

## تحضير ودراسة نصف ناقل نوع n من الغرافين

عدي الابراهيم\*، محمد أنور بطل\*\*، غسان ناشد\*\*\*

\* طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب

\*\*أستاذ، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب.

\*\*\*أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب.

### الملخص

حضرت عينات من الغرافين بالطريقة الميكانيكية ثم تمت اشابتها بالنتروجين للحصول على نصف ناقل من النوع n. تمت دراسة الخصائص الكهربائية والبنوية والضوئية للغرافين الناتج بعد الاشابة. تم التحقق خلال طيف انعراج الاشعة السينية دخول النتروجين ضمن شبكة الغرافين الثنائية خلال القمتين  $2\theta = 45.8^\circ$  و  $2\theta = 28.32^\circ$  وتبين أن الغرافين الناتج ذو أربع طبقات ذرية. كما بينت قياسات التيار المستمر ان الغرافين الناتج هو نصف ناقل من نوع n وأن له طاقة تنشيط تساوي 0.2417eV وهو ما يُنسب لتوضع جزيئات شائبة N ضمن حلقة الغرافين بالنمط المدعو Graphitic N. يتكون طيف الممانعة العقدية من منطقتين الأولى خطية والثانية ربع دائرية وان الدارة المكافئة للمادة المحضرة تحوي عنصر Warburg. كما بيّن طيف الامتصاصية الضوئية UV-V للغرافين وجود قمة امتصاص عند الطول الموجي 450nm.

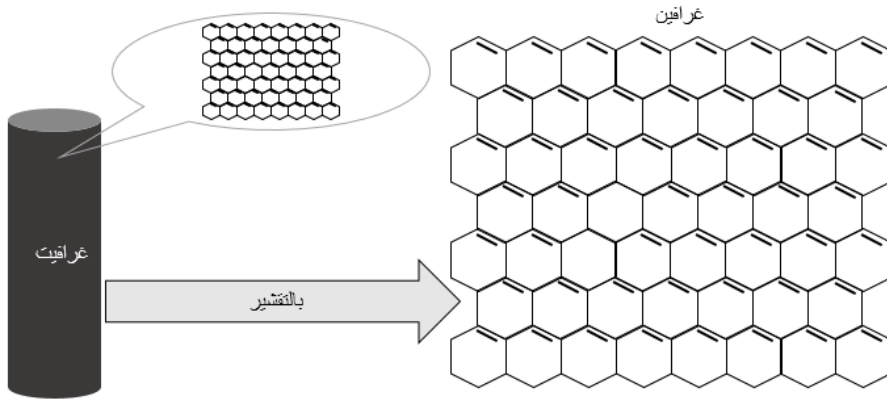
الكلمات المفتاحية: غرافين نوع n، تقشير ميكانيكي، نتروجين

ورد البحث للمجلة بتاريخ 2022/9/29

قُبِلَ للنشر بتاريخ 2022/11/15

## 1-مقدمة:

تعد الحاجة المستمرة لأنصاف نواقل رخيصة وامنة للبيئة من اهم توجهات البحث العالمي. يقدم هذا البحث اشابة للغرافين بالنتروجين المحضر بالتقشير الميكانيكي والمشاب بالنتروجين وذلك بمعالجة الغرافين مع الامونيا حرارياً. تحتوي البنى الناتجة على زمرة نتروجين برابطة ثلاثية مع حلقة الكربون وهو ما يزيد من عدد حوامل الشحنات السالبة للحصول على نصف ناقل من النوع n. الشكل (1):



الشكل (1): الحصول على الغرافين من شكل الكربون المتأصل الغرافيت

تم تحضير الغرافين من قرص غرافيت عالي النقاوة عن طريق التقشير الميكانيكي. تتميز عملية التقشير الميكانيكي بفعاليتها العالية حيث ان الغرافين الناتج هو غرافين ذو عدد منخفض من الطبقات. تتطلب عملية التقشير الميكانيكي غرافيت عالي الجودة HOPG (Highly Ordered Pyrolytic Graphite) وهو عبارة عن غرافيت مصنع بطريقة خاصة لتوحيد التوجه البلوري له وذلك عن طريق تطبيق عزم شد في اتجاه ثابت طوال عملية التصنيع ما ينتج غرافيت ذو توجه عالي (بانحراف في التوجه لا يزيد عن درجة واحدة) ان الفكرة العامة لهذه الطريقة هو تقشير الغرافين الى طبقات من سطح الـ HOPG ذو التوجه المنتظم لنحصل على طبقات متماثلة من الغرافين. [1]

## 2-أهمية البحث وأهدافه:

1. تحضير مادة نصف ناقلة رخيصة الثمن من الغرافين وذات مميزات الكترونية عالية
2. يهدف هذا البحث الى توصيف الخصائص البنوية والكهربائية والضوئية لغرافين نصف ناقل من النوع  $n$  محضر بالطريقة الميكانيكية والمشوب بالننتروجين.

