

دراسة تأثير الإجهاد الحراري والكهربائي على الخواص الضوئية والكهربائية للديود العضوي الباعث للضوء الأبيض

طالب الماجستير: أمين الشدود كلية الهك - جامعة البعث

إشراف:

المشرف الرئيسي: د. غسان ابراهيم المشرف المشارك: أ.د. شفيق باصيل

ملخص البحث

نالت الديودات العضوية الباعثة للضوء خلال العقدين الماضيين اهتماماً واسعاً بسبب استخداماتها المتعددة سواء في مجال صناعة شاشات العرض (تلفزيونات ، شاشات الهاتف النقال ، الساعات الرقمية) أو في مجال الإضاءة الداخلية . لكن التقادم السريع لهذه الأوليدات مع زمن التشغيل أو خلال التخزين ما زال يشكل عقبة رئيسية أمام انتشار تطبيقاتها الصناعية. يتطلب تحسين استقرار و زيادة عمر الأوليد تحديد آليات التقادم المختقة والتحكم بها، يهدف هذا البحث إلى دراسة التقادم الذاتي للأوليدات التجارية من نوع OSRAM RMW-046 في ظروف مختلفة من الإجهادات المتسارعة الحرارية والكهربائية ومن ثم تحديد عمر الأوليد LT70,LT50 ومن ثم تحليل خصائص التقادم المختلفة.

الكلمات المفتاحية : أوليد ، تقادم ، عضوي ، شدة الضياء

Study of thermal and electrical stress impacts on electrical and optical characteristics of white organic light emitting diodes

Abstract

- In the past two decades, organic light emitting diodes are receiving steady and increasing attention due to their different applications such as OLED displays (televisions, mobile phones, digital watches, MP3 players, etc.) and OLED light panels.
- However, the short lifetime of OLEDs is a major obstacle for their commercialization.
- Improving the stability and the lifetime of OLEDs requires the identification and the control of the different mechanisms of degradation. This paper aims to study the intrinsic degradation signatures of commercial white organic LED (OSRAM RMW-046) under different conditions of accelerated stresses (electrical and thermal). The operational lifetime LT70 and LT50 were then determined and the different aging characteristics analyzed.

Keywords : oled , degradation , organic , luminescence

مقدمة :

نالت الديودات العضوية الباعثة للضوء خلال العقدين الماضيين اهتماماً واسعاً بفضل استخداماتها المتعددة سواء في مجال صناعة شاشات العرض (تلفزيونات ، شاشات الهاتف النقال ، الساعات الرقمية) أو في مجال الإضاءة الداخلية .

تتميز الديودات العضوية الباعثة للضوء (OLED) عن مثيلاتها من أجهزة الإضاءة باستهلاكها القليل للطاقة ، جهد العمل الاسمي صغير نسبياً الذي لا يتجاوز 10 فولت ، سماكة جهاز الإضاءة لا يتجاوز 1mm ، الوزن الخفيف للجهاز ، الضياعات الحرارية صغيرة نسبياً ، إمكانية إنتاج (OLED) يشع الضوء في اتجاهين ، لا يصدر أشعة فوق بنفسجية أو أشعة تحت الحمراء بالإضافة إلى أنه يمكن تصنيع أوليدات مرنة قابلة للطي [1] .

رغم التطور التكنولوجي الهائل والذي سمح باستخدام هذه الأجهزة إلا أنه هناك العديد من المشاكل والعقبات التي تمنع إنتاج هذه الأجهزة وتسويقها بشكل أكبر في الوقت الراهن. وأهم هذه العقبات هو مدة العمل القصيرة نسبياً (10000 h) بالمقارنة مع الليدات الغير عضوية والتي تصل إلى (60000 h) [5] .
هناك تعريفين مهمين لمدة حياة الـ (OLED) :

1- مدة حياة التخزين: والذي يعبر عن الوقت الذي يمكن من خلاله تخزين الأوليد (دون عمل) بدون أن تتغير خصائصه الكهربائية والضوئية الأساسية فمثلاً شركة أوزرام حددت شروط تخزين منتجاتها أوليد أريس تحت درجات حرارة بين (60,-40) درجة مئوية و تحت ضغط جوي بين (1.2 ، 0.7) بار [8]

2- مدة حياة العمل: (L70 or L50): وهي تمثل الوقت الذي يستغرقه الجهاز كي

تتخفض شدة ضيائه إلى سبعين بالمئة من قيمتها الأولية L70 أو إلى خمسين

بالمئة من قيمتها الأولية L50 [8] .

ان العوامل المسببة لتقادم الأوليدات يمكن وضعها ضمن صنفين خارجية و ذاتية وذلك

حسب مصدر السبب خارجي (الجو المحيط) مثل بخار الماء و الأوكسجين و الحرارة ،

يمكن التخلص من تأثير الماء والأوكسجين عن طريق التغليف المناسب او داخلي (ناتج

عن احد مكونات الاوليد) ان التقادم الذاتي ل الاوليد يمكن وصفه بأنه انخفاض قيمة شدة

الضياء الصادرة عن الجهاز وازدياد قيمة جهد التشغيل من اجل قيمة ثابتة لتيار العمل

بدون أي تدخل او تأثير لعوامل الجو المحيط [10][9] .

هناك العديد من الفرضيات التي تم طرحها من اجل وصف التقادم الذاتي على الرغم انه

الى يومنا الحالي لم يتم إيجاد السبب الحقيقي للتقادم الذاتي سنقوم الان بذكر بعض هذه

النظريات التي تم طرحها:

1- حقن الشحنات (الالكترونات والثقوب) بكثافة عالية في المادة العضوية المشعة

للضوء (Alq3) [2] .

2- عدم الاستقرار البنيوي لطبقات المواد العضوية مع درجة حرارة الاوليد خلال العمل

(اثر جول) [4] .

3- تواجد ايونات معدنية ضمن الطبقات العضوية [3] .

4- ازدياد كثافة الفوخ الالكترونية والثقوبية [7] .

أهداف البحث :

1- دراسة تأثير الحرارة وكثافة التيار على تقادم الخواص الضوئية والكهربائية

للاوليد

2- استنتاج الدارة الكهربائية المكافئة لجهاز الأوليد

مواد وطرق البحث:

1- نوع جهاز الأوليد المستخدم في الدراسة

إن الأوليد من نوع Osram RMW-046 هو أوليد مصدر للضوء الأبيض ذو درجة حرارة لون 2800K ويعتبر أوليد ذو مساحة سطح واسع حيث تقدر مساحة السطح المصدر للضوء بـ 39.3 cm^2 (الشكل 1) يبين صورة توضيحية لجهاز Osram المستخدم



الشكل (1) صورة توضيحية للأوليد OSRAM RMW-046

إن الجدول التالي يلخص المعلومات المقدمة من قبل المصنع لهذا الجهاز .

