

## **Study the Resposory And Quantum Efficiency of Silicon P-N Junction by Using Pulse Plasma**

**<sup>1\*</sup> Salah A. Sheet, <sup>2</sup> Mohammad N. Abdulwahab**

Department of Physiology and Physics, College of Medicine, University of Ninevah, Mosul, Iraq

E-mail: <sup>1\*</sup> [Drsalah53@gmail.com](mailto:Drsalah53@gmail.com), <sup>2</sup> [mohammed.abdulwahab@uoninevah.edu.iq](mailto:mohammed.abdulwahab@uoninevah.edu.iq)

(Received April 08, 2012; Accepted May 08, 2013; Available online December 01, 2020)

DOI: [10.33899/edusj.2020.167287](https://doi.org/10.33899/edusj.2020.167287), © 2020, College of Education for Pure Science, University of Mosul.  
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### **Abstract**

In this work we have used plasma pulsed injector to prepare a P-N junction. Antimony was deposited on P-type silicon wafer and Indium was deposited on N-type silicon wafer. They were considered as thin film which was bombarded with accelerated hydrogen-ions from the pulsed plasma injector.

Optical tests were conducted for the both junctions to evaluate their performance as optical detectors. These include the spectral response quantum efficiency and detectivity. They showed high response and efficiency for the long wavelength in the near IR region. It showed a relatively higher detectivity which increased with the number of discharges.

For antimony and indium implanted samples we have noticed an increase in the response time of the detector with the number of discharges. These findings allow the possibility to use them in the near IR-detector and semiconductor lasers in the wavelength range 850-950nm as well as in the applications of optical communication systems.

This work also revealed the possibility of using the pulsed plasma injection to modify the material surfaces as well as the altering the semiconductor surfaces.

**Keywords:** P-N Junction - Pulse Plasma - Irradiation

**دراسة الاستجابية والكفاءة الكمية لنبتية P-N السيليكونية المحضرة بطريقة بلازما الحاقن النبضي**

**صلاح عبد الوهاب شيت<sup>1\*</sup> و محمد نافع عبد الوهاب<sup>2</sup>**

كلية طب نينوى، جامعة نينوى، الموصل، العراق

### **الخلاصة**

استخدمت منظومة حاقن البلازما النبضي لتحضير ثنائي وصلة P-N Junction حيث تم ترسيب مادة الأنتيمون على شريحة السيلكون نوع توصيلية P ومادة الانديوم على شريحة السيلكون نوع توصيلية N كأغشية رقيقة وقصفت النماذج بأيونات الهيدروجين المعجلة والمتولدة في منظومة حاقن البلازما النبضي.

اجريت الفحوصات البصرية للثنائيات المحضرة لتقييمها ككواشف بصرية والتي شملت فحوصات الاستجابية الطيفية والكفاءة الكمية والتحسسية وقد أظهرت النتائج بأن هذه الكواشف ذات استجابية وكفاءة كمية أعلى للأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء

القريبة. وقد أظهرت كذلك تحسسية عكسية نسبيا وان الاستجابية والتحسسية تزداد بزيادة عدد التفريغات الكهربائية للنماذج المحضرة ولوحظ زيادة في زمن استجابة الكشف بزيادة تعرض النماذج إلى عدد أكبر من التفريغات الكهربائية للنماذج المطعمة بالأنثيمون والاندنيوم مما يتيح استخدامها في كواشف الاستقبال العاملة في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة وفي منظومات الليزر لأشباه الموصلات العاملة ضمن الأطوال الموجبة (850nm إلى 950nm) وفي منظومات الاتصالات البصرية. وكذلك إمكانية استخدام منظومة حاقن البلازما النبضي في تحوير سطوح المواد وخاصة في مجال تحوير سطوح أشباه الموصلات.

**الكلمات المفتاحية:** نبطية p-n - الحاقن النبضي - التشعيع

## 1-1 مقدمة:

في حالة المكائن ذات الجدران المعدنية فان التفريغ يكون مساره من القطب الموجب إلى الجدران بحيث يتقوس غلاف التيار في مقدمة القطب ليكون القرص باتجاه Z وبما يمكن من الحصول على تركيز عالي للأيونات والتي تقدر بحوالي  $10^{19} \text{ion/cm}^3$  بدلا من  $10^{17} \text{ion/cm}^3$  في المنظومات التقليدية بينما يكون توزيع شدة النيوترونات المنبعثة متماثلا تقريبا [1, 2].

لقد طور العالم Filipov حجيرة القرص باتجاه Z بوجود جدار موصل في ماكينة التبرؤ Focus Machine الشكل (1a) وفي نفس الوقت فان العالم Mather استطاع أن يطور منظومة تبرؤ البلازما من منظومة مارسال الشكل (1b) [3]. ولغرض دراسة الصفات الفيزيائية لتبرؤ البلازما تم انجاز العديد من المنظومات التي تستند على الشكل الهندسي للمنظومتين أنفتي الذكر وبتقييسات تختلف باختلاف الطاقات المستخدمة بدءا من KJ1 وحتى MJ1 وعند ضغوط مختلفة لغاز الديتريوم بمدى (0.5-10 Torr) وبفولتيات شحن تتراوح ما بين (10-10KV) في كلا النوعين أنفي الذكر ( - Filipov Mather) عند حدوث التفريغ الكهربائي تنزلق البلازما على طول العازل نزولا منه نحو القطب الكهربائي الخارجي عند زمن قدره ( $t_1$ ) وعلى أثر ذلك بتعجل غلاف البلازما (Plasma sheath) الناقل للتيار محوريا (نوع Mather) أو قطريا نحو الداخل (نوع Filipov) بفعل القوة (JXB) حتى نهاية القطب الكهربائي عند الزمن ( $t_2$ ) حيث تتصدع البلازما في المستوى المواجه لمركز القطب الداخلي متحولة إلى القرص نوع Z وبقطر صغير يقدر بحوالي (1mm) وكما أن قرصا ثانيا يتلو الأول بتأخير زمني قدره (100-50ns) [1, 4].

تصل كثافة البلازما في طور التبرؤ إلى  $10^{19} \text{ion/cm}^3$  ودرجات حرارة الكترونية تقدر بحوالي عدة آلاف من الالكترون فولت كما يكون هذا التبرؤ مصحوبا بانبعثات نيوترونات وبحصيلة تصل إلى  $10^{12}$  نيوترون اضافة إلى انبعثات الأشعة السينية الواهنة والحادة والحزم الأيونية والالكترونية ذات الطاقات العالية [4, 5].

## 1-2 مكونات حاقن البلازما النبضي:

يتكون حاقن البلازما النبضي (Pulse Plasma Injection (PPI) من عدة منظومات ثانوية وفرعية بتناغم منظم للحصول على الأداء المطلوب وكما في الشكل (3) ومن هذه المنظومات الفرعية:

### **1-2-1 حجرة التأين:**

وهي عبارة عن اسطوانة معدنية من مادة الفولاذ المقاوم للصدأ مثبت فيها قطبي التفريغ الكهربائي ونوافذ أو أماكن خاصة لاستخدامها للفحوصات والقياسات وتوصيلات التفريغ الغازي وضخ الغاز .  
تكون مادة الاقطاب من النحاس وعلى هيئة اسطوانتين متحدتي المركز ويتم تصنيع الاسطوانة الخارجية القطب الخارجي من أعمدة معدنية تحيط بالقطب الداخلي أو الاسطوانة الداخلية.

### **1-2-2 منظومة التفريغ الغازي:**

تحل هذه المنظومة الأهمية الخاصة في منظومة حاقن البلازما النبضي بأنواعها كافة حيث يعتمد الأداء على كفاءة عملية التفريغ والضخ الغازي والوصول إلى حدود تفريغ بحدود  $10^{-5}$  mbar والتي يمكن الوصول إليها باستخدام مضخة تفريغ انتشارية بحدود سعة 3000liter/Sec تدعمها مضخة تفريغ أولية دوارة بمرحلتين بسعة  $8\text{m}^3/\text{sec}$  لحدود الضغط  $10^{-3}$  mbar.

يتم قياس الضغط للحدود الواطئة باستخدام مقياس التأين الغازي نوع (Pining) وللحدود العالية يتم باستخدام مقياس المزدوج الحراري نوع (Pirany gage).

