

مروری بر آشکارسازهای فروسرخ

رضا مهریار^۱، زهرا خیراندیش^۲

۱ استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز mehryar@sutech.ac.ir

۲ دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

چکیده

امروزه با پیشرفت دانش و فناوری، بهره‌گیری از تجهیزات جدید و پیشرفته برای ارتقای سطح زندگی و همچنین توسعه صنعتی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله تجهیزات پیشرفته امروزی دوربین‌های مادون قرمز است. با استفاده از این تجهیز و با عنایت به پرتو فروسرخ ساطع شده از اجسام می‌توان توزیع دمای سطح جسم یا تفاوت دمای جسم با محیط را با دقت خوبی اندازه‌گیری کرد. وجود یک آشکارساز حساس به پرتوهای فروسرخ در یک دوربین مادون قرمز امکان تبدیل پرتو فروسرخ دریافتی به سیگنال الکتریکی را فراهم می‌سازد و اطلاعاتی در خصوص شرایط حرارتی جسم را به کاربر ارائه می‌نماید. در این مقاله سعی شده است پس از بیان خصوصیات پرتوهای فروسرخ، انواع آشکارسازهای مورد استفاده در این دوربین‌ها معرفی شود. همچنین پارامترهای مؤثر بر عملکرد آشکارساز نیز بیان و جدیدترین موارد استفاده از دوربین‌های فروسرخ عنوان می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با توجه به آخرین فناوری‌های مورد استفاده در آشکارسازهای فروسرخ، هم‌اکنون از روش ترموگرافی فروسرخ در صنایع گوناگون از جمله صنعت ساختمان، خودروسازی، پتروشیمی، برق و صنایع هوافضا و پزشکی به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود.

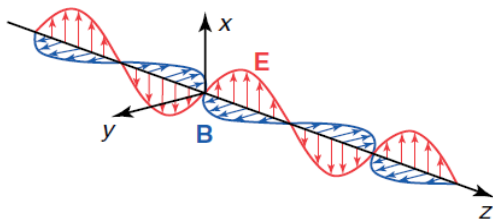
واژگان کلیدی: آشکارساز حرارتی^۱، پرتو فروسرخ^۲، ترموگرافی^۳، دماسنج مقاومتی^۴، دوربین مادون قرمز^۵

۱. مقدمه

بلندتر از دامنه نور مرئی و کوتاه‌تر از دامنه امواج رادیویی است. پیش از اینکه به بررسی دوربین‌های آشکارساز بررسی شود، مرور ماهیت امواج الکترومغناطیس و ویژگی‌های آن نیاز است. در علم فیزیک می‌توان انتقال انرژی تشعشی را به دو صورت بررسی کرد: پدیده موجی و ذره‌ای. بررسی این انتقال انرژی به صورت پدیده‌ای موجی منجر به کشف علم الکترومغناطیس توسط ماکسول شد. ماکسول با استفاده از معادلات ریاضی نشان

تابش فروسرخ^۶ تشعشی حرارتی است که به صورت اشعه مادون قرمز از جسمی با دمای مشخص ساطع و به محیط منتقل می‌شود. اشعه مادون قرمز بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است که زیر بخش قرمز طیف مرئی قرار دارد، از اینرو به نام مادون قرمز نامگذاری می‌شود. اشعه مادون قرمز به قسمی از طیف امواج الکترومغناطیسی با محدوده طول موج بین ۰/۷۸ تا ۱۰۰۰ میکرومتر گفته می‌شود که طول موجی

مرئی قرار می‌گیرد. به همین سبب به آنها امواج فروسرخ یا مادون قرمز می‌گویند.



شکل ۱. نحوه قرارگیری میدان الکتریکی و مغناطیسی

در یک موج الکترومغناطیس [۱]

پرتو فروسرخ کاربرد بسیاری در زندگی روزمره دارد؛ از ساده‌ترین موارد آن می‌توان به انواع ریموت کنترل، تلفن همراه، دستگاه فیزیوتراپی، ابزارهای دید در شب و آشکارسازهای فروسرخ^{۱۴} اشاره کرد. تغییرات اساسی در اختراع آشکارسازهای فروسرخ در بازه‌های صدساله رخ داده است. سر ویلیام هرشل^{۱۵} در سال ۱۸۰۰ م به‌هنگام مطالعه تابش خورشید پرتو فروسرخ را کشف کرد. پس از او، ماکس پلانک^{۱۶} در سال ۱۹۰۰ م موفق شد قانون توزیع طیفی گسیل جسم سیاه را به‌دست آورد، اما تا پنجاه سال پس از آن دوربین‌های آشکارساز فروسرخ اختراع نشد و در زمان اختراع نیز تنها در کاربردهای نظامی مورد توجه قرار گرفت. از سال ۱۹۷۰ م دوربین‌های دارنده آشکارساز فروسرخ در ابعاد کوچک و قابل حمل ساخته شدند که سیستم اسکن با آشکارساز فوتونی مجهز به سیال خنک‌کننده^{۱۷} نیتروژن مایع داشتند. این سیستم‌ها عکاسی مادون قرمز را به‌صورت تجاری و قابل استفاده در صنعت ممکن ساختند، اما به‌دلیل نیاز به خنک‌کاری بسیار زیاد هزینه آنها بالا بود. پیشرفت‌های قابل توجه در فناوری میکروسیستم‌ها در انتهای قرن بیستم سبب اختراع نخستین دوربین‌های آشکارساز میکرو فاقد سیستم خنک‌کننده به نام بلومتر شد که سبب ایجاد سیستم‌های عکس‌برداری فروسرخ با نتایج قابل اطمینان‌تری شد. در حال حاضر با وجود به‌کارگیری فناوری روز، این دوربین‌ها به‌دلیل تولید انبوه و تجاری و تقاضای استفاده در محیط‌های علمی و صنعتی با قیمتی مناسب عرضه می‌شوند. با این حال بسیاری از کاربران و حتی برخی از متخصصان حرفه‌ای عکاسی نمی‌توانند به‌درستی معنای علمی عکس‌های حاصله را متوجه شوند.

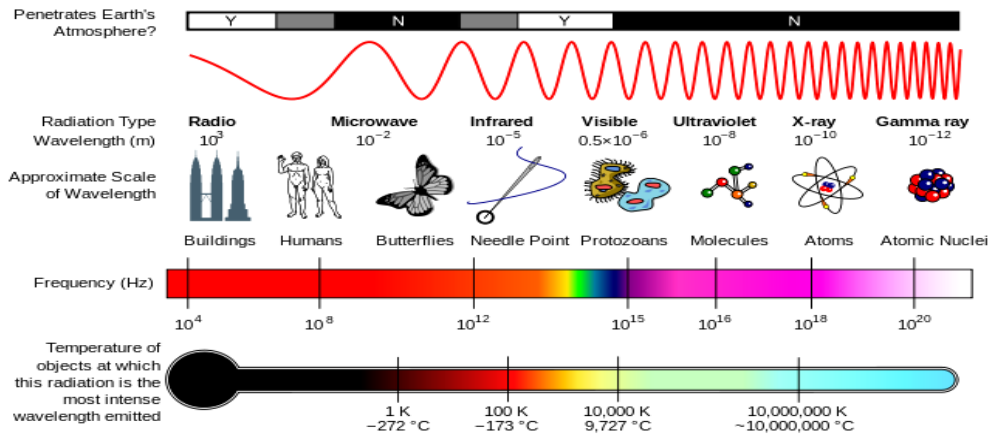
داد که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌توانند رفتار موجی‌شکلی داشته باشند و سرعت انتشار امواج الکترومغناطیس در خلأ برابر با سرعت نور است و نتیجه گرفت که نور نیز یک موج الکترومغناطیس است. امواج آشفته‌گی‌های متناوبی هستند که با گذشت زمان و هنگام انتشار در محیط شکل خود را حفظ می‌کنند. تناوب مکانی آنها طول موج^۷ نامیده و با λ (برحسب متر) نمایش داده می‌شود و تناوب زمانی موج دارای یکای ثانیه است و معکوس آن را فرکانس^۸ می‌نامند و با f یا ν (برحسب هرتز) نمایش می‌دهند. اگر c (برحسب متر بر ثانیه) سرعت انتشار موج^۹ در محیط در نظر گرفته شود، می‌توان رابطه^۱ را بین این سه پارامتر نوشت.

$$c = \nu \lambda \quad (۱)$$

امواج براساس نحوه انتشار به دو دسته امواج طولی^{۱۰} و عرضی^{۱۱} تقسیم می‌شوند. امواج طولی دارای نوسانات حرکتی در راستای طول بوده، حال آنکه امواج عرضی در راستای عمود بر راستای اصلی حرکت نوسان می‌کنند. در امواج عرضی آشفته‌گی‌ها می‌توانند در صفحات مختلفی عمود بر راستای انتشار موج نوسان کنند که به آن صفحه پلاریزاسیون^{۱۲} گفته می‌شود. آشفته‌گی‌ها در امواج الکترومغناطیس همان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بوده که مطابق شکل ۱ در دو صفحه عمود بر هم قرار داشته و عمود بر راستای انتشار موج می‌باشند. نور و تشعشع فروسرخ موج الکترومغناطیس‌اند، اما این امواج که از خورشید، آتش، شمع یا لامپ ساطع می‌شوند تنها در دو صفحه پلاریزه قرار نداشته، پس از انعکاس از روی یک سطح یا با عبور از صفحاتی خاص پلاریزه می‌شوند.