## 3-الدراسة التجريبية:

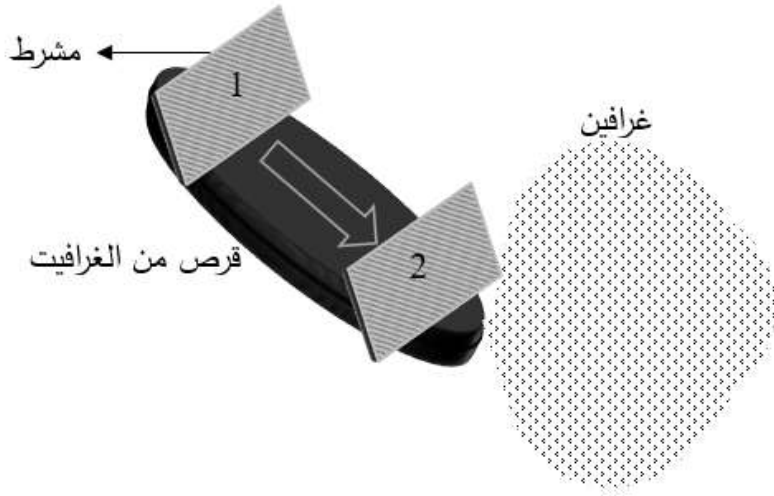
### 1-3 الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- 1- منبع تغذية مستمر DC (0-25) V.
- 2- ميزان إلكتروني حساس من نوع AA-200.
- 3- خلط مغناطيسي.
- 4- مطياف UV-VIS من شركة SCINCO رقم S-3100.
- 5- جهاز مطيافية الأشعة السينية XRD من شركة Ley-bold Didactic رقم 554-81.
- 6- فرن تجفيف من شركة CARBOLITE رقم CWF 1200.
- 7- مطياف محلل الريح بالطور من شركة Schlumberger Corporation (SI1253).

### 3-2 تحضير الغرافين نصف الناقل من النوع $n$ :

أولاً تم تحضير الغرافين احادي الطبقة عن طريق تقشير الغرافين من قرص غرافيت عالي الجودة الشكل (2):تقشير الغرافين من قرص من الغرافيت عالي الجودة. تتم عملية التقشير ضمن وسط مغلق (كيس بلاستيكي سميك) وذلك لان الغرافين خفيف الوزن ويتطاير بسهولة شديدة. تتطلب عملية التقشير الميكانيكي شفرات حادة وزاوية احتكاك بين الشفرات والقرص صغيرة[2]. تتطلب عملية التقشير وقتاً طويلاً للحصول على غرافين عالي الجودة ووحيد الطبقة. بعد نهاية التقشير يوضع الغرافين في ماء مقطر ليتم فصل النواتج إلى ثلاثة أصناف وهي الغرافين متعدد الطبقات والغرافين ذو

بضع طبقات والغرافين احادي الطبقة كما يوضح الشكل (3): فصل الغرافين بحسب عدد الطبقات تتم عملية الفصل باستخدام التنقيط عن طريق جهاز الطرد المركزي ويتم فصل الغرافين المعلق لمجموعات بحسب كثافة الوريقات حيث ان أفضل هذه المجموعات هو الذي يبقى معلق ضمن المحلول [3]. بعد فصل أنواع الغرافين وتجفيفها. يتم اشابة الغرافين بالنيتروجين بإضافة محلول الامونيا بتركيز 0.1 mol/L مع تسخين العينات ضمن فرن لمدة أربع ساعات.

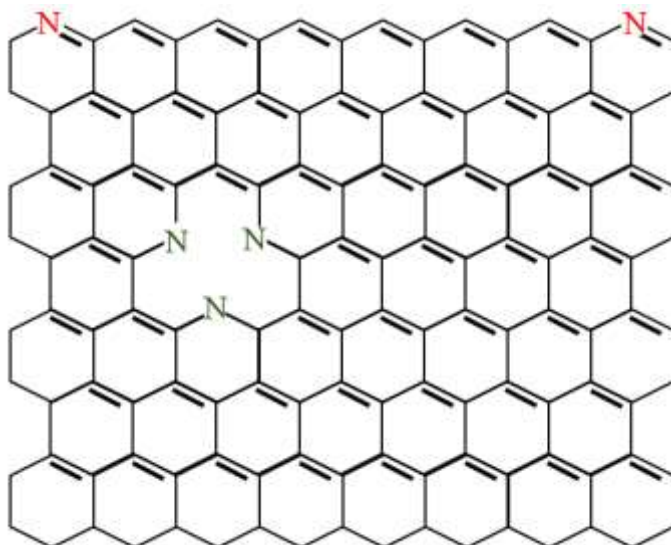


الشكل (2): تقشير الغرافين من قرص من الغرافيت عالي الجودة



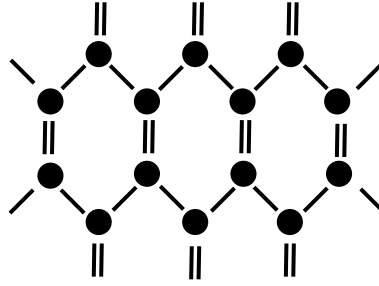
الشكل (3): فصل الغرافين بحسب عدد الطبقات

أن خصائص عملية اشابة الجرافين بالنتروجين لا تزال عملية تشكيلها المحتملة غير واضحة لأن ذرة الهيدروجين القادمة من الامونيا ذات خصائص كيميائية مميزة تدخل ضمن شبكة الجرافين وتعديل من سلوكها مع الكربون لا يمكن التنبؤ بها حيث يمكن ان تدخل ضمن حلقة الكربون في ثلاثة احتمالات مختلفة ولكل منها خصائص مختلفة [4]. يطرح هذا البحث آلية تشكيل جيدة للجرافين-N في الجرافين المعالج حرارياً بالأمونيا. يبين الشكل (4): البنى المحتملة في الجرافين المشاب بالنتروجين عند دخولها في شبكة الجرافين.



