

Design and Simulation of Filter and Antenna Based on Fractal Distribution of Graphene Layers For Terahertz Application

Dr .Alsamowal Saleh*

Dr .Taghred Hadad**

Rana Hasan***

(Received 12 / 4 / 2023. Accepted 26 / 6 / 2023)

□ ABSTRACT □

Graphene has recently arisen as an important material for THz devices due to its extraordinary THz properties inherited from its particular band structure. It has tunable physical and chemical properties in addition to its tunable electrical conductivity. A fractal structure containing Cantor distribution of graphene layers/ dielectric layers are studied and calculated transmission and reflection coefficient. The effect of fractal factors such as stage of growth, fractal dimension on the transmission and reflection coefficient are studied in order to obtain a terahertz filter. Then, we proposed a design of terahertz antenna based on Cantor distribution of graphene, that provides a multi-dimensional structure. The proposed antenna was designed using CST simulator and analyzed the effect of the variation of resonance patch numbers and dimensions on the antenna properties.

Keywords: Graphene, Cantor Distribution, Terahertz Frequencies, Filter, Antenna.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

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

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

*** Postgraduate Student(Ph.D.) ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. rna.hasan@tishreen.edu.sy

تصميم ومحاكاة مرشح وهوائي باستخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين من أجل تطبيقات ترددات التيراهرتز

د. السموع صالحي*

د. تغريد حداد**

رنا حسن***

(تاريخ الإيداع 12 / 4 / 2023. قُبِلَ للنشر في 26 / 6 / 2023)

□ ملخص □

ظهر الغرافين مؤخرًا كمادة مهمة لأجهزة THz نظرًا لخصائصه غير العادية، حيث تعد إمكانية توليف الناقلية الكهربائية للغرافين باستخدام المعاملات الخارجية خاصية مميزة لهذه المادة والمسبب الرئيس لاستخدامها في تطوير الاجهزة الالكترونية العاملة في مجال ترددات التيراهرتز.

تم في هذا البحث دراسة بنية مؤلفة من توزيع تجزيئي لطبقات الغرافين /عازل ضمن دليل الموجة وحساب معامل الإرسال والانعكاس ودراسة تأثير معاملات الجسم التجزيئي على معامل الإرسال والانعكاس، بهدف الحصول على مرشح تمرير حزمة يعمل في مجال ترددات التيراهرتز، ثم قمنا بتصميم هوائي تجزيئي مطبوع عريض الحزمة باستخدام التوزيع التجزيئي للغرافين باعتباره الرقعة المشعة وتحليل بارامترات الهوائي والتغيرات الحاصلة على معاملات الهوائي تبعًا لتغيرات عدد وأبعاد الفتحات الرنينية المقترحة باستخدام المحاكى Cst Suit Studio للوصول إلى التصميم المناسب الذي يعطي أفضل اتجاهية و ربح.

الكلمات المفتاحية : الغرافين، التوزيع التجزيئي، ترددات التيراهرتز، مرشح، هوائي تجزيئي.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

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

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

*** طالبة دكتوراه_قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين -اللاذقية - سورية.

rna.hasan@tishreen.edu.sy

مقدمة:

إن أنظمة الاتصالات في حالة تطورٍ دائمٍ بسبب ارتباطها الواسع بالعديد من المجالات الهندسية التّقنية الأخرى، فتقدم أحد المجالات بُعطي فرصة لتطوير أنظمة الاتصالات من منحنى مُعيّن. على سبيل المثال، إن العناصر الإلكترونية المختلفة (فعالة/ غير فعالة، خطية/لا خطية... الخ) تُشكّل الأساس الفيزيائي الذي يتم عبره بناء أنظمة الاتصالات وذلك في أجهزة الإرسال والاستقبال، وهذا يعني أن تطور أنظمة الاتصالات وتقدمها مرتبطٌ بمجالٍ تقنيٍّ آخر وهو تطور جودة وكفاءة عمل العناصر الإلكترونية. تزايد الاهتمام في السنوات الأخيرة بتطوير الأجهزة الضوئية والكهربائية التي تعمل في مجال ترددات التيراهرتز وخاصة بعد اكتشاف وتصنيع المواد الثنائية البعد مثل الغرافين والتي أحدثت ثورة في المجال العلمي والصناعي [1,2,3]. تتميز المواد ثنائية البعد بخصائص مختلفة عن المواد ثلاثية البعد وقد حظي الغرافين باعتباره مادة ثنائية الأبعاد بسمك ذرة واحدة، باهتمام واسع النطاق نظرًا لخصائصه المتنوعة وغير العادية، حيث تتميز مادة الغرافين عن المواد الأخرى بقابلية توليف الناقلية السطحية وتغييرها من خلال تطبيق جهد كهربائي على شريحة الغرافين حيث يختلف الكون الكيميائي للغرافين باختلاف الجهد الكهربائي المطبق على شريحة الغرافين وهذا يؤدي إلى تغيير ناقلية السطحية. تم تصميم العديد من الأجهزة التي تعتمد على الغرافين مثل موجّهات الموجة، الهوائيات والماصات والمرشحات العاملة في مجال الترددات الميكروية والضوئية وترددات التيراهرتز والعديد من البنى الأخرى [3-4].

أهمية البحث وأهدافه:

تعد المرشحات والهوائيات مكونًا أساسيًا لأنظمة الاتصالات، ومع التطورات التكنولوجية الحديثة، أصبحت المرشحات والهوائيات القابلة للضبط / القابلة لإعادة التشكيل ضرورية لتحقيق متطلبات أنظمة الاتصالات التي تعمل عند الترددات العالية في منطقة THz.

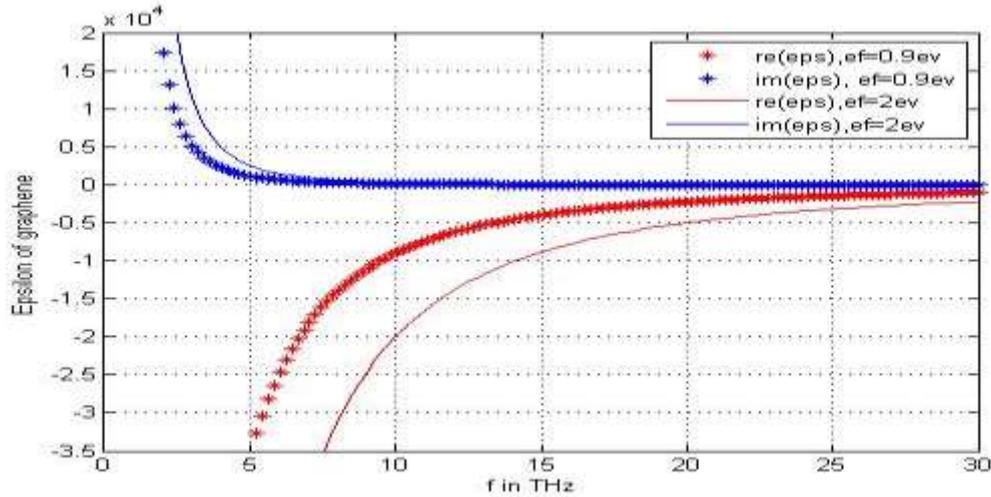
يتناول البحث دراسة الغرافين كمادة ثنائية البعد واستخدامها في تصميم المرشحات والهوائيات العاملة في مجال ترددات التيراهرتز، تحليل معاملي الانعكاس والارسال للتوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين/عازل ضمن دليل الموجة وتصميم هوائي قابل للتوليف، باستخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين وتحليل بارامترات الهوائي باستخدام المحاكاة CST للحصول على حزم ترددية مناسبة لتطبيقات الانترنت اللاسلكية والأجهزة الطبية اللاسلكية وللاتصالات الفضائية والاتصالات اللاسلكية قصيرة المدى.

