



**GERENCIA DE FISICA-GAIyANN**  
DISPOSITIVOS Y SENSORES-MBE

INT-  
INN\_03DYS\_MBE-  
05

**Informe Técnico**

Página: 1 de 6

**TÍTULO: Calibración del Dopaje de muestras semiconductoras III-V crecidas mediante MBE**

## 1. OBJETIVO

Durante el crecimiento de las diferentes muestras crecidas en el MBE será necesario realizar ciertos niveles de dopaje en las estructuras. Es necesario conocer la cantidad del elemento dopante presente en las muestras, sin embargo los flujos generados por las celdas con las que cuenta el equipo son realmente bajos y es imposible establecer la cantidad de átomos dopantes que se han incorporado a la muestra durante el proceso de crecimiento. Por este motivo es necesario realizar el crecimiento de muestras de prueba, para establecer un ajuste que permita mediante una curva de referencia establecer el nivel de dopaje generado con cada una de las celdas en función de su temperatura. Cabe recordando que el equipo de crecimiento posee 2 celdas específicas para realizar este proceso [1, 2], ya sea aportando electrones a la estructura electrónica con la incorporación de Si, o la incorporación de huecos mediante la incorporación de Be en la muestra. El método para medir usualmente, dicha cantidad de impurezas es el efecto hall.

## 2. SOLICITANTE

Hernán Pastoriza, investigador a cargo del equipamiento.

### Preparó

Nombre y Apellido (Filiación)	Firma
LEONARDO SALAZAR A (CONICET-IB)	
MANUEL GONZALEZ (CONICET-IB)	

### Aprobó

Nombre y Apellido	Fecha	Firma
HERNAN PASTORIZA (CNEA)	21/03/2017	

**NOTA:** Este documento es propiedad de CNEA y se reserva todos los derechos legales sobre él. No está permitida la explotación, transferencia o liberación de ninguna información en el contenido, ni hacer reproducciones y entregarlas a terceros sin un acuerdo previo y escrito de CNEA.

## ÍNDICE

<b>1. OBJETIVO</b>		<b>1</b>
<b>2. SOLICITANTE</b>		<b>1</b>
<b>3. DESARROLLO</b>		<b>3</b>
3.1. El Efecto Hall . . . . .		3
3.2. Resultados . . . . .		4
<b>4. CONCLUSIONES</b>		<b>5</b>
<b>5. REFERENCIAS</b>		<b>6</b>
<b>6. INFORMACIÓN DE CONTACTO</b>		<b>6</b>

### 3. DESARROLLO

Dado que los flujos de las celdas de elementos dopantes están en un rango más bajo que la sensibilidad del medidor de flujo, hace imprescindible que la calibración sea realizada con mediciones *ex-situ*. Además la cantidad de dopaje puede variar con la forma del material cargado en la celda, tal como expresa el fabricante del equipo [3].

La técnica escogida para obtener el nivel de dopaje es la medición de la resistencia Hall y se realizó para un grupo de 4 muestras crecidas con la celda de Si a 4 diferentes temperaturas. Por el momento no se ha realizado la calibración con Be ya que no se prevee su utilización por el momento y este elemento puede tener un efecto de contaminación y memoria en el equipo. De manera que por el momento no se usará, hasta no ser necesario y en el momento de usarlo se ampliará la información relevante en este informe.

#### 3.1. El Efecto Hall

Para realizar estas mediciones, se tomo como referencia la información compartida por la división de ingeniería Física del NIST (instituto nacional de estándares y tecnología USA [4])

Para comenzar la preparación de la muestra para la medición es necesario tener en cuenta la geometría de la muestra. Se recomienda que el diámetro de los contactos y el espesor de la muestra, deben ser mucho menores a la distancia  $L$  entre los contactos. De esta manera que los errores relativos al diámetro de los contactos es del orden de  $\frac{D}{L}$ , con  $D$  en diámetro del contacto y  $L$  la distancia entre contactos.

