

CREACION DE TRAMPAS Y ESTADOS DE INTERFACE EN PELICULAS DELGADAS DE OXINITRURO DE SILICIO EN ESTRUCTURAS M.O.S.

A. Faigón, A. Stravoni*, E. Miranda, G. Redin

Laboratorio de Física de Dispositivos-Microelectrónica, Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Paseo Colón 850, 1063 Buenos Aires

Se investigó la degradación de películas delgadas de óxido de silicio nitrurado en plasma de amoníaco, incorporadas como aislante de grilla en estructuras Metal Oxido Semiconductor sometidas a inyección de carga por efecto túnel. Comparando con resultados obtenidos sobre películas de SiO_2 de tecnología standard, se observa una tasa de creación de trampas inferior por un factor 2 y una creación de estados superficiales en la interfaz con el silicio menor por un orden de magnitud.

INTRODUCCION

La reducción del tamaño de los dispositivos que acompaña la tendencia a incrementar la densidad de integración en circuitos integrados, involucra, por consideraciones de escala, la reducción del espesor del aislante de grilla en las tecnologías Metal Oxido Semiconductor (MOS) [1]. Estas delgadas películas (200 Å en las tecnologías actuales y ≤ 100 Å en la próxima generación) están sometidas a elevados campos eléctricos e inyección de portadores "calientes" en transistores lógicos, y a inyección de electrones por efecto túnel en dispositivos de memoria. Bajo estas condiciones de esfuerzo eléctrico, se crean en su seno y en la interfaz con el silicio defectos que actúan como centros de captura electrónica, modificando el comportamiento eléctrico del dispositivo y conduciendo, por acumulación de defectos, a su ruptura dieléctrica [2]. Se denomina a este proceso envejecimiento o degradación del dieléctrico, y constituye actualmente la limitación esencial a la vida útil de los dispositivos.

Películas delgadas de oxinitruro de silicio (SiON) sobre silicio están siendo investigadas en los últimos años como potenciales sustitutos del dióxido de silicio en aislantes de grilla de dispositivos MOS de longitud de canal submicrónica.

Son conocidas algunas ventajas de los SiON sobre el SiO_2 térmico, a saber: elevada barrera de difusión

para gran variedad de iones, alta resistencia a la radiación, baja reactividad con diversos materiales de grilla [3-5]. El comportamiento eléctrico de la interfaz con el silicio parece depender sensiblemente de los procesos de obtención de las películas, y sus posibles ventajas respecto de la del SiO_2 no están firmemente demostradas [6-7]. Tampoco existe información concluyente acerca de la estabilidad de estos dieléctricos frente a esfuerzos por inyección de carga. Los trabajos previos se refieren fundamentalmente a la captura electrónica en trampas ya existentes y no investigan la degradación por efecto de creación de nuevas trampas (8-10).

La nitruración en plasma presenta el atractivo de reducir la temperatura del proceso, en concordancia con las tendencias en microelectrónica [11-12]. Dada la existencia de partículas energéticas en el ambiente nitrurante, potenciales creadoras de defectos, es de particular interés el estudio comparativo de la interfaz y su estabilidad cuando es sometida a pruebas de envejecimiento eléctrico.

LAS MUESTRAS

Las muestras utilizadas son obleas con dispositivos de prueba procesadas con una tecnología CMOS, grilla de polisilicio, longitud de canal 2μ . El aislante de grilla se obtuvo nitrurando en plasma de amoníaco óxidos térmicos de 240 Å. La oxidación se realizó a 950 °C en oxidación seca. El ambiente nitrurante es de NH_3 a 3×10^{-2} mbar, 950 °C, en el que se crea plasma por RF de 13 MHz a través de electrodos externos.

* El autor pertenece al Centro Nationale d'Etudes des Telecommunications (CNET) - Grenoble - Francia.

