Economía
Secretaría de Economía

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

EL SILICIO Y OTROS ELEMENTOS PARA MICROCHIPS

Secretaría de Economía

Servicio Geológico Mexicano

XXXVI Conveción de la AIMMGM

2025
Año de
La Mujer
Indígena

Flor de María Harp Iturribarría

SILICIO

CARACTERÍSITICAS (Alta pureza)

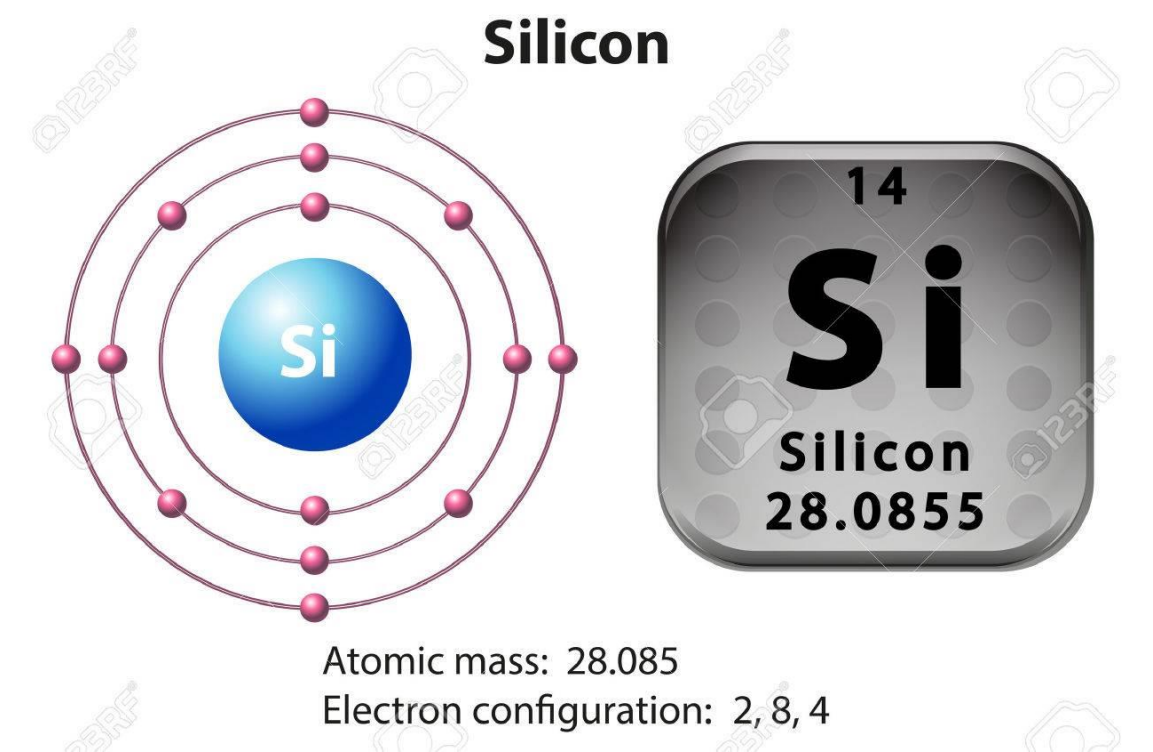
- Núm. Atómico: 14
- Masa atómica 28
- Muy resistente a altas temperaturas y a la corrosión.
- Bajo coeficiente de expansión térmico
- Semiconductor (metaloide)

2025 Año de La Mujer Indígena

SILICIO / SÍLICE

APLICACIONES PRINCIPALES

- Vidrio, cerámica, refractarios, filtación de agua, construcción
- Medicina: cáncer e imágenes
- Bioestimulante agrícola (crecimiento y resistencia)
- *Electrónica: Semiconductor para transitores, diodos, microchips*
- Cubiertas de páneles solares



Elemento crítico

2025 Año de La Mujer Indígena

S Í L I C E (SiO_2)

- El Silicio no existe en la naturaleza y se presenta como óxido (SiO_2) y como silicatos.
- Es muy abundante en la naturaleza (rocas ígneas, metamóricas y sedimentarias)
- Depósitos de cristales naturales, areniscas de cuarzo, cuarcita, cuarzo en polvo y arenas; cuarzo granítico (vetas hidrotermales, pegmatitas), etc.
- Sílice de alta pureza es muy escasa
- Purificarlo requiere de procesos costosos

2025 Año de La Mujer Indígena

TIPOS DE DEPÓSITOS, CARACTERÍSITCAS Y SUS USOS

TIPO DE MENA	Características mineralógicas	Áreas de aplicación
Cristal natural	Alta pureza, alta transparencia	Instrumentos ópticos, electrónica
Vetas de cuarzo	Bien cristalizado	Vidrio, metalurgia
Areniscas de cuarzo	Contiene materiales cementantes complejos	Vidrio, cerámica, materiales de construcción
Arenas de cuarzo	Carencia de forma natural de grano	Vidrio, construcción, moldes de fundición
Cuarzo en polvo	Tamaño de partícula extremadamente fino	Metalurgia, vidrio, cemento, cerámica
Cuarcita	Estructura maciza	Refractarios, aleaciones de silicio, vidrio
Cuarzo granítico	Granos grandes, mayor contenido de impurezas	Uso subdesarrollado

Fuente: Research Status and Challenges of High-Purity Quartz Processing Technology from a Mineralogical Perspective in China

S Í L I C E (SiO_2)

Impurezas más comunes

Impurezas primarias:

Al, Fe, K y Na

Impurezas trazas:

Ti, Mg, Mn, Ca y S

Microelementos:

Pb, Sr, Y, Zr, Zn, Ga, Rb y Nb

Minerales de ganga:

I. Que no tienen enlaces químicos

Feldespatos, micas, granate, zircón e ilmenita

II. Con enlaces químicos y físicos

Minerales de fierro (pirita y olivino)

Minerales de aluminio (aluminosilicatos)

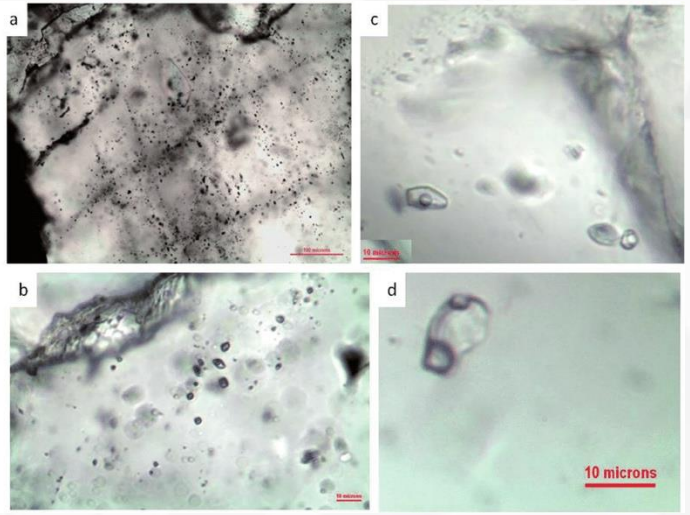
Silicio a partir del cuarzo

Materia prima: *Sílice de alta pureza (HPQ)*
(98.5 – 99 %)

Impurezas: *El tipo, la concentración y tamaño de partícula influyen en su purificación.*

HPQ: Na+K+Li+Al+Ca+Fe+Ti+B+P = 50 ppm

Pureza: 99.995 %



Imágenes inclusiones fluidas

2025 Año de La Mujer Indígena

SILICIO, USOS FINALES Y REQUERIMIENTOS

Economía
Secretaría de Economía

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

CELDAS FOTOVOLTAICAS

- Silicio policristalino y monocristalino
- Pureza de 6 N (99.9999 %)
- 35-50 % del costo total con sólo 3-4 % de su composición

MICROCHIPS

- Silicio monocristalino (obleas de silicio)
- Pureza de 9 N (99.9999999 %)
- El silicio presenta propiedades de semiconductor

SILICIO METALURGICO

- Silicio “crudo” o procesado con pureza de 99 %
- Fabricación de aleaciones de Al y compuestos de Si
- Fabricación de partes de vehículos y aviones

Cualquier impureza puede cambiar las propiedades electrónicas y la conductividad del silicio.

