

Universitat de Barcelona
Facultat de Física
Departament de Física Aplicada i Electrònica

**OPTIMIZACIÓN DE SENSORES DE PRESIÓN
PIEZORRESISTIVOS DE SILICIO PARA
INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA Y APLICACIONES A
ALTA TEMPERATURA**

Santiago MARCO COLÁS

**Memoria presentada para optar
al grado de doctor en Ciencias Físicas**

Barcelona, julio de 1993

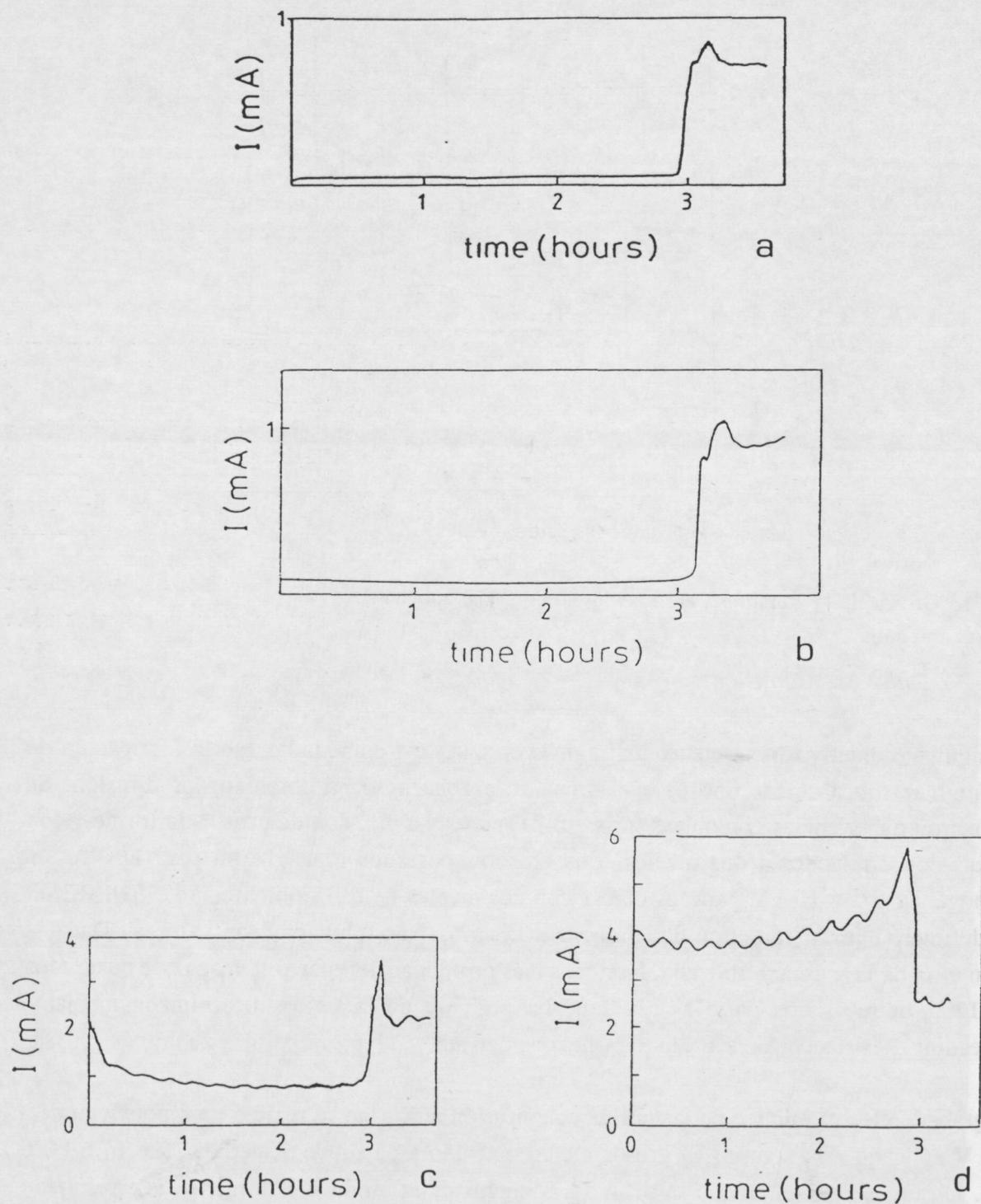


Fig. 14 Curvas intensidad-tiempo para los distintos potenciales aplicados: a) -0.7 V, b) $+0.3$ V, c) $+1.8$ V, d) $+4.8$ V.

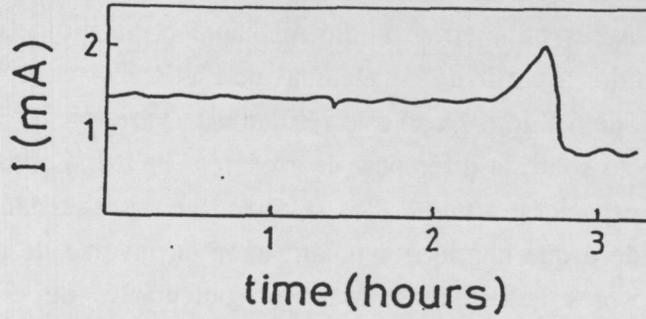


Fig. 15 Evolución de la intensidad de corriente durante el ataque en la membrana con difusiones a dos profundidades.

Tabla III: Grososres (en μm) obtenidos mediante FTIR en el grabado de las membranas no uniformes

Muestra 1		Muestra 2	
zona delgada	zona gruesa	zona delgada	zona gruesa
$\langle x \rangle = 10.5 \pm 0.2$	$\langle x \rangle = 12.8 \pm 0.4$	$\langle x \rangle = 11.2 \pm 0.6$	$\langle x \rangle = 13.5 \pm 0.6$

La diferencia media entre la zona delgada y la gruesa es $2.3 \mu\text{m}$. En ambos casos el ataque se detiene antes de llegar a la unión metalúrgica, si bien la diferencia es mayor para la zona delgada que para la gruesa.

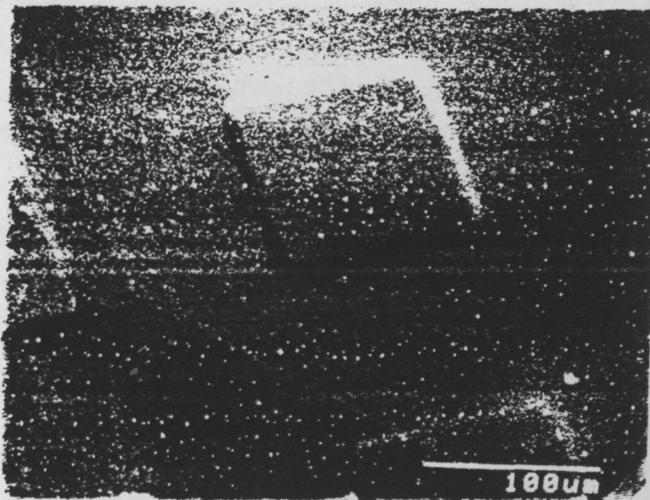


Fig. 16 Imagen SEM mostrando la membrana estructurada. Ataque con tres electrodos (run 217).

