

Clase 6 2006. Repaso del El flip-flop tipo T(Toggle)

El flip flop tipo T se puede obtener a partir de un flip flop tipo J-K con una entrada simultanea en ambas puertas dado que el flip-flop adopta valores $\sim Q_n$ y Q_n cuando las entradas J y K son 1-1 y 0-0 respectivamente y atendiendo que en un sistema maestro esclavo cada etapa está activada cuando la otra no, tendremos que cuando T=1 la salida estará cambiando cada vez que el clock habilita

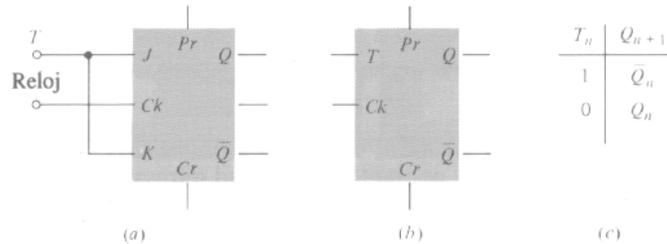


Figura 6.1

Resumen Como resultado del estudio encontramos que puede haber biestables tipo latch y flip-flop. En general en los circuitos biestables primarios se define la existencia de dispositivos capaces de guardar un bit; en el S-R adecuamos que la salida Q tenga el mismo estado que la entrada S (Set =1 Q=1) en los latch J-K, D y T resolvemos el tema de la ambigüedad para completar la tabla de verdad, en el primero completamos la tabla de verdad con un $\sim Q$ en el D reducimos las entradas posibles y en el T tenemos las otras dos salidas que teníamos en el J-K lo que nos permite construir un interruptor. Por último, en los dispositivos flip-flop se eliminan las inestabilidades propias de las diferencias constructivas de los transistores que se manifiestan cuando se introducen lazos de realimentación esto es que los dispositivos comiencen a oscilar o a cambiar de estado aleatoriamente.

Queda claro que los latch son dispositivos que habitualmente se activan por un nivel de un clock u otro dispositivo en tanto que los flip-flop sólo se activan por un flanco de un clock (que por lo general es el positivo, para que se generen los cambios en el master en el período T_n y se entreguen en el período siguiente T_{n+1}) A manera de resumen presentamos la siguiente tabla de verdad de los flip-flop

S-R			J-K			D		T		Entradas directas			
S_n	R_n	Q_{n+1}	J_n	K_n	Q_{n+1}	D_n	Q_{n+1}	T_n	Q_{n+1}	Ck	Cr	Pr	Q
0	0	Q_n	0	0	Q_n	1	1	1	$\sim Q_n$	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0	0	0	Q_n	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1					1	1	1	*
1	1	?	1	1	$\sim Q_n$								

Tabla 6.1

Cabe acotar que los valores de las entradas directas corresponden al caso de trabajar con puertas NAND. Si estudiamos los estados de Preset & Clear del Flip-Flop D de la página 8 nos encontramos que la tabla correspondiente para las entradas directas con puertas NOR son:

Entradas directas			
Ck	Cr	Pr	Q
0	0	1	1
0	1	0	0
1	0	0	*

Tabla 6.2

Contador asincrónico módulo diez

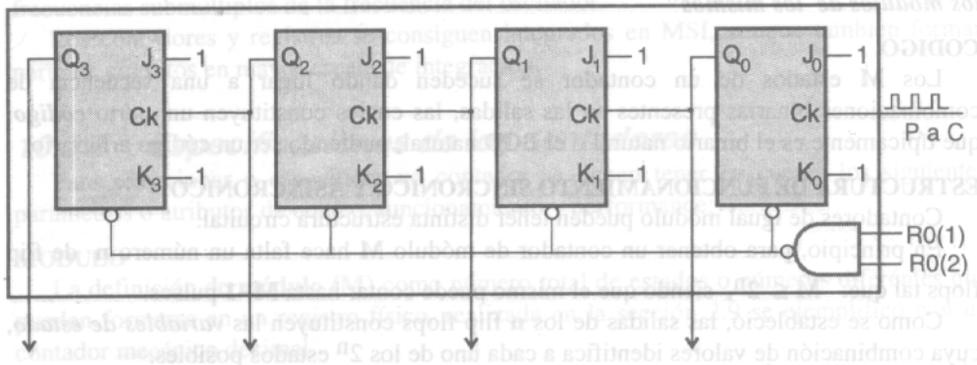


Figura 6.2

Como vimos el contador asincrónico 7493 compuesto por cuatro flip-flop J-K master-slave cuenta desde 0 hasta 15 en código binario (0000 -1111), pero estamos acostumbrados a trabajar con contadores formados por dígitos decimales, y es práctico tener asociado un contador a cada display, para lo que hace falta tener contadores en base diez (0-9) y codificadores BCD o un decodificador a siete segmentos. Lo primero que se nos ocurre es agregarle un identificador del diez al contador 7493 explicado en la clase anterior y provocar un reset en ese paso.

