تصميم وتصنيع مقدرة مدى ليزرية تعمل بالطول الموجي (10.6µm)

د. عدوية جمعة حيدر*

تاريخ التسلم : 2002/11/20
تاريخ القبول: 2005/6/21

الخلاصة

يهدف البحث الى تصميم وتصنيع منظومة ليزر ($TEA-CO_2$) صغيرة الحجم بطول موجي(10.6µm) تعمل بصورة مغلقة يعمر تشغيلي طويل نسبيا . تعد هذه المنظومة ضرورية لاسباب عديدة ترتهن بمواصفات الخرج الليزرية ضمن تطبيقات عديدة منها الصناعية والطبية والعسكرية وخاصة ضمن التطبيق الذي نحن بصدده في هذا البحث وهو قياس المدى.

تتكون مقرة المدى الليزرية من منظومة ليزر $TEA-CO_2$ كمرسلة ليزرية داخلية فعالة بالابعاد (130*20*6)mm، تحصل منها على نبضات ذات طاقة عظمى (70mJ) وبزمن نبضة(120 nsec) وبتردد (1 Hz). استخدمت كواشف (Hg Cd Te) من نوع التوصيلية الضوئية لتحسس النبضات المرسلة والمستلمة مجهزة بنافذة بصرية قطرها (30mm). للاغراض التعبوية تم تشغيل المنظومة بصورة مغلقة باستخدام عامل مساعد صلب وتم قياس مدى قدره (15km) .

Design and Construction of a Laser Range-Finder at (10.6µm)

Abstract

Due to present importance of laser range-finders and their applications several industrial, medical and military applications, especially range finding, require the use of long life sealed off mini-$TEA-CO_2$ laser systems operating at (10.6 µm) Designing and constructing such systems and represents the main aim of this work.

The Laser range finder includes $TEA-CO_2$ system as laser transmitter with interactive cavity with (130*20*6) mm dimensions, maximum out put energy (70mJ) with plus duration (120nsec) and frequency (1Hz). A photo conductive (Hg Cd Te) detector was used to detect the transmitted and received pulse The device is used as received system and supplied with objective lens (30mm) diameter. Due to the mobilization requirements, the laser system was sealed using solid catalyst. The maximum range measured is (15km).

* فرع الليزر / قسم العلوم التطبيقية/ الجامعة التكنولوجية

https://doi.org/10.30684/etj.24.7A.11
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

1 – المقدمة

بدات اولى التجارب باستخدام الاشعة الكهرومغناطيسية في قياس سرعة الضوء من قبل الباحثين (Fizeau & Michelson) وذلك عام 1850، اذ تم حساب زمن الذهاب والاياب للضوء العادي وبمعرفة المسافة تم حساب سرعة الضوء التي اعتبرت فيما بعد الطريقة المثلى لقياس المسافة [1].

في مطلع الستينات وباكتشاف اشعة الليزر بدأ الحديث عن امكانية استخدام اشعة الليزر في العديد من التطبيقات ومنها استخدامه في قياس المسافات. استخدم ليزر الياقوت (Ruby laser) العامل بالطول الموجي (µm 0.693) في تصنيع مقدرات المدى الليزرية، الا ان محدودية استخدامه بمعدل تكرارية عالي واشعاعه المرئي حددت من امكانية استخدامه لقياس المدى او تاشير الاهداف بدقة (Designator)[3,2]

بعد ذلك تم استخدام ليزر النيديميوم–ياك (Nd:YAG) بالطول الموجي (1.06 µm) كبديل ملائم في تصنيع مقدرات المدى الليزرية وذلك لقابليته على العمل بمعدل تكرارية عال ولانبعاثه بمديات الاطوال الموجية تحت الحمراء القريبة غير المرئية التي جعلته مناسبا من الناحية التعبوية لاستخدامة في تقدير المدى.

عند اكتشاف ليزر ثنائي اوكسيد الكربون (CO_2) علم Patel 1964 [4]، حصل تطور كبير في استخدامه في مختلف التطبيقات العلمية والصناعية والعسكرية ومنه استخدامه في تصنيع مقدرات المدى الليزرية العاملة بالطول الموج (10.6 µm)، اذ تنعكس نبضة ليزر ($TEA\text{-}CO_2$) من الهدف ويتم كشفها باستخدام كواشف مبردة الى درجات حرارية لحدود (77 K) مثل كاشف(Hg Cd Te)، ويتم حساب المدى بنفس التقنية سالفة الذكر.

لاتحتاج مثل هذه التطبيقات الى طاقة خرج كبيرة وانما تتطلب الجمع مابين الحجم الصغير للمنظومة وطول عمر الاشتغال واحيانا موالفة (تنغيم) خط الانبعاث الطيفي ومعدل التكرارية العالي ويفضل في بعض الاحيان احداث تدوير للغاز الذي يمثل الوسط الليزري الفعال عن طريق وحدات تدوير الغاز لزيادة كفاءة المنظومة. يتم تشغيل المنظومة عادة بمديات الضغط الجوي وبكفاءة عالية فيما يتم تشغيلها في بعض الاحيان بضغط يعادل اضعاف الضغط الجوي، وتكمن المشكلة الرئيسية في مثل هذه المنظومات الليزرية المغلقة في قصر العمر الزمني للاشتغال والناجم عن تحلل (تفكك) غاز ثنائي اوكسيد الكربون في اثناء الضخ بالتفريغ الكهربائي الذى يحدد العمر الزمني للمنظومة، اذ يتطلب تغيير الوسط الفعال بعد (2000-5000)نبضة خارجة.

تم تجاوز المشكلة اعلاه باستخدام عامل مساعد لاعادة الاتحاد لمكونات الوسط الفعال المتفكك وبالتالي زيادة الكفاءة والعمر الزمني للمنظومة، ومثال على ذلك استخدام سلك البلاتين الساخن كعامل مساعد في ليزرات CO_2 لأول مرة من قبل الباحث Stark عام 1975 [5].

في بحثنا هذا فقد تم تصنيع انواع مختلفة من العوامل المساعدة الصلبة (غير المتجانسة) المعدة لهذا الغرض وتجريبها.