2025
Año de
La Mujer
Indígena

Silicio a partir del cuarzo

CARACTERÍSTICAS	MICROCHIPS	CELDAS SOLARES
Pureza	9N a 12N	6N a 9N
Tipo de silicio	Monocristalino	Monocristalino o policristalino
Dopaje	Preciso y controlado	Controlado
Estructura	Perfectamente ordenada	Menos exigente
Aplicación	Circuitos integrados / microchips	Conversión der la luz solar en energía eléctrica

2025
Año de
La Mujer
Indígena

COMPONENTES DE UN PÁNEL SOLAR

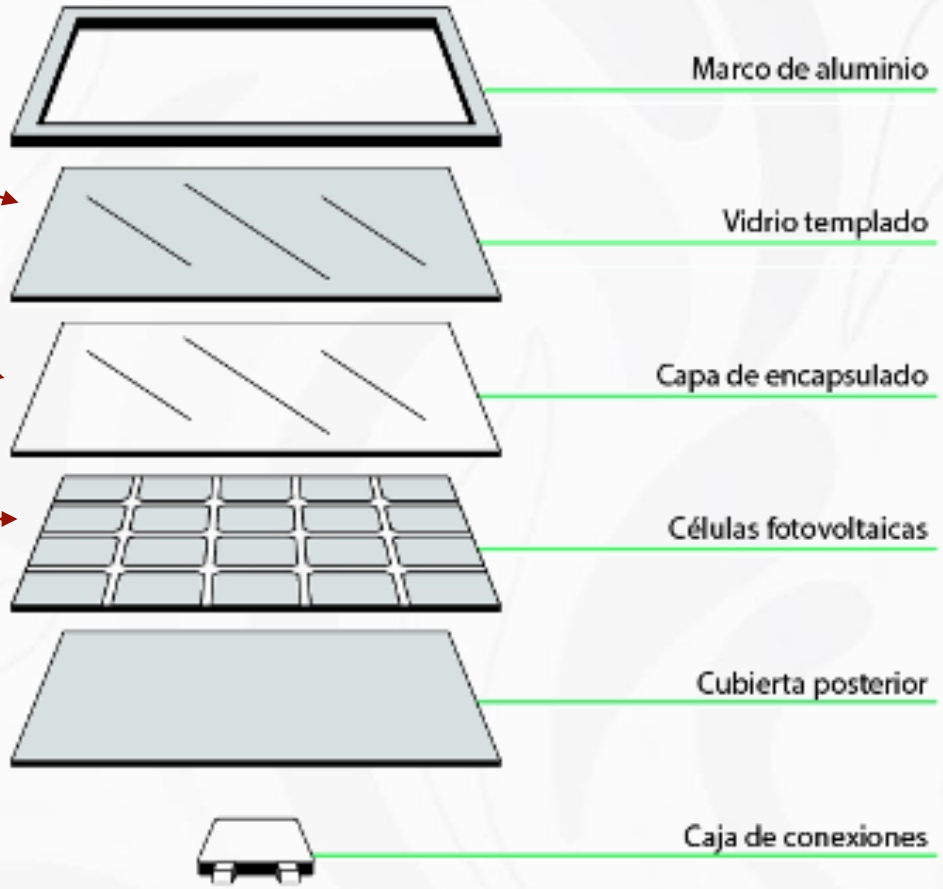
Protege de la corrosión

Capa de cemento conductivo térmico sobre el vidfio, que evita el sobrecalentamiento

Protege de los efectos negativos de la luz solar (EVA)

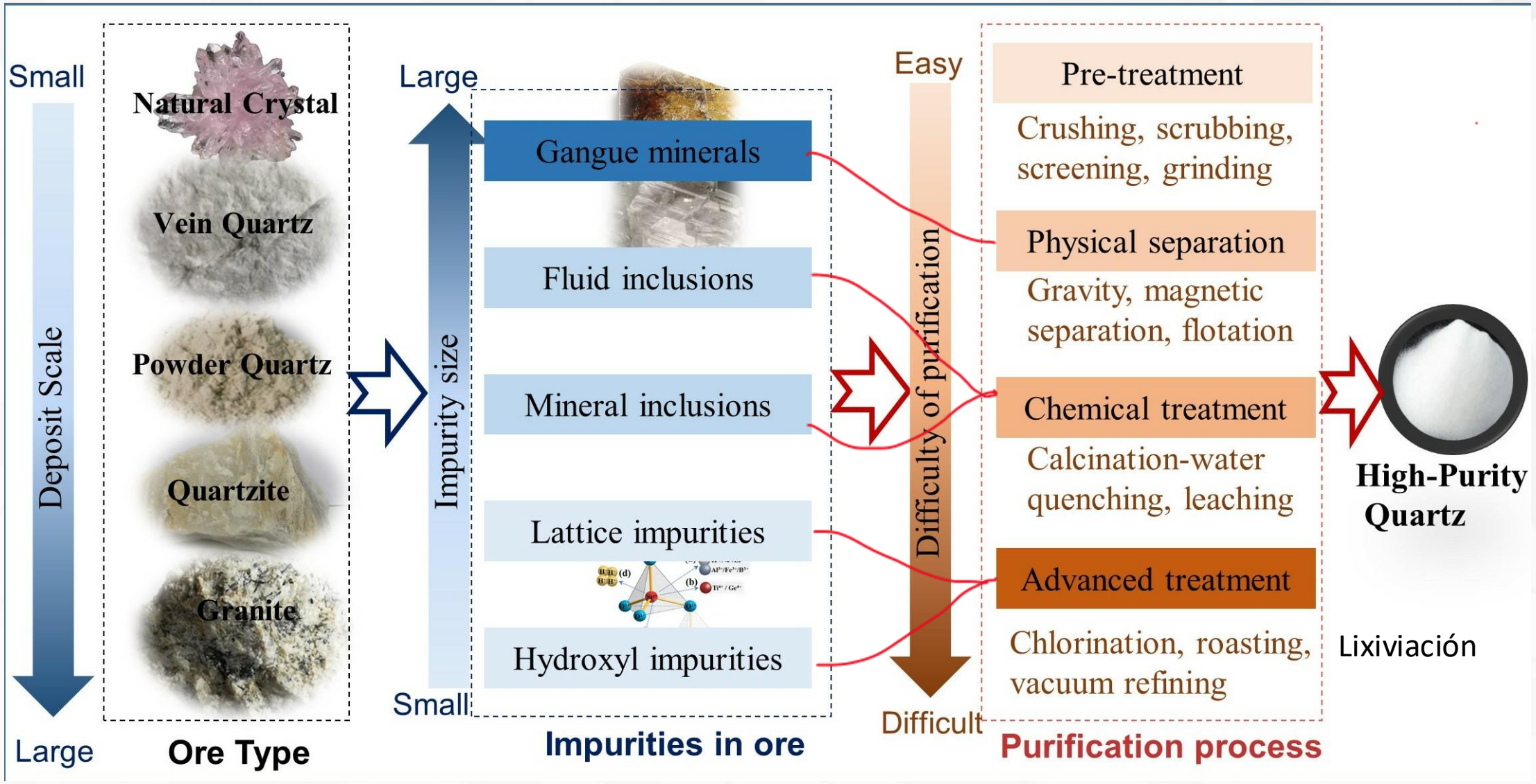
Convierten la luz solar en energía eléctrica

