

# No volatilidad en láminas ferroeléctricas de SBT a 75°C

R. JIMÉNEZ, A. GONZÁLEZ, C. ALEMANY, M.L. CALZADA, J. MENDIOLA

Inst. de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC). Cantoblanco 28049. Madrid.

El estudio de la no volatilidad de una memoria FeRAM de tantalato de bismuto y estroncio,  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBT) en condiciones reales de uso, requiere la caracterización ferroeléctrica del material en forma de lámina delgada a temperaturas por encima del ambiente. Para ello se han depositado láminas de SBT mediante un método sol-gel, sobre sustratos de  $\text{Pt}/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ , seleccionándose condensadores de área  $5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$ . Basándonos en las medidas de la variación de la polarización con el tiempo (retención) realizadas a temperatura ambiente y a 75°C, analizamos la viabilidad del material como una FeRAM en condiciones reales de uso.

*Palabras clave:* NVFeRAM, SBT, Temperatura.

## Non-volatility of ferroelectric SBT thin films, at 75°C

The study of the non-volatility of Strontium bismuth tantalate  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBT) FeRAM memory, at real operating conditions, requires the ferroelectric characterisation of the material, as a thin film, above the room temperature. As a result, it has been deposited SBT films by the sol-gel method, onto  $\text{Pt}/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$  substrates, using capacitors of  $5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ . In this work, we analysed the viability of this material as a FeRAM memory in real operating conditions, as a result of the variation of the polarisation measurements with time (retention), performed at room temperature and 75°C.

*Keywords:* NVFeRAM, SBT, Temperature.

## 1. INTRODUCCION

La posibilidad del empleo de materiales ferroeléctricos en memorias de ordenador de acceso aleatorio con la ventaja de la no volatilidad (en inglés NVFeRAM) parece cada día más cercana, de hecho algunas empresas de fabricación de memorias de ordenador prevén sacar al mercado las primeras memorias ferroeléctricas en el 2001 (1). Por otro lado el uso de las "smart cards" con memorias NVFeRAM de baja densidad es una realidad y uno de los usos más actuales de los ferroeléctricos integrados (2).

Dentro de los materiales susceptibles de ser empleados como elemento de NVFeRAM el tantalato de bismuto y estroncio ha demostrado ser uno de los más adecuados debido a su extraordinaria resistencia a la fatiga producida por los repetidos ciclos de escritura y lectura, lo que significa desde el punto de vista del material ferroeléctrico el mantenimiento de la polarización frente a repetidos ciclos de conmutación en ambos sentidos. También y como requisito necesario de la no volatilidad de la información almacenada en la memoria, el SBT debe mantener el signo y el valor de la polarización en el tiempo, presentando una elevada remanencia (3) o retención de la polarización.

Un problema que presentan las memorias y que suele ser responsable del fallo de las mismas, sobre todo desde el punto de vista de la retención del estado lógico, es la preferencia de un signo de la polarización sobre el otro. Este fenómeno es denominado en inglés "imprint". Actualmente se piensa que está relacionado con el atrapamiento - liberación de carga en la heteroestructura de las láminas (4) (vacantes de oxígeno, electrones, huecos). Esta carga puede estar atrapada en las intercaras electrodo - ferroeléctrico o en las paredes de dominio y bordes de grano en el seno del material ferroeléctrico, variando las propiedades de conmutación del material (5). La relación entre la

distribución de los defectos puntuales y el fenómeno del imprint hace que, la temperatura sea un parámetro muy importante en las propiedades ferroeléctricas de las láminas por dos causas principales: los materiales ferroeléctricos por su transición de fase ferro-paraeléctrica presentan una variación gradual de la polarización espontánea y del campo coercitivo decrecientes con la temperatura y en segundo lugar por la existencia de defectos puntuales cuya movilidad aumenta con la temperatura, así como, la posible liberación con la temperatura de defectos localizados en trampas suaves que lógicamente tienden a distribuirse por el material, pudiendo ser atrapados en otros lugares.

Por otro lado, la temperatura de uso de las memorias ferroeléctricas no es constante ya que cuando el ordenador está en funcionamiento pueden alcanzarse temperaturas por encima del ambiente. Así el conocimiento de la degradación de las propiedades ferroeléctricas con la temperatura, sobre todo la resistencia a la fatiga y la retención de la polarización, es necesario para comprobar si el material es apto para la aplicación que se desea dar.

