

Studying and Designing a High Selective Optical Filter based on Fractal Distribution in changing Refractive Index within Optical Fiber

Dr. Alsamawal Saleh*
Dr . Afif Sakkour**
Asala Khaddour ***

(Received 1 / 8 / 2017. Accepted 21 / 11 / 2017)

□ ABSTRACT □

Recently, the studying of fiber bragg grating has attracted the attention, because it has characterized by a periodic structure in which a refractive index changes along the fiber. This structure doesn't pass all wavelengths and reflects the wavelength of bragg only [1][2]. It has been widely used in optical communication systems making various kinds of filters. On the other hand, the applications of fractals in the range of optical waves has attracted the attention, because it has characterized by a particular properties such as a property of self-similarity in which the parts of objects is exactly or approximately similar to object of itself ,but reduced by a reduction factor ,and the irregularity of the structure which leads to the appearance of the peaks inside high-attenuation frequency bands, this result lead to the hope in the design of many multi-frequency devices by applicate principle of the fractals on distribution of refractive indexes within optical fiber, for example, multi-band filters, selective filters wavelength ranging from (1000-3000)nm.

Keywords: fiber Bragg grating, Fractals, Cantor bar, optical passing filter.

* Professor, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Assistant Professor, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

***Master student, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

دراسة وتصميم مرشح ضوئي عالي الانتقائية يعتمد على التوزع التجزيئي في تبدل قرينة الانكسار ضمن الليف الضوئي

د. السموعل صالح*

د. عفيف صقور**

أصالة خضور***

(تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2017. قُبل للنشر في 21 / 11 / 2017)

□ ملخص □

تزايد الاهتمام في الفترة الأخيرة بدراسة الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ، حيث تتمتع الشبكة ببنية دورية تتبدل فيها قرينة الانكسار على طول الليف. لاتمرر هذه البنية جميع الأطوال الموجية حيث تعكس طول موجة براغ فقط. وقد استخدمت بشكل واسع في أنظمة الاتصالات البصرية لصنع مختلف أنواع المرشحات [1][2]. من ناحية ثانية فقد ازداد الاهتمام بالتطبيقات العملية للتوزع التجزيئي في مجال الأمواج الضوئية، كونه يملك خصائص فريدة مثل خاصية التشابه الذاتي، حيث كل جزء من الجسم التجزيئي يشبه الجسم الأصلي ولكن مصغر عنه بمقدار معامل التجزيء، إن عدم الانتظام الموجود في هذه البنية الذي ينتج عنه ظهور حزم تمرير (قمم) متوضعة ضمن حزم المنع الترددية، وهذه النتيجة تعطي أملاً في تصميم العديد من الأدوات متعددة الترددات بتطبيق مبدأ التوزع التجزيئي على تغيير قرائن الانكسار ضمن الليف الضوئي، على سبيل المثال مرشحات متعددة الحزم، مرشحات انتقائية وذلك عند أطوال موجية تتراوح بين (1000nm,3000nm).

الكلمات المفتاحية: الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ، التوزع التجزيئي، قضيب كانتور، مرشحات

تمرير ضوئية.

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**أستاذ مساعد قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية.

***طالبة دراسات عليا (ماجستير) - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

مقدمة:

تعد تقانة الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ (Fiber Bragg Grating) من أهم التقانات المستخدمة في مجال الألياف الضوئية لترشيح طول الموجة المرغوب وذلك عند نوافذ تراسل المعطيات [1][2] (550, 1300, 1550nm)

تطرقت الأبحاث من جانب آخر إلى دراسة قضيب كانتور (Cantor bar) كمثال عن التراكيب التجزئية ضمن الفراغ الحر [3] وضمن دليل الموجة [4]، حيث يتألف من قطعة مستقيمة ذات قرينة انكسار n_1 تم تقسيمها إلى عدد من القطع المتساوية ويتم حذف إحدى الشرائح للحصول على فراغ في البنية يمكن أن يكون موقع لقرينة انكسار أخرى ويمكن أن يكون الخلاء، بالنتيجة يتضمن هذا التركيب بنية غير دورية تحوي على فجوات (ذات قرينة انكسار منخفضة n_0 أو غيرها). سندرس هذه البنية بحيث نضعها عوضاً عن الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ وسندرس ونحل الشكل النهائي الحاصل وندرس تغيرات كل من المعاملات التجزئية وتغير قرينة الانكسار على كل من معاملي الإرسال والاستقبال بهدف الحصول على مرشح ضوئي عالي الانتقائية ضمن نوافذ ضوئية مختلفة لم ندرس بعد.

أهمية البحث وأهدافه:

يتناول البحث دراسة وتصميم مرشح تتوضع فيه الطبقات ذات قرينة انكسار (n_2) ضمن ليف بصري ذو قرينة انكسار (n_1) على شكل بنية تجزئية وتحليل النتائج للوصول إلى تصميم مرشحات تمرير بحزم متعددة عند أطوال موجية (1000-3000)nm.

طرائق البحث ومواده:

1 التوزع التجزئي (Fractals) [8]:

يستخدم التوزع التجزئي لدراسة الأجسام التي لا يمكن دراستها بالهندسة التقليدية (الإقليدية)، فمثلاً بالنسبة للشوائب تعطي الهندسة التقليدية رسماً أملساً وليس نافرماً، هذا ملاحظه العالم ماندلبروت لذلك قرر إرساء قواعد التوزع التجزئي، ويعرف الجسم التجزئي بأنه جسم غير منتظم من الممكن أن يكون محدوداً ولكنه غير منته [4][8]، ويتصف بأنه يملك خاصية التشابه الذاتي أو التكرار للشكل العام. ويوصف الجسم التجزئي بثلاث معاملات هي:

• البعد التجزئي (Fractal Dimension (D)): هو عدد غير صحيح يعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$D = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{\rho})} \quad (1)$$

N: عدد القطع أو النسخ المشابهة عند درجة التجزئ الأولى، ρ : معامل التقسيم أو التصغير لهذا الجسم

• درجة التجزئ (Stage of growth (S)): تعبر عن عملية التكرار في الحصول على الجسم التجزئي وتكون بعدة مراحل تبدأ من الدرجة $S=0$ وتستمر حتى اللانهاية حيث تنعدم المادة وعند ذلك نسميه غبار كانتور، بحيث تبقى البنية تظهر نفس الخصائص.

• معامل تغير أبعاد الفجوات (Lacunarity): يعبر عن توزع الفجوات ذات قرينة انكسار n_0 ضمن الجسم التجزئي، وهذا المعامل يعبر عن كثافة توزع المادة الأساس في الجسم التجزئي الذي يكون بأشكال مختلفة ولكن يبقى

لها نفس البعد التجزيئي (D) ونفس درجة التجزيء (S) ولكنها تختلف عن بعضها البعض بتوزيع المادة ضمن الشكل التجزيئي للجسم.