طرائق البحث ومواده:**1- الغرافين:**

تم عزل الغرافين لأول مرة عام (2004) على يد الباحثين من جامعة مانشستر اندريه جيم ونوفوسيلوف [5]. يعتبر الغرافين مادة ثنائية البعد على هيئة طبقة رقيقة جدا" يبلغ سُمكها ذرة كربون واحدة، حيث تتوضع ذرات الكربون في هذه الطبقة بأشكال سداسية مترابطة تشبه قرص العسل. طبيعة الروابط التكافؤية بين ذرات الكربون تمنحه العديد من الخصائص كالقوة والمرونة والشفافية وخفة الوزن والناقلية الكهربائية العالية يضاف إلى ذلك أنه يتميز بفجوة طاقة

مساوية للصفر مع إمكانية التحكم بهذه الفجوة عن طريق تطبيق جهد خارجي وبالتالي تغيير طاقة فيرمي وهذا ما يعطي إمكانية للتحكم بهذه المادة لتعمل كناقل أو عازل.

تم اقتراح الغرافين مؤخرًا باعتباره مادة نشطة في مجال ترددات التيراهرتز [3,2,1] وذلك لتمييز مادة الغرافين عن المواد الأخرى بقابلية توليف الناقلية السطحية كما يتميز بأن الجزء الحقيقي من السماحية الكهربائية للغرافين سالب وبدعمه للبلازمونات السطحية والناقلية الكهربائي العالية.



الشكل (1) السماحية الكهربائية للغرافين

وقد أثار الغرافين اهتمامًا كبيرًا في مجال الإلكترونيات باستخدامه في الترانزستورات عالية التردد من خلال تقليل تباعد البوابة المصدر (Gate-Source) وطول القناة كما تم إنشاء مقاومات الغرافين عالية التردد وتصنيع ترانزستورات الغرافين بترددات تشغيل تتجاوز 100 جيجاهرتز. علاوة على ذلك، تم تصنيع ترانزستورات الغرافين القادرة على العمليات المنطقية من خلال فتح فجوة نطاق في المادة [6].



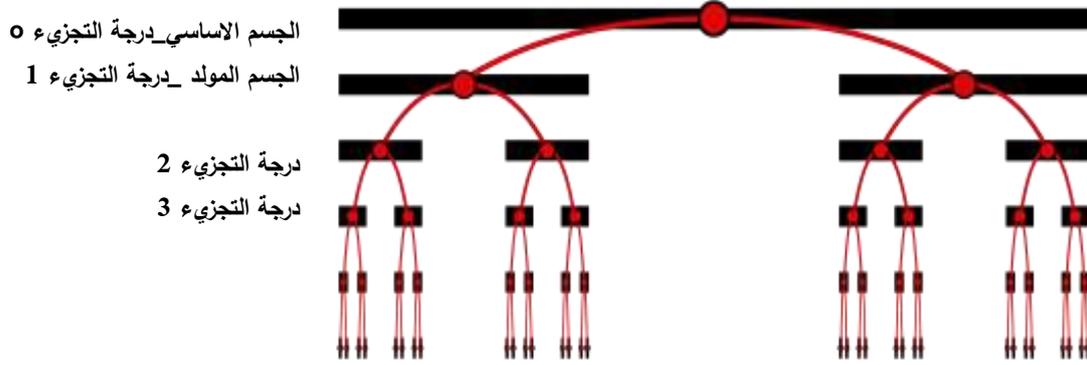
الشكل (2) تطبيقات الغرافين في مجال الإلكترونيات

من ناحية أخرى، فإن الشفافية البصرية والمرونة الميكانيكية والمتانة الكيميائية قد مكنت جميعها من اقتراح الغرافين كمادة ممتازة للأجهزة الإلكترونية المرنة، مثل الشاشات التي تعمل باللمس وللورق الإلكتروني.

2- الهندسة التجزئية (الفرactalية):

تصف الهندسة التجزئية (fractal geometry) البنى ذات التشابه الذاتي أو الداخلي والتي تمتلك بعدًا غير محدد وغير قابلة للقياس حيث يكون الجسم أو السطح متشابهًا ذاتيًا ويمكن تحليله إلى نسخ أصغر تشبه الجسم الأساسي.

يعرف الجسم التجزيئي بأنه جسم غير منتظم يمكن أن يكون محدد ولكنه غير منته [7]، يمتلك خاصية التشابه الذاتي الداخلي ويتولد بالتجزئة ويوصف عن طريق مجموعة عدد من المعاملات : وهي البعد التجزيئي (Fractal dimension D)، مرحلة التجزيء (Stag of growth S)، معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات (Lacunarity a).

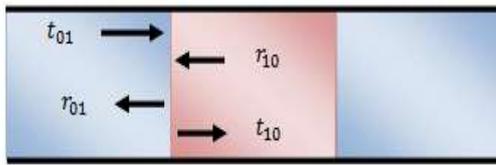


الشكل (3) مراحل تشكيل شريط كانتور

النتائج والمناقشة:

اقترح البحث تصميم بني جديدة ذات استجابة في مجال ترددات THZ. في البداية قمنا بتصميم مرشح باستخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين / أكسيد السيلكون ضمن دليل الموجة واستخدمنا الطريقة التكرارية لدراسة وتحليل كل من معامل الإرسال والانعكاس الناتجين عن البنية التجزيئية المقترحة وذلك بالاعتماد على العلاقات الرياضية الخاصة بالتوزيع التجزيئي 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.

