SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS

SEMICONDUCTIVIDAD INTRÍNSECA

En un semiconductor intrínseco (puro) basado en Ge o Si, la conductividad se obtiene con un campo eléctrico suficientemente fuerte como para sacar un electrón desde un par electrónico del enlace covalente del cristal. Así tal electrón pasa desde la banda de valencia a la banda de conducción. En la banda de valencia queda un hueco positivo. Ver Figura 1. El campo requerido es demasiado elevado para aplicaciones usuales en Electrónica.

La conductividad se produce entonces por: a) movilidad del electrón libre y b) movilidad del hueco positivo (por un mecanismo de vacancias electrónicas. La Figura 2 ilustra el mecanismo b).

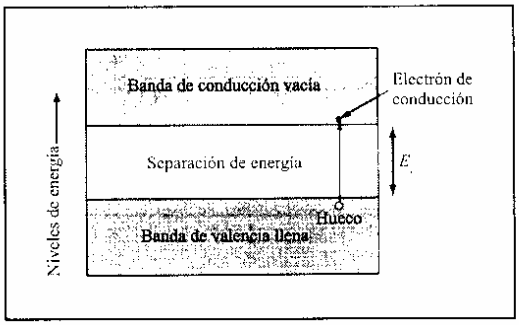

Fig. 1 Esquema de bandas de un semiconductor puro o extrínseco. De ser proporcionada la energía suficiente, un electrón de la banda de valencia, específicamente ubicado en un par electrónico del enlace covalente, podrá superar a apertura de energía E y quedar libre, pasando a la banda de conducción. Habrá dos mecanismos de conductividad: por electrones libres y por los huecos positivos.

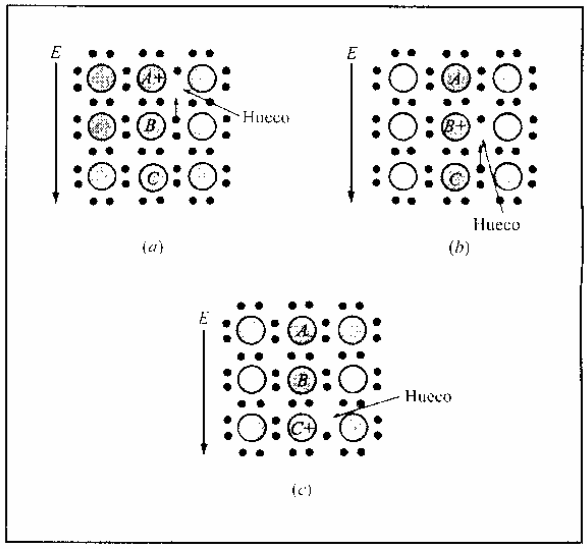

Fig. 2 Mecanismo de conductividad por huecos positivos en un semiconductor puro, bajo la acción de un campo eléctrico.

SEMICONDUCTIVIDAD EXTRÍNSECA

Los semiconductores extrínsecos o dopados son los que se usan en tecnología de semiconductores basados en Ge y Si. Su mecanismo de conducción es diferente de aquel de los semiconductores puros o intrínsecos. Los átomos de impurezas controladas que se usan para dopar, en ppm, forman soluciones sólidas de sustitución en el Si o Ge de estructura diamante.

El Si, como conductor extrínseco presenta una apertura de 1,1 eV para que sus electrones de valencia, formando parte de los enlaces, puedan pasar a la banda de conducción como electrones libres, ver Figuras 5.19 y 5.23.

El mecanismo de conducción de los semiconductores extrínsecos tiene asociadas energías de conducción relacionadas con la energía para ionizar la impureza respectiva en el sólido, ver Figura 5.23; estas energía son inferiores a 0,07 eV.

