فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال ششم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، (پیاپی ۲۲): صص ۴۸-۳۷

روش‌های غیرعامل برای مقابله با شنود لیزری

سید عباس وزیری [۱]، حمید مرندی [۲] جواد خلیل‌زاده [۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۲۹

چکیده

سامانه شنود لیزری به‌عنوان یکی از روش‌های پیشرفته جهت استراق سمع مکالمات درون اتاق از سطح بیرونی شیشه پنجره، شناخته می‌شود. در این سیستم، از پرتو لیزر برای تشخیص ارتعاشات به‌وجودآمده بر روی سطح یک هدف دور دست (شیشه پنجره) استفاده می‌شود. در سیستم‌های شنود لیزری از یک پرتو لیزر در ناحیه طیفی غیر مرئی استفاده می‌شود. در این مقاله، روش‌های مختلف مقابله غیر عامل با شنود لیزری مورد بررسی قرار گرفته است. برای مقابله غیر عامل با شنود لیزری، روش‌های مختلف الکترونیکی و فیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های فیزیکی مقابله غیرعامل تنوع بیشتری نسبت به روش‌های الکترونیکی داشته و هزینه‌های کمتری دارند. روش‌های فیزیکی عبارتند از، فیلترهای تداخلی مادون قرمز، پوشش‌های ضد انعکاس اشعه مادون قرمز، ترکیبات جاذب مادون قرمز استفاده‌شده در شیشه و غیره. با توجه به پیشرفت تکنولوژی و امکان حذف نویزها، روش‌های مقابله الکترونیکی به‌تنهایی نیستند اما روش‌های فیزیکی، با توجه به ویژگی‌هایی چون حفظ شفافیت شیشه، هزینه کم و سادگی مورد توجه می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: استراق سمع، شنود لیزری، مادون قرمز نزدیک، مقابله غیر عامل، روش‌های فیزیکی

۱- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه جامع امام حسین (ع) marandi.hamid@chmail.ir- نویسنده مسئول
۳- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۱- مقدمه

امروزه استفاده از لیزر در کاربردهای مختلفی همچون ذوب لیزری و آلیاژسازی لیزری متداول شده است [۷-۴]. استفاده از ابزارهای شنود لیزری[1] نیز در دنیا مرسوم بوده و در تمام زمینه‌ها از استراق سمع[2] مکالمات اشخاص حقیقی و حقوقی به‌عنوان یک ابزار تهدید استفاده می‌شود. بسیاری از مکالمات محرمانه سازمان‌های نظامی و اطلاعاتی و رجل سیاسی و امنیتی در معرض تهدید قرار دارد که این امر حساسیت موضوع را دو چندان نموده است از این رو ضروری است که در این خصوص مطالعات گسترده‌ای انجام شود تا بتوان راه حل مناسبی برای جلوگیری از شنود مکالمات به‌دست آورد.

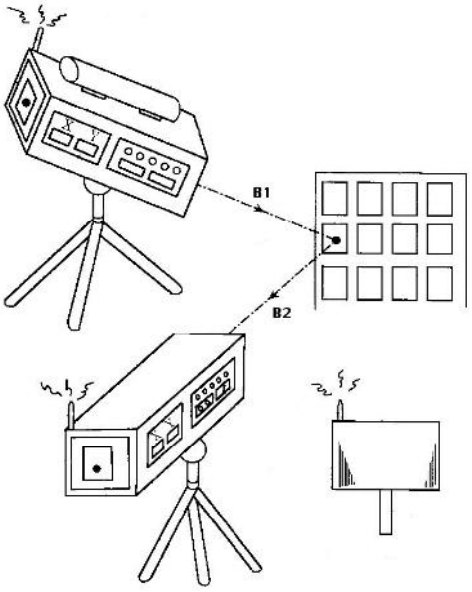
استفاده از پرتو نور برای ضبط صدا از راه دور، اولین بار توسط *لئون ترمین*[3] در اتحاد جماهیر شوروی، پیش از سال ۱۹۴۷ انجام شد. او از سیستم استراق سمع *بوران*[4] استفاده کرده و آن را توسعه داد. ترمین مدتی در شوروی زندانی بوده و در زندان مجبور به کار برای K.G.B شده و در این دوران دستگاه استراق سمع "Bug"را برای آن‌ها ساخت. این کار با استفاده از یک پرتو مادون قرمز کم قدرت (نه لیزر) و از راه دور برای تشخیص ارتعاشات صدا در پنجره‌های شیشه‌ای انجام شد.

از دستگاه بوران برای جاسوسی در ایالات متحده، بریتانیا، و سفارتخانه‌های فرانسه در مسکو استفاده شده است [۸].

روش شنود لیزری به این گونه است که پرتو *مادون‌قرمز*[5] مدوله شده در طول موج نامرئی و فرکانس قابل شنیدن، از یک فرستنده به سمت شیشه پنجره ساختمان تابانده شده و پرتو لیزر[6] منعکس شده از پنجره توسط یک گیرنده دریافت می‌شود. اثر لیزر از روی شیشه توسط یک دوربین CCD برداشت و در واحد مربوطه نمایش داده می‌شود. در قسمت گیرنده، تصویری از خروجی سیگنال الکتریکی مربوط به انرژی نور منعکس شده از پرتو لیزر وجود دارد، که تغییر موضعی روی شیشه را که ناشی از صدای درون اتاق می‌باشد تشخیص‌داده و آنرا به‌صورت سیگنال‌هایی که بتوانند به صدا تبدیل شوند، آشکار می‌کند [۹].

شکل ۱ نمایش ساده شنودلیزری را نشان می‌دهد که به‌وسیله آن در فاصله دور و با استفاده از ارسال و دریافت امواج مادون قرمز نزدیک می‌توان مکالمات درون اتاق را شنود کرد [۹].

1- Laser Listening
2- Eavesdropping System
3- Léon Theremin
4- Buran
5- Infrared Beam
6- Laser Beam



شکل ۱- نمایش ساده نحوه شنود لیزری از طریق شیشه پنجره [۹].

در یافته‌های موجود و مطالعات به‌عمل‌آمده مشخص شده است که امواج مورد استفاده در شنود لیزری مربوط به ناحیه مادون قرمز نزدیک[7] در محدوده بین ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر می‌باشد.

برای دست‌یابی به روش‌های مقابله با شنود لیزری به‌ویژه روش‌های غیر عامل، تحقیقات متعددی انجام شده است اما نتایج این مطالعات به‌صورت مدون در دسترس نبوده و یک کار مستند شامل روش‌های مقابله با شنود لیزری تا کنون نه در منابع خارجی و نه در منابع داخلی ارائه نشده است. در این مقاله ما ضمن ارائه اصول شنود لیزری و لیزرهای مورد استفاده برای این منظور، روش‌های مقابله غیرعامل با شنود لیزری و ویژگی‌های هر کدام را بررسی کرده‌ایم. لذا می‌توان گفت اولین مقاله جامع در این زمینه در سطح داخل و خارج می‌باشد.