مطابق شکل ۲ امواج الکترومغناطیس دربرگیرنده طیف گسترده‌ای از امواج‌اند که از ریزموج گاما با طول موج^{۱۲-۱۰} متر شروع شده و تا امواج بلند رادیویی با طول موج^{۱۰} متر ادامه می‌یابند. تابش فروسرخ^{۱۳} یا به‌عبارت دیگر اشعه مادون قرمز بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است که طول موج آن در بازه^{۷/۸} تا ۱۰۰۰ میکرومتر قرار می‌گیرد و پس از برخورد با جسم موجب گرم شدن آن می‌شود.

این امواج بخشی از پرتوهای نامرئی ساطع‌شده از خورشید را نیز تشکیل می‌دهند و دارای طول موج بیشتر از امواج مرئی بوده و در نمودار طیف الکترومغناطیس بعد از رنگ قرمز در امواج



شکل ۲. طیف امواج الکترومغناطیس [۲]

۲. مروری بر مفاهیم آشکارساز فرسرخ

تکنیک اندازه‌گیری دما توسط آشکارساز فرسرخ، ترموگرافی نامیده می‌شود و در آن دمای سطح جسم با تصویربرداری تعیین می‌گردد. در یک آشکارساز فرسرخ، پرتو ساطع‌شده از جسم در حین عبور از محیط اطراف و لنز دوربین تضعیف می‌شود. علاوه بر این، محیط اطراف دوربین، لنز و سیستم اپتیکی دوربین و سایر اجسام داغ درون محیط با توجه به میزان دمای خود پرتو فرسرخ گسیل می‌نمایند و سبب خطا در تصویر نهایی می‌گردند. لذا امروزه تلاش بیشتر سازندگان رفع آثار محیطی بر پرتو فرسرخ است. برخی از پارامترهای اثرگذار بر کیفیت نتایج حاصل از یک آشکارساز فرسرخ عبارت‌اند از ضریب گسیل^{۱۸} جسم، فاصله دوربین تا جسم، اندازه جسم، رطوبت نسبی و دمای محیط، فشار بارومتریک، بازه دمایی، اختلاف دمای موجود در محیط، وابستگی ضریب گسیل به طول موج و دما و جهت، نوع فیلترهای فرسرخ مورد استفاده، میزان تابش خورشید، سرعت باد، آثار سایه در نزدیکی جسم، خواص دمایی جسم و جز این‌ها.

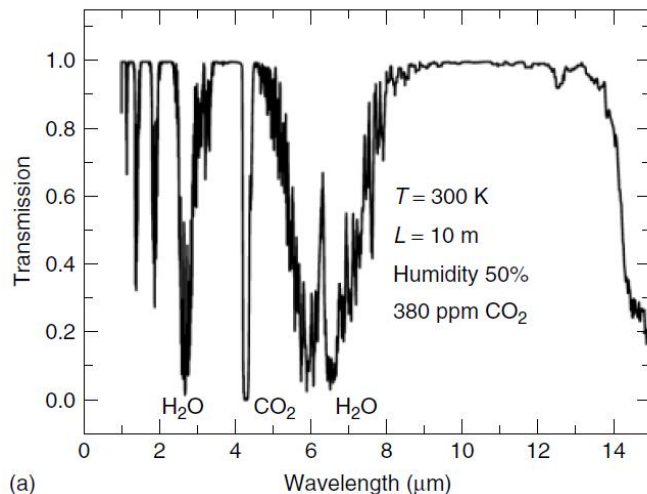
۲-۱. محیط پیرامون آشکارساز

پرتو فرسرخ گسیل‌یافته از جسم قبل از رسیدن به آشکارساز تحت تأثیر محیط قرار گرفته و طیف خاصی از پرتو جذب می‌شود. محیط اطراف یک آشکارساز ترکیبی از چند گاز طبیعی، مقداری بخار آب و ذرات معلق است. گازهای تک‌اتمی (مانند آرگون) و گازهای دو اتمی با اتم‌های مشابه (مانند نیتروژن و اکسیژن) قادر به جذب پرتو فرسرخ در بازه تابش حرارتی نیستند. در حالی که مولکول‌های دو یا چند اتمی با اتم‌های

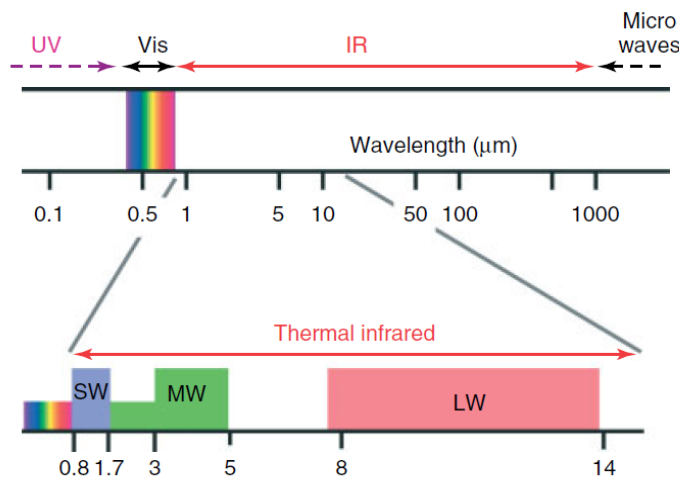
متفاوت مانند آب، متان، مونو اکسید نیتروژن، مونو اکسید کربن و دی اکسید کربن می‌توانند پرتو فرسرخ را جذب کنند. در شکل ۳ میزان پرتو فرسرخ تضعیف‌شده در اثر طی مسافت ۱۰ متری توسط محیط پیرامونی در بازه‌ای از طول موج‌ها نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان جذب پرتو فرسرخ توسط دی اکسید کربن و بخار آب موجود در هوا بسیار قابل توجه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که وجود ذرات معلق و ابر نیز می‌تواند میزان جذب پرتو را تشدید کند. علاوه بر مولکول‌های ذکرشده گازهایی چون کریپتون، اکسیدهای نیتروژن و اوزون، که غلظت کمی دارند و میزان غلظت آنها با ارتفاع از سطح دریا تغییر می‌کند، بر میزان پرتو فرسرخ جذب‌شده توسط محیط پیرامون آشکارساز تأثیر می‌گذارند. اگر به این نمودار دقت شود، می‌توان دریافت در بازه‌های طول موج حدود ۲/۷ آب و دی اکسید کربن، ۴/۲ (دی اکسید کربن)، بین ۵/۵ تا ۷ (آب) و بیشتر از ۱۴ میکرومتر (آب و دی اکسید کربن) اکثر پرتوهای فرسرخ جذب می‌شود و آشکارسازها قادر به شناسایی پرتو فرسرخ در این نواحی از طول موج نمی‌باشند. بر همین اساس در آشکارسازهای فرسرخ تنها بخش کوچکی از طیف فرسرخ مورد توجه قرار می‌گیرد (شکل ۴)؛ به طوری که محدوده کارکرد هر دوربین در یکی از سه طیف بلند، متوسط و کوتاه قرار می‌گیرد و به‌عنوان مشخصه دوربین بیان می‌شود. سه بازه طیفی که در ترموگرافی مورد توجه است عبارت‌اند از ناحیه با طول موج بلند^{۱۹}، که در برگیرنده ناحیه ۷ تا ۱۴ میکرومتر است، ناحیه طول موج متوسط^{۲۰}، که شامل بازه ۳ تا ۵ میکرومتر است و ناحیه با طول موج کوتاه^{۲۱} که معرف ناحیه ۰/۹ تا ۱/۷

مودترن^{۲۲} و های‌ترین^{۲۴} اشاره کرد. این برنامه‌ها با ترکیب ضریب جذب و پخش ذرات موجود در هوا، مدلی از میزان تضعیف پرتوهای فرسوخ به‌هنگام عبور از محیط را فراهم می‌کنند.

