

SISTEMA DE DETECCIÓN DE RAYOS X PARA OBTENER IMÁGENES DIGITALES EN EL ESTUDIO DE OBRAS DE ARTE

Lourdes Bolaños Pérez¹, Ana E. Cabal Rodríguez¹, Angelina Díaz García¹, Luciano Ramello²,
Francesco Prino², Pawel Grybos³, Piotr Maj³, Paolo Giubellino², Alberta Marzari-Chiesa², Mauro
Gambaccini⁴, Fauzia Albertin, Ferruccio Petrucci⁴,

¹Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)
Calle 30 N° 502 e/ 5ta Ave. y 7ma. Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

²Universidad e INFN, Turín, Italia

³Facultad de Física y Técnicas Nucleares, Universidad de Minería y Metalurgia, Cracovia, Polonia.

⁴Universidad de Ferrara, Italia
lourdescuba@yahoo.com

Resumen

La radiografía de rayos-X juega un papel importante en el estudio de obras de arte, específicamente suministra información sobre la génesis, autenticidad, técnica de la pintura, condiciones del material e historia de su conservación. El trabajo muestra un sistema desarrollado, a partir de detectores semiconductores de microbandas para adquirir imágenes de rayos X basado en la técnica de substracción logarítmica del borde de absorción K. El sistema se caracterizó y se muestran las primeras imágenes de su aplicación en la detección de pigmentos.

X-RAY DETECTION SYSTEM FOR DIGITAL IMAGE ACQUISITION IN THE STUDY OF ARTWORKS

Abstract

X-ray radiography plays an important role in the study of artworks. It particularly provides information on the origin, authenticity, painting technique, material conditions and its conservation history. This article describes a system based on semiconductor microstrip detector for acquisition X-ray images using the k-edge logarithmic subtraction technique. The system has been characterized and the first images of its application for pigment detection are shown.

Key words: X-ray fluorescence analysis, cultural objects, age estimation, historical aspects, preservation, SI microstrip detectors, paints, pigments

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un creciente interés por los sistemas de imágenes de rayos X trabajando en modo de conteo de fotón simple [1]. Estos sistemas se aplican en biología, medicina, química y física. Uno de sus usos es la obtención de imágenes de distribución de elementos sobre áreas [2]. Los mapas de elementos posibilitan visualizar la distribución de un pigmento en particular a través de los estratos de una pintura. De esta manera se obtiene información acerca del color en capas de pintura escondidas, muy importante para historiadores de arte y conservadores de cuadros.

El uso eficiente de detectores semiconductores para imagenología requiere de una electrónica de lectura con circuitos, con arquitectura multicanal y un procesamiento rápido de las señales [3-6]. Desarrollamos y sometimos a pruebas un circuito integrado para aplicación específica (ASIC),

denominado DEDIX, cuyo concepto de arquitectura es similar al de otros desarrollos previos realizados por el mismo grupo de trabajo como son RX64 y RX64DTH [8]. DEDIX incrementa significativamente (10 veces) la velocidad máxima de conteo por cada canal, manteniendo un bajo ruido y una buena uniformidad de la distribución efectiva de umbral de canal a canal.

Diseñamos y fabricamos para este experimento una tarjeta que incluye ocho ASICs tipo DEDIX y un detector semiconductor de microbandas, como aparece en la figura 1.

Para lograr una buena eficiencia de detección en el intervalo de energías de interés (muchos elementos utilizados en pigmentos tienen el borde absorción K en el intervalo entre 5 y 20 keV), el módulo trabaja en configuración «de borde», es decir, las microbandas son orientadas paralelas a los rayos X que se emiten por el tubo.

