جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الصف الثالث

صيانة منظومات الليزر

المؤلفون

م.م وداد عبد الله عبد الحسين

د. علي جاسم الجابري
مالك عبد الحسن محي

د. انبثاق محمد علي
يسرى حسين عبد الرزاق

ا.د.عدوية جمعة حيدر
د.محمد جمعة حيدر

الطبعة الثالثة
1444 هـ -2023م

المقدمة

إنَّ دعم التطور العلمي لبلدنا في الصناعة و التكنلوجيا، يعتمد اساساً على مدى قدرة المؤسسة التعليمية في اعداد الكادر العلمي و الفني إعداداً سليماً، وعلى تهيئة السبل و الوسائل التي من شأنها أنْ تؤدي الى تفهم عميق و كامل للعلم بين طلبتها؛ ومن هنا تبرز اهمية تزويد الطالب بالمعلومات الاساسية التي تساعده على امتلاك الخلفية العلمية الكافية لاستخدام التقنيات المتطورة و الإفادة من التطبيقات التي يعتمد عليها الليزر.

ولتحقيق هذه الغاية بذلنا ما استطعنا من الجهد لتأليف كتاب العلوم الصناعية للصف الثالث مهني، الذي احتوى على ثمانية فصول، تناولت الفصول الثلاثة الاولى صيانة مذبذب و أجهزة التبريد و الضخ لمنظومات الليزر، و الفصول الاربعة التالية صيانة منظومات ليزر الحالة الصلبة و الغازية و الصبغة و اشباه الموصلات، أما الفصل الاخير تناول صيانة المنظومات المحلقة بالليزر و مفاتيح الفولتية العالية.

وبدءاً الشكر لله خالق الكون و مبدعه عز وجل، اذ ايدنا في التقرب اليه بالسير في طريق العلم و المعرفة، واخيراً نتقدم بالشكر الى الخبراء العلميين واللغويين الذين لهم الدور الكبير في تقييم كتابنا واغناءه بالملاحظات القيمة.

ومن الله التوفيق

المؤلفون 2014 م - 1435 هـ

المحتويات

الفصول	المواضيع	الصفحات
المحتويات		3
الفصل الأول	صيانة مذبذب الليزر	16-5
الفصل الثاني	صيانة منظومات الضخ	33-17
الفصل الثالث	صيانة منظومات التبريد	50 -34
الفصل الرابع	صيانة منظومات الليزر الحالة الصلبة	68 -51
الفصل الخامس	صيانة منظومات الليزر الغازي	92-69
الفصل السادس	صيانة منظومات الليزر الصبغة	103 -93
الفصل السابع	صيانة منظومات الليزر أشباه الموصلات	117-103
الفصل الثامن	صيانة المنظومات الملحقة بالليزر	135-118

لفصل الأول

صيانة مذبذب الليزر

Laser Oscillator Maintenance

الاهداف:

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على التعرف على:

1. **الأسس التصميمية لمذبذب الليزر بشكل عام.**
2. **أنواع مرايا الليزر و النوافذ البصرية لأنواع الليزرات من ناحية الصيانة.**
3. **صيانة انواع الوسط الفعال في الليزر.**
4. **تصميم حاوية الليزر و صيانتها.**

محتويات الفصل:

1-1 صيانة مرايا الليزر.

2-1 صيانة النوافذ البصرية.

3-1 صيانة الوسط الفعال الليزري.

4-1 صيانة حاوية الليزر.

أسئلة ومسائل الفصل الاول

1-1 صيانة مرايا الليزر
Laser Mirror Maintenance

يعتمد اداء الليزر ذو القدرة العالية على اداء الاجزاء البصرية، كالمرايا والنوافذ والعدسات بشكل كبير؛ إذ إنّ الحرارة المفرطة التي تتولد نتيجة الامتصاص الكبير تؤدي الى حدوث تغيرات في الخواص الفيزياوية للأجزاء البصرية، وهذا ما يحدد ادائها، إنّ تقنية المرايا و شكلها والمسافة بينهما فضلاً عن الدقة في ترصيفها عوامل يكون لجميعها تأثير كبير و مباشر على جوهر عملية التغذية الاسترجاعية، أي توليد الليزر و استمرار تشغيله.

تكون المرايا في منظومة الليزر عادة مرآتان بشكل دائري أو مستطيل (غالبا ما يستعمل الشكل الدائري) وابعادها تتراوح بين جزء من السنتمتر الى بضع سنتمترات وتوضعان بشكل متقابل وعلى مسافة (L) من بعضهما بعضاً بحيث يتطابق محورهما البصري.

عزيزي الطالب

عليك تذكر ماتعلمته في المراحل السابقة حول الفرق بين المرايا المستوية والمحدبة والمقعرة.

تتراوح هذه المسافة (L) ما بين سنتمترات عدة الى بضع عشرات من السنتمترات، لكل من المرآتين قدرة انعكاسية عالية، احداهما شفافة جزئيا لتشكل مسربا لنتاج الليزر.

أمَا عن تكور المرآتين فقد تكونان مستويتين او مقعرتين أو أن احداهما مستوية و الاخرى مقعرة.

إنّ الشكل الهندسي للمرايا المستخدمة يعتمد عليه في تصنيف حجرات الرنين كذلك قطر تكور المرايا يؤثر في خصائص حزمة الليزر من ناحية الانفراجية و القدرة الخارجة.

هل تعلم!!

إنّ منظومة مرايا الليزر نوع مستوية - مستوية (المتوازية) (Plane-Plane (Parallel)) تكون حساسة جدا لعملية الترصيف الضوئي بين المرآتين، إذ إنه حرج جداً فاي خطأ بسيط في ترصيف المرآتين لجعلها في توازي على المحور البصري سيؤدي لحيود معظم الاشعة و بالتالي فشل عملية توليد الليزر.

كما درست سابقا عزيزي الطالب فإن حاوية الليزر المكونة للمرنان تحتوي على المرآتين الأمامية والخلفية، تثبت كل من المرآتين في حاوية الليزر، المرآة الامامية تكون مصنعة من مواد مختلفة مثل الجرمانيوم (Ge) مرسب على أحد وجهيها طلاء مضاد للانعكاس تثبت بحامل من مادة الزجاج البلاستيكي (البيرسبكس) بقطر مناسب (عدة سنتمترات) وحفر اخدود دائري الشكل لتثبيت الحلقة المطاطية (O-ring). ثم تثبت على غطاء الحاوية ثلاثة لوالب محورية ولحصر المرآة يستعمل غطاء مثقوب من المركز بقطر ملائم للحزمة الخارجة وتتم السيطرة على حركة المرآة اثناء الترصيف باستعمال ثلاثة لوالب مسننة دقيقة تشكل فيما بينها زاوية مقدارها (120^{O}) بغية الحصول على دقة اكبر في عملية الترصيف كما مبين في الشكل (1-1):

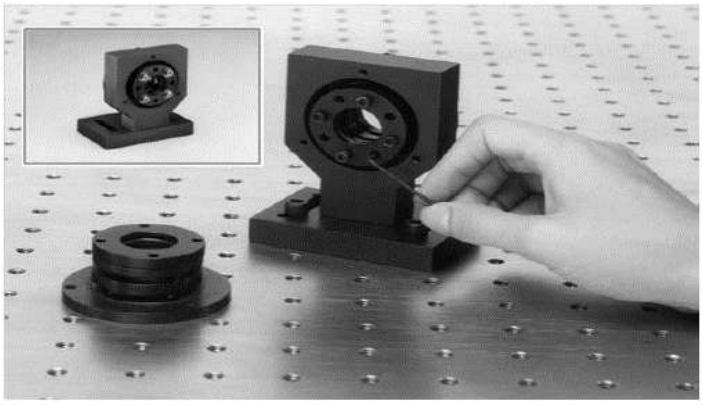
ان المقصود بقطر تكور المرايا يتركز على مفهومين هما:

*** مركز التكور: هو مركز الكرة التي تكون المرآة جزءاً منها ويكون أمام المرآة المقعرة وخلف المرآة المحدبة.**

*** نصف قطر التكور: هو نصف قطر الكرة التي أخذت منها المرآة.**

شكل (1-1): اشكال لحامل المرايا

أمّا المرآة الخلفية فيفضل استعمال المرايا المعدنية فيها بسبب الانعكاسية العالية للمعادن للاطوال الموجية تحت الحمراء (IR)، وتكون مصنعة من أحد المعادن البراقة (Metallic) كالبراص ذو معامل تمدد طولـــي بحدود ($1.7X10^{-5}$) وتوصيلية حرارية بحدود (393 W/m.K) تطلى بمعدن الذهب لانعكاسيته العالية خصوصا عند المدى المرئي من الطيف، تصمم هذه المرايا بانصاف اقطار تكور بامتار عدة وانعكاسيتها تصل الى (99%). تثبت على حامل مصنوع من مادة الالمنيوم أو مادة اخرى يتم تثبيته في الجهة الخلفية لحاوية الليزر؛ و الشكل (1-2) يبين حامل وغطاء المرآة الخلفية.



شكل 1-2 : حامل وغطاء المرآة الخلفية

عزيزي الطالب

تكون المرآة الخلفية هي المتحركة نسبة الى المرآة الامامية وفي الليزرات الغازية تبعد المرآة الخلفية مسافة سنتمترات عدة عن منطقة التفريغ الكهربائي.

كلا المرآتين يتم تثبيتها على مساند مطاطية نصف كروية من الاسفل لتقليل تأثير الاهتزازات الخارجية و تسهيل عملية الترصيف الضوئي، إنّ عدد الأنماط الطولية و المستعرضة يتحدد بقدرة الضخ المجهزة للمنظومة وطبيعة المنظومة البصرية داخل المرنان، اذ يزداد عدد الانماط بزيادة قدرة الضخ، إنّ من الامور المهمة التي يجب الاخذ بها عند تصميم منظومات الليزر هي استقرارية المرنان البصري المستعمل.

والمرنان الضوئي هو مجموعة من المرايا المرصوصة داخل الوسط الليزري لتزويد الليزر تغذية ضوئية خلفية، تقوم المرايا بعكس الفوتونات المتولدة في الوسط لتنعكس ملايين المرات في الثانية ذهابا وإيابا بين المرآة الخلفية التي تكون عاكسة للضوء بنسبة تقارب 100% والمرآة الأمامية تتراوح نفاذيتها بين(5%-1%). حركة الفوتونات داخل المرنان تعمل على تداخلها وتوحيد طورها الموجي فتتضاعف.

المرنان الشعاع الليزري على نمطين اثنين، نمط عمودي ونمط عرضي. نمط الانعكاس العمودي يتفاوت في التردد بينما يتفاوت النمط العرضي في التردد والشدة الليزرية، وتتناسب القدرة الخارجة (p_o) مع كل من نفاذية المرآة (T) والقدرة الكلية للفوتونات الناتجة (p_t) ووفق العلاقة الاتية:

$$P_o = T \times P_t \quad \text{.....(1-1)}$$

تتناسب قدرة الخرج الليزري مع نفاذية المرآة الأمامية، إذ كلما زادت النفاذية زاد الخرج الليزري.
يمكن تطبيق قانون حفظ الطاقة على حزمة الضوء المنتشرة في الاوساط وكما يأتي:

$$A + R + T = 1$$

إذ إنّ:
A: تمثل الامتصاصية.
R: تمثل الانعكاسية.
T: تمثل النفاذية.

مثال (1-1)

وضع تصميم لمرنان ليزري مكون من مرآتين، المرآة الخلفية ذات انعكاسية تقارب 100%. ما مقدار نفاذية المرآة الامامية للحصول على قدرة خارجة مقدارها (10 W) اذا كانت قدرة الفوتونات المتولدة داخل المرنان هي (1000 W)؟

الجواب

$P_t = 1000\ W$
$P_o = 10\ W$
$T=?$

لدينا العلاقة الاتية:

$$P_o = T \times P_t$$

نعوض في العلاقة السابقة

(10 W) = T x (1000 W)

T = 10 (W) / 1000 (W)

T = 0.01

∴ T = 1%

وهو مقدار نفاذية المرآة الامامية المطلوب

2-1 صيانة النوافذ البصرية
Optical Windows Maintenance

من المكونات البصرية المهمة في بناء المنظومات الليزرية جزء يتكون من مادة زجاجية ذات نفاذية عالية جدا للطول الموجي المتولد، تعمل النافذة البصرية التي تكون ضمن النظام البصري لجهاز الليزر كعملها في المباني إذ تفصل بين مراحل المنظومة الليزرية. والشكل (1-3) يبين بعضا من هذه المكونات البصرية.

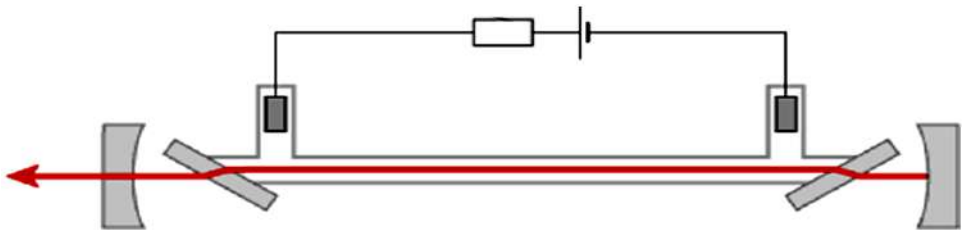
شكل 1-3 نوافذ بصرية

قد يتبادر الى الذهن السؤال الاتي:

ما فائدة وجود النافذة البصرية بزاوية بروستر في منظومات الليزر؟

الجواب هو: توضع النوافذ البصرية بزاوية بروستر في المنظومات الليزرية لغرض استقطاب الضوء الناتج.

