

Fabricación de circuitos CMOS

Alexis Gavriel Gómez, 2016085662

Resumen—El siguiente documento trata sobre las diferentes etapas en el proceso para la fabricación de circuitos CMOS, así como diferentes técnicas para la fabricación de los mismos.

I. INTRODUCCIÓN

EL SILICIO ES UNO DE LOS COMPONENTES MÁS IMPORTANTES EN LA FABRICACIÓN DE CIRCUITOS. ENTRE LOS PROCESOS REQUERIDOS PARA LA FABRICACIÓN DE CIRCUITOS CMOS ESTÁN LA ADQUISICIÓN DEL LINGOTE DE SILICIO Y LAS OBLEAS DE SILICIO, Y LOS PROCESOS POR LOS CUALES UN LINGOTE DE SILICIO TERMINA POR CONVERTIRSE EN UN SEMICONDUCTOR TIPO N O P.

II. FABRICACIÓN DE CIRCUITOS CMOS

• ¿Qué significa la tecnología CMOS? (2 puntos)

Semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS), es una de las tecnologías más populares en la industria de diseño de chips y circuitos integrados. Esta tecnología utiliza ambos canales de semiconductores N y P. Una de las ventajas que aporta es la baja disipación de energía.

III. PROCESO DE ADQUISICIÓN DEL SILICIO Y TRATAMIENTO DE LAS OBLEAS

• ¿En qué consiste el método Czochralski para la obtención de lingotes de silicio puro? (2 puntos)

Consiste en obtener un lingote de silicio a partir de una mezcla no pura. Se funde el silicio para que se incremente su saturación. Se introduce en la mezcla la semilla (un cristal del mismo material) que ayudará a formar el cristal. Se saca la semilla poco a poco mientras es rotada, poco a poco el cristal se solidifica mientras sube para así formar un lingote de silicio.

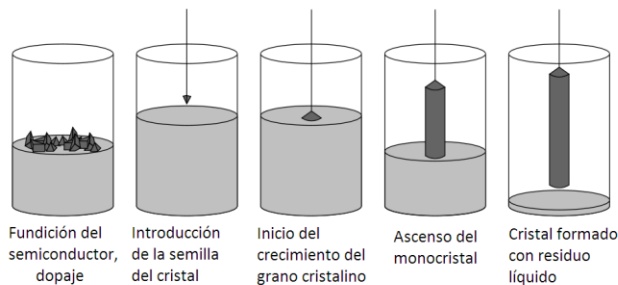


Figura 1. Proceso de formación de cristales de silicio por el método Czochralski.

• ¿Qué es el método de zona flotante para la adquisición de lingotes de silicio puro? (2 puntos)

Una semilla monocristalina se adhiere al cilindro de polisilicio de alta pureza desde su parte inferior mientras ambos rotan. Se funde localmente el silicio y se va formando el cristal hacia abajo, dejando arriba las impurezas. Debido a que no existe contacto entre la zona fundida del Silicio y ninguna otra sustancia este método produce Silicio más puro que el método Czochralski. Este método es más caro y no puede producir lingotes de más de 150 mm de diámetro, por lo que solo se producen lingotes para laboratorios y no para uso comercial.

• ¿Cómo se desarrolla el proceso de corte, pulido y limpieza de las obleas de silicio? (3 puntos)

Primero se corta el lingote a lo largo para tener una superficie plana en el lado del cilindro, más adelante se corta el lingote en discos y estos discos son pasados por un proceso para adelgazarlos a una medida definida. Los discos son sumergidos en sustancias como KOH- y NH₄OH para eliminar residuos orgánicos, HNO₃, HF y HCL para residuos de óxidos y metálicos, los cuales causan imperfecciones en la superficie de los discos. Luego los discos son pulidos por rotación sobre una superficie hasta que estos sean muy delgados y los suficientemente pulidos como para reflejar la luz como un espejo.

• ¿Cómo se logra identificar en una oblea la orientación, así como el tipo de conductividad que posee el material? (2 puntos)

Dependiendo de la posición de los dos cortes que posee la oblea.

