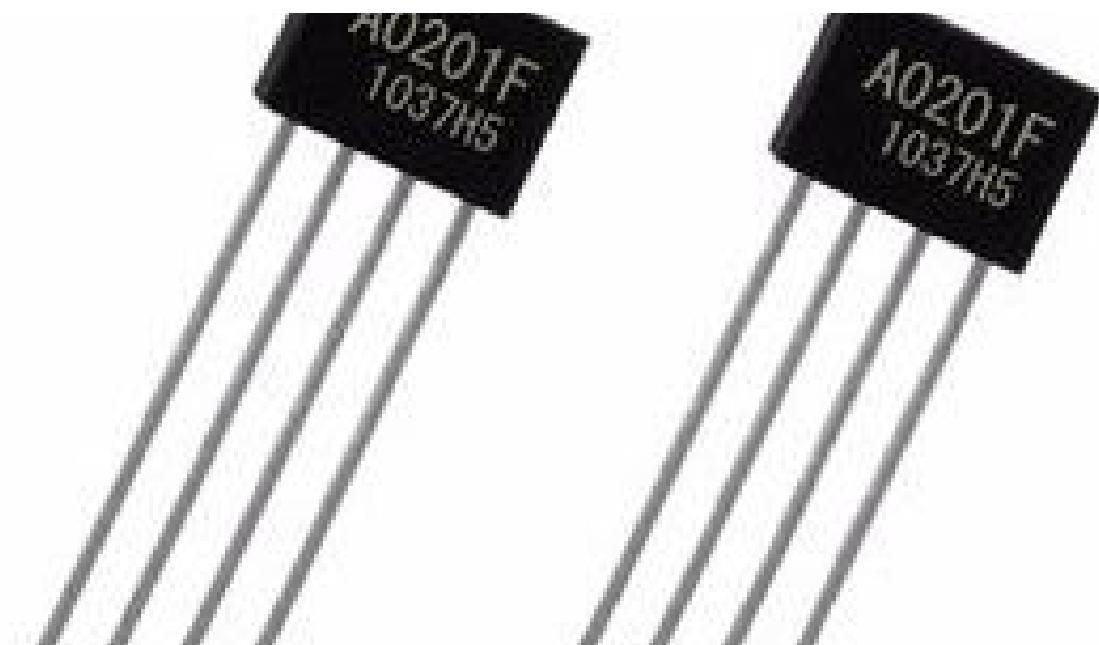


# Efecto Hall en germanio -n y -p (PC)



Física

La Física Moderna

Física de estado sólido



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



Tiempo de ejecución

45+ minutos

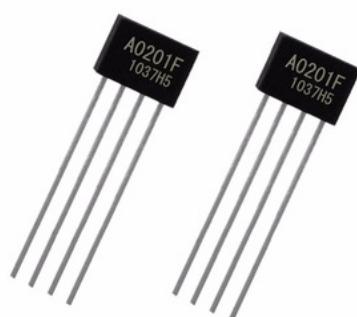
This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/6021cc0bc4485f0003e2d559>

**PHYWE**

# Información para el profesor

## Aplicación

**PHYWE**

Sensor de efecto Hall

Un sensor de efecto Hall consiste básicamente en una pieza delgada de material semiconductor rectangular de tipo p, como el arseniuro de galio (GaAs), el antimonuro de indio (InSb) o el arseniuro de indio (InAs), que pasa una corriente continua a través de sí mismo.

Este dispositivo electrónico se utiliza para detectar el efecto Hall y medir la magnitud de un campo magnético.

Los sensores de efecto Hall tienen una gran demanda y se utilizan ampliamente en sensores de proximidad, interruptores, sensores de velocidad de las ruedas y sensores de posicionamiento, etc.

## Información adicional para el profesor (1/3)

PHYWE



### Conocimiento previo

Los semiconductores de tipo P y de tipo n se crean dopando un semiconductor intrínseco con un elemento aceptor y donante de electrones durante su fabricación, respectivamente. El término n-type proviene de la carga negativa del electrón. En los semiconductores p-type, los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones son los portadores minoritarios, por el contrario, en los semiconductores n-type, los electrones son los portadores mayoritarios y los huecos son los portadores minoritarios.



