Ejercicios relativos al semiconductor

1. Se dispone de una muestra de material semiconductor del que se conocen los siguientes datos a temperatura ambiente:

$kT = 0{,}025$ eV

$n_i = 1{,}5 \cdot 10^{10}\ cm^{-3}$

$N_A = 10^{17}\ cm^{-3}$

$\tau_n = 10^{-7}$ s

a) Calcular las concentraciones de portadores en el equilibrio.

b) La muestra se supone iluminada durante un tiempo suficientemente largo con una radiación penetrante que produce una generación uniforme en volumen de $G_L = 10^{14}$ pares/$cm^3 \cdot s$. Calcular las concentraciones de electrones y de huecos.

c) En el instante t = 0 se suprime la iluminación. Determinar la variación temporal de las concentraciones de electrones y de huecos.

2. Disponemos de una muestra de Silicio dopado con $N_D = 10^{17}\ cm^{-3}$ impurezas donadoras, y $N_A = 10^{18}\ cm^{-3}$ impurezas aceptadoras. Calcular para cada temperatura, en equilibrio termodinámico, las concentraciones de portadores.

Datos: Para cada temperatura se conoce el porcentaje de impurezas ionizadas (en este caso, igual para ambos tipos de impureza), y la concentración intrínseca del Silicio $n_i(T)$.

T(°K)	**0**	**200**	**248**	**249**	**250**	**251**	**300**	**400**	**500**	**>500**
N_{ioi}/N*100	0	0	0	1	99	100	100	100	100	100
n_i (cm^{-3})	0	1E5	7E7	7E7	7E7	7E7	1E10	6E12	3E14	1E19

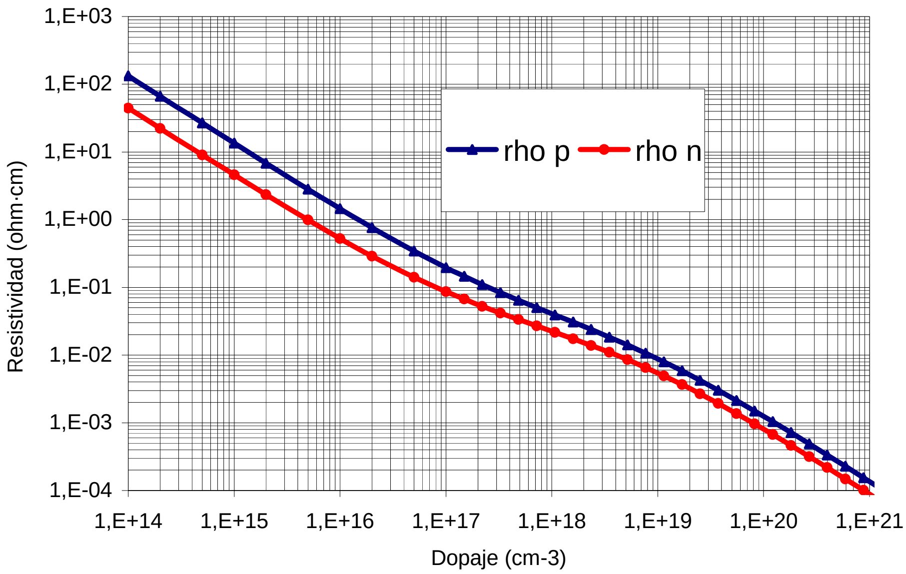
3. Disponemos de una muestra de Silicio dopado con $10^{14}\ cm^{-3}$ átomos de Boro. Encendemos una luz que genera, uniformemente, 10^{12} pares electrón–hueco cada segundo y cm^3.DATO: $n_i = 10^{10}\ cm^{-3}$. Calcular:

a) Las concentraciones de portadores en la muestra cuando ha pasado un tiempo suficientemente largo desde que se ha encendido la luz, siendo el tiempo de vida de los electrones de 100 μs.

b) Las concentraciones que tenemos en la muestra si apagamos la luz y dejamos transcurrir un milisegundo.

4. Se dispone de una muestra de silicio tipo n con una resistividad de 10 ohm·cm. Nos encontramos a temperatura ambiente, $n_i=10^{10}$ cm^{-3}. (Recordar que q = 1.6 10^{-19} C).

a) Si la movilidad de los electrones es de 1350 cm^2 / V·s calcular, a partir de los gráficos disponibles, las concentraciones de portadores en equilibrio y la movilidad de los huecos.



