

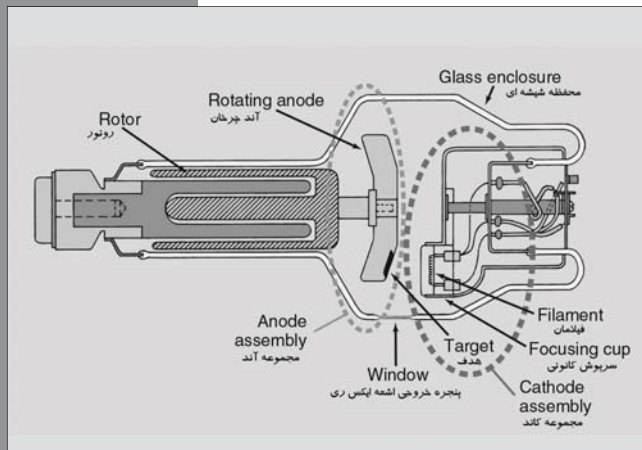
تیوب اشعه ایکس ری و ساختار آن

(قسمت دوم)

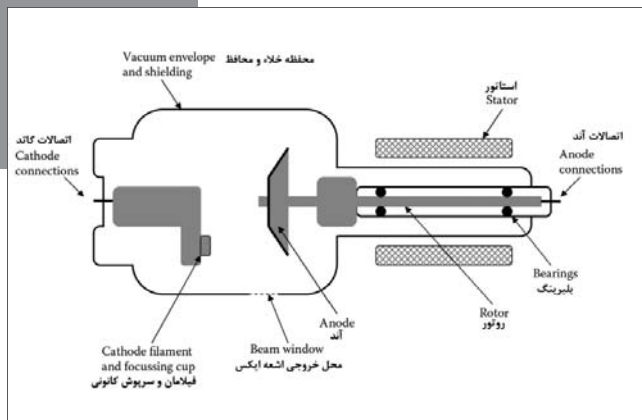
فیلامان

فیلامان از جنس تنگستن است و می‌تواند حرارت‌های بسیار بالا (بیش از ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد) را تحمل کند. فیلامان سیمی است از جنس تنگستن به قطر ۰.۲ میلیمتر که به صورت مارپیچ عمودی با قطر دو دهم سانتیمتر و طول یک سانتیمتر یا بیشتر درآمده است. فیلامان به صورت یک سیم مارپیچ شده بسیار ظریف است تا سطح آن موجب افزایش الکترون دهی باشد. فیلامان دارای مقاومت بالا بوده و با جریان الکتریکی عبوری از داخل آن (طبق رابطه $R = \frac{\rho L}{A}$)، حرارت قابل توجهی ایجاد می‌شود. برای گرم شدن فیلامان ولتاژ و جریان به خصوصی در نظر گرفته می‌شود. این ولتاژ حدود ۸ تا ۱۲ ولت و شدت جریان عبوری از فیلامان حدود ۵ آمپر است. زمانی که رشته سیم فیلامان به اندازه کافی گرم می‌شود تعدادی از الکترون‌ها با کسب انرژی کافی تا مسافت کمی از سطح فیلامان دور می‌شوند و تشکیل ابر الکترونی را می‌دهند که به آن فضای بار می‌گویند. جریان الکترونی در لامپ مولد اشعه ایکس همیشه در یک جهت و از کاتد به آند است. اضافه کردن ۱ تا ۲ درصد عنصر توریم به تنگستن باعث افزایش پدیده ترمیونیک شده و عمر