### **1-2-3 المنظومة الكهربائية:**

يتضح من مخطط منظومة حاقن البلازما النبضي المبين في الشكل (3) من الجزء الأساسي فيها هو مجموعة المتسعات (عدد 8) ذات سعة  $3\mu F$  وحثية  $40\text{nH}$  ولغرض شحن رصيص المتسعات هذا يتم استخدام مجهز قدرة مستمر التوليد فولتيات شحن من صفر إلى  $25\text{kv}$  وتيار شحن  $50\text{mA}$  أما الجزء الآخر فهو المفاتيح الكهربائية والتي تكون من نوع فجوة القذح وتكون سريعة وتستطيع تحمل الفولتيات والتيارات العالية وتجهز هذه المفاتيح بنبضات فولتية تصل إلى حدود  $90\text{kv}$  حيث تتماشى مع متطلبات التفريغ وتكون سرعة الاستجابة لتفريغ رصيص المتسعات أقل من  $20\text{nsec}$  والتي تمثل اشارة البدء Triggering pulse أما نقل الطاقة المخزونة من رصيص المتسعات إلى حجرة التأين فيتم عن طريق 16 ناقل محوري ذو حثية واطئة بحدود  $40\text{nH}/\Omega$  . وتتصف منظومة التأييض بكونها ذات مقاومة واطئة بحدود 1 أوم وحثية واطئة بحدود  $(100\text{nH}/\text{Sec})$ .

### **1-2-4 منظومة الفحص والتشخيص:**

نظرا لتشعب وتنوع الظواهر الفيزيائية في منظومة حاقن البلازما النبضي لذلك تنوعت واختلقت طرق التشخيص والقياس ومنها تسجيل شكل نبضة التيار ونبضة الفولتية الغرض وصف ديناميكية البلازما المنتجة ويستخدم ملف راكوفسكي كما في الشكل (4) لقياس التيار أثناء نشوء واضمحلال البلازما ويستخدم مجزئ جهد نبضي عالي ذو حثية واطئة لتسجيل الشكل الموجي للفولتية الخارجة وقد مررت الاشكال الموجية للتيار والفولتية على حاسبة الكترونية عبر اوسيلوسكوب (Oscilloscopes) سريعة ( 350 MHz) نصبت عليها كاميرات رقمية.

ومن أجهزة التشخيص المهمة أيضا هي الكاميرة الأيونية الدبوسية (Ionic pinhole camera) والتي تستخدم لاغراض القياسات الأيونية وبواسطتها يمكن الحصول على ص ورة مكبرة للانبعاثات الأيونية وبواسطة قذحة تفريغ مفردة أو تفريغات متسلسلة وتركب الكاميرا على حجرة التأين كما في الشكل (5) فإذا ما عرض الفلم البلاستيكي لكواشف الحالة الصلبة ذات المسارات النووية Solid state nuclear track detector (SSNTD) لعدد من قذحات التفريغ فان ذلك سيعتج الحصول على صورة ايونية تكاملية

لمجموعة التفريغات ويمكن السيطرة على عدد الأيونات التي تصل إلى الفلم البلاستيكي بتغيير قيمة الضغط العامل أو المرشحات وغالبا ما تستخدم مرشحات الالمنيوم لحجب الطاقات غير المرغوب فيها.

### **1-3 استعراض الاعمال التجريبية:**

بعد التطور الذي حصل في منظومات بؤرة البلازما الكثيفة تركز الاهتمام نحو الاستفادة منها كاحدى المصادر النيترونية النبضية بسبب كونها ذات نواتج نيترونية عالية وقد رافق هذا الاهتمام تقييس المنظومات بالاعتماد على النتائج العملية واجراء الحسابات النظرية وبناء البرامج المتعددة لحل المعادلات التي تصف اطوار البلازما بغية الوصول إلى أفضل النتائج في هذا المجال ضمن اعتبارات تصميمية وقياسية معينة.

لقد وضعت قوانين تقييس مختلفة في هذا المجال كدالة لطاقة خزن رصيص المتسعات أو دالة للتيار الاعظم  $I_{max}$  أو دالة لتيار حجيرة القرص , ففي الوقت الذي وضع فيها Rapp قانونا لتقييس المنظومة كدالة لطاقة متسعات الخزن ووجد Linil و Bernard قانونا للتقييس كدالة لتيار التفريغ [7,8]. وقد وضعت قوانين تقييس أخرى كدالة لتيار القرص فيما لاحظ بعض الباحثين بأن قوانين التقييس التجريبية الموضوعية كدالة للتيار الأعظم أو دالة للطاقة المخزونة أو تيار القرص تعطي نتائج محدودة الدقة ولمدى معين من الطاقات والتيارات [9,10,11]. ومن ناحية أخرى أجريت عدة تجارب ودراسات نظرية لتبيان مدى تأثير المعلمات الكهربائية للمنظومة على كفاءة تشغيلها ومنها ما يتعلق بالعلومات الدائرة الكهربائية الخارجية وعلى وجه الخصوص الحثية الخارجية، فولتية الادخال، التيار الاعظم للدائرة القصيرة (Short Circuit) وعلاقتها بتغير المعلمات الكهربائية للبلازما [2,6,12,13] ومنها ما يتعلق باختبار الأمثلية التشغيلية لعدة غازات نقية أو مشوبة وتبيان تأثيرهما على الحويلة النيترونية [10,11,15,16].

ان استجابة نبضية (p-n) السيليكونية تكون غير منتظمة لركائز مختلفة وتعتمد على التشعيع بالبروتونات بطاقة ( 10 Mev) وقد تم ذلك باستخدام عدة تقنيات مكملة. وقد تم من الدراسة أن التشعيع يؤثر على مميزات التيار-فولتية وكذلك على قياسات عمر الزمن والمعتمدة على درجة الحرارة عن طريق البيانات الكهربائية الناتجة من التحليل الطيفي. [18]

تم تعجيل البروتونات والايونات الثقيلة الى سرعة تقرب من سرعة الضوء في الساينكترون، بلغت الطاقة الحركية القسوى للبروتونات (7 Tev). ان تصادم شعاعين بالاتجاه المقابل قد تم دراسته في مواضع مختلفة من الساينكترون. [19,20] تم جمع جسيمات جديدة تدعى (البوزونات) عن طريق التجارب (ATLAS) و(CMS) في مكائن التصادم للهيدرونات الثقيلة [21].

في كل (25 ns) سوف تتصادم حزمتين من البروتونات وسوف ينتج عن ذلك طيف يمثل رؤوس اولية بحوادث التصادم، وعند نقاط التداخل بالاشعة خلال مساحة ( $17 \times 17 \mu m^2$ ) وبطول (7.6 cm) [24,25] الطبقات الخارجية من المسار تم تصميمها باستخدام قطاعات من مجسات السيليكون التي تحتوي مساحة واسعة لكل قناة منفردة [24]

تم تجميع مسعر ذو تقسيمات عالية في الاتجاه الامامي، في المقطع الكهرومغناطيسي سوف تحصل خاصية تغيير الطبقات للمادة الماصة وطبقات السيليكون كمادة مجس فعالة نشطة. [25,26,27,28]

تم جمع وتسجيل التآين الناتج من مرور الجسيمات المشحونة خلال حيز معين، تم امرار الكترونات من الفراغ الى عداد السيليكون وتم مقارنة قياس اطياف الطاقة الى القيم المتوقعة خلال مدى من الطاقات يتراوح من (12 to 20 Kev) [29]

تم دراسة استجابة الجرعة الشعاعية للعداد وقد تبين ان الاستجابة الزاوية الحقيقية قد اظهرت انحراف مقداره (8%) عند الزاوية ( $90^\circ$ )، وتم تقليل حساسية الاشعاع بمقدار (25%) بعد تراكم الجرعة الاشعاعية البالغة (20 kGy) ولكن الحساسية استقرت بعد ذلك. [30]

تم دراسة عدة معلمات مثل النسبة الخارجية لعرض شبه الضل، حجم مجال قياس الجرعات والنسبة المئوية للجرعة على السطح في مجالات اشعاع مختلفة وتم ذلك باستخدام حجرة التأين ومقياس الجرعة الاشعاعية من المواد شبه الموصلية. [31]

**4-1 هدف البحث الحالي:**

يهدف بحثنا هذا إلى استخدام شوائب ثلاثية وخماسية في عمليات الزرع الايوني النبضي كالانتيوم والاندسيوم والتي لم تدرس سابقا في هذا المجال واعتماد اسلوب ترسيبهما كأغشية رقيقة على أرضية السيلكون نوع توصيلة P, N لتحويلها إلى وصلة ثنائي P - N Junction حيث تم ترسيب الأنتيوم (sb) على قطعة من السيلكون وتم ترسيب الأندسيوم (In) على قطعة سيلكونية أخرى وتم الترسيب في مختبرات كلية العلوم جامعة بغداد. ثم تم قصفهما بايونات الهيدروجين المعجلة والمتولدة في منظومة حاقن البلازما النبضي ولهذا الغرض تناول البحث الاعتبارات التصميمية الخاصة بالمنظومة العاملة مع شروط الامثلية التشغيلية لهما دراسة التوزيع الأيوني المكاني والطاقي للايونات المنبعثة والمتجهة نحو الهدف بغية التعرف على الكثافة الأيونية وحدود الطاقات المستخدمة وامكانيات استخدامه في التطبيقات التقنية.

