----- مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 1 خاص بالفيزياء، ص88 -99، 2005 -----

دراسة خصائص العازل بولي كاربونات في نبيطة ـ معدن ـ بوليمر ـ شبه موصل

احمد نوري الوطني

قسم الفيزياء - كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2003/9/22 ، تاريخ القبول 2003/11/1)

الملخص

تم في هذا البحث تصنيع نبائط معدن – بوليمر – شبه موصـل (MPS – Device) ذات الغـشاء البوليمري من مادة بولي كاربونات (PC)، من خلال منحنيات (التيار-الفولتية) تم تحديد فولتيـة العتبـة (V_T) وفولتية الانهيار (V_B). تمت دراسة تأثير سمك الغشاء على فولتية الانهيار، حيث بينت النتـائج ان قيمة فولتية العتبة وفولتية الانهيار تزداد بزيادة سمك الغشاء العازل، بينما تقل قيم فولتية العتبة وفولتيـة الانهيار مع زيادة درجة الحرارة. فضلاً عن ذلك فلقد تمت دراسة تـاثيرات الإضـاءة علـى خـواص (التيار-الفولتية) لهذه النبائط وتبين أن استجابة التيار مع الفولتية تزداد مع زيادة شدة الإضاءة، فضلاً عن ذلك فإن قيمة فولتية العتبة تقل مع زيادة شدة الإضاءة. وأخيراً تم دراسة خواص (السعة-الفولتية) للنبائط المصنعة حيث بينت النتائج أن هناك تغير في قيمة السعة مع تغير في قيمة الفولتية ضمن مـدى معـين بعدها تثبت قيمة السعة وبينت النتائج أن قيمة السعة تزداد مع زيادة التردد ضمن قيمة فولتية واحدة.

Characteristics Study of the Insulator Polycarbonate Metal-Polymer-Semiconductor Device

Ahmed N. Al-Watani

Physics Department

College of Science

Mosul University

ABSTRACT

In this work, Metal-Polymer-semiconductor devices (MPS-Devices) have been fabricated using a thin film of Poly carbonate (PC). From characterization of the devices, threshold voltage (V_T) and breakdown voltage (V_B) were determined.The effect of Polymer films thickness and the temperature on the (V_T) and (V_B) were studied.The results show that both voltages increase with increasing Polymer film thickness and decrease with the temperature. Illuminated (I-V) characteristics of the fabricated device

were studied also, it was clear that the current and voltage increases with increasing illuminated intensity, while (V_T) decrease with increasing illumination intensity. Finally the (C-V) characteristics was studied, the results showed that there are change in the capacity with change a voltage within range, out of this range the capacity fixed and the capacity of the device increases with increasing the frequency at same value of voltage.

المقدمة

تعد دراسة المواد وتحديد خواصها من الأمور المهمة جداً في عملية تصنيع النبائط الإلكترونية، ذلك لما لهذه الدراسة من أثر مباشر وفعال على تطور الأجهزة التي تستخدم فيها هذه النبائط، ولعل من المواد التي حظيت بجهد كبير وبحث حثيث من قبل الباحثين هي المواد العازلة، فلقد تم دراسة هذه المواد بشكل كبير ومفصل ضمن مجالات مختلفة كان هدف هذه الدراسات هو التعرف على خواص وإمكانيـات هـذه المواد بغية اختيار المادة المناسبة للعمل ضمن المجال المناسب، فلقد تم دراسة خواص عديدة لهذه المواد فعلى سبيل المثال تم دراسة الخواص الكهربائية والخواص الحرارية، والخـواص الميكانيكيـة، ... الـخ (Gerstenberg, 1970) (عزوز، 2001) (مجيد، 2001).

إضافة إلى ذلك فمنذ اكثر من خمسة عقود بدءاً عهد جديد في دراسة المواد، هذه الدراسات كانـت تتمركز حول دراسة المواد المصنعة، ولعل من أهم هذه المواد هي المواد البوليمرية، حيث تضمنت هـذه الدراسات تحديد خواص هذه المواد ومقارنتها مع مثيلاتها من المواد الطبيعية، فلقد أكـدت البحـوث أن المواد البوليمرية لا تدرج فقط ضمن قائمة المواد العازلة، لكن هناك مواد بوليمرية عازلة وموصلة وشبه موصلة، إضافة إلى أن البحوث اكدت قابلية بعض المواد البوليمرية على الوصول إلى حالـة التوصـيل الفائق (Nicholas, 1983) و(Little, 1994)، كما بينت البحوث أن للمواد البوليمرية صفات تفوقت فـي جودها على مثيلاتها من المواد الطبيعية (Ohan et al., 1991) (Sakai et al., 1988). إضافة إلى ذلـك فان المواد البوليمرية تعد من المواد الاقتصادية رخيصة الثمن، وكما هو معروف أن عمليـة اختيـار أي مادة تدخل في صناعة النبائط الإلكترونية لا تعتمد فقط على خواص هذه المادة بل أيضاً على قابليتها على أن تشكل بشكل غشاء رقيق باستخدام تقنيات بسيطة، ولقد أظهرت المواد البوليمرية قابليتها على أن تصنع على غشاء رقيق باستخدام تقنيات بسيطة وذات أضرار جانبية قليلة وفـي الغالـب معدومـة (الـوطني، 1999). هذه الأسباب جميعها قادت إلى إدراج المواد البوليمرية ضمن التي حظيت بجهد كبير من قبـل الباحثين من اجل اختيار المواد البوليمرية المناسبة للدخول كمادة أساسية في صناعة معينة.