جدول (1) بارامترات الأوليد OSRAM RMW-046

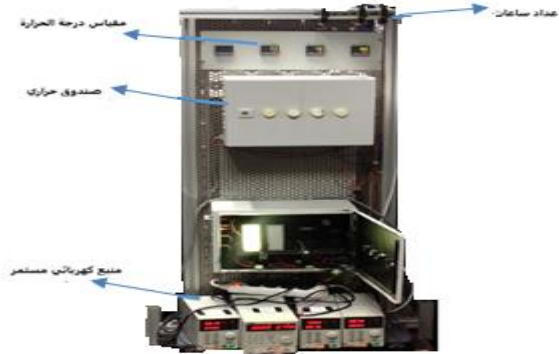
البارامتر	OSRAM RMW-046
التيار الاسمي (mA)	216
التيار الأعظمي (mA)	432
الجهد الاسمي (V)	3.7
الجهد الأعظمي (V)	4.5
درجة حرارة اللون (K)	2800
شدة الضياء الاسمي (cd/m^2)	610
المردود الضوئي (Lumin/W)	13
عمر الجهاز (hr)	5000
جهد إصدار الضوء (V)	2.1

2- الجهاز المستخدم لإجراء تجربة التقادم المتسارع

يتألف هذا الجهاز من ثلاث صناديق معدنية معزولة حرارياً. إن عملية التسخين تم تأمينها بواسطة مقاومات حرارية موزعة بتجانس ضمن الصندوق ، يتم التحكم بها بواسطة ريليه ستاتيكي يقودها منظم حراري. بالإضافة الى مراوح لكي تؤمن التجانس الحراري في جميع أرجاء الصندوق . تم قياس درجة الحرارة بواسطة حساس حراري موضوع في منتصف الصندوق. بالنسبة للإجهاد الكهربائي لقد تم تأمينه بواسطة منبع تيار مستمر ثابت مع الزمن. تم استخدام وصلات (يو اس بي) من نمط بي من اجل اجراء القياسات الكهربائية ضمن الجهاز دون الحاجة لنقل أوليدات ، تم استخدام عدادات للوقت ليتم حساب عمر الأوليدات بدقة. إن عاملي الاجهاد الذين تم تطبيقهما على الأوليدات المدروسة هما شدة التيار والحرارة (الجدول 2) يوضح قيمة الاجهادات .

جدول(2) : يبين قيمة الإجهادات الحرارية والكهربائية المطبقة على كل أوليد من الأوليدات المدروسة

	stress	درجة الحرارة (°C)		كثافة التيار (mA/cm ²)			
		40	60	11.25	13	15	17
OSRAM RMW-046	N1		X	X			
	N2		X		X		
	N3		X			X	
	N4		X				X
	N5		X				
	N6	X					



الشكل(2) الجهاز المستخدم في تجربة التقادم المتسارع

3- بروتكول إنجاز التجربة

من أجل متابعة تطور التقادم مع الزمن تم إخضاع الأوليدات إلى تقادم متسارع ، لقد تم إنجاز قياسات شدة الضياء النسبي بشكل منتظم (فقدان 30% من شدة الضياء والذي يشار له بـ LT70 هو معيار شائع في الوسط الصناعي من أجل تحديد نهاية حياة جهاز الإضاءة) إن الفواصل الزمنية بين كل عملية قياس تتغير حسب شدة عوامل الإجهاد المطبقة كل ما إزداد شدة عوامل الإجهاد كلما كان الفاصل الزمني بين كل عمليتي قياس أقصر. قبل إجراء القياسات تكون الأوليدات مطفأة وموضوعة بوضع الراحة لمدة 20min حتى تستقر درجة حرارتها وتصبح مساوية لدرجة حرارة غرفة القياس بعد ذلك يتم وضعها الواحدة تلو الأخرى على طاولة القياس الضوئية والتي تسمح بإجراء قياس شدة الضياء مستخدمين جهاز السبيكتروفوتوميتر ، المسافة بين اللاقط الضوئي والواجهة الأمامية للأوليد المصدر للضوء ومن أجل زاوية رؤية 1.8° تساوي 150cm هذه المسافة أكبر بعشر أضعاف من طول الأوليد والمساوي لـ 13cm لذلك يمكن اعتبار هذا المنبع الضوئي كمنبع نقطي وبالتالي يمكن إجراء القياسات مع إهمال أي انحراف للأوليد أو اللاقط الضوئي من مرتبة بضعة مليمترات الشكل(3) يوضح الطاولة الضوئية التي تم إنجاز القياسات الضوئية من خلالها بالإضافة إلى جهاز سبيكتروفوتوميتر مع لابتوب و أوليد مضاء بواسطة مصدر للتيار المستمر .



الشكل (3) طاولة القياس الضوئية

الخصائص الكهربائية (J, V) كثافة التيار مع جهد التشغيل والخصائص الضوئية تم إنجازها ضمن فواصل زمنية محددة خلال مدة التقادم وحتى بلوغ LT50، أما قياس الممانعة المطيافية فتم إنجازها قبل التقادم وعند الوصول إلى مدة الحياة LT70 ومن ثم عند الوصول إلى مدة الحياة LT50. الجدول التالي يوضح القيمة الأساسية لشدة ضياء الأوليدات المدروسة من أجل شدات التيار المطبقة على هذه الأجهزة والتي تعتبر كإجهاد كهربائي .

جدول (3): يوضح القيم الأساسية لشدة الضياء المقابلة لكثافة التيار المطبقة على كل أوليد من الأوليدات

الأوليد	كثافة التيار (mA/cm^2)	شدة الضياء الأساسي (cd/m^2)
1	11.25	1232
2	13	1449
3	15	1640
4	17	1872
5	5.49	602
6	5.49	600

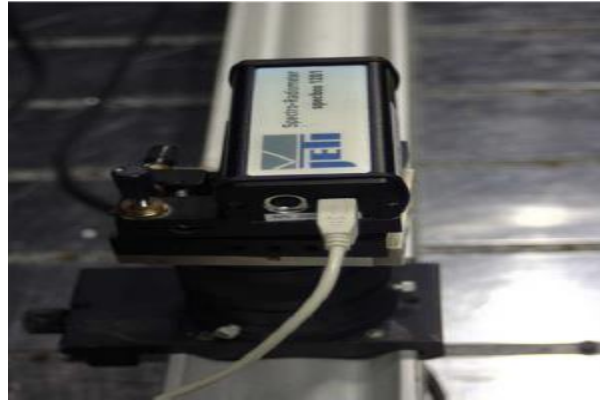
4- تقنيات القياس المستخدمة

إن الأوليدات المدروسة تملك بنية معقدة والتي تتألف من عدة طبقات من مواد عضوية مختلفة سماكة كل منها من مرتبة النانومتر، لقد تم استخدام تقنيات قياس مختلفة من أجل تحديد خصائص الأوليدات المدروسة، كل واحدة من هذه التقنيات يعطي معلومات

التي بدورها تساعد على تحديد طبيعة وسبب آلية التقادم. في هذا الجزء سنقوم بعرض تقنيات القياس الضوئية المستخدمة ثم سنقوم بتوصيف تقنيات القياس الكهربائية.

❖ القياسات الضوئية

لقد تم إجراء القياسات الضوئية باستخدام جهاز سبيكتروفوتوميتر SPECBOS1201 والذي مجال عمله يغطي الطيف الضوئي (380-780) nm. البارامترات التي يمكن قياسها بهذا الجهاز شدة الضياء، درجة حرارة اللون، الأطوال الموجية.



الشكل(4) جهاز سبيكتروفوتوميتر SPECBOS1201

المميزات المنجزة بواسطة هذا الجهاز هي :

- مميزة شدة الضياء النسبي مع زمن التقادم ($L/L_0, T$) والتي تحدد مدة حياة الأolid حيث أن:
 L_0 : يمثل شدة الضياء قبل حدوث التقادم أي عند $t=0$ ويتم قياسها من أجل شدة تيار الإجهاد المطبق $m^2 / Candela$.
- L : هو قيمة شدة الضياء خلال التقادم مقدر بالـ $m^2 / Candela$.
- T : زمن التقادم مقاس بالساعة .
- مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار

من أجل جميع الأوليدات شدة الضياء L تتناسب مع شدة التيار إذاً مميزة (L, J) هي خطية وإن تطور النسبة بين شدة الضياء و كثافة التيار يعطي معلومات عن تقادم الأوليدات حسب قيمته فيما إذا كانت تتناقص أو إذا كانت ثابتة خلال التقادم . ويجب الإشارة إلى أن قيم شدة الضياء التي تم قياسها في هذه الدراسة هي قيم نسبية .