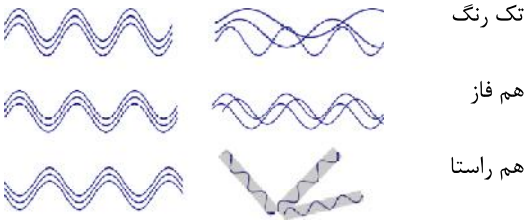
۲- لیزر

لیزر که اولین بار در سال ۱۹۶۱ میلادی توسط میمن اختراع شد، امروزه در ششمین دهه عمر خود به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد پرتو خروجی آن کاربردهای متنوعی را درحوزه‌های مختلف پیدا کرده است. خصوصیات انحصاری پرتو لیزر که هیچ‌یک از سایر منابع الکترومغناطیس از آن‌ها برخوردار نیستند، عبارتند از: تک رنگی، جهت‌مندی، همدوسی و درخشندگی. این ویژگی‌ها برای

7- Nearinfrared

انواع لیزرهای حالت جامد، گازی، نیمه هادی، مایع رنگینه‌ای که در بازه‌های مختلف طیفی فرابنفش تا فروسرخ میانی گسیل می‌کنند، عمومیت دارد. جهت‌مندی لیزر این امکان را می‌دهد که بتوان انرژی را تا فاصله زیادی ارسال نمود بدون آنکه به‌دلیل واگرایی در فضای وسیعی توزیع شود. مخابرات (ارسال و دریافت علائم و سیگنال‌ها در فواصل دور) حوزه‌ای است که امروز از لیزر استفاده می‌نماید. لیزر در این حوزه به‌عنوان حامل پیغام صوتی یا تصویری عمل می‌نماید. شنود بخشی از مخابرات است که به‌جای فرستندگی، دریافت مخفیانه بدون اطلاع فرستنده عملی می شود. در شنود لیزری علائم صوتی بر روی پرتو حامل لیزر سوارشده، آنرا مدوله نموده و در آشکارسازی تبدیل به علائم با معنی می‌نمایند [۱].

در ساختمان یک لیزر چهار جزء اصلی وجود دارد که عبارتند از: *منبع انرژی*[1]، محیط فعال، *فضای اپتیکی*[2] و *سیستم انتقال انرژی*[3]. لازم به‌ذکر است که نور لیزر تفاوت‌هایی با نور معمولی دارد که در شکل۲ مقایسه نور معمولی (غیرهمدوس) با پرتو لیزر (همدوس) با هم مقایسه شده‌اند نشان داده شده است.



شکل ۲- مقایسه نور معمولی(غیرهمدوس) با پرتو لیزر(همدوس) [۱].

محیط فعال و عناصر دیگر در داخل تشدیدکننده نوری قرار دارند. تشدیدکننده، محور نور در لیزر را تعیین و نور ساطع شده را در امتداد محور تابش می‌کند [۱].

۳- لیزرهای مورد استفاده در شنود لیزری

لیزرهای دیودی نیمه هادی به نحوی می توانند در دمای اتاق ساخته شوند که نور با طول موج از ۴۲۰ نانومتر تا ۱۵۵۰ نانومتر در محدوده طول موج مادون قرمز تشعشع نماید. لازم به ذکر است که در سیستم‌های شنود لیزری، اغلب لیزر دیودی نیمه‌هادی در منطقه مادون قرمزنزدیک (طول موج ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر) استفاده می‌شود [۱۰].

سیستم‌های شنود لیزری به یک *موج پیوسته*[4] (CW) یا یک فرستنده لیزری با توان بسیار بالا و یک گیرنده *آشکارساز نوری*[5] نیاز دارند. ترکیب لیزر موج پیوسته و آشکارساز نوری می‌تواند برای شنود استفاده شود. تقریباً تمام سیستم‌های شنود لیزری از لیزر دیودی در محدوده مادون قرمز نزدیک و یک آشکارساز نوری سیلیکونی یا ایندیم‌گالیم‌آرسنیدی استفاده می‌کنند. هزینه کم و سهولت دسترسی به ترکیب لیزر آشکارساز بخشی از مزایای استفاده از *آشکارساز غیرخنک‌شونده*[6] و اشعه لیزر مادون‌قرمز نامرئی می‌باشد [۱۰].

پرتو منعکس‌شده از سطح شیشه، به‌وسیله یک آشکارساز نوری سیلیکونی که در محدوده بین ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر عمل می‌کند و یا یک آشکار ساز نوری ایندیم‌گالیم‌آرسنید که در محدوده بین ۸۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر عمل می‌نماید، دریافت می‌شود. سیستم شنود لیزری شامل دو عنصر پایه، فرستنده و گیرنده لیزر می‌باشد. در طراحی سیستم یک دستگاه شنودلیزری، این امر مهم است که به‌توان از تداخل زیاد یا نویز اجتناب نمود. در نتیجه، لیزرهای با طول موج کوتاه‌تر در منطقه مادون قرمز نزدیک، نسبت به لیزرهای در مناطق مادون قرمز میانی و دور ارجحیت دارند [۱۰].

مثلاً، سامانه لیزر مراقبتی LASER EMAX-3500 به‌عنوان سیستم شنود لیزری استفاده می‌گردد. این سامانه شنود لیزری شامل سه بخش فرستنده لیزر ،گیرنده لیزر و واحد تقویت کننده صدا می باشد که در شکل ۳ نمایش داده شده و در زیر به ویژگی‌های این سامانه اشاره شده است [۱۱].

ویژگی‌های سامانه LASER EMAX- 3500 به‌شرح زیر می‌باشد:

نوع لیزر: نیمه‌هادی

محدوده طول موج: ۸۴۰-۷۵۰ نانومتر

توان خروجی: ۵ میلی وات با کنترل خودکار

توان منبع تغذیه: ۸ عدد باتری نیم قلم ۵/۱ ولت (خارج از دستگاه)

میزان مصرف: حدود ۱۰۰ میلی آمپر

تمرکز پرتو: ۱۳۵ میلیمتر

نحوه هدف یابی: از طریق لنز

مدت زمان عملکرد: حدود۱۰ ساعت مداوم

سایر ویژگی‌ها: تغییر مدولاسیون، شناسایی میزان صدا

1– Power Source
2– Optical Cavity
3– Delivery System
4– Continuos Wave
5– Photodetector
6– Uncooled Detector

شکل ۳- سیستم شنود لیزری مدل EMAX-۳۵۰۰ [۱۱]

۴- مبانی شنود از طریق شیشه‌های در و پنجره توسط لیزر

برای استفاده از یک سیستم شنود لیزری جهت نظارت مخفی برگفتگو، کاربر می‌تواند به‌سادگی لیزر سیستم شنود را به‌سمت پنجره‌ای از اتاقی که در آن گفتگو انجام می‌شود، نشانه‌گیری کند. شیشه پنجره نسبت به سطوح دیگر ارجحیت دارد چرا که به‌طور کلی نسبت به سایر قسمت‌ها پهن‌تر بوده و بازتابش بیشتری دارد. نحوه قرار دادن لیزر و گیرنده ناشی از قاعده کلی اپتیک (زاویه‌ی تابش برابر است با زاویه باز تابش) می‌باشد و به‌طور معمول، بهترین موقعیت قرارگیری لیزر و گیرنده، داشتن زاویه قائم نسبت به پنجره می‌باشد [۱۰].

