

ADHESION TERMICA DIRECTA DE OBLEAS DE SILICIO PARA LA OBTENCION DE UNIONES PN PROFUNDAS

G. Romero-P., A. Reyes B., H. Sandoval G. y V. R. Barrales G.

Depto. Ing. Eléctrica, SEES,

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.

07000 México, D.F., Apartado Postal 14-740.

La adhesión térmica directa de obleas de silicio de tipo y concentración de impurezas diferentes plantea la posibilidad de obtener uniones p-n profundas para la fabricación de diodos de potencia.

La adhesión de obleas se lleva a cabo por medio de óxido de silicio nativo, siendo éste lo suficientemente delgado para asegurar su desintegración durante el proceso a altas temperaturas.

En este trabajo se reportan los resultados obtenidos en la fabricación de uniones p-n por adhesión térmica de una oblea P con una oblea N. En esta última se realizó previamente una difusión de boro, con el fin de alejar la unión p-n de la unión metalúrgica de las obleas.

INTRODUCCION

En los diodos de potencia es necesario tener uniones profundas del tipo $N^+ - N^- - P^+$, por los voltajes de ruptura y corrientes grandes que manejan, así como por los requisitos impuestos en el espesor de la capa poco impurificada, para asegurar caídas de voltaje pequeñas en las regiones neutras en polarización directa.

El ancho de la región N^- está determinado por el voltaje de ruptura por alcance, siendo a su vez necesario que sea menor ó, a lo más, del orden de la longitud de difusión de los portadores minoritarios, para tener una buena modulación de la conductividad, logrando con esto una caída de voltaje mínima en polarización directa.

El ancho típico de la región N^- es del orden de $100\mu\text{m}$, de tal manera que, si el espesor de la oblea es del orden de $250\mu\text{m}$, para tener alta resistencia mecánica, es necesario que las regiones P^+ y N^+ generadas normalmente por difusión, sean del orden de $75\mu\text{m}$. Estas profundidades se obtienen a temperaturas altas y tiempos largos, siendo en algunos casos de varios días. Estos tratamientos térmicos afectan el tiempo de vida de los portadores, siendo necesario el uso de rampas de enfriamiento del orden de $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ para reducir su efecto.

Como una alternativa para el proceso de fabricación de este tipo de dispositivos se presenta la técnica de adhesión

directa de obleas de Silicio de tipo y concentración de impurezas diferentes. Por esta técnica los tratamientos térmicos son menos severos y los tiempos de procesamiento más cortos, siendo compatibles los procesos utilizados con la tecnología de dispositivos sobre Si.

PROCESO DE ADHESION

De acuerdo al modelo propuesto por B. Lasky [1] y R. Stengl et al. [2], el mecanismo de adhesión ocurre bajo la formación de grupos OH sobre la superficie de las obleas por hidratación, la auto adhesión a temperatura ambiente se lleva a cabo por la interacción entre los grupos OH entre ambas obleas, interacciones de tipo Van der Waals. Durante el tratamiento térmico a altas temperaturas ocurre una reacción de hidratación -condensación, de tal manera que los enlaces de hidrógeno cambian a enlaces Si-O-Si. Finalmente los átomos de silicio y oxígeno son reacomodados a temperaturas arriba de 1000°C para formar una interfaz del tipo epitaxial.

La fuerza de adhesión se incrementa a medida que aumenta la temperatura, alcanzando valores semejantes a las del silicio volumétrico para temperaturas superiores a 1000°C [3].

Para llevar a cabo la adhesión de obleas bajo presión atmosférica es necesario que las superficies sean hidrófilas y estén pulidas a espejo, para obtener una alta concentración de enlaces hidrógeno entre los grupos OH de ambas obleas. Por lo que la existencia de una capa de SiO_2

nativo en la interfaz no puede evitarse.

Por otra parte Ahn et al.[4] mostraron que es posible la desintegración parcial ó total del óxido nativo durante el tratamiento térmico a altas temperaturas, dependiendo de la concentración de oxígeno en las obleas, el alineamiento entre ellas y del tiempo y temperatura. En tratamientos térmicos arriba de 1000°C el oxígeno en la interfaz puede difundirse hacia el interior del volumen y formarse enlaces Si-Si. Este fenómeno ha sido observado por varios autores [3-5], lo cual sugiere un reacomodo de los átomos en la red.