كما يهدف البحث إلى دراسة الخواص البصرية والكهربائية لوصلة الثنائي المحضرة لتحديد إمكانية استخدام هذه التقنية في التطبيقات الصناعية.

#### **5-1 تحضير النماذج**

استخدمت شريحة من السيلكون احادية التبلور ذو اتجاهية (111) نوع توصيلية P مشوبة بذرات البورون) وبمقاومة كهربائية سطحية  $4\Omega/cm^2$  لترسيب مادة الأنتيوم عليها وبسمك  $500 \mu m$  في الحالة الأولى. وفي الحالة الثانية استخدمت شريحة من السيلكون ذات اتجاهية بلورية (111) نوع توصيلية N (مشوبة بذرات الفسفور) وبمسك وبمقاومة كهربائية سطحية  $1.5\Omega/cm^2$  لغرض ترسيب مادة الانديوم. وقبل إجراء عملية الترسيب جرى تنظيف الشريحتين باستخدام الماء الأيوني الجاري لمدة ثلاث دقائق وتشمل عملية التحضير ما يأتي:

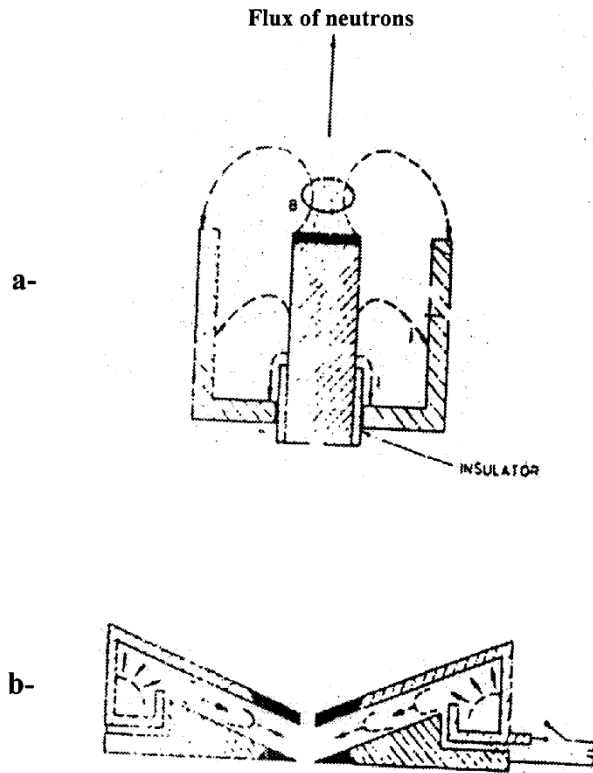
#### **1-5-1 عملية الطلاء الايوني:**

تم تحضير النماذج في مختبر كلية العلوم جامعة بغداد حيث تم استخدام منظومة الطلاء الايوني وهي من التقنيات التي تجمع ما بين تقنية التبخير التقليدية والبلازما الغرض ترسيب اغشية رقيقة من الأنتيوم على شرائح السيلكون وبمعلمات فيزيائية تتصف بالجودة إذا ما قورنت بتقنيات ترسيب الأغشية الرقيقة الأخرى ومن هذه المعلمات التماسك العالي والتجانس وقلة الإجهاد الحراري. ووضعت على القطب الكهربائي شريحة السيلكون ذات الجهد العالي السالب وعلى بعد 10 cm من مصدر التبخير وأجريت عملية المعالجة في بلازما الاركون وبضغط  $2 \times 10^{-2}$  mbar ولفترة زمنية كافية لترسيب مادة الأنتيوم واعيدت التجربة بتغيير زمن التبخير وتثبيت العوامل الأخرى للحصول على أغشية رقيقة من الانديوم بسمك 600A على شرائح من السيلكون نوع توصيلية N.

وبعد الانتهاء من تحضير الأغشية الرقيقة جرى تنظيف النماذج بمحلول من حامض الهيدروفلوريك HF بتركيز 10% ثم بماء أيوني جاري ولمدة خمس دقائق للتخلص من طبقة الأوكسيد المتكونة أثناء عملية نقل العينة إلى المنظومة ووضعت داخل حاوية مفرغة من الهواء.

### 1-5-2 عملية فحص النماذج:

تم فحص النماذج المطلوبة باستخدام جهاز المجسات الأربعة Four point probe المعرفة نوع التوصيلية لهذه النماذج. وقد لوحظ بأن توصيلية شرائح السيلكون المطلاة بمادة الأنتميون ما تزال من نوع توصيلية P وكذا الحال بالنسبة للشرائح المطلاة بمادة الانديوم حيث يشير القياس إلى أن الشريحة لا زالت من نوع توصيلية N ولكلا جهتي الشريحة.