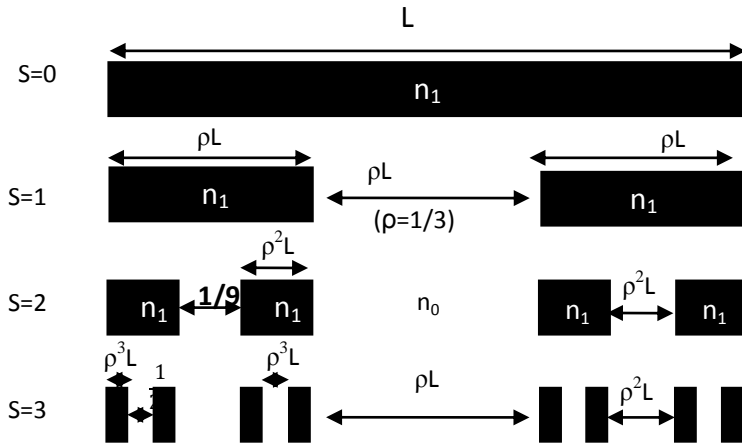
ويعبر عن طول الفجوة الأعظمي للفجوة الطرفية بمرحلة التجزيء (S=1) بالعلاقة التالية[4]:

$$\epsilon_{\max} = \frac{1-N\rho}{N-1} \quad (2)$$

يتغير طول الفجوة في المجال (0 → ϵ_{\max}) حيث $N_G = N-1$ يمثل عدد الفجوات، إن معامل تغير أبعاد الفجوات يتناسب عكساً مع طول الفجوة الطرفية، عندما يقترب طول الفجوة الطرفية من الصفر يكون لدينا فجوة كبيرة في الوسط والفجوات الطرفيتان صغيرتان وبذلك نقول أن معامل تغيير أبعاد الفجوات مرتفع، وعندما تقترب من القيمة العظمى يكون لدينا معامل أبعاد الفجوات منخفض.

1-1 قضيب كانتور [9] (Cantor Bar):

من أهم البنى التجزيئية، هو قضيب كانتور (Cantor Bar) حيث يمثل قطعة مستقيمة طولها (L)، ذات قرينة انكسار (n_1) متوضعة في الفراغ الحر ذي قرينة انكسار (n_0)، يتم تقسيم القطعة إلى (M) قطع متساوية بمعامل تقسيم ($\rho = \frac{1}{M}$) ثم ننزع (X) قطعة من الشكل لنحصل على قطع عددها ($N=M-X$) تشبه الجسم الأصلي ولكن أقل طول بمعامل التقسيم (ρ) هذه المرحلة تدعى درجة التجزيء الأولى (S1) وتسمى بالجسم المولد للتركيب التجزيئي. في مرحلة التجزيء الثانية (S2) نحصل على (N^2) قطعة مشابهة للجسم الأصلي ولكن مصغرة بمقدار (ρ^2). وهكذا بالنسبة لمرحلة التجزيء الثالثة نصل على (N^3) قطعة مشابهة للجسم الأصلي ومصغرة بمقدار (ρ^3)، وتستمر هذه العملية حتى نصل إلى درجة تجزيء عالية جداً ونصل إلى مرحلة تدعى غبار كانتور عندما تفنى المادة ولكن تبقى محافظة على خصائصها. يوضح الشكل (1) قضيب كانتور ذي البعد التجزيئي ($D = \frac{\log(2)}{\log(3)} = 0.6309$) بالمرحل التجزيئية الثلاث الأولى حيث ($\rho=1/3, M=3, N=2$) في درجة التجزيء الأولى (S1)، وفي درجة التجزيء الثانية ($\rho^2 = \frac{1}{9}, N^2 = 4$)، وعندما نصل إلى درجة التجزيء الثالثة ($\rho^3 = \frac{1}{27}, N^3 = 8$).



الشكل (1): توزيع قضيب كانتور ذو البعد التجزيئي ($D=0.6309$) من أجل المراحل التجزيئية الثلاث الأولى

2 الليف البصري المصنوع على هيئة شبكة براغ (Fiber Bragg Grating) [5]:

يسلك الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ سلوك مرآة عاكسة مكونة من مجموعة من الطبقات ذات السماكة الصغيرة المتناوبة بشكل دوري بين طبقة ذات قرينة انكسار (n_1) وسماكة (t_1) وطبقة ذات قرينة انكسار (n_2) وسماكة (t_2) بحيث ($n_1 > n_2$)، إن الضوء الداخل إلى الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ

من مصدر معين يتم إرساله عبر هذه الطبقات، بما أن هذه الطبقات ضيقة حسب نظرية الانكسار [5] فإن الضوء المار عبرها ينتشر في كل الاتجاهات، لذلك تلعب هذه الشقوق دور منابع ثانوية للضوء. حتى تتعكس موجة عن كل طبقة يجب أن يكون حاصل جداء سماكة كل طبقة بقرينة انكسارها مساوياً ربع طول الموجة $(n * t = \frac{\lambda_0}{4})$ ، وبالتالي حتى يحدث انعكاس عن كل من الطبقتين الأولى والثانية يكون لدينا $(n_2 t_2 = \frac{\lambda_0}{4})$ $(n_1 t_1 = \frac{\lambda_0}{4})$ ، وبالتالي تحسب سماكة كل من الطبقتين بالعلاقة التالية [5]:

$$n_1 t_1 = n_2 t_2 = \frac{\lambda_0}{4} \quad (3)$$

الشكل (2) يوضح بنية الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ.



الشكل (2): بنية الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ

النتائج والمناقشة:

سنعتمد على محاكي ال COMSOL في هذا البحث حيث يسمح ببناء نموذج الليف الضوئي المطلوب (عنوان البحث) ببنية ثلاثية الأبعاد، يستخدم واجهة رسومية يتيح إمكانية رسم وتحديد بارامترات البنية المطلوبة مثل قرائن الانكسار والطول المرغوب لكل من القطع المتصلة مع بعضها البعض، ويقدم إمكانية إظهار نتائج معاملات الإرسال والاستقبال بدلالة طول الموجة، وقد تم الاعتماد عليه في تصميم كلاً من الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ والتغيير في بنية الشبكة ضمن الليف الضوئي للوصول إلى الشكل التجزيئي المرغوب (موضوع البحث) ورسم كلاً من معاملي الإرسال والاستقبال.

1- الحالة الأولى:

تم دراسة وتصميم مرشح براغ تتوضع فيه الطبقات ذات قرينة الانكسار (n_2) ضمن ليف ضوئي ذو قرينة انكسار (n_1) عند أطوال موجية بين $(1000-3000)nm$ ، وتم وضع بنية التوزع التجزيئي بدلاً عن بنية براغ ضمن الليف الضوئي وتمت دراسة معامل الإرسال (T) ومعامل الانعكاس (R) الناتجين عن كل من الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ وعن الجسم التجزيئي المقترح ضمن الليف الضوئي ومقارنة النتائج.

