

TRANSFERENCIA DE PELICULAS EPITAXIALES DE SILICIO SOBRE AISLANTE POR ADHESION TERMICA DE OBLEAS.

G. Romero-P

Depto Ing. Eléctrica, SEES,
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
07000 México, D.F., Apartado Postal 14-740.

Se presenta el método de obtención de películas epitaxiales de silicio sobre SiO_2 , SOI, por medio del cual una película epitaxial de silicio es transferida a un segundo sustrato por adhesión térmica de obleas de silicio previamente oxidadas. Un ataque químico posterior elimina el sustrato original.

Por este proceso la película transferida presenta características eléctricas semejantes a las de silicio volumétrico o epitaxial sobre silicio, y superiores a las obtenidas por otros métodos, tales como: la cristalización de silicio amorfo sobre SiO_2 o la formación de una capa de SiO_2 bajo la superficie de silicio por implantación iónica.

INTRODUCCION

Durante los últimos años se han llevado a cabo un gran número de estudios tendientes a la obtención de películas de silicio sobre aislante, SOI, con buena calidad eléctrica. Las estructuras SOI tienen un potencial para la fabricación de circuitos integrados de alta velocidad, alto voltaje, y alta densidad [1], debido principalmente a la reducción de las capacidades parásitas.

La tecnología de silicio sobre zafiro, SOS, ha sido usada normalmente para la obtención de películas de silicio dieléctricamente aisladas para la aplicación en C.I. MOS, en el cual el tiempo de vida de los portadores minoritarios no es una consideración principal [2]. Para aplicación en dispositivos bipolares, en el cual el tiempo de vida de minoritarios es un parámetro importante, el proceso anterior no es adecuado y se emplea generalmente una película gruesa de silicio policristalino depositado por CVD sobre obleas de silicio monocristalino, previamente oxidadas, prior a un proceso de adelgazamiento [3]. La complejidad de estas tecnologías y el alto costo del zafiro han limitado las aplicaciones. Adicionalmente los transistores MOS fabricados a partir de estructuras SOS tienen baja calidad conforme el espesor de la película se reduce, por su alta densidad de dislocaciones en la interfaz Silicio-Zafiro [4,5].

Un incremento reciente en el interés de circuitos dieléctricamente aislados, para aplicaciones principalmente en

telecomunicaciones, han conducido a un esfuerzo renovado en el desarrollo de esquemas alternativos para la preparación de este tipo de estructuras SOI.

El objetivo a corto plazo de estos esfuerzos es la obtención de películas delgadas de silicio dieléctricamente aislado por métodos sencillos y por lo tanto más económicos, con propiedades semiconductoras aceptables y baja densidad de defectos. Un objetivo adicional es obtener un incremento en la densidad de integración tanto en circuitos MOS como bipolares, y uno a más largo plazo es la producción de circuitos integrados verticales [6], en el cual estructuras del tipo silicio monocristalino sobre óxido de silicio pueda ser repetido más de una vez en la dirección vertical.

El propósito de este trabajo es describir un proceso de adhesión térmica de obleas en la obtención de películas de Silicio sobre aislante, propuesto inicialmente por J. B. Lasky [7] y M. Shimbo et al [8], así como los resultados obtenidos en nuestro laboratorio.

TECNICAS PARA LA OBTENCION DE PELICULAS SOI

Se ha enfatizado que para aplicaciones en circuitos LSI y VLSI, la densidad de defectos del silicio sobre el aislante debe de ser baja.

Algunas de las técnicas empleadas en la obtención de la estructura mencionada son: Sobrecrecimiento por epitaxia lateral por CVD, ELO (Epitaxial Lateral

Overgrowth), epitaxia local, LESS (Local Epitaxial Seeding of Silicon), epitaxia lateral en fase sólida LSPE, SPE [9,10], Grafoepitaxia, recristalización por fundido localizado, ZMR (zone melting recrystallization) [11], implantación profunda de oxígeno en silicio, SIMOX (Separation by IMplantation of OXigen) [12] y oxidación de silicio poroso, FIPOS [13]. De todas estas técnicas SIMOX da películas de silicio de excelente calidad sobre SiO₂ [14].

Películas SOI crecidas por ELO, en la etapa de desarrollo actual no son adecuadas para substituir al SOS. Para la obtención de películas ELO de baja densidad de defectos, la razón entre velocidades de crecimiento ó recristalización horizontal y vertical es baja y por consiguiente no es posible cubrir grandes áreas [2,10].

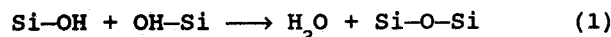
Recientemente la técnica de adhesión de obleas de silicio ha sido propuesta y estudiada, en la cual, los materiales pulidos a espejo son adheridos por van der waals, pudiendose adherir SiO₂ sobre SiO₂. Este tipo de unión tiene una baja fuerza de adhesión, pudiendo ser incrementada por tratamientos térmicos [8] o bien bajo fundido localizado de ambos materiales sobre la interfaz, por medio de un haz de laser de alta energía, barrido a través de la superficie [15].

