



تصویربرداری خطی پرتو ایکس با استفاده از TCD1304AP

یوسفی، ابوالفضل^(۱) - جعفری، حمید^(۱) - خرسندی، مجید^(۱) - فائز مهر، اردلان^(۱) - فقهی، امیر حسین^(۱)

^۱ دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

یک نمونه از حسگرهای تصویربرداری که به دلیل تعداد پیکسل‌های بالا نقش مهمی به عنوان یک آشکارساز حساس به مکان دارند، قطعه بار جفت شده (CCD) می باشد. در این پژوهش به منظور تصویربرداری تک خطی پرتو ایکس، قطعه TCD1304AP راه اندازی و مورد استفاده قرار گرفته است. ابتدا تصویربرداری نوری تک خطی برای بدست آوردن وضوح تصویر انجام گرفته و سپس در ادامه تصویربرداری چند خطی با استفاده از یک بالابر اپتیکی برای جابجایی نمونه ها در جهت عمود، انجام گرفت. در نهایت تصویربرداری تک خطی با پرتو ایکس انجام گرفته و وضوح آن مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: CCD، تصویربرداری خطی، پرتو ایکس، تست نوری

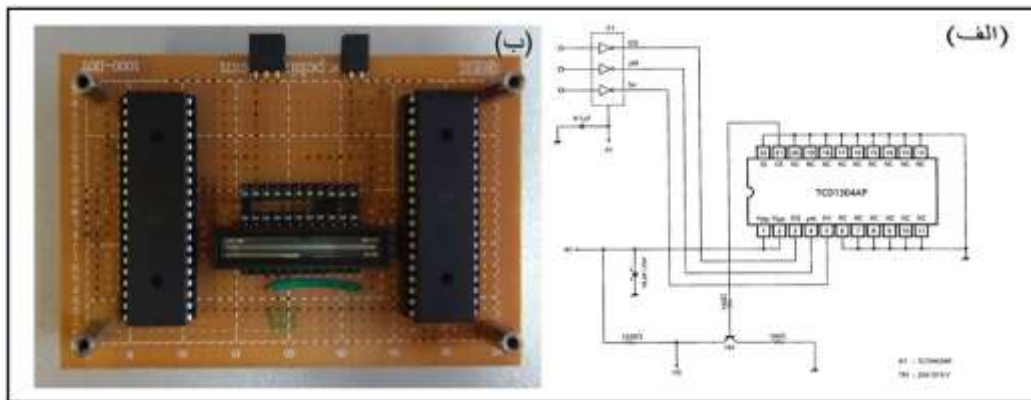
۱. مقدمه:

همچون بسیاری از فناوری‌ها، دستگاه بار جفت شده (CCD) به عنوان یک اختراع برای کاربردی خاص شروع به کار کرد و به چیزی کاملاً متفاوت تبدیل شد. CCD در اواخر دهه ۱۹۶۰ توسط محققان آزمایشگاه‌های بل کشف شد، این دستگاه در ابتدا به عنوان نوع جدیدی از مدار حافظه رایانه‌ای تصور می شد و در سال ۱۹۷۰ برای این مرکز به ثبت رسید. به زودی مشخص شد که CCD دارای کاربردهای بالقوه دیگری از جمله پردازش سیگنال و تصویربرداری است، قابلیت دوم (تصویربرداری)، به دلیل حساسیت نوری سیلیکون است، که به طول موج‌های کمتر از ۱/۱ میلی متر پاسخ می دهد (طیف نور مرئی بین ۰/۴ میلی متر و ۰/۷ میلی متر است). اکنون وعده اولیه CCD به عنوان یک عنصر حافظه از بین رفته است، اما توانایی فوق العاده آن در تشخیص نور، CCD را به فناوری حسگر تصویری برتر تبدیل کرده است [۱]. اساس کار CCD ذخیره و بازپس گیری بار به شکل دینامیکی در رشته‌ای از خازن‌های MOS (در این قطعه از سیلیسوم به عنوان نیم رسانا، اکسید سیلیسیوم به عنوان عایق و آلومینیوم برای الکتروود گیت استفاده می شود) است. یک خازن MOS بر روی بستری از نوع P قرار می گیرد، و به آن یک پالس مثبت و بزرگ وارد می شود. در ادامه یک پتانسیل در زیر الکتروود گیت بوجود می آید. در حقیقت پتانسیل سطحی یک چاه پتانسیل را تشکیل می دهد که می تواند برای ذخیره بار بکار رود [۵و ۵].