• المعادلات المستخدمة في الدراسة:

تتشابه بنية التوزع التجزيئي والليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ في تعاقب قرائن الانكسار لذلك تتشابه البنيتان في إيجاد معاملات الإرسال والانعكاس ولكن تختلفان في اختيار سماكة الطبقات المتتالية والمتغيرة في قرائن الانكسار:

■ بنية الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ:

■ الحالة الأولى: تشمل دراسة الليف الضوئي بدون وجود غلاف

تتمثل معاملات الإرسال والانعكاس عن الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ بالعلاقات التالية [5][6]

مع اعتبار أن ورود الأمواج الضوئية أو الكهرطيسية هو بشكل ناظمي على هذه البنية.

- تُعطى سعة معاملات الانعكاس والإرسال للسطح الفاصل بين الليف الضوئي وبين المادة المضيفة بالعلاقات:

$$r_{01} = -r = -\frac{n_1-n_0}{n_1+n_0}, \quad r_{10} = r = \frac{n_1-n_0}{n_1+n_0} \quad (4)$$

$$t_{01} = t = \frac{2n_0}{n_1+n_0}, \quad t_{10} = t' = \frac{2n_1}{n_1+n_0} \quad (5)$$

حيث n_1 تمثل قرينة انكسار الليف الضوئي، n_0 تمثل قرينة انكسار المادة المضيفة الموجود فيها الليف الضوئي.

- تُعطى شدة معاملات الانعكاس والإرسال لطبقة مفردة ذات سماكة d ، وقرينة انكسار n_1 بالعلاقات:

$$\bar{R}(d) = \frac{r-r \exp(-2in_1 kd)}{1-r^2 \exp(-2in_1 kd)} \quad (6)$$

$$\bar{T}(d) = \frac{t t' \exp(-in_1 kd)}{1-r^2 \exp(-2in_1 kd)} \quad (7)$$

حيث $(k=2\pi/\lambda)$: العدد الموجي في الخلاء للموجة الواردة.

- انطلاقاً من المعادلات (6)،(7) تُعطى معاملات الانعكاس والإرسال لليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ:

$$R = \left[\frac{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{2N} \frac{n_1^2}{n_a n_0}}{1 + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{2N} \frac{n_1^2}{n_a n_0}} \right]^2 \quad (8)$$

$$T = 1 - R \quad (9)$$

N : تمثل عدد الطبقات ذات قرينة الانكسار المنخفضة

n_a : قرينة انكسار الهواء

- تحسب سماكة كل من الطبقات بدلالة طول الموجة وقرائن الانكسار كما في العلاقة (3) حيث تصبح الطبقة الرقيقة وحاملها كجسم شفاف عندما تكون قرينة انكسار الطبقة هي الجذر التربيعي لقرينة انكسار الحامل عندئذ:

$$n * t = \frac{\lambda_0}{4} \quad (10)$$

▪ الحالة الثانية: تشمل دراسة الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ مع وجود غلاف:

نستبدل قرينة انكسار الهواء n_a بقرينة انكسار الغلاف n_3 في المعادلتين (4) ، (5) ويتم استخدام المعادلات السابقة ضمن قلب الليف ونقوم بحساب معاملات الإرسال والانعكاس بين قلب الليف والغلاف:

$$r_{31} = -r = -\frac{n_1-n_3}{n_1+n_3}, \quad r_{13} = r = \frac{n_1-n_3}{n_1+n_3} \quad (11)$$

$$t_{31} = t = \frac{2n_3}{n_1+n_3}, \quad t_{13} = t' = \frac{2n_1}{n_1+n_3} \quad (12)$$

حيث n_1 يمثل قرينة انكسار قلب الليف، n_3 يمثل قرينة انكسار غلاف الليف.

✚ **بنية التوزيع التجزيئي:**

تتمثل معاملات الإرسال والانعكاس عن قضيب كانتور (مثال عن التوزيع التجزيئي) بالعلاقات التالية [3] مع اعتبار أن ورود الأمواج الضوئية أو الكهرومغناطيسية هو بشكل ناظمي على هذه البنية.

- تُعطى سعة معاملات الانعكاس والإرسال للسطح الفاصل بين قضيب الكانتور وبين المادة المضيفة بالعلاقات:

$$r_{01} = -r = -\frac{n_1-n_0}{n_1+n_0}, \quad r_{10} = r = \frac{n_1-n_0}{n_1+n_0} \quad (13)$$

$$t_{01} = t = \frac{2n_0}{n_1+n_0}, \quad t_{10} = t' = \frac{2n_1}{n_1+n_0} \quad (14)$$

حيث n_1 تمثل قرينة انكسار قضيب الكانتور، n_0 تمثل قرينة انكسار المادة المضيفة الموجود فيها قضيب الكانتور.

- تُعطى شدة معاملات الانعكاس والإرسال لطبقة مفردة ذات سماكة d ، وقرينة انكسار n_1 بالعلاقات:

$$\bar{R}(d) = -r + \frac{rtt' \exp(2in_1 kd)}{1-r^2 \exp(2in_1 kd)} \quad (15)$$

$$\bar{T}(d) = \frac{t t' \exp(in_1 kd)}{1-r^2 \exp(2in_1 kd)} \quad (16)$$

حيث $(k = 2\pi/\lambda)$: العدد الموجي في الخلاء للموجة الواردة.

تختلف طريقة حساب سماكة الطبقات المتناوبة في التوزع التجزيئي عن طريقة حسابها في شبكة ليف براغ حيث نضع سماكة كل طبقة حسب نموذج التوزع التجزيئي فمثلاً عند التوزع التجزيئي ذي البعد $(D = \frac{\log(2)}{\log(3)})$:

$$t_1 = t_2 = 1/3$$

إن الاختلاف في قيمة قرائن انكسار n_2, n_1 لا يحقق العلاقة (3) وهو المطلوب من أجل الحصول على مرشحات تمرير ضمن حزم المنع الترددية عند أطوال موجية مختلفة.

يتم تطبيق التوزيع التجزيئي ضمن قلب الليف بألية مماثلة لقضيب كانتور ويتم استخدام نفس العلاقات.