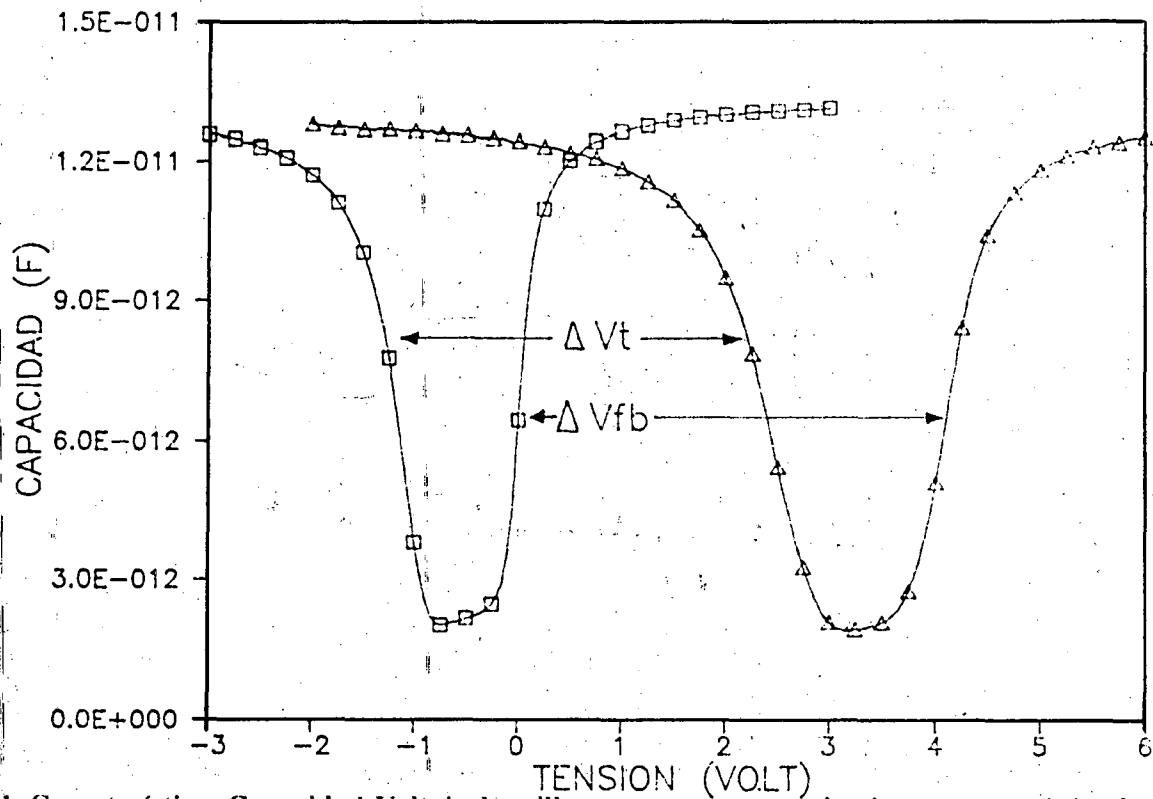


Fig.1: Características Capacidad-Voltaje de grilla para una muestra sin nitrurar antes (□) y después (Δ) de inyectar 3 Coul/cm². Se indican los corrimientos de las tensiones de bandas planas (V_{fb}) y de encendido (V_t).