❖ القياسات الكهربائية :

إن تقنيتي القياس الكهربائي المستخدمتين في هذه الدراسة سيتم عرضهما كما يلي:

• قياس مميزة (J, V) :

إن مميزة كثافة التيار مع الجهد للأوليدات يعطي معلومات أساسية فيما يخص حقن ونقل واتحاد الشحنات . لقد تم قياس مميزة كثافة التيار مع الجهد في الظلام لكي يتم تفادي التأثير الفوتومتري العكسي بمساعدة جهاز قياس ومنبع بنفس الوقت والمسمى Keithley 2602A الموضح بالشكل (5) هذا الجهاز يقوم بتوليد الجهد والتيار والقياس بنفس الوقت للبارامتر المطلوب سواء كان الجهد أو التيار ، هذا الجهاز يتم قيادته بواسطة كمبيوتر .



الشكل (5) : جهاز Keithley 2602A

أحد المعلومات الهامة التي يمكن الحصول عليها من مميزة (J, V) هو جهد العتبة والذي يعتبر بارامتر هام يميز عمل الأوليد . بشكل عام يعرف جهد العتبة بأنه ذلك الجهد الذي

يعمل الأوليد عنده بشكل فعال أي يقوم بإصدار الضوء. عدة تعاريف تم طرحها لجهد العتبة مثل أن جهد العتبة هو الجهد الذي من أجله تصل شدة الضياء إلى واحد cd/m^2 لكن هذا التعريف يعتمد بشكل أساسي على حساسية جهاز قياس شدة الضياء لذلك تم طرح تعريف آخر يعكس آلية عمل الأوليد حيث عرف جهد العتبة بأنه الجهد الذي من أجله $\log(J)$ أو $\log(I)$ يزداد بشكل كبير ومفاجئ.

في هذه الدراسة قمنا باختيار جهد العتبة بالاعتماد على التعريف الذي يحدد بأن جهد العتبة هو الجهد اللازم لإمرار تيار كثافته $1mA/cm^2$.

• مميزة الممانعة المطيافية:

إن الممانعة المطيافية (IS) هي أداة غير مدمرة وفعالة جداً من أجل تحديد الخصائص الكهربائية للمواد العضوية وخصائص السطح الفاصل بين المادة العضوية و الإلكتروودات في هذه الدراسة تم تطبيق هذه التقنية من أجل دراسة آلية تقادم الأوليدات المدروسة. إن آلية عمل هذه التقنية هي كالتالي:

نقوم بإخضاع جهاز الأوليد إلى جهد انحياز أمامي ثابت V_{dc} والذي نقوم بوضع إشارة صغيرة متناوبة عليه V_{Ac} : $V_{Ac(t)} = V_m \sin(2\pi ft)$ حيث أن:

V_m : هي طويلة هذه الإشارة

f : هو تردد هذه الإشارة والذي يتغير بين (1Hz-100KHz).

فيكون الجهد الكلي المطبق على العينة يعطى بالعلاقة التالية:

$$V_{(t)} = V_{Dc} + V_m \sin(2\pi ft)$$

الجهد V_{DC} يقوم بحمل الإشارة المتناوبة من أجل تغير نقطة العمل على مميزة كثافة التيار مع الجهد استجابة الأوليد للتيار والذي يعطى بالعلاقة :

$$I_{Ac(t)} = I_m \sin(2\pi ft + \vartheta)$$

حيث أن ϑ : الزاوية الموافقة لانزياح الطور بين الجهد والتيار .

حسب قانون أوم الممانعة العقدية تعطى بالعلاقة التالية :

$$Z = \frac{V}{I} = Z'j + Z''$$

$$Z = \sqrt{Z'^2 + Z''^2} , \arctan(\vartheta) = \frac{Z''}{Z'}$$

حيث أن : Z', Z'' تمثلان الجزء الحقيقي والتخيلي للممانعة العقدية على التوالي .



الشكل (6) جهاز الممانعة المطيافية Solartron

إن هذه الممييزة تم قياسها بواسطة جهاز الممانعة المطيافية سولاترون والذي مجاله الترددي يقع بين (1-100000Hz). إن النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة هذا الجهاز تسمح لنا بالحصول على الممييزات التالية : (ϑ, f) , (C, V) , $(|Z|, V)$, (C, f)

5- النتائج والمناقشات :

- تأثير عوامل الإجهاد على تطور حياة الأوليدات المدروسة

يوضح الجدول (4) مدة حياة الأوليد والتي تم قياسها (بعد انخفاض شدة الضياء إلى سبعين بالمئة من قيمتها الأولية LT70 ومن ثم بعد انخفاضها إلى خمسن بالمئة من

قيمتها الأولية LT50) . إن النسبة LT50/LT70 تعطي دلالات مهمة عن كيفية تطور سرعة تقادم الجهاز فإذا كانت قيمة هذه النسبة أكبر من 1.66 فإن سرعة التقادم بعد الوصول إلى مدة حياة LT70 تصبح أبطأ من سرعة التقادم قبل الوصول إلى LT70 ، أما إذا كان هذه النسبة أكبر من 1.66 كان عكس ما سبق ، وفي حال كانت النسبة مساوية لـ 1.66 فإن التقادم يحدث بسرعة ثابتة طوال زمن التقادم

جدول (4) مدة حياة الأوليدات المتقدمة بشكل متسارع

OLED	عوامل الإجهاد			Lo Ca/m ²	مدة حياة الأوليدات مقدره بالساعة		
	T (C°)	J (mA/cm ²)			LT70	LT50	LT50/l
OSRAM RMW - 046	1	60	11.25	1232	472	869	1.84
	2	60	13	1412	327	606	1.853
	3	60	15	1591	283	539	1.9
	4	60	17	1872	194	343	1.76
	5	60	0	602	LT89 = 2837 h		
	6	40	0	600	لا يوجد تقادم		

- تأثير الإجهاد الحراري فقط على تطور حياة الأوليدات

لقد قمنا بتطبيق إجهاد حراري على جهاز OLED من نوع OSRAM RMW-046 كالتالي :

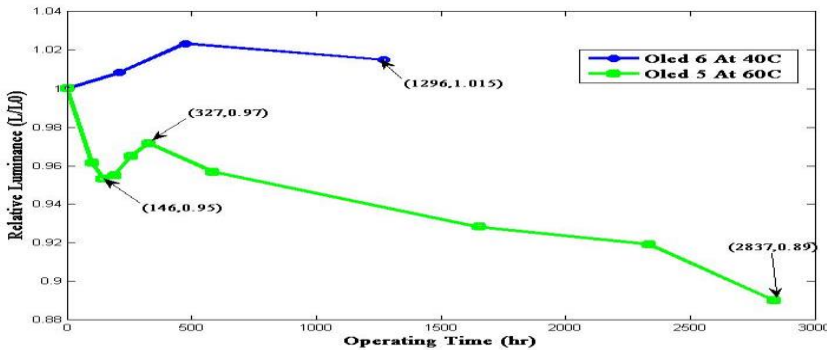
- تم تطبيق إجهاد حراري بقيمة 40°C لمدة 1296h على الأوليد رقم 6 لم يؤثر هذا الإجهاد في شدة الضياء الأولية لهذا الأوليد .

- تم تطبيق إجهاد حراري بقيمة 60°C على الأوليد رقم 5 وقد سبب هذا الإجهاد انخفاض شدة ضياء الجهاز %11 تقريباً من قيمته الأولية بعد مرور 2837h .

إن الحرارة وحدها لا تسبب الضرر لأجهزة الأوليد مالم تتجاوز درجة حرارة التحول البلوري لأحد المواد العضوية المستخدمة في صناعة جهاز الأوليد ، تسمح هذه النتيجة بالقول أن جهاز (OLED OSRAM RMW-046) يتكون من جميع مواد عضوية واحد منها على الأقل درجة تحوله البلوري أقل من 60°C .