- Separación de 90°: tipo p <100>.
- Separación de 180°: tipo n <100>.
- Ausencia de segundo corte: tipo p <111>.
- Separación de 45°: tipo n <111>.

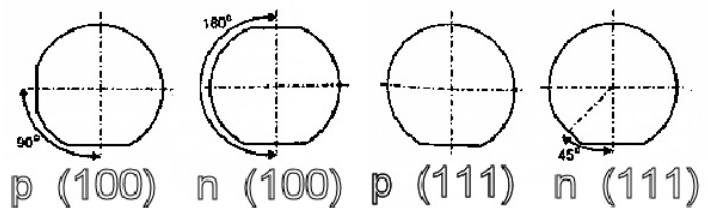


Figura 2. Orientaciones posibles en una oblea de Silicio.

A. Fotolitografía

- ¿En qué consiste el método de fotolitografía para la fabricación de tecnología CMOS? (2 puntos)

La fotolitografía permite realizar operaciones sobre distintas partes de la superficie de la oblea. Para ello se utiliza una máscara óptica, luz ultravioleta y polímeros sensibles a la luz llamados fotorresistores. Se aíslan regiones del fotorresistor sobre la oblea utilizando las máscaras, mientras que otras quedan expuestas a la luz ultravioleta. De esta manera se pueden hacer patrones en la oblea. Entre las tareas que se pueden realizar está la oxidación, grabación, deposición de metal, deposición de polisilicio, e implantación de iones.

- ¿Qué función cumplen las fotos máscaras en el proceso de fotolitografía? (2 puntos)

Aislar regiones del fotorresistor sobre la oblea de la luz ultravioleta, esto permite que hayan regiones no expuestas a la luz ultravioleta, de esta forma se pueden crear patrones sobre el fotorresistor.

- ¿Qué es un material fotorresistivo? (2 puntos)

Polímeros resistores sensibles a la luz, en los cuales la resistencia disminuye de acuerdo con el crecimiento de la intensidad de luz a la cual ellos están expuestos.

- ¿Cuál es la diferencia entre un fotorresistor negativo y un fotorresistor positivo? (2 puntos)

Fotorresistor positivo: La parte del material golpeado por la luz ultravioleta se vuelve más soluble y fácil de remover, dejando así un hueco en la capa del fotorresistor.

Fotorresistor negativo: La parte del material expuesta a la luz ultravioleta se vuelve muy difícil de disolver o casi insoluble. Luego se busca remover el área no expuesta a la luz, dejando así una “montaña” en el fotorresistor.

- Explique en qué consisten los siguientes pasos:

– Preparación de la superficie para el proceso de fotolitografía (1 punto)

Se deposita una capa fina de polisilicio sobre la oblea. El óxido se utiliza como capa de aislamiento.

– Aplicación de fotorresistivo (1 punto)

Se aplica una capa de un polímero fotosensible el cual es soluble. Este puede ser positivo o negativo.

– Calentamiento débil (1 punto)

Mejora la adhesión entre el fotorresistor aplicado y la oblea, y además elimina el gel del fotorresistor.

– Exposición a radiación ultravioleta (1 punto)

Utilizando una máscara con un patrón podemos transferir dicho patrón al fotorresistor dejando pasar solo una parte de la luz ultravioleta. Esto hace que la sección expuesta del fotorresistor se vuelva insoluble o muy soluble, esto dependerá de si el fotorresistor era negativo o positivo respectivamente.

– Calentamiento fuerte (1 punto)

Mejora la adhesión del fotorresistor al sustrato y endurece el material fotorresistivo.

– Revelado (1 punto)

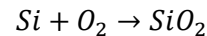
Utilizando una solución ácida o básica se eliminan las áreas no expuestas (las más solubles) del fotorresistor.