### Principio

Se miden la resistividad y la tensión Hall de una muestra rectangular de germanio en función de la temperatura y el campo magnético. A partir de las mediciones se determinan la separación de bandas, la conductividad específica, el tipo de portador de carga y la movilidad de los portadores de carga.

## Información adicional para el profesor (2/3)

PHYWE



### Objetivo

Comprender los mecanismos de conducción eléctrica en el germanio dopado con el efecto Hall.



### Tareas

- La tensión de la sala  $U_H$  se mide a temperatura ambiente y campo magnético constante en función de la corriente de control  $I_p$ .
- La tensión a través de la muestra  $U_p$  se mide a temperatura ambiente y con corriente de control constante en función de la inducción magnética  $B$ .

## Información adicional para el profesor (3/3)

PHYWE



### Tareas

- La tensión a través de la muestra  $U_p$  se mide con una corriente de control constante en función de la temperatura  $T$ . A partir de las mediciones se calcula el espaciado de banda del p- y del n-germanio.
- La tensión de la sala  $U_H$  se mide en función de la inducción magnética  $B$  a temperatura ambiente. El signo de los portadores de carga y la constante Hall  $R_H$  junto con la movilidad del Salón  $\mu_H$  y la concentración de portadores  $p$  se calculan a partir de las mediciones.
- La tensión de la sala  $U_H$  se mide en función de la temperatura  $T$  a una inducción magnética constante.

## Instrucciones de seguridad

PHYWE

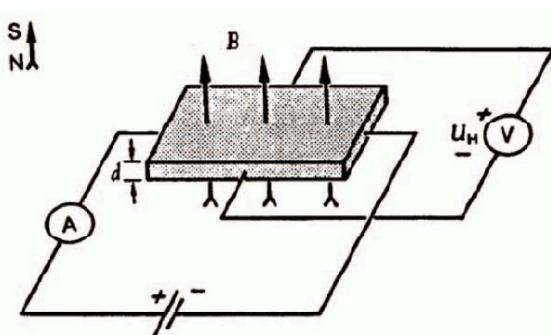


Para este experimento aplican las reglas y medidas generales de seguridad para actividades experimentales en la enseñanza de ciencia naturales.

Tener en cuenta los valores del campo magnético, la corriente que fluye y la temperatura para evitar dañar el material semiconductor.

## Principio (1/5)

PHYWE



Efecto Hall en una probeta rectangular

Si una corriente  $I$  fluye a través de una banda conductora de sección rectangular y si la banda es atravesada por un campo magnético perpendicular a la dirección de la corriente, se produce una tensión -la llamada tensión Hall- entre dos puntos superpuestos en lados opuestos de la banda.

Este fenómeno surge de la fuerza de Lorentz: los portadores de carga que dan lugar a la corriente que circula por la muestra se desvían en el campo magnético  $B$  en función de su signo y de su velocidad  $v$ :

$$\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B})$$

donde  $F$  es la fuerza que actúa sobre los portadores de carga y  $e$  es la carga elemental.

## Principio (2/5)

PHYWE

Como los portadores de carga negativos y positivos en los semiconductores se mueven en direcciones opuestas, se desvían también en direcciones opuestas.

El tipo de portador de carga que causa el flujo de corriente puede, por tanto, determinarse a partir de la polaridad de la tensión Hall, conociendo la dirección de la corriente y la del campo magnético.

Es decir: si se conoce la dirección de la corriente y del campo magnético, la polaridad de la tensión Hall nos indica, si la corriente se debe predominantemente a la deriva de los cargadores negativos o a la deriva de los cargadores positivos.

Tanto para el n-Germanio como para el p-Germanio, existe una relación lineal entre la tensión Hall  $U_H$  y la corriente de control  $I_p$ :

$$U_H = \alpha I_p$$

## Principio (3/5)

PHYWE

El cambio de resistencia de la muestra debido al campo magnético está asociado a una reducción del camino libre medio de los portadores de carga. Como la corriente es constante durante la medición, el cambio de resistencia se calcula como

$$\frac{R_m - R_0}{R_0} = \frac{U_m - U_0}{U_0}$$

donde  $R_m$ ,  $U_m$  son la resistencia y la tensión de la muestra con la existencia de un campo magnético y son la resistencia  $R_0$ ,  $U_0$  y la tensión de la muestra cuando el campo magnético  $B = 0$ .