انبوب ليزر الغاز يكون مغلق بنافذة محمولة بزاوية معينة هي زاوية بروستر، أذ يستقطب الضوء خطيا بأتجاه اذ يمر من دون أي خسائر في الانعكاس عند السطح كما في الشكل (1-4)



شكل1-4 يبين نافذتا بروستر

من الناحية العلمية زيادة نفاذية المرآة الامامية يؤدي إلى نقصان قدرة الخرج الليزري المحفزة وتقليل القدرة الكلية داخل المرنان، وهذا يؤدي إلى نقصان قدرة الخرج الليزري ومنه يجب اختيار نفاذية المرآة الأمامية وفق نوعية الوسط الفعال.

وتعرف زاوية بروستر (θ_B) وفق العلاقة الاتية:

$$\tan \theta_B = \frac{n_1}{n_o} \qquad \text{.....(2-1)}$$

إذ إنّ n_1 معامل انكسار النافذة.

n_0 معامل انكسار الوسط الذي يمر به الشعاع.

مثال (2-1)

في منظومة ليزر غازي استعملت نافذة بصرية من زجاج معامل انكساره (1.85). بأي زاوية يجب وضع هذه النافذة لكي يحصل استقطاب لضوء الليزر الخارج اذا علمت أنّ معامل انكسار الغاز هو (1.2).

الجواب :

باستعمال العلاقة الاتية:

$$\tan \theta_B = \frac{n_1}{n_0}$$

إذ إنّ:

$n_1 = 1.85$

$n_0 = 1.2$

نعوض في العلاقة السابقة

$$\tan \theta_B = \frac{1.85}{1.2} = 1.542\beta\beta$$

$$\Theta_B \approx 57^o$$

وهو مقدار الزاوية المطلوبة

مثال (3-1)

كم يجب ان يكون مقدار معامل الانكسار لمادة تستعمل كنافذة بصرية في منظومة ليزر معامل انكسار وسطها الفعال هو (1.3) اذا وضعت هذه النافذة بزاوية مقدارها 57^o؟

الجواب :

$n_o = 1.3$

$\Theta_B = 57^o$

$n_1 = ?$

$n_1 = n_o * \tan\Theta_B$

$n_1 = 1.3 \times \tan 57^o$

إذ إنّ $\tan 57^o = 1.54$ فأن

$n_1 = 1.3 \times 1.54 = 2.002$

$\therefore n_1 \approx 2$

وهو مقدار معامل انكسار مادة النافذة البصرية المستعملة

3-1 صيانة الوسط الفعال الليزري

Laser Active Medium Maintenance

سنتعرف عزيزي الطالب على انواع الاوساط الفعالة المطلوبة لتوليد الليزر وفق نوع منظومة الليزر وهي:

- ليزرات الحالة الصلبة.
- ليزرات الحالة الغازية.
- ليزرات الحالة السائلة.

ليزرات الحالة الغازية تختلف عن ليزرات الحالة الصلبة من حيث التصميم إذ إنها اكبر نسبياً وإنّ الوسط الفعال يكون غاز منفرد (كما في ليزر النيتروجين N_2 او ايون الاركون Ar^+) أو مجموعة من الغازات (كما في ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون CO_2).

إنّ تصميم الوسط الفعال لليزرات الغازية يكون مرتبط ارتباطاً مباشراً بتصميم الحاوية والتي سيرد شرحها في الفقرة اللاحقة ويعتمد التصميم على الية عمل منظومة الليزر اعتمادا على جريان الغاز واتجاه التفريغ الكهربائي إذ تقسم على:

- المنظومات الطولية: في هذا النوع من الليزرات يكون التفريغ الكهربائي طوليا (بين قطبي التفريغ بالقرب من نهايتي انبوبة الليزر) وكذلك جريان الغاز كما في ليزرات هيليوم - نيون (He-Ne) وليزرات ايون الاركون (Ar^+).

- المنظومات المستعرضة: في هذا النوع من الليزرات يكون التفريغ الكهربائي مستعرضا (على طول اقطاب التفريغ) وكذلك جريان الغاز يكون بنوعين: أما باتجاه التفريغ الكهربائي أو بشكل متعامد عليه.

ان منظومات الليزر الغازية إما أنْ تكون محكمة الغلق إذ يضخ الغاز لمرة واحدة فقط ثم تغلق نهايتي الانبوبة او أن تكون ذات منافذ لدخول وخروج الغاز بشكل مستمر.

ما المقصود بأنبوبة التفريغ الكهربائي؟
انبوبة التفريغ الكهربائي (الضخ الكهربائي) المستعملة في منظومات الليزر الغازية هي عبارة عن حاوية للوسط الفعال (الغاز) وتصمم على اشكال عدة وفق آلية التفريغ الكهربائي وضخ الغاز.

اما في ليزرات الحالة السائلة فان الوسط الفعال هو سوائل معينة او صبغات مذابة في مذيبات معينة، لذا فان الوسط الفعال لهذا النوع من الليزرات يحتاج الى تصميم حاويات او خلايا يوضع فيها السائل واعتمادا على الية الضخ وغالبا يكون ضخا بصريا باستعمال مصابيح وميضية او ليزرات اخرى.

كما في ليزرات الحالة الغازية فان ليزرات الحالة السائلة تكون على نوعين:

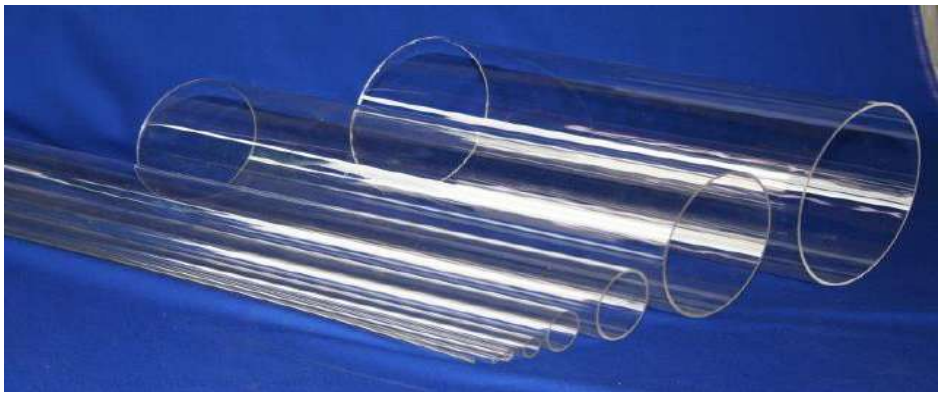
- ذات الجريان المستمر.
- محكمة الغلق.

4-1 صيانة حاوية الليزر

Laser Cavity Maintenance

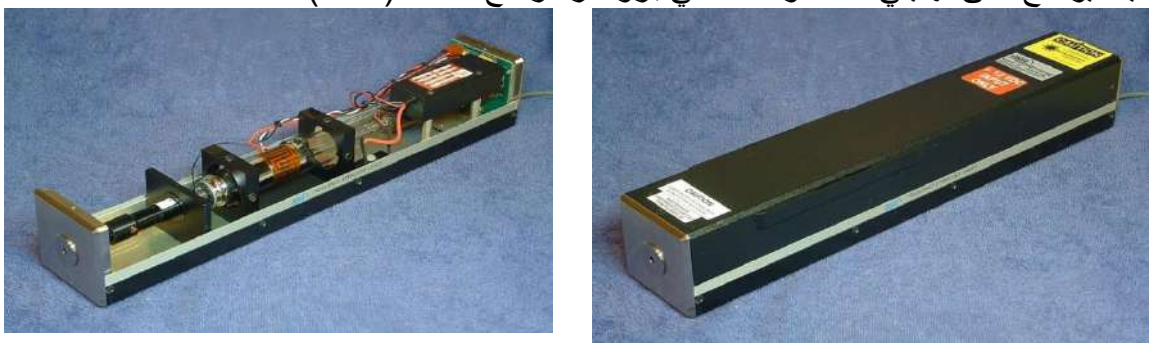
حاوية الليزر تعد من الاجزاء الميكانيكية لمنظومة الليزر، يختلف تشكيل حاويات الليزر تبعا لنوع الليزر سواء اكان غازيا، صلباً ام سائلاً. ففي منظومات ليزر الغاز تصمم حاوية الليزر على شكل اسطوانة مفتوحة النهايتين للحصول على توزيع منتظم للضغط الجوي من مادة البيرسبكس

(Perspex) تمتاز مادة البيرسبكس انها لا تتكسر بسهولة ولها عزل كهربائي جيد وقابلة للتشغيل الميكانيكي وذات شفافية تساعد على مشاهدة التفريغ الكهربائي.



شكل 1-5 :مجموعة من انابيب البيرسبكس باقطار مختلفة

يتجاوز طول الحاوية الاسطوانية متراً وقطرها الداخلي اقل من نصف متر وبسمك اكبر من نصف سنتمتر وهذه الابعاد توفر حجما كبيرا نسبيا وهذا الحجم يكون مفيدا في طرد أكبر كمية من الحرارة المتولدة في منطقة التفريغ الكهربائي و يساعد على تعويض منطقة التفريغ الكهربائي بغاز جديد. يوضع على نهايتي الاسطوانة نافذتي بروستر، راجع الشكل (1-4)



شكل (1-6): مقطع لمنظومة ليزر مع الغطاء الخارجي وبدونه.

يتم ادخال انبوبين مسننين لكل طرف من طرفي الحاوية يوصل بواسطتهما الفولطية العالية و الأرضي المشترك بقطعتي التغذية، ومن المهم أنْ يحكم الغلق لهما باستخدام حلقات مطاطية ملائمة؛ يرتبط الطرف الداخلي لكل انبوب مسنن بسلك مرن مع اقطاب التفريغ كما موضح في الشكل (1-7).

شكل (1-7): اقطاب التفريغ الكهربائية لمنظومة ليزر CO_2.

داخل الحاوية انبوب زجاجي يحتوي داخله الغاز (منفرد او خليط) بضغط معين، ويوجد على طرفي الانبوب قطبين موصلين الانود (الموجب) و الكاثود (السالب) تستعمل لتسليط فرق جهد كهربائي لحدوث عملية التفريغ الكهربائي للغاز الموجود داخل الانبوب فيسري تيار كهربائي ولأجل ابقائه في حدود جيدة تربط مقاومة على التوالي مع انبوب التفريغ تسمى مقاومة الموازنة.

يوجد للتفريغ الكهربائي نوعان رئيسيان هما التفريغ الكهربائي التوهجي ويمتاز باللون البنفسجي داخل منظومة الليزر و التفريغ الكهربائي القوسي يكون بلون ابيض مائل الى الاصفرار، فضلاً عن بعض الانواع الاخرى.

سوف تتولد حرارة داخل الحاوية بسبب التفريغ الكهربائي لذلك فأنه من الضروري التخلص منها ويتم ذلك بطريقتين:

1- تبريد جدران انبوب التفريغ عن طريق امرار سائل تبريد مثل الماء أو زيت أو اي سائل تبريد في انبوب زجاجي يحيط بالانبوب الداخلي فيلامس السائل السطح الخارجي لانبوب التفريغ فتنتقل الحرارة بطريقة الانتشار من داخل منطقة التفريغ الكهربائي الى الخارج إذ يحتوي غطاء التبريد على فتحتين لدخول و خروج ماء التبريد والشكل (1-8) يوضح مخطط لانبوب التفريغ ذي الغطاء الزجاجي، يتم استعمال هذه الطريقة في المنظومات المحكمة الغلق.

شكل (1-8): مخطط لتوضيح منظومة التبريد باستخدام الماء

2- التبريد عن طريق الحمل الحراري وذلك بجعل الخليط الغازي يجري بسرعة عالية داخل منطقة التفريغ، وتستعمل هذه الطريقة في منظومات القدرة العالية و الجريان السريع ويكون جريان الغاز على نوعين إمّا مستعرضاً (Transverse) أو طولياً (Longitudinal) نسبة الى المحور البصري للمنظومة.

لزيادة القدرة الخارجة من منظومة الليزر يتم بزيادة طول انبوب التفريغ الكهربائي إذ إنّ اعظم قدرة مستحصلة لوحدة الطول لا تزيد على (70 W/m) في منظومات محكمة الغلق و (100 W/m) في منظومات الجريان البطيء.

مثال (1-4)

منظومة محكمة الغلق طولها (2 m) واخرى ذات جريان بطيء طولها (0.5 m)، ايهما تعطي قدرة اكبر.

الجواب:

للمنظومة محكمة الغلق طولها 2 cm فان

P = 70 W/m

P = 70 W/m x 2 m = 140 W

وللمنظومة ذات الجريان البطيء طولها 0.5 cm فان

P = 100 W/m

$$P = 100\ W/m \times 0.5 = 50\ W$$

اذن المنظومة محكمة الغلق تعطي قدرة اكبر

يوجد على طول داخل الحاوية سكة منزلقة مكونة من قطعتين متماثلتين من البيرسبكس، يتم اسناد مروحة دفع الغاز و حامل اقطاب التفريغ على هذه السكة وذلك لتحريك اقطاب التفريغ بسهولة عن طريق تغيير موقع التفريغ الكهربائي نسبة الى المسافة الفاصلة بين المرآتين.

