

تصميم نظري لغطاء يقلل درجة الحرارة للخلايا الشمسية ويزيد كفاءتها

حسام صبيح العرب

وزارة العلوم والتكنولوجيا- دائرة تكنولوجيا الطاقات المتجددة

البريد الالكتروني: husam.sabyh@yahoo.com

استلام البحث 22، شباط، 2014

قبول النشر 26، تشرين الاول، 2014



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

الخلاصة:

تم في هذا البحث تقديم الانواع الرئيسة للطلاءات البصرية والطلاءات التي تستعمل بوصفها أغطية للخلايا الشمسية والتي تقوم بعكس الاشعة تحت الحمراء (الحرارة) عن الخلية الشمسية لترتفع كفاءة الخلية الشمسية (لان كفاءة الخلية تتناسب عكسيا مع الحرارة) ، ثم تم التطرق للأساس النظري والوصف الرياضي لهذه الطلاءات البصرية وتم تصميم طلاء بصري يلبي هذا الهدف وتم حساب النفاذية البصرية له باستعمال برنامجي (MATLAB R2008a) و (Open Filters 1.0.2).

الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية ، الطلاءات البصرية و برنامج MATLAB .

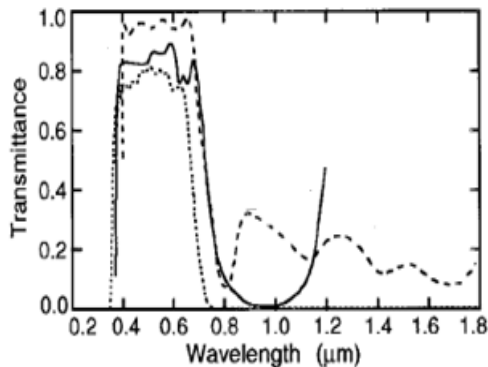
المقدمة:

تحت الحمراء، والتي يتم تحويلها إلى حرارة بالامتصاص . ان استعمال عاكسات الحرارة و المرايا الباردة (مرشحات لحجب الأطوال الموجية المرئية وفوق البنفسجية) في الأجهزة البصرية الأخرى يمكن أن يؤدي إلى خفض كبير جدا لهذه الحرارة غير المرغوب فيها . اما عاكسات الحرارة (وتسمى أيضا المرايا الساخنة) فهي مرشحات خاصة لحجب الأطوال الموجية الطويلة بعبءة حجب مقدارها (0.7 mm) تسمح بمرور الإشعاع المرئي من (0.4 - 0.7 mm) دون الإخلال بالتوازن اللوني . وتظهر في الشكل (1) منحنيات النفاذية الطيفية لثلاثة مرشحات نموذجية تجارية عاكسة للحرارة . [4]

تعد المرشحات البصرية الطيفية ذات أهمية متزايدة في عالمنا اليوم، إذ أنها تؤدي دورا مهما في مختلف المجالات، مثل نظم الاتصالات التي تنتج نحو الأطوال الموجية البصرية . وهي أيضا تستعمل لفصل الأطوال الموجية في الأجهزة المطيافية ، و 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 خطوط ليزر محددة، والعديد من الاستعمالات الأخرى [1]

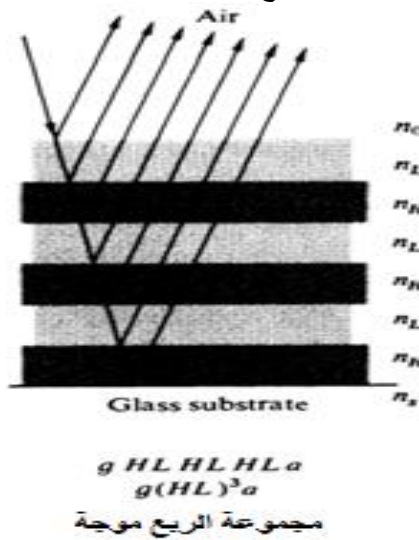
ان المرشحات البصرية الطيفية هي ادوات تحجب موجات محددة أو نطاقات معينة من الأطوال الموجية وتتمرر بقية الطيف . يمكن أن تكون لهذه المرشحات مجموعة متنوعة من التطبيقات، وتحديد تطبيقات المرشحات يتم تحديد دقة مديات الانعكاسية والنفاذية المطلوبة من هذه المرشحات . [2] تتم صناعة المرشحات البصرية عن طريق ترسيب أغشية رقيقة من المواد البصرية على طبقة اساسية من الزجاج أو المعدن عن طريق التبخير الفراغي، لإنتاج الخصائص البصرية المطلوبة. سمك الغشاء يمكن مقارنته بالطول الموجي للضوء وهذا هو السبب وراء تسمية هذه المرشحات بمرشحات الاغشية الرقيقة . [3]