En la región de la conductividad intrínseca, tenemos

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right)$$

donde  $\sigma$ = conductividad,  $E_g$ = energía de la brecha de bandas (bandgap),  $k$ = Constante de Boltzmann,  $T$ = temperatura absoluta.

## Principio (4/5)

PHYWE

Tomando el logaritmo de ambos lados de la ecuación anterior, obtenemos

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 + \frac{E_g}{2k} T^{-1}$$

Si el logaritmo de la conductividad  $\ln \sigma$  se representa contra el recíproco de la temperatura  $T^{-1}$  se obtiene una relación lineal cuya pendiente se puede determinar.

Con las direcciones de la corriente de control y del campo magnético, los portadores de carga que dan lugar a la corriente en la muestra se desvían hacia el borde delantero de la misma. Por lo tanto, si (en una sonda dopada con n) los electrones son los portadores de carga predominantes, el borde frontal se volverá negativo, y, con la conducción de agujeros en una muestra dopada con p, positivo.

## Principio (5/5)

PHYWE

La conductividad  $\sigma_0$  la movilidad de los portadores de carga  $\mu_H$  y la concentración de portadores de carga  $p$  están relacionados a través de la constante de Hall  $R_H$  :

$$R_H = \frac{U_H}{B} \cdot \frac{d}{l}$$

$$\mu_H = R_H \cdot \sigma_0$$

$$p = \frac{1}{e} \cdot R_H$$

La conductividad a temperatura ambiente se calcula a partir de la longitud de la muestra / la sección transversal de la muestra  $A$  y la resistencia de la muestra  $R$  de la siguiente manera:

$$\sigma_0 = \frac{l}{R \cdot A}$$

## Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	Unidad HU 2 efecto Hall PHYWE	11801-01	1
2	PLACA PORTADORA PARA EFECTO HALL GERMANIO-P	11805-01	1
3	PLACA PORTADORA PARA EFECTO HALL GERMANIO-N	11802-01	1
4	measureLAB, Software para mediciones y evaluaciones	14580-61	1
5	SONDA DE HALL TANGENCIAL, CON PROTECCION	13610-02	1
6	PHYWE Fuente de poder DC: 0...12 V, 2 A / AC: 6 V, 12 V, 5 A	13506-93	1
7	Bobina, 600 espiras	06514-01	2
8	Núcleo en U, laminado	06501-00	1
9	PIEZA POLAR,PLANA 30X30X84 MM, 2 UNID.	06489-00	1
10	Base trípode PHYWE	02002-55	1
11	Doble nuez	02054-00	1
12	Varilla de acero inoxidable, 18/8, 250 mm	02031-00	1
13	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, rojo	07361-01	2
14	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, azul	07361-04	1
15	CABLE DE CONEX., 32 A, 750 mm,NEGRO	07362-05	2

**PHYWE**

# Montaje y Ejecución

## Montaje (1/4)

**PHYWE**

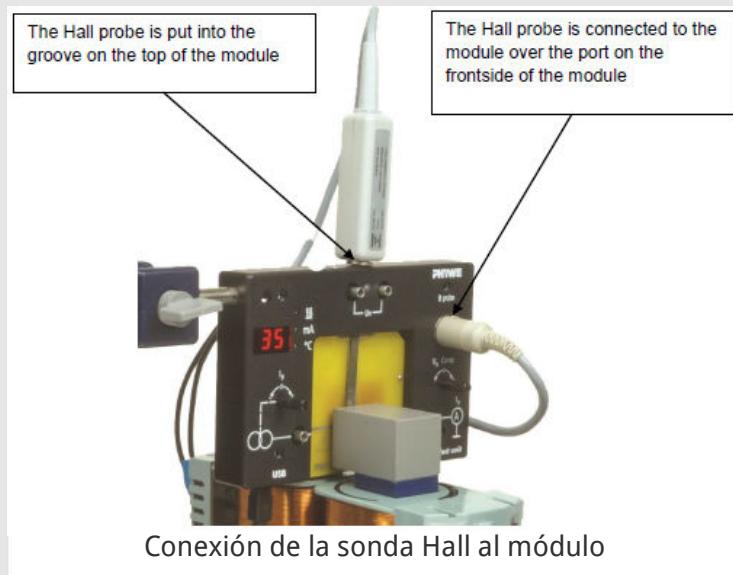
Montaje experimental

La muestra debe introducirse en el módulo de efecto Hall a través de la ranura guía. El módulo se conecta directamente con la salida de 12V~ de la unidad de potencia a través de la entrada de CA en la parte trasera del módulo.