شیشه پنجره، مانند دیافراگم در یک میکروفون عمل می‌کند. در میکروفون، صدا صفحات یک خازن را مرتعش نموده و باعث ایجاد نوسانات ولتاژ خروجی می‌شود که می‌تواند به‌صورت الکترونیکی دست‌کاری شده و پس از آن دوباره به صدای قابل شنیدن تبدیل شود. به‌طور مشابه، صدا سطح شیشه را مرتعش نموده و تولید *الگوهای تداخلی* در پرتو لیزر منعکس‌شده می‌نماید. آشکارساز نور در سیستم گیرنده، این الگوهای تداخلی را به *نوسانات ولتاژ* تبدیل می‌کند که به‌صورت الکترونیکی تغییر داده شده و دوباره به صدا تبدیل می‌شوند [۱۰].

لازم به‌ذکر است هنگامی‌که صدا به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود، دیگر فرقی ندارد که منشاء سیگنال تولیدشده یک میکروفون معمولی است یا یک گیرنده‌لیزری می‌باشد. سیستم‌های شنود لیزری دارای دو ویژگی منحصر به فرد نور لیزر *تک‌رنگ* و همدوس می‌باشند. تک‌رنگ بدان معنی است که تمام امواج نور در یک پرتو لیزری دقیقاً از همان رنگ بوده و از این رو، دقیقاً همان طول موج را خواهند داشت. پرتو لیزر روی پنجره متمرکز شده است. صداها، هوا را مرتعش می‌نمایند. ارتعاشات صدای داخل اتاق به پنجره ضربه وارد نموده و موجب ارتعاش شیشه آن می‌شوند. نتیجه، تغییر الگوی تداخلی در گیرنده می‌باشد که به ارتعاش ناشی از سطح انعکاس کننده مربوط است. آشکارساز، نوسانات شدت نور را به نوسانات ولتاژ (که می‌تواند به‌عنوان صدا بازسازی شود) تبدیل می‌کند [۱۰].

۵- روش‌های غیر عامل برای مقابله با شنود لیزری از طریق شیشه‌های در و پنجره

۵-۱- روش‌های الکترونیکی

۵-۱-۱- استفاده از سیستم‌های الکترونیکی ضد استراق سمع

دستگاه ضد استراق سمع دارای دو قسمت مجزا می‌باشد که در قسمت اول امواج صوتی که هنگام صحبت کردن توسط یک فرد تولید می‌شود را به امواج الکتریکی تبدیل نموده و پس از آن در قسمت دوم که می بایست فرد دیگری صدا را بشنود، امواج الکتریکی تولید شده را به‌صورت مهر و موم شده آکوستیکی دریافت نموده و مجدداً امواج الکتریکی دریافتی را به امواج صوتی تبدیل می‌کند و به این طریق یک مکالمه ایمن و غیر قابل شنود را فراهم می‌آورد [۱۲].

۵-۱-۲- استفاده از جمرها

جمرها به‌عنوان یکی از روش‌های مقابله با شنود لیزری به‌کار می‌روند. مراقبت لیزری موضوع پیچیده‌ای است اما اصل اساسی این است که همه چیز به ارتعاش مربوط می‌شود.

مولد *نویز سفید*(ترکیبی از صداها با فرکانس‌های مختلف که هم‌زمان با هم توسط گوش انسان شنیده می‌شوند) مکالمات حساس اتاق را با تولید یک صدای پوششی تصادفی در برابر هر گونه میکروفون به‌کاررفته در دستگاه های استراق سمع از جمله ضبط صوت، فرستنده های RF، مایکروویو یا بازتاب لیزر حامل، محافظت می‌کند. از آنجا که صدای تولیدشده از مولد نویز سفید دارای فرکانس تصادفی بوده و با دامنه امواج ثابت متفاوت است، آن را نمی‌توان به‌راحتی توسط دستگاه حامل صوت مانند میکروفون های بی‌سیم فیلتر نمود لذا تنها صدای قابل استراق سمع، نویز سفید ارسال شده و دارای نوسان می‌باشد. شکل ۴ نمای

دستگاه Audio Jammer AJ-34 را نشان می‌دهد. مشخصات این دستگاه شامل محافظت از فضا تا ۱۵۰ فوت مربع، باتری ۹ ولت، وزن ۵/۱۹۸ گرم و ابعاد ۵/۱× ۵/۲ × ۴ اینچ می‌باشد [۱۳].

شکل ۴- نمای دستگاه Audio Jammer AJ-۳۴ [۱۱]

۵-۲- روش‌های فیزیکی

۵-۲-۱- استفاده از ساختار پنجره ضد استراق سمع[1]

همان‌طور که در شکل ۵ نمایش داده شده است، ساختار پنجره ضد شنود به‌گونه‌ای است که شیشه‌های داخلی و خارجی به‌ترتیب با ضخامت **d** و **D** توسط یک قاب سه بعدی از هم جدا شده‌اند به‌طوری که نسبت **D/d** حداقل برابر ۵/۱ می‌باشد. فضای بین شیشه‌ها به‌وسیله مخلوط گازی با چگالی بیشتر از هوا پر شده است. دستگاه تولید کننده صدا که مستقیماً به شیشه بیرونی اتصال دارد در محدوده فرکانس بیش از ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ هرتز، نویز حرارتی ایجاد می‌کند تا نویزی با حداقل ۲۰ دسی‌بل روی سطح آن به‌وجود آید [۱۴].

بخش‌های مختلف پنجره ضد شنود به‌شرح زیر می باشد:

W: ساختار شیشه

F: چارچوب پنجره

E: قسمت خارجی محفظه یا اتاق

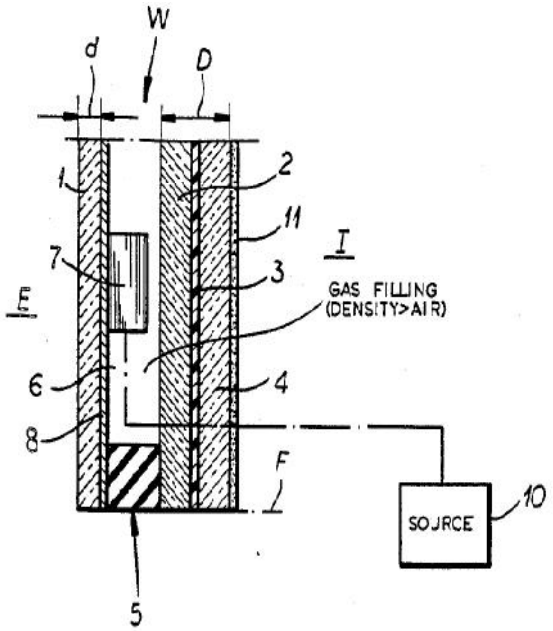
I: بخش داخلی محفظه یا اتاق

۱: پنجره بیرونی

۲و۳و۴: لایه های مربوط به پنجره داخلی

۵: فضای سه بعدی

۶: محفظه داخلی پرشده از گاز



شکل ۵- نمای جانبی یک پنجره ضد شنود لیزری[۱۴]

۷: دستگاه تولید کننده صدای بدنه

۸: سطح درونی قاب بیرونی شامل پوشش منعکس کننده

۹: منبع الکتریکی

۱۰: سطح درونی قاب داخلی شامل پوشش ضد انعکاس

ارتعاشات صوتی[2] قادر به تنظیم گاز میان ساختار پنجره در حال ارتعاش بوده و در نتیجه می‌توانند لرزش را به ساختاری که این عنصر به آن ضمیمه‌شده منتقل نموده یا لرزش را به محل پر از گاز منتقل نمایند [۱۴].