Multicapas para porteger a los componentes



2025 Año de La Mujer Indígena

Depósitos, impurezas y procesos de purificación



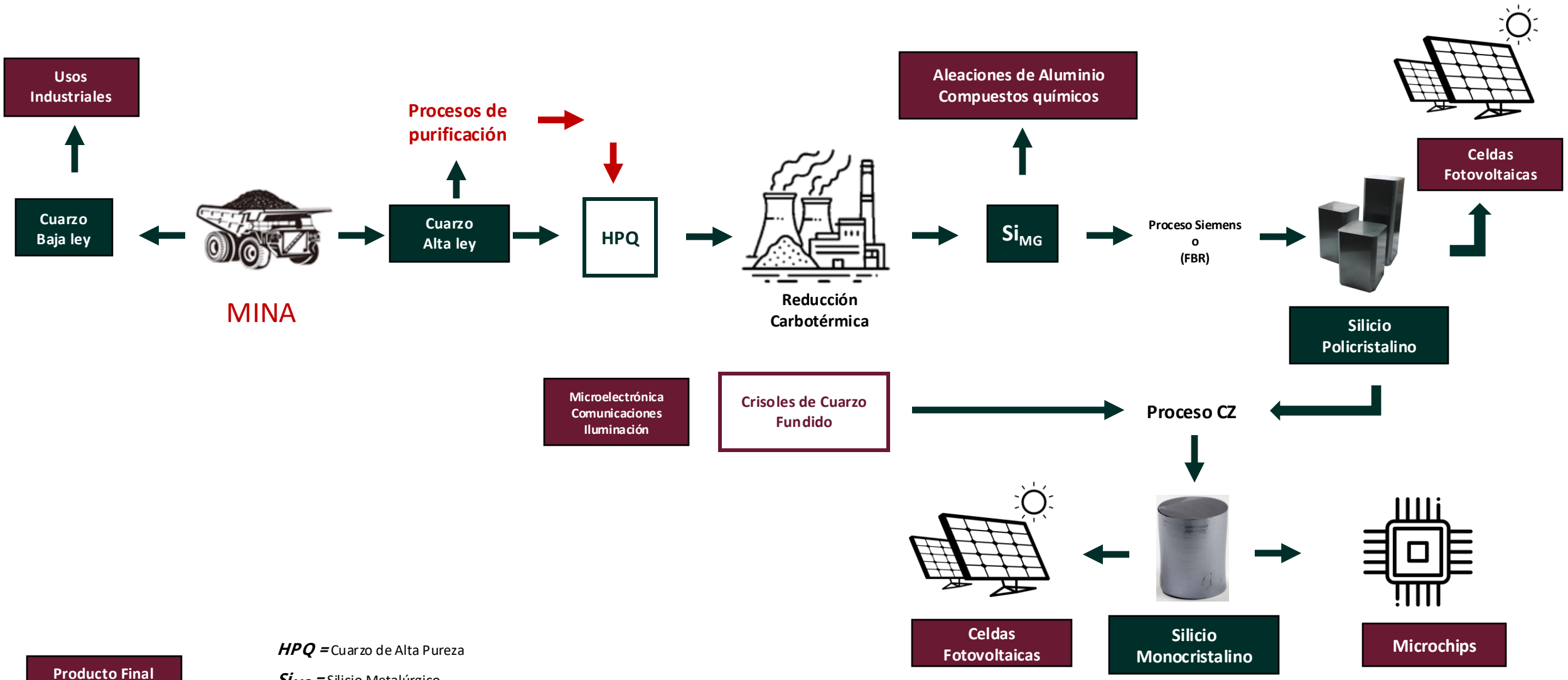
Lixiviación

PROCESOS METAÚRGICOS PARA PURIFICAR LA SÍLICE

MÉTODOS DE PURIFICACIÓN	Principales impurezas separadas	Características
Scrubbing (Lavado por fricción)	Arcillas finas adheridas y películas de óxidos	Operación simple y baja eficiencia de purificación
Separación gravimétrica	Minerales pesados como circón, granate y epidota	Pérdida de mena durante el proceso
Separación magnética	Minerales como magnetita, hematita y pirrotina	Múltiples etapas con campos magnéticos intensos
Flotación	Minerales silicatados como mica, feldespato y minerales de hierro	Depende del sistema de reactivos de flotación
Calcinación y enfriamiento con agua	Ruptura y exposición de impurezas incluidas	Mejora la purificación por lixiviación ácida
Lixiviación	Elementos como Fe, Al, Cr, Ti	Naturaleza ácida con propiedades corrosivas
Tostación clorurante	Impurezas dentro de la red cristalina	Capacidad de procesamiento limitada y emisión de cloruros gaseosos

Fuente: Research Status and Challenges of High-Purity Quartz Processing Technology from a Mineralogical Perspective in China

PROCESO PRODUCTIVO SIMPLIFICADO PARA MICROCHIPS



Producto Final

Materias Primas

HPQ = Cuarzo de Alta Pureza

Si_{MG} = Silicio Metalúrgico

HLF = Horno de Lecho Fluidizado

Proceso CZ = Proceso Czochralski

Fuente: A review of high-purity quartz for silicon production in Australia. Page 1089

Silicio (Si) a partir del cuarzo (SiO_2)

1. Reducción de la Sílice (carbotérmica)

$$SiO_2 + 2C \rightarrow \mathbf{Si} + 2\,CO \uparrow \quad \blacktriangle \quad 2\,000\ °C$$

2. Cloración del silicio crudo

$$Si + 3HCl \rightarrow \mathbf{SiHCl_3} + H_2 \uparrow$$

3. Destilación fraccionada de los silanos (Separa metales y otras impurezas)

→ $SiHCl_3$ purificado

Silicio (Si) a partir del cuarzo (SiO_2)

4. Reducción térmica del $SiHCl_3$ purificado (sobre filamentos de Si policristalino) → Proceso Siemens

$$SiHCl_3 + H_2 \xrightarrow{1\,200\ °C} Si + 3HCl$$

5. Cristalización del silicio (Fusión y cristalización → lingotes mono/policristalinos

a) Método Czochralski (monocristalino): semilla de Si se sumerge en Si fundido y se extraen cristales lentamente

b) Solidificación direccional (policritalino): El Si fundido se vierte en un molde y enfría de manera controlada

2025 Año de La Mujer Indígena

Monocristal cilíndrico para obleas de SiO_2

Método Czochraslki:

- **Fusión del material:** El silicio se funde en una atmósfera inerte para evitar la contaminación y se introducie una pequeña semilla monocristlina.
- **Extracción y rotación:** La semilla se eleva lentamente mientras se gira, lo que permite que el líquido se solidifique sobre ella, adoptando la misma estructura cristalina.
- **Control de parámetros:** El control preciso de la temperatura, la velocidad de extracción y la velocidad de rotación es crucial para asegurar la uniformidad del tamaño y la calidad del cristal.

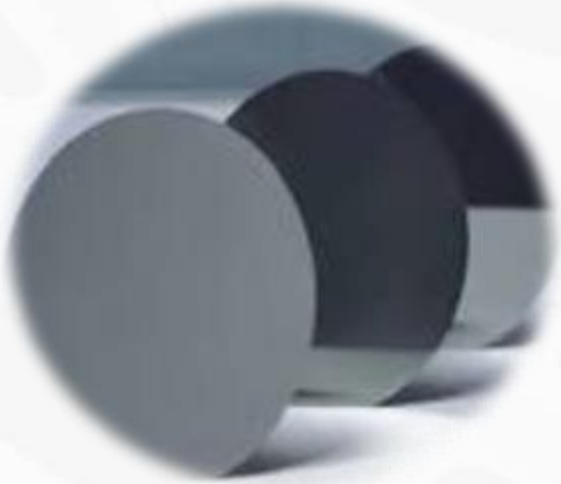
2025 Año de La Mujer Indígena

Silicio (Si) a partir del cuarzo (SiO_2)

6. Corte de lingotes mono/policristalios

(láminas delgadas, base para fabricar chips o células solares)

