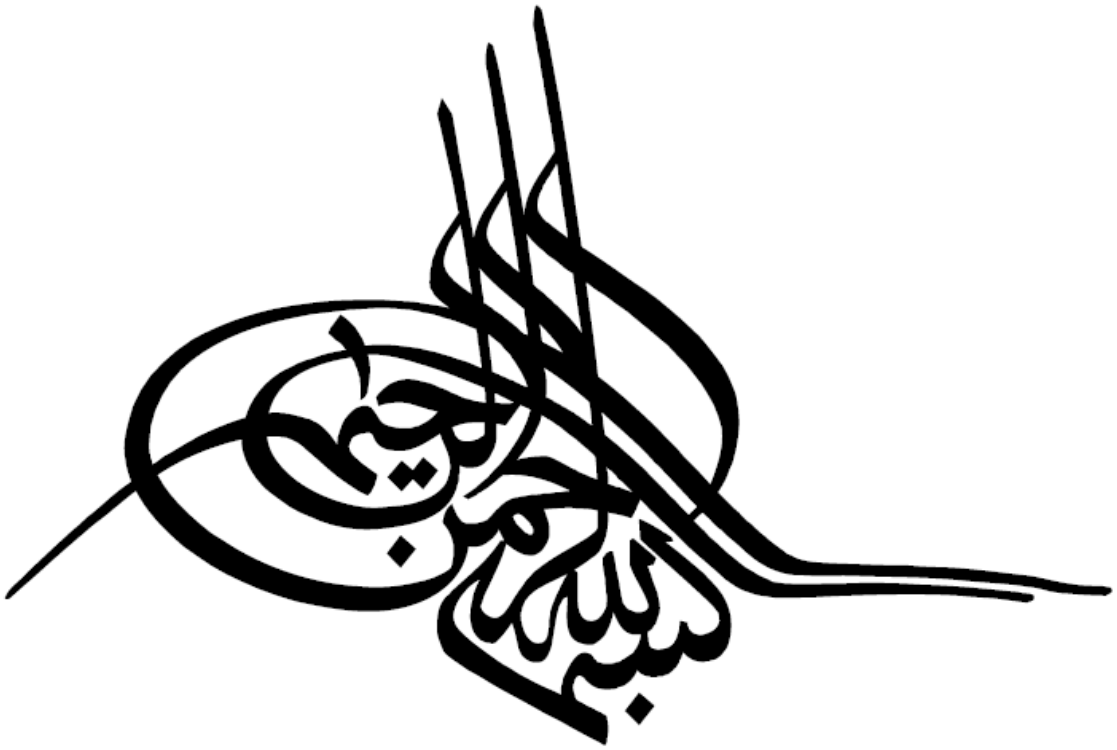

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی‌تکنیک)

دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای گرایش پرتو پزشکی

بررسی میزان جذب انرژی از پرتوهای یونساز در مواد ساختاری آشکارسازهای سیستم‌های تصویربرداری با استفاده از روش مونته‌کارلو

تالیف: **علی طاهری**

استاد راهنما: **دکتر سعید ستایشی**

استاد مشاور: دکتر **منصور عاشور**

بهار ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: علی طاهری دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی:۸۴۱۱۲۰۱۴ دانشکده:مهندسی هسته ای و فیزیک رشته تحصیلی:مهندسی هسته ای گروه:پرتوپزشکی

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر سعید ستایشی درجه و رتبه: دانشیار

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: دکتر منصور عاشور درجه و رتبه: استادیار

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : شبیه سازی میزان جذب انرژی از پرتوهای ایکس درمواد ساختاری در سیستم های تصویربرداری پزشکی به روش مونته کارلو

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Monte Carlo Simulation of X-ray energy absorption in the detector material of medical imaging systems

نوع پروژه: کارشناسی○ ارشد● دکتر ا ○ سال تحصیلی:۱۳۸۷

کاربردی ○ بنیادی○ توسعه‌ای○ نظری●

تاریخ شروع : ۸۶/۱/۱ تاریخ خاتمه : ۸۷/۵/۲۳ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی:شبیه سازی مونته کالو- سیستم های تصویربرداری دیجیتالی- اشعه ایکس- فوتوکانداکتور

واژه‌های کلیدی به انگلیسی :Monte-Carlo simulation, digital imaging systems, x-ray, photoconductor

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۴۵	تصویر● جدول● نمودار● نقشه○ واژه‌نامه●		تعداد مراجع ۵۳	تعداد صفحات ضمائم ۱۰
زبان متن	فارسی●	انگلیسی○	چکیده	فارسی●	انگلیسی●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

با تشکر از زحمات فراوان استاد عزیزم جناب آقای دکتر ستایشی و با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر عاشور