تیوب را افزایش می‌دهد. تبخیر تنگستن همراه با رسوبی که بر روی محفظه شیشه‌ای ایجاد می‌کند حالت رسانایی را در داخل تیوب به وجود می‌آورد و موجب می‌شود تا اصطلاحاً در داخل تیوب آرک زده شود که شایع‌ترین علت خرابی تیوب است. اغلب تیوب‌ها دارای دو فیلامان بزرگ و کوچک هستند که اندازه‌های کانونی بزرگ و کوچک ایجاد می‌کنند. جریان داخل لامپ مولد اشعه ایکس توسط جریان گذرنده از فیلامان کنترل می‌شود. از نقطه کانونی کوچک زمانی استفاده می‌شود که فواصل با رزولوشن بالا مورد نیاز است. از نقطه کانونی بزرگ برای تصاویر عضوهای بزرگ بدن به کار می‌رود. انتخاب نقطه کانونی دلخواه با انتخاب جریان فیلامان از کنسول انجام می‌شود. اگر بخواهیم از فیلامان کوچک استفاده کنیم جریان آن را باید کمتر از ۳۰۰ میلی آمپر انتخاب کنیم و برای استفاده بیشتر از ۴۰۰ میلی آمپر باید از فیلامان بزرگ استفاده کنیم. اگر از فیلامان کوچک برای جریان‌های بالا استفاده شود موجب می‌شود تا گرمای زیادی در آند به وجود آید. نقطه کانونی کوچک از یک دهم تا یک میلیمتر و نقطه کانونی بزرگ از سه دهم تا دو میلیمتر است. فیلامان هرچه گرم‌تر باشد الکترون‌های تولید شده بیشتر بوده که حجم بیشتر اشعه را به همراه دارد. جریان با واحد میلی آمپر اندازه‌گیری می‌شود. تغییر در میلی آمپر عبوری از تیوب اشعه ایکس به معنی تغییر در حجم اشعه خواهد بود. طول زمان تابش اشعه از چند هزارم تا چند ثانیه می‌تواند متغیر باشد. در واقع پرتو ایکس با توجه به تابش ترمزی ایجاد می‌شود.



قسمت‌های اصلی از یک تیوب اشعه ایکس ری آند چرخان



پدیده ترمیونیک (Thermionic Emission)

روندی که سبب صدور الکترون آزاد از یک رشته سیم گرم می‌شود به پدیده ترمیونیک موسوم است. سرعت صدور الکترون‌های آزاد شده در واحد زمان به دما و سطح مفید سیم فیلامان بستگی دارد. اثر این پدیده با افزایش درجه حرارت الکترون‌های آزاد شده افزایش یافته و به صورت ابر الکترونی اطراف فیلامان را اشغال می‌کنند.

دلایل مختلف برای انتخاب فلز تنگستن در ساخت فیلامان‌ها

۱- قابلیت ساخت رشته‌های بسیار نازک

۲- نقطه ذوب بسیار بالا (۳۳۷۰ درجه سانتی گراد)

۳- تمایل آن به مقاومت در مقابل تبخیر

دلایل مختلف انتخاب فلز مناسب در ساخت آند

۱- دارای نقطه ذوب بالا باشد. به طوری که مقدار گرمای زیاد آزاد شده موجب آسیب کمتری به آند شود.

۲- دارای بازده زیاد برای تبدیل الکترون به ایکس ری باشد. شدت اشعه ایکس متناسب با عدد اتمی فلز است. مثلاً در ۱۰۰ کیلو ولت ۱ درصد انرژی در فلز سرب به اشعه ایکس تبدیل می‌شود و در فلز آلومینیم این مقدار ۰.۱ درصد است.

۳- هدایت بالا به طوری که حرارت به سرعت به بیرون از محفظه منتقل داده شود.

۴- دارای خواص مکانیکی خوب برای ساخت آند باشد.

۵- دارای تبخیر کم در دماهای بسیار بالا باشد.

دلایل انتخاب تنگستن در ساخت آند

۱- دارای عدد اتمی بالایی است و این عدد اتمی موجب تولید اشعه ایکس با کیفیت بالا و انرژی بالا می‌شود.

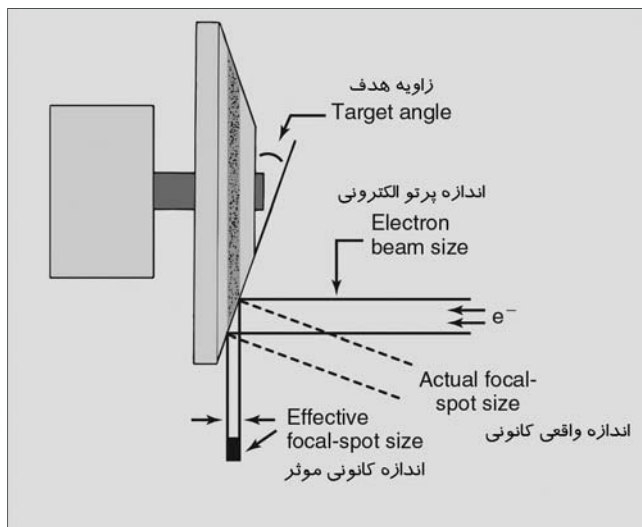
۲- هدایت حرارتی در تنگستن تقریباً نزدیک به مس است بنابراین هدایت گرمایی به راحتی صورت می‌گیرد.

