

## **Capítulo 2 – Procesos radiativos en materiales**

### **2.1 Absorción**

La absorción de la radiación electromagnética es el proceso por el cual dicha radiación es captada por la materia. Cuando la absorción se produce dentro del rango del visible (400 nm a 750 nm) recibe el nombre de absorción óptica. Esta radiación al ser absorbida puede ser re-emitida o bien transformarse en otro tipo de energía como calor o energía eléctrica.

En general, todos los materiales absorben algún rango de frecuencias. Aquellos que absorben en todo el rango de la luz visible son llamados materiales opacos, mientras que si dejan pasar dicho rango de frecuencias se les llama transparentes. El proceso de absorción de ciertas longitudes de onda y la reflexión del resto lo que le da el color a la materia.

En un nivel microscópico, a nivel de los fotones, la absorción es el fenómeno por el cual la energía de un fotón es tomada por otra partícula, como por ejemplo un átomo cuyos electrones de valencia efectúan una transición entre dos niveles de energía electrónica. El fotón resulta entonces destruido en la operación, la energía electromagnética es absorbida y convertida en energía electrónica. Esta energía se puede volver a transformar en energía electromagnética por emisión de fotones o en un fonón que es una vibración en la red cristalina de un cristal que en su efecto macroscópico se traduce como un aumento de temperatura [9].

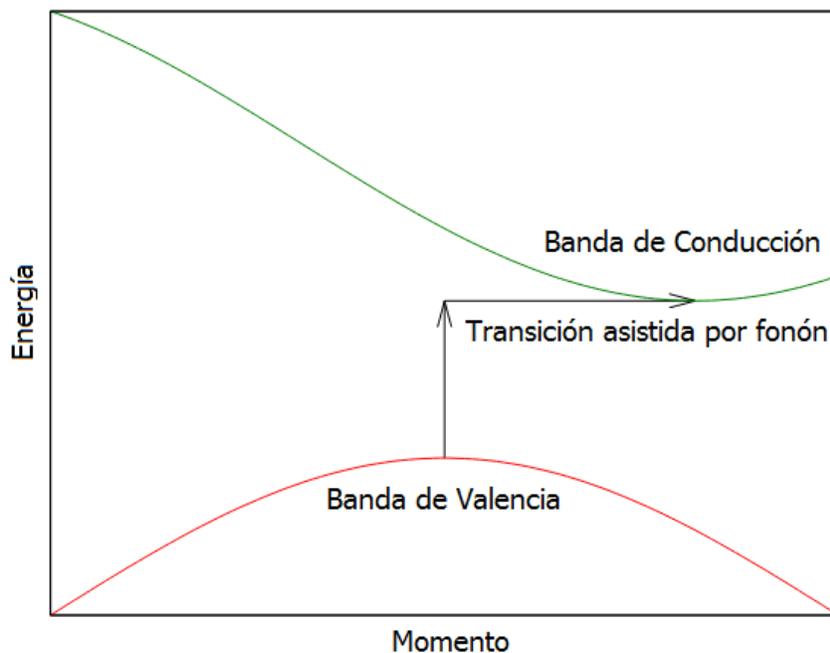
### **2.2 Bandas de energía**

En física de semiconductores la banda prohibida es un rango de energía en un sólido en el cual no pueden existir estados electrónicos. En gráficas de la estructura electrónica de bandas en los sólidos, la banda prohibida generalmente se refiere a la diferencia de energía entre la parte superior de la banda de valencia y la parte inferior de la banda de conducción.

Esto es equivalente a la energía requerida para liberar un electrón de una capa electrónica exterior de la órbita del núcleo para convertirse en un portador de carga móvil, siendo