چکیده

تصویر نگاری با استفاده از پرتوهای یونساز و غیر یونساز جهت مطالعه استاتیکی و دینامیکی اعضای درونی موجودات زنده کمک قابل توجهی به درمان بیماری ، پیشگیری و پیشگویی میزان بهبودی آن ارائه می‌نماید . یکی از روش‌های تصویربرداری نوین، رادیوگرافی رقمی می‌باشد. تصویربرداری رقمی با پرتو ایکس یک فناوری در حال توسعه برای کاربردهای پزشکی است که با آن تفکیک فضایی Spatial Resolution و بازده کوانتومی (Detective Quantum Efficiency) بالا و قابلیت تصویربرداری به صورت بلادرنگ (Real Time) و بدون پیچیدگی های هندسی تحقق می‌یابد . تشکیل و پردازش سریع تصویر از مزایای منحصر بفرد آن در مقایسه با سایر روشهای تصویر برداری قدیمی از جمله رادیولوژی با پرتو ایکس می‌باشد. آشکارسازهای به کار رفته در این سیستم‌ها ،آشکارسازهای کریستالی یا آمورف با شرایط مختلف هستند. مواد با مشخصات ویژه که به عنوان مبدل پرتو ایکس در این آشکارسازها بکار می‌روند، نقش بسیار مهمی را در تشکیل تصویر مناسب در چنین سیستم‌هائی ایفا می‌نمایند. در این پروژه چند مبدل یا فوتوکانداکتور جدید مانند: BiI_3، PbO، HgI_2، TlBr و دو ترکیب پرکاربرد که سال‌هاست به صورت تجاری موجود می‌باشندیعنی a-Se و CZT در کنار ترکیب کریستالی Bi_2Te_3 که جهت استفاده در سیستم‌های تصویر نگاری معرفی شده است، تحت ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند. برای ارزیابی مشخصات خاص این مواد از قبیل میزان جذب انرژی از پرتو ایکس و تباین (Contrast) تصویر و درصد پراکندگی پرتوها و... و مقایسه کمی آن‌ها از کدهای شبیه سازی مونته کارلو MCNP4C و MCNPX استفاده شده است . نتایج نشان می‌دهد که هیچ یک از این ترکیب‌های ذکر شده، همه پارامترهای شرایط ایده‌آل را با هم نداشته و هر یک از آنها در یک یا دو پارامتر شرایط مطلوبی از خود نشان می‌دهند. مثلا Bi_2Te_3 و PbO به طور متوسط دارای میزان جذب انرژی بالا از پرتوهای ایکس هستند، CdZnTe در کنار Bi_2Te_3 دارای بازده جمع‌آوری بار (Charge Collection Efficiency) بالایی هستند. در عین حال ترکیب a-Se دارای کیفیت و درجه تفکیک بالاتری برای تصویر می‌باشد. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده ترکیب Bi_2Te_3 دارای شرایط بهتری نسبت به بقیه ترکیبات برای استفاده به عنوان فوتوکانداکتور پرتو ایکس در آشکارسازهای سیستم‌های تصویر برداری می‌باشد.