۳- تنگستن دارای نقطه ذوب بالایی (حدود ۳۴۰۰ درجه سانتی گراد) است و در برخورد الکترون با آند تبخیر نمی‌شود.

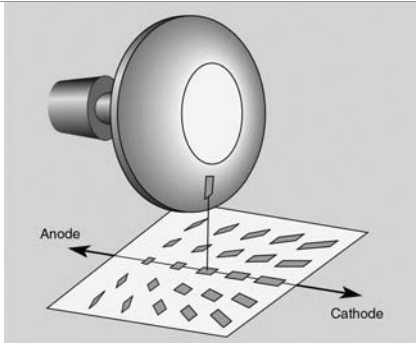
اصول کانونی خطی و نقطه کانونی موثر

سطح کانونی به قسمتی از آند گفته می‌شود که الکترون‌های شتاب گرفته از سمت کاند با این قسمت برخورد می‌کنند. گرما در این قسمت به صورت یکنواخت پراکنده می‌شود. سطح کانونی بزرگ موجب می‌شود بدون اینکه صدمه‌ای به آند وارد شود میزان گرمای زیادی را در خود جذب کند. دمای

ذوب تنگستن ۳۳۷۰ درجه سانتی گراد است، در صورتی که بهتر است گرمای آن زیر ۳۰۰۰ درجه سانتی گراد نگه داشته شود. سطح کانونی بزرگ تحمل بار حرارتی بیشتری نسبت به سطح کانونی کوچک را دارد. اندازه و شکل سطح کانونی بر حسب اندازه و شکل جریان الکترون‌هایی که به آند برخورد می‌کنند تعیین می‌شود. سطح کانونی مایل است و با سطح عمود بر شعاع‌های تابشی ایجاد زاویه‌ای می‌کند. این زاویه بستگی به طراحی لامپ مولد اشعه ایکس ری دارد و معمولاً از ۶ تا ۲۰ درجه متغییر است. هرچه این زاویه بر روی آند کوچکتر باشد سطح کانونی ظاهری کوچکتر می‌شود. اندازه سطح کانونی به صورت اندازه سطح کانونی منعکس شده یا ظاهری بیان می‌شود. اندازه‌هایی مانند سه دهم، شش دهم، یک، یک و دو دهم، دو میلی‌متر به طور متداول به کار می‌رود. نقطه کانونی کوچک موجب ایجاد تصاویر با وضوح بالاتر می‌شود. اما متأسفانه به دلیل اینکه نقطه کانونی کاهش می‌یابد گرمای هدف بر روی یک نقطه کوچک متمرکز می‌شود و این فاکتور محدود کننده اندازه نقطه کانونی است. نقطه کانونی منبع واقعی اشعه ایکس است. ناحیه موثر هدف یا اندازه موثر نقطه کانونی منطقه‌ای است که برای گیرنده تصویر یا بر روی بیمار پیش بینی شده است. هرچه زاویه هدف کوچکتر باشد اندازه نقطه کانونی موثر نیز کوچک است. نقطه کانونی موثر از نقطه کانونی واقعی کوچکتر است. برخی از آندهای چرخان دارای دو زاویه برای تولید دو نقطه کانونی هستند. برای بدست آوردن این نقاط کانونی فیلامان‌ها باید در بالای یکدیگر قرار بگیرند. اختلاف در شدت اشعه ایکس در دو نقطه کانونی عمدتاً توسط طراحی سرپوش کانونی و ولتاژ سرپوش کانونی تعیین می‌شود. نقطه کانونی مدور برای رادیوگرافی‌های بزرگ و ماموگرافی با وضوح بسیار بالا مهم هستند.



رابطه زاویه آند و اندازه نقطه کانونی موثر

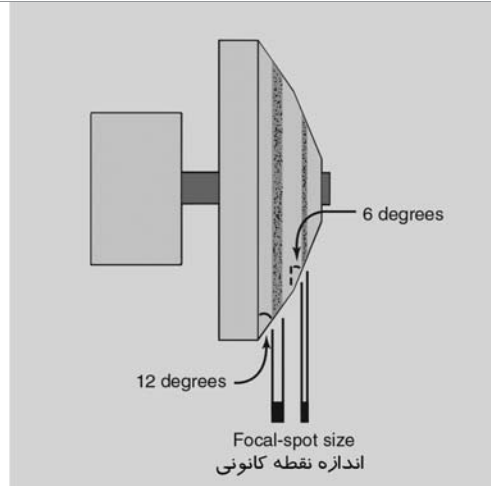


به دلیل اثر پاشنه نقطه کانونی موثر در طرف آند کوچکتر از سمت کاتد است.