Semiconductores extrínsecos tipo p. En el caso de dopar Si o Ge con un elemento de valencia 3 (p.e.: B, Al, Ga), el átomo de impureza en la estructura diamante, por faltarle un electrón respecto de los 4 requeridos, no puede completar sus 4 enlaces covalentes próximos. De esta manera, mientras no se aplique un campo suficientemente elevado, al átomo de impureza queda asociada una vacancia electrónica o hueco positivo. Energéticamente, tal vacancia electrónica queda situada en un nivel llamado aceptor, el cual está algo más arriba del nivel de Fermi, ver Figuras 5.23 y 5.25. Nótese que el nivel de Fermi limita superiormente la zona de valencia, la cual está llena de electrones de valencia que forman enlaces covalentes. Con un voltaje razonable, tal vacancia electrónica podrá ser ocupada por un electrón proveniente de otro enlace covalente, de manera que la vacancia se moverá a un enlace Si-Si. Esto significa que un electrón de valencia saltó al nivel de aceptor, ver Figura 5.25. Con el campo, la vacancia, de carga positiva se moverá, conduciendo la electricidad, ver Figura 5.24. Cada átomo de impureza aporta entonces una vacancia positiva. Nótese que en este caso la conducción no es por electrones libres, sino que por huecos (o vacancias) positivas; son positivas porque falta un electrón; por ello se dice que esta conducción es tipo p (por positivo).

Semiconductores extrínsecos tipo n. En el caso de dopar Si o Ge con un elemento de valencia 5 (p.e.: Sb, Pb y As), el 5º electrón del átomo de impureza no participa en el enlace covalente respectivo. Sin campo externo aplicado, ese electrón queda asociado al átomo de impureza, y está en un nivel de energía llamado nivel donor, ubicado algo por debajo de la banda de valencia, ver Figuras 5.23 y 5.22. Con un voltaje razonable, tal átomo pierde su 5º electrón: el átomo queda ionizado positivamente y se produce un electrón libre. Así ese electrón salta desde el nivel de donor a la banda de conducción. La conducción se hace entonces por ese electrón ahora libre, ver Figura 5.21. (De no haber difusión atómica, el átomo ionizado de la impureza no se moverá, de modo que en la práctica de semiconductores, la conducción es exclusivamente por electrones). Cada átomo de impureza aporta entonces un electrón libre a la banda de conducción. Esta conducción por electrones libres se llama tipo n (por negativo).

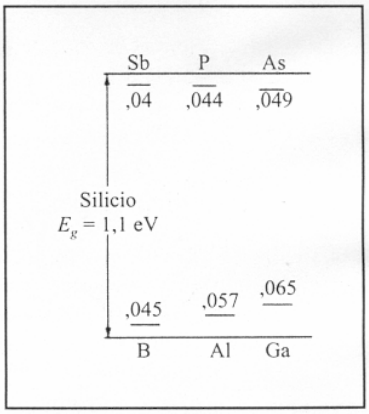

Figura 5.23. *Energías de ionización (en electrón-voltios) para varias impurezas en silicio.*

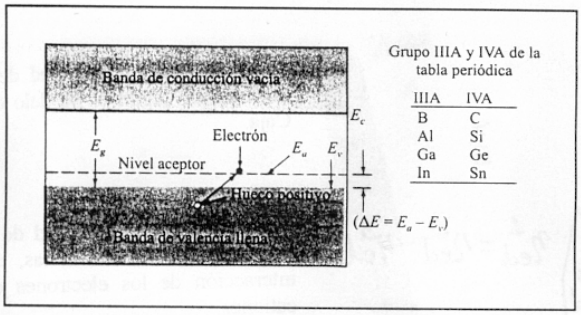

Figura 5.25. *Diagrama de bandas de energía de un semiconductor extrínseco tipo* p *que muestra la posición del nivel aceptor creado por la adición de un átomo de un elemento del grupo IIIA, tal como Al, B o Ga, que reemplaza a un átomo de silicio en la red de silicio (Fig. 5.24). Es suficiente una pequeña cantidad de energía* ($\Delta E = E_a - E_v$) *para excitar un electrón desde la banda de valencia al nivel aceptor. Se crea, por tanto, un hueco electrónico (portador de carga) en la banda de valencia.*