يتم الحصول على طاقة الضوء المرئي من اقواس الكربون بنسبة 39 % ومن مصابيح التنجستن بنسبة 13 % اذ تعمل بدرجة حرارة (3250 K) . معظم الطاقة المتبقية هي الأشعة

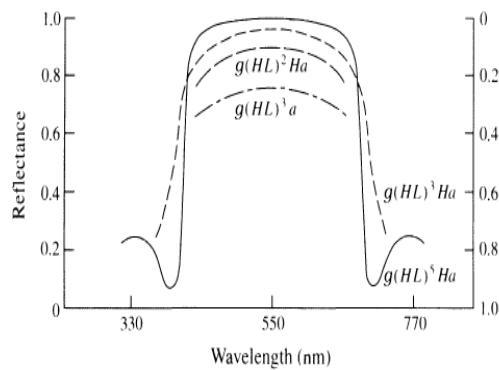


شكل (1) الاداء المقاس للطلاءات التجارية للتحكم بالحرارة [4]

المنطقة الوسطى ذات الانعكاسية العالية تزداد مع زيادة قيم نسبة معاملات الانكسار n_H / n_L وارتفاعها يزداد مع عدد الطبقات .



شكل (3) التركيب الدوري



شكل (4) الانعكاسية والنفاذية لعدد من التراكيب الدورية

يمكن الحصول على اسطح مرآيا ذات انعكاسية عالية باستعمال الصيغة [9] :

$$[a (HL)^N H g] \dots (2)$$

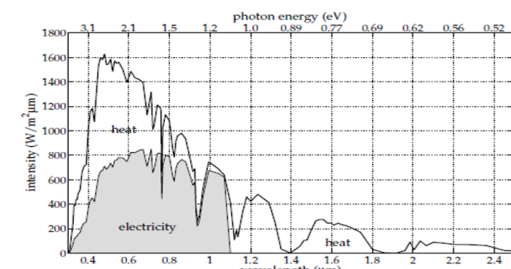
يتم وصف التصميم متعدد الطبقات العازلة بشكل كامل بمعاملات الانكسار (الحقيقية) وسمك طبقاته الفردية ومعاملات الانكسار للوسطين المحيطين به (وسطي السقوط والخروج والطبقة الاساس). زاوية السقوط α_0 والطول الموجي λ يحددان كيفية وموقع استعماله [12,11,10] .

و لوصف السمك يفضل دائما السمك البصري، ولكن ليس بالتعريف المعتاد nd ولكن كسمك بصري لربع موجة (Quarter-Wave Optical Thickness) أو (QWOT)، لان الاغشية ذات الربع موجة تؤدي دورا مهما في بصريات الاغشية الرقيقة . يعرف QWOT بأنه الطول الموجي الذي

ان غطاء الخلايا الشمسية يزيل الطاقة الشمسية الساقطة التي لا تسهم في انتاج الكهرباء للخلية ويحميها من التدهور الممكن لأدائها من خلال تأثير الأشعة تحت الحمراء علما ان المدى الحراري الضار للخلية الشمسية هو (1200~1500 nm) [7,6,5] ، وكما هو مبين في الشكل (2).

و بصورة عامة فان الخلايا الشمسية الاحادية والمتعددة التبلور (monocrystalline and polycrystalline) يكون لها معامل حرارة بنحو (0.5 %) اي ان الطاقة العظمى للخلية تنخفض بهذا المقدار لكل درجة حرارية واحدة اعلى من (25°C) [8].

