

Cuarzo KU1 de alta resistencia a la radiación

P. MARTIN, A. MOROÑO, E.R. HODGSON
Materiales para Fusión, Asociación Euratom/CIEMAT, 28040 Madrid

La absorción óptica inducida por radiación así como la emisión de luz (radioluminiscencia) imponen severas limitaciones en el uso de materiales ópticos dentro de un campo de radiación. Para un tipo de sílice de alta pureza, cuarzo KU1, se ha estudiado el efecto de la radiación (gamma ^{60}Co y electrones de 1.8 Mev), en la transmisión óptica. Se ha visto que este material mantiene sus propiedades de transmisión óptica, entre 400 y 2600 nm, en altos niveles de radiación tanto puramente ionizante como con desplazamientos, durante largos periodos de tiempo. También se ha estudiado la radioluminiscencia producida con electrones y el efecto de la radiación en el daño producido por láser en este material.

Palabras clave: Absorción óptica, radioluminiscencia, daño por radiación, daño producido por láser

Highly radiation resistant KU1 quartz glass

Radiation induced optical absorption and radioluminescence impose important limitations on the use of any optical materials under ionizing radiation. Optical transmission of a type of high purity silica glass, KU1 quartz glass, has been studied under radiation (gamma ^{60}Co and 1.8 Mev electrons). The results show that this material maintain their transmission properties, from 400 to 2600 nm under high levels of ionizing radiation and with atomic displacements, during long time. Also radioluminescence produced by electrons and radiation effect on laser damage in this material have been studied

Key words: Optical absorption, radioluminescence, radiation damage, laser damage

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y estudio de materiales resistentes a diferentes formas de radiación es de primordial importancia en diferentes aplicaciones tales como reactores de fisión y de fusión termonuclear, aceleradores de partículas, equipos de irradiación, medicina nuclear e industria aeroespacial. Después de estar sometidos a un campo de radiación, generalmente, las propiedades físicas de los materiales se ven degradadas al sufrir algún tipo de daño por radiación.

Los sistemas de transmisión óptica para monitorización de experiencias y control, en ambientes en los que exista un cierto nivel de radiación, requiere que los componentes ópticos utilizados, como ventanas, lentes y fibras ópticas, mantengan sus propiedades de transmisión óptica incluso en altos niveles de radiación ionizante durante cientos de horas por lo que es importante un estudio de la degradación óptica de los posibles candidatos para valorar la vida media de utilización de los sistemas.

Se han realizado estudios de absorción óptica en un tipo de cuarzo fundido de alta pureza, cuarzo KU1 (suministrado por la Federación Rusa) que es especialmente resistente a la radiación (1, 2). Este material mantiene sus propiedades de transmisión óptica en altos niveles de radiación tanto puramente ionizante como con desplazamientos durante largos periodos de tiempo por lo cual está siendo considerado para su utilización en la monitorización de los reactores de fusión, en sistemas de transmisión óptica utilizados para mantenimiento remoto o como ventanas en sistemas de diagnóstico LIDAR (Light Detection and Ranging), estos sistemas utilizan láseres de alta potencia que deben pasar a través de ventanas que tengan muy baja absorción durante irradiación

También la radioluminiscencia (emisión de luz inducida por radiación) puede ser una limitación para el uso de determinados materiales, por lo cual se ha estudiado la radioluminiscencia del cuarzo KU1

Por otra parte se ha estudiado el efecto de la radiación en el daño producido por láser en materiales transparentes (cuarzo KU1, zafiro y

vidrio común). El umbral de ruptura por láser en KU1 no se ha visto alterado por la presencia de radiación, sin embargo se ha observado que la degradación de la superficie particularmente la deposición de una fina capa conductora reduce notablemente el umbral de ruptura por láser