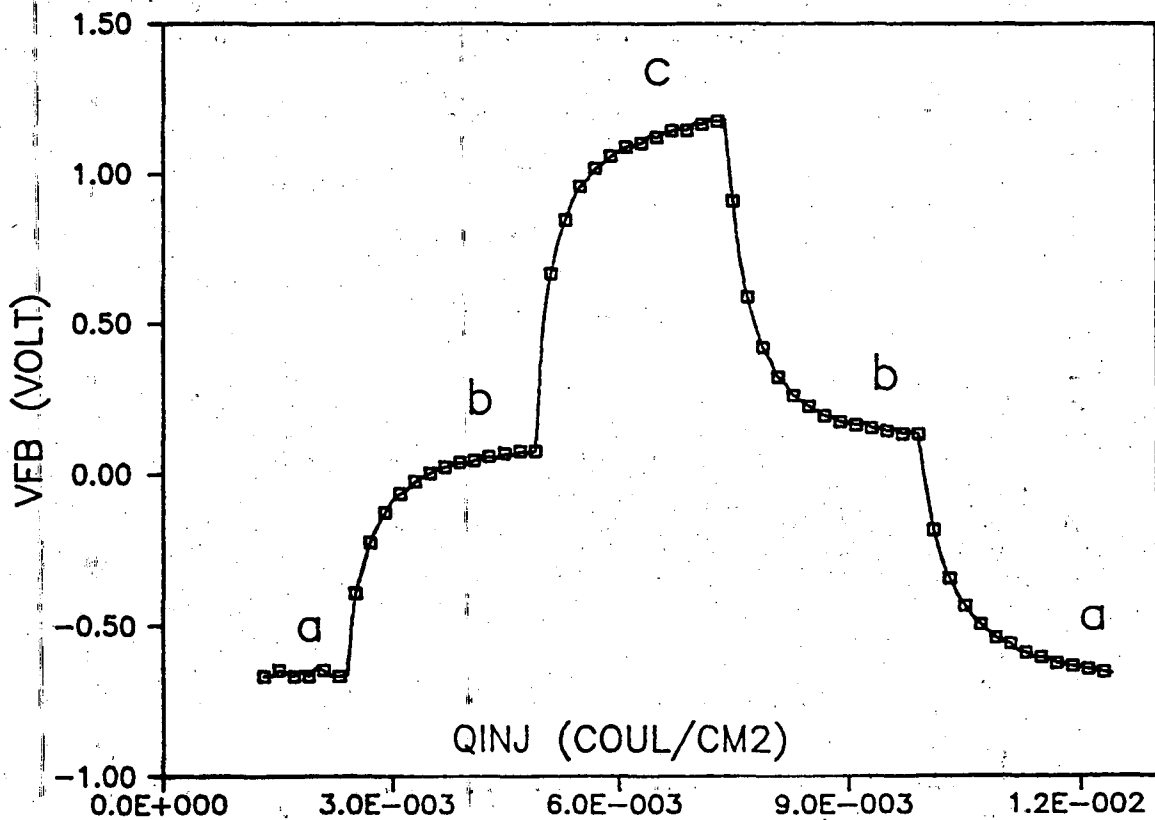


Fig.2: Evolución de V_{fb} con la carga inyectada para diferentes condiciones de inyección: a) E= 9.1 MV/cm, b) E= 8.7 MV/cm, c) E=8.4 MV/cm. Medición sobre SiO₂.