ازدادت التوجهات العالمية الحديثة نحو استخدام ليزر CO_2 عن بقية انواع الليزرات الاخرى لامتلاكه العديد من الميزات، منها موالمة استخدامه في العديد من اجهزة الرؤية الليلية العاملة بمديات الاطوال الموجية µm(14-8) وهذا يمكن من استخدام نفس المجاميع البصرية للعمل مع نظامين مما يعطي سهولة الاستخدام وبكلفة اقل واكثر فاعلية من باقي انواع مقدرات المدى الليزرية الاخرى كالتي تستخدم ليزر Nd:YAG . كما ان الطول الموجي (10.6µm) المنبعث من ليزر CO_2 يقع ضمن النافذة الجوية (8-14)µm مما يجعل انتقاله في الجو اقل توهينا مقارنة بالاطوال الموجية لليزرات العاملة

الاخرى، علاوة على ان تاثيره على العين البشرية اقل خطورة من ليزر Nd:YAG وذلك لامتصاصه من قبل السائل البصري لعدسة العين والذي يحول دون وصوله الى الشبكية واتلافها [6].

من الناحية التعبوية فان منظومات الاستمكان المعادية والعاملة في الجيوش تستند بشكل رئيس على الطول الموجي(1.06 µm) لليزر النيديميوم –ياك مما يجعل من الصعب استكمان مقدرات المدى العاملة بالطول الموجي (10.6 µm) والذي يتطلب تكاليف عالية لتامينها من قبل الجهات المعادية.

يمتاز ليزر CO_2 بامكانية انبعاثه بمديات اطوال موجية متعددة ضمن الحزمة الطيفية لانبعاثه والذي يسهل من اختيار المرشح البصري الملائم لاستخدامه مع الكاشف المناسب مقارنة مع صعوبة الاختيار في منظومات ليزر النيديميوم–ياك والذي يعمل على مدى ضيق من الاطوال الموجية.

أخيراً فان منظومات ليزر CO_2 لها فاعلية اكبر عند استخدامها في منظومات الكشف الهيتروداييني مما يعقد عملية التشويش على هذه الاجهزة عند استخدامها في تقدير المدى او التطبيقات الاخرى . فالاساس الذي يقوم هذا القياس (قياس المدى) هو ارسال نبضة ضوئية قصيرة الامد ذات شدة عالية الى شاخص ما، وقياس الزمن الذي تستغرقه النبضة المنعكسة من الشاخص المراد تقدير مداه بالاعتماد على سرعة الضوء في حساب المسافة [7].

2. الجزء العملي

تتكون المقدرة المصنعة بشكل عام من ثلاث عناصر رئيسية هي المرسلة الليزرية والمستقبلة الليزرية وحاسوب المدى، ولتنفيذ عمل هذه العناصر الرئيسة، فقد وضعنا المخطط الكتلي الموضح في الشكل (1) والذي يمثل اهم خطوات العمل والاسبقية الواجب مراعاتها في عملية التنفيذ، وقد انجز العمل ضمن مراحله متوخين الاسلوب العلمي في تنفيذ مراحل الانجاز للعناصر الاتية:

أولا: المرسلة الليزرية

تم اعتماد ليزر CO_2 النبضي مصدراً للنبضات الليزرية المستخدمة في قياس المدى. ان تصنيع مثل هكذا منظومات يتطلب تصنيع الرأس الليزري ومكوناته ومجهز القدرة ومنظومات السيطرة ولتصنيع الرأس الليزري هناك بعض الامور يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار في اثناء التنفيذ وهي:

أ- شكل الاقطاب الرئيسية وتصميمها وعلاقة وثيقة بانتظامية التفريغ الكهربائي على طول الاقطاب الرئيسية المسماة اقطاب المجال المنتظم (Uniform field electrodes).

ب- قصر نبضة التيار، اذ يجب ان يكون زمن هذه النبضة اقل من زمن تكون الاقواس الكهربائية والذي يكون بحدود $(10^{-4}\text{-}10^{-3})$ sec [5,8].

ج- تصميم المؤين الاولي، ونوعه مع مراعاة الفاصلة الزمنية مابين التاين الاولي والتفريغ الرئيسي عند تصميم الدائرة الكهربائية المستخدمة للتهييج.

د- كفاءة التحويل من الطاقة الكهربائية المخزونة بالمتسعات الى التفريغ التوهجي لتحقيق التوزيع المعكوس في ليزرات CO2 النبضي. يعتمد هذا بشكل اساسي على النسبة مابين المجال الكهربائي الى الكثافة الالكترونية (E\N) وتتغير حسب نوع الدائرة الكهربائية المستخدمة.

ه- الخصائص الكهروكيمياوية للخليط الغازي.

1- الجزء الميكانيكي

حجرة الليزر اسطوانية الشكل ومصنعة من مادة البيرسبكس بقطر خارجي (100mm) وقطر داخلي (60mm) وبطول

(200mm) تحتوي على فتحات رئيسية لدخول الغاز وخروجه وفتحات اخرى للتوصيلات الكهربائية للفولتية العالية والارضي، وتقع في جهتيها الامامية والخلفية المرآتان، والشكل (2) يوضح التركيب العام للمنظومة المصنعة.

استخدمت في تصميم الانموذج الاقطاب الرئيسية المعدة في هذه الدراسة ذات شكل قطب نوع 8^{th} -order Ernst-profile الذي تم تشغيله بموجب برنامج جرى اعداده بالحاسوب. اذا كانت ابعاد الاقطاب ،اما فيما يخص اقطاب التاين الاولي فقد استخدمت مواد شبه موصلة (Ge, Si) كاقطاب تاين اولي بشكل شرائح مستطيلة وبابعاد (130x20 x2)mm^3 و(100 x 20 x2)mm^3 وبمقاومة تتراوح بين Ω.cm (200 و150) بالنسبة لمادة السليكون Si وبمقاومية Ω.cm((4.8-50) بالنسبة لمادة الجرمانيوم.