فهرست مطالب

عناوین **صفحه**

مقدمه ۱

فصل۱-سیر تحول سیستم‌های تصویربرداری با پرتو ایکس ۳

۱-۱-تصویربرداری با پرتو ایکس ۳

۱-۲- آشکارسازهای سیستم‌های تصویربرداری با پرتو ایکس رقمی ۷

۱-۲-۱-رادیوگرافی فیلمی ۷

۱-۲-۲-رادیوگرافی رقمی ۱۰

۱-۲-۳-آشکارسازهای فسفری ۱۱

۱-۲-٤-آشکارسازهای فسفری تحریک پذیر نوری ۱۷

۱-۲-٥-آشکارسازهای تقویت‌کننده تصویر ۱۹

۱-۲-٦-آشکارسازهای تخت مسطح ۲۰

فصل۲-فوتوکانداکتورهای پرتو ایکس ۳۲

۲-۱-خواص فوتوکانداکتور پرتو ایکس ۳۲

۲-۲-ساختار آشکارسازهای نیمه‌هادی ۳٦

۲-۳-خواص نیمه هادی ها.....۳۷

۲-۳-۱-ساختار باندی جامدات.....۳۷

۲-۳-۲-حامل‌های بار ۳۹

۲-۳-۳-تاثیر ناخالصی ٤٠
۲-۳-٤-گیراندازی و بازترکیب ٤٦
۲-۳-٥-تاثیر پرتوهای یونساز روی نیمه‌هادی‌ها ٤٧
۲-۳-٦-نیمه هادی به عنوان آشکارساز پرتو ٤٩
۲-۳-۷-اتصال نیمه‌هادی‌ها ٥٠
۲-۳-۸-هدایت معکوس(Inverse Bias) ٥٣
فصل۳-مواد و روشها ٥٥
۳-۱-آمورف سلنیوم (a-Se) ٥٥
۳-۲-یدید جیوه (HgI_2) ٥٦
۳-۳-کادمیوم زینک تلوراید (CdZnTe) ٥٧
۳-٤-اکسید سرب (PbO) ٥٧
۳-٥-برمید تالیم (TlBr) ٥٧
۳-٦- بیسموت تری آیوداید (BiI_3) ٥٨
۳-۷-بیسموت تلوراید(Bi_2Te_3) ٥٨
۳-۸-فاکتورهای مورد بررسی ٦٠
۳-۸-۱-جذب پرتو ایکس و بازده کوانتومی ٦٠
۳-۸-۲- تباین (Contrast) تصویر ٦٥
۳-۸-۳-تولید زوج الکترون-حفره و انرژی یونیزاسیون (W±) ٦٦
۳-۸-٤-جریان القایی و بار جمع‌آوری شده ٦٩
۳-۸-٥-بازده جمع‌آوری بار (CCE) ۷٠

فصل۴- پیاده‌سازی کامپیوتری و کد MCNP ۷۲

۴-۱-روش مونته-کارلو ۷۲

٤-۱-۱- مونته کارلو و شبیه سازی سیستم‌های تصادفی ۷۳

٤-۱-۲-نمونه برداری از سیستم‌های تصادفی ۷٤

٤-۱-۳- ترابرد فوتون و الکترون در مواد به روش مونت کارلو ۷۵

۴-۲-کد MCNP ۷۷

٤-۲-۱-کد MCNP4C ۷۷

٤-۲-۲-کد MCNPX ۷۸

۴-۳-تیوب پرتو ایکس ۸۳

۴-۴-بررسی میزان جذب انرژی از طیف پرتو ایکس ۸۵

۴-۵-مقایسه تباین تصویر ۸۸

فصل۵-انجام محاسبات و نتایج ۹۳

۵-۱-شبیه‌سازی طیف پرتو ایکس ۹۳

۵-۲-کسر جذب انرژی از پرتو ایکس در مبدل پرتو ایکس ۹۵

۵-۳-بازده آشکارسازی ۱۰٤

۵-۴-بررسی اثر پراکندگی پرتو ایکس در مبدلهای پرتو ایکس ۱۰٦

۵-۵-نتایج ناشی از مقایسه تباین تصاویر ۱۱۲

۵-۶-بازده جمع آوری بار ۱۲۳

نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۹

مراجع ۱۳۵

پیوست‌ها ۱۳۸

مقدمه

در سال‌های اخیر مطالعه بر روی مواد ساختار به کار رفته مبدل پرتو ایکس در آشکارساز سیستم‌های تصویربرداری رقمی با پرتو ایکس به یکی از شاخه‌های مهم در این زمینه تبدیل شده است، زیرا پارامترهای بهینه در این مواد منجر به بالا رفتن کارایی آشکارساز و سیستم تصویربرداری گشته و در نتیجه باعث افزایش کیفیت تصویر در کنار کاهش دز می‌گردد[۵۵].

به طور کلی مواد جامد به کار رفته به عنوان مبدل مستقیم پرتو ایکس در سیستم‌های تصویربرداری رقمی به دو دسته کریستالی و آمورف تقسیم می‌شوند. امروزه پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه مواد نیمه‌هادی کریستالی صورت گرفته است. این بدان دلیل است که درک فیزیک جامدات کریستالی با استفاده از مکانیک کوانتومی به منظور ارایه یک مدل ریاضی راحت‌تر است[۵۶]. در مقایسه با حالات کریستالی، بررسی حالتهای آمورف به خاطر پیچیدگی‌های ریاضی ، پیشرفت‌های چشمگیری نداشته است. همچنین مواد آمورف به دلیل خاصیت انتقال بار ضعیف‌تر در مقایسه با مواد کریستالی کاربردهای محدودتری در زمینه میکرو الکترونیکی دارند. این در حالی است که در دو دهه اخیر نیمه‌هادی‌های آمورف کاربردهایی در زمینه الکترونیک پیدا کرده‌اند[۵۶]. با وجود اینکه امروزه صنعت الکترونیک تحت تسلط مواد نیمه‌هادی قرار دارد ولی این مواد نتوانسته‌اند جوابگوی نیازهای گسترده بشر در خیلی از زمینه‌ها باشند و این مسئله با عث گشوده شده شدن باب نوینی در زمینه تحقق بخشیدن به نیازها شده است. نیمه‌هادی‌های آمورف دارای این قابلیت هستند که می‌توانند با کمترین هزینه روی یک سطح وسیع لایه نشانی شوند. این مسئله آنها را برای کاربردهایی با سطوح بزرگ بسیار مقرون به صرفه ساخته است. آنگونه که از فیزیک این مواد به نظر می‌رسد، کاربردهای زیادی برای آنها در زمینه‌های مختلف وجود دارد. نیمه‌هادی‌های آمورف دارای خواص فیزیکی مناسبی هستند، همچنین ساخت آنها بر