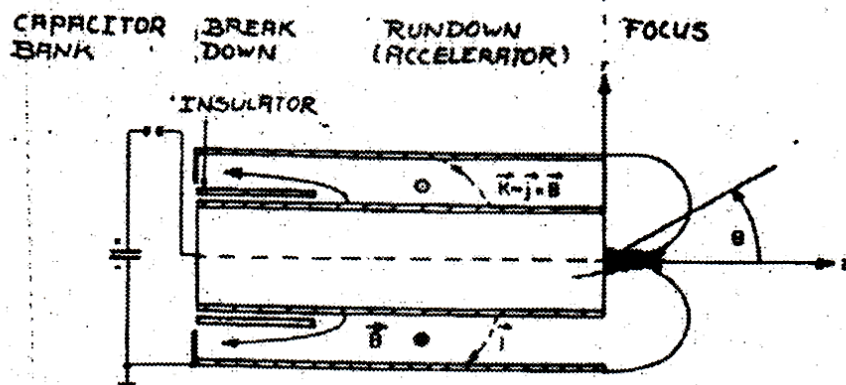


شكل (1): منظومة بؤرة البلازما الكثيفة

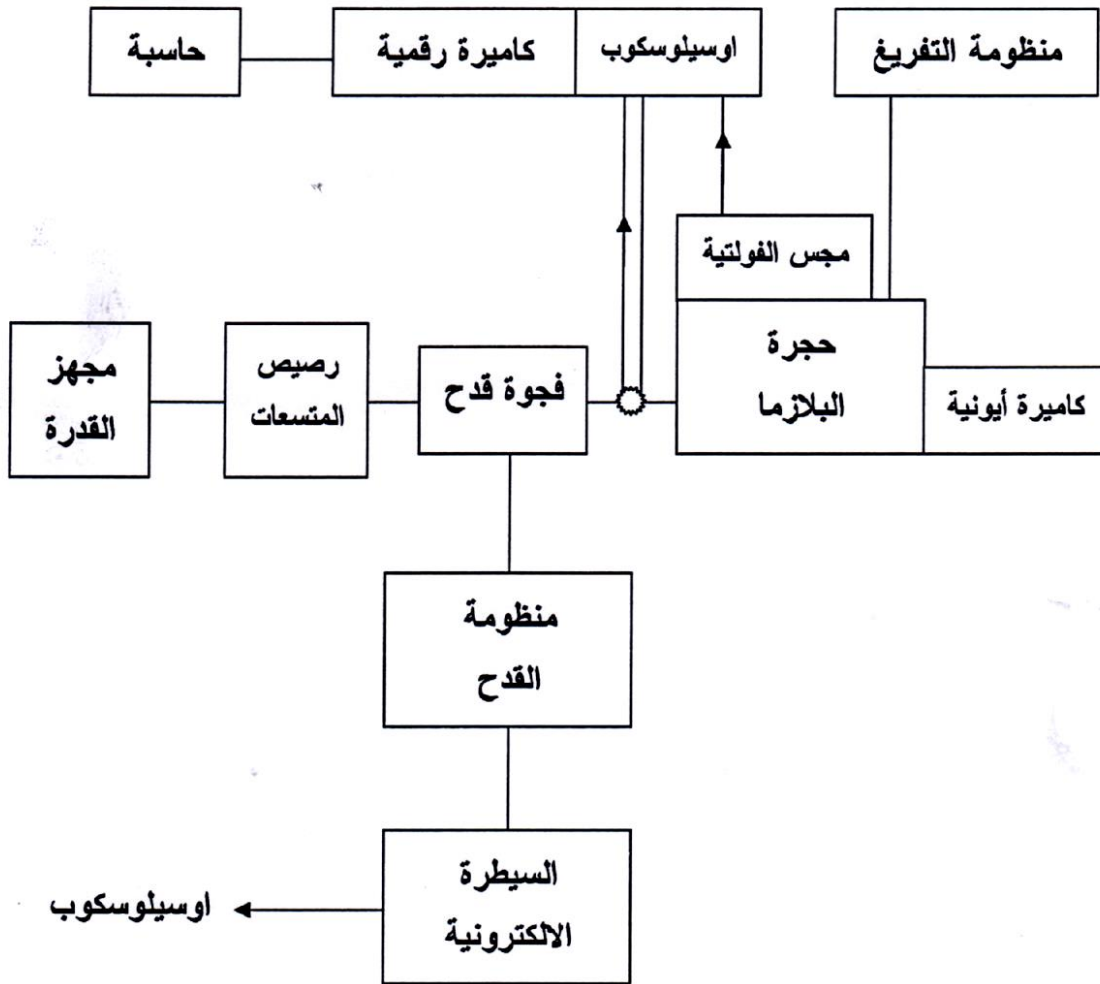
:Dense Plasma Focusing(DPF)

a - نوع Mather

b - نوع Fillippov

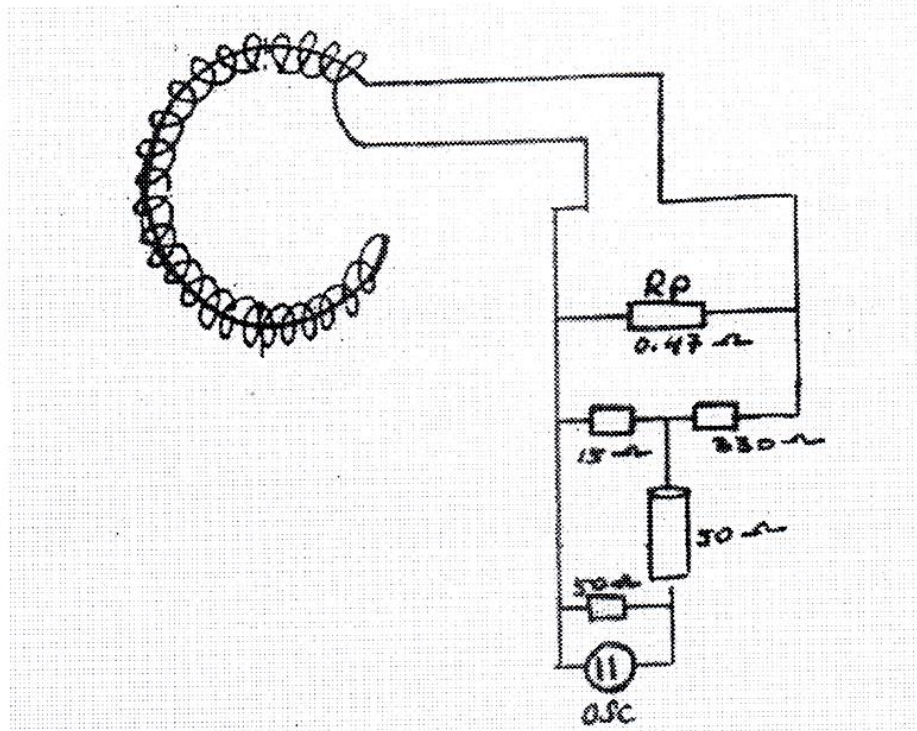


شكل (2): منظومة بؤرة البلازما الكثيفة واطوارها

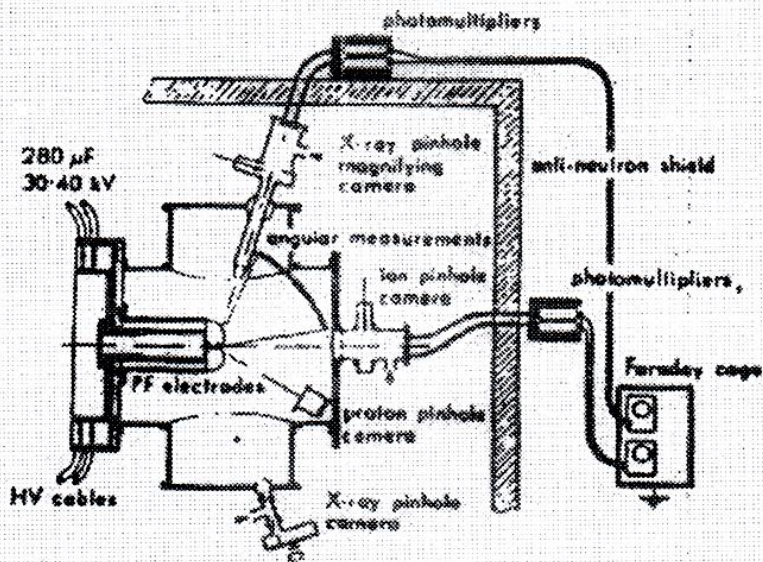


شكل (3): رسم تخطيطي لمكونات حاقن البلازما النبضي





شكل (4): ملف راكوفسكي لقياس التيار



شكل (5): ترتيب أجهزة التشخيص لمنظومة بؤرة البلازما الكثيفة

2- الجزء النظري:

1-2 خصائص كاشف ثنائي الوصلة P - N Junction detector properties

تمثل الكواشف واحدة من التطبيقات المهمة جدا لثنائي الوصلة ولتقييم ثنائيات الوصلة التي تم تحضيرها باستخدام الزرع الأيوني النبضي لابد من الوقوف على كفاءة اداء الكواشف إذ أن هناك مجموعة من المعلمات الأساسية التي يمكن بها تحديد مواصفات هذه الكواشف والتي غالبا ما توصف من خلال طبيعة الاشارة الكهربائية الخارجية نتيجة لتحفيز الكاشف بإشارة ساقطة عليه.

2-1-2 الاستجابية الطيفية Responsivity:

وتمثل نسبة الكمية الخارجة من الكاشف إلى الكمية الداخلة وتقاس بوحدات أمبير/ واط) أو (فولت/ واط) ومن الوحدات يظهر جليا أن الكمية الداخلة للكاشف تمثل قدرة الأشعة الساقطة. أما الكمية الخارجة من الكاشف فهي اما على شكل تيار يقاس مباشرة أو فرق جهد يؤخذ على طرفي مقاومة الحمل التي تربط على التوالي مع الكاشف وتتغير الاستجابية تبعا للطول الموجي للأشعة الساقطة وهذا ما نسميه بالاستجابية الطيفية  $S(\lambda)$  وتحسب من العلاقة الآتية:

$$S(\lambda) = I_{ph} P_o = \eta q \lambda / hc \dots \dots \dots (1)$$

$I_{ph}$  يمثل تيار الضوء،  $P_o$  يمثل قدرة الضوء الساقط.

$\eta$  والكفاءة الكمية،  $c$  سرعة الضوء،  $h$  ثابت بلانك، و  $q$  شحنة الالكترون [2,1].

