

دراسة التعديلات الفيزيائية لمادة البوليمير CR39 تحت تأثير حزمة الكترونية بطريقة مونتي كارلو بهدف تشكيل عناصر ضوئية متكاملة

د.م. ثائر داؤد*

الملخص

يتركز العمل المقدم هنا بشكل أساسي على دراسة التغيرات الفيزيو-كيميائية للمادة العضوية بتقنية الحفر المباشر للحزم الكترونية Electron beam direct writing technique. المادة العضوية المدروسة هنا هي Poly(diethylene glycol bis(allylcarbonate)) المسماة CR39. وأهم التغيرات التي سنقوم بالتركيز عليها هي تغيرات عمق الاختراق للحزمة الكترونية في المادة كتابع لطاقة الكترونات. هذا الاختراق سيقود لزيادة في قرينة انكسار هذه المادة التي يمكن أن تسمح بتشكيل عناصر ودارات متكاملة ضوئية للاستخدام في الاتصالات الضوئية.

المرحلة الأولى من هذا العمل ستسمح لنا بدراسة التغيرات الفيزيو-كيميائية للمادة العضوية تحت تأثير حزم الكترونية بطاقات منخفضة التي هي مجال اهتمامنا (من 5 KeV إلى 25 KeV)، لأنها مطابقة لإمكانية تشكيل بنى ضوئية بأبعاد صغيرة جداً ودون الحاجة لاستخدام تقنية القناع Mask technique المرافقة للحزم الأيونية، وهذه البنى يمكن استخدامها في الاتصالات الضوئية.

لذلك في المرحلة الثانية من هذه الدراسة سنقوم بالإفادة من هذه التغيرات، وبالتحقق من إمكانية الحصول على انتشار كهربي موجة ضمن بنية ذات أبعاد مطابقة لطاقة الكترونات المستخدمة.

هذه البنية يمكن أن تكون العنصر الأساسي في تشكيل دارات متكاملة ضوئية Integrated optical circuits مثل: شبكات براغ Bragg grating، المرشحات الضوئية Optical filters، ...

الكلمات المفتاحية: بوليمير، حزم الكترونية، برنامج EGS4، اتصالات ضوئية، دارات متكاملة ضوئية.

* قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية - جامعة حلب

مقدمة

وبأي شكلٍ ومهما كانت أبعاده، ومن ثمَّ يمكننا التفكير بتشكيل عناصر ودارات متكاملة ضوئية على المادة العضوية نفسها.

لذلك سنقوم في هذا البحث بالتحقق من إمكانية الزيادة في قرينة الانكسار عند تكسير الروابط العضوية للمادة بتعريضها لحزمة إشعاعية الكترونية، ومن ثمَّ وكأنا قمنا بعملية حفر ضمن هذه المادة وزرعنا مادة ثانية بقرينة انكسار مختلفة. وهذه الزيادة تكون مرتبطة بشكل مباشر بكلٍ من:

- الخواص الفيزيو-كيميائية للمادة العضوية.
- خواص حزمة الجزيئات الالكترونية (كطاقة الجزيئات وشدتها).

وهذا ما يفتح لنا الآفاق لإمكانية التفكير بتشكيل عناصر ضوئية مختلفة أو بتنفيذها مثل أدلة الموجة الضوئية المستوية Optical Planer Waveguides - دليل موجة ميكروي ضوئي Optical Microwave Guide - رنانات ضوئية Optical Resonators على شكل قرص أو على شكل حلقة - شبكات ضوئية Optical Gratings.... وبدورها هذه العناصر ستسمح بتنفيذ دارات متكاملة ضوئية Integrated Optical Circuits التي ستسهم في تطوير منظومات الاتصالات وخصوصاً من جهة السعة وسرعة نقل المعلومات.

هدف البحث وطريقته

مما تقدم فإنَّ الهدف الأساسي لهذا البحث هو دراسة إمكانية تشكيل عناصر ودارات ضوئية متكاملة ضوئية ضمن مادة عضوية بوليميرية؛ وذلك بهدف استخدامها في منظومات الاتصالات الضوئية، وهذا سيكون بالاعتماد على التغيير البنيوي للمادة العضوية تحت تأثير الحفر المباشر للحزمة الالكترونية ذات الطاقات المنخفضة نسبياً.

لذلك طريقة البحث ستكون ممنهجة وفق الخطوات الآتية:

يمكن في مجال البصريات الموجهة Guided Optics تحقيق التوجيه الضوئي بواسطة تعديل قرينة انكسار المادة أو تغييرها، يمكن لهذا التوجيه أن يكون ببعدين (مثل أدلة الموجة المستوية) أو بثلاثة أبعاد (مثل أدلة الموجة المحددة ببعدين معترضين) [1-3].

أظهرت إمكانية إنجاز أدلة الموجة المستوية الضوئية في المادة البوليميرية CR39؛ وذلك تحت تأثير الحزمة الأيونية وبواسطة العديد من الباحثين [4-8].

وبشكل موازٍ توجد دراسات أكثر عمقاً أجريت على ما يعرف بالتعديلات الفيزيو-كيميائية للمادة العازلة كهربائياً CR39 بواسطة أنواع مختلفة من الإشعاعات مثل فوتونات غاما، ولكن استخدام هذا التقانات كما هو معروف تتطلب استخدام ما يعرف بتقنية القناع Mask Method، ومن ثمَّ هذا ما يجعل هذه التقنية محدودة الإمكانية في كثير من المواضيع وأهمها:

- في ما يخص الأبعاد فإنه لا يمكن الحصول على بنى بأبعاد أصغر من قيمة محددة، وهذا ما يشكل عقبة في تشكيل كثير من التصاميم بأبعاد صغيرة نسبياً.

- في ما يخص الأشكال فإنَّ هذه التقنية غير مرنة لتشكيل العديد من التصاميم مثلاً الأشكال الدائرية كالقرص الرنان المصمت والحلقات المفرغة.

من هنا كان البحث عن طرائق مختلفة تؤدي المتطلبات السابقة ولا تستلزم استخدام هذه الأنظمة، فكان التوجه لاستخدام تقنية الكتابة أو الحفر المباشر للحزمة الالكترونية (الإشعاع المباشر) المقادة

بواسطة ماسح الكتروني ميكروسكوبي Scanning Electron Microscope المبرمج [9-10]، إذ بواسطة هذه التقنية يمكننا الحصول من حيث المبدأ على أي عنصر

.dB/cm

ومن ناحية ثانية، إن توافر مادة البوليمير CR39 ورخصها يجعل من دراسة جدوى استخدامها في مجال الاتصالات ومجالات أخرى أمراً جديراً بالبحث. لذلك هذه المادة في البداية جرى الاهتمام بها لتنفيذ ما يعرف بكواشف الأثر [14-15] Detector of traces، ومن ثم استُخدمت من قِبل العديد من الباحثين لتشكيل أدلة بصرية باستخدام الإشعاع الأيوني [16].

بعد هذه البحوث كلها فإن السؤال المطروح هو تأثير حزمة الإلكترونات في هذه المواد العضوية البوليميرية؛ لذلك الدراسة الأساسية التي سنقوم بها هنا هي من أجل الفهم الدقيق والعميق لتأثير حزمة الإلكترونات في هذه المواد، ومن ثمَّ المقارنة النوعية بين البنى البصرية المنفذة على هذه المواد البوليميرية تحت تأثير كلٍّ من الحزمة الأيونية والحزمة الالكترونية.

