

DETERMINACIÓN DE NO-LINEALIDAD EN DETECTORES FOTOVOLTAICOS DE SILICIO

M. López¹, G. Ramos² y W. Schmid¹

¹ Centro Nacional de Metrología (CENAM), Carr. A Los Cués Km. 4.5. Mpio. El Marqués
Tel.: (4) 211 0500. E-mail: alopez@cenam.mx y wschmid@cenam.mx

² Centro de Investigaciones en Ciencias Aplicadas y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN), José Siurob No. 10,
Col. Alameda, 76040 Querétaro, Qro. Tel.: (4) 224 1645. E-mail: gramos@mail.cicata.ipn.mx

Resumen: Este artículo discute las mediciones de no-linealidad de detectores de silicio utilizando el método absoluto. Este método, conocido como doble apertura, consiste en la superposición de dos haces sobre la superficie de un detector. Se midió la no-linealidad a un detector de Si comercial que es utilizado frecuentemente en mediciones de potencia óptica en metrología.

INTRODUCCION

En la Radiometría basada en detectores, para alcanzar los más altos niveles de exactitud es necesario conocer la no-linealidad de los mismos, es decir, determinar el intervalo en el cual el detector tiene un comportamiento lineal respecto a la potencia óptica que recibe. Esto es especialmente importante para detectores fotovoltaicos, ya que es conocido, que su linealidad depende de factores tales como la longitud de onda, la temperatura y la geometría del detector. El interés en este es muy importante ya que tiene fuertes repercusiones en los patrones de transferencia, tanto detectores simples como detectores de trampa y también en aplicaciones como la instrumentación para fibras ópticas [1-2]. Se han reportado en la Literatura diferentes métodos, tanto absolutos como relativos, para determinar la no-linealidad [3-6]. Los métodos absolutos tienen la enorme ventaja de no requerir de un patrón calibrado, por lo que son preferidos; sin embargo, los métodos relativos también son empleados, ya que son más prácticos y permiten extender el intervalo de medición más que el método absoluto por si solo. Los métodos absolutos son necesarios para generar patrones secundarios necesarios para los métodos relativos. El sistema que se presenta aquí es del tipo absoluto. Presentamos los primeros resultados del Sistema de No-Linealidad de Detectores instalado en los laboratorios de Óptica y Radiometría del CENAM.

DETALLES EXPERIMENTALES

El método absoluto empleado en este arreglo se basa en el principio de doble apertura, mismo que se ilustra en la fig. 1. El arreglo experimental consta de un láser de Helio-Neon, un disco atenuador, espejos de primera superficie de aluminio, una placa retardadora un divisor de haz polarizante, dos aperturas, el detector a caracterizar y un medidor de fotocorriente. En nuestro arreglo el diámetro del haz inicial del láser es de aproximadamente 2 mm. El

detector es de silicio con ventana de cuarzo del tipo Hamamatsu S1337-1010BQ, de los que se emplean frecuentemente como patrones de transferencia en Laboratorios Nacionales de Radiometría.

El haz de luz emitido por el láser se hace incidir sobre un divisor de haz polarizante, el cual divide a éste en dos haces que pasan por una región espacial donde se colocan dos aperturas A_1 y A_2 , mismas que pueden obstruirse independientemente, para finalmente incidir sobre el detector bajo prueba. Los flujos ópticos que se hacen incidir sobre el detector con cada una de las aperturas abiertas son S_1 y S_2 respectivamente, mientras que el flujo de radiación con las dos aperturas abiertas es S_{12} . Se debe tener precaución de evitar reflexiones múltiples, especialmente entre la superficie del detector (o su ventana) y los componentes más cercanos del arreglo experimental.

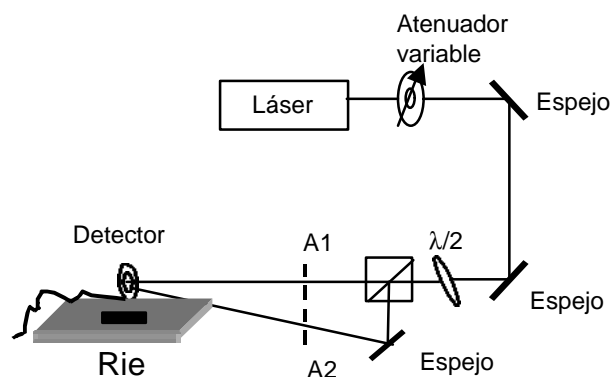


Figura 1. Esquema del arreglo experimental.

Primeramente se determina la respuesta (fotocorriente) del detector con el flujo óptico S_1 (Apertura A_1 abierta y A_2 cerrada), luego la respuesta

al flujo óptico S_2 (Apertura A_1 cerrada y A_2 abierta) y por último la respuesta al flujo óptico S_{12} (ambas aperturas abiertas). Si el detector fuera completamente lineal tendríamos:

$$I(S_{12}) = I(S_1) + I(S_2) \quad (1)$$

Dado que este no siempre es el caso, el cociente:

$R = \frac{S_{12}}{S_1 + S_2}$ es una medida de la no-linealidad del detector.

Una vez concluidas las mediciones para los flujos ópticos S_1 y S_2 se puede incrementar la potencia de la fuente de radiación de tal manera que con solamente una apertura abierta (ya sea A_1 o A_2) se obtenga la fotocorriente que se obtenía al hacer incidir S_{12} . De esta manera, sucesivamente se puede incrementar los flujos con los cuales se hace la determinación hasta llegar a la región de saturación del detector.

