

## Trabajo Práctico N° 2

### Diodo P-N

#### Condiciones del trabajo

- Grupos de dos o tres estudiantes.
- La fecha de entrega y devolución es la que se indica en el campus o en la página web de la materia.
- El trabajo deberá ser claro, conciso y correctamente redactado.
- Los gráficos y tablas deberán llevar títulos y estar numerados (por ejemplo: ver Fig. 1).
- El trabajo completo, incluyendo la carátula o primera página, deberá tener **8 páginas o menos**, y debe utilizarse tipografía tamaño 10pt.
- No es necesaria una carátula en una hoja aparte: en la primera página, además del nombre de los autores, los datos del curso y el resumen, puede presentarse también parte de los contenidos del trabajo.

#### Objetivos del trabajo

##### Objetivos generales

- Estudiar la estructura PN desde el punto de vista de la teórica de bandas.
- Comprender cada uno de los pasos llevados a cabo para obtener la ecuación del diodo ideal.
- Entender los fenómenos de transporte involucrados en un diodo PN.
- Verificar cada una de las hipótesis tenidas en cuenta para llevar a la expresión analítica que permite predecir el comportamiento eléctrico de una juntura PN abrupta.

##### Objetivos particulares

- Aplicación de la ecuaciones estudiadas en clase.
- Verificación de las hipótesis de vaciamiento, diodo corto, bajo nivel de inyección y quasi-neutralidad.
- Búsqueda de parámetros de los dispositivos semiconductores en la bibliografía.

#### Enunciado

En el desarrollo de las ecuaciones del diodo “ideal” se plantearon una serie de hipótesis necesarias para encontrar una expresión analítica de la dependencia de la corriente con la tensión aplicada,

$$J = J_s \left[ \exp \left( \frac{V_a}{V_{th}} \right) - 1 \right]$$

$$J_s = q n_i^2 \left( \frac{D_{n_p}}{(W_p - x_p) N_a} + \frac{D_{p_n}}{(W_n - x_n) N_d} \right)$$

El objetivo de esta actividad es corroborar que dichas hipótesis se cumplen en un diodo en particular basado en silicio, cuyos datos constructivos se detallan en la tabla 1. Todos los datos se presentan a temperatura ambiente ( $T_{amb} = 27^\circ\text{C}$ ). **Cualquier dato adicional** que sea necesario se debe buscar en la bibliografía.

TABLA 1: DATOS PARA EL DIODO DE JUNTURA PN

| Grupo | $N_a$ [1/cm <sup>3</sup> ] | $N_d$ [1/cm <sup>3</sup> ] | $W_n$ [ $\mu\text{m}$ ] | $W_p$ [ $\mu\text{m}$ ] | $\tau_{n,p_0}$ [ $\mu\text{s}$ ] | $V_a$ [mV] |
|-------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------|
| 1     | $3 \times 10^{15}$         | $2 \times 10^{15}$         | 12                      | 12                      | 7 – 300                          | 250        |
| 2     | $1 \times 10^{15}$         | $1 \times 10^{15}$         | 13                      | 13                      | 4 – 350                          | 200        |
| 3     | $2 \times 10^{15}$         | $4 \times 10^{15}$         | 10                      | 10                      | 2 – 250                          | 190        |
| 4     | $1 \times 10^{15}$         | $3 \times 10^{15}$         | 15                      | 15                      | 5 – 425                          | 220        |
| 5     | $4 \times 10^{15}$         | $3 \times 10^{15}$         | 14                      | 14                      | 6 – 275                          | 230        |
| 6     | $2 \times 10^{15}$         | $1 \times 10^{15}$         | 11                      | 11                      | 8 – 440                          | 210        |

1. Hallar las movilidades y coeficientes de difusión para electrones y huecos de ambos lados de la juntura usando los datos de dopaje de la Tabla 1. Además, estimar la longitud característica de difusión de los portadores minoritarios y determinar si es válida la **hipótesis de diodo corto**.
2. Calcular los siguientes parámetros para la juntura en equilibrio termodinámico (ETD):  $\psi_{bi}$ ;  $x_n$ ;  $x_p$  y  $\mathcal{E}_{\text{máx}}$ .
3. Repetir el ítem anterior al aplicar la tensión  $V_a$  especificada en la Tabla 1.
4. Confeccionar los gráficos de la densidad de carga, el campo eléctrico y la función potencial eléctrica en función de la distancia (**en total son tres gráficos**). Cada uno debe tener dos curvas (ETD y tensión aplicada) y estar destacado como varía la zona de vaciamiento.
5. Calcular la densidad de corriente que circula por el diodo cuando se aplica  $V_a$ . ¿Qué porcentaje de la corriente corresponde a electrones y huecos?
6. Calcular el exceso de portadores minoritarios en los bordes de la zona de carga espacial (SCR). ¿Se verifica la **hipótesis de bajo nivel de inyección**?
7. Calcular la corriente de difusión de mayoritarios de cada lado de la juntura, suponiendo válida la **hipótesis de cuasi-neutralidad** en las regiones cuasi-neutrales (QNRs), ¿En qué sentido se difunden los portadores mayoritarios? ¿Es consistente con la corriente calculada en el ítem 5?
8. Determinar la **corriente de arrastre de mayoritarios** usando los valores de las corrientes netas de electrones y huecos calculadas en el ítem 5.
9. A partir de la corriente de arrastre de mayoritarios calculada en el ítem anterior y suponiendo que se puede considerar la distribución de mayoritarios homogénea en las QNRs, ¿cuál debe ser la intensidad del  $\mathcal{E}$  en cada QNR que da lugar a esas corrientes? ¿Cómo se comparan con  $\mathcal{E}_{\text{máx}}$ ? ¿Es correcto suponer que las QNRs son cuasi neutrales?
10. ¿Cuánto es la **corriente de arrastre de minoritarios** para los  $\mathcal{E}$  calculados en las QNRs? (Calcular en los bordes de la SCR, donde la densidad de minoritarios es máxima). ¿Es comparable esta corriente de arrastre con la corriente de difusión de minoritarios en las QNRs?
11. Realizar un gráfico del diodo PN que contenga **todas** las corrientes de las tres regiones de la aproximación de vaciamiento, indicando módulo y sentido (usar los valores calculados en los ítems anteriores) y si son de mayoritarios o minoritarios.

## Condiciones de entrega

- La entrega debe ser en formato papel y también a través del Aula Virtual en el Campus Grado FIUBA (<https://campusgrado.fi.uba.ar>) y la fecha y horario de entrega está publicada en la misma Aula Virtual.
- Para el formato digital, la entrega debe ser un único documento .pdf.
- Se evaluará tanto la prolíjidad y claridad de la resolución como la precisión de los resultados.
- Se deben enunciar todas las fórmulas utilizadas para la resolución y todos los resultados parciales.
- Los resultados presentados deben tener 3 cifras significativas, y evitar redondear en los resultados parciales para no propagar errores de redondeo.
- Todos los gráficos y figuras deben estar correctamente etiquetadas en sus ejes, indicando las unidades de cada una de las variables.