میکرومتر می‌باشد. امروزه بسته‌های نرم‌افزاری قادرند تا میزان تضعیف پرتو فرسوخ در جو توسط ذرات مختلف در فواصل متفاوت را محاسبه کنند که می‌توان از میان آنها به لاوترن^{۲۲}،



شکل ۳. میزان پرتو فرسوخ عبور کرده از محیط [۱]



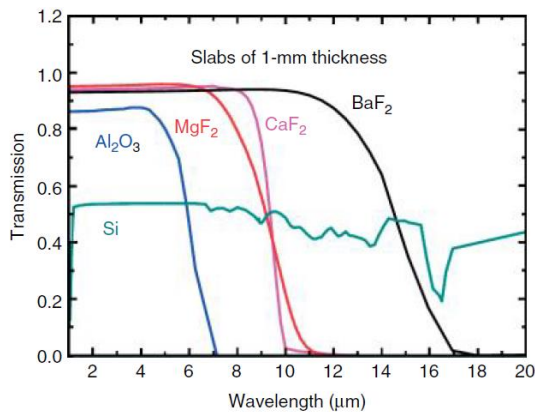
شکل ۴. محدوده کاری یک آشکارساز فرسوخ [۱]

کریستال‌هایی که در طول موج‌های کاری آشکارسازها ضریب عبوردهی قابل قبولی دارند می‌توان به فلورید باریم^{۲۵}، نمک طعام، کادمیوم تلوراید^{۲۶}، گالیوم آرسنید^{۲۷}، لیتیوم فلوراید^{۲۸}، منیزیوم فلوراید^{۲۹}، پتاسیم بروماید^{۳۰}، سلنید روی^{۳۱}، روی سولفید^{۳۲} و برخی مواد معدنی اشاره کرد. این مواد براساس بازه طول موج قابل استفاده دسته‌بندی می‌شوند. در شکل ۵ میزان ضریب گذردهی، بازتاب و جذب یک کریستال نمک طعام با ضخامت ۷/۵ میلی‌متر نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان ضریب گذردهی این کریستال تا طول

۲-۲. لنز یک آشکارساز فرسوخ

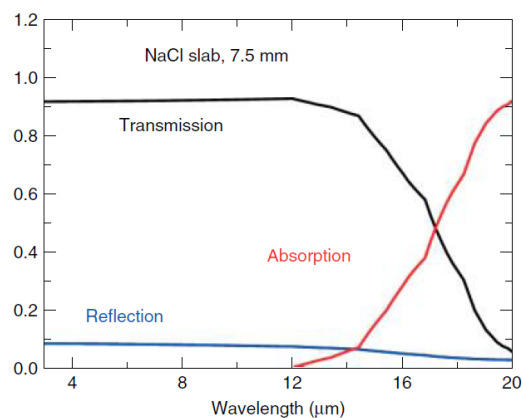
در یک آشکارساز، لنزهای دوربین به‌عنوان جسم جامد در مسیر پرتوی فرسوخ می‌باشند و سبب تضعیف پرتو دریافتی توسط دوربین می‌گردند. به‌طور معمول سعی می‌شود از لنزهایی با سطح صاف (صیقلی) استفاده شود، به‌طوری‌که آثار پخش پرتوها از سطح لنز قابل صرف‌نظر باشد و تضعیف پرتو تنها در اثر بازتابش از روی سطح لنز و جذب پرتو درون لنز صورت پذیرد. بدین ترتیب در ساخت لنز این دوربین‌ها موادی مطلوبند که بیشترین ضریب عبوردهی را داشته باشند. از جمله

نیست. لنزها، پنجره‌ها و فیلترهای فروسرخ به‌طور معمول از موادی چون فلورید باریوم، کلسیم فلوراید، منیزیوم فلوراید و اکسید آلومینیوم در طول موج‌های تا ۵ میکرومتر و از موادی مانند سلنید روی و روی سولفید برای طول موج‌های بلند ساخته می‌شوند که با روش‌های پرس گرم خاصی تولید می‌شوند. در شکل ۶ لنزهای مطلوب برای آشکارسازهایی در طول موج متوسط نمایش داده شده است.

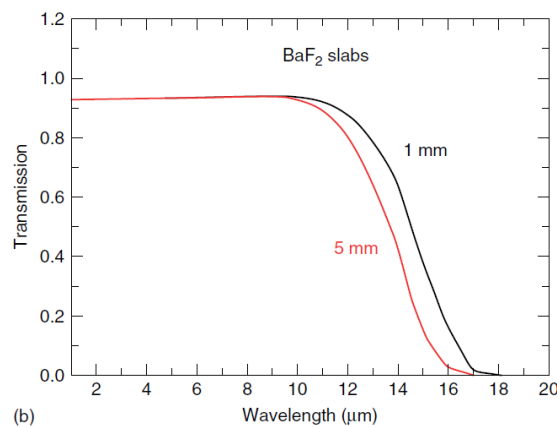


شکل ۶. لنزهای مورد استفاده در ناحیه طول موج متوسط [۱]

موج ۱۲ میکرومتر بیش از ۹۰ درصد است و تا طول موج ۱۴ میکرومتر نیز ضریب گذردهی حدود ۸۷ درصد دارد. مقادیر نمایش داده شده به‌صورت نظری به‌دست آمده‌اند که تطابق بسیار مناسبی با مقادیر آزمایشگاهی دارند [۱]. اگرچه میزان گذردهی این کریستال مورد قبول است، اما چون این کریستال جاذب رطوبت است و باید در مقابل آب و رطوبت محافظت گردد، در دوربین‌های فروسرخ به‌طور معمول قابل استفاده



شکل ۵. ضریب گذردهی، جذب و بازتاب کریستال نمک طعام [۱]

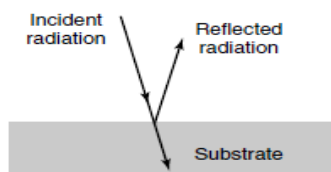


شکل ۷. تأثیر ضخامت لنز فلورید باریوم بر ضریب گذردهی [۱]

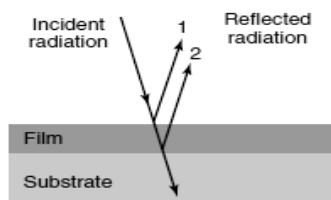
پرتو فروسرخ است، به‌طوری‌که اگر دو موج با فاز یکسان با هم برخورد کنند، یک موج قوی از برخورد این دو حاصل می‌گردد و اگر دو موج با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه با یکدیگر برخورد نمایند موج ضعیف‌تری از برخورد این دو ایجاد می‌شود (شکل‌های ۸ و ۹). در حالت اول دامنه موج، که متناسب با انرژی آن است، افزایش می‌یابد و در حالت دوم دامنه موج و به تناسب انرژی آن کاهش می‌یابد. بر این اساس، در سطح تماس لنز با محیط

در هنگام انتخاب لنز باید به ضخامت آن نیز توجه کرد؛ زیرا ضخامت یک لنز بر میزان ضریب گذردهی آن اثر قابل توجهی دارد. در شکل ۷ تأثیر ضخامت لنز بر میزان ضریب گذردهی نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در طول موج‌های بلند لنز نازک‌تر رفتار بهتری دارد. برای بهبود میزان ضریب گذردهی مواد می‌توان از پوشش‌های ضدبازتاب^{۳۳} استفاده کرد. اساس کار این پوشش‌ها بر مبنای خاصیت موجی

می‌توان پوشش‌هایی افزود که بازتابش پرتو خنثی شود. لنزی از جنس جرمانیوم^{۳۴} یا سیلیکون^{۳۵} را در نظر بگیرید.