2 - دراسة تغيّرات عمق المنطقة المعرضة للحزمة الأيونية

إن عملية تسليط الحزمة الأيونية على سطح المادة العضوية تسبب تغيّرات محلية لعدد من خواص المادة، إذ إنّ الظواهر الأساسية المرافقة لهذا النوع من الحزم الإشعاعية، التي يجب أخذها بالحسبان [17] هي:

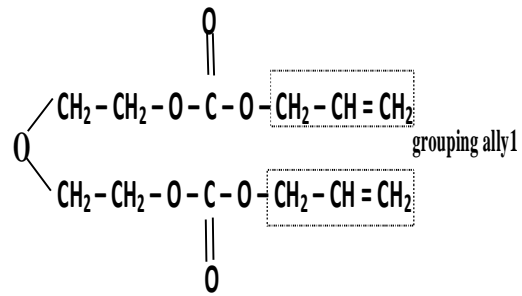
- الاصطدام غير المرن (انتشار الكتروني) للايون الساقط مع الالكترونات الذرية للمادة الهدف.
- الاصطدام المرن (انتشار نووي) للايون الساقط مع نوى مادة الهدف.

وتعدُّ هاتان الظاهرتان مستقلتين الواحدة عن الأخرى، وهما مسؤولتان عن نقل القدرة وبالنتيجة تباطؤ الايون الساقط في المادة، ولكن الذي يجب معرفته أن إسهامهم في نقل القدرة يكون غير متساوٍ، فمن أجل الايونات فإنَّ تبادل القدرة بواسطة الانتشار النووي يمثل قسماً يمكن

- 1- تقديم بسيط للمادة العضوية البوليميرية المستخدمة في هذه الدراسة.
- 2- تقديم موجز وسريع لتقنية الإشعاع الأيوني على المادة العضوية، ومن ثم عرض أهم العقبات الممكنة مصادفتها، وتكون مرافقة لهذه التقنية.
- 3- دراسة نظرية مختلف الظواهر المرافقة للإشعاع الإلكتروني ضمن المادة العضوية.
- 4- دراسة حسابية باستخدام البرنامج EGS4 (Electron Gamma Shower4) وذلك بعد استعراض موجز لهذا البرنامج وبيئته.
- 5- تقديم نتائج دراسة كهربطيسية على بنية ممكن تنفيذها بتقنية الحفر المباشر.
- 6- في الختام نقوم بتحليل النتائج ومناقشتها.

1 - المادة العضوية المدروسة

إن المادة العازلة كهربائياً المدروسة هنا هي المادة العضوية البوليميرية (allyl carbonate) التي لها الصيغة الكيميائية $C_{12}H_{18}O_7$ والصيغة المنشورة يمكن أن تكون مبينة بالشكل [11-13]



الشكل (1) الصيغة المنشورة للمادة العضوية

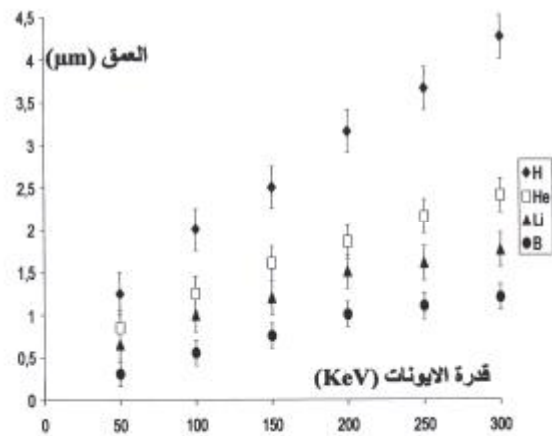
diethylene glycol bis(allyl carbonate)

هذه المادة هي من عائلة المواد البلاستيكية الشفافة لها قرينة انكسار n_s قريبة من 1.49 من أجل طول موجة ضوئية $\lambda \approx 630 \text{ nm}$ ، ولها خواص رائعة في مجال البصريات وخصوصاً أن ضياعاتها الذاتية تقريبا 0.4

إهماله من ناحية نقل القدرة الكلية.

الانتشار الالكتروني يكون إذاً المسيطر، وهو الذي يقود إلى تحريض ذرات وجزيئات المادة الهدف وتأيينها.

هذا ما يجعلنا نقوم بالاهتمام بعمق دخول الايونات في المادة؛ وذلك طبقاً لطبيعة الايون وقدرته، الشكل 2 يعطي مسار الايونات H, He, Li, B في مادة الهدف البوليميرية البنية أعلاه، وذلك كتابع لقدرة الايون [18]



الشكل (2) تغيرات عمق دخول مختلف أنواع الايونات في المادة البوليميرية كتابع لقدرة الايون

يجب التنويه والملاحظة هنا أن أهم مساوئ هذه الطريقة هو أنها تتطلب استخدام ما يعرف بالقناع، ومن ثمّ لدينا عرض أصغري للمنطقة المعرضة للإشعاع الأيوني لا يمكن تخفيضه أكثر من ذلك.

3 - دراسة الظواهر الفيزيائية المرافقة للإشعاع الالكتروني على سطح المادة البوليميرية

أولاً: إن هذه الطريقة تتميز بغياب القناع المستخدم في الطريقة السابقة، إذ إنّ الإشعاع يكون بشكل مباشر (الحفر المباشر)، ويمكننا التحكم بأبعاد المنطقة المعرضة للإشعاع وبشكلها تحكماً دقيقاً، ومن ثمّ يمكننا الحصول على بنى بأشكال مختلفة من المستحيل الحصول عليها بالطريقة السابقة.

عند اختراق الالكترونات لمادة الهدف فإنها تخضع لعدد من التفاعلات الداخلية مع ذرات المادة التي تكون متعلقة

بكل من خصائص الحزمة الالكترونية وطبيعة المادة العضوية المستخدمة.

هذه التفاعلات يمكن أن تقسم إلى قسمين:

- الاصطدامات المرنة التي تؤثر في مسار الالكترونات دون التغيير في قدرتها.

- الاصطدامات غير المرنة التي تترجم بنقل القدرة للمادة الهدف.

النتيجة من هذه الاصطدامات هو تغيير اتجاه الالكترونات وسرعتها على طول المسار بالهدف، ومن ثمّ يمكننا القول: إنّ الالكترونات انتشرت بواسطة ذرات مادة الهدف.

3 - 1 - الانتشار المرن [19-20]

يكون الانتشار المرن للإلكترون متأثراً بالشحن الموجبة للنوى والشحن السالبة لالكترونات الذرات، وهذا ما يمكن وصفه بواسطة ما يعرف المقطع الفعال $\sigma(\theta)$ الذي له وحدة السطح.