→ Obleas o wafers ultrapuros



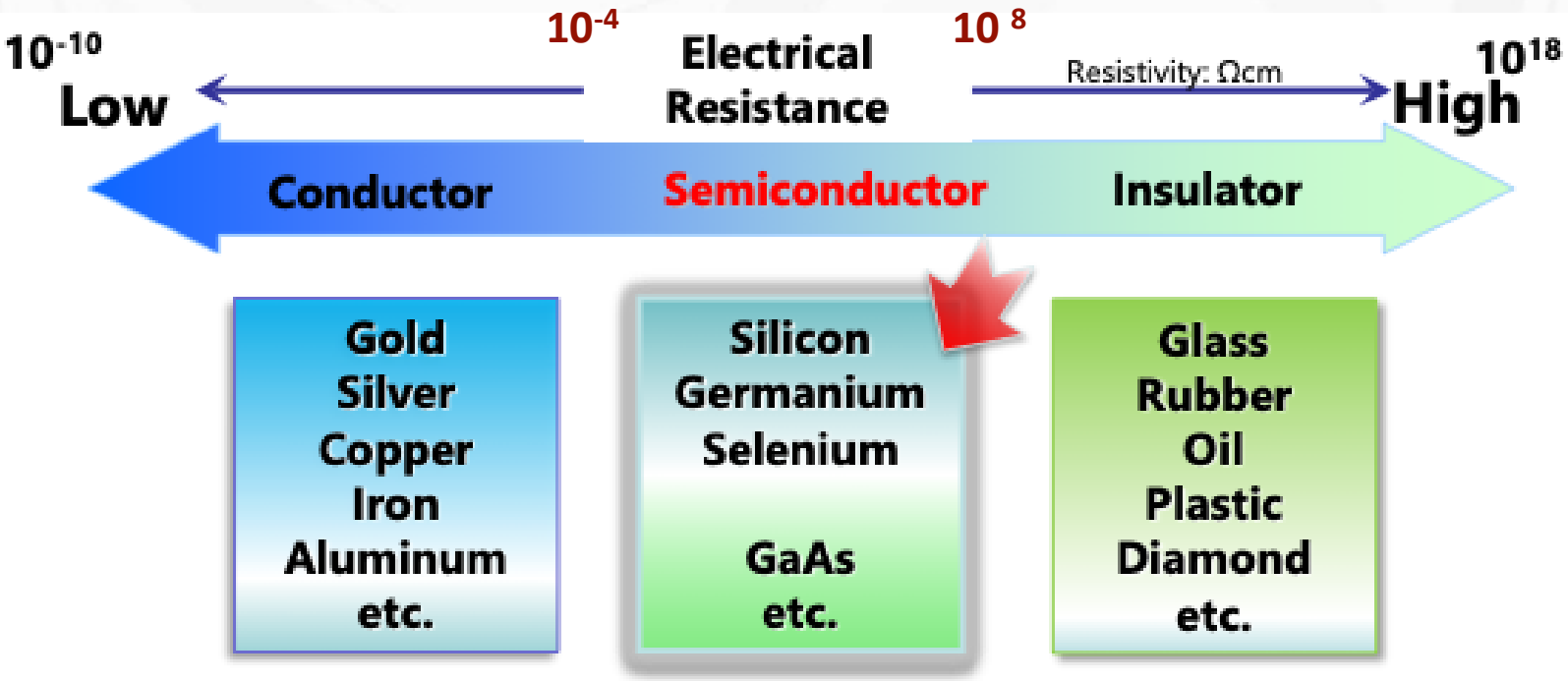
2025 Año de La Mujer Indígena

1 átomo de As / 10 000 mil millones de átomos de silicio puede cambiar drásticamente su conductividad

SEMICONDUCTORES

Elementos y compuestos

DEFINICIÓN: Material con propiedades intermedias entre un conductor (conduce bien la electricidad) y un aislante (apenas la conduce). A través de un proceso de "dopaje" o difusión, mejoran su conductividad.



Fuente: Toshiba Electronic Devices 2025

¿Por qué semiconductores y no conductores?

CONDUCTORES

- Conductividad inherente (constante)
- No pueden regular el flujo de la corriente eléctrica
- No tienen lógica binaria
- Sólo para dispositivos conductores de electricidad.

SEMICONDUCTORES

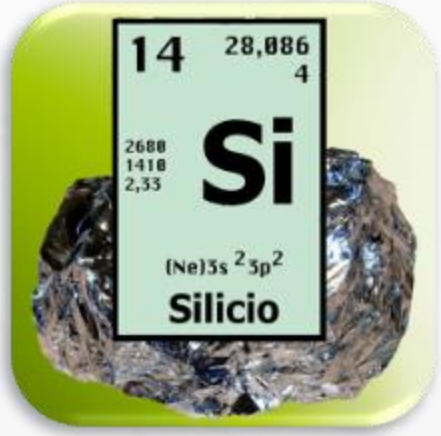
- Pueden aumentar/diminuir la conductividad
- ***Pueden controlar la corriente eléctrica (la conducen o la bloquean/ralentizan)***
- <u>Funcionalidad binaria</u>
- Versatilidad en aplicaciones

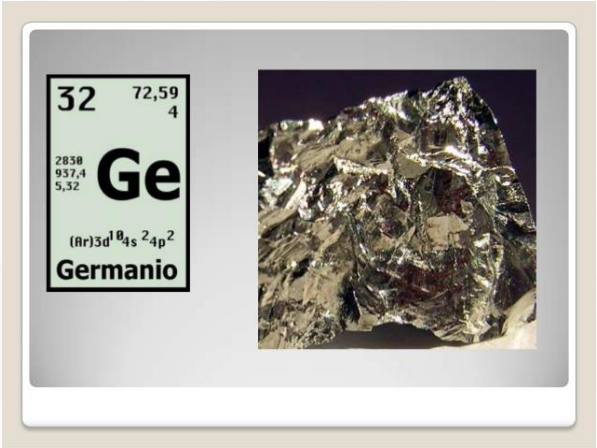
2025 Año de La Mujer Indígena

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS

Silicio y Germanio:

- Elementos del Grupo IV, considerados como semiconductores.
- Sus características como cristales puros son ***más cercanas a las de un aislante***
- Bajo un ***proceso de "dopaje",*** reducen considerablemente su resistencia eléctrica y ***se acercan a las características de un conductor***.

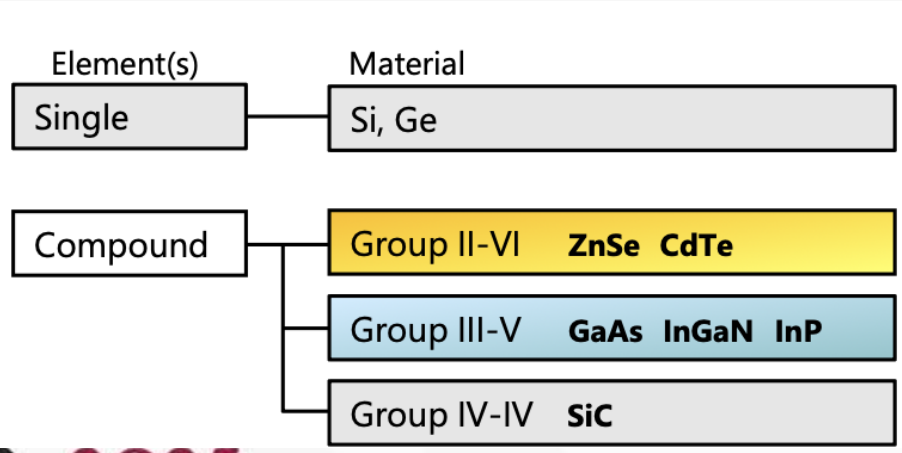




2025 Año de La Mujer Indígena

Compuestos semiconductores

Combinación de cationes que pertenecen al grupo II y III con aniones del grupo V y VI.
Grupo II y VI, grupo III y V y grupo IV y IV



Group II	Group III	Group IV	Group V	Group VI
Be Beryllium	B Boron	C Carbon	N Nitrogen	O Oxygen
Mg Magnesium	Al Aluminum	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur
Zn Zinc	Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsenic	Se Selenium
Cd Cadmium	In Indium	Sn Tin	Sb Antimony	Te Tellurium
Hg Mercury	Tl Thallium	Pb Lead	Bi Bismuth	Po Polonium

Fuente: Toshiba Electronic Devices 2025

PROCESO DE DOPAJE (DIFUSIÓN)

DEFINICIÓN: Adición de cantidades traza de otros elementos (De los Grupos II y V normalmente) a los elementos o compuestos semiconductores, con lo que se reduce considerablmente su resistencia eléctrica y exhiben mejores propiedades conductoras.

