



Materiales y materias primas

Silicio

Capítulo 11

Guía didáctica

Autor | Mónica Martínez Bogado



Ministerio de
Educación
Presidencia de la Nación



encuentro

educar

ineli
Instituto Nacional de
Educación Tecnológica

Autoridades

Presidente de la Nación

Dra. Cristina Fernández de Kirchner

Ministro de Educación

Dr. Alberto E. Sileoni

Secretaría de Educación

Prof. María Inés Abrile de Vollmer

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica

Lic. María Rosa Almandoz

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional de Educación Técnico Profesional y Ocupacional

Ing. Roberto Díaz

Ministerio de Educación.

Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Saavedra 789. C1229ACE.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

República Argentina.

2011

Director de la Colección:

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinadora general de la Colección:

Claudia Crowe

Diseño didáctico y corrección de estilo:

Lic. María Inés Narvaja

Ing. Alejandra Santos

Coordinación y producción gráfica:

Augusto Bastons

Diseño gráfico:

María Victoria Bardini

Augusto Bastons

Martín Alejandro González

Federico Timerman

Ilustraciones:

Diego Gonzalo Ferreyro

Martín Alejandro González

Federico Timerman

Administración:

Cristina Caratozzolo

Néstor Hergenrether

Colaboración:

Jorgelina Lemmi

Psic. Soc. Cecilia L. Vázquez

Dra. Stella Maris Quiroga

“Colección Encuentro Inet”.

Director de la Colección: Juan Manuel Kirschenbaum.

Coordinadora general de la Colección: Claudia Crowe.

Queda hecho el depósito que previene la ley N° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Reproducción autorizada haciendo mención de la fuente.

Industria Argentina

ADVERTENCIA

La habilitación de las direcciones electrónicas y dominios de la web asociados, citados en este libro, debe ser considerada vigente para su acceso, a la fecha de edición de la presente publicación. Los eventuales cambios, en razón de la caducidad, transferencia de dominio, modificaciones y/o alteraciones de contenidos y su uso para otros propósitos, queda fuera de las previsiones de la presente edición. Por lo tanto, las direcciones electrónicas mencionadas en este libro, deben ser descartadas o consideradas, en este contexto.

Colección Materiales y materias primas

Serie producida por el Canal Encuentro junto con el Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET). A lo largo de catorce capítulos* el ciclo desarrolla el origen, las propiedades, el contexto de descubrimiento y la utilización de diferentes materiales y materias primas, y el impacto que causaron en la vida de la humanidad durante su historia.

Aire, aluminio, hierro, azufre, polímeros, madera, cerámicos son algunos de los protagonistas de esta colección.

DVD 1

Capítulo 1
Los Materiales y la humanidad

Capítulo 2
Aire

Capítulo 3
Madera

DVD 2

Capítulo 4
Azufre

Capítulo 5
Minerales de hierro

Capítulo 6
Cerámicos

Capítulo 7
Aluminio

DVD 3

Capítulo 8
Biomateriales

Capítulo 9
Polímeros

Capítulo 10
Materiales compuestos

DVD 4

Capítulo 11
Silicio

Capítulo 12
Nanomateriales

* La versión impresa de la colección **Materiales y materias primas** está constituida por doce capítulos. La parte 1 y 2 de las series **Los materiales y la humanidad** y **Nanomateriales** fueron unificadas respectivamente.

Índice | Silicio

Red conceptual

11.1. Silicio

11.2. Historia

11.3. Propiedades

11.4. Proceso de producción de silicio

11.5. Aplicaciones

11.6. El silicio y la microelectrónica

11.7. Silicio y las celdas solares

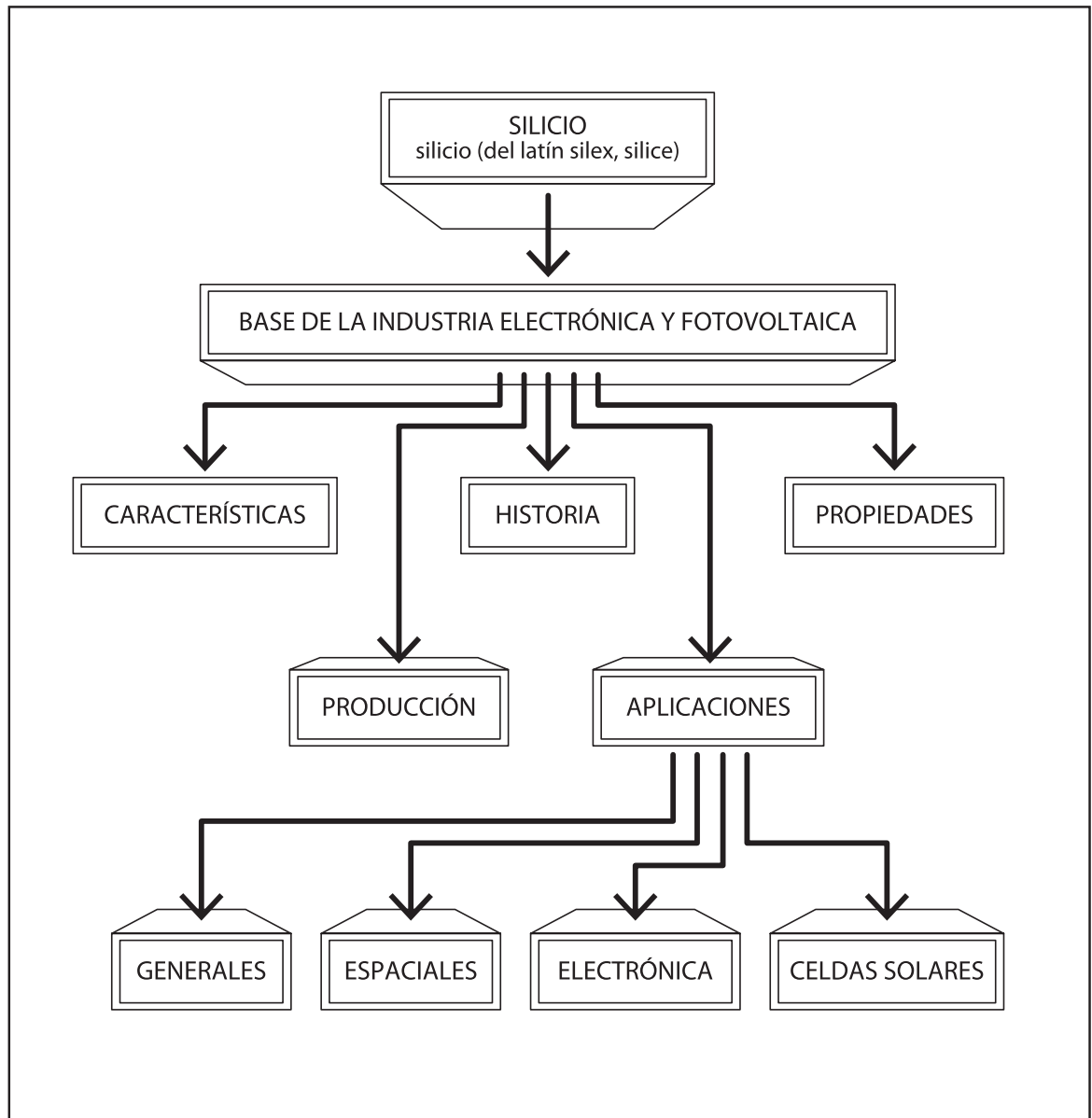
- ♦ 11.7.1. Depósito de contactos
 - 11.7.1.2. Tratamientos antirreflectantes
 - 11.7.1.3. Módulo para uso terrestre
 - 11.7.1.4. Módulos para uso espacial

11.8. Conclusión

11.9. Actividades

Recomendaciones bibliográficas y de páginas web

Red Conceptual



11.1. Silicio

El silicio es uno de los elementos químicos cuyo símbolo es "Si" y que se encuentra en la tabla periódica en el grupo 14 o IVA. Por su abundancia ($2,57 \times 10^5$ p.p.m.) es el segundo elemento que más se encuentra en la corteza terrestre después del oxígeno ($4,95 \times 10^5$ p.p.m.). Este material compone alrededor del 20% de la corteza terrestre.

Forma parte, en la tabla periódica, de la familia del carbono pero, a diferencia de éste, no se lo encuentra en la naturaleza en estado puro sino, generalmente, combinado con oxígeno en su mayoría formando **óxidos de Si** (SiO_2 , dióxido de silicio) y **silicatos**. Pertenecen al grupo de los hermosos cristales de roca (roca cristalina), cuarzo lechoso, amatistas (rocas azules debido al magnesio), cuarzo rosado (color debido a la presencia de pequeñas cantidades de titanio) y cuarzo ahumado (orgánico). Ocasionalmente, cristales de tridymite y cristobalita, que son modificaciones de los silicatos a muy altas temperatura, pueden encontrarse en depósitos volcánicos. El SiO_2 abunda en distintas formas como el cuarzo, ágata, jaspe, carnelia, ópalo y pedernal. La arena es en gran parte dióxido de silicio y la mayoría de las rocas corrientes, salvo calizas o dolomitas, contienen silicio: por ejemplo, el feldespato $\text{Si}_3\text{O}_8\text{KAl}$; el asbesto $(\text{SiO}_3)_4\text{Mg}_3\text{Ca}$; la mica $(\text{SiO}_4)_3\text{H}_2\text{KAl}_3$; etc.



Cristal de roca



Cuarzo ahumado



Obsidiana



Antracita



Amatista



Sílice

El **silicio cristalino** es el material base de la industria microelectrónica y fotovoltaica. Posee un aspecto metalizado y es de difícil dilución, es atacado por ácidos como el fluorhídrico, nítrico y combinaciones de ellos. Es un material muy duro, al punto que puede utilizarse para rayar o cortar vidrio.

El silicio amorfo es un polvo grisáceo, más activo químicamente que la variedad cristalina. Se une con el flúor a temperaturas ordinarias y a temperaturas más altas con oxígeno, cloro, bromo, azufre, nitrógeno, carbono y boro.



Granos de Si

11.2. Historia

El hombre utilizó el pedernal o sílice para la confección de las primeras herramientas de la historia de la humanidad (era paleolítica) esto fue, probablemente, debido a la abundancia en la naturaleza de estas rocas, su dureza y su relativa facilidad de trabajar. El pedernal fue parte fundamental en el desarrollo de la civilización al ser utilizada esta roca para la generación de chispas de fuego.



Herramienta utilizada en la Edad de Piedra

La obsidiana fue la más buscada en la prehistoria antes de que el hombre utilizara herramientas de metal. Es una roca que se presenta como vidrio volcánico y que, con práctica y destreza, es posible obtener hojuelas alargadas tan afiladas como navajas. En Argentina era usada por las tribus de las regiones cercanas a la cordillera (Mendoza, Neuquén y San Juan) en las puntas de sus flechas. También, fue utilizada por los pueblos centroamericanos como elemento cortante en sus rituales.

Los aztecas utilizaban como arma un soporte de madera con forma achatada en donde insertaban piezas de obsidiana de tal manera que este utensilio podía cercenar un brazo o una pierna del enemigo en un combate.



Dibujo de guerreros luchando con armas contruidas con obsidiana

Otros materiales utilizados tanto por el hombre en eras pasadas como en la actualidad son la arcilla y el vidrio, ambos contienen compuestos con silicio. La arcilla está constituida por una colección de silicatos y ha sido usada por el hombre tanto para alfarería como para la construcción. El vidrio no se sabe a ciencia cierta cuándo ni cómo se descubrió o se comenzó a utilizar pero, por objetos arqueológicos encontrados, fue probablemente en Asia Menor antes del año 12000 A.C.