يوضح الشكل (7) المنحني النسبي (L/L0,T) ثلاثة مراحل لتطور حياة الأوليد مرحلة أولى من التقدّم السريع تتخفّض فيه شدة الضياء بنسبة 5% من قيمتها الأولية عند 146h المرحلة الثانية تحسن شدة الضياء للجهاز بنسبة 2% من شدة الضياء الأولية بين المجال (146-327)hr

المرحلة الثالثة مرحلة التقدّم البطيء طويلة الأجل والتي أدت إلى انخفاض عام بشدة ضياء الجهاز بمقدار %11 من شدة الضياء الأولية للجهاز بعد مرور أكثر من 2800 ساعة عمل .



الشكل (7) تطور شدة الضياء النسبي مع زمن الإجهاد للأوليدات (5,6) تحت تأثير الإجهاد الحراري فقط

يمكن تفسير المرحلة الأولى من خلال فرضيتين :

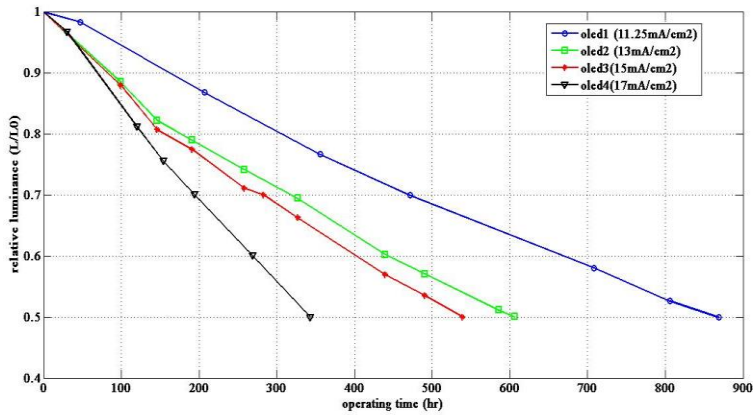
1- التغير المورفولوجي للمواد العضوية الناتج عن درجة الحرارة، حيث ان المواد العضوية توجد بحالة شبه مستقرة بعد التبخير وهذه المواد تتبلور تحت تأثير درجة الحرارة التي تتجاوز درجة التحول البلوري [11].

2- نشوء حقل كهربائي داخلي بواسطة أيونات متحركة أو عن طريق استقطاب بعض الجزيئات العضوية التي تعارض المجال الكهربائي المطبق [8].

في حالتنا تم تطبيق إجهاد حراري فقط ولذلك فإن الفرضية الأولى هي التفسير الأكثر ترجيحاً للمرحلة الأولى من التقادم السريع فيما يتعلق بالمرحلة الثانية من التحسن السريع هناك عدة فرضيات ممكنة مثل تحسن حركة الشحنات ، تحسن حقن الشحنات أما المرحلة الثالثة من التقادم لبطيء فيمكن تفسيرها من خلال عودة تبلور المواد العضوية ولكن بمعدل أبطأ من المرحلة الأولى .

- تأثير الإجهاد الحراري والكهربائي على تطور حياة الأولييد

لقد قمنا بتطبيق إجهاد حراري عند درجة حرارة $60C^{\circ}$ وإجهاد كهربائي من أجل كثافة تيار $(11.25,13,15,17) mA/cm^2$ على الأوليدات (1,2,3,4) على التوالي



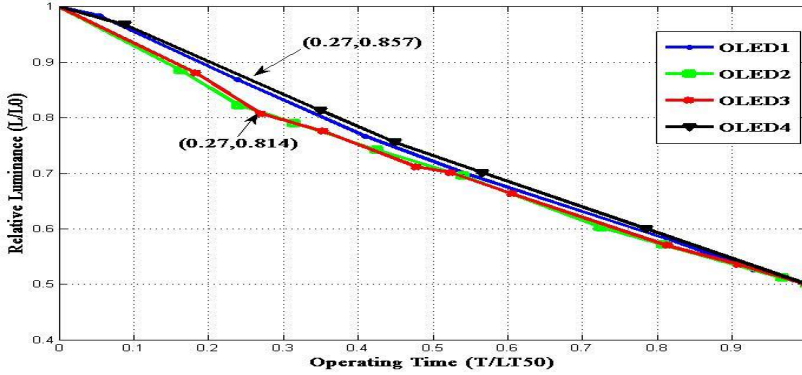
الشكل (8): تطور شدة الضياء النسبي للأولييدات (1,2,3,4) تحت تأثير الإجهاد الحراري والكهربائي

نجد أن تأثير تطور شدة الضياء بالإجهاد الكهربائي يزداد مع زيادة كثافة التيار فهو أقل تأثيراً عند كثافة تيار $11.25 mA$ وأعلى تأثيراً عند كثافة تيار $17 mA/cm^2$ أما عند

كثافة تيار $(13,15)\text{mA/cm}^2$ فلهما نفس التأثير على شدة الضياء في أول 100h من الإجهاد وبعدها يصبح تأثير كثافة التيار 15mA/cm^2 أعلى بقليل من تأثير كثافة التيار 13mA/cm^2

من الشكل (8) الذي يظهر أنه عند درجة حرارة ثابتة 60C° فإن زيادة شدة التيار تؤدي إلى زيادة سرعة التقادم بشكل ملحوظ غير أن هذا الشكل لا يظهر فيما إذا كانت الزيادة في شدة التيار وحدها هي المسؤولة عن زيادة سرعة التقادم .

من أجل تقييم تأثير زيادة شدة التيار على آلية التقادم سوف نستخدم الطريقة المقترحة من قبل (Tag) والتي تقوم على إعادة رسم الشكل (8) يعد نسب محور الإحداثيات الأفقي (الزمن) إلى مدة الحياة $LT50$ لكل أوليد فنحصل على الشكل (9) فإذا كانت المنحنيات الناتجة متطابقة (نفس شكل المنحني) فإن زيادة سرعة التقادم لا يمكن ربطها إلا بزيادة شدة التيار والاجهاد الحراري المطبق ، أما إذا كانت المنحنيات غير متطابقة فإن هناك أسباب أخرى أدت إلى زيادة سرعة التقادم غير تلك الناتجة عن الإجهاد الكهربائي.



الشكل(9): علاقة شدة الضياء النسبي مع زمن التشغيل منسوبا إلى قيمة زمن الحياة $LT50$ لكل أوليد

الشكل (9) يوضح بأن المنحنيين الموافقين للأوليدات 2,3 متطابقان تقريبا مما يدل على أنهما يخضعان إلى نفس آلية التقادم و أن المنحنيين الموافقين للأوليدات 1,4 متطابقان

تقريباً أيضاً فهما يخضعان إلى نفس آلية التقادم. بشكل عام نلاحظ من الشكل أن المنحنيات الأربعة الموافقة للأوليدات المدروسة (1,2,3,4) متقاربة جداً ويمكن أن يعزى الاختلاف بينها إلى الاختلاف في تأثير أثر جول الحراري (عامل تقادم ذاتي) وبتقريب مقبول يمكن القول أن جميع الأوليدات تخضع لنفس آلية التقادم حيث أن أكبر فارق في شدة الضياء النسبي بين المنحنيات الأربعة عند زمن نسبي 0.27 هو 0.043 لتعود المنحنيات الأربعة لتتقارب وتصبح شبه منطبقة ضمن المجال الزمني النسبي (1-0.5)

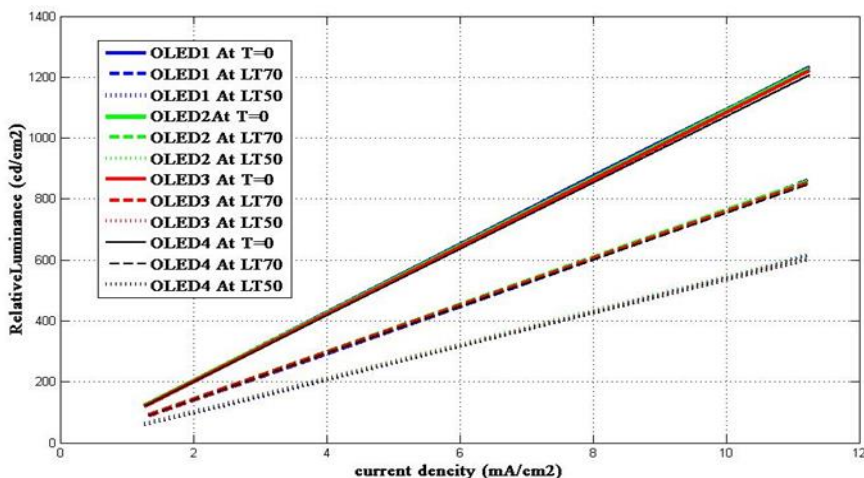
- تطور خاصية شدة الضياء مع كثافة التيار

يوضح الجدول (5) ميل منحنيات مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار لكل أوليد من الأوليدات المدروسة كما يوضح الشكل (10) مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار لأجهزة أوليد أوزرام المدروسة ويمكن اعتبار هذه المميزة خطية.