الغطاء الخلفي للحاوية يكون مغلق ويوجد فيه اكثر من فتحة دائرية، احداها تستعمل لكي يمر انبوب الغاز الى الداخل؛ ويوجد هناك فتحتان تستعملان كطرفي توصيل كهربائي لتشغيل مراوح دفع الغاز، وتكون جميع الفتحات محكمة الغلق.

اسئلة ومسائل

س1: اختر الاجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. **ان مركز التكور هو:**
   a) **مركز الدائرة التي تكون المرآة جزءا منها.**
   b) **مركز المربع المكون للمرآة.**
   c) **مركز الكرة التي تكون المرآة جزءا منها.**
   d) **مركز المثلث المكون للمرآة.**
2. **تصنع المرآة الامامية لبعض منظومات الليزر من:**
   a) **الحديد.**
   b) **الكاربون.**
   c) **البلاستك.**
   d) **الجرمانيوم.**
3. **تصنع المرآة الخلفية لبعض منظومات الليزر من:**
   a) **أحد المعادن البراقة.**
   b) **الكوبلت.**
   c) **الخارصين.**
   d) **القصدير.**
4. **احد الشروط الواجب توافرها عند تصميم منظومة الليزر هي:**
   a) **استقرارية المرسل البصري.**
   b) **استقرارية المرنان البصري.**
   c) **استقرارية الكاشف البصري.**
   d) **استقرارية المرايا.**
5. **تتناسب القدرة الخارجة (p_o) مع كل من:**
   a) **نفاذية المرآة (T) والقدرة الكلية للفوتونات المتولدة (P_t).**
   b) **انعكاسية المرآة (R) والقدرة الكلية للفوتونات المتولدة (P_t).**
   c) **نفاذية المرآة (T) وامتصاصية الفوتونات (A).**
   d) **انعكاسية المراة (R) وامتصاصية الفوتونات (A).**

6. توضع النوافذ البصرية في منظومات الليزر لغرض:
   a) انكسار الضوء الناتج.
   b) استقطاب الضوء الناتج.
   c) انعكاس الضوء الناتج.
   d) امتصاص الضوء الناتج.
7. يستقطب ضوء الليزر الخارج خطيا بوضع النوافذ بزاوية:
   a) سنيل.
   b) 10^o.
   c) بروستر.
   d) 140^o.
8. في منظومات الليزر المستعرضة يكون التفريغ الكهربائي:
   a) طوليا.
   b) قطريا.
   c) مستعرضا.
   d) دائريا.
9. الغرض من استعمال قطبين معدنيين في انبوبة الليزر الغازي هو:
   a) تفريغ الهواء.
   b) زيادة ضغط الغاز.
   c) التفريغ الكهربائي.
   d) تبريد المنظومة.
10. لزيادة القدرة الخارجة من منظومة الليزر نلجأ الى:
   a) زيادة سمك جدار انبوبة التفريغ الكهربائي.
   b) تقليل سمك جدار انبوبة التفريغ الكهربائي.
   c) تقليل قطر انبوبة التفريغ الكهربائي.
   d) زيادة طول انبوبة التفريغ الكهربائي.

س2: أملأ الفراغات الاتية:

1. توضع مرآتي الليزر بشكل .....بحيث.....محورهما البصري.
2. ان نصف قطر التكور يمثل نصف قطر.....التي اقتطعت منها المرآة.
3. تصنع المرآة الامامية عادة من .....مرسب على أحد وجهيها طلاء .....للانعكاس.
4. يستعمل البراص في تصنيع المرآة الخلفية لكونه أحد المعادن .....
5. يزداد عدد الانماط الطولية والمستعرضة المتولدة بزيادة .....

س3: لديك مرآة عاكسة كلياً ومجموعة مرايا ذوات انعكاسية جزئية (90%, 80%, 70%, 60%) وطلب منك وضع تصميم لمرنان ليزر ذو قدرة خارجة مقدارها (300 W) إذا علمت أنّ الوسط الفعال يولد فوتونات بقدرة كلية

(1500 W) وإنّ مقدار الامتصاصية للمرآة الامامية يساوي صفر. أي من المرايا ذوات الانعكاسية الجزئية سوف تختار للتصميم؟

س4 : مرنان ليزري مكون من مرآتين، المرآة الامامية ذات انعكاسية تقارب 95% والمرآة الخلفية تقارب 100% ما مقدار القدرة الخارجة عندما تكون القدرة المتولدة داخل المـرنـــان (1100 W)؟

س5: وضعت نافذة بصرية في منظومة ليزر غازي معامل انكسارها 1.6 بزاوية 58^{o}، ما مقدار معامل انكسار ضوء الليزر المستقطب النافذ؟

س6: ما طول كل من منظومة ليزر محكمة الغلق قدرتها (210 W) و منظومة جريان بطيء قدرتها (200 W)؟

س7: وضح أوجه الاختلاف بين تصميم المرأة الأمامية والمرأة الخلفية لمنظومات االليزر

س8: ماهي طرق التخلص من الحرارة المتولدة داخل حاوية الليزر؟

س9: علل كل مما يأتي :-

1- يتم تثبيت المرأتين الأمامية والخلفية على مساند مطاطية نصف كروية من الأسفل؟

2- توضع النوافذ البصرية بزاوية بروستر في منظومات الليزر الغازي ؟

3- تصنع حاوية الليزر من مادة البيرسكبس ؟

4- تربط مقاومة على التوالي مع أنبوب التفريغ الكهربائي ؟

5- يتم زيادة طول أنبوب التفريغ الكهربائي في منظومة الليزر الغازي ؟

الفصل الثاني
صيانة منظومات الضخ
Pumping Systems Maintenance

الاهداف:

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على التعرف على:

1. صيانة منظومات الضخ لانواع الليزر.
2. صيانة المصابيح الوميضية.
3. صيانة مجهزات القدرة.

محتويات الفصل:

2-1 مقدمة.
2-2 صيانة منظومات الضخ البصري.
2-3 صيانة المصابيح الوميضية.
2-4 صيانة منظومات الضخ الكهربائي.
2-5 صيانة منظومات الضخ الكيمياوي.
2-6 صيانة مجهزات القدرة.
2-7 صيانة الوسط الفعال.
اسئلة الفصل الثاني

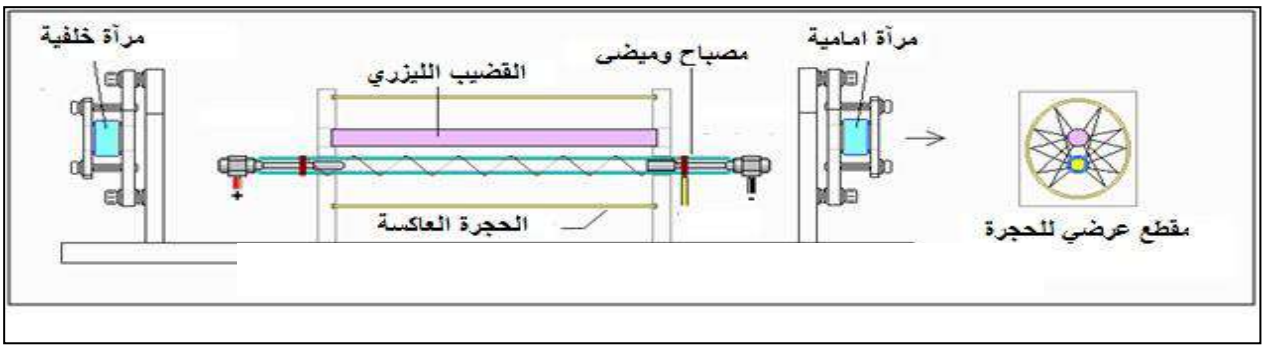
2 -1 مـقدمــة

اي منظومة تعطي ناتجا معينا تحتاج الى طاقة ابتدائية لتشغيلها كالمحركات والمولدات والمراجل وغيرها، وهذه الطاقة تعطى للمنظومة باشكال متعددة وفق آلية عملها وناتج المنظومة يعتمد على كفاءة تحويلها للطاقة من شكل الى شكل آخر وكذلك الحال بالنسبة لمنظومات الليزر فان تزويدها بالطاقة الابتدائية يطلق عليه عملية الضخ (Pumping). هنالك طرائق واشكال عديدة لعملية الضخ فإما أنْ تكون بصرية أو كهربائية أو كيميائية أو غير ذلك اعتمادا على نوع الوسط الفعال المستعمل في المنظومة. في هذا الفصل سنتطرق اليها وبشكل مبسط للتعرف على كيفية اختيار ووضع التصاميم لطرائق الضخ المناسبة.

2 -2 صيانة منظومات الضخ البصري

Optical Pumping System Maintenance

كما تعرفت سابقا عزيزي الطالب على طرائق الضخ البصري فإنه يستعمل لهذا الغرض مصدر ضوء ذو قدرة عالية لتحفيز الوسط الفعال الذي تقوم ذراته أو ايوناته أو جزيئاته بامتصاص هذه الطاقة فتساعدها على الانتقال الى مستوى طاقة اعلى. هذه الطريقة معتمدة في ليزر الحالة الصلبة (كليزر الياقوت و النديميوم) في ليزر الحالة السائلة (كليزر الصبغة) وايضاً، يستعمل لغرض الضخ بهذه الطريقة مصابيح خاصة يطلق عليها المصابيح الوميضية والشكل (2-1) يوضح طريقة ربط المصباح الوميضي في المنظومة الليزرية.

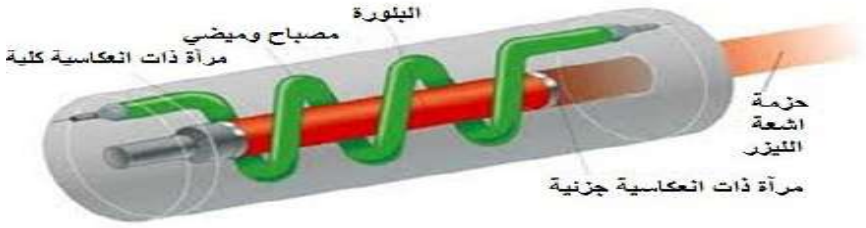


شكل 2-1 ربط المصباح ألوميضي في منظومة الليزر

2 -3 صيانة المصابيح الوميضية

Flash Lamps Maintenance

المصباح ألوميضي هو أنبوب من زجاج الكوارتز تمتاز مادة الكوارتز بنفوذي عالية للاطوال الموجية المارة من خلاله(تمتد من 200 نانومترnm الى اكثر من 4000 نانومترnm) فضلاً عن ارتفاع درجة التلدين (melting point) له التي تبلغ 1300 درجة مئوية وقدرته على تحمل الصدمات الحرارية الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة عند تشغيل المصباح. يثبت في نهايتي انبوب المصباح اقطاب كهربائية محكمة الغلق. ويملأ تجويف الانبوبة باحدى الغازات الخاملة مثل النيون، الزينون او الكربتون. بحيث إنّ البلازما المتكونة عند مرور التيار الكهربائي بين قطبي المصباح تملأ اكبر حيز ممكن من حجم الانبوب وهي التي تحدد مقدار الشدة الضوئية المنبعثة من المصباح. يصنع المصباح الوميـــضي عادة على شكـــل خطي (Linear) او لولبـــــي (Helical) كما موضـح في الشكل (2 – 2). تمتلك المصابيح الوميضية بعض المواصفات القياسية كأن يتراوح سمك جدران الانبوبة 1 – 2 mmملم وقطرها الداخلي بين 3 – 19mm ملم، أما طول المصباح فيتراوح بين 5 – 100 cmسم.



شكل 2-2 مصباح وميضي لولبي

2-3-1 الاجزاء الرئيسية للمصابيح الوميضية

A. الأقطاب (Electrodes)

أصعب ما يواجه مصممو المصابيح الوميضية هو الاختيار الامثل لمواد و اشكال الاقطاب المستخدمة في تصنيع المصابيح، وذلك لأهميتها في عملية الانبعاث الالكتروني و تأثيرها على عمر المصباح.

يستعمل معدن التنكستن في تصنيع الاقطاب الكهربائية في معظم انواع المصابيح الوميضية، إذ يمتاز بارتفاع درجة انصهاره (تصل اكثر من 3000 درجة مئوية)، يفضل استعمال سبائك التنكستن لسهولة التشغيل الميكانيكي لها في اعطاء القطب الشكل الملائم إذ يمتاز الكاثود بشكل نصف دائري أو مدبب قليلا، أما الانود فيكون مسطح الشكل.

سبائك التنكستن ذات طاقه تقريبا (2ev الكترون- فولت) يطلق عليها دالة الشغل مما يسهل عملية القدح للمصباح، فعند استعماله لتصنيع قطب الكاثود نحتاج الى فولطية عالية تجهز لألكترونات سطح المعدن لكي تزيد من طاقتها الحركية وتنطلق تاركة سطح المعدن بأتجاه قطب الانود، أذ تقاس

كفاءة قطب الكاثود بقدرته على تجهيز اكبر كمية من الالكترونات القادرة على نقل التيار، اما كفاءة قطب الانود فتقاس بقدرته على تحمل قصف تلك الالكترونات.