از آنجایی که علاوه بر حساسیت مستقیم CCDها نسبت به محدوده طول موجی پرتو ایکس، دارای حساسیت بالایی نسبت به محدوده طول موجی نور مرئی نیز می باشند، بنابراین می توان از وسیله‌ای به نام سوسوزن بر روی CCD استفاده کرد، که فرایند تبدیل پرتوهای یونیزان به نور مرئی را انجام می دهد. در این پژوهش به عنوان مرحله اولیه از ساخت یک سیستم توموگرافی پرتو ایکس، اقدام به راه اندازی یک نوع از حسگر CCD شده است که خود آن مستقیماً نیز دارای حساسیت مناسبی در محدوده طول موجی پرتو ایکس می باشد. به این منظور تست‌های نوری و پرتو ایکس CCD مورد نظر، با نمونه‌های مختلف انجام شده و وضوح تصاویر آن تعیین شده است.

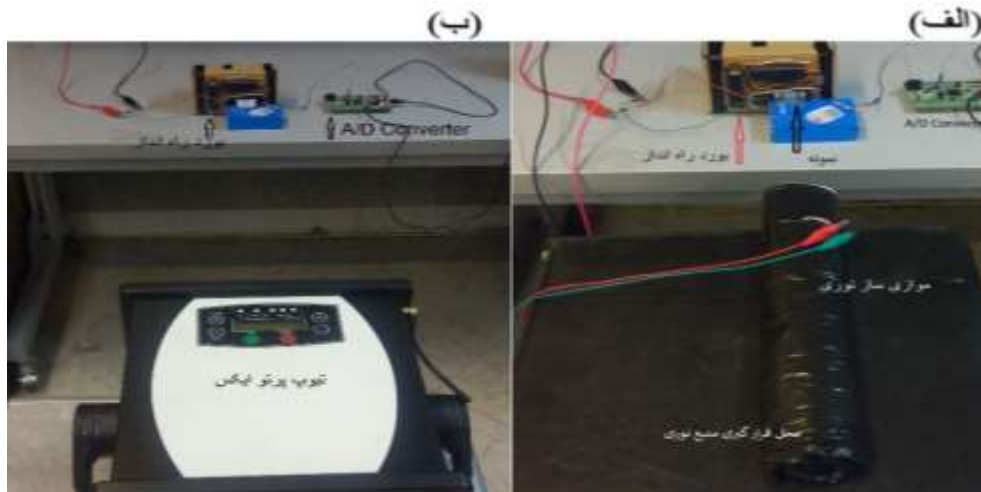
۲. راه اندازی CCD :

CCD مورد استفاده در این کار از نوع TCD1304AP ساخت شرکت توشیبا است که یک حسگر تصویری با حساسیت بالا و جریان تاریکی کم با 3648 پیکسل می باشد. ناحیه دریافت تصویر دارای طولی برابر با $2/918$ سانتی متر است. بنابراین عرض هر پیکسل 8 میکرومتر و ارتفاع آن 200 میکرومتر است. برای راه اندازی این CCD، نیاز به سه پالس ϕM (پالس کلاک اصلی)، پالس SH و پالس ICG داریم. پالس ϕM که نقش راه انداز CCD را دارد، دارای فرکانس $204/7$ کیلوهرتز و فرکانس SH برابر با $44/95$ کیلوهرتز می باشد. پالس ICG که نقش S/H را در سیستم CCD مورد نظر دارد، در بیشتر مواقع ۱ منطقی بوده و تنها زمانی که هر شات گرفته می شود، در حدود چند میکرو ثانیه صفر می شود تا داده‌های تصویر قبلی را از CCD پاک کند. برد الکترونیکی طراحی شده برای راه اندازی CCD به همراه شماتیک مداری آن در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