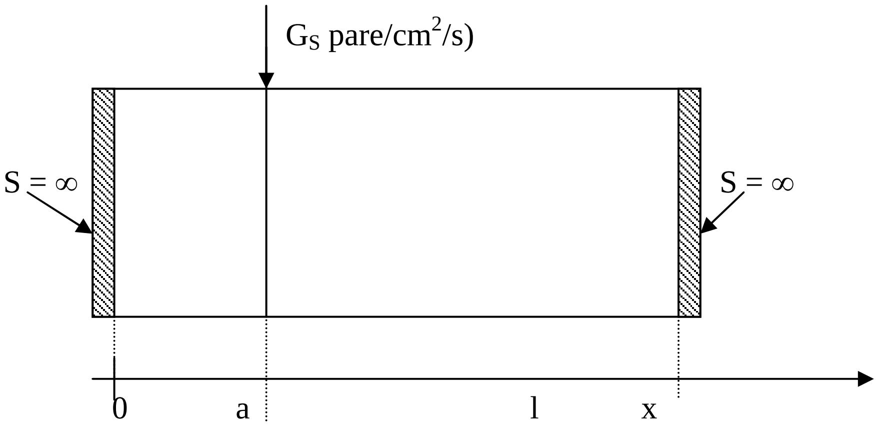
Se ilumina ahora la muestra con una luz que genera 10^{22} pares/cm^3·s. Sabiendo que ,en general, $U = R–R_{th}$ = kte ($pn–n_i^2$), expresión que se reduce a $U = m'/\tau_m$ sólo en Baja Inyección, se pide:

b) Calcular el valor de la constante "kte", si el tiempo de vida de los huecos es de 1 µs.

c) Concentraciones de portadores que encontraremos al de un tiempo suficientemente largo. ¿De qué tipo de inyección se trata?. ¿Alta (fuerte) o baja (débil)?.

d) Si la longitud de la muestra es de 2 cm y su sección de 1 cm^2, calcular la resistencia de la muestra con y sin iluminación. Comentar el resultado.

5. Una muestra de semiconductor homogéneo de tipo p y longitud "l", es iluminada mediante un estrecho haz de luz a una distancia "a" del extremo izquierdo de forma que provoca, en dicho plano, una generación G_S pares electrón-huecos/cm^2·s. Se sabe que la recombinación en volumen es despreciable por ser el tiempo de vida muy grande. Calcular, sabiendo que los contactos son óhmicos, el perfil del exceso de portadores.



6. Utilizando un semiconductor intrínseco de longitud L = 1 cm se ha construido una fotorresistencia. Se supone que en este semiconductor la recombinación del exceso de minoritarios se rige por la ley:

$$U = 1/\tau_0 \cdot [pn - n_i^2]/[n+p+2n_i]$$

siendo $\tau_0 = 3{,}18 \cdot 10^{-6}$ s y $n_i = 1{,}5 \cdot 10^{10}$cm^{-3}. Otros datos son:

- Movilidad de los electrones: 1350 cm^2/V·s
- Movilidad de los huecos: 480 cm^2/V·s
- Área de la sección rectangular: 0,005 cm^2

Se ilumina el dispositivo con una luz que genera $2{,}36 \cdot 10^{18}$ pares/cm^3·s de forma uniforme en todo el volumen del semiconductor. Se sabe que el exceso de portadores producido es mucho mayor que la concentración intrínseca, y puede suponerse que la recombinación superficial es nula en todas las superficies y contactos.

a) Obtener una expresión simplificada para la velocidad de recombinación, expresada como el cociente entre el exceso de electrones y un tiempo de vida τ. Justificar las simplificaciones efectuadas.

b) Calcular el tiempo de vida τ de la expresión anterior.