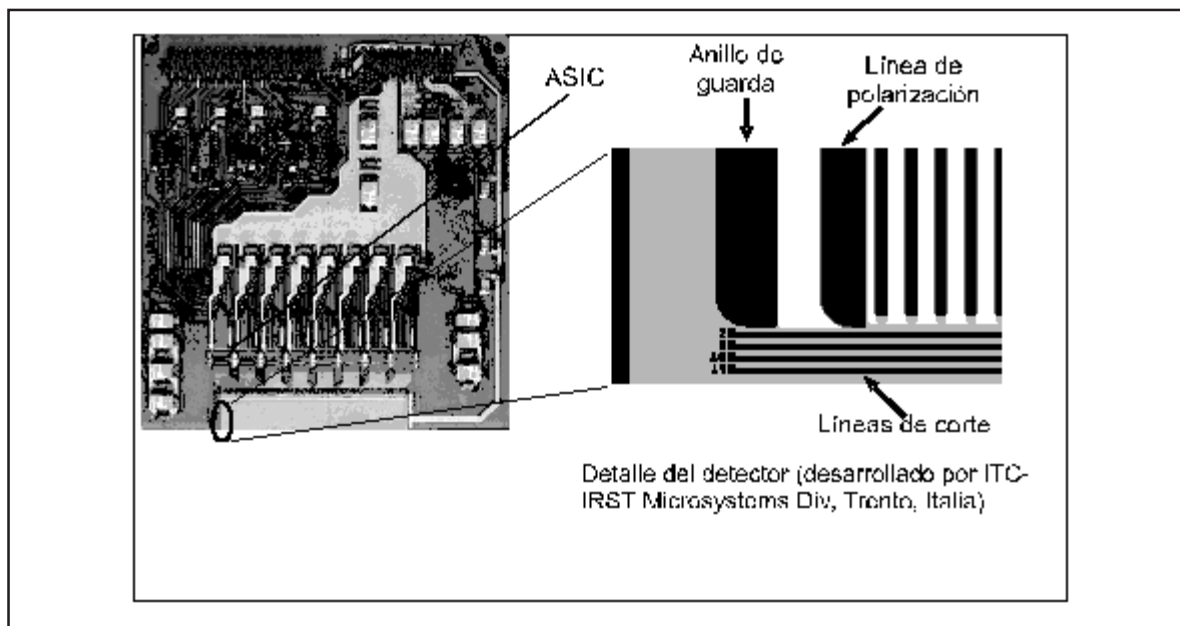


Figura 1. Fotografía de la tarjeta diseñada y fabricada para las pruebas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Detector

Se realizaron pruebas preliminares a detectores de Si con diferentes cortes en el frente, en un intervalo entre 20 y 60 μm . En la figura 1 se observa el detalle de las líneas de corte que se planificaron para las pruebas iniciales antes de seleccionar el detector a utilizar. Finalmente, se utilizó un prototipo de 512 microbandas de 2 cm de longitud, 100 μm pitch (distancia entre el punto medio en el eje horizontal de dos microbandas vecinas de un detector) y 20 μm de zona muerta de Si, con la finalidad de minimizar la pérdida de eficiencia en las bajas energías debido a la absorción en el frente.

ASIC: DEDIX

La figura 2 muestra un diagrama en bloques de DEDIX.

Sus bloques básicos son: 64 canales analógicos de lectura acoplados con el detector, 2 x 64 contadores, un bloque de entrada/salida, un decodificador de comandos, conversores digitales-analógicos (DACs) y un circuito de calibración. Cada canal analógico está constituido por un amplificador sensible a carga, con circuito de cancelación de polos y ceros (PZC), un conformador con un tiempo de subida del pulso desde el 0,1% de su altura al máximo igual a 160 ns, dos discriminadores independientes y dos contadores independientes de 20 bits. DEDIX fue diseñado en proceso CMOS AMS 0,35 μm y su área total es de 3400 x 5000 μm^2 .

