

## Medición de la Uniformidad Espacial de Fotodetectores en CENAM

J. C. Molina,<sup>a</sup> J. C. Bermúdez,<sup>a</sup> Jorge A. Huerta-Ruelas<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Centro Nacional de Metrología  
km 4,5 Carretera a Los Cués, 76246, Querétaro, México.  
jmolina@cenam.mx

<sup>b</sup> Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional  
Cerro Blanco 141, Col. Colinas del Cimatarío, Querétaro, México.

### RESUMEN

Presentamos el sistema de medición de uniformidad espacial de detectores del laboratorio de espectrorradiometría de detectores de CENAM, así como los resultados de las mediciones sobre 3 detectores de silicio sin ventana de 18 x 18 mm<sup>2</sup> que serán empleados para la construcción de un detector de trampa, dicho detector será establecido como patrón de referencia del sistema de medición de respuesta espectral en la región visible del espectro óptico.

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el Patrón Nacional de respuesta espectral de detectores de CENAM, está basado en un detector térmico (termopila) como patrón de respuesta plana [1]. Este tipo de detectores presentan varios inconvenientes tales como una lenta respuesta, una deriva grande y la difícil medición de su reflectancia espectral.

En los institutos nacionales de metrología existe una tendencia actual al establecimiento de las escalas de respuesta espectral basadas en detectores de semiconductores en configuración de trampa [2-4], estos detectores presentan muchas ventajas sobre los detectores térmicos tales como una rápida respuesta, una excelente estabilidad en el corto tiempo (durante una calibración), una muy buena estabilidad en el largo tiempo (mantiene su valor por varios años), una baja sensibilidad al estado de polarización de la radiación incidente, una muy buena uniformidad espacial, etc. [2, 3, 5]

El establecimiento de la escala de respuesta espectral de detectores en CENAM, basada en detectores de semiconductores requiere de una adecuada caracterización de la respuesta espectral de los mismos, incluyendo parámetros tales como: linealidad, reflectancia espectral, uniformidad espacial, entre otros.

Una de las mayores fuentes de error en la determinación de la respuesta espectral de un fotodetector es su uniformidad espacial, es decir la variación de la respuesta espectral en diferentes puntos sobre el área del detector [6].

En las mediciones de respuesta espectral, el detector es radiado únicamente sobre una pequeña parte de su área total, esto con el fin de garantizar que toda la radiación incida sobre el área sensible. En este caso existe una variación en la respuesta del detector al incidir la radiación en diferentes puntos del mismo, esta variación es debida a efectos tales como la estructura cristalina del silicio, la calidad de fabricación del semiconductor, la conducción de calor y las pérdidas por convección [7].

### 2. SISTEMA DE MEDICIÓN

El sistema de medición de uniformidad espacial fue diseñado para minimizar las mayores fuentes de incertidumbre en dicha medición. El sistema total incluye los subsistemas de posicionamiento X-Y, de estabilización de la potencia del haz láser y filtrado espacial del haz (uniformidad espacial del haz) y el sistema de mediciones eléctricas. La Fig. 1 muestra un esquema de este sistema de medición.

Como fuente de radiación se empleó un láser He-Ne con una longitud de onda de 632,8 nm, el láser es estabilizado en potencia óptica mediante un polarizador y un controlador comercial de la marca CRI modelo LPC-VIS, basado en una celda de cristal líquido, la señal estabilizada es monitoreada mediante un fotodetector de Si y empleada como lazo de retroalimentación al sistema.

Con el fin de obtener un haz Gaussiano se emplea un filtro espacial, compuesto por un objetivo 10X y un *pinhole* de 25 µm para dejar pasar únicamente el modo fundamental del haz. El haz filtrado es ligeramente enfocado mediante una lente colocada

después del filtro para obtener un haz de aproximadamente 1,5 mm en el plano del detector.

Un segundo polarizador es colocado antes del detector bajo prueba para obtener una polarización vertical.

