

"تصميم ممتص أمواج كهرومغناطيسية متعدد الحزم باستخدام التوزع التجزئي لشرائح الغرافين ضمن دليل الموجة"

د.السموع صالح*

د.تغريد حداد**

م.رنا حسن***

(تاريخ الإيداع 2022/ 2/27 . قُبِلَ للنشر في 2022/ 6/23)

□ ملخص □

تقدم هذه الدراسة نتائجاً تحليلية لتصميم بسيط لممتص موجات كهرومغناطيسية، وهو عبارة عن عدة طبقات من الغرافين/عازل موزعة بشكل تجزيئي ضمن دليل الموجة ثم دراسة تغيرات معامل الامتصاص عند التوزع بشكل دوري لطبقات الغرافين /عازل والمقارنة بينهما. يوفر هذا التصميم حزم امتصاص ضيقة جداً وذات قدرة امتصاص تصل إلى أعلى من 99 % عند مستوى فيرمي $E_f=0.01\text{ev}$ ، إضافة إلى ذلك يمكن توليف مواقع قمم الامتصاص بالاعتماد على عدد الطبقات في البنية المستخدمة. ينتج هذا الامتصاص عن وجود مادة الغرافين التي تتميز بقدرة امتصاص عالية للأمواج الكهرومغناطيسية. تجدر الإشارة إلى إمكانية تطوير التصميم للعمل في مجال واسع من الترددات الميكروية وحتى ترددات التيراهرتز. يمكن الاستفادة من هذا التصميم المقترح في تطبيقات تجميع الطاقة والحماية من آثار الموجات الكهرومغناطيسية.

الكلمات المفتاحية: ممتص موجات كهرومغناطيسية، الغرافين، حزم امتصاص، التوضع التجزيئي.

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين .
** أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين .
*** طالبة الدراسات العليا (دكتوراه) - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين .

Design of Electromagnetic Absorber Based on fractal distribution of graphene layers in a waveguide

Dr .Alsamowal Saleh*
Dr .Taghred Hadad**
Eng. Rna Hasan ***

(Received 27/2/ 2022 . Accepted 23/6/ 2022)

□ ABSTRACT □

In This work, we propose a design of electromagnetic absorber based on Cantor distribution of graphene / dielectric layers and examine the absorption properties of this design and compare it with the periodic structure of graphene/ dielectric layers. This design provides very narrow absorption bands with an absorption capacity of more than 99% at the Fermi level $E_f=0.01\text{eV}$. The design can be developed to operate at a wide range of frequencies from microwaves to terahertz frequencies. This design can be used in energy harvesting applications and protection from the effects of electromagnetic waves.

Keywords: Graphene , Microwave Frequencies,Cantor Distribution, Absorption.

* Professor ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University .

** Assiistant professor , Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University .

*** **PHD** Student ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University .

1-مقدمة:

يجعل الانتشار الواسع للأجهزة الرقمية والتطور التكنولوجي السريع في مجال الاتصالات حياتنا أكثر سلاسة، ولكن ينتج عنها كمية كبيرة من الموجات الكهرومغناطيسية (EM) في الفضاء المعيشي للبشر، مما يؤدي إلى مشكلة تداخل كهرومغناطيسية والتي تسبب أضراراً للمعدات الإلكترونية شديدة الحساسية ولها أيضاً تأثير سلبي ملحوظ على صحة الإنسان [1][2]. لذلك فإن الحماية من الإشعاع الكهرومغناطيسي كان موضع اهتمام من الباحثين مؤخرًا، فتوجهوا إلى دراسة وتطوير ماصات الامواج الكهرومغناطيسية وقد اجتذب تطوير مواد امتصاص الامواج الميكروية عالية الأداء ذات السماكة الرقيقة والكثافة المنخفضة وعرض النطاق الترددي الواسع والامتصاص الكبير اهتماما كبيرا للقضاء على التلوث بالاشعاع الكهرومغناطيسي [3][4]. استخدمت المواد الكربونية كأنايبب الكربون النانوية وألواح الغرافيت على نطاق واسع وذلك نظراً لخفة وزنها وخصائصها الفعالة في امتصاص الامواج الميكروية [5]، ولكن استمرار البحث لتطوير مواد أخرى لهذا الغرض وتحسين أدائها دفع بعض الباحثين لاكتشاف مادة جديدة أكثر فعالية وتحقق بيئة نظيفة وهي مادة الغرافين التي تمتلك خصائص ومميزات رائعة، وقد تم اكتشافها لأول مرة عام (2004) على يد الباحثين من جامعة مانشستر اندريه جيم ونوفوسيلوف [6] وقد حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عن أبحاثهما الرائدة في مادة الغرافين ثنائية البعد. تطورت الأبحاث لاكتشاف خصائص هذه المادة ومساهمتها في تصميم ماصات الأمواج الميكروية [4-7]، ولكن حتى الآن لم يسبق أن تم استخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين ضمن دليل الموجة والاستفادة من خصائص هذا التركيب الجديد وتطبيقها في تصميم ممتص ميكروي.

2-أهداف البحث:

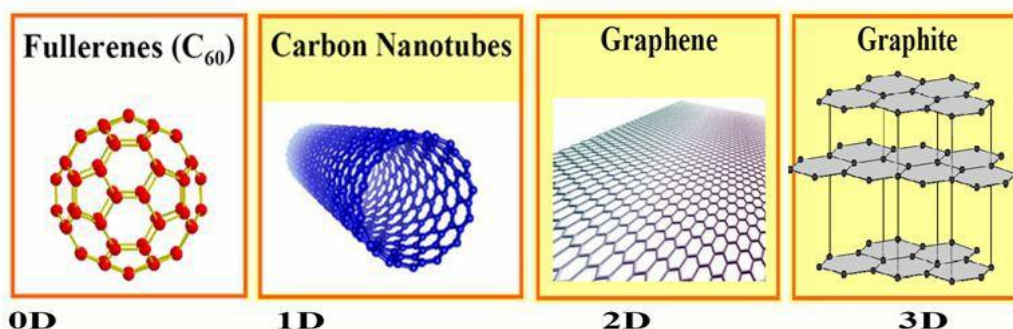
يتناول البحث دراسة وتحليل خصائص الامتصاص لمادة الغرافين والمتوضعة بشكل دوري كمرحلة أولى ثم بشكل تجزيئي كمرحلة ثانية ضمن دليل الموجة وذلك من خلال تطوير وبناء النموذج الرياضي لكل من معاملي الارسل والانعكاس الخاصة بالبنية الدورية اولا ثم بالبنية ذات التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين /عازل ضمن دليل الموجة[8] ومنه الوصول إلى معامل الامتصاص الذي يتعلق مباشرة بمعاملي الارسل والانعكاس وتحليل النتائج للوصول إلى تصميم ممتص بمعاملات وخصائص جديدة والاستفادة منها في المجالات الميكروية.