Hay que acercar la placa al imán con mucho cuidado, para no dañar el cristal en particular, y evitar que se doble la placa. Tiene que estar en el centro entre las piezas polares.

El puerto USB de la parte inferior del módulo se utiliza para conectar el módulo al ordenador portátil con un cable USB.

## Montaje (2/4)

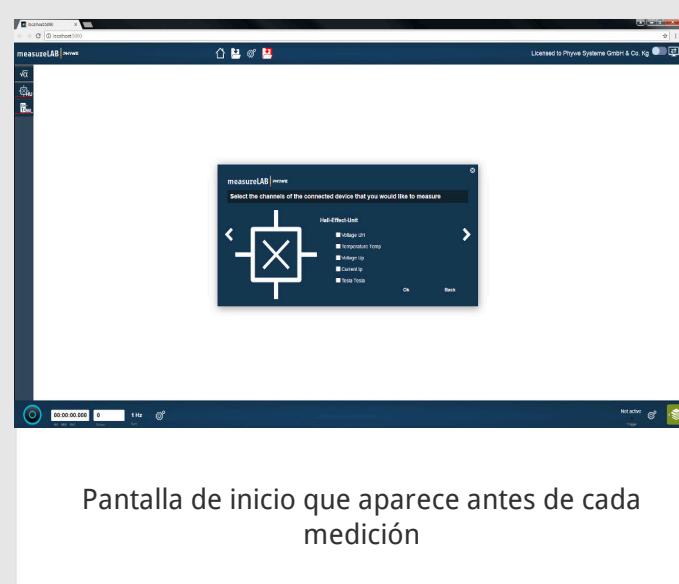
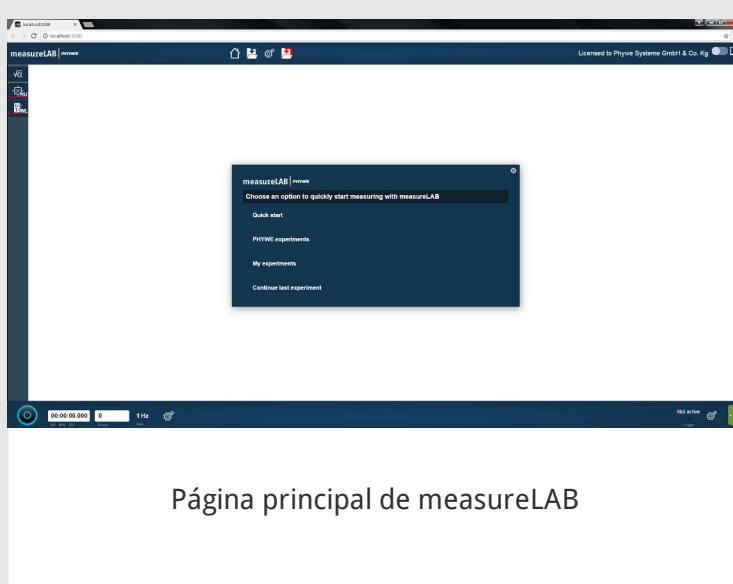


Las diferentes mediciones se controlan con el software measureLAB.

El campo magnético se mide a través de una sonda Hall, que se conecta al módulo a través del puerto de la parte frontal del módulo, y puede introducirse directamente en la ranura de la parte superior del módulo, para garantizar que el flujo magnético se mide directamente en la muestra de ensayo.

Para iniciar las mediciones, iniciar el software "measureLAB" y elegir la opción "Inicio rápido" de la página principal. Recibirá la pantalla de inicio, que aparece antes de cada medición.

## Montaje (3/4)



## Montaje (4/4)



Ejemplo de parámetros de medición

Aquí se puede elegir qué parámetros deben medirse, desplazarse, etc.