يتطلب تصنيع مقدرات المدى الليزرية الغازية وليزر CO_2على وجه الخصوص وللاغراض التعبوية عوامل مساعدة صلبة لاطالة عمر المنظومة وسهولة حملها واستخدامها. ومن خلال استقراءنا للعوامل المساعدة المستخدمة في منظومات ليزر CO_2 اعتمدنا العامل المساعد من فلز البلاديوم مرسب من محلوله (كلوريد البلاديوم) على سطوح حبيبات الالومينا (Al_2O_3) لامتلاكه قابلية عالية لامتزاز CO وخصوصا O_2 مقارنة مع العوامل المساعدة الاخرى. اذا وضع العامل المساعد في حجرة مخصصة له صممت ضمن التصميم العام لحجرة الليزر [10,9]

يتكون المرنان البصري المستخدم في المنظومة من مرآتين متوازيتين تماما احداهما عاكسة كليا (100%) وتمثل المرآة الخلفية وهي مصنوعة من النحاس المطلي بالذهب بسمك (5mm) والاخرى عاكسة جزئيا وتمثل المرآة الامامية. انعكاسيتها (60%) وبسمك (3mm)ومصنوعة من مادة الجرمانيوم (Ge) وبقطر (50mm) لكل من المرآتين والمسافة الفاصلة بينهما (200mm). اما موسع الحزمة المستخدم فكان من نوع Galilian [12,11] ويتكون من عدستين احداهما شيئية موجبة والاخرى عدسة عينية سالبة مصنعة من مادة ZnSe بمعامل انكسار 2.403 ليزر CO_2. وباستخدام برنامج (G11) تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول (1) ومنها تم حساب معامل التكبير وبالتالي تم الحصول على تعريض للحزمة خمس مرات من القيمة الاولي، اما الانفراجية فانها قلت بمقدار (0.18).

2- مجهزات القدرة ومنظومات السيطرة

يتضمن تصميم مجهزة قدرة نوع (DC-DC) وتصنيعها لتشغيل المنظومة جميع مراحل السيطرة الالكترونية الخاصة بالمنظومة التي تتضمن بناء دوائر الشحن والقدح والتذبذب وللأغراض التعبوية أجرى تصميم وتصنيع مجهزة قدرة (DC-DC) ذي كفاءة عالية . يوظف هذا المحول بطاريات قابلة للشحن وتوظف عادة البطاريات القلوية لتوفرها وقلة كلفتها وأمكانية عملها في درجات الحرارة الوطئة. مجهز القدرة المصنع موضح بالشكل (3)

تقوم هذه الدائرة بتجهيز فولتية مستمرة قيمتها حوالي (30KV) من بطارية (24V). مبدأ عمل هذه الدائرة مبني على اساس تحويل تيار مستمر الى تيار متناوب ثم رفعه عن طريق محولة رافعة ثم تتم عملية مضاعفة الخرج مرات عديدة وتحويله الى فولتية مستمرة بما يعرف بمضاعف الفولتية (Voltage multiplier) .

استخدمت في البحث الدائرة الكهربائية من نوع دائرة انتقال الشحنة (دائرة التفريغ المباشر) لما تمتاز به هذه الدائرة في كونها دائرة تفريغ سريعة وذات حثية قليلة، ويوضح الشكل (4) مخطط الدائرة الكهربائية باستخدام انواع اقطاب التاين الاولي من اشباه الموصلات (Si, Ge, SiC) مع كيفية وضع

الشرائح (اقطاب التاين الاولي) على جانب الاقطاب الرئيسة اذ تم وضعها بشكل حرف (V) ومرة بشكل مستوي وتم استخدام فجوة قدح (بثلاث اقطاب) مصنعة محليا كمفتاح سريع ومتسعة خزن (C_1=12nF) ومتسعة التاين الاولي (C_2=5nF) والمتسعتين من النوع السيراميكي واطئ الحث.

ثانيا : المستقبلة البصرية

1- التلسكوب البصري

ان مبدأ عمل التلسكوب البصري معاكس لمبدأ عمل موسع الحزمة الذي يعمل على زيادة قطر الشعاع الخارج منه وتقليل الانفراجية، بينما يعمل التلسكوب البصري على تجميع الاشعة وتركيزها ضمن مساحة ضيقة هي مساحة الكاشف.

يتم استخدام عدسة شيئية واحدة بقطر (30mm) ، واما الجزء الثاني من المستقبلة البصرية فهو الكاشف الفوتوني نوع (HgCdTe) ، والشكل (5) يوضح ترتيب اجزاء المستقبلة الليزرية.

يمكن حساب مجال الرؤية للمستلم (θ_R) من خلال النسبة مابين حجم الكاشف الى البعد البؤري لعدسة المستلم اذاكانت بمقدار (0.932mrad). يمكن تحديد مجال الرؤية للمستلم باستخدام مرشح ايقاف (Field stop filter) ،كما مبين في شكل (5) ، ويمكن حساب نصف قطر فتحة هذا المرشح (Diameter of pinhole)(d)بالمعادلة الاتية:

$$d = f.\tan\theta_R$$

$$= 61.45.(\tan(0.952)) = 1mm$$

حيث ان : d: قطر العدسة المستلمة، θ_R : مجال الرؤية للمستلم، f : البعد البؤري لعدسة المستلم.

يمكن حساب مقدار قطر الدائرة المضيئة المركزية (Diameter of airy disc for circular aperture) الساقطة على الكاشف مساحته ($1mm^2$) من المعادلة الأتية:-

$$\beta = \frac{2.44 f\lambda}{D}$$

$$= \frac{2.44 \times 61.45 \times 10.6\,\mu m}{25mm}$$

$$= 63.57\,\mu m$$

اذ ان D قطر العدسة المستلمة (25mm)، ويعمل هذا المرشح (الصفيحة)على تقليل مقدار الضوضاء المستلمة علي الكاشف.

ثالثا: الجزء الالكتروني

قبل الدخول الى كيفية حساب المدى، يجب التعرف على بعض الدوائر المكونة، وهي:

1-دوائر قياس التردد (Frequency measurement circuit)

2-دوائر مقسم التردد (Prescaler)

3-حاسوب المدى (Range computer)

1- دائرة قياس التردد

في عملية قياس التردد جرى استخدام الدائرة المتكاملة (ICL 7216) التي تقوم بقياس تردد يصل الى (10MHz) ، ان من مميزات هذه الدائرة انها سهلة الربط نسبيا مع امكانية زيادة التردد المقاس، علاوة على انه يتم ربطها مباشرة مع عارضة ذات ثمانية مراتب.

2- دائرة مقسم التردد

تقوم هذه الدائرة بتقسيم التردد الداخل من المنظومة وان الغرض من عملية التقسيم هو تقليل قيمة التردد الداخل بنسبة معلومة لان التردد الاتي من المنظومة يعتبر عاليا بالنسبة لمقياس التردد المستخدم.