La diferencia de grosores también se midió mediante el perfilómetro, hallándose valores similares a los obtenidos a partir de las medidas de FTIR. Por consiguiente, no se alcanzó la diferencia prevista de $5.8 \mu\text{m}$. Dado este resultado se variaron las condiciones de trabajo para observar su efecto sobre la diferencia de grosores. Se había constatado que la anchura de la zona de carga espacial era uno de los factores que modificaban el espesor final de la membrana. Se consideró que una menor polarización en inverso de la unión podría alterar la diferencia de grosores obtenida. Se aplicaron potenciales de -1V y de $+3.8\text{V}$. Los resultados obtenidos aparecen en la tabla IV.

Tabla IV: Grosores (en μm) de las zonas gruesas y delgadas variando el voltaje aplicado a la zona n.

V = -1V		V = +3.8V	
zona delgada	zona gruesa	zona delgada	zona gruesa
7.2 ± 0.5	9.0 ± 0.2	12.8 ± 0.5	15.5 ± 0.3

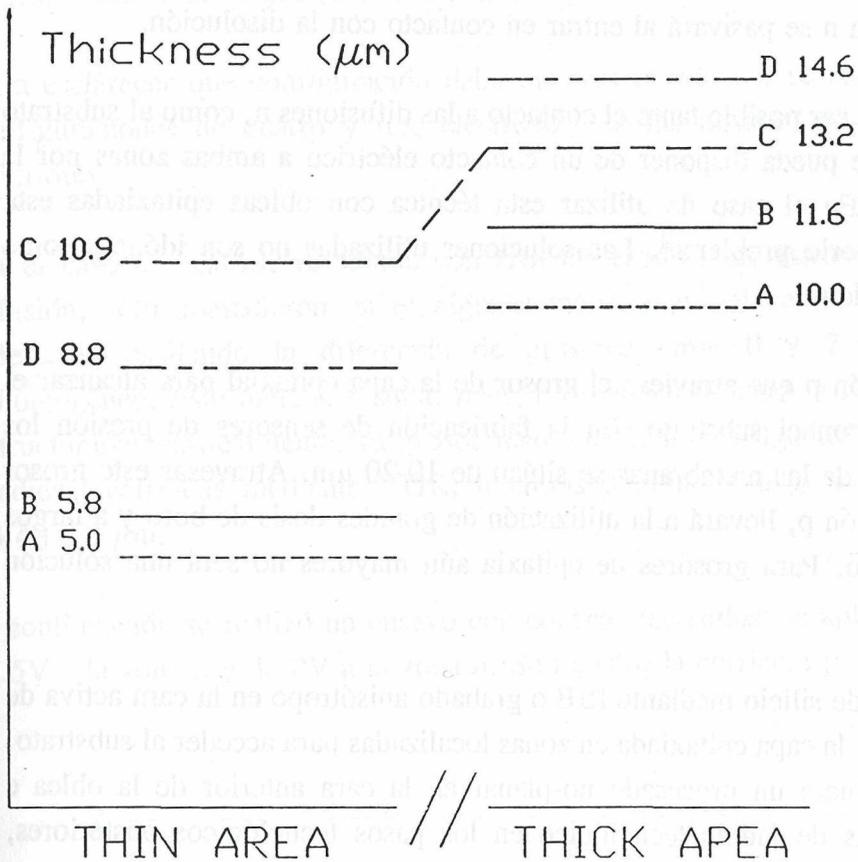
En el primer caso la velocidad de ataque al silicio tipo n no es despreciable, pues la polarización está muy cercana a la posición del pico de pasivación, lo que provoca que las membranas más delgadas. La diferencia de grosores disminuyó a $1.8 \mu\text{m}$. En el segundo caso la diferencia media es $2.7 \mu\text{m}$. En cualquier caso las diferencias fueron mucho menores de lo esperado.

El grabado incompleto de la zona p también podría deberse a una disminución anómala de la velocidad de ataque, pero que sin embargo continuará grabándose a una velocidad mayor que la de la zona n. Para comprobar la validez de ésta suposición, las muestras se mantuvieron en la solución durante un período mucho más largo: 1h 20min, tras la aparición del pico para ver si la diferencia de grosores aumentaba. Los resultados aparecen en la tabla V:

Tabla V: Grosores (en μm) obtenidos tras un sobreataque de 80 min.

zona delgada	zona gruesa
10.6 ± 0.6	12.3 ± 0.4

La diferencia se redujo a $1.7 \mu\text{m}$, sin mejorar por lo tanto el resultado.



- A: Simulación SUPREM3
- B: Spreading Resistance
- C: Medidas FTIR
Diafragmas no-uniformes
- D: Medidas FTIR
Diafragmas uniformes

Fig. 17 Gráfico mostrando los distintos grosores obtenidos (V = -0.2 V).

II.4.3 Fabricación de membranas con cuatro electrodos:

B. Kloeck propone una configuración con cuatro electrodos, en la cual se contacta independientemente la zona n y la zona p, donde el ataque se detiene prácticamente en la unión metalúrgica^{4,24} y el grosor final de la membrana no parece depender del potencial aplicado al diodo, aunque hay discrepancias con otros autores²⁵.

En esta configuración se aplica un potencial bien definido al substrato tipo p, para asegurarse que se mantiene a un potencial cercano al OCP. De esta manera, el potencial en el substrato

depende menos de las corrientes de fuga del diodo. Además se aplica un potencial al diodo para garantizar que la zona n se pasivará al entrar en contacto con la disolución.

En esta configuración debe ser posible tanto el contacto a las difusiones n, como al sustrato tipo p. Es deseable que se pueda disponer de un contacto eléctrico a ambas zonas por la misma cara de la oblea. En el caso de utilizar esta técnica con obleas epitaxiadas esta consideración supone un serio problema⁴. Las soluciones utilizadas no son idóneas como comentaremos a continuación:

- i) Realizar una difusión p que atravesase el grosor de la capa epitaxial para alcanzar el contacto eléctrico con el sustrato. En la fabricación de sensores de presión los grosores habituales de las membranas se sitúan de 10-20 μm . Atravesar este grosor mediante una difusión p, llevará a la utilización de grandes dosis de boro y a largos tiempos de recocido. Para grosores de epitaxia aún mayores no será una solución práctica.
- ii) Realizar un ataque de silicio mediante RIE o grabado anisótropo en la cara activa de la oblea eliminando la capa epitaxiada en zonas localizadas para acceder al sustrato. Esta solución involucra un procesado no-planar en la cara anterior de la oblea e implicará problemas de índole tecnológico en los pasos tecnológicos posteriores, especialmente si requieren fotolitografía.

Utilizando difusiones n para la definición de la membrana estos problemas desaparecen, pues al realizar un dopado selectivo en la cara anterior de la oblea podemos acceder sin ningún tipo de problemas al sustrato.

