1/38

Física del estado sólido

Dispositivos y circuitos electrónicos

FI-UNMDP

2/38 El semiconductor

Germanio (Ge)

- Fácil de encontrar
- Fácil de refinar
- Gran sensibilidad a la temperatura

Silicio (Si)

- Material muy abundante
- Menos sensible a la temperatura que el Ge
- Muchos años de desarrollo
- Su velocidad no es muy alta

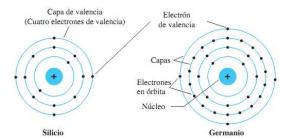
Arseniuro de Galio (GaAs)

- Mucho más rápido que el silicio
- Más difícil de refinar hasta altos niveles de pureza
- En la actualidad se utiliza mucho

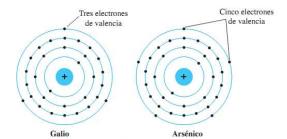


3/38 El átomo de Bohr

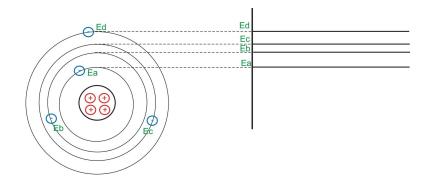
-El átomo está constituido por dos estructuras: un núcleo compuesto por cargas positivas (protones) y por partículas con cargas negativas (electrones) que orbitan alrededor del núcleo



4/38 El átomo de Bohr



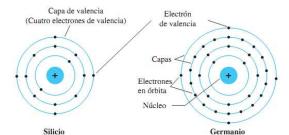
5/38 El átomo de Bohr -Niveles de energía



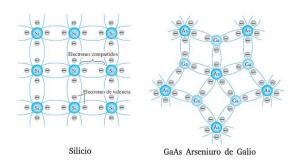
6/38 El átomo de Bohr

- -Las propiedades químicas están determinadas por los electrones de la última capa
- -Cuando la última capa está completa (8 electrones) el elemento se comporta como un gas inerte
- -Todo nuestro estudio sobre la física de los sólidos se basará en los cuatro electrones ubicados en la última orbita. Estos electrones se conocen como electrones de valencia

7/38 El átomo de Bohr



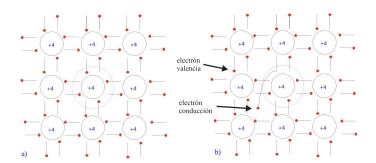
8/38 Enlaces covalentes



Enlace covalente del cristal de Si y del GaAs

-La estructura cristalina hace que los átomos estén ligados compartiendo sus electrones de valencia

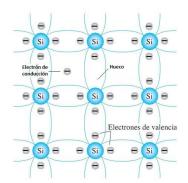
9/38 Rotura de ligaduras



Rotura de un enlace

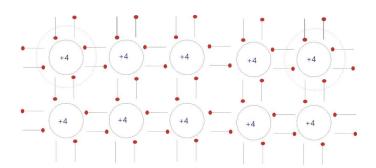
Para temperaturas mayores de $0^0 K$ algunos electrones adquieren una energía mayor que la del potencial de ionización y dejar por lo tanto sus átomos

10/38 Rotura de ligaduras

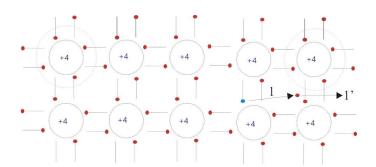


Rotura de un enlace

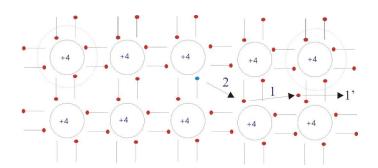
- -Al electrón que queda libre luego de producirse la rotura de una ligadura se lo denomina electrón de conducción Su carga es negativa v es libre de moverse a lo largo del cristal
- -A la ligadura rota se le da el nombre de hueco o laguna. Indica la ausencia del electrón que se perdió al romperse la ligadura. Su carga es igual a la del electrón pero positiva
- -En un semiconductor intrínseco, es decir puro, la conductividad queda determinada por los electrones de conducción y los huecos. Los electrones tienen carga -q y los huecos +q, siendo q la carga del electrón



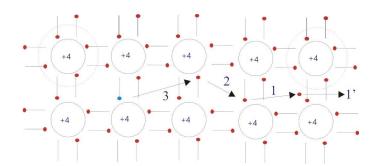
Generación y movimientos de un par electrón-hueco