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La absorción óptica inducida por radiación en cuarzo KU1 se ha estudiado en función de la dosis de irradiación y de la temperatura. Las irradiaciones se han llevado a cabo con radiación gamma y con electrones. Las irradiaciones gamma se han realizado en la instalación Náyade del CIEMAT que dispone de fuentes de ^{60}Co y una cámara con un posicionador provisto de un "thermocoax" para calentar las muestras. Las medidas de absorción óptica, en el rango de longitudes de onda entre 200 y 3000 nm se realizaron a temperatura ambiente en un espectrofotómetro Cary 5E, después de la irradiación a diferentes temperaturas, a una dosis aproximada de 5 Gy/s (2). Para cada muestra se tomó un espectro antes y después de cada irradiación. Las medidas en la región del ultravioleta de vacío (UVV) hasta 120 nm se llevaron a cabo en un espectrómetro Seya-Namioka de 1m utilizando un fotomultiplicador para UVV EMI 9405B y una fuente de deuterio con ventana de fluoruro de magnesio.

Las irradiaciones con electrones se realizaron en una cámara situada en la línea de un acelerador Van de Graaff de 2 MeV lo que permite medidas "in-situ" de espectros de absorción y emisión en el rango 200 a 800 nm durante o después de la irradiación (3). La radioluminiscencia de KU1 se ha medido en función del tiempo y de la temperatura de irradiación y se ha comparado con la radioluminiscencia obtenida anteriormente en zafiro de alta pureza (3) y con un tipo de SiO_2 de muy bajo contenido de OH (1pmm) (4)

Para el estudio de la ruptura por láser de cuarzo KU1 durante irradiación con electrones se utilizó un láser de Nd:YAG, (convenientemente blindado para evitar el efecto de la radiación ambiental sobre el material laser) colocado de forma que el haz del acelerador Van de Graaff y el haz láser estuviesen a 45° y fueran coincidentes en la muestra, el haz láser se focaliza normal a la superficie de la muestra mediante una lente (5). Al producirse el daño también se produce emisión de luz y ruido (como una pequeña explosión), ello se ha utilizado para detectar si se ha producido daño durante la irradiación. Medidas del daño producido por láser se han realizado "in situ" antes, durante y después de la irradiación con electrones a 70 Gy/s y 10¹¹ dpa/s

3. RESULTADOS

3.1. Absorción óptica

Se han realizado medidas de absorción óptica de cuarzo KU1 en el margen de longitudes de onda desde el infrarrojo próximo (NIR) hasta el UVV (3000 ÷ 140 nm) a diferentes temperaturas 20 °C 100 °C y 200 °C, y dosis de irradiación gamma de hasta 23 MGy con muy pequeñas pérdidas en la transmisión desde 400 a 2600 nm Uno de los espectros obtenidos para una muestra sin irradiar e irradiada gamma se puede