B. Oxidación del Silicio

- ¿Por qué se realiza el proceso de oxidación en la fabricación de CMOS? (2 puntos)

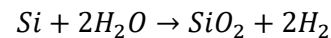
Si se expone el silicio al oxígeno este se oxida, produciendo un aislante de alta calidad. Entre los usos del óxido de silicio están: permite realizar el óxido delgado debajo del gate de los transistores MOS y además puede utilizarse como barrera si se tiene el suficiente espesor.

- ¿En qué consiste el método de oxidación seca? (2 puntos)



Consiste en exponer la oblea de silicio a una atmósfera con oxígeno puro, ésta se introduce en un horno y las temperaturas se elevan en el rango de 900 y 1200 Celsius. Este proceso es lento, pero gracias a ello se puede controlar el grosor del óxido para una mayor precisión.

- ¿En qué consiste el método de oxidación húmeda? (2 puntos)



Si se utiliza vapor de agua en vez de oxígeno puro, es una oxidación húmeda. La oblea se introduce igual en un horno a unas temperaturas entre 900 y 1200 Celsius. La oxidación se da más rápido en este proceso, pero se generan desechos de hidrógeno.

- A continuación realice una tabla en la que compare las ventajas y desventajas de los dos métodos de oxidación mencionados anteriormente. (5 puntos)

Seca	Húmeda
Se utiliza oxígeno gaseoso de alta pureza.	Se utiliza vapor de agua
Se pueden lograr capas delgadas	Proceso rápido
No genera desechos	Genera desechos
Proceso lento	Baja precisión

Control del grosor	
Mayor precisión	
Mejor calidad	

Tabla 1. Oxidación seca vrs. Húmeda.

C. Deposición de materiales

- ¿En qué consiste el método de deposición de materiales? (2 puntos)

Consiste en crear capas de un material sobre una oblea de semiconductor. Existen varios métodos de PVD entre ellos están la evaporación en arco y la dispersión por magnetrón. La ventaja de esta técnica es que las capas ya existentes no se ven prácticamente afectadas. Los materiales depositados pueden ser aislantes, conductores o semiconductores.

- ¿En qué consiste el método de deposición física de vapor PVD? (2 puntos)

Para el proceso PVD en arco los átomos o moléculas del material a depositar se vaporizan con la ayuda de un arco eléctrico, pasando a un estado de plasma y finalmente se condensan en la superficie de la oblea. Para el proceso magnetrón PVD el material se dispersa desde un anticátodo utilizando partículas de alta energía. Este proceso aporta capas muy puras y de alto rendimiento. También se puede utilizar plasma que contiene iones y electrones de argón, los cuales pueden ser utilizados para crear la capa del material.

- ¿En qué consiste el método de deposición química de vapor CVD? (2 puntos)

Gases reactivos se introducen en una cámara junto a la oblea, en donde se producen reacciones químicas entre ellos las cuales generan la capa del material deseado. Se puede modificar la duración alterando la temperatura o presión.

- ¿Qué tipo de materiales se pueden depositar con cada técnica? (2 puntos)

PVD: Metales o compuestos metálicos puros, cerámicas y plásticos.

CVD: Casi cualquier metal o compuesto metálico, nitratos, boratos, óxidos, carbonatos aleaciones, etc.

Material & Coating Process Compatibility Guide		
Material Description	PVD	CVD
Air Hardened		
Air Hardened		
Oil/Water Hardened		
H-Series		
M-Series		
Specialty Steel		
Specialty Steel		
Specialty Steel		
T-Series		
P-Series		
S-Series		
D-Series		
Carbide		
400 Series SS		
300 Series SS		
Carbon Steel		
Medium Carbon Steel		
Aluminum		
Beryllium Copper		
Titanium		
Brass *		
Al/Zn/Mg Castings *		
ABS Plastic*		

Tabla 2. Compatibilidad de materiales y Procesos de Deposición

	Material apto para el proceso.
	Material apropiado, pero puede haber consideraciones en el proceso
	Puede haber inestabilidad en la composición del material
	El material es absolutamente inapropiado para el proceso.