تم تحضير أغشية بوليمرية يصل سمكها إلى حدود (950 A^o) باستخدام تقنية بـسيطة هـي تقنيـة التدوير، حيث يمكن بواسطة هذه التقنية الحصول على غشاء رقيق متجانس إضافة إلى أن هـذه التقنيـة تسبب قدر قليل جداً من الأضرار الجانبية وبذلك أمكن تصنيع نبائط إلكترونية تستخدم المواد البوليميريـة كمواد عازلة بشكل غشاء رقيق وان هذه النبائط تعد من النبائط ذات الكفاءة العالية.

ان الهدف الأساسي من هذا البحث هو تـصنيع نبـائط نـوع معـدن-بـوليمر-شـبه موصـل (MPS-Devices) ذات الغشاء البوليمري الرقيق من مادة بولي كاربونات باستخدام تقنية التـدوير. أمـا الهدف الآخر هو دراسة خواص (التيار-الفولتية) لهذه النبائط وتحديد فولتية العتبة (V_T) وفولتية الانهيار (V_B) لهذه النبائط، ودراسة تأثيرات سمك الغشاء العازل وتأثيرات الحرارة على كل من فولتيـة العتبـة (V_T) وفولتية الانهيار (V_B) ودراسة تأثيرات شدة الإضاءة على خواص هذه النبائط، إضافة إلى دراسـة خواص (السعة-الفولتية) للنبائط المصنعة ضمن ترددات مختلفة.

التقنية العلمية وطريقة العمل

يتضمن هذا البند توضيح للتقنية التي تم استخدامها في تصنيع الغشاء البـوليمري العـازل، كمـا يتضمن الطريقة التي تم استخدامها في تحضير النماذج.

أ. تحضير الغشاء العازل:

استخدم في هذا البحث تقنية التدوير للحصول على غشاء عازل متجانس من مادة البولي كاربونات (PC) يصل سمكه إلى اقل من ($1000\ A^o$). في هذه التقنية تم اسـتخدام محـرك كهربـائي مـن نـوع (Print Motor Type UGPMEE.09.PM12) الذي تصل سرعة دورانه إلى (4000) دورة في الدقيقـة كحد أقصى، المحرك الكهربائي يجهز بالقدرة من مصدر للفولتية المستمر من نوع (FARNEEL) الـذي يجهز فولتية مستمرة تصل إلى (30 Volt) وتيار يصل إلى (1 Amp). من خـلال تغيـر عـدد دورات المحرك في الدقيقة الواحدة أمكن الحصول على أغشية بأسماك مختلفة، حيث انه كلمـا زاد عـدد دورات المحرك قل سمك الغشاء المصنع، أن تقنية التدوير تتطلب استعمال مادة تكون في حالتها الـسائلة، لـذلك فلقد تم إذابة البوليمر المستخدم باستعمال المذيب كلوروفورم وبنسبة حجمية مقدارها (5:1). بواسطة هذه التقنية تم الحصول على أغشية بوليمريـة بأسـماك ($3905\ A^o, 2800\ A^o, 1900\ A^o, 980\ A^o$). تقنيـة تولنسكي (Tolansky Tech.) تم استخدامها في قياس أسماك الأغشية البوليمرية المحضرة.

ب. تحضير النماذج:

نبائط من نوع معدن-بوليمر- شبه موصل (MPS-Devices) تم تحضيرها باستعمال سيلكون مـن النوع الموجب (P-Tyep) أحادي التركيب البلوري مطعم بعنصر البورون ألمـاني المنـشأ ذو الاتجـاه البلوري ([100] Si) والـذي يمتلـك مقاومـة نوعيـة بحـدود[Ω.cm (4 -1.5)] والتحركيـة تـساوي [450 $cm^2/V.sec$]. تم تقطيع هذا السيلكون إلى قطع بأبعاد cm (1x1) باستخدام آلة الماسة التي تستخدم لتقطيع الزجاج. ومن أجل إزالة التلوث العضوي وغير العضوي من على سطع السيليكون الذي قد يؤدي إلى عدم التصاق الغشاء، تم تنظيف السيلكون باستخدام القشط الكيميـائي بواسـطة المـواد الكيميائيـة، أيزوبروبانول والميثانول وحامض الهيدروفلوريك المركز (HF, 4:10) والأسيتون، إضـافة إلـى المـاء

المقطر اللاأيوني. بعد ذلك يتم عملية تصنيع الغشاء البوليمري على السيلكون باستخدام تقنية التدوير، أخيراً ترسب طبقة من الألمنيوم عالي النقاوة (99.999%) والمجهز من شركة بلزر على شكل دوائر باستخدام أقنعة مناسبة، عملية الترسيب تمت باستعمال جهاز الترسيب من نوع (Edwards Coating Unit Model 6E4).