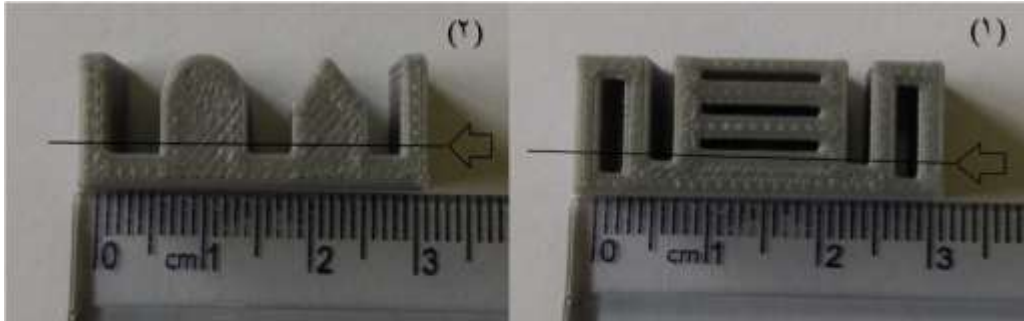


شکل (۱) الف: شماتیک مداری TCD1304AP ب: برد طراحی شده برای راه اندازی آن.

همانگونه که قبلا بیان شد به منظور تعیین حساسیت نوری این CCD و امکان استفاده از سو سوزن بر روی آن برای آشکارسازی غیرمستقیم پرتوهای یونیزان (مانند پرتو ایکس و گاما) تست‌های نوری انجام شده است. برای انجام تصویربرداری نوری، نیاز به یک منبع نور، بدون تغییر در شدت آن داریم. بهتر است که این منبع نوری با تغذیه ولتاژ DC باشد تا نویز ۵۰ هرتز برق شهر تا مقدار زیادی از پالس خروجی CCD حذف گردد. در اینجا از یک LED توان بالا با نور قرمز و یک موازی ساز نوری استفاده شده است. محیط آزمایش کاملا تاریک بوده و از یک میکروکنترلر STM-32F407VGT6 برای تبدیل A/D و USART استفاده شده است. وضوح A/D از نوع ۱۲ بیت است. برای انجام تصویربرداری پرتو ایکس نیز از یک تیوب پرتو ایکس با انرژی ۸۰ کیلو الکترون ولت و جریان ۱۰۰۰ میکرو آمپر به عنوان منبع پرتویی استفاده شد. چیدمان آزمایش و موقعیت قرارگیری اجزای تصویربرداری برای هر دو حالت پرتو دهی ایکس و پرتو دهی نوری در شکل شماره ۲ آورده شده است. همچنین به منظور انجام تست‌های نوری، دو عدد نمونه توسط یک چاپگر سه بعدی تولید شده که دارای قطر نازل ۳۰۰ میکرومتری می باشد. هر چند با استفاده از یک کولیس، ابعاد این نمونه‌ها بعد از ساخت، اندازه‌گیری شده است. در شکل شماره ۳ این دو نمونه نشان داده شده اند. مکان مربوط به تصویربرداری تک خطی بر روی شکل مشخص شده است.



شکل (۲) چیدمان آزمایش و موقعیت قرارگیری اجزای الف) تصویربرداری پرتوی ایکس ب) تصویربرداری نوری

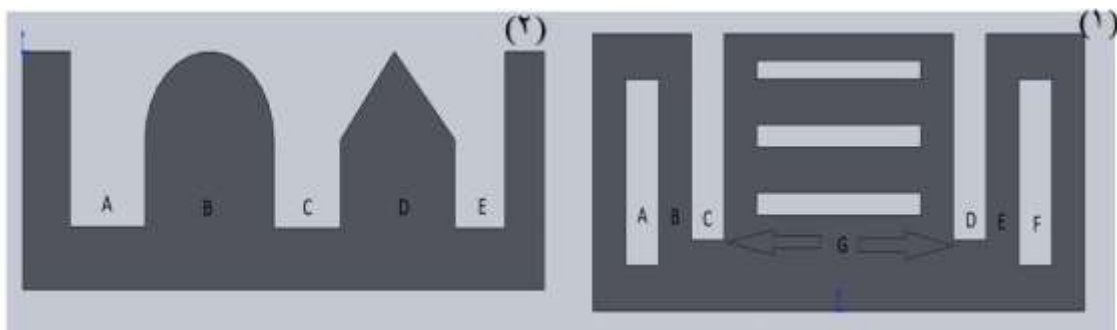


شکل (۳) نمونه‌های مورد استفاده برای تصویربرداری نوری (نمونه‌های شماره ۱ و ۲).