3-طرائق البحث ومواده:

3-1الغرافين (Graphene):

يعد الغرافين أحد الأشكال المختلفة لعنصر الكربون (0D,1D,2D,3D) كالفحم والغرافيت والألماس وهو عبارة عن مادة ثنائية البعد على هيئة طبقة رقيقة جداً" يبلغ سُمكها ذرة كربون واحدة، حيث تتوضع ذرات الكربون في هذه الطبقة بأشكال سداسية تشبه قرص العسل ومتراصة بروابط تكافؤية تمنحها العديد من الخصائص كالقوة والمرونة والشفافية وخفة الوزن والناقلية الكهربائية العالية [1][3] كما يتميز بفجوة طاقة مساوية للصفر مع إمكانية التحكم بهذه الفجوة، هذه الميزة تضيف سمة أساسية لأي بنية يدخل الغرافين في تركيبها وقد أصبح موضوعاً شائعاً للبحث العلمي نظراً لخصائصه الفيزيائية والكيميائية المميزة منذ أن تم اقتراحه لأول مرة في عام 2004 [2][6]. حيث يشكل الغرافين

وحدة بناء أساسية للمواد القائمة على ذرات الكربون حيث يشكل فلورينات صفرية الأبعاد، وأن ينحني ليشكل أنابيب الكربون النانوية أحادية البعد، ويشكل الجرافيت عن طريق تكديس شرائح من الجرافين كما في الشكل (1)



الشكل(1): أشكال الكربون ، a: الفلورين (0D)، b: الجرافين (2D) وانايبب الكربون (1D)، c: الجرافيت (3D)

1-3-1 خصائص الجرافين:

a. يتمتع الجرافين بناقلية كهربائية عالية جدا حيث تكون سرعة الالكترونات ضمنه أسرع بكثير مما هي عليه في النحاس وتتحرك الالكترونات ضمنه كأنها عديمة الكتلة [6][9]. تتميز مادة الجرافين بفجوة طاقة معدومة وهذا مايميزها عن المواد العازلة ومواد أنصاف النواقل التي تحتاج فيها الالكترونات إلى طاقة كافية لاجتياز فجوة الطاقة والعبور إلى عصابة الناقلية، وهذا ما يجعلها حرة الحركة وبكميات مختلفة وبسرعات كبيرة دون التعرض للتشتت كما أنها تمتلك إمكانية التحكم بهذه الفجوة من خلال تطبيق جهد خارجي والذي يؤدي إلى التحكم بهذه المادة لتعمل كمادة ناقلة أو عازلة من خلال تغيير طاقة فيرمي، وهذا ما جعلها محط أنظار الباحثين في مجال تكنولوجيا النانو لناقليته الكهربائية العالية ومقدرتها على المحافظة على الطاقة من خلال المحافظة على الالكترونات من التشتت.

b. يتميز الجرافين أنه أقوى من الالماس [9] وأقوى من الفولاذ بـ 300 مرة وتتجاوز قوة شد الجرافين 1TPa.

c. الجرافين ناقل حراري مثالي [1][6]، حيث تعتبر الناقلية الحرارية للجرافين أعلى بكثير من جميع الهياكل الكربونية الأخرى مثل الأنابيب النانوية الكربونية والجرافيت والماس ($5000 \text{ W/m/K} <$) في درجة حرارة الغرفة.

d. يتمتع الجرافين بمرونة عالية وشفافية ضوئية عالية جدا تقدر بـ 97.7% حيث يقوم بامتصاص 2.3% من الضوء الساقط عليه.

1-3-2 تطبيقات الجرافين:

استخدم الجرافين في العديد من التطبيقات من أهمها :

- أجهزة الاستشعار: من أكثر التطبيقات الواعدة للجرافين أجهزة الاستشعار [9]، بما في ذلك مستشعرات الغاز والمستشعرات الحيوية.

- أقطاب كهربائية شفافة: إن الجرافين أحد أكثر المواد المطلوبة للأجهزة الإلكترونية الضوئية المستقبلية، بما في ذلك الأقطاب الكهربائية الشفافة للخلايا الشمسية وشاشات LCD. الاستقرار الحراري والكيميائي والميكانيكي غير العادي للجرافين، بالإضافة إلى شفافيته العالية وسمك الطبقة الذرية، يجعله مرشحاً مثالياً لتطبيقات الأقطاب الكهربائية الموصلية الشفافة [10].

- **تخزين الطاقة:** لتلبية الطلب المتزايد على بطاريات Li-ion ذات كثافة الطاقة العالية والمتانة، يجب تطوير مواد أقطاب كهربائية جديدة ذات سعة واستقرار أعلى. من بين هذه المواد الكربونية تم اقتراح القطب القائم على الغرافين كأحد البدائل الواعدة في بطاريات Li-ion [10]، حيث يتمتع الغرافين بناقلية كهربائية أعلى من الجرافيت، ومساحة سطح عالية واستقرار كيميائي.
- **تطبيقات الفضاء:** القوة الهيكلية والناقلية الممتازة للغرافين في مركبات البوليمر تجعلها مرشحاً محتملاً لتطبيقات الفضاء. حيث يتميز الغرافين بأنه أخف وزناً وأقوى من الفولاذ لذلك يمكن أن يحل مكانه يحل في هياكل الطائرات والأقمار الصناعية [11].
- **تطبيقات الاتصالات:** لقد تم استخدام الغرافين نتيجة لخصائصه الالكترونية والضوئية والميكانيكية والكيميائية والحرارية في أجهزة ودارات الترددات الراديوية والميكروية وترددات التيراهرتز. يتمتع الغرافين بناقلية عالية جداً وبإمكانية التحكم بالناقلية السطحية له ويُعتبر الجرافين أكثر مادة ملائمة لتصميم هوائيات THz [12]، مقارنةً بنظرائه، مثل النحاس وأنابيب الكربون النانوية بسبب مادته الممتازة وخصائصه المميزة في هذا المجال الترددي حيث يساهم في تصميم صنف جديد من الهوائيات القابلة لإعادة التشكيل. كما يستخدم الغرافين في خطوط النقل في ترددات الميكروويف بدلاً من أنابيب الكربون التي تتميز بمقاومة عالية بالمقارنة مع المقاومة التي يبديها الغرافين بالإضافة على إمكانية التحكم في مقاومة الغرافين وتولييفها [13][14]، ويستخدم الغرافين أيضاً في ممتصات الاشارات وذلك بسبب إمكانية التحكم بناقليته الكهربائية وتولييفها وبالتالي التحكم بسهولة بانتشار وامتصاص الامواج الكهرومغناطيسية خلاله.