در حالی که ساختار پنجره برای محدوده فرکانس ۲۰۰ تا ۳۰۰ هرتز مؤثر می‌باشد، ممکن است این محدوده به همان میزان و به‌طور مؤثر با افزایش توان ایجاد کننده نویز گسترش یابد. سطح داخلی قاب بیرونی را می‌توان با یک لایه منعکس‌کننده و یا جاذب پوشش داد، به‌خصوص این‌که در محدوده مادون قرمز مؤثر باشد. از آنجا که به‌طور کلی چنین سنجش از راه دوری با بهره‌گیری از لیزر در محدوده مادون قرمز انجام می‌شود، پوشش فوق به‌طور قابل توجهی در کاهش توانایی استفاده از لیزر برای تشخیص صداهای ناشی از گفتگوی داخل اتاق مفید می‌باشد [۱۴].

گاز پر شده در فضای بین دو پنجره (بخش ۶ در شکل ۵) ترجیحاً مخلوطی از گاز/ هوا می‌باشد و به‌گونه‌ای شفاف است که چگالی آن

1– Anti-eavesdropping Window Structure

2– Sound Vibrations

بیشتر از هوا باشد. یک پرکننده با ترکیب هگزا فلوراید گوگرد و هواکه در آن حجم هگزافلورایدگوگرد۳۰ درصد و حجم هوا۷۰درصد باشد ترجیح داده می‌شود [۱۴].

در سطح داخلی قاب بیرونی (بخش ۱ در شکل ۵) معمولاً یک پوشش منعکس‌کننده (بخش ۸ در شکل ۵)، که می‌تواند به‌صورت ویژه در محدوده مادون قرمز اثر گذار باشد، قرار گرفته و در نتیجه توانایی استفاده از تکنیک‌های شنود لیزری را کاهش می‌دهد. سطح درونی قاب داخلی نیز می‌تواند با یک پوشش ضد انعکاس که در بخش ۱۱ از شکل ۵ نشان‌داده‌شده، پوشانده شود. پوشش منعکس کننده می‌تواند بخار موقتی به‌ویژه در محدوده مؤثر مادون قرمز باشد. چارچوب سه‌بعدی، ترکیبی از یک ماده نرم (مانند لاستیک) می‌باشد تا بتواند جهت جلوگیری از انتقال لرزش، جداکننده شیشه‌ها از یکدیگر باشد [۱۴].

۵-۲-۲- استفاده از فیلترهای تداخلی مادون قرمز

در فیلتر عبور دهنده تداخلی چند لایه[1]، برای استفاده در منطقه طیفی مادون قرمز از موادی شامل ماده‌ای با ضریب شکست بالا ($\mathbf{n_H}$) و ماده‌ای با ضریب شکست پایین ($\mathbf{n_L}$) استفاده می‌شود. ماده با ضریب شکست بالا مانند تلوراید آرسنیک و مواد با ضریب شکست پایین، از گروهی شامل کلرید نقره، کلریدسرب و سولفیدروی انتخاب می‌شوند.

ضریب شفافیت با درصد و اندازه طول موج با واحد میکرون بیان می‌شود. این فیلترها شامل مجموعه‌ای از لایه‌های نازک متناوب با مواد به‌ترتیب ضریب شکست بالا و پایین ($\mathbf{n_H}$ و $\mathbf{n_L}$) می‌باشند. اگر $\mathbf{e_H}$ و $\mathbf{e_L}$ را به‌ترتیب ضخامت لایه‌های با ضریب شکست بالا و پایین بنامیم، رابطه زیر به‌دست خواهد آمد :

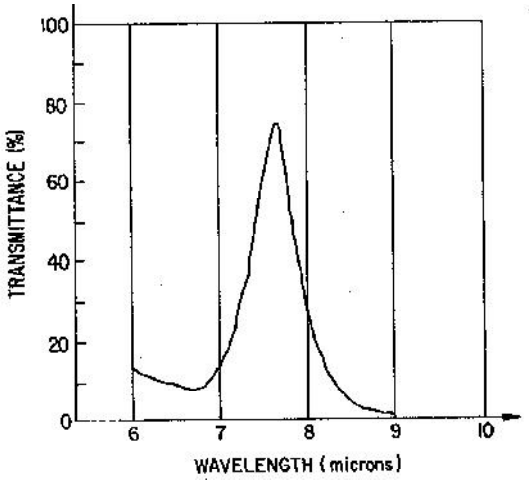
$$n_H e_H = n_L e_L = \lambda/4 \qquad \textbf{(I)}$$

فیلتر تکمیل شده ساختار زیر را نشان می‌دهد:

H L H LH L H L H L H L H

که در آن **H** و **L** به‌ترتیب به مواد ضریب شکست بالا و پایین اشاره دارند. در اینجا می‌بایست به مرکز دو لایه متوالی با ضریب یکسان (خواه ضریب شکست بالا یا پایین) توجه داشت که با توجه به نحوه اثرگذاری آنها، در حقیقت مانند یک لایه با ضخامت دو برابر در نظر گرفته می‌شوند. در حقیقت یک لایه در مرکز و دو لایه با ضریب متفاوت در اطراف قرار می‌گیرد و پس از آن مجدداً دو لایه با ضریب لایه مرکزی در اطراف قرار گرفته و تا رسیدن به ضخامت مورد نظر، لایه نشانی ادامه می‌یابد. برای انتخاب مواد با ضریب $\mathbf{n_H}$ تا بیشترین حد ممکن و $\mathbf{n_L}$ تا کمترین حد ممکن تلاش

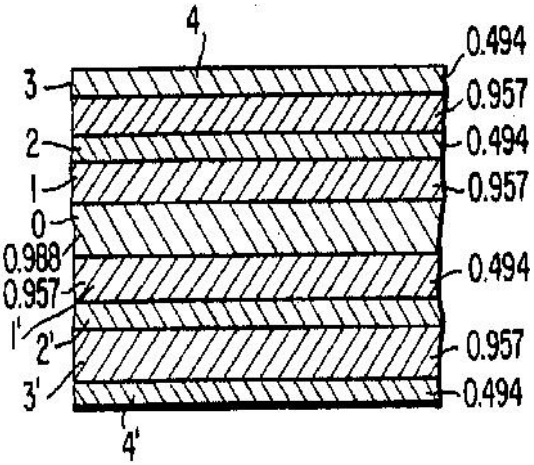
1– Multilayer Interference Transmittance Filter



شکل ۶- منحنی مشخصه شفافیت در فیلتر تداخلی عبوری بر حسب طول موج [۱۵]

می‌شود. منحنی مشخصه عبوری فیلتر تداخلی مثال بالا، در شکل ۶ نشان داده شده است [۱۵].