▪ الحالة الثانية: تشمل دراسة الليف الضوئي (الموزع تجزيئياً) مع وجود غلاف:

نستبدل قرينة انكسار الهواء n_a بقرينة انكسار الغلاف n_3 في العلاقتين (12)، (13) ويتم استخدام المعادلات السابقة ضمن قلب الليف ونقوم بحساب معاملات الإرسال والانعكاس بين قلب الليف والغلاف:

$$\Gamma_{31} = -r = -\frac{n_1-n_3}{n_1+n_3}, \quad \Gamma_{13} = r = \frac{n_1-n_3}{n_1+n_3} \quad (17)$$

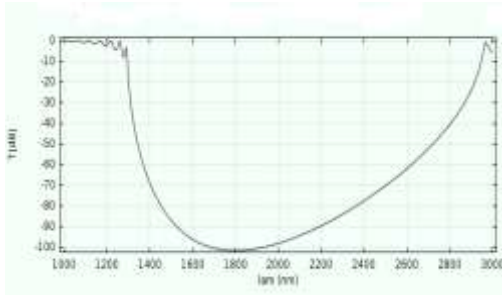
$$t_{31} = t = \frac{2n_3}{n_1+n_3}, \quad t_{13} = t' = \frac{2n_1}{n_1+n_3} \quad (18)$$

حيث n_1 تمثل قرينة انكسار قلب الليف، n_3 تمثل قرينة انكسار غلاف الليف.

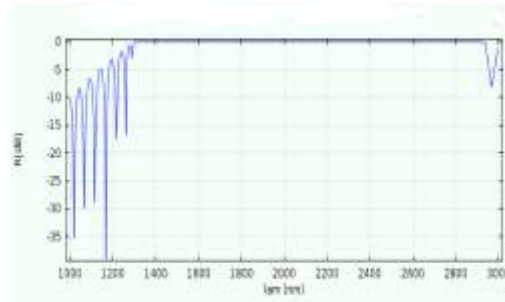
ملاحظة: محاكي ال comsol وهو برنامج يسمح بالتصميم الفيزيائي حيث نقوم بتصميم الليف بالبنية المطلوبة والشكل المطلوب ونقوم بوضع البارامترات المطلوبة (في دراستنا قمنا باختيار بارامترات تجريبية انطلاقاً من دراسات أخرى وقمنا بتحسين بها للوصول إلى أفضل النتائج).

1-1 دراسة معامل الإرسال والاستقبال لليف ضوئي مصنوع على هيئة شبكة براغ:

تم تصميم الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ بطول $(L=5.625\mu m)$ وقطر $(r=10mm)$ ، ويعود طول الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ الصغير إلى أنه يشكل جزءاً من ليف طويل وليس ليفاً كاملاً [5]، (ملاحظة: البارامترات التي سوف نستخدمها في هذا البحث هي بارامترات تجريبية موضوعة بقصد الحصول على مرشح ضمن الليف الضوئي وهي تختلف عن البارامترات الموضوعة في الألياف الضوئية التقليدية المصنوعة بغرض التوجيه الضوئي). قمنا باختيار قرائن الانكسار $(n_1 = 3.6, n_2 = 1)$ وذلك ضمن مجال أمواج ضوئية (optical waves) $(3000-1000) \text{ nm}$ حيث يبين كل من الشكلين التاليين معاملي الإرسال والانعكاس لليف المصنوع على هيئة شبكة براغ.



الشكل(4): معامل الإرسال لبنية الليف المصنوع على هيئة شبكة براغ



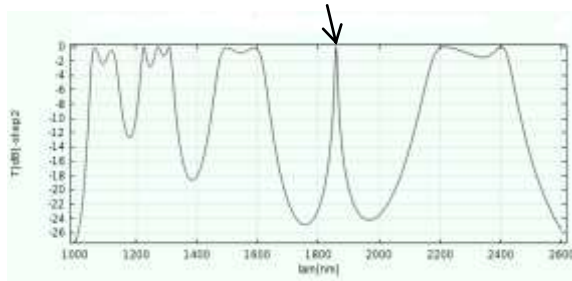
الشكل(3): معامل الانعكاس لبنية الليف المصنوع على هيئة شبكة براغ

نلاحظ من الشكلين وجود حزمة منع بانعكاسية عظمى ذات عرض طيفي واسع عند مستوى نصف الاستطاعة وعدم وجود حزم تمرير.

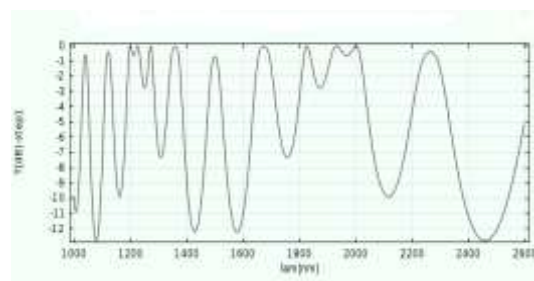
2-1 دراسة أثر تغيير بارامترات التجزيء ضمن الليف الضوئي:

1-2-1 دراسة أثر درجة التجزيء:

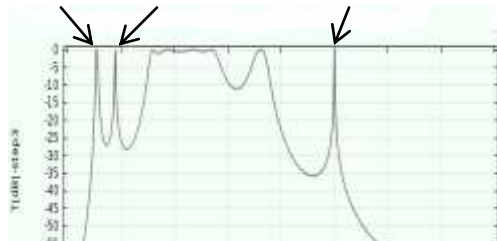
تم تصميم بنية تجزيئية باعتماد قضيب كانتور بعده ($D=0.6309$) بدلاً من الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ ضمن نفس المجال ونفس الأبعاد ونفس قرائن الانكسار وذلك ضمن مجال أمواج ضوئية $(3000-1000)$ nm وفق النموذج التجزيئي المبين في الشكل (1)، فكانت النتائج كما هو مبين في الأشكال (5)،(6)،(7).



الشكل(6): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة الفركتال الثانية حيث ($\rho^2=1/9$)، ($D=\frac{\log(2)}{\log(3)}$)



الشكل(5): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة الفركتال الأولى حيث ($\rho=1/3$)، ($D=\frac{\log(2)}{\log(3)}$)



الشكل(7): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة الفركتال الثالثة حيث ($\rho^3=1/27$)، ($D=\frac{\log(2)}{\log(3)}$)

يقيم المرشح بالبارامترات التالية [7]:

• العرض الطيفي عند مستوى نصف الاستطاعة (العرض الطيفي عند المستوى (-3dB)) ويعطى بالعلاقة

التالية:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \quad (19)$$

كلما كانت قيمة $\Delta\lambda$ أصغر كلما كان مرشح التمرير أكثر انتقائية.

• معامل الجودة (معامل الانتقائية) Q ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} \quad (20)$$

λ_0 : طول الموجة المركزي ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} \quad (21)$$

كلما كان معامل الجودة أكبر كلما كان المرشح أكثر انتقائية.

