تصنيع المصباح الوميضي ودراسة خصائصه

*عواطف صابر جاسم** *ياسين حميد محمود**

تاريخ قبول النشر 31 /5 /2009

الخلاصة:

تم في هذا البحث تصنيع مصابيح وميضية لأغراض الضخ الليزري لليزرات الحالة الصلبة , وتم دراسة بعض الخصائص الخاصة بالمصباح الوميضي المصمم في هذه الدراسة.

وجد من خلال القياسات العمليةوجد أن أفضل تشغيل لهذه المصابيح عند ضغط (600- 4000 mbar).

تم التوصل كذلك أن زيادة الضغط يعمل على تحسين كفاءة الأشعاع وتقليل الحرارة ، كما أظهرت الدراسة أنه بتقليل العدد الذري تقل درجة الحرارة وتزداد الأشعاعية.

الكلمات المفتاحية:flash-lamps, sold –state lasers, optimum pressure operation

المقدمة:

المصباح الوميضي مصدر ضوئي يستخدم في العديد من التطبيقات وخاصة في ضخ منظومات الليزرحيث تصنع هذه المصابيح من انواع مختلفة من الزجاج وخاصة الكوارتز وتملئ بأنواع مختلفة من الغازات مثل الزينون والكربتون ، استخدمت هذه المصابيح في البداية في التصوير وبعد ذلك تم استخدامها لضخ منظورات الليزر [1] ولأحداث عملية التأهيل العكسي [2]. وبتطور منظومات الليزر تطورت هذه المصابيح وأصبحت أكثر دقة وفعالية.

وللحصول على مصباح ومضي يجب أحداث عملية (تفريغ كهربائي) وهو عملية سريان التيار بين قطبين للفولتية بينهما عازل، ولأحداث ذلك يجب حصر الغاز الفعال أوالخليط في أنبوبة زجاجية مزودة بقطبين كهربائيين يسلط بواسطتهما فرق جهد عالي يكفي لأمرار تيار كهربائي خلال الغاز ، وقد يكون هذا التيار مستمرا" أو على شكل نبضات .

أن تسليط مثل هذا التيار سوف يؤدي الى تحويل جزيئات الغاز الى ذرات والذرة بدورها تفقد الكترونها لتتحول الى آيونات ، لذا فأن الحيز الموجود داخل الأنبوبة سوف يمتلئ بالألكترونات وتتحول الى حالة البلازما [3].

تلعب الأقطاب دورا" أساسيا" في عملية التفريغ للغازات ،حيث أن خصائص التفريغ تعتمد على عدة عوامل منها :

1- نوع الغاز وضغطه.
2- الشكل الهندسي للأقطاب .
3- مادة القطب.
4- المسافة الفاصلة بين الأقطاب.

وعلى هذا الأساس تظهر ثلاثة تفريغات أساسية هي [تفريغ تاونسند Townsend] ,[التفريغ التوهجيGlow] ,والتفريغ القوسي[Arc][4].

الجزء النظري:-

المصباح الومضي هو عبارة عن نظام ضخ بصري يستخدم لضخ أنظمة الليزر في الحالة الصلبة، الهدف الأساسي من أستخدامه هو تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية .

يتألف المصباح الوميضي من أنبوبة زجاجية من الزجاج الصلب [البايركس] أو الكوارتز الشفاف وذلك لأمتيازه بنفوذية عالية للأطوال الموجية والتي تمتد للمدى (nm 4000- 200) , ويوجد في نهايتيه أقطاب غالبا" ما تكون من التنكستن النقي للأنود و2o/o ثوريوم التنكستن ويملئ تجويف الأنبوبة المحكمة الغلق بأحدى الغازات النبيلة مثل الزينون(Xe) والأركون (Ar) والكربتون(Kr) .