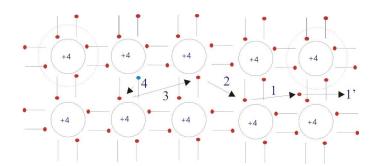
Generación y movimientos de un par electrón-hueco



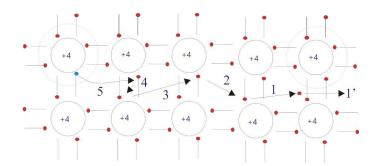
Generación y movimientos de un par electrón-hueco



Generación y movimientos de un par electrón-hueco



Generación y movimientos de un par electrón-hueco



Generación y movimientos de un par electrón-hueco

- -Un electrón puede encontrar un hueco y reconstruir la ligadura rota, a este fenómeno se lo denomina recombinación
- -En un cristal que se encuentra en equilibrio térmico, el número de ligaduras que se rompen por unidad de tiempo es igual al de recombinaciones
- -Es decir que la concentración de electrones n y de huecos p permanece constante y se cumple además que n=p
- -Se denomina Material Intrínseco a cualquier material semiconductor que haya sido refinado para reducir el número de impurezas a un nivel muy bajo

-El término electrón se usará para referirse a los electrones de conducción, y electrón de valencia para referirse a aquellos que participan de los enlaces covalentes

 μ_n (movilidad relativa electrones): es la capacidad de los electrones libres a moverse por todo el material

 μ_p (movilidad relativa huecos): es la capacidad de los huecos a moverse entre ligaduras rotas

Semiconductor	Portadores intrínsecos (por centímetro cúbico)
GaAs	1.7×10^{6}
Si	1.5×10^{10}
Ge	2.5×10^{13}

Factor de movilidad relativa μ_n	
Semiconductor	$\mu_n (\text{cm}^2/\text{V·s})$
Si	1500
Ge	3900
GaAs	8500

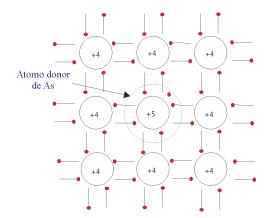
20/38 Impurezas en el sólido cristalino

- -Durante el análisis efectuado hasta el momento siempre se considero que el material con el cual se estaba trabajando es puro, o intrínseco
- -Siempre que se rompe una ligadura se obtiene como resultado de este proceso un par electrón-hueco, y la recombinación también se produce, lógicamente, de a pares
- -Este tipo de materiales tiene poca utilidad en electrónica

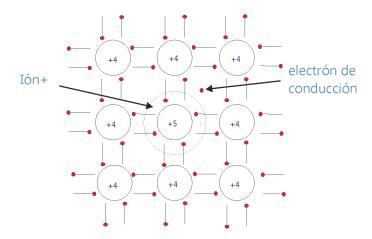
21/38 Impurezas en el sólido cristalino

- -Lo que se desea es poder variar a voluntad las concentraciones de huecos y electrones, para que sean distintas, y de esta manera poder alterar las propiedades eléctricas del cristal según sea necesario
- -Al material así obtenido se lo denomina extrínseco

- -Se llama átomos donores o impurezas donoras a aquellos elementos que provienen de la V columna de la tabla periódica, como es el caso del fósforo y del arsénico
- -Estos átomos se introducen en un cristal de **Si** o **Ge** en forma muy controlada
- -Así se obtiene lo que se denomina un semiconductor tipo n
- -En un semiconductor tipo \mathbf{n} , la concentración de electrones \mathbf{n} es mayor a la de los huecos \mathbf{p} y sin que se rompa la neutralidad eléctrica del cristal n > p



Impureza donora en Si



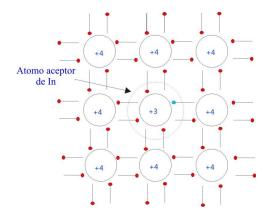
Impureza donora en Si

- -¿Qué pasa con el quinto electrón que posee el **As** (arsénico) en su capa de valencia?
- 1-Este electrón no puede formar su enlace covalente con el resto de los átomos de **Si** puesto que todos ellos están ocupados y no queda ninguno vacante
- 2-Este electrón está débilmente unido a su núcleo, y a temperatura ambiente abandona el átomo dejando una carga fija positiva (el átomo de As ionizado), y un electrón libre de moverse en la red

