

Publicado por:

Consortio para el Diseño, Construcción, Equipamiento y Explotación del Centro de Láseres Pulsados, CLPU

ISBN: 978-84-606-9716-9

Depósito legal: S.278-2015

© Centro de Láseres Pulsados, CLPU

Caracterización mediante Polarimetría de pantallas PA-LCoS bajo distintas geometrías y configuraciones eléctricas

Polarimetric characterization of PA-LCoS displays under different geometries and electrical configurations

Fco. J. MARTÍNEZ^(1,2), Andrés MÁRQUEZ^(1,2), Sergi GALLEGO^(1,2), Manuel ORTUÑO^(1,2), Jorge FRANCÉS^(1,2), Augusto BELÉNDEZ^(1,2) e Inmaculada PASCUAL^(2,3)

1. Dept. de Física, Ing. de Sistemas y Teoría de la Señal, Univ. de Alicante, Apt. de Correos 99, E-03080, Alicante, España.
2. I.U. Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías, Univ. de Alicante, Apt. de Correos 99, E-03080, Alicante, España.
3. Dept. de Óptica, Farmacología y Anatomía, Univ. de Alicante, Apt. de Correos 99, E-03080, Alicante, España.

Persona de contacto: Fco. J. MARTÍNEZ (fj.martinez@ua.es).

RESUMEN:

Recientemente hemos propuesto un nuevo método de caracterización de pantallas PA-LCoS basado en polarimetría de Stokes. Este método nos permite conocer tanto el retardo medio para cada nivel de gris como la amplitud de la fluctuación para cada nivel. También se estudió la robustez, repetibilidad y reproducibilidad del método.

En este trabajo queremos mostrar la elevada capacidad de predicción de este método bajo distintas geometrías de trabajo y bajo diversas configuraciones eléctricas. En definitiva, mostramos como con el método de caracterización utilizado podemos predecir el estado de polarización a la salida del sistema, sin importar que configuración o geometría de trabajo utilicemos, lo cual es de gran importancia de cara al uso de PA-LCoS en aplicaciones ópticas y fotónicas.

Palabras clave: Pantallas, Dispositivos de Cristal líquido, Moduladores espaciales de luz, Dispositivos electro-ópticos, PA-LCoS.

ABSTRACT:

We have recently proposed a novel polarimetric method, based on Stokes polarimetry for PA-LCoS displays. This method allows us to know the average retardance and the fluctuation amplitude for every gray-level. The robustness, repeatability and reproducibility were studied too.

In this work we want to show the high predictive capability of this method, for different working geometries and for different electrical configurations. That is, we demonstrate that, using this method, we can predict the state of polarization reflected by the PA-LCoS whatever the working geometry or the electrical configuration. This will be very useful in optics and photonics applications that use PA-LCoS displays.

Key words: Displays, Polarimetry, Liquid-crystal devices, Spatial light modulators, Electro-optical devices, PA-LCoS.

1.- Introducción

Las pantallas de Cristal Líquido sobre Silicio (LCoS- Liquid Crystal on Silicon) ofrecen una gran versatilidad y se están posicionando como uno de los dispositivos más utilizados en aplicaciones de óptica difractiva [1], almacenamiento holográfico [2], metrología [3], conexiones ópticas reconfigurables [4,5], o computación óptico-cuántica [6]. Esto se ve favorecido por su alta resolución espacial y una alta eficiencia óptica [7,8]. Entre las distintas tecnologías LCoS existentes, las pantallas LCoS con alineación paralela (PALCoS; Parallel Aligned LCoS) son particularmente interesantes debido a su facilidad de operación y a que son dispositivos capaces de modular únicamente la fase sin que se acople ningún tipo de modulación en amplitud.

Desde el punto de vista de la caracterización del dispositivo, éste se puede asimilar a una lámina retardadora con retardo variable y dependiente del voltaje aplicado (nivel de gris), por lo tanto, la principal característica que deberemos conocer será el nivel de retardo introducido para cada nivel de gris.