3-2 ناقلية الغرافين:

تعطى السماحية الكهربائية لطبقة غرافين مفردة [15]:

$$\epsilon_g = \epsilon_0 + i \frac{\sigma(\omega)}{\epsilon_0 \omega d_g} \quad (1)$$

حيث أن d_g : هي سماكة طبقة الغرافين وتقدر بالنانومتر.

ω : التردد الزاوي.

ϵ_0 : السماحية الكهربائية.

حيث أن $\sigma(\omega)$: هي الناقلية الكهربائية للغرافين ولكن في حال وجود طبقة الغرافين مرسبة على

طبقة مضيئة ممكن ان تكون (SIO₂, CSI, EO) تصبح علاقة السماحية الكهربائية [16][17]:

$$\epsilon_g = \epsilon_m + i \frac{\sigma(\omega)}{\epsilon_0 \omega d_g} \quad (2)$$

ϵ_m هي السماحية الكهربائية للطبقة المضيئة التي نرسب عليها الغرافين وفي بحثنا اخترنا

أو أكسيد السيلكون أي تصبح العلاقة:

$$\epsilon_g = 2.2 + i \frac{\sigma(\omega)}{\epsilon_0 \omega d_g} \quad (3)$$

وتعطى الناقلية السطحية للغرافين أو الموصلية السطحية بعلاقة كويو [18]:

$$\sigma = \sigma_{inter} + \sigma_{intra} \quad (4)$$

حيث أن σ_{intra} : هي الناقلية البينية و σ_{inter} : هي الناقلية الداخلية للغرافين

$$\sigma_{\text{intra}} = i \frac{e^2 K_B T}{\pi h^2 (\omega + i\tau^{-1})} \left[\frac{\mu_c}{K_B T} + 2 \ln \left(\exp \left(\frac{-\mu_c}{K_B T} \right) + 1 \right) \right] \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{inter}} = \frac{ie^2}{4\pi h} \ln \left(\frac{2\mu_c - (\omega + i\tau^{-1})}{2\mu_c + (\omega + i\tau^{-1})} \right) \quad (6)$$

حيث أن T : هي درجة الحرارة.

μ_c : الكمون الكيميائي.

ω : تردد الاشعاع.

τ زمن زمن الاسترخاء للإلكترونات وتختلف قيمته حسب المجال الترددي ويعطى بـ 10^{-12} و 10^{-13} من أجل ترددات التيرا هرتز [19] [20] أما في الترددات الميكروية [21] يأخذ قيمة 20 ps .

K_B : ثابت بولتزمان.

h : ثابت بلانك.

e : شحنة الإلكترون.

يعطى معامل الانكسار لشريحة الغرافين بالعلاقة $n_g = \sqrt{\epsilon_g}$ حسب المراجع [22][23]:

$$n_g = \sqrt{\frac{\text{real}(\epsilon_g(\omega)) + \sqrt{[\text{real}(\epsilon_g(\omega))]^2 + [\text{imag}(\epsilon_g(\omega))]^2}}{2}} \quad (7)$$

3-3 الهندسة التجزئية (الفراكتالية):

اقترح ماندلبروت في عام 1975 كلمة فراكتال (fractal) للدلالة على منظومات ذات تشابه ذاتي والتي لا تمتلك بعداً محدداً وقد اشتق كلمة فراكتال من الكلمة اللاتينية (fractus) والتي تعني كسرة أو غير نظامي لتوصيف وشرح العديد من الظواهر الطبيعية فمثلاً اعتبر ماندلبروت - Mandelbrot - أن السحب ليست كرات وأن الجبال ليست مخاريط والسواحل ليست دوائر وإنما نوع جديد من التركيب الهندسي البديع أطلق عليه هندسة الفراكتال (Geometry Fractal) وتعنى بالبحث في المكونات الجزئية لأشكال الرياضياتية أو الأشياء في الطبيعة وفقاً لمجموعة من الخصائص الرياضية [24] وتتميز البنى التجزئية بخاصة تميزها عن الهندسة الاقليدية وهي خاصة التشابه الذاتي self-similarity.

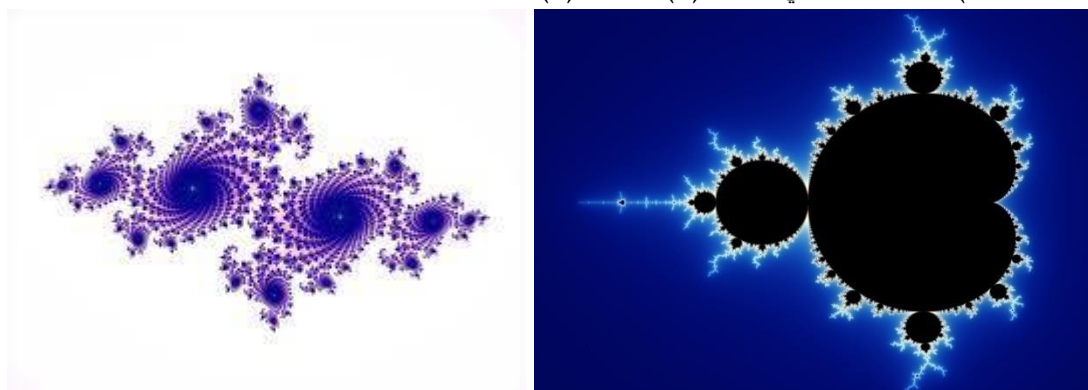
تصنف الأشكال التجزئية بالاعتماد على طريقة الحصول عليها إلى:

a. تحتوي هذه المجموعة على قاعدة استبدال هندسي واضحة لكل شكل تجزئي ومثال لذلك (مجموعة كانتور، سجادة سربنسكي، ندفة ثلج كوخ)، كما هو موضح في الشكل (6) حيث هنا تم استبدال القطعة المتوسطة بالفراغ ويمكن استبدالها بشكل هندسي مغاير أو بمادة من نوع آخر وتكرار نفس العملية في كل مرحلة تجزئية وعلى كل قطعة من قطع الجسم التجزئي، كما هو موضح في الشكل (6) حيث تمثل n : درجة التجزئية أو مرحلة التجزئية.