تعريف

دالة الشغل: هي اقل طاقة لازمة لانتزاع الالكترونات من سطح المعدن

إنَّ لنوع وشكل الأقطاب اهمية في تحديد عمر المصباح الوميضي، إذ تؤدي عملية التذرية الناتجة من الكاثود التى تكون مناطق معتمة على السطح الداخلي لغلاف المصباح و التي تؤدي بدورها الى توهين الشدة الضوئية المنبعثة من المصباح.

شكل 2-3 المصابيح الوميضية الحلزونية والخطية

B. الغلاف:

هو الجسم الذي يحيط الاقطاب ويمتد على طول المسافة الواصلة بينهما ويكون مملوءاً باحدى الغازات الخاملة وغير قابل لنفاذ تللك الغازات من خلاله.

يتم اختيار غلاف المصباح الوميضي بحيث يكون شفافا يسمح بمرور الاشعة المنبعثة من قوس البلازما المتولدة داخله كما يجب أن يكون جيد التحمل لدرجات الحرارة المرتفعة، فضلاً عن تحمله للصدمات الميكانيكية التي قد تحصل.

تعد زجاج الكوارتز من اكثر المواد التي تستعمل في تصنيع الغلاف الزجاجي للمصباح الوميضي.

شكل 2-4 المصباح الوميضي الحلزوني مع الوسط الفعال

C. ضغط الغاز والملأ:

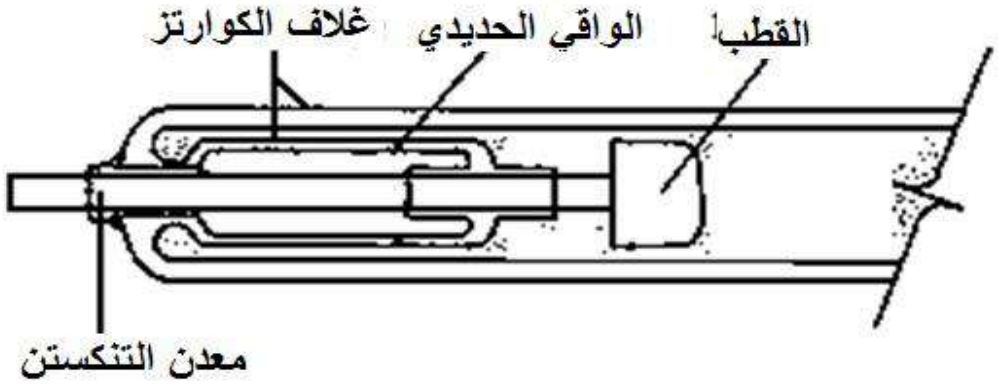
يعتمد اختيار الغاز الذي تملأ به المصابيح الوميضية على طيف الانبعاث لذلك الغاز والذي يجب ان يتطابق مع طيف الامتصاص لمادة الليزر، إذ تستعمل الغازات الخاملة مثل غاز الزينون (Xe) او الكربتون (Kr) بضغط عالي يتراوح بين 450 و 1500 تور (Torr) للحصول على ليزر نبضي اذ يبدأ التفريغ في المصباح بمساعدة قطب اضافي بوساطة نبضة جهد عالٍ تكسر ممانعة الغاز وتؤينه مسببة بذلك ومضة امد ضيائها (الذي يعتمد على سعة المتسعة و مقاومة المصباح) يتراوح بين بضع مايكروثانية (µs) الى بضع مئات مايكروثانية (µs) وغالبا يكون على شكل سلك يلف حول المصباح. للحصول على حالة ليزر مستمر الموجة يستعمل غالبا مصباح الكربتون بضغط عالي يتراوح بين 4000 و 8000 تور (Torr) .

D. الأغلاق:

الأغلاق هي عملية لحام اقطاب المصباح بغلافه وهي نوعان:

1. الأغلاق المباشر

تتم هذه العملية بغلق قطب التنكستن بغلاف الكوارتز، إذ يتم تثبيت مادة وسيطة من البايركس المشاب على قطب التنكستن، ومن ثم لحم غلاف الكوارتز بتلك المادة. تتميز هذه الطريقة من الاغلاق بقدرتها على تحمل الموجات الصدمية وتحمل درجات الحرارة المرتفعة.



شكل 2-5 إغلاق مباشر لقطب التنكستن بغلاف الكوارتز

2. الاغلاق غير المباشر (الاغلاق بوساطة سبيكة اللحام):

تتم بلحم قطب التنكستن بطرف قضيب نحاسي و يلحم طرفه الاخر بكأس من معدن النيكل وتتم عملية لحام كأس النيكل بغلاف الكوارتز بطلاء نهاية غلاف المصباح بمادة البلاتينيوم، ومن ثم لحامها مع كأس النيكل بوساطة سبيكة اللحام التي تكون من مادة الانديوم.من ميزات هذا الاغلاق قدرته على تحمل قيم عالية من تيار الذروة فضلاً عن امتلاكه مقاومة ميكانيكية عالية وهو لا تحمل درجات الحرارة المرتفعة مما يتطلب تبريد المصباح بصورة مستمرة.

تتولد الحرارة في المصابيح الوميضية نتيجة حدوث عملية التفريغ الكهربائي بين الاقطاب، إذ توزع الحرارة بصورة غير متساوية على طول المصباح ويؤدي تراكمها الى تقليل كفاءته ومن ثم توقفه عن العمل. 30% الى 50% من القدرة الداخلة للمصباح تتبدد بشكل حرارة عن طريق الغلاف. لذا فأن غلاف المصباح الوميضي دائم التعرض لتشققات مختلفة ناتجة اغلبها من ارتفاع درجات الحرارة و اختلاف الضغط داخله. كذلك يسبب ارتفاع درجة حرارة منطقة لحام الاقطاب بغلاف المصباح الى ظهور تشققات طولية تؤدي الى تهشمه، لذا يكون من المفيد تبريد المصباح الوميضي و بصورة خاصة الاقطاب و منطقة اللحام.

وهناك العديد من انظمة التبريد الخاصة بالمصابيح الوميضيه مثل التبريد الذاتي، التبريد بوساطة الهواء المطلق، التبريد بوساطة الهواء المدفوع و التبريد بوساطة السوائل.

إنَّ عملية التبريد لا يقصد بها تبريد غلاف المصباح فقط و إنما تبريد الاقطاب ايضاً والتي تعاني من تراكم حراري كبير قد يؤدي الى حدوث تشققات عند منطقة الغلق و بالتالي تسرب الغاز و توقف عمل المصباح. كما يفضل استعمال المصابيح الوميضية الخطية المبردة بوساطة السوائل في منظومات القدرة العالية إذ يكثر استعمال الماء في منظومات التبريد لذا يفضل استعمال الماء عديم التأين بدلا من الماء الاعتيادي وذلك بسبب التوصيلية العالية التي يتمتع بها الماء الاعتيادي والتي تؤثر على عملية قدح المصباح الوميضي؛ أما المصابيح اللولبية فأنها تكون اقل سرعة وسهولة في ازالة الحرارة منها.

إن لمجهز القدرة المستعمل مع المصباح الوميضي وظائف عدة هي:

1- شحن المتسعة التي تستعمل لتخزين الطاقة اللازمة لاحداث التفريغ الكهربائي بين قطبي المصباح.
2- تجهيز النبضة اللازمة لكسر ممانعة الغاز والتي يطلق عليها نبضة القدح (trigger pulse).
3- السيطرة على كثافة التيار المجهز خلال تولد النبضة والذي يحدد شكل النبضة.

تعريف

نبضة القدح: وتمثل الطاقة المجهزة في بداية تشغيل المصباح خلال مدة زمنية قصيرة جدا والتي بواسطتها تكسر ممانعة الغاز ليسمح بعدها مرور التيار الكهربائي خلاله واحداث التفريغ الكهربائي.

ثابت المصباح Lamp constant

ان ثابت المصباح هو مقدار يعتمد على نوع الغاز المستعمل لملئ المصباح ويطلق عليه كذلك ثابت الممانعة (Impedance Constant) ويمكن حسابه باستعمال العلاقة الاتية:

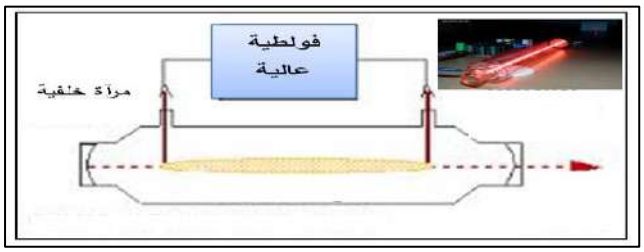
$$\text{Impedance Constant } (K_o) = 1.27\ (L_a/B)\ (p/c)^{0.2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1\text{-}2)$$

إذ أن:

Arc length (L_a): طول قوس التفريغ المتولد (المسافة بين قطبي المصباح).
Bore (B): القطر الداخلي لانبوبة المصباح.
Pressure (p): ضغط الملئ للغاز المستعمل بوحدة (تور Torr).
Constant (c): ثابت معين تعتمد قيمته على نوع الغاز المستعمل وهي 450 للمصباح المملوء بغاز الزينون (Xe) و 805 للمصباح المملوء بغاز الكربتون (Kr).

2 -4 صيانة منظومات الضخ الكهربائي

Electrical pumping system Maintenance



شكل (2-6) انبوبة التفريغ الكهربائي في الليزر الغازي

كما تعلمت عزيزي الطالب في المراحل السابقة إنَّ عملية التهيج وتوليد الليزر في المنظومات الغازية تتم عن طريق الضخ الكهربائي او التفريغ الكهربائي خلال الغاز المحصور بين الاقطاب، كذلك الحال مع ليزرات اشباه الموصلات فانها تعتمد على الضخ الكهربائي في عملية التهيج ولكن وفقا لالية مختلفة تماما إذ إنَّ

فرق الجهد المسلط على جهتي المفرق لأنبوبة التفريغ الكهربائي في منظومة الليزر الغازي (p-n junction) يعمل على حقن حاملات الشحنة (ناقلات التيار) كما في شكل (2-6).

إنَّ التصميم الاساس لمنظومة الليزر الغازي يتألف من جزء رئيس مهم هو انبوبة التفريغ الكهربائي وتصنع في الغالب من زجاج البايركس (Pyrex) .

ملاحظة : علينا ان نتذكر عند وضع تصميم لانبوبة الليزر ان نقطع نهايتي الانبوبة الزجاجية بزاوية بروستر

من المكونات الاساسية الاخرى والتي توضع داخل انبوبة التفريغ، الاقطاب إذ يجب وضع تصاميم الاقطاب وفق الية التفريغ المطلوبة وتكون الاقطاب إما محدبة، مدببة او ذات تشكيل نصف كروي ويستعمل لهذا الغرض برامج خاصة تغذي مكائن التشكيل (Computerized (NumericallY Controlled) (CNC).

ملحقات انبوبة التفريغ هي:

1. انبوبة خارجية تحيط بانبوبة التفريغ وظيفتها السماح لماء التبريد بالجريان.
2. منظومة خلط الغازات كما في ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون (CO_2) وليزر هيليوم-نيون (He-Ne).
3. منظومة سحب وشفط الهواء والغازات (Vacuum).

2 -5 صيانة منظومات الضخ الكيمياوي

Chemical Pumping System Maintenance

في هذه الطريقة من الضخ لا نحتاج الى مصدر خارجي للطاقة فهو يتوافر ضمنياً في المادة المستعملة. فناتج التفاعل الكيمياوي بين مكونات المادة المنتخبة يشكل المادة الفعالة المطلوبة لعمل الليزر في حين تعمل الطاقة المتحررة من التفاعل ذاته على اثارة هذه المادة و تحقيق التوزيع العكسي لها.

2 -6 صيانة مجهزات القدرة

Power Supplies Maintenance

تعد مجهزات القدرة المكون الاساس الثاني لمنظومات الليزر وعملها كعمل الدماغ في جسم الانسان، وتتكون من مجموعة دوائر كهربائية تقسم على جزأين رئيسين هما:

1. دوائر القدرة الكهربائية الرئيسة: وتشمل الدوائر الكهربائية التي تجهز الطاقة الى الوسط الفعال كما في المتسعات التي تفرغ الطاقة بين اقطاب انبوبة التفريغ الكهربائي في منظومات الليزر الغازية او دوائر تشغيل المصابيح الوميضية في ليزرات الحالة الصلبة او السائلة.
2. الدوائر الالكترونية الثانوية: وتشمل دوائر السيطرة الخاصة بتشغيل الملحقات كمنظومة التبريد.

كما هي الحال في منظومات ليزر الحالة الصلبة فان مجهز القدرة هو مجموعة دوائر كهربائية تقوم بتجهيز المصباح الوميضي بالقدرة اللازمة لتشغيله. يمكن ان يعمل مجهز القدرة بشكل نبضي او

بشكل مستمر وهذا يؤثر على نمط تشغيل الليزر. هناك دوائر بسيطة لمجهزات القدرة ودوائر أخرى أكثر تعقيداً وفق متطلبات منظومة الليزر مثل قدرة التشغيل وسرعة التشغيل.
ان شكل النبضة وطاقتها فضلاً عن معدل تكرار نبضة الليزر تعد من اهم الامور التي تستأثر بعناية مصممي مجهزات القدرة لمنظومات الليزر. ولتشغيل المصباح الوميضي يجب توفير الطاقة الكهربائية اللازمة لاحداث التفريغ الكهربائي داخل المصباح.