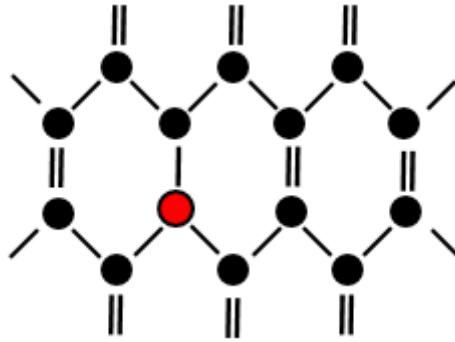
الشكل (4): البنى المحتملة في الجرافين المشاب بالنتروجين

لفهم عملية دخول النتروجين ضمن شبكة الجرافين يجب علينا اولاً فهم الروابط الخاصة بالجرافين، حيث ان الجرافين يتشكل من ارتباط ست ذرات كربون بروابط أحادية وثنائية ونظراً لاختلاف طاقة هذه الروابط فان الجرافين يبدي خصائص الكترونية وكيميائية خاصة وفريدة. يوضح الشكل (5) :طبقة جرافين واحدة طبقة واحدة من الجرافين في حالته النقية ولكن اثناء عملية التقشير تحدث بعض العيوب ضمن الشبكة ويمكن ان تنكسر الروابط الداخلية ضمن شبكات الجرافين وهذه العيوب الداخلية يزداد احتمالها مع زيادة طول ورقة الجرافين الواحدة [1].



الشكل (5): طبقة غرافين واحدة

لادخال ذرة النتروجين ضمن شبكة الغرافين بطريقة مناسبة بغية استخدامه إلكترونياً يجب خلق عيوب مناسبة ضمن الشبكة والتقسير الميكانيكي يوفر عيوب بنيوية داخلية بسبب انحناء ورقة الغرافين اثناء التقشير ما يحول بعض البنى الداخلية للغرافين سداسي البنية الى بنية خماسية اقل تماسكاً ويمكن كسرها بالحرارة [5] وهنا يكمن جوهر هذا البحث عن طريق تحطيم الرابطة الضعيفة المتشكلة في الحلقات الخماسية (العيوب) لتشكيل رابطة غير متجانسة مع النتروجين. يوضح الشكل (6): دخول الشائبة في طبقة من الغرافين): دخول ذرة النتروجين في شبكة الغرافين بعد المعالجة الحرارية.



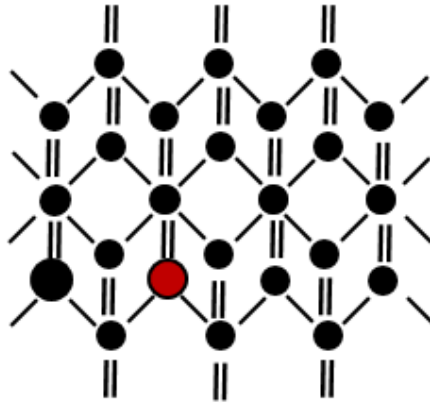
الشكل (6): دخول الشائبة في طبقة من الغرافين

#### 4-القياسات والمناقشة:

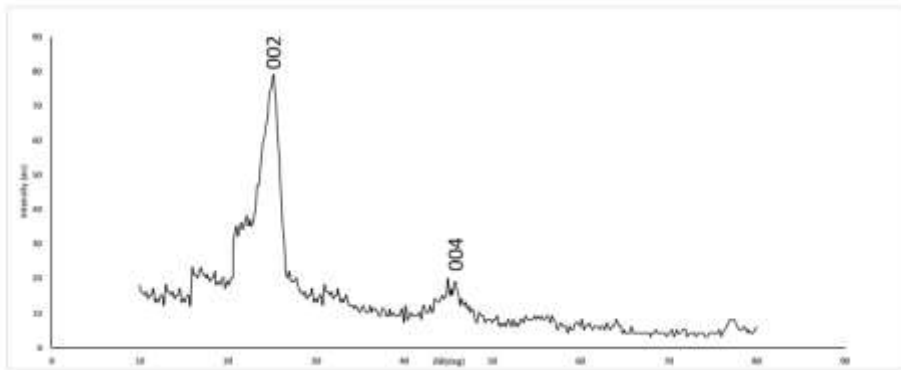
##### 4-1 الدراسة البنيوية:

قام الباحثون R. Siburian و D. R. Sari وآخرون بدراسة خصائص الغرافين والغرافيت وأوضحت قياساتهم التجريبية لطيف انعراج الأشعة السينية ظهور

قمة واضحة للغرافيت والغرافين عند الزوايا  $2\theta = 23.98^\circ$  ,  $2\theta = 26.369^\circ$  على الترتيب  $d = 3.3772 \text{ \AA}$ ,  $d = 3.707 \text{ \AA}$  [6] حيث يمثل البعد بين طبقات الغرافين. يوضح الشكل (7): توضع طبقات الغرافين ع وجود شائبة النتروجين ويعرض الشكل (8): طيف انعراج الاشعة السينية للغرافين المشاب حيث يظهر الطيف تعريض في القمة (002) C من أجل الزاوية ( $2\theta = 25.2^\circ$ ) والذي يمكن تفسيره بوجود الغرافين ضمن طبقات متعددة مختلفة ضمن نفس العينة وهذه الطبقات متقاربة من حيث  $C \equiv C$  [7]. وأيضاً يوضح الطيف ظهور قمة مميزة للغرافين عند الزاوية ( $2\theta = 46.2^\circ$ )



الشكل (7): توضع طبقات الغرافين ع وجود شائبة



الشكل (8): طيف انعراج الاشعة السينية للغرافين المشاب

بإجراء الحسابات من أجل الاتجاه (002) يمكن تعيين المسافة بين المستويات البلورية وفق الاتجاهات المطلوبة باستخدام علاقة Bragg (1) [8]:

$$d_{hkl} = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \quad (1)$$

حيث:  $d_{hkl}$  المسافة بين المستويات البلورية المتوازية وفق الاتجاه  $hkl$ ،  $\theta$  زاوية الانعراج،  $n$  رتبة الانعراج،  $\lambda$  طول موجة الأشعة السينية. تعطي جملة المعادلات (1) و (2) [8] العلاقة بين ثوابت وحدة الخلية والمسافة بين المستويات البلورية المتوازية.