الشكل (6) شريط كانتور

b. تصنف الاشكال التجزئية في هذه المجموعة عبر علاقات تكرارية من أجل كل نقطة في الفراغ كما يتضح في المستويات المعقدة ومثال على ذلك (مجموعة ماندلبروت، مجموعة جوليا، فراكتال ليايونوف) كما هو مبين في الشكل (7) والشكل (8).



الشكل (8) مجموعة جوليا

الشكل (7) مجموعة ماندلبروت

c. المجموعات العشوائية : في هذه المجموعة تتولد الأشكال التجزئية من خلال اجراءات مختارة بشكل عشوائي بدلا من أن تكون محددة.

3-3-1 الجسم التجزيئي أو التكريري :
هو جسم غير منتظم يمكن أن يكون محددًا ولكنه غير منته [25]، ويمتلك خاصية التشابه الذاتي الداخلي ويتولد بالتجزئ، أي بتجزئة الشكل الأساسي إلى أصغر فأصغر وبشكل مشابه للجسم الأساسي ويوصف الجسم التجزيئي عن طريق مجموعة من المعاملات:

1_البعد التجزيئي (D fractal dimension): هو معامل أساسي للجسم التجزيئي ونعبر عنه

بالقانون

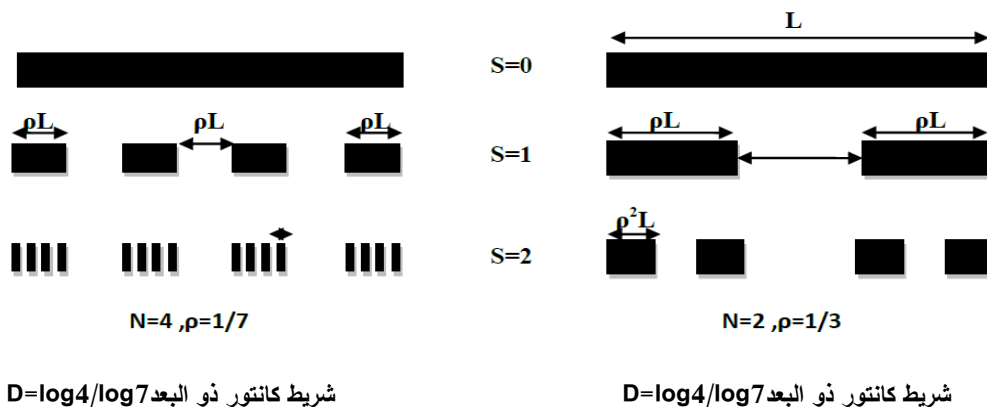
$$D = \ln(N)/\ln(1/\rho) \quad (8)$$

حيث أن ρ : تمثل درجة التجزيء و N : عدد القطع الموجودة في الجسم التجزيئي

2_مرحلة التجزيء (S of growth): تتم العملية التكرارية المستخدمة في الحصول على الجسم التجزيئي على عدة مراحل، كل مرحلة تدعى درجة تجزيء تبدأ هذه العملية بالمرحلة $S=0$ والتي تعبر عن الجسم الأساسي ثم $S=1$ التي تعبر عن مولد الجسم التجزيئي، وتستمر العملية إلى اللانهاية حتى تصغر قطع المادة وتندمج ضمن الجسم وتعرف بالغبار الكانتوري.

3- معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات (Lacunarity a): يعبر عن توزيع الفراغات أو

الفجوات في الجسم التجزيئي ، وهذا المعامل يعبر عن كثافة توزع المادة في الجسم التجزيئي الذي يكون بأشكال مختلفة ولها نفس البعد التجزيئي (D) ونفس درجة التجزيء ولكنها تختلف عن بعضها البعض بتوزع المادة ضمن الشكل التجزيئي للجسم. ويبين الشكل (10) نموذجين مختلفين بحيث $x=1/\rho$ كما يبين آلية الحصول على الشريط الكانتوري المشروحة أعلاه :



الشكل (10) كيفية الحصول على الشريط الكانتوري

3-4 نموذج كانتور المدروس :

أول من اقترحه هو العالم جورج كانتور ويعد من الأمثلة الشائعة في الهندسة التجزيئية [26]. تم في هذا البحث دراسة وتحليل التوضع التجزيئي لشريط كانتور مكون من طبقات من مواد عازلة وطبقات من الغرافين ضمن وسط ذو قرينة انكسار موجبة والنموذج أو البنية المقترحة توضع ضمن دليل الموجة. النموذج التجزيئي المقترح الأول هو عبارة عن شريط كانتور ذو البعد التجزيئي $D = \ln(2)/\ln(3)$ يصمم هذا الوسط بإضافة طبقات عازلة ذات سماحية كهربائية ($\epsilon_d > 0$) وطبقات من الغرافين ذات سماحية كهربائية (ϵ_g) ضمن دليل الموجة وذلك وفق عملية تكرارية حيث يكون توزع الكتل العازلة في المرحلة s مكون من h نسخة مطابقة من التوزيع في المرحلة السابقة $s-1$ وكل منها مصغرة بعامل ρ وعدد الأجسام الناتجة N فيحدد بناءً على ذلك بعد التشابه DS المعطى بالعلاقة :

$$DS = \frac{\ln N}{\ln 1/\rho} \quad (9)$$

حيث N : عدد القطع الموجودة في الجسم التجزيئي.

ρ : درجة التجزيء.

يمكننا القول بأن هذا الجسم يتولد التجزيء أو التكسير كما ويوصف بثلاث معاملات أساسية هي :

1- البعد التجزيئي أو التكسيري وهو يعبر عن بعد هذا الجسم ويعبر أيضاً عن شكله وهنا يعطى بالعلاقة :

$$D = \frac{\ln N}{\ln 1/\rho} = \frac{\ln 2}{\ln 3}$$

2- درجة التجزيء وتعبّر عن درجة التكرار وعدد المرات التي يتكرر بها الجسم المولد في الجسم التجزيئي

$$S = 1, 2, 3, \dots$$

3- معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات في الجسم التجزيئي وتعبّر عن توزع الفراغات أو الفجوات داخل الجسم التجزيئي ويعطى بالعلاقة:

$$a = (1 - N\rho)(N - \quad (10)$$

1)

4_ النتائج والمناقشة:

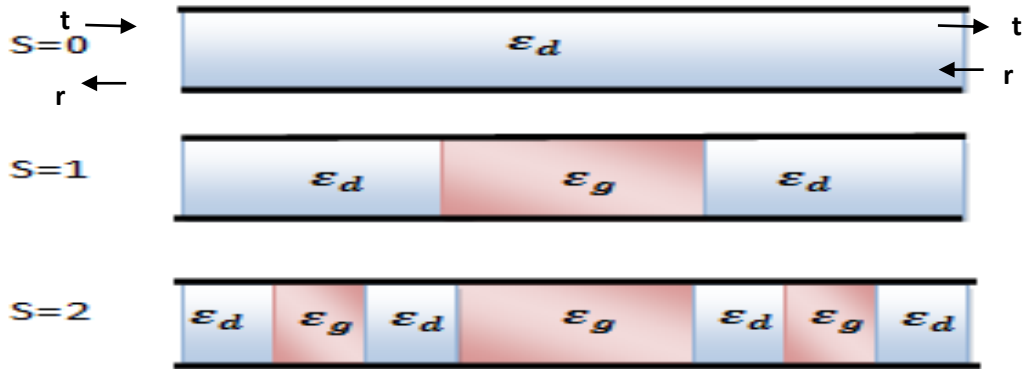
استخدمنا الطريقة التكرارية لدراسة وتحليل كل من معامل الإرسال والانعكاس الناتجين عن البنية الدورية والبنية التجزيئية المقترحة وذلك بالاعتماد على العلاقات الرياضية الخاصة بتوزع شرائح الغرافين / عازل ضمن دليل الموجة والتي تعتمد آلية التشابه الداخلي في حساب كل من علاقة الانعكاس R والارسال T حيث يتم حساب معاملي الإرسال والانعكاس لكل نمط من أنماط الأمواج المنتشرة ضمن دليل الموجة بتكرار الحل الرياضي بناءً على التكرار في الجسم التجزيئي ويتم ذلك على خطوتين :

1. يتم الحساب بالاعتماد على عدد المقاطع المتكررة N في المرحلة S

2. يتم الحساب بالاعتماد على مرحلة التجزيء S: حيث تعتبر البداية عند S=0

ومن ثم حساب معامل الامتصاص (T+R)-A=1

سندرس معاملات الإرسال والانعكاس للبنية المدروسة في مجال الترددات الميكروية والمبينة في الشكل (12) وهي عبارة عن دليل موجة تتوزع داخله شرائح من الغرافين /عازل بشكل تجزيئي.



الشكل (12) التوزع التجزيئي لشرائح الغرافين/عازل والأمواج المنتشرة بالاتجاه الامامي والعكسي

تعطى معاملات الإرسال عند الحدود الفاصلة بين الشرائح كالتالي:

$$t_{01} = \frac{2n_g}{n_d+n_g} \quad (11)$$

$$t_{10} = \frac{2n_d}{n_d+n_g} = t' \quad (12)$$

n_g : قرينة انكسار الغرافين.

n_d : قرينة انكسار العازل.

t_{01} : معامل الإرسال غرافين ← عازل.

t_{10} : معامل الإرسال عازل ← غرافين.

وتعطى معاملات الانعكاس عند الحدود الفاصلة بين الشرائح كالتالي:

$$r_{01} = \frac{n_g - n_d}{n_d + n_g} = r \quad (13)$$

$$r_{10} = \frac{n_d - n_g}{n_d + n_g} = -r \quad (14)$$

r_{01} : معامل الانعكاس غرافين ← عازل.

r_{10} : معامل الانعكاس عازل ← غرافين.

وتعطى المعادلات الخاصة بحساب معاملي الإرسال والانعكاس للشريط الكانتوري وبالاعتماد على مرحلة

التجزئي

$$R_{(0,\rho^s L)} = \frac{r_{01} + (t_{10}t_{01} - r_{01}r_{10})r_{10}e^{j\gamma_1 M \rho^s L}}{1 - r_{10}r_{01}e^{j2\gamma_1 M \rho^s L}} \quad (15)$$

$$T_{(0,\rho^s L)} = \frac{t_{10}t_{01}e^{j\gamma_1 M \rho^s L}}{1 - r_{10}r_{01}e^{j2\gamma_1 M \rho^s L}} \quad (16)$$

γ : معامل الانتشار، a : معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات.

تم تطوير برنامج حاسوبي باستخدام البيئة البرمجية MATLAB لحساب معاملات الإرسال t_{01}, t_{10} والانعكاس r_{01}, r_{10} على الحدود الفاصلة بين الشرائح وفي كل مرحلة من المراحل التجزئية للوصول إلى معاملي الإرسال T والانعكاس R للبنية ككل وبالتالي حساب معامل الامتصاص للبنية الدورية وللجسم التجزئي المدروس في مجال الترددات الميكروية. في البداية قمنا بدراسة معامل الإرسال للتوزيع التجزئي للجسم سابقا بوجود نوعين من المواد الغرافين وعازل بقرينتي انكسار n_d و n_g .

2-4 التوزيع الكانتوري $D = \ln(2)/\ln(3)$

النموذج المقترح الثاني نحصل عليه كما يلي: نقسم القطعة المؤسسة بمعامل تقسيم $1/3 = \rho$ ، ثم ننزع بعض

هذه الأجزاء وليكن الجزء المتوسط فنحصل على $N=2$ قطع متشابهة ونكرر هذه العملية على أكثر من مرحلة



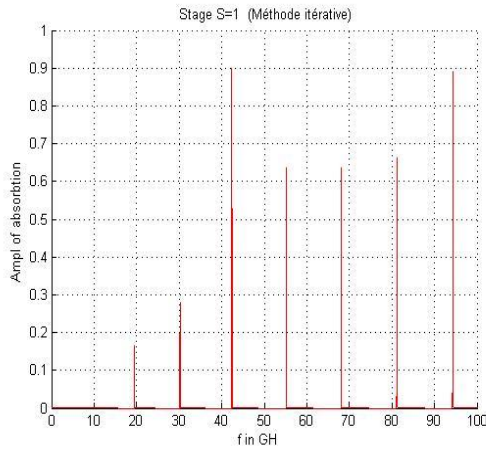
الشكل (13) توزيع شريط كانتور نوالبعد $D = \ln(2)/\ln(3)$ ضمن دليل الموجة من أجل المراحل التجزئية الثلاث الأولى

قمنا بالدراسة على عدة مراحل:

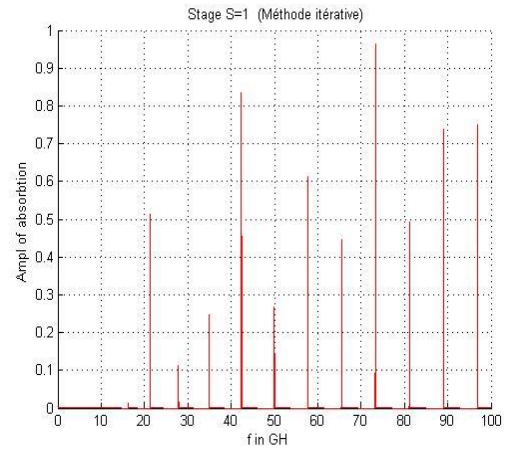
المرحلة الأولى: قمنا بدراسة تأثير البعد التجزئي D على كل من معاملي الإرسال والانعكاس الناتجين عن

التوزيع التجزئي لشرائح الغرافين ضمن دليل الموجة ومن أجل التوزيعين السابقين يكون معامل الامتصاص في المرحلة

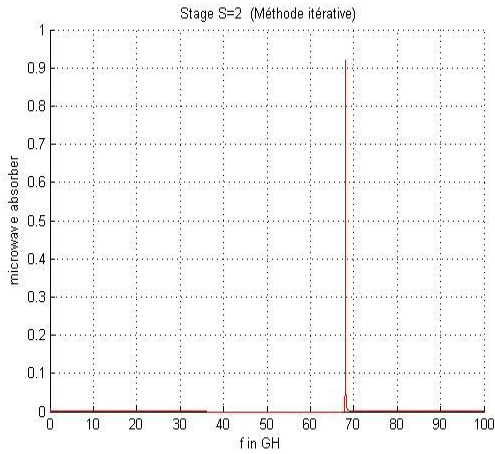
الأولى والثانية ومن أجل بعدين تجزئيين مختلفين على الشكل التالي:



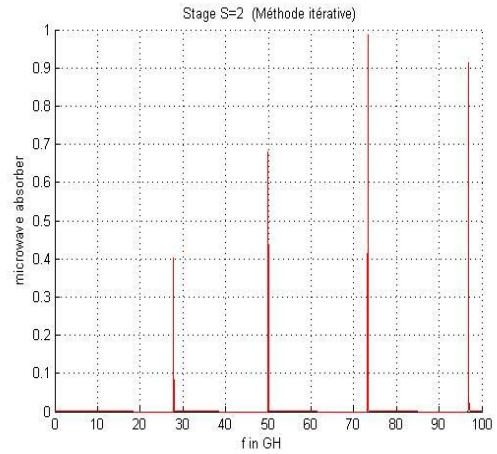
الشكل (15) معامل الامتصاص لتوزيع شريط كانتور $D = \frac{\ln(3)}{\ln(5)}$ للمواد LHM عند مرحلة التجزيء $S=1$



الشكل (14) معامل الامتصاص لتوزيع شريط كانتور $D = \frac{\ln(2)}{\ln(3)}$ للمواد LHM عند مرحلة التجزيء $S=1$



الشكل (17) معامل الارسال لتوزيع شريط كانتور $D = \frac{\ln(3)}{\ln(5)}$ للمواد LHM عند مرحلة التجزيء $S=2$

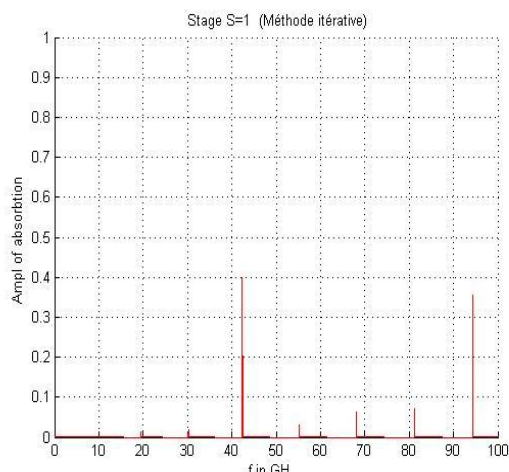


الشكل (16) معامل الارسال لتوزيع شريط كانتور $D = \frac{\ln(2)}{\ln(3)}$ للمواد LHM عند مرحلة التجزيء $S=2$

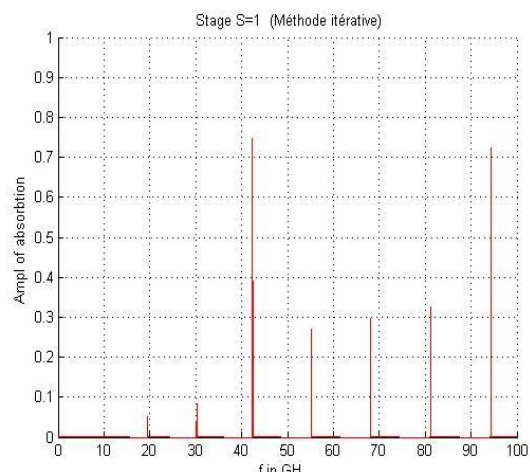
بالمقارنة بين النموذجين نلاحظ أنه بزيادة البعد التجزيئي يقل عدد حزم الامتصاص وتصبح متباعدة أكثر وبزيادة مرحلة التجزيء تقل حزم الامتصاص وتتزاح نحو الترددات الأعلى. هذه البنية يمكن أن تعمل ممتص متعدد الحزم يمكن التحكم بعدد الحزم وبمواقعها من خلال تغيير مرحلة التجزيء والبعد التجزيئي.

المرحلة الثانية : سنقوم بدراسة تأثير طاقة فيرمي (أو الكمون الكيميائي μ_c) على معامل الامتصاص

وذلك للنموذج الكانتوري ذو البعد التجزيئي $D = \ln(2)/\ln(3)$



الشكل (19) معامل الامتصاص لتوزيع شريط كانتور $D = \ln(2)/\ln(3)$ عند $S = 1$ وعند $\mu_c = 0.9$



الشكل (18) معامل الامتصاص لتوزيع شريط كانتور $D = \ln(2)/\ln(3)$ عند $S = 1$ وعند $\mu_c = 0.1$

من خلال ماسبق نلاحظ أننا بزيادة طاقة فيرمي يقل معامل الامتصاص وهذا يعود إلى أنه بزيادة طاقة فيرمي تزداد موصلية الغرافين ويصبح سلوكه أقرب للنواقل ويقبل امتصاصه للامواج الكهرومغناطيسية .