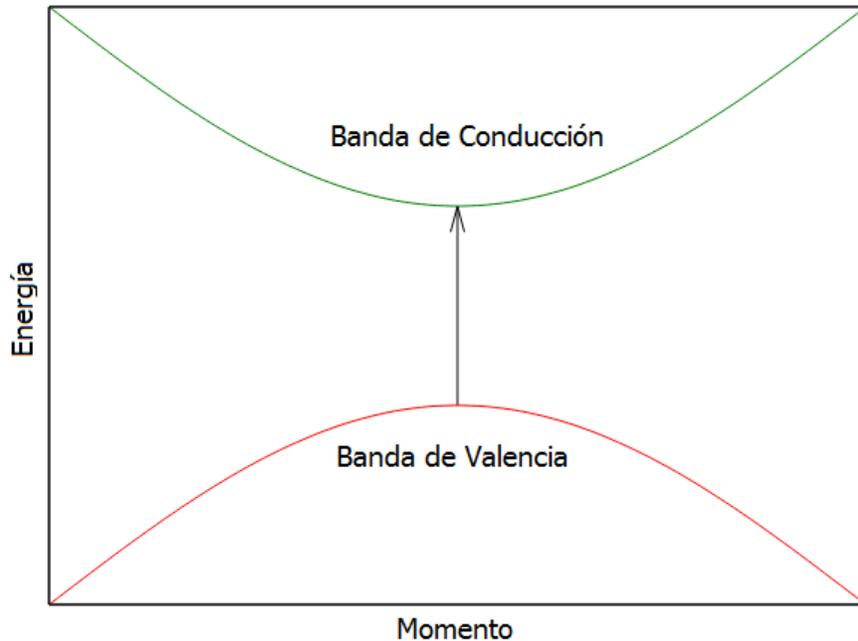
capaz de moverse libremente dentro del material sólido. Así que la banda prohibida es un factor determinante en la conductividad eléctrica de un material

La banda prohibida de un semiconductor siempre es uno de dos tipos, banda prohibida directa y banda prohibida indirecta. La banda prohibida es directa cuando el momento de los electrones y huecos es la misma en ambas la banda de conducción y banda de valencia; un electrón puede emitir un fotón directamente. En una banda indirecta, un fotón no puede ser emitido porque el gasto de energía que sucede cuando se transfiere el momento en forma de fonón a la red cristalina no deja energía disponible para la emisión de este.



**Figura 2.1 – Banda de energía indirecta.**

En la figura 2.1 se muestra la gráfica energía contra momento de un semiconductor con una banda prohibida indirecta, se observa que un electrón no puede pasar de un estado de menor energía en la banda de valencia hacia uno de mayor energía en la banda de conducción sin que sufra un cambio en el momento. Aquí, casi toda la energía proviene de un fotón (flecha vertical), mientras que todo el momento proviene de un fonón (flecha horizontal).



**Figura 2.2**

La figura 2.2 muestra la gráfica de energía contra momento para un semiconductor con banda prohibida directa, se observa que un electrón puede ir desde un estado de bajo energía en la banda de valencia a un estado de mayor energía en la banda de conducción, se muestra la transición en la cual un fotón excita a un electrón desde la banda de valencia a la banda de conducción.

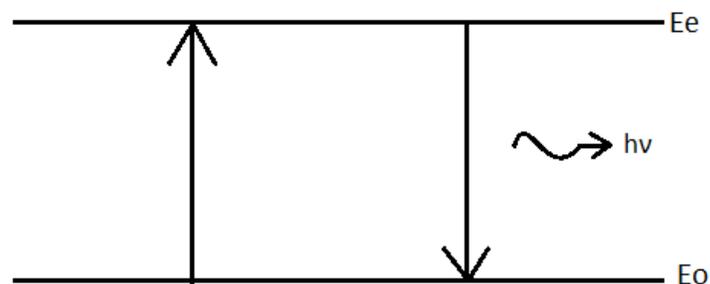
### **2.3 Fenómeno luminiscente**

La luminiscencia es la emisión de luz desde un tipo de sólidos llamados fósforos. Ésta emisión, la cual no incluye la radiación de cuerpo negro, es la liberación de energía almacenada dentro del sólido a través de algún tipo excitación previa al sistema cristalino del mismo, ésta excitación puede ser: radiación electromagnética dentro del rango visible, infrarrojo o ultravioleta y radiación ionizante. Además, la longitud de onda de la luz emitida es característica del material luminiscente. La habilidad para almacenar energía es importante en la dosimetría luminiscente y es asociada generalmente con la presencia de activadores (impurezas y defectos estructurales en la red cristalina). Se muestra una tabla con algunos tipos de fenómenos luminiscentes:

<b>Fenómeno luminiscente</b>	<b>Método de excitación</b>
Bioluminiscencia	Energía de reacciones bioquímicas
Cátodoluminiscencia	Rayos catódicos
Quimioluminiscencia	Energía de reacciones químicas
Electroluminiscencia	Campo eléctrico
Fotoluminiscencia	Fotones (U.V., visible e infrarrojo)
Piezoluminiscencia	Presión
Triboluminiscencia	Fricción
Radioluminiscencia	Radiación ionizante
Sonoluminiscencia	Ondas de sonido
Fluorescencia Fosforescencia <b>Termoluminiscencia</b>	Radiación ionizante, U.V. y luz visible.

