
Inducción De No Linealidad De Segundo Orden En Muestras De Sílice

Jairo G.^a, Gladys Q.^a y Fabiola G.^a

^aGrupo de Optica y Fotónica, Instituto de Física, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-108, AA 1226, Medellín, Colombia.

RESUMEN

Importantes evidencias sugieren que es posible almacenar un campo eléctrico estático en el sílice fundido, si se lo calienta y enfría de modo adecuado, mientras le es aplicado un voltaje DC del orden de kV. De esta forma se modifican las respuestas no lineales de material a campos eléctricos, permitiendo así procesos no lineales de segundo orden previamente restringidos como la generación de segundo armónico. Describiremos en detalle este procedimiento y analizaremos algunos de los posibles mecanismos subyacentes.

Palabras Clave: Segundo armónico, polarización electrotrémica, sílice.

ABSTRACT

There is strong evidence suggesting that a static electric field can be recorder in fused silica if it is properly heated and cooled while a kV order bias is applied to it. Nonlinear responses to electric fields can be this way modified, allowing previously restricted second order nonlinear phenomena such as Second Harmonic Generation (SHG). We shall describe in detail this procedure and some of possible underlying mechanisms.

Keywords: Second Harmonic, electrothermal poling, silica.

1. INTRODUCCIÓN

La polarización con la que muchos materiales responden a un campo eléctrico intenso puede describirse mediante una serie de Fourier en el campo aplicado. Para el sílice fundido y cualquier otro material con simetría de inversión (centrosimetría), debe anularse cada coeficiente que corresponda a una potencia par del campo eléctrico en dicha serie. En consecuencia, los fenómenos no lineales de segundo orden están prohibidos en el sílice fundido y en cualquier otro material con propiedades de simetría semejantes.

Sin embargo, en un material centrosimétrico, sí están permitidos los fenómenos de tercer orden: si logramos hacer pasar tres ondas a través de tal material, encontraremos a la salida, además de las frecuencias incidentes, una señal cuya frecuencia es la suma algebraica de las frecuencias de entrada [1].

$$\omega_g = \pm\omega_l \pm \omega_m \pm \omega_n \quad (1)$$

Si una de las frecuencias incidentes es igual a cero y las otras dos se hacen iguales, la señal de salida tendrá una frecuencia doblada (SHG) o una frecuencia nula (OR).

$$\omega_g = 0 \pm \omega \pm \omega = \pm 2\omega \text{ ó } 0 \quad (2)$$

Es decir, mediante la aplicación de un campo estático a un material con no linealidad de tercer orden, es posible obtener fenómenos similares a aquellos que se percibirían si el material tuviese una no linealidad de segundo orden.

$$\chi^{(3)} \mathbf{E}_{dc} = \chi_{ef}^{(2)} \quad (3)$$

Esta idea fue la que, posiblemente, llevó a Meyer y su equipo [2] a intentar almacenar un campo estático en la muestra mediante la separación de sus iones. Esto podría hacerse incrementando la movilidad de los iones (calentar la muestra), y

ejerciendo una fuerza que los separe de acuerdo con sus cargas (aplicar un campo eléctrico). El éxito de esta empresa se vería reflejado en la posibilidad de generar señales de segundo armónico, como en efecto lo lograron. Sin embargo, la generación de estas señales no es indicio contundente de que se hubiese congelado campo eléctrico dentro del material, porque el tratamiento puede implicar la ruptura de la centrosimetría mediante algún mecanismo distinto.

Veremos que existen medidas adicionales que pueden tomarse durante el proceso de polarización que aportan nuevos indicios sobre la formación congelación del campo estático en el material.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Condiciones generales para la polarización electrotrémica

Varias técnicas permiten inducir una susceptibilidad efectiva de segundo orden en materiales centrosimétricos como el sílice; estos métodos han sido ampliamente descritos en la literatura [2, 3, 4, 5]. La técnica usada en este trabajo es la POLARIZACIÓN ELECTROTÉRMICA, procedimiento ideado por Myers, Mukherjee y Brueck [2], que consiste en:

- Calentar la muestra hasta una cierta temperatura ($210\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $325\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Una vez alcanzada esa temperatura, aplicar entre sus caras un voltaje (3 kV a 6 kV , mediante electrodos de contacto o depositados; de acero inoxidable, sal, plata, aluminio, etc.).
- Mantener el voltaje y la temperatura durante cierto tiempo (10 min a 600 min)
- Dejar enfriar con el voltaje aplicado.
- Retirar el voltaje cuando la muestra se haya enfriado.