Para los flujos ópticos parciales S_1 y S_2 para los cuales el detector ya no sea lineal se puede utilizar la información recabada en la determinación de no-linealidad para obtener factores de corrección a la respuesta del detector.

El factor de corrección C_k que corresponde a la fotocorriente $I(S_k)$ respecto a la respuesta a una fotocorriente $I(S_a)$ está dada por:

$$C_k = \frac{\prod_{i=1}^k R_i}{\prod_{i=1}^a R_i} \quad (2)$$

Dónde los coeficientes R_i están dados por la fórmula (1).

RESULTADOS

La figura 2 muestra los resultados de no-linealidad obtenidos para el detector S1337-1010BQ a la longitud de onda de 633 nm. En el eje horizontal de la gráfica se encuentra el flujo óptico incidente sobre el detector y en el eje de las ordenadas el coeficiente $R_i - 1$ de cada medición. El comportamiento de la no-linealidad es el siguiente: para flujos radiantes pequeños la no-linealidad es pequeña y se mantiene dentro de los errores experimentales. Para flujos mayores que 2 mW se observa que el valor de $R_i - 1$ se vuelve sucesivamente más negativo, hasta alcanzar un valor de -0.044 a una potencia de 3.9 mW. Este comportamiento es característico de no-linealidad debido a saturación del detector.

En la figura 2 (con círculos abiertos) se muestran valores de no-linealidad reportados para otro detector del mismo tipo a una longitud de onda muy cercana (647nm) [4]. En el inserto se muestra con mayor detalle el comportamiento a flujos pequeños. Sin pretender que se pueda hacer una comparación directa de nuestros resultados con los reportados en la referencia [4], lo que si podemos observar es que los resultados son muy similares y las tendencias consistentes.

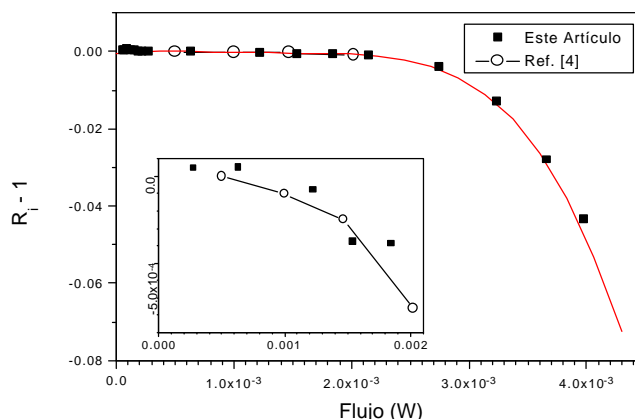


Figura 2. Resultados de la medición de no-linealidad. Gráfica de $R_i - 1$ vs. Flujo óptico. La línea continua indica el ajuste polinomial (ver texto).

Los resultados obtenidos pueden ser aproximados por la función polinomial del tipo:

$$R(S) = a + m_1 \times S + m_2 \times S^2 + m_3 \times S^3 + m_4 \times S^4 \quad (3)$$

En nuestro caso los coeficientes son:

$$\begin{aligned} a &= -5.46 \times 10^{-4} \\ m_1 &= 3.35 \times W^{-1} \\ m_2 &= -5851 \times W^{-2} \\ m_3 &= 3.64 \times 10^6 \times W^{-3} \\ m_4 &= -7.84 \times 10^8 \times W^{-4} \end{aligned}$$

DISCUSIÓN

En nuestro arreglo experimental los flujos provenientes de las diferentes aperturas se combinan sobre la superficie del detector. Este procedimiento es similar al empleado por Boivin [6] pero diferente al empleado en la referencia [4], en la que los flujos se combinan en un divisor de haz antes de llegar al detector.

El hecho de que los haces incidan independientemente sobre el detector dificulta el

ajuste y no se puede garantizar que los dos haces incidán con el mismo ángulo sobre la superficie del detector. Este factor contribuye a los errores experimentales ya que los portadores de carga no serían generados exactamente a la misma profundidad en ambos casos. Como podemos observar de los resultados obtenidos, pese a la existencia de estas fuentes de error hay buena concordancia entre los resultados obtenidos con nuestro arreglo y los reportados empleando la recombinación de haces previo a la incidencia sobre el detector.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un arreglo experimental, relativamente sencillo, capaz de determinar la no-linealidad de detectores fotovoltaicos emplando un método absoluto a la longitud de onda de 633 nm. El arreglo permite realizar mediciones en un intervalo muy amplio de flujos ópticos. Se obtuvieron resultados de la no-linealidad en un detector Hamamatsu 1337-1010BQ que están en concordancia con resultados de estudios similares reportados en la literatura.

REFERENCIAS

- [1] K.D. Stock, S. Morozova, et. al., *Metrologia* **35**, 451-454 (1998).
- [2] P. Corredera, M.L. Hernández, et. al. , Depto. De Metrología (IFA), Madrid, España, 146-149
- [3] *Physical Detectors of Optical Radiation*, Ed. W. Budde, *Optical Radiation Measurements* 4, New York/London, Academic Press 1983.
- [4] J. Fischer and L.Fu, *Appl.Optics* **32** (1993) 4187.
- [5] S.Yang, I. Vaysenker, et al. ,NCSL Wolkshop & Symposium. NCSL 1994.
- [6] L.P. Boivin, *Metrologia* **30**, 355-360 (1993).