Los dispositivos PALCoS que utilizan direccionamiento digital presentan unas fluctuaciones debidas a que la señal que controla el nivel de tensión es de naturaleza pulsante. Debido a estas fluctuaciones los métodos clásicos utilizados para medir la caracterización de láminas variables dan valores erróneos ya que suponen un valor constante durante la medición [9,10]. Nuestro grupo ha propuesto recientemente que se puede obtener el retardo y una estimación de la amplitud de dicha fluctuación si realizamos una extensión o corrección del método clásico de análisis de láminas retardadoras [10].

En un trabajo posterior y utilizando un promediado en polarimetría de Stokes se ha propuesto un método para predecir la respuesta del dispositivo para cada nivel de gris y cualquier estado de polarización (SOP- State of Polarization) de la luz a la entrada del sistema [11]. En el presente artículo analizaremos la validez de este método para distintas geometrías de trabajo y distintas configuraciones de la pantalla.

2.- Método de Caracterización

La técnica de caracterización presentada en [11] se basa en el formalismo de Mueller-Stokes [12]. La caracterización será válida para retardadores lineales que presenten fluctuaciones, como podría ser una pantalla PALCoS.

La matriz de Mueller para un retardador lineal que introduce un retardo Γ sería la mostrada en la ecuación (1).

$$M_R(\Gamma) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \Gamma & \sin \Gamma \\ 0 & 0 & -\sin \Gamma & \cos \Gamma \end{pmatrix} \quad (1)$$

Si asumimos una variación del retardo en función del tiempo con un perfil de onda triangular [11], podríamos calcular la matriz de Mueller promedio como sigue (Ecuación (2)):

$$\langle M_R(\bar{\Gamma}, a) \rangle = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (\sin a/a) \cos \bar{\Gamma} & (\sin a/a) \sin \bar{\Gamma} \\ 0 & 0 & -(\sin a/a) \sin \bar{\Gamma} & (\sin a/a) \cos \bar{\Gamma} \end{pmatrix} \quad (2)$$

, donde $\bar{\Gamma}$ es el retardo medio en un periodo y a es la amplitud de la fluctuación.

La ecuación (2) sería un modelo más preciso para la caracterización de un retardador lineal donde se producen fluctuaciones. Si somos capaces de medir el retardo medio y la amplitud de la fluctuación para cada nivel de gris, tendremos completamente caracterizado el dispositivo.

Además podremos calcular el estado de polarización promedio a la salida S_{out} como sigue:

$$\langle S_{out} \rangle = Inv \cdot \langle M_R(\bar{\Gamma}, a) \rangle \cdot S_{in} \quad (3)$$

En el cálculo del estado de polarización a la salida, debido a que el PALCoS es un dispositivo reflectivo, se tiene que tener en cuenta la inversión en el eje horizontal que viene recogida en la matriz Inv de la ecuación (3). S_{in} es el estado de polarización a la entrada. De esta forma podemos calcular el retardo medio y la amplitud de la fluctuación si elegimos de manera inteligente un estado de

polarización de entrada. Si incidimos a la pantalla con un haz de luz polarizado linealmente a $+45^\circ$ con respecto al eje X, S_{in} tendrá como parámetros de Stokes $S_0=1$, $S_1=0$, $S_2=1$ y $S_3=0$. Si introducimos estos datos en la ecuación (3) tendremos que el estado de polarización a la salida será el representado en la ecuación (4) y el grado de polarización DoP (Degree of Polarization) será el representado por la ecuación (5)

$$\langle S_{out} \rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -(\sin a/a)\cos \bar{\Gamma} \\ (\sin a/a)\sin \bar{\Gamma} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$DoP = (\sin a/a) \quad (5)$$

A partir de la ecuación (4) y (5) podemos caracterizar completamente el dispositivo ya que podemos utilizar la expresión $-\langle S_3 \rangle / \langle S_2 \rangle = \text{tg}(\bar{\Gamma})$ para obtener $\bar{\Gamma}$ y midiendo el DoP podemos obtener fácilmente la amplitud de la fluctuación para cada nivel de gris.