La magnitud de la no linealidad varía con las condiciones específicas de temperatura, voltaje y tiempo empleados. En todo caso, la no linealidad inducida resulta muy estable en condiciones normales de laboratorio.

2.1. Procedimiento específico para la polarización en este trabajo (para cada muestra)

- Seleccionar el voltaje a emplear evitando someter la muestra a tensiones previas.
- Elevar la temperatura de la muestra hasta $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mantenerla así durante una hora para establecer el equilibrio térmico.
- Manteniendo la temperatura elegida, aplicar el voltaje mediante electrodos de acero inoxidable contactados a presión. Se utilizó un soporte de teflón diseñado a medida para mantener los electrodos centrados y presionados sobre la muestra, a pesar de la dilatación térmica.
- Monitorear tanto el voltaje como la corriente en la muestra; el voltaje tendía típicamente a aumentar unas cuantas decenas de voltios, mientras la corriente caía rápidamente desde unos 0.6 mA hasta 0.1 mA , (figura 3). Esta caída abrupta de la corriente, al relacionarse con la pérdida de movilidad de los iones en la muestra, era señal de que se había creado un déficit de iones en cierta región de la muestra y por tanto se había “grabado” un campo eléctrico en el material; es decir, que el proceso de polarización había sido exitoso.
- Enfriar el sistema mediante ventilación forzada.
- Retirar el voltaje al alcanzar una temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los tiempos y voltajes de polarización para cada muestra se resumen en la tabla No 1. Las características de las muestras empleadas se enuncian en la tabla No 2 y los equipos utilizados se relacionan en la tabla No 3. Los gráficos No 1 y 2 indican, en ese orden, el diseño del soporte y el esquema general del montaje.

Tabla 1. Valores del proceso polarización para cada muestra

| TEMPERATURA, VOLTAJE Y TIEMPO DE POLARIZACIÓN PARA CADA MUESTRA | | | | | | | | | |
|---|------------|----|----|----|----|-----|----|-----|----|
| CONDICIONES | MUESTRA No | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| tpol (min) | 10 | 15 | 20 | 25 | 25 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Vpol(kV) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
| Tpol (°C) | 280 | | | | | | | | |

Tabla 2. Características de la muestra

| CUARZO ÓPTICO SiO ₂ 99.99% | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----|--------------------------|------------------------|------|------------------------|------|
| ÍNDICE DE REFRACCIÓN LINEAL | | | ANCHO DE BANDA DE TRANSPARENCIA (nm) | | | | PICO DE ABSORCIÓN (nm) | | | |
| 1,4585 | | | 220-2500 | | | | 2730 | | | |
| DIÁMETRO (mm) | 24,5 | ESPESOR (mm) | 2 | DENSIDAD (g/cm ³) | | | 2,2 | | | |
| PUNTO DE DISTENSIÓN (°C) | | | | 1215 | | PUNTO DE TENSIÓN (°C) | | | 1120 | |
| PUNTO DE REBLANDECIMIENTO (°C) | | | | 1683 | | COEFICIENTE DE EXPANSIÓN | | | 5,5 x 10 ⁻⁷ | |
| COMPOSITION QUÍMICA DE TRAZAS (ppm) | | | | | | | | | | |
| Li | Na | K | Fe | Al | Ca | Mg | Cu | Co | Mn | Ni |
| 0.55 | 1.8 | 1.5 | 0.55 | 18 | 2.6 | 0.65 | 0.25 | 0.02 | 0.05 | 0.03 |

Tabla 3. Equipos empleados

| EQUIPOS PARA POLARIZACIÓN | EQUIPOS PARA GENERACIÓN DE ARMÓNICO |
|--|--|
| Horno Terrígeno programable ES388 | Laser Q-Switched Nd:YAG 416, Quantronix Corp., de $\lambda = 1064 \text{ nm}$, que con una frecuencia de 100 MHz emite pulsos de 800 kW y duración de 100 ps. |
| Osciloscopio 20 Mhz | |
| Transformador Nippon 110 V ac - 9000 V ac 60Hz | Fotodetector de silicio Newport modelo 818-UV |
| Variac | Medidor de potencia óptica Newport modelo 1830-C |
| Cronómetro | Material de montaje y alineación |
| 2 Multímetros digitales | Mesa antivibratoria |
| Cables de conexión | Calorímetro Scientech 372 con detector modelo 360001 |
| Electrodos de acero inoxidable | |
| Puente rectificador | |
| Divisor de voltaje | |