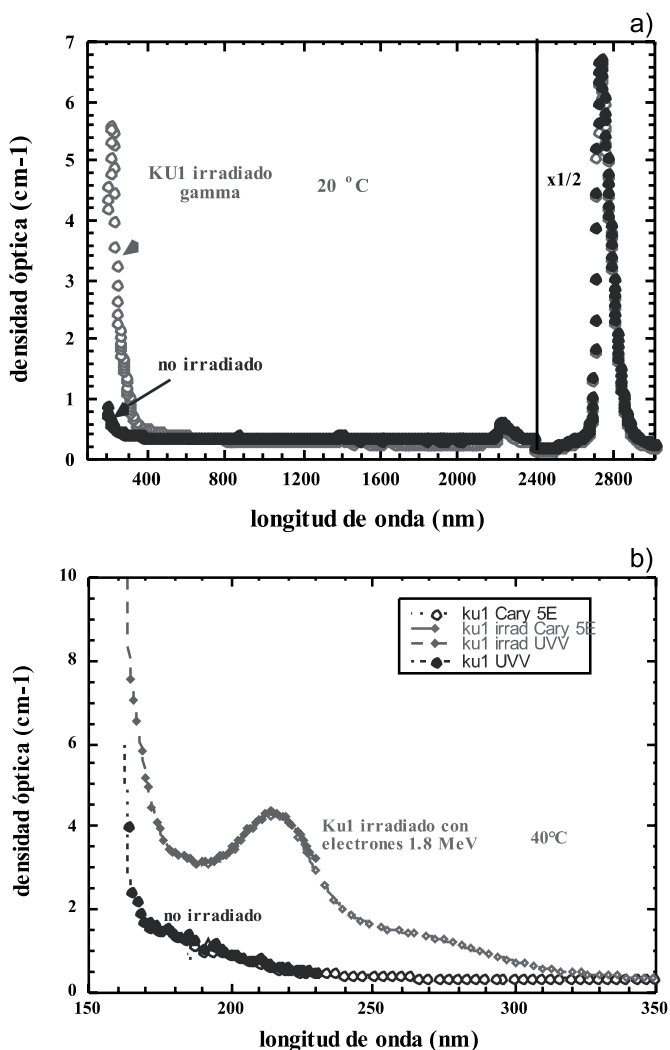


Figura 1. Absorción óptica de cuarzo KU1 antes y después de irradiación (a) KU1 irradiado gamma a 20°C y 10.8 MGy . (b) Detalle de la región UVV-UV, irradiación con electrones de 1,8 MeV a 40°C

ver en la fig 1a. En la fig 1b se presenta la absorción óptica en la región del ultravioleta de vacío, de una muestra sin irradiar y otra irradiada con electrones de 1.8 MeV. El daño por radiación induce dos bandas de absorción a 215 y 280 nm.

La irradiación a 200°C reduce drásticamente la absorción UV inducida por radiación como puede verse en la fig 2a . En KU1 irradiado a 200°C se ha observado un comportamiento transitorio de la absorción óptica en la región UV. Para estudiar este efecto se ha realizado una irradiación hasta 23 MGy, observándose un importante incremento de la absorción óptica desde 0 a 0.4 MGy que luego empieza a decrecer con la dosis hasta un valor de saturación. La evolución con la dosis de la absorción óptica a 215 nm (banda asociada a vacantes de oxígeno (6)), para muestras irradiadas a 20, 100 y 200 °C se muestra en la fig. 2b

3.2. Radioluminiscencia

En la figura 3 se muestra el espectro de radioluminiscencia obtenido para cuarzo KU1 irradiado en un acelerador Van de Graaff a 700 Gy/s y 15°C después de 2 horas de irradiación comparado con el obtenido para zafiro de pureza UV y para SiO₂ con muy bajo contenido de OH (1ppm). La intensidad de radioluminiscencia se ha convertido

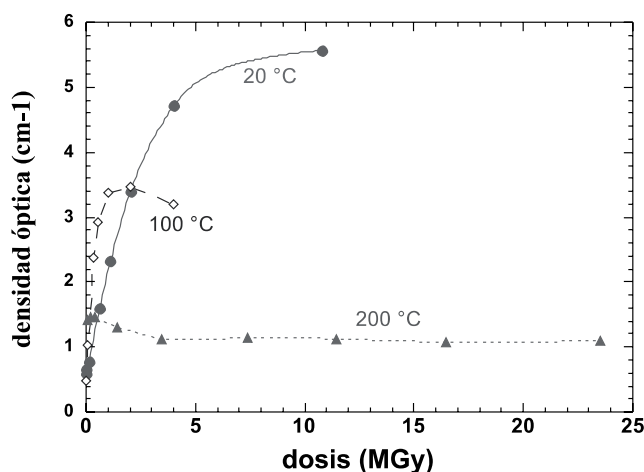


Figura 2. Muestras de KU1 irradiadas con ⁶⁰Co a diferentes temperaturas (20, 100, y 200 °C). (a) Absorción óptica en la region UV. (b) Evolución con la dosis de la absorción óptica a 215 nm

