

Medición del coeficiente electroóptico r_{63} de KDP, con componente piezoeléctrica d_{36} , a temperatura ambiente.

A. DI LORETO, G. FISCHFELD.

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
Universidad Nacional de Rosario (U.N.R.).
Avda. Pellegrini 250 - (2000) - Rosario - Santa Fe. ARGENTINA.
e-mail: diloreto@fceia.unr.edu.ar
gfisch@fceia.unr.edu.ar

Resumen.

Se midió el coeficiente electroóptico r_{63} en el modo longitudinal de un monocristal KDP en una celda de Pockels, considerando corrección piezoóptica. El monocristal se obtuvo por el método de crecimiento por sobresaturación en solución acuosa, mediante el descenso de temperatura. Con un láser de He-Ne ($\lambda_0 = 632, 8$ nm) y pulsos amortiguados ($\tau = RC = 130$ μ s) de alta tensión entre 5 y 8 kV, se obtuvo un valor de $r_{63} = 9.6 \cdot 10^{-12}$ m/V a una temperatura de 25°C. Este valor incluye un aumento del 7% debido a la contribución de las deformaciones mecánicas inducidas por efecto piezoeléctrico inverso (la frecuencia propia del cristal se estimó en 1 MHz).

Abstract.

By employing a Pockels cell the electro-optic coefficient r_{63} (in the linear longitudinal configuration) of a KDP crystal including piezo-optic corrections was determined. The crystal was grown from the temperature decrease of a supersaturated aqueous solution. By using an He-Ne laser ($\lambda_0 = 632, 8$ nm) and damped ($\tau = RC = 130$ μ s) high voltage pulses in the range 5-8 kV, a value $r_{63} = 9.6 \cdot 10^{-12}$ m/V at 25°C was obtained. This value includes a 7% increase due to mechanical deformation induced by the converse piezoelectric effect (the intrinsic frequency of the crystal was estimated to be 1 MHz).

Introducción

En la actualidad el KDP (fosfato diácido de potasio, KH_2PO_4) es utilizado en llaves Q-switch, en dobladores y triplicadores de frecuencia en sistemas láser y en otras aplicaciones. Sin embargo, existen varios puntos de estudio como por ejemplo, el fuerte incremento del valor del coeficiente electroóptico r_{63} al pasar del KDP al cristal deuterado DKDP (KD_2PO_4) o la influencia de la temperatura sobre el mismo. Por otra parte, la existencia de macropartículas de KDP durante el crecimiento del cristal a dado lugar a trabajos recientes⁽¹⁻⁸⁾.

En este trabajo se estudian las propiedades ópticas lineales del KDP, en particular el efecto electroóptico (E/O) longitudinal, poniendo a punto una técnica que permite iniciar una serie de mediciones, que tengan en cuenta las variaciones de la constante r_{63} con la temperatura, dopantes del cristal y distintas proporciones de KDP con DKDP.

Efecto electroóptico longitudinal en KDP.

El KDP pertenece al grupo puntual de simetría $\bar{4}2m$ en la fase paraeléctrica, para $T_C < T < T_f$ ($T_{\text{Curie}} = -151^\circ\text{C}$, $T_{\text{fusión}} = 252^\circ\text{C}$).

Si se aplica un campo eléctrico según el eje z , que coincide con el eje óptico del KDP, la ecuación de la indicatriz óptica es^(1,7):

$$\frac{x^2}{n_o^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{63}E_z xy = 1 \quad (1)$$

donde x, y, z son los ejes convencionales de cristales $\bar{4}2m$; z es el eje cuaternario de simetría y x e y son los

ejes binarios en el plano basal. Los coeficientes n_o y n_e son los índices de refracción principales ordinario y extraordinario respectivamente. El coeficiente electroóptico r_{63} es el único que aparece con esta configuración de campo eléctrico.

Los nuevos ejes principales del cristal se obtienen por rotación de 45° alrededor del eje z . La ecuación de la indicatriz reducida a los nuevos ejes principales x', y', z es:

$$\left(\frac{1}{n_o^2} + r_{63}E_z\right)x'^2 + \left(\frac{1}{n_o^2} - r_{63}E_z\right)y'^2 + \frac{z^2}{n_e^2} = 1 \quad (2)$$

Así, los nuevos índices de refracción $n_{x'}$ y $n_{y'}$ son:

$$\begin{aligned} n_{x'} &= n_o - \frac{n_o^3}{2} r_{63} E_z \\ n_{y'} &= n_o + \frac{n_o^3}{2} r_{63} E_z \\ n_z &= n_e \end{aligned} \quad (3)$$

En el efecto E/O longitudinal la luz se propaga en la dirección del eje óptico del cristal, de esta manera, se tendrá birrefringencia eléctricamente inducida para la luz que incide sobre el cristal en la dirección z . La magnitud de la birrefringencia inducida es:

$$n_{x'} - n_{y'} = r_{63} E_z n_o^3 \quad (4)$$

La birrefringencia inducida ocasiona una diferencia de fase entre las dos componentes ortogonales constituyentes de una onda linealmente polarizada, que incide con su vector de onda k según el eje z . Dicha diferencia de fase está dada por:

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda_0} d \left(|n_x - n_y| \right) \quad (5)$$

donde d es el espesor del cristal atravesado por la luz y λ_0 es la longitud de onda del vacío.