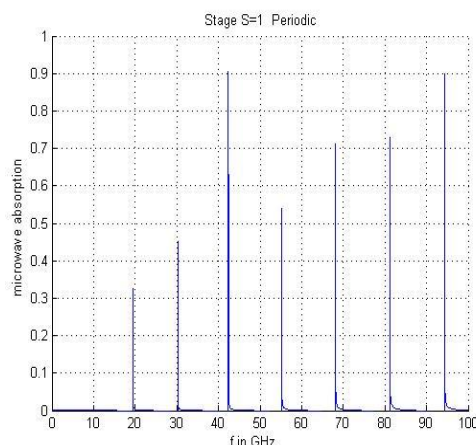
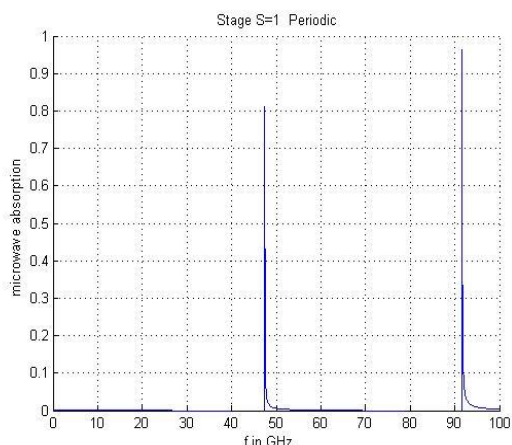
المرحلة الثالثة : دراسة البنية الدورية لتوزيع شرائح الغرافين والعازل :

في هذه المرحلة سندرس تأثير زيادة عدد الطبقات ضمن دليل الموجة على معامل الامتصاص ودراسة تأثير طاقة فيرمي على معامل الامتصاص. يبين الشكل (20) لبنية دورية مؤلفة من طبقات من العازل وطبقات من الغرافين موزعة بشكل دوري .

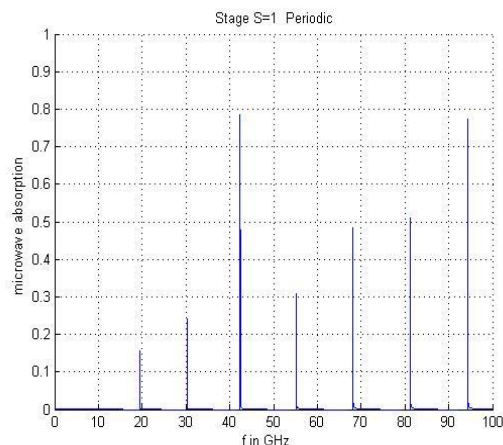
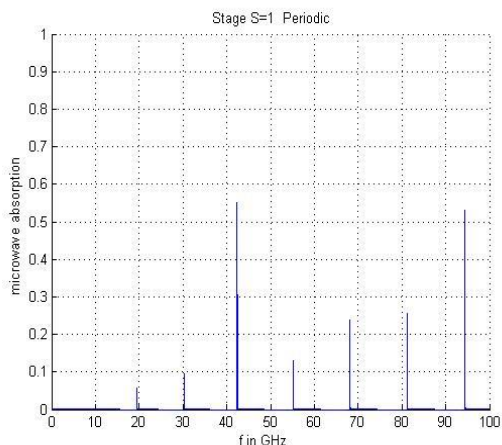


الشكل (20) البنية الدورية لتوزيع شرائح الغرافين /عازل

في البداية سنقوم بدراسة معامل الامتصاص لبنية دورية مؤلفة من 3 طبقات من العازل و 2 طبقة من الغرافين المرسب على أوكسيد السيلكون ومقارنتها مع بنية دورية مؤلفة من 9 طبقات من العازل و 8 طبقات من الغرافين.



الشكل (21) معامل الامتصاص لبنية دورية مؤلفة من 2 طبقة (22) معامل الامتصاص لبنية دورية مؤلفة من 8 طبقة من الغرافين و 3 طبقات من العازل وعند $\mu_c = 0.01$ والغرافين و 9 طبقات من العازل وعند $\mu_c = 0.01$ يبين الشكل (20) والشكل (21) حزم الامتصاص ضمن المجال الترددي [0-100]GHz للبنية الدورية، وجدنا بزيادة عدد الطبقات يقل عدد حزم الامتصاص ويزداد تباعدها عن بعضها. يوضح الشكل (23) والشكل (24) تأثير طاقة فيرمي على البنية الدورية المؤلفة من 3 طبقات من العازل و 2 طبقة من الغرافين، فتتناقص قيمة معامل الامتصاص بزيادة طاقة فيرمي ولاتتغير مواقع حزم الامتصاص الترددية مع تغير طاقة فيرمي.



الشكل (23) معامل الامتصاص لبنية دورية مؤلفة من 2 طبقة من الغرافين و 3 طبقات من العازل وعند $\mu_c = 0.1$ من خلال ما سبق وجدنا أن زيادة عدد الطبقات ضمن البنية المدروسة يؤدي إلى تناقص عدد حزم الامتصاص وزيادة قيمة قمم حزم الامتصاص وإزاحة هذه الحزم نحو الترددات الأعلى، وزيادة طاقة فيرمي تقل قيمة قمم حزم الامتصاص وتحافظ على مواقعها الترددية. إن وجود شرائح الغرافين التي تتميز بناقلية كهربائية قابلة للتوليف جعل بالإمكان التحكم بامتصاص الأمواج الكهرومغناطيسية ضمن البنى المدروسة سابقاً والحصول على حزم امتصاص ضيقة جداً وبالتالي يمكننا الاستفادة مما سبق في تصميم ممتص للأمواج الميكروية لأي تطبيق مرغوب مع إمكانية تحديد عدد حزم الامتصاص ومواقعها الترددية وقيمة معامل الامتصاص بالاعتماد على قابلية التوليف لناقلية الغرافين وعلى البارامترات التي تقدمها البنية الدورية والبنية التجزيئية.

5_الاستنتاجات والتوصيات:

بينت هذه الدراسة إمكانية تصميم ممتص للأمواج الكهرومغناطيسية وأن الغرافين في مجال الترددات الميكروية يساهم كعنصر امتصاص قابل للتوليف مما يعطي درجة أكبر من الحرية في تصميم أي ممتص ميكروي بالإضافة لأن التركيب التجزيئي يحوي عددا متغير الأبعاد من الفجوات ويمكن التحكم بها من قبل معاملات الجسم التجزيئي وبالنتيجة باختيار التوزع التجزيئي لشرائح الغرافين وشرائح العازل ضمن دليل الموجة تمكنا من الوصول إلى تصميم ممتص ميكروي ذو معامل امتصاص عالي من خلال اختيار مرحلة التجزيء المناسبة بالإضافة إلى إمكانية التحكم بمواقع حزم الامتصاص لهذا الممتص وجعلها عند ترددات معينة من خلال تغيير قيمة بارامتر معامل توزع المادة (lacunarity) وبالتالي يمكن الاستفادة من هذا التوزع المذكور سابقا بعد تحديد البعد التجزيئي D ومرحلة التجزيء S و معامل تغير كثافة المادة المناسبين عند تردد معين في تصميم ممتص ميكروي ضيق الحزمة جدا يستخدم في تطبيقات معينة في مجال الاتصالات .