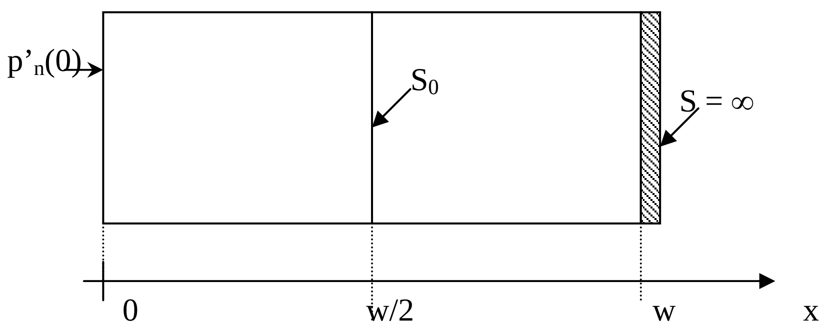
c) Calcular el exceso de portadores producido por la iluminación en condiciones estacionarias.

d) Calcular la relación entre las resistencias óhmicas del semiconductor en oscuridad y bajo la iluminación dada.

e) Si en el instante $t = 0$ se apaga la luz, calcular el valor de la resistencia transcurrido un tiempo τ.

7. Analizar el transitorio de apagado de un semiconductor homogéneo de tipo n que se encontraba uniformemente iluminado con una radiación que producía G_L pares/cm^3·s. Se sabe que bajo dicha iluminación, el material se encontraba en alta inyección y que, en tal caso, $U \cong p'/(\tau_n+\tau_p)$. Representar gráficamente la evolución temporal de los portadores indicando los valores más representativos.

8. En la figura se representa esquemáticamente un semiconductor tipo n, de longitud w y sección transversal A, en cuyo plano medio $x = w/2$ existen imperfecciones en la estructura cristalina que pueden representarse mediante una velocidad de recombinación superficial S_0. En la superficie $x = 0$ se mantiene, en régimen estacionario, un exceso de minoritarios conocido, $p'_n(0)$, mientras que la superficie $x = w$ es un contacto óhmico ideal. Se sabe, además, que la recombinación en todo el volumen de la muestra es despreciable.



a) Obtener y dibujar el perfil de minoritarios a lo largo de la estructura.

b) Obtener y dibujar el perfil de minoritarios en los casos particulares de $S_0 = 0$ y $S_0 \rightarrow \infty$.

c) Obtener el número de portadores que se recombinan por unidad de tiempo en los planos $x = w/2$ y $x = w$, y particularizar los resultados para los casos de $S_0 = 0$ y $S_0 \rightarrow \infty$.

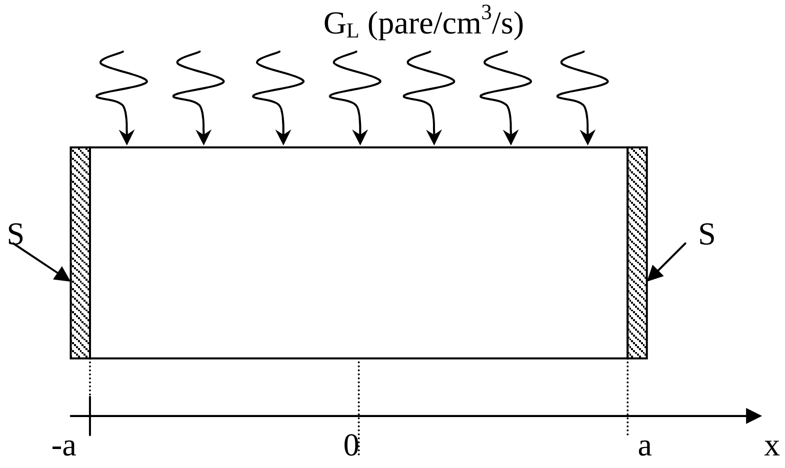
9. Disponemos de un semiconductor homogéneo de tipo n dopado con $N_D = 10^{14}$ cm^{-3} y de longitud 2a. Lo bombardeamos con un haz de electrones generando, en régimen estacionario, 10^{18} pares electrón-hueco/cm^3·s.

<u>DATOS</u>: $\mu_n = 1200$ cm^2/V·s $\mu_p = 400$ cm^2/V·s $\tau_p = 10^{-5}$ s

$kT = 0.025$ eV ($kT/q = 25$ mV)