۳. نتایج:

۳-۱. نتایج تصویربرداری نوری تک خطی:

در این آزمایش، یک تصویر تک خطی از نمونه‌ها گرفته شده است. در شکل شماره ۳، محل تصویربرداری تک خطی مشخص شده است. به دلیل اندازه‌گیری بخش‌های مختلف نمونه‌های مورد استفاده با کولیس، می‌توان ابعاد واقعی با ابعاد تصویر آن را با یکدیگر مقایسه کرد. به این منظور، اندازه هر پیکسل را در تعداد پیکسل‌های هر بخش ضرب کرده و بدین ترتیب اندازه هر بخش از تصویر بدست می‌آید. قبل از هر تصویربرداری، یک خروجی بدون قرار دادن نمونه در جلوی CCD گرفته شده و از داده‌های تصاویر خروجی کسر کرده تا نویز و یا اثرات ناشی از عدم توازن شدت چشمه نوری از بین برود. در شکل شماره ۴، بخش‌هایی از تصویر که با کولیس اندازه‌گیری شده و سپس در تصویر خروجی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، نشانه گذاری شده است. این نشانه‌ها به همراه مقادیر اندازه‌گیری شده از نمونه‌ها و تصویر خروجی، در جداول ۱ و ۲ آمده است. همچنین درصد اختلاف میان اندازه‌های نمونه واقعی با تصاویر مربوط به آن نیز آورده شده است. درصد این اختلاف‌ها برای نمونه شماره ۱ کمتر از ۵ درصد (میانگین ۳/۲۱ درصد) و برای نمونه شماره ۲ کمتر از ۲ درصد (میانگین ۱/۲۶ درصد) است. تصاویر خروجی نیز در شکل شماره ۵ نشان داده شده‌اند.



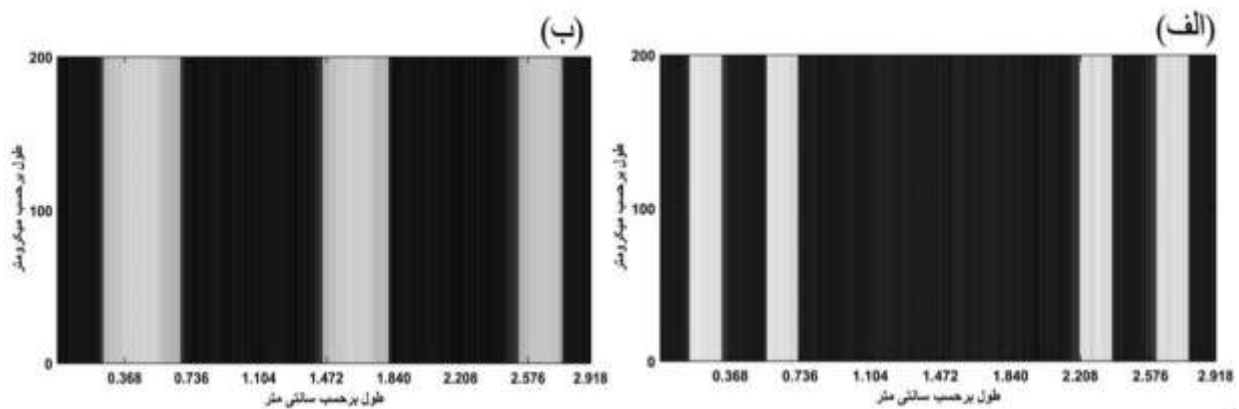
شکل (۴) بخش‌هایی از نمونه‌های ۱ و ۲ که اندازه‌گیری شده است.

جدول (۱) اندازه‌های بخش‌های تعیین شده از نمونه ۱ و تصویر خروجی.