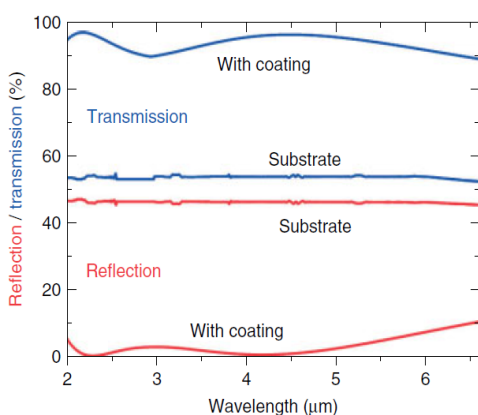


(الف)



(ب)

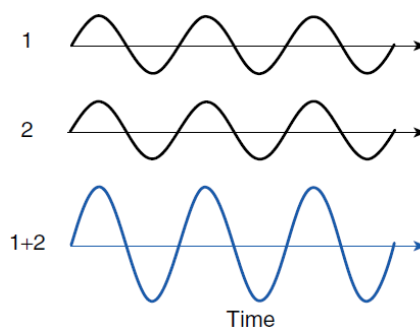
شکل ۱۰. سازوکار عملکرد پوشش ضد بازتابش [۱]



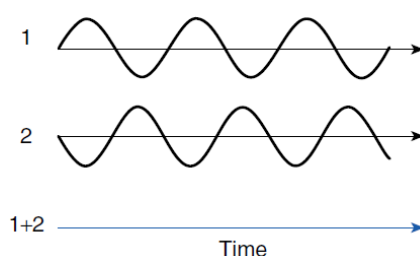
شکل ۱۱. اثر پوشش ضد بازتابش یک‌لایه و چندلایه

بر ضریب گذردهی یک لنز سیلیکونی [۱]

همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، میزان ضریب بازتابش یک لنز شیشه‌ای - که مورد اصابت پرتوهایی در ناحیه مرئی قرار گرفته است - در هنگام استفاده از پوشش ضد بازتابش چندلایه به‌میزان قابل توجهی کاهش یافته است. به همین دلیل امروزه لنزهایی با پوشش چندلایه کارآمدترند. بازتاب حرارتی نیز مشکلی رایج در تصویرسازی فروسرخ می‌باشد که سبب ایجاد نتایج نادرست می‌شود. در واقع نه تنها سطوحی که از دیدگاه اتمی صاف‌اند مانند شیشه، چوب و فلز صیقل داده شده و سطوح مرطوب، که سطوح ناهمواری چون آجر و بتون نیز می‌توانند به‌راحتی پرتو فروسرخ را بازتاب کنند. همچنین شخص تصویربردار نیز خود یک منبع قابل توجه بازتابش پرتو فروسرخ است که معمولاً هنگام استفاده از دوربین مادون قرمز کمتر به آن توجه می‌شود. در شکل ۱۳ دو نمونه از تصویربرداری معمولی



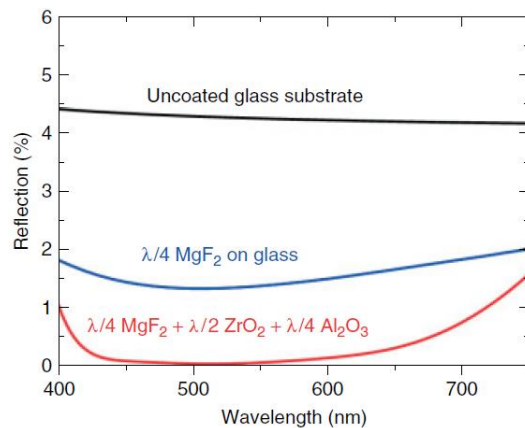
شکل ۸. نمایش برخورد تقویت‌کننده [۱]



شکل ۹. نمایش برخورد تضعیف‌کننده [۱]

مطابق شکل ۱۰، اگر لایه‌ای نازک از یک ماده با قابلیت گذردهی مناسب روی این لنز قرار بگیرد، در اثر برخورد یک پرتو با سطح، دو بازتابش رخ می‌دهد: یکی از سطح پوشش و دیگری از مرز میان پوشش و لنز. پرتو بازتاب‌شده از سطح بالایی ۱ و پرتو بازتاب‌شده از مرز میانی دو ماده ۲ در سطح بالای پوشش با هم برخورد خواهند کرد. لذا می‌توان ضخامت پوشش را به‌گونه‌ای انتخاب کرد که پرتو ۲ در هنگام برخورد با پرتو ۱ اختلاف فاز ۱۸۰ درجه‌ای داشته باشد. برای اینکه چنین نتیجه‌ای حاصل شود، ضخامت پوشش می‌بایست به میزان ۰/۲۵ برابر طول موج باشد تا پرتو ۲ پس از دوبار طی نمودن ضخامت پوشش، با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه با پرتو ۱ برخورد نماید. به این ترتیب می‌توان از بازتاب پرتو جلوگیری نمود. در شکل ۱۱ تأثیر پوشش ضد بازتابش روی ضریب بازتابش و گذردهی یک لنز سیلیکونی نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان ضریب بازتابش در حضور یک پوشش ضد بازتابش به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. امروزه پوشش‌های ضد بازتابش در دوربین‌های متداول عکس‌برداری در ناحیه طول موج مرئی نیز استفاده می‌شود.

و فرورسرخ نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان بازتابش از سطح دیوار در یک عکس معمولی بسیار ناچیز است، اما در تصویر حاصل از یک دوربین فرورسرخ بازتاب حرارتی بسیار قابل توجه است. این بدان معناست که تعیین دمای دیوار وقتی مجاور با جسمی با دمای متفاوت است خطای زیادی خواهد داشت.



شکل ۱۲. مقایسه تأثیر پوشش ضد تابش چندلایه و یک‌لایه بر ضریب بازتابش یک لنز شیشه‌ای در طول موج مرئی [۱]

علت این تفاوت را می‌توان در نسبت طول موج پرتو برخورد کرده با سطح دیوار و اندازه زبری سطح یافت. به‌طوری‌که اگر پرتو برخوردی طول موجی کوچکتر و یا هم‌مرتبه با زبری سطح داشته باشد، بخش اعظم پرتو برخوردی پخش خواهد شد و سطح عملکرد آینه‌ای بسیار ضعیفی خواهد داشت؛ اما اگر طول موج پرتو برخوردی بزرگتر از اندازه زبری سطح باشد، پرتو بازتاب خواهد شد. برای درک بهتر موضوع، نمایی نزدیکتر از جسم و بازتاب آن در شکل ۱۴ ارائه شده است که تفاوت بازتابش تصویر یک شخص در یک صفحه برنزی بسیار اکسیدشده در دو روش عکس‌برداری معمولی و فرورسرخ نمایش داده شده است. اندازه زبری این صفحه برنزی در حدود ۱ میکرومتر است. در هنگام عکس‌برداری معمولی (در محدوده ۰/۴ تا ۰/۷۶ میکرومتر)، طول موج پرتوهای مرئی برخوردی با صفحه کوچکتر از سایز زبری صفحه می‌باشد، بنابراین پرتوها جذب یا پخش می‌شوند و سطح رفتار آینه‌ای بسیار ضعیفی از خود نشان خواهد داد. اما اگر همان صحنه با استفاده از یک دوربین مادون قرمز با بازه کاری ۸ تا ۱۴ میکرومتری تصویربرداری شود، نتیجه جالبی حاصل خواهد شد. چون اندازه

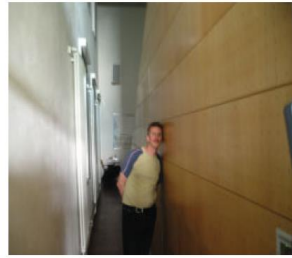
زبری کوچکتر از طول موج پرتوهای برخورد کرده است، سطح مانند آینه عمل کرده و پرتو را بازتاب می‌نماید. این موضوع اهمیت نبود اجسامی با دمای قابل توجه در مجاورت سطح مورد نظر را نشان می‌دهد. البته در صورت وجود باید آثار آن حذف شود.

همان‌طور که پیش از این عنوان شد، برای رفع این مشکل از فیلترهای پلاریزه‌کننده استفاده می‌شود. ماده پلاریزه‌کننده به‌کاررفته در فیلتر به‌گونه‌ای عمل می‌کند که پرتو فرورسرخ را از خود عبور داده و میدان الکتریکی پرتو پس از عبور از آن تنها در جهت عمود بر پرتو باقی می‌ماند و در سایر جهات از بین می‌رود. یک پلاریزه‌کننده به‌طور معمول از یک قطعه فلز کوچک ساخته می‌شود.

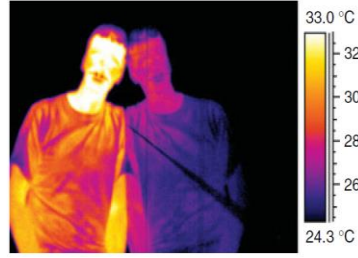
۳. انواع آشکارسازهای فرورسرخ

آشکارسازهای فرورسرخ به‌عنوان یک مبدل عمل می‌کنند، به‌طوری‌که تابش دریافتی را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌نمایند. در حقیقت آشکارساز هسته مرکزی یک سیستم تصویربرداری فرورسرخ را تشکیل می‌دهد و کیفیت این تبدیل تعیین‌کننده نحوه عملکرد دستگاه است. آشکارسازهای فرورسرخ به دو دسته تبدیل می‌شوند: آشکارسازهای فوتونی^{۳۴} و آشکارسازهای حرارتی^{۳۷}. در یک آشکارساز فوتونی، طی یک تبدیل تک‌مرحله‌ای و به‌واسطه جذب فوتونها از تابش فرورسرخ دریافتی، میزان تمرکز یا قابلیت حرکت حامل‌های بدون شارژ در امان‌های آشکارساز تغییر می‌نماید. حال آنکه آشکارسازهای حرارتی تبدیل‌کننده‌های دو مرحله‌ای می‌باشند. بدین ترتیب که ابتدا با توجه به جذب تابش دریافتی، دمای ماده آشکارساز تغییر می‌کند و سپس به‌واسطه آن و با توجه به تغییر خواص ماده، سیگنال الکتریکی ایجاد می‌شود که نمونه بارز آن تغییر مقاومت الکتریکی در بلومتر است.^{۳۸} علاوه بر این، آشکارسازها با استفاده از پارامترهای بسیاری دسته‌بندی می‌شوند. با توجه به بازده یک سیستم عکاسی می‌توان پارامترهای زیر را نام برد:

۱. ناحیه پاسخ هر پیکسل که معادل با ناحیه هندسی هر پیکسل است و به‌طور معمول برای آشکارسازهای حرارتی بین ۵۰×۵۰ تا ۲۵×۲۵ میکرومتر و برای آشکارسازهای فوتونی بین ۵۰×۵۰ تا ۱۵×۱۵ میکرومتر است.