خلاف نیمه‌هادی‌های کریستالی، به دقت بالایی در مراحل رشد نیاز ندارد. پیش‌بینی می‌شود که در نسل‌های آینده صنعت میکروالکترونیک، نیمه‌هادی‌های آمورف از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شوند. در حال حاضر نیمه‌هادی‌های آمورف، دارای کاربردهای تجاری نیز هستند. تا قبل از سال ۱۹۹۰ سه کاربرد اساسی در زمینه الکترونیکِ سطوح بزرگ مثل کپی برداری، ترانزیستورهای فیلمی نازک، و سلول‌های خورشیدی برای این نوع نیمه‌هادی‌ها وجود داشت. در حالی‌که در دهه‌های اخیر چند کاربرد جدید مثل آشکارساز دوربین‌های تصویربرداری و فوتوکانداکتورهای آشکارسازهای تصویربرداری با پرتو ایکس به این کاربردها اضافه شده است. در این پروژه به بررسی برخی از پارامترهای اساسی مربوط به مبدل‌های پرتو ایکس در آشکارساز سیستم‌های تصویربرداری رقمی با پرتو ایکس در چندین ترکیب متفاوت به همراه یک ماده پیشنهادی جدید که اخیرا به عنوان مبدل پرتو ایکس معرفی شده‌اند، پرداخته شده است. ابتدا تاریخچه‌ای از چگونگی پیدایش سیستم‌های تصویربرداری با پرتو ایکس و سیر تحولی و تکاملی آن‌ها تا به امروز بیان شده و سپس به تشریح خواص اساسی فوتوکانداکتورهای پرتو ایکس در آشکارسازهای تبدیل مستقیم سیستم‌های تصویربرداری رقمی پرداخته شده است. در فصل سوم خصوصیات ترکیبات مورد مطالعه از قبیل خصویات فیزیکی و پارامترهای مربوط به تحرک و عمر بارها و... و پارامترهای مربوط به آشکارسازها از قبیل جذب انرژی، بازده جمع‌آوری بار و... مورد بررسی قرار گرفته‌است. در فصل چهارم روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی و مبانی محاسبات انجام شده، تشریح گردیده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در فصل پنجم ارایه شده و در نهایت به بحث و نتیجه-گیری حاصل از این پژوهش در راستای اهداف پیش‌بینی شده پرداخته شده است.

فصل۱-سیر تحول سیستم‌های تصویربرداری با پرتو ایکس

۱-۱-تصویربرداری با پرتو ایکس

تصویر برداری بوسیله پرتو ایکس یکی از سریعترین و راحترین راهها برای دیدن اندام‌ها و ساختارهای داخلی بدن توسط پزشکان است.

پرتو ایکس در سال ۱۸۹۵ بوسیله ویلهام رونتگن[1] (۱۸۴۵-۱۹۲۳) که در آن زمان استاد دانشگاه وورزبرگ[2] آلمان بود کشف شد.رونتگن در حالیکه مشغول کار با تیوب کاتدی پرتو ایکس در آزمایشگاهش بود تابش فلورسانس را روی جدول نزدیک تیوبش مشاهده کرد.تیوبی که رونتگن با آن کار می کرد شامل یک شیشه بود که الکترودهای مثبت و منفی درون آن قرار گرفته بود .هوای داخل تیوب کاملا تخلیه شده بود و وقتی که یک ولتاژ بالا به آن اعمال می شد، تابش فلورسانس ساطع می کرد. رونتگن تیوب را با یک کاغذ سیاه ضخیم پوشاند و متوجه شد که یک تابش فلورسانس سبز رنگ به وسیله ماده ای که در چند قدمی تیوب قرار گرفته بود ، تولید شد. او نتیجه گیری کرد که یک نوع جدید از تابش از تیوب منتشر می شود که قادر است از پوشش کاغذی سیاه و ضخیم اطرافش عبور کند. رونتگن متوجه شد که این نوع از تابش قادر است از اکثر مواد عبور کند. او همچنین متوجه شد که این تابش می تواند از بافت بدن انسان نیز عبور کند ولی نمی تواند از استخوان یا بعضی فلزات عبور کند. یکی از اولین آزمایشات رونتگن در سال ۱۸۹۵ فیلمی بود که از دست همسرش برتا تهیه کرد. او بسیار مشتاق بود که از پرتو ایکس در کاربردهای صنعتی(و نه پزشکی) استفاده کند. او اولین دستگاه رادیوگراف را برای دیدن قطعات سرب و نشان دادن به همکارانش ساخت.