Dentro de los diferentes métodos de preparación de láminas de SBT, el depósito por sol-gel, ha demostrado ser capaz de reducir la temperatura de formación a 650°C (6,7), facilitando su posible integración y ahorrando el recocido de la muestra.

El objetivo del presente trabajo es comprobar la resistencia a la fatiga y la retención de la polarización de elementos de memoria en láminas de SBT preparadas por sol-gel, a temperatura ambiente y a 75°C y discernir el mecanismo responsable de la degradación. También se han realizado medidas en condensadores después de recocer la lámina a 450°C en aire para conocer sus efectos.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las láminas de SBT con composición nominal de  $Sr_{0.8}Bi_{2.2}Ta_2O_9$  han sido obtenidas siguiendo el método detallado en la cita (7). Para la caracterización eléctrica de las láminas se depositaron electrodos de Pt de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$  de área y 100 nm de espesor mediante pulverización catódica en frío. Las medidas de retención y fatiga y los ciclos de histéresis se obtuvieron empleando los programas comerciales del sistema de análisis ferroeléctrico Radiant Technologies RT66A Standarized Ferroelectric Test System. Previamente a la medida de retención, el condensador ferroeléctrico ha sido acondicionado eléctricamente con el objeto de partir de una situación con campo de bias nulo. La adquisición del primer ciclo de histéresis se realizó mediante la técnica de ciclo pulsado desarrollado por los autores (8). El coeficiente piroeléctrico espontáneo fue calculado mediante el ajuste de la corriente piroeléctrica a la ecuación fenomenológica L (1):

$$i_r = i_0 + RT + \gamma A \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

donde  $i_0$  es una corriente no piroeléctrica constante, RT es una corriente no piroeléctrica que crece linealmente con la temperatura, A es el área del electrodo,  $\gamma$  el coeficiente piroeléctrico y  $dT/dt$  la derivada temporal de la temperatura(9). La medida de permitividad en función de la temperatura se realizó con un puente de impedancias automático HP 4284 A, hasta 450°C a una velocidad de 2°C min<sup>-1</sup>.

3 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO DE RETENCIÓN

Antes de pasar a describir los resultados de la capacidad de retención es adecuado hacer un análisis del significado físico del experimento de retención y de la información que puede ser extraída de este experimento. En la figura 1, aparece descrita la onda que es aplicada sucesivamente a la muestra. Un primer pulso triangular polariza el condensador en un sentido determinado (V(+)), posteriormente esperamos un tiempo que es el parámetro variable en el experimento y que va aumentando. Transcurrido este tiempo se aplica a la muestra un segundo pulso de igual amplitud al anterior pero en sentido contrario. En el momento de dar este pulso el integrador se pone a cero. Seguidamente el sistema mide la carga integrada desde el comienzo del pulso hasta que se alcanza el voltaje máximo, llamándose esta carga de conmutación  $P^*$ . Desde el  $V_{max}$  hasta 0 V el sistema sigue integrando y cuando llega a  $V=0$  mide la carga  $P^*_r$ . El sistema mantiene la muestra a 0 V durante 1 segundo, pone a cero el integrador y comienza un nuevo pulso triangular idéntico al anterior. En este pulso la carga integrada en la subida de voltaje se denomina  $P^\wedge$  y la medida al final del pulso  $P^\wedge_r$ . Posteriormente el sistema espera 1 s a 0 V hasta que aplica un triángulo de polarización idéntico al primero.

Desde el punto de vista de la lámina ferroeléctrica, el significado de los parámetros medidos en el experimento es el que está descrito en el texto insertado en la figura 1. Siendo  $2P_{sw,t=tret}$  la carga de conmutación total de la muestra en las condiciones de medida,  $C_{c.a.}$  la capacidad a campo alto del condensador ferroeléctrico,  $P_{fugas}$  la carga que se acumula en el integrador debido al paso de una corriente de fuga por el condensador debido a su conductividad no nula,  $P_E$  es la polarización ferroeléctrica que se pierde en la bajada de voltaje en el pulso de lectura y  $P_{sw,rx=1s}$  es la polarización que se pierde durante el segundo de relajación a  $V=0$  entre los dos pulsos de lectura. La  $P_{nv}$  parámetro, que se emplea como estado lógico, viene dada por la diferencia  $P^*_r - P^\wedge_r$ . El valor de  $P_{nv}$  no debe ser menor que  $2 \mu\text{C cm}^{-2}$  para conservar el estado lógico, aunque éste valor depende de