Por ejemplo, elegir la tensión Hall  $U_H$  en función de la corriente  $I_p$  y hacer clic en Aceptar, entonces recibirá la pantalla de medición. En esta pantalla, puede iniciar la medición haciendo clic en el fondo azul en la esquina inferior derecha de la pantalla.

Los valores medidos aparecerán gráficamente en el "Diagrama" y como valores digitales en la "Pantalla digital",

## Ejecución (1/3)

### Tarea 1:

Elegir la tensión del Hall  $U_H$ , la corriente  $I_P$  y el campo magnético de "Tesla" como parámetros de medición desde la pantalla de inicio y hacer clic en "Ok". Poner a cero la corriente y el campo magnético y calibrar la tensión Hall  $U_H$  a cero. Ahora, ajustar el campo magnético a un valor de 250 mT cambiando la tensión y la corriente en la fuente de alimentación. Determinar la tensión Hall  $U_H$  en función de la corriente  $I_P$  de -30 mA a 30 mA en pasos de 5 mA. Recibirá unas mediciones típicas para n- y p-Germanio.

### Tarea 2:

Elegir la tensión de la muestra  $U_p$ , la corriente  $I_P$  y el campo magnético de "Tesla" como parámetros de medición desde la pantalla de inicio y hacer clic en "Ok". Ajustar la corriente de control  $I_P$  a 30 mA. Determinar la tensión de la muestra  $U_p$  en función de la inducción magnética positiva  $B$  hasta 300 mT. Calcular la variación de la resistencia de las probetas a partir de las mediciones y representar los resultados en gráficos.

## Ejecución (2/3)

PHYWE

### Tarea 3:

Elegir la tensión de la muestra  $U_p$  en la pantalla de inicio, ajustar la corriente y la temperatura "Temp" como parámetros de medición y hacer clic en "Aceptar". Al principio, establecer la corriente  $I_P$  a un valor de 30 mA. El campo magnético está apagado. La corriente permanece casi constante durante la medición, pero la tensión  $U_p$  cambia en función de un cambio de temperatura  $T$ . Iniciar la medición activando la bobina de calentamiento con el botón "on/off" situado en la parte trasera del módulo. La muestra se calentará hasta una temperatura máxima de unos 145-150 °C y el módulo detendrá el calentamiento automáticamente. Determinar la curva de enfriamiento del cambio de tensión  $U_p$  en función del cambio de temperatura  $T$  para un rango de temperatura de 140°C a temperatura ambiente. Se obtendrán las curvas típicas.

## Ejecución (3/3)

PHYWE

### Tarea 4:

Elegir la tensión de la sala  $U_H$  La corriente  $I_p$  y el campo magnético de "Tesla" como parámetros de medición desde la pantalla de inicio y hacer clic en "Ok". Ajustar la corriente  $I_p$  y el campo magnético a valores de cero y calibrar la tensión Hall  $U_H$  a cero. Ahora, ajustar la corriente a un valor de 30 mA. Determinar la tensión Hall  $U_H$  en función de la inducción magnética  $B$ . Empezar con -300 mT cambiando la polaridad de la corriente de la bobina en la fuente de alimentación y aumentar la inducción magnética en pasos de casi 20 mT. En el punto cero, hay que volver a cambiar la polaridad.

### Tarea 5:

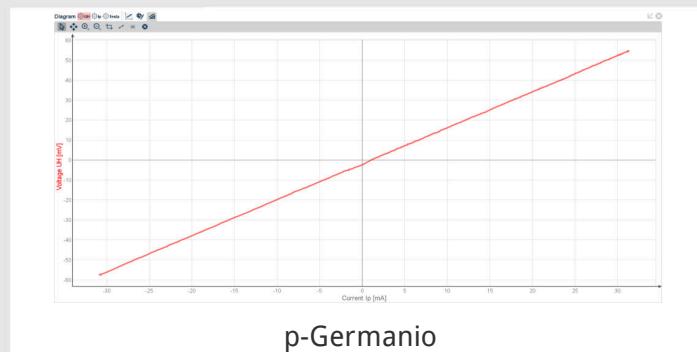
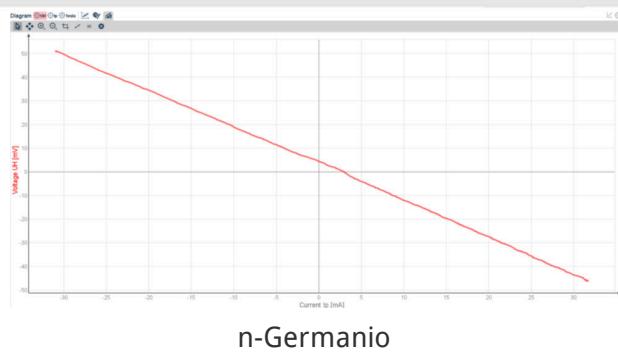
Elegir la tensión de la sala  $U_H$ , la corriente  $I_p$ , la temperatura "Temp" y el campo magnético de "Tesla" como parámetros de medición y hacer clic en "Aceptar". Ajustar la corriente a 30 mA y la inducción magnética a 300 mT. Siguiendo el mismo procedimiento de la tarea 3, determinar la tensión Hall  $U_H$  en función de la temperatura  $T$ .