النتائج والمناقشة

1. خواص (التيار-الفولتية):

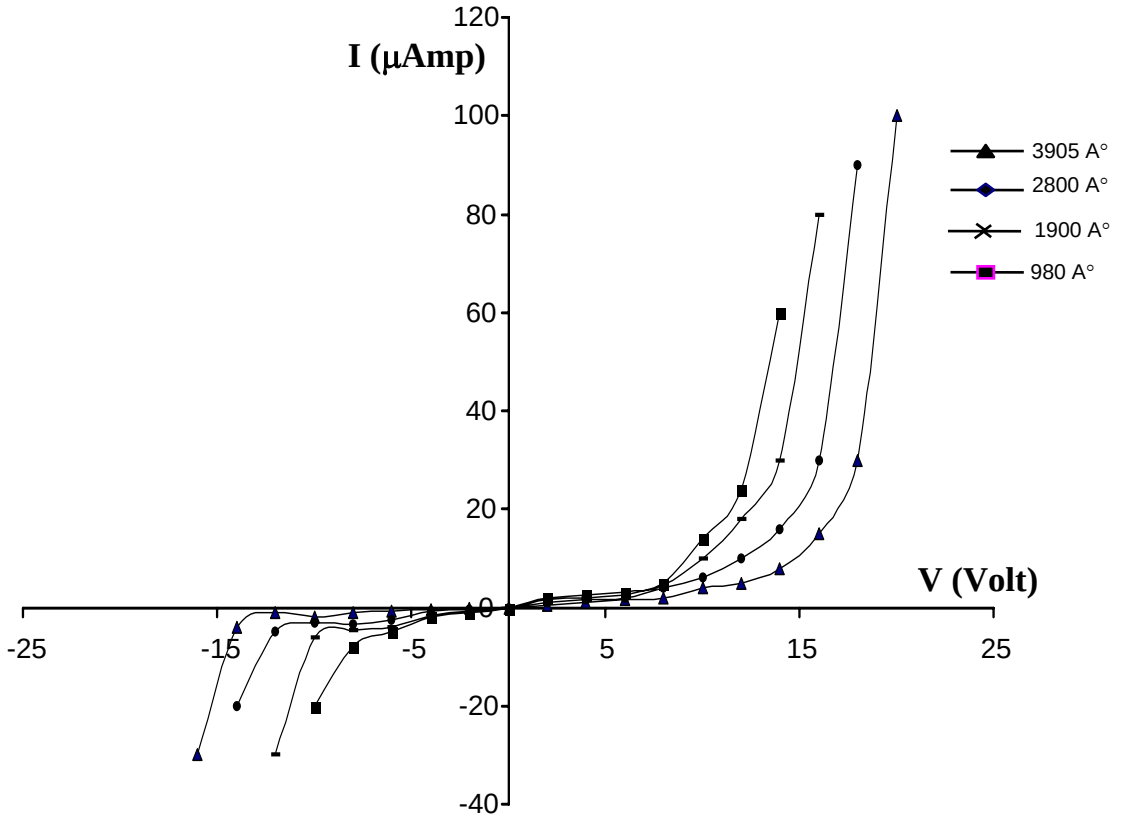
أ. تأثير سمك الغشاء على خواص (التيار-الفولتية):

يبين الشكل (1) خواص (التيار-الفولتية) لنبائط معدن-بوليمر-شبه موصل ذات الغشاء البوليمري من نوع بولي كاربونات (PC) لأسماك مختلفة للغشاء البوليمري العازل ($3905\ A^o, 2800\ A^o, 1900\ A^o, 980\ A^o$) حيث يبين الشكل أن خواص (التيار-الفولتية) لهذه النبائط تكون مشابهة لخواص ثنائي شوتكي (Schotkey Diode). فعند تسليط فولتية موجبة على طرف شبة الموصل بالنسبة إلى المعدن تكون استجابة التيار مع زيادة الفولتية قليل جداً عند قيم فولتيات منخفضة (V<4 Volt)، هذه الاستجابة تزداد مع زيادة الفولتية إلى أن تصل قيمة الفولتية إلى قيمة معينة [فولتية العتبة (V_T)] تكون فيها استجابة التيار واضحة جداً مع زيادة قيمة الفولتية.