با استفاده از ترکیباتی مانند سولفیدروی Zns، با ضریب ۲/۲۸، به‌عنوان مواد با ضریب شکست بالا، و فلورایدمنیزیم MgF_2، با ضریب ۱/۳۸، به‌عنوان ماده با ضریب شکست پایین می توان فیلترهایی کاملاً رضایت بخش در ناحیه طیف مرئی به‌دست آورد. برای تهیه فیلتر تداخلی در منطقه طیفی مادون قرمز، می‌توان از ترکیبات تلوریم Te با ضریب شکست نزدیک به ۵، یا ژرمانیم Ge با ضریب۴ تا ۴/۰۵، با موادی مانند فلورایدمنیزیم MgF_2 با میانگین ضریب ۱/۳۸ در مادون قرمز، سدیم‌کلرید NaCl با ضریب ۱/۵۲ و کلریدتالیم TaCl با ضریب ۲/۱۰ استفاده نمود که در شکل ۷ نحوه



شکل ۷- مجموعه‌ای از لایه‌های از ۰ تا ۴ و از ۱ تا ۴ که در مقابل هر لایه اعداد مرجع و ضخامت آن بر اساس میکرون وجود دارد [۱۵]

قرارگیری لایه‌ها نشان داده شده است. در بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص شده که نسبت $\rho=n_H/n_L$ در حدود ۲ بسیار مناسب است [۱۵].

ارائه یک فیلتر تداخلی چند لایه با خواص نوری مناسب برای استفاده در منطقه مادون قرمز که جاذب رطوبت نباشد از اهداف این طرح می‌باشد. همچنین لازم است فیلتر تداخلی ارائه شده دارای لایه‌های قوی با چسبندگی خوب باشد. ترکیبی از آرسنیک تلوریدهای As_2Te_3 یا As_2Te_5 به‌عنوان ماده‌ای برای لایه با ضریب شکست بالا (n_H=۳/۸) برای تری تلوراید و n_L=۳/۹ برای پنتاتلوراید) و کلرید نقره AgCl، کلریدسرب $PbCl_2$ و سولفیدروی ZnS به عنوان ماده‌ای برای لایه‌های با ضریب شکست پایین به ویژه از نظر قدرت و ثبات، مناسب می‌باشند. آرسنیک تلورید مزیت دارد زیرا به‌راحتی‌در خلاء تبخیرشده و به‌صورت لایه یکنواخت همگن در دمای ۴۷۵ درجه سانتی‌گراد در می‌آید و هیچ اقدام احتیاطی خاصی لازم ندارد. این ماده در تمام طول طیف مادون قرمز بین ۳ و **μ**۳۰، شفاف است [۱۵].

سولفیدروی، کلریدنقره و کلریدسرب در **μ**۱۰ به‌ترتیب دارای ضریب شکست نسبی ۲۰/۲–۹۸/۱–۲۰/۲ و حلالیت $۶۹/۱۰^{-۵}$، $۸۹/۱۰^{-۶}$ ، $۶۷/۱۰^{-۲}$ می‌باشند. نقطه ذوب AgCl ۴۵۵ درجه سانتی گراد و برای $PbCl_2$ ۵۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ZnS به راحتی تبخیر شده و نقطه تصعید آن در فشار اتمسفر تنها ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد می‌باشد. این سه ماده می‌توانند در ضخامت‌های زیاد و

جدول ۱- مشخصات لایه‌ها در فیلتر تداخلی [۱۵]

Nature ofnumeral	Thickness of layer in μ layer	Layer reference
۴	۰/۴۹۴	As_2Te_3
۳	۰/۹۵۷	AgCl
۲	۰/۴۹۴	As_2Te_3
۱	۰/۹۵۷	AgCl
۰	۰/۴۹۴	As_2Te_3
۱´	۰/۹۵۷	AgCl
۲´	۰/۴۹۴	As_2Te_3
۳´	۰/۹۵۷	AgCl
۴´	۰/۴۹۴	As_2Te_3

بدون ترک خوردگی، به‌صورت لایه‌های شفاف و بسیار چسبنده در نواحی مختلف مادون قرمز به‌همراه آرسنیک تلورایدها به‌کار برده شوند. جدول ۱ مشخصات یکی از این لایه‌ها را نشان می‌دهد.

۵-۲-۳- استفاده ازپوشش‌های ضد انعکاس[1]

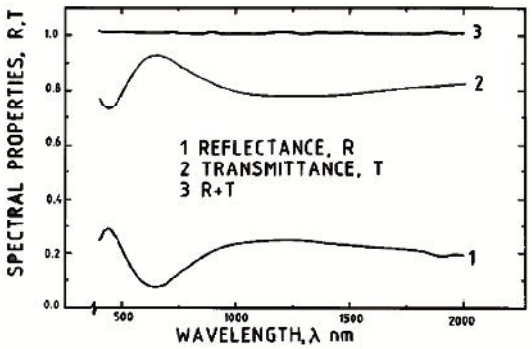
پوشش ضد انعکاس AR را می‌توان با یک ماده دی‌الکتریک از ترکیب مواد اکسیدی با ضریب شکست بالا مانند $ZrTiO_4$ و ZrO_2 و منیزیم‌فلوراید MgF_2 به‌دست آورد. در طراحی و توسعه پوشش AR، ماده MgF_2 می‌تواند با دیگر مواد مانند سیلیس SiO_2، آلومینا Al_2O_3، و اکسیدتانتالیم، زیرکونیم، تیتانیم و نیوبیم نیز ترکیب شود. البته TiO_2درمعرض دگرگونی ساختاری است و پوشش های چندلایه که شامل TiO_2 می‌باشند نواقصی مانند شکستگی‌های کششی و لایه لایه شدن از خود نشان می‌دهند در حالی‌که پنتا اکسید تانتالیم Ta_2O_5 برای پوشش‌های در حال توسعه‌ای بدون نقص مناسب می‌باشد [۱۶].

لازم به‌ذکر است که در شرایط تولید در حجم زیاد، ممکن است این اکسیدها به‌دلیل بهره‌وری محدود، مورد استفاده قرار نگیرند همان‌طور که استفاده از پنتااکسید نیوبیم Nb_2O_5 که دارای ضریب شکست بیشتری از دیگر مواد اکسیدی می‌باشد، در توسعه پوشش AR گزارش نشده است. مخلوط اکسید همگن فیلم های نازک دی‌الکتریک متشکل از $ZrTiO_4$ و ذرات ZrO_2 و ترکیبی از پوشش‌های کامپوزیتی مانند $Ta_2O_5+SiO_2$، $TiO_2+Ta_2O_5$ و SiO_2+TiO_2 نیز در ویندوفیلم‌ها استفاده شده‌اند. مواد مورد استفاده در پوشش‌های ضد انعکاس، دارای خواص مکانیکی، حرارتی و شیمیایی متفاوتی می‌باشند [۱۶].

