

RESPUESTA TEMPORAL A H₂ DE CAPACITORES MOS CON COMPUERTA DE Mo

TEMPORAL RESPONSE TO H₂ IN Mo GATE MOS CAPACITORS

R. M. Lombardi, R. Aragón

Laboratorio de Películas Delgadas. Facultad de Ingeniería. Paseo Colón 850. C.P. 1063. Buenos Aires. Argentina. CINSO- CONICET –CITEFA. Lasalle 4397. Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina

e-mail: rlombar@fi.uba.ar

La fotocorriente inducida por iluminación pulsada, de un capacitor MOS con compuerta de Mo, provisto de ventana óptica, se emplea como monitor de su estado de carga, frente a estímulos químicos con concentraciones crecientes de H₂ en N₂ de hasta 1000 ppm. Se describen las respuestas inducidas por transporte a la interfaz metal-dieléctrico. Los resultados confirman que la sensibilidad depende exclusivamente de la tasa de arribo del analito a la interfaz compuerta-dieléctrico.

The photocurrent induced by pulsed illumination of a MOS capacitor, with an optical window through the gate, is used to monitor its charge state, in response to chemical stimulation by increasing H₂ concentration in N₂ up to 1000 ppm. The signal induced by transport to the metal-dielectric interface, confirms that sensitivity is exclusively dependent on the rate of stimulus arrival to the gate-dielectric interface.

Palabras Claves: Técnica de luz pulsada, detección de hidrógeno, modelo de corriente alterna lateral.

Keys: pulsed light technique, hydrogen detection, lateral A.C. current model

I. INTRODUCCIÓN

La fotocorriente inducida por iluminación de un láser pulsado sobre una compuerta metálica, en una estructura MOS, genera una señal de corriente proporcional al flujo luminoso⁽¹⁾. La corriente resulta de la modulación del potencial superficial Ψ , en la interface Si-SiO₂, variable con la tensión de polarización y genera variaciones registrables de la corriente de desplazamiento en la resistencia de carga en serie conectada a la estructura MOS (Fig. 1).

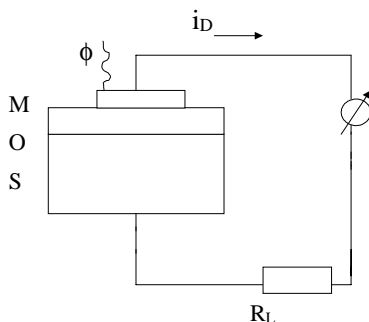


Figura 1. Esquema del circuito experimental utilizado

Dado que el potencial superficial depende de la cantidad local de carga presente en el aislador, en los estados de interfaz y en la región de carga espacial del semiconductor, el registro de la corriente medida, cuando el haz barre la superficie del MOS, caracteriza la

variación de las propiedades de la interfaz del dispositivo. La intensidad luminosa pulsada (Fig. 2) excita pares electrón-hueco y en Si tipo "p", los electrones, únicos responsables de la respuesta en corriente, pueden recombinarse en los estados de interfaz, ser colectados en el potencial de superficie o recombinarse en la región intracristalina del semiconductor. Entre t_1 y t_2 (Fig.2) los electrones ópticamente inducidos comienzan a recombinarse por lo que la corriente disminuye hasta llegar a cero y el aumento de potencial a través del aislador está compensado por la caída del potencial superficial, lo que implica la reducción del ancho de la región de carga espacial, con la consiguiente disminución de portadores de carga. Este proceso continúa hasta que la corriente llega a cero en t_2 . Cuando se interrumpe el flujo luminoso, los electrones colectados en el potencial de superficie son emitidos en el semiconductor y este pasaje genera una corriente negativa entre t_3 y t_4 , repitiendo el proceso.

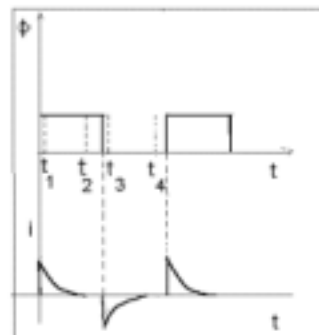


Figura 2. Flujo luminoso e intensidad de corriente vs. tiempo

La señal de salida, en unidades arbitrarias, para el circuito equivalente propuesto por Engstrom (Fig. 3), constituye una medida de la carga que pasa a través del capacitor C_0 , multiplicada por el valor de la resistencia de carga R_L

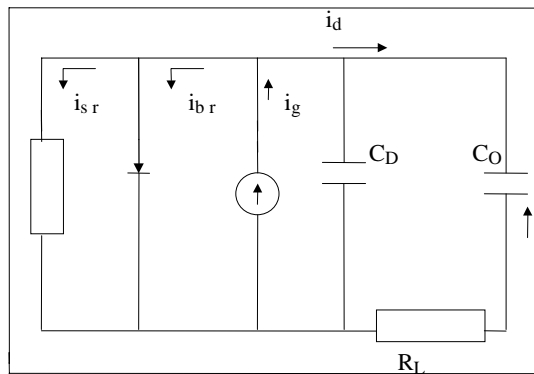


Figura 3. Circuito experimental equivalente. C_0 es la capacidad del óxido en paralelo, y la corriente de desplazamiento pasa por la resistencia de carga R_L

$$u = \int_0^{\infty} V_L(t) dt = R_L C_0 \Delta \Psi_s \quad (1)$$

R_L resistencia de carga, C_0 capacidad del dieléctrico, $\Delta \Psi$ variación del potencial superficial

Los desplazamientos en el eje de las abscisas de la señal u vs. potencial de polarización son proporcionales a la concentración de átomos adsorbidos en la interfaz metal-dieléctrico.