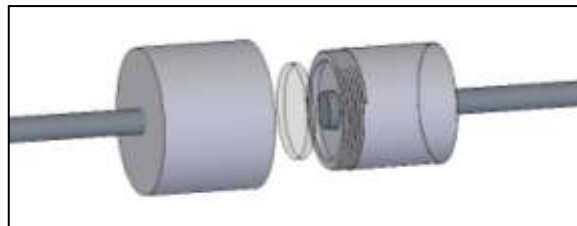


Figura 1. Explosión del ensamble del soporte, los electrodos y la muestra.

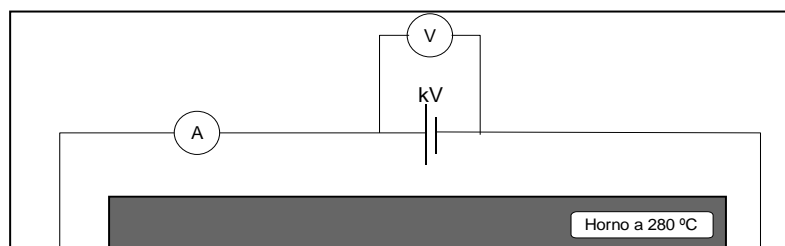


Figura 2. Esquema del montaje en el horno y la conexión eléctrica.

2.3. Generación y medición del segundo armónico

Para la generación de segundo armónico se hicieron incidir sobre las muestras polarizadas pulsos electromagnéticos con las siguientes características: $\lambda = 1064 \text{ nm}$, ancho de pulso: 100 ps , frecuencia de repetición 100 MHz , potencia media 470 mW , ángulo de incidencia = 45° . Todas las muestras cuya curva de corriente de polarización decae como se muestra en la figura 3 produjeron efectivamente segundo armónico; otras muestras no citadas en la tabla no exhibieron ese comportamiento en la corriente y no presentaron segundo armónico. La generación de segundo armónico se percibe a simple vista: la radiación incidente es invisible pero la emergente tiene una componente verde. Los datos fueron registrados con el fotodetector de silicio y el potenciómetro ajustados para a 532 nm . En un trabajo anterior habíamos determinado que la frecuencia de la radiación emergente en el rango visible es exactamente el doble de la incidente [1].

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES



Figura 3. Curva típica de la corriente que atraviesa la muestra durante un proceso exitoso de polarización electotérmica.

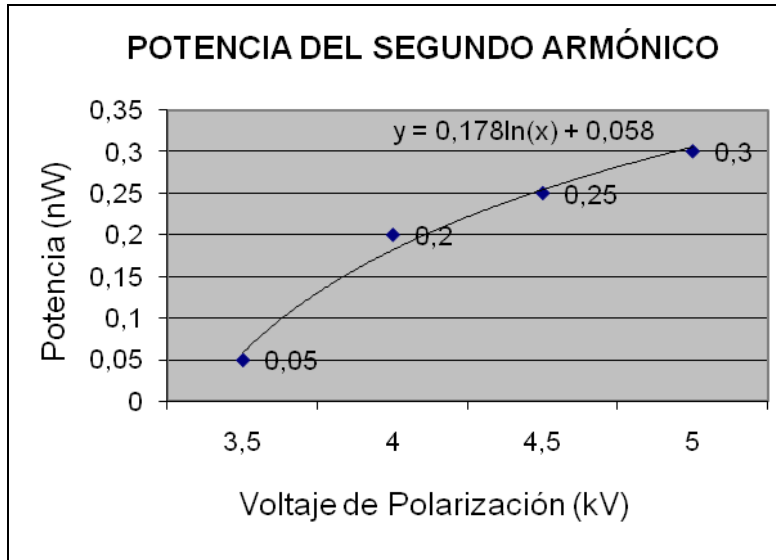


Figura 3. Potencia del Segundo Armónico emergente de la muestra polarizada, en función del Voltaje de Polarización (muestras 1, 2, 3, 4 y 5 de la tabla No 1)