✓ المرشح الناتج عند درجة التجزيء الثانية:

من أجل حزمة التمرير الأولى:

$$\lambda_1 = 1856.01nm, \lambda_2 = 1861.86nm$$

$$\Delta\lambda = 5.85nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} = 1858.93nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 317.77$$

✓ المرشح الناتج عند درجة التجزيء الثالثة:

من أجل حزمة التمرير الأولى:

$$\lambda_1 = 1106.31nm, \lambda_2 = 1113.04nm$$

$$\Delta\lambda = 6.73nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} = 1109.67nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 264.5$$

من أجل حزمة التمرير الثانية:

$$\lambda_1 = 1177.65nm, \lambda_2 = 1179.54nm$$

$$\Delta\lambda = 1.89nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} = 1178.59nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 623.6$$

من أجل حزمة التمرير الثالثة:

$$\lambda_1 = 1999.36nm, \lambda_2 = 2000.38nm$$

$$\Delta\lambda = 1.02nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} = 1999.88nm$$

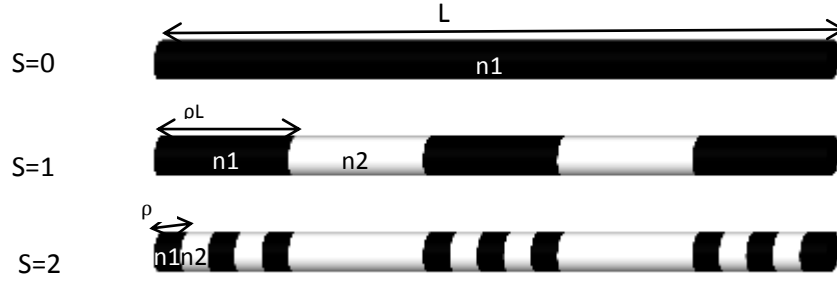
$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 1999.88$$

بالمقارنة بين النماذج السابقة نلاحظ زيادة عدد حزم التمرير (قمم) بزيادة درجة التجزيء وتظهر بعض حزم تمرير تكون أضيّق عند مستوى نصف الاستطاعة ($\Delta\lambda$) وبالتالي أكثر جودة وانتقائية (Q) وأكثر عمقاً (قيمة تخميد

كبت التداخل أكبر) ويتغير مواقعها ليشمل أطوال موجية مركزية جديدة (λ_0) لم تدرس بعد مع الملاحظة أنه كلما كان طول الموجة المركزي أكبر والعرض عند مستوى نصف الاستطاعة أصغر كلما كان معامل الجودة (الانتقائية) أفضل.

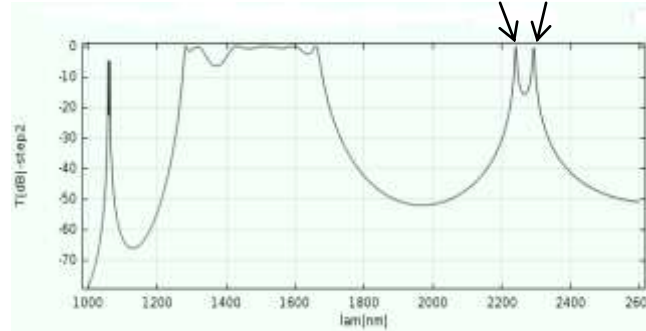
2-2-1 دراسة أثر البعد التجزيئي (D):

لمعرفة أثر البعد التجزيئي على معامل الإرسال، نستعيض عن النموذج المدروس بنموذج ذي بعد تجزيئي ($D = \log(3) / \log(5)$) المبين في الشكل (8)، له نفس أبعاد الشرائح المكونة للبنية السابقة ونفس قرائن الانكسار عند نفس درجة التجزيء.



الشكل (8): التوزيع التجزيئي ذو البعد ($D = \frac{\log 3}{\log 5}$) ضمن الليف من أجل مرحلتين تجزيئيتين

يبين الشكل (9) معامل الإرسال بدلالة طول الموجة للنموذج التجزيئي ذي البعد $D = \log(3) / \log(5)$ عند درجة التجزيء الثانية.



الشكل (9): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة التجزيء الثانية والبعد التجزيئي ($D = \ln(3) / \ln(5)$)

✓ المرشح الناتج:

من أجل حزمة التمرير الأولى:

$$\lambda_1 = 2331.64nm, \lambda_2 = 2335.62nm$$

$$\Delta\lambda = 3.8nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} = 2333.63nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 614.11$$

من أجل حزمة التمرير الثانية:

$$\lambda_1 = 2385.34nm, \lambda_2 = 2389.72nm$$

$$\Delta\lambda = 4.3nm$$

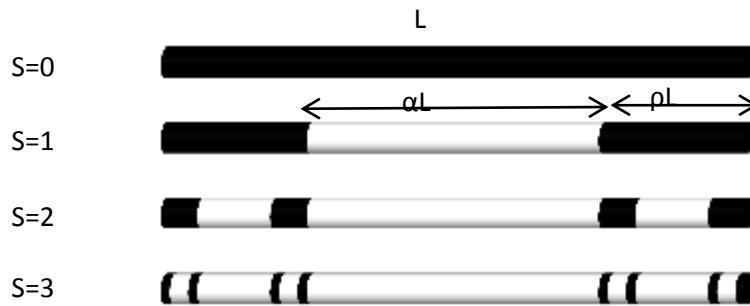
$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} = 2387.53nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 545.1$$

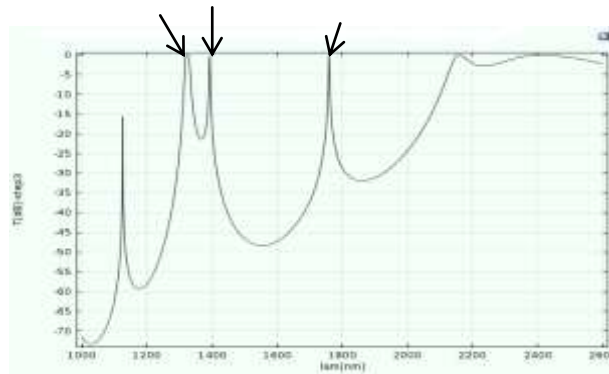
بالمقارنة بين النماذج السابقة نلاحظ زيادة عدد حزم التمرير بزيادة البعد التجزيئي ويتغير مواقعها.

3-2-1 دراسة أثر تغيير معامل التقسيم (ρ):

لمعرفة أثر تغيير معامل التقسيم على معامل الإرسال نستعوض عن النموذج التجزيئي المدروس وفق الشكل (1) بنموذج ذي معامل تقسيم ($\rho=1/4, \alpha=1/2$) موضح في الشكل (10)، له نفس أبعاد البنية المدروسة وله نفس درجة التجزيء ونفس البعد التجزيئي. (α): يعبر عن طول الفجوة الهوائية لأنه اختلف في هذه الدراسة عن معامل التقسيم (ρ). ويبين الشكل (11) معامل الإرسال بدلالة طول الموجة للنموذج التجزيئي حيث ($\rho^3=1/64, \alpha=1/2$).