Cuando son "dopados", pueden actuar de manera eficiente con esta dualidad cuando se aplica un voltaje, electricidad, calor o luz.

2025 Año de La Mujer Indígena

TIPOS DE DE SEMICONDUCTORES

Dependiendo del tipo de impureza adicionada, es posible formar semiconductores tipo N a tipo P. Los elementos más utilizados son los del Grupo III y del Grupo V para este proceso.

*Doping phosphorus (P) of **Group V** into silicon (Si) of **Group IV** makes **n-type semiconductor**.

*Doping boron (B) of **Group III** into silicon (Si) of **Group IV** makes **p-type semiconductor**.

Element(s)	Material
Single	Si, Ge
Compound	Group II-VI **ZnSe CdTe**
	Group III-V **GaAs InGaN InP**
	Group IV-IV **SiC**

Group II	Group III	Group IV	Group V	Group VI
Be Beryllium	**B** Boron	**C** Carbon	**N** Nitrogen	**O** Oxygen
Mg Magnesium	**Al** Aluminum	**Si** Silicon	**P** Phosphorus	**S** Sulfur
Zn Zinc	**Ga** Gallium	**Ge** Germanium	**As** Arsenic	**Se** Selenium
Cd Cadmium	**In** Indium	**Sn** Tin	**Sb** Antimony	**Te** Tellurium
Hg Mercury	**Tl** Thallium	**Pb** Lead	**Bi** Bismuth	**Po** Polonium

Fuente: Toshiba Electronic Devices 2025

Año de La Mujer Indígena

SEMICONDUCTORES TIPO “N”

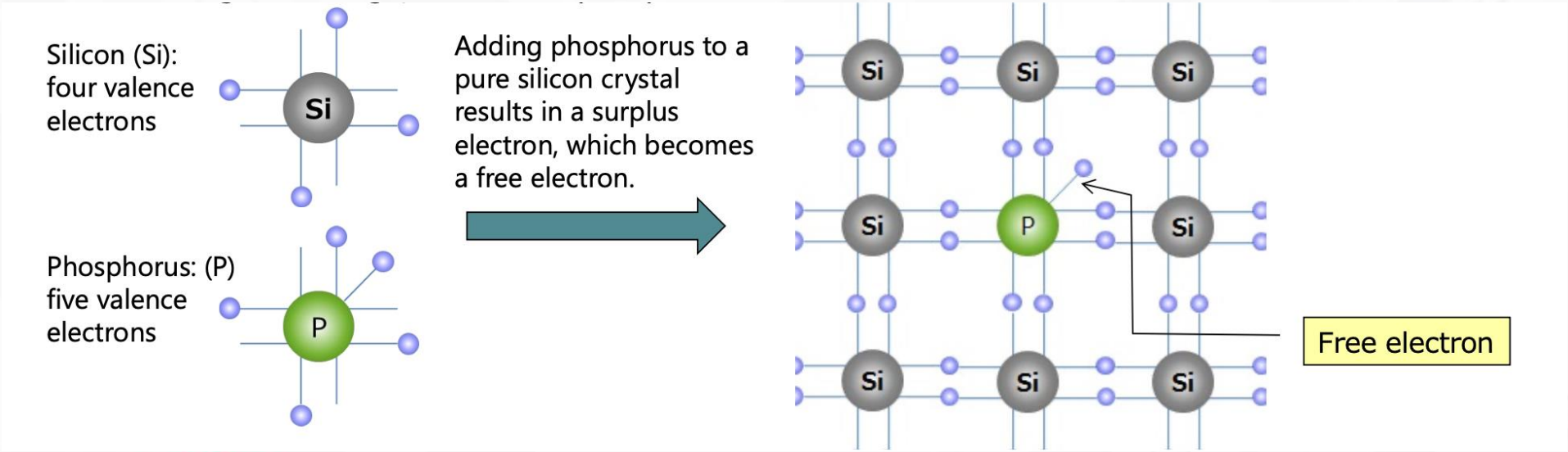
Un semiconductor tipo “N” pertenece a elementos del grupo IV (+4), denominados ***semiconductores instrínsecos,*** principalmente el ***Silicio***, ***dopado*** con elementos del grupo V (+5) como el ***P, As o Sb*** como impurezas.

El Si no existe en forma natural, así que suele combinarse con otros elementos por medio de enlaces covalentes, combinación que ***no genera exceso de electrones o huecos.***

2025
Año de
La Mujer
Indígena

SEMICONDUCTORES TIPO “N”

Cuando una pequeña cantidad de ***P (+5) es adicionada a un cristal de Si (+4)*** (difusión o dopaje), una de los 5 electrones del P se convierte en un ***“electrón en exceso”,*** que puede moverse libremente. Cuando un voltaje es aplicado, este electrón libre es atraído al electrodo positivo, movimiento que ***causa un flujo de corriente.***



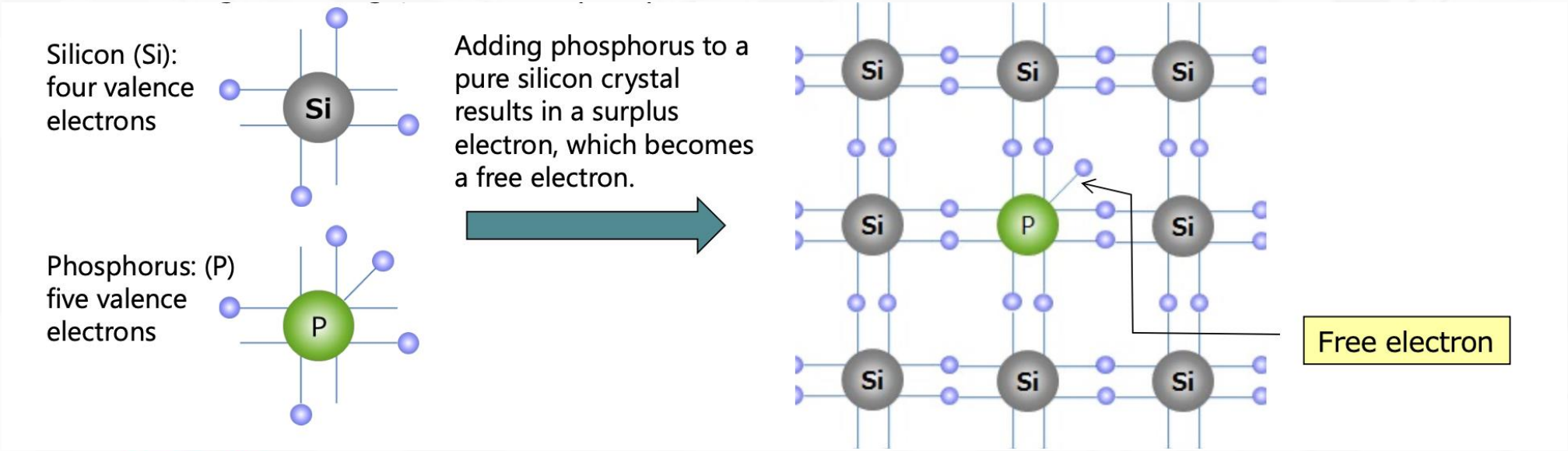
Fuente: Toshiba Electronic Devices 2025

2025 Año de La Mujer Indígena

SEMICONDUCTORES TIPO “N”

Las partículas que llevan la carga en este tipo de semiconductores son los **electrones libres (portadores).**

Estos portadores tiene una ***carga negativa*** y por eso les denominan ”n-type semicondoctors”.



Fuente: Toshiba Electronic Devices 2025

SEMICONDUCTORES TIPO “P”

Cuando se adiciona a un ***elemento del grupo IV*** (como el Si) una cantidad pequeña de ***impurezas del grupo III***, como el B o In, es posible formar semiconductores del tipo “P”.

Como los elementos del grupo 4, como el Si, tienen enlaces covalentes con otros elementos, al adicionarle una pequeña cantidad de B (+3) como ejemplo, un electtrón hace falta en dichos enlaces, creando una “oquedad”.