ان الدائرة المتكاملة المستخدمة هي من نوع SP8793 وكما مبين ربطها في الشكل (6)، تكون نسبة التقسيم فيها (40) وتعمل على تردد يصل الى (225MHz). من الجدير بالذكر ان نسبة الخطأ في القراءة تزداد مع زيادة نسبة التقسيم، لذلك تم استخدام نسبة معقولة (40) للحصول على قراءة بدقة مقبولة.

3- حاسوب المدى

ان المهمة الاساسية لحاسوب المدى هي حساب الوقت من لحظة انطلاق نبضة الليزر الى وقت اكتشاف نبضة القدرة المنعكسة من الهدف. ان سرعة العداد تحدد اقل زيادة في المدى، لذلك فان عدادا بتردد (15MHz) يوفر دقة مقدارها (20m)، وعداد اخر بتردد (30MHz) يوفر دقة مقدارها (10m)، وان دقة بقيمة (5) تعتبر ملائمة لمعظم الحالات الموجودة وهنا يستوجب عدادا بتردد (60MHz). عند انتقال نبضة الليزر سوف تتولد نبضة على (الكاشف الفوتوني) وعند انعكاس هذه النبضة سوف تتولد نبضة اخرى بالشكل نفسه توقف العد فتصبح لدينا الموجة المبينة بالشكل (7).

ان تردد هذه الموجة يمكن ان يعطينا الزمن بين النبضتين (t=1/f) ومن معرفة الزمن وسرعة شعاع الليزر (سرعة الضوء) يمكننا حساب بعد (مدى) الهدف. ان المرحلة التي يتم فيها حساب الزمن تتطلب عملية رياضية هي عملية قلب التردد وهذه العملية يمكن تحقيقها باستخدام دوائر منطقية مختلفة. والشكل (7) يوضح مخطط لعملية الحصول على الزمن بين النبضتين.

3- المناقشة

لغرض تحديد اعلى طاقة خارجة تعمل بها المنظومة تم دراسة تغير الطاقة الخارجة مع الفولتية المسلطة لمختلف متسعات الشحن وكما مبين بالشكل (8) الخاص بطريقة الشبه موصل نوع (SiC, Si, Ge) .

لوحظ زيادة في الطاقة الخارجة مع زيادة الفولتية المسلطة ولحد قيمة معينة عند (12KV) في حالة استخدام (SiC) يتحول عندها التفريغ الكهربائي الى التفريغ القوسي.

من ناحية اخرى، لوحظ ان الطاقة الخارجة تزداد عند زيادة قيمة سعة متسعة الخزن (Cs) لحد قيمة معينة ولنفس المدى من الفولتية المسلطة، ويتم الحصول على أعلى طاقة خارجة وفي حالة (SiC) تكون الطاقة الخارجة (70mJ) عند افضل متسعة خزن (12nF) .

ان زيادة قيمة سعة المتسعة (Cs) ادت الى نقصان الفولتية المثلى للتشغيل وبالتالي نقصان الطاقة الخارجة، وكذلك وجود قيمة مفضلة لخزن الطاقة والسبب يعود الى زيادة اعظم طاقة منقولة الى الوسط البلازمي والمعطاة بالمعادلة الاتية [13] :

$$E_p=2C_s(V_o-V_d)V_d$$

اذ ان : V_d : الفولتية المسلطة على الاقطاب الرئيسية، V_o فولتية المصدر

تم استنتاج علاقة بيانية بين مقدار الطاقة الخارجة والطاقة المخزونه في المتسعة موضحة في الشكل (9) التي منها تم تحديد كفاءة المنظومة والتي كانت بحدود (8.1%) وحسب المعادلة الاتية:

$$\eta = E_o/E_{in}$$

تم تحديد كفاءة العامل المساعد المستخدم (Pd/Al_2O_3) من خلال دراسة استقرارية طاقة الليزر الخارجة مع زمن التماس، وكما موضح في الشكل (10) الذي يوضح تغير طاقة الخرج الليزري في حالة عدم استخدام العامل المساعد اذ تستمر لفترة زمنية تقترب من (30min) لتتوقف بعدها، وهذا في حالة المنظومة المغلقة (Closed without catalyst) . اما عندما تكون المنظومة في حالة الجريان المستمر (Continuous flow) بدون استخدام العامل المساعد فان الطاقة تكون بافضل حالاتها وكذلك الاستقرارية. ان هذه الحالة غير مرغوب بها بسبب الاستهلاك العالي للغازات المتفاعلة. اما الحالة الثالثة فتمثل حالة المنظومة المغلقة مع استخدام العامل المساعد (Closed with catalyst) . وفيها تم الحصول على طاقة خرج ليزري واستقرارية جيدتين، الا انه دون حالة الجريان المستمر، ومع ذلك فهي تعد الحالة الافضل (Optimum) والاكثر اقتصادية اذ يتم تدوير

الغازات الموجودة نفسها في كل مرة بعد مرورها على العامل المساعد ولمدة (48hr).

حسابات المدى

يعد قياس المدى من اهم القياسات في بحثنا هذا الخاص بتصنيع مقدرة المدى حيث يمثل الغرض الرئيسي من البحث . وقبل الخوض في غمار هذا القياس لابد من استعراض المواصفات الرئيسة لمقدرة المدى المصنعة وفقا للنتائج المستحصلة.ان هذه الموصفات العامة صنعت بثلاثة اجزاء اساسية هما المرسلة والمستقبلة ويمكن اعتبار حسابات المدى وفق الاعتبارات الاتية:

1- معلمات حزمة الليزر المستخدمة: كانت طاقة الليزر الخارجة من مرنان الليزر المصنع وهو من نوع (plane-plane) مساوية الى (70mJ) بامد نبضة (120ns)، يتم عكس (10%) من الطاقة (الشدة) الخارجة على الكاشف الفوتوني مباشرة لبدء العد وتنفيذ (90%) الى الهدف على افتراض ان الهدف بابعاد $(2.3x2.3)m^2$ على مدى (R) ، بعد نفوذ النبضة من خلال موسع الحزمة والمكون من عدستين من مادة (ZnSe) ذات نفاذية (0.65) للطول الموجي (10.6μm) . علما ان حزمة الليزر الخارجة كانت بقطر (5mm) وانفراجية (θ_{div})(1.355mrad) .