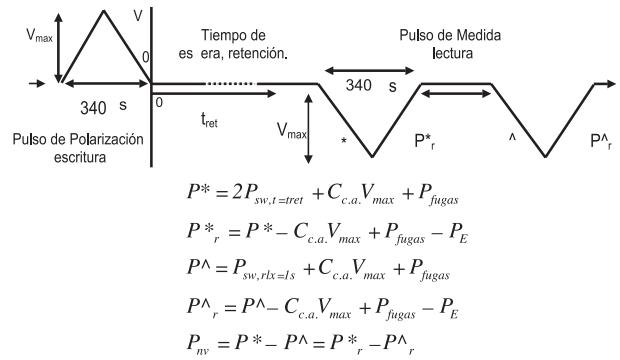


Figura 1: Esquema de la señal aplicada durante el experimento de retención de la polarización ferroeléctrica con el dispositivo RT66A. El significado de los parámetros medidos en el experimento son explicados en el texto. El texto insertado explica las diferentes polarizaciones que contribuyen a los parámetros que son medidos en el experimento

la arquitectura y tipo de amplificador sensible empleado [10].

La identificación del proceso de degradación, esta relacionada con el descenso de  $2P_{sw,t=tret}$  y el aumento de  $P_{sw,rx=1s}$  (10). El aumento de este parámetro implica un fuerte aumento de la conmutación en sentido contrario al del voltaje máximo aplicado en 1 segundo, siendo este tiempo constante durante todo el experimento, producido por un aumento de la inversión de dominios en función del tiempo de retención, que esta relacionado con la preferencia del estado de polarización en signo contrario o "imprint". La disminución de  $2P_{sw,t=tret}$  esta ligado al proceso de pérdida de polarización conmutable con el tiempo (envejecimiento) habitual en cualquier ferroeléctrico de la polarización conmutada en el pulso de lectura.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2, presentamos las medidas del primer ciclo de histéresis en dos condensadores vírgenes de SBT. Como se puede comprobar el ciclo no comienza a cero de carga lo que implica que un  $85 \pm 4 \%$  de la polarización ferroeléctrica conmutable está preferentemente apuntando hacia el electrodo de abajo. Este resultado viene confirmado por la fuerte respuesta

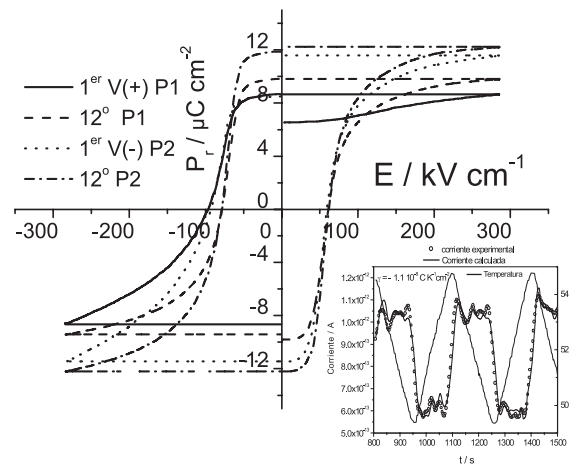


Figura 2: Medidas de primer ciclo de histéresis mediante la técnica del seno pulsado. En la figura se muestran primeros ciclos y ciclo duodécimo sobre dos condensadores vírgenes distintos en la lámina de SBT. V(+) significa que el primer ciclo comienza en  $V=0$  hacia voltajes positivos y, V(-) que el primer ciclo comienza en  $V=0$  hacia voltajes negativos. La figura insertada es la respuesta piroeléctrica de un punto virgen próximo a los medidos.

piroeléctrica de un punto virgen, vecino a los anteriormente medidos, como puede observarse en el añadido de la figura 2. El coeficiente piroeléctrico del condensador virgen es de  $1 \cdot 10^{-8} \text{ C cm}^{-2} \text{ K}^{-1}$  con signo negativo como corresponde a la orientación del dipolo ferroeléctrico. Como puede observarse, del 12º ciclo pulsado la polarización remanente a campo cero es de  $10.8 \pm 2 \mu\text{C cm}^{-2}$  presentándose un desplazamiento del ciclo de histéresis hacia campos negativos del orden de  $-12 \text{ kV cm}^{-1}$ .

