مجس الضغط الواطئ باستخدام ليزر أشباه الموصلات

ايفان بهنام كرومي
طالب دراسات عليا
قسم الفيزياء- كلية التربية
جامعة الموصل

ليث محمد جاسم
قسم الميكانيك – كلية الهندسة
جامعة الموصل

د.عبد الغفور إبراهيم عبد الله
قسم الفيزياء- كلية التربية
جامعة الموصل

تاريخ الاستلام 2004/10/6
تاريخ القبول 2006/4/3

ABSTRACT

The aim of the present research is to design and study the performance of an optical system for the purpose of measuring the pressure, using semiconductor laser.

A Commercial laser diode of 650 nm Wavelength and 3 mW power is used to measure a low pressure inside a chamber, which is designed for this purpose.

The most important parameter including Threshold current, Energy gap Quantum efficiency,....etc under different values of pressure (1000 mbar-25 mbar) and at room temperature were taken into consideration.

The results show that the laser diode gives a good response to the variation of the pressure inside the chamber, especially, when the laser was operating at pulsed mode.

The main conclusion arrived at, indicates that the laser diode can be used as a sensing unit for low pressure, meanwhile when the pressure decreases; the out put power of the laser diode is increased within 0.091 μW/mbar.

الخلاصـــة

الهدف من هذا البحث هو تصميم ودراسة أداء منظومة بصرية لغرض قياس الضغط باستخدام ليزر أشباه الموصلات. تم استخدام ليزر تجاري (الطول الموجي 650 nm، وقـدرة خرج 3 mW) لقياس الضغط الواطئ داخل حجرة تم تصميمها لهذا الغرض.

أن المعلمات الأكثر أهمية والتي تتضمن (تيار العتبة، الطـول المـوجي، والكفـاءة الكمـية، وغيرها) تحت قيم مختلفة من الضغط (1000 mbar- 25 mbar) وعند درجـة حرارة الغرفة قد اخذت بنظر الاعتبار.

أشارت النتائج الى أن ليزر أشباه الموصلات أعطى استجابة جيدة للتغيرات في الضغط داخل الحجرة وخاصة عندما يعمل الليزر بالنمط النبضي. الاستنتاج الرئيسي الذي تم التوصل إليه، يشير إلى أن الليزر دايود يمكن استخدامه كوحدة تحسس للضغط الواطئ، حيث انه عندما يتناقص الضغط فان القدرة الخارجية لليزر تزداد ضمن 0.091 μW/mbar

المقدمـــة

يلعب ليزر أشباه الموصلات دوراً مهماً في الأجهزة الإلكترونية وفـي العديـد مـن التطبيقات مثل اللاتصالات بالألياف البصرية والطابعات الليزرية وقرص آلـ(CD) وذلـك بسبب صغر حجمه وموثوقيته العالية وسهولة استخدامه.

وباختيار المادة المعينة يمكن توفير مدى واسع من الأطوال الموجية من 0.5 الى 33 μm يتم توليف Tuning الطول الموجي إما باستخدام مجال مغناطيسي أو بتغيـر درجـة الحرارة أو الضغط، إذ يتميز ليزر أشباه الموصلات بقلة التكاليف، الأحكام Compactness، سهولة التضمين والكفاءة العالية فأن هذا النوع من الليزرات يكون الأفضل.

نقوم في هذا البحث بدراسة مدى حساسية ليزر أشباه الموصلات المتوفر في الأسواق المحلية للضغوط المنخفضة. قبل ذلك سنوجز بعضا لبحوث ذات العلاقة بالموضوع ففي عـام 1975 قام الباحث Benjamin Welber واخرون بدراسة تأثير الضغط الهيدروسـتاتيكي على فجوة الطاقة للمركب شبه الموصل (Ga As) وقد استنتجوا ان زيادة الضغط يؤدي الـى زيادة فجوة الطاقة ضمن المديات من 1.4 الى 150 Kbar [1].

وفي عام 1982 قام S.Wkirchoefer وآخرون بدراسة تأثير الضغط العالي على ليزر أشباه الموصلات ذو التركيب المتباين نوع $AL_xGa_{1-x}As$ (x~0.5) فقد لاحظ زيادة

في تيار العتبة مع زيادة الضغط [2] . وقد قام كل P.Perlin وجماعته في عام 1994 بدراسة تأثير الضغط على خصائص ليزر اشباه الموصلات GaAs/ ALGaAs ذو الطول الموجي 780 nm والقدرة الضوئية 3mW وقد وجدوا حدوث نقصان في الطول الموجي لليزر مع زيادة الضغط الهيدروستاتيكي المسلط وزيادة في تيار العتبة يرافقه تقصان في قدرة الخرج الليزري ونقصان في الكفاءة الكمية لليزر مع زيادة الضغط [3] .

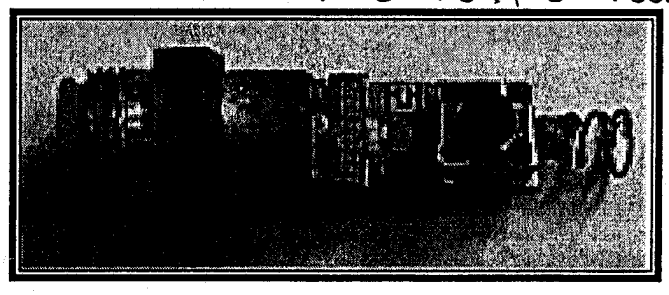
وفي عام 2000 قام الباحث Paul Stackwell باستخدام منظومة ثنائي الليزر القابل للتوليف بحساب نسبة الرطوبة في الجو وقد تبنت وكالة الأبحاث والفضاء NASA هذه الفكرة وقامت بتثبيت منظومة الليزر المعدة لهذا الغرض تحت أحد أجنحة الطائرة التابعة للوكالة وقياس الرطوبة عند ارتفاعات معينة في الجو [4] .

أن الهدف من هذه الدراسة هو بيان مدى حساسية ليزر أشباه الموصلات المتوفر في الأسواق المحلية للضغط الواطئ عند التشغيل النبضي، وكذلك دراسة إمكانية توظيف ليزر أشباه الموصلات في قياس الضغوط المنخفضة وعلاقته بالارتفاع ودرجة الحرارة، كتطبيق جديد لليزر في مجال الطيران المدني.