3.- Calibración para distintas configuraciones de pantalla y geometrías de trabajo

En la referencia [13] se estudió la robustez del método junto con la aplicación del mismo a pantallas PA-LCoS, cuestión esta última que también abordamos en la presente Sección para distintas configuraciones eléctricas y bajo distintas geometrías de trabajo.

Una de las características que definen el rendimiento de una pantalla LCoS es el formato de la secuencia de direccionamiento. Esta secuencia puede afectar al número de niveles de gris que realmente tenemos disponibles, así como a la amplitud de fluctuación que puedan presentar [14]. Otro aspecto importante es la geometría de trabajo ya que el ángulo de incidencia sobre la pantalla o el uso de cubos separadores de haz pueden cambiar el rango de retardo disponible y la linealidad de la respuesta [15].

En las figuras 1(a) y 1(b) se muestran los sistemas experimentales utilizados para caracterizar las pantallas PA-LCoS. Se puede ver que en un caso usa cubo separador (fig.

1(a)) de forma que se mantiene la incidencia perpendicular a la pantalla. En este estudio también se presentarán los resultados correspondientes a añadir en este esquema un segundo cubo separador. Este esquema se utiliza para el método desarrollado en [10], por eso es interesante para nosotros estudiar este caso. Como cubos separadores se han utilizado sendos cubos no-polarizadores modelo 10BC16NP de Newport. Las medidas polarimétricas se han obtenido con un polarímetro de lámina rotante modelo PAX5710VIS-T distribuido por THORLABS. En este polarímetro se puede configurar el tiempo de adquisición, que en nuestro caso es de 600ms, que es mucho mayor que el posible tiempo o periodo de fluctuación presentado por estas pantallas.

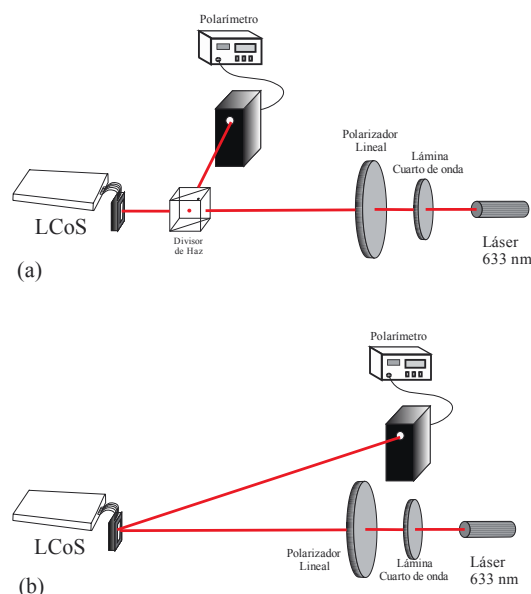


Fig. 1: Configuración usada para medir el retardo y la fluctuación utilizando el polarímetro para las dos geometrías típicas. (a) Con cubo separador (b) Sin cubo.

Evaluaremos la aplicabilidad del método presentado en la sección anterior para 4 configuraciones geométricas: incidencia casi-perpendicular (3 grados), incidencia en ángulo recto (45 grados), e incidencia perpendicular utilizando 1 o 2 cubos.

Para ver si el método es aplicable tendremos que observar el parámetro de Stokes S_1 . Ya que según la ecuación (4) éste debe estar lo más cercano a cero posible.

Además de estos esquemas de trabajo, también utilizaremos dos secuencias de configuración eléctrica distintas. Estas secuencias son denominadas “18-6 2pi linear 633nm” y “5-5 2pi linear 633nm” por el fabricante. La pantalla utilizada es una comercial de la firma HOLOEYE modelo PLUTO-VIS. Estas secuencias eléctricas hacen referencia al número de bits “binarios” y de ancho variable que marcan el número máximo de niveles que se puede obtener con cada secuencia.

