

UNIVERSIDAD NACIONAL ROSARIO

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS INGENIERIA Y AGRIMENSURA

Asignatura:

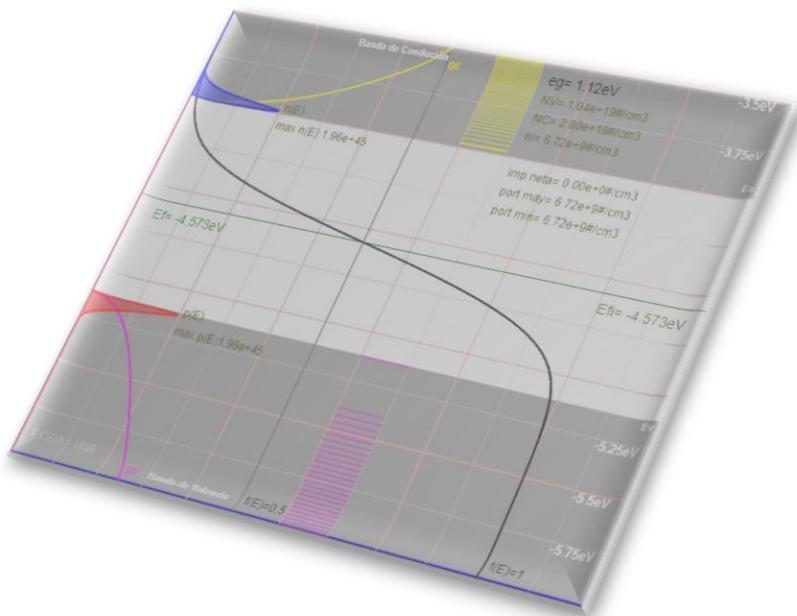
Física de los Dispositivos Electrónicos

Carrera:

Ingeniería Electrónica

Cuaderno de Ejercicios:

Concentración de Portadores en Materiales Semiconductores



Miguel Plano

AÑO 2023

1. Fundamentación

Estudiar el comportamiento eléctrico de los materiales significa evaluar el grado de corriente eléctrica que puede fluir por el mismo. Uno de los aspectos cruciales que determinan este flujo de corriente es la cantidad de carga que puede moverse a través del mismo. En los materiales semiconductores la producción de estos queda directamente relacionada con la estructura de bandas y la función de distribución de energía de las partículas, que para este caso -electrones y huecos- es la estadística de Fermi-Dirac. En el presente trabajo se estudian, a partir de una simulación propia de la cátedra, estos temas y su variación con la característica del material –tipo de semiconductor e impurezas- y la temperatura del mismo.

2. Objetivo general

Estudiar las implicancias de la estructura de bandas de energía en la generación de portadores de los materiales semiconductores en estado de equilibrio térmico.

3. Objetivos particulares

- Comparar los valores que adopta la banda prohibida para los distintos materiales a temperatura ambiente.
- Analizar la variación del E_g con la temperatura en los materiales intrínsecos.
- Identificar como se distribuyen los niveles energéticos en las bandas permitidas.
- Analizar el efecto que provoca el agregado de los distintos tipos de impurezas en un material.
- Evaluar la interacción entre los distintos tipos de impurezas.
- Determinar la afectación del nivel de Fermi con la temperatura y la impurificación en un material.
- Analizar el estado de ocupación de los niveles energéticos provocado por la temperatura.
- Evaluar la densidad de portadores en función de la temperatura y la impurificación.
- Contrastar la cantidad de portadores mayoritarios y minoritarios con el valor n_i^2 .
- Determinar la función trabajo de los materiales.

4. Descripción del Simulador

El software de la simulación - portadores.html - se encuentra en el aula virtual y al estar programado en HTML5 corre en navegadores para PC (Chrome, Mozilla, Edge), como así también en dispositivos móviles con Android, iOS o Windows. Está dividido en dos sectores, uno de control –a la derecha- y otro de visualización y medición – a la izquierda.

El sector de control posee una serie de casillas - selectores - que permiten la visualización gráfica o textual de diferentes variables que están listadas jerárquicamente con el fin de que el estudiante incorpore los conocimientos y logren la comprensión en forma ordenada. Además se agregan controles de forma que se pueda variar las características del material bajo simulación y su temperatura.

En cuanto a la zona de visualización muestra una gráfica donde se observa diferentes funciones cuya variable independiente común es la Energía, que por comodidad se representa sobre el eje vertical, en tanto que las variables dependientes se representan en el eje horizontal sin indicación en general de los valores, para mayor claridad. Se ha incluido un señalador de posición del mouse para realizar mediciones sobre el eje de la energía.