المصابيح الوميضية هي أساسا"تصاميم أجهزة ذات قوس طويل (Long Arc) وبذلك فأن أي مصباح يكون حجمه ثابتا" بحيث أن البلازما المتكونة عند مرور التيار الكهربائي بين قطبي المصباح تملئ أكبر حيز ممكن من حجم الأنبوبة وهي التي تحدد مقدار الشدة النسبية المنبعثة [5] , وتصنع المصابيح الومضية عادة" على شكل خطي(Linear) أو لولبي (Helical).

وتمتلك مواصفات قياسية كأن يتراوح سمك الجدران بين mm(2-1) وقطرها الداخلي بين mm(19-3) أما الطول يتراوح بين (5- mm(100 وتحت ضغط يتراوح بين (400- 1000 mbar) , كما تملئ المصابيح الوميضة

*جامعة تكريت – كلية العلوم

بضغط (400-900 mbar) ويختار عادة" الزينون كغاز لملئ هذه المصابيح وذلك لإعطائه قدرة أشعاعيةعالية الطاقة أعلى من بقية الغازات [6] . ويعتمد اختيار نوع الغاز في المصباح على مستويات الطاقة للمادة المراد تهيجها ويضع المصباح حول المادة الفعالة بحيث أن طيف انبعاث الغاز في داخل المصباح يكون مشابه أو مقارب لطيف الامتصاص مادة الوسط الفعال وتستعمل هذه الطريقة لضخ مادة الياقوت Ruby أو النديميوم للحصول على ليزر يعمل في المنطقة المرئية أو تحت الحمراء.

ولاختيار مصدر الضخ المناسب لمنظومة ليزر معينة يجب مراعاة عدة عوامل هي:

1- مقدار القدرة الخارجة لليزر المستخدم.
2- نمط التشغيل.
3- معدل التكرار.
4- نوع مادة الوسط المراد ضخه { صلب , سائل }.

وتتنوع مصادر الضخ البصرية لليزرات الحالة الصلبة تبعا" للأستخدمات اللاحقة فعندما نحتاج الى قدرات عالية تضخ بمصابيح لولبية لزيادة كفاءة التحويل , أما في التطبيقات ذات القدرة الواطئة فتضخ بمصابيح خطية [7].

ومن خصائص المصباح الوميضي التي يمتاز بها هي كالأتي:

أولا": الخصائص البصرية:

أن خصائص الأشعاع الخارج من المصباح الوميضي ومصباح الكربتون القوسية هي دالة لمجموع مؤثرات [نوع مادة الغلاف – جسم المصباح – نوع الغاز – ضغط الملئ].

حيث تبعث البلازما فوتونات على مساحة واسعة من الأطوال الموجية من المنطقة تحت الحمراء البعيدة الى الفوق البنفسجية والأشعاع المنبعث من المصابيح الوميضية يتألف من العديد من المركبات المختلفة أعتمادا" على ميكانيكية الأنبعاث الضوئي، حيث أن الأهمية النسبية لميكانيكية الأنبعاث تعتمد على القدرة الكهربائية اللحظية لكل سنتمتر مربع من مساحة سطح الجدار الداخلي للمصباح [8]. كما وتعتمد قدرة الأشعاع على عمق رؤية البلازما أي بمعنى آخر ليس فقط على أبعاد المصباح وأنما على تشكيله أيضا".

تنتج من التفريغ شرارة شريطية بين الأقطاب تؤدي الى تأين البلازما وهذه بدوره تؤدي الى أنبعاث أشعة مكونة من كلا المركبات الخطية والمتصلة نسبة الى كثافات التيار , فعند كثافة تيار واطئة تبعث أشعة تسمى الأشعة الخطية ذات خطوط طيفية محددة , وهذه الأشعة تعزى الى الأنتقالات المنفصلة بين حزم الطاقة وآيونات الغاز والتي تنتج من أنتقالات(مقيدة- مقيدة).