PROCESO DE TRANSFERENCIA

La técnica consiste fundamentalmente de tres etapas: oxidación, adhesión y ataque del sustrato original, y se encuentra esquematizado en la fig. 1

La oxidación de las obleas de silicio a unirse se lleva a cabo por un proceso térmico en atmósfera oxidante a temperaturas superiores a 900°C.

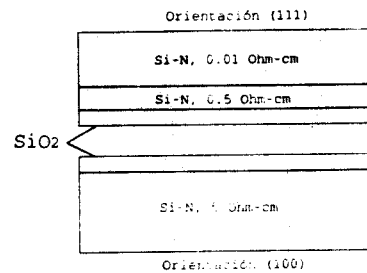
Una vez oxidadas las obleas, éstas se ponen en contacto. la unión se efectúa, a partir del modelo propuesto por J.B. Lasky [7] y R. Stengl et al [16], basados en la química de la sílice, de acuerdo a la reacción (1)



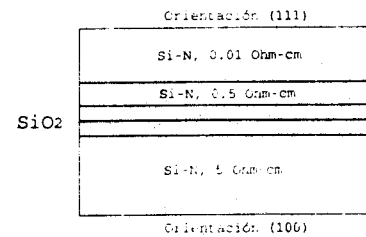
y se encuentra esquematizado en la fig. 2.

Para llevar a cabo la adhesión de obleas a temperatura ambiente y bajo presión atmosférica es necesario, por consiguiente, que las superficies a adherirse deban de estar pulidas a espejo, libres de polvo y ser hidrofílicas. La última de las tres condiciones implica que los grupos de silanol (=Si-OH) están presentes en la interfaz y pueden formar enlaces siloxane (=Si-O-Si=) entre las

OXIDACION



ADHESION



ATAQUE QUIMICO

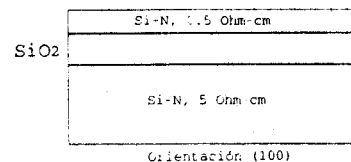


Fig 1 Proceso de tranferencia de películas epitaxiales sobre SiO₂ crecido térmicamente en ambas superficies a unirse.

superficies, por la eliminación del agua adsorbida por un proceso térmico a temperaturas arriba de 200°C.

La fuerza de enlace se incrementa conforme la temperatura aumenta, alcanzando valores semejantes a las del silicio para temperaturas superiores a 1000°C [8].

La tercera etapa es el ataque del sustrato original que contiene a la capa epitaxial a ser transferida. Este proceso es factible bajo el uso de un atacante selectivo dependiente de la impurificación tal como la solución de HF:HNO₃:CH₃COOH en una proporción volumétrica de 1:3:8 bajo concentración de los reactivos de 40%, 65% y 99% respectivamente [17].

Esta solución presenta una razón de ataque del orden de 1µm/min en silicio

MODELO DEL PROCESO DE ADHERENCIA DE OBLEAS DE SILICIO

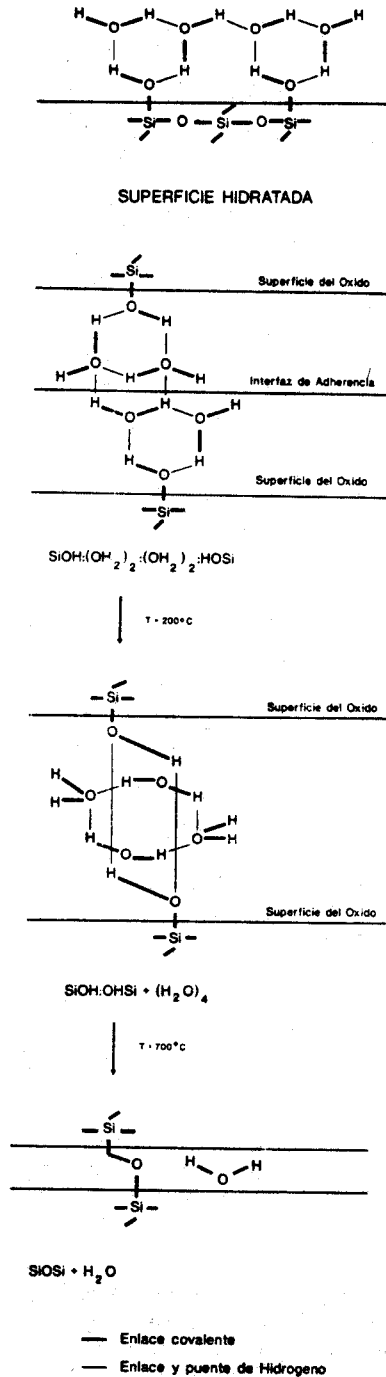


Fig. 2 Modelo del proceso de adherencia de obleas de Silicio [16].