إن المقطع الفعال لانتشار ريدرفورد Rutherford بال m^2 يعطى بالعلاقة (1):

$$\sigma(\theta) = \left[\frac{Z e^2}{4\pi e_0} \right]^2 \frac{1}{4E^2 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (1)$$

إذ:

e : شحنة الإلكترون $1.6 \cdot 10^{-19} C$

Z : العدد الذري

θ : زاوية الانتشار

E(J) : طاقة الإلكترون الساقط

ϵ_0 : سماحية الهواء $8,854 \cdot 10^{-12} Fm^{-1}$

3 - 2 - الانتشار غير المرن

هذا الانتشار الذي يقوم بنقل طاقة الإلكترون إلى ذرات الهدف (ظاهرة التباطؤ)، فإنه لا يسبب إلا انحرافاً

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{coll}} = \frac{2\pi N_A r_0^2 m_0 c^2}{\beta^2} * \frac{Z}{A} \left[\frac{\text{Log} \frac{T^2(T+2)}{2I^2}}{8} - \frac{T^2 - (2T+1)\text{Log}2}{(T+1)^2} + (1-\beta^2-\delta) \right] \quad (2)$$

إذ:

$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{coll}}$: تمثل ضياع القدرة بواسطة الاصطدام هي

مقدرة ب $\text{MeV.g}^{-1}\text{Cm}^2$

N_A : عدد أفوغادرو $6,0221.10^{23} \text{ mol}^{-1}$

e : شحنة الإلكترون $1,6.10^{-19} \text{ C}$

r_0 : نصف القطر الكلاسيكي للإلكترون $2,8179.10^{-15} \text{ m}$

β : نسبة سرعة الإلكترون الأولي إلى الضوء

T : الطاقة الحركية للإلكترون الأولي

Z : الرقم الذري للوسط المعبور

A : رقم الكتلة للوسط المعبور

$m_0 c^2$: $0,510976 \text{ MeV}$

I : طاقة التحريض المتوسطة في الوسط

δ : عامل تصحيح

3-4 - ضياع القدرة بواسطة إشعاع الفرملة

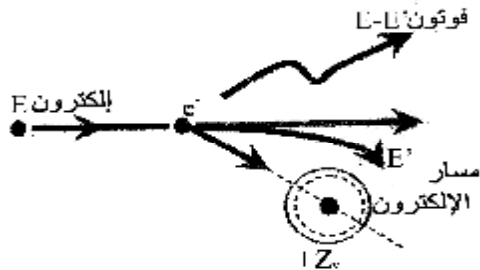
عندما يمر الإلكترون بالقرب من نواة الذرة فإنه يخضع؛

لقوة جذب ومن ثمَّ ينحرف الإلكترون عن مساره الأصلي؛

وهذا ما يخضعه لعملية تسارع. وهذا بالميكانيك الكمي ما

يطابق إرسال فوتونات التي لها قدرة تكون مأخوذة من

الطاقة الحركية للإلكترون، والشكل (3) يوضح ذلك



الشكل (3) إشعاع الفرملة

صغيراً جداً للإلكترون (الزاوية θ صغيرة جداً من مرتبة 10^{-2} راديان).

وقد دُرِسَ هذا النوع من الانتشار من قبل: P.TREBBIA, BETHE, INOKUTI [21].

إذ حُدِّدَ المقطع الفعّال التفاضلي والعدد الفعّال للإلكترونات التي لها مشاركة في التحريض والمقابلة لضياع قدرة مقداره ΔE ، ومن ثمَّ يمكن أن ننوه أنه تبعاً للإلكترون الساقط الذي يتداخل أو يتلاقى مع الكترونات أو نوى الذرة لمادة الهدف يمكن أن يكون لدينا العديد من الانتشارات غير المرنة مثل: تحريض بلاسمون (Plasmons)، وتحريض الكترونات النقل، والإصدار الفوتوني، وتأيين مستويات أعمق، وإرسال إشعاع الفرملة.

3-3 - الظواهر الأولية لتباطؤ الإلكترونات

هناك عمليتان أساسيتان مسؤولتان عن ضياع قدرة الإلكترونات العابرة لمادة الهدف:

- الانتشار غير المرن بواسطة الاصطدام بالإلكترونات الذي يقود للتأيين أو تحريض ذرة الهدف.

- الانتشار غير المرن النووي مع إرسال إشعاع الفرملة.

ومن ثمَّ من أجل تحديد ضياعات الطاقة يجب معرفة كلِّ من: طاقة الإلكترونات الأولية - الكتلة الحجمية والتركييب الكتلي للمادة المدروسة.

ومن أهم النقاط الواجب الانتباه لها هنا هي:

1- التفاعلات في المنطقة المعرضة للهجوم الإلكتروني، إذ إنَّ الإلكترون يضع قدرته في هذه المنطقة؛ وذلك وفق منحنيين: تحريض وتأيين.

2- ضياع القدرة بواسطة الاصطدام الذي يعطى بواسطة

علاقة BETHE التي عدلت من قبل ROHLISH

و CARLSON؛ وذلك للأخذ بالحسبان أثر الكثافة [22-

23]، ومن ثمَّ نحصل على العلاقة النهائية الآتية (2)

3-5- قدرة التوقف - مسافات الالكترونات ومساراتها
من أجل الفهم الأعمق والأفضل لفكرة قدرة الجزيئات الساقطة على سطح مادة الهدف المدروسة، فإنه يجب علينا معرفة كل من قدرة التوقيف للمادة وكل من مسافة الالكترونات ومسارها.

3-5-1- قدرة توقيف المادة [19]

كما رأينا فإن تباطؤ الالكترونات يكون جزء كبير منه عائداً لكل من اصطدام الجزيئات وإنتاج إشعاع الفرملة، وذلك عند مرور الالكترونات بالقرب من نواة ذرة الهدف.

لنفرض أن جزيئاً يسقط على سطح المادة العازلة كهربائياً ويعبر مسافة dx داخلها، ومن ثم فإنه يفقد كمية قدرة dE، هذه الكمية هي مجموع قدرة الاصطدام (dE)_{coll} والقدرة المنتشرة على شكل فوتونات فرييناج (dE)_{rad} وفق العلاقة (3):

$$dE = (dE)_{coll} + (dE)_{rad} \quad (3)$$

ومن ثم فإنه يمكننا تحديد قدرة التوقف أو القدرة الخطية للتباطؤ S بالعلاقة (4):

$$S = \frac{dE}{dx} \quad (4)$$

إذ S لها وحدة القوة، ويمكن أن تكون eV/μm أو MeV/Cm

ويمكن أن نكتبها بالعلاقة (5):

$$S = S_{coll} + S_{rad} \quad (5)$$

إذ:

$$S_{coll} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_{coll} \quad \text{و} \quad S_{rad} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_{rad}$$

لنفرض أن ρ هي الكتلة الحجمية للمادة المعبورة، فيمكن تحديد قدرة التوقيف الكتلية بالعلاقة (6) الآتية:

$$S_{\rho} = \frac{S}{\rho} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dx} \right) \quad (6)$$

إن ضياع الطاقة الحركية يتغير من 0 إلى E، وعند الحالة الأخيرة يعني أن الإلكترون سيتوقف تماماً، ومن ثم تتغير الطاقة الذاتية للفوتونات المرسله أيضاً من 0 إلى E. ومن ناحية ثانية هناك بعض الظواهر الأولية التي لا تفقد لضياع طاقة واضحة للالكترونات الساقطة ولكن من المهم أن نقوم بذكرها هنا، وهي:

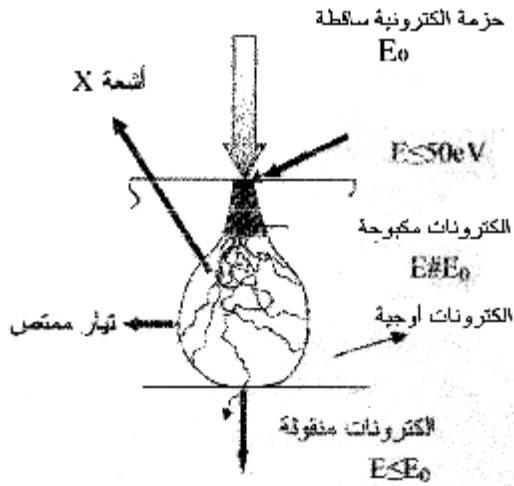
- الانتشار المرن النووي: الذي له احتمالية واضحة في حالة الأوساط ذات الذرات الثقيلة.