قمنا بالبداية بتطوير علاقات معاملي الارسال والاستقبال عند الحدود الفاصلة بين الطبقات :



الشكل (4) معاملي الارسال والاستقبال عند الحدود الفاصلة بين الطبقات

$$t_{01} = \frac{2n_d}{n_d - n_g} \quad (1)$$

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

$$r_{01} = \frac{n_g + n_d}{n_d - n_g} = r \quad (3)$$

$$r_{10} = \frac{-n_g - n_d}{n_d - n_g} = -r \quad (4)$$

n_d قرينة الانكسار للطبقات العازلة (أكسيد السيلكون)

n_g : قرينة الانكسار للغرافين وتعطى بالعلاقة [9,8]:

$$n_g = \sqrt{\frac{\text{real}(\epsilon_g(\omega)) + \sqrt{[\text{real}(\epsilon_g(\omega))]^2 + [\text{imag}(\epsilon_g(\omega))]^2}}{2}} \quad (5)$$

ϵ_g : السماحية الكهربائية للغرافين. وتعطى السماحية الكهربائية لطبقة مفردة من الغرافين بالعلاقة [10]

$$\epsilon_g = \epsilon_0 + i \frac{\sigma(\omega)}{\epsilon_0 \omega d_g} \quad (6)$$

وتصبح علاقة السماحية الكهربائية في حال وجود طبقة الغرافين مرسبة على طبقة مضيفة (SIO₂,CSI,EO)

$$\epsilon_g = \epsilon_m + i \frac{\sigma(\omega)}{\epsilon_0 \omega d_g} \quad (7)$$

ϵ_m : السماحية الكهربائية للطبقة المضيفة، d_g : سماكة طبقة الغرافين، ω : التردد الزاوي

$\sigma(\omega)$: الناقلية الكهربائية للغرافين والتي ترتبط ارتباطاً مباشراً بالتردد وتعطى حسب صيغة كويو [12,11]:

$$\sigma = \sigma_{inter} + \sigma_{intra} \quad (8)$$

σ_{intra} : ترتبط بالتشنت الناتج عن الشوائب، العيوب والفونونات والالكترونات وتعتبر عن الانتقال الداخلي للاكترونات

ويمثل الجزء الحقيقي والذي يساهم في امتصاص الطاقة أو تبديدها بسبب الإلكترونات البينية. ويعبر عنه بالمعادلة (9)

$$\sigma_{intra} = i \frac{e^2 K_B T}{\pi \hbar^2 (\omega + i\tau^{-1})} \left[\frac{\mu_c}{K_B T} + 2 \ln \left(\exp \left(\frac{-\mu_c}{K_B T} \right) + 1 \right) \right] \quad (9)$$

T: على درجة الحرارة، μ_c : الكمون الكيميائي، w: تردد الاشعاع، K_B : ثابت بولتزمان، h: ثابت بلانك،

e: شحنة الاكترون.

σ_{inter} : تعبر عن انتقال الاكترون بين السويات الطاقية أو المجالات وقيمتها صغيرة جدا عندما تكون $\hbar\omega$

أصغر بكثير من الكمون الكيميائي للغرافين ويعبر عنها بالمعادلة (10):

$$\sigma_{inter} = \frac{i e^2}{4\pi \hbar} \ln \left(\frac{2\mu_c - (\omega + i\tau^{-1})}{2\mu_c + (\omega + i\tau^{-1})} \right) \quad (10)$$

T: على درجة الحرارة و μ_c : الكمون الكيميائي و w: تردد الاشعاع و τ زمن الاسترخاء للاكترونات وتختلف قيمته

حسب المجال الترددي ويعطى بـ 10^{-12} و 10^{-13} من أجل ترددات [13,12] THz وفي الترددات الميكروية [13]

يأخذ قيمة 20 ps ، K_B : ثابت بولتزمان، h: ثابت بلانك، e: شحنة الاكترون.

ثم نقوم بإيجاد المعادلات الخاصة بحساب معاملي الإرسال والانعكاس للشريط الكانتوري وبالاعتماد على مرحلة

التجزئة S:

$$(11) \quad R_{(0,\rho^S L)} = \frac{r_{01} + (t_{10} t_{01} - r_{01} r_{10}) r_{10} e^{j\gamma_{1M} \rho^S L}}{1 - r_{10} r_{01} e^{j2\gamma_{1M} \rho^S L}} \quad \text{معامل الانعكاس:}$$

$$(12) \quad T_{(0,\rho^S L)} = \frac{t_{10} t_{01} e^{j\gamma_{1M} \rho^S L}}{1 - r_{10} r_{01} e^{j2\gamma_{1M} \rho^S L}} \quad \text{معامل الارسال:}$$

a: معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات (lacunarity)، γ : معامل الانتشار

وتصبح المعادلات الخاصة بحساب معاملات الإرسال والانعكاس للشريط الكانتوري والمعتمدة على عدد المقاطع

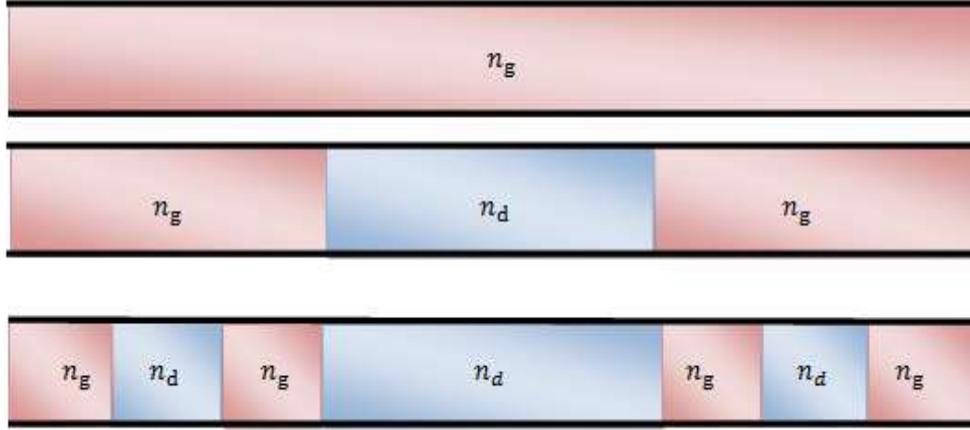
المكررة N ضمن المرحلة S:

$$(13) R_N[x, y, \alpha_N] = x + \frac{y^2 R_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}] e^{j2\gamma_{0M} \alpha_N L}}{1 - x R_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}] e^{j2\gamma_{0M} \alpha_N L}} \quad \text{معامل الانعكاس:}$$

$$(14) T_N[x, y, \alpha_N] = \frac{y T_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}] e^{j2\gamma_{0M} \alpha_N L}}{1 - x R_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}] e^{j2\gamma_{0M} \alpha_N L}} \quad \text{معامل الارسال:}$$

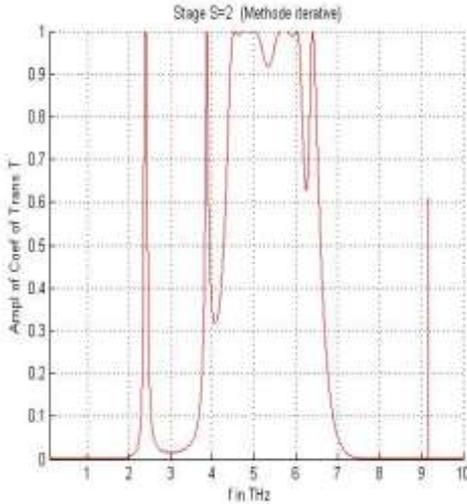
$$R_0[x, y, 0] = x \quad T_0[x, y, 0] = y \quad \text{عندما } N=0 \text{ يكون:}$$

المرحلة الأولى : قمنا بدراسة معامل الإرسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ المؤلف من شرائح من الغرافين ذات قرينة الانكسار n_g /أوكسيد السيلكون قرينة انكساره n_d ضمن دليل الموجة في المجال الترددي [0-10]THz.