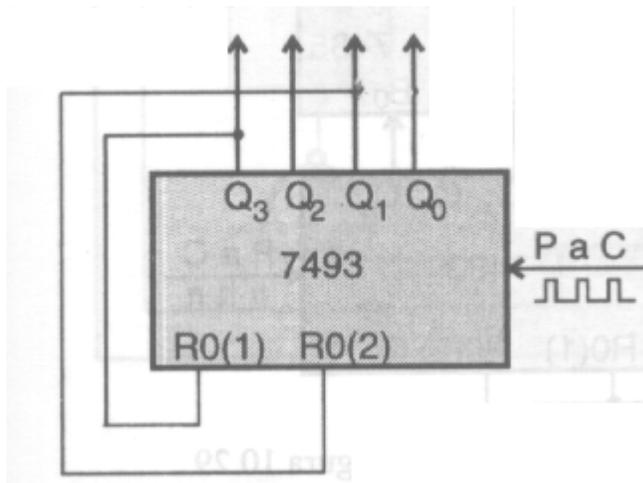


Figura 6.3

Esto se logra con una puerta NAND tomando como entradas a Q_3 y Q_1 , en el caso de llegar al diez 1010 será el único caso en que esta puerta entregará un cero (0) si esta puerta está conectada a los Q_r de todos los flip-flop se colocarán en cero todas las salidas al tiempo que debería mostrarse el número diez.

Precisamente las entradas R0(1) y R0(2) cumplen esta función que pondrán el reset Se podría continuar viendo una gran cantidad de variedad de contadores pero ya que se verán en las clases de las materias correlativas.

Semiconductores

Conceptos: Materiales conductores y aisladores, sus características tabla de resistividad por material.

Correspondencia entre la cantidad de electrones de cada átomo y su capacidad de conducción Presentación en la tabla periódica Columnas 1 y 2 Plata Oro Aluminio Cobre Metales

Tabla 1: Valores típicos de conductividad eléctrica [1].

Conductores iónicos	Cristales iónicos	$< 10^{-16}$ - 10^{-2}
	Electrólitos sólidos	10^{-1} - 10^3
	Electrólitos fuertes (líquidos)	10^{-1} - 10^3
Conductores Electrónicos	Metales	10^3 - 10^7
	Semiconductores	10^{-7} - 10^5
	Aislantes	$< 10^{-10}$

Tabla 6.3

Presentación del electrón

Como han estudiado en cursos anteriores se verifica que el principal responsable de la corriente eléctrica en los materiales conductores es el electrón. Partícula que en su estado natural forma parte de los átomos en los que está ubicado en la parte exterior. Está cargada negativamente y su acción mas importante es la de participar en la unión entre los mismos para formar moléculas. Su carga es de 1.60×10^{-19} coulomb. Para tener una idea de que valor es éste pensemos que cuando está conectada una plancha circula por ella una corriente de un ampere que equivale a un coulomb por segundo, o sea, $1/(1.6 \times 10^{-19}) \text{ A} = 6.0 \times 10^{18}$ electrones por segundo (seis trillones de electrones por segundo). O sea que por el cable de alimentación de la plancha pasa esa cantidad de electrones en un segundo. ¿Es mucho esto? Ya veremos que no comparado con la cantidad de átomos presentes y la proporción de electrones de los mismos que intervienen en la conducción.

Comportamiento real de los conductores y los semiconductores con la temperatura Resistividad con la temperatura.

Modelo clásico de movimiento de cargas debida a un potencial (campo eléctrico) corriente eléctrica en metales, electrón, energía potencial.

Comportamiento de los semiconductores y semimetales. Resistividad vs temperatura.

Imposibilidad de justificación por la vía clásica.

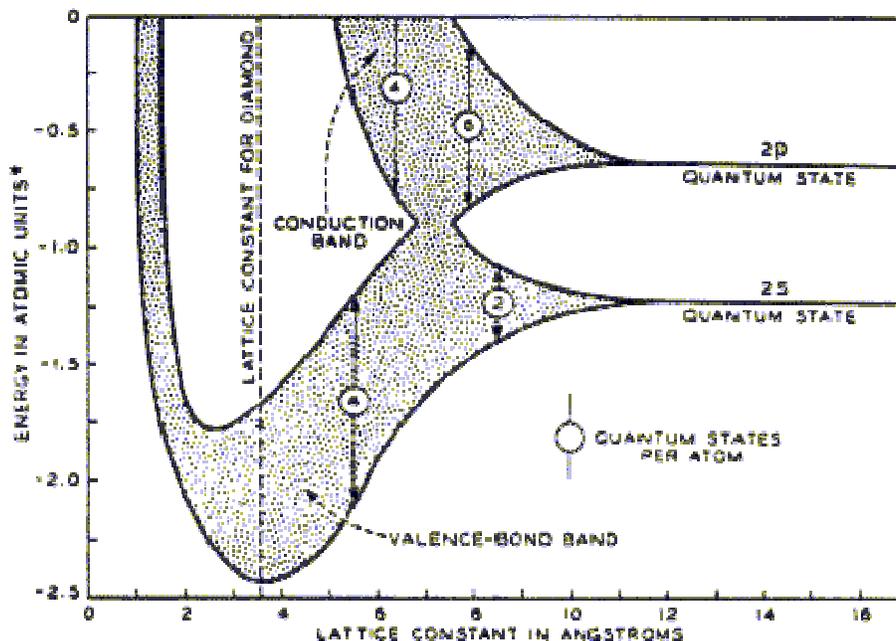
Espectrografía, Tubos de Descarga en gases Compatibilidad entre las líneas de emisión asociadas a cada elemento y los niveles atómicos, Nacimiento de la Mecánica Cuántica.