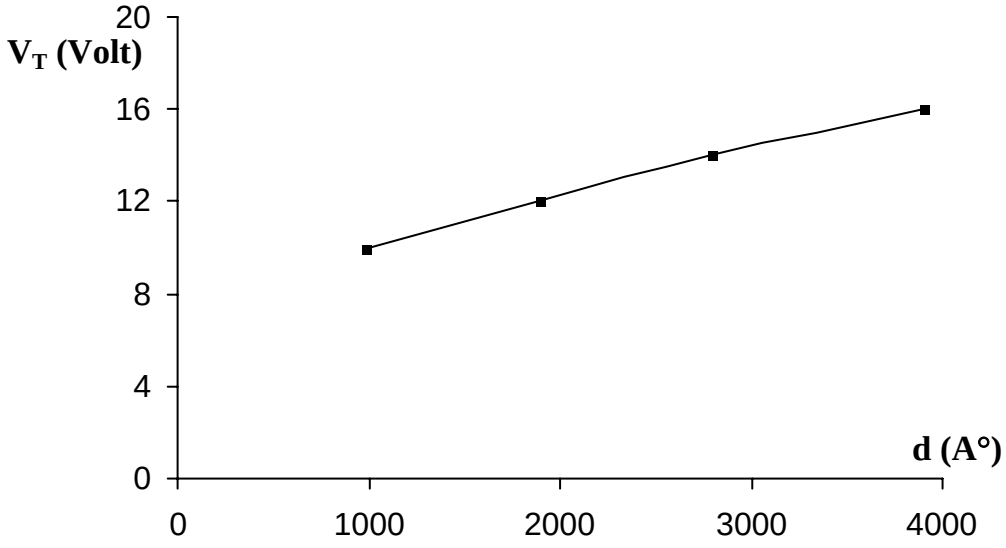
هذه الخواص مشابهة لخواص ثنائي شوتكي في حالة انحياز أمامي. يمكن تفسير ذلك على انه عندما يكون انحياز النبيطة أمامياً وتكون الفولتية قليلة هذا سوف يؤدي إلى حقن عدد من الشحنات إلى الغشاء البوليمري، ألا أن عدد هذه الشحنات يكون قليل جداً بحيث يقتنص من قبل مصائد الشحنات الموجودة في العازل، ففي شبه موصل من نوع السيليكون تنشأ الشحنات المقتنصة في السطح البيني ما بين شبه موصل وغشاء البوليمر، وان عدد هذه الشحنات المقتنصة يعتمد على التركيب الكيميائي للسطح البيني (Maissel and Glang, 1969) (Sze, 1990). أما عندما تكون الفولتية (V>4 Volt) فان استجابة التيار تكون واضحة مع زيادة الفولتية إضافة إلى ظهور منطقة أومية، يمكن تفسير ذلك على انه في مثل هذه الحالة فأن عدد الشحنات المحقونة إلى الغشاء تزداد بحيث تكون استجابة التيار واضحة مع زيادة الفولتية، وإن كثافة التيار في هذه المنطقة يتناسب طردياً مع الفولتية المسلطة (الجمال و الوطني، 2000) ومع استمرار زيادة الفولتية تستمر عملية حقن الشحنات إلى الغشاء البوليمري إلى أن تصل قيمة الفولتية إلى قيمة معينة [فولتية العتبة (V_T)] تصبح استجابة التيار مع الفولتية واضحة جداً.

أما عندما تكون النبيطة في حالة الانحياز العكسي فان استجابة التيار تكون قليلة جداً مع زيادة الفولتية إلى أن تصل الفولتية إلى قيمة معينة [فولتية انهيار (V_B)] تحصل عندها حالة مشابهة لحالة الإنهيار الكهربائي، حيث تحصل زيادة كبيرة ومفاجئة للتيار مع زيادة الفولتية. ومن أجل معرفة تأثير سمك الغشاء العازل على قيمة فولتية العتبة (V_T) كدالة لسمك الغشاء العازل (d). حيث يبين الشكل (2)

أن فولتية العتبة تزداد بزيادة سمك الغشاء العازل، كذلك ومن أجل معرفة تأثير سمك الغشاء العازل على فولتية الإنهيار (V_B)، تم رسم فولتية الإنهيار (V_B) كدالة لسمك الغشاء العازل (d).



شكل 1: خواص (I-V) لأسماك مختلفة.



شكل 2: فولتية العتبة كدالة لسمك الغشاء العازل.

حيث يبين الشكل (3) أن فولتية الإنهيار تزداد بزيادة سمك الغشاء العازل. إن العلاقة ما بين كثافة التيار والفولتية المسلطة وسمك الغشاء العازل مبينة كما في المعادلة (1):

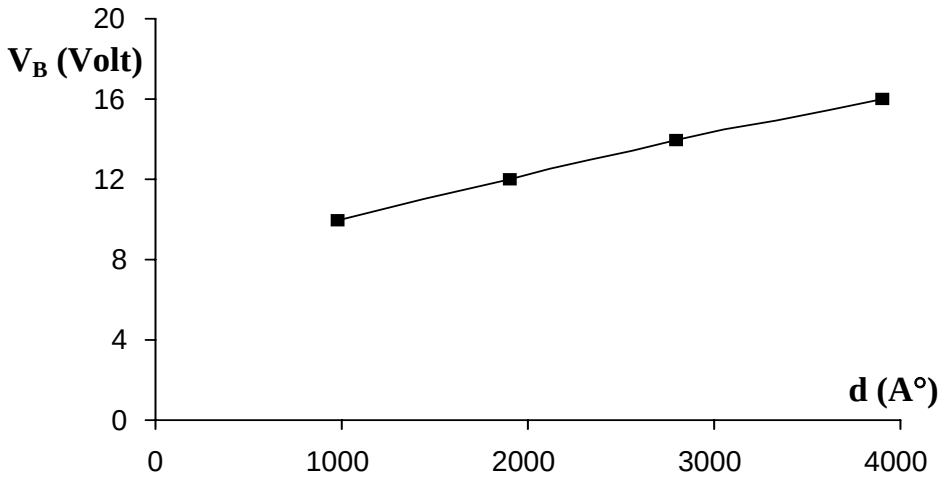
$$J = \left[\frac{9}{8}\right] \varepsilon \mu \frac{v^2}{d^3} \qquad (1)$$

حيث أن:

J = كثافة التيار ε = ثابت العزل

μ = التحركية v = الفولتية المسلطة

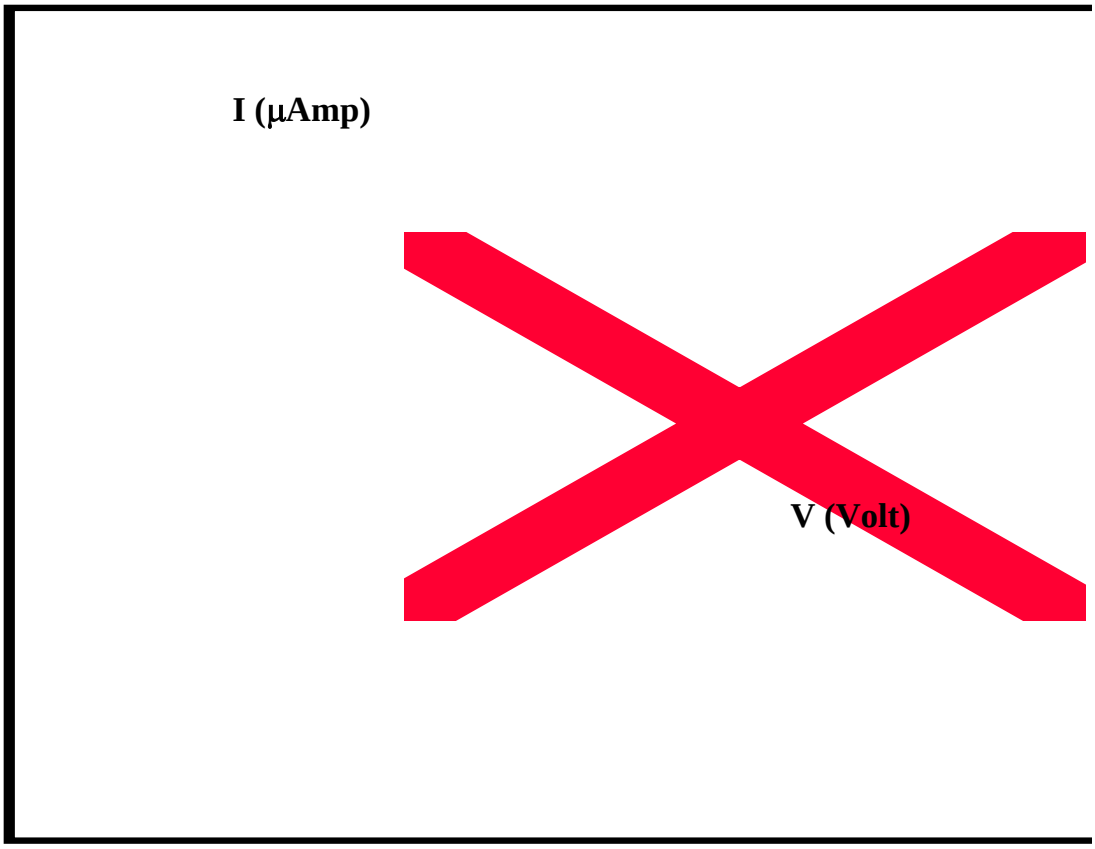
d = سمك الغشاء



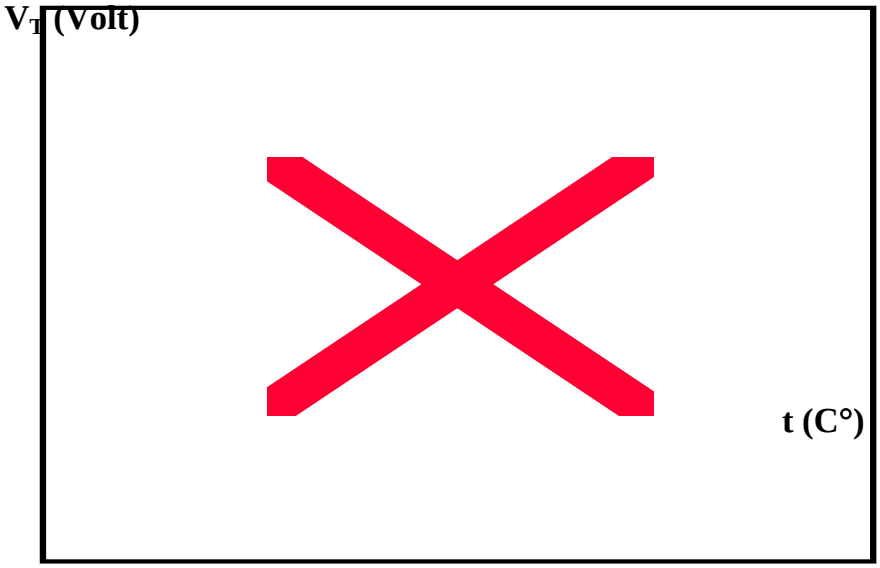
شكل 3: فولتية الإنهيار كدالة لسمك الغشاء العازل.