Debido a la presencia de la barrera interfacial originada por el óxido, se presenta en esta región una caída de potencial, V_{ox} . Esta caída de potencial da lugar a una resistencia de contacto [6], la cual contribuye fuertemente a la resistencia serie de la unión p-n. La interfaz de adhesión llega a representar de esta manera una barrera para los portadores minoritarios, reduciendo su inyección. A su vez por la alta densidad de defectos en esa región, el tiempo de vida de los portadores minoritarios se ve disminuido, degradando las características eléctricas de la unión [5].

Con el fin de reducir la caída de potencial en la interfaz, el espesor del óxido puede reducirse, llevando a cabo una inmersión en HF anterior a la adhesión, siendo necesario realizar ésta última en vacío [6].

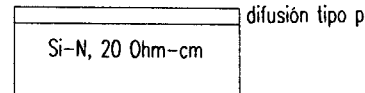
El efecto de la interfaz sobre el tiempo de vida de los portadores es posible reducirlo por medio de una difusión poco profunda p⁺ sobre la superficie de la oblea N⁻, con la finalidad de separar la unión p-n de la unión metalúrgica entre ambas obleas, colocando la unión en una región menos imperfecta.

PROCESO EXPERIMENTAL.

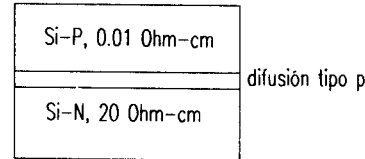
La técnica consiste fundamentalmente de siete etapas: difusión de boro, adhesión, ataque químico, difusión de fósforo, metalización, biselado y pasivación. En la figura 1 se encuentran esquematizadas las primeras tres, siendo las restantes comunes al proceso de fabricación de diodos de potencia.

Los materiales de partida fueron obleas de silicio (111) con una resistividad de 10 Ohm-cm y 0.01 Ohm-cm para tipo N y tipo P respectivamente, 3.8 cm de diámetro y 250 μ m de espesor. Después de una limpieza tipo RCA se difundió boro en la oblea tipo N a 900°C por 30 minutos, para generar la capa p⁺, con un espesor de 0.4 μ m. Posterior a la

a) DIFUSION DE BORO



b) ADHESION DE OBLEAS DE Si



c) ADELGAZAMIENTO POR ATAQUE QUIMICO DEL Si-N Y DIFUSION DE FOSFORO

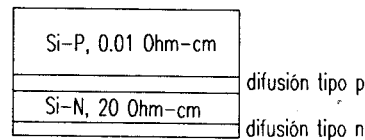


Fig. 1. Proceso de adhesión en la fabricación de uniones p-n

eliminación de borosilicatos, las muestras fueron hidratadas en una solución de HCl:H₂O₂:H₂O en una proporción de 1:1:7 a 80°C. La unión se llevo a cabo a temperatura ambiente y presión atmosférica y posteriormente se realizó un tratamiento térmico a 1100°C por 3 horas en atmósfera oxidante.

La tercera etapa es el adelgazamiento por ataque químico de la región N⁻ al espesor deseado de acuerdo al voltaje de ruptura deseado. Esto se llevó a cabo con la solución HF:HNO₃:CH₃COOH en una proporción de 4:11:5 y una concentración de los ácidos de 49%, 65% y 99.8% respectivamente, durante 20 minutos, con el fin de adelgazarla a 20 μ m. Para la obtención de un buen contacto eléctrico se difundió fósforo a 1000°C por 60 minutos en la oblea N⁻ con una profundidad de 2 μ m. La metalización se realizó por medio de un depósito electrolítico de Ni y Au.

Para la caracterización eléctrica de este proceso se fabricaron diodos de aproximadamente 2 mm de diámetro por medio de biselado con arenadora y ataque químico para eliminar los daños mecánicos.

RESULTADOS.

