

De la arena al silicio

“La fabricación de un chip”

Historia ilustrada

Septiembre de 2009



Arena / Lingote



Arena

Con cerca de un 25% (masa), el silicio es, después del oxígeno, el segundo elemento químico más frecuente en la corteza terrestre. La arena, especialmente el cuarzo, tiene altos porcentajes de silicio en forma de dióxido de silicio (SiO_2) y es el ingrediente básico para la fabricación de semiconductores.



Silicio derretido

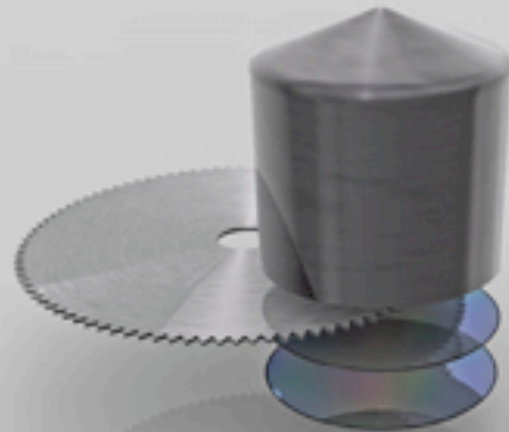
Escala: nivel de oblea (~300 mm). El silicio se purifica en múltiples etapas para finalmente alcanzar la calidad de fabricación de semiconductor conocida como Silicio de Calidad Electrónica. El Silicio de Calidad Electrónica sólo puede tener un átomo extraño para cada mil millones de átomos de silicio. En esta imagen se puede ver cómo se produce un gran cristal a partir del derretimiento del silicio purificado. El monocristal resultante se conoce como lingote.



Lingote de Silicio Monocristal

Escala: nivel de oblea (~300 mm). Se produjo un lingote a partir del Silicio de Calidad Electrónica. Un lingote pesa cerca de 100 kilos y tiene una pureza de silicio del 99,9999%

Lingote / Oblea



Corte del lingote –

Escala: nivel de oblea (~300 mm).

Se corta el lingote en discos de silicio individuales llamados obleas (wafers).



Oblea –

Escala: nivel de oblea (~300 mm).

Se pulen las obleas hasta eliminar todos sus defectos. La superficie queda lisa como la de un espejo. Intel compra de otras empresas esas obleas ya listas para la fabricación. El proceso altamente avanzado de High-K/Metal gate de 45 nm de Intel usa obleas con un diámetro de 300 milímetros. Cuando Intel comenzó a fabricar chips, la empresa imprimía circuitos en obleas de 50 mm. Ahora la empresa usa obleas de 300 mm, lo que resulta en un menor costo por chip.

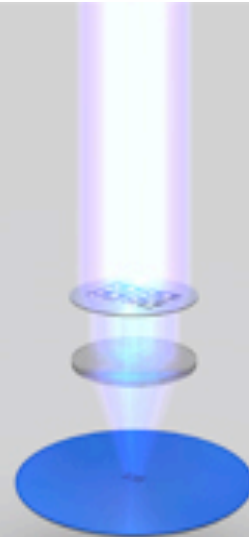
Fotolitografía



Aplicación de la capa fotoresistente –

Escala: nivel de oblea (~300 mm).

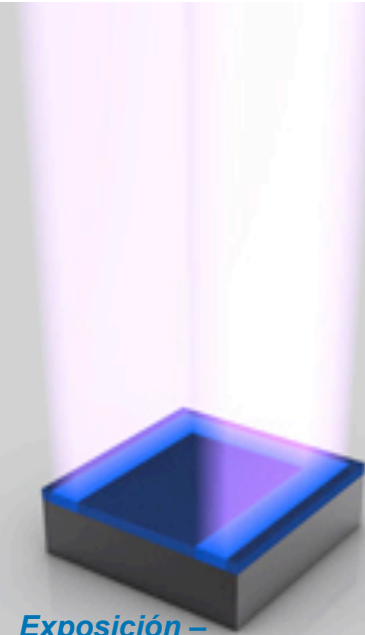
El líquido (aquí, de color azul) que se derrama en la oblea mientras ésta gira es un acabado fotoresistente similar al usado para la fotografía de películas. La oblea gira durante esta etapa para permitir una aplicación muy fina y homogénea de la capa fotoresistente.