El átomo aislado, niveles atómicos, transformación de niveles en bandas cuando los átomos se acercan entre si. Bandas de valencia y de conducción, Conducción en banda de conducción en bandas de conducción y valencia. barrera de potencial.

Movilidad de portadores. Conductividad. Movimiento de cargas debido a difusión (para mantener constante la concentración de cargas por unidad de volumen)

Electrones en banda de valencia y de conducción

En los átomos de materiales sólidos, los electrones que intervienen en las corrientes eléctricas son los menos, cada átomo mantiene unido a sí casi todos los electrones que lo rodean sólo pueden escapar, (y no siempre) algunos electrones que intervienen en las uniones con otros átomos. Así se puede considerar un sólido formado por una distribución cristalina (ordenada espacialmente) de iones con electrones que pueden moverse en medio de un campo eléctrico generado por aquellos.



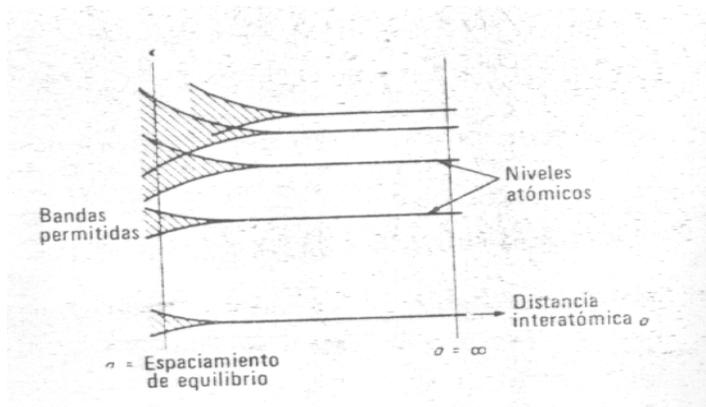


Figura 6.4

Electrones en átomos libres, parte de la derecha de las curvas de la figura 6.4

Estudiando las energías que pueden adquirir los electrones en los átomos libres se observa que siguen una distribución de niveles claramente separados uno de otro. (Ver a la derecha de Fig 1) Si mantenemos cada electrón ubicado en el menor nivel de energía posible nos encontramos que, debido a que cada electrón ocupa un estado energético diferente (nunca dos electrones pueden tener el mismo estado energético). Habrá un electrón que tenga una energía superior a todos los demás. La llamamos E_v .

Electrones en átomos de un sólido cristalino, parte de la izquierda de las curvas de la figura 6.4

Cuando juntamos los átomos para formar un sólido tendremos que cada átomo aportará un nivel energético para cada estado de los electrones en el sólido, dado que estos niveles dependen del campo eléctrico presente en cada sitio, se puede comprender pequeñas alteraciones del mismo. Es así que encontramos que cada nivel energético da origen a una banda de energías posibles. (cada banda es en realidad varios miles de millones de estados energéticos que difieren muy poco entre sí).

Banda de Valencia y Banda de Conducción

Estamos hablando hasta ahora de niveles de energía en los que puede haber electrones. Veremos ahora cómo se ocupan estos niveles dependiendo de la temperatura del material. Supongamos que logramos que cada electrón ocupe el nivel correspondiente a la menor energía posible (compatible con la mecánica cuántica*) entonces cuando ubicamos de esta manera todos los electrones del elemento tendremos la configuración electrónica que figura en las tablas periódicas de los elementos (por ejemplo para el silicio 2-8-4 o sea 2 electrones en el primer nivel, 8 electrones en el segundo nivel y 4 electrones en el tercer nivel) La banda de energías que se ocupa en esta situación se llama Banda de Valencia

* Los subniveles son por ejemplo 1s, 2s, 2p, 3s, 3p,3d etc, en los subniveles s caben dos electrones, en los p caben 6 en los d caben 10, etc

porque los electrones que la conforman normalmente actúan como enlaces de con otros átomos y le dan la valencia al átomo) La banda de energía que se ubica inmediatamente por encima de la Banda de valencia se llama Banda de conducción. La llamada banda de valencia es la zona de energía que estaría ocupada con todos sus niveles completos en caso de no existir agitación térmica, o sea, a 0 K (Kelvin). Por encima de ésta (separada o no) se halla la banda de conducción que contiene los niveles de energía permitidos que tienen los electrones mayores que los de la banda de valencia. La existencia de estas dos bandas da origen a dos tipos de corrientes eléctricas diferentes, una corriente de electrones en la banda de conducción y otra de "huecos" o electrones en la banda de valencia.