ب. تأثيرات الحرارة على خواص (التيار-الفولتية) للنبيطة:

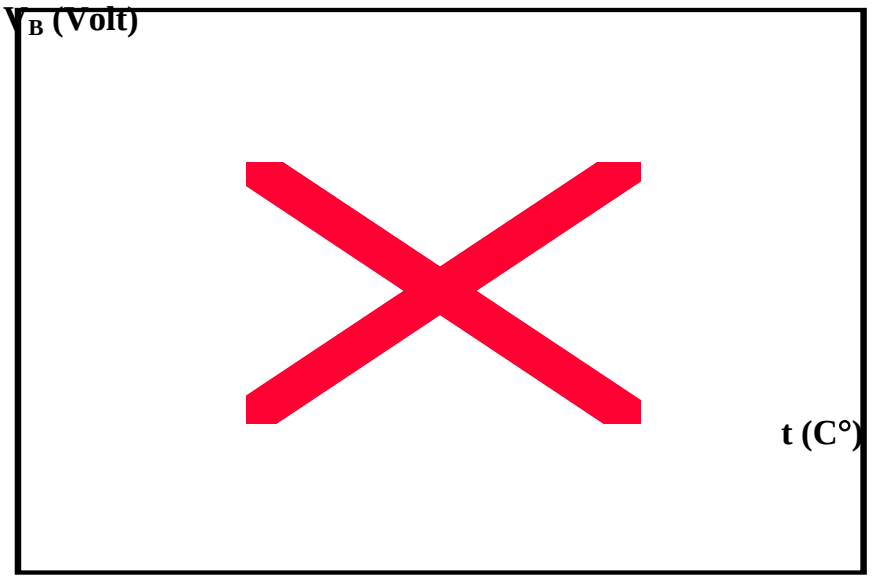
الشكل (4) يبين خواص (I-V) لنبائط معدن-بوليمر-شبه موصل عندما يكون سمك غشاء البوليمر (1900 A^o) وعند درجات حرارة مختلفة تتراوح ما بين (20 C^o – 80 C^o) ومن أجل معرفة تأثير الحرارة على خواص (I-V) فلقد تم رسم فولتية العتبة (V_T) كدالة لدرجات الحرارة حيث يبين الشكل (5) أن فولتية العتبة (V_T) تتناقص مع زيادة درجات الحرارة. إضافة إلى ذلك فلقد تم رسم فولتية الإنهيار (V_B) كدالة لدرجات الحرارة، حيث يبين الشكل (6) أن فولتية الإنهيار تتناقص مع زيادة درجات الحرارة.



شكل 4: خواص (I-V) عند درجات حرارة مختلفة.



شكل 5: فولتية العتبة (V_T) كدالة لدرجة الحرارة.



شكل 6: فولتية الإنهيار (V_B) كدالة لدرجة الحرارة.

إن سبب تناقص فولتية العتبة وفولتية الإنهيار مع زيادة درجات الحرارة يمكن أن يعزى إلى سببين هما:

1. هناك احتمالية حصول تغير في البنية البوليمرية مع زيادة درجات الحرارة حيث ان هناك احتمالية حصول كسر في بعض السلاسل البوليمرية ذات الارتباط الضعيف مع زيادة درجات الحرارة، وهذا بدوره سوف يؤدي إلى تناقص في قيمة فولتية العتبة وفولتية الإنهيار.
2. تغير سلوك حاملات الشحنة مع ارتفاع درجات الحرارة (Nicholas and Versnon, 1966).

ومن الجدير بالذكر أن باقي النبائط ذات الأسماك (A^o 3905, A^o 2800, A^o 980) أظهرت نفس سلوكية النبيطة ذات السمك A^o 1900.

ج. تأثيرات شدة الإضاءة على خواص (التيار-الفولتية) للنبيطة:

يبين الشكل (7) خواص (I-V) لنبائط معدن-بوليمر- شبه موصل عندما يكون سمك غشاء البوليمر A^o 1900 وعند درجة حرارة (C^o 20). حيث يوضح الشكل خواص (I-V) عند شرط الظلام، وعند شدة إضاءة عادية (إضاءة المختبر العادية)، وكما يوضح خواص (I-V) عند شدة إضاءة قدرتها (mW/cm^2 20) و (mW/cm^2 50). حيث يوضح الشكل أن هناك تأثيرية في استجابة التيار مع الفولتية المسلطة هذه التأثيرية في استجابة التيار تؤدي بدورها إلى تغير في قيمة فولتية العتبة (V_T) حيث أن قيمة فولتية العتبة تناقص مع زيادة شدة الإضاءة. يمكن تفسير ذلك على أن عملية زيادة شدة الإضاءة تؤدي إلى زيادة في كثافة التيار بسبب تكون زوج إلكترون-فجوة (توليد ناقلات تيار) هذا بدوره سوف يؤدي

إلى زيادة في استجابة تيار النبيطة مع زيادة في الفولتية المسلطة، كما يؤدي إلى نقصان في قيمة فولتيـة العتبة (V_T) مع زيادة شدة الإضاءة (Panakove, 1971)، وكما هو موضح في المعادلة رقم (2):