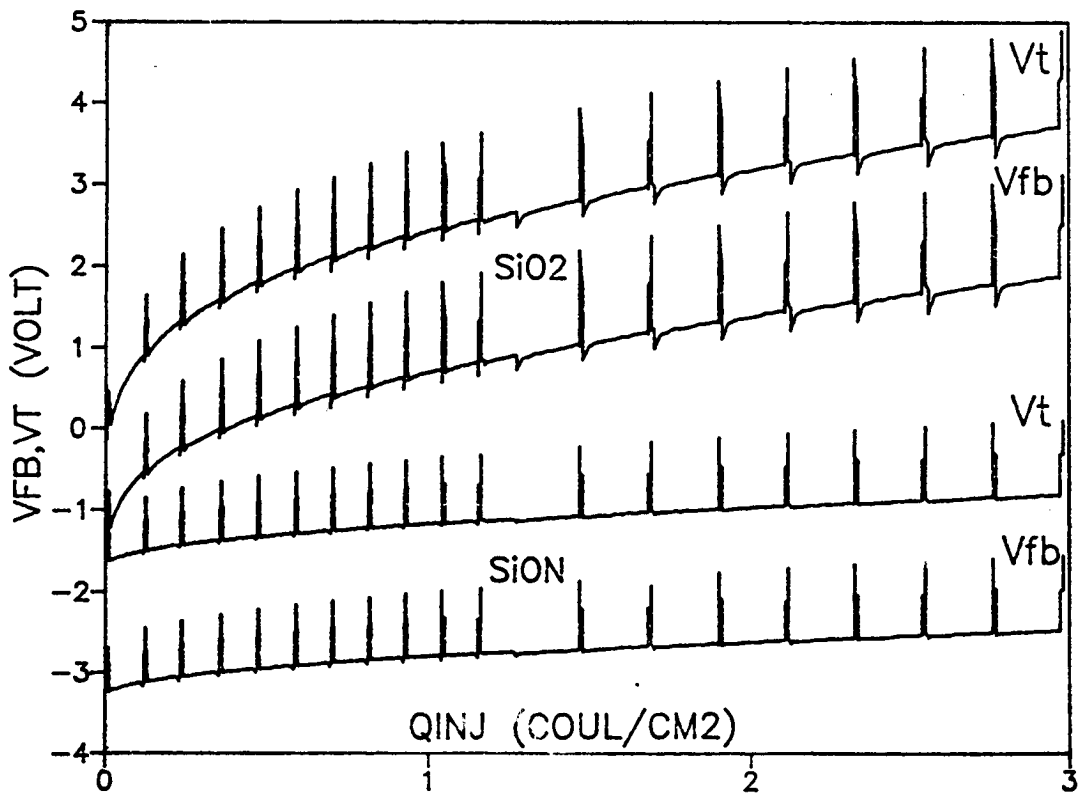


Fig.3: Evolución de las tensiones V_{fb} y V_t durante la medición completa. Las inyecciones largas corresponden a las condiciones de esfuerzo, $E = 9.1 \text{ MV/cm}$. Los picos corresponden a los valores cuasi-estacionarios para la secuencia de la figura 2. La densidad de corriente de inyección durante el esfuerzo es 10^{-3} A/cm^2 .

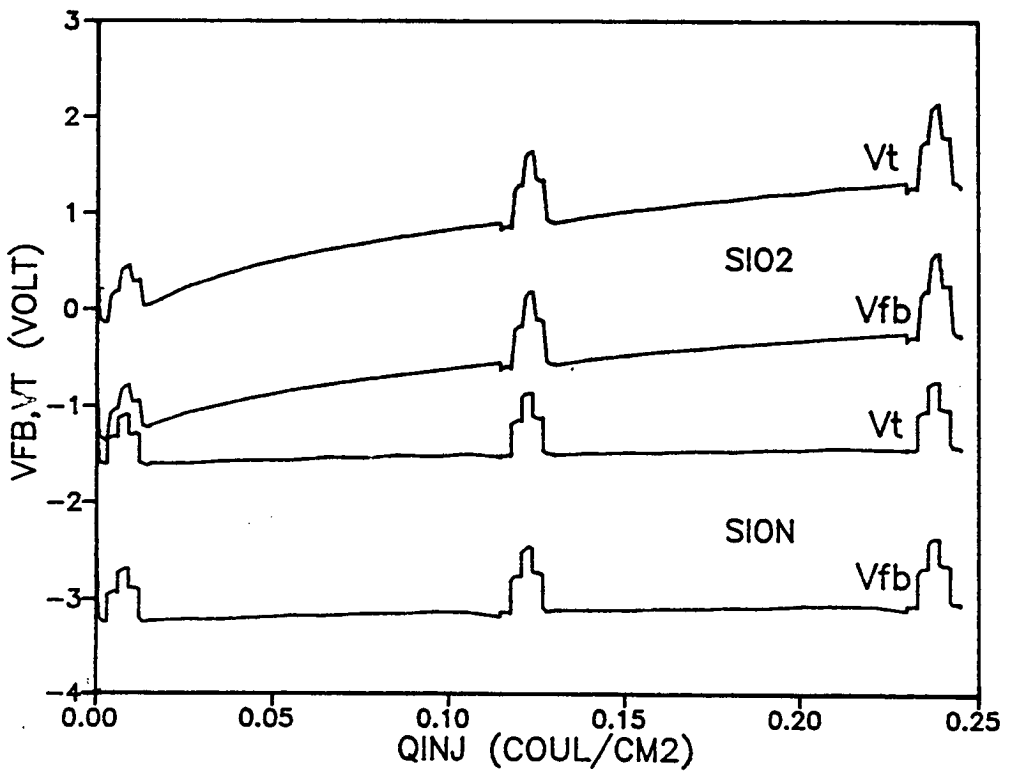


Fig.4: Detalle de la figura 3.