إذ إنه خلال اصطدام مرن فقط فإن الإلكترون الساقط لا يفقد عملياً الطاقة ولكن بالمقابل فإن الظاهرة الممكن مراقبتها هي انحراف الجزيء، وبسبب أن كتلتهم صغيرة فإنه يمكن لهذه الالكترونات أن تنحرف بقوة لمسافة معينة من نواة الهدف

- ظاهرة سيرينكوف Effet Cerenkof: وهي ناتجة من أن سرعة الجزيء في الوسط V أكبر من السرعة الطورية للضوء في الوسط، أي: $V > C/n$ (n: قرينة الانكسار، C: سرعة الضوء في الخلاء).

ومن ثم فإنه يمكن أن نلاحظ أو نراقب الإرسال الكهرومغناطيسي الذي يعرف بظاهرة سيرينكوف، وهذه الظاهرة تكون ناتجة عن تقطيب الوسط المعبور. ويجب الملاحظة أن القدرة الضائعة وفق هذه الظاهرة تكون مهملة تماماً لأنها من مرتبة KeV /Cm، فعلى سبيل المثال: إذا عددنا الماء ذا قرينة الانكسار n = 1,33 والجزيئات بشحنة e وبسرعة V فإن القدرة الإشعاعية المرسله تكون 513 eV/cm، وهذه القيمة صغيرة جداً أمام قدرة الالكترونات المنشورة بواسطة التأين التي هي من مرتبة 2 MeV/cm.

توجد أو تترافق مع هذه العملية



الشكل (5) مختلف الظواهر الممكن وجودها نتيجة تعرض مادة عازلة كهربائياً لحزمة الكترونية

4 - الدراسة الحسابية باستخدام EGS4

في أنواع الجزيئات المستخدمة لتحطيم الروابط المكونة للمادة العضوية كلها، فإن انتقال الجزيء الساقط ضمن هذه المادة سيؤدي إلى تغيرات فيزيو - كيميائية التي تكون مسؤولة بدورها عن تغيير قرينة انكسار المادة ضمن هذه المنطقة المعرضة للإشعاع. ومن ثم من أجل المعرفة العميقة لعملية تخزين الطاقة والعمق الذي يمكن أن تخترقه الجزيئات في مادة الهدف، سنقوم بعملية محاكاة باستخدام برنامج الحساب (Electron Gamma Shower4 (EGS4 الذي يمكن أن يقوم بعملية نمذجة أو محاكاة لعملية تعرض المادة العضوية للإشعاع بواسطة الحزمة الالكترونية.

إن البرنامج EGS4 هو عبارة عن كود ماكروسكوبي يستند إلى بيئة مونت كارلو MONTE CARLO. هذا البرنامج يمكن أن يمثل بمكتبة من الكودات التي تضمن شرح آلية نقل الفوتونات والالكترونات، وهذه الكودات هي:

- كود SHOWER: الذي يقوم باستدعاء البرنامج

إذ إن S_p تقدر ب MeV.Cm.g

ومن ثم فإنه من أجل عدد كبير من الجزيئات العابرة لسماكة dx ، فإن الضياع المتوسط للقدرة يكون ΔE ، وقدرة التوقيف تصبح كما هو موضح بالعلاقة (7):

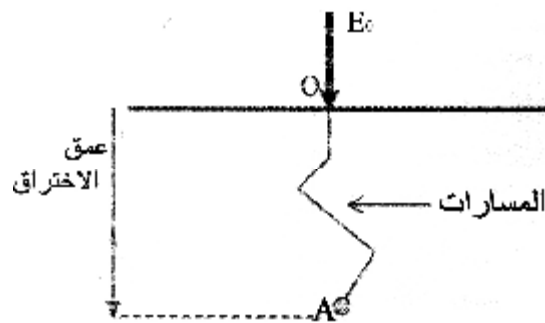
$$S = \frac{dE}{dx} = \left(\frac{\overline{\Delta E}}{\Delta x} \right)_{\Delta x \rightarrow 0} \quad (7)$$

3-5-2 - مسافات الجزيئات ومساراتها

إن مسار الإلكترون العابر للهدف يمكن أن يرسم بواسطة خط منكسر الذي منه القطع المستقيمة المبينة بالشكل 4، إذ إن طول كل قطعة والزوايا بين كل قطعتين متتاليتين يعتمد على طبيعة المادة العازلة كهربائياً.

فمن أجل إلكترون متوضع في النقطة A لا على التعيين من مساره، سيحصل تمييز بين المسار وعمق الاختراق في المادة:

- المسار هو المسافة الكلية المعبورة بواسطة الجزيء، وبكلام آخر هو طول الخط المنكسر من النقطة O إلى النقطة A.
- عمق الاختراق للمادة: هو عبارة عن المسافة المباشرة بين سطح المادة، أي النقطة O والنقطة النهائية A.



شكل (4) مسار الاختراق وعمقه ضمن المادة المعرضة للإشعاع من ناحية أخرى إن غلاف المسارات لالكترونات الحزمة الالكترونية الساقطة على مادة عازلة كهربائياً يمكننا أن نمثله بالشكل (5)، إذ مثلنا مختلف الظواهر الممكن أن

4 - 1- النتائج

قبل عرض النتائج، يجب التنويه إلى أن أهم البيانات الواجب إدخالها للبرنامج هي:

- التركيب الكيميائي وكثافة المادة العضوية .
- قدرة الحزمة الالكترونية eV .
- شدة الحزمة الالكترونية e/Cm^2 .
- مدة تعريض المادة العضوية للحزمة الالكترونية.
- تقسيم المادة العضوية إلى خلايا صغيرة جداً متساوية الأبعاد .

- تحديد عدد الالكترونات الساقطة على كل خلية .
في حالتنا فإن الشريحة من المادة العضوية المدروسة قمنا بتقسيمها إلى خلايا صغيرة جداً بطول وعرض $5\mu m$ وبعمق $1\mu m$.

من أجل النتائج التي سنعرضها هنا فإن كل خلية سوف تستقبل 4×10^6 إلكترونات؛ وذلك بقدرات مختلفة. ومن ناحية ثانية، يجب تثبيت عرض المنطقة المعرضة للإشعاع على قيمة كبيرة نسبياً؛ وذلك لإظهار التجانس في النتائج مهما كان عرض المنطقة المعرضة للإشعاع. علماً أن تقنية الحزم الالكترونية تسمح بالحصول على عرض منطقة من مرتبة عدة ميكرومتر. الجدول (1) يبين النتائج التي حصلنا عليها، وهي توضح العلاقة بين طاقة الالكترونات وعمق اختراقها للمادة المدروسة

الجدول (1) عمق اختراق الالكترونات ضمن المادة العضوية

المدروسة كتاب طاقة الالكترونات

طاقة الإلكترون (KeV)	5	10	15	20	25
عمق الاختراق (μm)	1	2	4	5	7

وسنعرض فيما يأتي النتائج التي تبين توزع القدرة في الخلايا؛ وذلك من أجل طاقة الكترونات 10 KeV و 15 KeV في المادة العضوية المدروسة مع المقاييس المطابقة لذلك، وكذلك يمكن أن نظهر النتائج على شكل منحنيات متساوية القدرة، والأشكال 6- 9 توضح ذلك.