الشكل (10): النموذج التجزيئي حيث ($\rho=1/4, \alpha=1/2$)



الشكل (11): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة

التجزيء الثالثة حيث ($\rho^3=1/64, \alpha=1/2$)

بالمقارنة بين الشكلين (7)، (11) نلاحظ تغير عدد حزم التمرير وتغير مواقعها بتغير معامل التقسيم وهذا يعود إلى تغير مواقع الأجواف الطنينية ضمن التركيب.

✓ المرشح الناتج

من أجل حزمة التمرير الأولى:

$$\lambda_1 = 1316.83nm, \lambda_2 = 1321.91nm$$

$$\Delta\lambda = 5.08nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1319.37nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 259.72$$

من أجل حزمة التمرير الثانية:

$$\lambda_1 = 1393.93nm, \lambda_2 = 1399.21nm$$

$$\Delta\lambda = 5.28nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1396.57nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 264.5$$

من أجل حزمة التمرير الثالثة:

$$\lambda_1 = 1758.05nm, \lambda_2 = 1760.11nm$$

$$\Delta\lambda = 2.06nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1759.08nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 853.92$$

4-2-1 دراسة أثر تغيير معامل توزيع أبعاد الفجوات (ε):

لمعرفة أثر تغيير معامل توزيع أبعاد الفجوات على معامل الإرسال نستعيض عن النموذج التجزيئي المدروس وفق الشكل (10) بنموذج ذي معامل توزيع أبعاد الفجوات (ε=1/12) عند درجة التجزيء الثانية يوضحه الشكل (12)، له نفس أبعاد البنية المدروسة وله نفس درجة التجزيء ونفس البعد التجزيئي ونفس معامل التجزيء ويختلف عنه بمعامل توزيع الفراغات.



الشكل (12): معامل تغيير أبعاد الفجوات



الشكل (13): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة

$$\text{التجزيء الثانية حيث } (\rho^2=1/9, \epsilon_2=1/12)$$

نلاحظ تغير مواقع حزم التمرير بتغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات وهذا يعود إلى تغير مواقع الأجواف الطنينية ضمن التركيب.

من أجل حزمة التمرير الأولى:

$$\lambda_1 = 1263.12nm, \lambda_2 = 1263.12m$$

$$\Delta\lambda = 2nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1262.12nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 631.06$$

من أجل حزمة التمرير الثانية:

$$\lambda_1 = 1701.21nm, \lambda_2 = 1706.39nm$$

$$\Delta\lambda = 5.18nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1703.75nm$$

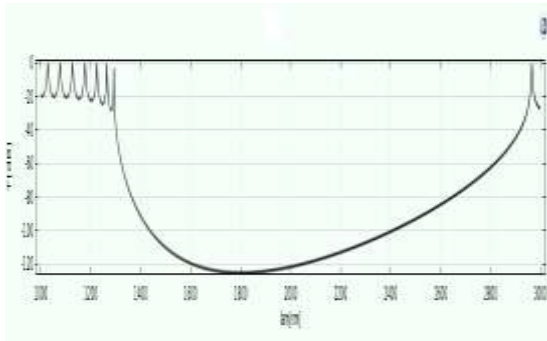
$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 328.91$$

2 الحالة الثانية:

تشمل الحالة الأولى مع إضافة غلاف خارجي للليف المصنوع على هيئة شبكة براغ بقيرنة انكسار ($n_3 = 0.5$)

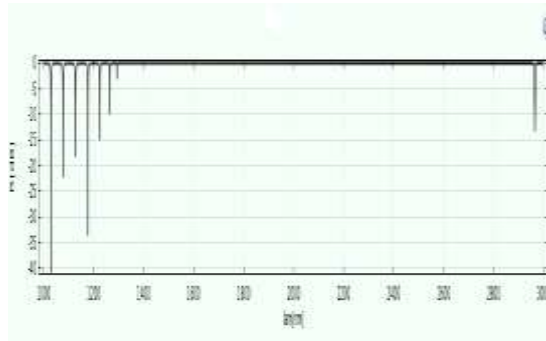
1-2 دراسة معامل الإرسال والاستقبال لبنية الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ:

تم تصميم الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ ($L=5.625\mu m$) وقطر ($r1=10mm$) وقطر الغلاف ($r2=25mm$) وقمنا باختيار قرائن الانكسار ($n_1 = 3.6, n_2 = 1, n_3 = 0.5$) وذلك ضمن مجال أمواج ضوئية ($1000-3000$) nm حيث يبين كل من الشكلين (14)، (15) معاملي الإرسال والانعكاس لبنية الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ.



الشكل(15): معامل الإرسال لبنية الليف المصنوع على هيئة

شبكة براغ



الشكل(14): معامل الانعكاس لبنية الليف المصنوع على هيئة

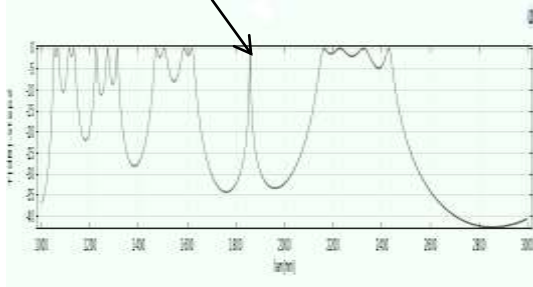
شبكة براغ

نلاحظ من الشكلين وجود حزم منع بانعكاسية عظمى عرض طيفي واسع عند مستوى نصف الاستطاعة.

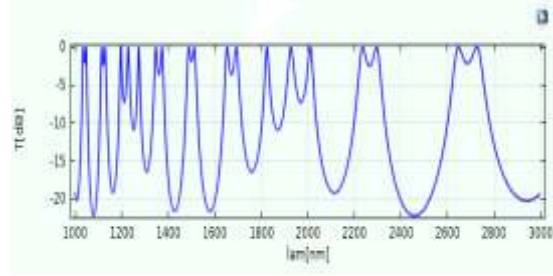
2-2 دراسة أثر تغير بارامترات التجزيء ضمن الليف الضوئي:

1-2-2 دراسة أثر درجة التجزيء:

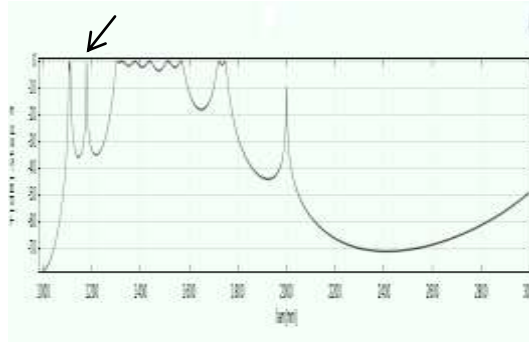
تم تصميم شبكة تجزئية ضمن الليف الضوئي بطول ($L=5.625\mu m$) وقطر ($r1=10mm$) وقطر الغلاف ($r2=25mm$) وقمنا باختيار قرائن الانكسار ($n_1 = 3.6, n_2 = 1, n_3 = 0.5$) وذلك ضمن مجال أمواج ضوئية ($1000-3000$) nm وفق النموذج التجزيئي المبين في الشكل (1)، فكانت النتائج كما هو مبين في الأشكال (16)، (17)، (18).



