Al-Mustansiriyah Univ.
College of Science
Physics Dept.

الجامعة المستنصرية
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الطلاء المضاد للانعكاس و بعض تطبيقاته

Anti-Reflecting Coating and Some of its Applications

تقرير من اعداد

حسام صبيح فليح و سارة حسين علي

بإشراف

أ.د. علي عبد داود الزكي

المقدمة

- تعد المرشحات البصرية optical filters ذات أهمية متزايدة في عالمنا اليوم، حيث أنها تلعب دورا هاما في مختلف المجالات، مثل نظم الاتصالات التي تتجه نحو الأطوال الموجية البصرية. وهي أيضا تستخدم لفصل الاطوال الموجية في الاجهزة المطيافية ، أنظمة الاتصالات، والحماية من الأضرار الناجمة عن الموجات غير المرغوب فيها، على سبيل المثال، حجب الأشعة فوق البنفسجية (UV) أو حجب الأشعة تحت الحمراء (IR) والحماية من خطر ليزرات محددة (مثل ليزرات الأشعة فوق البنفسجية التي تكون ذات طاقة عالية)، والعديد من الاستخدامات الأخرى.

- المرشحات البصرية هي ((ادوات تحجب موجات محددة أو نطاقات معينة من الأطوال الموجية وتمرر بقية الطيف)). لهذه المرشحات العديد من التطبيقات المتنوعة، وبتحديد تطبيقات المرشحات يتم تحديد دقة مديات الانعكاسية والنفاذية المطلوبة من هذه المرشحات.

- يتم صناعة المرشحات البصرية عن طريق ترسيب أغشية رقيقة من المواد البصرية (مثل MgF_2 ZnS SiO_2 MgO وغيرها) على طبقة اساسية من الزجاج أو المعدن عن طريق عدد من التقنيات مثل التبخير الفراغي، لإنتاج الخصائص البصرية المطلوبة. سمك الغشاء يمكن مقارنته بالطول الموجي للضوء (اي ان السمك يكون مقارب الى نصف او ربع الطول الموجي) وهذا هو السبب وراء تسمية هذه المرشحات بمرشحات الاغشية الرقيقة.

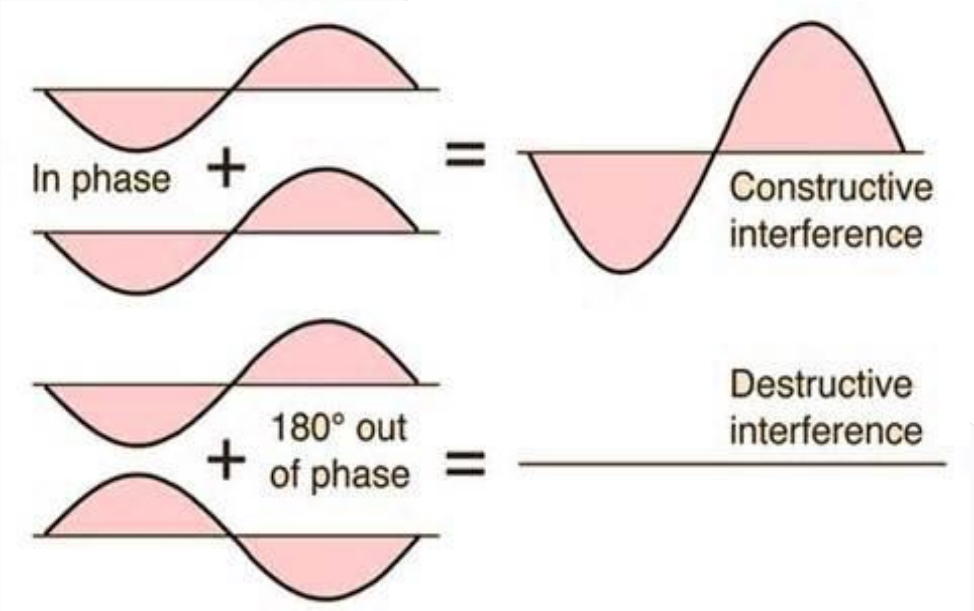
نبذة تأريخيه عن المرشحات البصرية :

- الاكتشافات التي قام بها كل من R.Boyle وR.Hooke عام 1665 لظاهرة الحلقات اللونية والتي سميت لاحقا "حلقات نيوتن" بعدما قام Newton بشرحها وتفسيرها في عام 1672 يمكن أن تعتبر نقطة الانطلاق لبصريات الاغشية الرقيقة . هذه الظاهرة كانت نتيجة للتداخل في ضوء غشاء رقيق واحد متفاوت السمك. وبعد اعلان T.Young مبدأ تداخل الضوء في عام 1801، تم ايجاد تفسير مقنع لهذه الظواهر .