(ب)

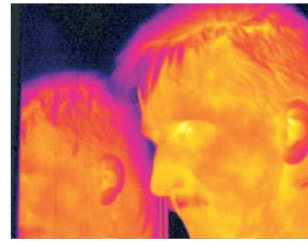


(الف)

شکل ۱۳. مقایسه تصویر حاصل از الف) تصویربرداری فروسرخ، ب) تصویربرداری معمولی [۱]



(ب)



(الف)

شکل ۱۴. تصویربرداری در مجاورت سطح برنزی با زبری ۱ میکرومتر، الف) دوربین فروسرخ، ب) دوربین معمولی [۱]

دما به سیگنال‌های الکترونیکی خروجی ضروری است که این کار با وابستگی دمایی هر کمیت فیزیکی ممکن می‌شود. مثلاً وابستگی دمایی مقاومت الکتریکی ماده در بلومتر (یا همان دماسنج مقاومتی) را می‌توان نام برد. همچنین تولید ولتاژ به‌واسطه اختلاف دما در ترموکوپل یا پیل ترموالکتریک و یا وابستگی دمایی پلاریزاسیون الکتریکی در آشکارسازهای پیزوالکتریک از دیگر نمونه‌های آن است. در حال حاضر، در دوربین‌های فروسرخ تنها از وابستگی مقاومت الکتریکی به دما، مانند آنچه در بلومتر وجود دارد، استفاده می‌شود. اثر بلومتری^{۴۱} مواد، تغییر مقاومت الکتریکی آنها بر اثر افزایش دمای ایجادشده از جذب تابش حرارتی در المان آشکارساز می‌باشد. وابستگی دمایی مقاومت حرارتی به دما را می‌توان با ضریب β بیان کرد:

$$\beta = \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial T} \quad (1)$$

حال فرض می‌شود جریان پایا با آمپراژ I وارد ماده مورد استفاده در بلومتر شود، در این صورت با توجه به مقاومت حرارتی، ولتاژ ایجادشده حاصل ضرب جریان در مقاومت خواهد بود که میزان آن با توجه به ارتباط ولتاژ با مقاومت و ارتباط مقاومت با دما، تعیین‌کننده دماست. پاسخدهی بلومتر به شدت تحت تأثیر β (که مقداری منفی دارد) می‌باشد. به همین جهت امروزه در بلومترها از مواد نیمه‌هادی با ضریب حرارتی حدود ۲-

۲. ثابت زمانی که زمان پاسخدهی آشکارساز را بیان می‌کند

۳. پاسخ طیفی، نسبت ولتاژ آشکارساز به شار تابش پرتو در طول موج را بیان می‌نماید

۴. ولتاژ نویز

۵. توان معادل طیف نویز^{۴۲}، که معادل حداقل اختلاف انرژی تابشی قابل رؤیت تعریف می‌شود

۶. قابلیت آشکارسازی طیف و دمای کاری

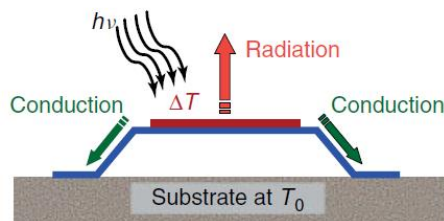
البته جدای از پارامترهای فوق، پارامترهای دیگری نیز مؤثرند. از آن جمله می‌توان حداقل اختلاف دمای قابل رؤیت توسط یک آشکارساز فروسرخ^{۴۰} را نام برد. لنز آشکارساز و تمامی فاکتورهای تضعیف‌کننده گسیل فروسرخ سبب افزایش NETD و در نتیجه کاهش عملکرد دستگاه می‌گردد.

۴. آشکارسازهای حرارتی

در آشکارسازهای حرارتی امواج الکترومغناطیس جذب‌شده به گرما تبدیل می‌شود که نتیجه آن افزایش دمای حسگر آشکارساز است. بازده این تبدیل انرژی با استفاده از درصد تشعشع جذب‌شده که همان ضریب جذب می‌باشد مشخص می‌شود. در این روش، برای یک فرایند آشکارسازی کامل، تبدیل افزایش

تا ۳- درصد مانند اکسیدهای وانادیوم و آمورفهای سیلیسیم به جای فلزات با ضریب حرارتی حدود ۰/۱ درصد استفاده می‌گردد. میزان پاسخدهی با افزایش جریان ورودی به بلومتر نیز افزایش می‌یابد، اما افزایش جریان ورودی خود سبب گرمایش بلومتر و در نتیجه کاهش میزان مقاومت حرارتی بلومتر می‌گردد. لذا با استفاده از این خواص می‌توان شرایط کارکرد بهینه بلومتر را به دست آورد.

امروزه با در خلأ قراردادن بلومتر از انتقال حرارت بلومتر با محیط اطرافش به صورت هدایت و جابه‌جایی جلوگیری می‌شود و تنها صورت‌های انتقال حرارت باقی مانده عبارت‌اند از تابش از بلومتر و هدایت در درون آن (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. انتقال حرارت درون بلومتر [۱]

۵. آشکارسازهای فوتونی

آشکارسازهای فوتونی موج الکترومغناطیس جذب‌شده را مستقیماً به تغییرات انرژی در یک ماده نیمه‌هادی (با تغییر جریان) تبدیل می‌کنند. این فرایند اثر درونی فتوالکتریکال^{۴۲} نامیده می‌شود. برای آشکارسازی به روش فوتونی، انرژی کوانتومی یک فوتون باید بیشتر از انرژی برانگیختگی مورد نیاز بین دو مرتبه انرژی گردد.

از جمله معایب اصلی آشکارسازهای فوتونی نیاز به خنک‌سازی قابل توجه آنها در برخی طول موج‌ها تا دماهای بسیار پایین است؛ زیرا با کاهش دما نویزهای مؤثر بر عملکرد آشکارساز به شدت کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه این است که با افزایش طول موج کاری دستگاه، خنک‌سازی بیشتری مورد نیاز است؛ به طوری که کلیه آشکارسازهای مخصوص طول موج بلند (۷ تا ۱۴ میکرومتر)، نیاز به خنک‌سازی نیمه‌هادی درونی آن تا دمای ۷۷ کلوین را دارد که این کار به کمک نیتروژن مایع انجام می‌شود. البته برخی آشکارسازهای مورد استفاده در بازه طول موج متوسط (۳ تا ۵ میکرومتر) و کلیه آشکارسازهای طول موج کوتاه را می‌توان تنها تا دمای ۲۰۰ کلوین خنک‌سازی نمود.

آشکارسازهای فوتونی براساس نحوه عملکرد آنها به انواع زیادی تقسیم می‌شوند، اما دو دسته اصلی آنها عبارت‌اند از آشکارسازهایی با مواد نیمه‌رسانای کلاسیک و مواد نیمه‌رسانای ممتاز؛ که در اینجا به آشکارسازهای با مواد نیمه‌رسانای کلاسیک پرداخته می‌شود. این نوع آشکارساز نیز دو نوع می‌باشند که در ادامه آورده شده است.