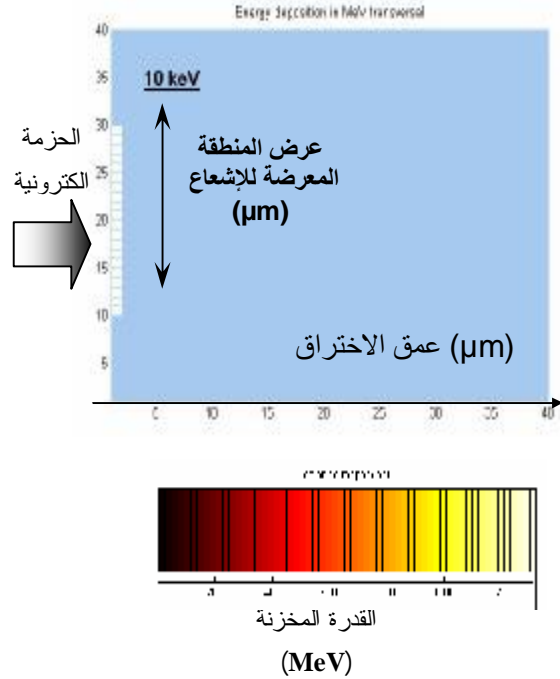
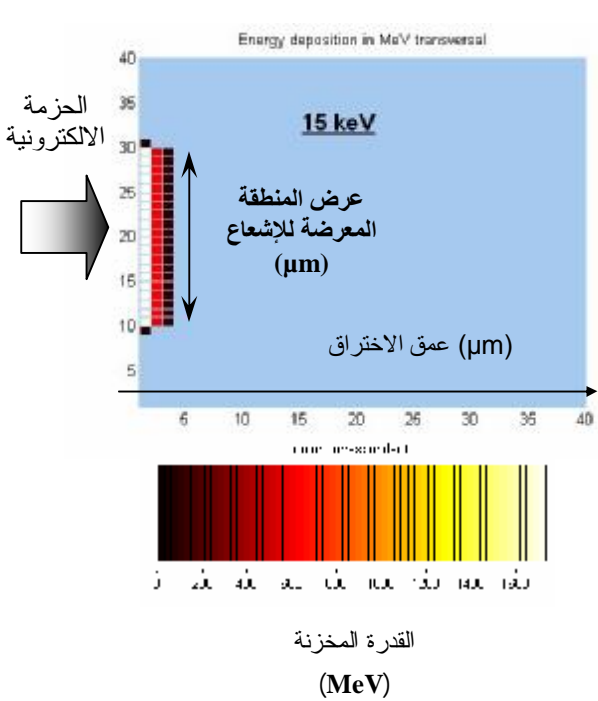
الرئيسي أو إحضاره الذي يقوم بتحديد عدد من البارامترات مثل طبيعة المادة المدروسة، والخواص الأساسية للجزيئات، ...

- كود HOWFAR: الذي يقوم بإدارة هندسية للمسألة؛ وذلك بتحديد موقع الجزيء .
- كود AUSGAB: الذي يقوم بإدارة عملية استخلاص المعلومات المفيدة والأساسية للبارامترات الدائمة للمحاكاة.

في البداية كان هذا البرنامج مستخدماً من أجل حالات تكون فيها الجزيئات بطاقات عالية جداً تصل إلى TeV لأغراض بعيدة نسبياً عن حقل الاتصالات، وهذا ما جعله عاجزاً أمام الطاقات التي تسمح بتشكيل بنى للاتصالات الضوئية التي هي أقل من 40 KeV، ولكن بعد تطويره فإن البرنامج EGS4 يمكن أن يأخذ بالحسبان التداخلات كلها أو التفاعلات الممكنة بين الحزمة الإشعاعية والمادة المعرضة للإشعاع؛ وذلك مهما كانت طاقة الجزيء وشده، خصوصاً القدرات المنخفضة (أقل من 25 KeV) التي هي مجال اهتمامنا في هذه الدراسة، لأنه في الدراسات الأخرى فإن أقل طاقة كانت مستخدمة هي 25 KeV وذلك من قبل Isabey R. [11] التي استخدمت شريحة ذات أبعاد $800\mu m \times 800\mu m \times 40\mu m$.

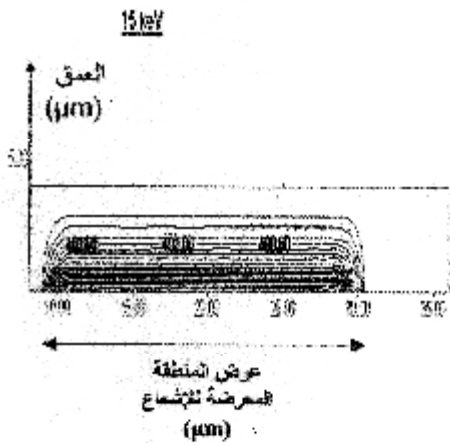
من ناحية ثانية، يمكن أن نلخص أهم هذه التداخلات أو التفاعلات المأخوذة بالحسبان بهذا البرنامج وذلك من أجل حزمة الالكترونات:

- إشعاع الفرمة الذي يسمى أيضاً BREMSSTRAHLUNG (BREMS)
- انتشار بهابها BHABHA (e^+e^-)
- انتشار مولر MOLLER (e^-e^-)
- التحول التام ANNIHILATION (ANNIH)
- الانتشار المتعدد لمولير
- الضياعات بواسطة التأين



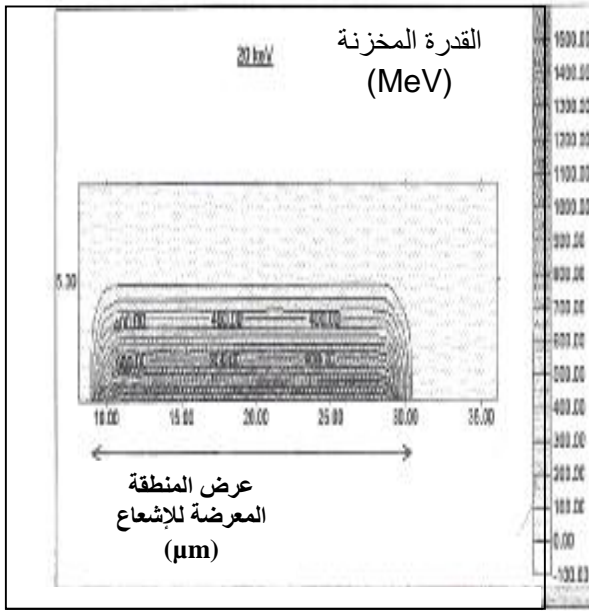
الشكل (8) منظر تخزين الطاقة في عمق المادة من أجل الكترونات بقدرة 15 KeV