Hasta 1787 se asumía que el sílice era un elemento; pero, en ese mismo año Lavoisier sugirió que este material era un óxido de algún otro elemento desconocido. Aparentemente, Gay Lussac y Thénard fueron los primeros en producir silicio en 1811 por reducción de fluoruro de silicio con potasio; pero no se reconoce esto como el descubrimiento. Berzelius en 1817 reporta la evidencia de un nuevo elemento como un precipitado en un recipiente de hierro. En 1823 lo obtuvo por reacción de fluorurosilicato de potasio con potasio metálico, al lavar el producto con agua obtuvo un polvo grisáceo que era silicio amorfo.

El silicio se obtuvo en forma repetitiva recién en 1854 por Sainte-Claire Deville, quien cristalizó este elemento de una fundición electrolizada de mezclas con sustancias cloradas. Este proceso fue el origen de dos variantes de silicio amorfo.

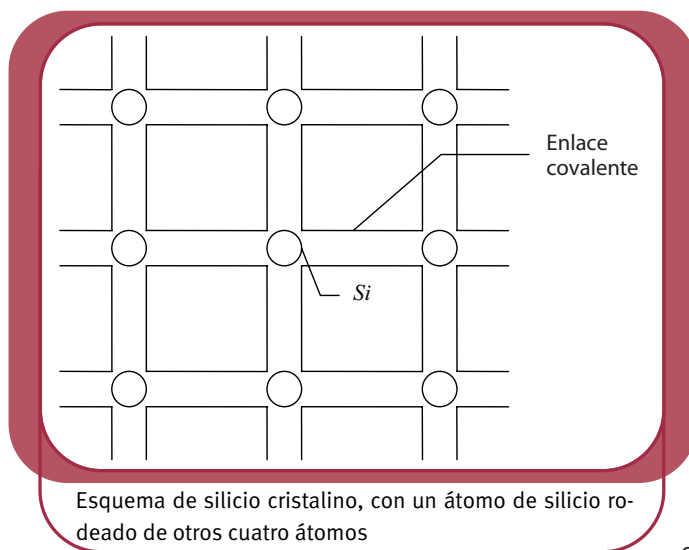
El Si es uno de los semiconductores más comunes, sustenta la industria de la microelectrónica, la revolución de la informática, la era de la información y otras áreas de rápido crecimiento revolucionadas por la electrónica moderna. En la actualidad el silicio es un elemento muy importante en numerosos procesos industriales. El dióxido de silicio (arena y arcilla) es un importante constituyente del hormigón y los ladrillos y se emplea en la producción de cemento portland. Por sus propiedades semiconductoras se usa en la fabricación de transistores, células solares y todo tipo de dispositivos semiconductores.

En Estados Unidos se denomina *Silicon Valley (Valle del Silicio)* a la región de California en la que concentran numerosas empresas del sector de la electrónica y la informática.

11.3. Propiedades

El silicio tiene número atómico 14 lo cual significa que un átomo de Si aislado tiene 14 protones (partículas cargadas positivamente) en su núcleo y 14 electrones (partículas cargadas negativamente) orbitando alrededor de él como un sistema solar en miniatura. Diez de los 14 electrones están, estrechamente, ligados al núcleo y tienen menos importancia para las uniones químicas con otros elementos. Los cuatro electrones restantes determinan cómo los átomos de silicio se organizan entre sí para formar el material de silicio sólido.

El silicio cristalino es el material utilizado en celdas solares y microelectrónica. Tiene sus átomos ordenados en forma muy particular: cada átomo intenta unirse con cuatro átomos vecinos como en la figura que a continuación se muestra. Lo que los mantiene unidos son 2 electrones que comparten uno de cada átomo. Como cada átomo de Si tiene cuatro electrones que no están fuertemente unidos al núcleo, todo funciona perfectamente si cada átomo está rodeado de otros cuatro átomos iguales.



Dado que la electricidad es el “movimiento” de electrones, el *Si* es un pobre conductor de electricidad cuando todos los electrones están restringidos en enlaces; por lo tanto, actúa como un aislante (no conduce electricidad). Sin embargo, estos enlaces pueden romperse si se los excita lo suficiente, por ejemplo con un fotón proveniente del Sol siempre que tenga suficiente energía. El fotón energético ayudaría o “empujaría” al electrón, liberando el enlace transmi-

tiendo su energía para que se produzca un movimiento de electrones (corriente eléctrica). Una vez liberados del enlace el electrón puede moverse a través del *Si* y contribuir al flujo de la corriente eléctrica, actuando como los conductores.

Debido a que en ocasiones el silicio actúa como aislante y si se lo excita actúa conduciendo electricidad se lo denomina material “semiconductor”. Más sorprendentemente, los enlaces rotos o huecos que se forman pueden cambiar de posición dando lugar a lo que se denomina corriente de huecos. Esto ocurre porque es muy fácil para un electrón de un enlace vecino saltar dentro de un silicio vacante dejado por el enlace roto. Este salto restaura el enlace roto pero deja un nuevo hueco detrás. De esta manera el flujo de huecos sería contrario al flujo de electrones. Cuando un fotón rompe un enlace en el silicio se crea un electrón (carga negativa) y también un hueco al cual se lo puede representar como una partícula (algo así como una burbuja) con carga positiva, estos pares se denominan “par electrón-hueco”.

Esta propiedad de ser semiconductor que tiene el silicio, al igual que el germanio y otros materiales compuestos como el arseniuro de galio (GaAs), es fundamental para el funcionamiento de las celdas solares y para la microelectrónica. En la celda solar los fotones del Sol son, en este caso, los que excitan a los electrones y generan la corriente eléctrica.

En cuanto a sus propiedades químicas el *Si* en su forma cristalina es un material muy duro (6,5 en la escala de Moss) y su punto de fusión es 1687 K y el de ebullición es 3173 K.

El silicio en estado puro puede presentarse en forma cristalina o amorfa. Se denomina cristalina cuando existe un orden en la disposición de los átomos que, dependiendo del alcance de este orden, se denomina microcristalino (en este material el orden o los cristales alcanzan desde algunos nanómetros hasta el micrón (0,001mm)), policristalino donde el tamaño de los cristales tienen alrededor del centímetro y el monocristalino, donde el monocristal de forma cilíndrica puede tener hasta 30 cm de diámetro y 1 m o más de largo; y presenta un brillo metálico y color grisáceo. Aunque es un elemento relativamente inerte y resiste la acción de la mayoría de los ácidos, reacciona con los halógenos y alcalinos diluidos. En cuanto a sus características ópticas transmite más del 95% de las longitudes de onda de la radiación infrarroja.

En cuanto al silicio amorfo en su estructura no conserva este orden a largo alcance, debido a esto sus características eléctricas y ópticas, entre otras, son diferentes a las del cristalino. Este

material suele utilizarse en celdas solares pero su rendimiento es menor, aunque su forma de obtención es más económica.

11.4. Proceso de producción de silicio

El primer paso en la producción de silicio (*Si*) es pasar de la arena a lo que se conoce como *silicio grado metalúrgico*. Lo que se hace es reducir el dióxido de silicio (SiO_2) con carbono en grandes hornos de arco eléctrico a una temperatura superior a 3000 °C. El silicio se produce de acuerdo con la reacción:



El silicio en estado líquido se acumula en el fondo del horno de donde se extrae y se enfría. El silicio producido por este proceso tiene una pureza de un 98 a 99% a un costo de 1-2U\$S/kg.

Para la construcción de dispositivos semiconductores es necesario un silicio de mayor pureza, silicio ultrapuro, que puede obtenerse por métodos físicos o químicos.

Los **métodos físicos** de purificación del *silicio metalúrgico* se basan en la mayor solubilidad de las impurezas en el silicio líquido, de forma que éste se concentra en las últimas zonas solidificadas:

1. El primer método usado de forma limitada para construir componentes de radar durante la segunda guerra mundial, consiste en moler el silicio de forma que las impurezas se acumulen en las superficies de los granos; disolviendo estos, parcialmente, se obtenía un polvo más puro.
2. La fusión por zonas, el primer método usado a escala industrial, consiste en fundir un extremo de la barra de silicio y trasladar, lentamente, el foco de calor a lo largo de la misma de modo que el silicio vaya solidificando con una pureza mayor al arrastrar a la zona fundida gran parte de las impurezas. El proceso puede repetirse las veces que sea necesario hasta lograr la pureza deseada y luego cortar el extremo final en el que se han acumulado las impurezas.

De la producción global de silicio, sólo una pequeña fracción (digamos del orden de una milésima parte) se vuelve a purificar para producir el llamado silicio grado semiconductor que es el utilizado en la industria electrónica, donde los requerimientos de pureza del material son mucho mayores.

Los **métodos químicos**, usados actualmente, se aplican a compuestos de silicio que sean más fáciles de purificar. Los compuestos comúnmente usados son el triclorosilano (SiHCl_3), el tetracloruro de silicio (SiCl_4) y el silano (SiH_4).

El proceso es el siguiente: se obtiene triclorosilano a partir del *silicio grado metalúrgico* usando ácido clorhídrico según la reacción:



Lo que se purifica entonces es el SiHCl_3 a través de varios procesos de destilación, recuperándose el *Si*. Este silicio es ahora *silicio grado semiconductor* según la reacción inversa. Este proceso, denominado **proceso Siemens**, requiere mucha energía y no es eficiente, lo cual eleva considerablemente el costo del material a 60 - 70 U\$S/kg.

El silicio producido por éste y otros métodos similares se denomina silicio policristalino y típicamente tiene una fracción de impurezas de 0,001 ppm (partes por millón) o menor.

El **método Dupont** consiste en hacer reaccionar tetracloruro de silicio a 950°C con vapores de cinc muy puros:

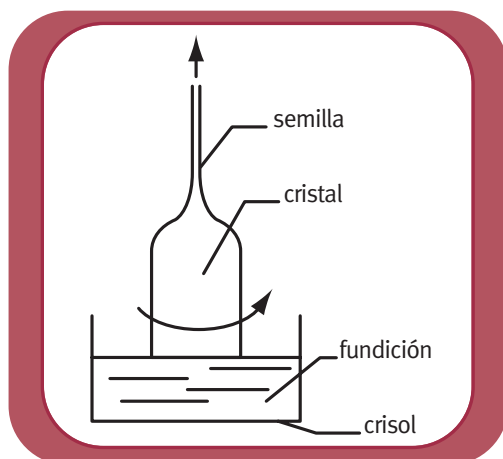


Este método ha sido, prácticamente, abandonado debido a numerosas dificultades técnicas. Finalmente, la **descomposición pirolítica del silano**. Este proceso produce un silicio de alta pureza pero no es usado comercialmente pues su obtención es muy compleja y además, resulta muy inestable químicamente.

Hasta ahora tenemos un material muy puro, pero no en forma cristalina.

Para que un dispositivo electrónico (celdas solares, circuitos electrónicos, etc.) funcione eficientemente, es necesario que el material de partida sea cristalino y lo más libre de defectos posible.