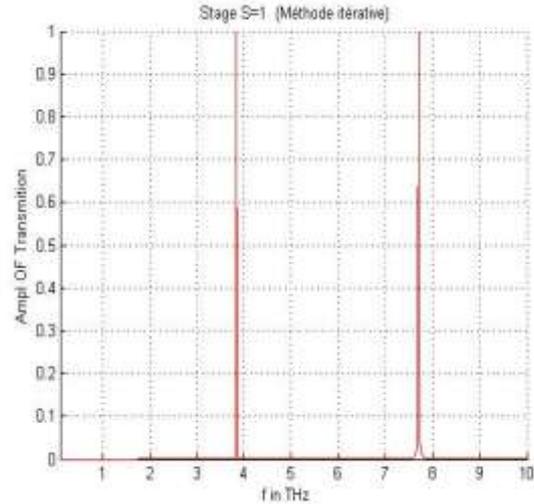


الشكل(5)توزيع شريط كانتور ذو البعد $D = \ln(2)/\ln(3)$ ضمن دليل الموجة من اجل المراحل التجزيئية الثلاث الأولى

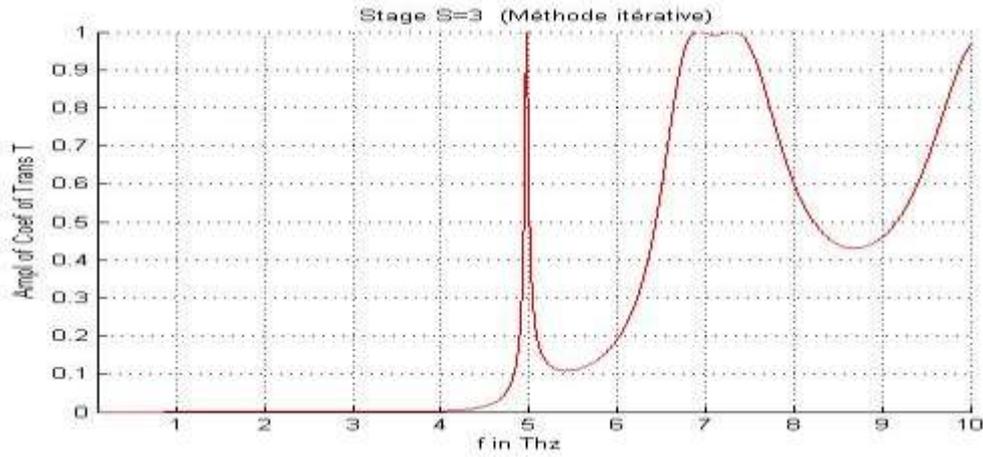
أولاً: قمنا بدراسة تأثير مراحل التجزيء على معامل الإرسال عند نفس البارامترات التصميمية والتجزيئية وكانت النتائج بالشكل الآتي:



الشكل (7) معامل الإرسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=2$ وعند مستوى فيرمي $\mu_c = 0.09$



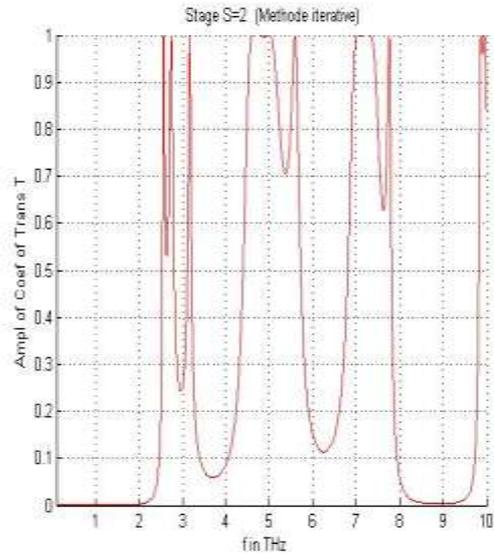
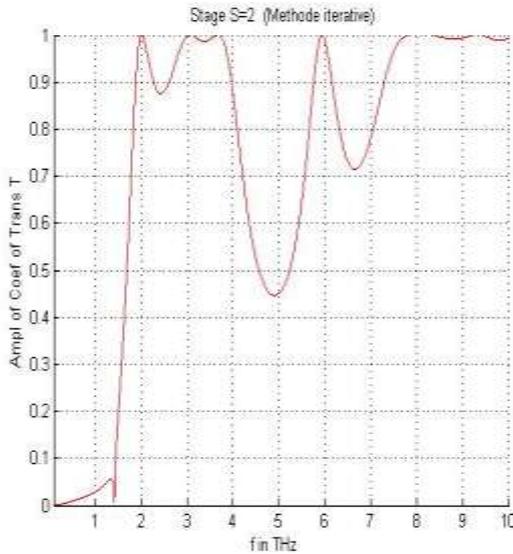
الشكل (6) معامل الإرسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=1$ وعند مستوى فيرمي $\mu_c = 0.09$



الشكل (8): معامل الإرسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=3$ وعند مستوى فيرمي $\mu_c = 0.09$

عند زيادة عدد لمراحل التجزيئية يزداد عدد شرائح الغرافين الموزعة ضمن نفس البنية المدروسة ونلاحظ من الأشكال (8,7,6) بزيادة عدد مراحل التجزيء يزداد عرض حزم الإرسال وتتزاح نحو الترددات الأعلى في المجال الترددي المدروس ومنه تزداد عرض حزم الإرسال بزيادة عدد شرائح الغرافين.

ثانياً: "ثانياً": سنقوم بدراسة تأثير البعد التجزيئي على معامل الإرسال لذلك لنموذجين من شريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ وشريط كانتور ذو البعد التجزيئي $D = \frac{\ln 4}{\ln 7}$:



الشكل (9) معامل الإرسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=2$ وعند مستوى فيرمي $\mu_c = 0.3$
 الشكل (10) معامل الإرسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 4}{\ln 7}$ عند مرحلة $S=2$ وعند مستوى فيرمي $\mu_c = 0.3$

نلاحظ انه بزيادة البعد التجزيئي يزداد عرض حزم الإرسال ويقل عمق حزم المنع وهذا مايتوافق مع النتائج السابقة حيث أنه بزيادة البعد التجزيئي يزداد عدد شرائح الغرافين المتوزعة ضمن البنية وهذا يؤدي إلى زيادة عرض حزمة التمرير ضمن المرشح .