الجـزء العملـي

1- ليزر أشباه الموصلات Semiconductor Laser

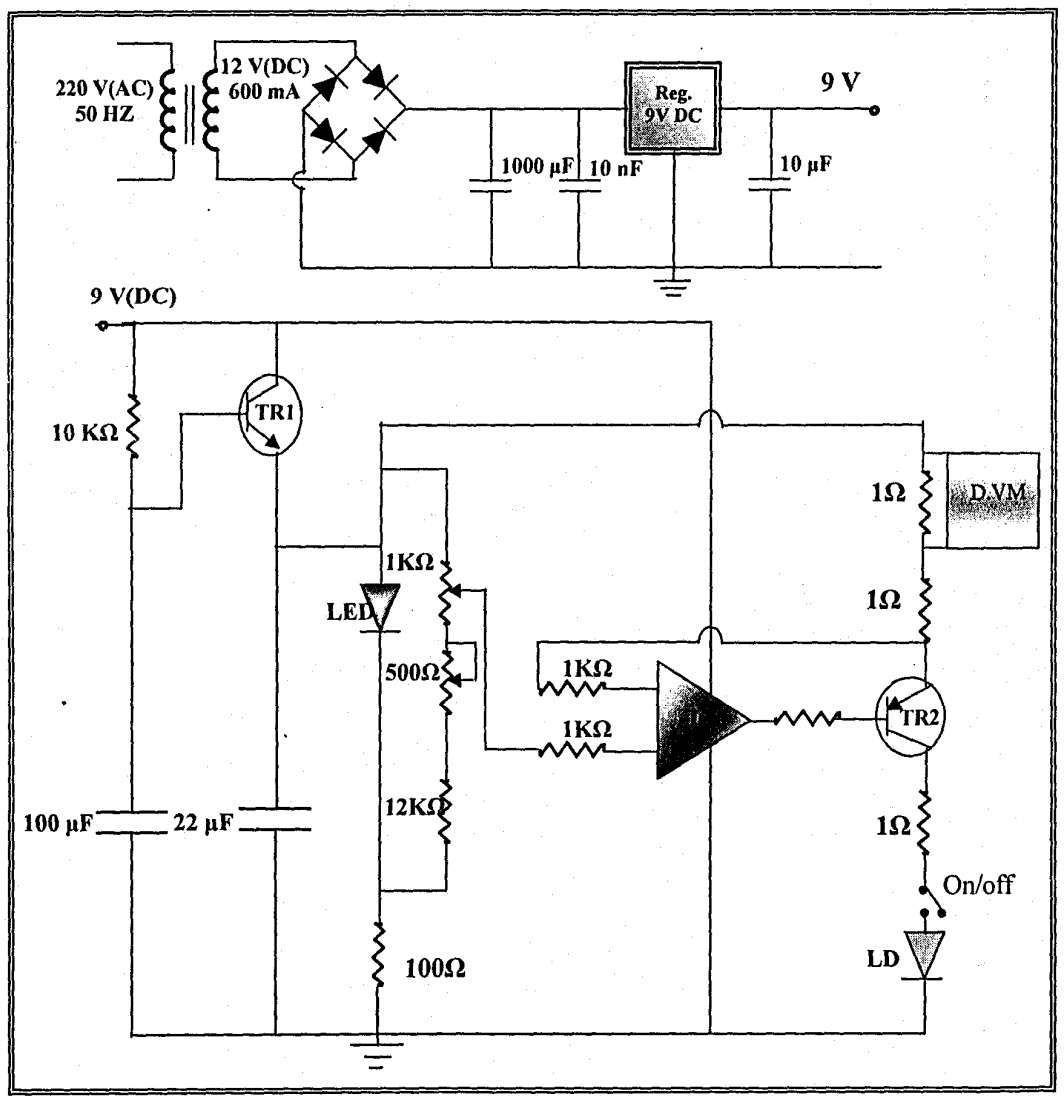
أن الليزر المستخدم في هذه الدراسة هو ليزر أشباه الموصلات وهو من الليزرات المتوفرة في الأسواق المحلية صيني الصنع يبعث شعاعا ضوئيا يقع في المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي ذي الطول الموجي (650 nm ± 10) كما هو مثبت في مواصفاته من قبل الشركة المنتجة (Sony)، تكون نبيطة الليزر مرسبة على طبقة من البراص ومحاطة بغطاء أسطواني معدني مثبتة في نهايته عدسة. يتم إخراج كبسولة الليزر من العلبة البلاستيكية بعناية وذلك لتلافي توليد أي شحنة والتي من شانها أن تتلف الليزر [5] الشكل (1) يمثل صورة لكبسولة الليزر بعد أن تم إخراجه من العلبة.



