividad, comúnmente observada en fotorresistores, se destaca en su aplicación como sensores de luz en una variedad de dispositivos electrónicos contemporáneos. En este experimento, se investigarán las propiedades de un fotorresistor específico fabricado con sulfuro de cadmio [1].

La conductividad eléctrica (σ) de un material representa su capacidad para permitir el flujo de carga eléctrica a través de él. La teoría de bandas proporciona una descripción detallada de la dinámica de los portadores de carga en un material, lo que permite comprender la corriente que fluye a través de la capa de conducción.

El fotoefecto interno es un mecanismo crucial para la generación de portadores de carga en un material semiconductor. La absorción de fotones proporciona la energía necesaria para que los electrones salten a la banda de conducción, incluso si inicialmente no poseen suficiente energía. Esto es fundamental para los resistores semiconductores que operan según este principio [3].

La influencia de la irradiancia en la fotoconductividad puede analizarse utilizando polarizadores, dispositivos que pueden modular la irradiancia según la relación:

$$\Phi = \Phi_0 D \cos^2(\alpha) \quad (1)$$

Donde α es el ángulo entre los 2 polarizadores. Esta relación describe cómo la irradiancia afecta la conduc-

tividad dentro del material. Conociendo esta variación, es posible calcular la corriente inducida a través del material mediante la relación:

$$I_{\text{fotocorriente}} = \frac{A}{d} \Delta\sigma V$$

Donde A es el área transversal del fotorresistor, $\Delta\sigma$ es el cambio en la conductividad, y V es el voltaje aplicado al material. Este análisis permite comprender cómo la variación en la irradiancia influye en la corriente que puede pasar a través del fotorresistor.

II. MONTAJE Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Inicialmente se procedió a instalar el montaje como se muestra en el esquema a continuación:

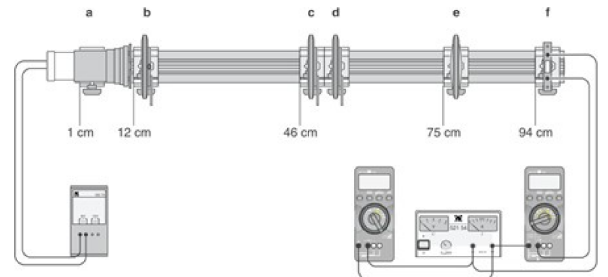


Figura 1. Montaje experimental.

Se puede observar: a) la lámpara, b) la rejilla ajustable, c) y d) los polarizadores, e) el lente focal y f) la foto-resistencia.

* Correo institucional: j.pinzonr@uniandes.edu.co

** Correo institucional: s.laverdeg@uniandes.edu.co

Posteriormente, se procedió a calibrar el experimento midiendo la fotocorriente generada por luz residual I_0 tapando el camino del rayo de luz. Después, se procedió a medir la fotocorriente a irradiancia constante I_{Ph} empezando desde 20V y disminuyendo de a 1V hasta llegar a 0V. Se repitieron estas medidas variando el ángulo de los planos de polarización de los filtros (de 10 a 90 grados).

Para la segunda parte del experimento, Se midió la fotocorriente como función de la irradiancia a voltaje constante de 20V. Nuevamente se tapa el camino del rayo de luz para medir la fotocorriente generada por luz residual I_0 . Después, se procedió a medir la fotocorriente cambiando el ángulo de los planos de polarización en intervalos de 10 grados. Se repitieron estas medidas disminuyendo el voltaje gradualmente de a 1V hasta llegar a 0V.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Fotocorriente a irradiancia constante

Según la definición, la conductividad eléctrica ($\sigma = 1/R$) varía según la irradiancia en un fotorresistor. Es por esto, que a irradiancia constante la resistencia interna también lo es. Entonces, en este caso la ley de Ohm ($I = \sigma V = V/R$) es aplicable. Se procedió a graficar la corriente en función del voltaje ambos del fotorresistor. Además, se realizó un ajuste lineal mediante el método de mínimos cuadrados VB con el fin de estimar el valor de la conductividad eléctrica (la pendiente) y con esta el valor de la resistencia interna. Este cálculo se desarrolló para cada toma de datos de irradiancia a diferentes ángulos entre polarizadores de 0° a 90° como se muestra en la figura 2.

De dichas regresiones se obtuvieron como resultados los reportados en la tabla I:

En todos los casos se obtuvo precisión de acuerdo al criterio establecido en el apartado V A.