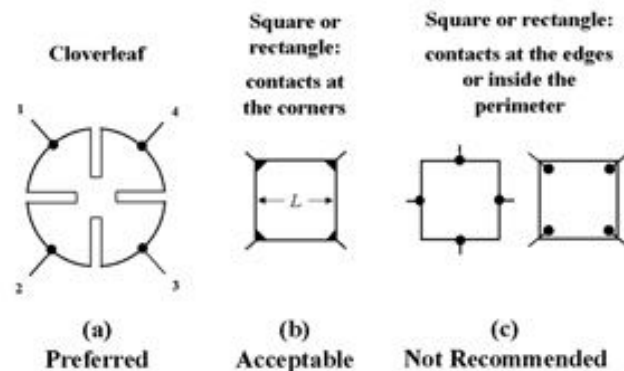


Figure 4

**Figura 1:** Geometrias de muestra y características de los contactos para mediciones de resistividad. [6]

Para esta medición se requiere: un imán permanente o electro-imán, una fuente de corriente constante, un voltímetro con una entrada de alta impedancia y un sensor de temperatura con buena precisión. Los contactos de la muestra deben ser óhmicos, para esto se debe utilizar el mismo material para realizar todos los contactos y se recomienda usar un pedazo del mismo cable para realizar los 4 contactos para reducir la posibilidad de afectar al medición por efectos termoeléctricos.

Luego se establece una corriente entre 2 contactos opuestos y se mide la tensión en los restan-

tes (se aconseja que la disipación de potencia en la muestra no supere 5 mW) y repetir el proceso para todos los contactos variando el par donde se aplica corriente, incluyendo todas las combinaciones posibles. Usando la ecuación de Van der Pauw [5] se puede calcular la resistividad de la película delgada.

La medición de efecto Hall es realizada, midiendo la resistividad mientras se aplica un campo magnético. Los errores más grandes en estas mediciones es la tensión de desplazamiento causada por la no simetría de los contactos y la no uniformidad en la temperatura de la muestra. Por este motivo se aconseja realizar las mediciones para un campo magnético aplicado a en una dirección y luego repetir la medición con el mismo campo pero en sentido inverso. En resumen es realizar la medición de resistividad, en presencia de un campo magnético constante.

De modo que:

$$n = \frac{C_H I B}{Q V_H}$$

donde  $n$  es el numero de portadores,  $C_H$  es una constante igual a  $8 \times 10^{-8}$ ,  $I$  es la corriente aplicada en un par de contactos en  $A$ ,  $B$  es el campo magnético aplicado,  $Q$  es la carga y  $V_H$  es la suma de los voltajes medidos entre diferentes pares de contactos[6].

### 3.2. Resultados

En la siguiente tabla 1 se muestran las temperaturas de la celda de Si y el número de portadores calculado en base a las mediciones de efecto Hall, realizadas en la división de Bajas Temperaturas del CAB. El equipo esta compuesto por un criogenerador con electroimán de 5000 G, una fuente de corriente Keithley, un voltímetro Agilent de alta precisión y un scanner HP para realizar el cambio entre contactos automáticamente.

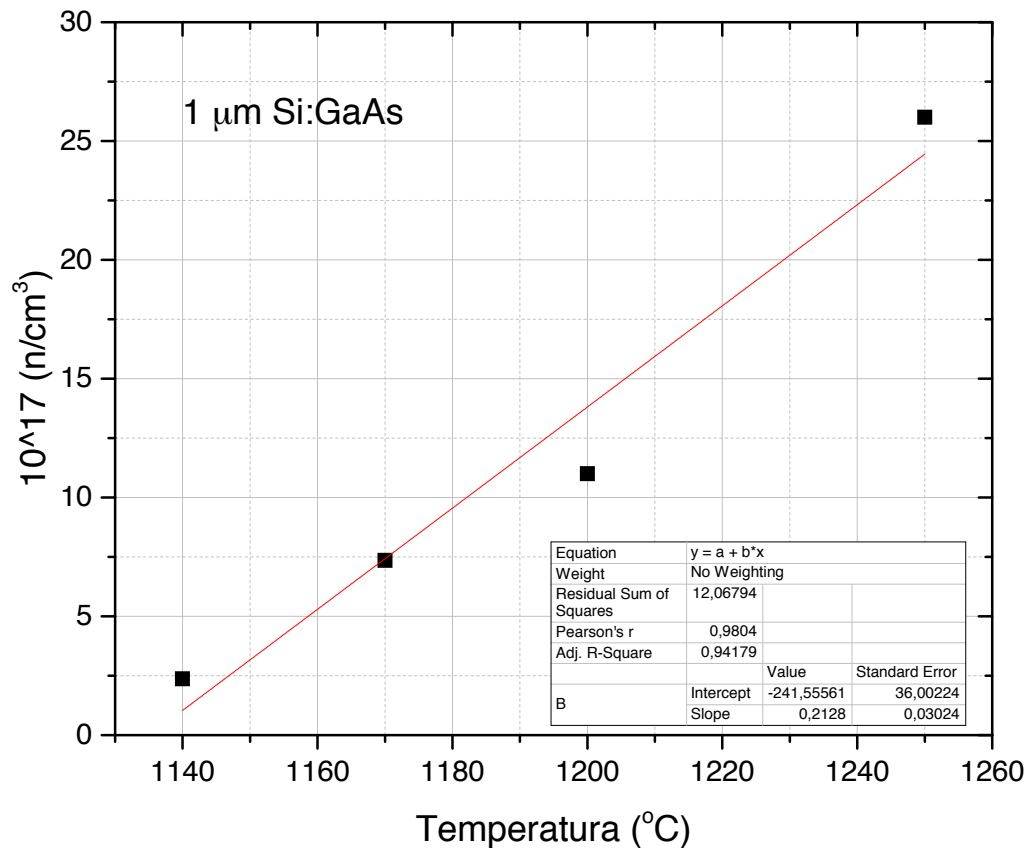
Las muestras, fueron crecidas y posteriormente cortadas en cuadrados de aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$  y todos los contactos fueron realizados presionando In sobre la superficie de la muestra con el alambre de cobre calibre 42 ubicado sobre esta. Los contactos se colocaron en las esquinas como se muestra en la figura 1.