A	B	C	D	E	F	G	موقعیت
۱/۸۵	۲/۴۰	۱/۸۵	۱/۸۵	۲/۴۰	۱/۸۵	۱۴	اندازه واقعی (mm)
۱/۷۶	۲/۳۶	۱/۸۰	۱/۷۶	۲/۴۱	۱/۷۹	۱۴/۷۰	اندازه بر روی تصویر (mm)
۴/۸۶	۱/۶۷	۲/۷۰	۴/۸۶	۰/۴۱	۳/۲۴	۴/۷۶	اختلاف به درصد

جدول (۲) اندازه‌های بخش‌های تعیین شده از نمونه ۲ و تصویر خروجی.

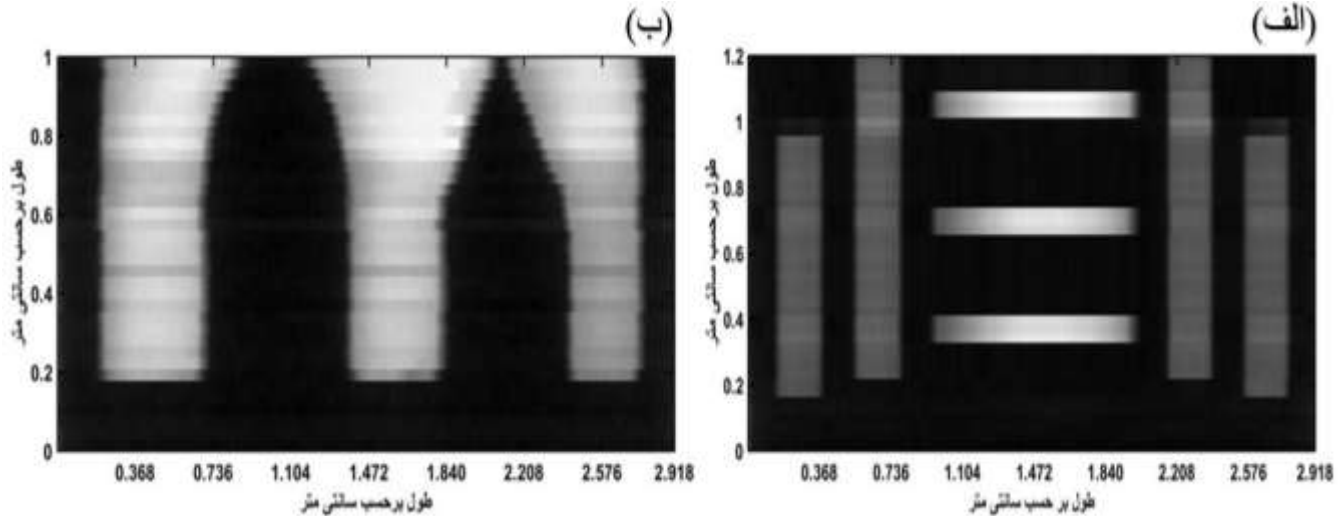
A	B	C	D	E	موقعیت
۴/۳۱	۷/۴۲	۳/۸۴	۶/۵۷	۲/۸۹	اندازه واقعی (mm)
۴/۲۵	۷/۴۶	۳/۹۱	۶/۴۹	۲/۹۳	اندازه در تصویر خروجی (mm)
۱/۳۹	۰/۵۴	۱/۷۹	۱/۲۲	۱/۳۶	اختلاف به درصد



شکل (۵) الف: تصویر تک خطی مربوط به نمونه شماره ۱ و ب: تصویر تک خطی مربوط به نمونه شماره ۲.