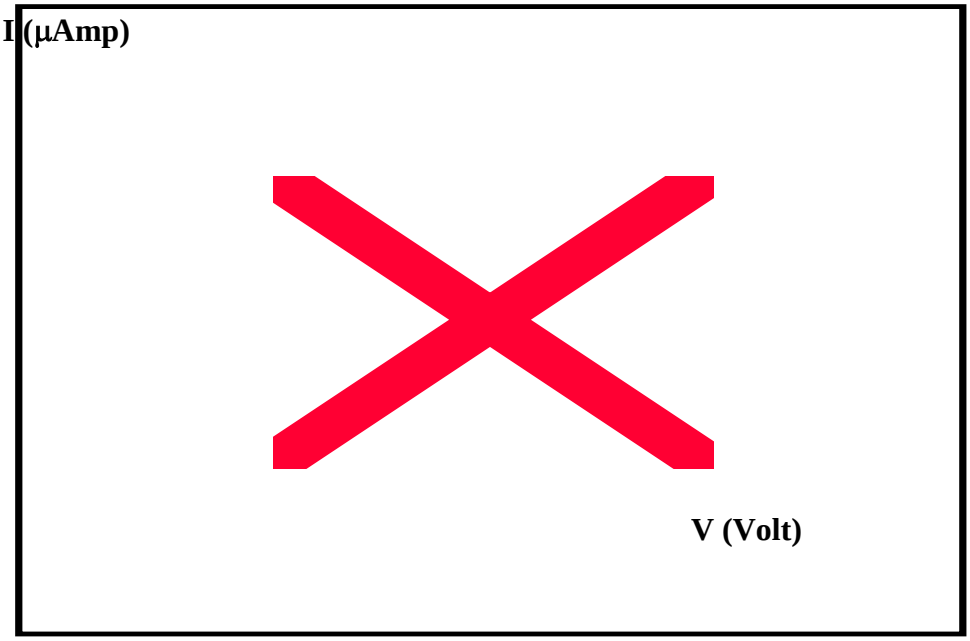
$$\sigma = n\, e\, \mu \exp[-E_a / K_B T] \qquad (2)$$

حيث أن:

μ = التوصيلية الكهربائية — n = الكثافة الفعلية للحاملات

E_a = طاقة التنشيط — K_B = ثابت بولتزمان

μ = التحركية — T = درجة الحرارة بالكلفن



شكل 7: خواص (I-V) عند شدات إضاءة مختلفة.

2. خواص (السعة - الفولتية):

يبين الشكل (8) خواص (السعة - الفولتية) لنبائط معدن-بوليمر-شبه موصل عنـدما يكـون سـمك الغشاء العازل (A^o 1900). حيث يبين الشكل أن قيمـة الـسعة للنبيطـة عنـد قـيم فولتيـات عاليـة (V >12 Volt) عندما تكون النبيطة في حالة الانحياز الأمامي تكون عند قيمتها العظمى وتكون مـستقرة عند هذه القيمة تقريباً مع زيادة قيمة الفولتية. وعند نقصان قيمة الفولتية تتناقص قيمة السعة إلى أن تصل إلى قيمتها الدنيا عند قيم فولتيات (V > 12 Volt) عندما تكون النبيطة في حالة الانحيـاز العكـسي وان السعة تبقى ثابتة تقريباً عند هذه القيمة مع تناقص قيم الفولتية، هذه العملية تحصل عند قيمة تردد مقـداره (10 Hz). يمكن تفسير ذلك على أساس أن عملية تغير قيمة الفولتية المجهزة للنبيطة سوف تـؤدي إلـى تغير في قيمة الطاقة المجهزة للغشاء البوليمري العازل، هذا التغير في قيمة الطاقة سوف يؤدي إلى تغير

في قيمة ثابت عزل الغشاء البوليمري والذي بدوره سوف يؤدي إلى تغير في قيمة سعة النبيطة. أن التغير الحاصل في قيمة ثابت العزل يكون ضمن مدى معين لذلك فأن قيمة السعة تثبت عند قيمة معينة تقع خارج مدى الفولتية المؤدية إلى التغير (Buchanan, 1999). وعند إجراء نفس العملية ضمن ترددات مختلفة (100 Hz و 1000 Hz) فان النبيطة تظهر نفس السلوكية مع تغير في قيمة السعة للنبيطة حيث أن القيمة العظمى والقيمة الدنيا تبقى ثابتة مع تغير التردد إلا أن قيمة السعة ضمن هاتين القيمتين تزداد مع زيادة التردد وكما هو موضح في الشكل (8). يمكن تفسير ذلك على أن عملية زيادة التردد تؤدي إلى زيادة في قيمة ثابت العزل ضمن قيمة واحدة للفولتية، هذه الزيادة في قيمة ثابت العزل تؤدي إلى زيادة في قيمة سعة المتسعة (Dornecke, 2001). ان العلاقة بين سعة الفولتية وثابت العزل للمادة العازلة معطاة في المعادلة رقم (3):