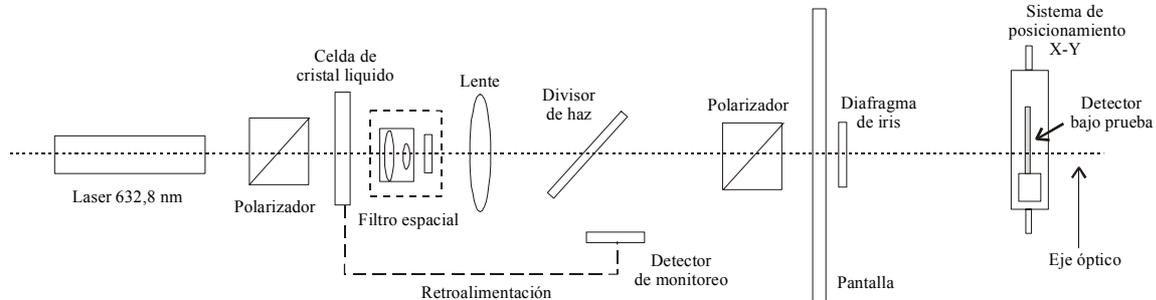


Fig. 1. Sistema de medición de uniformidad espacial de detectores en CENAM.

El sistema de posicionamiento X-Y del detector está constituido por dos motores a pasos con resolución de 6 µm en ambos ejes, controlados por computadora.

La medición de la fotocorriente del detector bajo prueba se realizó mediante un amplificador de transimpedancia de la marca Grasseby modelo Tramp en la escala de 10<sup>4</sup> y un multímetro digital de 8 ½ dígitos la marca HP modelo 3458A.

**3. MEDICIONES**

La uniformidad espacial del detector fue medida sobre un área de (14 x 14) mm<sup>2</sup> en el centro del detector, ya que esta es la parte más uniforme y es la que será radiada una vez ensamblado el detector de trampa.

Se realizaron 5 barridos moviendo el detector en pasos iguales de 0,6 mm en cada eje. Antes de cada barrido el detector bajo prueba fue alineado perpendicularmente al eje óptico mediante el haz reflejado en las cuatro esquinas y el centro del detector. Se emplearon una pantalla negra y un diafragma de iris para reducir los efectos de la luz extraviada.

Las mediciones fueron realizadas bajo un ambiente controlado en temperatura de 21°C ± 0,3 °C, esto para disminuir la variabilidad de las mediciones debida la dependencia de la responsividad del silicio de la temperatura.

Para minimizar los efectos de la no linealidad de la responsividad del detector las mediciones se realizaron a una potencia de referencia de 100 µW.

**4. ESTABILIDAD DE LA POTENCIA DEL HAZ**

La inestabilidad de la potencia del haz laser se ve directamente reflejada en la variabilidad de las mediciones de la uniformidad espacial, variaciones con magnitudes mayores a 10<sup>-4</sup> resultan mayores que la inhomogeneidad del propio detector [7].

Para medir la estabilidad del haz se empleo un detector de trampa de silicio con 3 detectores de 3 x 3 mm<sup>2</sup>, el amplificador de transimpedancia Grasseby y el multímetro digital HP 3458A.

La Fig. 2 muestra el comportamiento de la potencia óptica del haz (Fuente láser + sistema de estabilización de potencia) en un periodo de 45 min.

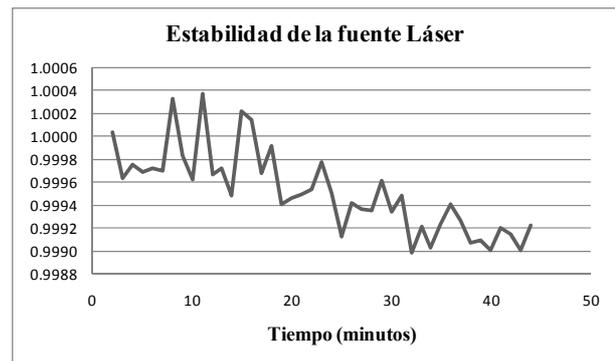


Fig. 2 Estabilidad en potencia del haz láser

Un barrido completo sobre el área medida del detector toma un tiempo aproximado de 32 min. La estabilidad del sistema láser + estabilizador de potencia, medida como la desviación estándar de la variación de la potencia, es de 3x10<sup>-4</sup> aproximadamente en el mismo tiempo.