جدول(5) : يوضح ميل مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار لكل أوليد عند T=0,LT70,LT50

OLED Slope	1	2	3	4
At T=0	111.365	110.66	110.36	108.86
AT LT70	77.89	77.63	77.13	76.62
AT LT50	55.5	55.38	54.88	54.28

وقد تناقص ميل المنحنيات للأوليد 1 من 111.365 قبل التقادم إلى 77.887 بعد الوصول إلى مدة حياة LT70 وإلى 55.5 بعد الوصول إلى مدة حياة LT50 إن تناقص الميل يعتبر دلالة على فقدان الفعالية الضوئية للجهاز حيث أن مردود التيار (cd/A) يساوي الميل مقسوم على عشرة إذاً مردود التيار الضوئي قد تناقص من 11.1365 قبل التقادم إلى 7.7887 بعد الوصول إلى LT70 وإلى 5.55 بعد الوصول إلى LT50 .



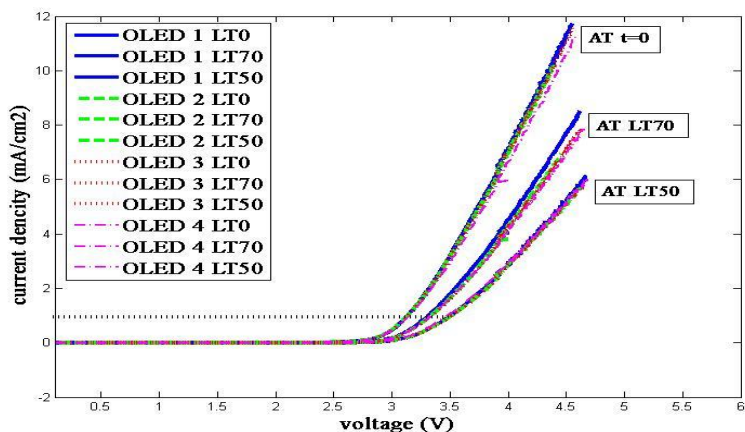
الشكل(10) مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار للأوليدات (1,2,3,4) عند $T=0,LT70,LT50$

تطور الخواص الكهربائية

لقد قمنا بمتابعة تطور الخصائص الكهربائية للأوليدات المدروسة خلال فترة التقادم المتسارع وسنقوم بعرض النتائج

- تطور مميزة كثافة التيار مع الجهد

لقد قمنا بإنجاز مميزة كثافة التيار مع الجهد للأوليدات المدروسة عند ثلاثة نقاط قبل التقادم وعند الوصول إلى $LT70$ ومن ثم عند الوصول إلى $LT50$ يوضح الشكل(11) مميزة كثافة التيار مع الجهد لجميع الأوليدات المدروسة ضمن الإحداثيات الخطية . يمكن أن نلاحظ أن مميزة كثافة التيار مع الجهد ولجميع الأوليدات قد انزلت نحو اليمين مع زمن التقادم وهذا الانزياح قد ازداد مع ازدياد زمن التقادم من أجل قيمة محددة لكثافة التيار وجدنا أن الجهد اللازم لإمرار هذه القيمة قبل التقادم هو أقل من قيمة الجهد اللازم لإمرارها بعد التقادم .



الشكل (11) علاقة الجهد مع كثافة التيار للأوليدات 1,2,3,4 عند النقاط الزمنية $T=0,LT70,LT50$

إن جهد العتبة في هذه التجربة هو الجهد اللازم لإمرار تيار قيمته $1\text{mA}/\text{cm}^2$ إن قيمة جهد العتبة قبل التقادم لجميع الأوليدات 3.1V وقد ازدادت هذه القيمة إلى 3.3V بعد التقادم إلى $LT70$ ومن ثم ازدادت إلى قيمة 3.5V بعد التقادم إلى $LT50$ ونجد أن الجهد الإسمي اللازم لإمرار التيار الإسمي الموافق لكثافة تيار $5.5\text{mA}/\text{cm}^2$ قد ازداد من 3.7V قبل التقادم إلى 4.25V بعد التقادم إلى $LT70$ وازداد إلى 4.56V عند الوصول إلى $LT50$.

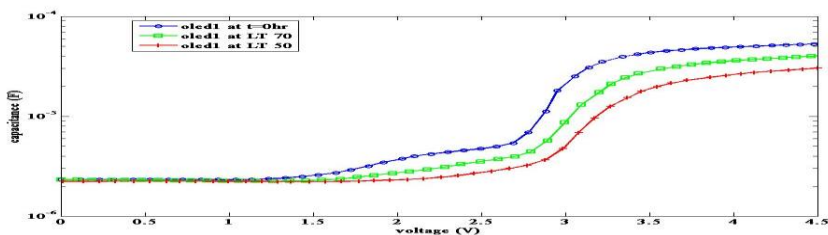
- تطور مميزة السعة مع الجهد (C,V):

قمنا بإنجاز مميزة السعة عند جهد متغير (C-V) عند تردد ثابت قيمته 1000Hz لجميع الأوليدات عند ثلاثة نقاط قبل التقادم $T=0$ وعند الوصول إلى مدة حياة $LT70$ وعند الوصول إلى مدة حياة $LT50$. الشكل (12) يوضح مميزة السعة مع الجهد من أجل النقاط المذكورة ضمن إحداثيات نصف لوغاريتمية و نستنتج منه بأن السعة الجيومترية لم تتغير بعد التقادم على عكس سعة الإنتشار التي تتناقص بشكل ملحوظ حيث أن المميزة (C,V) انزاحت نحو اليمين بعد التقادم. على سبيل المثال إن السعة الكلية للأوليد رقم 1 عند جهد 3.7V وتردد 1000Hz مساوية لـ $46.21\mu\text{F}$ وتتناقص

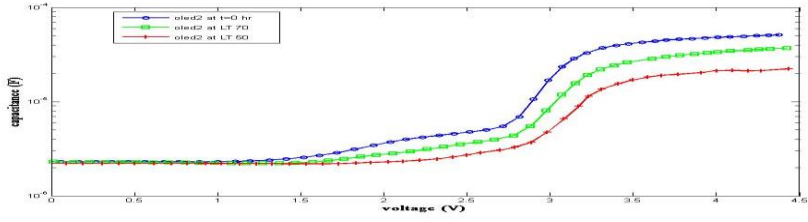
إلى القيمة $32.9\mu\text{F}$ عند الوصول إلى LT70 وتتناقص إلى القيمة $22.91\mu\text{F}$ عند الوصول إلى LT50 .