2- تم حساب كل من قطر الحزمة الخارجة من بصريات موسع الحزمة فكان مقدارها (13.25) وزاوية انفراج (0.254mrad) بعد حساب مقدار التكبير(m_E) لموسع الحزمة والذي كان مقدار (2.6)، ولمعرفة مقدار قطر الحزمة اللازمة لتغطية معظم مساحة الهدف على بعد معين تم عمل جدول مابين قطر الحزمة والمدى(R)عند زاوية انفراج (0.254) كما مبين في الجدول (2).

3- حساب مقدار التوهين الجوي من تاثيري الامتصاص والاستطارة على شدة حزمة الليزر المنتقلة بالجو وبموجب قانون لامبرات (Lambert law) ويعبر عنها رياضيا بالمعادلة الاتية:

$$T_A = e^{-\sigma R}$$

اذ ان: T_A : نفاذية وسط الانتقال، σ : معامل التوهين الجوي بوحدات km-1 ويحسب من المعادلة الاتية [14]:

$$\sigma = \left(\frac{3.91}{v_m}\right)\left(\frac{0.55}{\lambda}\right)^q$$

اذ ان : V_m : هو مدى الرؤية بوحدات Km

ان معامل التوهين للاستطارة q يعتمد على (V_m) ويعطي بالمعادلات الاتية:

$q=0.585(V_m)^{1/2}$ for $V_m< 6km$

$q=(V_m/30)+0.86$ for $6 <V_m<9$

$q=(V_m/50)+0.98$ for $9<V_m<12$

$q=(V_m/200)+1.15$ for $12<V_m<100$

وتتراوح قيمة q بين (0.12-2.3) اعتمادا على الطول الموجي. والجدول (3) يبين تغير مقدار النفاذية الجوية (T_A) مع كل من R و V_m للطول الموجي 10.6μm.

4- يحسب مقدار القدرة الواصلة الى الهدف من المعادلة الاتية:

$$P_T = P_L . T_T . T_A$$

اذ ان: T_T: مقدار النفاذية خلال بصريات الموسع وتساوي (65%) لكل من عدستي ZnSe المستخدمتين ، P_L : مقدار قدرة الليزر الخارجة وتعطى بالمعادلة الاتية:

$$P_L = E_L / \tau_L = 70mJ / 120nsec$$
$$= 0.58MW$$

P_T: مقدار القدرة الواصلة الى الهدف وتساوي (0.31MW).

5- مساحة الهدف المغطاة بحزمة الليزر وتعطى بالمعادلة الاتية:

$$\frac{\pi}{4}\left(\frac{\alpha_L}{m_E} - R\right)^2 (m^2)$$

اما مساحة الهدف التي يمكن ملاحظتها من خلال بصريات المستلم فقط فهي حسب المعادلة الاتية [15]:

$$\frac{\pi}{4}(\beta_R R)^2(m^2)$$

اذ ان β_R: مجال الرؤية لبصريات المستلم (0.932)

علية فان مقدرة المنعكسة من الهدف والواصلة الى الكاشف تعطي بالمعادلة الاتية:

$$P_S = R_T.T_t.T_A.\rho.(D_R/R^2)_.T_R.\eta$$

$$\eta = \beta_R^2.(m_E/\alpha_L)^2$$

اذ ان :ρ : انعكاسية الهدف (3%) ، D_R: قطر عدسة المستلم، T_R: نفاذية بصريات المستلم وتساوي (65%) باستخدام عدسة(ZnSe) .

في حالة عدم القدرة على تحديد مقدار قطر الحزمة المنعكسة الى الهدف باستخدام عدسات المستلم، فيمكن افتراض حالتين:

أ- $\eta=1$ عندما $(\alpha_L/m_E) < \beta_R$ اذ يعطى مقدار القدرة الوصلة للكاشف بالمعادلة الاتية:

$$P_D = P_L.T_E.T_R.T_A^2.\rho.D_R^2/R^4 = 2.9\mu W$$

ب- $\eta = \beta_R^2(m_E/\alpha_L)^2$ عندما (a_L/m_E) > β_R ففي هذه الحالة تعطى القدرة الواصلة للكاشف بالمعادلة الاتية:

$$P_D = P_L.T_E.T_R.T_A.\rho.D_R^2.\beta_R^2(m_E/\alpha_L)^2/R^4$$

6- يمكن معرفة اقصى مدى للكاشف ان يتحسسه بالاعتماد على خصائص ومعلمات الكاشف المستخدم (بعبارة اخرى، معرفة اقل قدرة يمكن للكاشف ان يتحسسها) باستخدام الكاشف الفوتوني (HgCdTe) المبرد [16] ، وكان مساويا إلى ($0.166x10^{-10}$ w). وحسب المعادلة أدناه:

ت- الكاشفيه النوعية (Specific detectivity)D*

$$D^* = D\sqrt{A.\Delta f} = \frac{I_{ph}\sqrt{A.\Delta f}}{I_n \times P_D} = 6.10^{10} cm.Hz^{\frac{1}{2}}.W^{-1}$$

إذ ان:D* : الكاشفيه النوعية (Specific detectivity) ، D= الكشفية (Detectivity)

I_{ph} : التيار الضوئي، I_n: تيار الضوضاء (الظلام)، P_D: القدرة الواصلة إلى الكاشف.

4- الاستنتاجات

من خلال تشغيل منظومة الليزر كمرسلة ليزرية لوحظ ان هناك استقرارية عالية في التفريغ الكهربائي الرئيسي من خلال الحصول على تفريغ توهجي منتظم ملأ الحيز المحصور بين القطبين وهذا ناتج من انتظام الاقطاب الرئيسية المستخدمة بالبحث وهي اقطاب المجال الكهربائي المنتظم (Uniform electric field electrode) من نوع (Ernst profile). وتحسن كبير في تسلسل نبضات الليزر عند توظيف اقطاب تاين اولي من مادة Sic بحجم حبيبي يتراوح مابين (46-150μm) مما يؤدي الى استقرار التفريغ الكهربائي للاقطاب الرئيسية – اذ تم الحصول مع طاقة خرجة مقدارها 70mJ باستخدام هذا النوع من الاقطاب الثانوية.