Cuando un voltaje es aplicado en este estado, los electrones contiguos se mueven hacia la única oquedad existente y el lugar del electrón que se movió genera una nueva oquedad, provocando un movimiento detrás del otro hacia el polo negativo, generando un flujo de corriente.

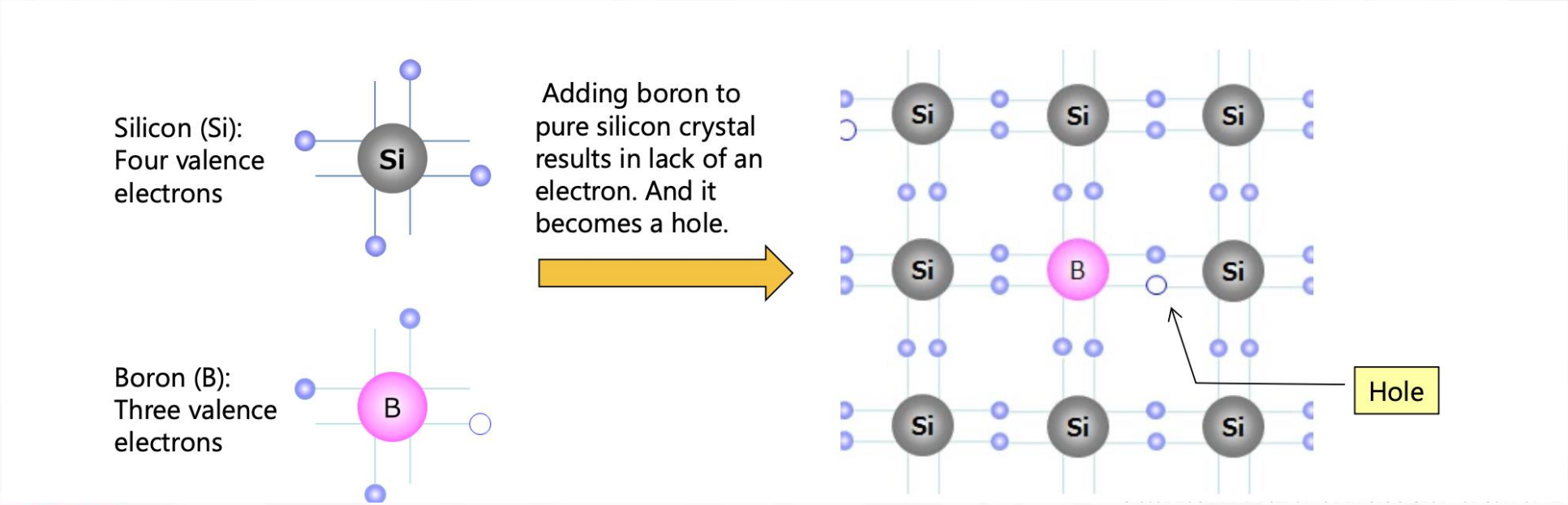
2025 Año de La Mujer Indígena

Fuente: Toshiba Electronic Devices 2025

SEMICONDUCTORES TIPO “P”

Las partículas que llevan la carga en este tipo de semiconductores son los ***huecos u oquedades*** **(portadores).**

Debido a que los huecos se provocan por la deficiencia de electrones, estos portadores tienen una ***carga negativa*** y por eso les denominan ”p-type semicondoctors”.



Fuente: Toshiba Electronic Devices 2025

2025 Año de La Mujer Indígena

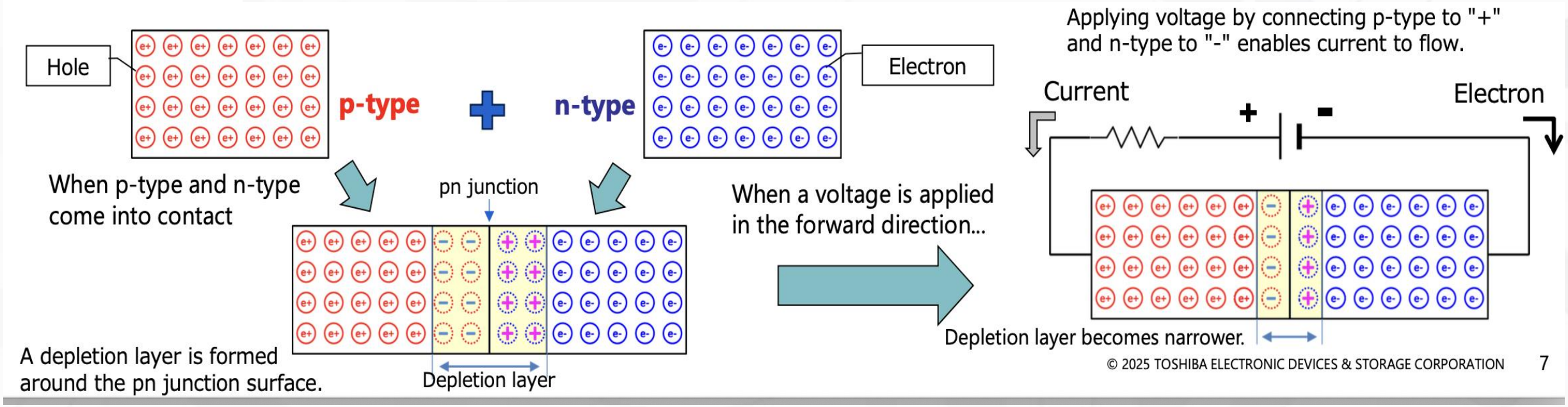
UNIÓN DE SEMICONDUCTORES TIPO “P” Y TIPO “N”

Cuando el proceso de dopaje hace que un semiconductor ***tipo ”p” y otro “n” estén adyacentes,*** los portadores de cada uno (electrones y huecos) se atraen entre sí, se combinan y forman una ***capa de “agotamiento” en la unión,*** cuyo estado se parece más al de un aislante***.***

Si se aplica un voltaje conectando el semiconductor tipo “p” al polo positivo y en “n” al negativo, ***la capa de agotamiento se vuelve más angosta y permite que la corriente fluya.***

2025
Año de
La Mujer
Indígena

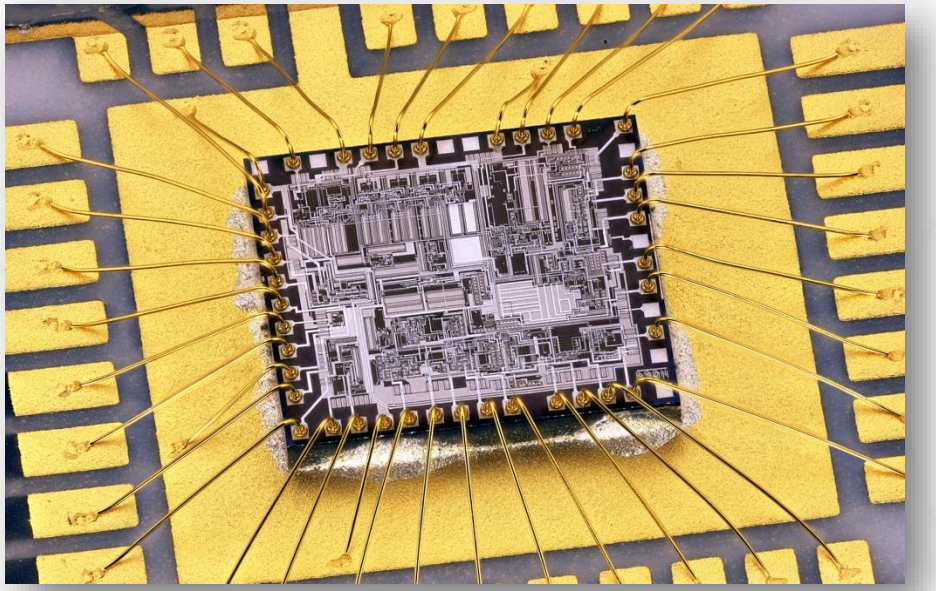
UNIÓN DE SEMICONDUCTORES TIPO “P” Y TIPO “N”



2025 Año de La Mujer Indígena

CIRCUITO INTEGRADO (Chip/microchip)

Un **circuito integrado** (**CI**) es una estructura de pequeñas dimensiones (eran de algunos mm^2), elaborada con algún material semiconductor, sobre la que se fabrican circuitos electrónicos mediante ***fotolitografía,*** protegida por un encapsulado de plástico o cerámica.