مدار فیلامان و منبع انرژی الکتریکی

برای تولید اشعه ایکس در اختیار داشتن منبع انرژی امری ضروری و لازم است. این انرژی از نوع الکتریکی است. از خصوصیات بارز انرژی الکتریکی می توان به سهولت تولید و انتقال به نقاط دور و نزدیک، ذخیره سازی این انرژی در باتری ها، تولید انرژی الکتریکی با استفاده از ژنراتورهای کوچک اشاره کرد. میدان الکتریکی شتاب دهنده الکترون ها توسط ترانسفورماتور افزایشده موسوم به ترانسفورماتور فشار قوی انجام می شود. ولتاژ فشار قوی که بین آند و کاتد برای شتاب گرفتن الکترون ها برقرار می گردد حدود ۲۰ تا ۱۵۰ کیلو ولت است. هنگامی که اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد برقرار می شود الکترون ها طبق پدیده جذب بارهای غیرهمنام به سمت آند حرکت کرده و جذب می شوند و شدت جریان الکتریکی به وجود می آید. هرگاه مقدار ولتاژ مثبت آند بیشتر شود حرکت الکترون ها به سمت آند افزایش یافته و تعداد الکترون هایی که در واحد زمان به آند می رسند زیاد می شود. همیشه سعی می شود تا تیوب در نزدیکی حالت اشباع کار کند تا وابستگی میلی آمپر عبوری از تیوب به کیلو ولت کمتر شود. مداری که باعث می شود تا فیلامان ملتهب و تابش الکترون صورت بگیرد مدار فیلامان و مداری که باعث می شود تا الکترون ها از کاتد به سمت آند شتاب بگیرند مدار ولتاژ قوی نامیده می شود. مدار فیلامان در واقع جریان عبوری از فیلامان لامپ اشعه ایکس را تنظیم می کند. برای مدار فیلامان از یک مبدل کاهنده استفاده شده است و برای مدار ولتاژ قوی از یک مبدل افزایشده با یک گروه از یکسوکننده ها استفاده شده است. یکی از نکات مهمی که باید به آن توجه کرد کنترل دقیق حرارت فیلامان است چرا که یک نوسان کوچک در جریان فیلامان منجر به تغییر بسیار زیاد در جریان لامپ اشعه ایکس می شود. یک تغییر به میزان ۵ درصد در ولتاژ فیلامان منجر به تغییر ۲۰ تا ۳۰ درصدی جریان لامپ اشعه ایکس می شود. لامپ اشعه ایکس به دو منظور نیازمند منبع انرژی الکتریکی است:

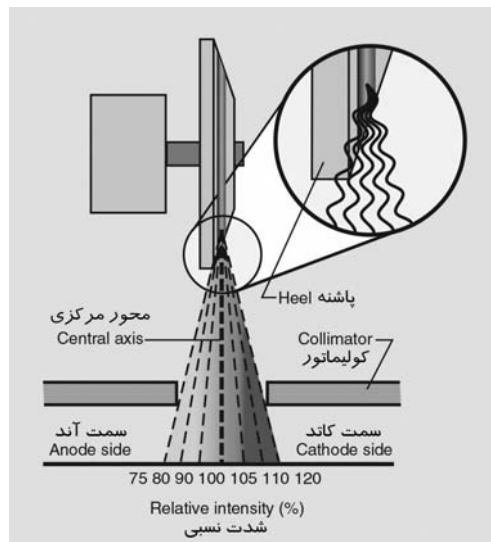
- ۱- ملتهب کردن فیلامان و تابش الکترون از آن
- ۲- شتاب دادن الکترون از کاتد به سمت آند



تولید دو نقطه کانونی به صورت هم زمان

اثر پاشنه (Heel Effect)