إذاً يمكن القول بأن كمية الشحنات المحقونة في الأوليد تناقصت بعد التقادم من أجل نفس جهد الإنحياز المطبق . إن تناقص السعة الكلية للأوليد يمكن أن يفسر بتناقص كمية الشحنات المحقونة ضمن المادة العضوية وهذا مرده الى ازدياد قيمة الجهد اللازم تطبيقه على الأوليد من أجل ان يتم حقن الشحنات وهو على الأغلب ناتج عن التقادم عند السطح الفاصل بين الإلكترودين من جهة والطبقات العضوية من جهة اخرى .

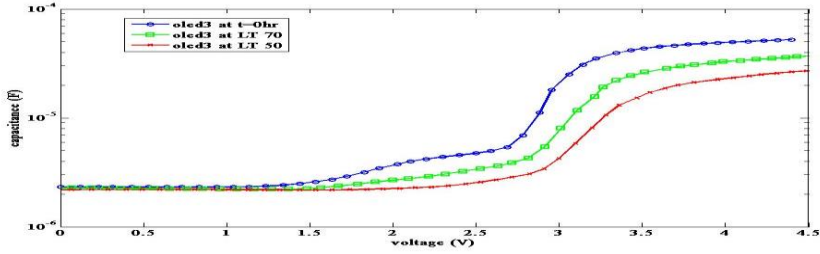
إن المميزة (C,V) تقدم معلومات حول جهد العتبة وحقن ونقل واتحاد الشحنات ضمن المادة العضوية وتطورها خلال التقادم ، وإن هذه المعلومات تتوافق مع المعلومات التي حصلنا عليها من المميزة (J,V) .



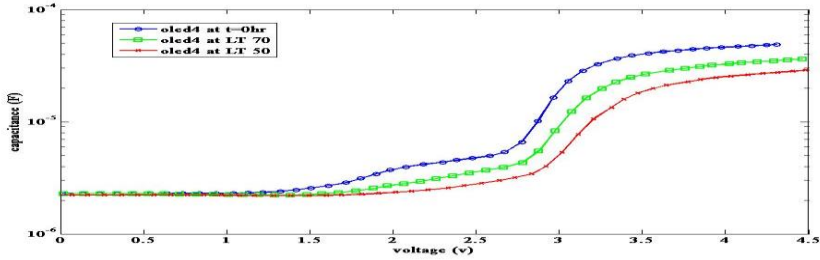
(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل (12) a,b,c,d تمثل علاقة السعة بالجهد عند تردد ثابت 1000Hz للأوليدات 1,2,3,4

- تطور مميزة الممانعة العقدية مع التردد

إن الممانعة العقدية للأوليد تعطى بالعلاقة التالية :

$$\hat{Z} = \frac{\hat{V}}{\hat{I}} = Z' - jZ''$$

حيث أن Z' , Z'' القسم الحقيقي والتخيلي على التوالي للممانعة العقدية .

إن طولية الممانعة العقدية تعطى بالعلاقة التالية :

$$\hat{Z} = \sqrt{Z'^2 + Z''^2}$$

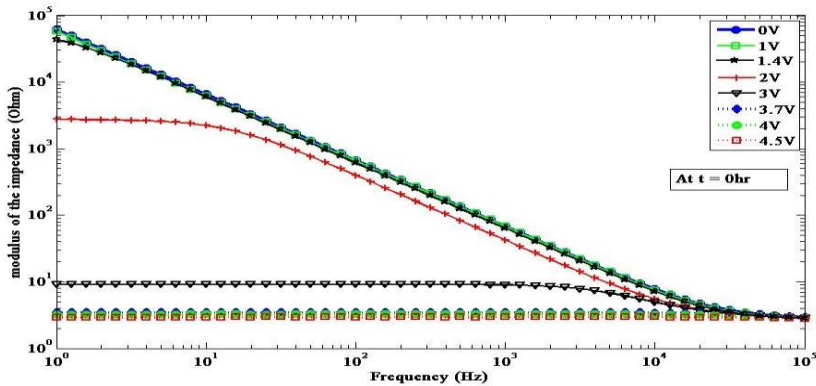
إن زاوية الطور تعطى بالعلاقة التالية :

$$\vartheta = -\tan^{-1} \frac{Z''}{Z'}$$

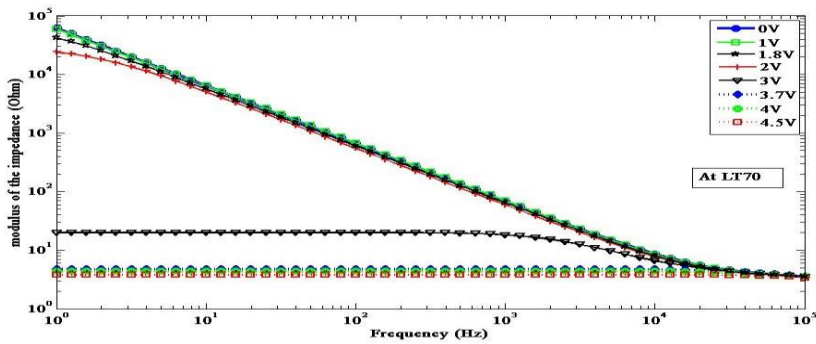
إن الشكل (13) يبين مميزة طويلة الممانعة العقديّة مع التردد ($|Z|, f$) ومميزة زاوية الطور مع التردد (ϑ, f) للأوليد من نوع Osram RMW-046 عند ثلاثة نقاط قبل التقادم $T=0$ وعند الوصول إلى LT70 وعند الوصول إلى LT50 وذلك من أجل قيم مختلفة لجهد الانحياز .

من أجل الجهود المنخفضة نلاحظ بأن طويلة الممانعة وأياً تكن مدة التقادم مستقلة عن الجهد المطبق وذلك حتى قيمة 1.4V للجهد قبل التقادم $T=0$ و 1.8V عند الوصول إلى LT70 و 1.9V عند الوصول إلى LT50 ومرتبطة بالتردد حيث أنها تنخفض بسرعة مع ازدياد التردد .

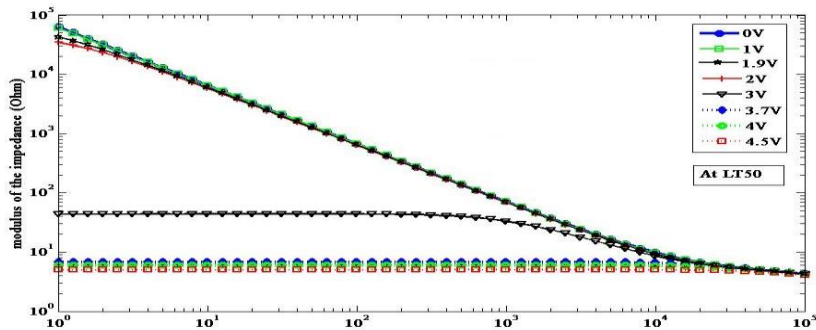
ونلاحظ بأن طويلة الممانعة تبدأ بالتناقص مع ازدياد التردد اعتباراً من القيم السابقة للجهد وتصبح أقل اعتماداً على قيمة التردد حتى تصبح مستقلة عن التردد من أجل جهد 3.7V أي أنه من أجل جهد انحياز ضمن المجال (1.4-3.7) قبل التقادم وضمن المجال (1.8-3.7) عند الوصول إلى LT70 وضمن المجال (1.9-3.7) عن الوصول إلى LT50 فإن طويلة الممانعة تتناقص مع ازدياد الجهد لتصبح عند قيمة 3.7V مستقلة عن الجهد والتردد.