La influencia de la temperatura en el ciclo de histéresis, trazado a 100 Hz con el RT66A, se manifiesta por una disminución de la polarización remanente y en saturación, además se produce un descenso en el campo coercitivo como es de esperar. El ciclo después del recocido medido a 75°C muestra una disminución de la polarización conmutable, permaneciendo los campos coercitivos invariables (Tabla I).

Los resultados de la fatiga ferroeléctrica, obtenida a 7V, muestran un comportamiento muy similar del SBT a temperatura ambiente y a 75°C. En ambos casos la fatiga es próxima al 12% de la polarización no volátil  $P_{nv}$  en  $2 \cdot 10^{11}$  ciclos de conmutación.

En la figura 3 presentamos los resultados de las medidas de retención para la muestra a temperatura ambiente y a 75°C. Los resultados a temperatura ambiente únicamente se muestran en el caso de pulso de escritura negativo. Primeramente destaca la caída de la polarización producida por el aumento de la temperatura, como se dedujo de los ciclos de histéresis, (Tabla I). A temperatura ambiente la polarización de conmutación  $P^*$  se mantiene constante mientras que  $P_r^*$  sufre una caída ligera con el tiempo indicando un aumento de  $P_E$ . Las polarizaciones de no conmutación  $P^\wedge$  y  $P^\wedge_r$  presentan un ligerísimo aumento  $1 \mu\text{C cm}^{-2}$  y  $0.5 \mu\text{C cm}^{-2}$ , respectivamente. Estos resultados indican una ligera tendencia al "imprint" a polarización negativa mientras que la caída de polarización por retención o envejecimiento de la polarización es muy pequeña para V(-), disminuyendo ligeramente la remanencia de la polarización después de V(+). En el caso de la medida a 75°C, polarizando la muestra con V(-),  $P^*$  se mantiene constante hasta los 3000s donde se produce el comienzo de la pérdida de polarización que alcanza los  $0.5 \mu\text{C cm}^{-2}$  en 10<sup>5</sup>s. La caída en  $P_r^*$  es ligera hasta los 3000 s donde aumenta de velocidad cayendo  $1.5 \mu\text{C cm}^{-2}$  en 10<sup>5</sup> s.  $P^\wedge$  presenta un crecimiento ligero hasta los 3000s donde se acelera ganando  $2 \mu\text{C cm}^{-2}$  en 10<sup>5</sup>s; el caso de  $P_r^\wedge$  es similar ganando  $1 \mu\text{C cm}^{-2}$  en 10<sup>5</sup>s. Estos datos indican, suponiendo que las cargas lineales y de fugas son constantes, que a partir de 3000s comienza una mayor degradación de la polarización tanto debido al envejecimiento de la polarización conmutable viniendo de V(-) ( $\approx 0.5 \mu\text{C cm}^{-2}$ ) como por efecto del "imprint" que favorece el sentido negativo de la polarización ( $\approx 2 \mu\text{C cm}^{-2}$ ). Los resultados en remanencia indican una pérdida de la polarización conmutada en sentido positivo 4 veces mayor que a temperatura ambiente. La pérdida en  $P_{nv}$  pasa de 10% a temperatura ambiente al 28 % a 75°C.

El experimento de retención en signo contrario (pulso de escritura positivo) muestra que las polarizaciones de conmutación  $P^*$  y  $P_r^*$  son prácticamente constantes con el tiempo de retención. Este resultado indica que la conmutación con V(+) tiene una remanencia casi del 100% de la polarización conmutada. En el caso de las polarizaciones de no conmutación se produce un aumento gradual, algo mayor a partir de 200s, de  $P^\wedge$  de unos  $2.5 \mu\text{C cm}^{-2}$ ; mientras que  $P_r^\wedge$  con un comportamiento similar gana  $2 \mu\text{C cm}^{-2}$ . El aumento en  $P^\wedge$  es producido por la inversión de dominios hacia el sentido de voltaje positivo, siendo el "imprint" en sentido positivo mayor que en