Tarjeta de prueba

En la figura 1 se muestra el circuito completo empleado para adquirir y procesar las señales. En una tarjeta de circuito impreso se soldaron ocho circuitos DEDIX y el detector de silicio. Se empleó un método de alta tecnología apropiado para conectar alambres muy finos a componentes semiconductores para interconectar esos componentes entre sí o con terminales de circuitos empaquetados. Las imágenes bidimensionales se obtuvieron por medio de un barrido de la superficie de la muestra apropiado un ensamblaje mecánico que se movía en dirección perpendicular al plano de la tarjeta.

RESULTADOS

La caracterización eléctrica del detector W2S2 se realizó midiendo el comportamiento de la capacidad y de la corriente con respecto al voltaje aplicado. La figura 3 muestra las curvas C vs V e I vs V. Se observa que la zona más adecuada para su funcionamiento se encuentra entre los 100 y 150 V.

El sistema se verificó utilizando un tubo de rayos X con ánodo de Cu y diferentes blancos: Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn. Haciendo un barrido de los discriminadores de umbral del DEDIX para cada energía, se pudieron determinar los parámetros para la corrección de cada uno de los 512 canales del sistema. Las mediciones preliminares de ganancia y ruido para los ocho DEDIXs se resumen en la tabla.

Para caracterizar la respuesta a altas tasas de conteo, se realizaron pruebas variando los

Tabla. Parámetros analógicos de los ocho ASICs instalados en la tarjeta (sd = desviación estándar)

No. Chip	Ganancia promedio [$\mu\text{V}/\text{el}$] (sd)	Ruido promedio [el.rms] (sd)
1	47,0 (0,23)	200 (8,1)
2	47,0 (0,24)	204 (7,4)
3	46,3 (0,45)	202 (7,4)
4	46,8 (0,28)	214 (7,4)
5	46,8 (0,30)	214 (8,5)
6	46,8 (0,24)	214 (7,7)
7	46,7 (0,30)	198 (8,6)
8	46,3 (0,26)	206 (9,4)