Más detalles sobre estas configuraciones y forma de configurarlas se puede encontrar en [14]. En general se tiene que a mayor número de bits de la secuencia se observa una mayor fluctuación.

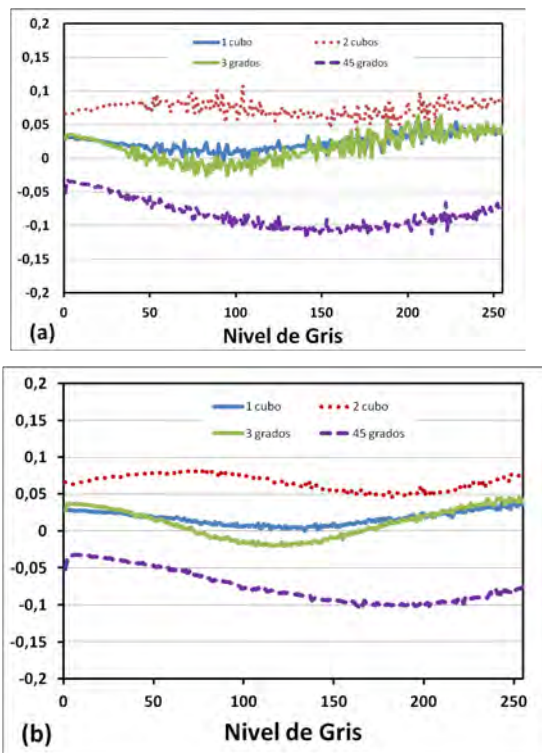


Fig. 2: Parámetro de Stokes S_1 para las dos configuraciones eléctricas que trataremos y las 4 geometrías de trabajo propuestas: (a) Secuencia “18-6 2pi linear 633nm”, (b) Secuencia “5-5 2pi linear 633nm”.

En la figura 2 podemos ver que el método es aplicable tanto para las distintas configuraciones eléctricas como en las distintas geometrías. Se puede observar como el parámetro de Stokes S_1 está siempre entre ± 0.1 , al mantenerse este valor dentro de esos límites nos permite asegurar que el método sigue siendo válido. Se puede ver como S_1 es lige-

ramente superior con incidencia a 45° y con 2 cubos, probablemente este efecto esté producido por la variación de los coeficientes de Fresnel en transmisión en el primer caso y por la acumulación de efectos polarizantes en el segundo.

En la figura 3(a) y 3(b) podemos ver como influyen los distintos esquemas geométricos al rango dinámico de retardo y al nivel de fluctuaciones. En la figura 3(a) podemos ver como la configuración geométrica no afecta al rango dinámico ni a la amplitud de las fluctuaciones, a excepción de la geometría con incidencia a 45° en la que se ve reducido este rango dinámico. En cualquier caso este rango dinámico puede ser ajustado aplicando la metodología desarrollada en [14]. En la figura 3 también se representa la fluctuación y el retardo introducido con la pantalla apagada, observándose como el retardo es aproximadamente 20° mayor en apagado que para el nivel gris 0, lo que nos indica que en el nivel 0 las moléculas están sujetas a un voltaje aplicado.