3-1-2 التحسسية Detectivity:

تبرز اعلومة التحسسية كاعلومة مهمة لخواص الكاشف والتي تمثل أقل قدرة يمكن للكاشف تحسسها وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$D = \frac{1}{NEP} \dots \dots \dots (2)$$

$NEP$  هي القدرة المكافئة للضوء وتحسب من العلاقة الآتية:

$$NEP = (I_n / I_{ph}) P_o \dots \dots \dots (3)$$

$I_n$  يمثل تيار الضوضاء و  $I_{ph}$  تمثل تيار الضوء وبالتعويض بالمعادلة (2):

$$D = (I_{ph} / I_n) P_o \dots \dots \dots (4)$$

ولأجل المقارنة بين الكواشف يصار إلى استخدام التحسسية النوعية  $D^*$  والتي تمثل التحسسية لوحدة المساحة

$$D^* = [I_{ph} A^{1/2} / I_n] P_o \dots \dots \dots (5)$$

$A$  تمثل مساحة الكاشف.

4-1-2 الكفاءة الكمية Quantum efficiency:

تمثل الكفاءة الكمية لكاشف النسبة بين استجابية الكاشف إلى الفيض الكلي للأشعة الساقطة و يمكن تمثيلها ولطول موجي معين بالعلاقة الآتية:

$$\eta(\lambda) = \frac{I_{ph}}{P_o} \frac{hc}{\lambda q} \dots \dots \dots (6)$$

### **3-1 نتائج ومناقشة الاستجابة الطيفية:**

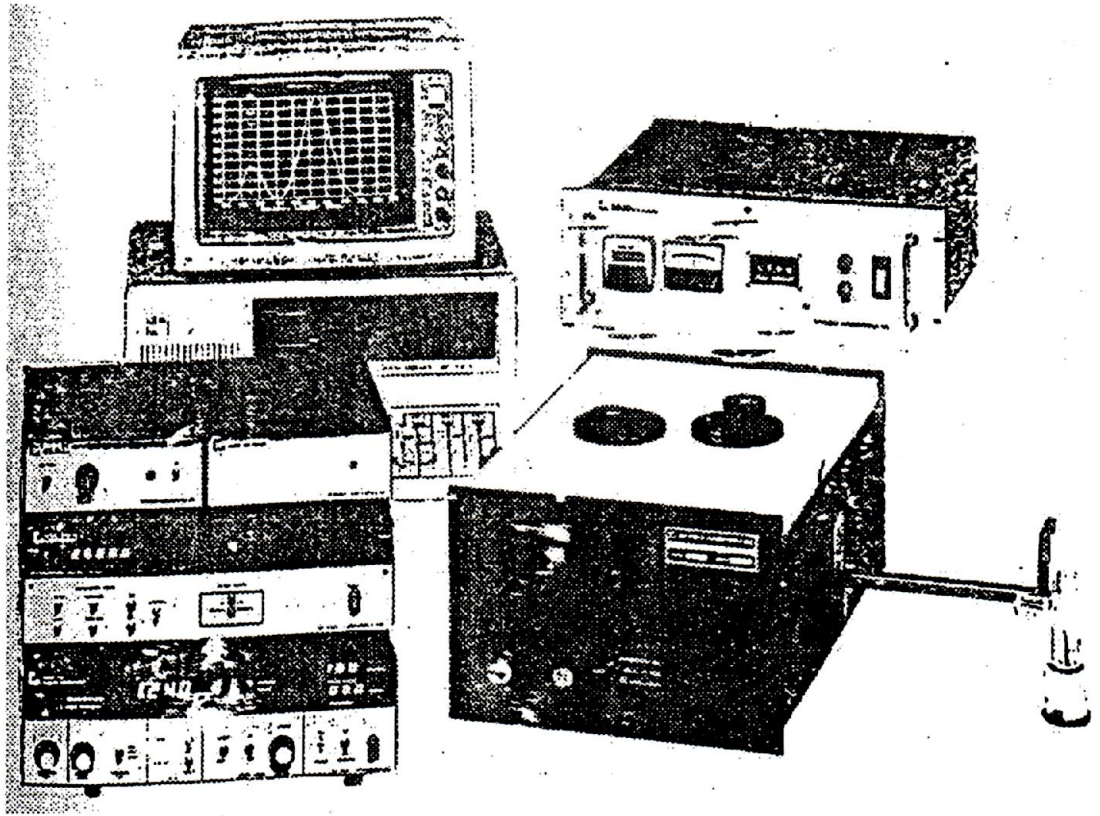
تم قياس الاستجابة الطيفية باستخدام منظومة فحص الكواشف DSR-500 والمبينة في الشكل (6).

يظهر من الشكل (5) الاستجابة الطيفية للكاشف الضوئي المحضر بتطعيم مادة الأنتيمون على شرائح السيلكون نوع توصيلية P للأطوال الموجية المحصورة بين (300-1200nm) وإذا اعتبرنا ان الطول الموجي القاطع (Cut-off-wavelength) هو الطول الموجي الذي تهبط فيه قيمة الاستجابة إلى 10% من قيمة الاستجابة القصوى Max Responsivity عليه يمكن القول ان حدود استجابة ثنائي الوصلة المحضر بهذه الطريقة تغطي الأطوال الموجية المحصورة بين (400-1200nm) وتشترك المنحنيات في الشكل أعلاه والمحضرة بعدد تفرغيات كهربائية مختلفة بوجود منطقة تكون فيها الاستجابة الطيفية أقصى ما يمكن وتتغير حدود الأطوال الموجية لهذه المنطقة تبعاً لظروف التحضير عدد التفرغيات الكهربائية ولكن بصورة عامة فإنها محصورة للأطوال الموجية المحصورة بين (900-1000nm).

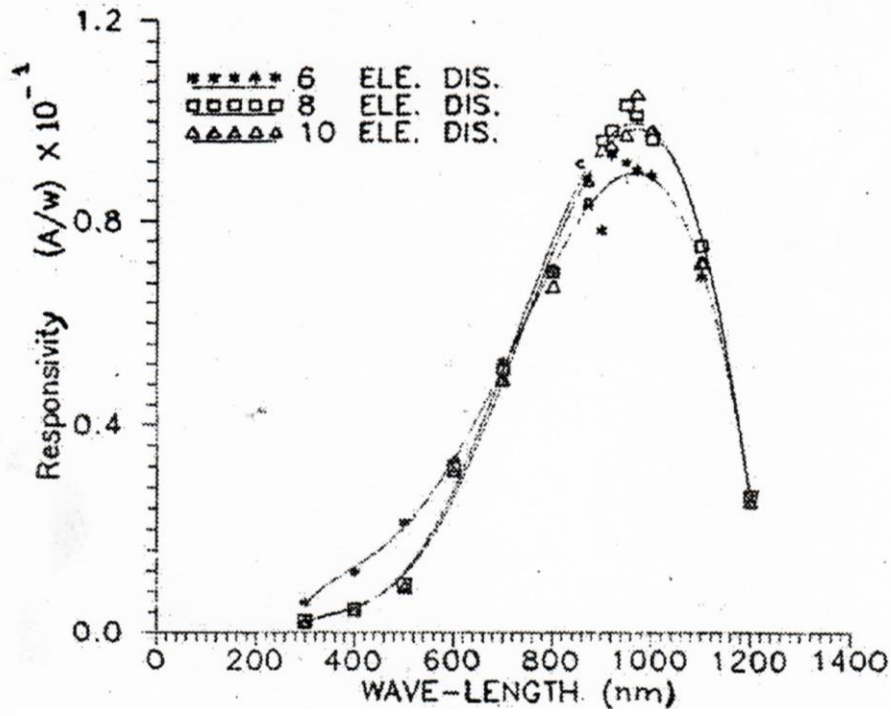
ويلاحظ أن قيمة الاستجابة الطيفية ولجميع الكواشف للأطوال الموجية المحصورة بين (700-1100nm) تزداد إلى ثلاثة أضعاف أو أكثر في بعض الأحيان عن قيمة الاستجابة الطيفية للأطوال الموجية القصيرة (400-600nm) وهذا يعني بأن الكاشف ذو استجابة عالية للأطوال الموجية القريبة من المنطقة تحت الحمراء منها إلى المنطقة المرئية والفوق البنفسجية.