الشكل (6) منظر تخزين الطاقة في عمق المادة من أجل الكترونات بقدرة 10 KeV



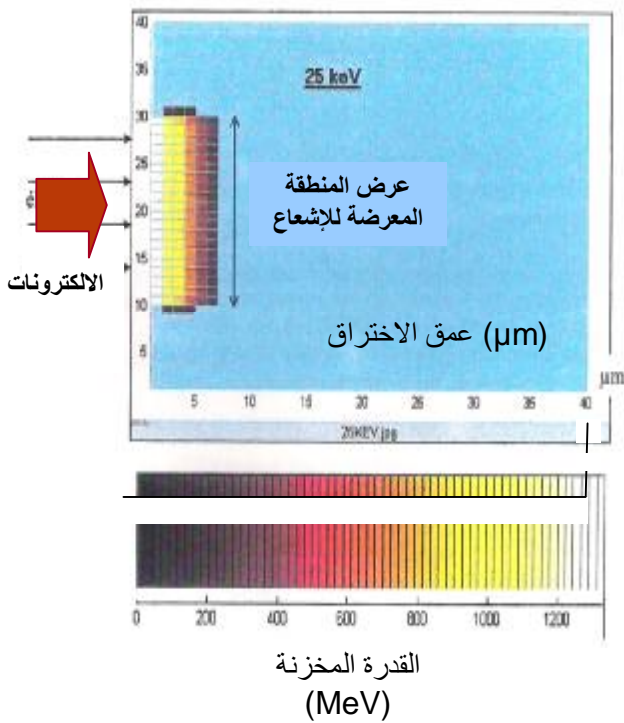
الشكل (9) منحنيات تساوي القدرة من أجل حزمة الكترونية 15 KeV

الشكل (7) منحنيات تساوي الطاقة من أجل حزمة الكترونية 10 KeV

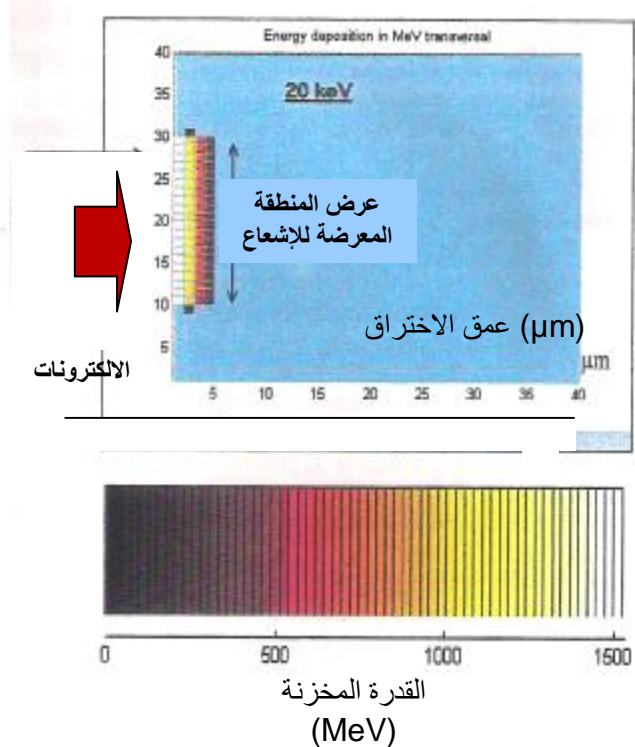


الشكل (11) منحنيات تساوي الطاقة من أجل حزمة الكترونية 20 KeV

وسنعرض الآن في الأشكال التالية النتائج من أجل قيم أخرى لقدرة الالكترونات وخصوصاً الطاقات 20 KeV و 25 KeV التي يمكن الإفادة منها بشكل كبير في تصنيع البنى الضوئية، مثل: أدلة الموجة المستوية البصرية، وأدلة موجة ميكروية بصرية والدارات غير الفعالة الأخرى، وذلك بواسطة الزراعة الالكترونية المباشرة في المادة العازلة كهربائياً وخصوصاً أنه لا حاجة للدخول في تعقيدات استخدام القناع الذي كان مفروضاً عندما نريد استخدام الحزم الأيونية، أما النتائج من أجل الالكترونات ذات القدرة التي هي أقل من 10 KeV فلم نعرضها لعدم إمكانية الإفادة منها في مجال أطوال الموجات الضوئية؛ وذلك لأن العمق الذي تجتازه الالكترونات في المادة العازلة كهربائياً لا يمكن أن يحقق الشرط الأساسي والأولي لضمان التوجيه الضوئي ضمن هذه المنطقة التي تعرضت للحزمة الإشعاعية .



الشكل (12) منظر تخزين الطاقة في عمق المادة من أجل الكترونات بقدرة 25KeV



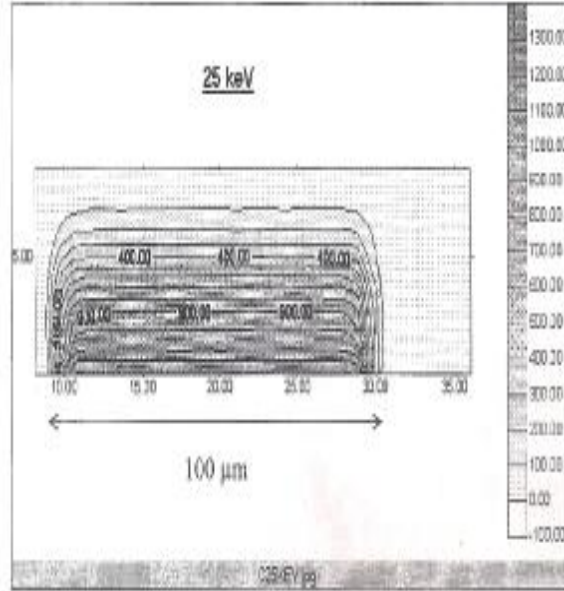
الشكل (10) منظر تخزين الطاقة في عمق المادة من أجل الكترونات بقدرة 20 KeV

هذه الدراسة ستُجرى بالاعتماد على برنامج الحساب Finite MODULEF المستند إلى بيئة العناصر المحدودة (FEM) Element Method [24-26]؛ وذلك انطلاقاً من برنامج الفرعي EMXD. هذه الطريقة تسمح لنا بتنفيذ التحليل الكهرومغناطيسي في المستوي الترددي (التردد الطيني، وتوزع الحقل الكهرومغناطيسي، والسماحية الفعالة، وثابت الانتشار،...) وذلك لبنية مكونة من العديد من الأوساط العازلة كهربائياً، متجانسة، خطية. علماً أن هذه البنية يجب أن تكون محددة بواسطة جدران كهربائية Electric Walls CCE أو جدران مغناطيسية Magnetic CCM Walls.

إن استخدام هذه الطريقة يبدأ بإدخال البنية هندسياً (أبعاد البنية) وتشكيل ما يعرف بالشبكة العنكبوتية للبنية؛ وذلك بتقسيم البنية تحت شكل مثلثات في حالة الدراسة ببعدين، أما لو كانت الدراسة بثلاثة أبعاد فإن التقسيم يكون على شكل مجسمات. مع الملاحظة أنه في المنطقة المتوقع انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية يجب أن يزيد عدد نقاط التقطيع (في حالتنا منطقة التوجيه)، لأن ذلك يضمن الحصول على نتائج دقيقة، ولكن بالمقابل فإن الزمن اللازم للحساب سيكون كبيراً نسبياً. بعد ذلك تُكتب شيفرتان خاصتان بهذه البنية:

- الأولى هي عبارة عن برنامج تهيئة للحساب، ويتضمن إدخال الثوابت الفيزيائية للبنية المدروسة التي أُدخلت هندسياً تحت اسم معين.
- الثانية هي عبارة عن برنامج الحساب الذي من خلاله يمكن تحديد مختلف الأمواج المنتشرة في هذه البنية حتى التي تسمى بالأمواج الطفيلية غير المفيدة؛ وذلك كتاباً للبارامترات الهندسية والفيزيائية للبنية.