۲-۳. تصویربرداری نوری چند خطی:

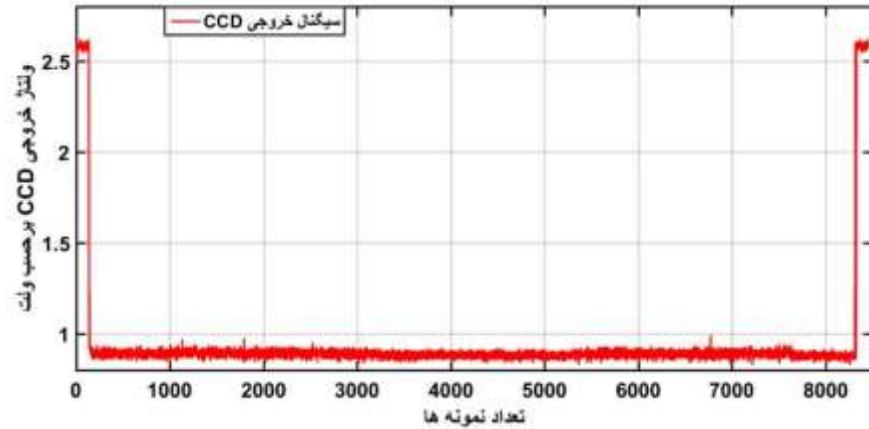
در این بخش نمونه‌ها را در جهت عمود با بالابری با دقت 25 ± 200 میکرومتر، جابجا کرده و تصویربرداری انجام شده است. در اینجا وضوح تصاویر بسته به سرعت تصویربرداری و دقت حرکتی بالابری اپتیکی و عدم لرزش آن است. برای از بین بردن نویزهای ناگهانی می‌توان تصویربرداری هر مرحله را چند بار تکرار کرده و از داده‌های خروجی میانگین گرفت. اگرچه این کار زمان بر و سخت بوده، اما در کارهای دقیق، می‌تواند پاسخ مطلوبی در خروجی بدست بیاوریم. شکل شماره ۶، تصاویر خروجی در این حالت را نشان می‌دهد.



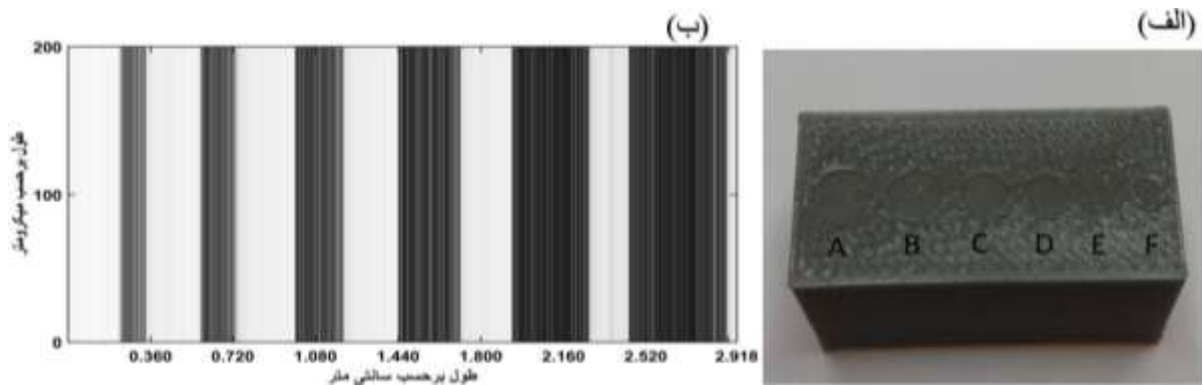
شکل (۶) الف: تصویر چند خطی از نمونه ۱ و ب: تصویر چند خطی از نمونه ۲.

۳-۳. تصویربرداری تک خطی با پرتو ایکس:

در این حالت از یک تیوب پرتو ایکس با انرژی ۸۰ کیلو الکترون ولت و جریان ۱۰۰۰ میکرو آمپر استفاده شد. در شکل شماره ۷ پالس خروجی CCD بدون قرار دادن نمونه در جلوی آن آورده شده است. برای تصویربرداری تک خطی از یک نمونه تولیدی با چاپگر سه بعدی که حفره‌های آن با پودر سرب پر شده است، استفاده گردید. شکل این نمونه و تصویر تک خطی آن در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. همچنین، بخش‌هایی از نمونه که اندازه گیری شده و در تصویر خروجی مورد بررسی قرار گرفته اند، نشانه گذاری شده و مقادیر آنها در جدول ۳ آورده شده است. وضوح در چنین حالتی بستگی به رعایت یک نسبت مناسب میان انرژی پرتو ایکس و زمان تجمع دارد. همچنین می بایست شار پرتو ایکس دارای تغییرات بسیار کمی باشد تا وضوح تصویر در سمت چپ و راست تصویر با یکدیگر یکسان باشد. برای اطمینان از عدم تاثیر تغییر شار، می بایست زمان تجمع تا حد ممکن بالا در نظر گرفته شود. در اینجا زمان تجمع از مرتبه چند ثانیه است. همچنین تیوب پرتو ایکس نباید در فاصله خیلی نزدیک به CCD قرار گیرد.