يعتمد التفريغ الكهربائي داخل المصباح الوميضي على عوامل عدة منها:

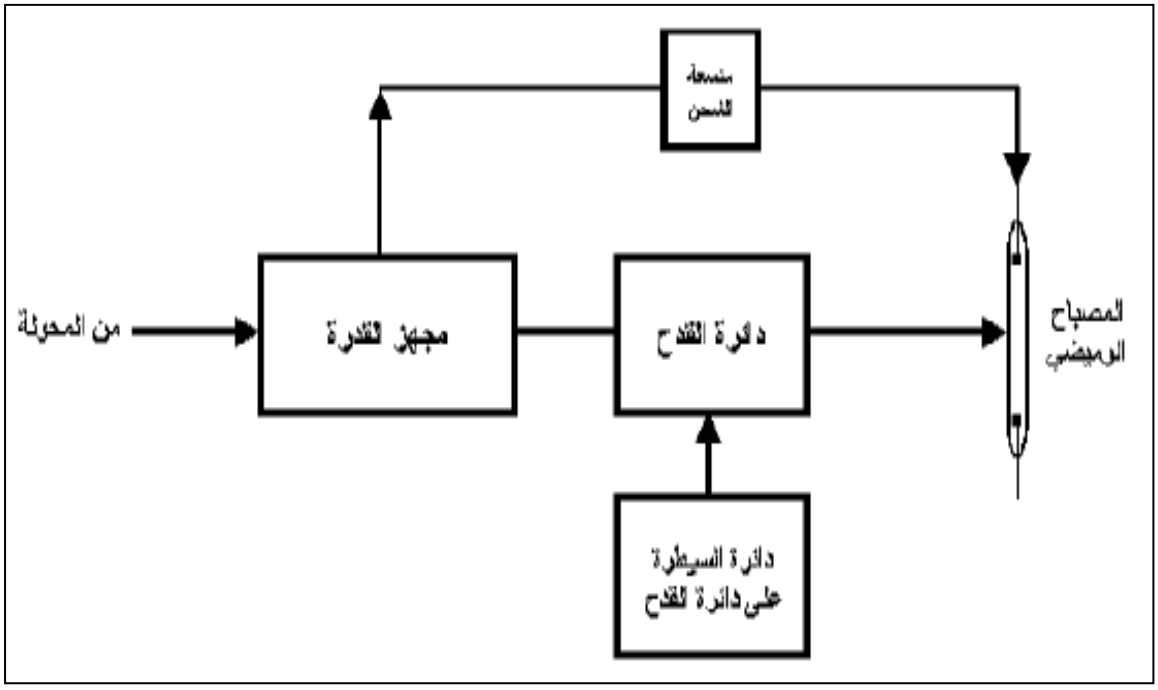
1. الفولطية المسلطة عبر الاقطاب.
2. نوع الغاز.
3. المسافة الفاصلة بين الاقطاب.
4. الشكل الهندسي للمصباح.

تذكر

ان مجهز القدرة يحدد كثافة الاشعاع الخارج من المصباح وامد نبضة المصباح.

شكل 2-7 يوضح المخطط العام لمجهز القدرة المستعمل في منظومات ليزر الحالة الصلبة ويتكون من الاجزاء الاساسية الاتية:

1. وحدة الشحن Charging Unit.
2. وحدة القدح Triggering Unit.
3. وحدة تشكيل النبضة Pulse Forming Unit .



شكل (2-7) المخطط العام لمجهز القدرة المستعمل في منظومات ليزر الحالة الصلبة

وفيما يأتي وصفا تفصيليا لمكونات مجهز القدرة: المستعمل في منظومات ليزر الحالة الصلبة

1- وحدة الشحن:

تستعمل لخزن الطاقة الكهربائية داخل متسعة الخزن وتتكون وحدة الشحن من الاجزاء التالية:

أ- محولة رافعة تقوم برفع الفولطية الرئيسة الداخلة الى فولطية عالية (قد تتجاوز العشرة اضعاف) وفق فولطية التشغيل المطلوبة.

ب- موحد الموجة الذي يقوم بتعديل موجة الفولطية المتناوبة (A.C) الى فولطية مستمرة (D.C) والتي تستعمل في شحن متسعة الشحن.

ت- مفتاح السيطرة والذي يكون اما مفتاح ترياك (Triac) او زوج من الثايروستور (Thyrastor) او مرحل (Relay).

ث- مقاومة تحدد التيار (Current Limiting Resistor) و تحافظ على اجزاء وحدة الشحن من التلف.

ج- دائرة كهربائية للسيطرة على الفولطية الخارجة.

ان دائرة وحدة الشحن تحدد الطاقة اللازمة لتشغيل المصباح وفقا للعلاقة التالية:

$$E=1/2 (C V^2) \quad ..... \quad (2-2)$$

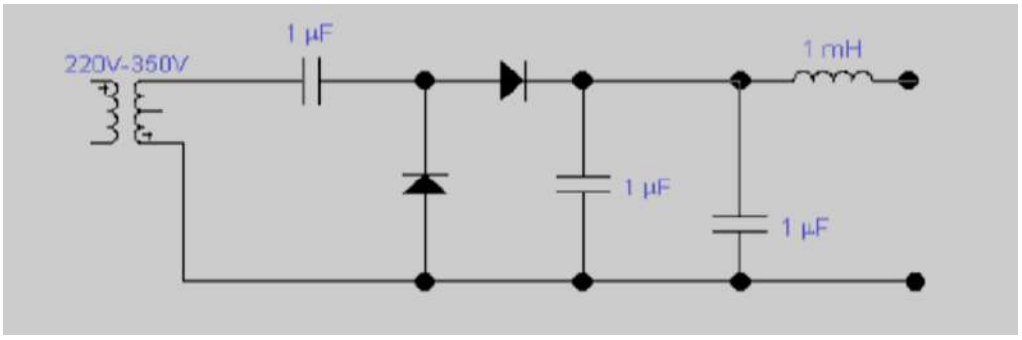
إذ إنَّ

V: الفولطية المجهزة.

C: سعة متسعة الخزن. وتقاس بوحدة الفاراد

E: الطاقة المجهزة للمصباح. وتقاس بوحدة الجول او (الطاقة الكهربائية الخزونة في المكثف)

يوضح الشكل (2 – 8) بعض دائرة الشحن المستعملة في تصميم مجهزات القدرة



شكل (2– 8) دائرة الشحن لمجهز القدرة

2- وحدة تشكيل النبضة:

هي شبكة تقوم بتحديد شكل و امد النبضة الخارجة من المصباح الوميضي، ويتم ذلك عن طريق حثية الملف، سعة المتسعة و الممانعة الداخلية كما في الشكل (2–9).

يعطى امد نبضة المصباح (T) بالعلاقة التالية:

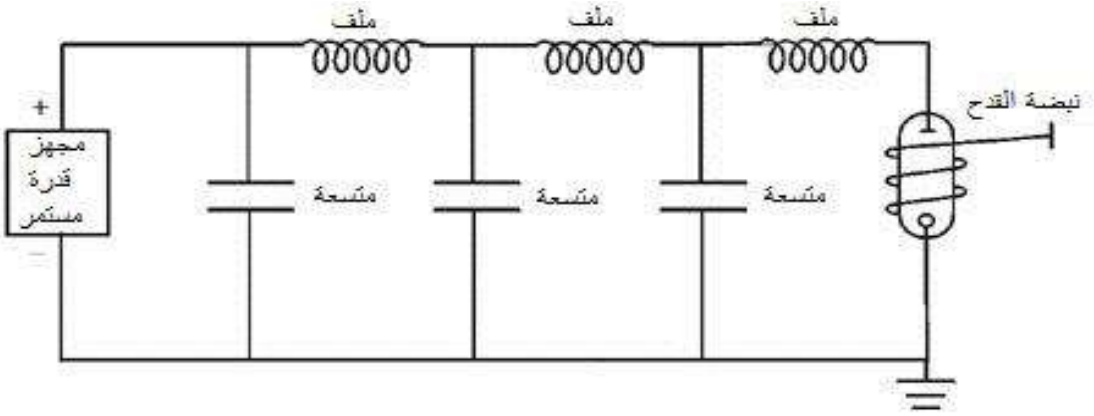
$$T = (L \times C)^{½} \quad .....(2 – 3)$$

إذ أن

T: أمد نبضة المصباح.

L: حثية الملف.

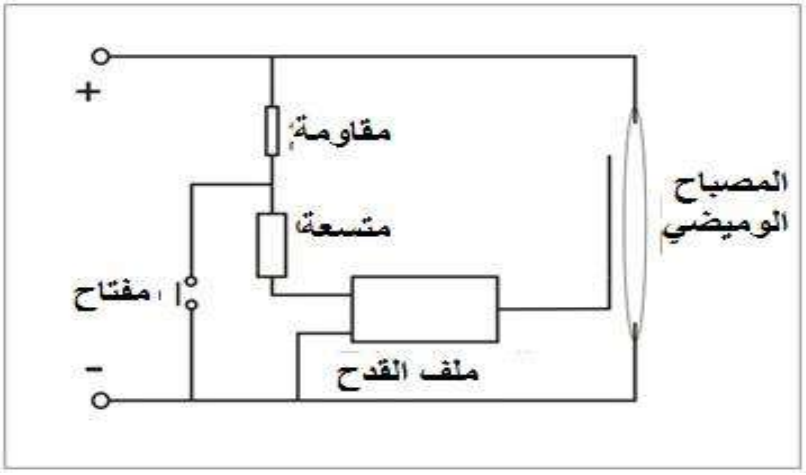
C: سعة المتسعة.



شكل (2-9) وحدة تشكيل النبضة

3- دائرة القدح:

إنَّ فولطية تشغيل المصباح الوميضي لا تعد كافية لاتمام عملية التشغيل و سبب ذلك يرجع الى مقاومة المصباح العالية (المتأتية من بعد المسافة بين الاقطاب و منظومية الغاز). لذا فإن فولطية التشغيل لا يمكنها احداث التفريغ الكهربائي بين قطبي المصباح دون عامل مساعد، وهنا تمكن اهمية دائرة القدح إذ تقوم هذه الدائرة بتجهيز شرارة كهربائية ذات فولتية عالية (تصل الى بضعة الالاف من الفولطات) تعمل على تأين الغاز الموجود داخل المصباح مولدة بذلك ايونات سالبة و اخرى موجبة قادرة على نقل التيار و احداث التفريغ الكهربائي بين الاقطاب. الشكل (2–10) يبين بعض اشكال دوائر القدح.



شكل 2 – 10 دائرة القدح للمصباح الوميضي

7-2 صيانة الوسط الفعال (Active Laser Medium)

الوسط الفعال هو المادة التي تستعمل لتوليد شعاع الليزر. وهناك مواصفات يجب أن تتوافر في المادة لكي تكون وسطاً فعالا لانتاج الليزر وهي الكلفة القليلة (رخيصة)، الكفاءة العالية، صفات الاشعة الخارجة تكون جيدة، يكون عرض نطاق الامتصاص عريض في حين يكون عرض نطاق الانبعاث (الفلورة) ضيق، وتقاوم ظروف التشغيل الميكانيكية و الحرارية. وقد صنفت انواع الليزر وفق حالة الوسط الفعال المستعمل وهي ثلاث انواع رئيسة: ليزر الحالة الصلبة، ليزر الغاز و ليزر السائل فضلاً عن هذه الانواع ياتي الليزر الكيمياوي و ليزر شبه الموصل.

1-7-2 ليزر الحالة الصلبة Solid – State Laser

الوسط الفعال فيه يكون من مواد صلبة شفافة شديدة التماسك (غير هشه) تقاوم الحرارة مثل بلورة عازلة صلبة او قطعة زجاج لها خطوط طيفية حادة.

تكون مادة الليزر الصلبة على شكل قضيب صُقل طرفاه ليصبحا على درجة عالية من النعومة و التوازي ويدعى بقضيب الليزر قطره يتراوح بين بضع مليمترات الى بضع سنتمترات اما طوله فيتراوح بين سنتمترات عدة الى بضع اعشار المتر. تصمم ليزرات الحالة الصلبة لتوليد قدرات عالية جدا لان تركيز الايونات الفعالة التي تنتج الليزر يكون كبيرا وتسمى نسبة التطعيم.

من اكثر بلورات الليزر الشائعة هي الياقوت (Ruby) والنيديميوم- ياك (Nd: YAG) و النيديميوم- زجاج (Nd: Glass) والالكسندرايت (Alexandrite) و التيتانيوم-زفير (Ti: Sapphire).

a. ليزر الياقوت (Ruby Laser)

اكتشف عام 1960 والوسط الفعال فيه هو بلورة الياقوت (Ruby) وهي بلورة اوكسيد الالمنيوم (Al_2O_3) المطعم بايونات الكروميوم (Cr^{+3}) بنسبة تطعيم حوالي (5%) من الوزن الكلي (وهي تعتبر نسبة تطعيم قليلة)، يمكن أن تصنع البلورة مختبريا لغرض استعمالها كوسط فعال لعمل الليزر ويكون لونها أحمر وقطرها يتراوح ما بين (1 - 20 mm) وطولها (50 - 200mm). كما موضح في الشكل (2- 10)

شكل 2 – 10: مقطع جانبي لليزر الياقوت

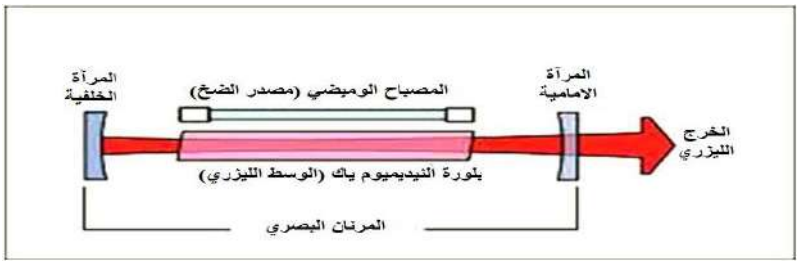
b. ليزر النديميوم:

اكتشف عام 1964 يتألف الوسط الفعال فيه من الزجاج الذي يعمل كوسط مضيف لايونات الليزر الفعالة وهي ايونات النديميوم الثلاثية التأين (Nd^{+3}) ويدعى بليزر

نديميوم: زجاج (Nd: glass) إذ تصل نسبة التطعيم الى (6%) ويكون لون البلورة ارجواني كما في الشكل (2- 11).