نتيجة لزيادة كثافة التيار العالية تحدث عدة ظواهر تسبب في أتساع الضغط والأزاحة الخطية والأمتصاص الذاتي , أما الأشعة المتصلة والتي تنتج من أنتقالات(حرة-مقيدة) وكذلك هناك أنتقالات أخرى (حرة- حرة) ولذلك فأن التوزيع الطيفي يعتمد على كثافة الألكترونات والأيونات وعلى درجة الحرارة [9].

ثانيا" الخصائص الكهربائية:

ان الخصائص الكهربائية تحدد كفاءة تحويل الطاقة من متسعة الخزن الى المصباح بما يسمى [الممانعة]. الممانعة تتأثر بالضغط، وكذلك بالحجم بينما العوامل الغير مؤثرة [المساحة الواقعة خلف القطب في الجزء الموجود داخل المصباح].

وفي حالة استقرار قوس البلازما فأن العلاقة بين التيار- الفولتية هي كالأتي [11 ,10]:

$$V = \mu K_o |i|^{1/2}$$

V: هي الفولتية المجهزة للمصباح الوميضي بوحدات الفولت.

K_o : ممانعة المصباح الوميضي بوحدات أوم-أمبير^5

i : تيار التفريغ الكهربائي بوحدات أمبير

$$K_o = 1.27\left(\frac{P}{X}\right)^{0.2}\left(\frac{1}{d}\right)$$

P ضغط المصباح ألوميضي بالملي بار.

X ثابت يعتمد على نوع الغاز.

d قطر المصباح الداخلي

المواد وطرائق العمل:

عند تصنيع المصابيح الوميضية يجب مراعاة عدة عوامل والتي تحدد أعتمادا على المجال المستخدم ومن هذه العوامل هي:

1-حجم المصباح.
2-مادة الغلاف.
3- نوع الغاز.
4-ضغط غاز الملئ.
5-نوع مادة القطب وشكله .

على هذا الأساس تم تصنيع عدة نماذج من المصابيح من مادة الكوارتز وذات اطوال مختلفة وأقطار داخلية مختلفة, وقد تم ملئ هذه المصابيح لغاز الزينون Xe ذو وزن ذري $M = 131.3$ ونقاوة 99.95% .ومرة أخرى لغاز الكربتون Kr ذو وزن ذري $M = 39.948$ ذو نقاوة مقدارها 99.95%.

تم استخدام أقطاب من مادة التنكستن النقي وجعل القطب الموجب مسطح الشكل أما القطب السالب فيصنع بشكل نصف كروي .ومن ثم تم لحام الأقطاب بمادة الدفيكون [لحام بارد], ويرتبط المصباح من وسطه بأنبوبة تفريغ تحتوي على المحبس الزجاجي أما الطرف الأخر للمنظومة يكون بشكل قمعي ليسهل عملية التفريغ.

منظومة التفريغ:-

تربط المصابيح المراد تفريغها مع منظومة الفراغVacuum system والتي تتكون من مضخةRotary pump تعمل على طرد الشوائب والغاز الموجود داخل الأنبوبة وبعد ذلك تبدأ بالتفريغ لضغط $(10^{-3})mbar$ وتقاس باستخدام مقياس ضغط بيراني (Birany Gauge)، وللحصول على كفاءة تفريغ أعلى تستخدم المضخة التوربينية (Turbo Pump) .للحصول على تفريغ إلى $(10^{-5})mbar$. ويستخدم مقياس أيوني (Ion Gauge)