## Resultados (1/11)

PHYWE

### Tarea 1:

Dado que los portadores de carga en el germanio n y p son diferentes, la tendencia de la relación lineal entre  $U_H$  y  $I_p$  esta invertida, con  $B = 250 \text{ mT}$  y  $T = 300 \text{ K}$ .

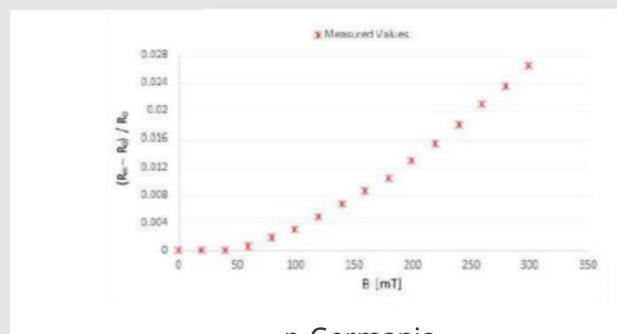
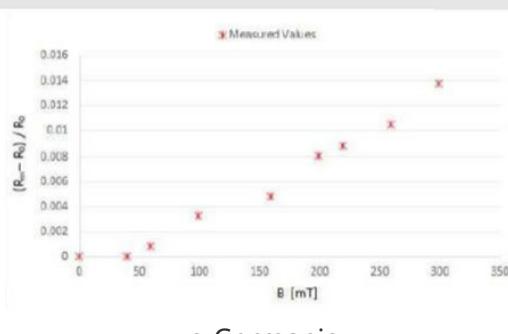


## Resultados (2/11)

PHYWE

### Tarea 2:

El cambio no lineal de la resistencia al aumentar la intensidad de campo para el germanio n y p con  $I_p = 30 \text{ mA}$  y  $T = 300 \text{ K}$ .



## Resultados (3/11)

### Tarea 3:

Las pendientes de las líneas de regresión son

$$b = -\frac{E_g}{2k} = -2.87 \cdot 10^3 \text{ con una desviación estándar } s_b = \pm 0.3 \cdot 10^3 K \text{ para el n-Germanio, y}$$

$$b = -\frac{E_g}{2k} = -4.18 \cdot 10^3 \text{ con una desviación estándar } s_b = \pm 0.07 \cdot 10^3 K \text{ para el p-Germanio.}$$

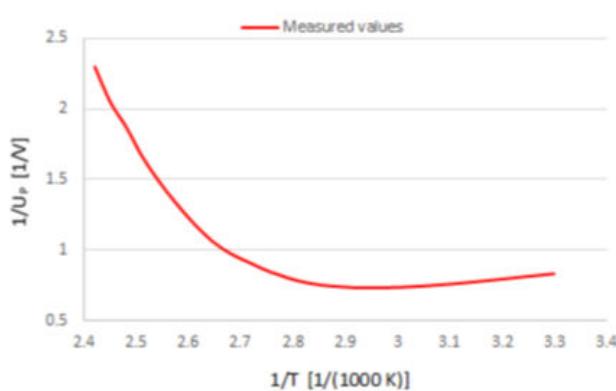
Debido a que  $k = 8.625 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K}$ , obtenemos