El sistema experimental utilizado incluye un electro-imán, una fuente de corriente aplicando 1 mA y un voltímetro de alta precisión para la medición de voltaje. Todo esto a Temperatura ambiente.

Temperatura °C	Numero de Portadores $\frac{10 \times 10^{17} e^-}{\text{cm}^3}$
1140	26
1170	11
1200	7.35
1250	2.37

**Tabla 1:** Tabla de número de portadores calculados mediante efecto Hall para diferentes temperaturas de la celda de Si

La figura 2 muestra los datos de número de portadores obtenidos para las cuatro muestras crecidas, también se puede observar un ajuste lineal realizado para estas mediciones. Se espera que esta curva obtenga más valores a medida que se crecen más muestras con diferentes dopajes.



**Figura 2:** Mediciones de número de portadores mediante efecto Hall para diferentes temperaturas de la celda sobre 1  $\mu\text{m}$  de Si:GaAs)

## 4. CONCLUSIONES

- Se crecieron muestras con distintos niveles de dopaje a diferentes temperaturas de la celda de Si.
- Se realizaron los contactos sobre las muestras crecidas, teniendo en cuenta las recomendaciones del NIST [4] para la medición de efecto Hall.
- Se realizaron las mediciones Hall sobre las muestras y se calculó el número de portadores, en este caso electrones, debido a la naturaleza de la impureza incorporada (Si).
- Se realizó el ajuste a los datos obtenidos y se elaboró una curva de referencia para los futuros niveles de dopaje usando la celda de Si.
- A medida que surjan nuevas muestras con diferentes niveles de dopaje, se irán incorporando más mediciones a la curva, para mejorar el ajuste.

<b>CNEA</b>	<b>Calibración del Dopaje de muestras semiconductoras III-V crecidas mediante MBE</b>	INT- INN_03DYS_MBE-05 Página: 6 de 6
-------------	---	--

## 5. REFERENCIAS

- [1] L. S. Alarcón, M. G., 2017. "Informe int-inn\_03dys\_mbe-001". *CNEA*.
- [2] L. S. Alarcón, M. G., 2017. "Informe int-inn\_03dys\_mbe-002". *CNEA*.
- [3] Riber, 2015. "Manual de usuario de riber c21". *Riber*.
- [4] NIST, 2017. "instituto nacional de estándares y tecnología usa". <https://www.nist.gov/>.
- [5] NIST, 2017. "Mediciones de resistividad". <https://www.nist.gov/pml/engineering-physics-division/hall-effect-measurements-algorithm>.
- [6] NIST, 2017. "Mediciones de hall y calculo de portadores". <https://www.nist.gov/pml/engineering-physics-division/resistivity-and-hall-measurements>.

## 6. INFORMACIÓN DE CONTACTO

- Leonardo Salazar A: leonardo.salazar.alarcon@cab.cnea.gov.ar mail alternativo ldsalazaralarcon@gmail.com
- Manuel Gonzalez: manuel.gonzalez@ib.edu.ar mail alternativo manue.gonzalez.brc@gmail.com
- Hernán Pastoriza: Investigador a Cargo del Equipo hpastoriza@gmail.com
- Servicio al Cliente Riber: Richard Roger: rroger@riber.fr
- Crecedor oficial de RIBER Lamis LOUAHADJ : llouahadj@riber.fr
- Técnico que instalo el equipo Sebastien Catala: scatala@riber.fr
- Personal técnico del edificio de Nanociencia Julián Azcarate: azcarate@cab.cnea.gov.ar