- مبدأ تداخل الضوء interference of light هو المبدأ الأساسي في معظم منظومات العمل التي تعتمد الاغشية الرقيقة البصرية والتي تستخدم على نطاق واسع. صنع J.Fraunhofer في عام 1873، و لأول مرة الطلاء المضاد للانعكاس (antireflection coating) .
- أصبح التطور أكثر سرعة خلال الفترة من 1930 إلى 1950، ويعد ذلك بداية العصر الحديث للمرشحات التي تعتمد الاغشية الرقيقة، من خلال صنع مرشحات تداخل الحزم الضيقة (narrow band interference filters) ، تم إنشاء مثل هذه المرشحات من قبل A.F.Turner خلال الفترة 1950-1968. و توالت التطويرات والاستخدامات ولازالت حتى يومنا الحالي.

التداخل الضوئي Optical Interference:

التداخل الضوئي ظاهرة فيزيائية تحدث بين الموجات المقترنة. فيحدث بين هذه الموجات تراكب أو تداخل نتيجة صدورهما من مصدر واحد (للموجتين نفس الطول الموجي) أو تقاربهما في قيمة التردد . ويكون هذا التداخل إما تداخل اتلافيا أي أن الإشارة الأولى تدمر الأخرى وتوهنها ويكون ذلك حين تكون إزاحة الطور π تقريبا بين الموجتين، فحينها تكون الموجة المشكلة صفرية السعة او شبه صفرية. ويمكن أن يكون تداخلا بناء ، أي أن تعزز الواحدة الأخرى ويشكلان موجة ثالثة مضاعفة السعة ويكون ذلك عندما يكون للموجتين نفس الطور تقريبا .



يحدث التداخل الضوئي بين موجتين عند التقائهما في نقطة واحدة اذا توفر عدة شروط اهمها :

- ان يكون للموجتين نفس الطول الموجي .
- ان تكون الموجتين متشاكهتان (يكون بينهما فرق طور ثابت).
- هناك شروط اخرى مثل مستويات الاهتزاز وحالة الاستقطاب للموجات المتداخلة .

المعادلة الاساسية لأداء المرشحات البصرية :

ان سقوط الضوء على وسط مادي عادة ما ينقسم الى ثلاث مركبات اساسية هي المركبة المنعكسة و المركبة النافذة و المركبة الممتصة للضوء. وبشكل عياري يكمن تمثيل ذلك بالمعادلة التالية :

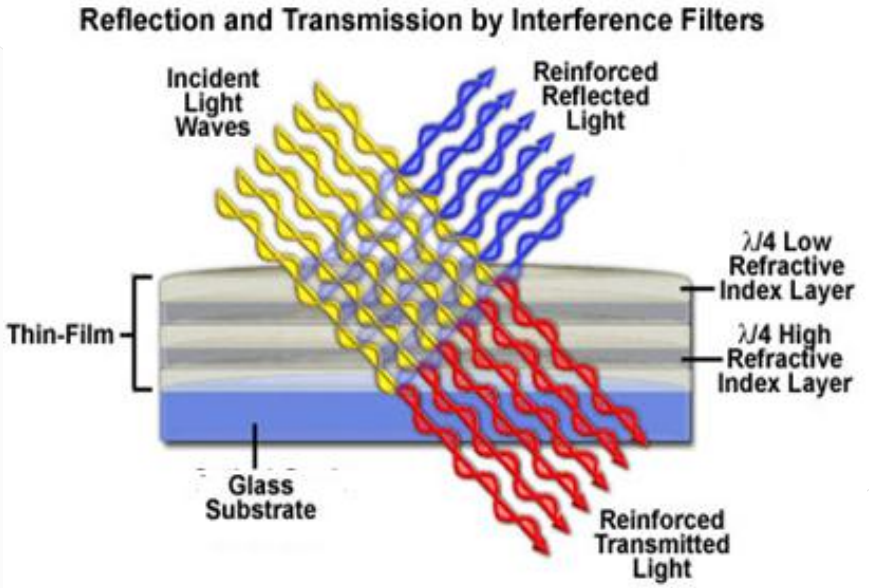
$$R + T + A = 1$$

اذ ان:

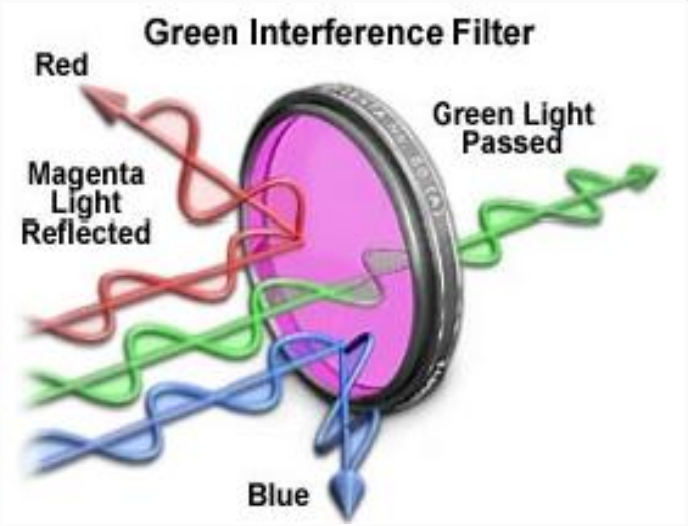
- A = الامتصاصية للضوء.
- R = الانعكاسية للضوء.
- T = النفاذية للضوء.

مرشحات التداخل Interference Filters:

تعتمد هذه المرشحات على ظاهرة التداخل الضوئي. يكون هذا النوع هو المفضل لأنه يتيح للمصمم مدى واسع من التغيرات للوصول الى الخواص المطلوبة. يتكون هذا النوع من حزمة من الطبقات الرقيقة للمواد المستخدمة وكما هو مبين في الشكل (1). يطلق على مرشحات التداخل في بعض الاحيان اسم (مرشحات ثنائية الالوان dichroic filters) لامتلاكها لون معين عند الجهة التي تعكس الضوء ولون آخر في الجهة التي تمرر الضوء وكما هو موضح في الشكل (2).