Desarrollo experimental.

Los cristales KDP se obtuvieron por sobresaturación de una solución acuosa, con descenso lento de la temperatura ($1^\circ\text{C} / 24 \text{ hs}$), utilizando un baño termostatzado con estabilidad de 0.1°C . El crecimiento a partir de un germen cristalino se realizó entre 65°C y 20°C . La velocidad de crecimiento longitudinal obtenida (eje z del cristal), fue de $1 \text{ mm} / 24 \text{ hs}$ y la velocidad de crecimiento transversal, $0.1 \text{ mm} / 24 \text{ hs}$.

Para la medición de la constante electroóptica r_{63} del cristal KDP se utilizó un láser de He-Ne de 5 mW , polarizado, con $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$. Las dimensiones del monocristal utilizado fueron $6 \times 6 \times 3 \text{ mm}^3$.

El dispositivo experimental empleado se muestra en la Figura 1, que presenta la particularidad de no utilizar una lámina de $\frac{1}{4}$ de λ entre el cristal y el analizador⁽²⁾, que normalmente se utiliza para compensar la birrefringencia natural del cristal. Esta ventaja (la temperatura afecta^(1,2) la birrefringencia natural) se ve compensada con la dificultad que presenta el método para alinear el eje óptico del cristal con el haz luminoso. Para esto último se utilizó el método de las isóginas e isóchromas⁽⁷⁾, que permite observar claramente la posición del eje óptico del cristal.

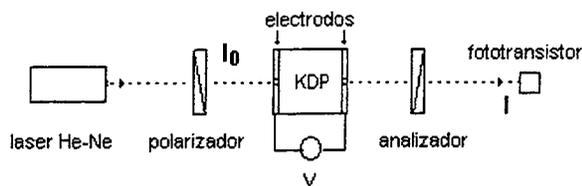


Figura 1. Dispositivo experimental.

Como polarizador y analizador se utilizaron láminas Polaroid. El detector, un fototransistor TIL 78, se acopló a un osciloscopio TK 7603, calibrándose la respuesta del fototransistor con filtros neutros Kodak.

El cristal recibió pulsos de un generador de alta tensión formado por un circuito RC en serie con una llave Spark-gap, operando en modo amortiguado ($C = 50 \text{ nF}$, $\tau = 130 \mu\text{s}$), con tensión variable entre $0-12 \text{ kV}$. Los electrodos de Cu utilizados contaban con una perforación de $\phi = 2 \text{ mm}$ para el pasaje del haz láser, utilizándose vaselina líquida como medio dieléctrico.

La intensidad de luz transmitida por este sistema (Figura 1) es:

$$I = 4I_0 \sin^2 \theta \cos^2 \theta \sin^2 \left(\frac{\Gamma}{2} \right) \quad (6)$$

donde I es la intensidad de luz transmitida, I_0 es la intensidad de luz incidente y θ es el ángulo entre la dirección del polarizador y los ejes principales x' e y' del cristal. En este trabajo θ se fijó en 45° . El coeficiente electroóptico r_{63} , considerando las ec. (4), (5) y (6), resulta:

$$r_{63} = \frac{1}{k_2 V} \arcsen \left(\frac{I}{k_1 I_0} \right)^{1/2} \quad (7)$$

donde $k_1 = 4 \sin^2 \theta \cos^2 \theta$, $k_2 = \frac{\pi n_0^3}{\lambda_0}$ y $V = E d$ es la tensión aplicada a la celda.

Resultados.

Se realizaron mediciones entre 5 y 8 kV , obteniendo los siguientes resultados, considerando la ecuación (7) con $n_0 = 1,51^{(5)}$:

TABLA 1.

$V_0 [10^3 \text{ V}]$	$r_{63} [10^{-12} \text{ m/V}]$
$5 \pm 0,1$	$9,1 \pm 0,3$
$6 \pm 0,1$	$9,0 \pm 0,5$
$7 \pm 0,1$	$9,9 \pm 0,6$
$8 \pm 0,1$	$10,3 \pm 0,9$

Considerando un valor promedio, se puede tomar el coeficiente $E/O r_{63}$ a temperatura $T = 25^\circ\text{C}$, como:

$$r_{63} = (9,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-12} \text{ m/V.}$$

Para valores inferiores de tensión al mencionado, el funcionamiento de la llave Spark-Gap es inestable. Para tensiones superiores al valor de 8 kV se producen fuertes deformaciones del cristal, que provocan su fractura. Esto es consecuencia de utilizar pulsos de tensión de larga duración.