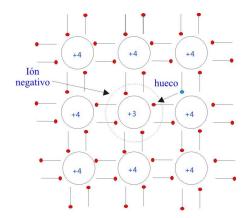
- -Se denomina N_D^+ al número de átomos de impureza ionizados por cm^3
- -No se creó un hueco, dado que a esta carga positiva le esta prohibido moverse
- -En un material **extrínseco** se continúan produciendo los mismos fenómenos básicos que en el **intrínseco**
- -La concentración de huecos se debe a las ligaduras rotas, en tanto que, la de electrones, además de las ligaduras rotas, se debe a las impurezas introducidas
- -En un material tipo **n** se tiene n > p



- -Los átomos aceptores son los que se ubican en la III columna de la tabla periódica, los más empleados son el aluminio, el indio y el galio
- -La idea en este caso es tener una mayor concentración de huecos que de electrones y conservar la neutralidad eléctrica del cristal
- -Al material resultante de este proceso se lo llama tipo ${\bf p}$ y a las impurezas introducidas aceptoras



Impureza aceptora en Si

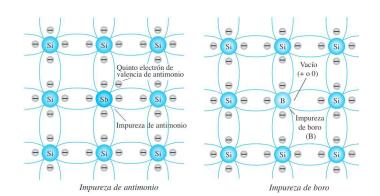


Impureza aceptora en Si

- -La ligadura rota tiene tal afinidad con los electrones de sus vecinos que eventualmente le robará uno de ellos, pasándole el problema a un átomo de **Si**
- -Se tendrá una ligadura rota, (hueco), moviéndose por la red y un ión negativo fijo correspondiente al átomo de **In** (indio)

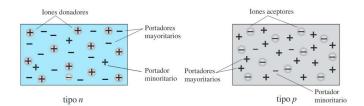
- -Se denomina N_A^- a la concentración de átomos aceptores que se encuentras ionizados en un cristal
- -A temperatura ambiente prácticamente la totalidad de las impurezas se encuentra ionizada, por lo que se puede decir que $N_A \simeq N_A^-$
- -En un material tipo **p** se tiene p > n

32/38 Materiales tipo N y P



Material tipo N y tipo P

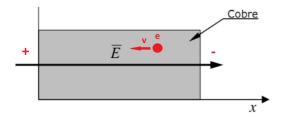
33/38 Materiales tipo N y P



Material tipo N y tipo P

34/38 Corriente de arrastre

-La conducción eléctrica en materiales conductores difiere de los materiales semiconductores.



-En los conductores, los electrones impulsados por el campo eléctrico, avanzan con una velocidad promedio *v*, formando una corriente de arrastre de electrones.

35/38 Corriente de arrastre

-La densidad de corriente de arrastre en un conductor está dada por:

$$J_A = n \cdot q \cdot \mu_n \cdot E$$

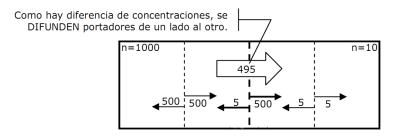
- -Donde μ_n es la movilidad de los electrones
- -En los semiconductores, al tener dos tipos de portadores (electrones y huecos), la densidad de corriente de arrastre J_A es:

$$J_A = q \cdot n \cdot \mu_n \cdot E + q \cdot p \cdot \mu_p \cdot E$$

$$J_A = q \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \cdot E$$

36/38 **Difusión**

-Supongamos un cristal semiconductor con una concentración de portadores mucho mayor en un lado con respecto al otro:



Difusión

37/38 Corriente de difusión

- -En un semiconductor se puede obtener corriente eléctrica mediante:
 - -Una corriente de arrastre mediante la aplicación de un campo eléctrico
 - -Una corriente de difusión cuando en el material se tiene una diferencia de concentraciones

38/38

Bibliografía utilizada

- -Apunte de Cátedra de Electrónica para Ing. Mecánica. Carlos Arturo Gayoso
- -Electrónica del Estado Sólido. Angel D. Tremosa
- -Resumen Dispositivos Electrónicos. Juan Pablo Martí
- -Dispositivos y Circuitos Electrónicos. J. Millman y C. C. Halkias
- -Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Boylestad y Nashelsky-
- -Apuntes de Cátedra de Dispositivos Electrónicos. Noelia Echeverria