TABLA I. PARÁMETROS FERROELÉCTRICOS, EN DIFERENTES CONDICIONES DE MEDIDA, OBTENIDOS DE LOS CICLOS DE HISTÉRESIS DE CARGA MEDIDOS CON EL RT66A EN MASA VIRTUAL CON ONDA TRIANGULAR DE 100 Hz Y 7 V DE AMPLITUD DE VOLTAJE

Temp. Experimento / °C	$P_r / \mu\text{C cm}^{-2}$	$+E_c / \text{kV cm}^{-1}$	$-E_c / \text{kV cm}^{-1}$
25	10.3	43	47
75	8.1	34	36
75recocida	6.8	37	36
75 recocida y degradada	5.8	40	35

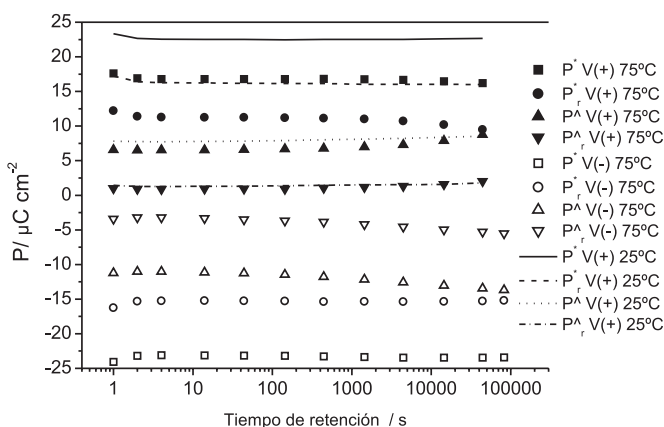


Figura 3: Medidas de retención de la lámina de SBT a 25°C y a 75°C. El significado de los símbolos está contenido en el misma figura. V(+) significa pulsos de lectura con  $V_{max} > 0$ , (ver figura 3), V(-) significa pulsos de lectura con  $V_{max} < 0$ .

el negativo que únicamente producía una reversión de  $2 \mu\text{C cm}^{-2}$ . La pérdida de  $P_{nv}$  es del 20%, siendo debida mayoritariamente a la inversión de dominios polarizados con V(-) por el "imprint" positivo del pulso de escritura.

Los resultados de la variación de la permitividad con la temperatura muestran que la temperatura del máximo está en 303°C, por lo puede asumirse que la temperatura alcanzada en el recocido es suficiente para que la carga atrapada en trampas suaves se redistribuya.

El proceso de recocido produce una disminución de la polarización conmutable, sin variaciones significativas en los campos coercitivos (Tabla I), lo que indica que esta reducción podría ser debida a los siguientes fenómenos: ligera reducción del tamaño del electrodo debido a la termodinámica de la intercara Pt / óxido ferroeléctrico, ya que habitualmente el Pt no moja sobre la superficie de los óxidos, y/o a la migración de los defectos cargados del "volumen" de la lámina hacia las intercargas electrodo/ferroeléctrico como ya se ha demostrado en láminas de titanato de plomo modificado (4), lo que produce una pérdida de polarización conmutable.

En la figura 4, mostramos los resultados del análisis de retención de la muestra después del recocido. En el caso de polarización (escritura) con pulso negativo (V(-)) la polarización  $P^*$  sufre una caída a partir de los 500s que acumula  $1.5 \mu\text{C cm}^{-2}$  a 10<sup>5</sup> s, el comportamiento de  $P_r^*$  es similar siendo la pola-

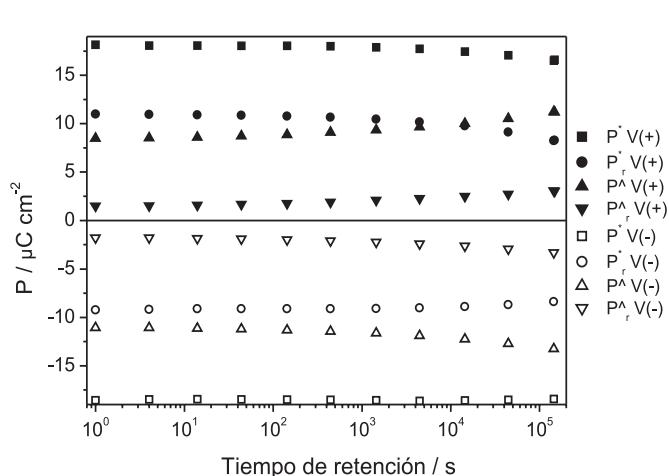


Figura 4: Medidas de retención de la lámina de SBT a 75°C después del recocido (curva λ). Los símbolos tienen el mismo significado que en la figura 3.