El método propuesto si bien requiere una mejora en cuanto a la duración temporal de los pulsos, presenta la ventaja de poder medir la constante r_{63} para distintas tensiones, permitiendo de esta manera disminuir los efectos de deformación. Normalmente los resultados de la constante se especifican para la tensión que produce en el cristal $\Gamma = \lambda/2$, que en este caso corresponde a 9 kV , para los valores de λ_0 y n_0 empleados^(5,6,7).

Conclusiones.

El método de crecimiento de cristales dio resultados exitosos en cuanto a la obtención de cristales aptos para las mediciones. Sin embargo, presenta dificultades para obtener una transparencia adecuada por la aparición de tensiones mecánicas, si la velocidad de crecimiento no es la apropiada. Una muy baja velocidad de descenso de temperatura produce policristales mientras que una velocidad elevada produce cristales opacos.

El dispositivo experimental propuesto presenta la ventaja de no tener la contribución del efecto termoóptico, por la birrefringencia natural, pero requiere un cuidadoso alineamiento del cristal. Por otra parte para analizar la contribución piezoeléctrica al resultado obtenido, se estimó la frecuencia propia de resonancia mecánica del cristal con la ecuación⁽⁵⁾:

$$\nu = \frac{n}{2d} \sqrt{\frac{c_{11}}{\rho}} \quad (8)$$

donde n es el número de armónico, d es el espesor, ρ es la densidad y c_{11} es la constante de rigidez en la dirección

del espesor. Considerando $n = 1$, $\rho = 2.338 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$, $d = 3 \text{ mm}$ y $c_{11} = 86.8 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ se obtiene un valor de $\sim 1 \text{ MHz}$.

La medición de la frecuencia propia de un corte z de un cristal KDP de $8,9 \times 6,1 \text{ mm}$ de sección y $2,8 \text{ mm}$ de espesor ha dado un valor de 380 kHz , cuyo período de oscilación corresponde a $\sim 2,5 \mu\text{s}$.

La duración de los pulsos de alta tensión aplicados al cristal fueron muy superiores a los tiempos característicos del cristal ($130 \mu\text{s} \geq 2,5 \mu\text{s}$) con lo cual, se deformó por efecto piezoeléctrico inverso. En este caso, el valor del coeficiente E/O r_{63} medido excede al valor que se obtendría con el cristal libre de deformación mecánica. Dichos valores están relacionados por la siguiente ecuación:

$$r_{63} = r_{63}^* + \pi_{66} c_{66} d_{36} \quad (9)$$

donde r_{63} es el coeficiente E/O secundario (con componente piezoeléctrica d_{36}), r_{63}^* es el coeficiente E/O primario, $\pi_{66} = 0.5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$ es un coeficiente piezoóptico, $c_{66} = 6 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ es una componente del tensor de rigidez elástica y $d_{36} = 23.2 \cdot 10^{-12} \text{ m/V}$ es un módulo piezoeléctrico⁽⁵⁾. Entonces, $(r_{63} - r_{63}^*) / r_{63} = 7\%$.

Por otra parte el valor del coeficiente E/O r_{63} medido está en buena correspondencia dentro del entorno de error con los valores reportados^(1,5,6).

Referencias.

1. Abdi F., Fontana M., Aillerie M., Wyncke B., Brehat F., *Ferroelectrics*, Vol. 126, (1992) 73-78.
2. Aillerie M., Fontana M., Abdi F., Carabatos-Nedelec, Theofanous N. y Alexakis G., *J. Appl. Phys.* 65 (1989) 2406.
3. Lian L., Taijing L., Sakai K., Ogawa T., *J. M. Res.*, Vol. 7, No. 12, (1992) 3275-3279.
4. Mantani M., Sugiyama M., Ogawa T., *Journal of Crystal Growth* 114, (1991) 71-76.
5. Perelómová N., Tagúieva M., "Problemas de cristalofísica.", Ed. Mir (1975).
6. Yariv A., "Quantum Electronics.", Wiley, New York (1967).
7. Di Loreto A., "Estudio de fenómenos electroópticos en cristales KDP". Tesis de Licenciatura en Física. Universidad Nacional de Rosario (1996).
8. Bornarel J., Torche B., *Ferroelectrics*, Vol.132, (1992) 273-283.

CEILAP
CITEFA CONICET
ZUFFRANTI GUI Y VARELA
1603 VILLA MARTELLI
REPUBLICA ARGENTINA