**5. RESULTADOS**

La Fig. 3 muestra los mapas de contorno de la uniformidad espacial de los 3 detectores medidos.

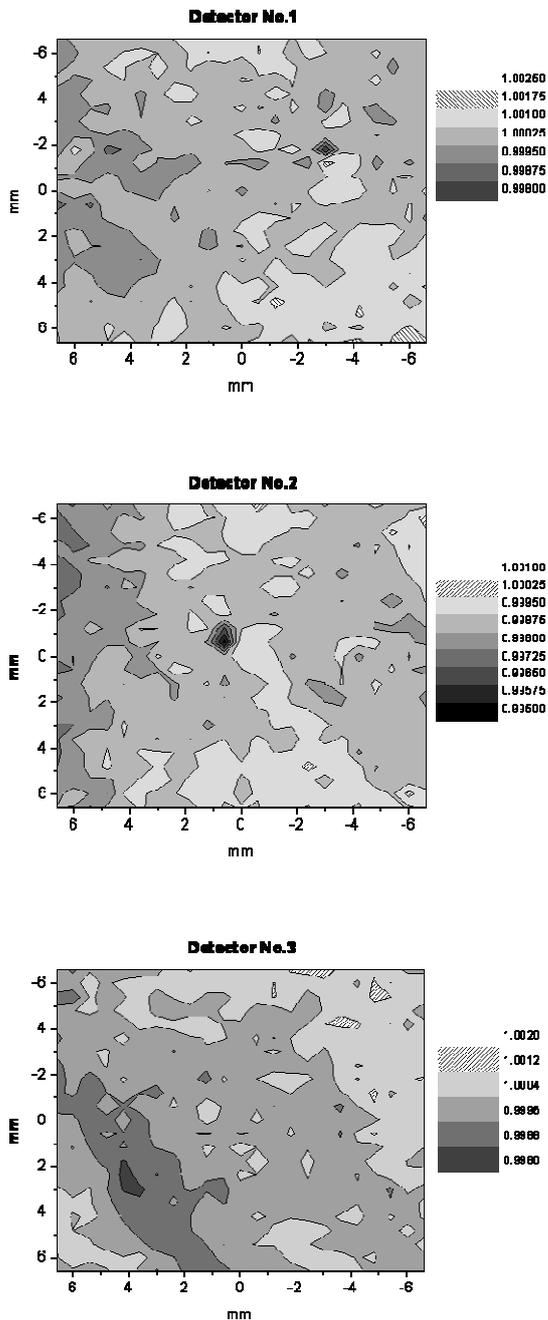


Fig. 3. Mapas de contorno de la uniformidad espacial de los 3 detectores.

La variabilidad de la uniformidad espacial de los 3 detectores, estimada a partir de la desviación estándar de la responsividad medida en diferentes puntos sobre el área de cada detector, fue de  $5,2 \times 10^{-4}$ ,  $5,9 \times 10^{-4}$ ,  $5,4 \times 10^{-4}$  para los detectores 1, 2 y 3 respectivamente. Para que un detector de Si sin ventana pueda ser empleado como referencia en el establecimiento de la escala de respuesta espectral es recomendable que tenga una no uniformidad espacial menor al 0,5 % sobre toda su área y de preferencia menor al 0,25 % sobre el 50 % de su área central [6]. En los 3 detectores medidos en este estudio se encontró una no uniformidad menor al 0,06 %, por lo que se concluye que estos detectores tienen la uniformidad adecuada para ser empleados como detectores de referencia.

**6. ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE**

La Tabla 1 muestra el presupuesto de incertidumbre para el detector 1.

Tabla 1. Presupuesto de incertidumbre para el detector 1.