تشمل هذه الأغشية على الأقل طبقة اساسية و مرشح متعدد الطبقات لتمرير الحزمة ، وغالبا ما يكون أيضا طلاء عاكس للأشعة فوق البنفسجية و طلاء عاكس للحرارة. يتم تثبيت الغطاء إلى الخلية الشمسية، يتم تصميم مرشح تمرير الحزمة متعدد الطبقات ليمرر تقريبا اغلب الإشعاع الشمسي داخل حزمة الموجات البصرية التي تكون الخلية حساسة لها [4]. وقد تم العمل الرائد على مرشحات تمرير الحزمة متعددة الطبقات للخلايا الشمسية من قبل (Thelen 1966) في عدت براءات اختراع في الولايات المتحدة [1] .



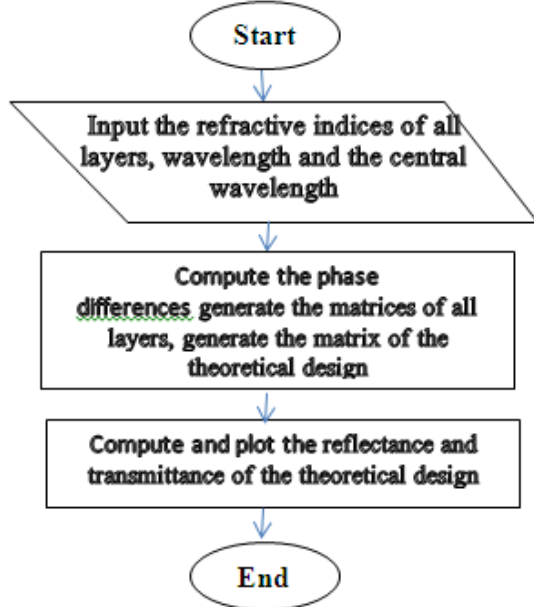
شكل (2) المدى الفعال والمدى الحراري الضار للخلية الشمسية [9]

ان أبسط نوع من النظام الدوري (periodic system) للطلاءات البصرية هو مجموعة (كومة) الربع موجة (quarter-wave stack)، والتي تتكون من عدد من الطبقات ذات الربع موجة (quarter wave) . التركيب الدوري للمواد ذات معاملات الانكسار العالية والمنخفضة على التناوب، الموضح في الشكل (3) [9]، يرمز له :

$$g (HL)^N a \dots (1)$$

اذ ان g هو الطبقة الاساس ، HL هي المواد ذات معاملات الانكسار المنخفضة و العالية على التوالي ، a هو الهواء (الوسط الذي تسقط منه الموجات الى الغشاء)، N هو طبقات الطلاء. يوضح الشكل (4) الصيغة العامة للجزء الذي يمثل الانعكاسية الطيفية لمرشحات ذات طبقات متعددة قليلة [9] .

البصرية ويستعمل ايضا للحصول على رسوم بيانية مختلفة لتلك الطلاءات ، تمت كتابة البرنامج بلغة ++C . والثاني هو لغة برمجة عالية المستوى تستعمل للحسابات الرياضية، و لرسم المخططات البيانية و البرمجة. تتكون خطوات تنفيذ التصميم برمجيا كما في المخطط الانسيابي الاتي :



مخطط انسيابي (1) خطوات تنفيذ التصميم النظري برمجيا

النتائج والمناقشة:

تم حساب النفاذية و الانعكاسية (اذ تهمل الامتصاصية لان مواد الطلاء عازلة) من خلال برنامجي (Open Filters 1.0.2) و (MATLAB) وكما مبين من الاشكال الاتية (5) و (6) و (7) على التوالي ، و كما هو مبين من المخطط الانسيابي السابق لخطوات تنفيذ التصميم برمجيا. اذ ان النفاذية الكلية المقاسة في برنامج (MATLAB) هي (95.35 %) للمدى الفعال للخلية الشمسية الذي يبدأ من (400 nm) الى (1100 nm) ، و الانعكاسية الكلية المقاسة في برنامج (MATLAB) هي (0.0464 %). يظهر من الشكلين (5) و (6) تطابق منحنى النفاذية في البرنامجين للتصميم نفسه وذلك يدل على دقة البرنامجين . توجد بعض التموجات في اعلى منحنى النفاذية وذلك يعود الى عدد طبقات التصميم واسلوب التصميم ، حيث يمكن الحصول على تصميم افضل من خلال زيادة عدد الطبقات لكن مع ازدياد صعوبة تنفيذ التصميم عمليا لذلك تم الاقتصار على عدد قليل للطبقات للسهولة .