الشكل (1): صورة كبسولة الليزر بعد إخراجها من العلبة

2- دائرة السيطرة على التيار المستمر Current Controller

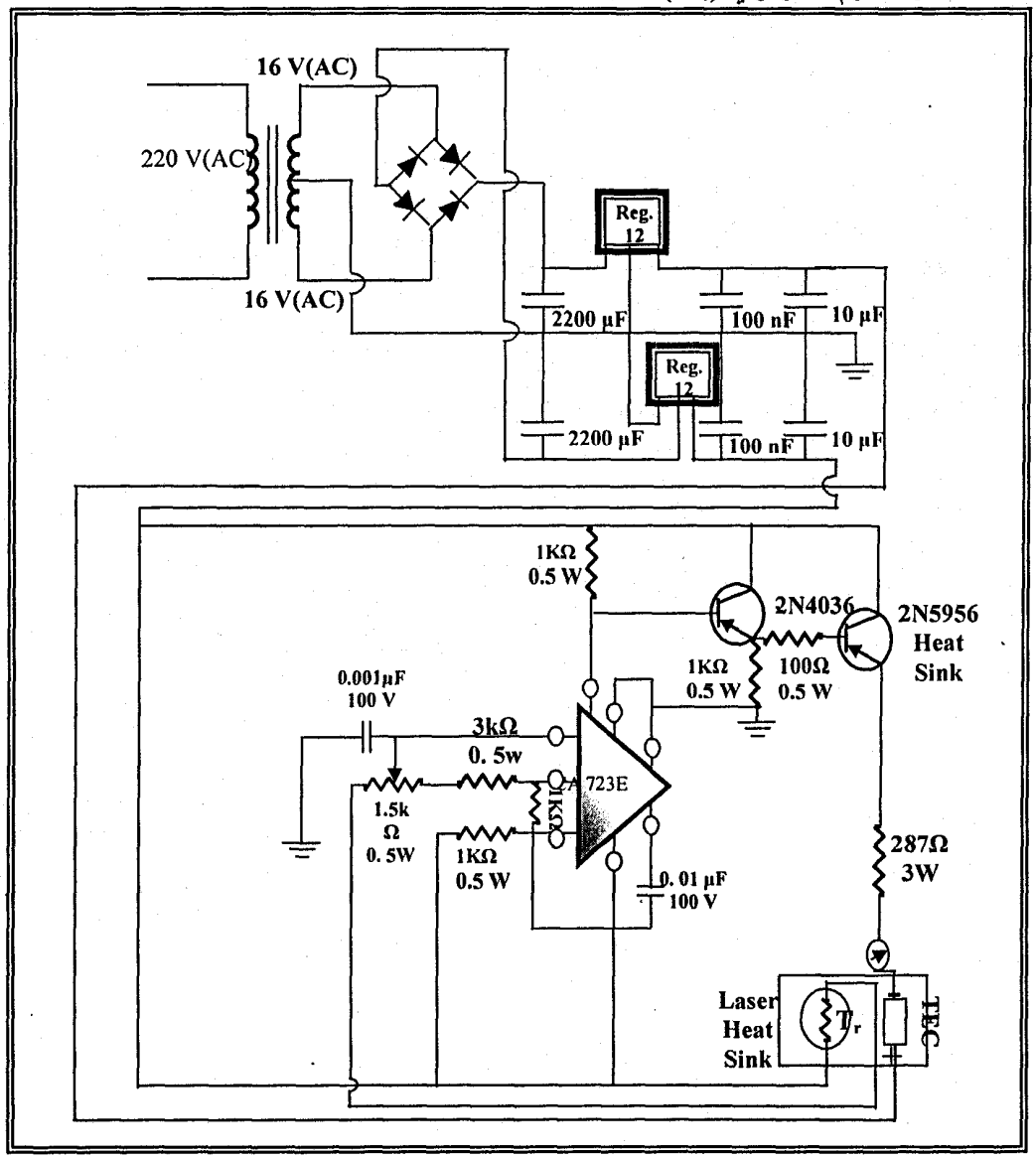
تم تصميم منظومـــة إلكترونية لغرض دراسة خواص ثنائي الليزر بشكـــل دقيق. ويتم ذلك من خلال السيطرة على تيار حقن الليزر وضمن مدى (0-90mA) وبزيـــادة مقـــدارها (0.1mA) هذا وان هذه الدائرة تتمتع بأستقرارية عالية. والشكل (2) يمثل مخطط الدائرة الذي تم تصميمها لهذا الغرض.



الشكل (2): دائرة السيطرة على تيار الليزر

3- دائرة السيطرة على درجة الحرارة Temperature Controller

إن الخصائص التشغيلية لليزر أشباه الموصلات والطول الموجي له يعتمد بدرجة كبيرة على درجة الحرارة [6,7] وان درجة حرارة الليزر ترتفع عند التشغيل ولغرض دراسة تأثير الضغط الواطئ على الليزر يجب السيطرة على درجة الحرارة وتثبيتها، عليه اقتضت الضرورة على بناء منظومة إلكترونية تقوم بتثبيت درجة الحرارة. الشكل(3)، يمثل مخطط الدائرة الإلكترونية المستخدمة لهذا الغرض. إن العناصر الأساسية في هذه الدائرة والتي تقوم بالحفاظ على درجة الحرارة وتثبتها هما المبرد الكهروحراري Thermo-Electrical (TEC) Cooler والمقاوم الحراري Thermistor (T_r).



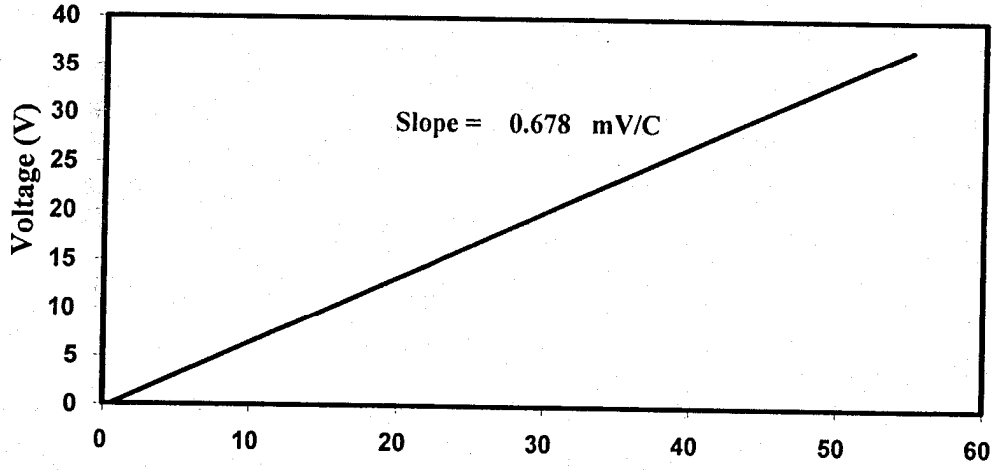
الشكل (3): دائرة السيطرة على درجة حرارة الليزر

4- الكاشف الضوئي Photo Detector

يقوم الكاشف الضوئي بتحويل الإشارة الضوئية الى إشارة كهربائية يمكن التحسس بها بواسطة دوائر إلكترونية وتحويله الى المعلومات الأساسية التي نرغب في دراستها [8]. تم استخدام كاشف ضوئي سلكوني نوع (RS – UK BPX65) .

5 - المزدوج الحراري Thermocouple

لقد تم استخدام مزدوج حراري وذلك لغرض قياس درجة الحرارة داخل الحجرة عند التفريغ. المزدوج الحراري المستخدم في هذا العمل مصنوع من مادتي (النحاس _ كونستنتان) (Copper-Constantan). لقد وجد عمليا إن حساسية المزدوج الحراري هي(0.678mV/C) بوجود المكبر (Amplifier) والرسم البياني في الشكل (4) يمثل خواص المزدوج المستخدم.