"El cerebro de los dispositivos electrónicos modernos"

2025 Año de La Mujer Indígena

FOTOLIGRAFÍA

Definición: Proceso que utiliza una máscara que se coloca sobre la oblea de silicio para grabar patrones de circuitos.

Proceso:

1. ***Limpieza:*** Como preparación de la oblea
2. ***Fotorresistencia:*** Capa uniforme de material fotosensible (resina o barniz) sobre superficie
3. ***Horneado suave:*** Elimina humedad y estabiliza la capa material fotosensible
4. Se ***alinea*** la máscara sobre oblea y se ***expone*** a la luz ultravioleta a través de la máscara

Oblea de Si fotolitrografiada

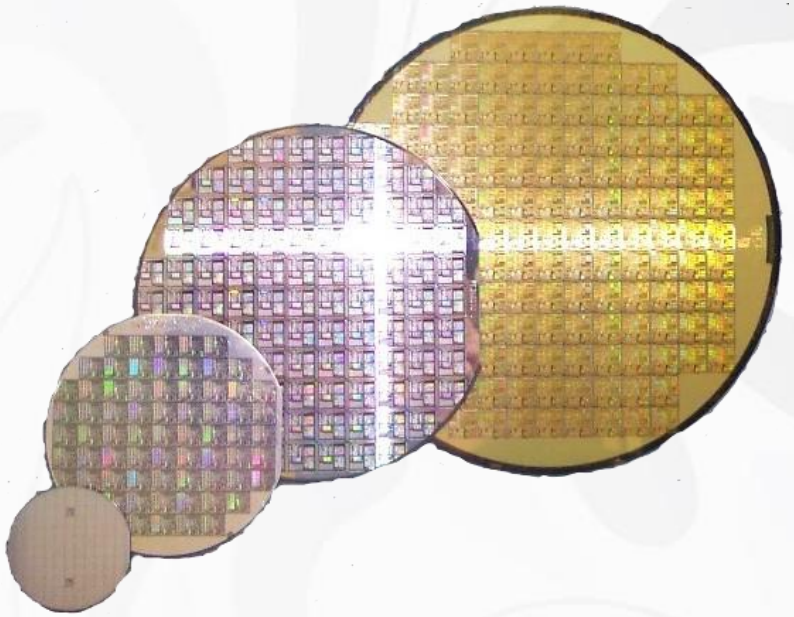
2025
Año de
La Mujer
Indígena

FOTOLIGRAFÍA

Definición: Proceso que transfiere un patrón sobre la oblea mediante grabado.

Proceso:

5. ***Revelado:*** Se aplica solvente a la fotorresistencia y revela el patrón en el sustrato
6. ***Horneado 2***: Endurece la fotorresistencia restante
7. ***Grabado:*** Las áreas no cubiertas por la fotorresistencia, se graban con ácidos o con láser
8. ***Limpieza final:*** Se elimina la fotorresistencia restante y se deja el patrón grabado sobre la oblea de Si, base de la fabricación del circuito integrado o microchip



Obleas de Si fotolitrografiada

2025 Año de La Mujer Indígena

CIRCUITO INTEGRADO (Componentes)

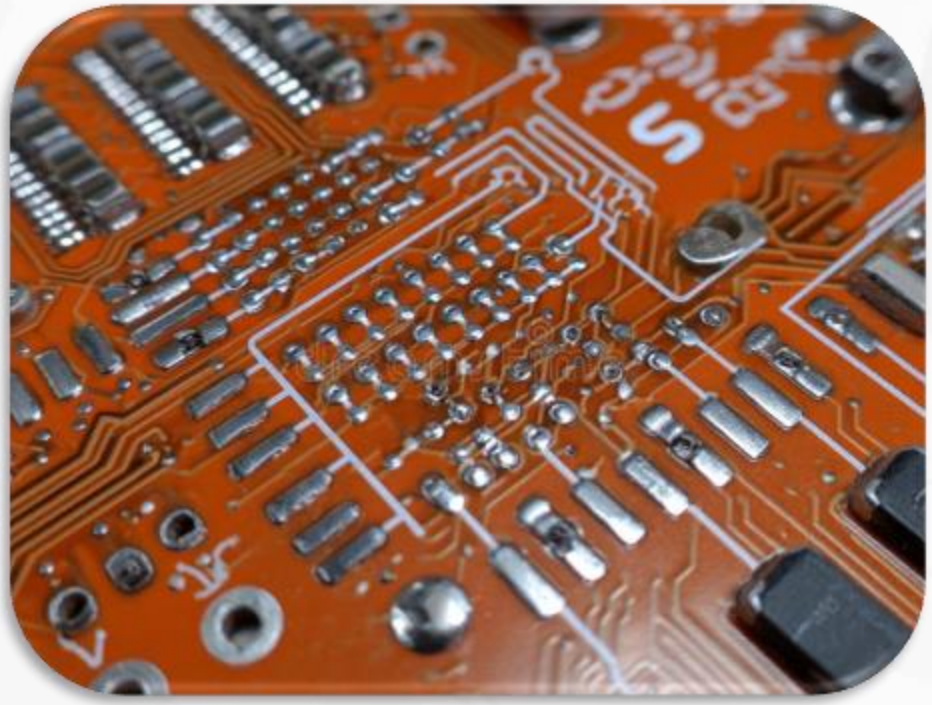
- Oblea de material semiconductor
- Miles o millones de componentes electrónicos como ***transistores, diodos, resistencias y condensadores***. Estos componentes se conectan entre sí mediante múltiples interconexiones metálicas para formar un circuito funcional complejo en un espacio muy reducido. Para protegerlo, el chip se encapsula en una carcasa de plástico o cerámica.

2025 Año de La Mujer Indígena

COMPONENTES ELECTRÓNICOS DE LOS MICROCHIPS

Circuitos miniaturizados sobre la oblea:

- **Transistores**
- **Diodos**
- **Resistencias y condensadores**
- **Conectores** (cables finos de Cu principalmente)



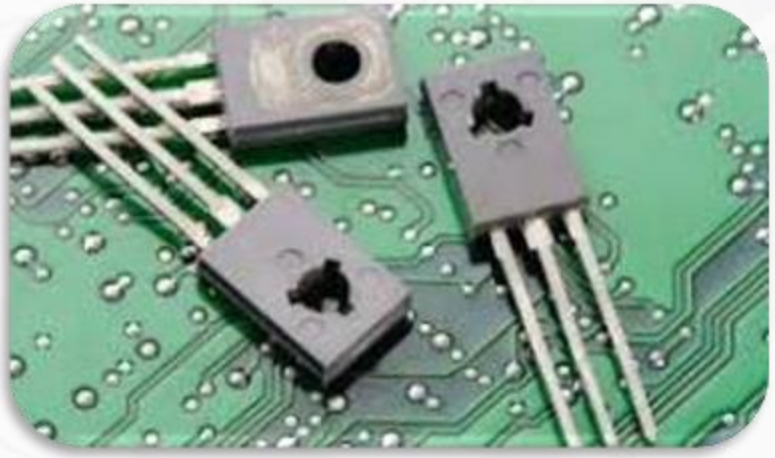
2025 Año de La Mujer Indígena

TRANSISTORES

Transistores: Actúan como interruptores eléctrónicos y amplificadores de corriente.

Interruptor: Puede trabajar en estado “encendido”, que deja pasar la corriente, o de “apagado” (no deja pasar la corriente. Esta fución es fundamental para los dispositivos digitales (”1” y “0”)

Amplificador: Una señal de entrada débil se amplifica para producir una señal de salida mayor, función esencial en disposiitivos de audio, radio y todo equipo que requiera aumentar potencia de una señal.



D I O D O S

Diodos: Permiten que la corriente eléctrica fluya en una sola dirección y bloquearla en la opuesta, actuando como un interruptor o válvula unidireccional.