شكل (1) طبقات مرشح التداخل وكيفية انعكاس ونفاذ الضوء



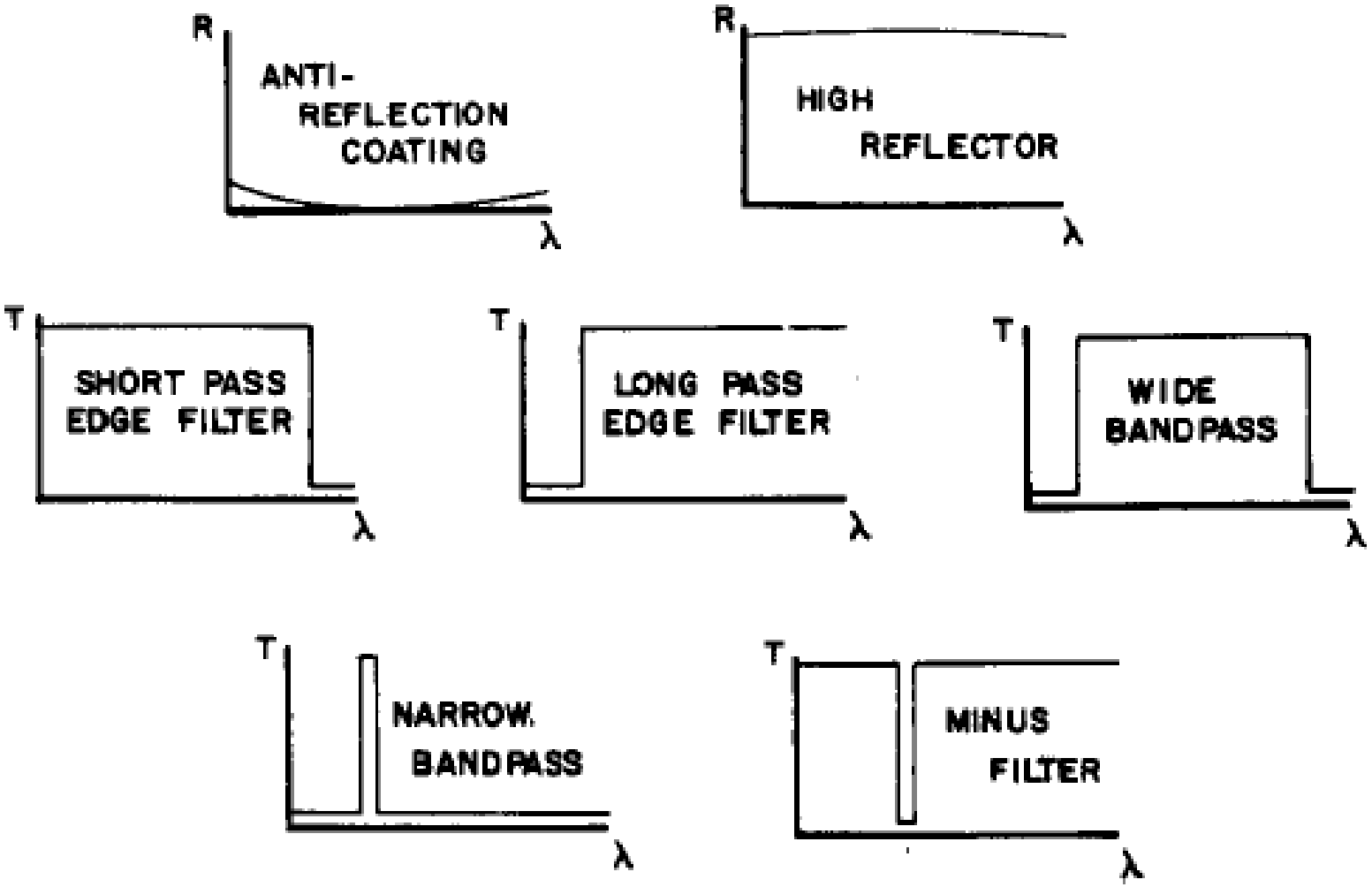
شكل (2) مرشح تداخل ثنائي اللون

الأنواع الرئيسية للمرشحات والطلاءات البصرية من حيث الاستخدام

الأنواع الرئيسية الطلاءات والمرشحات البصرية بالاعتماد على تطبيقاتها هي :

- المرشحات المضادة للانعكاس Anti-Reflection Filters : وهي مرشحات تستخدم لتقليل الانعكاسية من اسطح المكونات البصرية .
- المرشحات العالية الانعكاس High-Reflection Filters : وهي مرشحات تستخدم لزيادة الانعكاسية للأسطح البصرية (اي جعلها اشبه بمرايا).
- مرشحات الحافة Edge Filters : وهي مرشحات تستخدم لتمرير جزء من الطيف عند حافة (قيمة) محددة وحجب الجزء المتبقي او العكس .
- مرشحات تمرير الحزمة Band-Pass Filters : وهي مرشحات تستخدم لتمرير جزء عريض او ضيق من الطيف وحجب الجزء المتبقي منه.
- مرشحات الطرح أو الاقصاء Minus Filters: وهي مرشحات تستخدم لحجب جزء محدد من الطيف و تمرير كل الجزء المتبقي منه.

يبين الشكل (3) الاداء الطيفي لجميع انواع المرشحات اعلاه.



الشكل (3) الاداء الطيفي لجميع انواع المرشحات البصرية.

وصف تصاميم المرشحات البصرية:

- يتم وصف التصميم متعدد الطبقات العازلة بشكل كامل بمعاملات الانكسار(الحقيقية) وسمك طبقاته ومعاملات الانكسار للوسطين المحيطين به (وسطي السقوط والخروج والطبقة الاساس).

- لوصف السمك يفضل دائما السمك البصري، ولكن ليس بالتعريف المعتاد (السمك الطبيعي مضروبا بمعامل الانكسار) ولكن كسمك بصري لربع موجة (Quarter-Wave Optical Thickness) أو(QWOT)، لان الاغشية ذات الربع موجة تلعب دور مهم في بصريات الاغشية الرقيقة . يعرف (QWOT) بأنها الطول الموجي الذي يكون عنده الغشاء بسمك 0.25 من الطول الموجي.