B. Fotocorriente a voltaje constante

Se procedió a graficar la corriente en función del ángulo entre los dos polarizadores (α) como se muestra en la figura 3. Se puede evidenciar que los datos no siguen una tendencia lineal, lo cual es congruente con la teoría dada por la ecuación 1.

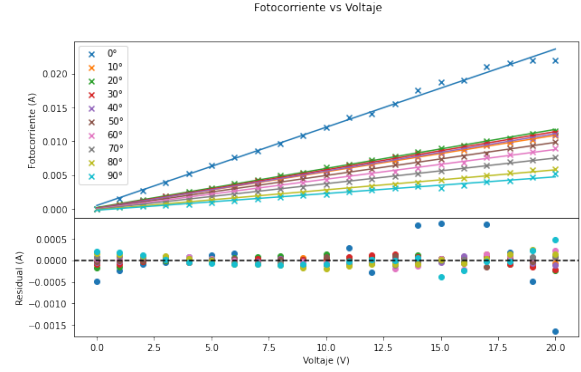


Figura 2. Fotocorriente en función del voltaje.

En la gráfica se muestran los datos obtenidos de fotocorriente en función del voltaje para cada ángulo de polarización registrado junto con sus ajustes lineales y residuales correspondientes.

Ángulo de polarización	R^2	Conductividad ($1/\Omega$)	Resistencia (Ω)(5)
0°	0.73	$(11,58 \pm 0,19) \times 10^{-4}$	$(863,71 \pm 14,51)$
10°	0.73	$(5,39 \pm 0,02) \times 10^{-4}$	$(1854,08 \pm 7,29)$
20°	0.73	$(5,78 \pm 0,04) \times 10^{-4}$	$(1729,17 \pm 11,26)$
30°	0.73	$(5,66 \pm 0,03) \times 10^{-4}$	$(1766,95 \pm 10,24)$
40°	0.73	$(5,54 \pm 0,02) \times 10^{-4}$	$(1806,62 \pm 6,53)$
50°	0.73	$(4,9 \pm 0,02) \times 10^{-4}$	$(2041,36 \pm 8,72)$
60°	0.73	$(4,41 \pm 0,04) \times 10^{-4}$	$(2270,11 \pm 20,93)$
70°	0.73	$(3,8 \pm 0,03) \times 10^{-4}$	$(2633,92 \pm 20,58)$
80°	0.73	$(2,96 \pm 0,05) \times 10^{-4}$	$(3376,16 \pm 52,04)$
90°	0.73	$(2,47 \pm 0,07) \times 10^{-4}$	$(4054,13 \pm 107,75)$

Cuadro I. Conductividad y resistencia eléctrica a irradiancia constante.

Se reportan los resultados de las conductividades y resistencias eléctricas correspondientes a cada ángulo de polarización registrado.

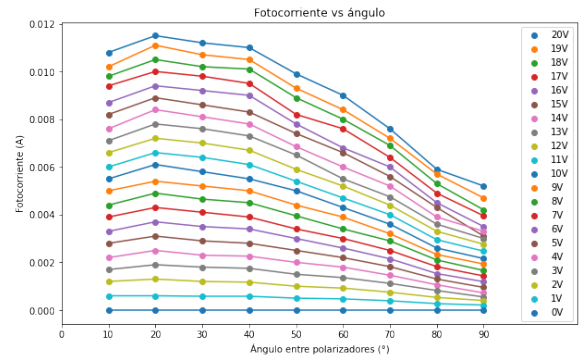


Figura 3. Fotocorriente en función del ángulo entre los dos polarizadores (α).

En la gráfica se muestran los datos obtenidos de fotocorriente en función del ángulo (α) para cada voltaje registrado.

Dado esto y teniendo en cuenta la ecuación 1, resulta conveniente graficar la corriente en función de $\cos^2(\alpha)$ cuya regresión lineal mostraría que la fotocorriente es directamente proporcional al voltaje como ya se evidenció en el apartado anterior.