4.1. Parámetros de control:

- Temperatura de la muestra
- Posición de E_c , que determina la afinidad (χ) del material
- Material intrínseco
- Concentración de impurezas donantes (N_D)
- Concentración de impurezas aceptantes (N_A)
- Supresión del efecto de variación del E_g con la temperatura

4.2. Variables a observar:

- Estructura de bandas
- Nivel de Fermi y nivel de impurezas
- Densidad de estados en las bandas permitidas - selector A
- Función de distribución de probabilidad de ocupación (función de Fermi) - selector B
- Densidad de portadores en las bandas - selector C
- Información cuantitativa de N_v , N_c , n_i^2 , impurificación neta, cantidad de portadores - selector D

4.3. Otros controles:

Casilla $\delta E_g / \delta T = 0$ Anular el efecto de la variación del E_g con la temperatura.

5. Consignas

Realizar un informe, cuya extensión total no deberá superar las 1500 palabras (3 páginas), en respuesta a cada uno de los puntos listados a continuación:

	Selectores activados
5.1. Buscar en la bibliografía la definición de afinidad (χ) y los valores que adopta para cada material. Configurar el valor de E_c para el silicio al valor más cercano que la misma permita.	
5.2. Seleccionar el selector de Información (D). Determinar el E_g de cada material a $T=300K, 1K, 450K$. Realizar una gráfica.	D
5.3. Tildar el selector A y registrar para material silicio la distribución de estados en las bandas. Comentar. Observar y comparar con otros materiales. ¿Dónde se encuentran la mayor cantidad de niveles en la banda de conducción observando la función correspondiente?	A-D
5.4. Fijar la temperatura en $100^{\circ}K$ y $N_A=N_D \approx 0$. Deseleccionar A y seleccionar B. Describir lo observado. Variar la temperatura entre valores extremos y comentar. Tildar $1-E_f$, observar y analizar que representa.	B-D
5.5. Configurar un material intrínseco de Si a $300K$; registrar la posición del nivel de Fermi respecto del centro de la banda prohibida comparando en forma cualitativa con los valores teóricos esperados.	B-D
5.6. En un material de Si, simular el agregado de una impureza donora; variar gradualmente la misma. Registrar y comentar la/s modificación/es que se producen en la banda prohibida. Variar la temperatura entre valores extremos y reiterar la observación anterior. Setear el valor de $N_D \approx n_i/10$. Registrar el valor de la E_f . Comparar con el caso intrínseco. Registrar los valores de n_{n0} y p_{n0} . Justificar.	B-D
5.7. Hacer $N_D \approx 20n_i$ y $T=300K$. Registrar el valor de E_f . ¿Cuál es la fórmula que se aplica para su determinación?	B-D
5.8. Cambiar el material a AsGa y llevar la concentración de impurezas donoras al máximo que la simulación permite. Comentar la/s modificación/es que se producen en la estructura de bandas, la relación entre N_c y N_D y observar con especial atención al E_f . Informar y comentar.	B-D

- | | | |
|-------|---|---------|
| 5.9. | Volver a simular un material de Si. Agregar progresivamente impurezas aceptoras - manteniendo las donoras en $1.10^{12} \text{ \#/cm}^3$ - y volver a registrar las posibles variaciones del E_F , E_{IMP} , E_{FI} , realizando cambios en la temperatura. | B-D |
| 5.10. | Fijar $T=300K$, $N_A=N_D=0$, Tildar progresivamente A, B, C y D e ir visualizando la correspondencia entre lo mostrado por A y B con C. | A-B-C-D |
| 5.11. | A partir de la información textual mostrada corroborar la ley de acción de masas. | A-B-C-D |
| 5.12. | Impurificar con impurezas donoras $1.10^{13} \text{ \#/cm}^3$. ¿Qué ocurre con n y p? Volver a realizar la comparación anterior. | A-B-C-D |
| 5.13. | Trabajar con el Germanio o AsGa y observar las diferencias. Comentar. | A-B-C-D |
| 5.14. | Determinar la función trabajo del silicio intrínseco y el correspondiente a $N_A=1.10^{16} \text{ \#/cm}^3$, ambos a temperatura ambiente y a 400K. | A-B-C-D |
| 5.15. | En un material semiconductor dopado de forma que el nivel Fermi (E_F) está dentro del gap, ¿cuántos electrones encuentra en ese nivel energético? ¿Por qué? | |

6. Bibliografía

1. Von Pamel, O.; Marchisio, S.; Plano, M. (2010). *Guía de Teoría de la cátedra capítulo 6 y 7*. Edición Digital.
2. Neamen, D. (2012). *Semiconductor Physics and Devices 4ª Edition*. McGraw-Hill.
3. Albella, J.M.; Martínez-Duart J.M.; Agulló-Rueda, F. (2005). *Fundamentos de Microelectrónica, Nanoelectrónica y Fotónica*. Pearson Educación, S.A.
4. Millman, J.; Halkias, C. (1976). *Electrónica Integrada*. Hispano Europea. Barcelona.