Exposición –

Escala: nivel de oblea (~300 mm).

El acabado fotoresistente se expone a la luz ultravioleta (UV). La reacción química activada por esta etapa del proceso es semejante a lo que le ocurre a la película de una cámara en el momento en que se presiona el botón del obturador. El acabado fotoresistente expuesto a la luz UV se volverá soluble. La exposición se realiza usando fotomáscaras, que actúan como plantillas en esa etapa del proceso. Cuando se usan con una luz UV, las fotomáscaras crean varios patrones de circuito en cada capa del microprocesador. Un lente (el del medio) reduce la imagen de la fotomáscara. Por lo tanto, lo que se imprime en la oblea suele ser cuatro veces menor linealmente que el patrón de la fotomáscara.

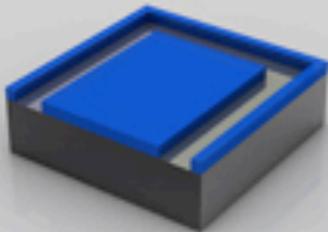


Exposición –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm)

Aunque generalmente se construyen centenas de microprocesadores en una única oblea, de ahora en adelante esta historia ilustrada se concentrará apenas en una pequeña pieza de un microprocesador: en un transistor o partes de un transistor. Un transistor actúa como un conmutador, que controla el flujo de corriente eléctrica en un chip de computadora. Los investigadores de Intel desarrollaron transistores tan pequeños que sería posible poner cerca de 30 millones de ellos en la cabeza de un alfiler.

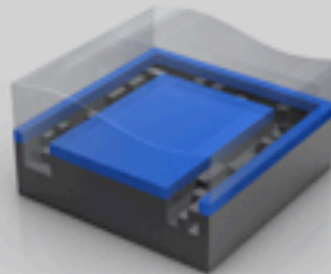
Ataque Químico



Lavado de la capa fotoresistente –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm)

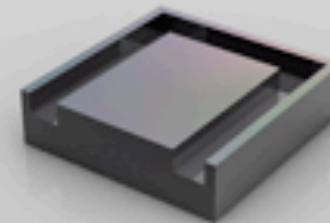
Se disuelve completamente la capa fotoresistente por medio de un disolvente. Esto revela un patrón de la capa fotoresistente trazado por la fotomáscara.



Ataque químico –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm)

La capa fotoresistente está protegiendo el material que no debe ser atacado. El material revelado se atacará con productos químicos.

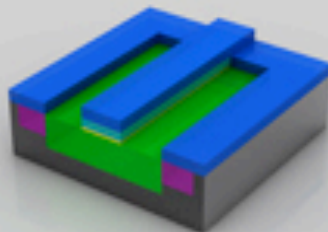


Eliminación de la capa fotoresistente –

Escala: nivel de transistor (~50-200nm)

Tras el ataque químico, la capa fotoresistente se elimina, lo que deja visible la forma deseada.

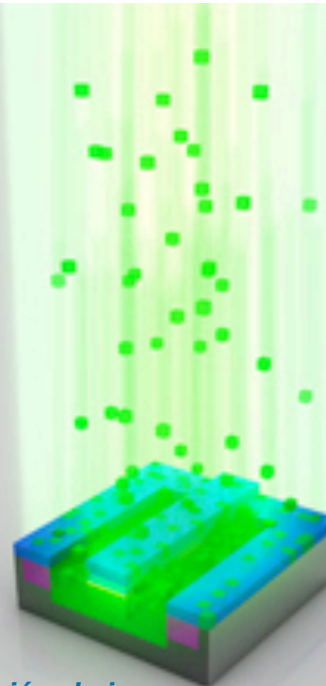
Implantación de Iones



Aplicación de la capa fotoresistente

–
Escala: nivel de transistor (~50-200 nm).

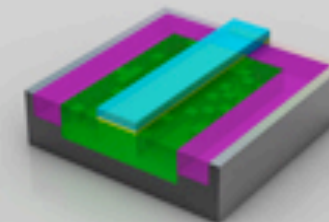
Se aplica y se expone la capa fotoresistente (de color azul) y la capa fotoresistente expuesta se lava antes de la próxima etapa. La capa fotoresistente protegerá el material que no debe recibir la implantación de iones.