Para poder trabajar con esta nueva configuración se utilizó un nuevo conjunto de obleas (proceso 252_Aeq). En este caso, como se mencionó en la descripción de las muestras, las difusiones homogéneas tenían un grosor de 15.2 μm . Las medidas de Spreading Resistance para las obleas con dos difusiones dieron los siguientes resultados: zona delgada 5.5 μm , y zona gruesa 17.9 μm .

II.4.3.1 Obleas con difusión uniforme:

El potencial aplicado a la zona n fue 0 V mientras la zona p se polarizaba a -1.5V, respecto al electrodo de referencia. Tras la aparición del máximo, las muestras estuvieron en el baño durante 48 min más manteniendo la polarización aplicada. El grosor medio obtenido fue $16.0 \pm 0.3 \mu\text{m}$. Este resultado sugiere que incluso en la configuración de cuatro electrodos el ataque no se detiene en la unión metalúrgica sino ligeramente antes.

II.4.3.2 Obleas con difusiones a dos niveles: membranas estructuradas verticalmente

Para esclarecer que configuración daba mejores resultados, se realizaron grabados en las configuraciones de cuatro y tres electrodos, en las mismas condiciones que las obleas anteriores.

En el caso de realizar el ataque con tres electrodos, las estructuras definidas mediante difusión, sólo aparecieron en algunas membranas del centro de la muestra con una diferencia oscilando la diferencia de grosores entre 0 y 7 micras, resultado muy inhomogéneo. Este método resulta, pues, poco adecuado para la realización de membranas estructuradas verticalmente. El grosor medio de la zona delgada fue: $12 \pm 2 \mu\text{m}$, según las medidas realizadas mediante FTIR, mientras para la zona gruesa el valor obtenido fue $13.4 \pm 0.2 \mu\text{m}$.

A continuación se realizó un ensayo con cuatro electrodos: se aplicó un voltaje de -1.5V a la zona p y de 0V a la zona n. Se registró la corriente por el contraelectrodo (I_{CE})

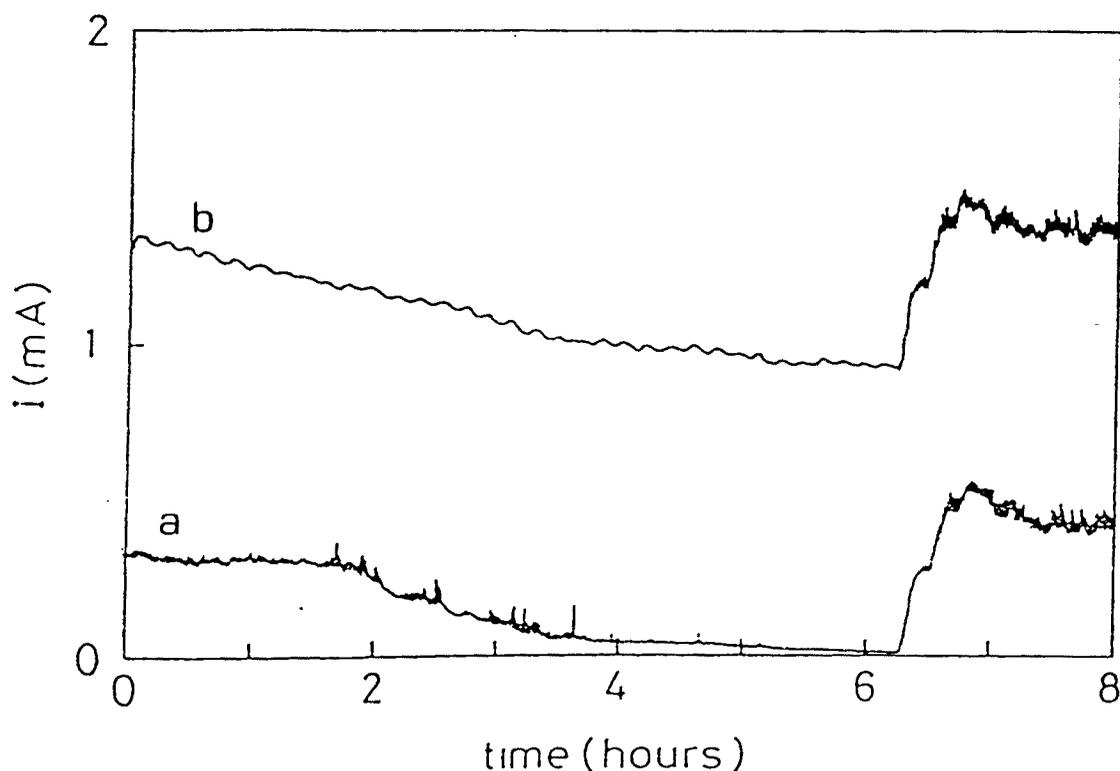


Fig. 18 Intensidad de corriente en función del tiempo: a) corriente por el contraelectrodo, b) corriente por el diodo.

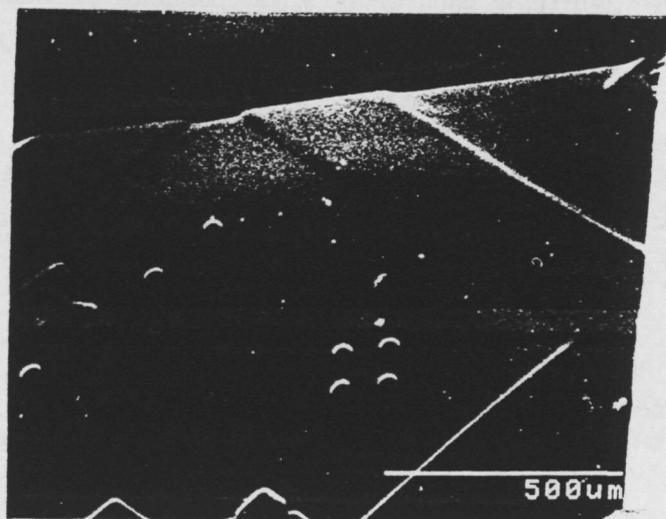


Fig. 19 Imagen SEM de las estructuras presentes en las membranas tras el paro electroquímico.

y por el diodo (I_D) (figura 18). En la figura 19 se muestran unas imágenes SEM de las membranas obtenidas, donde se observan claramente los motivos difundidos en relieve en la superficie de la membrana. Comparar con el dibujo de la máscara (figura 5). Este resultado es uniforme y repetitivo. Mediante el perfilómetro se midió la diferencia de alturas entre los dos niveles: $9.9 \pm 0.3 \mu\text{m}$. Como puede observarse en el perfil mostrado en la figura 20, el perfil del escalón cae del 100% a un 20% abruptamente en una distancia entre 25 y 30 μm , sin embargo, la transición del 20% al 0% es gradual apreciándose una "cola" en la zona delgada que puede llegar hasta 100 μm de anchura. Es interesante señalar que cuando las estructuras están próximas entre sí (distancias inferiores a 80 μm) se observa que los bordes no quedan tan bien definidos. Un ejemplo es la estructura en forma de peine presente en la máscara con una separación entre púas de 46 μm . Esta separación queda disminuida por la difusión lateral a un valor de aproximadamente 30 μm al nivel de la superficie de la membrana. Aún así, el peine no queda bien definido. La diferencia de profundidad medida entre la púa y el espacio entre púas era del orden de una micra (figura 22).