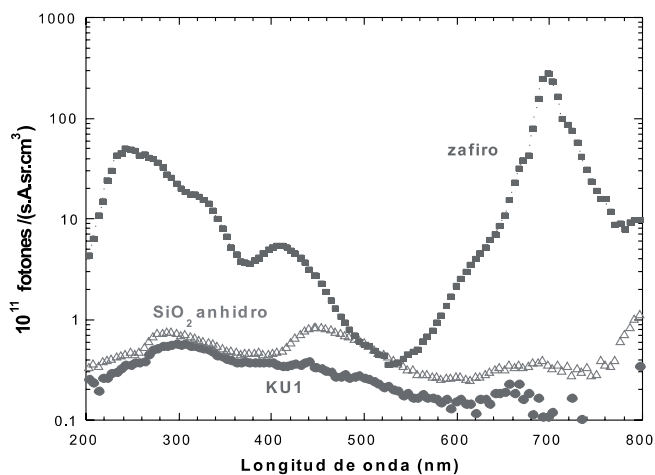


Figura 3. Espectro de radioluminiscencia de cuarzo KU1, SiO₂ con muy bajo contenido de OH (1ppm) y zafiro de alta pureza (Unión Carbide UV grade), irradiados a 15°C, 700 Gy/s después de 2h de irradiación.

a fotones/(s.Å.sr.cm³). Como se puede ver la emisión total para el zafiro es hasta dos ordenes de magnitud mayor que para KU1 sometidos ambos a la misma tasa de dosis

3.3. Daño producido por láser

El daño producido por láser en materiales transparentes se muestra como una probabilidad de daño en función de la potencia del láser. Para materiales no irradiados, se muestra la probabilidad de daño obtenida en zafiro, vidrio común y cuarzo KU1, en la fig. 4a. Se ha considerado la posibilidad de que durante la irradiación se modifique el umbral de ruptura por láser del material y se ha estudiado el posible efecto en el daño producido por láser en cuarzo KU1 durante la irradiación con electrones a 70 Gy/s y después de la irradiación. No se han observado efectos durante la irradiación. Después de irradiación, como puede verse en la fig 4b, la sensibilidad al daño decrece. El cuarzo KU1 presenta una gran resistencia a la radiación, sin embargo se ha observado que la degradación de la superficie, como pequeñas imperfecciones en el pulido y particularmente la deposición de una fina capa conductora, reduce notablemente el umbral de ruptura por láser

Se ha estudiado el umbral de ruptura por láser en muestras de cuarzo KU1 sobre las que se ha depositado una película de oro de distintos espesores (5, 15 y 45 nm) en la cara de salida del láser y se ha observado un aumento considerable en la sensibilidad al daño por láser. En la fig 4b se pueden ver los resultados obtenidos

4. CONCLUSIONES

El cuarzo KU1 es un material muy resistente a la radiación, este material mantiene sus propiedades de transmisión óptica, entre 400 y 2600 nm, en altos niveles de radiación tanto puramente ionizante como con desplazamientos, hasta dosis de 20MGy y 3×10^{-6} dpa. La radioluminiscencia del KU1 se ha visto que es mucho menor que la del zafiro de alta pureza

Con las medidas realizadas de daño producido por láser bajo radiación, se puede concluir que el cuarzo KU1 puede ser usado para ventanas en sistemas que utilizan láseres de alta intensidad y que operen alrededor de 1000 nm, El umbral de ruptura por láser se reduce notablemente cuando se deposita una fina capa conductora sobre el material .

BIBLIOGRAFIA

1. D.V. Orlinski, I.V.Al'tovsky, T.A.Bazilevskaya, V.T.Gritsyna, V.I.In'kov, I.A.Ivani, V.D.Koval'chuk, A.V. Krasil'nikov, D.V. Pavlov, Yu.A. Tarabrin, S.I. Turchin, V.S. Vojtsenya, I.L.Yudin "Preliminary results of window radiation resistance investigations" J. Nucl. Mat. 212-215 1059-1064 (1994).