الشكل (17): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة التجزيء الثانية حيث $(\rho^2=1/9)$ ، $(D = \frac{\log 3}{\log 5})$



الشكل (16): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة التجزيء الأولى حيث $(\rho=1/3)$ ، $(D = \frac{\log 3}{\log 5})$



الشكل (18): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة التجزيء الثالثة حيث $(\rho^3=1/27)$

✓ المرشح الناتج عند درجة التجزيء الثانية:

نلاحظ وجود حزمة تمرير:

$$\lambda_1 = 1857.04nm, \lambda_2 = 1858.04nm$$

$$\Delta\lambda = 1.91nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1857.99nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 972.77$$

✓ المرشح الناتج عند درجة التجزيء الثالثة:

نلاحظ وجود حزمة تمرير:

$$\lambda_1 = 1177.52nm, \lambda_2 = 1177.71nm$$

$$\Delta\lambda = 0.19nm$$

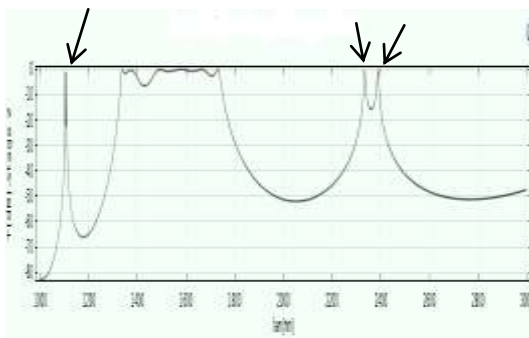
$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1177.61nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 6197.97$$

بالمقارنة بين النماذج السابقة نلاحظ زيادة عدد حزم التمرير بزيادة درجة التجزيء وتظهر بعض حزم تمرير تكون أضيقت عند مستوى نصف الاستطاعة $(\Delta\lambda)$ وبالتالي أكثر جودة وانتقائية (Q) وأكثر عمقاً (قيمة تخميد كبت التداخل أكبر) ويتغير مواقعها ليشمل أطوال موجية مركزية جديدة (λ_0) لم تدرس بعد.

2-2-2 دراسة أثر البعد التجزيئي (D):

لمعرفة أثر البعد التجزيئي على معامل الإرسال نستعويض عن النموذج المدروس بنموذج ذي بعد تجزيئي $(D = \log(3)/\log(5))$ المبين في الشكل (8) بحيث $(n_1 = 3.6, n_2 = 1, n_3 = 0.5)$ ، له نفس أبعاد الشرائح المكونة للبنية السابقة عند نفس درجة التجزيء. ويبين الشكل (19) معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة $D = \ln(3)/\ln(5)$ التجزيء الثانية والبعد التجزيئي $D = \ln(3)/\ln(5)$.



الشكل (19): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة

التجزيء الثانية والبعد التجزيئي $D = \ln(3)/\ln(5)$

✓ المرشح الناتج:

من أجل حزمة التمرير الأولى:

$$\lambda_1 = 1107.43nm, \lambda_2 = 1107.57nm$$

$$\Delta\lambda = 0.14nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1107.5nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 7910.71$$

من أجل حزمة التمرير الثانية:

$$\lambda_1 = 2331.62nm, \lambda_2 = 2335.24nm$$

$$\Delta\lambda = 3.62nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 2333.43nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 644.59$$

من أجل حزمة التمرير الثالثة:

$$\lambda_1 = 2385.85nm, \lambda_2 = 2389.43nm$$

$$\Delta\lambda = 3.58nm$$

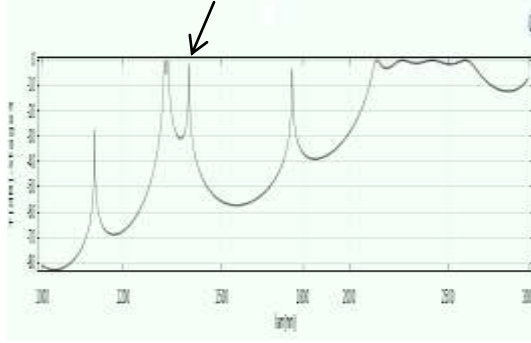
$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 2387.64nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 666.94$$

بالمقارنة بين النماذج السابقة نلاحظ زيادة عدد حزم التمرير بزيادة البعد التجزيئي ويتغير مواقعها.

3-2-2 دراسة أثر تغيير معامل التقسيم (ρ):

لمعرفة أثر تغيير معامل التقسيم على معامل الإرسال نستعوض عن النموذج التجزيئي المدروس وفق الشكل (1) بنموذج ذي معامل تقسيم ($\rho=1/4, \alpha=1/2$) موضح في الشكل (10)، له نفس أبعاد البنية المدروسة وله نفس درجة التجزيء ونفس البعد التجزيئي. ويبين الشكل (20) نتائج هذا النموذج التجزيئي.



الشكل (20): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة التجزيء الثالثة حيث ($\rho^3=1/64, \alpha=1/2$)

✓ المرشح الناتج:

من أجل حزمة التمرير:

$$\lambda_1 = 1392.15nm, \lambda_2 = 1392.46nm$$

$$\Delta\lambda = 0.31nm$$

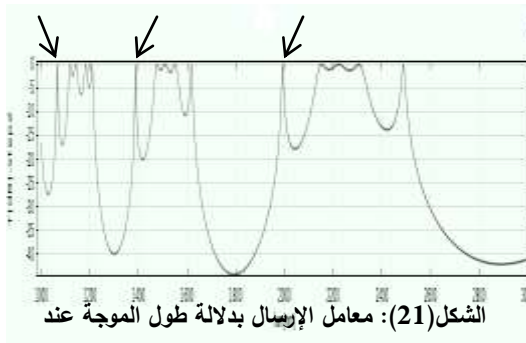
$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1392.3nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 4491.31$$

نلاحظ تغير عدد حزم التمرير وتغير مواقعها بتغيير معامل التقسيم وهذا يعود إلى تغير مواقع الأجواف الطنينية ضمن التركيب.