II. PARTE EXPERIMENTAL

Se fabricaron los dispositivos CMOS a partir de obleas de Silicio tipo "p" (100) oxidadas térmicamente ($x_{ox} = 138.4$ nm), metalizadas con molibdeno, por "magnetron sputtering", en espesores de 50 y 100 nm, con máscaras físicas que definen una ventana circular de SiO_2 descubierto. Se emplearon montajes híbridos⁽²⁾ sobre sustratos de alúmina con calefactores integrados, en una celda estanca para ensayar sensibilidad al estímulo químico. Una vez estabilizado a la temperatura operativa, en atmósfera inerte (N_2) durante 6 horas, se registró, in situ, la respuesta del dispositivo al paso de H_2 . La iluminación fue proporcionada por un láser de longitud de onda $\lambda = 638,2$ nm, 3.6 mW de potencia, clase III b, pulsado a 1Khz, colimado en el centro del orificio, donde la señal de salida es máxima, conforme al modelo de corriente lateral^{(3) (4) (5) (6)}. Convertida la fotocorriente u en unidades arbitrarias⁽¹⁾ por la resistencia de carga y con el dispositivo polarizado a tensiones de polarización de entre 0 y 6 V, correspondientes a regímenes de inversión débil a fuerte, bajo gas inerte N_2 a 150° C. Se eligió una

tensión para señal intermedia. Una vez estabilizado a la temperatura de operación durante 8 horas, se lo expuso a H_2 en concentraciones de 250, 500 y 1000 ppm en nitrógeno, en ciclos consecutivos de carga y descarga, de media hora de duración cada uno.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La forma característica de la señal conforma a la del potencial superficial (Fig 4) obtenida de datos experimentales capacidad-tensión

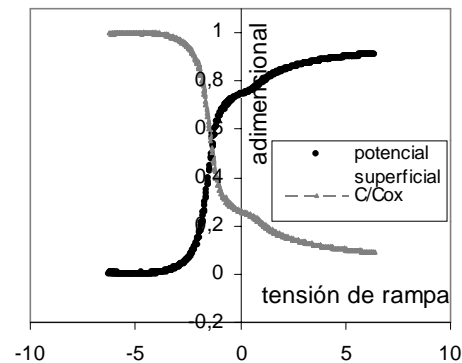


Figura 4. C/C_{ox} vs. V y potencial superficial vs. V para un capacitor MOS con compuerta de molibdeno.

Tensiones negativas de polarización inducen regímenes de acumulación y deserción, y tensiones positivas corresponden a la inversión del dispositivo. En el caso de luz pulsada, la zona sensible de la curva de señal vs tensión aplicada, ocurre en tensiones de polarización positivas que revelan el comportamiento de los portadores minoritarios. Temperaturas crecientes de operación disminuyen la señal obtenida dependiendo del dopado del Si utilizado⁽⁷⁾, porque el número de portadores intrínsecos se duplica, en Si, aproximadamente cada 11 grados de aumento de temperatura. Cuando la generación térmica domina la formación de portadores, la señal desaparece. A su vez, el tiempo de formación de la capa de inversión es fuertemente dependiente del aumento de temperatura⁽⁸⁾. Se observa que la señal aumenta con la temperatura hasta un límite y luego disminuye (Fig. 5), particularmente en presencia de estados de interfaz, a altas temperaturas y bajas frecuencias⁽¹⁾; y disminución de la señal de 28° C a 140° C (Fig 6), así como presencia de estados de interfaz, mientras que el desplazamiento de la curva, por acción de H_2 , corresponde a corrimientos paralelos en sentido negativo en el eje de las abscisas, con disminución de estados de interfaz, coincidentes con mediciones experimentales en curvas C-V, para exposición a H_2 en celdas estancas, sobre capacitores de Mo⁽⁹⁾

H₂ en N₂) puede invertir el desplazamiento aparente de la señal con la tensión de polarización (Fig.7).