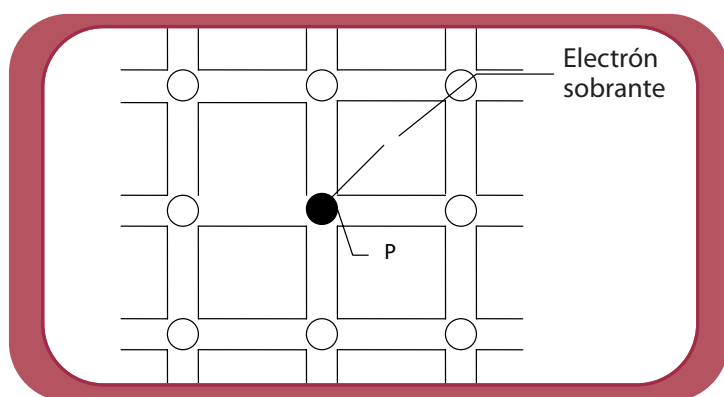
La técnica más ampliamente usada para obtener monocristales de silicio es la conocida como **crecimiento Czochralski**.



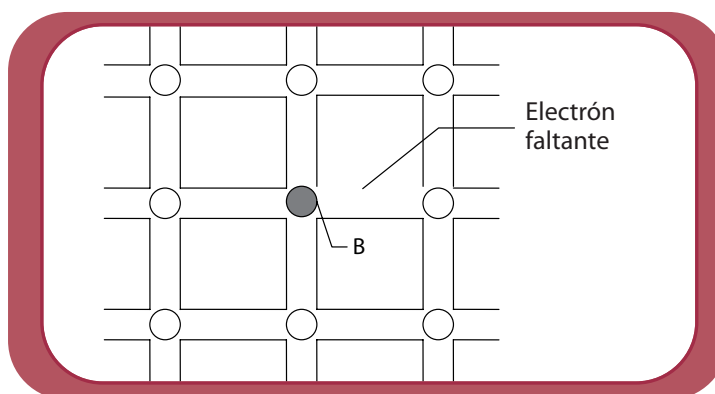
Lo que se hace es fundir el silicio en un horno apropiado bajo atmósfera inerte e introducir en la fundición una “semilla”, esto es un monocristal de silicio con la orientación cristalina con que se desea crecer el lingote. Simultáneamente, se rota la semilla respecto del crisol y se tira hacia arriba. Todo el proceso se hace a velocidades y temperatura controladas. En la fundición del *Si* se pueden introducir impurezas controladas; dependiendo de qué tipo sean, tendremos un *Si* de tipo *p* o de tipo *n*.

Los átomos de silicio se “pegan” a la semilla copiando la estructura cristalina de ésta. El silicio se comienza a solidificar a medida que sale de la fundición obteniéndose un lingote cilíndrico que puede llegar a las 6” de diámetro y 1 a 2 metros de longitud.

En este proceso, se agregan al *Si*, trazas de fósforo (es decir una cantidad muy pequeña: $\approx 1\text{ ppm}$, es decir un átomo de fósforo cada 1000000 de átomos de silicio). Si nos fijamos en la tabla periódica, el fósforo tiene un electrón más que el silicio; digamos que si insertamos átomos de fósforo en la red cristalina nos va a sobrar un electrón por cada átomo insertado. Este material que contiene un exceso de electrones respecto del silicio puro se denomina silicio **tipo n**; en este caso decimos que el silicio está dopado con fósforo.



De manera análoga, podemos pensar qué pasa si dopamos al silicio con boro: en este caso va a faltar un electrón por cada átomo de boro y lo que tenemos es un exceso de agujeros o huecos, es decir de lugares donde falta un electrón; este material se llama ahora silicio **tipo p**.



Si unimos estos dos tipos de materiales obtenemos una juntura *p-n*, que no es más que el conocido diodo. Al unirlos se produce un reajustamiento de las cargas: los electrones en exceso en el lado *n* tienden a ir al lado *p*, donde hay faltante de ellos.

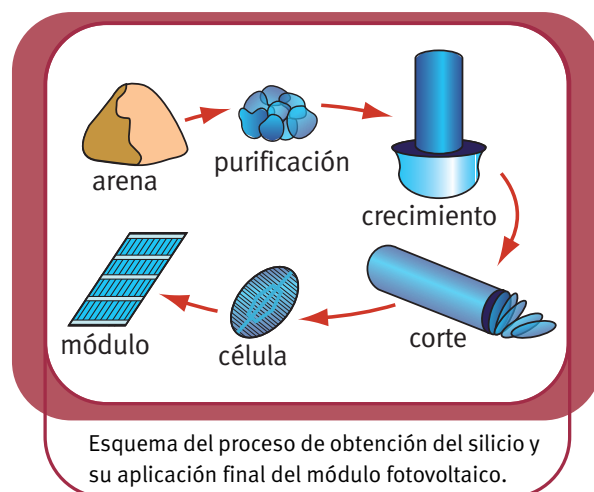
Como resultado de esto, el lado *n* queda con una carga neta positiva debido a los núcleos de fósforo, y el lado *p* queda con una carga neta negativa debido al exceso de electrones. Se genera, de esta forma, un campo eléctrico en el interior del material. Este campo eléctrico lo que hace es empujar las cargas permitiendo que éstas lleguen a los contactos metálicos situados en la superficie. Existe además, otro método de purificación del lingote de *Si* denominado Zona flotante. Éste consiste en una refundición del lingote crecido por el método Czochralski, calentarlo en forma localizada y así sacar las impurezas a la superficie.



Fotografía del crecimiento de monocristales empleando la Técnica Zona Flotante.

Dado que sólo hacen falta unos 100 micrones (0,1 mm) de silicio para absorber prácticamente todos los fotones, se corta el lingote en obleas de unos 300 micrones de espesor (espesor que da una producción razonable de obleas sin que se rompan al cortarlas. Más de la mitad del material se pierde en el proceso de corte).

Finalmente, con un ataque químico se elimina el daño superficial producido por el corte. Ya tenemos las obleas; lo que sigue es obtener a partir de ellas las celdas solares, los dispositivos electrónicos, los integrados, etc.



Esquema del proceso de obtención del silicio y su aplicación final del módulo fotovoltaico.

11.5. Aplicaciones

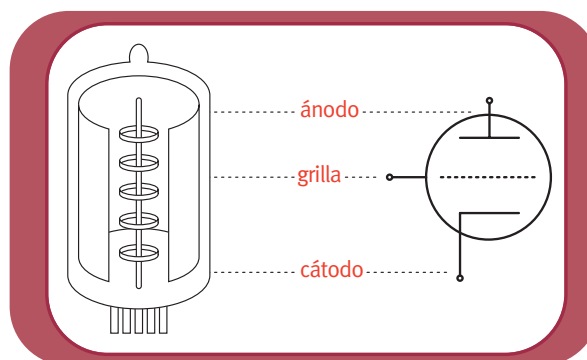
- Por sus propiedades, el silicio monocristalino es el material base de la industria electrónica y microelectrónica para la fabricación de transistores, celdas solares y todo tipo de dispositivos semiconductores.
- Existen otros importantes usos del silicio que no requieren de un material de alta cristalinidad y pureza. Se lo utiliza como elemento de aleación en fundiciones, en la preparación de las siliconas, en la industria de la cerámica, en la fabricación de vidrio para ventanas y aislantes y esmaltados.

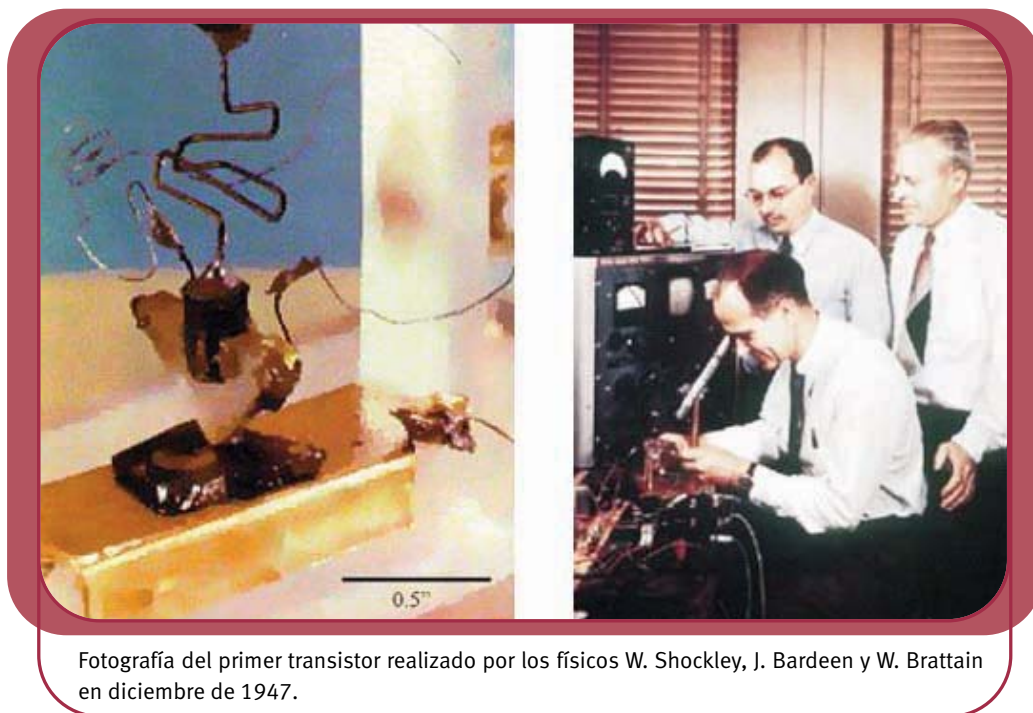
- El dióxido de silicio (arena y arcilla) es un importante constituyente del hormigón y los ladrillos y se emplea en la producción de cemento Portland. Se lo emplea, además, como elemento fertilizante en forma de mineral primario rico en silicio para la agricultura.
- El carburo de silicio es uno de los abrasivos más importantes. Se usa en la fabricación de láseres para obtener una luz con una longitud de onda de 456 nm.
- El silicio es el constituyente principal de la silicona. La silicona es un polímero inodoro e incoloro que se usa en medicina en implantes de seno y lentes de contacto.
- Es inerte y estable a altas temperaturas, lo que la hace útil en gran variedad de aplicaciones industriales, como lubricantes, adhesivos, impermeabilizantes y en aplicaciones médicas, como prótesis valvulares cardíacas e implantes de mamas.

11.6. El silicio y la microelectrónica

El desarrollo de la electrónica y de sus múltiples aplicaciones fue posible gracias a la invención del transistor ya que éste superó, ampliamente, las dificultades que presentaban sus antecesores, las válvulas. En efecto, las válvulas, inventadas a principios del siglo XX, habían sido aplicadas exitosamente en telefonía como amplificadores y, posteriormente, popularizadas en radios y televisores. Sin embargo, presentaban el inconveniente que consumían mucha energía para funcionar. Esto provenía del hecho de que, en las válvulas, se calienta eléctricamente un filamento (cátodo) para que emita electrones que, luego, son colectados en un electrodo (ánodo), estableciéndose así una corriente eléctrica. Luego, por medio de una pequeña tensión aplicada entre una grilla y el cátodo se logra el efecto amplificador, controlando el valor de la corriente, de mayor intensidad, entre cátodo y ánodo. El filamento no sólo consumía mucha energía, sino que también solía quemarse, o las vibraciones lograban romperlo, por lo que las válvulas terminaban resultando poco confiables. Además, como era necesario evitar la oxidación del filamento incandescente, la válvula estaba conformada por una carcasa de vidrio que contenía un gas inerte o vacío haciendo que el conjunto resultara muy voluminoso.