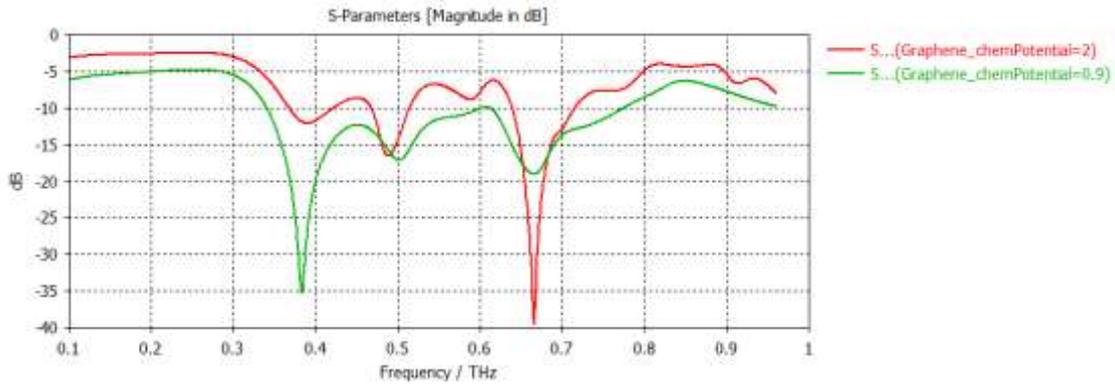
المرحلة الثانية : قمنا بتصميم هوائي قابل للتوليف، باستخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين. وقمنا بدراسة وتحليل بارامترات الهوائي باستخدام المحاكى CST للحصول على حزم ترددية مختلفة. قمنا بتصميم الهوائي التجزيئي باستخدام

مادة الغرافين كرقعة مشعة ومستوي الأرضي واستخدمنا مادة السيلكون التيرا هرتز كطبقة أساس وحسب العلاقات الواردة في المراجع [16,15,14] قمنا بحساب أبعاد الهوائي ليعمل عند التردد 0.4THz كمرحلة أولى في التصميم. يبين الجدول (1) أبعاد الهوائي التجزيئي بوحددة μm .

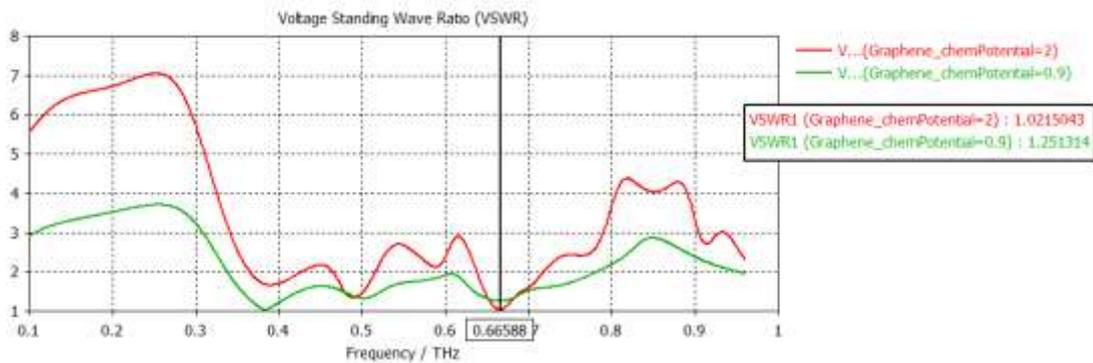
جدول (1) أبعاد الهوائي التجزيئي

أبعاد الهوائي	μm
طول طبقة الأساس Ls	200
عرض طبقة الأساس Ws	300
ارتفاع طبقة الأساس hs	80
طول خط التغذية Lf	66.6
عرض خط التغذية Wf	42

الهوائي المقترح له البارامترات التالية $\epsilon_s = 11.9$ ، حيث ϵ_s تمثل ثابت العازلية الكهربائي لطبقة الأساس وباستخدام العلاقات (15,17,18) قمنا بحساب: $\epsilon_{reff} = 8.8, \Delta l = 30.16 \mu m, l_{eff} = 126.994 \mu m$ أولاً: قمنا بدراسة تأثير طاقة فيرمي على سلوك الهوائي في المرحلة s=0 ويظهر الشكل (12) معامل الانعكاس للهوائي التجزيئي.