rización perdida acumulada de 2.7  $\mu\text{C cm}^{-2}$ . La polarización  $P^{\wedge}$  presenta un aumento gradual acumulando una ganancia de 2.8  $\mu\text{C cm}^{-2}$ .  $P_r^{\wedge}$  tiene el mismo comportamiento con una ganancia de 1.5  $\mu\text{C cm}^{-2}$ . La pérdida de  $P_{nv}$  es un 40% a 10<sup>5</sup>s. Estos resultados muestran que el recocido produce un aumento de la degradación en comparación con la muestra sin recocer, tanto por pérdida de retención como por aumento del "imprint" hacia polarización negativa. Si la polarización inicial es positiva, se observa que el valor de  $P^*$  permanece constante y  $P_r^*$  presenta un descenso a partir de 1000s de 0.8  $\mu\text{C cm}^{-2}$ . La polarización  $P^{\wedge}$  tiene un incremento de 2.3  $\mu\text{C cm}^{-2}$  y  $P_r^{\wedge}$  presenta el mismo comportamiento con un aumento de 1.5  $\mu\text{C cm}^{-2}$ . La constancia en  $P^*$  indica que la polarización con V(+) mantiene su buena retención, mientras que la caída en  $P_r^*$  indica una menor remanencia de la polarización en V(-) que indica con el añadido del fuerte aumento en  $P^{\wedge}$  un incremento en el "imprint" favoreciendo la polarización positiva. La pérdida de  $P_{nv}$  es del 31%, mayor que antes del recocido.

La influencia de la degradación producida después del recocido se demuestra en la figura 5, donde se comparan diferentes ciclos de histéresis medidos a 75°C, incluyendo el ciclo de histéresis de la lámina recocida degradada después del análisis de retención con pulso de escritura negativo. El desplazamiento del ciclo hacia voltajes positivos, ver Tabla I, demuestra la pérdida de retención de polarización por "imprint" favoreciendo la polarización del pulso de escritura y el tamaño indica la degradación por pérdida de polarización conmutable. Además el ciclo no recupera la simetría con el campo eléctrico después de un acondicionamiento eléctrico.

Del estudio realizado se desprende que, a temperatura ambiente la retención de la polarización es buena y únicamente se ve afectada por un ligero efecto de "imprint". A 75°C con escritura negativa se produce un aumento de la pérdida de retención de la polarización conmutable en sentido negativo unida a un efecto de "imprint" del signo de polarización. En el caso de escritura positiva la retención de polarización es mayor, siendo el "imprint" del signo de polarización algo mayor. El recocido produce una mayor pérdida de la rema-

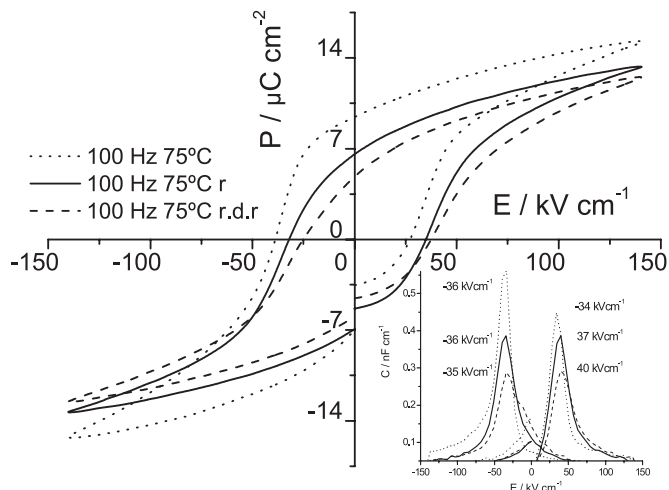


Figura 5: Ciclos de histéresis ferroeléctrica trazados con el dispositivo RT66A, a 100 Hz y 7 V de amplitud de la señal triangular de voltaje. En la figura viene explicado el significado de cada uno de los ciclos. La figura añadida es la derivada frente al campo aplicado de la polarización.

nencia de la escritura negativa y un aumento del "imprint" en este signo de polarización. En el caso de escritura positiva se aumenta la degradación por imprint. La retención de  $P_{nv} > 2 \mu\text{C cm}^{-2}$  extrapolada pasa de  $> 10$  años a ambiente a  $> 3$  años a 75°C y a  $\approx 1$  año a 75°C después del recocido.