Teoría de Bandas. Clasificación de materiales por su cantidad de portadores de carga

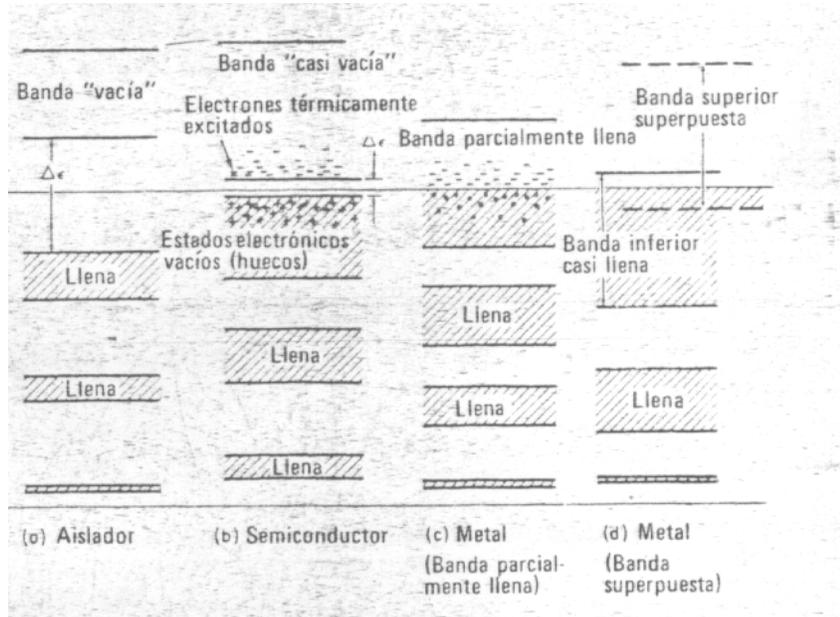


Figura 6.5

Según los conceptos vertidos podemos diferenciar la capacidad de conducción de los materiales dependiendo de la cantidad de electrones que tengan en cada banda y dependiendo de la cantidad de niveles de energía disponibles en las mismas en la figura 6.5

Se

Repaso de conceptos de electricidad (que los alumnos deberían conocer de la materia anterior).

Fuerzas y movimiento de electrones en sólidos. Energía Total de un electrón

Para estudiar el movimiento de los electrones dentro del sólido, sabemos que la fuerza aplicada sobre cada uno de ellos está dada por el producto de su carga, por el campo eléctrico existente (ya sea provocado por algún generador exterior o por los iones que forman el cristal)

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$$

Como la diferencia de potencial $V_{A,B}$ (en volts) entre los puntos A y B, es por definición el trabajo que hay que realizar para llevar una carga positiva unitaria desde A hasta B tenemos que:

$$V_{A,B} \equiv -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{x}$$

Sabiendo que la energía que adopta una carga al desplazarse en un potencial V está dado por

$$U = qV$$

Tenemos entonces que el total de energía que tiene una carga eléctrica será la debida al potencial existente mas la que tiene debido a su movimiento (energía cinética).

$$W_q = U + \frac{1}{2}mv^2$$

Concepto de Barrera de Potencial

El valor W_q es una constante de movimiento de la carga esto es que no cambia a menos que actúe una fuerza disipativa. Supongamos que en alguna región del cristal exista una distribución de cargas que genera un valor de energía potencial U_D mayor que W_q

$$U_D > W_q$$

La carga en cuestión (q) no podrá ingresar a ese sitio. O sea, no podrá haber corriente de electrones en esa región. Estas zonas se llaman Barreras de Potencial, y son las que buscaremos generar y manejar para lograr que un pedazo de sólido deje o no pasar corriente eléctrica según lo deseemos.

La Conducción en los metales:

En un metal los átomos se hallan en forma de iones formando una red cristalina y los electrones de valencia no se hallan ligados a ningún ión en particular. Se puede decir que los electrones son compartidos por todo el metal. De ésta manera se justifica que puedan viajar cuasi-libremente cuando se les aplica una diferencia de potencial.

En realidad no se pueden mover libremente. Como interactúan con los iones, pueden cambiar su dirección de movimiento y también pueden perder velocidad.

Por el solo hecho que el metal no se encuentra a una temperatura de 0 K (Kelvin) los electrones se están moviendo para todos lados, al no haber una dirección preferencial el promedio de velocidades de todos los electrones es cero. Pero esto se puede modificar, para estudiar cómo se mueven los electrones en promedio estudiaremos la movilidad de los mismos.

Movilidad: es un concepto macroscópico que nos da idea de cuanto se pueden mover los portadores de carga, bajo la acción de un campo eléctrico. Si en algún lugar de un sólido aplicamos una diferencia de potencial, se generará un campo eléctrico y consecuentemente una fuerza eléctrica sobre las cargas. Si éstas pueden cambiar su velocidad (y por lo tanto su energía) se producirá una aceleración que la hará aumentar hasta cierto valor (no lo hará en forma indefinida pues mayor será su interacción con el resto del sólido, perdiendo así energía).