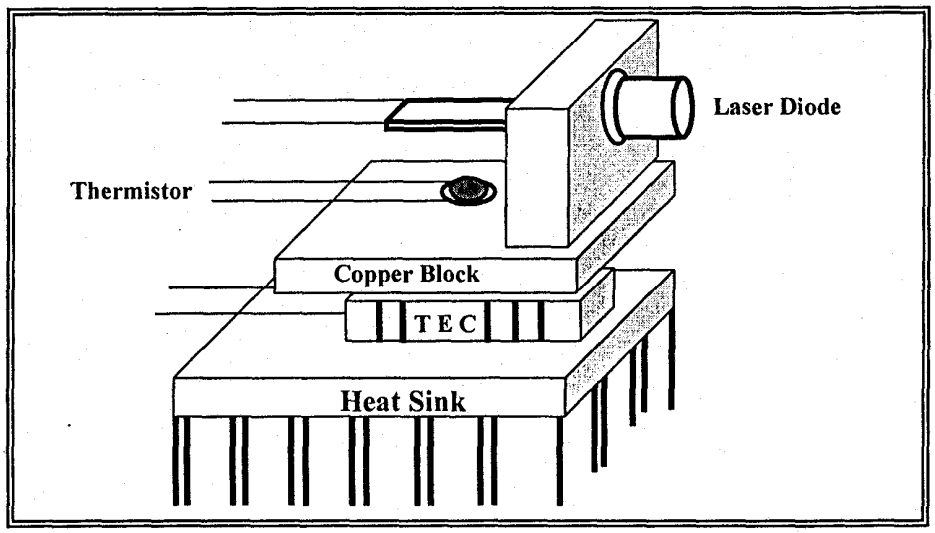


الشكل (4): العلاقة بين درجة الحرارة وفرق الجهد المتولد على طرفي المزدوج الحراري بوجود المكبر

6 – قاعدة الليزر Laser Mount

تم عمل قاعدة خاصة لتثبيت الليزر تتكون من قطعة نحاسية (Copper Block) على شكل حرف L أبعادها cm (2.7,2.8,2) تحتوي هذه القاعدة على ثقبين: الأول على أحد جانبيها وذلك لإدخال كبسولة الليزر وتثبيتها، والثقب الثاني لتثبيت المقاوم الحراري الذي يقوم

بتنظيم تيار المبرد الكهروحراري استنادا إلى درجة الحرارة. الشكل (5) يوضح الترتيب النهائي لقاعدة الليزر.