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2)$$

بالاعتماد على العلاقات (1)(2) والتي تم استخدامها لان بنية الغرافين بنية منتظمة تم حساب ثوابت وحدة الخلية وحجم الخلية كما موضح في الجدول (1).

| الجدول (1): حساب ثوابت الشبكة البلورية |          |                       |          |
|----------------------------------------|----------|-----------------------|----------|
| (002)                                  |          | (004)                 |          |
| $2\theta$                              | 25.2     | $2\theta$             | 46.2     |
| $d_{(002)} (A^\circ)$                  | 7.036096 | $d_{(004)} (A^\circ)$ | 7.431194 |
| $a = b (A^\circ)$                      | 1.7575   | $a = b (A^\circ)$     | 1.8575   |

تم حساب كثافة والانخلاعات و الانفعال للشبكة البلورية للعينة المحضرة وفق العلاقات التالية [9]:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 * \tan(\theta)} \quad (3)$$

$$\delta = \frac{Q}{D^2} \quad (4)$$

حيث:  $Q$  هو ثابت يساوي الواحد وذلك لجعل قيمة كثافة الإنخلاعات أخفض ما يمكن للتقليل من عيوب العينات المحضرة لتكون العينة متجانسة ولجعل كمية الأشعة الممتصة أكبر.  $\beta$  تمثل عرض منتصف الشدة لقمة الانعراج في طيف الأشعة السينية  $D$  تمثل مقياس التبلور. يبين الجدول (2) حسابات حجم مقياس التبلور وكثافة الانخلاعات الشبكي البلوري والانفعال الحاصل للشبكة البلورية للعينة المحضرة.

| الجدول (2): استخدام طريقة Debye-Scherrer لحساب مقياس التبلور وانفعالات الشبكة وكثافة الانخلاعات |                     |          |                                                     |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
| $\theta$ (deg)                                                                                  | $\beta_{hkl}$ (Rad) | D (nm)   | $\varepsilon \cdot m^{-4}$<br>(Line <sup>-2</sup> ) | $\delta$ (Line . m <sup>-2</sup> ) |
| 24.5                                                                                            | 0.037343            | 2.238741 | 0.03321                                             | $1.52892 * 10^{16}$                |

قامت الباحثة A. N. Popova [3] بقياس ابعاد البيئة البلورية للغرافيت عن طريق تحديد العامل  $L_c$  باستخدام هذا العامل يمكن تحديد عدد الطبقات في بنية الغرافيت وذلك بأخذ النسبة  $L_c$  الذي يمثل ارتفاع حزمة الطبقات المتراسة ضمن البنية الى  $d$  البعد بين المستويات الذرية [7]. كما توضح العلاقات التالية:

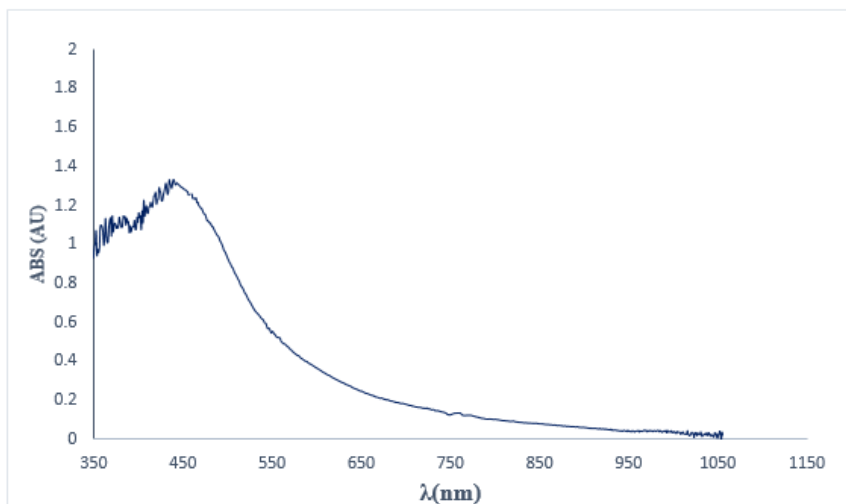
$$L_c = \frac{0.9 * \lambda}{\beta \cdot \cos(\theta)} \quad (5)$$

$$N = \frac{L_c}{d(004)} + 1 \quad (6)$$

بتطبيق العلاقات (5)، (6) أمكن حساب  $L_c$  وتبين انه يساوي  $9.4684 (A^\circ)$  وأن عدد طبقات الغرافين في العينات المحضرة تساوي 2.354 طبقة وهو ما يدل على أن التقشير أعطى غرافين ذو خصائص بنيوية نانوية.

### 3-1- طيف الامتصاص UV-VIS :

بدراسة طيف الامتصاصية بدلالة طول الموجة للعينات المحضرة بعد دخول شائبة النتروجين ضمن شبكة الغرافين نجد ان طيف الامتصاصية يبدي قمة امتصاص عند الطول الموجي  $\lambda_{max}=450nm$  وهي ناتجة عن توضع ذرات النتروجين.