Proponiendo una relación lineal para esta velocidad máxima como función del campo eléctrico:

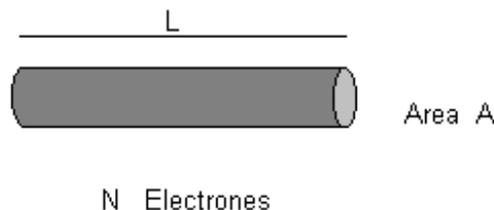
$$V_d = \mu E \quad [\text{m/s}]$$

Definimos movilidad de los electrones a μ . [medida en $\text{m}^2/(\text{volt} \cdot \text{segundo})$.]

También es útil reacomodar la definición de densidad de corriente, para relacionarla con la movilidad. Pongamos como ejemplo sencillo el cálculo de la densidad de corriente en una barra metálica de sección A y largo L

$$J = \frac{I}{A}$$

(en ampere/ m^2)



Si por dicha barra metálica pueden moverse N electrones bajo la acción de un campo **E**,

La densidad de corriente adopta la forma

$$J = \frac{I}{A} = \frac{qN}{t} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{L}{L} = \frac{qNv_d}{AL}$$

Con $v_d = L / t$ (la velocidad promedio de un electrón recorre la distancia L en t segundos)

Si llamamos n a la densidad en volumen de cargas $n=N/A.L$ [m^{-3}]

La densidad de corriente queda

$$J = qnv_d = \rho_v v_d$$

En la que ρ_v es la densidad en volumen de carga. Medida en [$coulomb/m^3$]

Pero sabemos (ley de Ohm) que $J=\sigma E$

O sea

$$J = qnv_d = qn \mu E = \sigma E$$

entonces

$$q n \mu = \sigma = \rho \mu$$

[en $(\Omega \cdot m)^{-1}$]

La densidad de carga por la movilidad es igual a la conductividad.

Dado que estas constantes se pueden medir en forma independiente, estas relaciones sirven para conocer mejor los materiales.

En particular si se conoce la conductividad por un lado y se mide la movilidad por otro podemos conocer la densidad de portadores de carga. De realizar estas mediciones para diferentes materiales se puede establecer que para un conductor el valor típico de concentración de electrones es de 10^{21} cm^{-3} prácticamente un electrón por átomo. Los aisladores tienen sólo unos pocos electrones, entre medio de ambos se encuentran los semiconductores.

Los semiconductores mantienen ésta diferencia con los conductores y otras más: Una de las más importantes, es que se los puede controlar electrónicamente para que se transformen en buenos conductores o excelentes aislantes. Ésta propiedad sólo se puede justificar correctamente explicando conceptos cuánticos.

1. Las energías a las que puede acceder un electrón en un átomo son valores determinados $E_1, E_2, E_3 \dots E_n$, no forman una distribución continua y dependen del campo eléctrico que los rodea en particular. (Formado por los núcleos del mismo átomo y el resto de los electrones que le pertenecen)

2. Dos electrones no pueden tener el mismo nivel de energía.

3. Cuando los átomos se unen para formar un sólido (aproximadamente 10^{21} átomos/cm³) los valores de energía de cada átomo se corren un poquito y dan lugar a lo que llamamos bandas de energía permitidas.

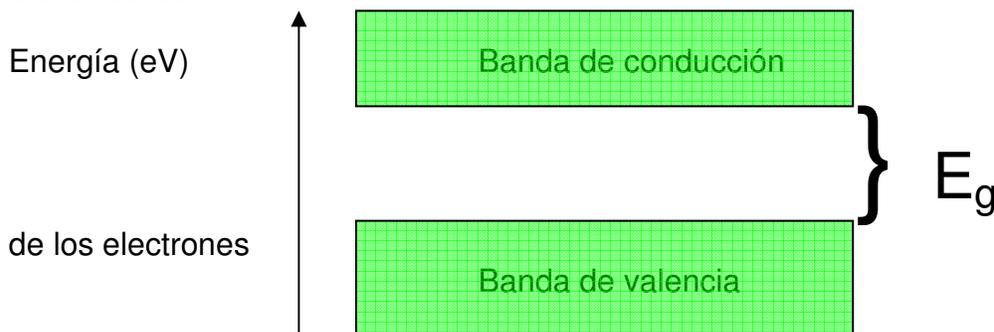
4. La mayor de éstas bandas ocupada cuando el sólido se halla a 0K(cero Kelvin) se llama Banda de Valencia, y la banda inmediatamente superior Banda de Conducción.

5. De acuerdo con la separación entre éstas dos últimas bandas estaremos en presencia de un material aislante, semiconductor o conductor según se representa en la siguiente figura

Semiconductores Intrínsecos

Los semiconductores más empleados son el silicio, el germanio y el galio, aunque la lista es enorme (hay sales Cd Te, SPb, etc). De éstos el más usado es el primero.