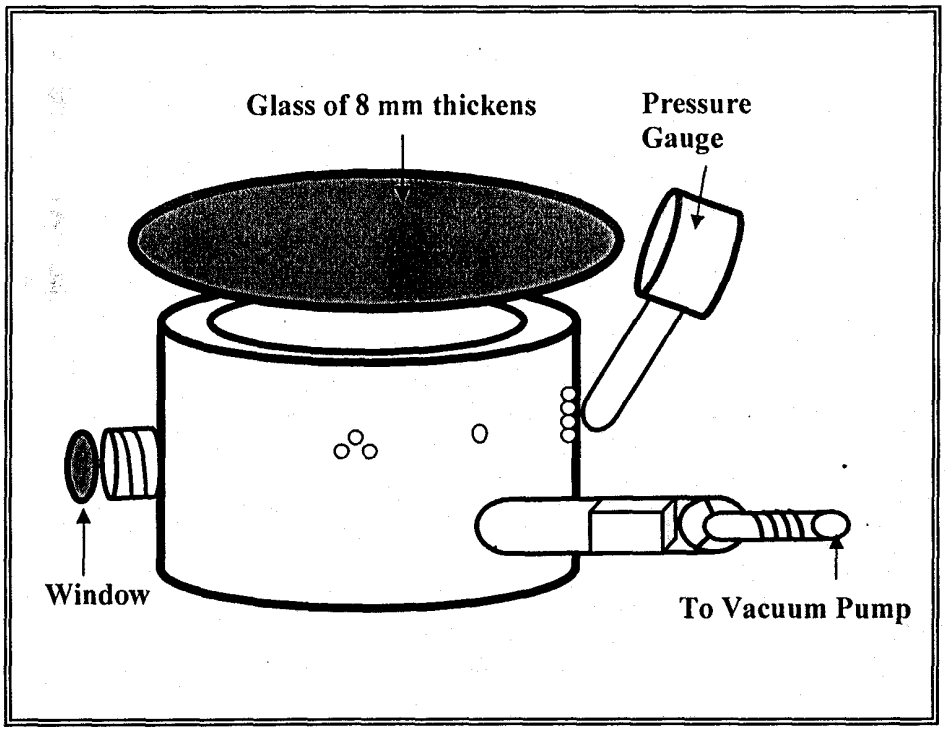


الشكل (5): الترتيب النهائي لقاعدة الليزر

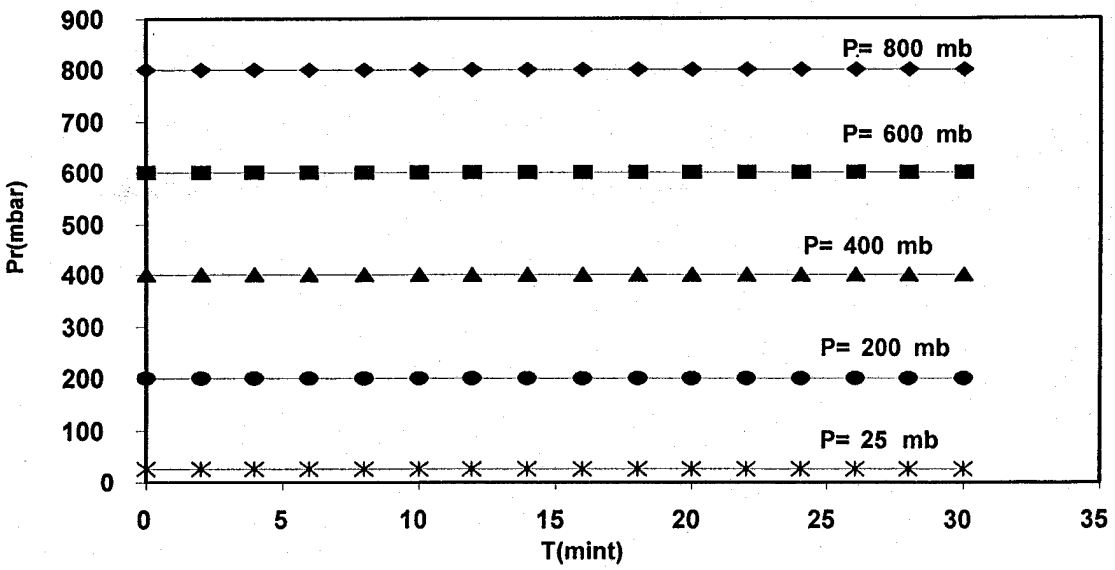
7 - حجرة التفريغ Vacuum Chamber

لغرض دراسة تأثير الضغط الواطئ على ليزر أشباه الموصلات فقد تم استخدام حجرة للتفريغ مصنعة محليا لتحقيق هدف الدراسة. وهي عبارة عن اسطوانة قطرها 15.7)cm) وارتفاعها cm (11) مصنوعة من مادة الفولاذ الصلب سمكها حولي 3.5mm تحتوي على ثقوب تم تصنيعها من اجل إدخال أسلاك التوصيل إلى جهاز الليزر والدوائر الملحقة بها (المسيطر الحراري والمزدوج الحراري) ويتم السيطرة على هذه الأجهزة وتشغيلها من خارج الحجرة كما وان هذه الثقوب قد تم تصميمها بشكل لا يسمح بأي تسريب من والى الحجرة. تحتوي الحجرة أيضا على نافذة زجاجية سمكها mm (6) وقطرها cm (11.4) وذلك لغرض السماح لضوء الليزر بالنفوذ ثم قياس شدته خارج الحجرة تحتوي الحجرة أيضا على صنبور يتم وصله إلى مضخة التفريغ بواسطة أنبوب بلاستيكي. كما تحتوي الحجرة ايضاً على فتحة لتثبيت مقياس الضغط عليه، الشكل (6) يوضح أجزاء حجرة التفريغ. ولغرض فحص حجرة التفريغ ومعرفة مدى استقراريتها فقد تم تفريغ المنظومة ولضغوط منخفضة مختلفة، وتم مراقبة مقياس الضغط ولفترة زمنية محددة، تشير هذه التجربة والمثبتة نتائجها على الشكل (7) بان الضغط داخل الحجرة يبقى ثابتاً خلال فترة زمنية مقدارها 30 دقيقة والذي هو كافي

لإجراء الفحوصات على الليزر. تم استخدام مضخة التفريغ Pump Vacuum إنكليزية الصنع مجهزة من شركة (Griffin and George Ltd) لها أقصى قدرة تفريغ (10^{-2} Torr) ومن مواصفات المحرك Singl phase (220-240 AC) ومقياس الضغط Pressure Gauge نوع (AB VACUUM(V) EXTRCTOR) مجهز من شركة Gothenburg سويدي الصنع له مدى قياس من الضغط الجوي والى حد الصفر وحدات القياس هي bar و inch Hg . إن مولد النبضات Pulse Generator المستخدم في هذه الدراسة مجهز من شركة ARCONI NSTRUMENT Ltd له مدى التردد 0 - 2.5 MHz كما تم استخدام الأسليسكوب الرقمي Digital Oscilloscope (D.O) مجهز من شركة IWATS نوع DS-881 , BRINGO مدى التردد 0- 100 MHz .