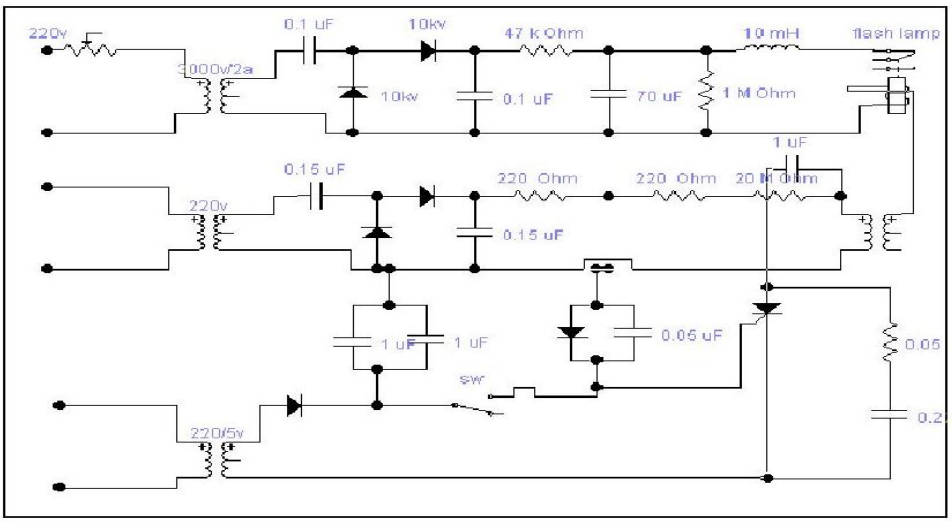
بعد إنهاء عملية التفريغ يغلف الصمام الخاص بالتفريغ ويفتح صمام تسريب الغاز (Leakage valve) ليتم دخول الغاز إلى المصباح ألوميضي . ويستخدم مقياس الضغط المطلق (Absolute Gauge) لتحديد مقدار الضغط بصورة دقيقة.

أما مواصفات المصابيح الوميضية المصنعة موضحة في الجدول (1):

جدول (1) يبين الخصائص الخاصة بالمصابيح الوميضية المصنعة عمليا

رقم المصباح	القطر الداخلي(mm)	طول القوس (mm)	مادة الغلاف
1	3	53	الكوارتز
2	4	71	
3	5	71	
4	9.75	220	

تم ملئ هذه المصابيح بعدة غازات مرة بالغاز الزينون *Xe* ذو نقاوة 99.95% ومرة أخرى الأركون *Ar* بنقاوة 99.95% وبثلاثة ضغوط مختلفة هي (800-600- 450) mbar والفولتية الابتدائية التي جهزت لكل المصابيح بين (1500-400) Volt. وقد تم تصميم دائرة كهربائية لغرض أحداث عملية الحقن تعطى نبضة بحدود $300\ \mu s$.

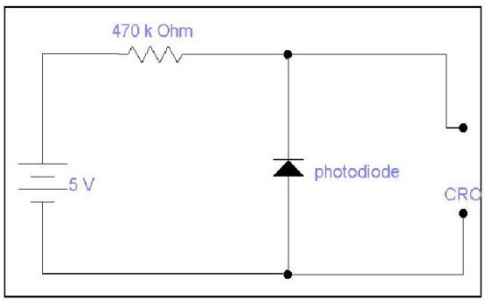


الشكل (1) الدائرة العملية المصممة لتشغيل المصباح الوميضي

منظومة القياس الكهربائي والبصري :

تتألف من مجس للفولتيات العالية لأظهار شكل موجة الفولتية على جهاز الأوسلوسكوب الخازن) (Storge osciloscopكما تستخدم مقاومة قليلة بحدود $(9.9m\Omega)$ تربط على التوالي مع المصباح وتستخدم لحساب قيمة التيار المار عبر قطبي المصباح .

أما منظومة المقياس البصرية فتتكون من كاشف ضوئي نوع الدايود الضوئي Photodiode يعمل بأنحياز عكسي قدره 25) (Volt وزن نهوض (5ns) ويستجيب للأطوال ضمن المدى (200-1200 nm) . والشكل (2) يوضح دائرة الكاشف.



شكل (2) يوضح دائراة الكاشف

النتائج والمناقشة :

يحدث الانهيار الابتدائي في نبضة المصباح ألوميضي بتشغيل الدوائر المصصممة، وبأستخدام القدوح الخارجية على طول جدار المصباح المجاور إلى سلك القادح. وعندما يكون هناك طريق موصل يربط الفجوة بين الأقطاب فأن متسعة الخزن تفرغ شحنتها خلال المصباح , وبتسليط طاقة على المصباح ألوميضي مقدارها كما في المعادلة أدناه:

$$E = \frac{1}{2}CV^2$$

حيث V الجهد , C السعة , E الطاقة.