اولین نسخه از مواد دی الکتریک همگن مخلوط اکسیدی، متشکل از $ZrTiO_4$ و ذرات ZrO_2 در نسبت‌های مشخص می‌باشد. موادی مانند Ta_2O_5، قبل از تبخیر ذوب می‌شوند که این امر موجب رسوب مواد به‌صورت همگن و یکنواخت بر روی سطح مورد نظر از قبیل شیشه می‌شود [۱۶].

در یک نمونه، پوشش های تک‌لایه‌ای MgF_2 در 200 °C به‌صورت لایه‌های موازی بر روی سطوح صاف ساختار شیشه رسوب داده می‌شوند. در طی تبخیر، نرخ رسوب و فشار محفظه به‌ترتیب در ۰/۳–۰/۵ نانومتر بر ثانیه و ۲×۱۰^{-۵} میلی بار است. برای ارزیابی ضریب شکست پوشش انتقال، تنها دمای ماکزیمم T_{peak} در یک

1– Anti Reflection Coatings



شکل ۸- خواص طیفی برای فیلم نازک رسوب کرده در 200 °C [۱۶]

طول موج خاص λ_{peak} در نظر گرفته شده است. در واقع λ_{peak} به طول موجی مربوط می‌شود که در آن بازتابش پوشش حداقل باشد. در این طول موج، T_{peak} تابعی از ضریب شکست زیر لایه n_s و ضریب شکست فیلم n_f بوده و مستقل از ضخامت پوشش می‌باشد [۱۶].

(۱) شکل واقعی معادله به‌شرح زیر می‌باشد:

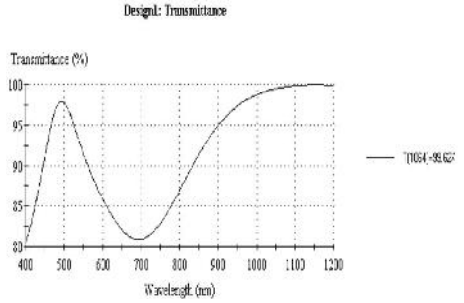
$$T_{peak} = 4.0\, n_f^2 n_s/(n_f^2 + n_s^2)(n_f^2 + 1)$$

(۲) معادله (۱) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$n_f^4 + A n_f^2 + n_s^2 = 0$$

که در آن $A = n_s^2 + 1 + (4n_s/T_{peak})$ خواهد بود [۱۲].

روش LSP نیز برای بهینه‌سازی لایه‌های نازک ضد بازتاب لیزرهای Nd:YAG در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر و بررسی آستانه تخریب القایی آن‌ها استفاده می‌شود. بهینه سازی لایه‌های نازک ضد بازتاب لیزر SiO_2 و ZrO_2 در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر با ضخامت مجموع ۷۲۷ نانومتر مطلوب می‌باشد. ضخامت هر کدام از لایه‌ها به‌ترتیب قرار گرفتن بر روی زیرلایه برحسب نانومتر به شرح زیر می‌باشد:



شکل ۹- نمودار میزان درصد عبوری برحسب طول موج برای فیلتر ۳ لایه‌ای [۲].

لایه اول: SiO_2(n=۱/۴۵) و با ضخامت (nm) ۴۱۴

لایه دوم: ZrO_2(n =۱/۹۴) و با ضخامت (nm) ۶۱/۶۵

لایه سوم: SiO_2(n=۱/۴۵) و با ضخامت (nm) ۲۵۲

لازم به‌ذکر است که لایه اول لایه محافظ با ضخامت تقریبی نیم موج و دو لایه دیگر هم درصدی از λ که لزوما (ربع موج) می‌باشند. طیف عبوری طراحی سه لایه‌ای از عناصر SiO_2 و ZrO_2 در بازه ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر در شکل ۹ نشان داده شده است [۲].

با توجه به شکل فوق، میزان درصد عبوری (T%) برای لایه‌های ضدبازتاب سه‌لایه‌ای در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر تقریباً ۶/۹۹٪ به‌دست آمده است. جهت بالا بردن کیفیت مکانیکی و چسبندگی لایه به زیر لایه قبل از انجام لایه‌نشانی عمل تمیزکاری، با محلول شیمیایی اسید سولفوکرومیک (Chromerge) استفاده گردید [۲].

به‌عنوان یک نمونه، ماده جاذب مادون قرمز نزدیک با انجام واکنش بین نمک مس و اسیدفیتیک در نسبت مولی یون مس (Cu^{2+}) به اسید فیتیک با ترکیب ۲ به ۱ یا بالاتر، تهیه شده است. این ترکیب در محدوده ۴۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر و در ناحیه مرئی جذب نداشته و شفاف است ولی در محدوده ۷۵۰ تا ۱۱۰۰ در ناحیه مادون قرمز نزدیک جاذب می‌باشد [۱۷].

۵-۲-۴- استفاده از ورق‌های پلی کربنات جاذب مادون قرمز به‌جای شیشه

گرمایی که ما از خورشید یا از یک محیط گرم احساس می‌کنیم، همان تشعشات مادون قرمز (IR) یا به‌عبارتی انرژی گرمایی است که بخشی از گستره طول موج‌های الکترومغناطیسی می‌باشد. حدود ۴۵ درصد نور خورشید مرئی نبوده اما تولید گرما می‌کند و این مسئله سبب تجمع گرما در اثر عبور نور از جداره‌ها و نورگیرها همانند ورق پلی‌کربنات می‌شود. امروزه گروه جدیدی از ورق‌های پلی‌کربنات تخت و چند جداره به بازار عرضه شده‌اندکه با جذب اشعه IR روی سطح خارجی سازه به رهایی از گرمای هم‌رفتی کمک می‌کند [۳].

محصولات پلیمری تحت عنوان Solar Control با خاصیت فیلتراسیون اشعه مادون قرمز اجازه ورود میزان بالایی از نور مرئی را نیز جهت استفاده بهینه از نور با ممانعت از ورود اشعه گرمایی فراهم می کنند. در یک سری محصولات Solar Control از یک پوشش یا یک لایه کواکسترود شده روی یک طرف ورق جهت جذب IR استفاده می‌شد اما این اقدامات سبب مات شدن ورق شده که عبور نور آن را به شدت کاهش می‌داد. امروزه در ورق‌های جدید که شفاف همراه با ته رنگ سبز می‌باشند جهت فیلتراسیون IR از افزودنی‌های مخصوصی (به جای موارد قبلی) استفاده شده است. در موارد قبلی در حین حمل و نقل و جا به جایی و نیز نصب، امکان آسیب به پوشش‌های ضد IR وجود داشت اما اکنون به‌دلیل این‌که