$n_i = 10^{10}$ cm^{-3} $A = 10^{-4}$ cm^2

Longitud = 2a = 200 μm



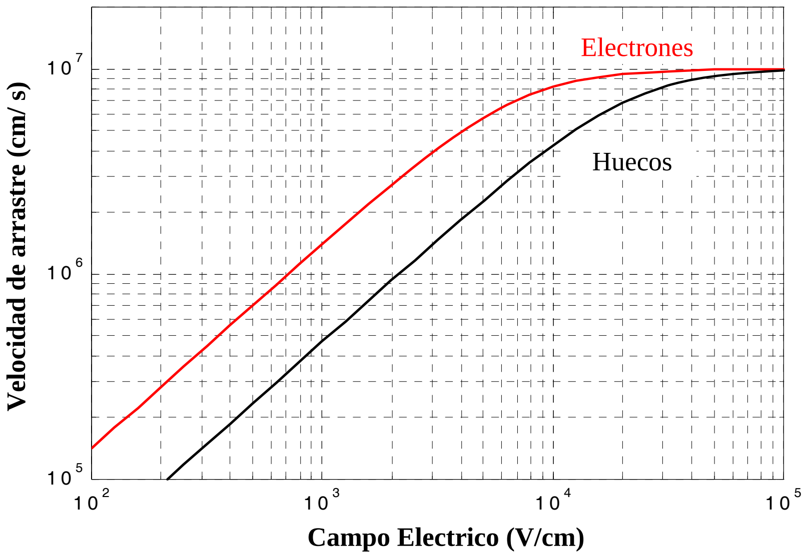
a) Calcular el exceso que tendríamos en el volumen si no hubiese flujo hacia las supercifies (es decir, si la recombinación superficial fuese S = 0). ¿Estamos en Alta Inyección?.

b) Si la recombinación de las dos superficies es muy elevada, es decir, si los contactos son óhmicos, pensar la forma del perfil de los excesos y la dirección de los flujos.

c) Calcular los excesos [Para facilitarlo –si es que estamos habituados a trabajar con senos y cosenos hiperbólicos– podemos situar el origen de coordenadas en el centro de la muestra y trabajar con funciones hiperbólicas].

d) Calcular la recombinación total en volumen y la recombinación que tiene lugar en ambas superficies. Calcular la generación total en la muestra. Calcular la relación de las recombinaciones y extraer conclusiones.

10. En la figura se representan las velocidades de arrastre que un campo provoca en los portadores (a temperatura ambiente y en un material intrínseco). La velocidad máxima, o de saturación, es 10^7 cm/s.



Como se aprecia, entre log(Campo) y log(Velocidad) existe una relación lineal durante un amplio rango: log(Velocidad) = k1+k2∗log(Campo).

a) Dibujar la movilidad de los electrones respecto al campo (para ello tomar varios puntos). Sea la escala del eje Y lineal y la del campo logarítmica (es decir, construir un gráfico semilogarítmico)

[La movilidad se mantendrá constante en nuestras aplicaciones, es decir, (conocidas la temperatura y el dopaje) entre la velocidad de arrastre y el Campo existirá una relación constante, de otro modo no tendría sentido].

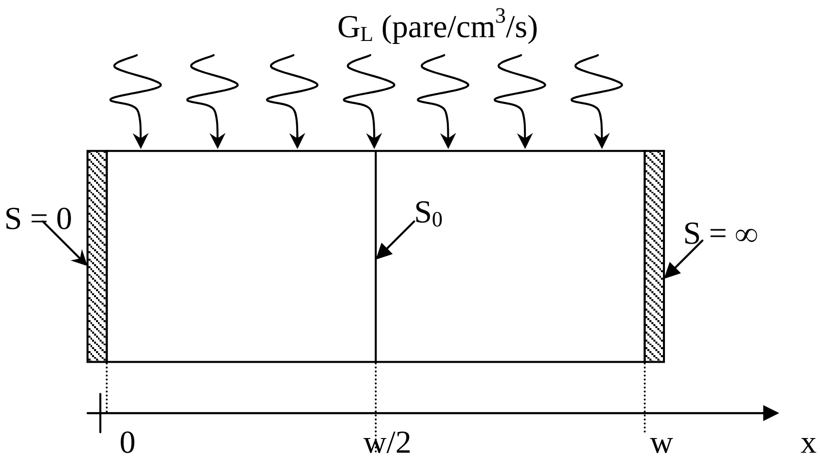
b) ¿Cuál es, aproximadamente, el campo máximo para el que el concepto de movilidad sigue siendo válido?.

c) En ese márgen, ¿cuánto vale k2, la pendiente de la gráfica logarítmica? ¿Y la constante k1? ¿Qué es 10^{k1}?.

d) Si k2 = 3, ¿cuál sería la relación?.

e) Tratar de dibujar v = v(E) en lineal.