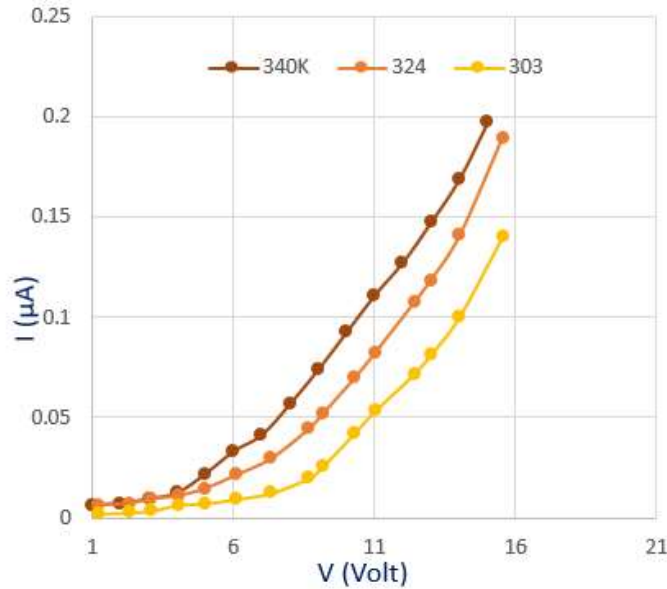
الشكل (9): يوضح طيف الامتصاص UV للغرافين GN بوجود شائبة النتروجين

من دراسة طيف الامتصاص ضمن المجال (350-1150) الشكل (9): يوضح طيف الامتصاص UV للغرافين GN بوجود شائبة النتروجين يتضح ظهور قمة عند 450nm ما يعني وجود الانتقال  $\pi \rightarrow \pi^*$  وظهور قمة الامتصاص هذه يعني ان ذرات النتروجين تدخل ضمن حلقة الغرافين ونسبة هذه الجزيئات تتزايد مع ازدياد تركيز المحلول المستخدم في عملية التحضير [10]. ويجدر التوضيح الى ان القمة الظاهرة عند بداية الطيف هي لمادة العبوة التي وضعت العينات ضمنها خلال القياس.

### 4-3 الدراسة الكهربائية:

#### 4-1- تحديد ابعاد الناقلة

تم دراسة المميّزة (I-V) للعينات المحضرة عند درجات (303K, 324K, 340K) وبدراسة المميّزة بيانياً كما في الشكل (5) اتضح أن العلاقة بين الكمون والتيار علاقة غير خطية متزايدة مع الحرارة نلاحظ من الشكل (10) ان شدة التيار يزداد بشكل أسي مع ارتفاع فرق الجهد وهذا عائد لحاملات الشحنة الحرة نتيجة اثارها كهربائياً.



الشكل (10) المميّزة I-V من اجل درجات حرارة °k (303, 324, 340)

للتعمق أكثر في فهم آلية النقل الداخلية في العينات المحضرة لآبد من تحديد ارتفاع حاجز الكمون وذلك من العلاقة (7) :

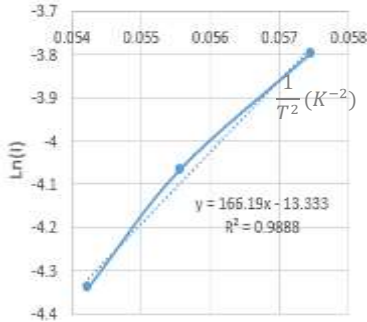
$$I = I_0 \cdot e^{\frac{-e\psi}{kT}} \quad (7)$$

برسم العلاقة بين لوغاريتم التيار ومقلوب درجة الحرارة عند جهد ثابت (14 V) كما في الشكل (11-a) يمكننا ملاحظة ان شدة التيار تزداد مع ازدياد الحرارة ما يدل على تولد لشحنات جديدة وزيادة حركية الشحنات الذاتية في نصف الناقل المحضر. باستخدام العلاقة (7) نجد ان قيمة حاجز الكمون هي  $\psi = 5.23 \cdot 10^{-20}$  (J). تُفسر صغر قيمة حاجز الكمون للناقلية الاصلية لشبكة الجرافين بسبب غياب الرابطة  $sp_z$  والذي إضافة لكون المسافات ضمن الشبكة قصيرة انه يمتاز بناقلية فائقة في درجات الحرارة المنخفضة [4]. يفسر هذا بكون الجرافين العادي لا يحتوي على عصابة ممنوعة بسبب تلاقي عصابة التكافؤ والناقلية بشكل غير عادي في بعض الأماكن (وهو ما يدعى بنقاط ديراك)، مما يجعل الجرافين أشبه بالمعدن. ومع ذلك، فقد حاول العلماء خلق عصابة ممنوعة من خلال تصنيع الجرافين بأشكال غريبة ، مثل الأسلاك النانوية ، وقد تم تحقيق عصابات ممنوعة تصل إلى 100 ميلي إلكترون فولت ، ولكنها تعتبر صغيرة جدًا بالنسبة للإلكترونيات. [7]

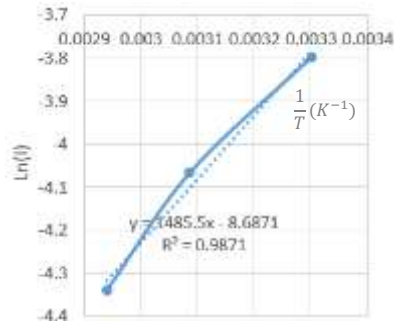
لتحديد ابعاد الناقلية رُسمت العلاقة بين لوغاريتم التيار ومقلوب درجة الحرارة بالدرجات الثانية والثالثة والرابعة كما توضح الاشكال (11-b), (11-c), (11-d). حيث تعطى الناقلية بالقفز بالعلاقة (7) [11] :

$$\ln\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right) = \alpha \ln\left(\frac{T_0}{T}\right) \quad (7)$$

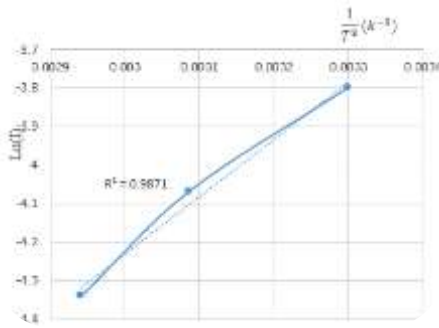
حيث تمثل  $\sigma_0$  الناقلية عند درجة لانهاية.  $T_0$  درجة الحرارة المميزة والمرتبطة بدرجة توضع التابع الموجي الالكتروني.  $\alpha = 1/(1+d)$  يحدد ابعاد الناقلية وله ثلاث قيم مسموحة فقط هي (1/2, 1/3, 1/4).