PRINCIPALES FUNCIONES:

* **Rectificación:** Convierte CA en CC para que los dispositivos funcionen con la energía de la red eléctrcia
* **Protección:** Protegen los circuitos de polaridad inversa, evitando daños si la fuente se conecta al revés.
* **Conmutación:** Actúan como interruptores que controlan la dirección del flujo de corriente, impidiendo que pase en un sentido y permitiéndola en el otro.
* **Iluminación:** Los diodos LED emiten luz cuando la corriente los atraviesa

2025 Año de La Mujer Indígena

OTROS ELEMENTOS PARA MICROCHIPS

Economía
Secretaría de Economía

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

ARSÉNICO

- Como metal de alta pureza para producir compuestos semiconductores (GaAs e InAs)
- Usos: Aplicaciones biométricas, comunicaciones, computadoras, electrónica y celdas fotovoltaicas.
- Exportador principal: China

COBALTO

- Utilizado para microchips para todo tipo de usos
- Mineral y subproducto del cobre
- Exportador principal: República del Congo

ARSENIURO DE GALIO

- Ayuda en la conducción de electrones en un microchip
- El Ga o GaAs son de alta pureza
- Productores: China, Alemania, Japón y Ucrania

2025
Año de
La Mujer
Indígena

OTROS ELEMENTOS PARA MICROCHIPS

Economía
Secretaría de Economía

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

PALADIO

- Se usa para el revestimiento o enchapado
- Productores: Rusia, Sudáfrica, Italia y Alemania.

TIERRAS RARAS

- Para semiconductores de las áreas de comunicación y defensa principalmente
- Productores: China, USA, Estonia, Malasia, Japón.

ESCANDIO

- Para fabricar óxido de escandio y nitruro de Al y Sc
- Propiedades eléctricas y piezoeléctricas* de microchips

2025
Año de
La Mujer
Indígena

*capacidad para convertir la presión mecánica en energía eléctrica y viceversa.

OTROS ELEMENTOS PARA MICROCHIPS

Economía
Secretaría de Economía

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

TITANIO

- Se usa como barrera metálica en los microchips
- Productores: Japón, Kazajistán.

FLUORITA (derivados)

- Para producir flúor gas o HF para los procesos de grabado y limpieza en la fabricación de microchips
- Productores: China y México (CaF_2); China y Alemania (HF)

FÓSFORO (derivados)

- H_3PO_4 para el tratamiento de las superficies en el proceso de grabado
- Productores: USA, Alemania y Japón

GASES NOBLES

- Ne, Ar y Kr de alta pureza, usados para láseres de alta presión para procesar patrones en los microchips
- Productores: Rusia y Ucrania

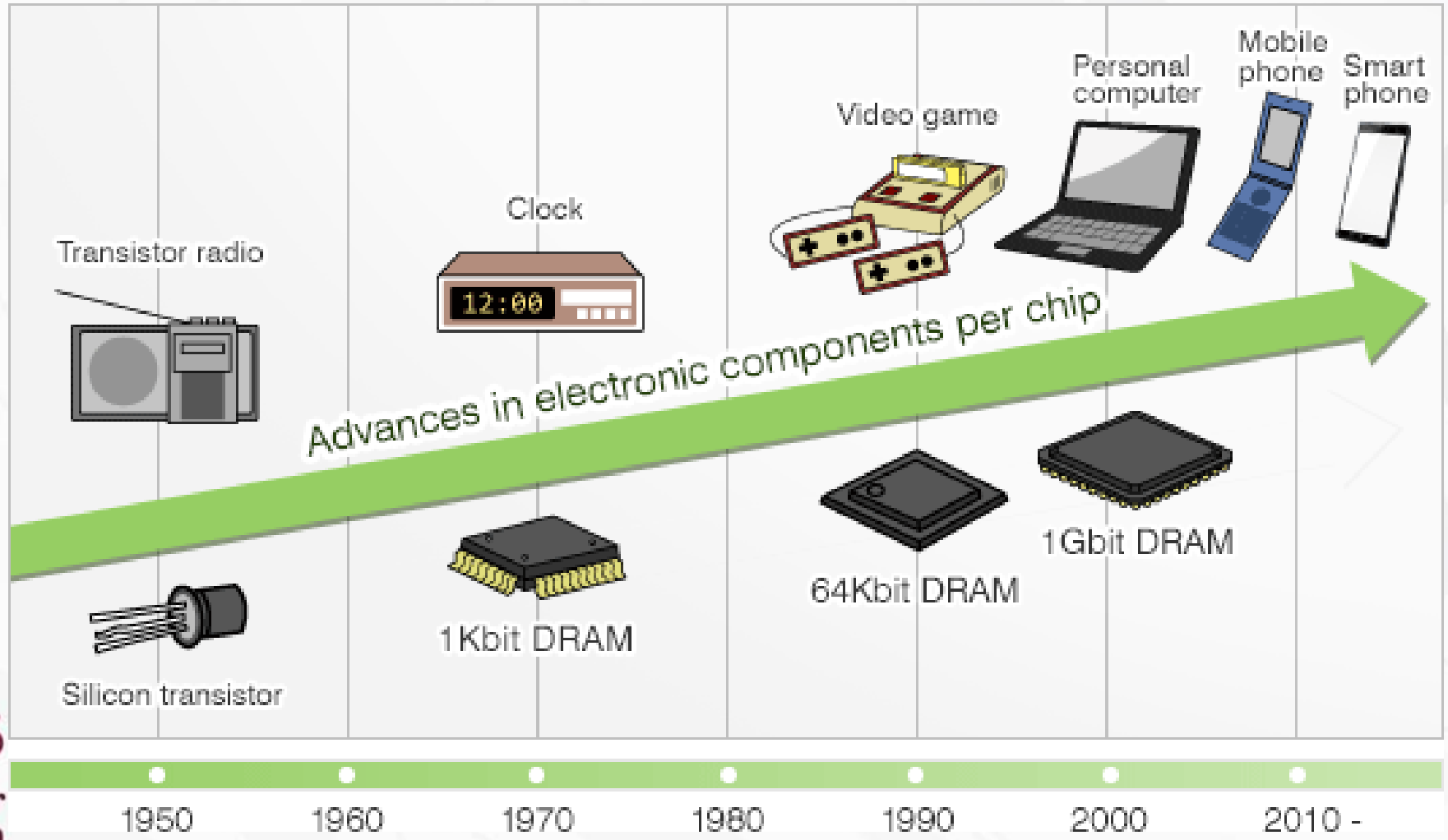
2025
Año de
La Mujer
Indígena

Empresas de SiO_2 en México

NOMBRE	ESTADO	PUREZA	USOS
Arena Sílica de Juanita, S.A. de C.V.	Ciudad de México	98 %	Filtros, moldes, campos de golf
Arena sílica y feldespato COVIA	Veracruz	99.6 %	* Vidrio, cerámica, polímeros, etc.
Sílica del Potosí, S. A. de C. V.	San Luis Potosí		
Sílices de México, S.A. de C.V.	Veracruz		
Sílices del Istmo, S.A. de C.V.	Veracruz		
Banco Sílica de Juanita	Veracruz	98 %	Filtros, moldes, campos de golf
Mina Jaltipan	Veracruz	99.6 %	* Vidrio, cerámica, polímeros, etc.
Mina Sisa	Veracruz		
Planta Sílica Potosí	San Luis Potosí		
Planta Sílices de México	Veracruz		

2025
Año de
La Mujer
Indígena

CAMBIOS TECNOLÓGICOS



2025 Año de La Mujer Indígena

OTRAS APLICACIONES ACTUALES

Barco carguero llamado **Pyxis Ocean**, con velas con tecnología Windwings, que reducen los requerimientos de combustible convencional hasta en un 30 %.

Podría representar un ahorro de 1.5 t de comubstible al día por cada vela, lo que reduciría la emisión de CO_2 en 9.3 t por día de viaje.

2025 Año de La Mujer Indígena

Economía
Secretaría de Economía

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

Gracias por su atención

2025
Año de
La Mujer
Indígena