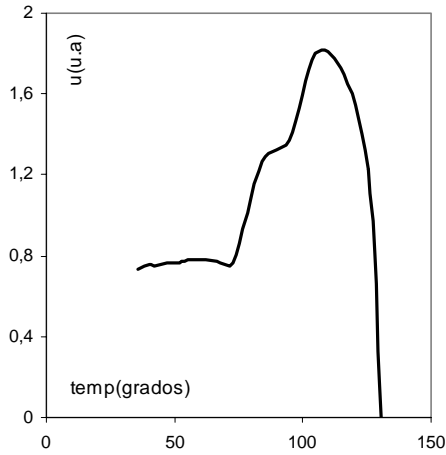


Figura 5. Señal u , en unidades arbitrarias, vs. temperatura en grados centígrados. Se observa una señal invariante hasta 70 °C, creciente hasta 120 °C y fuertemente atenuada a mayor temperatura

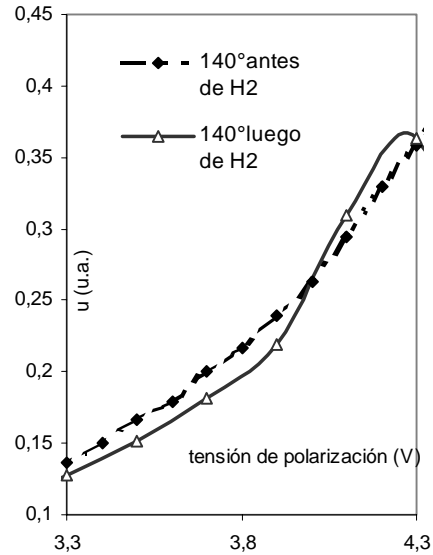


Figura 7. Señal u , en unidades arbitrarias, vs tensión de polarización, a 140 °C, antes y después del H₂.

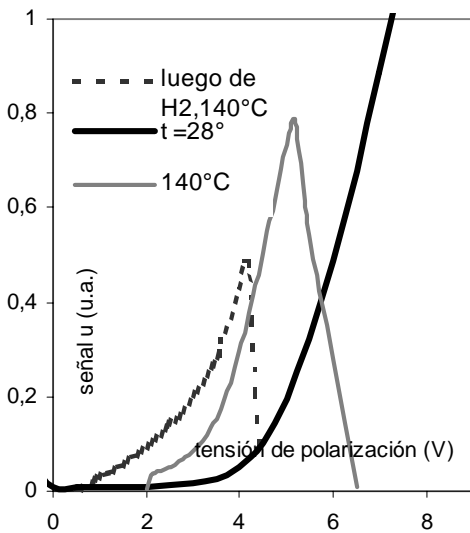


Figura 6. Señal u vs. tensión de polarización, a 28°C y a 140 °C, en atmósfera inerte, antes del pasaje de estímulo y a 140°C, en atmósfera inerte, después de exposición a H₂

La dependencia de la fotocorriente con tensiones de polarización hasta 4 voltios, evidencian un corrimiento, ya observado en Pd con H₂, hacia acumulación, consistente con los resultados de medidas C-V⁽¹⁰⁾. A mayor polarización, el cambio de la pendiente ($du/dV_{\text{polarización}}$) en respuesta al estímulo (1000 ppm de

III. CONCLUSIONES

La dirección del corrimiento de la dependencia de la señal con la tensión de polarización es reconocida como característica para el par estímulo-compuerta. Se continúa la investigación del posible origen de la inversión de la dependencia observada, para la señal de fotocorriente, con tensión de polarización. Aunque no pueden excluirse los efectos de la modificación de la compuerta por hidruración del molibdeno, si se comprobara el mismo efecto de inversión en metales nobles, deberá investigarse independientemente, la dependencia de du/dV con la tensión de polarización.

REFERENCIAS

- 1 - Engstrom O., Carlsson A., "Scanned light pulse technique for the investigation of insulator semiconductor interface". J Appl.Phys. 54 (9), Dic. 1983, pp 5245
- 2 - Filippini D., Aragón R., Weimar U, Anales de la Asociación Física Argentina, Vol 12, pp 175-179 (2001)
- 3 - Hofstein S., Zaininger K., Warfield G. Proc. IEEE, vol 52, Aug. 1964, pp 971-2
- 4 - Nicollian E., Goetzberger A. "Lateral AC Current Flow Model for Metal-Insulator-Semiconductor Capacitors".IEEE Transactions on Electron Devices, E-D 12 March, 1965, pp 108
- 5 - Holmberg M., Lundström I. "A new method for the detection of hydrogen spillover".Appl. Surface Science 93 (1996) 67-76
- 6 - Lofdahl M., Lundström I. "Monitoring of hydrogen consumption along a palladium surface by using a scanning light pulse technique". Journal of Applied Physics, Vol 86, number 2, 15 July 1999, pp 1106
- 7 - Sze S.M. "Physics of Semiconductor Devices" J.Wiley

and Sons, 1981, pp.20

8 - Kuhn M., Nicollian E.H. "Nonequilibrium Effects in Quasi-Static MOS Measurements". J. Electrochem. Soc. Solid State Science. Vol 118, No.2, Feb. 1971, pp371

9 - Lombardi R, Aragón R., "Sensibilidad a H₂ de Dispositivos MOS con Compuerta de molibdeno", Anales AFA 2003, Vol 15, pp 182

10 - Lombardi R, Aragón R., "Chemical Sensitivity of Mo Gate MOS Capacitors", Revista Mexicana de Física, RMF, "Ibersensor 2004".