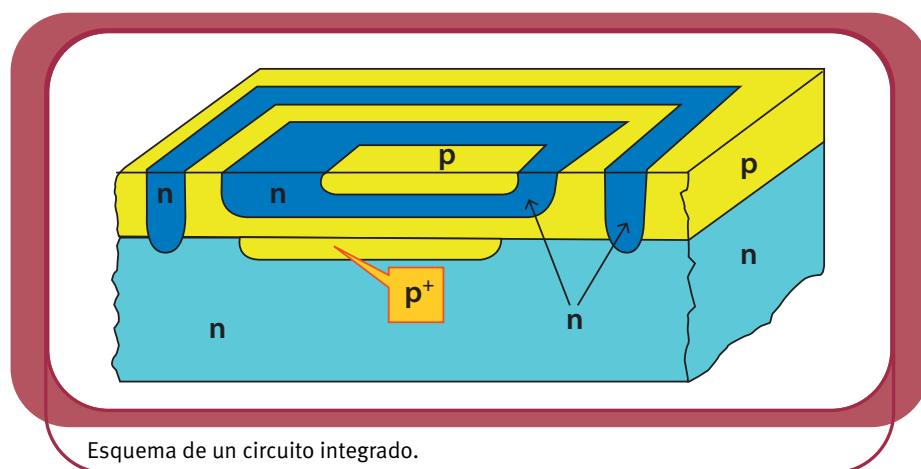
Los transistores desarrollados en 1947 por los físicos W. Shockley, J. Bardeen y W. Brattain, resolvieron todos estos inconvenientes y abrieron el camino que, junto con otras invenciones –como la de los circuitos integrados–, potenciarían el desarrollo de las computadoras, electrodomésticos y hasta teléfonos celulares.





Los transistores se basan en las propiedades de conducción eléctrica de materiales semiconductores como lo son el silicio y el germanio. Particularmente el transporte de cargas eléctricas en estos dispositivos se da a través de junturas, conformadas por el contacto de materiales semiconductores donde los portadores de carga son de distintos tipos: huecos (tipo *p*) o electrones (tipo *n*).

Los diez años posteriores a la invención del primer transistor se realizaron importantes adelantos en este campo: se inventaron distintos tipos de transistores (de punto, de juntura, de campo), basados en distintas propiedades básicas; se emplearon distintos materiales, inicialmente, el germanio (1948) y, posteriormente, el silicio (1954) que domina la industria de los semiconductores de la actualidad; se logró construir una gran cantidad de transistores, otros elementos y los circuitos para acoplarlos directamente sobre una oblea de silicio a lo que se le dio el nombre de circuito integrado (CI) (1958).



La integración en escala muy grande de sistemas de circuitos basados en transistores en circuitos integrados (CI) o “chip” comenzó en los años ochenta, como parte de las tecnologías de semiconductores y comunicación que se estaban desarrollando.

Los primeros CI contenían sólo un transistor cada uno. A medida que la tecnología de fabricación fue avanzando, se agregaron más y más transistores y, en consecuencia, más y más funciones fueron integradas en un mismo CI.

Atendiendo al nivel de integración, es decir del número de componentes, los circuitos integrados se clasifican en: SSI (Small Scale Integration) pequeño nivel: inferior a 12, MSI (Medium Scale Integration) medio: 12 a 99, LSI (Large Scale Integration) grande: 100 a 9.999, VLSI (Very Large Scale Integration) muy grande: 10.000 a 99.999 y ULSI (Ultra Large Scale Integration) ultra grande: igual o superior a 100.000.

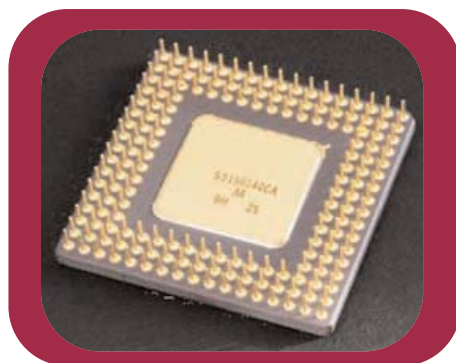


Circuitos integrados sobre una oblea de Si.

La historia de los circuitos integrados podría explicar porqué nuestro mundo está lleno de ellos pudiendo encontrar muchos en las computadoras. **Por ejemplo, la mayoría de las personas ha escuchado, probablemente, de los microprocesadores. El microprocesador es un circuito integrado que procesa toda la información en la computadora, éste mantiene un registro de las teclas que se han presionado y de los movimientos del mouse, cuenta los números y corre los programas, juegos y el sistema operativo.**

También pueden ser encontrados en todos los aparatos electrónicos modernos como lo son automóviles, televisores, reproductores de cd's, reproductores de MP3, teléfonos celulares, etc.

En los primeros circuitos integrados, los transistores tenían dimensiones típicas de alrededor de 1 cm. En 1971 el microprocesador de Intel 4004 tenía unos 2.000 transistores, mientras que hoy en día, un Pentium IV tiene unos 10 millones de transistores, con dimensiones típicas de alrededor de 0,00001 cm. Desde 1970, cada año y medio, aproximadamente, las dimensiones de los transistores se fueron reduciendo a la mitad (ley de Moore). Si se los hace aún más pequeños dejarán de funcionar como esperamos ya que empezarán a manifestarse las leyes de la mecánica cuántica.



Fotografía de un microprocesador Intel 40486

Para seguir progresando, deberá entonces concebirse una nueva generación de microprocesadores basados en las propiedades que la materia manifiesta en las escalas nanométricas.

En la actualidad, las compañías más importantes que producen CIs VLSI: son Intel, Texas Instruments, Samsung, Advanced Micro Devices (AMD), IBM, NEC, entre otros.

Los procesos, generalmente, usados en la fabricación de circuitos integrados son: crecimiento epitaxial, oxidación, implantación iónica, difusión en estado sólido, deposición y fotolitografía.

11.7. Silicio y las celdas solares

Durante los siglos XIX y XX, mucha gente intentó transformar la energía solar en potencia utilizable. A pesar de que algunos intentos fueron técnicamente exitosos, ninguno de ellos pudo ser comercialmente sostenible. La esperanza de convertir energía solar en electricidad pudo haber terminado si no hubiera sido por el advenimiento de la energía fotovoltaica.

En 1876 fue descubierta la primera celda solar de estado sólido de selenio, muchos años después, un norteamericano, Charles Edward Frits, construyó el primer módulo de celdas de selenio. Durante los finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX los investigadores trabajaron en las celdas de selenio con la esperanza de poder brindar energía al mundo. Pero la realidad de que las celdas de selenio no podían convertir más del 0,1% de la energía que les llegaba en electricidad terminó con sus sueños. Aún así, estos pioneros probaron que algunos materiales de estado sólido podían convertir, directamente, energía solar en electricidad sin la necesidad de partes móviles, generación de calor o movimiento de fluidos.

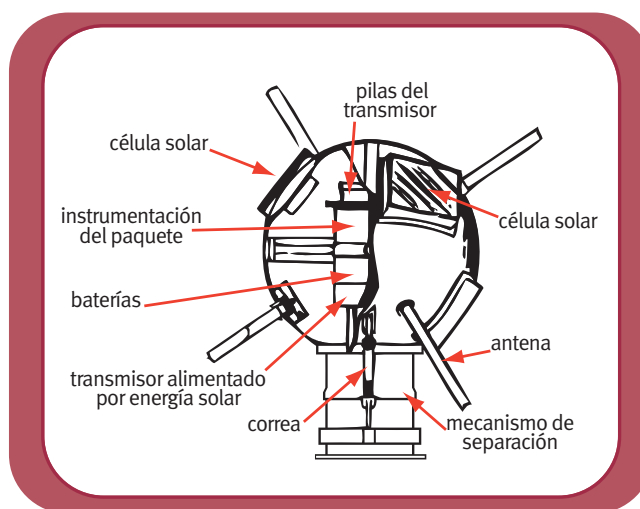
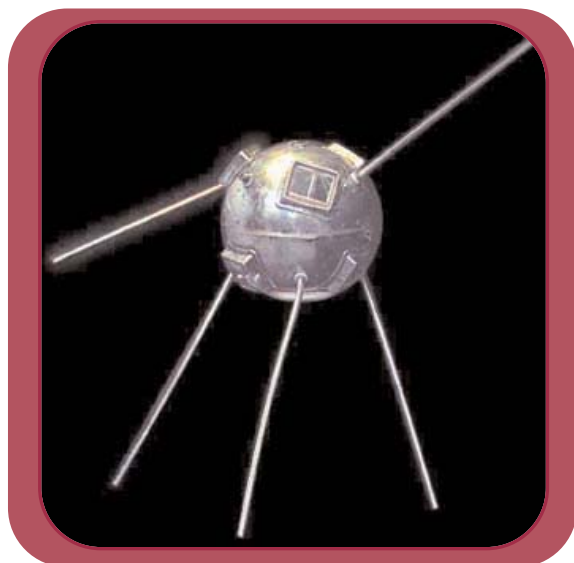
En la primavera de 1953, mientras se desarrollaban los primeros transistores, Gerald Pearson, un físico de los Laboratorios Bell, descubrió que cuando el silicio especialmente tratado es puesto bajo la luz del sol, éste puede producir, significativamente, más electricidad que el selenio. Este descubrimiento, alentó nuevamente a seguir investigando la conversión fotovoltaica. Dando como resultado, después de un año de intensivos trabajos de investigación y desarrollo, que Pearson y otros investigadores de los Laboratorios Bell (Daaryl Chapin y Calvin Fuller), presentaron al mundo la primera celda solar capaz de producir suficiente electricidad para utilizar algún equipamiento eléctrico. Durante los años 50, la industria de la electrónica del semiconductor evolucionó muy rápidamente como también el diseño de las celdas solares.

Este descubrimiento se hizo público en 1954, atrayendo los titulares de la primera página del New York Times: “El vasto poder del sol se aprovecha por medio de una batería usando ingrediente de la arena” (26 de abril de 1954) y en Wall Street Journal.

Transformar la energía solar directamente en electricidad hace que las celdas solares sean, particularmente, confiables y libres de mantenimiento. Esto, junto a la necesidad de tener energía más allá de la carga que era capaz de almacenar una batería, animó a los investigadores a utilizar a las celdas solares como fuente de energía de los primeros vehículos espaciales.

Las celdas solares han sido una efectiva fuente de energía por más de 35 años tanto en satélites como en distintos vehículos espaciales. La primera vez que se utilizaron para la provisión de energía eléctrica en un satélite fue el 17 de marzo de 1958 a bordo del “Vanguard I”. Se

utilizaron 6 pequeños módulos de celdas de silicio desarrolladas en 1954 por los Laboratorios Bell, que proveían energía eléctrica a un transistor de germanio cuya señal fue recibida por más de 4 años.



Satélite Vanguard I y esquema de sus componentes

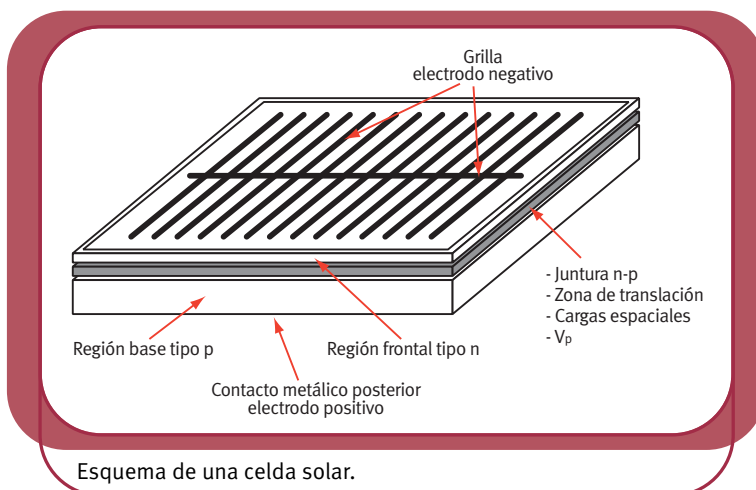
En 1962, BTL lanzó el satélite Telstar I, que fue el primer satélite comercial de comunicaciones en utilizar celdas solares de silicio. Las mismas fueron elegidas tras haber sido ensayadas en condiciones de radiación espacial simulada por su buen funcionamiento.