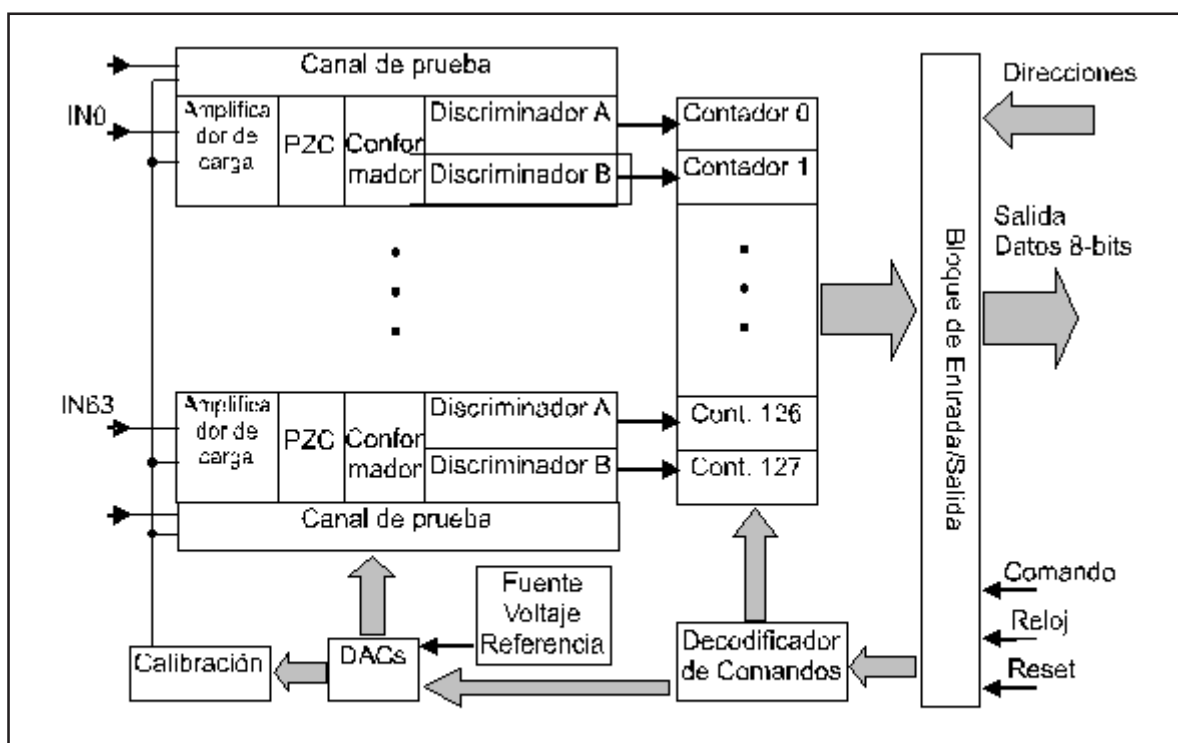


Figura 2.

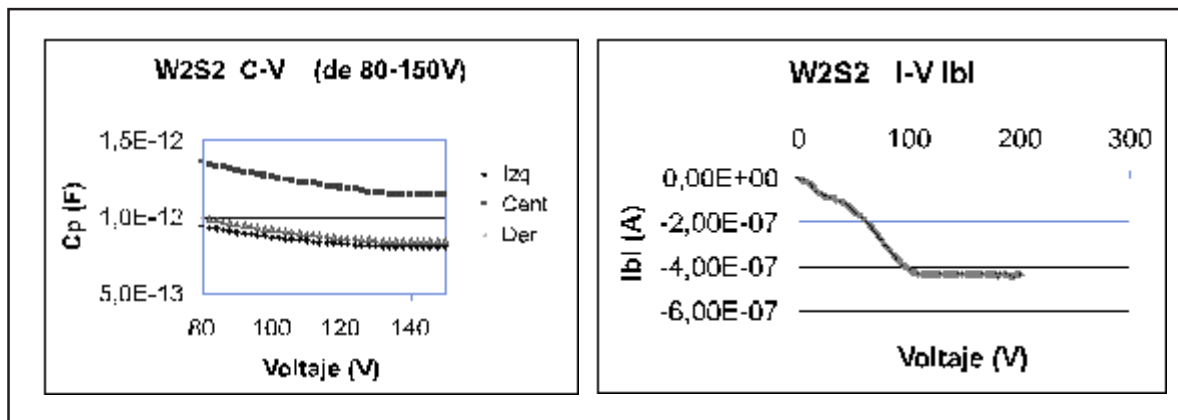


Figura 3. Características capacidad vs.voltaje C-V y corriente vs.voltaje I-V del detector de microbanda W2S2. Ibi es la corriente en la línea de polarización. Cp es la capacidad del detector, expresada en Faradios (F).

parámetros del tubo de rayos X, con las cuales se determinó que el circuito trabaja adecuadamente con pulsos de entrada de hasta 1 MHz.

Después de caracterizar el sistema preliminarmente, se procedió a realizar las pruebas para obtener las imágenes. En este caso, se tomó como muestra un lienzo al cual se le aplicaron trazos de pintura que contenían elementos químicos de Zn o Ti (el Zn hacia un extremo y el Ti hacia el otro).

La medición se realizó haciendo un barrido a la muestra para dos energías diferentes, las cuales se encuentran alrededor del borde de absorción K del Zn (9,65 keV). Esta configuración se ha empleado por otros grupos en diversos experimentos [9,10]. Primero se tomaron imágenes de fondo para cada energía empleada. Estas imágenes se utilizaron para la corrección de cada radiografía. Posteriormente se obtuvo la imagen para la energía por debajo del borde de absorción K (9 keV), denominada imagen a baja energía, y más tarde se obtuvo la imagen para la energía por encima del borde de absorción (10,3 keV), denominada imagen de alta energía. Finalizado este procedimiento se pasó a aplicar el método de substracción logarítmica del borde de absorción K, donde se realiza la substracción logarítmica digital de las imágenes píxel por píxel [11].