- تكتب صيغة التصميم كالاتي : معاملات الانكسار للأوساط الكثيفة تظهر في الواجهة (وسط السقوط ، أغلب الاحيان يكون هو الوسط المحيط) وفي الخلف (وسط الخروج، في معظم الاحيان هو الطبقة الاساس). وصف الطبقات المتعددة الفعلي، يوضع في الوسط . تكتب الطبقات ذات السمك 0.25 لطول موجة التصميم λ_o بأحرف كبيرة.

- يوصف التركيب الدوري متعدد الطبقات عن طريق وضع الطبقات المكونة لفترة الأساس (غالبا ما تسمى العناصر) بين أقواس ويشار إلى عدد حالات التكرار بقوة الرفع :

$$ABABABAB = (AB)^4$$

- بهذا التبيان، يمكن وصف تصميم معين بعدد من الطرق المختلفة. على سبيل المثال، التصميم :

1.52 | HLHLHHLHLH L HLHLHHLHLH L HLHLHHLHLH | 1.52

ويمكن ايضا كتابته بالصيغة التالية :

$$1.52 \mid (HL)^2\ H\ (HL)^5\ H\ (HL)^5\ H\ (HL)^2\ H \mid 1.52$$

اذ ان :

- H: طبقة من مادة الطلاء ذات معامل انكسار عالي ذات سمك بصري يساوي ربع الطول الموجي.
- L : طبقة من مادة الطلاء ذات معامل انكسار واطئ ذات سمك بصري يساوي ربع الطول الموجي.
- HH or LL : الطبقات المزدوجة من نفس المادة تعطي سمك بصري يساوي نصف الطول الموجي ، ويطلق عليها اسم فجوة (cavity).

المرشحات المضادة للانعكاس Anti-Reflection Filters

- يتألف اي نظام بصري (مجهر، كاميرا، تلسكوب، ...) من عدد من العناصر البصرية المنفذة للضوء مثل الزجاج، حيث يعكس كل سطح نحو 4% تقريبا من الطاقة الساقطة عليه، سواءً انتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج أم من الزجاج إلى الهواء، وهذا يعني أن كل عدسة مثلاً ستعكس نحو 8% من الطاقة، وتزداد هذه القيمة مع زيادة معامل انكسار العنصر البصري، لذلك فإن مثل هذه الخسارة غير مقبولة في الأنظمة الضوئية الحديثة، بالإضافة إلى ذلك حدوث تشوه في الصورة التي تشكلها هذه الأنظمة بسبب الانعكاسات المضاعفة داخلها.

- الطلاء المضاد للانعكاس هو غشاء رقيق أو مرشح بصري تداخلي مؤلف من طبقة واحدة أو عدد من الطبقات الشفافة تقوم بخفض انعكاس الضوء من قبل سطح ما بهدف تحسين خصائصه مثل رفع نفاذيته في الأجهزة البصرية والنظارات الطبية أو رفع امتصاصه كما في الخلايا الكهروضوئية (الشمسية).

- تختلف مضادات الانعكاسية بحسب المجال الطيفي فمنها ما يكون في المجال المرئي كالنظارات الطبية وكاميرات التصوير أو فوق البنفسجي كأجهزة تصنيع الدوائر الإلكترونية أو الاشعة تحت الحمراء كما في أجهزة التصوير الليلي، ومنها ما قد يجمع عدة مجالات طيفية معاً كالخلايا الشمسية التي تحتاج إلى زيادة الفعالية في المجال المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة.

ان ابسط طريقة لتقليل الانعكاسية من اسطح المكونات البصرية (عدسات، مواشير،...) هي بوضع طبقة رقيقة من مادة معينة ذات معامل انكسار معين على تلك الاسطح وكما مبين في الشكل (4)، ويمكن قياس الانعكاسية التي تم تقليلها من المعادلة التالية :

$$R = \frac{(n_s - n_1^2)^2}{(n_s + n_1^2)^2}$$

ويمكن تقليل الانعكاسية الى الصفر حسب المعادلة التالية :