أما الشكل (8) فيبين الاستجابة الطيفية للكواشف المحضرة بترسيب الانديوم على شريحة السيلكون ذات توصيلية نوع N. ويظهر في الشكل بأن حدود الاستجابة وبعد تحديد الطول الموجي القاطع (400-1200nm) للكاشف (A) و(400-1200nm) للكاشف (B) ومن (550-1200nm) للكاشف (C) كما موضح في الشكلين (5,6) وهذا يعني بان مدى الكشف يقل مع زيادة عدد التفرغيات الكهربائية وهذه النتيجة مشابهة لما جاء في المصدر [17] ويعود السبب إلى وجود العيوب التي تؤثر بشكل أكبر على الأطوال الموجية القصيرة.

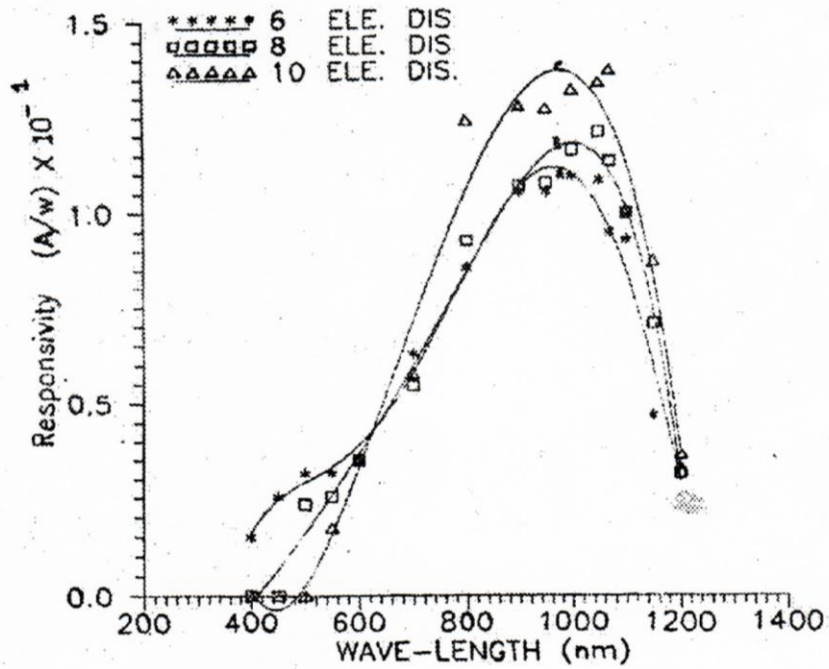
وتشترك جميع المنحنيات بوجود منطقة تكون فيها الاستجابة الطيفية أقصى ما يمكن [29] وتتغير قيمة الاستجابة القصوى لعدد التفرغيات (عدد النبضات الأيونية) ولكنها تشترك بكون مداها محصور للأطوال الموجية (1000-1150nm) وبقائمة استجابة أعلى من الكواشف المحضرة في الشكل (7) وهذا يعود إلى أن تركيز الشوائب لمادة الانديوم أعلى منه في حالة الأنتيمون لان الشريحة من نوع N ولكلا جهتي الشريحة.



الشكل (6): منظومة فحص الكواشف DSR-500



الشكل (7): تغير الاستجابة الطيفية بدلالة الطول الموجي للنماذج المشوبة بالانتيمون والمشعة بـ(8,6) تفريغات كهربائية على التوالي



الشكل (8): تغير الاستجابة الطيفية بدلالة الطول الموجي للنماذج المشوبة بالانديوم والمشعة بـ(8,6) تفريغات كهربائية على التوالي

ويلاحظ أيضا بأن قيمة الاستجابية الطيفية للاطوال الموجية القريبة من الأشعة تحت الحمراء أكبر منها للاطوال الموجية للمضوء المرئي وللاطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية ولجميع الكواشف وان أعلى استجابية للكواشف تتحرف باتجاه المنطقة تحت الحمراء القريبة مع زيادة عدد التفريغات الكهربائية وهذه الموصفات تتكرر في الشكل (7) وتعتبر من الموصفات المهمة لهذا النوع من الكواشف المحضرة.

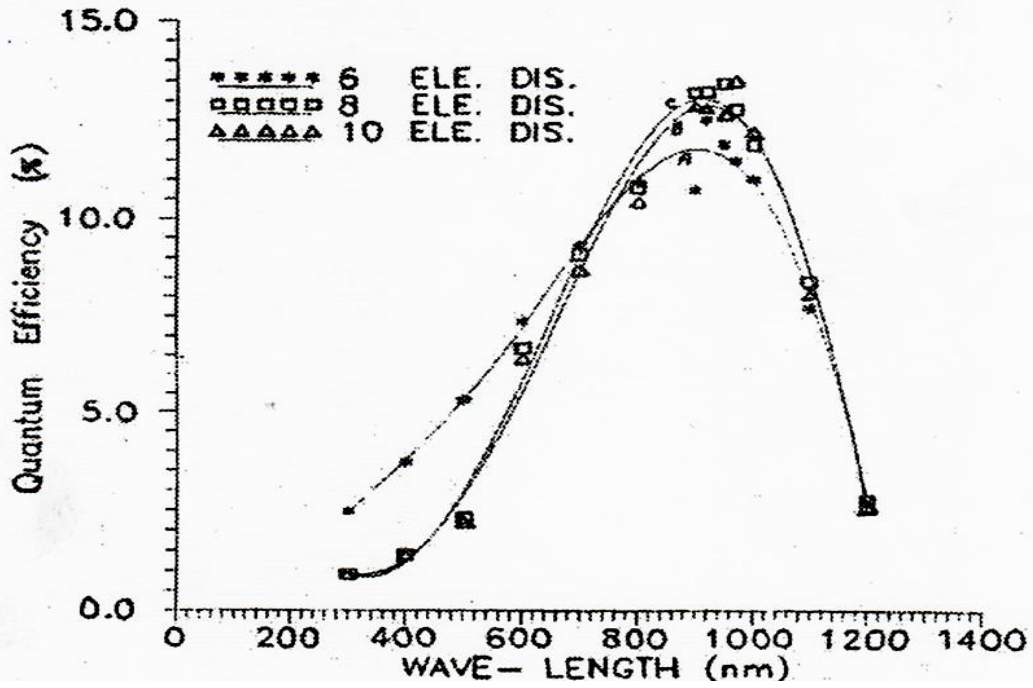
### **3-1-2 نتائج ومناقشة الكفاءة الكمية Quantum efficiency results:**

الشكل (9) يوضح توزيع الكفاءة الكمية بالنسبة المئوية للكواشف المحضرة بعدد مختلف من التفريغات الكهربائية (النبضات الأيونية) ويظهر السلوك العام للكواشف متشابه من حيث التوزيع وكما هو الحال في الاستجابية الطيفية ويلاحظ وجود تباعد في قيم الكفاءة الكمية للاطوال الموجية القصيرة وايضا تحسن في قيمة الكفاءة الكمية مع زيادة عدد التفريغات الكهربائية. وهذا ناتج عن زيادة في تركيز الشوائب. ويلاحظ أيضاً ميل الكواشف للانحراف باتجاه الأشعة تحت الحمراء القريبة مع زيادة عدد التفريغات الكهربائية الذي يخضع للتفسيرات الخاصة بالاستجابية الطيفية ويعززه نتائج المقاومة الكهربائية السطحية وخصائص تيار - فولتية وهذا يتكرر في الشكل (10) للكواشف المحضرة بترسيب الانديوم ويلاحظ بشكل عام بأن قيمة الكفاءة الكمية للكواشف المحضرة بهذه الطريقة المرسب عليها الانديوم أكبر من قيم الكفاءة الكمية للكواشف في الشكل (9) ولنفس السبب الذي ذكر في تفسير الاستجابية الطيفية لهما وعموماً فإن قيم الكفاءة الكمية للشكال (9) و (10) تعتبر واطئة نسبة للكواشف المحضرة بالطرق الكلاسيكية وهذا يعود إلى عدة عوامل منها العيوب التي ترافق عملية التحضير وكذلك الشوائب الناتجة من عملية التفريغ (المواد المتطايرة) والطلاء الأيوني.