Implantación de iones –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm)

Por medio de un proceso llamado implantación de iones (una forma de un proceso llamado dopado), las áreas expuestas de la oblea de silicio se bombardean con varias impurezas químicas, llamadas iones. Los iones se implantan en la oblea de silicio para alterar el modo como el silicio conduce la electricidad en esas áreas. Los iones se disparan sobre la superficie de la oblea a una velocidad muy alta. Un campo eléctrico acelera los iones a una velocidad de más de 300.000 km/hn

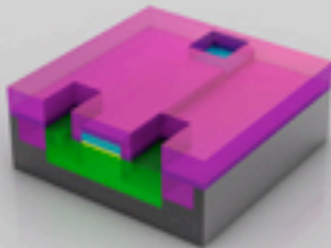


Eliminación de la capa fotoresistente

– Escala: nivel de transistor (~50-200 nm)

Tras la implantación de iones, la capa fotoresistente se eliminará y el material dopado (de color verde) ahora tiene átomos externos implantados (nótese las pequeñas variaciones de color).

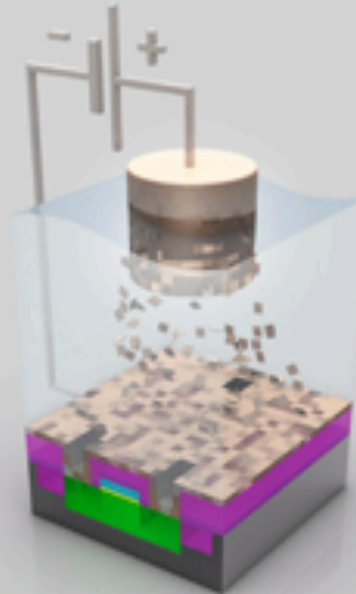
Deposición de Metal



Transistor listo –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm).

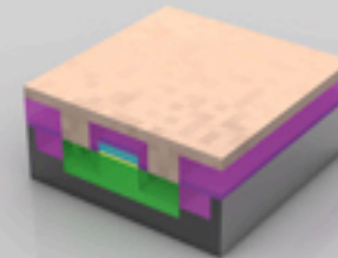
Este transistor está casi listo. Se realizaron tres perforaciones en la capa de aislamiento (de color magenta) en la parte superior del transistor. Estas tres perforaciones se rellenarán con cobre, que hará las conexiones con otros transistores.



Galvanización –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm).

En esta etapa, la oblea se coloca en una solución de sulfato de cobre. Los iones de cobre se depositan en el transistor por medio de un proceso llamado galvanización. Los iones de cobre viajan desde el polo positivo (ánodo) al polo negativo (cátodo), que está representado por la oblea.

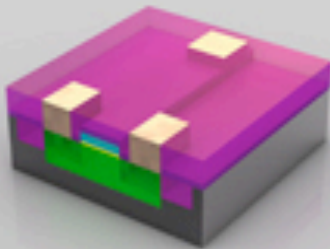


Después de la Galvanización –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm).

En la superficie de la oblea, los iones de cobre se depositan como una delgada capa de cobre.

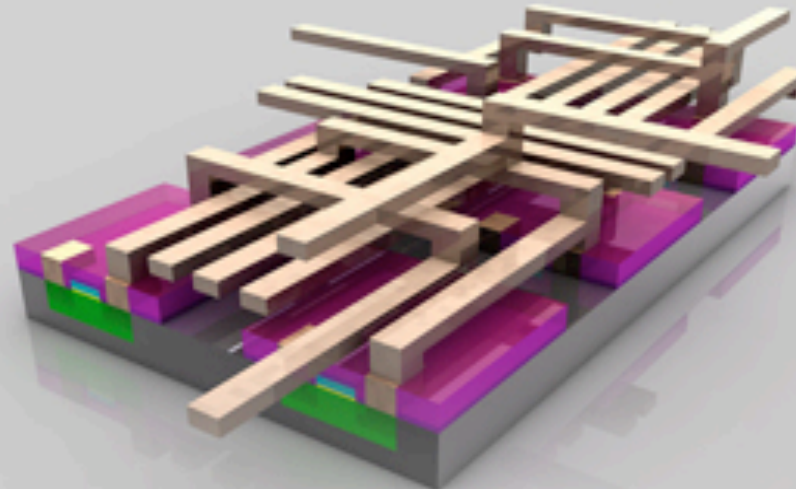
Capas de Metal



Pulido –

Escala: nivel de transistor (~50-200 nm).