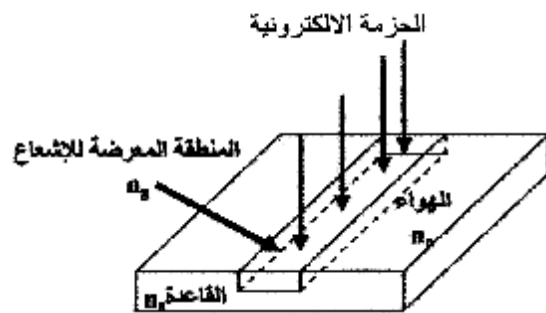
ولمّا كانت البنية تكون محددة بجدران كهربائية أو مغناطيسية، فإن جوهر المسألة يكون بحساب الأمواج



الشكل (13) منحنيات تساوي الطاقة من أجل حزمة الكترونية 25 KeV

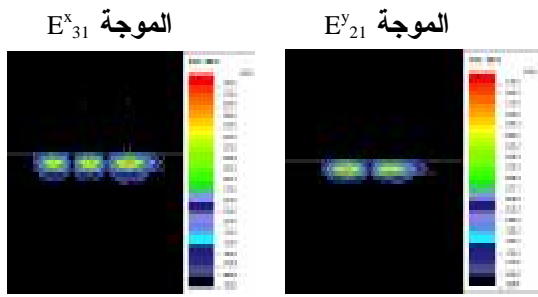
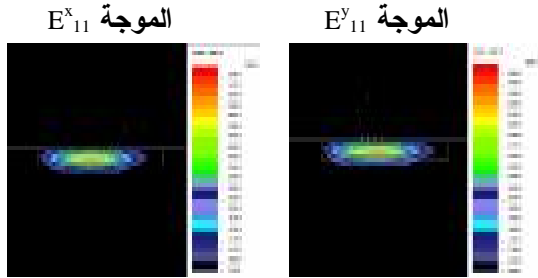
5- دراسة كهرومغناطيسية لبنية ممكن تنفيذها بتقنية الحفر المباشر

إن الهدف الأساسي من هذه الخطوة هو التحقق من إمكانية الحصول على توجيه كهرومغناطيسي ضمن البنية الناتجة عن عملية الحفر المباشر بواسطة الحزمة الالكترونية ضمن المادة العضوية؛ لذلك في هذه المرحلة سنقوم بإجراء دراسة كهرومغناطيسية لبنية مكونة من ثلاثة أوساط عازلة كهربائياً: القاعدة CR39 ذات قرينة انكسار n_g التي تُصنع فيها منطقة التوجيه الضوئي n_g على شكل مجرى أو قناة بأبعاد من مرتبة الميكرومتر ومن الأعلى طبقة الهواء n_0 كما هو موضح بالشكل (14)



الشكل (14) البنية المراد دراستها كهرومغناطيسياً

أما الشكل 15 فيظهر توزيعاً لكثافة الحقول الكهرطيسية في المستوي المعترض للانتشار لهذه الأمواج الذي من خلاله نحدد مرتبة الموجة.



الشكل (15) توزع كثافة الحقول الكهرطيسية في المستوي المعترض للانتشار لبعض الأمواج المنتشرة E_{lm}^x و E_{lm}^y

1-5- النتائج من أجل طاقة الكترونات 10 KeV

كما في الحالة السابقة قمنا بعملية النمذجة لبنية لها المواصفات الآتية: - عمق منطقة التوجيه $2 \mu m$ المطابقة لطاقة الكترونات 10 KeV

- عرض منطقة التوجيه: $l = 2 \mu m$

- قرينة انكسار Refractive Index منطقة القاعدة: $n_s \approx 1,490$

- قرينة انكسار منطقة التوجيه: $n_g = 1,51$

التردد هو بجوار 500000 GHz

من أجل هذه البنية استُخدمت 1183 نقطة و 2316 عنصر، ومن ثمّ 2316 مثلث، وبعد ذلك وكما فعلنا سابقاً حُدّدت الأمواج الكهرطيسية المنتشرة في هذه البنية، سنعرض في الشكل 16 توزيعاً لكثافة الحقول الكهرطيسية في المستوي المعترض للانتشار؛ وذلك للموجة E_{11}^y .

الكهرطيسية بكل ما يتعلق بها في هذه البنية التي يمكن أن تحتوي على العديد من الأوساط بمساحيات مختلفة وبنفوذية مغناطيسية متماثلة.

1-5- النتائج من أجل طاقة الكترونات 15 KeV

قمنا هنا بعملية نمذجة لبنية لها المواصفات الآتية: - عمق منطقة التوجيه $4 \mu m$ المطابقة لطاقة الكترونات 15 KeV

- عرض منطقة التوجيه: $l = 10 \mu m$

- قرينة انكسار Refractive Index منطقة القاعدة: $n_s \approx 1,490$

- قرينة انكسار منطقة التوجيه: $n_g = 1,51$

- التردد هو بجوار 500000 GHz

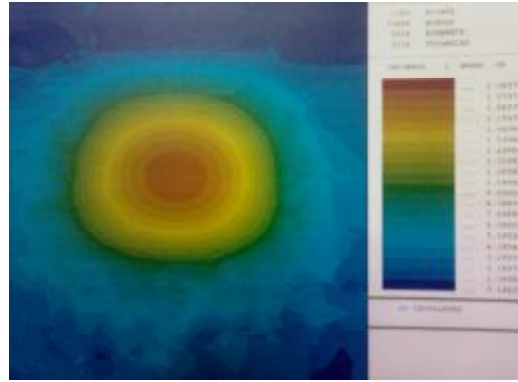
من أجل هذه البنية استُخدمت 712 نقطة و 1381 عنصر ومن ثمّ 1381 مثلث، وبعد ذلك أُجريت الحساب الذي من خلاله حُدّدت الأمواج الكهرطيسية المنتشرة في هذه البنية بعد كتابة الشيفرتين المناسبين لها.