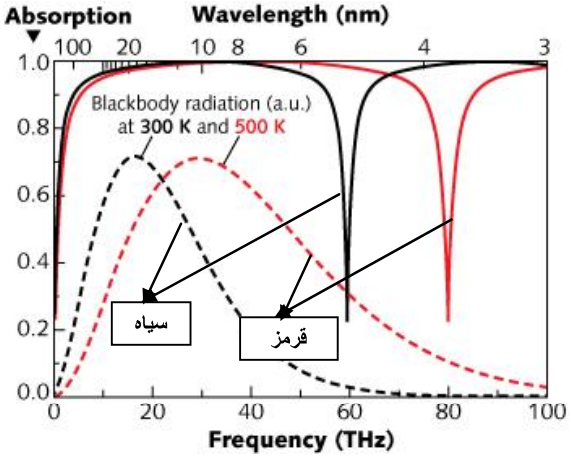
افزودنی‌ها با پلی‌کربنات مخلوط و ذوب می‌شوند خواص آن‌ها دائمی بوده و نگرانی‌های قبلی وجود ندارد. مکانیسم حفاظت در برابر اشعه IR در ورق های حفاظت شده در برابر IR به‌صورت انعکاس و یا جذب می‌باشد. انواع سیستم‌های جاذب IR مناسب جهت استفاده در پلی کربنات شامل جاذب IR آلی (به‌طور مثال فتالوسیانین)، دوده، نانو اکسید ایندیوم تیتانیوم و پیگمنت های معدنی می‌باشد [۳].

۵-۲-۵- استفاده از ویندوفیلم جاذب IR

ویندوفیلم یک فیلم پلی‌استر خود چسب است که بر روی سطوح شیشه‌ای به‌کار می‌رود. از آن به‌عنوان یک ابزار مقاوم ساز به منظور ارتقاء کنترل نوری، ایمنی و ظاهر شیشه‌های موجود در خودرو، خانه‌ها و ساختمان‌های تجاری استفاده می‌شود. تابش نور خورشید به ۳ بخش تقسیم می‌شود: نورمرئی که مشاهده می‌کنیم، مادون قرمز که گرمای آن احساس می‌شود و اشعه ماورای بنفش، که نامرئی هستند. همان‌طور که تابش نوربه یک تکه از شیشه برخورد می‌کند، لایه نازک ویندوفیلم مانند یک کرم ضد آفتاب برای جلوگیری از اشعه‌های مضر UV مانند تنظیم‌کننده سطحی از گرما و نور عبور یافته از شیشه عمل می‌کند. مقدار نور و گرمای رد شده بستگی به نوع ویندوفیلم انتخاب‌شده دارد [۱۸].

به‌عنوان نمونه، عایق شیشه LLumar مکمل پوششی چندلایه‌ای است که به کمک چسب مخصوص به‌سطح شیشه می‌چسبد. بستر اصلی آن پلی استر از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) بوده و دارای خاصیت بازتابش اشعه مادون قرمز می‌باشد در حالی‌که اجازه عبور نور مرئی را به آن می دهد. در واقع این عایق را می توان تلفیقی از دو نوع عایق نوین انعکاسی و پلیمری شفاف دانست. لایه‌های بعدی باعث تقویت استحکام کششی شده و در نهایت خواص ضد خش به محصول می‌دهد. ویندوفیلم LLumar یک پوشش نازک متشکل از چند لایه پلیمری است که ضخامت کل آن در انواع مختلف ما بین ۰/۰۳۵ میلی‌متر تا ۰/۴ میلی‌متر (۴۰۰ میکرون) متغیر است [۱۹].

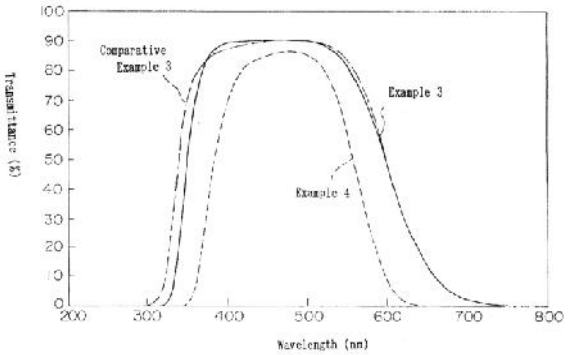
یک نمونه ساختار فیلم شامل ۵۰ جفت لایه‌های متوالی از باریم فلوراید (BaF_2) و نیکل‌کرومید (NiCr) در نظر گرفته شده است. از نظر دی‌الکتریک BaF_2 در ناحیه باریکی از IR کلاً شفاف است. در شرایطی که ضخامت لایه‌های BaF_2 و NiCr به‌ترتیب ۱/۳۴ میکرومتر و ۰/۱۸ نانومتر باشد منحنی قرمز به‌دست آمده و اگر ضخامت لایه‌ها برای BaF_2 و NiCr به‌ترتیب ۱/۸ میکرومتر و ۰/۱۸ نانومتر باشد منحنی سیاه به‌دست خواهد آمد. رابطه جذب مادون قرمز برای نمونه‌های فوق بر حسب فرکانس و طول موج و مقایسه آنها با جسم سیاه در همان دما، در شکل ۱۰ نمایش داده شده است [۲۰].



شکل ۱۰- رابطه جذب مادون قرمز با فرکانس و طول موج در ۲ نمونه با ضخامت و دمای متفاوت و مقایسه نمونه‌ها با جسم سیاه در همان دما [۱]

جدول ۲-درصد مواد مورد استفاده در شیشه جاذب مادون قرمز نزدیک [۲۱]

Materials	Percent
P_2O_5	۳۵-۵۰
Li_2O	۰-۵
Na_2O	۰-۱۲
K_2O	۰-۲۰
Cs_2O	۰-۲۰
R_2O (in which R is an alkali metal)	۰/۵-۲۰
ZnO	۱۷-۴۸
MgO	۰-۷
CaO	۰-۷
SrO	۰-۷
BaO	۰-۱۲
R'O(in which R' is an alkaline earth metal	۰-۱۵
CuO	۰/۲-۱۲



شکل ۱۱- مقایسه منحنی عبور (شفافیت) شیشه در نمونه‌های مختلف [۲۱]

۵-۲-۶- استفاده از ترکیبات جاذب مادون قرمز در ساخت شیشه

اجزای شیشه حاوی مواد جاذب مادون قرمز نزدیک در جدول شماره ۲ ارائه شده است [۲۱]:

همچنین در شکل شماره ۱۱ منحنی عبور (شفافیت) شیشه به‌دست‌آمده نشان داده شده است [۲۱].

یک شیشه جاذب مادون قرمز نزدیک، دارای عناصر جاذب مادون قرمز نزدیک می‌باشد که دارای ثبات شیمیایی خوب و انتقال (شفافیت) در محدوده مرئی می‌باشد. هنگامی که چنین شیشه ای ۱ میلیمتر ضخامت داشته باشد، شفافیت این شیشه در ۴۰۰ نانومتر بیش از ۸۰ درصد و در ۵۰۰ نانومتر بیش از ۸۵ درصد است. شیشه جاذب مادون قرمز نزدیک شامل کاتیون‌هایی مانند P^{5+}، Al^{3+}،Li^{+}، R^{2+}، Cu^{2+} و همچنین آنیون‌هایی مانند O^{2-} و F^{-} می‌باشد که با استفاده از شیشه فلوروفسفات و اضافه کردن Cu^{2+} با اثر جذب مادون قرمز نزدیک ساخته شده است. به‌منظور شکل گرفتن شیشه با ترکیب وزنی مشخص شده، مواد اولیه مانند فلوراید، متافسفات، اکسید، نیترات و کربنات با توجه به جدول شماره ۲ ترکیب می‌شوند. پس از این‌که اجزا به‌طور کامل مخلوط شدند، مواد خام به یک ظرف مخصوص ذوب فلز پلاتینی منتقل، و در دمای ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد برای ذوب شدن گرم می‌شود [۲۲].