عند تشغيل المنظومة بصورة محكمة (مغلقة) وبدون استخدام العامل المساعد لوحظ النقصان في طاقة الحزمة الليزرية مع زيادة زمن التشغيل الناتج بسبب زيادة تراكيز الغازات المتحللة (O_2 ,CO) الناتجة من تفكك غاز CO_2. ولأجل التخلص من تاثير تحلل غاز CO_2 واطالة عمر اشتغال المنظومة المحكمة تم استخدام عامل مساعد من نوع (Pd/AlO_3) الذي ادى الى اعادة اتحاد الغازات المتفككة وبنسبة (55%) وتركيزها. واستنتج من خلال حسابات المدى النظرية ان مواصفات المرسلة والمصنعة بالامكان استخدام المنظومة لقياس مديات أكثر من (15Km).

Reference

1. Forrester P.A., Hulme K.F., Optical and Quantum Electronics, vol.13, 1981, pp.259-293.
2. Corcoran V.F., CO_2 Laser Devices and Applications, SPIE, vol.227, 1980, pp.259-293.

3. Hept G.B., The Chaotic Development of Infrared System for Tactical Aviation via internet: thesis, Air University (Air College: Alabma, (2000).
4. Patel C.K.N., Phys. Rev. Lett., vol.12, 1964, p.588.
5. Stark D.S., Cross P.H. and Soster H., IEEE J.Quantum Electron., vol.11, 1975, p.774.
6. A.V. Jelalian, Laser Focus, April 1982, p.57.
7. Roche X. et.al. (2002) Lambda Recsearch corporation Via Internet:hllp://www.lambdares.com.
8. IKarashi N. et al., Phys. Rev. Lett., vol.72, 1994, p.3198.
9. Hokozono H. and kobayashi H., IEEE J. of Quantum Electron., vol.28,no.8, 1992.
10. Gregg S.J. and Sing K.S., Adsorption-surface area and porosity, 2nd edition, Academic Press, Inc.(London), 1982, p.26, 23.
11. R.T. Williams (2001) optics, Via internet:http://www.spot.optics.com.
12. Fundamental optics (2000), Via internet:http://www.mellesgriot.com.
13. Heeman-Illieva M., PhD Thesis, Univ. of Twente, The Netherlands, 1994.
14. Bertolotti M., "Effect of Atmosphere on the Propagation of Laser beams", in lasers and Their Applications, edited by A.Sona, G&B(Italy), 1976.
15. Barmine J.W., Proc. SPIE, CO_2 Laser Devices and Applications, vol.227, 1980, pp.45-47.
16. Smith R.A., Jones F.E. and Chasmar R.P., The Detection and Measurement of Infrared Radiation, Oxford (UK), 1968.

جدول (1) مواصفات العدسة المستخدمة

Lens type	R_1 (mm)	R_2 (mm)	F (mm)	Thick (mm)	D_{opt} (mm)	D_{Mech} (mm)	Sph. Abb.	Ast. Abb.	Comma	BFL	EFL
Eye	16.065		-11.44	1.7	5	7.9	0.302	0.0002	0.0078	-11.44	-11.4
Obj lens	51.15	121.294	61.44	3	21	25	-0.137	0.00066	8.93×10^{-6}	59.33	61.44

جدول (2) تغير قطر حزمة الليزر مع المسافة R.

R(km)	R x α_L	Dr(m)
2	2 x 0.254	0.509
5	5 x 0.254	1.27
10	10 x 0.254	2.54
15	15 x 0.254	-

جدول (3) تغير مقدار النفاذية مع المسافة R و V_m للطول الموجي 10.6 μm.

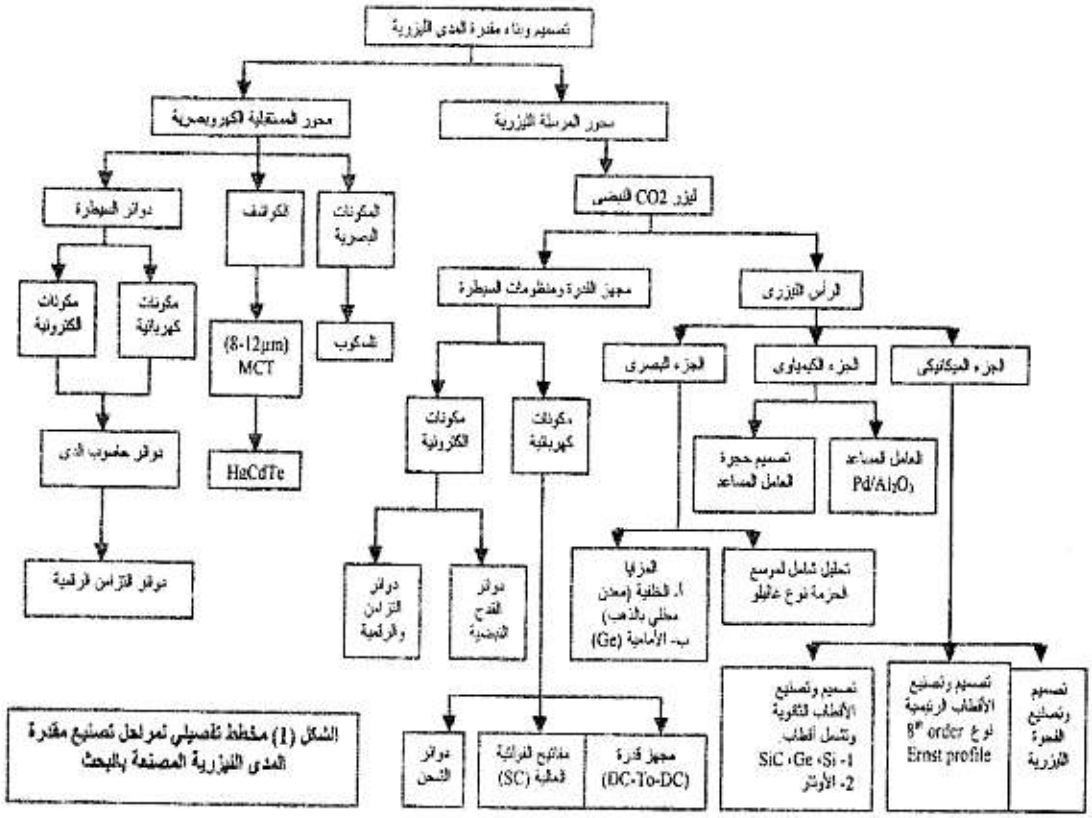
R(km) \ V_m(km)	2	3	5
2	0.644	0.806	0.923
5	0.332	0.583	0.818
10	0.11	0.34	0.78

الجدول (4) مواصفات المرسلة الليزرية المصنعة مع بصرياتها.