Fuente de Incertidumbre	Tipo	Contribución [%]
Repetibilidad	A	0,036
Estabilidad del haz laser	B	0,030
Mediciones eléctricas	B	0,007
<b>Incertidumbre estándar combinada</b>		<b>0,05 %</b>

Como se observa en la Tabla 1, la repetibilidad de las mediciones es la contribución dominante, esta es estimada a partir de la desviación estándar promedio de la media de las mediciones sobre el área del detector [6]. La repetibilidad de las mediciones depende de factores tales como la relación señal a ruido S/N del detector, el reposicionamiento del detector en diferentes barridos, la variación en la irradiancia, etc.

Para los detectores 2 y 3 se obtuvieron incertidumbres combinadas similares de 0,04 % y 0,05 % respectivamente.

La intención principal de la medición de la uniformidad espacial en estos detectores es cualitativa, esto es, encontrar cualquier discontinuidad presente en la uniformidad espacial de la responsividad que pudiera causar una

incertidumbre más grande de lo esperada en la medición de la respuesta espectral absoluta [6].

## 7. LIMITES DEL SISTEMA

El límite actual del sistema para la medición de la uniformidad espacial es de  $10^{-4}$ , debido principalmente a la estabilidad de la fuente láser y a la relación señal a ruido S/N del sistema de mediciones eléctricas. Una posible configuración para disminuir este límite es el uso de un segundo monitor colocado después del segundo polarizador para compensar la deriva del láser, esta configuración tendría que venir acompañada de la sustitución del amplificador de transimpedancia actual por uno con una mayor relación señal a ruido, ya que la sola corrección de la deriva mejoraría la estabilidad del haz únicamente de  $\sim 3 \times 10^{-4}$  a  $\sim 1 \times 10^{-4}$ . Sin embargo el límite actual del sistema es suficiente para determinar si la uniformidad espacial de un detector es adecuada para ser usado como detector de referencia.

## 8. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se midió la uniformidad espacial de la responsividad de 3 detectores de Si sin ventana de  $(18 \times 18) \text{ mm}^2$ . El sistema de medición empleado cuenta con un láser de He-Ne de 632,8 nm estabilizado en potencia óptica y un filtro espacial para obtener un haz Gaussiano, así como un sistema de posicionamiento X-Y con una resolución de  $6 \mu\text{m}$  en ambos ejes, y un sistema de mediciones eléctricas (amplificador + multímetro). La no uniformidad espacial obtenida en los 3 detectores fue menor al 0,06 %, por lo que se consideran con la uniformidad suficiente para ser utilizados como detectores de referencia.

Como trabajo futuro queda la determinación de la linealidad y la reflectancia espectral de estos detectores, así como la determinación de su responsividad absoluta con el radiómetro criogénico para proceder al desarrollo del modelo y la construcción del detector de trampa que servirá como patrón de referencia del patrón nacional de respuesta espectral de detectores.

## REFERENCIAS

[1] W. A. Schmid, J.C. Molina Vázquez "La escala de la responsividad espectral de detectores ópticos realizada en el CENAM", SOMI XVII, Congreso de Instrum, Ing. óptica (2003).

- [2] Özcan Bazkir, Farhad Samadov, "Characterization of silicon photodiode-based trap detectors and establishment of spectral responsivity scale", Optics and lasers in engineering, 43, (2005), 131-141.
- [3] N.P. Fox, "Trap detectors and their properties," Metrología 28, 197-202 (1991).
- [4] D. H. Nettleton, T. R. Prior, and T. H. Ward, "Improved spectral responsivity scales at the NPL, 400 nm to  $20 \mu\text{m}$ ," Metrología 30, 425-432 (1993).
- [5] Zalewski EF, Duda CR. Silicon photodiode device with 100 % external quantum efficiency. Appl Opt 1983; 19:2867-73.
- [6] Thomas C. Larason, Sally S. Bruce, and Albert C. Parr, "Spectroradiometric Detector Measurements", NIST Special Publication 250-41, February 1998.
- [7] Murat DURAK, Farahad SAMADOV, A. Kamuran TÜRKÖGLÜ, "Spatial Non-uniformity Measurements of Large Area Silicon Photodiodes", Turk J Phys 26 (2002), 375-379.