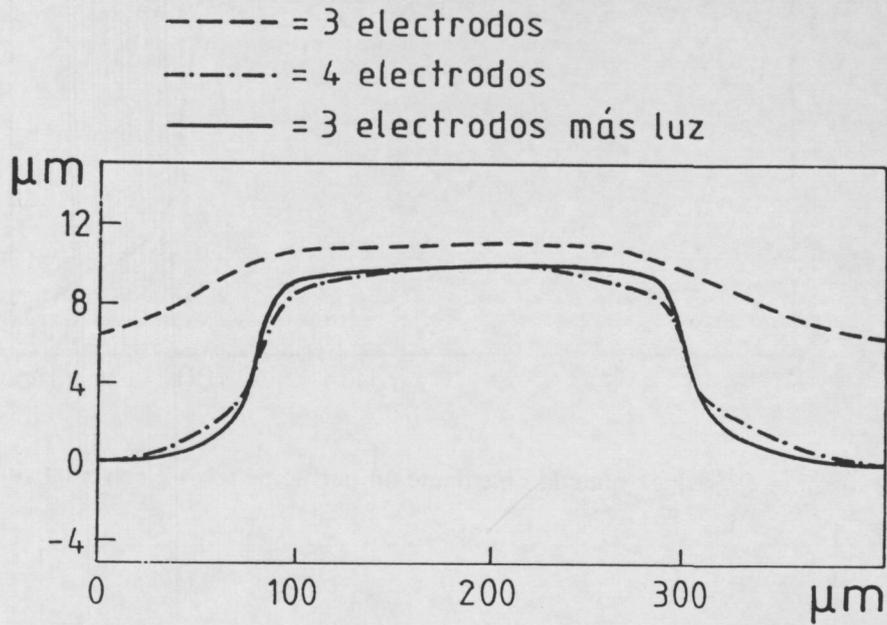


Fig. 20 Perfil del relieve de un motivo en la membrana: comparación entre los resultados obtenidos con 3 electrodos, 4 electrodos y 3 electrodos + luz.

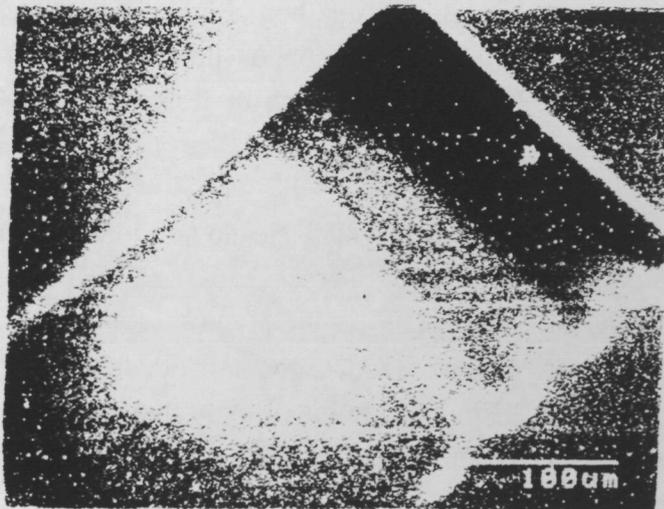


Fig. 21 Imagen SEM del aspecto del "peine" en la membrana tras el ataque (4 electrodos sin luz).

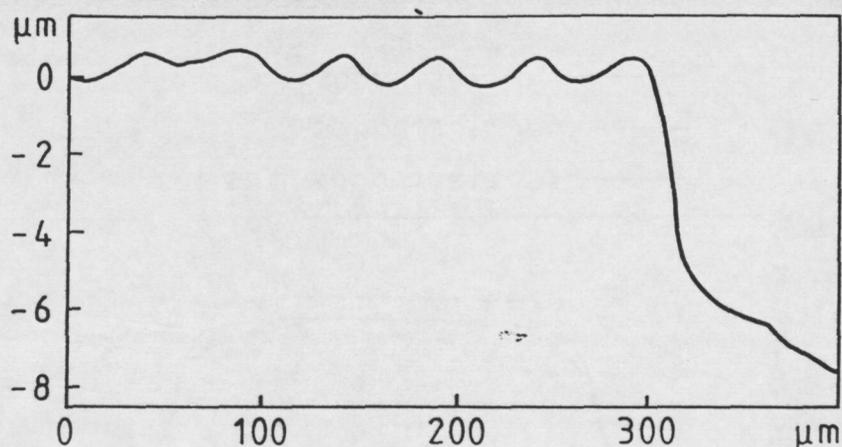


Fig. 22 Relieve sobre el "peine" obtenido mediante un perfilómetro (4 electrodos sin luz).

II.4.4 Fabricación de membranas estructuradas verticalmente con tres electrodos y luz

Tal como se discutió en el apartado acerca de los mecanismos de pasivación dada la naturaleza electroquímica del proceso es lógico esperar que la iluminación de la superficie atacada altere las características del proceso de pasivación. Para observar la influencia de la luz se realizó un ensayo de ataque bajo iluminación intensa en la configuración de tres electrodos. Para ello se utilizó simplemente una bombilla de 75W a unos centímetros de la muestra. La intensidad luminosa fue medida con un detector piroeléctrico ORIEL en la posición virtual de la muestra: 3 mW/cm^2 . El resto de las condiciones eran idénticas a las utilizadas anteriormente.

Las estructuras aparecen en todos los diafragmas, siendo la diferencia entre los dos grosores entre 9.8 y $10.2 \text{ } \mu\text{m}$.

En las membranas se pueden observar zonas con tonalidades ligeramente distintas que desaparecen tras un ataque con HF indicando que muy probablemente se deben a óxidos de pasivación con grosores ligeramente distintos. Éstas diferencias aparecen a causa de las reflexiones de la luz en los muros $\{111\}$ de la cavidad, lo que conlleva una variación de la intensidad luminosa sobre la superficie de la membrana.