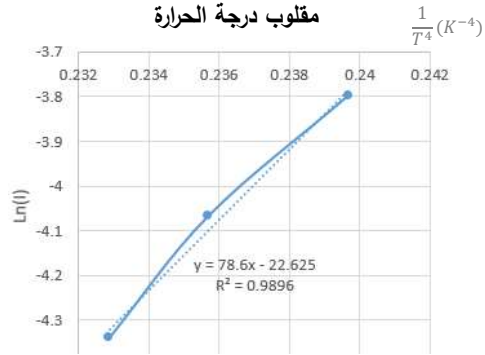
الشكل (11-b) : تغيرات لوغاريتم التيار بدلالة  
مقلوب مربع درجة الحرارة



الشكل (11-a) : تغيرات لوغاريتم التيار بدلالة  
مقلوب درجة الحرارة



الشكل (11-d) : تغيرات لوغاريتم التيار بدلالة القوة  
الثالثة لمقلوب درجة الحرارة



الشكل (11-c) : تغيرات لوغاريتم التيار بدلالة القوة  
الرابعة لمقلوب درجة الحرارة

من الاشكال (11-b), (11-c), (11-d) يمكننا ان نلاحظ تطابق الميزة المدروسة بين لوغاريتم التيار المستمر ومقلوب درجة الحرارة ذات المراتب (1/2, 1/3, 1/4) على الترتيب ان نسبة التطابق تبلغ قيم متقاربة جدا من اجل المرتبتين (1/3, 1/4) أي من اجل الناقلية الثنائية والثلاثية البعد. يفسر هذا التقارب بحدوث تكدرات موضعية ضمن العينة اثناء القياس بسبب وضع العينة في حيز ضيق وضغطها بشكل جيد بين قطبي القياس لضمان التماس الكامل لسطح القطب مع سطح العينة.

[12]

#### 4-2- تحديد طاقة التنشيط:

للتأكيد على الخصائص الالكترونية المميزة للعينة تم تحديد طاقة التنشيط وذلك بالاستفادة من أفضل تطابق في ابعاد الناقلية يمكننا حساب طاقة التنشيط من

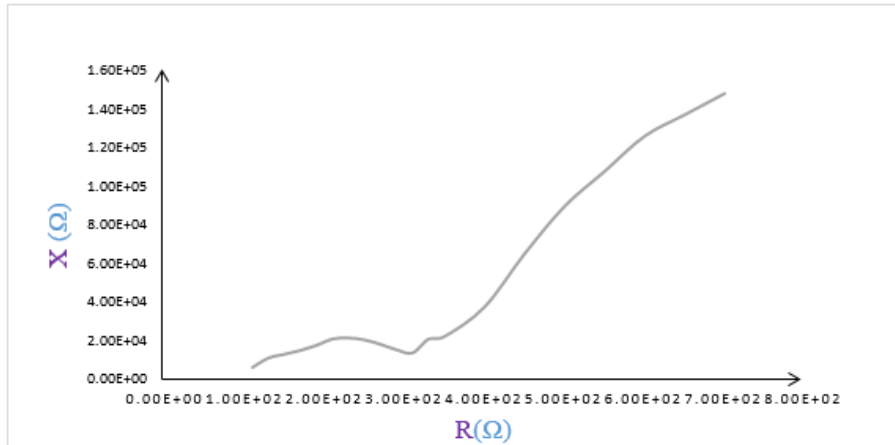
حساب ميل الخط الناتج عن أفضل تطابق في العلاقة (7) حيث تعطى قيمة الميل في العلاقة (8) :

$$E_a = \frac{\ln \sigma * K}{\left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{4}}} \quad (8)$$

بالحساب نجد أن قيمة طاقة التنشيط التي يمثل جدها بثابت بولتزمان  $K$  الميل في الشكل (6-a)) تساوي إلى  $0.2417\text{eV}$ . أن الارتفاع النسبي لطاقة التنشيط ينتج من غياب الرابطة  $SP_z$  ضمن شبكة الغرافين حيث انها تجعل الانتقالات الالكترونية أصعب بين وريقات الغرافين وهو ما ينتج ناقلية بالقفز [13].