$$E_g = b \cdot 2k = (0.05 \pm 0.04) eV \text{ para el n-Germanio, y}$$

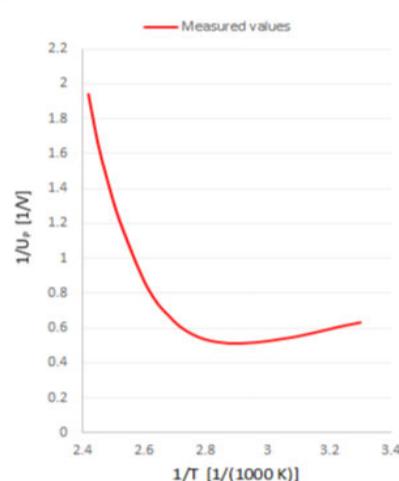
$$E_g = b \cdot 2k = (0.72 \pm 0.03) eV \text{ para el p-Germanio.}$$

Tensión de muestreo recíproca  $1/U_p$  en función de la temperatura absoluta recíproca  $1/T$  con  $I_p = 30mA$  y sin flujo magnético.

## Resultados (4/11)



n-Germanio

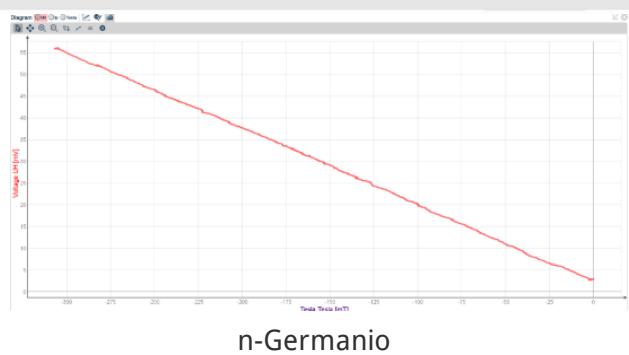


p - Germanio

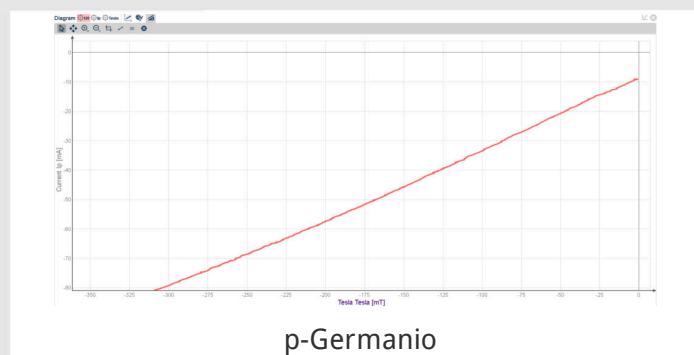
## Resultados (5/11)

### Tarea 4:

Conexiones lineales entre la tensión Hall  $U_H$  y el campo magnético  $B$  para n y p - Germanio



n-Germanio



p-Germanio

## Resultados (6/11)

Con los valores utilizados en las figuras, la línea de regresión con la fórmula  $U_H = U_0 + b \cdot B$  tiene una pendiente  $b = 0.144 \text{ VT}^{-1}$  con una desviación estándar  $s_b \pm 0.004 \text{ VT}^{-1}$  para el p-Germanio, y  $b = 0.125 \text{ VT}^{-1}$  con una desviación estándar  $s_b \pm 0.004 \text{ VT}^{-1}$  para el p-Germanio.

Dado que el espesor de la muestra  $d = 1 \text{ mm}$  y  $I = 0,030 \text{ A}$ , la constante Hall  $R_H$  se convierte así en

$$R_H = 4.8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{As}} \text{ con una desviación estándar } s_{R_H} = 0.2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{As}} \text{ para el n-Germanio, y}$$

$$R_H = 4.17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{As}} \text{ con una desviación estándar } s_{R_H} = 0.08 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{As}} \text{ para el p-Germanio.}$$

Con los valores medidos  $l = 0.02 \text{ m}$ ,  $R = 37.3 \Omega$  para n-Ge,  $R = 35.5 \Omega$  para p-Ge,  $A = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$  tenemos

$$\sigma_0 = 53.6 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \text{ para el n-Germanio, y}$$

$$\sigma_0 = 57.14 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \text{ para el p-Germanio.}$$