4-2-2 دراسة أثر تغيير معامل توزيع أبعاد الفجوات (ϵ):

لمعرفة أثر تغيير معامل توزيع أبعاد الفجوات على معامل الإرسال نستعوض عن النموذج التجزيئي المدروس وفق الشكل (6) بنموذج ذي معامل توزيع أبعاد الفجوات ($\epsilon=1/12$) عند درجة التجزيء الثانية موضح في الشكل (12)، له نفس أبعاد البنية المدروسة وله نفس درجة التجزيء ونفس البعد التجزيئي ونفس معامل التجزيء ويختلف عنه بمعامل توزيع الفراغات.



الشكل (21): معامل الإرسال بدلالة طول الموجة عند درجة التجزيء الثانية حيث ($\rho^2=1/9, \epsilon=1/12$)

✓ المرشح الناتج:

من أجل حزمة التمرير الأولى:

$$\lambda_1 = 1064.52nm, \lambda_2 = 1066.94nm$$

$$\Delta\lambda = 2.42nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1065.73nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 440.38$$

من أجل حزمة التمرير الثانية:

$$\lambda_1 = 1386.51, \lambda_2 = 1388.2nm$$

$$\Delta\lambda = 1.69nm$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1387.35nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 820.92$$

من أجل حزمة التمرير الثالثة:

$$\lambda_1 = 1989.38nm, \lambda_2 = 1994.57nm$$

$$\Delta\lambda = 5.19nm$$

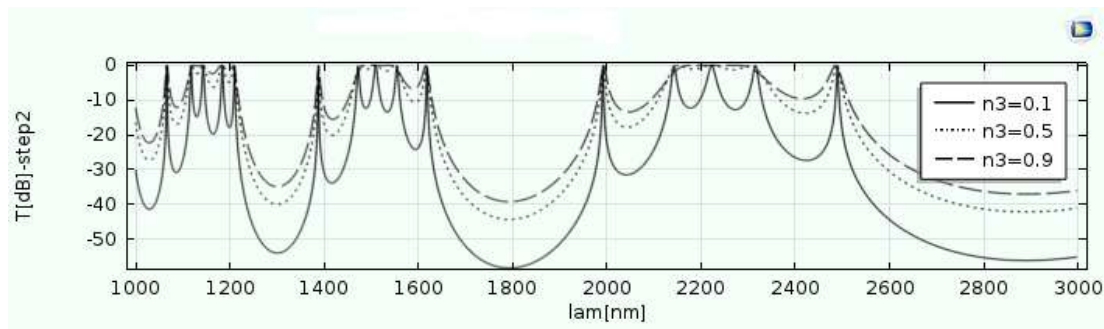
$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_1\lambda_2} = 1991.97nm$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = 383.81$$

نلاحظ تغير مواقع حزم التمرير بتغير معامل تغيير أبعاد الفجوات وهذا يعود إلى تغير مواقع الأجواف الطنينية ضمن التركيب.

2-3 دراسة أثر تغير قرائن انكسار (n_3):

ندرس أثر تغير قرائن انكسار (n_3) على معامل الإرسال على النموذج التجزيئي المبين في الشكل (12) ونستبدل قرينة انكسار الغلاف بمواد أخرى مبينة في الشكل (22):



الشكل (22): أثر تغير قرائن انكسار (n_3)

بالمقارنة بين النماذج السابقة نلاحظ زيادة قيمة تخميد كبت التداخل crosstalk suppression بنقصان قرينة انكسار (n_3).

الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت هذه الدراسة إمكانية تصميم وتطبيق مرشحات ضوئية عالية الانتقائية عن طريق تصميم بنية مكونة من تعاقب طبقات متغيرة قرائن الانكسار ضمن الليف الضوئي بشكل تجزيئي، حيث أدى استخدام التوزيع التجزيئي ضمن الألياف الضوئية إلى الحصول على مرشحات تجزيئية متعددة الحزم ذات جودة عالية عند أطوال موجية (1000-3000) وذلك ضمن منطقة المنع المقابلة لها في الليف الضوئي المصنوع على هيئة شبكة براغ، الأمر الذي مكنا من الحصول على عدد كبير من النماذج التصميمية (المرشحات الناتجة في كل دراسة قمنا بها والتي شملت أطوال موجية مركزية مختلفة لم تدرس سابقاً والتي كانت بمعاملات جودة (انتقائية) مختلفة ومنها ما هو عال جداً). التوزيع التجزيئي ذو تطبيقات واسعة في تصميم المرشحات ذات الحزم الضيقة جداً وفي انتقاء الأطوال الموجية المركزية المرغوبة وهي مجال بحث جديد لذلك فإن دراسة وتحليل هذه البنى موضوع اهتمام كبير للأبحاث المستقبلية.

المراجع

- [1] JAIKARANSINGH, ANUBHUTI KHARE, SUDIR KUMAR " *Design of Gaussian Apodized Fiber Bragg Grating and its applications*" Jaikaran Singh et al. / International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(5), 2010, pp. 1419-1424.
- [2] ABDALLAHIKHEF, RACHIDA HFDARA, MOHAMED CHIKH-BELD " *Uniform Fiber Bragg Grating modeling and simulation used matrix transfer method*" IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 1, No 2, 2012, ISSN (Online): 1694-0814, pp. 368-374.
- [3] SALEH, A, S; RAVEU, N. " *Transmission Peak at Lo Frequencies by a Fractal Distribution of Metamaterials Layers in Free Space*". Microwave and Optical technology letters (MWOP) France. vol.49, no.1, 2007, pp. 105-109.
- [4] TIWARI, T. " *Fractal application in electrical and electronics engineering*". International Journal of engineering science & advanced technology U.S.A . Vol.2, Num.3, 2012, pp.406 – 411.
- [5] SUNITA UGALE, V. MISHRA " *Fiber Bragg Grating Modeling, Characterization and Optimization with different index profiles*" Sunita Ugale et. al. / International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(9), 2010, pp. 4463-4468.
- [6] D. HESTROFFER and C. MAGNAN, " *Wavelength Dependency of the Solar Limb Darkening*," Astron. Astrophysl, vol. 333, pp. 338-342, 2009.
- [7] FARZIN EMANI and AMIR H. JAFARI " *Simulation and Applications of Nonlinear Fiber Bragg Gratings*" Vol 8, Issue 7, 2009, ISSN: 1109-2742, pp. 678-687.
- [8] د.م السموع صالح، د. تاج الدين جركس، م. فانتن سرحيل " *حزمًا تمرير ضيقًا النطاق ضمن الحزمة الممنوعة الناتجة عن قضيب تجزيئي باستخدام معامل تغيير توزيع المادة*" نشر في مجلة بحوث جامعة تشرين لعام 2012، ص 105_114.
- [9] د.م السموع صالح، د.م زيد علي، م. علي أسعد " *تصميم مرشح عالي الانتقائية يعتمد التوزيع التجزيئي لشرائح موجبة وسالبة معامل السماحية الكهربائية باستخدام (HFSS)*" نشر في مجلة بحوث جامعة تشرين لعام 2014، ص 339-352.