**طيف الممانعة العقدي:**

بإجراء قياس طيف الممانعة العقدي ضمن المجال الترددي  $0.1\text{ Hz}$ -  $20\text{KHz}$ . من أجل قيم مختلفة للكمون المطبق وهي  $(2\text{v}, 4\text{v}, 6\text{v})$ . وبرسم مخطط Nyquist الذي يمثل تغيرات الجزء التخيلي للممانعة بدلالة الجزء الحقيقي يتضح ان العينة تبدي سلوك لا خطي في القسم الترددي المنخفض وسلوك ليس خطي يتمثل بنصف دائرة غير مكتملة توافق القسم الترددي المرتفع [14]



الشكل (12): مخطط Nyquist للعينات المحضرة

### - الدارة الكهربائية المكافئة:

من قراءة الشكل (12) أمكننا تحديد الدارة المكافئة الكهربائية للعينات المحضر حيث تبين انها عبارة عن مقاومة اومية  $R_e$  عن جزئين أساسيين الأول هو مقاومة اومية  $R_{ct}$  على التفرع مع مكثف  $C_{dl}$  مكثفة الطبقة المضاعفة تعطى بالعلاقة (9) وهو ناتج نصف دائرة غير مكتملة الظاهر في مخطط Nyquist اما الجزء الثاني فهو عنصر Warbrug وهو عنصر كهربائي Warburg ناتج عن الجزء الخطي من المخطط ويعزى الى حدوث عملية انتشار للشحنات ضمن بنية عند التواترات المنخفضة أي تتأقل الشحنات بين الجزيئات داخل العينة. يمكن إيجاد قيمة عنصر Warburg [15] من خلال العلاقات (10, 11, 12):

$$R_{ct} = \frac{1}{2\pi f R_{ct} C_{dl}} \quad (9)$$

$$Re(z) = R_e + R_{ct} \left(1 + \frac{\lambda}{\sqrt{2\omega}}\right) \quad (10)$$

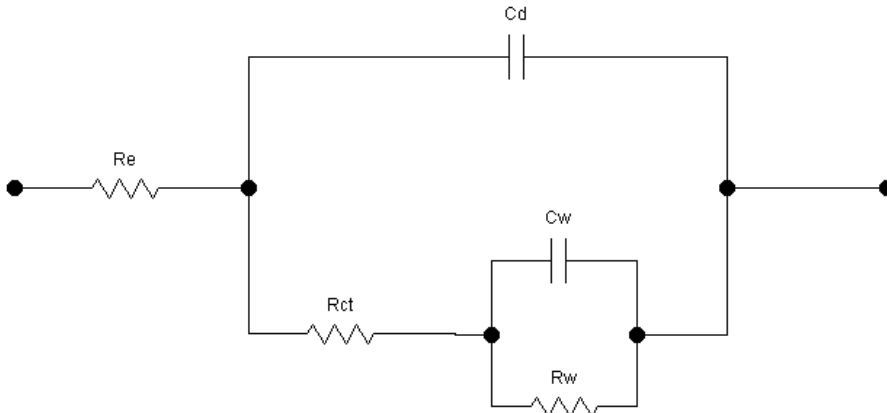
$$Im(z) = \frac{R_{ct} \lambda}{\sqrt{2\omega}} \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{K}{\sqrt{D}} \quad (12)$$

حيث  $K$  يمثل معدل التفاعل الكيميائي،  $D$  عامل الانتشار.  $R_e$  تدعى بمقاومة المحلول الكهربائي وهي تمثل مقاومة العينة عندما تم وضعها بين قطبي القياس تعتمد قيمتها على تركيز الشحنات ونوعها ودرجة الحرارة وشكل ومساحة السطح الذي يمر من خلاله التيار  $R_{ct}$  وهي ما يعرف بمقاومة الاستقطاب وتمثل قطر الدائرة ضمن الشكل (12). [15] باعتبار ان عنصر Warburg في هذه الحالة هو مكثف ومقاومة اومية متصلان فيما بينهما على التفرع. يمكننا استنتاج ان الدارة المكافئة النهائية هي باستخدام نموذج دارة Randles مضافاً اليها عنصر Warburg والذي يعطى بالعلاقة (13) وهو عبارة عن مكثفة ومقاومة موصلان على التفرع:

$$\frac{1}{Z_w} = \frac{1}{R_w} + i \frac{1}{2\pi f \cdot C_w} \quad (13)$$

حيث يمثل  $R_w$  الجزء الحقيقي من ممانعة Warburg وهو معطى بالعلاقة (10)، ويمثل  $C_w$  الجزء التخيلي من ممانعة Warburg وهو معطى بالعلاقة (11). تعطى الدارة المكافئة بالشكل (13). حيث تم رسم الدارة باستخدام برنامج رسم الدارات Electronics worksbanch. يوضح الجدول (3) القيم الحسابية للعناصر الالكترونية في الدارة المكافئة.



الشكل (13): يوضح الدارة المكافئة لطيف الممانعة العقدية

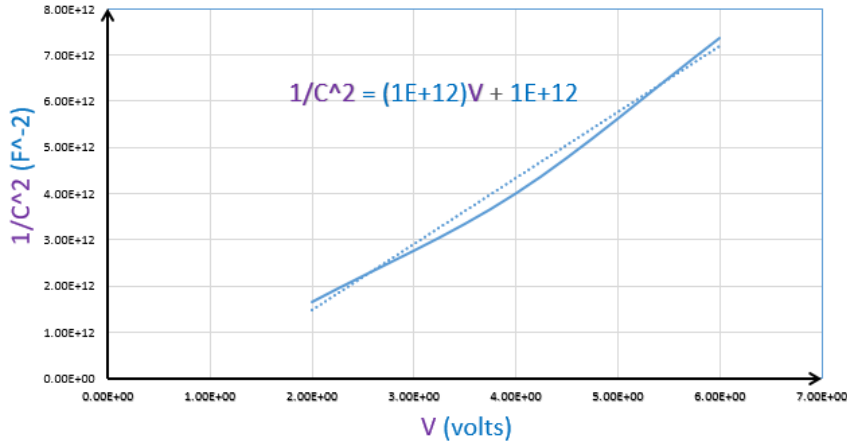
| الجدول (3) القيم الحسابية للعناصر الالكترونية للدارة المكافئة |                  |               |                      |                        |
|---------------------------------------------------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------------|
| $R_e(\Omega)$                                                 | $R_{ct}(\Omega)$ | $R_w(\Omega)$ | $C_{dl}(F)$          | $C_w(F)$               |
| 98.212                                                        | 325.8            | 112352.       | $3.67 \cdot 10^{-7}$ | $532.6 \cdot 10^{-12}$ |