فأن هذه الطاقة عند تفريغها بالمصباح في زمن قصير جدا يتحول جزء منها إلى ومضة ضوئية والمتبقي يتحول إلى حرارة ترفع درجة حرارة المصباح.

أن التسخين السريع للغاز في القوس الكهربائي يؤدي إلى توليد موجة الضغط والتي تنتشر باتجاه الجدار المعاكس للمصباح حيث تنعكس مولدة موجة ضوئية، حيث أن زيادة الحرارة تؤدي إلى زيادة الضغط نتيجة حركة جزيئات الغاز وزيادة تصادماتها مع الجدران .

ولحساب التردد الظاهر في نبضة الفولتية والضوء الخارج الناتج من تراكيب الموجات الصوتية على نبضات الفولتية والضوء الخارج، ويحسب التردد من المعادلة التالية:

$$f = \frac{1.84}{2\pi r}\left(\frac{\gamma RT}{M}\right)^{1/2}$$

هي $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ النسبة بين السعة الحرارية عند ضغط ثابت إلى السعة الحرارية عند حجم ثابت

R ثابت الغازات العام بوحدات جول/مول. درجة كلفن

T درجة حرارة المطلقة بوحدات كلفن

M الكتلة الذرية للغاز

وبما أن التردد للنبضة هو مقلوب لزمن الذبذبة $\left(f = \frac{1}{\tau}\right)$

ويقاس الزمن بأستخدام جهاز الأوسلوسكوب الخازن $(T = -8123)$ لمعرفة التردد في نبضة الضوء الخارج.

أن درجة حرارة الغاز تتناسب مع كثافة الطاقة الكهربائية الداخلة لأزمان أعلى من قيمة نبضة التيار،ودرجة الحرارة تحسب من المعادلة الأتية [12]

$$T = T_0 + C\left(E \diagup V\right)$$

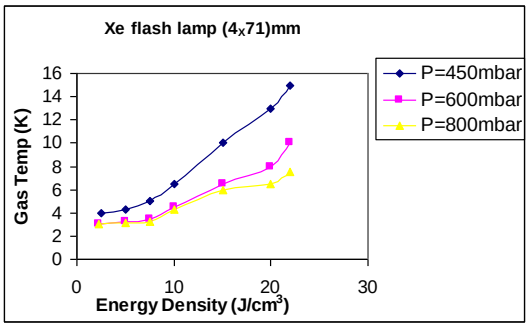
T_o درجة حرارة المحيط بوحدات كلفن.

C ثابت يمثل ميل الخط للعلاقة بين كثافة الطاقة ودرجة حرارة الغاز.

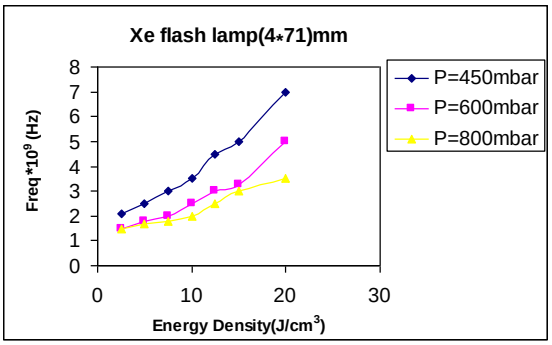
E الطاقة الداخلة بوحدات الجول

Vحجم المصباح بوحدات cm^3

من المعادلات أعلاه نستطيع أن نميز بأنه عند ضغط معين يزداد مربع التردد خطيا" مع كثافة الطاقة الداخلة . وبما أن درجة حرارة الغاز تتناسب طرديا" مع مربع التردد لذا فأنها تزداد بزيادة كثافة الطاقة الداخلة الى حد معين من كثافة الطاقة تبدأ درجة الحرارة بالزيادة بسرعة كبيرة كما موضحة في الشكلين (3-3) و(3-4).