Hasta los años setenta, las celdas de *Si* fueron las de mayor eficiencia y, prácticamente, dominaban no sólo el mercado espacial sino también el terrestre, pero a partir de esta fecha, se crearon ciertos programas espaciales de las fuerzas armadas de los EE.UU. (MANTECH) para verificar la factibilidad de utilizar celdas de GaAs para algunos usos específicos. Esto es porque este tipo de celdas permitiría una mayor eficiencia de conversión fotovoltaica.

Paralelamente, la empresa japonesa SHARP, comenzó con el desarrollo de celdas de *Si* para uso espacial en 1967, poniendo las primeras celdas en vuelo a bordo del satélite ISS diseñado para estudiar la ionósfera en 1975. **Sharp ha suministrado muchos tipos de celdas de silicio para más de 70 satélites comerciales hasta nuestros días. La eficiencia de las celdas de *Si* para uso espacial se incrementó del 10% en los años 70 a alrededor del 15% hacia finales de los 80, teniendo actualmente valores cercanos de hasta el 30% para algún tipo de tecnología fotovoltaica.**

El desarrollo de éstas y otros nuevos tipos de celdas para uso espacial, ha continuado desde sus comienzos y continuará en busca de mejorar su eficiencia, confiabilidad y precio para dar mayores y mejores prestaciones en vehículos espaciales.

Las celdas fotovoltaicas de mayor uso son las de *Si* y pueden estar formadas por *Si* monocristalino, policristalino o amorfo. Las dos primeras se utilizan para la producción de energía en gran escala por su estabilidad y mayor eficiencia; las amorfas se emplean para aplicaciones de baja potencia, como alimentación de calculadoras, relojes y juguetes.



Esquema de una celda solar.

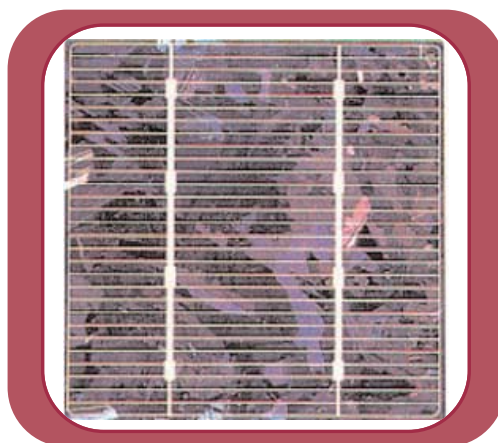
La mayoría de las celdas solares vendidas hasta el momento usan obleas de silicio como materia prima. El material de partida, como ya se mencionó, puede ser arena, aunque, normalmente se usa cuarzo puro. **Calentando con carbón se extrae el oxígeno dejando, solamente, el silicio.** Éste se purifica (por destilación fraccional como se refina el petróleo, formando un compuesto de silicio volátil y re-extrayendo el silicio después que este compuesto es purificado).

Así, el silicio purificado se funde y se solidifica en un cristal perfecto (silicio monocristalino). Una vez formado el lingote se corta en “rebanadas” de láminas individuales denominadas obleas.



Materiales del Silicio a la celda solar: a) granas de silicio, b) lingote de silicio cristalino, c) obleas de silicio, d) celdas solares de Si monocristalino.

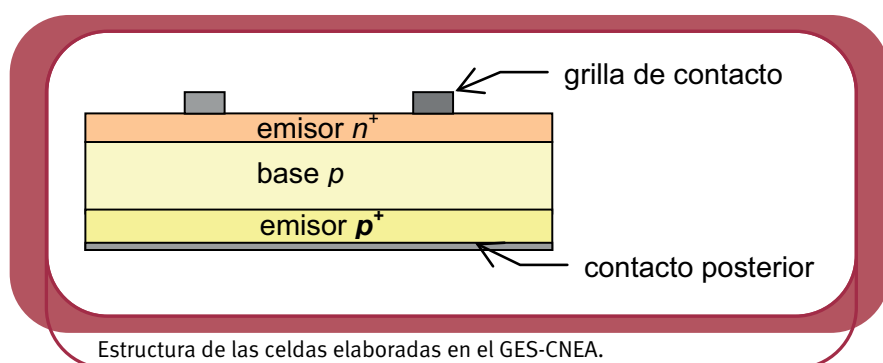
Si al lingote fabricado no se le agregan impurezas se lo denomina *Si* intrínseco. Para la elaboración de celdas en general están dopados con impurezas, por ejemplo con boro, que hace que el silicio sea tipo *p*. Así, para la formación de la juntura, ya sea para fabricar un diodo o una celda solar, se debe realizar un proceso para dopar la superficie de la oblea y obtener *Si* tipo *n*.



Celda solar de silicio policristalino.

Los procesos que se detallan, si bien son más o menos estándares, son los utilizados en el laboratorio fotovoltaico del Grupo Energía Solar (GES) de la C.N.E.A. y guardan ciertas diferencias con los procesos de fabricación en serie. Se describe en detalle esta tecnología debido a que es similar a la de elaboración de microcomponentes aunque las dimensiones de los dispositivos, en general, son mayores.

En general, la estructura de una celda solar convencional es una juntura $n-p$ como la que se mencionó para la formación de la juntura del diodo. Para lograr mayor eficiencia es necesario recurrir a diseños más sofisticados y fabricar estructuras más complejas como, por ejemplo, la introducción de un dopaje mayor en la cara posterior, difusiones con distintos dopajes en zonas localizadas de la oblea, contactos en la cara posterior para reducir las sombras, etc., además de tratamientos superficiales que reducen la reflectancia de la celda.



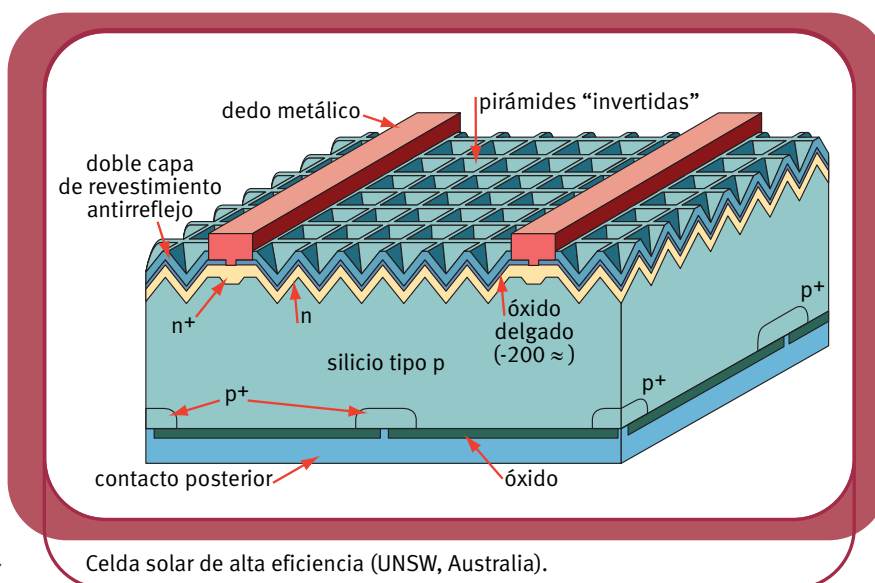
Estructura de las celdas elaboradas en el GES-CNEA.

Como las obleas ya están dopadas con un tipo de impureza (en general con boro, es decir tipo p), es necesario hacer lo que se denomina *difusión* de una impureza del otro tipo, en este caso tipo n , creando así la juntura $p-n$.

Como ya se mencionó, la celda solar para que funcione como

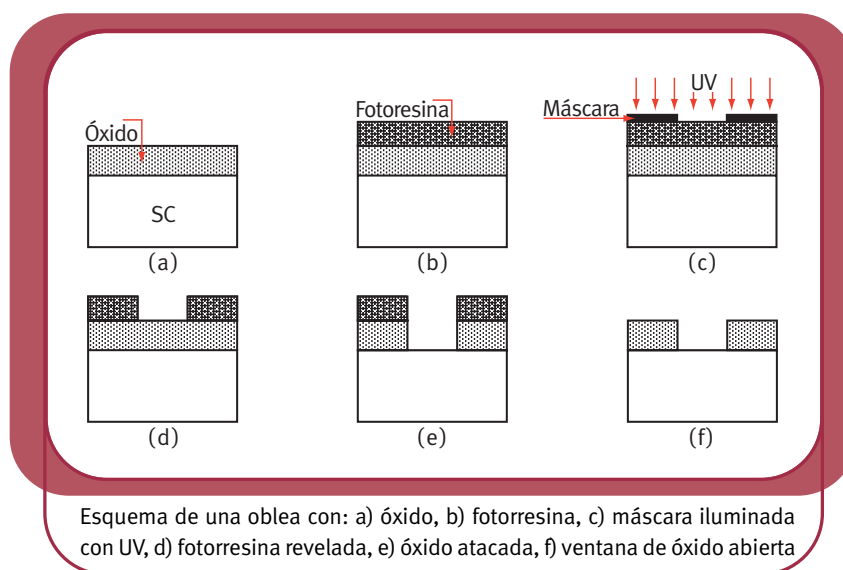
generador necesita una juntura $n-p$ y sobre su superficie una grilla metálica para poder extraer esa corriente generada al incidir luz solar y poder interconectar celdas entre sí y formar un panel solar.