- تحديد نوع نصف الناقل:

برسم العلاقة بين مقلوب مربع السعة بدلالة الجهد المطبق على العينة من أجل تردد ثابت نجد أن للميل قيمة موجبة وبالمقارنة مع علاقة موت شوتكي العلاقة (14) يمكننا استنتاج أن العينة تسلك سلوك نصف الناقل من النوع n، وفق الشكل (14)

$$C_{sc}^{-2} = \frac{2(V + V_{bi})}{(N_d - N_a)\epsilon\epsilon_0 e A^2} \quad (14)$$

حيث:  $N_d$  كثافة المانحات،  $N_a$  كثافة الاخذات،  $\epsilon$  السماحية النسبية للمادة،  $\epsilon_0$  سماحية الخلاء،  $e$  شحنة الالكترون،  $A$  مساحة السطح



الشكل (14): تغيرات مقلوب مربع السعة بدلالة الكمون المطبق

### الاستنتاجات:

- 1- استخدام التفشير الميكانيكي لتحضير الجرافين من نوع n يحمل مميزات بنيوية هامة ومنها عدد طبقات صغير نسبياً (حوالي أربع طبقات) وهو ما يؤكد أنه ذو بنية نانوية جيدة
- 2- أظهرت الدراسات الطيفية وجود أمتصاصية عالية ضمن كامل الطيف المرئي وظهر الانتقال  $\pi \rightarrow \pi^*$
- 3- بغية معرفة آلية النقل الكهربائي المسيطرة على العينات أخذت الميزة (I-V) لوحظ انه بزيادة درجة الحرارة، يزداد شدة التيار عند الجهد المطبق ذاته مما يشير الى زيادة حركية حوامل الشحن ضمن العينة المحضرة.
- 4- بينت دراسة الميزة (I-V) أن أبعاد الناقلية هي ثلاثية الابعاد وذلك بسبب التكدسات الموضعية في العينة الناتج عن أدوات القياس
- 5- تبين ان طاقة التنشيط للعينات الناتجة تأخذ القيمة  $e0.2417V$  مما تؤكد أن الناقلية في نصف الناقل المحضر هي ناقلية بالقفز.
- 6- من رسم مخطط Nyquist وجد ان له شكل خطي في القسم المنخفض للترددات المطبقة وشكل نصف دائرة في القسم المرتفع.
- 7- أوضح طيف الممانعة العقدي ان الدارة المكافئة تحوي عنصر Warburg وذلك بسبب ظهور جزء لا خطي في القسم الترددي المنخفض فقط.

8- أكد رسم الميزة مربع مقلوب السعة بدلالة الكمون المطبق على كون نصف الناقل المحضر هو من النوع n.

### References

- [1] "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films A.K. Geim, K.S. Novoselov, Nat. Mater. 6 (2007) 183–191
- [2] B.. L. Stobinski, "Graphene oxide and reduced graphene oxide studied by the XRD, TEM and electron spectroscopy methods ", *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* .2014 ،
- [3] P. T. Mohammad Choucair, "Gram-scale production of graphene based on solvothermal synthesis and sonication ",*Nature Tecnology*.
- [4] B. Gao, "LiMn<sub>0.7</sub>Fe<sub>0.3</sub>PO<sub>4</sub> nanorods grown on graphene sheets synthesized in situ by modified microwave-assisted solvothermal method as high-performance cathode materials," *Journal of Materials Science*, 2018.
- [5] Z. S. Min Yi, "A review on mechanical exfoliation for scalable production of graphene ",*Journal of Materials Chemistry A* .2012 ،
- [6] D.. Siburian, "Performance of graphite and graphene as electrodes in primary cell battery ",*SEMIRATA- International Conference on Science and Technology* .2018 ،
- [7] A. N. Popova, "Crystallographic Analysis of Graphite by X-Ray Diffraction ",*Koks i Khimiya* .2017 ،
- [8] A.. LANGFORD, "Seherrer after Sixty Years: A Survey and Some New Results in the Determination of Crystallite Size ",*J. Appl. Cryst* .1977 ،
- [9] A. C. K. Rinaldo Raccichini, "Boosting the power performance of multilayer graphene as lithium-ion battery anode via unconventional doping with in-situ formed Fe nanoparticles ",*Scientific Reports* .2015 ،
- [10] S. Qi Lai, "Ultraviolet-visible spectroscopy of graphene oxide,"

- AIP Advances*, 2012.
- [11]S. I. K. Daeha Joung ،"Efros-Shklovskii variable range hopping in reduced graphene oxide sheets of varying carbon sp<sup>2</sup> "، *Nanoscience Technology Center, University of Central Florida, Orlando, Florida* .2018 ،
- [12]J. o. E. S. a. R. Phenomena ،"Graphene oxide and reduced graphene oxide studied by the XRD, TEM and electron spectroscopy methods .2014 "،
- [13]N. F. MOTT ،"INTRODUCTORY TALK; CONDUCTION IN NON-CRYSTALLINE MATERIALS "،*JOURNAL OF NoN-CRYSTALLINE SOLIDS* .1972 ،
- [14]C. Reece ،"An Introduction to Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)".
- [15]C. B. T. Q. Nguyen ،"Determination of Diffusion Coefficients Using Impedance Spectroscopy Data "،*Journal of The Electrochemical Society* ،pp. 826-831 .2018 ،