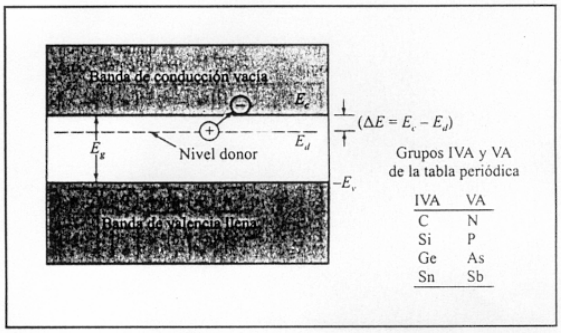

Figura 5.22. *Diagrama de bandas de energía de un semiconductor extrínseco tipo* n *que muestra la posición del nivel donor para el electrón extra de un átomo de un elemento del grupo VA, tal como P, As y Sb; contenido en la red cristalina de silicio (Fig. 5.21*a*). Los electrones del nivel de energía donor necesitan sólo una pequeña cantidad de energía* ($\Delta E = E_c - E_d$) *para ser excitados a la banda de conducción. Cuando el electrón extra del nivel donor salta a la banda de conducción deja tras de sí un ion positivo.*

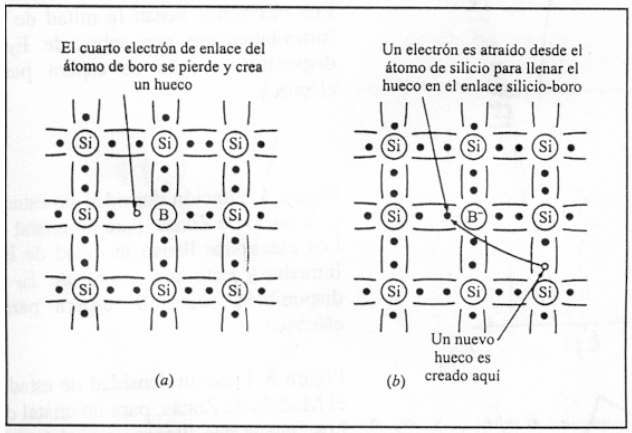

Figura 5.24. (a) *La adición de un átomo de impureza de boro trivalente* (B^{3+}) *a una red de silicio tetravalente* (Si^{4+}) *crea un hueco en una de las uniones boro-silicio al faltar un electrón.* (b) *Bajo la acción de un campo eléctrico aplicado es suficiente una pequeña cantidad de energía (0,045 eV) para atraer un electrón desde un átomo de silicio adyacente para llenar este hueco, creando así un ion móvil de boro con carga −1. El nuevo hueco creado en la red de silicio actúa como un portador de carga positiva y es atraído hacia el extremo negativo de un circuito eléctrico.*

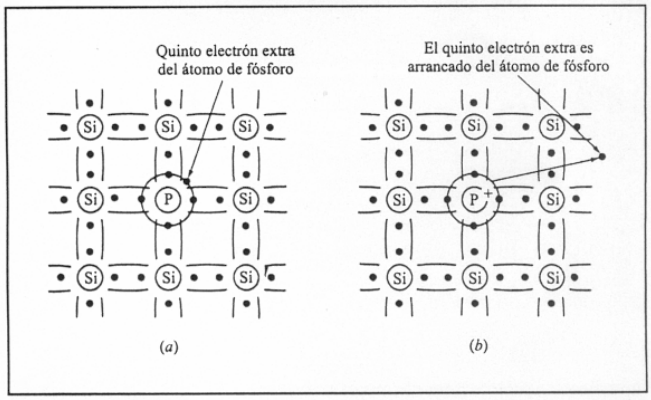

Figura 5.21. (a) *La adición de un átomo de impureza de fósforo pentavalente* (P^{5+}) *a la red de silicio tetravalente proporciona un electrón que está débilmente unido al fósforo del que procede. Es suficiente una pequeña cantidad de energía (del orden de 0,044 eV) para hacer a este electrón móvil y conductor.* (b) *Bajo un campo eléctrico aplicado el electrón en exceso pasa a ser conductor y es atraído hacia el extremo positivo del circuito eléctrico. Con la pérdida de este electrón el átomo de fósforo se ioniza y adquiere una carga +1.*