6_المراجع

- [1] ZHANG, Y; HUANG, Y; ZHANG, T; CHANG, H; XIAO, P; CHEN, H; CHEN, Y. 2015, *Broadband and tunable high performance microwave absorption of an ultralight and highly compressible graphene foam*, Advanced materials, Vol.27, No. 12, 2049-2053.
- [2] WANG, J; MA, F; SUN, M. 2017, *Graphene, hexagonal boron nitride, and their heterostructures: properties and applications*, RSC advances, Vol. 7, No. 27, 16801-16822.
- [3] MANIYARA, A; MKHITARYAN, K; CHEN, L; GHOSH, S; PRUNERI, V. 2016, *An antireflection transparent conductor with ultralow optical loss ($< 2\%$) and electrical resistance ($< 6 \Omega \text{ sq}^{-1}$)*. Nature communications, Vol. 7, No. 1, 1-8.
- [4] WEN, B; CAO, M; LU, M; CAO, W; Shi, H; Liu, J; Yuan, J. 2014, *Reduced graphene oxides: light weight and high efficiency electromagnetic interference shielding at elevated temperatures*, Advanced materials, Vol.26, No.21, 3484-3489.
- [5] CAO, M. S; WANG, X; CAO, Q., YUAN, J. 2015, *Ultrathin graphene: electrical properties and highly efficient electromagnetic interference shielding*, Journal of Materials Chemistry C, Vol.3, No. 26, 6589-6599.
- [6] LEE, C., WEI, X., KYSAR, J. W., HONE, J. 2008, Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene, science, Vol. 321, No. 5887, 385-388.
- [7] KRAJEWSKA, A; PASTERNAK, I; SOBON, G; SOTOR, J; PRZEWLOKA, A; CIUK, T; STRUPINSKI, W. 2017, *Fabrication and applications of multi-layer graphene stack on transparent polymer*. Applied Physics Letters, Vol.110, No. 4, 041901..
- [8] HONG, K; KIM, Y; KIM, Y; KIM, H; PARK, W; KIM, H; CHO, J. 2012, Electromagnetic interference shielding effectiveness of monolayer graphene, Nanotechnology, Vol.23, No. 45, 4557.
- [9] KRAJEWSKA, A; PASTERNAK, I; SOBON, G; SOTOR, J; PRZEWLOKA, A; CIUK, T; STRUPINSKI, W. 2017, *Fabrication and applications of multi-layer graphene stack on transparent polymer*. Applied Physics Letters, Vol.110, No. 4, 041901.
- [10] CHOI, W; LAHIRI, I; SEELABOYINA, R; KANG, Y. S. 2010, *Synthesis of graphene and its applications: a review*, Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, Vol.35, No.1, 52-71.
- [11] WANG, H; LU, Z; TAN, J. 2016, *Generation of uniform diffraction pattern and high EMI shielding performance by metallic mesh composed of ring and rotated sub-ring arrays*. Optics express, Vol.24, No. 20, 22989-23000.
- [12] KUMAR, A; SHARMA, K; DIXIT, R. 2019, *A review of the mechanical and thermal properties of graphene and its hybrid polymer nanocomposites for structural application*, Journal of materials science, Vol. 54, No. 8, 5992-6026.
- [13] Dash, S., & Patnaik, A. 2020, *Behavior of graphene based planar antenna at microwave and terahertz frequency*, Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications, Vol.40, 100800.

- [14] LU, H; GAN, X; MAO, D; ZHAO, J. 2017, *Graphene-supported manipulation of surface plasmon polaritons in metallic nanowaveguides*. Photonics Research, Vol. 5, No. 3, 162-167.
- [15] ZHANG, Q; LI, X; HOSSAIN, M. M; XUE, Y; ZHANG, J; SONG, J; GU, M. 2014, *Graphene surface plasmons at the near-infrared optical regime*. Scientific reports, Vol. 4, No. 1, 1-6.
- [16] FALCOVSKY, A; PERSHOGUBA, S. S. 2007, *Optical far-infrared properties of a graphene monolayer and multilayer*. Physical Review B, Vol. 76, No. 15, 153410.
- [17] ZHANG, R. Z; ZHANG, Z. M. 2015, *Tunable positive and negative refraction of infrared radiation in graphene-dielectric multilayers*. Applied Physics Letters, Vol. 107, No. 19, 191112.
- [18] OTHMAN, M. A; GUCLU, C; CAPOLINO, F. 2013, *Graphene-based tunable hyperbolic metamaterials and enhanced near-field absorption*. Optics express, Vol. 21, No. 6, 7614-7632.
- [19] WUNSCH, B; STAUBER, T; SOLS, F; GUINEA, F. 2006, *Dynamical polarization of graphene at finite doping*. New Journal of Physics, Vol. 8, No. 12, 318.
- [20] JABLAN, M; BULJAN, H; SOLJAČIĆ, M. 2009, *Plasmonics in graphene at infrared frequencies*, Physical review B, Vol. 80, No. 24, 245435.
- [21] TAN, Y. W; ZHANG, Y; BOLOTIN, K; ZHAO, Y; ADAM, S; HWANG, E. H; KIM, P. 2007, *Measurement of scattering rate and minimum conductivity in graphene*. Physical review letters, Vol. 99, No. 24, 246803.
- [22] GOSCINIAK, J; TAN, D. T. 2013, *Theoretical investigation of graphene-based photonic modulators*. Scientific reports, Vol. 3, No. 1, 1-6.
- [23] JABBARZADEH, F; HEYDARI, M; HABIBZADEH-SHARIF, A. 2019, *A comparative analysis of the accuracy of Kubo formulations for graphene plasmonics*. Materials Research Express, Vol. 6, No. 8, 086209.
- [24] FALCONER, K. J; FALCONER, K. J. *Techniques in fractal geometry*, Vol. 3, Chichester: Wiley, 1997, 967.
- [25] TIWARI, A. 2012, *Fractal applications in electrical and electronics engineering*. International Journal of Engineering Science & Advanced Technology, Vol. 2, No. 3, 406-411.
- [26] Chuang, Shun Lien. *Physics of photonic devices*. Vol. 80. John Wiley & Sons, 2012.