El sentido de la polarización neta autopolarizada presente en las muestras, puede estar relacionado con el ligeramente mayor "imprint" producido cuando el signo de escritura coincide con esta polarización (V(+)). El aumento del "imprint" después del recocido puede estar relacionado con el mayor atrapamiento de carga en las intercaras electrodo ferroeléctrico proveniente de la salida de los defectos puntuales de las trampas suaves presentes en el seno del material (4). En este sentido es posible que tratamientos de recocido a mayores temperaturas y presiones de O<sub>2</sub> pudieran eliminar defectos como vacantes de oxígeno en lugar de redistribuirlos, pero habría que calibrar si la posible mejora en las propiedades merece la incorporación de un tratamiento térmico tan duro, sobre todo desde el punto de vista de la integración de estos materiales con Si.

## 5. CONCLUSIONES

Las láminas delgadas de SBT preparadas por sol-gel a 650°C sin un tratamiento posterior de recocido, presentan una excelente resistencia a la fatiga y retención de la polarización a temperatura ambiente que se reduce a la temperatura de uso 75°C, siendo en este caso la retención  $> 3$  años. Estas muestras presentan una fuerte orientación de los dipolos ferroeléctricos que aumenta ligeramente la degradación debido al "imprint" cuando polarizamos en el sentido de la polarización neta. El recocido de las láminas a 450°C en atmósfera ambiente aumenta la degradación de las mismas debido a la pérdida de polarización conmutable y al aumento del "imprint". Las láminas preparadas por este método son adecuadas para su uso en NVFeRAM a 75°C sin necesidad de tratamientos posteriores de recocido.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con el apoyo del proyecto de la CICYT MAT98-1068.

## BIBLIOGRAFIA

1. FERAM - bald maktreif? Physikalische Blätter 57 (2), 18 (2001).
2. J. F. Scott "ferroelectric Memories" Springer Series in Advanced Microelectronics. ISBN 3-540-66387-8 Springer Verlag Berlin Heidelberg New York 2000.
3. T. Mihara, H. Yosimori, H. Watanabe and C. Paz de Araujo. Characteristics of Bismuth layered  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  thin films Capacitors and comparition with  $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ , Jpn. J. Appl. Phys. part I. 34 5233-5239 (1995).
4. D. Dimos, W.L. Warren, M. B. Sinclair, B. a. Tuttle, R. Schwartz Photoinduced Hysteresis Changes and Optical storage in  $(\text{Pb,Lu}) (\text{Zr,Ti}) \text{O}_3$  .Thin films and Ceramics. J. Appl. Phys. 76, 4305-4315 (1994).
5. R. Jiménez, M.L. Calzada, J. Mendiola."Conditioning effects on RTP  $(\text{Pb,Ca})\text{TiO}_3$  thin films". Thin Solid Films 335 292-298 (1998).
6. M. L. Calzada, R. Jiménez, A. González, J. Mendiola."Air-Stable Solutions for the low.temperature crystallization of strontium bismuth tantalate ferroelectric thin films". Chem. Mater. 13 3-5 (2001).
7. M. L. Calzada, A. González, R. Jiménez, C. Alemany, J. Mendiola."Rapid thermal processing of strontium bismuth tantalate ferroelectric thin films prepared by a novel chemical solution deposition method". J. Europ. Ceram. Soc 21 1517-1520 (2001).
8. C. Alemany, R. Jiménez, J. Revilla, J. Mendiola, M. L. Calzada."Pulsed hysteresis loops on ferroelectric thin films". J. Phys D: appl Phys 32 L79-L82 (1999).
9. L.E. Garn and E.J. Sharp. Use of low-frequency sinusoidal wave to separate pyroelectric currents from non pyroelectric currents. Part I Theory. J. Appl. Phys. 53(12) 8974-8979 (1982).
10. R. Dat, D.J. Lichtenwalner, O. Auciello, A.I. Kingon. Imprint testing of ferroelectric capcitors used for non- volatile memories. Integrated Ferroelectrics 5 275-286 (1994).

Recibido: 31.05.01  
Aceptado: 10.12.01