de resistividad menor a 0.01Ω-cm mientras que la razón de ataque se reduce drásticamente cuando la resistividad es superior a 0.07Ω-cm. Sin embargo, cuando se lleva a cabo el ataque de silicio de alta conductividad con una película epitaxial ligeramente impurificada, la película epitaxial llega a ser atacada

conforme transcurre el tiempo de ataque, es decir, se reduce la selectividad, la razón para ello es la acción del ácido nitroso, originado por el ataque del silicio de alta conductividad, el cual es un agente altamente oxidante.

El ataque preferencial controlado para substratos gruesos ha sido obtenido agregando un agente oxidante en la solución, tal como el peróxido de hidrógeno, conforme transcurre el ataque, para controlar la concentración y acción del ácido nitroso [17].

RESULTADOS

La unión se llevó a cabo entre dos obleas de Silicio tipo N de diferente orientación. Una de ellas de orientación (100) y con una resistividad de 5Ω-cm, la otra de orientación (111) y de 0.01Ω-cm de resistividad, la cual tiene una película epitaxial directamente del fabricante de 12μm tipo N y resistividad de 0.5Ω-cm.

Después de una limpieza tipo RCA ambas obleas se oxidaron a 1100°C en atmósfera de oxígeno húmedo por 2 horas, obteniéndose espesores en las capas de óxido así formado de 0.7μm. Con el fin de hidratar las superficies para estimular la adhesión posterior a la oxidación, las obleas se introdujeron en una solución de ácido clorhídrico, peróxido de hidrógeno y agua en una proporción de 1:1:7 a 80°C por 10 minutos.

Después de un enjuague en agua deionizada y secadas por medio de nitrógeno, las obleas se pusieron en contacto por las superficies pulidas, como se esquematiza en la fig. 1a, manteniéndose las obleas unidas, adhesión por Van der Waals. Posteriormente se sometieron a un tratamiento térmico a 1100°C por 3 horas en atmósfera oxidante con el fin de incrementar la fuerza de adhesión. Si las superficies no son completamente planas puede quedar aire atrapado en la interfaz, el cual da lugar a burbujas, que pueden permanecer aún después del tratamiento térmico, originando regiones no adheridas y la subsecuente fractura de la película epitaxial en esas regiones.

Posterior a la eliminación del óxido crecido por la cara de la oblea de baja resistividad, se llevó a cabo un ataque parcial en una solución de HF:HNO₃:CH₃COOH en la proporción 2:3:5 y una concentración de los ácidos de 40%, 65% y 99.8% respectivamente, por 35 minutos, con el fin de adelgazarla a 30μm. Las últimas 30μm se atacaron en la solución de ataque selectivo, 1:3:8 por 60 minutos bajo la misma concentración

de los ácidos mencionada arriba. El ataque se llevó a cabo haciendo girar el recipiente a una velocidad de 60 cpm. Las obleas unidas se fijaron al fondo del recipiente por medio de grasa de silicio. Se observó, que bajo el uso de este tipo de grasa de vacío, se reduce apreciablemente el ataque lateral que toma lugar en la periferia de la oblea e incrementa la selectividad, sin la necesidad del uso de peróxido de hidrógeno.

La película epitaxial sobre óxido de silicio fue caracterizada por LBIC, obteniéndose una longitud de difusión de portadores minoritarios de $120 \mu\text{m}$, semejante a la de silicio volumétrico de iguales características. La movilidad y la concentración de portadores mayoritarios obtenidas por el método de Hall, fue respectivamente de $768 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ y de $2.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, correspondiendo a una resistividad de la película de 0.5 Ohm-cm y una resistencia de cuadro de 394Ω obtenidas por Van der Pauw, para un espesor de la película de $12 \mu\text{m}$.

Con el fin de corroborar el buen aislamiento de la película epitaxial del substrato, se formaron islas de semiconductor por fotolitografía y ataque químico y se midió la conductividad entre islas vecinas. Las características corriente-voltaje correspondieron a un circuito abierto. Este resultado se esperaba debido a que el óxido de silicio crecido por un proceso térmico en atmósfera oxidante es un buen aislante y su espesor, en este experimento, es relativamente grande, del orden de $1.4 \mu\text{m}$, siendo difícil su desintegración [18]. La fig. 3 muestra una fotografía de microscopio óptico del corte transversal de una película transferida por este método. En esta figura se observa la película epitaxial en la parte superior separada del substrato por la capa de óxido formada por las dos películas adheridas de los óxidos crecidos térmicamente.