اثر پاشنه موجب کاهش شدت پرتو مفید در سمت آند می شود. در واقع قسمتی از پرتو مفید در پاشنه جذب می شود. هرچه زاویه آند کوچکتر باشد اثر پاشنه بزرگتر است. به همین خاطر قسمت های ضخیم بدن باید در سمت کاتد اشعه ایکس قرار بگیرد که در آن اثر پاشنه وجود ندارد. برای مثال در رادیوگرافی قفسه سینه کاتد باید در قسمت پایین قرار گیرد. پایین قفسه سینه ضخیمتر از قسمت بالای قفسه سینه است و بنابراین به شدت تابش مفید بالاتری احتیاج دارد تا تصویری به صورت یکواخت حاصل شود. یکی دیگر از پیامدهای مهم اثر پاشنه تغییر اندازه کانونی است. نقطه کانونی موثر سمت آند، کوچکتر از سمت کاتد است. برخی از تولید کنندگان تجهیزات ماموگرافی از این ویژگی استفاده می کنند تا نقطه کانونی کوچکتر در کنار قفسه سینه تولید شود.

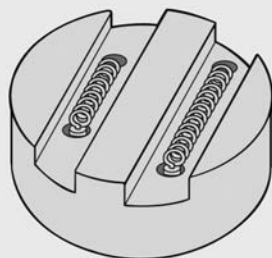


تاثیر اثر پاشنه در شدت نسبی اشعه در اطراف کاتد و آند

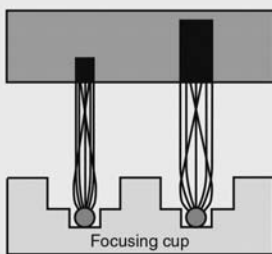
فضای بار (Space Charge) می‌گویند. الکترون‌هایی که در اطراف فیلامان ایجاد می‌شوند به دلیل آنکه دارای بار همنام منفی هستند تمایل دارند تا یکدیگر را دفع کنند. این اثر الکترونی باعث اعمال نیرویی همنام به الکترونهای موجود در فیلامان می‌شود و سعی در جلوگیری از خروج بیشتر الکترونها از فیلامان دارد. بنابراین تنها الکترونهایی می‌توانند از فیلامان خارج شوند که دارای انرژی کافی برای مقابله با نیروی وارده از اثر الکترونی باشند. عمل جلوگیری از خروج بیشتر الکترونها از فیلامان را اثر فضای بار (Space Charge Effect) می‌نامند. در اثر خروج الکترونها بار مثبتی بر روی فیلامانها ایجاد می‌شود که موجب جذب مجدد الکترونهای اطراف خود می‌شود. در اثر سرخ شدن فیلامان حالت تعادلی بین اثر الکترونی اطراف فیلامان ایجاد می‌شود که در این حالت تعداد الکترونهای جذب شده به فیلامان و خارج شده از آن یکسان خواهد بود.

سرپوش کانونی (Focusing Cup)

سرپوش کانونی موجب متمرکز شدن و جلوگیری از پراکندگی الکترونها از اطراف کاتد می‌شود. با توجه به مفهوم فضای بار و اثر فضای بار برای آنکه از پراکندگی الکترونها جلوگیری شود از وسیله ای به نام سرپوش کانونی استفاده می‌شود. این محفظه در اطراف فیلامان قرار دارد و دارای پتانسیل منفی فیلامان است. در این محفظه الکترونها تحت تاثیر ولتاژ منفی متمرکز می‌شوند. سرپوش کانونی معمولاً از جنس مولیبدون است.

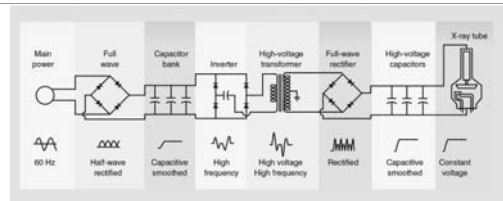


Focusing cup
سرپوش کانونی

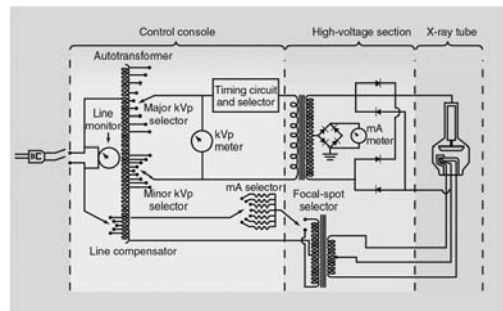


Focusing cup

فیلامان کوچک و بزرگ و موقعیت آنها در سرپوش کانونی



مدار مبدل ژنراتور ولتاژ بالا



شماتیک مدار یک سیستم تصویر برداری اشعه ایکس

سه شرط اساسی برای تولید اشعه ایکس، در تیوب مولد اشعه ایکس ری :