شکل (۷) پالس خروجی TCD1304AP با تابش پرتو ایکس ۸۰ کیلو الکترون ولت (بدون نمونه).



شکل (۸) الف: نمونه مورد استفاده برای تصویربرداری با پرتو ایکس. ب: تصویر تک خطی از نمونه مورد نظر.

جدول (۳) اندازه‌های بخش‌های تعیین شده از نمونه پرتو ایکس و تصویر خروجی.

A	B	C	D	E	F	موقعیت
۴/۴۶	۳/۸	۳/۴	۲/۹۵	۲/۴۷	۱/۸	اندازه واقعی (mm)
۴/۲۹	۳/۴۹	۳/۰۹	۲/۶۱	۲/۱۵	۱/۳۷	اندازه بر روی تصویر (mm)
۳/۸۱	۸/۱۶	۹/۱۲	۱۱/۵۲	۱۲/۹۶	۲۳/۸۸	اختلاف به درصد

همانگونه که ملاحظه می‌شود، اختلاف اندازه واقعی و تصویر، با کاهش قطر دایره‌ها، افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش می‌تواند به علت دایره‌ای بودن حفره‌های پر شده با پودر سرب باشد که گوشه‌ها (ضخامت سرب کمتر) در انرژی بالا



تضعیف کمتری نسبت به قطر مرکز حفره‌ها داشته و گاهی در تصویر خروجی مشخص نمی باشند. بنابراین هر چه قطر این دایره‌ها کمتر می شود، این اختلاف بیشتر می گردد.

۴. بحث و نتیجه گیری :

در این کار تصویربرداری خطی با استفاده از منابع پرتو ایکس و نوری (مشابه با عمل سوسوزنی) توسط راه اندازی و به کارگیری قطعه TCD1304AP انجام شده است. تست‌های انجام شده با منبع نوری نشان داد که خطای اندازه‌گیری ابعاد میلیمتری در حدود زیر ۵ درصد می باشد، که دلیل نوسان اختلاف‌ها در بخش‌های مختلف اندازه‌گیری شده از نمونه، وجود نویز بوده که در صورت به کارگیری یک ناچ فیلتر در خروجی و افزایش تعداد نمونه برداری برطرف می گردد. همچنین در تست انجام شده با منبع پرتو ایکس نشان داده شد که اختلاف اندازه واقعی و تصویر، با کاهش ضخامت تضعیف کننده، افزایش می یابد که می توان با کاهش انرژی پرتوی ایکس، میزان تضعیف‌های کمتر را نیز در تصاویر تعیین نمود.

CCD مورد نظر می تواند به عنوان یک آشکارساز حساس به مکان، نور سوسوزنی ناشی از پرتو ایکس و پرتو ایکس مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. این کار به عنوان مرحله اولیه از ساخت یک سیستم توموگرافی پرتو ایکس می باشد که می تواند برای تصویربرداری مقطعی و ۳ بعدی از اجسام فلزی با ضخامت‌های بالا مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع :

- [1] Steve B . Howell " Handbook of CCD Astronomy ." Cambridge University Press; 2 edition (April 3, 2006)
- [2] kodak ccd primer , Eastman Kodak Company – MicroElectronics Technology Division. <https://www.kodak.com>
- [3] D.J. Burt, " Basic Operation of the Charge Coupled Device ".International Conference on Technology and Applications of Charge Coupled Devices.September 1974. Edinburgh: University of Edinburgh, Centre for Industrial Consultancy and Liaison,1974.
- [4] J. R. Janesick, " Scientific Charge-Coupled Devices ",SPIE PRESS,2001.
- [5] A.S.Grove, Physics and Technology of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons; 1st edition (1967)