El ataque con tres electrodos bajo iluminación presenta las siguientes ventajas respecto al ataque con cuatro electrodos:

- No es necesario que la zona p esté siempre conectada al potencial, permitiendo atacar

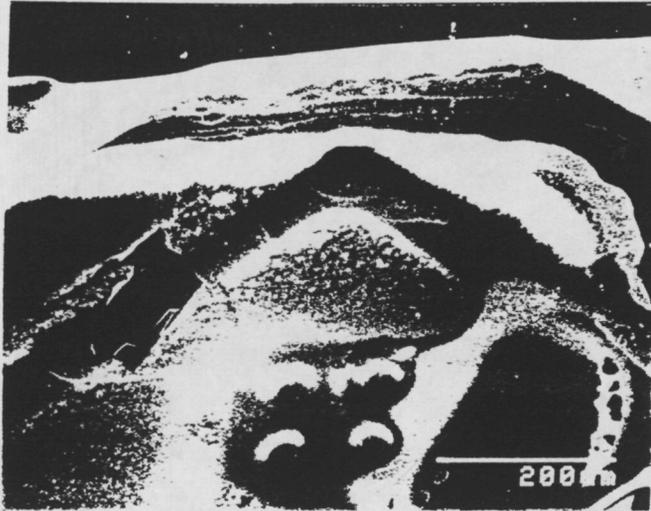


Fig. 23 Imagen SEM del aspecto de la membrana cuando el ataque se realiza con tres electrodos y luz.

zonas p encerradas por difusiones n más profundas.

- En algunas aplicaciones el diseño será más sencillo si no hay que contactar el sustrato.
- Con cuatro electrodos se pueden producir gradientes de potencial en el sustrato cuando el contacto del mismo se sitúa en un extremo de la muestra.

Sin embargo, esta configuración complica la realización experimental y además, para la obtención de buenos resultados es necesario que la iluminación sea uniforme sobre toda la superficie de la oblea y el montaje experimental se complica.

II.4.5 Fabricación de membranas estructuradas verticalmente con 4 electrodos y luz

Con el objetivo de alcanzar una mejor comprensión de la naturaleza de la pasivación en una unión p-n, se creyó conveniente intentar la fabricación de membranas utilizando cuatro electrodos y luz.

Los resultados obtenidos fueron bastante decepcionantes, ya que sólo en las membranas situadas en el borde de la zona expuesta (donde la iluminación es más tenue) eran visibles los motivos tras el ataque. En cambio, el resto de las membranas tenían un grosor no

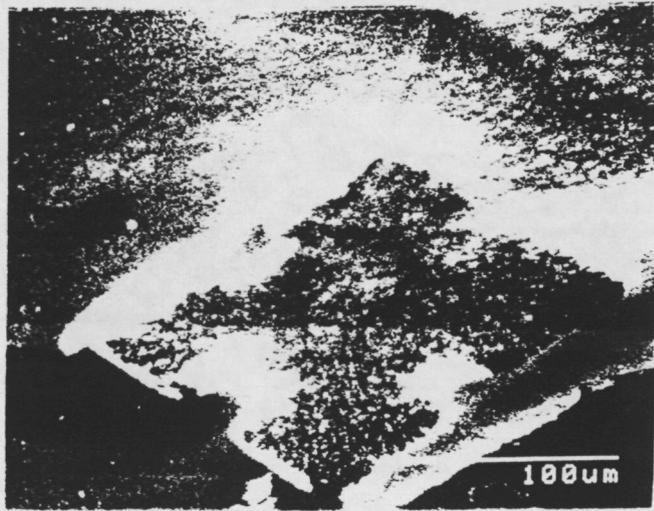


Fig. 24 Detalle de la estructura en forma de cruz. Las condiciones de ataque son las mismas que en la imagen anterior.

uniforme, siendo mucho más delgadas en el borde que en el centro de la membrana. La figura 25 muestra el perfil obtenido en una de las membranas con una diferencia máxima de casi $20 \mu\text{m}$.

Un examen más detallado de lo que ocurre al realizar el ataque anisótropo en estas condiciones nos permitió entender la causa de este resultado. En la figura 26 se muestra las

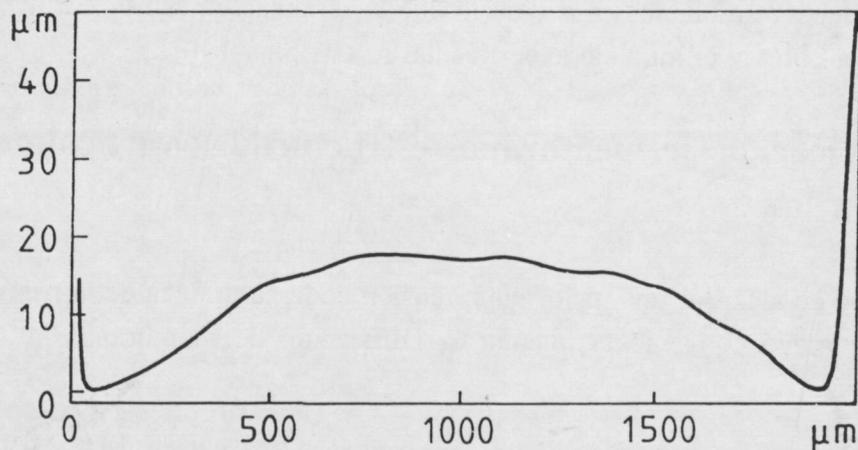


Fig. 25 Relieve medido mediante perfilómetro en las membranas obtenidas mediante cuatro electrodos y luz.

curvas I/V sobre silicio tipo p con y sin iluminación. Como puede observarse aunque el nivel de corriente aumenta, la intensidad utilizada (3 mW/cm^2) no es suficiente para desplazar la posición del pico de pasivación, si bien según Voss et al.²⁶ a estas intensidades (aunque a temperatura sensiblemente más baja: $T=43^\circ\text{C}$) empieza a ser apreciable el movimiento del pico.

De acuerdo con la figura 26, cuando se ilumina la superficie durante el grabado, el nivel de corriente (especialmente al acercarnos al punto de pasivación) crece significativamente, debido a la creación de pares electrón-hueco. Por otro lado, en la pasivación en una unión p-n, la luz que incide en la superficie de la membrana penetra hasta la zona de carga espacial del diodo, aumentando el nivel de corriente de éste y reduciendo el ancho de la ZCE. En la configuración con tres electrodos, la zona p está a potencial flotante. En este caso los pares electrón-hueco creados por la luz se mueven perpendicularmente al plano de la oblea. Cuando