En algunos casos, en celdas solares con estructuras más complejas y en dispositivos electrónicos más frecuentemente, es necesario localizar o delimitar la zona difundida. Para ello se realiza una oxidación en las obleas en un horno a alta temperatura (de 900° a 1200°C) en un ambiente de oxígeno ultrapuro. El óxido formado en la superficie actúa como barrera para la

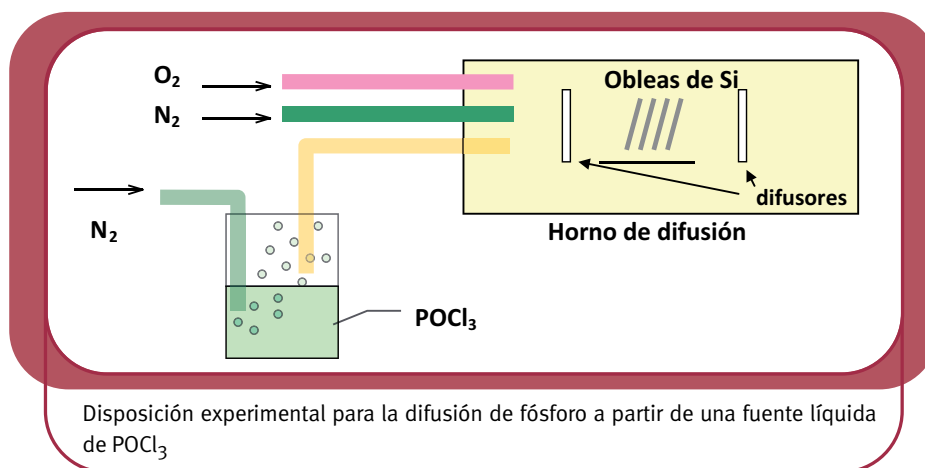


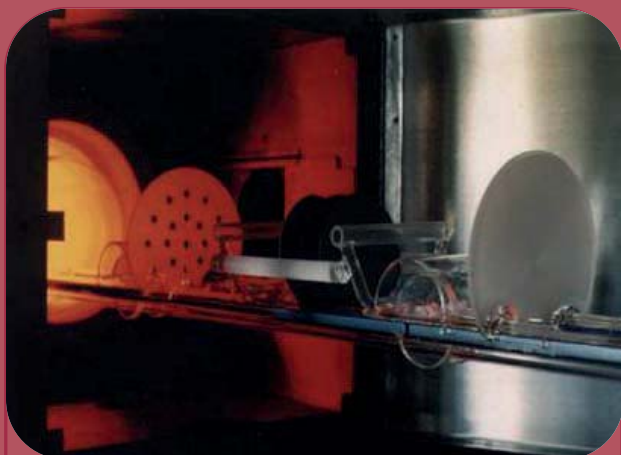
Celda solar de alta eficiencia (UNSW, Australia).

difusión de fósforo posterior y no podrá penetrarla. Para poder realizar la juntura se debe abrir una ventana en la capa de SiO_2 superficial que, dependiendo de su espesor debido a la incidencia de la luz, tienen distintos colores. Esta ventana se delimita con la técnica de fotolitografía (también utilizada como se explicará, luego, para la formación de contactos y también la fabricación de circuitos impresos). Se deposita sobre la superficie una resina sensible en este caso a la luz ultravioleta; se coloca una máscara que deja pasar la luz en la zona donde queremos la difusión y se la expone un tiempo determinado a la luz UV; se elimina la zona donde incidió la luz UV con un líquido revelador (similar al de las películas fotográficas) y, luego, se ataca químicamente el SiO_2 expuesto. Así luego de remover la fotorresina que ya no tendrá ninguna función, queda abierta una ventana en el óxido donde luego se realizará la difusión.



El paso siguiente es la formación de la juntura y, como dopante tipo n , se utiliza fósforo. El proceso de difusión se realiza en un horno a alta temperatura (típicamente 900°C) según se muestra en la siguiente figura. El dopante se obtiene de una fuente líquida de oxicloruro de fósforo (POCl_3). El fósforo se lleva hacia el interior del tubo por burbujeo de nitrógeno en el recipiente que contiene el POCl_3 y usando un caudal mayor de nitrógeno como gas de arrastre.





Inserción de las obleas al horno a alta temperatura para el proceso de difusión

En el horno a alta temperatura en un ambiente de O_2 y N_2 el $POCl_3$ se descompone haciendo que el P se deposite sobre la superficie del Si y, mediante el recocido por difusión, penetra en la red del Si dopándolo. Existen otros procesos además de la difusión con fuente líquida para realizar el dopaje de la superficie de una oblea, tal como la difusión con una fuente sólida o la implantación iónica entre otras.

En la difusión con fuente sólida, el dopante (B o P) viene en una pastilla de un compuesto que lo contiene y se coloca

ubicado al lado de la oblea, a alta temperatura y en un ambiente adecuado se produce la reacción que descompone el compuesto y libera el dopante que se deposita en la superficie de la oblea y, así, por temperatura difunde.

El otro método mencionado para la realización de juntura es la implantación iónica que consta del bombardeo con partículas energéticas sobre la superficie de la oblea que, debido a la energía que traen, se introducen en la red del silicio dopándolo igual que en la difusión.

Cabe aclarar que los procesos que se llevan a cabo a altas temperaturas implican que la limpieza de las obleas es crítica, debido a que trazas de contaminantes deterioran, fuertemente, las características eléctricas de los dispositivos y, por lo tanto, además, deben realizarse en laboratorios con el ambiente libre de polvo, denominados áreas limpias. El proceso de limpieza utilizado se denomina limpieza MOS que es la limpieza que se utiliza en estos dispositivos (MOS entre otros).

Los dispositivos microelectrónicos más complejos requieren ámbitos lo más limpios posibles ya que un contaminante (del orden atómico) puede llegar a perjudicar al dispositivo por completo debido al tamaño pequeño de los mismos. En las celdas solares esta contaminación, si bien puede deteriorar las características eléctricas del dispositivo final, dado que tiene un gran tamaño (comparado con los microchips), este efecto se ve minimizado.

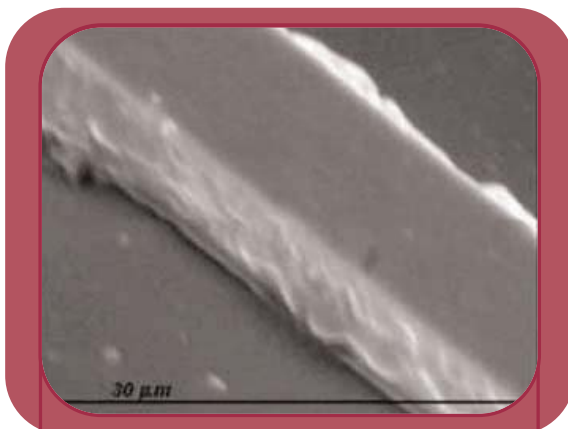
En las empresas dedicadas a la fabricación de microdispositivos, la manipulación se realiza mediante máquinas y, en algunos casos, automatizadas, evitando al máximo el contacto entre los operadores y los elementos para la fabricación.

11.7.1. Depósito de contactos

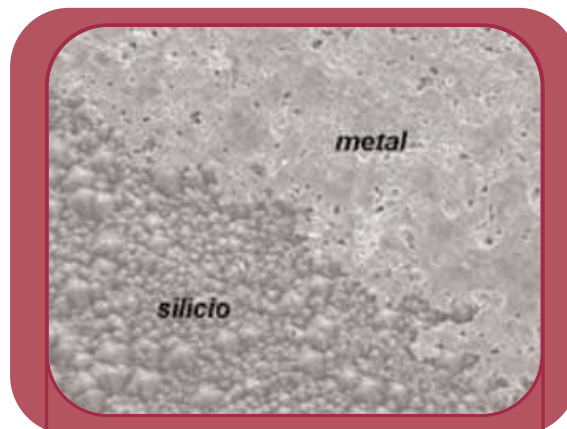
Los contactos eléctricos, tanto en una celda solar como en un dispositivo microelectrónico, son necesarios para realizar la conexión ya sea con otras celdas u otros dispositivos. En una celda solar, además, debe dejar pasar la luz del sol para que pueda generar electricidad.

Industrialmente, el proceso utilizado para elaborar los contactos eléctricos en las celdas solares es la serigrafía, para lo cual se utiliza una máscara sobre la cual se esparce una pasta que contiene plata dejando estampada la grilla metálica.

En la elaboración de celdas de alta eficiencia se deben utilizar procesos más sofisticados como la fotolitografía para la elaboración de la grilla. Mediante este método se logran contactos más definidos y con un mejor control de su tamaño.

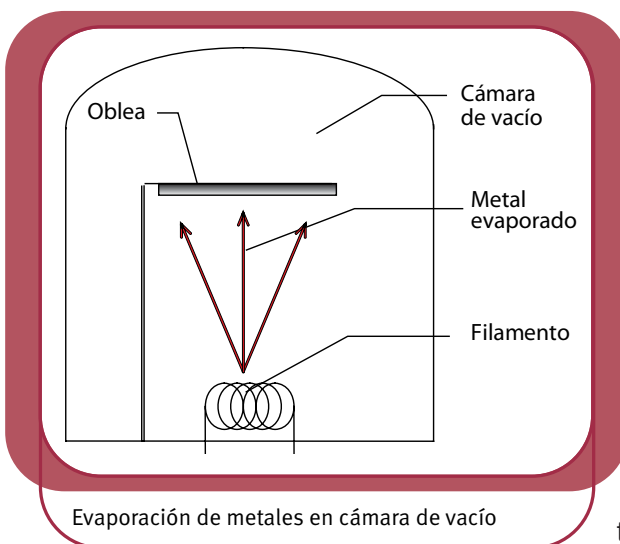


Contacto metálico elaborado mediante fotolitografía



Serigrafía

Los contactos eléctricos de las celdas de alta eficiencia se realizan depositando una multicapa de titanio-paladio-plata. El titanio se utiliza por su excelente adherencia al silicio; mientras que la plata se utiliza por su buena conductividad eléctrica y su facilidad para soldar. El paladio previene reacciones indeseables entre el titanio y la plata. El depósito de estas capas se realiza evaporando, sucesivamente, los metales en cámara de vacío.



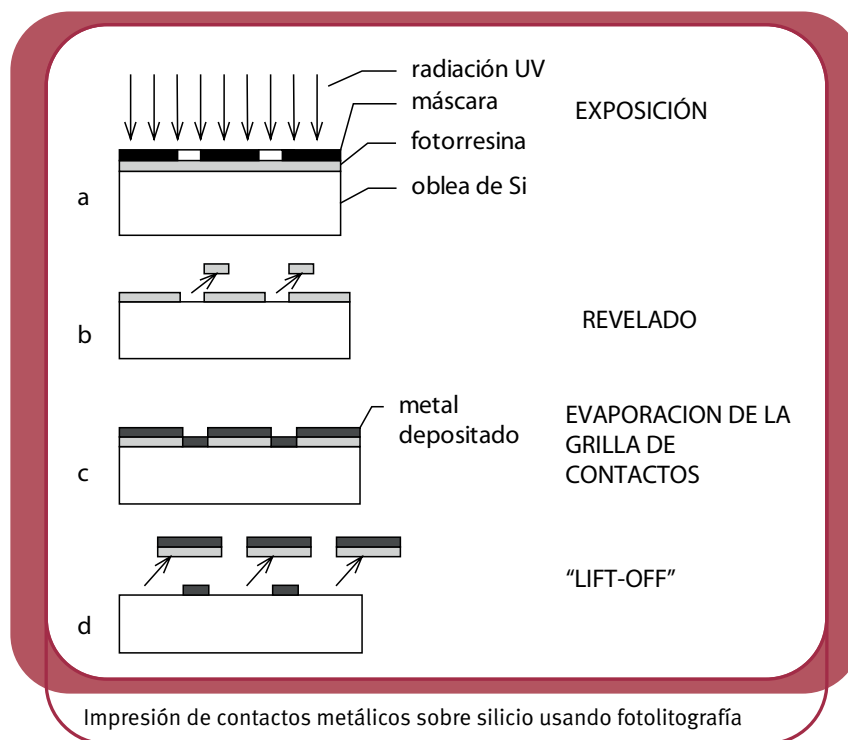
Evaporación de metales en cámara de vacío

En la cara frontal se deposita una grilla de contactos la cual debe tener las siguientes características: **hacer la menor sombra posible y presentar la menor resistencia eléctrica posible**. Ambos son objetivos contrapuestos: para obtener menos resistencia se necesita más metal y, por lo tanto, habría más sombra; en el diseño de la grilla se adopta, entonces, una relación de compromiso entre ellos. La técnica de fotolitografía, también, se utiliza para la elaboración de los contactos sobre la superficie frontal de la celda.

En esta etapa también se deposita una capa de

resina fotosensible sobre la superficie de la oblea. Con la máscara sobre la muestra se ilumina con luz ultravioleta exponiendo la fotorresina en la zona donde la máscara no hace sombra. El paso siguiente es el revelado de la fotorresina quedando, entonces, impreso el patrón de la máscara sobre la fotorresina.