La figura 4 muestra las radiografías digitales obtenidas para las dos energías, así como la imagen final por la aplicación de este método, diferenciándose la zona donde se encuentra el Zn.

DISCUSIÓN

La técnica de substracción logarítmica del borde de absorción K es relativamente conocida en el campo de la medicina [12,13] sin embargo existe poco conocimiento sobre su aplicación en el análisis de pinturas [14,15]. Como se aprecia en la figura 4, este método permite visualizar la distribución de elementos en la muestra, lo cual posibilita identificar pigmentos. Esta técnica puede brindar información muy útil para la conservación de cuadros, pues la detección e identificación de pigmentos específicos son claves en la investigación del origen geográfico y fechado de obras de arte.

Para aplicar el método de substracción logarítmica es importante trabajar con energías tan monocromáticas como sea posible. En nuestro caso, se logró empleando un método novedoso de obtención de haces finos casi monocromáticos con un tubo estándar convencional de rayos X, usando la difracción de Bragg en cristales mosaico de grafito pirolítico HOPG [16].

CONCLUSIONES

Se presentó un sistema de detección de rayos X de 512 canales, con un detector semiconductor de Si de microbandas con una electrónica digital totalmente integrada y rápida. Se realizó la caracterización preliminar de la electrónica de lectura, así como del detector para determinar los parámetros fundamentales del sistema. Posteriormente se hicieron las pruebas que

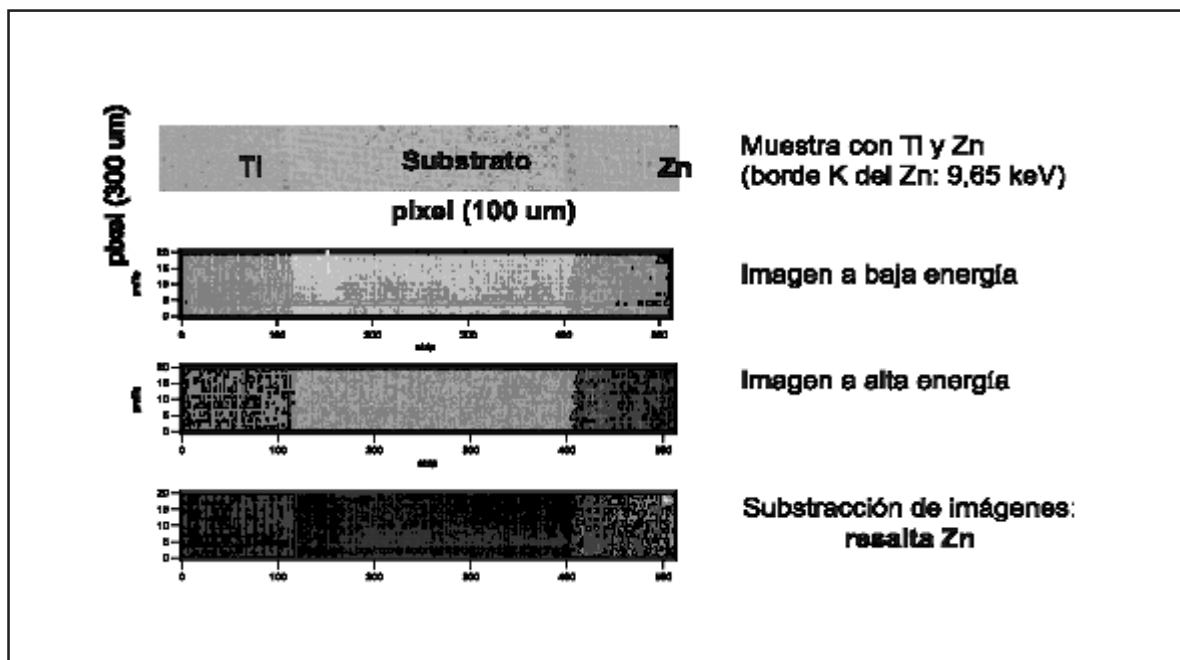


Figura 4. Imágenes de la muestra obtenidas para las dos energías del tubo de rayos X y aplicación de la técnica de substracción del borde de absorción K del Zn.

confirmaron la factibilidad de detección de diferentes elementos que conforman los pigmentos a estudiar, con nuestro sistema y la aplicación del método de substracción logarítmica del borde de absorción K. En el futuro se podrán realizar pruebas más complejas con muestras que contengan distintos estratos de pinturas sobre diversos soportes.