[1] Wilhelm Conrad Roentgen
[2] Wuerzburg University

کشف رونتگن به مثابه انفجار یک بمب علمی خیلی زود به طرز شگفت آوری مورد توجه دانشمندان و مردم قرار گرفت. دانشمندان در سراسر دنیا ازمایش او را تکرار می کردند چون در آن زمان تیوب کاتدی در خیلی جاها شناخته شده بود.خیلی از دانشمندان زمینه های دیگری را برای بررسی این پرتو اسرار آمیز دنبال کردند. روزنامه ها و مجلات هر روز داستانهای زیادی را برای مردم چاپ می کردند. در شکل(۱– ۱) اولین تصویر رادیو گرافی ارایه شده است.

Radiograph of the hand of the Prime Minister, Lord Salisbury, taken by Archibald Campbell Swinton in the early months of 1896.

شکل(۱–۱): اولین تصویر رادیوگرافی ایجاد شده بوسیله پرتو ایکس[۵۷]

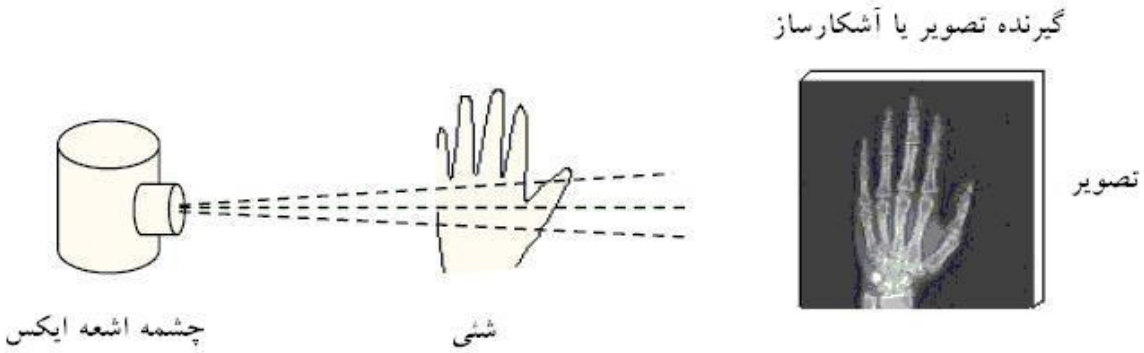
مردم به پرتو غیر قابل رویتی که توانایی عبور از اجسام سخت و اندامهای داخلی بدن را داشت و می توانست از استخوانها و بافتهای داخلی تصویر ایجاد کند علاقه پیدا کرده بودند. دانشمندان به دنبال اثبات کوتاهتر بودن طول موج این پرتو از نور بودند. این قابلیت می توانست توانایی جدیدی در فیزیک و همچنین شناسایی مواد ایجاد کند. همچنین علاقه زیادی درباره کاربردهای احتمالی این پرتو در پزشکی و جراحی بوجود امده بود.در

طی یکماه از اعلام کشف پرتو ایکس چندین دستگاه رادیوگراف پزشکی در اروپا و آمریکا ساخته شد که از آنها برای راهنمایی جراحان استفاده می شد.

در ژوئن سال ۱۸۹۶ تنها شش ماه پس از اعلام کشف این پرتو توسط رونتگن، پزشکان در جنگ برای پیدا کردن محل گلوله در بدن سربازان مجروح از آن استفاده کردند. تا قبل از سال ۱۹۱۲ اگرچه تعدادی تصویر از فلزات بوسیله‌ی پرتو ایکس تهیه شد اما از این پرتو کمتر در خارج از محدوده پزشکی و دندان پزشکی استفاده شد. دلیل این مسئله چیزی نبود جز اینکه تیوبها در اثر اعمال ولتاژ بالا به آن (برای قدرت نفوذ مناسب پرتو ایکس تولید شده در موارد صنعتی) سریع خراب می شدند. اگرچه در سال ۱۹۱۳ تیوبهایی با خلا بالا طراحی شد که حساسیت بالایی داشتند و به اندازه کافی قابل اعتماد بودند و حتی تحمل ولتاژهای بالایی مثل ۱۰۰۰۰۰ ولت را نیز داشتند.

در سال ۱۹۲۲ رادیو گرافی صنعتی با تولید تیوبهای ۲۰۰۰۰۰ولتی وارد مرحله جدیدی شد که به تولید لایه های ضخیم استیل در مدت زمان کوتاهتر، کمک چشمگیری می کرد. در سال ۱۹۳۱ کمپانی ژنرال الکتریک تیوبهای ۱۰۰۰۰۰۰ ولتی تولید کرد که وسیله بسیار مناسبی برای رادیوگرافی صنعتی بود[۵۷].