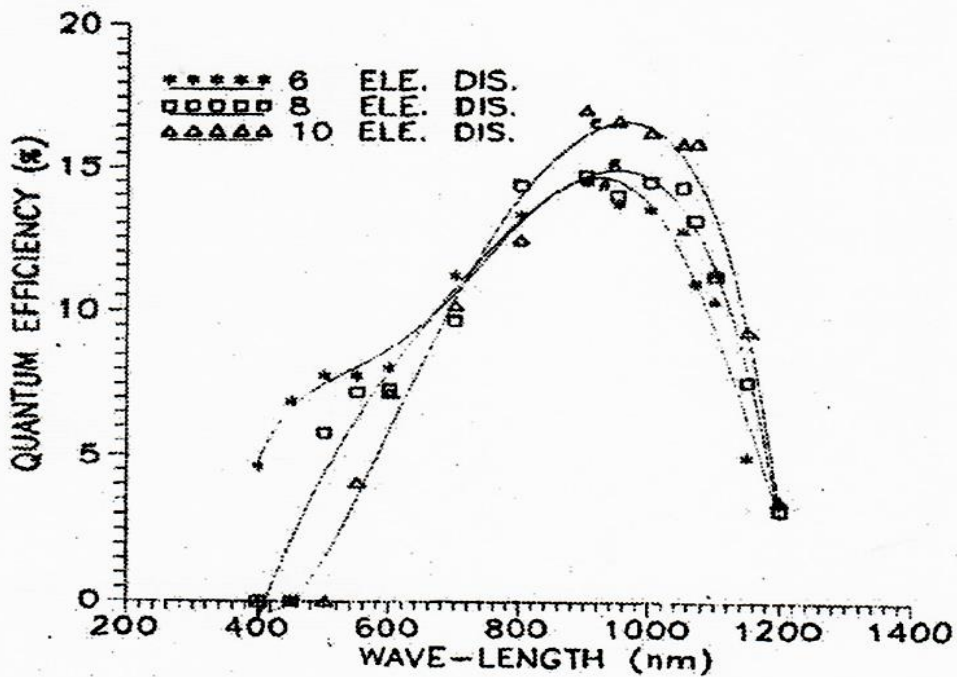
### **3-1-3 نتائج ومناقشة التحسسية النوعية وزمن الاستجابة:**

#### **Detectivity and Time Response Results:**

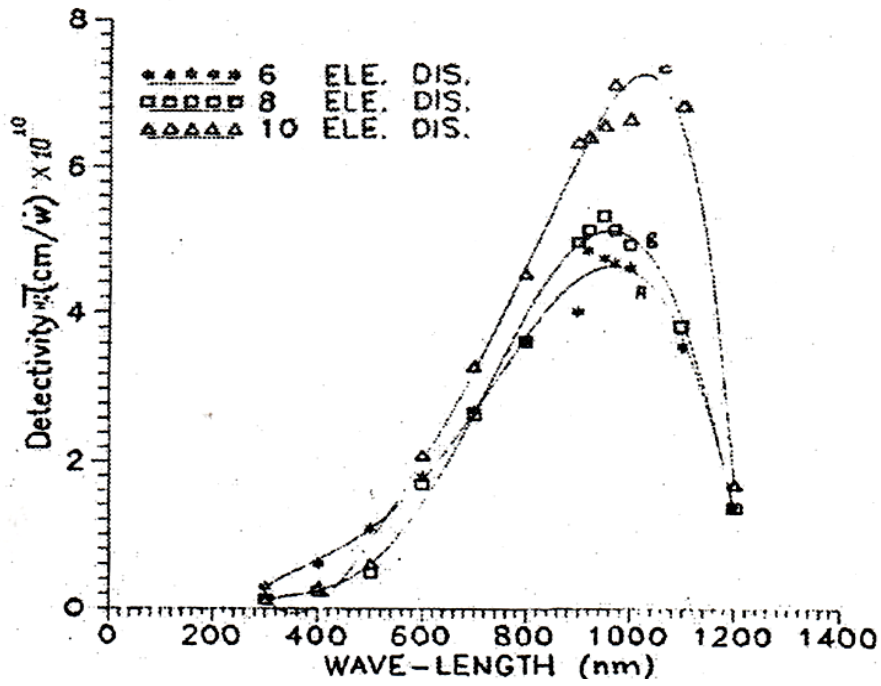
الاشكال (11) و (12) يمثلان قيم التحسسية وتغيرها مع الاطوال الموجية ويلاحظ أن سلوك التغير الحالتين متشابه مع سلوك تغير الكفاءة الكمية والاستجابية الطيفية ولنفس الأسباب التي ذكرت سابقا. ويلاحظ من الشكل (11) بأن هناك تقارب في التحسسية بين الكاشف (A) و (B) وتباعد لقيم التحسسية للكاشف (C) بالرغم من زيادة التحسسية مع زيادة عدد التفريغات الكهربائية وكما ورد سابقا في الاستجابية الطيفية.



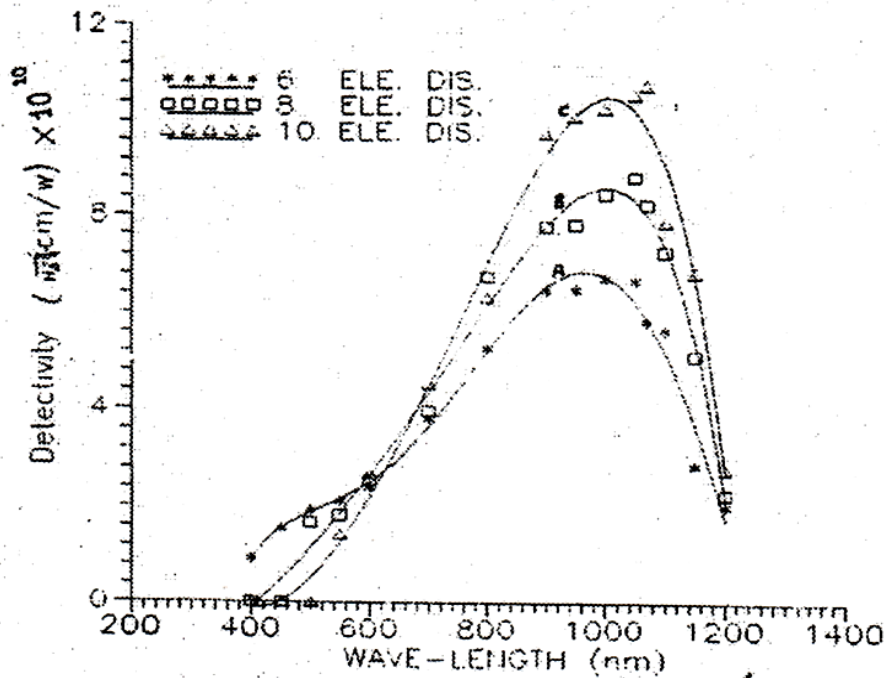
الشكل (9): تغير الكفاءة الكمية بدلالة الطول الموجي للنماذج المشوبة بالانتيمون والمشعة بـ(6,8) تفريغات كهربائية على التوالي



الشكل (10): تغير الكفاءة الكمية بدلالة الطول الموجي للنماذج المشوبة بالانديوم والمشعة بـ(6,8) تفريغات كهربائية على التوالي



الشكل (11): تغير التحسسية بدلالة الطول الموجي للنماذج المشوبة بالانتيوم والمشععة بـ(8,6) تفریغات كهربائية على التوالي



الشكل (12): تغير التحسسية بدلالة الطول الموجي للنماذج المشوبة بالانديوم والمشععة بـ(8,6) تفریغات كهربائية على التوالي



أما الشكل (12) فيوضح تباعد واضح لقيم التحسسية للكواشف (A) و (B) و (C) ويظهر من الأشكال أعلاه بأن التحسسية بصورة عامة لهذه الكواشف المحضرة للحالتين أعلاه أكبر من التحسسية للكواشف المحضرة بالطرق التقليدية وهذا ناتج عن قيم تيار الظلام الواطئة نسبيا ولجميع الكواشف المحضرة بهذه الطريقة كما في الجدول، وتيار الظلام يمثل شدة التيار الكهربائي في مناطق التقعرات المشوبة داخل النموذج مما يعطي هذه الكواشف ميزة أخرى ايجابية إضافة إلى المميزات التي ذكرت سابقا مثل وجود الانحراف الواضح للقيم باتجاه منطقة الأشعة الحمراء القريبة الأطوال الموجية الطويلة)، ويلاحظ من الجدول زيادة في زمن استجابة الكاشف مع عدد التفريغات الكهربائية.