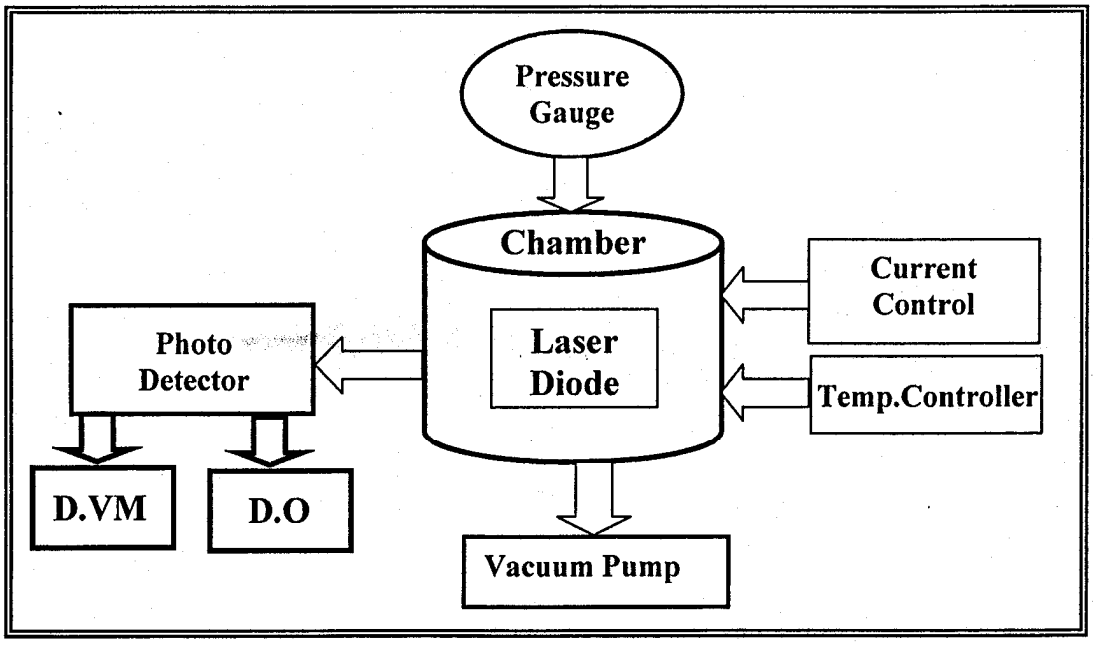
الشكل (6): أجزاء حجرة التفريغ



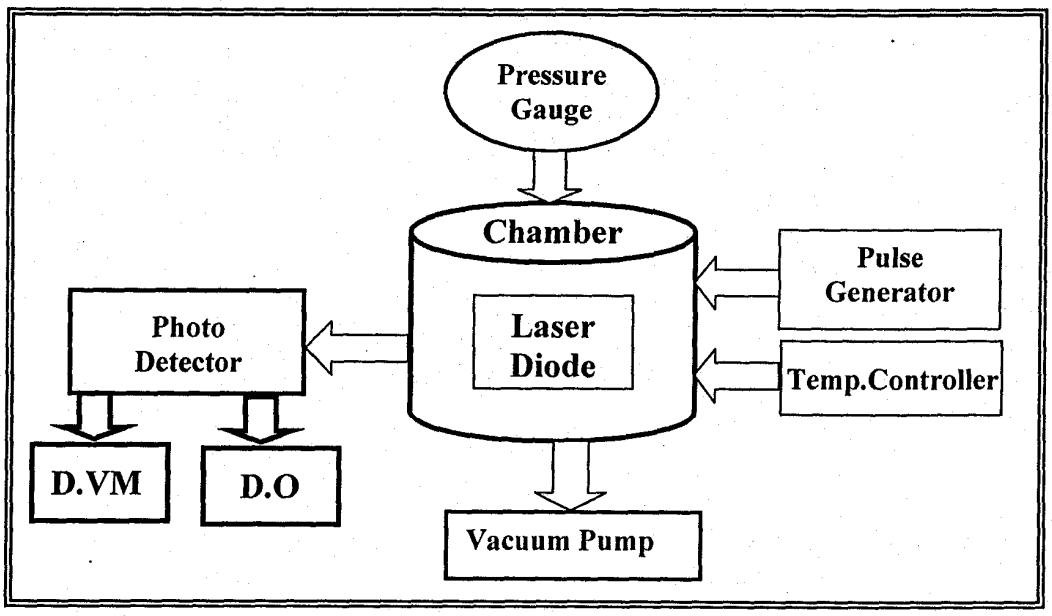
الشكل (7): استقرارية الضغط داخل الحجرة

8- التجربة النهائية المستخدمة في الدراسة

يوضح الشكل (8) الترتيب التجريبي للمنظومة المستخدمة في دراسة خصائص ثنائي الليزر (تيار – فولتية) (تيار – القدرة الضوئية) عند ضغوط مختلفة منخفضة إما الشكل (9) يوضح الترتيب التجريبي للمنظومة المستخدمة في دراسة حساسية ثنائي الليزر للضغوط الواطئة عند التشغيل النبضي.



الشكل (8): منظومة التشغيل المستمر



الشكل (9): منظومة التشغيل النبضي

النتائج والمناقشة

يمثل الشكل (10) خواص (التيار- الفولتية) لليزر المستخدم عند أربع مديات مختلفة من الضغط 1000, 700, 400, 25 mbar وفي درجة حرارة المختبر 14°C، في بداية المنحنيات نلاحظ انه عند زيادة فولتية الانحياز لا وجود لتيار الحقن، الى ان تصل الفولتية الى قيمة معينة تسمى فولتية جهد الحاجز بعدها نلاحظ زيادة كبيرة في تيار الحقن مقابل زيادات طفيفة في فولتية الانحياز. وبمساعدة الشكل (10) تم إيجاد جهد الحاجز(فولتية العتبة) من تقاطع المستقيم المحاذي للعلاقة بين الفولتية والتيار مع محور الفولتية، ان جهد الحاجز(V_b) يساوي تقريباً فجوة الطاقة (E_g) لليزر ($E_g = V_b\, e$) حيث e تمثل شحنة الالكترون كما تم حساب من الشكل نفسه الطول الموجي لليزر(λ) عند المديات المختلفة للضغط وذلك من العلاقة التي تربط بين فجوة الطاقة والطول الموجي ($E_g = hc/\lambda$) اذ تمثل h تابت بلانك و c سرعة الضوء، والجدول {1} يبين النتائج العملية التي تم إيجادها من الشكل.

الجدول {1} : تأثير الضغط على فولتية العتبة والطول الموجي

Pressure (mbar)	1000	700	400	25
Threshold voltage (Volt)	1.91	1.898	1.89	1.87
Wavelength (nm)	649.2	653.3	656.0	663.1

أما الشكل (11) يمثل منحني الخواص الضوئية لليزر (التيار- القدرة الضوئية) عند الضغوط 1000, 700, 400, 25 mbar وفي درجة حرارة 14°C يلاحظ من الرسم أن زيادة معينة في تيار الحقن تودي الى زيادة طفيفة في القدرة الضوئية وهذه المنطقة من المنحني تمثل منطقة الانبعاث التلقائي ولكن عند الوصول الى مقدار معين من التيار (أي تيار العتبة)، يلاحظ بعد ذلك زيادة كبيرة في القدرة الضوئية مقابل زيادات طفيفة في تيار الحقن والتي تمثل منطقة الانبعاث المحفز. من هذا المنحني تم حساب تيار العتبة من تقاطع المستقيم المحاذي للعلاقة بين التيار والقدرة في منطقة الانبعاث المحفز مع محور التيار، كما تم حساب من الشكل نفسه الكفاءة الكمية الخارجية (كفاءة الميل) لليزر عند مديات مختلفة من الضغط اذ يمثل ميل

المستقيم للعلاقة في منطقة الانبعاث المحفز الكفاءة الكمية الخارجية. الجدول{2} يبين قيم تيار العتبة والكفاءة الكمية عند قيم مختلفة من الضغط .

الجدول {2}: تيار العتبة والكفاءة الكمية عند مديات مختلفة من الضغط

Pressure (mbar)	1000	700	400	25
Threshold current (mA)	12.6	12.52	12.44	12.34
Slop efficiency (mW/mA)	0.3293	0.3365	0.3439	0.3509

الشكل (12) يمثل نبضة الليزر التي تم مراقبتها على الاوسلسكوب الرقمي عند مديات معينة من الضغط المنخفض: 1000 ,700, 400, 25 mbar يلاحظ من هذا الرسم ومن النتائج التي سجلها الفولتميتر أن قدرة الليزر عند الضغط 25 mbar قد ازدادت بنسبة 32% قياساً لقدرة الليزر عند الضغط 1000 mbar ، هذا يعني أن انخفاض الضغط قد اثر على نبيطة الليزر وكان هذا التأثير في صالح الليزر حيث ازدادت قدرة الليزر وازدادت الكفاءة الكمية وقل تيار العتبة أي انه قد قلت آلية الخسائر مع تقليل الضغط المسلط على الليزر ويمكن تفسير ذلك على أساس حدوث نقصان في عدد الانبعاثات الغير المشعة **[8]** وبذلك تزداد الكفاءة الكمية الداخلية التي تعطي بالعلاقة الاتية **[9]**:

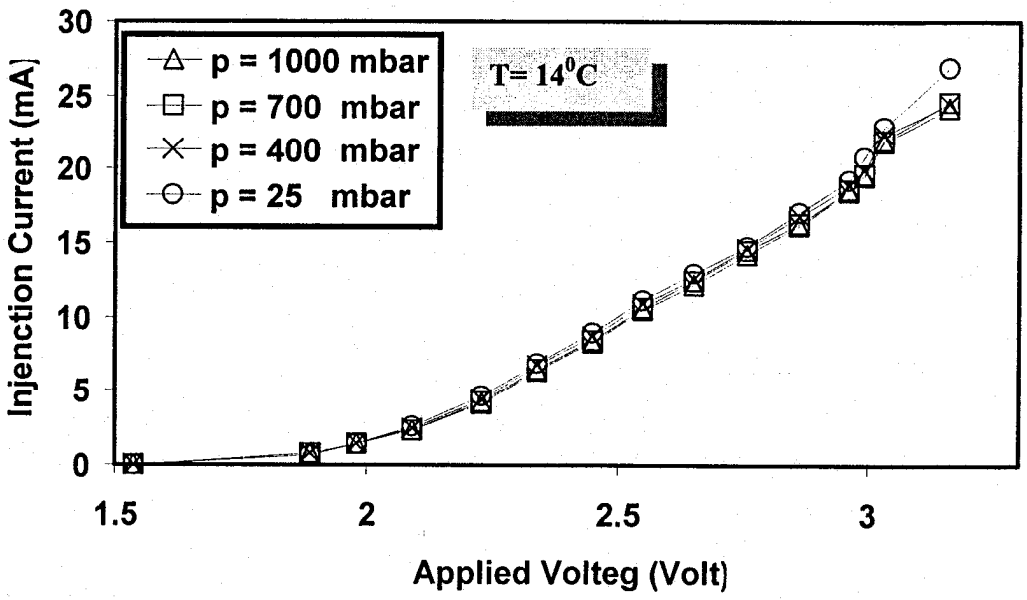
$$\eta_{int} = 1/(1+t_{rr}/t_{nr}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث t_{rr}, t_{nr} هما الانتقالات المشعة والانتقالات الغير المشعة على التوالي.

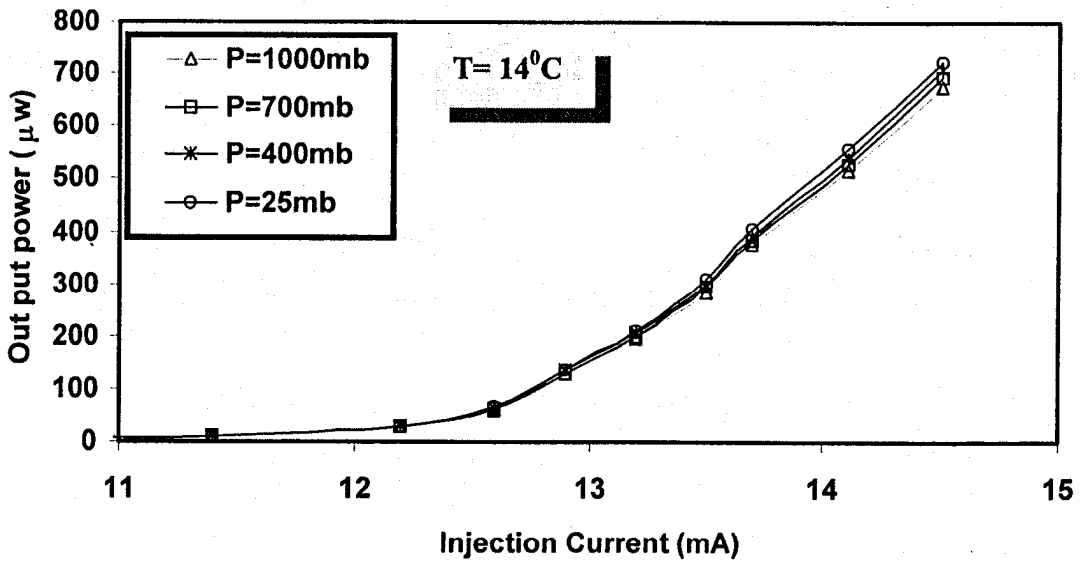
وهذ يفسر الزيادة الحاصلة في الكفاءة الكمية الخارجية (كفاءة الميل) استناداً الى المعادلة الاتية **[9]**:

$$\eta_{ext} = \eta_{int}[\ln(1/R)/\gamma L+\ln(1/R)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

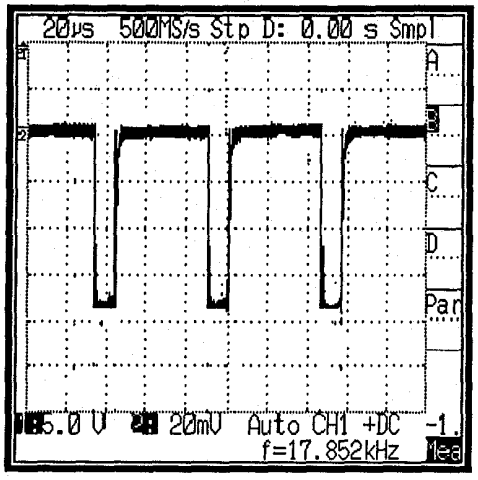
حيث η_{ext} تمثل الكفاءة الكمية الخارجية، R انعكاسية مرايا المرنان، L طول المنطقة الفعالة، γ معامل الخسائر، ويفسر ايضاً النقصان الحاصل في تيار العتبة الذي يتناسب عكسياً مع الكفاءة الكمية الداخلية **[10]**. ومن العلاقة التجريبية التي تربط الضغط بقدرة الليزر الموضحة في الشكل (13) يبين إمكانية استخدام الليزر لقياس الضغوط الواطئة وبحساسية مقدارها 0.091μW/mbar .