یکی از حوزه‌های تحقیقاتی در این زمینه که هنوز از مباحث حضور رادیولوژی تشخیصی است بدست آوردن تصویری با کیفیت مطلوب در سیستم‌های تصویر برداری با پرتو ایکس می‌باشد. شکل (۱-۲) سازوکار ساده‌ای از چگونگی تشکیل یک تصویر را نشان می‌دهد که در آن شئی بین منبع پرتو ایکس و آشکارساز قرار گرفته است. آشکارساز تصویری از اجزای داخلی شئی مورد نظر بوسیله پرتو ایکس دریافت می‌کند.



شکل(۱-۲): حالت شماتیک تکنیک تصویربرداری با پرتو ایکس

تضعیف پرتو ایکس در قسمت‌های مختلف بدن انسان (استخوان، بافت نرم و دیگر ارگان‌ها) متفاوت است. سیستم‌های تصویربرداری رادیولوژی بر اساس تضعیف‌های متفاوت برای ایجاد تصویر عمل می‌کنند. وقتی یک پرتو ایکس یکنواخت از بدن عبور می‌نماید طیف عبوری دچار یکسری تغییرات بعلت تضعیف در ارگان‌های متفاوت می‌گردد. بر اساس همین تغییرات، طیف عبوری[1] از بدن حاوی یکسری اطلاعات از ساختارهای درونی بدن می‌گردد. اگر این طیف عبوری آشکارسازی شود، آنگاه می‌توان به تصویری از داخل بدن دست پیدا کرد. واسطه یا وسیله‌ای که طیف عبوری پرتو ایکس را به تصویر تبدیل می‌کند، دریافت کننده تصویر[2] یا آشکارساز تصویر می‌نامند. شبیه به دیگر انواع تابش‌های یونساز، پرتو ایکس می‌تواند به بافت‌های زنده صدمه وارد کند. برای کاهش لطمات بیولوژیکی، دریافت پرتو توسط بدن باید به کمترین مقدار کاهش پیدا کند. تکنیک‌های فراوانی برای بالا بردن کیفیت تصویر در کنار کاهش دز وجود دارد که تمامی این روش‌ها به طراحی مناسب آشکارساز پرتو ایکس بستگی دارند[۴۱].

[1] Remnant X-ray Flux
[2] Image Receptor

۱-۲- *آشکارسازهای سیستم‌های تصویربرداری با پرتو ایکس رقمی*

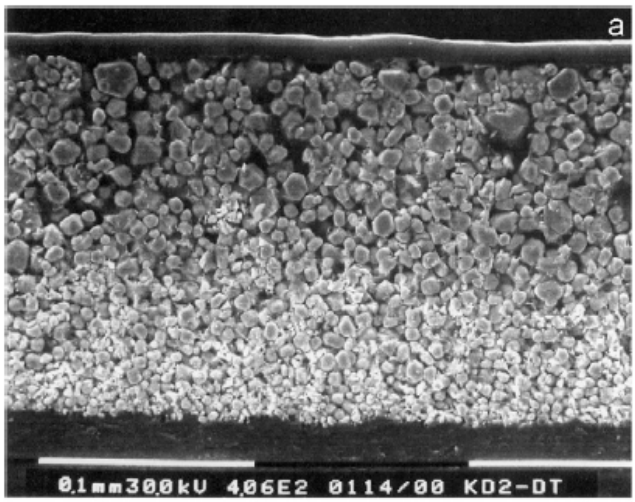
در سالهای اخیر، پیشرفتهای چشمگیری در زمینه تصویر برداری پزشکی رخ داده است. تصویربرداری مولکولی، MRI، اولتراسوند سه‌بعدی، سیستم‌های اسکن دو چشمه‌ای چند ردیفه پرسرعت مانند سیستم‌های PET-CT و SPECT-CT که امروزه به متخصصین این اجازه را می‌دهد تا با استفاده از تصاویر جدید به تشخیص درست دست پیدا کنند. در کنار این پیشرفت‌های خیره‌کننده خیلی از زمینه‌های سنتی تصویربرداری با پرتو ایکس دستخوش تغییرات مهمی به سمت رقمی شدن، گشته‌اند. معرفی آشکارسازهای رقمی پرکارآمد بهبود یافته که در ساخت سیستمهای جدید تصویربرداری رقمی به کار می‌روند نوید تصاویر با کیفیت بالاتر با دز کمتر برای بیمار و همچنین معرفی روش‌های پیشرفته تصویربرداری که با روش فیلمی سنتی غیر ممکن بود را به ما می‌دهد. بیشتر آشکارسازهای پرتو ایکس از دو قسمت اصلی شکل گرفته اند. اول یک لایه مبدل پرتو ایکس(مثل لایه فسفری یا فوتوکانداکتور[1]) که انرژی پرتو ایکس فرودی را به توزیعی از کوانتومهای ثانویه تبدیل می‌کند (مثل فوتونهای نوری و جفت الکترون–حفره) و دوم آشکارسازی که ذرات ثانویه را اندازه گیری می‌کند.