الجدول 2 يظهر بعضاً من الأمواج المنتشرة مع بارامترات المطابقة (المركبات الكهرطيسية المعترضة، السماحية الفعالة $\epsilon_{eff} = n_{eff}^2$)

الجدول (2) النتائج للأمواج المنتشرة E_{lm}^x و E_{lm}^y

الموجة	Ex Hx (microJ/m)	Ey Hy (micro J/m)	$\epsilon_{eff} = n_e^2$
E_{11}^x	$0,477 \times 10^0$ $0,914 \times 10^{-2}$	$0,905 \times 10^{-2}$ $0,476 \times 10^0$	2,27394
E_{11}^y	$0,701 \times 10^{-2}$ $0,481 \times 10^0$	$0,480 \times 10^0$ $0,699 \times 10^{-2}$	2,27387
E_{21}^x	$0,477 \times 10^0$ $0,142 \times 10^{-1}$	$0,141 \times 10^{-1}$ $0,476 \times 10^0$	2,27371
E_{21}^y	$0,167 \times 10^{-1}$ $0,474 \times 10^0$	$0,472 \times 10^0$ $0,166 \times 10^{-1}$	2,27369
E_{31}^y	$0,243 \times 10^{-3}$ $0,492 \times 10^0$	$0,491 \times 10^0$ $0,243 \times 10^{-3}$	2,27310
E_{31}^x	$0,490 \times 10^0$ $0,106 \times 10^{-2}$	$0,105 \times 10^{-2}$ $0,489 \times 10^0$	2,27308

الميكرومتر والمطابقة لحزم الكترونية منخفضة الطاقة نسبياً. من ناحية ثانية إن عدم اهتمامنا بالبني المطابقة للحزم الالكترونية التي طاقتها أقل من 10 KeV ناتج عن أن العمق لا يحقق مبدأ التوجيه الضوئي. في الختام يمكننا القول وبكل وضوح: يمكننا الحصول على بني قادرة أن تحقق التوجيه الضوئي من ناحية قرينة انكسار وسماكة المنطقة المعرضة للإشعاع، ومن ثمّ يمكننا تنفيذ عناصر ودارات متكاملة صوتية، وخصوصاً دون استخدام القناع الواجب استخدامه مع الحزمة الأيونية، وهذا بدوره ما يسمح بتخفيض عرض المنطقة لقيم صغيرة جداً لا يمكن مقارنتها بالطريقة السابقة.



الشكل (16) توزيع كثافة الحقول الكهرطيسية في المستوي المعرض للانتشار للموجة E_{11}^y

6 - مناقشة النتائج وتحليلها:

من خلال القسم الأول لهذه الدراسة، تمكنا من الوصول إلى معرفة توزيع الطاقة الداخلة في المادة العازلة كهربائياً، وهذا ما يقودنا لمعرفة عمق المنطقة المعرضة للإشعاع، ومن ثمّ العلاقة بين التغير البنيوي للمادة تبعاً لتغير طاقة الإلكترون.

من خلال ذلك تبين أن عمق عبور الالكترونات يكون متعلقاً بشكل مباشر بطاقة الحزمة الالكترونية، فكلما زدنا طاقة الحزمة فإنّ عمق الدخول داخل المادة سوف يزداد. ومن ناحية ثانية فإنّ اختراق الحزمة الالكترونية للمادة العضوية سيؤدي، كما نعرف، إلى تكسير الروابط العضوية للمادة في المنطقة المعرضة للإشعاع، ومن ثمّ ستزداد قرينة انكسار هذه المنطقة بمقدار $\Delta n = n_g - n_s$ (قرينة انكسار المادة دون تعرض للإشعاع). تتعلّق هذه الزيادة بشكل مباشر بعدة عوامل وهي: - طبيعة المادة العضوية المستخدمة - وطاقة الحزمة الالكترونية - وشدة الالكترونات وهي مقدرة بـ e/Cm^2 - ومدة الإشعاع من خلال القسم الثاني لهذه الدراسة جرى التحقق وبشكل واضح من إمكانية الحصول على توجيه كهرطيسي ضوئي ضمن منطقة ذات أبعاد صغيرة جداً من مرتبة

- المراجع:**
- Instrum. Method, 215: 169-174.
 17. Binsangou, V., 1998- 19th International Conference on Nuclear Track in Solide, Besançon
 18. Taupiac, D. C., 1993- These n°1617 Toulouse, France
 19. International Commission on Radiation Units and Measurements, Puplication n°37, (1987).
 20. Binsangou, V., 1999- JNOG99, Paris, pp165-167
 21. Trebbia, P. 1981- Microanalyse par spectroscopie des pertes d'énergie. Microscopie élelctronique en sciences des matériaux. Ecole d'état du CNRS, Bombannes.
 22. Pages, L., Bertel, E., Joffer H., Sklavenitis, L. 1970 Pert d'énergie, parcours et rendement de freinage pour les électrons de 10 KeV à 100 MeV dans les éléments simples et quelques composés chimiques. Rapp.CEA-R3942.
 23. Malek, M. A., Renreng, A. and Chong, C.S., 2001 Mechanistic model for bond scission in polymeric system by radiation, Radiat. Phys. & Chem. , 60: 603-608.
 24. SCHILDERS, W.H.A, TER MATEN, E.J.W., 2005- Special Volume: Numerical Methods in Electromagnetics , London, UK.
 25. MATTHEW, N.O., 2000 - Numerical Techniques In Electromagnetics. ISBN, Second Edition-New York, 750p
 26. MATTHEW, N.O., 2001- Elements Of Electromagnetic, ISBN, Third Edition-New York, 765p.
 1. Hranilovic S., 2005- Wirelessoptical communication systems. Hamilton, Ontario, Canada, 210p.
 2. Okamoto K., 2006- Fundamentals of optical waveguides, Second edition, California 92101-4495, USA, 578p.
 3. Toffano, Z., 2001- Composants photoniques et Fibres optiques. ISBN, France, 318p.
 4. Bennamane, B., Marcou, J., 1993- Proceeding Micro-Optics, Hambourg, ECO 1, 1014, 132.
 5. Stejny, J., Bennamane, B., Gagnadre, C. 1994 Applied Optics, Vol 33, n°16, p.3338 –3341
 6. Cassou, R.M., Benton, E.V. 1987- Nucl. Track Detection, vol. 2, 173p
 7. Kumar, S. Chander, S., Yadov, J.S, and Sharma, A.P., 1996- Some environmental effect studies on CR-39 polymer, Nucl. Tracks Radiat. Meas., 12:129-135.
 8. Malek, M. A. and Chong, C.S., 2002 CO2 diffusion from X-ray and γ -ray irradiated CR-39 plastic, Nucl. Tracks Radiat. Measur., 35 : 203-207.
 9. Gressus, C. 1985- Microscope Electronique à Balayage. Techniques de l'Ingénieur. P1, pp. 865p (1-18)
 10. Ducourtieux, P. 2003- Diplôme d'Ingénieur en Informatique, CNAM, France
 11. Isabey, R., Duverger, E., Decossas, J.L. and Varielle, J.C. 1999- Theoretical and experimental study of the CR-39 behavior under electron beam, Nucl. Tracks Radiat. Measur., 31: 85-90
 12. Cowie, J.M.G. 1997- Polymers : Chemistry and Physics of Modern Materials (2nd Edition) Ed. Blakie, London, 446p.
 13. Hemmerich, K.J., 2000 Polymer materials selection for radiation sterilization products, Medical - Devices & Diagnostic Industry Magazine, 5: 20-31.
 14. Sadaka, S., Teyssier, J.L. 1986- Radiation Protection Dosimetry, 16, 4, 281,
 15. Saad, A.F., Atwa, S.T., Yasuda, N. and Fujii, M. 2001- FT-IR spectroscopy of carbon dioxide in CR-39 and SR-90 track detectors irradiated with ions and gamma- rays at different energies and fluencies, Nucl. Tracks Radiat. Meas., 34: 51-54.
 16. Singh, S. and Prasher, S., 2004 UV- VIS spectroscopic and etching studies of IR exposed CR-39 plastic track detector , Nucl.