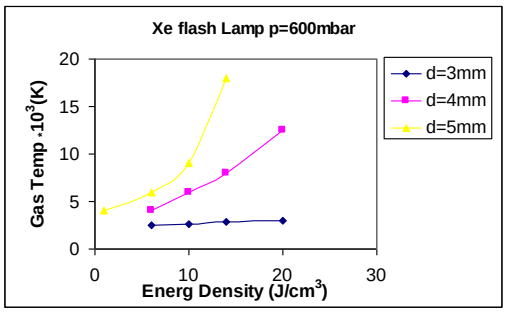
الشكل (3-3) العلاقة بين كثافة الطاقة ودرجة حرارة الغاز لضغوط مختلفة بأستخدام مصباح زينون قطره 4mm وطول 71mm



الشكل (3-4) العلاقة بين كثافة الطاقة ومربع التردد لضغوط مختلفة بأستخدام مصباح زينون ذات قطرmm (4x71)

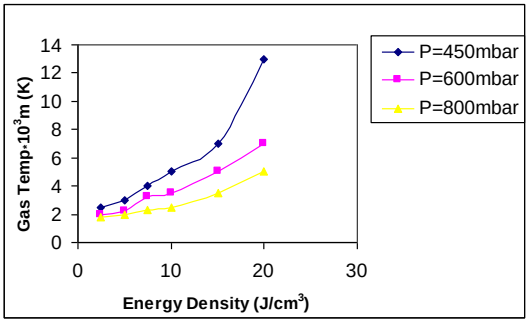
أن السبب يعود الى أن زيادة كثافة الطاقة تؤدي الى زيادة نمو قوس البلازما فتقل ممانعة المصباح مع الزمن وعند نقطة معينة تزداد قيمتها بسبب الزيادة في تأين الغاز والتوسع القطري للبلازما وعند زيادة قيمة الممانعة يقل نمو قوس البلازما فلا يملئ الحجم الكلي للمصباح مما يؤدي الى رفع درجة حرارته بصورة سريعة لأن كثافة الطاقة في زيادة مستمرة . الأشكال (3-3), (3-4) توضح الترابط بين مربع التردد ودرجة الحرارة , ومن الشكل (3-3) يتبين أن المصباح الوميضي يتحول قسم من الطاقة الكهربائية الداخلة الى أشعاع ضوئي والقسم الأخر يتحول الى حرارة تساهم في رفع درجة حرارة الغاز داخل المنظومة وكلما أزداد الضغط أزدادات كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية الى أشعاع ضوئي أي تزداد نسبة تحويل الطاقة الكهربائية الى أشعاع ضوئي فتقل بذلك نسبة الطاقة المتحولة الى حرارة أي أن درجة الحرارة للغاز سوف تقل عند أزدياد الضغط في حدود (600-4000)mbar .

بالإضافة الى ذلك فأن كثافة الطاقة تتناسب عكسيا" مع ضغط الملئ كما تؤثر درجة الحرارة على عامل نصف القطر وعند أجراء المقارنة بين درجات الحرارة لثلاث مصابيح بأقطار مختلفة (3-4-5)mm نستطيع أن نميز الفرق في الحرارة الناتجة. الشكل (3-5) يوضح مخطط لدرجة حرارة غازالزينون المتولدة عند قيمة التيار مع كثافة الطاقة لمدى أنصاف أقطار المصابيح المستخدمة ونلاحظ بأن درجة الحرارة تزداد بزيادة نصف القطر.



شكل (3-5) علاقة نصف القطر للمصباح بدرجة حرارة الغاز عند ضغط ثابت.