11. Disponemos de una muestra de Silicio tipo n, en régimen estacionario, y de anchura w. La superficie x = 0 está pasivada mientras que la superficie x = w es un contacto óhmico. Se sabe, además, que en la superficie x = w/2 existen imperfecciones en la estructura cristalina que pueden representarse mediante una velocidad de recombinación superficial S_0. Mediante una radiación, iluminamos de forma uniforme la muestra generando G_L pares electrón-hueco/cm^3·s. Se sabe que nos encontramos en baja inyección y que el tiempo de vida de los minoritarios es infinito.



a) Calcular el exceso de huecos en la muestra, analizando y dibujando dicho perfil en los casos extremos de $S_0 = 0$ y $S_0 = \infty$.

b) Calcular los flujos de portadores y dibujar la solución en los casos extremos anteriormente mencionados.

c) Para los dos casos extremos: ¿cuántos pares se recombinan en la superficie intermedia? ¿Y en la superficie de la derecha?.

12. Disponemos de una muestra de material semiconductor de longitud, w = 10 μm, dopado con impurezas donadoras $N_D = 10^{17}$ cm^{-3}. La mitad izquierda de dicha muestra se ilumina, de forma estacionaria, mediante una radiación que fotogenera, cada centímetro cúbico y segundo, $G = 10^{18}$ pares $e^-h^+/cm^3\cdot s$. Se sabe también que, mientras en x = 0 existe un contacto óhmico, la superficie x = w se encuentra perfectamente pasivada. Otros datos son:

$\mu_p = 400\ cm^2/V \cdot s$	$D_n = 30\ cm^2/s$	$\tau_p = 1000\ \mu s$
$\tau_n = 2000\ \mu s$	$V_T = 25\ mV$	

En estas condiciones:

a) Calcular y dibujar el perfil de minoritarios, indicando las hipótesis realizadas.

b) Calcular y dibujar todos los flujos de corrientes. ¿Cuál es la corriente total?. ¿Por qué?.

c) ¿Cuántos pares se recombinan en la superficie x = 0?.

13. Regiones cortas y largas

Se dispone, en estado estacionario, de una muestra de silicio tipo n de longitud w. En su extremo izquierdo (superficie x = 0) se mantiene un exceso p'(0), que tomaremos como dato (se desconoce la causa concreta). En la superficie de la derecha, sin embargo, la velocidad de recombinación superficial (cinemática) es infinita (S = ∞ cm/s).

Sabemos, además, que nos encontramos en baja inyección y tomaremos como datos el tiempo de vida medio (τ_p) y el coeficiente de difusión (D_p) de los minoritarios (por tanto, también conocemos L_p).

a) Demostrar que:

$$p'(x) = p'(0) \cdot \frac{\exp\left[\frac{w-x}{L_p}\right] - \exp\left[-\frac{w-x}{L_p}\right]}{\exp\left[\frac{w}{L_p}\right] - \exp\left[-\frac{w}{L_p}\right]}$$

b) Sabiendo que

$$y \approx 0 \quad \rightarrow \quad \exp(y) \approx 1 + y$$
$$y >> 1 \quad \rightarrow \quad \exp(-y) \approx 0$$

analizar (comprobando y dibujando el resultado) estos dos casos extremos:

b_1) Si L_p es muy grande (comparada con w): $p'(x) \approx p'(0) \cdot \dfrac{w - x}{w}$

b_2) Si L_p es muy pequeña (comparada con w): $p'(x) \approx p'(0) \cdot \exp\left[-\dfrac{x}{L_p}\right]$

c) Analizar estos *otros* dos casos:

c_1) Comprobar que cuando U = 0, nos encontramos en el caso b_1.

c_2) Comprobar que cuando w es infinito, nos encontramos en el caso b_2.

d) En consecuencia, si una región es larga (w >> L_p), no importa su longitud, pues la superficie de la derecha no *ve* el exceso presente en la izquierda. El flujo que originariamente parte de la izquierda (calcularlo derivando) se recombina en el volumen (calcularlo integrando).

e) Del mismo modo, si una región es corta, su longitud de difusión no aparece en las fórmulas finales. La muestra se comporta como si la recombinación fuese nula. De hecho, todo el flujo que parte de la superficie izquierda se recombina en la derecha (demostrar que ambas derivadas son idénticas).