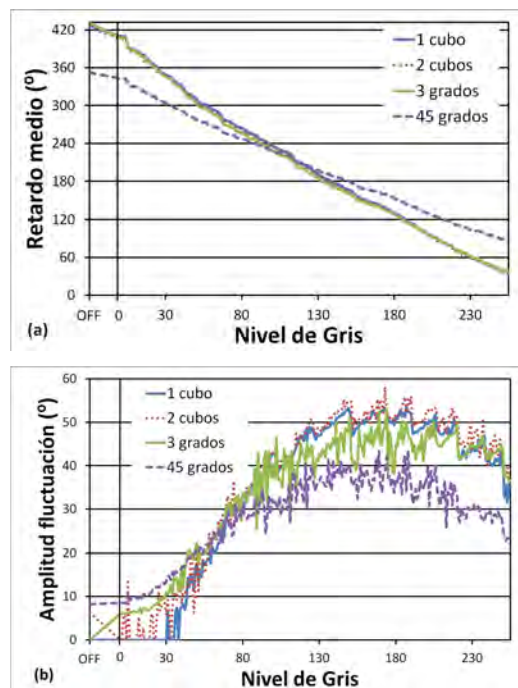


Fig. 3: Resultados obtenidos de las 4 geometrías para la configuración “18-6 2pi linear 633nm”: (a) Retardo medio (b) Amplitud de la fluctuación.

En la figura 4 mostramos similares resultados para la configuración “5-5 2pi linear 633nm”.

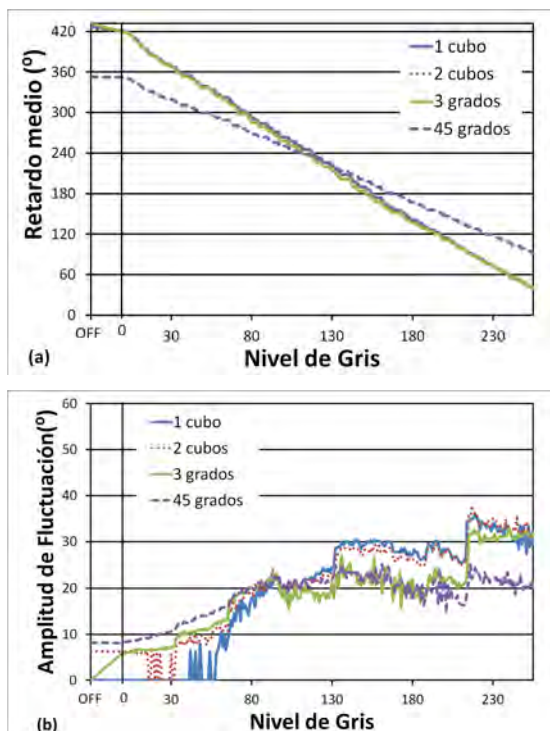


Fig. 4: Resultados obtenidos de las 4 geometrías para la configuración “5-5 2pi linear 633nm”: (a) Retardo medio (b) Amplitud de la fluctuación.

En la figura 4 podemos ver como los mismos efectos observados con la configuración 18-6 se vuelven a repetir, es decir, las diversas geometrías prácticamente se solapan, desviándose sólo la correspondiente a la incidencia a 45° en la que se reduce su rango dinámico. Habría que resaltar que se observa una clara disminución en la amplitud de las fluctuaciones con respecto a la configuración 18-6, y se observa también una mayor cuantización en la 5-5 ya que tiene menos niveles de gris reales disponibles.

4.- Conclusión

Podemos concluir que el método de promediado de los parámetros de Stokes presentado para pantallas PA-LCoS es un método válido, para la caracterización del retardo y la amplitud de sus fluctuaciones, independientemente de la geometría utilizada o incluso la configuración eléctrica interna de la pantalla.

Bajo una perspectiva general la caracterización realizada mediante esta técnica podría ser útil para entender la dinámica del cristal líquido. Como se muestra en [11] es aplicable para predecir los estados de polarización del haz reflejados por la pantalla.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo del Ministerio de Trabajo y Competitividad bajo los proyectos FIS2011-29803-C02-01 y FIS2011-29803-C02-02, de la Generalitat Valenciana bajo los proyectos PROMETEO/2011/021 e ISIC/2012/013 y de la Universidad de Alicante con el proyecto GRE12-14.