$$n_1 = \sqrt{n_o n_s}$$

حيث ان

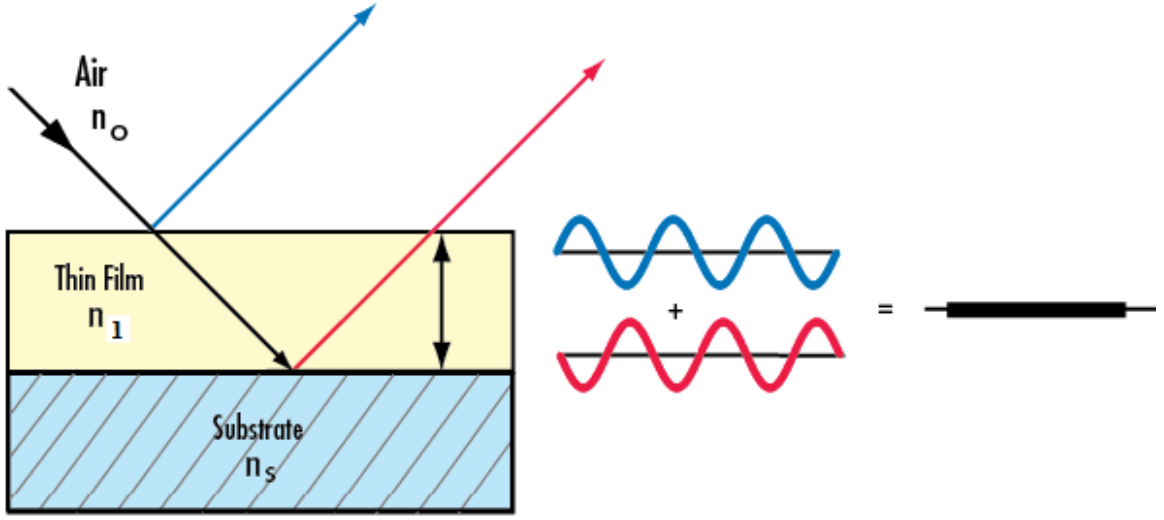
n_1 : معامل انكسار الطبقة الرقيقة

n_o : معامل انكسار طبقة سقوط الضوء (عادة يكون الهواء)

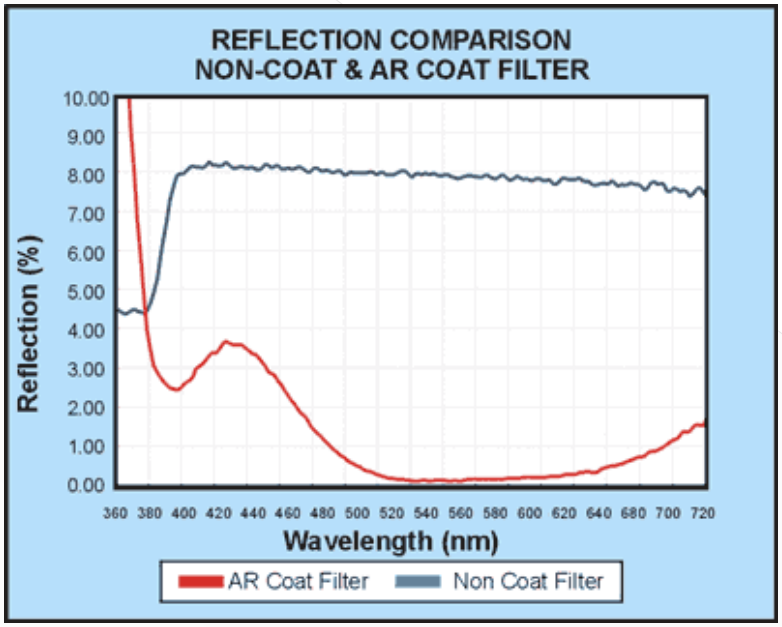
n_S : معامل انكسار الطبقة الاساس .

علما ان الاداء الطيفي لهذه المرشحات موضح في الشكل (5) . وتكمن اهمية هذا النوع من المرشحات في الاجهزة البصرية التي تحتوي على عدد كبير من المكونات مثل الكاميرات ذات الجودة العالية التي قد تحتوي على 6 عدسات او اكثر (اي 12 سطح عاكس) وغيرها من الاجهزة البصرية.

يتم تمثيل هذا المرشح بـ : A LHL S او A LH S او A L S



شكل (4) طبقة من مرشح مضادة للانعكاس وكيفية انعكاس الضوء.



شكل (5) الاداء الطيفي للمرشحات المضادة للانعكاس.