الشكل (12) تأثير طاقة فيرمي على الهوائي التجزيئي في المرحلة s=0

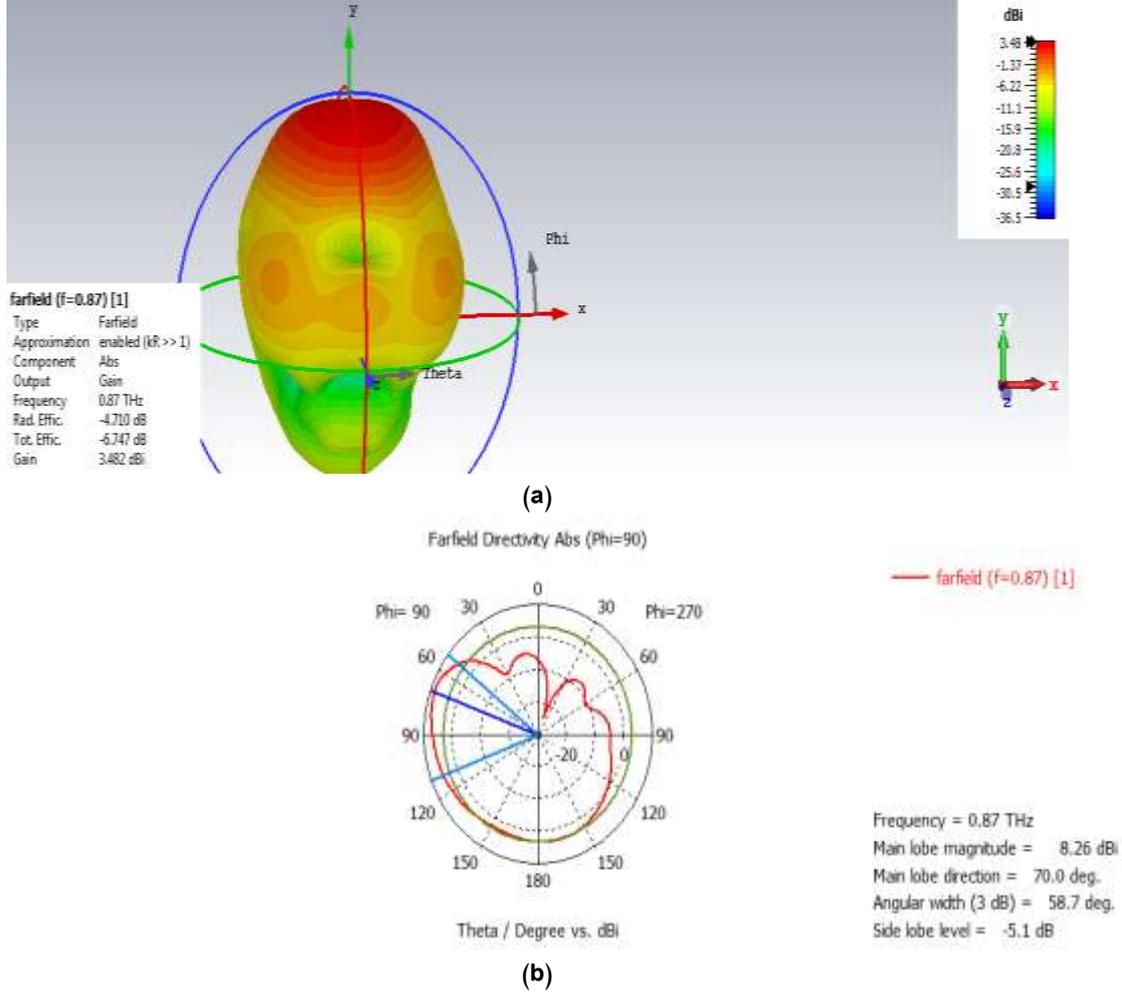


الشكل (13) VSWR عند كمون كيميائي 0.9 eV و 2 eV

في الشكل (12) نلاحظ أن تردد الرنين عند التردد 0.3829 THz عند الكمون كيميائي $0.9 eV$ ويكون معامل الانعكاس $S_{11} = -35.32 dB$ وينزاح نحو الترددات الأعلى ضمن المجال الترددي بزيادة الكمون الكيميائي

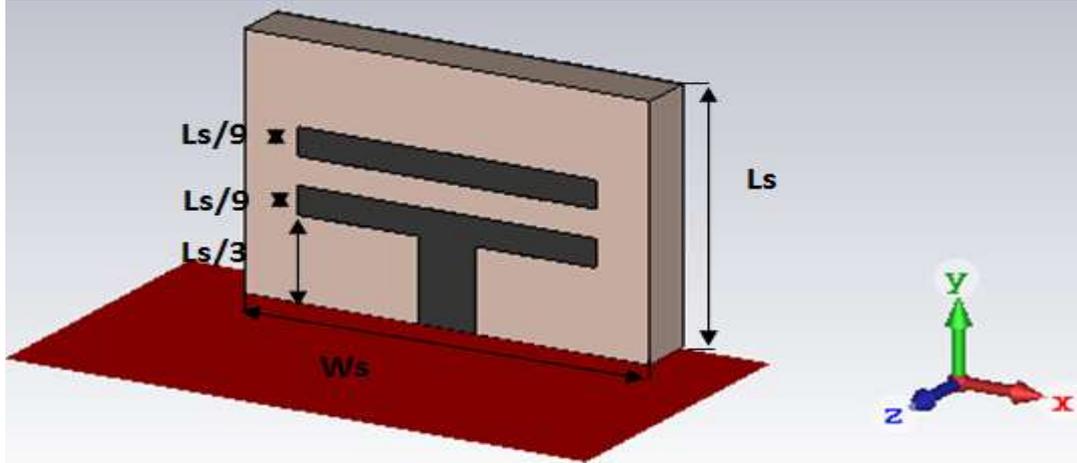
للغرافين $\mu_c = 2\text{ev}$ يكون تردد الرنين 0.6658THz وخسارة العودة $S_{11} = -39.463$ وتبلغ قيمة VSWR 1.0215043 .

يوضح الشكل (14) المخطط الاشعاعي عند التردد 0.87THz حيث يبلغ الربح 3.482 والاتجاهية 8.26 .



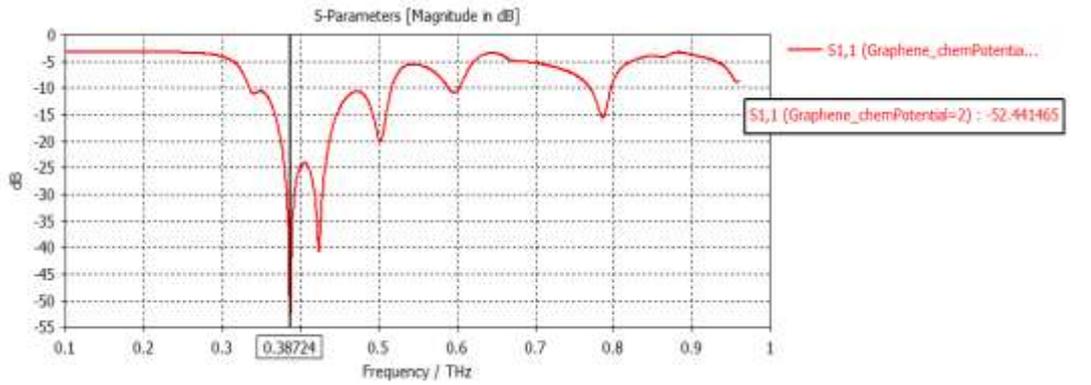
الشكل (14) -a المخطط الاشعاعي ثلاثي البعد، b المخطط الاشعاعي ثنائي الأبعاد

في المرحلة الثانية انتقلنا إلى المرحلة التجزئية $S=1$ مع المحافظة كل كافة البارامترات الأخرى نفسها فيصبح لدينا فتحة طنينية ضمن الرقعة المشعة مختلفة الأبعاد كما هو موضح في الشكل (15)

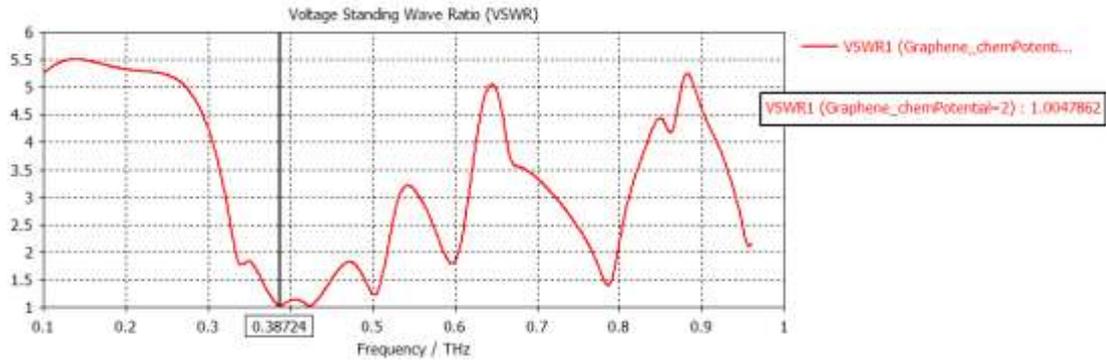


الشكل (15) الهوائي التجزيئي في المرحلة التجزيئية $S=1$

يظهر معامل الانعكاس لهذا الهوائي الموضح في الشكل (16) تغييراً ملحوظاً في تردد الرنين وزيادة عدد الحزم الترددية للهوائي دون تغيير أبعاده الأساسية.