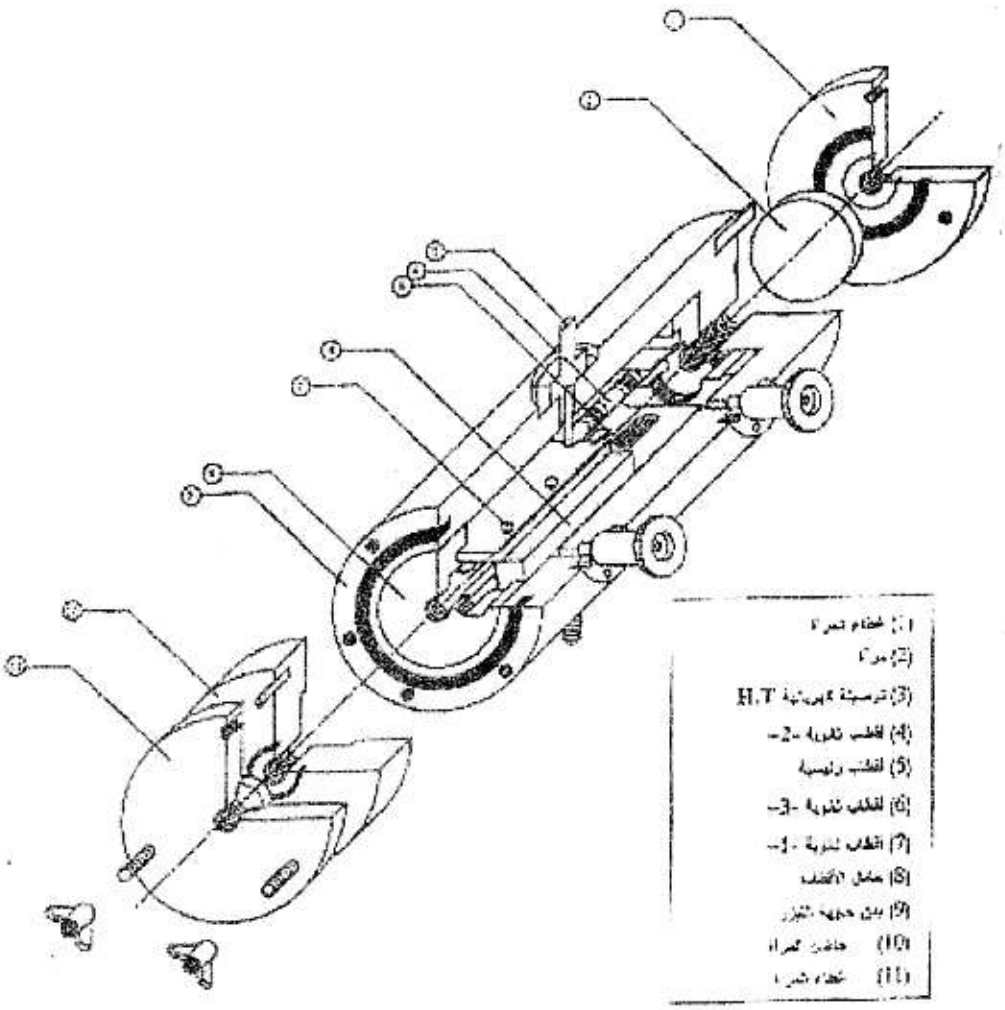
TRANSMITTER		
Mini-TEA CO_2 laser		
Pulse energy		40-70 mJ
Peak power		0.3-0.6 MW
Pulse duration		100-120 ns
Pulse rise time		<20 ns
Mode		TEMoo
Beam divergence		1.35 mrad
Beam diameter		5 mm
Repetition rate		1Hz
Size		18.2 cm^3 (130x20x6)mm^3
Laser head size		200x100 mm cylinder
Gas composition		8%CO_2, 8%N_2, 82%He, 2%CO
Transmitter Optics		
Magnification		5.3
Aperture size		2.5 cm
Beam divergence		0.254 mrad
Material		ZnSe or Ge

الجدول (5) مواصفات المستقبلية الليزرية المصنعة مع بصرياتها

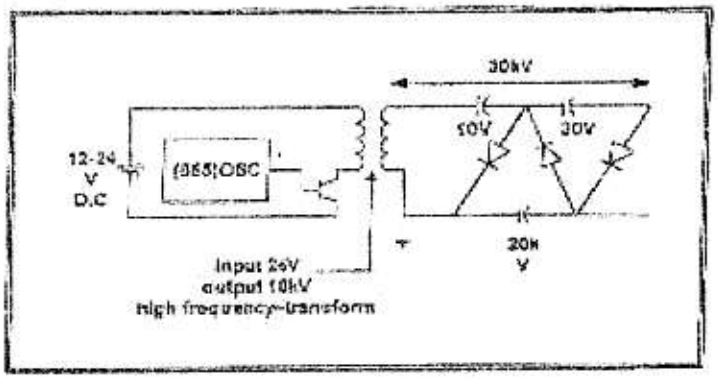
RECEIVER		
Detector		
Type		HgCdTe
Band width		100 MHz
D*		$6x10^{10}cm.Hz^{1/2}.W^{-1}$
Diameter		0.25 cm
Cooling		Liquid N_2(77°K)
Receiver Optics		
Aperture		2.5cm
Focal length		6.145 cm
Field of view		0.932 mrad
Material		ZnSe



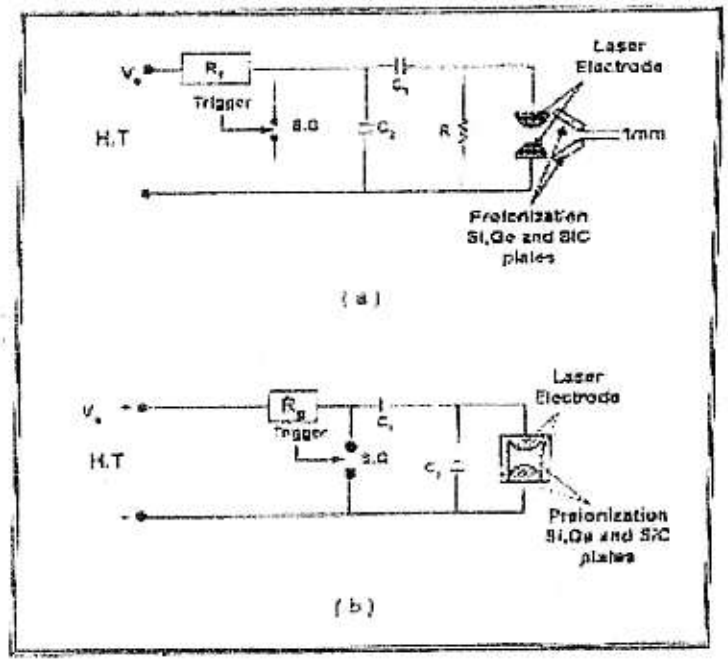
الشكل (1) مخطط تفصيلي لمراحل تصنيع مقدرة المدى الليزرية المصنعة بالبحث



شكل (2) الترتيب العام للمنظومة المصممة.