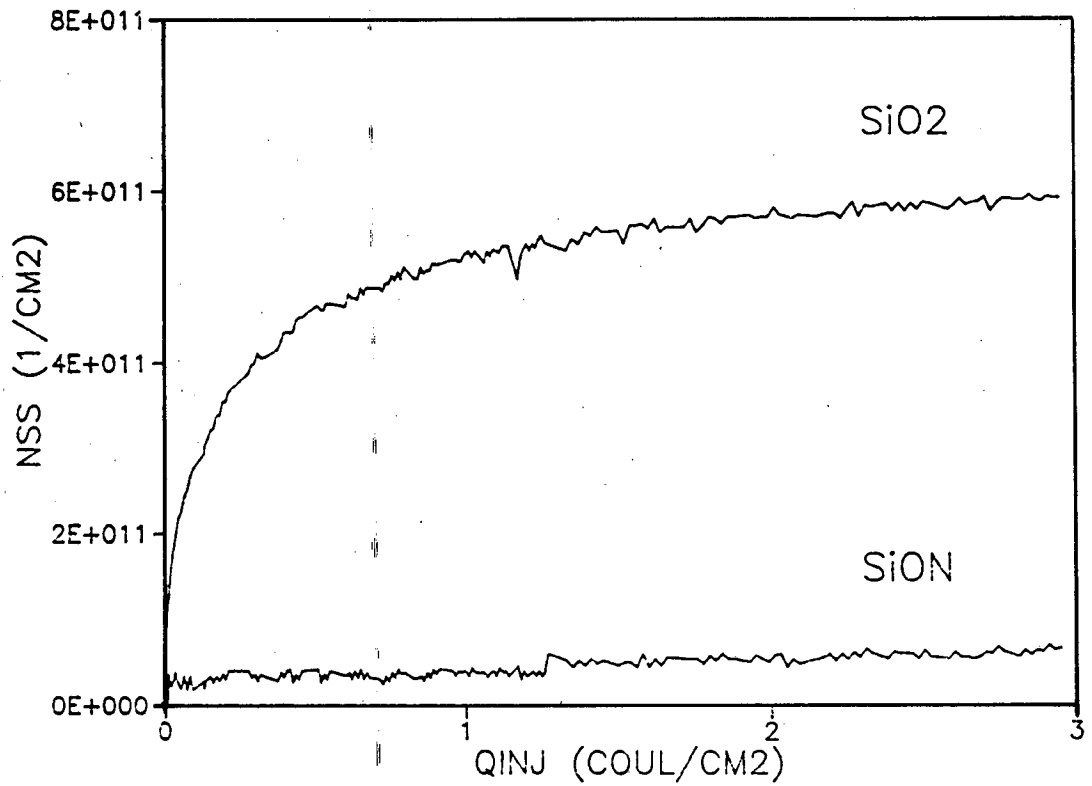


Fig.5: Generación de estados de interfaz durante la inyección, obtenida de la Fig.3 y eq.(1).