يكون عنده الغشاء بسمك 0.25 من الطول الموجي ، أو، بـ [13] :

$$QWOT = 4nd \cos \alpha \dots (3)$$

تكتب صيغة التصميم كالآتي : 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 بين خطوط عمودية مفصولة . تكتب الطبقات ذات السمك 0.25 لطول موجة التصميم λ_0 بأحرف كبيرة .

يوصف التركيب الدوري متعدد الطبقات عن طريق وضع الطبقات المكونة للتكرار الأساس (غالبا ما تسمى العناصر) بين أقواس ويشار إلى عدد حالات التكرار بقوة الرفع [10] :

$$ABABABAB = (AB)^4 \dots (4)$$

يعتمد أداء الخلية الشمسية على درجة حرارة الخلية و يمكن تحديد درجة الحرارة هذه عن طريق قياس الطاقة باعتبار أن الطاقة الشمسية الممتصة والتي لا يتم تحويلها إلى كهرباء تتحول الى حرارة ، والتي تنتبدد إلى البيئة المحيطة الشمسية في درجات حرارة مرتفعة ، والتي تؤدي الى خفض كفاءة الخلية الشمسية [9] .

المواد وطرائق العمل:

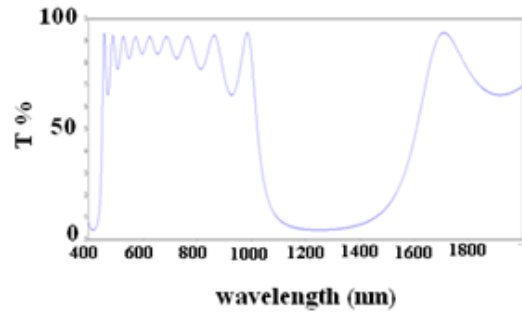
تم اختيار مادتي (ZnS) و (MgF₂) بوصفها مواد ذات معاملات انكسار عالية (2.3) وواطئة (1.38) على التوالي (تعمل هذه المواد في المدى المرئي والاشعة تحت الحمراء من الطيف الشمسي وهي مواد متوافرة وشائعة الاستعمال) [1] ، لترسيبها على طبقة اساس من الزجاج معامل انكسارها (1.52) بتركيب :

$$(HL)^4 H S \dots (5)$$

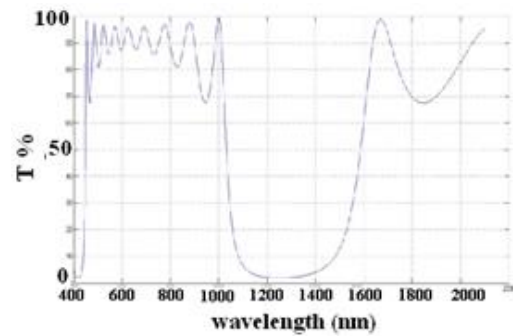
علما ان السمك البصري لكل طبقة يساوي ربع الطول الموجي الرئيسي ، أي : $(\frac{\lambda_0}{4})$ للتصميم والذي يساوي (1250 nm) (تم اختيار هذه القيمة لينتهي تمرير الحزمة بقيمة 1100 nm). لذلك فان السمك البصري لكل طبقة يساوي (312.5 nm). يمكن اختيار مواد اخرى ذات معاملات انكسار مقاربة للمواد المذكورة سابقا لكن يجب ان تعمل ضمن المديين (المرئي والاشعة تحت الحمراء) ايضا ، ومن هذه المواد (TiO₂ : 2.3)، (ZnSe: 2.4)، (CdTe: 2.7) بوصفها مواد ذات معاملات انكسار عالية ، و (SiO₂: 1.46)، (Al₂O₃: 1.62)، (Na₃AlF₆: 1.35) بوصفها مواد ذات معاملات انكسار واطئة . تم استعمال برنامجي (Open Filters 1.0.2) و (MATLAB) ، اذ ان الاول هو برنامج يوفر ادوات متعددة لتصميم وتحسين طلاءات التداخل

المصادر:

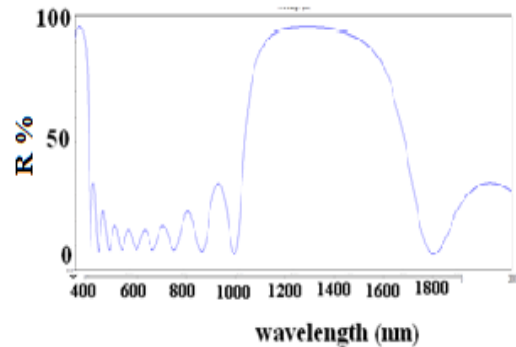
- [1] Macleod, H. A. 2010. Thin-Film Optical Filters, 4th ed., CRC Press Taylor & Francis Group. USA, pp 772.
- [2] Grant, F. R. 2012. Introduction to Modern Optics, reprint of originally published 2nd ed. in 1975, Courier Dover Publications. USA, pp 336.
- [3] Chandron, A. 2001. Self-Assembled Multilayer Dielectric Spectral Filters, MSc., thesis, Virginia University. USA, pp 66.
- [4] Bass, M. 1995. Handbook of Optics, 2nd ed., vol.1, McGraw-Hill. USA, pp 1606.
- [5] Aguilera, J. A.; Howard, W. H.; Kris, M. E. 2000. Solar Cell Cover and Coating, Deposition Sciences Inc., Santa Rosa Calif., US patent no. 6,107,564. pp 14.
- [6] Yoon, H.; David E.; Daniel, J.; Law, C.; Krut, D.; Richard R.; Vijayakumar, P.; Peterson, D.; Hanley, J. and Karam, N. 2006. Application of infrared reflecting (IRR) coverglass on multijunction III-V solar cells, IEEE, vol. 2:1861 – 1864.
- [7] Russell, J.; Jones, G., and Hall, J. 2006. A New UVR/IRR Coverglass for Triple Junction Cells, IEEE, 2: 1911 - 1914.
- [8] Solar Panel Temperature Facts and Tips, Offices in the Delaware, New York and Germany, Copyright © 2010-2013 Alchemie Limited Inc.
- [9] Hecht, E. 2013. Optics, International ed of 4th revised ed., Pearson Education Limited, USA, pp 688.
- [10] Kalogirou, S. A. 2009. Solar energy engineering: processes and systems, 1st ed., Elsevier Inc. USA, pp 760.
- [11] Xin, C.; Peng, C.; Xu, Y., and Wu, J. 2013. A novel route to prepare weather resistant, durable



شكل (5) النفاذية المقاسة في برنامج (Open Filters 1.0.2)



شكل (6) النفاذية المقاسة في برنامج (MATLAB)



شكل (7) الانعكاسية المقاسة في برنامج (Open Filters 1.0.2)

الأستنتاجات:

تبين مما تقدم سابقا ان التصميم النظري للطلاء البصري المستعمل بوصفه غطاء للخلية الشمسية هو تصميم ناجح بحسب الرسومات البيانية لمنحنيات النفاذية والانعكاسية للغشاء والتي تم الحصول عليها باستعمال برنامجي (MATLAB) و (Open Filters) اذ لبي التصميم الهدف المطلوب وهو تمرير المدى الفعال للخلية الشمسية (400~1100 nm) [7,6,5] ، وعكس المدى الحراري الضار للخلية الشمسية الذي يقع بمدى (1200~1600 nm) [6] وهذا ما يطابق اداء المرشحات النموذجية التجارية المبين في الشكل (1).

- dye-sensitized solar cell, ELSEVIER, Solar Energy, vol. 86 (7): 2049–2055.
- [13] Thelen, A., 1989. Design of Optical Interference Coatings, McGraw-Hill. USA, pp 223.
- antireflective films for solar glass, ELSEVIER, Sol. Energy 93: 121–126.
- [12] Kim, H. and Kim, D. 2012. Effect of surface roughness of top cover layer on the efficiency of

A theoretical Design of a cover for lowering the solar cells temperature and enhance their performance

Husam S. Al-Arab

Ministry of Science and Technology – Renewable Energy Directorate

Abstract:

In this research, main types of optical coatings are presented which are used as covers for solar cells, these coatings are reflect the infrared (heat) from the solar cell to increase the efficiency of the cell (because the cell's efficiency is inversely proportional to the heat), then the theoretical and mathematical description of these optical coatings are presented, and an optical design is designed to meet this objective, its optical transmittance was calculated using (MATLAB R2008a) and (Open Filters 1.0.2) programs.

Key words: solar cells, optical coatings and MATLAB.