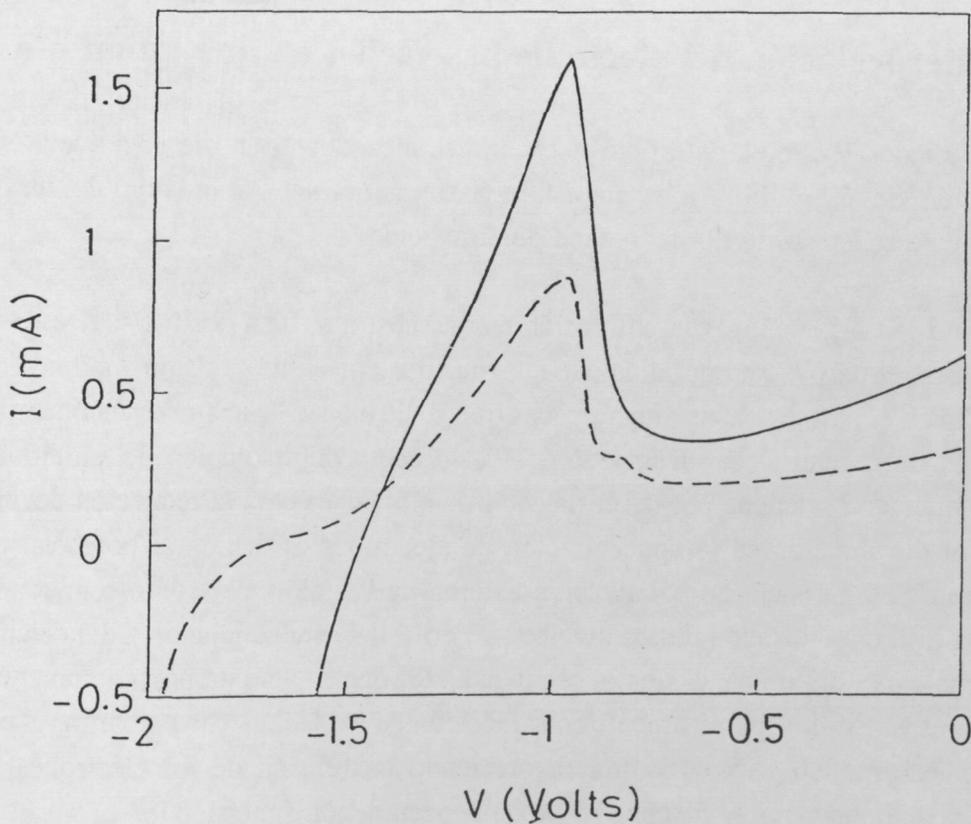


Fig. 26 Curvas I/V silicio-p/disolución ($T=85^\circ\text{C}$, KOH 40%) con la iluminación utilizada durante el ataque (línea continua), o sin iluminación (línea discontinua).

la interficie silicio-p/electrólito está cerca de la unión PN, en la configuración de cuatro electrodos, ésta corriente es paralela al plano de la oblea, siendo mayor la resistencia debido a la disminución de la sección conductora. Esta corriente causa una caída de potencial a lo largo de la membrana, y en consecuencia el silicio tipo p a lo largo de la superficie del diafragma deja de estar al mismo potencial respecto al electrolito, pasivándose por lo tanto a distintas profundidades. En la figura 27 se muestra la dirección esperada de la corriente (corriente inversa del diodo). El centro de la membrana está a un potencial más positivo que el borde y en consecuencia se pasiva antes explicando los malos resultados obtenidos.

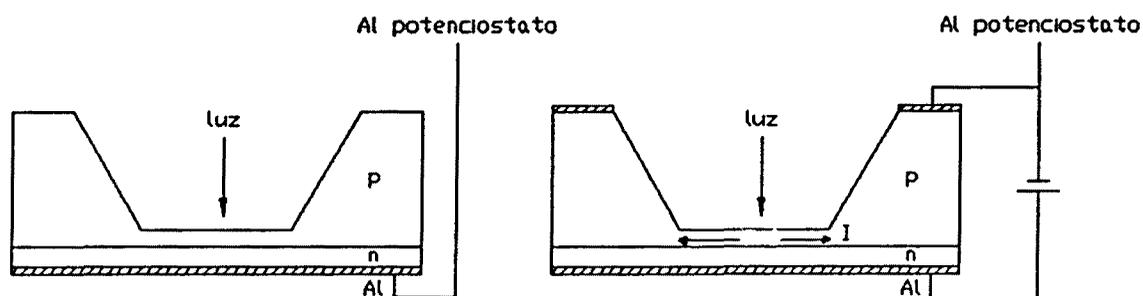


Fig. 27 La corriente en la capa p crea un gradiente de potencial sobre la superficie de la membrana.

II.4.6 Interpretación del efecto de pasivación en una unión p-n

La compleja naturaleza de la interficie electrolito/semiconductor en presencia de la reacción de disolución de éste último, ha impedido hasta ahora la elaboración de un modelo completamente satisfactorio del fenómeno de pasivación.

Consideremos en primer lugar la pasivación en un substrato, bien sea p o n. Desde nuestro punto de vista, el paro electroquímico puede explicarse por un mecanismo similar al argüido por Raley⁷ para el paro en capas muy dopadas tipo p, de manera que ambos fenómenos serían la expresión de la naturaleza electroquímica del proceso de disolución del silicio. En este modelo el grabado se detiene por la inexistencia de electrones para la reducción del agua. En este caso la disminución en la concentración de electrones es debida al potencial aplicado externamente. En ausencia de polarización externa de la unión electrolito/semiconductor y debido a la diferente posición de los niveles de Fermi del semiconductor y del electrolito se produce una curvatura de bandas en el semiconductor que supone un pozo de potencial para los electrones generados químicamente en la reacción de oxidación. Sin embargo, el potencial aplicado puede reducir esta curvatura favoreciendo la difusión de los electrones hacia el interior del semiconductor y disminuyendo su concentración superficial.

Sin embargo, el efecto de pasivación se caracteriza por una doble fenomenología: el paro del grabado anisótropo y el crecimiento del óxido de pasivación. Es conocido²⁷, que el óxido

de pasivación crece con mayor facilidad sobre silicio tipo p, que sobre silicio tipo-n, donde es necesaria la presencia de luz para que el óxido crezca más allá de unas pocas monocapas. Este resultado indica claramente la necesidad de la presencia de huecos para la oxidación anódica del silicio. Así pues, ambos fenómenos, aunque relacionados, pueden necesitar condiciones físico-químicas distintas para su desarrollo.

Centremos ahora nuestra atención en el paro electroquímico en una unión p-n. Si bien inicialmente se consideraba que éste se producía al destruirse el diodo y quedar el silicio tipo n expuesto a la disolución, actualmente se considera que este primer modelo es muy simple y que el fenómeno en sí presenta una mayor complejidad. Diversos autores, y nosotros mismos, hemos constatado que el grabado se detiene varias micras antes de llegar a la unión metalúrgica. La hipótesis más habitual para explicar este resultado se basa en que la corriente de fugas del diodo puede desplazar el potencial del sustrato (tipo p) hacia valores más anódicos provocando su pasivación prematura.

Esta problemática lleva a B. Kloeck⁴ a proponer la configuración de cuatro electrodos en un intento de controlar el potencial de sustrato. Según sus resultados el grabado se detiene entonces efectivamente en la unión metalúrgica. Sin embargo, nuestra experiencia es que las membranas siguen siendo en torno a $1\ \mu\text{m}$ más gruesas que la capa tipo n, en acuerdo con los resultados de M.K. Andrews et al²⁴.