La estructura del Si es la de un tetraedro (como la del carbono en las cadenas orgánicas. El núcleo en su interior y los electrones de valencia dispuestos en cuatro orbitales (sp) equi-espaciados siguiendo los vértices de una pirámide de pared triangular, manteniendo uniones covalentes con los átomos vecinos. La banda de energía de valencia (esto es: los valores de energía que pueden tomar los electrones que intervienen en las uniones químicas cuando el material se halla a 0 K) está separada de la banda de conducción (valores de energía que permitidos para dichos electrones que está inmediatamente por encima de la banda de valencia) por un ancho de banda prohibida (Valores de energía que están por encima de la banda de valencia pero por la propia disposición de los iones del cristal y las características eléctricas propias del átomo de Si.



Mientras estamos a 0 K el Si es un excelente aislante, (los electrones no pueden incrementar su energía para desplazarse a menos que la energía adquirida sea mayor que E_g). A medida que se puede incrementar la energía de los electrones, éstos pueden vagar por el cristal aumentando su conductividad. (he aquí una enorme diferencia entre los materiales semiconductores y los conductores; mientras los primeros son aislantes a 0K y mejoran su conductividad

con la temperatura, los segundos son siempre conductores y empeora (disminuye) su conductividad con la temperatura.

Huecos

Si un electrón puede adquirir un valor de energía dentro de la banda de conducción, dejará libre un valor de energía dentro de la banda de valencia, por lo tanto algún electrón dentro de dicha banda podrá tomar esa energía, y otro tomar la que dejó éste último, con los cambios de energía dentro de la banda de valencia se genera una corriente de lo que se ha dado en llamar huecos .

En dicho análisis se puede entender que la cantidad de electrones por unidad de volumen (densidad de electrones n) que se mueven en la banda de conducción es igual a la cantidad de huecos por unidad de volumen (densidad de huecos p) que se mueven dentro de la banda de valencia.

$$p = n = n_i$$

Tanto los huecos como los electrones participan en la conducción de modo que se puede asignar a la densidad de corriente la relación

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

De modo que la conductividad vale

$$\sigma = q (n \mu_n + p \mu_p) = q n_i (\mu_n + \mu_p)$$

por tratarse de un semiconductor intrínseco.

Número atómico ▶	14	28,086	◀ Peso atómico
Punto de Ebullición en °C ▶	2680		◀ Valencia
Punto de fusión en °C ▶	1410	Si	◀ Símbolo
Densidad (g/ml) ▶	2,33	[Ne]3s ² 3p ²	◀ Estructura atómica
		Silicio	◀ Nombre

Periodo	Grupo																	
	1																18	
1	1																	2
	H																	He
	Hidrógeno																	Helio
2	3	4											5	6	7	8	9	10
	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
	Litio	Berilio											Boro	Carbono	Nitrógeno	Oxígeno	Flúor	Neón
3	11	12											13	14	15	16	17	18
	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
	Sodio	Magnesio											Aluminio	Silicio	Fósforo	Zufre	Cloro	Argón
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	Potasio	Calcio	Escandio	Titanio	Vanadio	Cromo	Manganeso	Hierro	Cobalto	Níquel	Cobre	Zinc	Galio	Germanio	Antimonio	Selenio	Bromo	Kriptón
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	Rubidio	Estroncio	Itre	Zirconio	Niobio	Moolibdeno	Tecnecio	Rutenio	Rodio	Paladio	Plata	Cadmio	Indio	Estano	Antimonio	Telurio	Yodo	Xenón
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	Cesio	Bario	Lantano	Hafnio	Tántalo	Volframio	Renio	Osmio	Iridio	Platino	Oro	Mercurio	Talio	Plomo	Bismuto	Polonio	Astato	Radón
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112		114		116		118
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub		Uuq		Uuh		Uuo
	Francio	Radio	Actinio	Rutherfordio	Dubnio	Seaborgio	Berio	Hasio	Moscovio	Ununnilio	Ununnilio	Ununbio		Ununquadio		Ununhexio		Ununoctio

Lantánidos	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	Ceol	Praseodimio	Neodimio	Promecio	Samarita	Europio	Gadolino	Terbio	Disprosio	Holmio	Erbio	Tulio	Yterbio	Lutecio
Actínidos	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
	Torio	Protactinio	Uranio	Neptunio	Plutonio	Americio	Curcio	Berkelio	Californio	Einsteinio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Lawrencio

Nota:

Metales Metaloides No metales Gases nobles (†) Base en peso atómico carbono de 12 (†) indica el más estable o el de isotopo más conocido.

Semiconductores Extrínsecos.

Para aumentar las densidades de portadores de carga es corriente introducir en un semiconductor intrínseco una pequeña cantidad de impurezas en forma controlada. Lo usual es adicionar elementos trivalentes o pentavalentes para generar un semiconductor extrínseco o dopado. El dopaje es de alrededor de 1 parte por millón o menos.

Semiconductor tipo n

Si agregamos un material pentavalente, en tan pequeñas cantidades, el cristal prácticamente no diferencia el núcleo de este respecto del de Si; consecuentemente usará cuatro electrones de la impureza en la unión covalente y dejará uno restante de forma prácticamente libre. Habrá entonces un exceso de portadores negativos y a dicho material se lo llamará tipo "n" también disminuirá la cantidad de huecos ya que en el caso de generarse alguno existe la posibilidad que un electrón libre ocupe la energía de el hueco generado.