Luego, se evaporan los metales en la cámara de vacío adhiriéndose el metal donde se reveló la fotorresina; y queda expuesto el silicio. Finalmente, se disuelve la resina remanente que se lleva consigo el metal depositado en las zonas que quedaron cubiertas por la resina, proceso que se denomina *lift-off*. Por último se realiza un recocido a 400°C para realizar un sinterizado de los contactos y mejorar el contacto óhmico entre el metal y el semiconductor.



11.7.1.1. Tratamientos antirreflectantes

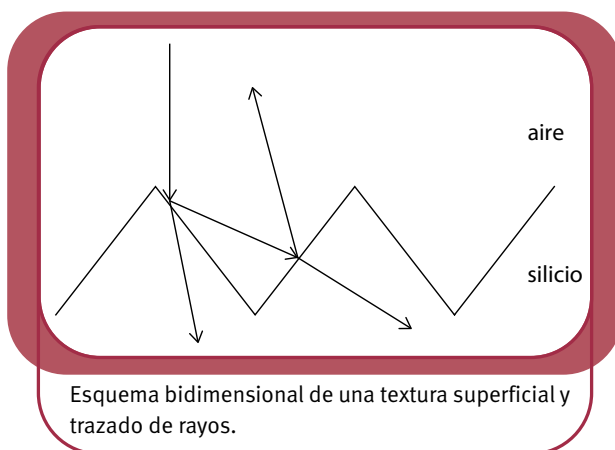
El silicio posee una reflectividad relativamente alta: refleja, aproximadamente, el 30% de la radiación que recibe. Es más, si uno ve una oblea de silicio pulida espejo, tiene un aspecto metálico y brillante. La radiación reflejada es energía que no se aprovecha para la conversión; resulta necesario, entonces, realizar sobre la celda algún tipo de tratamiento antirreflectante (AR).

Los métodos utilizados son los siguientes:

- depósito de capas dieléctricas AR
- textura superficial
- textura + capa AR

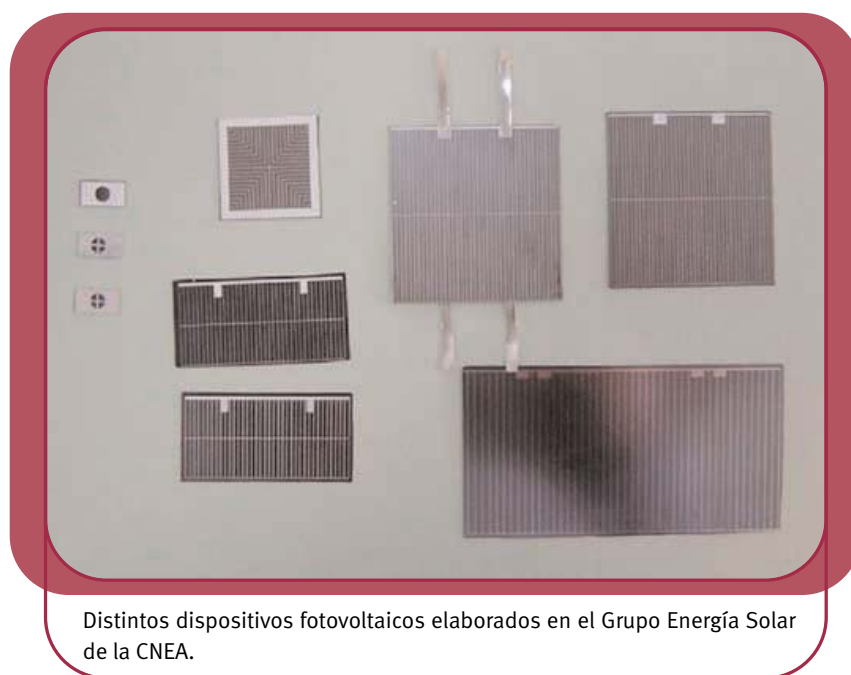
El depósito de una o varias capas dieléctricas se basa en el fenómeno óptico de interferencia. Se debe elegir un material transparente, de índice de refracción intermedio entre el silicio ($n=3,5$) y el aire ($n=1$) y debe depositarse un espesor adecuado. La capa AR produce un descenso en la reflectividad siendo ésta llevada a, aproximadamente, el 10%, contra el 30% del silicio solo. Esta cifra puede ser reducida al 4% si se usan dos capas dieléctricas convenientemente optimizadas.

La segunda alternativa, la textura superficial, se obtiene por medio de ataques químicos anisótropos. Esto es: ataques químicos cuya velocidad depende de la dirección cristalográfica. Como resultado de esto se producen pirámides microscópicas de base cuadrada de 1 a 10 μm . Los ángulos de las pirámides están determinados por los planos cristalográficos. En el caso del silicio estos son tales que la luz tiene, al menos, dos chances de rebotar en la superficie antes de salir.



Teniendo en cuenta que, en cada reflexión se refleja 0,3 de lo que se recibe, luego de dos rebotes tendremos $0,3 \times 0,3$ que da aproximadamente el 10%.

Finalmente, la combinación de una superficie texturada y una adecuada capa AR da por resultado una reflectividad global de alrededor del 2%.



11.7.1.2. Módulo para uso terrestre

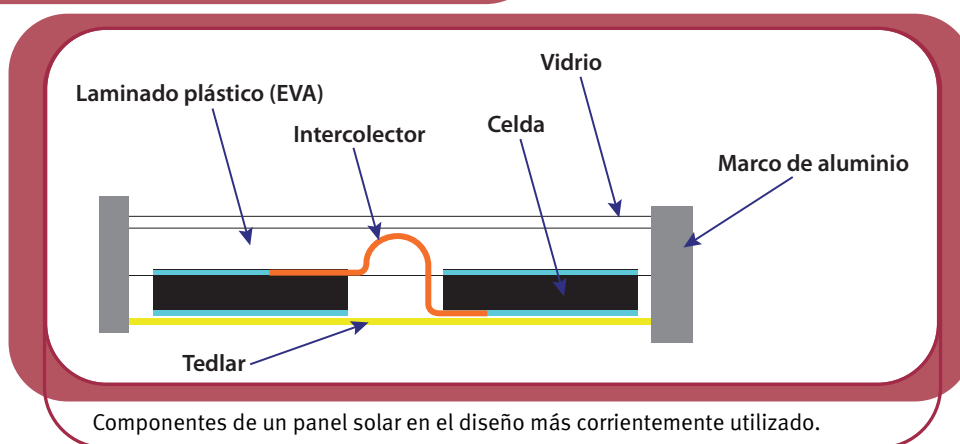
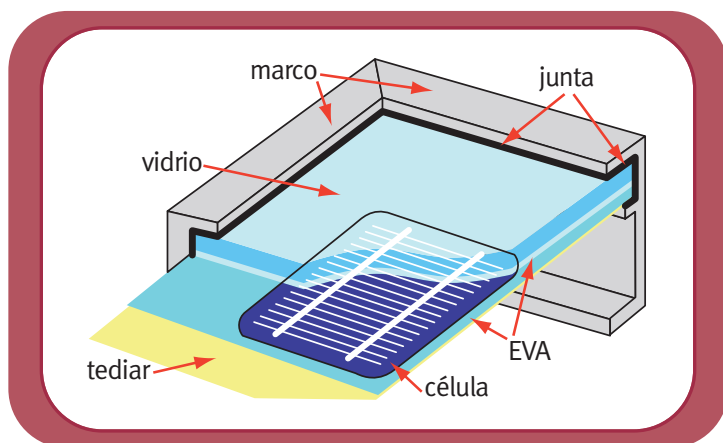
Las celdas solares requieren ser encapsuladas para tener rigidez mecánica, aislamiento eléctrico y algún grado de protección química. Las celdas, su interconexión y su encapsulado conforman lo que se llama módulo o panel. La durabilidad del encapsulado es lo que determinará la vida útil del panel la cual se encuentra entre los 20 y 30 años.

Las características que debe reunir el encapsulado son las siguientes:

- estabilidad ante la radiación ultravioleta,
- tolerancia a temperaturas extremas y

- cambios bruscos de temperatura,
- resistencia a la abrasión en tormentas de polvo,
- autolimpiado, mantener la temperatura baja para minimizar la pérdida de potencia, y
- bajo costo.

Un corte esquemático del panel se puede ver en la figura presentada abajo.



Componentes de un panel solar en el diseño más corrientemente utilizado.

En el año 2001 se realizó en el GES-CNEA la interconexión de 36 celdas conectadas en serie y su posterior encapsulado en la empresa Solartec S.A. Este panel de, aproximadamente, 3W proveerá de energía eléctrica a un motor para el sistema de seguimiento de una cocina solar elaborada en el INENCO-UNSa.



Panel solar para uso terrestre elaborado en el GES-CNEA.



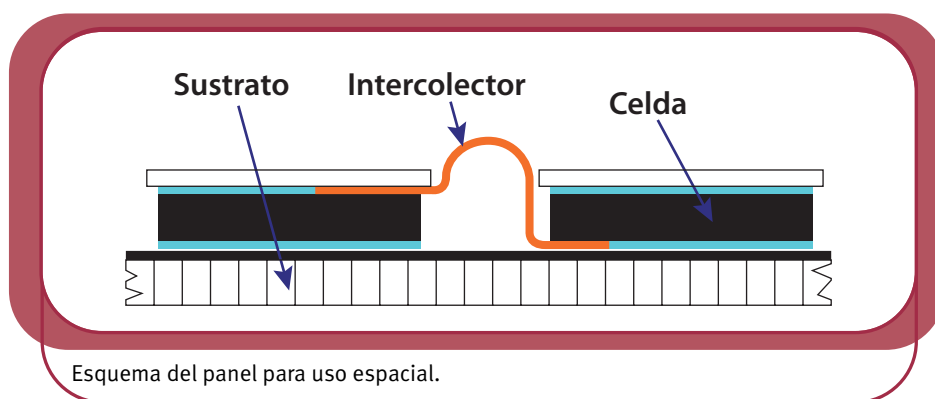
Cocina solar elaborada en el INENCO-UNSa y módulo fotovoltaico.

11.7.1.3. Módulos para uso espacial

El uso espacial de las celdas solares fue la primera aplicación de estos dispositivos y, en un principio, la única debido a su elevado costo. Por sus limitaciones en peso y área, la eficiencia de los dispositivos es un parámetro muy importante. Los materiales más utilizados en celdas fotovoltaicas para paneles espaciales son el GaAs y el Si.

Al no estar protegidas por la atmósfera terrestre las celdas en el espacio sufren el deterioro de alta radiación y bombardeo de partículas de alta energía que degradan la calidad del material constitutivo de las celdas. Se estima que la vida útil en estas condiciones queda reducida a unos siete años.