(a)

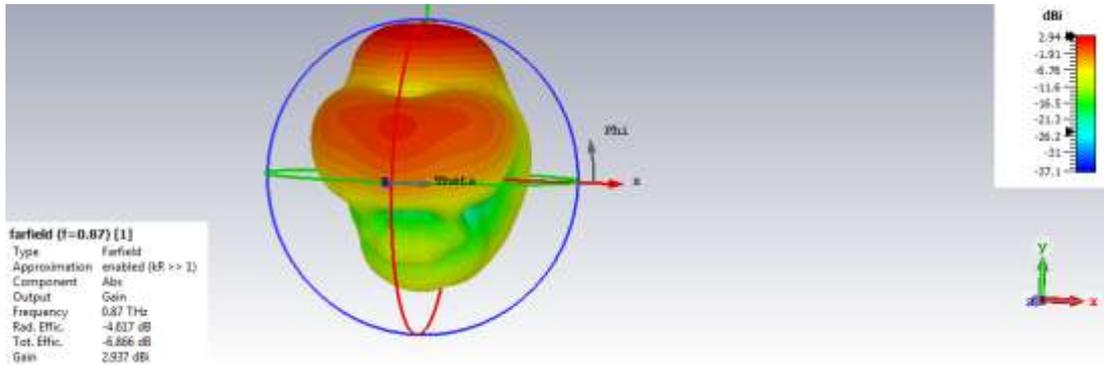


(b)

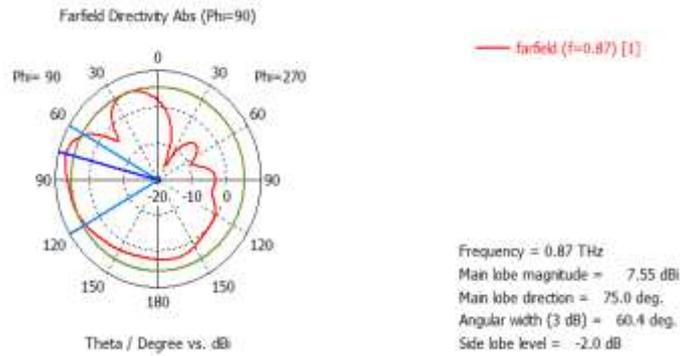
الشكل (16) معامل الانعكاس للهوائي التجزيئي عند المرحلة $S=1$ عند $\mu_c = 0.6$ $VSWR_b$ عند $\mu_c = 2ev$

حيث نلاحظ قيم مختلفة لمعامل الانعكاس بالإضافة إلى VSWR حيث نلاحظ أفضل قيمة لمعامل الانعكاس عند التردد $f = 0.3872THz$ وعند كمون كيميائي $\mu_c = 2ev$ وتبلغ قيمة VSWR $S_{11} = -52.441 dB$

1.0047. ويظهر في الشكل (17) المخطط الإشعاعي ثلاثي الأبعاد للريح والاتجاهية عند الترددات 0.87THz وعند $\mu_c = 2ev$ كيون كيميائي



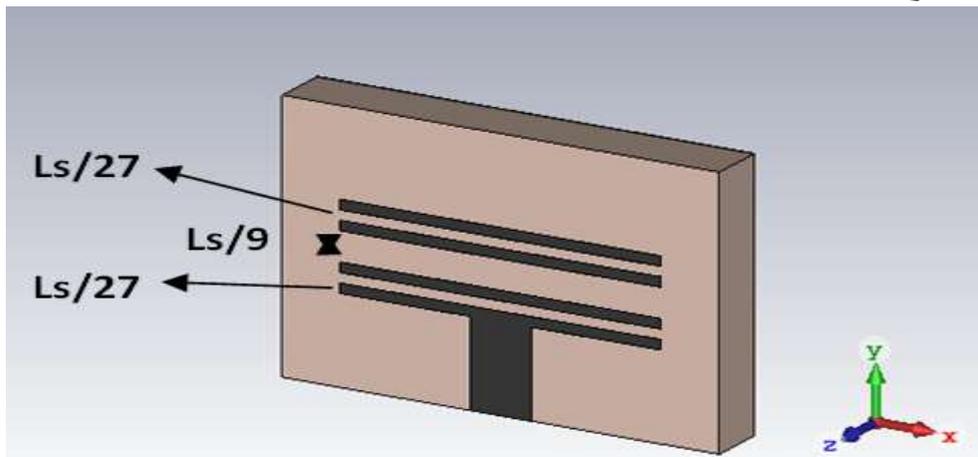
(a)



(b)

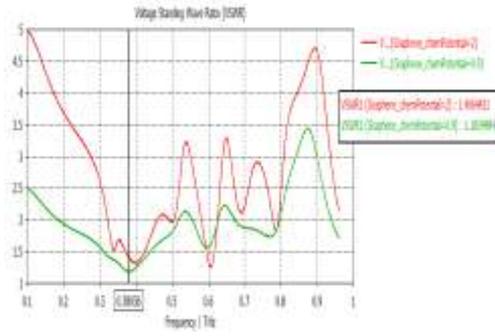
الشكل (17) a- المخطط الإشعاعي ثلاثي الأبعاد للريح b- المخطط ثنائي الأبعاد للاتجاهية للهوائي التجزيئي في المرحلة s=1

أما في المرحلة التجزيئية S=2 الموضحة في الشكل (18) تتوزع الفجوات بشكل تجزيئي ضمن الرقعة المشعة مما يؤدي إلى توزيع جديد للطاقة.