## Resultados (7/11)

PHYWE

Por lo tanto,

$$\mu_H = 0.257 \pm 0.005 \text{ m}^2/\text{Vs} \text{ para el n-Germanio, y}$$

$$\mu_H = 0.238 \pm 0.005 \text{ m}^2/\text{Vs} \text{ para el p-Germanio.}$$

Utilizando el valor de la carga elemental  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$  obtenemos

$$p = 14.9 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

La concentración de electrones  $n$  de la muestra dopada con n viene dada por  $n = \frac{1}{e \cdot R_H}$  Por lo tanto

$$n = 13.0 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}.$$

## Resultados (8/11)

PHYWE

### Tarea 5:

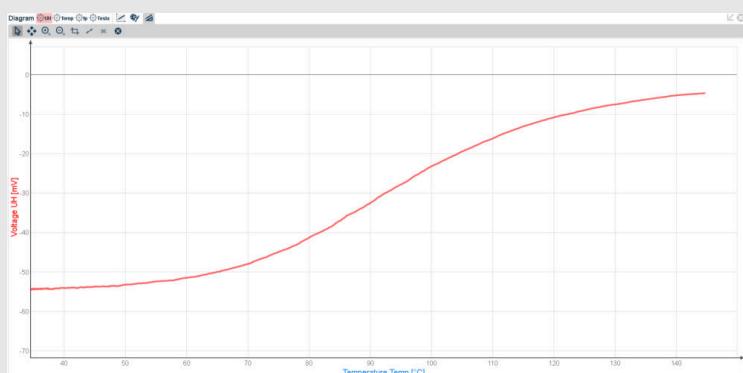
Tensión de la sala  $U_H$  se representa en función de la temperatura  $T$  con  $I_p = 300 \text{ mA}$  y  $B = 300 \text{ mT}$ . Los gráficos muestran que el voltaje Hall disminuye con el aumento de la temperatura tanto para el germanio n como para el p.

Dado que el experimento se realizó con una corriente constante, se puede suponer que el aumento de portadores de carga (transición de conducción extrínseca a intrínseca) con la reducción asociada de la velocidad de deriva es responsable de ello. (La misma corriente para un mayor número de portadores de carga significa una menor velocidad de deriva).

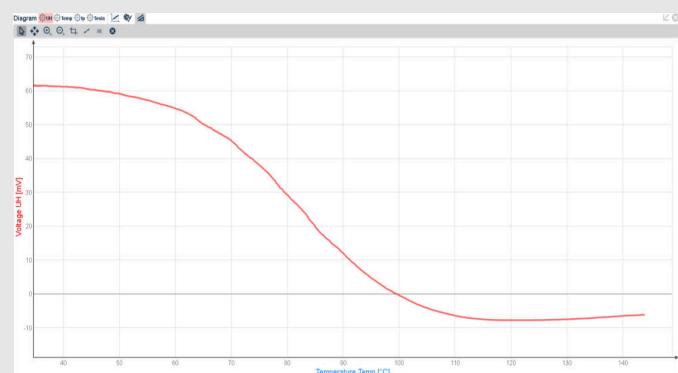
La velocidad de deriva está a su vez relacionada con la tensión Hall por la fuerza de Lorentz.

## Resultados (9/11)

PHYWE



n-Germanio



p - Germanio

## Resultados (10/11)

PHYWE

Arrastrar las palabras a los espacios correctos:

A partir del experimento, el voltaje Hall se puede aumentar la corriente y el . Además, se puede conseguir el grosor de la placa de la muestra, lo que significa que la placa con una capacidad portadora .

más baja

disminuyendo

aumentando

campo magnético

 Verificar

## Resultados (11/11)

PHYWE

El coeficiente Hall de un semiconductor permite determinar:

- Movilidad de los portadores de carga
- Tipo de conductividad y concentración de portadores de carga
- Conductividad térmica

**Verificar**

El coeficiente Hall de un material depende de:

- Temperatura
- Tipo de portadores de carga
- Densidad de portadores de carga

**Verificar**

Diapositiva

Puntaje / Total

Diapositiva 30: Tensión de la sala **0/4**Diapositiva 31: Actividades múltiples **0/4**

Puntuación Total

**0/8****Mostrar solución****Reintentar****18/18**