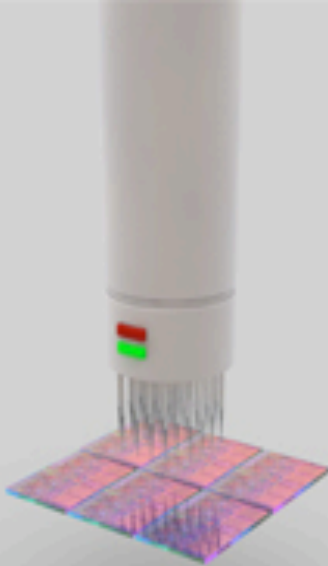
Se pule el exceso de material.



Capas de metal – *Escala: nivel de transistor (seis transistores combinados ~500 nm).*

Se crean múltiples capas de metal para la interconexión (como cables) entre los varios transistores. Los equipos de arquitectura y proyecto que desarrollan la funcionalidad de los respectivos procesadores determinan cómo esas conexiones necesitan “cablearse” (p.ej.: procesador Intel® Core™ i). Aunque los chips de las computadoras parezcan extremadamente planos, pueden tener, en realidad, más de 20 capas para formar un circuito complejo. Si observa la imagen ampliada de un chip, verá una red intrincada de líneas de circuitos y transistores que parecen un sistema futurista de carreteras en múltiples capas.

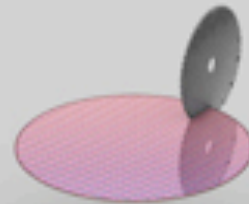
Prueba de Clasificación de Oblea / Corte



Prueba de una fracción de la oblea

–
Escala: nivel de pastilla (~10mm).

Esta fracción de una oblea lista está pasando por una primera prueba de funcionalidad. En esta etapa, los patrones de prueba se colocan en cada chip individualmente; luego se monitoriza la respuesta del chip y se compara con la “respuesta correcta”.



Corte de la oblea –

Escala: nivel de oblea (~300 mm).

Se corta la oblea en pedazos, llamados pastillas (diez).

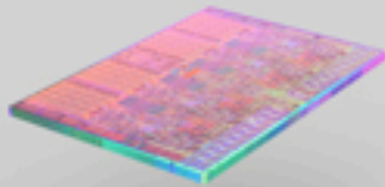


Descartado de las pastillas con fallos –

Escala: nivel de oblea (~300 mm)

Las pastillas que presentan una respuesta correcta al patrón de prueba pasarán a la próxima etapa (empaquetado).

Empaquetado



Pastilla individual –

Escala: nivel de pastilla (~10 mm).

Ésta es una pastilla individual que se cortó en la etapa anterior (corte). La pastilla mostrada corresponde al procesador Intel® Core™ i7.



Empaquetado –

Escala: nivel de empaquetado (~20 mm).

El sustrato, la pastilla y el disipador de calor se colocan juntos para formar un procesador completo. El sustrato verde forma la interfase eléctrica y mecánica para que el procesador interactúe con el resto del sistema de la computadora. El disipador de calor plateado es una interfase térmica en la que se colocará una solución de enfriamiento. Eso dejará el procesador frío durante la operación.



Procesador –

Escala: nivel de empaquetado (~20mm).

Procesador completo (en este caso, un procesador Intel® Core™ i7). Un microprocesador es el producto manufacturado más complejo del planeta. En realidad, pasa por centenas de etapas, en los ambientes más limpios del mundo (las fábricas de microprocesadores). En esta historia ilustrada se muestran apenas algunas de estas etapas.

Prueba de Clasificación / Procesador completo



Prueba de clase –

Escala: nivel de empaquetado (~20 mm).

Durante esta prueba final, se probarán las características clave de los procesadores (por ejemplo, la disipación de calor y la frecuencia máxima).



Agrupamiento –

Escala: nivel de empaquetado (~20 mm).

Basándose en el resultado de la prueba de clasificación, los procesadores con las mismas capacidades se colocan en las mismas bandejas de transporte.



Empaquetado al por menor –

Escala: nivel de empaquetado (~20 mm).

Los procesadores fabricados y probados (una vez más, el procesador mostrado es el Intel® Core™ i7) se envían a fabricantes de sistemas en bandejas o a tiendas minoristas en una caja como la mostrada aquí.