النظارات الطبية Correcting lenses

يكون استخدام الطلاء المضاد للانعكاس مهما عند التعامل مع العدسات المصنوعة من مواد ذات معامل انكسار عالي مثل العدسات البلاستيكية المصنوعة من مادة thiourethanes (n=1.74) والتي تستخدم لتقويم البصر. على هذا النحو، فان هذه العدسات تعكس مزيدا من الضوء – وكلما يزداد معامل الانكسار، يزداد الضوء المنعكس من سطح العدسة. وينعكس 8% من الضوء الساقط بواسطة العدسات البلاستيكية العادية، وبالتالي فان 92% من الضوء يكون متاح للرؤية. بارتفاع معامل الانكسار للعدسات البلاستيكية فهي تعكس ما يصل الى 50% اكثر من العدسات البلاستيكية العادية (اي ما يقرب من 12% من الضوء)، وبالتالي فإن الصورة التي يتم الحصول عليها تكون معتمة، بسبب قلة الضوء الواصل إلى العين. يسبب ذلك صعوبة الرؤية ، بالإضافة الى الخطورة في ظروف الإضاءة المنخفضة، مثل القيادة ليلا.

يمكن للنظارات ذات الطلاء المضادة للانعكاس ان تمنع الانعكاس، بحيث 99.5% من الضوء الساقط ينفذ من العدسة ويصل إلى العين وكما في الشكل (6).

شكل (6) الفرق بين نظارات طبية تحتوي على مرشح مضاد للانعكاس واخرى لا تحتوي على هذا المرشح.

عدسات الكاميرات Camera lenses

عادة ما تتكون عدسات الكاميرات الحديثة من (6 - 16) عدسة . ولأن كل سطح من العدسة (عدا تلك ملتصقة ببعضها) يقلل كمية الضوء التي تنتقل من خلال العدسة من 4 إلى 8 % ، نتيجة الانعكاس. وهذا الضوء المنعكس يسبب اللمعان ، الظلال ، و تقليل التباين في الصورة.

باستخدام التقنيات الحديثة للطلاء المضاد للانعكاس الذي تعمل بكفاءة تصل الى 99.9% ، فانه من الممكن تقليل الانعكاس الى 2 % فقط ، والشكل (7) يبين عدسات كاميرات تحتوي على طلاء مضاد للانعكاس .

بدون الطلاء المضاد للانعكاس لن يكون هناك أي كاميرات ذات تكبير عالي (التي تحتوي على عدد كبير من العدسات)، وحتى الكاميرات العادية ستكون صورها ذات جودة منخفضة.