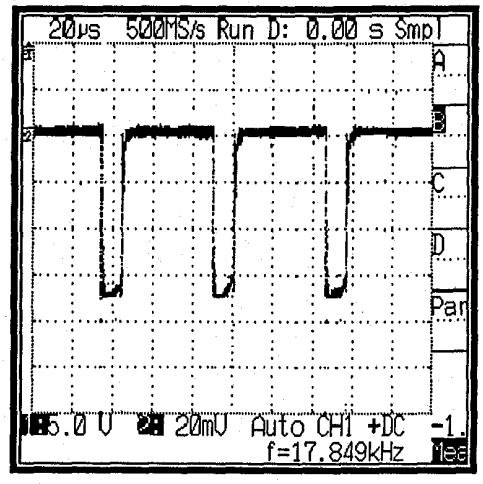
الشكل (10): العلاقة بين الفولتية وتيار الحقن عند مديات مختلفة من الضغط



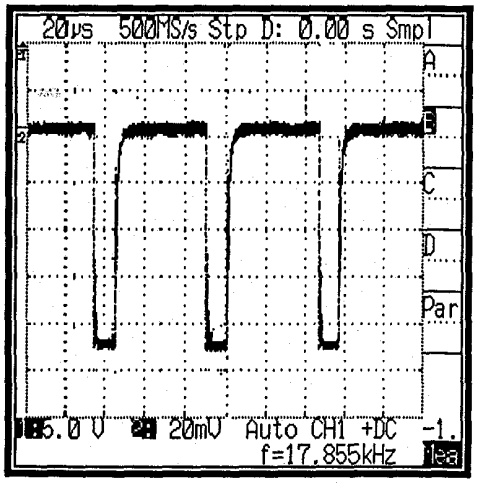
الشكل (11): العلاقة بين تيار الحقن والقدرة الضوئية عند مديات مختلفة من الضغط



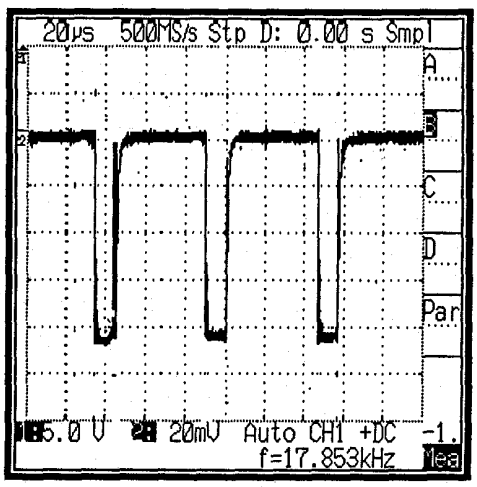
Pr =700 mbar



Pr =1000 mbar

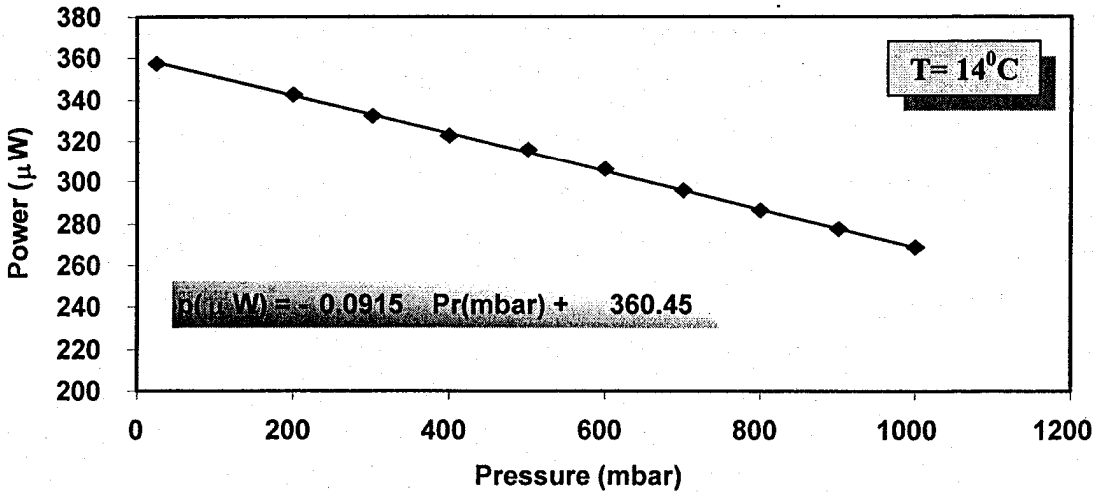


Pr = 25 mbar



Pr = 400 mbar

الشكل (12): تأثير الضغط على نبضة الليزر عند التشغيل النبضي ودرجة حرارة 14^0C



الشكل (13): العلاقة بين قدرة الليزر والضغط عند التشغيل النبضي

الاستنتاجات

أبدى الليزر التجاري الى إمكانية توظيفه كمجس لقياس الضغوط المنخفضة ضمن المديات من 1000 mbar الى 25 mbar . فضلاً من انه يبقى محافظاً على مواصفاته بعد زوال تأثير الضغط عليه.

الأعمال المستقبلية

1- الاستفادة من التغذية الاسترجاعية للمنظومة في السيطرة على الضغط داخل الحجرة لما لهذا الموضوع من أهمية.
2- استخدام منظومة Diaphragm في السيطرة على تيار الليزر عن طريق الضغط وذلك لزيادة حساسية الليزر للضغط مما يتيح من استخدام هذه المنظومة في قياس التغيرات الطفيفة بالضغط الجوي في قاعدة أرضية.

References

1. Welber B., Monuel C. and Kim C. "**Dependence of direct energy gap of GaAs on hydrostatic pressure**" Physical review, Vol:12, No:12, PP: 5729-5738. **(1975).**

2. Kirchoefer S. Meehan K. and Holonyak N. "**High pressure measurements on visible spectrum $Al_xGa_{1-x}As$ heterostructure lasers: 7100–6750-Å 300-Koperation**" Applied Physics Letters, Vol:41, No:5, **(1982).**

3. Perlin P., Trzeciakowski W., Litwin-Staszewska E., Muszalski J., and M. Micovic, "**The effect of pressure on the luminescence from GaAs/AlGaAs quantum wells**" Semiconductor Science and Technology, Vol:9, PP:2239, **(1994).**

4. Paul S. "**Tunabl Diode Laser system break new ground in water analysis**" IMA Ltd, Unit 4 the Mews. **(2000).**

5. Data Sheet "**Laser diode**", **(2002).**

6. Paren S. "**Post welp disturbance analysis Laser Diode assemblies**" In partial fulfillment of Mat E234. **(2003).**

7. Palais C. Joseph "**Fiber Optical Communication**" Prentice all. Inc., New Jersey, USA. **(1998).**

8. Patel D., Adams A., Greene, P. and Henshall G. "**Pressure ependence of threshold current in $Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ Laser**" Electronics Latter Vol:18, No:12, PP: 572-528. **(1982).**

9. Wilson. J and Hawkes "**Optoelectronics An Introduction**" Prentice Hall. Inc., Englewood Cliffs, U. K. **(1983).**

10. John G. "**Optical Communication system**" Prentice Hall, Inc., London, U. K. **(1984).**