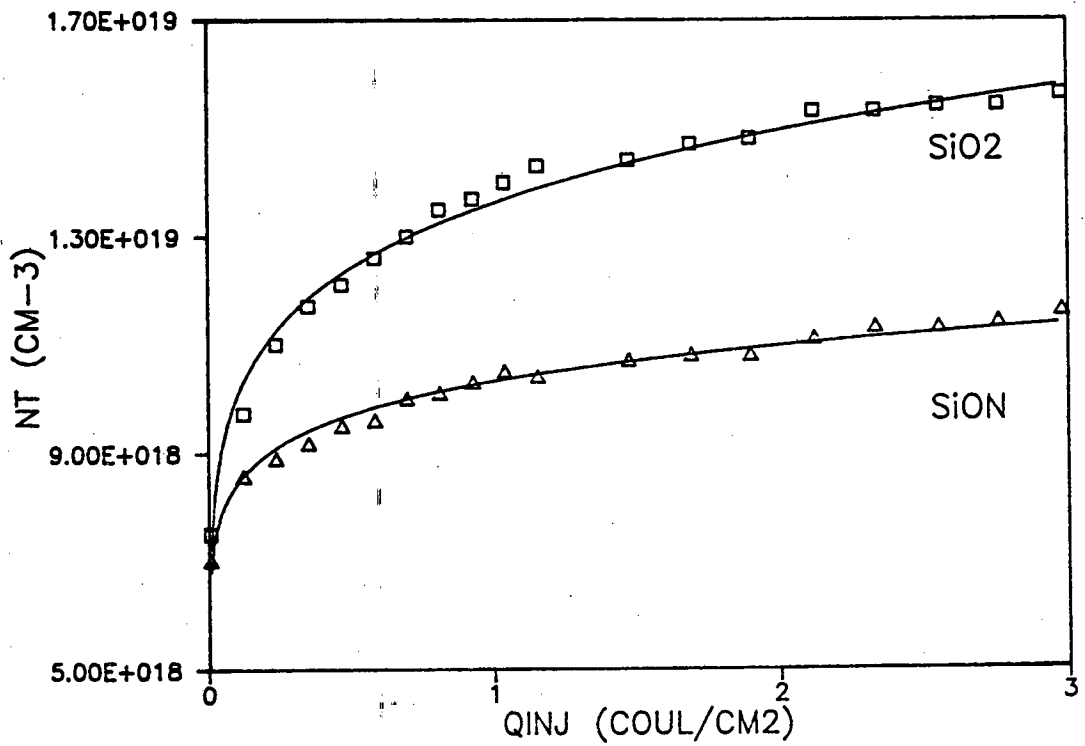


Fig. 6: Evolución de la densidad de trampas N_t obtenida de la altura de los picos en la Fig. 3 y expresión (3).

METODOLOGIA.

Tras someter el aislante de grilla a elevados campos eléctricos acompañados de inyección de carga, la característica capacidad voltaje (C-V), medida sobre un transistor con fuente y sumidero conectados al sustrato, se modifica como indica la Fig.1.

El corrimiento de la tensión de bandas planas V_{fb} está asociado a la captura de cargas en trampas electrónicas en el seno del aislante. El ensanchamiento de la curva es proporcional al número de estados de superficie, N_{ss} , creados durante la inyección

$$N_{ss} = C_o/q \cdot |(\Delta V_i - \Delta V_{fb})| \quad (1)$$

donde C_o es la capacidad del dieléctrico por unidad de superficie, q es la carga del electrón y V_i es la tensión de encendido [13].

Si se observa el detalle de la evolución de \tilde{V}_{fb} con la carga inyectada, Q_{inj} , se obtiene para inyecciones cortas - $Q_{inj} < .1$ Coul/cm² -el comportamiento ilustrado en la Fig.2. En la misma se ve que a cada valor del campo en el aislante corresponde un nivel cuasi-estacionario de V_{fb} , \tilde{V}_{fb} , que se alcanza tras aproximadamente 10^{-3} Coul/cm² de carga inyectada. Los niveles de \tilde{V}_{fb} están dados en primera aproximación por [14]

$$\tilde{V}_{fb}(E) = (qt_{ox}/2C_o) N_t f(E) + K \quad (2)$$

t_{ox} : espesor del óxido, N_t : densidad de trampas por unidad de volumen, $f(E)$: fracción de trampas ocupadas (función del campo eléctrico en el aislante), K : constante.

La diferencia entre los niveles correspondientes a dos valores del campo eléctrico E_1 y E_2 ,

$$V_{fb}(E_1) - V_{fb}(E_2) \propto N_t \quad (3)$$

es proporcional a la densidad de trampas y se usa para investigar la creación de nuevas trampas durante inyecciones prolongadas.

MEDICIONES

La secuencia de medición consiste en ciclos de: esfuerzo (inyección a campos altos por efecto túnel) - medición de V_{fb} y V_i . Cada aproximadamente 0.1 Coul/cm² se interrumpe el esfuerzo y se realiza una medición de la densidad de trampas a través de una inyección breve a un campo inferior. Una computa-

dora controla la secuencia y la adquisición de datos. La Fig.3 ilustra el resultado de tal secuencia mostrando la evolución de V_{fb} y V_i con la carga inyectada. La altura de los picos en las curvas de V_{fb} es la diferencia entre los niveles estacionarios correspondientes a los campos de medición y de esfuerzo como se detalla en la fig. 4.

RESULTADOS

La creación de nuevos estados de interfaz obtenida de la Fig. 3 y eq. (1) se muestra en la Fig.5 en función de la carga inyectada, para el óxido nitrurado y sin nitrurar. Se observa que en ambos casos las curvas saturan tras la inyección de aproximadamente 1 Coul/cm². La densidad de estados creados hasta la saturación es aproximadamente un orden de magnitud menor para el óxido nitrurado.

La evolución de la densidad de trampas se obtuvo de la magnitud de los picos en la Fig.3, teniendo en cuenta la expresión (3), y se representa en la Fig. 6. La densidad inicial de trampas, similar para ambos materiales, se evaluó modelando el proceso de captura según el modelo de balance dinámico y está de acuerdo con valores estimados para el óxido [15]. La tasa de creación de nuevas trampas es aproximadamente la mitad para el óxido nitrurado.