۵-۱. هادی حساس به نور^{۴۳}

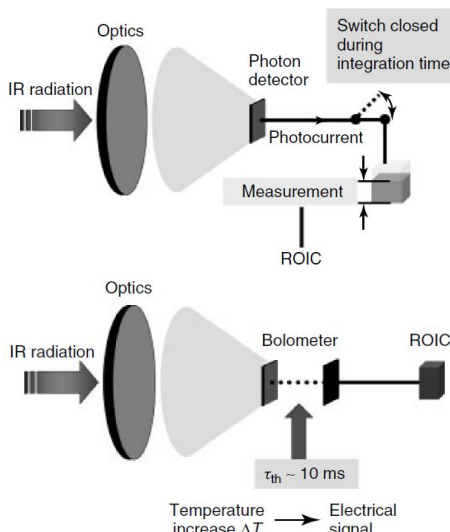
این آشکارساز از یک ماده نیمه‌رسانای واحد با توزیع یکنواخت ساخته شده است و با تغییر مقاومت کلی آن، میزان انرژی تابیده‌شده به آشکارساز را نمایش می‌دهد. تغییر در مقاومت کلی بر اثر جریانی است که به خاطر برخورد فوتون‌ها با آشکارساز ایجاد شده است. میزان حساسیت این آشکارساز را می‌توان با افزایش ولتاژ یا جریان ورودی به آن افزایش داد، اما این کار می‌تواند باعث افزایش دمای آن و تولید نویز شود. یکی از معایب دیگر این نوع آشکارسازها ضریب پاسخدهی بالاست. همان‌طور که ذکر شد، بالا بودن ضریب پاسخدهی آشکارساز مطلوب نیست و همین عامل سبب شده که این روش برای آشکارسازی چندان مورد توجه قرار نگیرد.

۵-۲. دیود حساس به نور^{۴۴}

این نوع از آشکارسازها از نیمه‌هادی‌هایی استفاده می‌کند که با توجه به شار انرژی تابشی دریافتی، جریان و یا ولتاژی خروجی تولید می‌کند. محدوده طول موج تشعشع دریافتی که آشکارساز به آن حساس می‌باشد به مواد تشکیل‌دهنده نیمه‌هادی مورد استفاده بستگی دارد.

در آشکارسازهایی که برای محدوده طول موج بلند از اشعه فرورسرخ طراحی و ساخته می‌شوند از نیمه‌هادی‌های متشکل از سه ماده جیوه، کادمیم و تلوریم استفاده می‌شود که دارای فرمول شیمیایی $Hg_{1-x}Cd_xTe$ می‌باشد. مقدار x و دمای کارکرد آشکارساز تعیین‌کننده سقف حساسیت آشکارساز به طول موج می‌باشد. به عنوان مثال برای ماده ای با ترکیب $x=0/196$ در دمای کارکرد ۷۷ کلوین حداکثر طول موج تابش مورد استفاده ۱۴ میکرومتر بوده است. البته حساسیت نیمه‌هادی به x بسیار زیاد است؛ به گونه‌ای که دو درصد خطا در مقدار x می‌تواند به میزان ۰/۵ میکرومتر روی حداکثر طول موج مؤثر تغییر ایجاد

آشکارسازهای فوتونی دارای ضریب حساسیت (قابلیت آشکارسازی) بالاتری نسبت به بلومترها بوده و زمان پاسخدهی آنها در حدود ۱ میکروثانیه است که همین سبب ایجاد NETD کوچکتر و تعداد فریم‌های بیشتر و در نتیجه ارائه تصویر باکیفیت‌تر و نتایج دقیق‌تری در مقایسه با بلومترها شده است. تبدیل مستقیم جریان فوتون‌ها به سیگنال الکتریکی و ثابت زمانی کوچک در آشکارسازهای فوتونی سبب تولید بسیار سریع‌تر تصویر می‌گردد. در طول تصویربرداری جریان فوتون تولیدشده در هر پیکسل در یک خازن ذخیره شده و دیتاهای خروجی تهیه می‌شوند. در شکل ۱۶ نمای شماتیک ساده عملکرد یک بلومتر و آشکارساز فوتونی نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأخیر زمانی در بلومتر (به دلیل تبدیل دو مرحله‌ای در آن) سبب افزایش زمان پاسخدهی آن شده است.



شکل ۱۶. نمای شماتیک ساده از

عملکرد بلومتر (پایین) و آشکارساز فوتونی (بالا) [۱]

۷. فرایند اندازه‌گیری در یک آشکارساز فروسرخ

در شکل ۱۷ نمای شماتیک از روند تابش اشعه فروسرخ از جسم، تا دریافت آن توسط دوربین و همچنین سایر عوامل محیطی موثر بر آن نمایش داده شده است. جسمی کدر و خاکستری^{۴۸} را در دمای T_{object} در نظر بگیرید. میزان تشعشع حرارتی از این جسم با توجه به تشعشع ساطع شده از یک جسم سیاه در همان دما به صورت ۲ محاسبه می‌شود:

$$\phi_{object}(T_{object}) = \varepsilon \phi_{object}^{bb}(T_{object}) \quad (2)$$

کند. لذا هنگام ساخت این نوع آشکارساز در صورتی که کوچکترین غیریکنواختی در نیمه‌هادی وجود داشته باشد خطای قابل توجهی در توزیع دمای اندازه‌گیری شده ایجاد می‌گردد. دقت بسیار بالا و فناوری پیچیده مورد نیاز برای ساخت این نیمه‌هادی‌ها قیمت دوربین‌های مورد استفاده از این نوع فوتودیودها را به شدت افزایش داده است. این نوع نیمه‌هادی‌ها برای آشکارسازهایی در محدوده طول موج متوسط (۱ تا ۵ میکرومتر) نیز قابل استفاده است، اما فناوری ساده‌تر و توسعه‌یافته نیمه‌هادی‌هایی از جنس ایندیم - آنتیموان باعث شده است تا از این نوع نیمه‌هادی‌ها به‌طور گسترده‌تر در آشکارسازهای فروسرخ استفاده شود. امروزه جدیدترین دروین‌های مادون قرمز از این نوع آشکارسازها استفاده می‌نمایند. علاوه بر این، در سال‌های اخیر آشکارسازهایی در محدوده طول موج کم (۰/۹ تا ۱/۷ میکرومتر) نیز عرضه شده است که به‌واسطه توسعه فناوری بهره‌گیری از ترکیباتی شامل چند نیمه‌هادی حاصل شده است. این آشکارسازها معمولاً از ترکیب نیمه‌رساناهای گالیم - آرسنیک^{۴۵} و ایندیم - آرسنیک^{۴۶} ساخته شده‌اند.

۶. مقایسه آشکارسازهای حرارتی و فوتونی

امروزه بخش اعظم آشکارسازهای حرارتی تولیدشده میکروبلومتر می‌باشند؛ زیرا قادر به تأمین نیازهای متخصصان بوده و بسیار کم‌هزینه‌تر از آشکارسازهای فوتونی می‌باشند. میکروبلومترها دارای ضریب حساسیت پایین و پاسخدهی کند (حدود ده میلی‌ثانیه) بوده و با استفاده از یک المان پلتیر در وضعیت دمایی پایدار قرار می‌گیرند. اثر پلتیر^{۴۷} با تبدیل اختلاف دمای ایجادشده به جریان سبب اتلاف آن و کنترل دمای المان حرارتی بلومتر می‌گردد. کاربران میکروبلومترها قادر به تغییر تعداد فریم‌ها نمی‌باشند. در این آشکارسازها تصویرسازی با استفاده از خواندن پی در پی فریم‌ها صورت می‌گیرد. در کاربردهایی چون فعالیت‌های تحقیقاتی، که به وضوح بالاتر تصویر یا پاسخ زمانی کوتاه نیاز است، استفاده از آشکارسازهای فوتونی مناسب‌تر می‌باشد. در هنگام تصویربرداری در نواحی با طول موج متوسط و بلند، با استفاده از نیتروژن مایع سطح نیمه‌هادی تا دمای ۷۷ کلوین سرد می‌گردد و در هنگام تصویربرداری ناحیه طول موج کوتاه، از اثر پلتیر در چند مرحله استفاده می‌گردد.

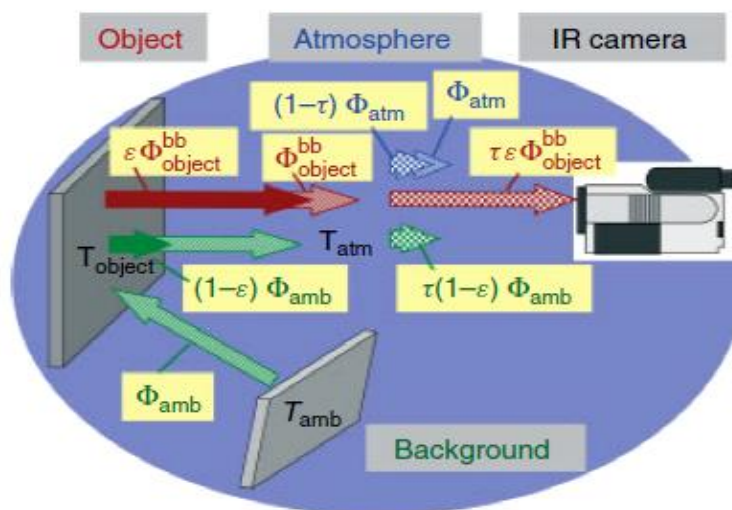
$$(1 - \tau_{amb}) \phi_{amb} T_{amb}$$

بدین ترتیب تشعشع رسیده به دوربین متأثر از جسم اصلی، محیط پیرامون آن جسم و اتمسفر اطراف می‌باشد. مقدار ϕ_{det} انرژی تابیده شده طیفی است و برای به دست آوردن مقدار کل انرژی دریافتی توسط آشکارساز بایستی آن را در بازه طول موج کاری آشکارساز انتگرال‌گیری نمود. البته مقدار آن توسط دوربین اندازه‌گیری شده و با توجه به سایر پارامترهای موجود در رابطه می‌توان دمای جسم را با محاسبه $\phi_{object}^{bb}(T_{object})$ از رابطه ۳ به دست آورد. در این میان کالیبراسیون دوربین نیز ضروری می‌باشد که این عمل با اندازه‌گیری دمای سطح یک جسم سیاه که به جای جسم اصلی گذاشته می‌شود امکان‌پذیر می‌گردد. برای اندازه‌گیری دمای یک جسم به روش ترموگرافی فروسرخ باید توجه داشت که اگر اختلاف دمای جسم و محیط اطراف ناچیز باشد دوربین قادر نخواهد بود تصویر درستی را ثبت کند. لذا اختلاف دمای جسم و محیط باید از حداقل دمای قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه بیشتر باشد.