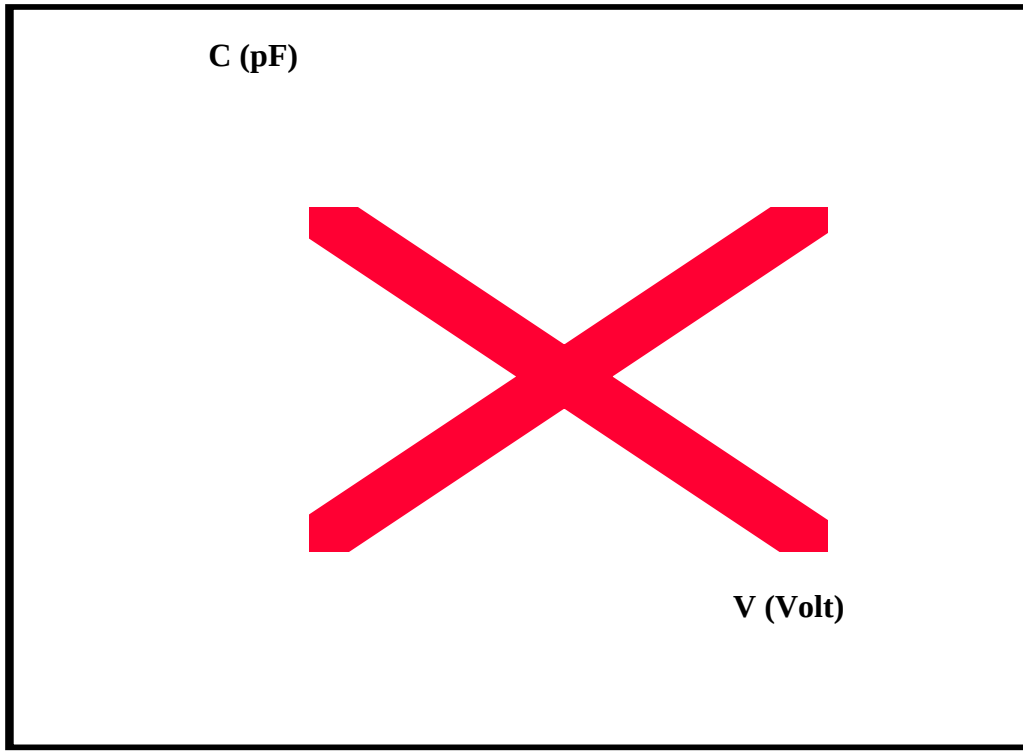
$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \qquad (3)$$

حيث أن:

ε = ثابت العزل

A = مساحة مقطع النبيطة

d = سمك الغشاء العازل



شكل 8 : السعة كدالة للجهد لترددات مختلفة.

الاستنتاجات

1. إن النبائط المصنفة أظهرت خواص مشابهة لخواص ثنائي شوتكي وكانت مطابقة لبحوث آخرين.
2. تزداد كل من فولتية العتبة (V_T) وفولتية الإنهيار (V_B) مع زيادة سمك غشاء البوليمر.
3. تتناقص فولتية كل من فولتية العتبة (V_T) وفولتية الإنهيار (V_B) مع زيادة درجات الحرارة.
4. استجابة التيار مع الفولتية تزداد مع زيادة شدة الإضاءة.
5. تتناقص فولتية كالعتبة مع زيادة شدة الإضاءة.
6. هناك تغيير في قيمة سعة النبيطة مع تغير في قيمة الفولتية ضمن مدى معين وعند قيمة تردد واحدة.
7. ثبات قيمة سعة النبيطة مع تغير قيمة الفولتية خارج مدى معين "مدى التغير" وعند قيمة تردد واحدة.
8. تزداد قيمة سعة النبيطة مع زيادة التردد ضمن مدى التغير ولقيمة معينة من الفولتية.

المصادر العربية

الجمال، يحي نوري ؛ الوطني، احمد نوري، 2000. دراسة الإنهيار الكهربائي المتعاقب في المتـسعات ذات الأغشية لبولي ميثـا اكـريلات المثيـل (PMMA)، مجلـة علـوم الرافـدين، مجلـد 12، عدد 1، ص 102-110.

الوطني، احمد نوري، 1999. الإنهيار الكهربائي في المتسعات ذات الأغشية البوليمرية، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل.

عزو، صلاح عبدال، 2001. دراسة خصائص العزل للسيراميك، مجلـة علـوم الرافـدين، مجلـد 11، عدد 3، ص 107-115.

مجيد، جنان مظفر، 2001. دراسة تأثير حجم حبيبات السيلكا على الخـواص الكهربائيـة للبورسـلين، مجلة علوم الرافدين، مجلد 12، عدد 4، ص 184-189.

المصادر الأجنبية

Buchanan, D.A., 1999. Selecting the gate dielectric: Materials Integration and Reliability IBM. Journal of Research and development, Vol. 45, 245, pp. 2-8.

Dorneke, B.M., 2001, Selecting and Applying Film capacitors, Electronic News, Vol.47, 38, pp. 1-9.

Gerstenberg, D., 1970. Hand book of Thin Film Technology, Edited by L.I. Maissd and R.Glang, McGraw Hill, New York.

Little, W.A., 1994. Phys. Rev., Vol.134,pp. 1416-1420.

Maissel, L.I. and Glang, R., 1969. Hand book of Thin Film Technology. International Business Machines Cooperation, Edited by L.I. Maissd and R.Glang, McGraw Hill, New York

Nicholas, A.N., 1983. Polymer News, Vol. 8, pp. 225-226.

Nicholas, K.G. and Verson, E.V., 1966. Transistor Physics. Champman and Hall Ltd.

Ohan, O.Z.; Msnssur, H.L. and Habobe, N.F., 1991. Electrical Properties of Polye Styrene-(Anthraquim-one copolymer) Thin Film, AL- Mustansiriya Journal of Sciences, Vol.4,No.1, pp. 78-82.

Pankove, J.I., 1971. Optical Processes in Semiconductors. General Publishing Company Ltd., Canada, U.S.A.: 307-310.

Sakai, K.; Matsuda, H.; Kawada, H.; Eguchi, K. and Nakagiri, T., 1988. Switching and Memory Phenomena in Langmuir- Biodgett Films, Appl. Phys. Let., Vol. 53, No.14, pp. 1274-1276.

Sze, S.M., 1990. Semiconductor Devices Physics and Technology,John Wiley,New York.