DISCUSION Y CONCLUSION

La densidad de trampas, obtenida mediante la expresión (3) y presentada en Fig.6, corresponde a centros que, como se ve en la Fig. 2, se ocupan y desocupan en función del campo en el aislante y saturan tras inyectar 10^{-3} Coul/cm². Estos centros han sido caracterizados como centros eléctricamente neutros con sección eficaz de captura del orden 10^{-17} cm² y sección eficaz para la ionización por impacto dependiente del campo del orden de 10^{-16} cm² [14].

La creación de estos centros neutros no explica, sin embargo, toda la evolución de V_{fb} en la Fig.3, pues siendo que se crearon dos veces más en el óxido que en el SiON, el V_{fb} de la curva de esfuerzo creció cuatro veces más en el óxido que en el SiON. Esta diferencia puede deberse a la presencia de centros de captura más lentos con sección eficaz de 10^{-19} cm², cuya existencia ha sido revelada en trabajos previos y que son denominados centros de repulsión coulombiana [15].

Diversos mecanismos han sido propuestos para la generación de trampas, basados en la interacción de

los electrones inyectados con enlaces débiles en la interface o en el seno del material [16]. Se ha intentado asimismo correlacionar la concentración atómica de nitrógeno con la desaparición de estas uniones débiles [17]. Una discusión sobre estos puntos está fuera del alcance del presente trabajo.

Los resultados que aquí se presentan fueron obtenidos sobre dispositivos completamente procesados, con implantaciones, deposiciones y varios procesos térmicos posteriores al crecimiento de las películas. A lo largo del procesamiento sus características físico-químicas y las de la interfaz investigada han sido con seguridad alteradas. La intención del presente trabajo es, precisamente, el estudio de la película "in situ", con vistas a su incorporación a procesos de fabricación de circuitos.

Los resultados indican mayor estabilidad de la película de óxido nitrurado y particularmente de su interfaz frente a la inyección de carga, comparada con el óxido standard, redundando en dispositivos más estables y de vida útil más prolongada.

REFERENCIAS

- 1.- S. M. Sze. "Physics of Semiconductor Devices", 2nd.edition, Wiley and Sons, 1981, p.486.
- 2.- E.Avni and J.Shappir, J.Appl. Phys., 64,743 (1988).
- 3.- T.Ito, T.Nakamura, and H.Ishikawa, IEEE Trans. Electron Devices, ED-29, 498 (1982).
- 4.- F.L.Terry, J.R.Aucoin, M.L.Naiman and S.L.Senturia, IEEE Electron Device Lett., EDL-4, 191 (1983).
- 5.- S.K.Lai, J.Lee and V.K.Dham, IEDM Tech. Dig., p 190 (1983)
- 6.- S.K.Lai, D.W.Dong and A.Harstein, J.Electrochem. Soc.,129, 2042 (1982).
- 7.- T.Hori, H.Iwasaki, Y.Naito and H.Esaki, IEEE Electron Device Lett., EDL-7, 669 (1986).
- 8.- T.Hori, H.Iwasaki and K.Tsuji, IEEE Trans. Electron Dev., 35, 904 (1988).
- 9.- A.Straboni, M.Berenguer, B.Vuillermoz, P.Debe- nest, A.Verna and P.Dars, J.de Physique, 49, c4-421, (1988).
- 10.A.Faigón and J.Shappir, J.Appl. Phys., 58; 4633 (1985).
- 11.S.S.Wong and W.G.Oldham, IEEE Trans. Elec- tron Dev., ED-32, 978 (1985)
- 12.M.Berenguer, A.Straboni, B.Vuillermoz, P.Debe- nest and K. Barla, International Colloquium on Plasmas for Deposition and Dry Etching, CIPG 89.
- 13.Y.Nissan Cohen, J.Shappir and D.Frohman Bent- chkowsky, IEDM Technical Digest 1983, p.182.
- 14.Y.Nissan Cohen, J.Shappir and D.Frohman Bent- chkowsky, J.Appl. Phys., 60, 2024 (1986).
- 15.E. Avni and J. Shappir, J. Appl. Phys., 64, 734 (1988).
- 16.P.Balk, Sol. St.Devices, Inst. Phys., 69, 63 (1983).
- 17.T.Hori, H.Iwasaki and K.Tsuji, IEEE Trans. Elec- tron Dev., ED-35, 904 (1988).