(a)



(b)

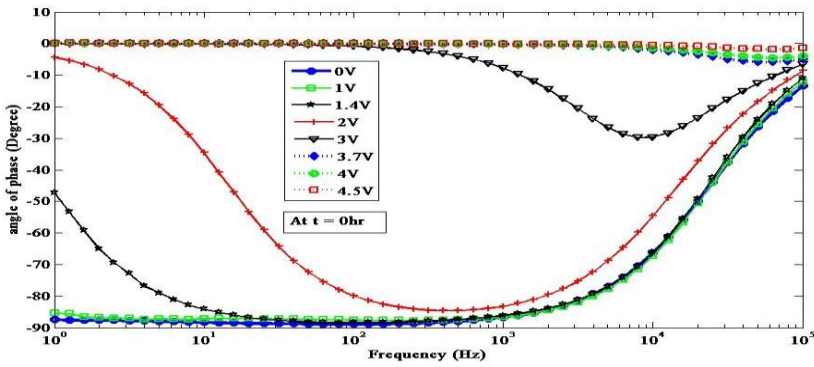


(c)

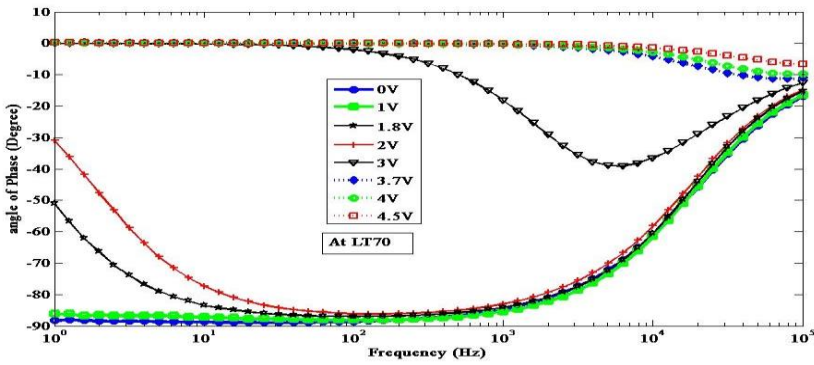
الشكل (13) a,b,c تمثل علاقة طويلة الممانعة مع التردد للأوليد1 عند قيم مختلفة للجهد عند النقاط الزمنية T=0,LT70,LT50

- مميزة زاوية الطور مع التردد :

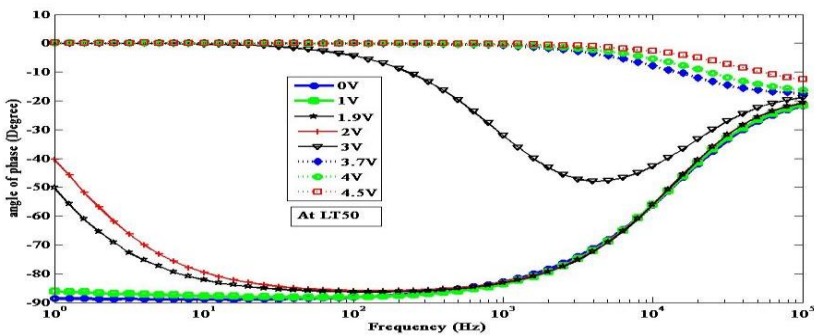
زاوية الطور تتراوح بين $(0, -90)$ وهذا يمكن أن يعبر عنه بالاستجابة من نوع مقاومة وسعة للأوليد المدروس كتابع للتردد والجهد. من الشكل (14) نلاحظ بأن الأوليدات المدروسة تتصرف كسعة صرفة ضمن المجال $V(0-1.4)$ قبل التقادم في حين أنها تظهر استجابة من نوع مقاومة عندما يتم حقن الشحنات في المادة العضوية اعتباراً من القيم $(1.4, 1.8, 1.9)$ قبل التقادم وعند الوصول إلى $LT70$ ومن ثم عند الوصول إلى $LT50$ على الترتيب حيث أن المادة العضوية لا يمكن اعتبارها بعد حقن الشحنات كعازل مثالي لوجود نقل للشحنات ضمن المادة العضوية وهذا يشرح التصرف الترددي للأوليد .



(a)



(b)



(c)

الشكل (14) : a,b,c تمثل العلاقة بين زاوية الطور والتردد للأوليد 1 عند قيم مختلفة للجهد عند نقاط
زمنية T=0,LT70,LT50

6- الدارة المكافئة :

بالاعتماد على التحليل السابق للسلوك الكهربائي للأوليدات المدروسة قمنا باقتراح دارة كهربائية مكافئة للأوليدات هذه الدارة تتألف من عنصرين (R-C) على التفرع موصولين مع بعضهما على التسلسل وهما بدورهما موصولان مع مقاومة R_s على التسلسل . تمثل المقاومة R_s مقاومة السطح الفاصل بين الإلكترودين من جهة والطبقات العضوية من جهة أخرى ، ونمثل كل من الطبقة العضوية الناقلة للإلكترونات والناقلة للثقوب بمقاومة وسعة موصولتين على التفرع.

ممانعة الدارة المكافئة تعطى بالعلاقة :

$$Z = R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + j\omega C_1} + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2}$$

$$Z = \left[R_s + \frac{R_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{R_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \right] - j \left[\frac{\omega R_1^2 C_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{\omega R_2^2 C_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \right]$$

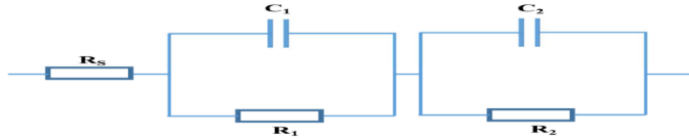
الجزء الحقيقي والتخيلي للممانعة Z', Z'' تعطى بالعلاقة التالية :

$$Z' = R_s + \frac{R_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{R_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2}$$

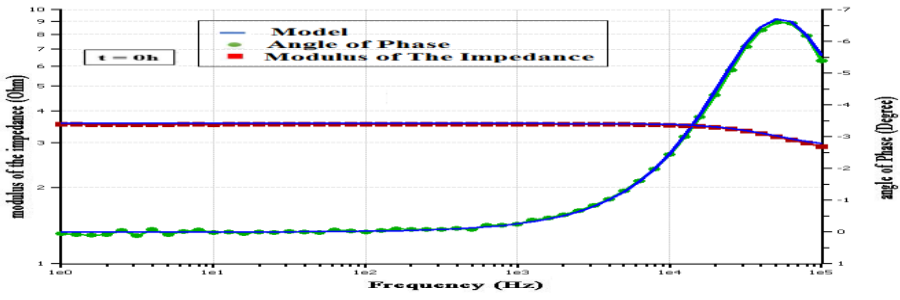
$$Z'' = \frac{\omega R_1^2 C_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{\omega R_2^2 C_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2}$$

من أجل مجال التردد من 0 إلى ∞ فإن $Z', Z'', |Z|$ تعطى بالعلاقات التالية :

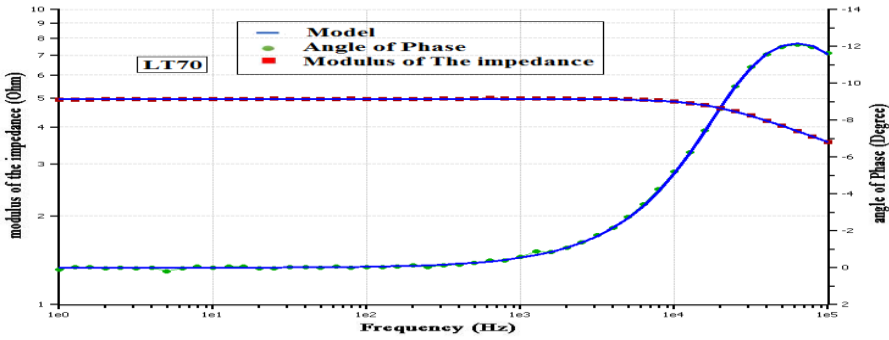
عند $\omega = 0$ فإن $Z' = R_s + R_1 + R_2$ و $Z'' = 0$ و $|Z| = R_s + R_1 + R_2$ لقد قمنا بإنجاز جميع القياسات على جميع الأوليدات ضمن المجال (1-100000)Hz حدود المجال فرضتها خصائص جهاز القياس المستخدم .