Estos autores proponen un modelo para explicar la fenomenología asociada al paro electroquímico en una unión p-n, basado en la existencia de un transistor parásito en la estructura electrolito/sustrato-p/capa-n. La reacción de oxidación del silicio que inyecta 4 electrones en la banda de conducción del semiconductor haría la función de emisor, el sustrato tipo p sería la base y el colector correspondería a la capa n. La presencia de efecto transistor en esta estructura depende del grosor del sustrato, que se va reduciendo a medida que el ataque progresa. Al principio del grabado la corriente (I_{co} en la analogía con el transistor) es soportada por los huecos que difunden desde el interior del semiconductor para recombinarse con los electrones procedentes de la reacción química. A medida que avanza el grabado llega un momento en el cual el tiempo de difusión de los electrones a lo largo de la base es comparable o menor que su vida media. En ese momento empieza a producirse el efecto transistor. Así pues, en la configuración de tres electrodos, el sistema es como un transistor con la base flotante. La impedancia del transistor disminuye con h_{FE} , la ganancia de corriente del dispositivo. Dado que la longitud de difusión puede ser del orden de decenas de micras, los cambios en la impedancia del sistema, y por lo tanto, en la corriente del sistema se producirán mucho antes de que se alcance la unión. Este fenómeno da cuenta entre otras cosas de la anchura del pico de pasivación en las características $I(t)$, normalmente de 10 a 20 minutos, mucho mayor que el tiempo requerido por la cinética de crecimiento del óxido de pasivación. Según nuestras propias experiencias, la pasivación de la superficie se

produce en un tiempo del orden de segundos a las temperaturas normalmente empleadas en el grabado anisótropo del silicio.

En el marco de este modelo, la pasivación antes de alcanzar la unión metalúrgica está relacionada, de nuevo, con la disponibilidad de electrones en superficie. Ésta se ve reducida cuando los electrones inyectados por la reacción de oxidación del silicio caen mayoritariamente en el colector en lugar de retornar hacia la superficie. Esto se producirá a unas micras de la unión metalúrgica e incluso antes de que las dos zonas de carga espacial entre en contacto o, en la analogía, antes de que el transistor entre en 'punch through'). Ello ocurriría tanto en la configuración de cuatro electrodos como en la de tres.

Consideremos ahora el efecto de la iluminación sobre el fenómeno de pasivación. Nuestros resultados muestran que en silicio tipo p, la iluminación retrasa la pasivación, permitiendo que el grabado delinee mejor los motivos obtenidos por doble-difusión. En el marco del modelo anterior, los electrones generados ópticamente suplen la falta de electrones en superficie y permiten que el grabado electroquímico continúe. Obsérvese, que no podemos interpretar el efecto de la luz en función de una alteración del potencial de pasivación, pues, al menos en nuestras condiciones de trabajo, la iluminación no desplaza de manera significativa el pico de pasivación en la característica I/V (figura 26).

De nuestros resultados no podemos argüir nada acerca del efecto de la iluminación sobre la pasivación en una superficie tipo n. Sin embargo, de acuerdo con Voss et al.²⁶ parece ser que en este caso el efecto es el opuesto, y la iluminación puede avanzar el fenómeno de la pasivación. En este caso, se interpreta que los pares electrón-hueco generados ópticamente reducen la curvatura de las bandas en la interficie electrolito/semiconductor reduciendo el potencial anódico necesario para la aparición de la pasivación.

Más estudios son necesarios para una explicación satisfactoria y profunda de la fenomenología asociada a la pasivación electroquímica del silicio en soluciones básicas. En particular, el estudio del efecto de la luz puede revelar una valiosa información concerniente a los mecanismos físico-químicos que regulan el proceso.

II.5. Fabricación de puentes mediante paro electroquímico:

La fabricación de puentes mediante paro electroquímico presenta un gran interés, pues se presenta como una tecnología alternativa al paro en capas p⁺⁺ utilizado habitualmente en la definición de puentes. En la literatura apenas hay referencias a esta posibilidad²⁸ y en la problemática asociada aún quedan cuestiones por resolver.

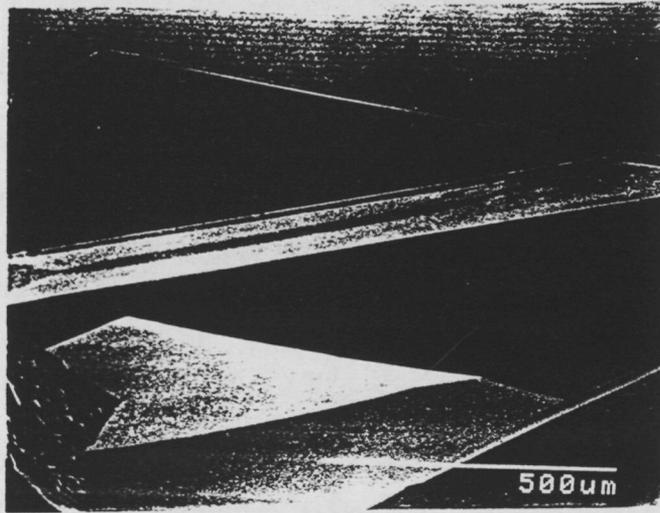


Fig. 28 Imagen SEM de un puente de silicio obtenido en la configuración de 4 electrodos.

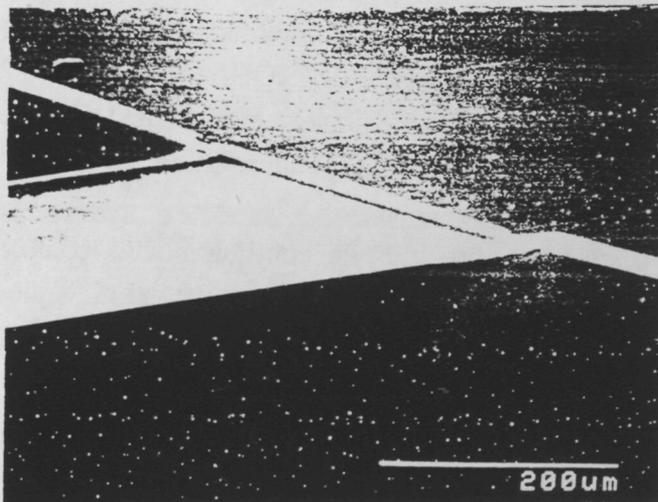


Fig. 29 Detalle del puente.

Las muestras utilizadas en la fabricación de puentes corresponden a las obleas 1-4 del proceso 252_AEQ tal como se describe en el apartado II.2.3. Los puentes están constituidos por las difusiones de $200\ \mu\text{m}$ de ancho y forman un ángulo de 45° respecto a las aperturas para el ataque anisótropo. Esta particular orientación permite el sobreataque de la disolución bajo la difusión liberándola del sustrato y dando lugar a la formación del puente.

El contacto a la zona n se realizó apoyando la conexión del electrodo de trabajo directamente sobre la zona difundida n^{++} en la parte próxima al flat en la oblea. Se aplicó un potencial de -1.4V a la zona p y de $+1.1\text{V}$ a la zona n. En este proceso, a diferencia de lo que ocurre en la fabricación de diafragmas, las capas p y n están durante todo el ataque en contacto simultáneamente con la disolución.