۱-۲-۱-رادیوگرافی فیلمی

بر خلاف دیگر زمینه‌های آشکارسازی تابش، بشر همواره به این موضوع علاقمند بوده تا بتواند از سیستم‌های آشکارسازی پرتو ایکس در کاربردهای کلینیکی استفاده کند. این مستلزم آنست که بتوان از بیمار تصویری با حداقل پرتو مورد نیاز برای موارد تشخیصی بدست آورد. در نتیجه این بسیار مهم است که یک مبدل پرتو

[1] Photoconductor

ایکس بتواند تا حد امکان بیشتر فوتون‌های پرتو ایکس فرودی را جذب کند و این خود نیازمند آنست که ضخامت مبدل پرتو ایکس افزایش یابد تا افزایش نویز و کاهش درجه تفکیک تصویر باعث می گردد [۱] . وقوع این پدیده به دلیل تنوع در تولید و فرار کوانتوم‌های ثانویه است. در صفحات فیلمی قدیمی، اکثرا از ترکیب ($Gd_2O_2S:Tb$) استفاده می‌شود که این ترکیب، شامل دانه‌های خیلی کوچکی از فسفر است که با صمغ پلاستیک ترکیب می‌شود (شکل۱-۳)[۵۵]



شکل(۱-۳): نمای سطح مقطعی از فسفر پودری[۵۵]

این پدیده باعث کم شدن چگالی ترکیب به اندازه ۵۰٪ شده و این کاهش چگالی نهایتا منجر به کاهش بازده می‌گردد. فیلم اولین آشکارساز عکس بود که بوسیله رونتگن مورد استفاده قرار گرفت و هنوز هم بعنوان محبوبترین و پر استفاده‌ترین تکنیک برای تصویربرداری رادیولوژی باقی مانده است.اگرچه چندین نوع سیستم تصویر برداری کامپیوتری هم بوجود آمده است، ولی هنوز ۶۵٪ تا ۷۵٪ سیستم‌های تصویربرداری بر پایه فناوری آنالوگ فیلمی کار می‌کنند. فیلم دارای درجه تفکیک مناسب در کنار قیمت ارزان می‌باشد.

آشکارسازهای فیلمی سنتی، شامل یک فیلم فوتوگرافیک هستند که بین دو صفحه فلورسانس ساندویچ شده و درون کاست محافظ قرار می‌گیرد[۲] . صفحات فلورسانس پرتو ایکس را به نور مرئی تبدیل می‌کنند که این نور مرئی روی فیلم فوتوگرافیک به صورت یک تصویر پنهان[1] ذخیره می‌شود. این تصویر پنهان یکسری از تغییرات غیر محسوس را به فیلم القا می‌کند.بوسیله یکسری از فرآیندهای شیمیایی مناسب این تصویر قابل رویت خواهد شد. این فرآیند شامل مراحل زیر است:

- ابتدا فیلم داخل کاست قرار می‌گیرد.
- کاست حاوی فیلم به تجهیزات تصویربرداری منتقل می‌شود.
- بعد از انجام مرحله تصویربرداری با پرتو ایکس، کاست برای انجام بقیه مراحل به یک اتاق تاریک منتقل می‌شود.

فرآیند آزمایشگاهی چند دقیقه به طول می‌انجامد، که البته برای شرایط اورژانسی زیاد بنظر می‌رسد. اگرچه تصویر فیلمی از کیفیت مناسبی برخوردار است ولی دارای یکسری از معایب نیز می‌باشد:

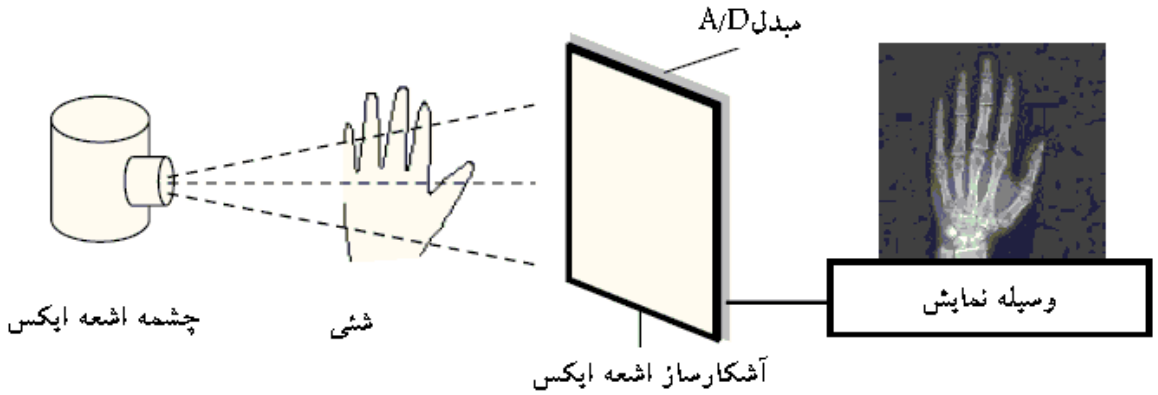
- فقط ۳-۵٪ از پرتو ایکس به نور مرئی تبدیل می‌شود.
- فاصله زمانی بین تصویربرداری تا بدست آمدن تصویر نهایی طولانی است.
- تصویر به صورت الکترونیکی بدست نمی‌آید.
- تصویر برداری به صورت بلادرنگ[2] با این روش غیر ممکن است.
- امکان پردازش تصویر بر روی آن ممکن نیست.

[1] Latent Image
[2] Real Time

- به راحتی نمی‌توان نویز آنرا کاهش داد.
- بایگانی کردن و فرآیند حمل و نقل این فیلم‌ها چالشی بزرگ است.

۱-۲-۲-رادیوگرافی رقمی

رادیوگرافی رقمی (DR) تقریبا همه معایب تصویربرداری فیلمی سنتی را جبران می‌کند. در این روش بعد از مرحله تصویربرداری می‌توان به‌سرعت تصویر را مشاهده کرد. یک تصویر رقمی با کیفیت عالی، قابلیت مشاهده روی مانیتور در کنار یک دز پایین را داشته و کار کمتر، مدیریت آسان‌تر بیمار، تشخیص کمکی کامپیوتر در پردازش تصویر، راحتی برای قرار گرفتن روی دیسک‌های کامپیوتری، انتقال الکترونیکی تصویر به جای پست و در پایان تصویر برداری با کیفیت بالا به صورت زمان واقعی از مزایای فوق‌العاده آن است [۳و۴]. یک تصویر شماتیک از سیستم رادیولوژی رقمی در شکل(۱-۴) قابل مشاهده است.



شکل(۱-۴): شکل شماتیکی سیستم تصویربرداری رقمی با پرتو ایکس

در سیستم‌های تصویربرداری رقمی، تصویر پرتو ایکس بدست آمده باید روی بعدهای شدت و فضا نمونه‌گیری شده باشد(این عمل به وسیله ردیفی از آشکارسازهای پرتو ایکس انجام می‌شود). در ابعاد فضایی، نمونه‌های

بدست آمده میانگین شدت روی اجزای تصویر هستند که به آنها پیکسل گفته می‌شود. پیکسل‌ها معمولا مربعی هستند و با فواصل منظم برابر روی صفحه تصویر قرار دارند. برای بررسی ابعاد شدت، سیگنال معمولا در بیتها[1] به صورت رقمی در می‌آید. در سیستم‌های تصویربرداری رقمی معمولا کیفیت تصویر با دو پارامتر اندازه پیکسل[2] و عمق بیت[3] مشخص می‌شود. برای اجتناب از کاهش کیفیت تصویر، اندازه پیکسل و عمق بیت بسته به کاربردهای خاص باید به صورت مهندسی بهینه شوند. تکنیک‌های گوناگونی برای رادیولوژی رقمی وجود دارد که تنها بازبینی مختصری روی تعدادی از روش‌های مناسب و پرکاربردتر در اینجا صورت می‌گیرد[۳و۴].

۱-۲-۳-آشکارسازهای فسفری

در خیلی از سیستم‌های تصویربرداری رقمی آشکارسازهای فسفری بر پایه یدیدسزیم (CsI) هستند که به صورت غیر مستقیم فوتون‌های پرتو ایکس را به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کنند. فسفر، پرتو ایکس را جذب کرده و آنرا به نور تبدیل می‌کند، که این نور به یک سنسور نوری متصل شده به فسفر منتقل می‌شود، که به آن وسیله تزویج بار[4] (CCD) می‌گویند. یکی از معایب بزرگ تبدیل پرتو ایکس به نور اینست که نور در خلال عبور از فسفر پراکنده می‌شود. میزان پراکندگی نور در فسفر به طول مسیری که نور آنرا طی می‌کند بستگی دارد (شکل ۱-۵) [۵۸].

[1] Bit
[2] Pixel-Size
[3] Bit-Depth
[4] Charge Coupled Device