- ۱- منبعی برای ایجاد اختلاف پتانسیل بسیار بالا که به دو سر تیوب برای شتاب دادن الکترونها استفاده می‌شود.
 - ۲- منبعی برای تولید الکترون زمانی که فیلامان گرم است. فیلامان قسمتی از کاتد محسوب می‌شود.
 - ۳- تارگت یا آند که الکترونها در برخورد با آن متوقف می‌گردند و اشعه ایکس تولید می‌شود.
- سه فاکتور مهم برای اینکه تصاویر رادیوگرافی مطلوب داشته باشیم :

- ۱- قدرت نفوذ اشعه (متناسب با اختلاف پتانسیل)
- ۲- تراکم و یا شدت اشعه (میزان فوتونهای ایجاد شده در واحد زمان)
- ۳- زمان

متالیزه شدن تیوب ایکس ری

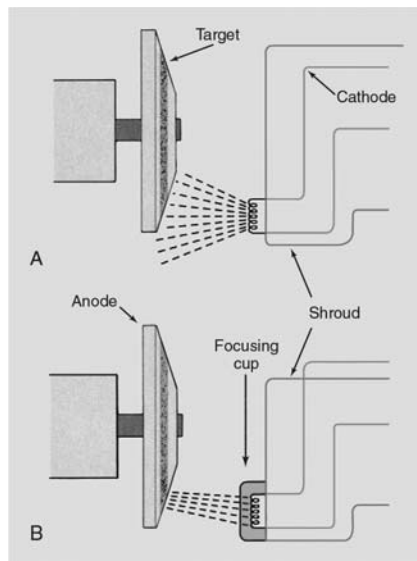
فرآیند متالیزه شدن به این صورت است که اتم‌های تبخیر شده از فیلامان و یا آند به صورت لایه بسیار نازکی روی سطح لامپ رسوب می‌کنند و باعث ایجاد رنگ آفتاب سوختگی بر روی لامپ می‌شود که این لایه تنگستنی دو تاثیر دارد :

- ۱- موجب فیلتر شدن اشعه تولیدی می‌شود.
- ۲- ممکن است در kVpهای بالا باعث ایجاد جرقه الکتریکی بین محفظه شیشه ای و آند شود.

مفهوم فضای بار و اثر فضای بار

الکترونهایی که از سطح فیلامان جدا می‌شوند در اطراف مجاور فیلامان تشکیل ابر الکترونی را می‌دهند که به آن

در تشخیص هیچ کمکی نمی کنند بلکه منجر به قرار گرفتن بیمار و تکنولوژیست رادیولوژیک در مقابل اشعه می شود. محفظه سربی طراحی شده موجب کاهش نشت اشعه به محیط بیرون می شود. محفظه سربی از قرار گرفتن بیمار و تکنولوژیست رادیولوژیک در معرض بیش از حد اشعه جلوگیری می کند. در داخل این محفظه لامپ مولد اشعه ایکس قرار می گیرد. از آنجایی که لامپ مولد اشعه ایکس با ولتاژ بسیار بالا کار می کند با ساخت محفظه سربی از مرگ و میر ناشی از برق گرفتگی برای متخصصان رادیولوژی جلوگیری می شود. این محفظه سربی از لامپ اشعه ایکس در برابر ضربه های مکانیکی جلوگیری می کند. در داخل محفظه سربی روغن وجود دارد که یک عایق کننده در برابر شوک الکتریکی محسوب شده و همچنین موجب انتقال راحت گرما به محیط بیرون می شود. محفظه سربی معمولا دارای یک فن خنک کننده است که برای خنک کردن لامپ مولد اشعه ایکس و روغن داخل محفظه سربی به کار می رود. هنگامی که روغن بیش از حد داغ می شود به دیافراگم هایی که تعبیه شده فشار می آورد و موجب فعال شدن میکرو سوئیچ می شود و تا زمانی که دمای روغن به حالت اولیه بر نگردد و تیوب خنک نشود اجازه اکسپوز داده نمی شود. محفظه سربی بسیار سنگین است. فیلتر ذاتی در مقابل منبع اشعه ایکس قرار می گیرد تا شدت طول موج خاصی را از طیف کاهش دهد تا انتخابی مشخص از طول موج اشعه ایکس داشته باشیم.