En las figuras 28 y 29 se muestran imágenes SEM de uno de los puentes obtenidos tras 4h 30 min de grabado. El escalón entre la máscara de nitruro y el puente de $10.5\ \mu\text{m}$ de profundidad se debe a la velocidad de ataque residual al silicio. En el estado estacionario se disuelve tanto óxido como se crece, por lo tanto la velocidad residual coincide con la velocidad de grabado del óxido anódico que sería del orden de $440\ \text{Å}/\text{min}$ según estos resultados. Este valor es claramente superior al determinado en el capítulo anterior para el óxido térmico, pero puede ser debido a la peor calidad estructural del óxido anódico.

II.6. Sumario

En este capítulo se ha presentado los resultados obtenidos en la puesta a punto de la técnica del paro electroquímico en una disolución de KOH. Se ha logrado la fabricación de membranas mediante capas epitaxiales y difusiones con una gran uniformidad y repetibilidad, así como, la fabricación de puentes de silicio monocristalino.

Se ha comparado los resultados obtenidos en configuraciones con 2, 3 y 4 electrodos, estudiando además la influencia de la luz. Se ha hecho especial hincapié en la posibilidad de obtener membranas estructuradas verticalmente. Los mejores resultados se han obtenido en las configuraciones de 4 electrodos sin luz y en la de 3 electrodos bajo iluminación²⁹.

Para completar este trabajo sería interesante el estudio de la influencia del potencial aplicado sobre el diodo en la configuración de 4 electrodos, así como la influencia de la intensidad de la luz, tanto sobre el grosor absoluto de la membrana como sobre la estructuración (diferencia de grosores) en la misma.

II.7. Referencias

1. K.E. Petersen
Silicon as a mechanical material
Proc. IEEE, **70**, 420 (1982).
2. I.G. Stoev, R.A. Yankov, C. Jeynes
Formation of etch-stop structures utilizing ion-beam synthesized buried oxide and nitride layers in silicon
Sensors and Actuators, **19**, (1989) 183-197.
3. D.J. Godbey, M.E. Twigg, H.L. Hughes, L.J. Palkuti, P. Leonov, J.J. Wang.
Fabrication of Bond and Etch-Back Silicon on Insulator Using a Strained $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ Layer as an Etch Stop
J. Electrochem. Soc. **137** 3219-3223 (1990).
4. B. Kloeck, S.D. Collins, N.F. de Rooij, R.L. Smith
Study of Electrochemical Etch-Stop for High-Precision Thickness Control of Silicon Membranes
IEEE Trans. Elec. Dev. **ED-36**, (1989), 663.
5. E.D. Palik, O.J. Glembocki, R.E. Stahlbush, *Fabrication and Characterization of Si Membranes*, J. Electrochem. Soc. **135**, (1988) 3126.
6. H.A. Waggener
Bell Syst. Tech. J. **49** (1970) 473.
7. X.J. Ning, P. Pirouz, M. Mehregany, W. Chu
Cross-Sectional TEM Studies of Heavily Boron Doped Silicon
Tech. Dig. 6th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators, San Francisco CA, Junio 1991, p. 775.
8. X. Ding, W.H. Ko, J.M. Mansour
Sensors and Actuators, **A21-A23**, 861, (1990).
9. K.C. Wang
Aging Phenomena in Silicon Microcantilever Beam Light Modulator
Master thesis, Case Western Reserve University, Cleveland OH, 1990.
10. M.H. Bao, comunicación personal.
11. B. Block, M. Sierakowsky
The use of a certain fluorocarbon surfactant and fluorocarbon conformal coating improves KOH silicon etching quality
en *Micromachining and Micropackaging of Transducers*
pp. 125-135, Ed. C.D. Fung, P.W. Cheung, W.H. Ko, D.G. Fleming. Elsevier (1985).
12. J.T. Kung, A.N. Karanicolas, H.S. Lee
A compact, inexpensive apparatus for one-side etching in KOH and HF.
Sensors and Actuators, **A29**, 209-215, (1991).

13. D.J.G. Ives, G.J. Janz
Reference electrodes: Theory and Practice
Academic Press, New York (1961).
14. B. Kloeck
Design, Fabrication and Characterization of Piezoresistive Pressure Sensors Including the Study of the Electrochemical Etch-stop
Universidad de Neuchatel, (1989).
15. V.M. McNeil, S.S. Wang, K.Y. Ng, M.A. Schmidt *An investigation of the Electrochemical etching of (100) silicon in CsOH and KOH*, IEEE 1990 SSSA Workshop Hilton Head Is. 92.
16. S. Glasstone, D. Lewis
Elements of Physical Chemistry
Ed. Van Nostrand Reinhold, (1960).
17. N.F. Raley, Y. Sugiyama, T. van Duzer
(100) Silicon Etch-Rate Dependence on Boron Concentration in Ethylenediamine-Pyrocatechol-Water Solutions
J. Electrochem. Soc., **131**, 162, (1984).
18. E.D. Palik, V.M. Bermudez, O.J. Glemboki
Ellipsometric Study of Orientation-Dependent Etching of Silicon in Aqueous KOH
J. Electrochem. Soc. **132**, 871-884, (1985).
19. H. Seidel
The mechanism of anisotropic, electrochemical silicon etching in alkaline solutions
Tech. Digest IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head Is. SC, USA, 86-91, (1990).
20. O.J. Glemboki, R.E. Stahlbush, M. Tomkiewicz
Bias-dependent Etching of Silicon in Aqueous KOH
J. Electrochem. Soc. **132**, 145-151, (1985).
21. E.D. Palik, O.J. Glemboki, I. Heard, Jr.
Study of Bias-dependent Etching of Si in Aqueous KOH
J. Electrochem. Soc. **134**, 404-409, (1987).
22. Y. Linden, L. Tenerz, J. Tirén, B. Hök
Fabrication of Three-Dimensional Silicon Structures by Means of Doping-Selective Etching (DSE)
Sensors and Actuators, **16**, (1989) 67.
23. R. Huster, A. Stoffel
Vertically Structured Silicon Membranes by Electrochemical Etching
Sensors and Actuators, **A21-A23**, 899-903, (1990).
24. M.K. Andrews, G.C. Turner
Bipolar effects in the fabrications of silicon membranes by the anodic etch-stop
Sensors and Actuators **A21-A23**, (1990) 899.
25. W. Kronast, comunicación personal.

26. R. Voss, H. Seidel, H. Baumgärtel
Light-controlled, electrochemical, etching of Silicon
Proceedings IEEE Transducers'91, pag 140.
27. R.L. Smith, B. Kloeck, N. de Rooij, S.D. Collins
The Potential Dependence of Silicon Anisotropic Etching in KOH at 60°C
J. Electroanal. Chem. 238, 103-113, (1987).
28. C.H. Özdemir, J.G. Smith
New Phenomena Observed in Electrochemical Micromachining of Silicon
IEEE Transducers'91. Proceedings 1991, 132.
29. A. Götz, J. Esteve, J. Bausells, S. Marco, J. Samitier, J.R. Morante
Passivation Analysis of Micromechanical Silicon Structures Obtained by Electrochemical Etch-Stop
Aceptado en Sensors and Actuators.