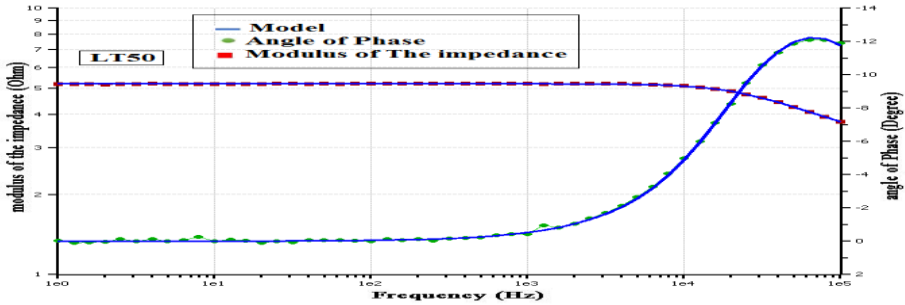
الشكل (15) نموذج الدارة المكافئة



(a)



(b)



الشكل (16) مقارنة علاقة طويلة الممانعة وزاوية الطور المقاسة مع التردد مع مثيلاتها الناتجة عن النموذج الكهربائي

الشكل (16) يمثل المنحنيات $(|Z|, f)$ ، (θ, f) باستخدام نموذج الدارة المكافئة لأوليدات OSRAM RMW-046 عند جهد انحياز أمامي 3.7V وعند النقاط قبل التقادم $T=0$

وعند LT70 و عند LT50 بالمقارنة مع تلك المنحنيات المرسومة باستخدام نتائج القياس عند نفس جهد الانحياز والنقاط الزمنية. من هذا الشكل نستطيع أن نتحقق أن المنحنيات الناتجة عن نموذج الدارة الكهربائية المفروضة تنطبق تماماً مع المنحنيات الناتجة عن القياسات التجريبية وهذا النموذج يبقى صالحاً للاستخدام حتى بعد التقادم مع تغيير قيم عناصر الدارة الكهربائية المكافئة من أجل نفس قيمة الجهد. الجدول (6) يوضح قيم عناصر الدارة الكهربائية للأوليدات المدروسة وتطورها من أجل جهد انحياز أمامي 3.7V وتردد 1KH .

نستطيع أن نلاحظ بأن قيمة المقاومة R_s ازدادت بشكل طفيف بالمقارنة مع ازدياد R_1 , R_2 بنفس الوقت فإن قيمتي C_1 , C_2 تتناقصا مع ازدياد زمن التقادم .

إن تطور قيم عناصر الدارة المكافئة يتوافق مع النتائج التي حصلنا عليها حيث أن مقاومة السطح الفاصل بين الإلكترودين والطبقات العضوية قد ازدادت وهذا يمكن تفسيره بانتشار عنصري الانديوم والأكسجين انطلاقاً من المصعد ضمن الطبقات العضوية تحت تأثير الإجهاد الكهربائي المطبق وهذا الانتشار يؤدي بنفس الوقت الى انخفاض حركية الشحنات ضمن الطبقات العضوية حيث أن الأكسجين والإنديوم على الترتيب يلعبان دور فحوخ للتقوب و للإلكترونات وهذا بدوره يؤدي الى ازدياد مقاومة الطبقات العضوية بالإضافة إلى التقادم الناتج عن تغير بنية الجزيئات العضوية تحت الاجهاد الحراري وهذا ما وجدناه في تطور المقاومات التفرعية في الموديل المفروض .

ان انتشار الشوائب من المصعد ضمن الطبقات العضوية يؤثر سلباً على كفاءة الاوليد حيث ترتفع قيمة طويلة الممانعة للجهاز ويزداد جهد العمل الاسمي اللازم لتمرير قيمة التيار الاسمي.

جدول (6) قيم عناصر الدارة الكهربائية المكافئة لكل أوليد من الأوليدات المدروسة $T=0,LT70,LT50$

OLEDS		1	2	3	4
		Electrical element			
At T=0	$R_s(\Omega)$	2.79	2.868	2.99	3.04
	$R_1(\Omega)$	0.3752	0.5514	0.2731	0.33
	$R_2(\Omega)$	0.3722	0.3332	0.3271	0.3615
	$C_1(\mu F)$	9.03	7.487	13.71	11.64
	$C_2(\mu F)$	9.103	12.39	13.64	11.63
At LT70	$R_s(\Omega)$	3.021	3.172	3.3485	3.239
	$R_1(\Omega)$	1.191	1.369	1.15	1.304
	$R_2(\Omega)$	0.7699	0.9297	1.0372	0.9086
	$C_1(\mu F)$	4.423	4.405	5.4095	4.316
	$C_2(\mu F)$	2.14	1.902	2.1761	1.806
At LT50	$R_s(\Omega)$	3.323	4.53	3.525	3.535
	$R_1(\Omega)$	2.354	2.829	2.8	2.258
	$R_2(\Omega)$	1.649	2.065	2.116	1.685
	$C_1(\mu F)$	3.618	3.668	3.738	3.607
	$C_2(\mu F)$	1.078	0.8778	0.976	0.9797

التوصيات :

- 1- إن انتشار الإنديوم اعتباراً من المصدر ضمن المادة العضوية يعتبر أحد الأسباب المؤدية لتسريع تقادم الأوليد وتخفيض عمره لذلك يوصى بالبحث عن مواد بديلة لأكسيد الإنديوم والقصدير في صناعة المهبط حيث تبين من التجارب الأثر السلبي للإنديوم على عمر الأوليد وكفاءته.
- 2- إضافة مادة عضوية تشكل حاجز طاقي بالنسبة للشحنات ذات الكثافة الأعلى مع اتخاذ اجراء لتقادي ارتفاع الحرارة الناتج عن فعل جول بتزويد الأوليد بمشع حراري من الألمنيوم الذي يساهم في تبريد الأوليد وتقادي الآثار السلبية لارتفاع درجة الحرارة على عمل الأوليد.
- 3- استخدام مواد عضوية ذات درجة حرارة تحول بلوري مرتفعة نسبياً في صناعة الديود العضوي الباعث للضوء.

المراجع العلمية :

- [1] SCHOLS,S 2011- **Device Architecture and Materials for Organic Light-Emitting Devices** . Springer Dordrecht Heidelberg , London New York, 154 P.
- [2] Mazzeo,M 2010- **Organic Light Emitting Diode** . Sciyo, India, 172 p

- [3] LI,Z et MENG.H 2007- **Organic Light-Emitting Materials and Devices**.Taylor & Francis Group, London New York,672P.
- [4] SO,F 2010 - **Organic Electronics: Materials, Processing, Devices and Applications** .Taylor & Francis Group, London New York,567P.
- [5] BUCKLEY,A 2013- **Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs)- Materials, Devices and Applications**. Woodhead Publishing Limited ,Oxford Cambridge New Delhi , 647P.
- [6] HWAN KO.S 2011-**Organic Light Emitting Diode – Material, Process and Devices**. InTech, Croatia , 322P.
- [7] GASPAR,D 2015- **OLED Fundamentals Materials, Devices, and Processing of Organic Light-Emitting Diodes**. Taylor & Francis Group, London New York ,254p .
- [8] HUBY,N 2006- **Optoelectronics of molecules and polymers** . Springer ,france,284 P.
- [9] KANG,H 2016. [En ligne]. Available: <http://www.olednet.com/en/lighting-oled/?ckattempt=1>.
- [10] MOLITON.A 2011 - **Electronique et optoelectronique organiques** . Springer,france, 540P.
- [11] KHANNA.V 2014 - **Fundamentals of Solid-State Lighting**. Taylor & Francis Group,London New York

,563P.