شكل (7) عدسات كاميرات تحتوي على مرشح مضاد للانعكاس

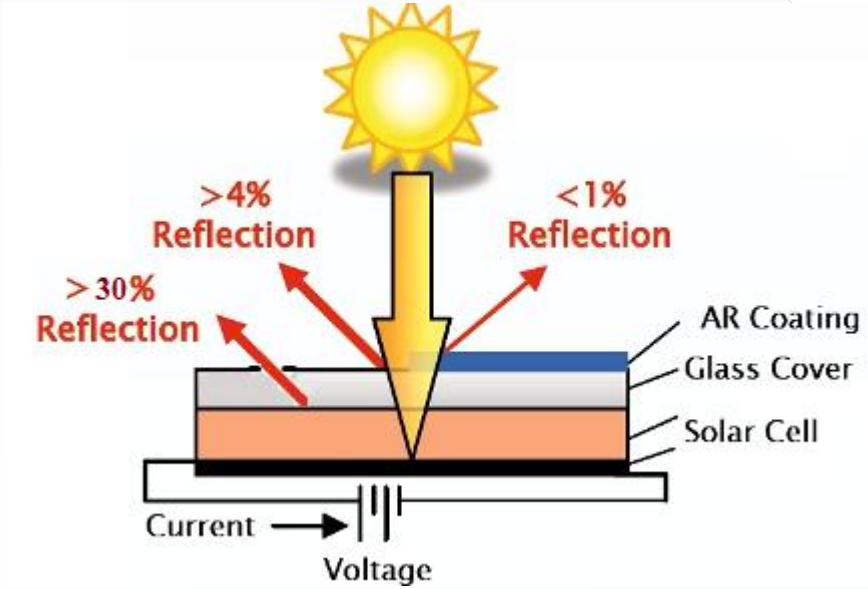
الناظور Binocular

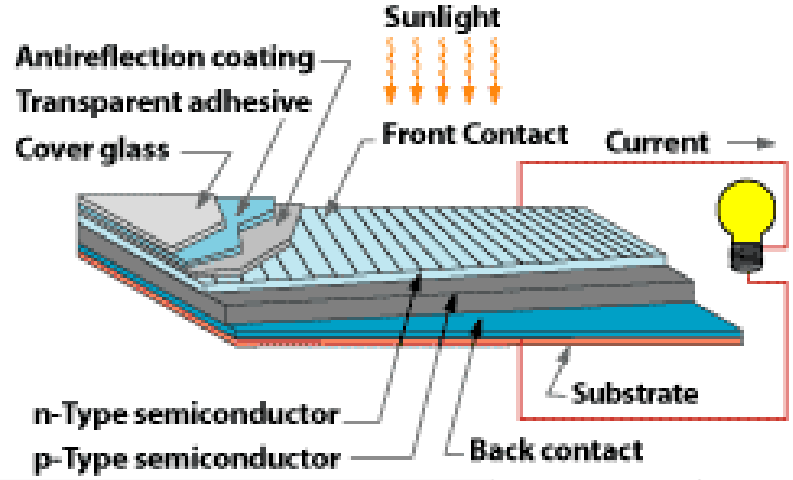
الطلاء المضادة للانعكاس يقلل خسائر الضوء من الاسطح البصرية. الحد من الانعكاس عبر الطلاء المضادة للانعكاس يقلل من كمية الضوء "المفقود" الموجودة داخل الناظور الذي يعمل على كون الصورة تبدو ضبابية (قليلة التباين) . زوج من المناظير مع طلاء بصري جيد (كما في الشكل 8) يسفر عن صورة أكثر إشراقا من مناظير غير مزودة بعدسات مطلية. المواد الكلاسيكية لطلاء العدسات هي فلوريد المغنيسيوم ، مما يقلل من الضوء المنعكس من 5 % إلى 1% . تتكون الطلاءات الحديثة للعدسات من طبقات متعددة معقدة تعكس فقط 0.25% أو أقل لإنتاج صورة بأقصى قدر من السطوع و الألوان الطبيعية .

شكل (8) عدسات نواظير تحتوي على مرشحات مضادة للانعكاس.

الخلايا الشمسية Solar cells

تتكون معظم الخلايا الشمسية التقليدية من السليكون. يكون سطح السيليكون ذو انعكاسية عالية تصل الى اكثر من 30 % ، يؤدي ذلك الى تقليل كمية الضوء الواصل الى الخلية الشمسية وبالتالي تقليل كفاءتها . لذلك تغطى الخلايا الشمسية بطبقة من الطلاء المضاد للانعكاس لزيادة كمية الضوء الواصل الى تلك الخلايا وتقليل الضوء المنعكس عنها الى اقل من 1 % (كما في الشكل 9) لزيادة كفاءتها.





شكل (9) خلايا شمسية مغطاة بمرشح مضاد للانعكاس.

المستخلص

- تبين مما تقدم الدور الكبير للمرشحات المضادة للانعكاس واهميتها الكبرى لمختلف الاجهزة البصرية .

- ان عدم استخدام هذه المرشحات يؤدي الى انعكاس كمية كبيرة من الضوء الساقط على سطوح الاجهزة البصرية ونفاذ جزء قليل منه مما يؤدي الى وجود ظلال و تقليل التباين في الصور المتكونة في تلك الاجهزة (النظارات، الكاميرات، النواظير،...) او تقليل كفاءة الخلايا الشمسية.

المصادر

- A. Thelen, "Design of Optical Interference Coatings", McGraw-Hil, (1989).
- E. Hecht, "Optics" Addison Wesley, New York (2002) .
- Francis A. Jenkins and Harvey E. White, “Fundamentals of Optics” 4th ed., McGraw-Hill Companies, Inc. (2001).
- M. Bass, "Handbook of Optics " 2nd ed., vol.1, McGraw-Hill (1995).
- R. A. Serway and J. W. Jewett, "PHYSICS for scientists and engineers" 6th ed., Thomson Brooks/Cole (2004) .