الشكل 2- 11: زجاج مطعم بايونات النديميوم (Nd : glass)

كذلك قد تعمل بلورة عقيق اليوتريوم المنيوم (Y_3 Al_5 O_{12}) والتي تدعى مختصراً بالياك (YAG) كوسط مضيف لايونات النديميوم (Nd^{+3}) بنسبة تطعيم لا تتجاوز (1.5%). يكون لون البلورة ارجواني ويدعى الليزر الناتج بليزر نديميوم: ياك Nd: YAG كما موضح في الشكل (2-12). تمتاز بلورة الياك بمقاومة عالية ضد التلف وصلادة ضد الكسر ونوعية بصرية عالية.



شكل 2- 12 : مخطط لمنظومة ليزر ا لنيديميوم : ياك

2-7-2 ليزر الغازGas Laser:

تكتسب ليزرات الحالة الغازية عنايةً خاصاً لكونها من الليزرات ذات القدرة العالية العاملة بالنمط المستمر وكما تعرفنا سابقاً فإنَّ تسميتها جاءت من الوسط الفعال المستعمل وهو غاز موجود داخل انبوب قد يكون من الزجاج أو السيراميك، وتصنف الانواع المختلفة لليزر الغاز وفق الصيغة التركيبية للغاز المستعمل للحصول على الليزر وهي:

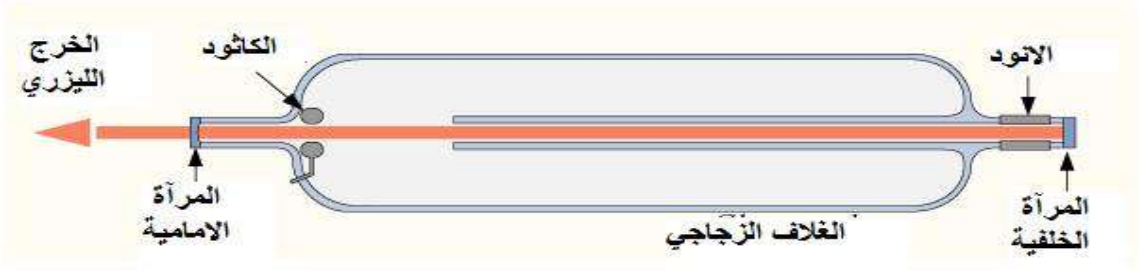
a. <u>ليزرات الغازات الذريـة (المتعادلة):</u>

الوسط الفعال فيها هو غاز احادي الذرة و يندرج تحت هذا الصنف العديد من الليزرات منها:

- ليزر هيليوم– نيون (He–Ne).

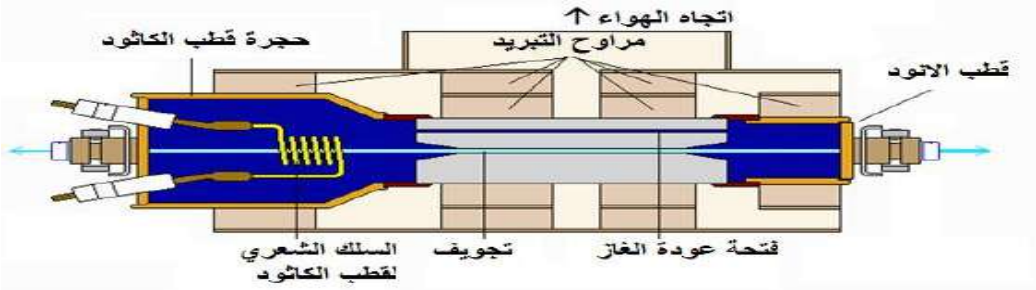
يعد هذا الليزر من أهم انواع الليزرات الغازية الشائعة الاستعمال إذ كان أول ليزر يعمل بالنمط المستمر (CW) و بطول موجة 1.15 مايكرومتر µm وحدث ذلك في مطلع عام 1960 وهو أيضاً أول ليزر يتعرف عليه الطالب في دراسته المختبرية لتحقيق مباديء البصريات الفيزيائية.

يتكون الوسط الفعال في ليزر هيليوم – نيون من مزيج من ذرات الهيليوم (He) و غاز النيون (Ne) بنسبة معينة موضوعين في أنبوبة زجاجية طولها (10-80 cm) وقطرها (2-10 mm) تحت ضغط (8-10 Torr) وهو متميز باللون الاحمر القاني كما في الشكل (2-13)



شكل 2 – 13 : مخطط لمنظومة ليزر الهيليوم – نيون

b. <u>ليزرات الغازات الايونيـة مثل (Ar^+)،(Kr^+):</u>



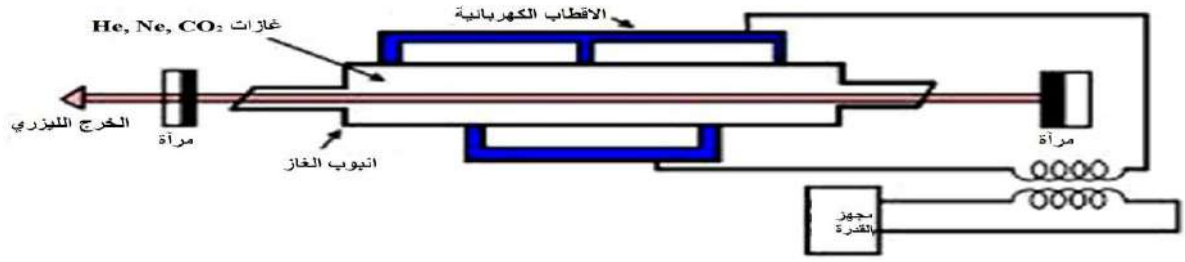
شكل (2-14) : مخطط لليزر ايون الاركون

الوسط الفعال في هذه الحالة غاز متأين أو بخار معدن ذراته متأينة. مثل ليزر ايون الاركون (Ar^+) وهو الليزر الأكثر شيوعا في هذه المجموعة وخاصة في مختبرات ابحاث الذرة. تركيب ليزر ايون الاركون يحتاج الى انبوب لتفريغ الغاز المتأين طوله (1-2 m) وبسبب كثافة التيار العالية اللازمة للضخ تكون درجة الحرارة الناتجة في الانبوب عالية قد تصل الى 3000 درجة سليليزيه لذلك يستوجب اخذ الاحتياط في تصنيع انبوب التفريغ و تبريده مثلا بدورة ماء جاري، كذلك تقليص التلف في جدران الانبوب بسبب التصادم ويستعمل لهذا الغرض مجال مغناطيسي يوازي محور الانبوب و ضمن منطقة التفريغ اللازمة للالكترونات الحرة بالابتعاد عن الجدران و العمل على تواجدها في مركز الانبوب مما يزيد من كفاءة الضخ و بالتالي قدرة النتاج. كما موضح بالشكل (2-14). ويستعمل في التطبيقات الطبية و خاصة جراحة العيون و كذلك في ضخ ليزرات اخرى مثل ليزر الصبغة.

c. <u>ليزرات الغازات الجزيئية:</u>

الوسط الفعال هو خليط من غازات ثنائي اوكسيد لكاربون(CO_2) والنيتروجين (N_2) و الهيليوم(He) بنسب معينة. يوضع الخليط في انبوب زجاجي يحتوي قطبين كهربائيين (الكاثود و الأنود) ويتم تسليط الجهد الكهربائي على خليط الغازات بين القطبين فيتولد الليزر من غاز CO_2. أما دور غاز النيتروجين فهو تحسين عملية ضخ جزيئات غاز N_2 اما دور غاز He فهو تبريد غاز CO_2. لذلك يسمى هذا الليزر ليزر CO_2. يمكن ان يعمل هذا الليزر بالنمط المستمر أو النبضي و ينتج قدرات عالية جدا. يستعمل في مجالات كثيرة وهو

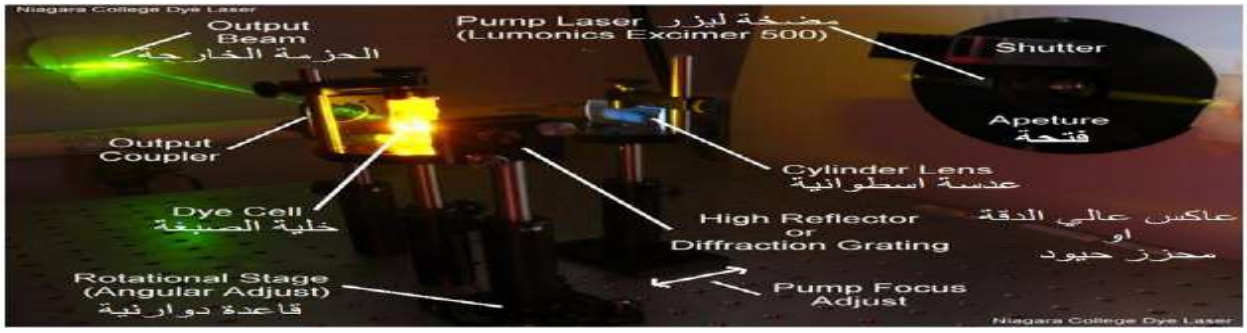
أكثر أنواع الليزر استعمالاً إذ تصل كفاءته تقريبا (30%) وهي كفاءة عالية مقارنة بباقي أنواع الليزر كما في الشكل (2-15).



شكل (2-15) : مخطط ليزر CO_2

3- ليزر السائل (ليزر الصبغة) Dye Laser:

لليزر السائل ما يتميز به عن كل من ليزر الحالة الصلبة وليزر الغاز، تكمن الصعوبة في ليزر الحالة الصلبة في تحضير البلورة التي يجب أن تكون على قدر عالٍ من التجانس و بتركيز معين من الايونات الفعالة ومتى ما حضرت البلورة لا يمكن تغيير مواصفاتها اي تغير تركيز المادة الفعالة فيها؛ وهناك احتمال تلف البلورة أيضاً والذي يتأصل فيها بسبب درجة الحرارة العالية التي قد تتعرض لها بحكم عملها؛ أما استعمال الغاز فلا يتطرق لمثل هذه الصعوبات ولكنه لا يحتوي على قدر عالٍ من الذرات أو الجزيئات الفعالة بسبب قلة كثافة الغاز، لذلك اختيرت السوائل أو محاليل المواد المختلفة إذ يحوي السائل على كثافة عالية من الذرات أو الجزيئات الفعالة التي يمكن تغيير تركيزها بسهولة كذلك يكون تحضير السائل الفعال رخيصاً و سهلاً ويتم التعامل معه ببساطة. هناك الكثير من المواد العضوية منها مادة الصبغة (Dye) مذابة في محلول معين (سائل مذيب) مثل سائل اثيل الكحول أو مثيل الكحول أو الماء يشكل وسطاً فعالاً لليزر السائل و يدعى بليزر الصبغة الشكل(2-16).

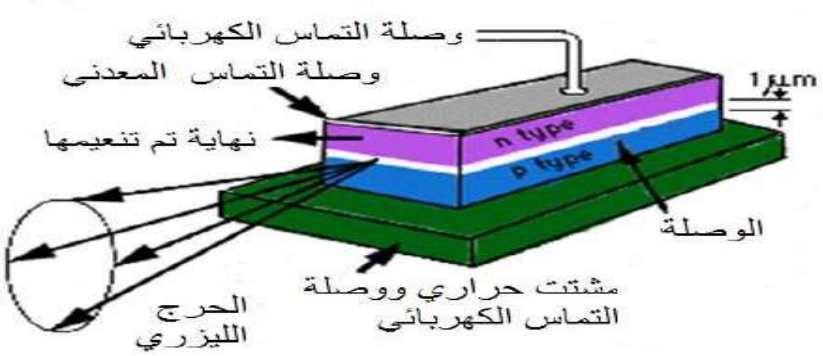


شكل (2 – 16): منظومة ليزر الصبغة

4- ليزر شبه الموصل Semiconductor Laser:

شبه الموصل مادة صلبة بلورية يتم اعدادها لتعمل كوسط فعال لليزر، ويتم ذلك باعداد صمام شبه الموصل بملتقى n – P، فيه لنوع الموجب P منحلاً و النوع السالب n منحلاً (أي إنَّ كل منهما مطعماً بالشوائب) إنَّ اكثر الأوساط الشائعة الاستعمال لمثل هذا النوع هو مادة زرنيخات الكالسيوم (GaAs) وعموماً يكون الصمام صغير الحجم اذ يكون سمك المادة الفعالة صغير في حدود (1 مايكرومترμm).