CONCLUSIONES

La técnica de adhesión térmica de obleas permite la generación de películas semiconductor sobre aislante por transferencia de capas epitaxiales, en la cual un óxido de silicio es crecido térmicamente en una o ambas superficies a adherirse.

El substrato de baja resistividad, $0.01 \Omega\text{-cm}$, fue atacado en una solución, cuya razón de ataque depende de la concentración de impurezas, deteniéndose el ataque en cuanto se alcanza la capa epitaxial de alta resistividad, $0.5 \Omega\text{-cm}$. Con el fin de acelerar este proceso, se adelgazó inicialmente el substrato en una solución no selectiva.

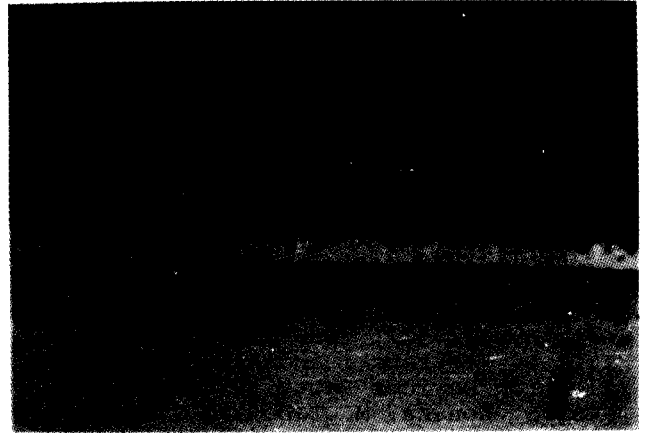


Fig. 3 Fotografía de microscopio óptico de una película transferida

El uso de grasa de silicio como medio para fijar la muestra al fondo del recipiente, permitió disminuir el ataque de la periferia de las obleas.

La capa transferida fue caracterizada por medio de LBIC para la determinación de la longitud de difusión de portadores minoritarios, por el método de Hall para la medición de la movilidad y concentración de portadores; y la resistencia de cuadro y resistividad por el método de Van der Pauw siendo semejantes estos parámetros a los encontrados en silicio volumétrico de igual resistividad. El buen aislamiento de la película de óxido de silicio fue corroborado midiendo la conductividad entre islas vecinas de semiconductor, formadas estas últimas por fotolitografía y ataque químico.

Por sus características eléctricas antes mencionadas hacen factible el uso de este tipo de películas para la realización de MESFETs en silicio entre otros dispositivos, siendo esto último motivo de otro trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J.B. Mckitterick and A.L. Caviglia, IEEE trans. Electron Devices, 36, 1133, (1989).
- [2] L. Jastrebski, RCA Review, 44, 250, (1983).
- [3] K.E. Bean and W. R. Runyan, J. Electrochem. Soc., 124, 5C, (1977).
- [4] D.J. Dumin and P.H. Robinson, J. Cryst. Growth, 3-4, 213, (1968).
- [5] M.S. Abrahams and C.J. Buicchi, Appl. Phys. Lett., 28, 275, (1976).
- [6] J.A. Friedrich and G.W. Neudeck, IEEE Electron Device Letters, 4, 144, (1989).

- [7] J.B. Lasky, Appl. Phys. Lett., 48, 78, (1986)
- [8] M. Shimbo, K. Furukawa, K. Fukuda, and K. Tanzawa, J. Appl. Phys., 60, 2987, (1986)
- [9] N. Hirashita, T. Katoh, and H. Onoda, IEEE Trans. Electron Devices, 36, 548, (1989)
- [10] Y. Kunii, M. Tabe, and K. Kajiyama, J. Appl. Phys., 54, 2847, (1983)
- [11] H.J. Smith, M.W. Geiss, C.V. Thomson and H.A. Atwater, J. Crystal Growth, 63, 527, (1983).
- [12] L. Jastrebski and A.C. Ipri, IEEE Electron Devices Lett., 9, 151, (1988)
- [13] S. Konaka, M. Tabe and T. Sakai, Appl. Phys. Lett., 41, 86, (1982)
- [14] I. Sweid, N. Guieumont and G. Kamarios, J. Appl. Phys., 63, 5633, (1988)
- [15] M.L. Geyselaers, J. Haisama, F.P. Widdershoven, Th. M. Michielsen, and A.H. Reader, Appl. Phys. Lett., 54, 1311, (1989)
- [16] R. Steng, T. Tan, and U. Gösele, Jap. J. Appl. Phys., 28, 1735, (1989)
- [17] H. Muraoka, T. Ohhashi and, Y. Sumitomo, Semiconductor Silicon 1973, Ed. H.R. Huff, and R.R. Burgess, The Electrochemical Society Softbound Symposium Series, Princeton N. Y., 1973, p. 327.
- [18] K.Y. Ahn, R. Stengl, T.Y. Tan, U. Gösele, and P. Smith, Appl. Phys. A 50, 85, (1990).