به طوری که در این رابطه ϵ ضریب صدور آن جسم است. ضریب انعکاس یک جسم کدر خاکستری به صورت $r = 1 - \epsilon$ به دست می‌آید. بدین ترتیب اگر جسم از کلیه قسمت‌های محیط پیرامون خود با دمای T_{amb} انرژی دریافت نماید، متناسب با ضریب انعکاس خود انرژی $(1 - \epsilon) \phi_{amb}(T_{amb})$ را به سمت دوربین بازمی‌تابد.

علاوه بر این محیط اطراف دوربین نیز بر تشعشع دریافتی به دو صورت اثر می‌گذارد. از یک طرف شدت پرتوهای ساطع شده و بازتاب شده از جسم پس از عبور از محیط با ضریب گذردهی τ_{amb} تقلیل یافته و به دوربین می‌رسد. از طرف دیگر محیط اطراف نیز با ضریب صدور $(1 - \tau_{amb})$ مقداری انرژی حرارتی معادل $(1 - \tau_{amb}) \phi_{amb} T_{amb}$ از خود ساطع می‌نماید که به دوربین می‌رسد. بنابراین مجموع انرژی‌های مختلفی که به دوربین می‌رسد برابر است با:

$$\phi_{det} = \tau_{amb} \epsilon \phi_{object}^{bb}(T_{object}) + \tau_{amb} (1 - \epsilon) \phi_{amb} T_{amb} + \quad (3)$$



شکل ۱۷. چرخه فرایند آشکارسازی [۱]

پزشکی، علوم ستاره‌شناسی و جز این‌ها می‌توان کاربرد گسترده‌ای از این دوربین‌ها را مشاهده کرد. در ادامه به بررسی چند کاربرد قابل توجه پرداخته شده است.

۸-۱. صنعت ساختمان

دوربین‌های فروسرخ به‌عنوان یکی از ابزارهای بازرسی جهت

۸. کاربردهای نوین آشکارساز فروسرخ

امروزه تولید تجاری آشکارسازهای فروسرخ و کاهش هزینه تمام‌شده یک دوربین فروسرخ سبب شده تا موارد کاربرد این تجهیز در تمامی بخش‌های زندگی انسان نفوذ کند، به طوری که علاوه بر محبوبیت این دوربین‌ها به‌عنوان شیوه عکس‌برداری متفاوت، در بخش‌های مختلفی از جمله صنعت، ساختمان‌سازی،

کنترل، عیب‌یابی و رفع نقص در ساختمان با استفاده از اندازه‌گیری دمای سطحی درون و یا بیرون ساختمان، مورد توجه می‌باشد. دمای سطوح یک ساختمان تابع سه فاکتور اصلی شار حرارتی، جریان هوا و رطوبت می‌باشد. این سه فاکتور نه تنها استحکام و بازدهی انرژی ساختمان را بیان می‌کند، که میزان راحتی و آسایش (از لحاظ تهویه مطبوع)، سلامت و امنیت برای ساکنان ساختمان نیز می‌باشد. در دنیای پیشرفته امروز یکی از بزرگترین اهداف، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای است. یکی از علل تولید گازهای گلخانه‌ای، سوختن سوخت‌های فسیلی است که در سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با جایگزینی تدریجی انرژی‌های نو به جای سوخت‌های فسیلی و همچنین استفاده بهینه از منابع انرژی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کنترل اتلاف انرژی بشر توانسته است به مقدار قابل توجهی میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. در شکل ۱۸ توزیع دمای حاصل از تصویربرداری فروسرخ از دیوارهای خارجی یک خانه نمایش داده شده است. نقاط روشن‌تر نشان‌دهنده دمای کمتر و یا به عبارتی اتلاف بیشتر حرارت می‌باشد.



شکل ۱۸. نمایش اتلاف حرارتی با استفاده از یک آشکارساز [۱]

براساس استاندارد جهانی در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ م حداکثر میزان مصرف سالانه انرژی برای هر متر مربع از ساختمان بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلووات ساعت برای هر متر مربع تعیین شده بود اما با پیشرفت علم و بهبود کیفیت عایق‌های حرارتی در برخی کشورهای توسعه‌یافته در سال ۲۰۰۲ م این مقدار به ۷۰ کیلووات ساعت برای هر مترمربع از ساختمان تغییر یافت [۱]. در سال ۲۰۰۹ م قوانین حاکمه سختگیرانه‌تر شده و این میزان ۳۰ درصد کاهش یافته است و این روند نزولی

همچنان ادامه دارد. لذا فرایند عایق‌کاری ساختمان‌ها بسیار حائز اهمیت است و با استفاده از دوربین‌های مادون قرمز می‌توان ضمن تشخیص محل اتلاف انرژی از بخش اعظمی از اتلاف‌های حرارتی جلوگیری نمود. از دیگر کاربردهای تصویرسازی فروسرخ می‌توان به ردیابی نشت آب در لوله‌ها اشاره نمود. بر اثر نشت و تبخیر آب در جداره‌ها و دیوارهای ساختمان، اجزای مرطوب دمای کمتری نسبت به سایر نقاط خواهند داشت. گاهی اوقات نیز با عبور آب داغ از درون لوله‌ها می‌توان بهتر این نقص را یافت. همچنین نشت آب به‌درون عایق‌ها می‌تواند سبب افزایش میزان ضریب انتقال حرارت آنها و در نتیجه نمایش دمای بالاتر گردد. از کاربردهای دیگر این دوربین‌ها در صنعت ساختمان می‌توان به امکان ردیابی جریان‌های هوای نفوذی به درون ساختمان و یا بالعکس اشاره کرد. در چنین شرایطی عبور هوا از یک ناحیه که معمولاً در نزدیکی پنجره‌ها و یا در محل سایر شیرها و منافذ ساختمان اتفاق می‌افتد، می‌تواند سبب بروز اختلاف دما گردد که هنگام تصویربرداری فروسرخ با رنگ متفاوتی نسبت به سایر نقاط دیده می‌شود.

۲-۸. صنعت خودرو

صنعت خودروسازی هر کشور از جمله مهم‌ترین صنایع محسوب می‌شود؛ زیرا علاوه بر اینکه زمینه اشتغال هزاران نفر را فراهم می‌کند، عرصه‌ای جهت استفاده از ایده‌های نو نیز می‌باشد. دوربین‌های فروسرخ نیز در این صنعت جایگاه قابل توجهی دارند، به‌خصوص در بخش‌های مربوط به تهویه مطبوع و دید در شب. همچنین با استفاده از این تجهیز، کیفیت و عملکرد سیستم گرمایش درون خودرو نیز بررسی می‌گردد. در شکل ۱۹ شیشه عقب خودرویی نمایش داده شده که بر اثر پرتاب قطعات سنگ برخی از رشته‌های هیتر آن مخدوش شده است. متخصصان با عکس‌برداری از هیترها در حین کار، رشته‌های آسیب‌دیده و معیوب را به آسانی یافته و تعویض نموده‌اند. از دیگر کاربردهای آشکارسازی فروسرخ در صنعت خودرو می‌توان به بررسی عملکرد ترمز، وضعیت چرخ‌ها و عملکرد درست هیتر صندلی‌ها اشاره کرد. علاوه بر موارد فوق، یکی دیگر از کاربردهای قابل توجه این تجهیز، کمک به افزایش دید راننده در حین رانندگی در شب است. اگرچه در شب