**Tabla 2.1 Fenómeno luminiscente y métodos de excitación [10]**

Los últimos tres fenómenos se agrupan por la escala de tiempo en la cual la emisión toma lugar. La fluorescencia se puede definir como el fenómeno luminiscente en donde la luz emitida en cualquier tiempo toma menos de  $10^{-8}$ s después de la absorción de radiación. Esto significa que la fluorescencia es un proceso luminiscente que persiste sólo mientras la excitación es continua. Es determinada por la probabilidad de la transición desde un estado excitado  $E_e$  a un estado base  $E_o$ , el proceso se muestra en la figura 2.3.

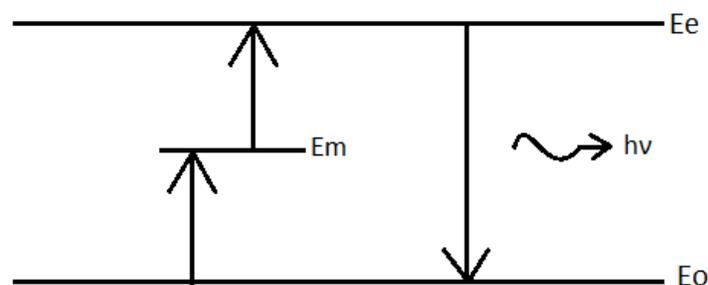


**Figura 2.3 Fenómeno fluorescente**

La fosforescencia se lleva a cabo en tiempos mayores a  $10^{-8}$ s y es observable después de la remoción de la fuente excitante. El tiempo de decaimiento de la fosforescencia es

dependiente de la temperatura. En la figura 2.4, se puede observar que ésta situación surge cuando un electrón es excitado desde un estado base  $E_0$  a un estado metaestable  $E_m$  (trampa), de la cual al regresar al estado base no emite un fotón (transición de  $E_m$  a  $E_0$ ).

Si uno supone que un estado más alto de excitación  $E_e$  existe en el cual el sistema puede ser aumentado por la absorción de la energía  $E_e - E_m$  y que la transición radiativa  $E_e - E_m$  es permitida, uno puede proveer la energía  $E_e - E_m$  por medios térmicos a temperatura ambiente.



**Figura 2.4 Fenómeno fosforescente**

Después de esto la emisión continua de luminiscencia (fosforescencia) puede ser observada incluso después de que la fuente de excitación es removida. La emisión continuará con intensidad decreciente hasta que ya no existan cargas en el estado metaestable. La emisión con un pequeño retardo de tiempo, menos de  $10^{-4}$ s es difícil de distinguir entre fluorescencia y fosforescencia. La única manera de comprobar esto es si el fenómeno es dependiente de la temperatura. Si el sistema es elevado a una temperatura mayor, la transición desde  $E_n$  a  $E_e$  ocurrirá con una tasa mayor, consecuentemente la fosforescencia será más brillante y el tiempo de decaimiento será menor debido a una de población del estado metaestable, así la fosforescencia es ahora llamada termoluminiscencia. El retardo entre la excitación y la emisión ahora va desde algunos minutos hasta  $10^{10}$  años [11] [12].

### **2.3.1 Fotoluminiscencia**

Es el proceso en el cual un material absorbe fotones (radiación electromagnética) y después vuelve a radiar fotones. Desde el punto de vista de la mecánica cuántica esto

puede ser descrito como una excitación a un nivel de mayor energía y después el regreso a uno de menos energía acompañado de la emisión de un fotón. Es una de las varias formas de luminiscencia, el período entre la absorción y la emisión es por lo general muy pequeño, en el orden de  $10^{-9}$ s

### **2.3.2 Electroluminiscencia**

La electroluminiscencia ocurre cuando un material que es estimulado por un campo eléctrico emite luz mediante la recombinación radiativa par electrón-hueco.