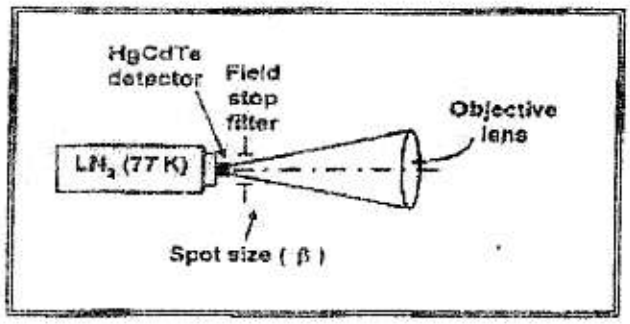
شكل (5) مجهز القدرة المصنع.



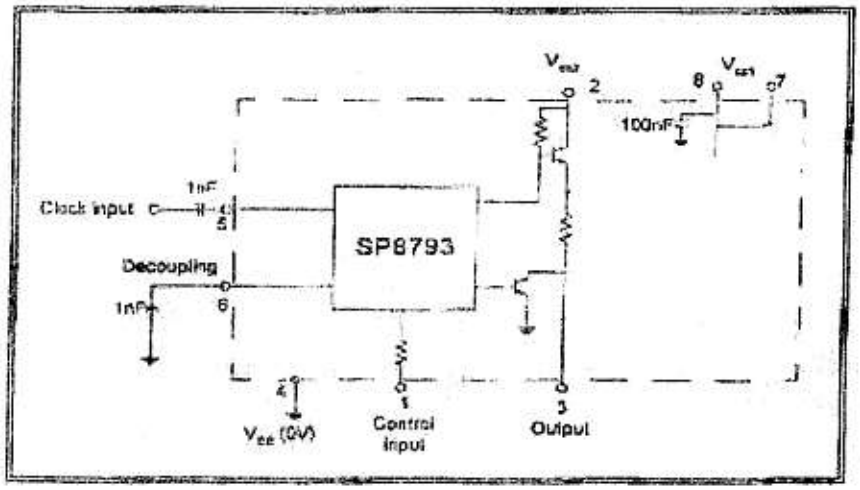
شكل (6) يوضح مخطط الدائرة الكهربائية لليزر في حالة استخدام أقطاب شبه موصلة لتأين أولي:

a. القطب الثاني الأولي على شكل حرف V.

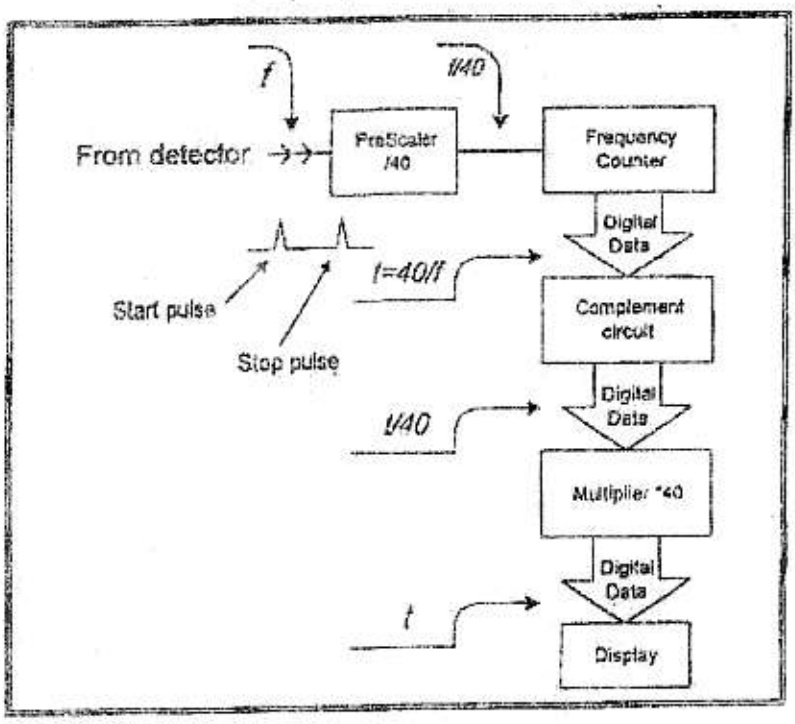
b. القطب الثاني الأولي على شكل مستوي.



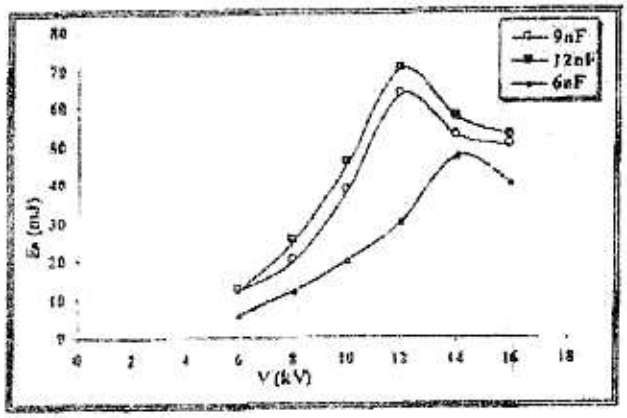
شكل (5) يوضح ترتيب أجزاء المستقبلة الليزرية.



شكل (6) يبين ربط الدائرة المتكاملة (SP8793).



شكل (2) دائرة حساب المدى.



شكل (3): تغير الطاقة الخارجة مع الفولتية المسلطة لمختلف متسعات الشحن والخاصة بطريقة شبه الموصل نوع SiC