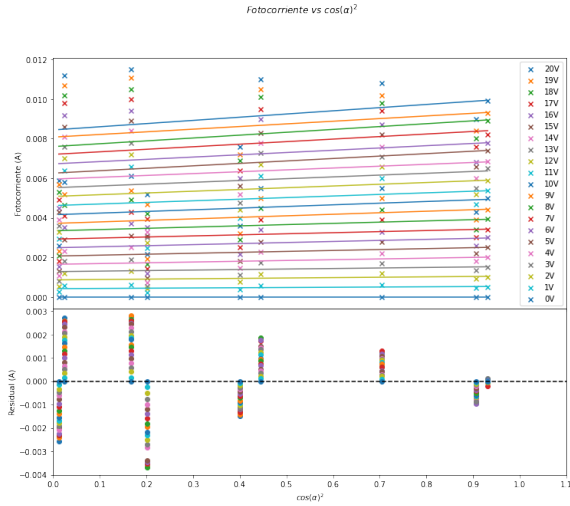


Figura 4. Fotocorriente en función del coseno al cuadrado del ángulo entre los dos polarizadores (α).

En la gráfica se muestran los datos obtenidos de fotocorriente en función del coseno al cuadrado del ángulo (α) para cada voltaje registrado.

Pese que los datos no sigan una tendencia lineal, como se pudo observar en la figura 3 y ahora más evidentemente en la figura 4 a mayor voltaje, mayor fotocorriente. Además, se evidencia que dicha relación es lineal, ya que las líneas están aproximadamente igualmente espaciadas entre sí para todo valor del eje x.

IV. CONCLUSIONES

En este experimento de laboratorio, se investigaron las propiedades de un fotorresistor fabricado con sulfuro de cadmio, centrándose en su propiedad de fotoconductividad. A través del análisis experimental, se obtuvieron varios resultados significativos:

Para el comportamiento de la fotocorriente a irradiancia constante, se observó que la fotocorriente generada por el fotorresistor varía linealmente con el voltaje aplicado, siguiendo la ley de Ohm. Además, se demostró que la resistencia interna del fotorresistor es inversamente proporcional a su conductividad eléctrica, la cual se ve afectada por la irradiancia y el ángulo de polarización de la luz incidente.

Por otro lado, la relación entre la fotocorriente y el

ángulo entre polarizadores, se encontró que la fotocorriente no sigue una tendencia lineal con el ángulo entre los polarizadores, como era esperado según la teoría del mallus. Sin embargo, al graficar la fotocorriente en función del coseno al cuadrado del ángulo entre polarizadores, se observó una relación lineal, lo que indica que la fotocorriente es proporcional al cuadrado del coseno del ángulo entre los polarizadores.

Estos resultados confirman la influencia crucial de la irradiancia y la configuración de polarización en las propiedades de fotoconductividad de los fotorresistores, lo que los convierte en componentes esenciales para una variedad de dispositivos electrónicos que requieren detección y control de luz. Además, los resultados experimentales respaldan la aplicación de conceptos fundamentales de la teoría de bandas y el fotoefecto interno en la comprensión y diseño de dispositivos semiconductores.

-
- [1] Bibliatodo diccionario, 2024.
 - [2] D. de Física de la Universidad de los Andes. Experimentos rotativos - guías. 2022.
 - [3] C. G. Netto. Laboratorio de Óptica presenta nuevos aparato para medir la fotoconductividad, 2024.
 - [4] M. A. Segura Delgado. *Métodos Computacionales*. 2023.

V. ANEXOS

A. Criterios

- Precisión: $:= \frac{\sigma}{X_{exp}} \leq 0,1$

- *Exactitud* $:= |X_{real} - X_{exp}| \leq 2,5 \cdot \sigma$

B. Apéndice de cálculo

■ Ajuste lineal por mínimos cuadrados[4]:

$$\begin{aligned}\mathbb{A}^T \mathbb{A} \vec{x}^* &= \mathbb{A} \vec{b} \\ \text{Proy}_{C(\mathbb{A})} \vec{b} &:= \mathbb{A} \vec{x}^*\end{aligned}\tag{2}$$

■ Incertidumbre de mínimos cuadrados[4]:

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}^2 &= \frac{1}{n-p} (\vec{b} - \mathbb{A} \vec{x}^*)^T (\vec{b} - \mathbb{A} \vec{x}^*) \\ \text{Cov}(\vec{x}^*) &= \hat{\sigma}^2 (\mathbb{A}^T \mathbb{A})^{-1} \\ R^2 &= \frac{\text{Cov}(m, b)^2}{\text{Var}(m) \text{Var}(b)} \\ \Delta x_i &= \sigma_{x_i} = \sqrt{\text{Var}(x_i)}\end{aligned}\tag{3}$$

■ Propagación de errores:

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_i^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma x_i \right)^2}\tag{4}$$

- Incertidumbre en la resistencia:

$$\sigma_R = \frac{\sigma_C}{C^2}, C := \text{conductividad}\tag{5}$$