Referencias

- [1] J. TURUNEN and F. WYROWSKI, eds., “*Diffractive Optics for Industrial and Commercial Applications*”, (Akademie Verlag, 1997).
- [2] H. J. COUFAL, D. PSALTIS, and B. T. SINCERBOX, eds., “*Holographic Data Storage*”, (Springer-Verlag, 2000).
- [3] W. OSTEN, C. KOHLER, and J. LIESENER, “*Evaluation and application of spatial light modulators for optical metrology*”, *Opt. Pura Apl*, 38, 71-81, 2005.
- [4] M. A. F. ROELEN, S. FRISKEN, J. A. BOLGER, D. ABAKOUMOV, G. BAXTER, S. POOLE, and B. J. EGGLETON, “*Dispersion trimming in a reconfigurable wavelength selective switch*”, *J. Lightw. Technol.*, 26, 73-78, 2008.
- [5] M. SALS, C. KOEBELE, D. SPERTI, P. TRAN, H. MARDOYAN, P. BRINDEL, S. BIGO, A. BOUTIN, F. VERLUISE, P. SILLARD, M. BIGOT-ASTRUC, L. PROVOST, and G. CHARLET, “*Mode-Division Multiplexing of 2100Gb/s Channels Using an LCoS-Based Spatial Modulator*”, *J. Lightw. Technol.*, 30, 618-623, 2012.
- [6] M. A. SOLÍS-PROSSER, A. ARIAS, J. J. M. VARGA, L. REBÓN, S. LEDESMA, C. IEMMI, and L. NEVES, “*Preparing arbitrary pure states of spatial qubits with a single phase-only spatial light modulator*”, *Opt. Lett.*, 38, 4762-4765, 2013.
- [7] S. T. WU and D. K. YANG, “*Reflective Liquid Crystal Displays*”, (John Wiley & Sons Inc., 2005).
- [8] N. COLLINGS, T. DAVEY, J. CHRISTMAS, D. CHU, and B. CROSSLAND, “*The Applications and Technology of Phase-Only Liquid Crystal on Silicon Devices*”, *J. Display Technol.* 7, 112-119, 2011.
- [9] A. MÁRQUEZ, F. J. MARTÍNEZ, S. GALLEGÓ, M. ORTUÑO, J. FRANCÉS, A. BELÉNDEZ and I. PASCUAL, “*Classical polarimetric method revisited to*

- analyse the modulation capabilities of parallel aligned liquid crystal on silicon displays.*", Proc. SPIE 8498, 84980L, 2012.
- [10] F. J. MARTÍNEZ, A. MÁRQUEZ, S. GALLEGO, J. FRANCÉS, and I. PASCUAL, "Extended linear polarimeter to measure retardance and flicker: application to LCoS devices in two working geometries", Opt. Eng. 53, 014105, 2014.
- [11] F. J. MARTÍNEZ, A. MÁRQUEZ, S. GALLEGO, J. FRANCÉS, I. PASCUAL, and A. BELÉNDEZ, "Retardance and flicker modeling and characterization of electro-optic linear retarders by averaged Stokes polarimetry", Opt. Lett., 39, 1011-1014, 2014.
- [12] G. GOLDSTEIN, "Polarized Light" (Marcel Dekker, 2003).
- [13] F. J. MARTÍNEZ, A. MÁRQUEZ, S. GALLEGO, M. ORTUÑO, J. FRANCÉS, A. BELÉNDEZ, and I. PASCUAL, "Averaged Stokes polarimetry applied to evaluate retardance and flicker in PA-LCoS devices", Opt. Express, 22, 15064-15074, 2014.
- [14] F. J. MARTÍNEZ, A. MÁRQUEZ, S. GALLEGO, M. ORTUÑO, J. FRANCÉS, A. BELÉNDEZ, and I. PASCUAL, "Electrical dependencies of optical modulation capabilities in digitally addressed parallel aligned LCoS devices", Opt. Eng., 53, 067104, 2014.
- [15] A. LIZANA, N. MARTIN, M. ESTAPÉ, E. FERNÁNDEZ, I. MORENO, A. MÁRQUEZ, C. IEMMI, J. CAMPOS, and M. J. YZUEL, "Influence of the incident angle in the performance of Liquid Crystal on Silicon Displays" Opt. Express, 17, 8494-8505, 2009.