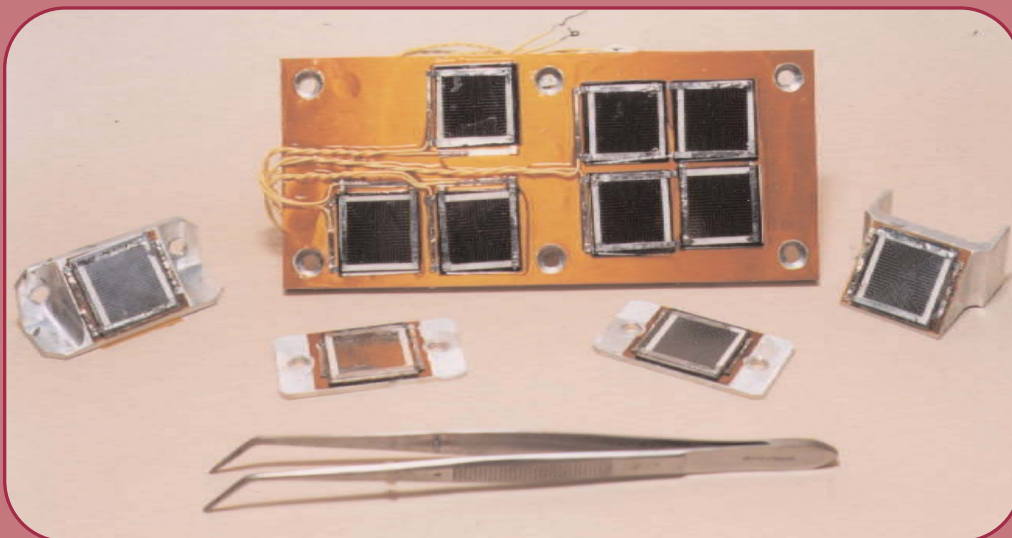
Básicamente, la diferencia entre los módulos fotovoltaicos para uso terrestre y espacial radica en la protección que se le debe dar a cada uno para preservarlo del medioambiente. En Tierra, el módulo se ve expuesto a los factores climáticos, sobre todo humedad, que deteriorarían las celdas y los contactos si no se las protegiera. En el espacio no se ven expuestas a la humedad ambiente pero existen otros factores como el bombardeo de partículas (protones y electrones) atrapadas por el campo magnético terrestre, mayor radiación ultravioleta, micrometeoritos y mayores ciclos térmicos que deterioran la vida útil de los paneles de los satélites.



El 14 de diciembre de 1998 el Transbordador Espacial “Endeavour” puso en órbita el satélite argentino SAC-A desarrollado por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Entre otras experiencias, la carga del SAC-A incluyó un conjunto de celdas solares de silicio monocristalino fabricadas en la CNEA. Este primer experimento de celdas solares argentinas en el espacio que se encuadra dentro de un acuerdo de colaboración entre ambas instituciones cuyo objetivo principal es la puesta a punto en el país de la tecnología de fabricación de paneles solares para usos espaciales.

La estructura del panel estaba formada por una base de Al sobre la que se adhirió una lámina de kapton; sobre esta última se fijaron las celdas solares ya interconectadas, las que a su vez estaban protegidas, frontalmente, con un vidrio. Este vidrio tiene un espesor de 200 μm y está dopado con cerio para evitar el opacamiento producido en el ambiente espacial.

La foto del panel que fue montado en el satélite puede verse en las figuras que se muestran a continuación y se puede ver una foto del satélite tomada desde el transbordador espacial en el momento en que se estaba poniendo en órbita.



Panel de vuelo y sensores de posición.



SAC-A en el momento de su puesta en órbita.

A partir de los datos recibidos por telemetría entre enero y julio de 1999 desde el satélite SAC-A, se analizó el funcionamiento eléctrico de dichas celdas. Los resultados obtenidos se encuentran en buen acuerdo con los obtenidos a partir de los datos satelitales. Los análisis realizados muestran el correcto funcionamiento de los sensores de posición angular y de todas las celdas incluidas en los paneles de ensayo.

Estos primeros experimentos dieron lugar al desarrollo de paneles solares para usos satelitales. El Grupo Energía Solar de la CNEA junto a un grupo interdepartamental del Centro Atómico Constituyentes (CAC) se encuentra trabajando en el desarrollo de paneles solares para misiones satelitales previstas en el Plan Espacial Nacional desde la firma del convenio de cooperación específica entre la CNEA y la CONAE, en marzo de 2001. Este convenio, encuadrado dentro de la Ley No 23.877 de innovación tecnológica, dio lugar a la iniciación en el CAC del Subproyecto Paneles Solares como parte del Proyecto SAOCOM y en la actualidad, también del Proyecto Acuario - SAC-D, para fabricar y ensayar los paneles fotovoltaicos de ambos satélites.

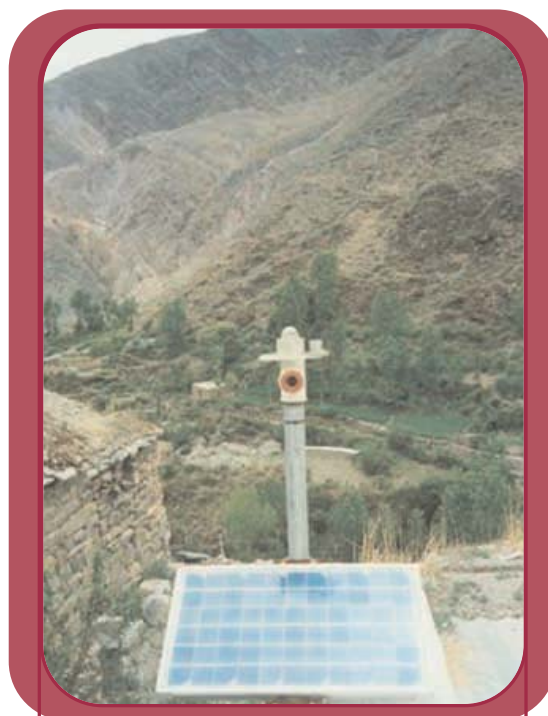
Entre otras aplicaciones de los dispositivos fotovoltaicos se encuentran los sensores de radiación solar o radiómetros. En el año 1998 se inició en la CNEA el desarrollo de radiómetros fotovoltaicos de bajo costo, utilizando como elemento sensor celdas fotovoltaicas de silicio cristalino fabricadas en el Laboratorio Fotovoltaico del Grupo Energía Solar del Centro Atómico Constituyentes. Se diseñaron, fabricaron y calibraron distintos prototipos para analizar el comportamiento de estos sensores y evaluar sus limitaciones. Actualmente se han distribuido en distintos laboratorios del país prototipos comerciales para su evaluación final en campo.

Estos radiómetros tienen tanto aplicaciones terrestres como espaciales en satélites artificiales. En particular, como ya se mencionó el primer experimento de celdas solares argentinas en el espacio, a bordo del satélite SAC-A, incluyó la fabricación de los sensores de posición del satélite SAC-A que formaban parte del sistema de orientación del satélite respecto al sol.

A continuación se muestran los sensores elaborados y la instalación de uno de ellos en Iruya, Salta, al lado de un panel solar.



Radiómetro elaborado en CNEA con sensor fotovoltaico.



Radiómetro instalado en Iruya, Salta.

11.8. Conclusión

En resumen, en estas líneas se ha expuesto, brevemente, una gran proeza de la ingeniería humana: la revolución de la microelectrónica de silicio. Ésta ha tenido un impacto amplio y profundo sobre la sociedad humana en la última parte del siglo XX. No resulta sorprendente, al entrar en el tercer milenio, que el silicio sea probablemente el material mejor conocido por la humanidad.

Con vistas al futuro, la microelectrónica de silicio no va a ceder su papel principal. La tecnología de silicio será explotada para desarrollar nuevas clases de dispositivos basados en nuevas capacidades funcionales.

11.9. Actividades

1) EMPLEO DE LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

Identificación del material en la tabla periódica (silicio), semejanzas y diferencias con los elementos vecinos.

2) CUESTIONARIO SOBRE EL *Si*

- ¿Qué es el silicio?
- ¿Cuáles son las características del *Si*?
- ¿Cuáles son las propiedades del *Si*?
- ¿Cómo se obtiene el *Si*? (Proceso de producción)
- ¿Cuáles son las aplicaciones del *Si*?
- ¿Qué otros materiales conoce que sean semiconductores?

3) SENTENCIAS PARA SELECCIÓN DE VERDADERO O FALSO

- Argentina nunca ha puesto un dispositivo en el espacio. V/F
- Los paneles solares terrestres son iguales a los paneles fotovoltaicos espaciales. V/F
- El silicio sólo se utiliza para fabricar celdas solares. V/F
- Todos los equipos electrónicos poseen dispositivos (transistores, diodos, etc.) fabricados con *Si*. V/F
- El *Si* se encuentra como elemento químico en estado puro en la naturaleza. V/F
- El *Si* es un material semiconductor. V/F
- El *Si* comenzó a utilizarse recién en el siglo XX. V/F
- Las celdas fotovoltaicas de *Si* convierten la luz del sol en electricidad. V/F
- La producción de *Si* data del año 1800. V/F
- Sólo existen celdas solares de *Si*. V/F

4) DESARROLLAR Y AMPLIAR LOS DIEZ ITEM DEL PUNTO 3)

5) TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL *Si*

Desarrollar una monografía sobre los siguientes temas. Se pueden consultar las referencias anteriormente citadas.

- “El silicio y la electrónica” (PC, teléfonos celulares, consolas de videojuegos, MP3, cámaras digitales, iPod, etc.)
- “El silicio y la energía solar” (paneles solares terrestres y espaciales)

Recomendaciones bibliográficas y de páginas web

- Bolzi C.G., Bruno C.J., Godfrin E.M., Martínez Bogado M.G., Merino L.M., Plá J.C., Tamasi M.J.L., Durán J.C., " Primera experiencia de celdas solares argentinas en el espacio: elaboración, caracterización y análisis de datos de telemetría del satélite SAC-A", Energías Renovables y Medio Ambiente 8, 1 (2000)
- G.L. Pearson and B. Sawyer, Silicon P-N Junction Alloy Diode, Proc. IRE, 40, 1348-1351 (1952).
- Jesús A. del Álamo, Departamento de Ingeniería Electrónica y Ciencias de la Computación, Massachusetts Institute of Technology (MIT), NOVATICA / may.-jun. (2000).
- G.K. Teal, Some Recent Developments in Silicon and Germanium Material and Devices, Nat 'l IRE Conf., Dayton, May 10, (1954).
- A. Faigón, Laboratorio de Física de Dispositivos-Microelectrónica, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, (2006).
- Grupo Energía Solar, Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica, Elaboración de celdas solares y paneles fotovoltaicos, (2007).
- W. R. Runyan. Silicon Semiconductor Technology, Texas Instruments Electronics Series, (1965).
- M. Green, Energía fotovoltaica, De la luz solar a la electricidad usando células solares. Ed. Acribia, S.A. (2000).
- Elaboración de celdas solares y paneles fotovoltaicos. Grupo Energía Solar, Gerencia de Investigación y Aplicaciones, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica (2007).
- Conversión fotovoltaica de la energía solar. grupo Energía Solar, Gerencia de Investigación y Aplicaciones, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica (2000).

<http://www.slideshare.net/fmedin1/ud5-la-era-del-silicio-presentation>

<http://www.youtube.com/watch?v=LWfCqpJzJYM>

<http://www.rtve.es/mediateca/videos/20091123/silicio-nuevos-materiales/634906.shtml>

http://www.tandar.cnea.gov.ar/grupos/solar/sol_hpg.html

http://www.energias-renovables.com/Productos/pdf/cuaderno_ERJOVENES.pdf

http://www.energias-renovables.com/Productos/pdf/cuaderno_GENERALpdf

http://www.energias-renovables.com/Productos/pdf/cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog?sc=1958-002B>

<http://www.pv.unsw.edu.au/info/higheff.html>

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog?sc01958-002B>

(este último link, buscarlo con Google y seleccionar la opción traducir esta página).

<http://www.wikipedia.org/wiki/silicio>