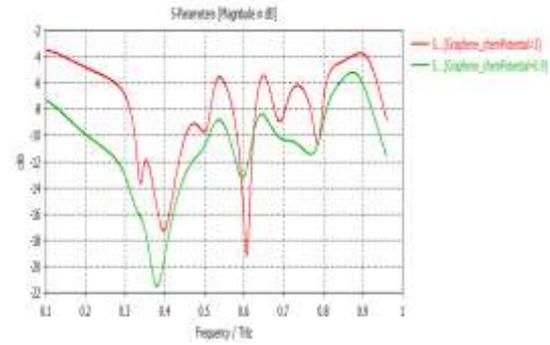


الشكل (18) الهوائي التجزيئي في المرحلة التجزيئية S=1

يوضح الشكل (19) معامل الانعكاس s11 و VSWR عند المرحلة التجزيئية S=2

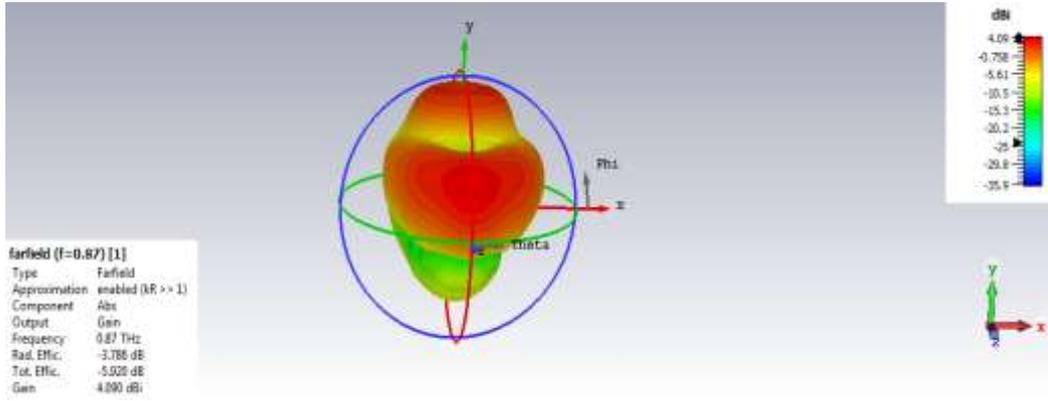


(b)



(a)

الشكل (19) المرحلة a-s=2-معامل الانعكاس عند $\mu_c = 2\text{ev}, 0.9\text{ev}$ عند $\mu_c = 2\text{ev}, 0.9\text{ev}$ VSWR_b



الشكل (20) a- المخطط الإشعاعي ثلاثي الأبعاد للرياح b_ المخطط ثنائي الأبعاد للاتجاهية للهوائي التجزيئي في المرحلة s=2

تزداد قيمة الريح وتبلغ 4.09 وتبلغ الاتجاهية 7.88 عند التردد $f = 0.87\text{ THz}$ والكمون الكيميائي $\mu_c = 2\text{ev}$.

الاستنتاجات والتوصيات:

الخاتمة:

بينت هذه الدراسة أهمية استخدام مادة الغرافين ثنائية البعد في تصميم مرشح وهوائي متعدد الأبعاد والخاصية الأهم التي يضيفها استخدام مادة الغرافين هو إمكانية التوليف الخارجي بعد التصميم النهائي عن طريق التحكم بالكمون الكيميائي للغرافين عن طريق جهد تحييز خارجي وهذا يمكننا من توليف المرشح و الهوائي ليلائم التطبيق المطلوب بعد التصنيع ويمكن استخدام الهوائي والمرشح المقترح في تطبيقات الاتصالات الفضائية والتطبيقات الطبية اللاسلكية وفي

تطوير أنظمة الاتصالات اللاسلكية قصيرة المدى في مجال ترددات التيراهرتز. يعطي استخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين عدد من الفجوات الطينية مختلفة الأبعاد وبالتالي تغير الدارة الكهربائية المكافئة للهوائي نتج عنها عدة ترددات رنين وبالتالي زيادة عرض حزمة الهوائي بالإضافة إلى إمكانية توليف هذه الترددات عن طريق تغيير الكون الكيميائي لمادة الغرافين والذي يؤثر بدوره على الناقلية الكهربائية للغرافين وبالتالي إزاحة تردد الرنين ودرسنا معاملاته الأساسية عن طريق المحاكى CST وبالتالي إمكانية الوصول إلى التصميم المناسب للتطبيق المطلوب.

References:

- [1] M.Jamshidnejad, M.Vaezzadeh, H. R.Soleimani, and S. HAsadpour. *Polarized control of probe absorption in a single-layer graphene nanostructure system*. Laser Physics, vol.26, no. 2, 2016, 025205.
- [2] P. HSiegel. *Terahertz technology*. IEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol. 50, no. 3, 2002, pp. 910-928.
- [3] F.Ghasemi, S.Razi, and KMadanipour. *Single-step laser-assisted graphene oxide reduction and nonlinear optical properties exploration via CW laser excitation*. Journal of Electronic Materials, vol. 47, 2018, pp. 2871-2879.
- [4] J.Wang, F.Ma, and MSun. *Graphene, hexagonal boron nitride, and their heterostructures: properties and applications*. RSC advances, vol. 7, no. 27, 2017, pp. 16801-16822.
- [5] LEE, C; WEI, X; KYSAR, J. W; HONE, J. *Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene*. science, Vol. 321, No. 5887, 2008, pp. 385-388.
- [6] Otsuji, T., Tombet, S. B., Satou, A., Fukidome, H., Suemitsu, M., Sano, E., ... & Ryzhii, V. *Graphene-based devices in terahertz science and technology*. Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 45, No. 30, 2012, 303001.
- [7] GAO, Y. J; YANG, H. W; WANG, G. B. *A research on the electromagnetic properties of plasma photonic crystal based on the symplectic finite-difference time-domain method*. Optik, Vol. 127, No. 4, 2016, pp. 1838-1841.
- [8] AREFINIA, Z; ASGARI, A. *Performance considerations of a photonic crystal based on graphene multilayer system*. In: 2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE). IEEE, 2013, pp. 1-4.
- [9] CHUANG, S. L. *Physics of photonic devices*. Vol. 80, John Wiley & Sons, 2012.
- [10] FALKOVSKY, L. A; PERSHOGUBA, S. S. *Optical far-infrared properties of a graphene monolayer and multilayer*. Physical Review B, Vol. 76, No. 15, 2007, 153410.
- [11] WUNSCH, B; STAUBER, T; SOLS, F; GUINEA, F. *Dynamical polarization of graphene at finite doping*. New Journal of Physics, Vol. 8, No. 12, 2006, 318.
- [12] JAB'LAN, M; BULJAN, H; SOLJAČIĆ, M. *Plasmonics in graphene at infrared frequencies*. Physical review B, Vol. 80, No. 24, 2009, 245435.
- [13] TAN, Y. W; ZHANG, Y; BOLOTIN, K; ZHAO, Y; ADAM, S; HWANG, E. H; KIM, p. *Measurement of scattering rate and minimum conductivity in graphene*. Physical review letters, Vol. 99, No. 24, 2007, 246803.
- [14] Moradi, K; Pourziad, A; & Nikmehr, S. *A frequency reconfigurable microstrip antenna based on graphene in Terahertz Regime*. Optik, vol. 228, 2021, 166201.
- [15] Nissiyah, G. J; & Madhan, M. G. *Graphene based microstrip antenna for triple and quad band operation at terahertz frequencies*. Optik, vol. 231, 2021, 166360.
- [16] Davoudabadifarahani, H; & Ghalamkari, B. *High efficiency miniaturized microstrip patch antenna for wideband terahertz communications applications*. Optik, vol. 194, 2019, 163118.