- Realice una tabla en la que compare las ventajas y desventajas de los métodos de deposición de materiales. (5 puntos)

PVD	CVD
Mayor pureza	Se puede acelerar el proceso
Mayor precisión y calidad	No requiere materiales puros
Prácticamente no hay residuos	Menor Costo
Mayor Seguridad	Requiere de otro gas para producir las reacciones
Rango mayor de materiales	Tiene residuos de gas
Requiere materiales puros	Temperaturas más elevadas

Tabla 3. PVD vrs. CVD.

D. Decapado de materiales

- ¿En qué consiste el método de decapado de materiales? (2 puntos)

Consiste en limpiar materiales de imperfecciones eliminando una capa fina del metal de la superficie. El decapado es el proceso para eliminar las manchas de termo coloración por soldadura de la superficie de elementos en los que se ha reducido el contenido de cromo.

- ¿En qué consiste el método de decapado químico? (2 puntos)

Se introduce el material en baños compuestos por ácido nítrico y ácido fluorhídrico a una temperatura entre 40°C y 60°C.

- ¿En qué consiste el método de decapado por bombardeo de iones? (2 puntos)

Consiste en lanzar iones a altas velocidades contra la superficie de un material sobre la que impactan para eliminar defectos en el material.

- Realice una tabla en la que compare las ventajas y desventajas de los métodos de decapado de materiales. (5 puntos)

Químico	Bombardeo de iones
El ácido fluorhídrico es peligroso de manipular	Dependencia con la estequiometría de la aleación
Se pueden producir gases tóxicos por las reacciones	Posee un valor límite donde predomina el desprendimiento de átomos de la capa de la fuente de transferencia
Se pueden reciclar las sales producidas	Influye positivamente en la adherencia densidad y dureza del recubrimiento

Tabla 4. Decapado Químico vrs. Bombardeo de iones.

E. Dopado de materiales

- ¿Por qué se dopan los materiales? (2 puntos)

Se dopan los materiales para alterar las propiedades eléctricas de ellos, esto genera materiales tipo P o N. Los materiales tipo P poseen átomos de impureza que permiten la formación de huecos ya que tiene una escasez de electrones asociados. Por otro lado los materiales tipo N posee átomos de impureza que permite la aparición de electrones, tienen un exceso de electrones asociados.

- ¿En qué consiste el método de dopado por difusión? (2 puntos)

Se coloca la oblea de silicio en un horno con una alta concentración de impurezas y se calienta a temperaturas entre 900°C y 1200°C. Las impurezas se funden en el silicio por medio de dos mecanismos: sustitucional o intersticial. El en primero las impurezas se colocan en espacios vacíos entre los átomos de silicio, en el segundo las impurezas desplazan átomos de silicio o pasan entre ellos sin desplazarlos.

- ¿En qué consiste el método de dopado por implantación (2 puntos)

Un implantador de iones consta de una fuente de iones que produce un plasma con impurezas el cual desvía las partículas y selecciona las impurezas deseadas para que continúen su camino hacia la oblea. Un tubo de aceleración les da la energía suficiente a las partículas para que penetren el material y se implante la dosis de iones en él.

- Elabora una tabla en la que compare las ventajas y desventajas de los métodos de dopado. (5 puntos)

Difusión	Implantación
Altas temperaturas pueden provocar difusiones no deseadas	Bajas temperaturas
Barato	Muy precisa
El dopado se mantiene en la superficie	Casi cualquier especie que puede ser ionizada puede ser implantada.

Tabla 5. Dopado por Difusión vrs. Implantación.

Referencias:

- Acialloys.com. (2016). Physical Vapor Deposition (PVD) Materials and Their Many Uses. [online] de: <http://www.acialloys.com/physical-vapor-deposition-pvd-materials-and-their-many-uses/> [17 Sep. 2017].
- AZoM. (2014, January 02). Chemical Vapour Deposition (CVD) - An Introduction. September 17, 2017, de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1552>
- Baker, R. Jacob. (2010). CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation [Google]
- Balenzategui Manzanares, J. (n.d.). Tecnología de Células Solares de Silicio Cristalino. [PDF] pp.32-33. De http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45345/componente45343.pdf [16 Sep. 2017].
- Books version]. de <https://books.google.co.cr/books?id=kxYhNrOKuJQC&lpg=PA167&ots=kqQYw95wXN&dq=photolithography%20mask%20cmos&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>
- Books version]. de: <https://books.google.co.cr/books?id=omooDQAAQB AJ&lpg=PA1&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
- Estepa, A. and Quero, J. (n.d.). Procesos de fabricación CMOS. [online] Grupo de Tecnología Electrónica. de: http://www.gte.us.es/ASIGN/SEA/MEMS3_PROC1_GENERALES_CMOS.pdf [17 Sep. 2017].
- Euro_inox. (n.d.). Decapado y Pasivado del acero inoxidable. [online] de: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Passivating_Pickling_SP.pdf [17 Sep. 2017].
- G. (2008, August 29). CZOCHRALSKI PROCESS OF SILICON WAFERS. September 16, 2017, from <https://www.youtube.com/watch?v=xftnhfa-Dmo>
- Gómez, P. E. (2008, February 2). Conoce tus elementos - El silicio. September 16, 2017, from <https://eltamiz.com/2008/02/02/conoce-tus-elementos-el-silicio/>
- Green, Martin. (2009). The Path to 25% Silicon Solar Cell Efficiency: History of Silicon Cell Evolution. Progress in Photovoltaics: Research and. 17. 183-189. 10.1002/pip.892.
- Hughes, M. (2017). What Is PVD Coating? Physical Vapor Deposition Coatings. [online] Semicore.com. de: <http://www.semicore.com/what-is-pvd-coating> [17 Sep. 2017].
- Indium Corporation (n.d.). Chemical Vapor Deposition vs. Physical Vapor Deposition. [PDF]. de: <http://documents.indium.com/qdynamo/download.php?docid=1957> [17 Sep. 2017].
- Intel (2009). De la arena al silicio "La fabricación de un chip". [PDF] de: <http://www.uberbin.net/wp-content/uploads/2009/09/fabricacion-de-chip.pdf> [16 Sep. 2017].
- Islam, M. (2010). Difference between silicon wafer <100> & <111>. [online] Academia.edu. de: http://www.academia.edu/334549/Difference_between_silicon_wafer_100_and_111_ [16 Sep. 2017].
- Jain, P. (2017, March 21). CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor). September 16, 2017, de <https://www.engineersgarage.com/articles/what-is-cmos-technology>
- Joan, B. (2012). Difference Between PVD and CVD. [online] Differencebetween.net. de: <http://www.differencebetween.net/technology/industrial/difference-between-pvd-and-cvd/> [17 Sep. 2017].
- Julián, Pedro. (2015). Circuitos Integrados Digitales CMOS: Análisis y Diseño [Google]
- MicroChemicals (2012, June 08). Silicon Wafer Production. September 16, 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=AMgQ1-HdEIM>
- Patent US5164016 - Method for pickling or cleaning materials of steel, in particular stainless steel. (2017). Google Books. 17 September 2017, de <https://www.google.com/patents/US5164016>
- Portela et al. (n.d.). Procesos de Fabricación de Circuitos Integrados CMOS. [PDF] Universidad Carlos III de Madrid. de: http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/circuitos-integrados-y-microelectronica/teoria_cis/procesos-de-fabricacion-material-de-clase [17 Sep. 2017].
- Resistorguide.com. (n.d.). Photo resistor - Light Dependent Resistor (LDR). [online] de: <http://www.resistorguide.com/photoresistor/> [17 Sep. 2017].
- Richter Precision Inc. (n.d.). Material Compatibility. September 17, 2017, de <http://www.richterprecision.com/material-compatibility.html>
- Shin-Etsu MicroSi. (2013). The Difference Between Positive and Negative Photoresist [. [online] de: <https://www.microsi.com/the-difference-between-positive-and-negative-photoresist/> [17 Sep. 2017].
- Trateriber (2017). PVD Recubrimientos Metálicos mediante PVD. 17 September 2017, de <http://www.trateriber.es/pdf/PVD.pdf>