الجدول رقم (1): يمثل قيم تيار الظلام وزمن استجابة الكواشف المحضرة

مادة التطعيم	عدد التفريغات الكهربائية	زمن استجابة الكاشف (nsec)	تيار الظلام (ampere)
Sb	6	120	$8 \times 10^{-8}$
	8	133	$7.2 \times 10^{-8}$
	10	170	$5.8 \times 10^{-8}$
In	6	125	$6.5 \times 10^{-8}$
	8	138	$6.1 \times 10^{-8}$
	10	180	$5.2 \times 10^{-8}$

#### الاستنتاجات

- 1- لوحظت زيادة في قيمة الاستجابة الطيفية والكفاءة الكمية للأطوال الموجية الطويلة منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة) عنها لقيم الاستجابة الطيفية والكفاءة الكمية للأطوال الموجية القصيرة (المنطقة المرئية وفوق البنفسجية) بزيادة عدد التفريغات الكهربائية.
- 2- تعاني الكواشف المحضرة بهذه الطريقة من استجابة طيفية وكفاءة كمية قليلة نسبيا مقارنة مع الكواشف المحضرة بالطرق التقليدية ويعزى السبب إلى العيوب التركيبية وعدم تجانس السطح (وجود مناطق ارتفاع وانخفاض) مما يتسبب في استطارة الضوء الساقط وكذلك فإن العيوب تعمل كمراكز قنص مما يحول دون وصول حاملات الشحنة المتولدة من تفاعل الضوء الساقط مع مادة الكاشف وكذلك يعزى إلى الشوائب غير المرغوب فيها (النحاس والاكسجين والكاربون).
- 3- تتصف هذه الكواشف بتحسسية تصل إلى  $9.7 \times 10^{10} (Hz)^{1/2} cmw^{-1}$  وقيمة واطئة لتيار الظلام تصل إلى  $5.2 \times 10^{-8} amp$  وكفاءة عالية نسبيا للأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء القريبة وخصوصا للأطوال المحصورة بين (950-1050nm) لذلك يمكن أن تستخدم مثل هذه الكواشف في منظومات الكشف العاملة في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة للمنطقة الطيفية (800-1000nm) المنبعثة من ثنائي الوصلة الباعث للضوء light emitting diod وفي الكواشف العاملة بالأطوال الموجية (850-950nm) ومنها مفاتيح الأشعة تحت الحمراء الفعالة (Active infrared switches) وقارئ البطاقات ومنظومات التحذير الليزرية.

1. J.W. Mather, "Methods or Experimental Physics", Vol.9, Academic Press, N. Y., 1971.
2. J.W. Mather, 4th Conf. On Plasma Physics and Nuclear Fusion, Wisconsin, 1971.
3. M. Trunk, "Numerical Parameter Studies for Plasma Focus", Institute of Plasma Research, University of Stuttgart, IPF 37-2, 1973.
4. Nuclear Focus Special Supply, B.I.10, P201, 1986.
5. T.Y. Tou, K.H. Kwek, Y.C. Yonged and S. Lee, "A Small Plasma Focus Device for Neutron, X-ray and Electron Beam Studies", Malya University, 1987.
6. M. Zabullah, J. J. Baig and G. Murtaza, "Numerical Design of Plasma Focus Optimization", Dept. of Physics, Quaid-i-Azam University Islamabad, Pakistan, 1987.
7. U. A. Suryadi, "Design of BATAN Plasma Focus Facility", Plasma Physics Lab. PPBMI, Indonesia, 1987.
8. A. Bernard, 3rd Topical Conf. on Pulsed High Beta Plasma, Culham. Pergamon Press, Oxford, 1976.
9. S. Lee, T. H. Ton. 7th European Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics, Proc. P. 65, 1975.
10. H. Schmidt, B. Nahrath, B. Ruckle, 7th European Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics, P. 57, 1976.
11. H. Herold, "Progress in Plasma Focus Operation Up to 500 KJ Bank Energy", Stuttgart, F.R.G., 1976.
12. 14. K.H. Kwek, T. Y. Tou. Y. C. Yong, J. Ali and S. Lee, "Numerical Design of UNUICTP Plasma Focus", Plasma Research Lab., Phys. Dept. 54100 Malaya Univ., 1986.
13. 15. S. H. Saw, C. S. Wong and S. Lee, "Design of Z Pinch for Current Sleeping Experiments", Malaysia, 1986.
14. A. Zakulloh, S. A. Rizvi, F. N. Poigod and S. Bege, "Design of a small Plasma Focus Facilities", Dept. of Phys. Quaid-i-Azam Pakistan, 1986.
15. M.H. Eissa, A. Zabullahans, S. Lee, "Circuit Effect on the Operation Plasma Focus Device", 59100 Kulalampore, Malaysia, 1987.
16. A. J. Smith, A. V. Chlop and K. H. Kwek, "Plasma Focus Operation in Difference Gases", Physics, Dept. Malaysia, 1987.

17. Z. Werner, J. Pickoszewski, C. Pochrybnrich, "Multiple Pulse Implantation Dopped Layer in Silicon", Physical Research EPU 87, Poland, 1985.
18. E. Simon, L. Vanhellefont, C. Claeys, A. Kaniavs and E. Gaubas, The Response of Si p-n junction diodes to proton irradiation, *Semicond. Sci. Technol.*, 11 (1996) 1434-1442.
19. S. Chatrchyan, V. Khachatryan, A.M. Sirunyan, A. Tumasyan, W. Adam, E. Aguilo, T. Bergauer, M. Dragicevic, J. Erö, C. Fabjan, et al. Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. *Physics Letters B*, 716(1):30–61, 2012.
20. G. Aad, T. Abajyan, B. Abbott, J. Abdallah, S.A. Khalek, A.A. Abdelalim, O. Abdinov, R. Aben, B. Abi, M. Abolins, et al. Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. *Physics Letters B*, 716(1):1–29, 2012.
21. Compact Muon Solenoid (CMS). <http://cms.cern/>.
22. O. Brüning M. Lamont L. Rossi G. Apollinari, I. Bejar Alonso. Preliminary Design Report: High-Luminosity Large Hadron Collider. Technical report, CERN-2015-005, Geneva, 2015.
23. G. Apollinari, O. Brüning, T. Nakamoto, and L. Rossi. High Luminosity Large Hadron Collider HL-LHC. arXiv preprint arXiv:1705.08830, 2017
24. K. Klein. The Phase-2 Upgrade of the CMS Tracker. Technical report, 2017.
25. E. Currás, M. Fernández, C. Gallrapp, L. Gray, M. Mannelli, P. Meridiani, M. Moll, S. Nourbakhsh, C. Scharf, P. Silva, et al. Radiation hardness and precision timing study of silicon detectors for the CMS High Granularity Calorimeter (HGC). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 845:60–63, 2017.
26. N. Akchurin, V. Ciriolo, E. Currás, J. Damgov, M. Fernández, C. Gallrapp, L. Gray, A. Junkes, M. Mannelli, K.H. Martin Kwok, et al. On the timing performance of thin planar silicon sensors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 859:31–36, 2017.
27. T. Quast. Construction and beam-tests of silicon-tungsten prototype modules for the CMS High Granularity Calorimeter for HL-LHC. arXiv preprint arXiv:1712.05638, 2017.
28. J. Butler, M. Klute, L. Silvestris, J. Mans, D. Contardo, et al. CMS Phase II upgrade scope document. Technical report, 2015
29. B. L. Wall, et al, Dead layer on silicon p-i-n diode charge-particle detectors, Center for Experimental Nuclear Physics and Astrophysics, and Department of Physics, University of Washington, Seattle, WA, USA, Oct., 2013, (1-13).

30. Nikolina Vicoroski, Anthony Espinoza, and Mitchell Duncan, Development of a silicon diode detector for skin dosimetry in radiotherapy, Centre for Medical Radiation Physics, University of Wollongong, Wollongong, NSW 2500, Australia, Med. Phys, 44(10) Oct., 2017, (5402-5411).
31. H. Keivan, D. Shahbazi-Gahrouei, A. Shanei, Evaluation of dosimetric characteristics of diodes and ionization chambers in small megavoltage photon field dosimetry, International Journal of Radiation Research, July 2018, Volume 16, No.3, 2018, (311-321).