من المواد شبه الموصلة الاخرى ذات الاهمية في عمل هذا النوع من الليزر هي املاح الرصاص. كما في الشكل (2-17).



شكل (2-17) : مخطط ليزر شبه الموصل

اسئلة الفصل

س1: ضع علامة صح أو خطأ أمام العبارات التالية ثم صحح الخطأ:

1. هنالك طرائق واشكال عديدة لعملية الضخ فاما أن تكون بصرية أو كهربائية أو كيميائية.
2. يستعمل زجاج الكوارتز بشكل نادر في تصنيع الغلاف الزجاجي للمصباح الوميضي.
3. إن مجهز القدرة يحدد كثافة الاشعاع الخارج من المصباح وامد نبضة المصباح.
4. يصنع انبوب الليزر الغازي من الزجاجي الاعتيادي.
5. إن عملية التبريد المصباح هي تبريد غلاف المصباح فقط.

س2: علل ما يلي:

1. يستعمل معدن التنكستن في تصنيع الاقطاب الكهربائية في معظم أنواع المصابيح الوميضية؟
2. تتولد الحرارة في المصابيح الوميضية عند تشغيلها؟
3. في طريقة الضخ الكيمياوي لا نحتاج الى مصدر خارجي للطاقة؟
4. ان فولطية تشغيل المصباح الوميضي لا تعد كافية لاتمام عملية تشغيله؟
5. لماذا يفضل تبريد المصباح الوميضي؟
6. تستعمل أنابيب الكوارتز في تصنيع مصابيح الضخ؟

س3: إملأ الفراغات التالية بما يناسبها:

1- تقاس كفاءة قطب الكاثود للمصباح الوميضي بقدرته على ..... .
2- غلاف المصباح الوميضي يكون .....الأشعة المنبعثة من قوس البلازما المتولدة داخله.
3- تملأ المصابيح الوميضية ببعض أنواع الغازات كـ .....و ..... و ..... .
4- ثابت المصباح الوميضي (ثابت الممانعة) هو مقدار يعتمد على ..... .
5- الطاقة اللازمة لتشغيل المصباح الوميضي تعطى بالعلاقة ..... .
6- إنّ أمد نبضة الاشعاع المنبعث من المصباح الوميضي تحدد بالعلاقة ..... .

س4: ارسم مخطط عام لمجهز قدرة ملحق بمنظومة ليزر الحالة الصلبة مع التأشير على أجزائه.

س5: على ماذا يعتمد التفريغ الكهربائي داخل المصباح الوميضي؟

س6: ما هي المكونات الاساسية لدائرة تشكيل النبضة؟

س7: بين أصناف الليزر الغازي وفقاً لصيغة الغاز التركيبية.

س8: اذكر وظائف مجهز القدرة المستعمل مع المصباح الوميضي.

س9: على ماذا تعتمد الطاقة المخزونة في المتسعة؟ وضحها مع ذكر العلاقة الرياضية.
س10: ماهي الاجزاء الرئيسية للمصباح الوميضي ؟اشرح واحدة منها ؟
س11: مالمقصود بالاغلاق ؟ وبماذا يتميز الاغلاق المباشر عن الاغلاق غير المباشر ؟
س12: ماهي الماصفات التي يجب ان تتوفر في مادة الوسط الفعال الذي يستعمل لتوليد شعاع الليزر ؟
س13: تكلم بايجاز عن الليزرات الاتية :
1- ليزر CO_2
2- ليزر اليافوت
3- ليزر الهليوم – ثيون
ليزر النيرمبوم – ياك

الفصل الثالث

صيانة منظومات التبريد

Cooling Systems Maintenance

الاهداف:

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يكون الطالب قادراً على التعرف على صيانة:

1. أجهزة التبريد بالهواء.
2. أجهزة التبريد بالماء.
3. دورة التثليج والتبريد.
4. المضخات الملحقة بأجهزة التبريد.
5. دوائر السيطرة.

محتويات ألفصل:

3–1 مقدمة.
3–2 أنتقال الحرارة.
3–3 المبادل الحراري.
3–4 تأثير الحرارة على الخرج الليزري.
3–5 التثليج والتبريد.
3–6 صيانة أجهزة التبريد بالماء.
3–7 صيانة أجهزة التبريد بالهواء.
أسئلة ومسائل

3 -1 مـقدمـة

إنَّ منظومات الليزر كباقي منظومات توليد الطاقة أو القدرة، إذ تكون مصاحبة بانبعاث الحرارة وأعتماداً على مقدار القدرة المتولدة فبزيادة القدرة تزداد معها الحرارة الناتجة وترتفع معها درجة الحرارة والتي تؤثر سلباً على مقدار الخرج الليزري لذا تكون الحاجة ملحة لتصميم وبناء ملحقات اضافية للمنظومة الليزرية ومن هذه الملحقات وحدة التبريد.

للحصول على ناتج ليزري ذي كفاءة عالية يجب بناء وحدة تبريد مناسبة وفق طبيعة منظومة الليزر، الطاقة ونمط التشغيل. إنَّ هذه الملحقات تكون بأنواع مختلفة فمنها المعتمدة على الهواء كما في ليزرات الهيليوم– نيون ذات الطاقات الواطئة وليزرات اشباه الموصلات واخرى تعتمد على الماء مثل التي تستعمل مع منظومات الليزر ذات الطاقات المتوسطة والعالية كليزرات ثنائي اوكسيد الكاربون والنيديميوم – ياك وغيرها وبعض انواع الليزرات ذات الطاقات الفائقة تعتمد في التبريد على منظومات ملحقة يعتمد تشغيلها على النيتروجين السائل.

يتطلب تصميم وصيانة أجهزة التبريد الملحقة بمنظومات الليزر التعرف على ملحقاتها من وحدات السيطرة على درجة الحرارة والضغط والجريان وكذلك مضخات دفع الماء وغيرها.

في هذا الفصل سيتم التعرف على أجهزة التبريد وملحقاتها وكيفية اجراء الصيانة الواجبة لها.

3-2 إنتقال الحرارة Heat Transfer

إنتقال الحرارة من المفاهيم الاساسية في الطاقة والثرموداينميك، ويعرف حال تواجد فرق بدرجات الحرارة لذا عند تصميم وبناء اي منظومة من منظومات انتاج الطاقة يجب الاخذ بنظر الاعتبار ان تشغيل مثل هذه المنظومات يكون مصاحب بتوليد حرارة وسينتج عنها تغير بدرجات الحرارة كما هو الحال في العديد من العمليات الصناعية ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وغيرها.

لإنتقال الحرارة ثلاثة انماط هي:

1. التوصيل (Conduction).
2. الحمل (Convection).
3. الاشعاع (Radiation).

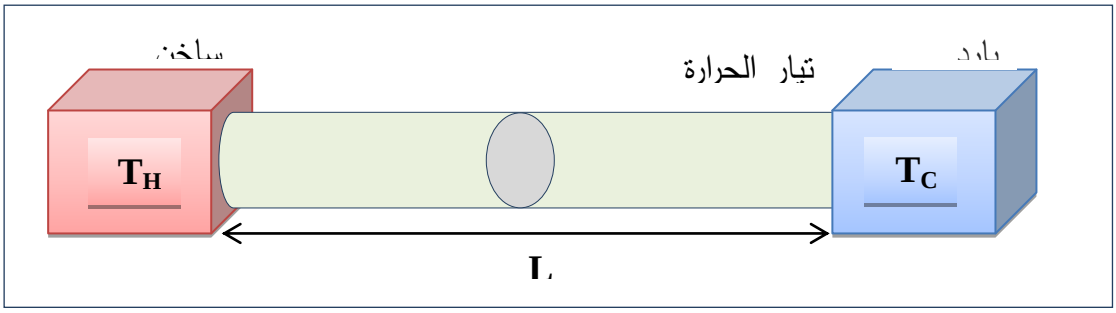
تعريف

معدل انتقال الحرارة هو كمية الحرارة المنتقلة لوحدة الزمن (الثانية الواحدة).

فعندما نمسك طرف قضيب من النحاس ونضع الطرف الاخر على النار بعد مدة وجيزة سوف نشعر

بسخونة باطراف الاصابع الممسكة بالطرف الاخر والسبب في ذلك هو انتقال الحرارة من الطرف الساخن الى الطرف البارد ويكون الانتقال في هذه الحالة بطريقة التوصيل.

تعد المعادن من المواد جيدة التوصيل الحرارية بسبب احتوائها على سيل من الالكترونات حرة الحركة وهذه الالكترونات توفر الية ممتازة لانتقال الحرارة إذ يمكنها حمل الطاقة من المنطقة الساخنة الى المنطقة الباردة.



شكل 3–1محطط يوضح انتقال الحرارة من الطرف الساخن الى الطرف البارد

إذا فرضنا أنَّ قضيب معدني مساحة مقطعه العرضي (A) وطوله (L) وان طرفه الايسر ساخن بدرجة حرارة (T_H) وطرفه الايمن بارد بدرجة حرارة (T_C) وأنَّ الحرارة تنساب من الطرف الايسر الى الطرف الايمن كما هو واضح في الشكل السابق (شكل 3–1). أنَّ مقدار الحرارة التي تنساب بوحدة الزمن يطلق عليها تيار التسخين (Heat Current) ويرمز له بالرمز H، من الناحية العملية فان تيار التسخين يتناسب طرديا مع مساحة المقطع العرضي (A) والفرق بدرجات الحرارة (ΔT) وعكسيا مع الطول (L) وثابت التناسب (K) يطلق عليه التوصيلية الحرارية، اذن يمكن حساب كمية الحرارة المنتقلة من الطرف الساخن الى الطرف البارد خلال وحدة الزمن، وكما درسته سابقا وفق العلاقة الاتية:

$$Q = -KAH \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-3)$$

إذ إنَّ:

K: التوصيلية الحرارية (W/m.K)

A: مساحة المقطع العرضي للقضيب المعدني (m^2)

وان H : يمثل الانحراف الحراري ويعطى بالعلامة الآتية.

$$H = \frac{T_H - T_C}{L} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2\text{-}3)$$

إذ إنَّ:

T_H: درجة حرارة الطرف الساخن (K).

T_C: درجة حرارة الطرف البارد (K).

في هذه الحالة فانْ انتقال الحرارة يكون بطريقة ونمط التوصيل ومن الامثلة على انتقال الحرارة بالتوصيل هي انتقالها بوساطة المعادن او بوساطة السوائل كالماء، لذلك يوجد معامل خاص لهذه المواد يعرف بمعامل التوصيل الحراري وخاصية تعرف بالتوصيلية الحرارية.

إنَّ المقدار $\left(\frac{T_H - T_C}{L}\right)$ يمثل فرق درجات الحرارة لوحدة الطول ويطلق عليه الانحدار الحراري (Thermal Gradient)

إنَّ وحدات تيار التسخين (H) هي وحدات الطاقة لوحدة الزمن (J/s) اي وحدات قدرة (W)

الجدول الاتي يبين قيم التوصيلية الحرارية لبعض المواد:

جدول (3–1) قيم التوصيلية الحرارية لبعض المواد.

معادن	التوصيلية الحرارية(W/m.K)	غازات	التوصيلية الحرارية (W/m.K)	مواد صلبة	التوصيلية الحرارية(W/m.K)
المنيوم	205	هواء	0.024	كونكريت	0.8
براص	109	اركون	0.016	فحم	0.04
نحاس	385	هيليوم	0.14	صوف صخري	0.04
رصاص	34.7	هيدروجين	0.14	زجاج	0.8
زئبق	8.3	اوكسجين	0.023	ثلج	1.6
فضة	4.6			فوم (عازل فليني)	0.01
حديد	50.2			خشب	0.04 – 0.12

في بعض الحالات قد يستعمل اكثر من مادة واحدة. ففي حالة وجود مادتين متصلتين ببعضهما من جهة واحدة والطرفان الآخران احدهما ساخن بدرجة حرارة (T_H) والآخر بارد بدرجة حرارة (T_C) فان درجة حرارة منطقة الاتصال تكون بقيمة وسط بينهما ويرمز لها (T) ومقدار الفرق بدرجات الحرارة يكون:

- للمادة الاولى ذات الطرف الساخن ($T_H - T$).
- للمادة الثانية ذات الطرف البارد ($T - T_C$).

في حالة الانسياب المستقر فان التيار الحراري للمادتين سيكون متساوي

مثال 3-1:

صندوق ستايروفوم يستعمل لحفظ الاطعمة والمثلجات مساحته السطحية (بما فيها الغطاء) $0.8\ m^2$ وسمك جدرانه 2cm يحتوي على كمية من الثلج والماء وبعض قناني العصير عند درجة الصفر المئوي ما مقدار معدل انسياب الحرارة الى داخل الصندوق اذا كانت درجة حرارة المحيط الخارجي 30^oC، وما مقدار الطاقة الكلية المنسابة في يوم واحد؟ علما أنَّ التوصيلية الحرارية لمادة الصندوق 0.01 W/m.K.