A: پراکنده شدن الکترون ها به دلیل نبود سرپوش کانونی
B: متمرکز شدن الکترون ها به دلیل داشتن سرپوش کانونی

انواع فیلامان ها در لامپ اشعه ایکس

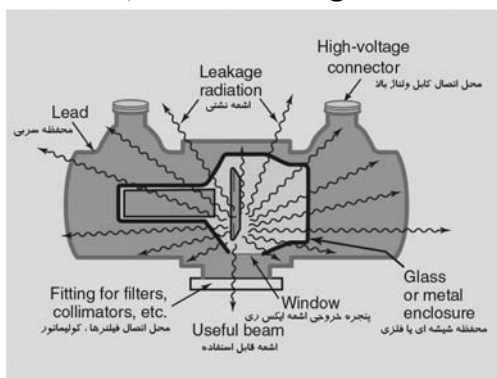
لامپ های اشعه ایکس معمولا دارای دو نوع فیلامان هستند که یکی از آنها را فیلامان کوچک و دیگری را فیلامان بزرگ می نامند. این دو فیلامان در مجاورت یکدیگر و یا یکی در بالا و دیگری در پایین قرار دارد. همچنین قابل ذکر است که در هنگام اکسپوز منحصرا یکی از فیلامان ها استفاده می شود. از فیلامان بزرگتر برای موقعی که اکسپوز بیشتری لازم است استفاده می شود.

تکات مهم در مورد فیلامان ها

در اثر سرخ شدن فیلامان ها اتم های آن تبخیر می شوند و در اثر تبخیر عمر فیلامان کاهش می یابد. این تبخیر موجب شکسته شدن فیلامان می شود. بنابراین هرگز نباید فیلامان را برای مدت زیادی گرم نگه داشت. در بسیاری از لامپ های جدید اشعه ایکس برای جلوگیری از گرم شدن فیلامان زمانی که از آن استفاده نمی شود جریان بسیار کمی در حدود ۵ میلی آمپر از آن عبور می کند. هنگامی که جریان بیشتری با توجه به شرایط لازم باشد مدار کنترل کننده، جریان فیلامان را به حد دلخواه تامین می کند.

محفظه سربی و نقش آن در تیوب ایکس ری

اشعه ایکس ری در داخل تیوب در تمام جهات با قدرت یکسان منتشر می شود. فقط اشعه ای که از پنجره خروجی اشعه ایکس بیرون می آید مورد استفاده قرار می گیرد که به آن پرتو قابل استفاده یا مفید می گویند. اشعه ای که از محفظه سربی عبور می کند اشعه نشتی نامیده می شود. اشعه های نشتی



نقش محفظه سربی در جلوگیری از پراکندگی نشت اشعه ایکس به محیط بیرون

عمر تیوب ایکس ری

طول عمر تیوب اشعه ایکس عمدتا تحت کنترل تکنولوژیست رادیولوژیک قرار دارد. اساسا عمر تیوب اشعه ایکس با استفاده از حداقل عوامل رادیوگرافی mA و KVP و زمان مناسب برای قرار گرفتن بیمار در هر آزمون است. هرچه گیرنده های تصویر سریع تر باشند قطعا موجب طول عمر تیوب اشعه ایکس ری می شوند. خرابی بیشتر تیوب های اشعه ایکس مربوط به حرارت زیاد است که کنترل نمی شود. گرما بیش از حد موجب کاهش طول عمر تیوب اشعه ایکس می شود.

مشخصات و پارامترهای تیوب اشعه ایکس ری

- (mum Diameter) : بر حسب میلیمتر است.
۲۰. زاویه آند (Anode Angle) : بر حسب درجه است.
۲۱. قطر هدف (Target Diameter) : بر حسب میلیمتر است.
۲۲. جنس هدف (Target Construction) : رنیوم-تنگستن در کنار مولیبدن
۲۳. فیلتراسیون ثابت (Permanent Filtration) : بر حسب میلیمتر است.
۲۴. عامل تکنیک نشت (Leakage Technique Factor) : بر حسب میلی آمپر است.
۲۵. روش خنک کننده (Cooling Method) : معمولا هوا طبیعی یا اجباری است.
۲۶. حداکثر دمای حجم روغن (-Maximum Bulk Oil Temperature) : بر حسب درجه سانتی گراد است.
۲۷. محفظه شیشه ای (Glass Frame) : جنس آن پوروسیلیکات
۲۸. فیلتر ذاتی (Inherent Filtration) : بر حسب میلیمتر است
۲۹. نقطه کانونی (Focal Spot) : بر حسب میلیمتر است.
۳۰. زاویه هدف (Target Angle) : بر حسب درجه است.
۳۱. جنس هدف (Target Material) : جنس آن تنگستن است.
۳۲. جنس فیلامان (Filament Material) : جنس آن تنگستن است.
۳۳. جنس سرپوش کانونی (Focus Cup Material) : جنس آن نیکل است.
۳۴. بدنه آند (Anode Body) : جنس آن مس است.
۳۵. ظرفیت حرارتی آند (Anode Heat Storage Capacity) : بر حسب کیلوژول است.
۳۶. حداکثر نرخ اتلاف گرما آند (-Max. Anode Heat Dissipation Rate) : بر حسب کیلو زول بر دقیقه است.
- منابع:

- (Tube Voltage) : بر حسب کیلو ولت است.
۲. مقدار اسمی نقطه کانونی (Nominal Focal Spot Value) : بر حسب میلیمتر است و برای فوکوس بزرگ و کوچک متفاوت است.
۳. سرعت آند (Anode Speed) : هرچه فرکانس بالاتر برود سرعت چرخش زیاد می شود و بر حسب min^{-1} است.
۴. مقاومت استاتور (Stator Resistance) : مقاومت سیم پیچ ها در حد اهم است و مقاومت بین محفظه و ترمینال ولتاژ پایین در حد مگا اهم است.
۵. محدوده دمای کاری محفظه (Normal Operating Range of the Housing Temperature) : بر حسب درجه سانتی گراد است.
۶. سوئیچ حرارتی (Thermal Switch) : به طور معمول بسته شده، است (اصطلاحا نرمالی کلوز) و در یک محدوده دمایی به صورت باز و بسته عمل می کند.
۷. ماکزیمم ولتاژ تیوب ایکس ری (Maximum X-ray Tube Voltage) : بر حسب کیلو ولت است.
۸. اختلاف ولتاژ بین آند یا کاتد و زمین (Between Anode and Ground) : بر حسب کیلو ولت است.
۹. حداقل ولتاژ تیوب ایکس ری (Minimum X-ray Tube Voltage) : بر حسب کیلو ولت است.
۱۰. حداکثر جریان تیوب اشعه ایکس (Maximum X-ray Tube Current) : بر حسب میلی آمپر است و برای فوکوس بزرگ و کوچک متفاوت است.
۱۱. حداکثر جریان فیلامان (-Maximum Filament Current) : بر حسب میلی آمپر است و برای فوکوس بزرگ و کوچک متفاوت است.
۱۲. ولتاژ فیلامان (Filament Voltage) : بر حسب ولت است و برای فوکوس بزرگ و کوچک متفاوت است.
۱۳. محدوده فرکانس فیلامان (-Filament Frequency Limit) : بر حسب کیلوهرتز است.
۱۴. مقدار حرارت آند (Anode Heat Content) : بر حسب کیلو ژول است.
۱۵. حداکثر حرارت اتلافی آند (Maximum Anode Heat Dissipation) : بر حسب وات است.
۱۶. محدوده دمای کاری (-Operating Limits Temperature) : بر حسب درجه است.
۱۷. محدوده رطوبت کاری (Operating Limits Humidity) : بر حسب درصد است.
۱۸. فشار جو (Atmospheric Pressure) : بر حسب کیلو پاسکال است.
۱۹. طول کلی و حداکثر قطر (-Overall Length and Maximum Diameter) :

Christensen's Physics of Diagnostic Radiology [4th ed.]
Author(s) : Thomas Curry, James Dowdey, Robert Murry
The Physics of Radiology and Imaging Author: Thayalan K.
Radiography in the Digital Age: Physics, Exposure, Radiation
Biology [1 ed.] Author(s) : Quinn B. Carroll, M.ED., R.T.
Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and
students Author(s) : Dance D.R., Christofides S., Maidment
A.D.A., McLean I.D., Ng K.H. (Tech. Ed.)
Physics for Diagnostic Radiology [3 ed.] Author (s) : Dendy
,Philip Palin ,Heaton ,Brain
Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protec-
tion, [10 ed.] Author(s) : Stewart C. Bushong ScD FACR FACMP
<https://www.oxford-instruments.com>
<http://www.kailongx-ray.com/>
<http://www.toshiba-tetd.co.jp>
<https://www.varian.com>
<https://www.oem-xray-components.siemens.com>
<https://www.usa.philips.com>