Ley de acción de masas

Se verifica que el producto de las concentraciones ente los huecos y los electrones permanece constante e igual al cuadrado de la densidad de portadores del material intrínseco. (ley de acción de masas)

$$np = n_i^2$$

Semiconductor tipo p

En forma análoga al agregar un material trivalente, en tan pequeñas cantidades, el cristal prácticamente no diferencia el núcleo de este respecto del de Si; consecuentemente querrá usar cuatro electrones de la impureza en la unión covalente dando así por generado un electrón faltante que dará origen a un hueco. Habrá entonces un exceso de portadores positivos o huecos y a dicho material se lo llamará tipo "p"

Difusión por diferencia de concentración de portadores

Como en toda situación en la que se encuentra un gradiente de concentración, existirá una corriente de portadores que intente anular dicha diferencia de concentración; (en un ambiente, el perfume que lleva una persona normalmente se propaga por todos lados). Si en una pared hay un gradiente de temperaturas habrá una corriente de energía que tratará de neutralizar el gradiente. Se trata de una propiedad estadística que involucra a todos los sistemas físicos.

$$J_p = -qD_p \frac{dp}{dx}$$

Relación de Einstein

Por estudios estadísticos A.Einstein verificó que el cociente entre la constante de difusión de portadores sobre la movilidad de cada uno de ellos es un parámetro dependiente sólo de la temperatura del mismo.

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V(T)$$

Con $V(T) = T/11600$ volts con T en Kelvin.

Corriente Total

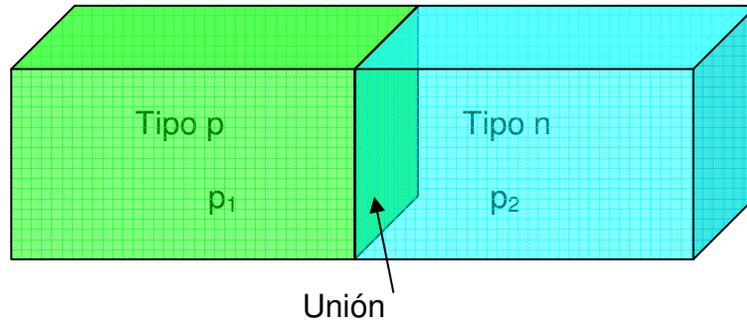
Tenemos entonces que en un semiconductor pueden coexistir corrientes debidas tanto a la acción de un campo eléctrico como a un gradiente de concentraciones.

Será entonces que existirá tanto para los huecos como para los electrones una corriente

$$J_p = q\mu_p pE - qD_p \frac{dp}{dx}$$

$$J_n = q\mu_n nE + qD_n \frac{dn}{dx}$$

En el caso de tener una unión de semiconductores de tipo p y n necesariamente estaremos en presencia de un gradiente en la concentración de portadores.



Pero si no se produce en forma externa una corriente de electrones se generará un campo eléctrico interno que hará nula la ecuación de la corriente.

$$E = \frac{V(T) dp}{p dx}$$

Conociendo la variación en la concentración y expresando el campo eléctrico en función del potencial queda

$$dV = -Edx = -V(T) \frac{dp}{p}$$

De integrar ésta ecuación tenemos que la diferencia de potencial interna formada debida sólo al gradiente de concentración de portadores vale

$$V_{21} = V_2 - V_1 = V(T) \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Esta ecuación me define la existencia de una diferencia de potencial interna debida al sólo hecho de tener distintas concentraciones de portadores de carga en diferentes sitios. Esta es la base de la conformación de un diodo que veremos en la clase próxima.

Transistores

El invento del transistor es sin duda alguna el invento que más cambios introdujo a lo largo del siglo XX. Es producto de la imaginación de W. Shockley, quien trabajaba para los Laboratorios de investigación de la Bell (empresa dedicada a la telefonía) Shockley allá por 1930 estaba buscando un dispositivo conmutador que no tuviera partes mecánicas para funcionar más rápido y que consumiera muy poca potencia, un elemento de este tipo es indispensable para hacer las interconexiones entre teléfonos de distintas centrales y aún dentro de una misma central telefónica.

Para justificar cómo fue que se le pudo haber ocurrido pensar a William B. Shockley en buscar un elemento conmutador basado en el estado sólido y no como una válvula como estaban en auge en aquellos días, tenemos que retrotraernos al enunciado de la teoría que propuso Walter Schottky para justificar el funcionamiento del diodo de estado sólido. En realidad en aquel entonces nadie lo conocía como diodo de estado sólido, pero ocurría que mucha gente lo usaba en las radios a galena que funcionaban sin inconvenientes y se usaban desde los años 20, pero nadie sabía porqué.