فروسرخ بهره برد؛ زیرا با استفاده از آنها می‌توان تطابق قطعه و یا تجهیز ساخته‌شده با طرح مد نظر را بررسی نمود، در واقع استفاده از این دوربین در فرایند کنترل کیفیت به‌نوعی تست غیرمخرب می‌باشد؛ زیرا بدون برقراری تماس با وسیله و وارد شدن هیچ آسیبی امکان بررسی کیفیت میسر می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل ۲۰. رؤیت جاده در شب توسط راننده [۱]

الف) به کمک آشکارساز فرسرخ، ب) به کمک نور جلو خودرو

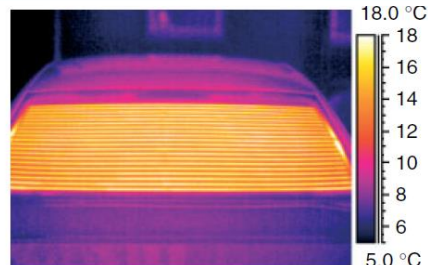
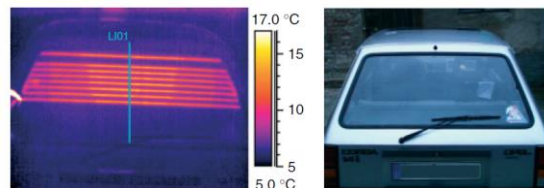
۴-۸. صنایع پتروشیمی

در صنایع پتروشیمی نیز می‌توان خطوط انتقال نفت و عملکرد تجهیزات را کنترل کرد. یکی از کاربردهای قابل توجه دوربین فرسرخ استفاده در تانک‌های جداسازی اولیه نفت خام است. در تانک‌های جداسازی اولیه، مواد سنگین ته‌نشین می‌گردند و نفت بخاطر چگالی کمتر روی سطح آب قرار می‌گیرد. لذا متخصصان با استفاده از این دوربین‌ها می‌توانند موقعیت دقیق تری از محل قرارگیری لایه‌های مختلف نفت، آب و مواد ته‌نشین شده را در مخزن نشان دهند. همچنین می‌توانند با تشخیص لایه‌های حاوی ذرات معلق، مواد شیمیایی مناسب جهت ته‌نشینی این ذرات را به ترکیب اضافه کرده و سبب بهبود فرایند جدایش آب و نفت گردند (شکل ۲۱).

۵-۸. پزشکی

از دیگر کاربردهای این دوربین‌ها می‌توان به دانش پزشکی اشاره کرد؛ امروزه از دوربین‌های مادون قرمز در راستای

با استفاده از نور چراغ‌های خودرو می‌توان تا مسافت زیادی را دید، اما به دلیل تاریکی محیط ممکن است بسیاری از جزئیاتی که می‌توانند خطرناک باشند از دید راننده پنهان بماند و حتی اگر توسط راننده دیده شود فرصت کافی برای واکنش وجود نداشته باشد. این در حالی است که با تکیه بر این فناوری امروزه راننده قادر است اشیای گرم قرارگرفته تا شعاع صدمتری خود را به‌خوبی مشاهده نماید به‌طوری‌که شرکت بی. ام. دابلیو. توانسته است با این روش امنیت بیشتری را برای مشتریان خود ایجاد نماید. در شکل ۲۰ نحوه رؤیت جاده توسط راننده با کمک پرتو فرسرخ ساطع‌شده از محیط نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با این روش به راحتی و از فاصله بیشتر می‌توان افراد را مشاهده کرد.



شکل ۱۹. عیب‌یابی سیستم گرمایش شیشه عقب خودرو

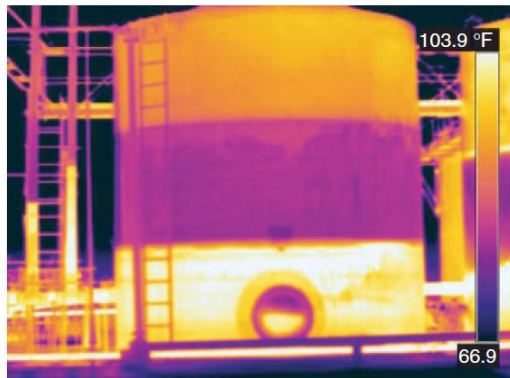
با استفاده از دوربین مادون قرمز [۶]

۳-۸. کنترل کیفیت و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

از اهداف نگهداری پیشگیرانه کاهش هزینه تعمیرات در درازمدت است، به‌طوری‌که با بررسی شرایط تجهیزات در حین کار می‌توان پیش‌بینی کرد در چه زمانی باید تعمیرات و نگهداری انجام شود تا از خرابی تجهیزات و توقف خط تولید جلوگیری به‌عمل آورد. از جمله کاربردهای رایج دوربین‌های فرسرخ در تعمیر و نگهداری پیشگیرانه تجهیزات است؛ زیرا با استفاده از این تجهیز می‌توان افزایش دمای نقاط را مشخص کرد، این به معنای تجمع انرژی در آن نقطه و خطر بروز خرابی می‌باشد. همچنین، علاوه بر کاربرد قابل توجه این تجهیز در نگهداری پیشگیرانه در کنترل کیفیت نیز می‌توان از دوربین

و تشخیص به موقع سرطان سینه، که یکی از شایع‌ترین سرطان‌هاست، سالانه به میزان ۱۲ میلیون دلار در هزینه‌های مربوط به درمان صرفه‌جویی می‌گردد. علاوه بر موارد ذکر شده، که تنها بخش کوچکی از کاربردهای آشکارساز فروسرخ است، امروزه در تعمیر و نگهداری هواپیماها و فضاپیماها، یافتن بردهای الکترونیکی معیوب و عیب‌یابی سیستم‌های انتقال قدرت نیز از این روش استفاده می‌شود.

شناسایی بهتر برخی بیماری‌ها و یا تشخیص غدد یا تومورهای تشکیل شده در بدن و در مجاورت پوست بهره‌گیری می‌شود. این روش در میان پزشکان بسیار رایج و مقبول می‌باشد؛ زیرا بیماری‌ها و زخم‌ها و ضایعات داخلی در بدن سبب افزایش دمای سطح پوست در آن نواحی می‌گردد و از این طریق و بدون هیچ اثر منفی روی بدن می‌توان با استفاده از ترموگرافی از وجود آنها مطلع گردید. مثلاً در امریکا با بهره‌گیری از دوربین‌های فروسرخ



شکل ۲۱. مخزن جدایش اولیه نفت خام و آب [۱]

۹. مآخذ

- [1] Vollmer, M., K. Mollmann, *Infrared Thermal Imaging*. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2010.
- [2] Self-made information by NASA.
- [3] Henini, M., M. Razeghi, *Handbook of Infrared Detection Technologies*, Oxford: Elsevier Advanced Technology, 2002.
- [3] DeWitt, D.P., G. D. Nutter, *Theory and Practice of Radiation Thermometry*, John Wiley & Sons, 1988.
- [4] Edward D. P., *Handbook of Optical Constants of Solids*. Boston, Academic Press, 1985. Vol. 1. (1)
- [5] Headquarters of U.S. Army, *Engineering Design Handbook, Infrared Military System*, Washington: ACM Pamphlet, 1970.
- [6] Predmesky, R., T. Ruane. *Using infrared cameras for process control Inframation*, Proceeding vol. 2, 2004.
- [7] Diakides, N. A., J. D. Bronzino, *Medical Infrared Imaging*. Boca Raton, CRC Press, 2008.

پی‌نوشت

1. thermal detector
2. infrared ray
3. thermography
4. bolometer
5. infrared Camera
6. infrared radiation
7. wavelength
8. frequency

9. speed of propagation
10. longitudinal wave
11. transverse wave
12. plane of polarization
13. infrared radiation
14. infrared detector
15. Sir William Herschel
16. Max Planck

-
17. liquid nitrogen cooled photon detector system
 18. emissivity
 19. long-wave region
 20. mid-wave region
 21. short-wave region
 22. low resolution transmittance (LOWTRAN)
 23. moderate resolution transmittance (MODTRAN)
 24. high resolution transmittance (HITRAN)
 25. barium fluoride (BaF₂)
 26. cadmium telluride (CdTe)
 27. gallium arsenide (GaAs)
 28. lithium fluoride (LiF)
 29. magnesium fluoride (MgF₂)
 30. potassium bromide (KBr)
 31. zinc selenide (ZnSe)
 32. zinc sulfide (or zinc sulphide)
 33. anti reflection
 34. Ge
 35. Si
 36. photon detector
 37. thermal detector
 38. temperature-dependent electrical resistance in a bolometer
 39. noise equivalent power
 40. noise equivalent temperature difference
 41. bolometric
 42. internal photoelectrical effect
 43. photoconductor
 44. photodiode
 45. GaAs
 46. InAs
 47. peltier effect
 48. opaque gray surface