### **2.3.3 Termoluminiscencia**

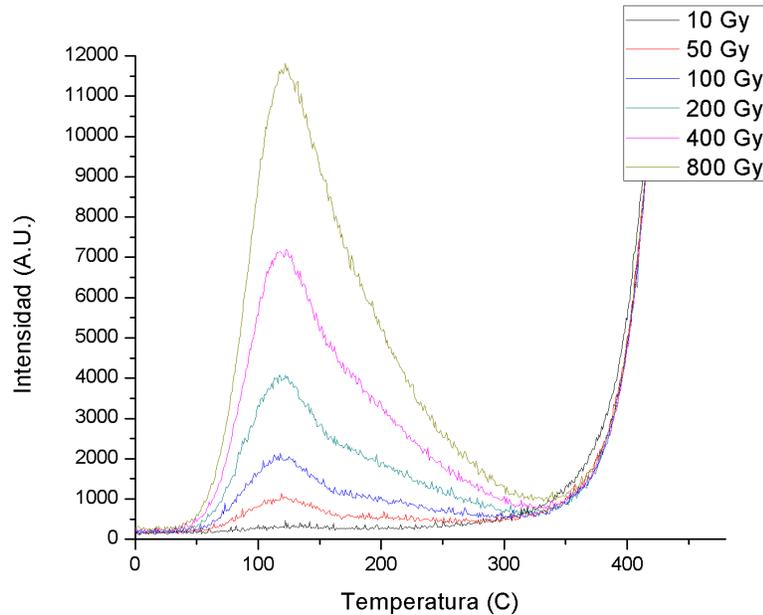
La termoluminiscencia es el fenómeno que se da cuando un material es estimulado térmicamente para liberar energía atrapada en impurezas que están ubicadas dentro de su red cristalina, estas cargas están atrapadas en estados metaestables que se encuentran dentro de la banda prohibida debido a una irradiación ionizante previa. Las cargas se liberan al momento de tener la energía de activación suficiente para escapar de su trampa ya sea para pasar a la banda de conducción, banda de valencia (en caso de huecos) o a algún otro estado dentro de la banda prohibida llamado centro de recombinación o centro luminiscente y en éste caso es donde se exhibe la luminiscencia debido al fotón liberado por la recombinación del par electrón-hueco.

Un centro luminiscente son átomos o grupos de átomos, llamados activadores, que están posicionados en la matriz del material y que sirven como centros discretos para absorción localizada de la energía de excitación, en otras palabras, un centro luminiscente es un estado cuántico en la banda de energía de un aislante que actúa como centro de recombinación de portadores de carga cuando éste captura un portador y lo mantiene por un periodo de tiempo hasta que otro portador de signo contrario es atrapado y ambos se combinan. La recombinación causa la liberación de la energía en exceso como fotones o fonones.

En los experimentos usuales de termoluminiscencia, el sistema es irradiado en una temperatura a la cual la intensidad de la fosforescencia es baja y después se calienta en un rango de temperatura donde la fosforescencia es brillante, hasta un nivel de temperatura

en el cual todas las cargas han sido excitadas térmicamente hacia afuera de sus estados metaestables y por consecuencia la luminiscencia desaparece completamente.

Si se grafica la intensidad como función de la temperatura el resultado se llama *curva de brillo*. Estas curvas tienen uno o más máximos llamados *picos de brillo* y son funciones de distintas trampas en diferentes niveles de energía. Materiales eficientes termo luminiscentemente tienen una alta concentración de trampas debido a sus defectos e impurezas. En la figura 2.5 se muestran esquemáticos de estas *curvas de brillo*. Cabe mencionar que el grey es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la dosis absorbida de radiaciones ionizantes por un determinado material.



**Figura 2.5 Ejemplo de una curva de brillo.**

En este trabajo se estudia la termoluminiscencia, la termoluminiscencia estimulada con radiación ionizante  $\beta$ , la termoluminiscencia estimulada con corriente eléctrica en películas de SRO fabricadas por el método de LPCVD controlando el exceso de silicio en el material y realizando tratamientos térmicos para densificar las muestras y optimizar su respuesta luminiscente. En el siguiente capítulo se estudia la estructura, morfología y propiedades ópticas y eléctricas del SRO.