AGRADECIMIENTOS

Al «ICTP Programme for Training and Research in Italian Laboratorios (TRIL)», al CEADEN (Cuba), a la Facultad de Física de la Universidad e INFN de Turín (Italia), a la Universidad del Piemonte Oriental (Alessandria, Italia) y a la Universidad de Ferrara (Italia), por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GRYBOS P, et al. Measurements of matching and high count rate performance of multichannel ASIC for digital X-ray imaging systems. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 2007; 54 (4): 1207- 1215.
 [2] CABAL AE, et al. X-ray imaging with a single photon counting system. *Proc. EXRS 2004. Eur. Conf. On X-Ray Spectrometry*. Alghero. Italy, 2001.
 [3] DABROWSKI W, et al. A readout system for position sensitive measurements of X-ray using silicon strip detectors. *Nucl. Instr. And Meth. A* 2000; 442: 346-351.
 [4] GRYBOS P, DABROWSKI W. Development of fully integrated readout system for high count rate position sensitive measurements of X-rays using silicon strip detectors. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 2001; 48: 466-472.
 [5] GRYBOS P, et al. Multichannel mixed-mode IC for digital readout of silicon strip detectors. *Microelectronics Reliability*. 2002; 32: 427.
 [6] DABROWSKI W, et al. Design and test of pseudo-random counters and control logic for a multichannel mixed-mode IC for readout of silicon strip detectors.

Proceeding of the 8-th Internacional Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. MIXDES 2001. Poland, 21-23 June 2001, 143-148.
 [7] GRYBOS P, et al. RX64 DTH – A fully integrated 64 – channel ASIC for digital X-ray imaging system with energy window selection. *IEEE NSS-MIC Conference*. Rome, 2004.
 [8] BOLLINI D, et al. Energy resolution of silicon detector with the RX64 ASIC designed for X-ray Imaging. *Nucl. Instr. and Meth. A*. 2003; 515: 458-466.
 [9] ÁLVAREZ RE, MACOVSKI A. Energy-selective reconstruction in X-ray computerized tomography. *Phys. Med. Biol.* 1976 (21): 733-744.
 [10] LEHMANN LA, et al. Generalized image combinations in dual KVP digital radiography. *Med. Phys.* 1981; (8): 659-677.
 [11] SARNELLI A, et al. K-edge digital subtraction imaging based on a dichromatic and compact x-ray source. *Phys. Med. Biol.* 2004; 49: 3291–3305.
 [12] BALDAZZI G, et al. Results about imaging with silicon strips for Angiography and Mammography. VII Mexican Symposium on Medical Physics. AIP Conf. Proc. 2003; 682: 14-23.
 [13] ÁVILA C, et al. Contrast cancellation technique applied to digital X-ray imaging using silicon strip detectors. *Medical Physics*. 2005; 32 (12): 3755-3766.
 [14] DRUG K, et al. Visualization of pigment distributions in paintings using synchrotron k-edge imaging. *App. Phys. Material Science & Processing. A*. 2006; 83: 247-251.
 [15] RAMELLO L, et al. Development of a 512-Channel Module for Digital X-ray Imaging Systems with Silicon Strip Detectors. EFOMP September 2007.
 [16] GAMBACCINI M. et al., Narrow energy band X-rays via mosaic crystal for mammographic application. *Nucl. Instr. and Meth. A* 1995; 365: 248-254.

Recibido: 5 de febrero de 2008
 Aceptado: 26 de marzo de 2008