Schottky se basó en los conceptos de la joven mecánica cuántica para justificar el funcionamiento del diodo. Propuso que al unirse dos materiales particulares distintos, se generaba la posibilidad de generar una zona en la que no puede haber movimiento de cargas eléctricas cuando se le aplica una tensión determinada. Ver fig 1.5

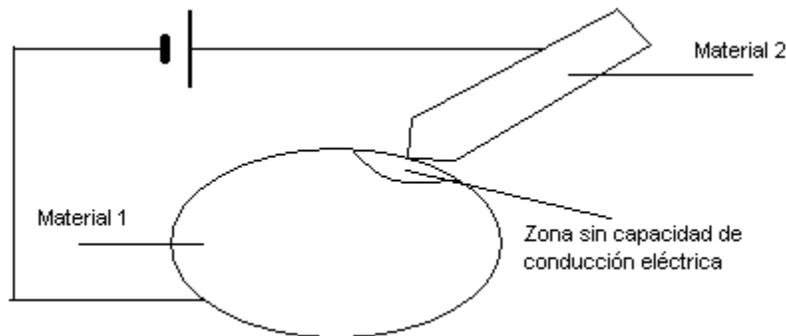


Fig 1.5 Esquema del funcionamiento del diodo de estado sólido.

Cuando terminó la segunda guerra mundial (1945) Shockley volvió a trabajar en los laboratorios de la Bell y junto con un equipo desarrollo el diseño del transistor. Imaginaron que podían hacer algo parecido al efecto de cerrar el paso de agua que circula por una manguera a partir del estrangulamiento de sus paredes. Figura 1.6



Fig 1.6 manguera estrangulada.

¿Cómo podía estrangular en un sentido eléctrico, un pedazo de material sólido? Pensaron entonces que si ponían dos diodos como se muestra en la figura 1.7 podía generar la zona de estrangulación que quería.

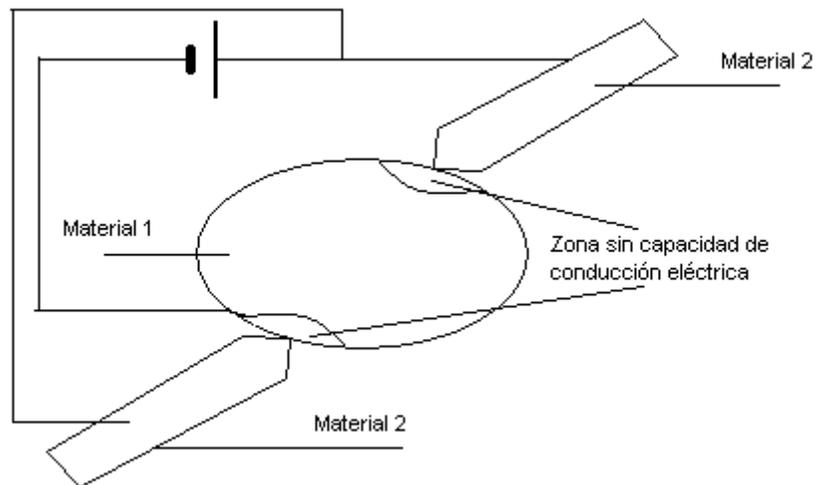


Fig 1.7 Inducción eléctrica de zonas sin conducción eléctrica.

Si inducían aún más la zona donde no pueden circular cargas entonces podía interrumpir el paso de corriente eléctrica entre las regiones A y B del material 1

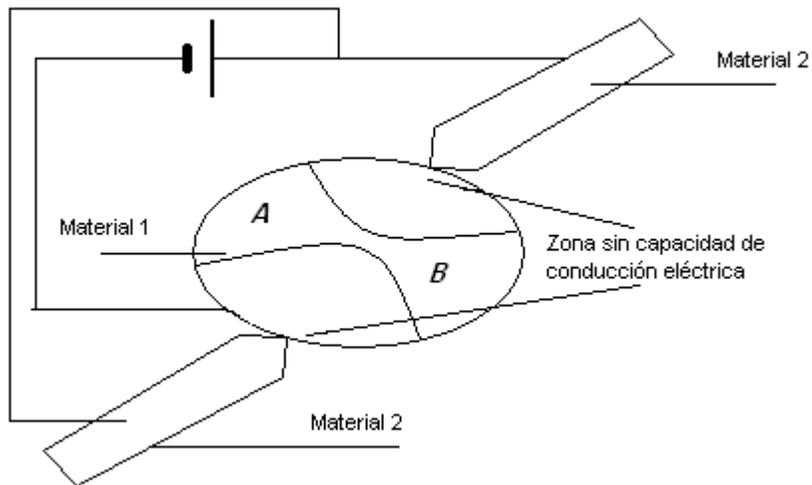


Fig 1.8 Principio de funcionamiento de un transistor de efecto de campo.

Un diseño parecido a este, levemente modificado por cuestiones de manejo de tecnología fue desarrollado para 1948. Durante la década posterior (los 50's) se desarrolló la tecnología del silicio, material con que se pudo dominar la construcción de los transistores bipolares de unión y su agrupación en circuitos integrados de pequeña mediana y gran escala de integración. Estos trabajos fueron fundamentales para el avance de la carrera espacial.