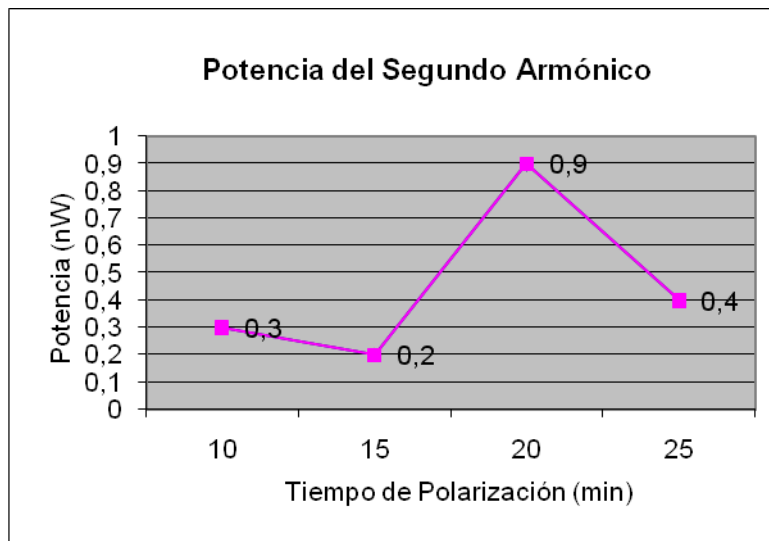


Figura 4. Potencia del Segundo Armónico emergente de la muestra polarizada, en función del Tiempo de Polarización (muestras 6, 7, 8 y 9 de la tabla No 1)

- Corroboramos que la potencia del segundo armónico aumenta logarítmicamente con el voltaje de polarización.
- Aparentemente, la polarización electrotérmica se optimiza a los 20 minutos. Esta no es una conclusión definitiva y deben realizarse experiencias adicionales para verificarlo.
- El decaimiento de la corriente según la tendencia marcada por la figura 3 es señal de un proceso de polarización exitoso, esta observación coincide con la realizada por otros autores [6].

- El haber encontrado segundo armónico sólo en las muestras que exhibieron una corriente de polarización decreciente como en la figura 3, arroja indicios sobre la importancia de la movilidad de los iones en el proceso de generación de la no linealidad y la posible constitución de un campo estático dentro de la muestra. En efecto, un campo de tal tipo se formaría oponiéndose al campo externo aplicado y podría explicar el hecho de que la corriente en la muestra decaiga como se ha detectado. De hecho, el campo estático que necesitaría congelarse en la muestra, en la longitud en la que debería almacenarse para anular ese campo externo, coincide, en orden de magnitud, con el campo estático que debería existir en la muestra para generar una no linealidad de segundo orden como la encontrada en el sílice [2].

$$\mathbf{E}_{dc} = \frac{\chi_{ef}^{(2)}}{\chi^{(3)}} \approx 10^7 \frac{V}{m} \quad (4)$$

$$V = E d \approx 10^7 \frac{V}{cm} * 10^{-6} m \approx 10^3 V \approx \text{Voltaje de polarización} \quad (5)$$

En (5), d es el orden de magnitud de la longitud de la región no lineal.

Otros mecanismos propuestos para explicar la la formación de la no linealidad [7] difícilmente pueden explicar esta caída en la corriente.

AGRADECIMIENTOS

Analytica Ltda., Prof. Luis Castellanos de la Universidad Pontificia Bolivariana, Grupo de Optoelectrónica de la Pontificia Universidad Católica de Río, , Centro Internacional de Física, Grupo de Estado Sólido, Laboratorio de Alta Tensión y Grupo de Atómica de la Universidad de Antioquia;

REFERENCIAS

1. F. Gómez, J. García, “Generacion de segundo armónico en muestras de sílica con no-linealidad de segundo orden inducida”, Rev. Col. Fis., págs. 336-338, 2008.
2. R. A. Myers, N. Mukherjee and S. R. J.Brueck, “Large second order nonlinearity in poled fused silica”, Opt. Lett., 1732-1734, 1991.
3. I. Carvalho, M. Fokine, C. Cordeiro, H. Carvalho, R. Kashyap “Borosilicate glass for photonics applications”, Op. Mat. 1816-1821, 2008.
4. “Generation of permanent optically induced second-order nonlinearities in optical fibers by poling”, Opt. Lett. 592-594, 1988.
5. Tesis Doctoral Gladys Quintero.
6. A. Le Calvez, E. Freysz, and A. Ducasse, “Experimental study of the origin of the second-order nonlinearities induced in thermally poled fused silica”, Opt. Lett. 592-594, 1997.