عند أستبدال غاز الزينون بغاز الأركون الذي يمتلك كتلة ذرية أقل من كتلة الزينون وجد ان درجة الحرارة تزداد بزيادة الكتلة الذرية للغاز المستخدم وكما موضح في الشكل (3-6) .
ومن مقارنة الشكل (3-6) مع الشكل (3-3) نلاحظ أن الغازين يسلكان نفس السلوك وتنتجان نفس العلاقة الأ ان الأختلاف بينهما هو في درجة الحرارة المتولدة عند تضاؤل القوس الضوئي وهو ناتج من الفرق في الكتلة الذرية بين الغازين .



شكل (3-6) علاقة كثافة الطاقة مع درجة الحرارة لضغوط مختلفة بأستخدام مصباح الأركون (4 x 71)mm

من ذلك نلاحظ أعتماد درجة حرارة الغاز المتولدة نتيجة تفاعل القوس الضوئي على القطر, كما بينت الدراسة أن كفاءة التحويل للطاقة الكهربائية الى أشعاع ضوئي تزداد بزيادة الضغط ولذلك يجب أستعمال ضغوط ملئ عالية نسبيا" لتقليل الحرارة المتولدة ولزيادة كفاءة الضخ البصري.
أن القوس الضوئي يؤدي الى توليد كمية من الحرارة التي تقلل من كفاءة التحويل، ومن العوامل التي تقلل من أرتفاع درجة الحرارة هو أستخدام غازات نبيلة ذات كتلة ذرية قليلة.

المصادر:

1. Bouma,B. Gouveia,A. and Izatt,J.A. 1994.Hybrid mode locking of a flash-lamp-pumped laser, Optics Letters . (19):1858

2. Carsten Langrock, David S. Hum, Eleni Diamanti, Charbonneau-Lefort. 2002.Flash lamp pumped quanta ray Nd:YAG laser experiment, IEEE Journal on selected topics in quantum electronics. :101.

3. Herman A.Haus. 2000.Mode-locking of laser,IEEE journal on selected topics in quantum electronics.6(6):1173.

4. Hongru Yang, Jingang Liu, Deyuan Shen, and Takao Kobayashi.2001.Aflash-lamp-pumped Nd:YAG laser with dual-telescopic optics configuration, Optical review .8(3):163.

5. Venus, G., Glebov, L. and Farmer, J. 2006. VolumBragg semiconductor lasers with near diffraction limited divergence, SPIE.621.

6. Eichler, H.J., Gunter,P.and Pohl, D.W. 1986.Laser-induced dynamic gratings,Series in Optical sciences. Vol 50:84.

7. Morgner,U., Kartner, F.X.and Ippen,E.P.1999.Sub-two-cycle pulses from a kerr-lens mode-locked Ti-sapphire laser, Optics letters.24(6):411.

8. Morgner,R.E.and Kartner.U.F.1991.Generation of 5-fs pulses and octavospanning spectra directly from laser,Optics letters. 16:42.

9. Rabinovici,R., .Ishaaya, A.and, Peer,I.2007. Increasing output energy from apassively Q-switched Er:glass, Appl. Opt. 46:7426.

10. Gourevitch, A. and L.Glebov.2007. Efficient pumping of Rb vapor by high-power volume Bragg diode laser,Opt.Lett. 32: 2611.

11. Camacho-Lopez, S. and Damzen ,M.J.1999.Self-starting Nd:YAG holographic laser oscillator with a thermal grating,Optics Letters. 24(11):233.

12. Chung,T., Rapaport, A. and Bass, M.2006.Solid-stste laser spectral narrowing ising a volumetric photothermal refractive Bragg cavity mirror, Opt. Lett. 31:229.

Manufacturing of flash lamp and studying its properties

Awatif S.Jassim* ***Yassin H. Mahmood****

*Department of Physics. College of science. Tikrit University

Abstract:

This study presents the design of flash-lamps for pumped solid-state lasers. In this research have been study some of characters for flash lamp.

The optimum pressure operation is found using different flash lamps about (600-4000) mbar. In conclusion, it was shown that the increase in pressure due to improve efficiency of radiation and decrease of temperature. Also this study illustrated the reason of decrease temperature is atomic number and due to increase of radiation efficiency.