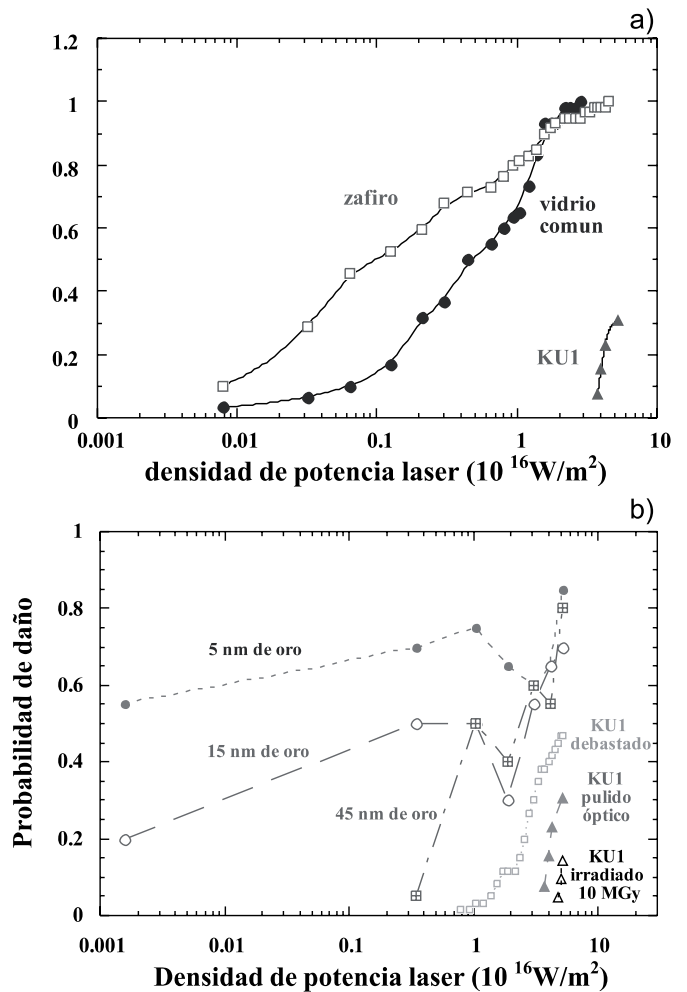


Figura 4. Probabilidad de daño en función de la densidad de potencia del láser. (a) Materiales ópticamente pulidos, no irradiados: zafiro, vidrio común y cuarzo KU1. (b) Cuarzo KU1 ópticamente pulido : sobre el que se ha depositado una fina capa conductora (5nm, 15nm, 45nm de oro), se ha debastado la cara de salida del láser y se ha irradiado hasta 10 MGy.

2. M. Garcia, A. Moroño and E.R. Hodgson. "KU1 quartz glass for remote handling and LIDAR diagnostic optical transmission systems". J. Nucl. Mat. 283-287 890-893 (2000)
3. A. Moroño and E.R. Hodgson, "Radioluminescence problems for diagnostic windows". J. Nucl. Mat. 224 216-221 (1995)
4. A. Moroño and E.R. Hodgson "Radiation induced optical absorption and radioluminescence in electron irradiated SiO₂" J. Nucl. Mat. 258-263 1889-1892 (1998).
5. P. Martín, A. Moroño and E.R. Hodgson "Radiation effects on laser damage in KU1 quartz glass" J. Nucl. Mat. 283-287, 894-897 (2000)
6. D.L.Griscom, "Optical properties and structure of defects in silica glass" J. Ceram. Soc. Japan 99, 923-942 (1991).

Recibido: 1.2.03

Aceptado: 30.11.03