La figura 2 muestra las características I-V de la unión en polarización directa y temperatura ambiente. Estos resultados

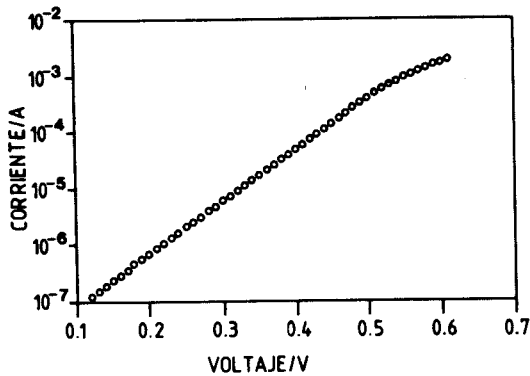


Fig. 2. Característica corriente-Voltaje de la unión p-n.

muestran que para voltajes entre 0.3V y 0.6V, la corriente presenta una dependencia del tipo:

$$I = I_0 \exp(qV/nKT) \quad (1)$$

por lo que n se aproxima a un valor de 1.8, lo cual nos indica que el fenómeno de transporte está dominado por recombinación, como se observa en la figura 3, . Siendo este uno de los valores más bajos reportados, en conocimiento de los autores, sin la eliminación de la capa de óxido [7]. Un factor de idealidad de 1.5 [6] fué logrado eliminando la capa de óxido con HF y realizando la adhesión en vacío.

El valor de 1.8, observado en nuestros dispositivos, no puede ser explicado únicamente por una alta razón de recombinación interfacial. Una fuerte contribución a esta corriente de recombinación, es probable que provenga de la superficie biselada la cual únicamente fue químicamente pasivada durante el ataque.

Para valores mayores de 0.6V y corrientes de 1mA, se observa un incremento pronunciado del valor n , el cual es causado por la resistencia serie de la unión, que para nuestro caso llegó a ser de 20 Ohm.

CONCLUSIONES

Se ha mostrado que la técnica de adhesión térmica de obleas permite la generación de uniones p-n conteniendo un óxido interfacial, óxido nativo, fuera de la unión p-n, por medio de una difusión poco profunda p, con buenas características eléctricas, y ataque químico para alcanzar el espesor deseado de la capa de alta resistividad sin afectar la resistencia mecánica.

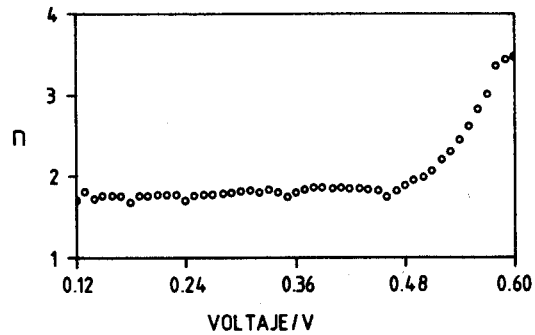


Fig. 3. Factor de idealidad en función del voltaje aplicado de la unión p-n

Se evaluó un factor de idealidad de 1.8, el cual implica una fuerte contribución al transporte por efecto de la recombinación de portadores en la región de carga espacial sobre el transporte por difusión, el cual es originado por la interfaz de adhesión, así, como por una contribución proveniente de la región biselada. Otro parámetro calculado a partir de las características corriente-voltaje es la resistencia serie, que para nuestro caso llegó a ser de 20 Ohm. Este valor es relativamente alto si es comparado con los valores máximos desados de un Ohm.

Para que este tipo de proceso sea aún más atractivo, es necesario reducir tanto el factor de idealidad así como la resistencia serie. Esto es factible bajo una disminución del espesor del óxido y mayor control en el alineamiento y tratamientos térmicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a el M.C. Victor Sánchez R. por su interés y revisión de este artículo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J.B. Lasky, Appl. Phys. Lett., **48**, 78, (1986)
- [2] R. Steng, T. Tan, and U. Gösele, Jap. J. Appl. Phys., **28**, 1735, (1989)
- [3] M. Shimbo, K. Furukawa, K. Fukuda, and K. Tanzawa, J. Appl. Phys., **60**, 2987, (1986)
- [4] K.Y. Ahn, R. Stengl, T.Y. Tan, U. Gösele, and P. Smith, Appl. Phys. A **50**, 85, (1990).
- [5] K. Furukawa and A. Nakagawa, Appl. Surface Science **41/42**, 627, (1989).
- [6] S. Bengtsson and Olof Engström, J. Appl. Phys. **66**, 1231, (1989).
- [7] R. Stengl, K. Y. Ahn, T. Mii, W. S. Yang and U. Gösele, Japan. J. Appl. Phys. **28**, 2405, (1989).