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ارائه شده و بررسی‌های صورت‌گرفته مشاهده می‌شود که موضوع شنود لیزری به‌عنوان یک ابزار مهم و اثر گذار از سوی سرویس‌های جاسوسی و اطلاعاتی دنیا در حال استفاده می‌باشد و به تبع آن می‌بایست اقدامات غیرعامل مؤثری در جهت جلوگیری از شنود مکالمات محرمانه به‌عمل آید. از آنجا که سیستم‌های شنود و استراق سمع بسیار پیچیده و دارای تکنولوژی به‌روز می‌باشند لذا شناسایی و مقابله با آن‌ها نیز مستلزم صرف هزینه و داشتن دانش مناسب می‌باشد که از این رو باید تلاش شود تا بر اساس مستندات موجود روش غیرعامل مناسب جهت مقابله با این‌گونه تهدیدات پیش‌بینی نمود.

روش‌های مقابله الکترونیکی با شنودلیزری دارای کاربرد مناسب می‌باشند اما با پیشرفت تکنولوژی، امروزه امکان حذف نویزها وجود داشته و موجب عدم کارایی مناسب می‌گردند. درصورت استفاده از ورق های پلی‌کربنات جاذب مادون قرمز، می‌توان شیشه را حذف و ورق‌ها را جای‌گزین نمود به‌طوری‌که هم ظاهر کار حفظ شود و هم سبک‌تر و کم‌هزینه‌تر باشد.

در صورتی‌که گستره وسیعی از کاربرد مد نظر باشد می‌بایست با صنایع شیشه‌سازی تعامل برقرار شود تا نسبت به تهیه و ساخت شیشه‌های جاذب مادون قرمز اقدام عملی صورت گیرد. به‌کارگیری ویندوفیلم‌های جاذب مادون قرمز و شفاف، بسیار مطلوب می‌باشد زیرا در هر موقعیت و وضعیتی امکان استفاده از آن‌ها وجود دارد.

۷- مراجع

۱. مارک چیله، مبانی چشمه‌های نور و لیزرها، ترجمه جواد خلیل زاده و علی ریاحی، انتشارات دانشگاه امام‌حسین(ع)، **(۱۳۹۲)**.

۲. عباسی، سانار؛ و سایرین؛ بهینه‌سازی لایه‌های نازک ضد بازتاب لیزر Nd : YAG با استفاده از امواج حاصل از تابش لیزر به روش Laser Shock Peening و بررسی آستانه تخریب آن، سومین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران، **(۱۳۹۲)**.

۳. ورق‌های پلی‌کربنات جاذب اشعه مادون قرمز، www.ptyco.com

4. S. A. Vaziri, H. R. Shahverdi, S. G. Shabestari, and M. J. Torkamany, " Effect of beam interaction time on laser alloying with pulsed Nd–YAG laser," Mater. Sci. and Tech. vol. 25 , no. 10, pp. 1234-1237, **(2009)**.

5. S. A. Vaziri, H. R. Shahverdi, M. J. Torkamany, S. G. Shabestari, " Effect of laser parameters on properties of surface-alloyed Al substrate with Ni," Optics and Lasers in Engineering 47, pp. 971–975, **(2009)**.

6. S. A. Vaziri, H. R. Shahverdi, S. G. Shabestari, K. Hazeli, and M. J. Torkamany, " Effect of re-scanning on tribological characterization of laser surface alloyed layers," Mater. and Design, vol. 31, pp. 3875–3879 , **(2010).**

7. P. Omranian, H. R. Shahverdi, M. J. Torkamani, and S. A. Vaziri, " The effect of Nd:YAG laser surface melting parameters on the solidification behavior of aluminum surface," Mater. focus, vol. 1, no. 3 , pp. 1-6, **(2012).**

8. J. M. Moses, "A Simple Laser Microphone for Classroom Demonstration," The Physics Teacher , vol. 44, December (**2006**).

9. U. S. PATENT 6317237B1, "Voice monitoring system using laser beam," Nov. 13, (**2001**).

10. www.pimall.com, Nais, n.lazer.eaves.html.

11. www.electromax.com/laser.html.

12. U. S. PATENT 5533131A, "Anti-eavesdropping device," Jul 2, **(1996)**.

13. http://www.spyville.com/audiojammer.html, White Noise Generator Audio Jammer J1000.

14. U.S.PATENT 4,829,729 "Anti-eavesdropping Windows", May 16, (**1989**).

15. U.S.PATENT 3,514,174 "Infrared Interference Filter", May 26, (**1970**).

16. H. Ganesha Shanbhogue, "Multilayer antireflection coatingsfor the visible and near-infrared regions", Applied Optics, vol. 36, no. 25, Sept (**1997**).

17. U.S.PATENT 6,388,116 B1 "Near infrared absorbing compound" , May 14,(**2002**).

18. http://www.laserfocusworld.com/articles/print/Vol. 48/issue.04/newsbreaks/ Dielectric and metal thin-film multilayer is broadband IR absorber.

19. www.LLumar.com.

20. www.laserfocusworld.com.

21. U.S.PATENT 5,668,066 " Near infrared absorption filter glass" , sept 16,(**1997**).

22. U.S.PATENT 20130214218A1 " Near - infrared absorption glass, element and filter" , Aug 22, (**2013**).

Passive Countermeasure Methods with Laser Listening

S. A. Vaziri[1]

H. Marandi[2]

J. Khalilzadeh[3]

Abstract

Laser listening system is known as one of the advanced techniques use to eavesdrop on conversations in the room from outside the window. In this system, the laser beam utilize for detect of vibrations occurring on the surface of a distant target (window). In the laser listening systems, use a laser beam of non-visible wavelength band. In this Article, different methods of passive countermeasure with laser listening are studied. For passive countermeasure with laser listening, use the various electronic and physical methods. Physical methods of passive countermeasure are more variety and low costs than electronic methods. The physical methods are infrared interference filters, anti-reflection coatings in infrared range, infrared-absorbing compounds used in the glass and etc. Due to advances in technology and the possibility of Eliminate noises, electronic countermeasure methods are not sufficient. But physical methods, due to features such as keeping the glass transparency, cost-effectiveness and simplicity are attention.

Key Words: *eavesdropping, laser listening, near infrared, passive countermeasure, physical methods*

1-Assistant Professor and Academic Member of Imam Hussein Comprehensive University

2- M.S Candidate of Imam Hussein Comprehensive University, (marandi.hamid@chmail.ir)-Writer-in-Charge

3- Associate Professor and Academic Member of Imam Hussein Comprehensive University