الجواب:

بافتراض ان الحرارة تنساب بشكل متساوٍ ومتجانس بوساطة شريحة مساحتها السطحية ($0.8\ m^2$) وسمك (2 cm) يمثل الطول. ان معطيات السؤال هي:

$L= 2cm = 0.02m$، $A= 0.8m^2$ ، $T_C= 0^oC$ ،$T_H = 30^oC$

تحويلK=0.01w/m.k K-C

TH=30+273=303K

TC=0+273=273K

لدينا العلاقة الاتية:

$$Q = -KA\frac{T_H - T_C}{L}$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$Q = -(\frac{0.01W}{mK})(0.8m^2)\ \frac{303-273}{0.02m} = -12\ W$$

Q = -12 J/s

وهو مقدار الحرارة المنسابة من المحيط الى داخل الصندوق في الثانية الواحدة.

لايجاد مقدار الحرارة المنسابة الى داخل الصندوق في يوم واحد:

1 day = 24 hours = 24 h x 60 min = 1440 min = 1440 min x 60 s = 86400 s

اذن فان اليوم الواحد يساوي 86400 ثانية، وان مقدار الطاقة الحرارية المنسابة في يوم واحد تساوي:

$(12\ J/s)\ (86400\ s) = 1036800\ J = 1.0368\ X10^6\ J$

وهو مقدار الحرارة المنسابة الى داخل الصندوق في يوم واحد.

أما إذا تعرض جدار ساخن درجة حرارته T_H الى سائل بارد درجة حرارته T_C، فان انتقال الحرارة يكون بطريقة الحمل ومعدل كمية الحرارة المنتقلة من الجدار الى الماء تعطى بالعلاقة الاتية:

$$Q = hA(T_H - T_C) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3-3)$$

إذ إن h يمثل معدل انتقال الحرارة بالحمل $(W/m^2\ K)$ ومن الامثلة عليها عملية تبريد انابيب الليزر.

مثال (3-2):

انبوبة تفريغ ليزرية وصلت درجة حرارتها عند تشغيل الليزر الى $(404\ ^0C)$ ولأجل تبريدها يضخ ماء بدرجة حرارة $(4\ ^0C)$ خلال انبوب التبريد، ما مقدار كمية الحرارة المنتقلة بالحمل إذا علمت أن معدل انتقال الحرارة هو $(10\ W/m^2K)$ والمساحة السطحية لانبوبة الليزر هي $(2\ m^2)$.

الحل:

لدينا:

$h = 10\ W/m^2K\ ,\ A = 2\ m^2$

$T_C = 4\ ^0C = (4 + 273)\ K = 277\ K$

$T_H = 404\ ^0C = (404 + 273)\ K = 677\ K$

لدينا العلاقة الاتية: $Q = hA(T_H - T_C)$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

Q=(low $/mk)(m2)(677-277)$

$Q = (10\ W/m^2K)\ (2\ m^2)\ (400\ K)$

Q=8kw Q = 8000 W

وهي كمية الحرارة المنتقلة من انبوبة الليزر الى انبوبة التبريد

طاقة الاشعاع المنبعث من الجسم الاسود تتناسب تناسبا طرديا مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة (ماعدا الصفر المطلق)

ان اي مادة بدرجة حرارة أعلى من الصفر المطلق (273−) درجة مئوية تشع طاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية (Electromagnetic Waves)، إنَّ الطول الموجي والتردد لهذه الموجات المنبعثة يتغير من نقطة الى اخرى وضمن مدى طيف الاشعاع الكهرومغناطيسي وقد اكتشفت هذه الظاهرة عمليا من قبل العالم ستيفان (Stefan) وحققت رياضياً من قبل العالم بولتزمان (Boltzmann) وسميت العلاقة (ستيفان – بولتزمان) أو قانون الاس الرابع للاشعاع والذي ينص على:

ان معدل طاقة الاشعاع (H') المنبعثة من سطح مادة ساخنة يتناسب كذلك مع المساحة السطحية ويعتمد على طبيعة السطح وفقا لمعامل معين يطلق عليه الانبعاثية (Emissivity e) وهي خاصية من خصائص سطح المادة تتراوح قيمتها بين الصفر والواحد وهي كمية بدون وحدات.

إذ إن:

$$H' = Ae\sigma T^4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. (3-3)$$

إذ إنَّ:

A: المساحة السطحية (m).

e: الانبعاثية (بدون وحدات) (Emissivity).

σ: ثابت ستيفان – بولتزمان ($5.67\ X10^{-8}\ W/m^2\ K^4$).

T: درجة حرارة سطح المادة (K).

ملاحظة مهمة

الطاقة الاشعاعية تنبعث من كل أوجه أو سطوح المادة الساخنة وليس السطح العلوي فقط.

مثال (3-3):

صفيحة رقيقة من الحديد مربعة الشكل طول ضلعها (10 cm) سخنت بدرجة حرارة (800 ^{o}C)، إذا علمت ان مقدار الانبعاثية لسطح معدن الحديد هو (0.6). ما مقدار الطاقة الكلية المنبعثة من طريق الاشعاع؟ (مع العلم بأن ثابت ستيفان – بولتزمان يساوي 5.67 $X10^{-8}$ W/m^2K).

الجواب:

بما أنَّ الصفيحة رقيقة هذا يعني إهمال السطوح الجانبية اي ان الاشعاع ينبعث من السطحين العلوي والسفلي فقط وان مساحة كل سطح هي: اذن مساحة المربع =(طول الظلع $)^2$

$$A_1 = A_2 = A = (10\ cm)^2 = (0.1\ m)^2 = 0.01m^2$$

اذن فإنَّ المساحة الكلية تساوي:

$$2A = 2 \times 0.01m^2 = 0.02\ m^2$$

وإنَّ معطيات السؤال هي:

$$T = 800^{O}C = 1073\ K،\ \sigma = 5.67\ X10^{-8}\ W/m^2\ K^4 \quad ،e = 0.6$$

لدينا العلاقة الاتية:

$$H' = Ae\sigma T^4$$

نعوض في العلاقة السابقة فنحصل على:

$$H' = (0.02m^2) \cdot (0.6) \cdot (5.67\ X10^{-8}\ W/m^2\ K^4) \cdot (1073K)^4$$

$$H' = 900\ W$$

وهو معدل الطاقة الاشعاعية المنبعثة من صفيحة الحديد.

3-3 المبادل الحراري (Heat Exchanger)

علينا أنْ نتذكر دائما أنَّ مفاهيم انتقال الحرارة وانماطها هي أساس تصميم وبناء منظومات التدفئة أو التبريد والعملية هي عملية تبادل الحرارة بين وسطين مختلفين بدرجات الحرارة ولذلك تولد مفهوم جديد هو المبادل الحراري.

تستعمل المبادلات الحرارية في العديد من التطبيقات منها: تسخين الهواء، مكيفات الهواء، انتاج القدرة والطاقة، العمليات الكيمياوية وغيرها.

تعريف

المبادل الحراري هو الجهاز الذي ينجز عملية تبادل الحرارة بين وسطين مختلفين بدرجات الحرارة يفصلهما جدار عازل

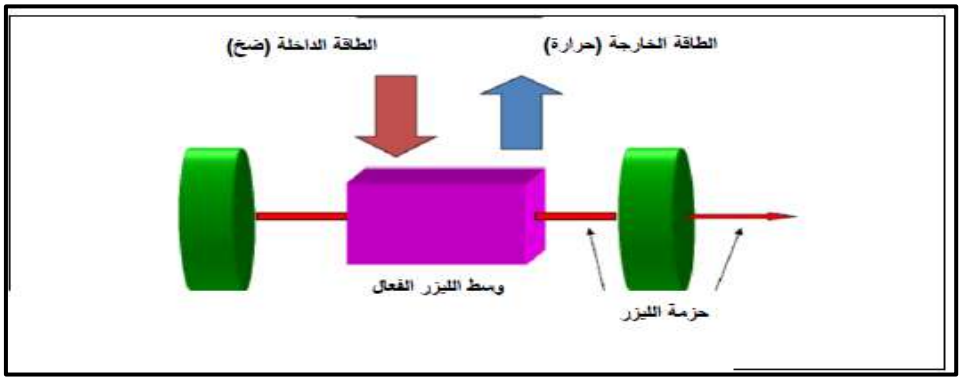
قد يتبادر الى الأذهان السؤال الاتي: "ماهي أنواع المبادلات الحرارية المعتمدة على الماء؟"

والجواب هو: إنْ أنواع المبادلات الحرارية المعتمدة على الماء والتي تستعمل في العمليات الصناعية بشكل رئيس منها:

1. ذات الجريان الدوراني.
2. ذات الجريان المتوازي.
3. ذات الجريان المتقاطع.

3-4 تأثير الحرارة على الخرج الليزري

عليك ان لاتنسى عزيزي الطالب ما درست سابقا، فان منظومات الليزر كأي منظومات اخرى لها مدخلات ومخرجات وكفائتها تعتمد على نسبة المخرجات الى المدخلات ولكن ليس كل المخرجات او النواتج تكون ايجابية إذ إن تفاعل الفوتونات الناتجة ومرورها ذهابا وايابا في الوسط الفعال تؤدي الى توليد حرارة وكما في الشكل (3-2).



شكل (3-2) يمثل طاقة الضخ والحرارة المتولدة وحزمة الليزر الناتجة.

إنَّ القدرة الخارجة من منظومات الليزر تتأثر بالحرارة المتولدة من تشغيل الليزر وتوليد الفوتونات داخل حجرة الليزر، إذ تقل القدرة الخارجة مع زيادة درجة الحرارة المتولدة:

كلما تزداد قدرة الليزر المتولدة تزداد معها الحرارة (درجة الحرارة) داخل الحجرة الليزرية والتي تبدأ بالتأثير على الخرج الليزري.

عند البدء بوضع تصاميم منظومات الليزر يجب الاخذ بنظر الاعتبار مقدار القدرة المتولدة ووضع التصميم الخاص بأجهزة التبريد، ففي بعض المنظومات الغازية كمنظومة ليزر هيليوم – نيون (He-Ne) ذات القدرة الواطئة (أقل من الواط الواحد) فإن بعضها لايحتاج الى تبريد وبعضها الاخر يحتاج فقط الى تبريد بسيط باستعمال مروحة اعتيادية توضع عند النهاية الثانية للمنظومة وتعمل باسلوب سحب الهواء الساخن وطرده خارج المنظومة اعتمادا على مبدأ تيارات الحمل.

إنَّ المراوح المستعملة تكون متناسبة تماما مع مجهزات القدرة المصممة لتشغيل الليزر وفق فولطية التشغيل وكمية الهواء المسحوب الى الخارج.

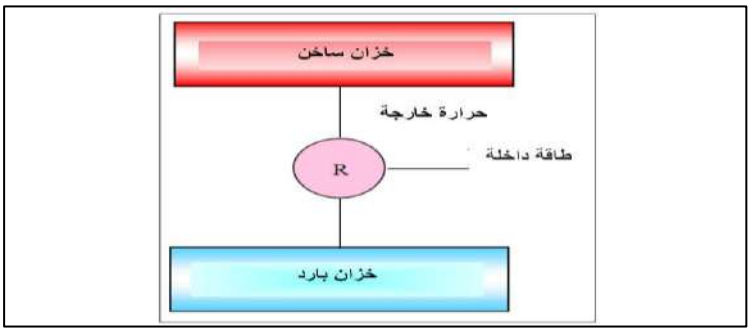
5-3 التثليج والتبريد Refrigeration and Cooling

ما المقصود بالتثليج؟

التثليج هو مبدأ أو عملية تستعمل لتبريد اي حيز مطلوب سواء أكان هذا الحيز سائلا أو غازاً وعموماً يطلق عليه المائع.

لذا فإن مبدأ العمل هو نقل الحرارة من خزان ذو الطاقة الواطئة الى خزان اسخن ذو طاقة اعلى،

وكما في المخطط الاتي:



شكل (3-3) مخطط توضيحي لمنظومة التبريد.

عزيزي الطالب

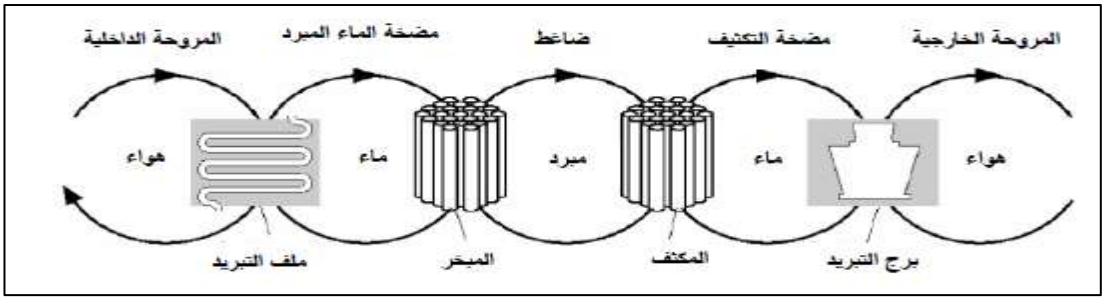
إنَّ اجهزة التبريد الملحقة مع منظومات الليزر ترتبط بـ:

- **الجزء الرئيس والوسط الفعال.**
- **مجهز القدرة ودوائر السيطرة.**
- **الملحقات الخاصة بالتطبيقات كالصناعية، الطبية، العسكرية وغيرها.**

عزيزي الطالب

يطلق على مراحل التبريد والتسخين بـ (الدورة) (Cycle , Loop)

يوجد العديد من دورات نقل الحرارة في منظومات التبريد ومنها ما هو موضح في الشكل الاتي:



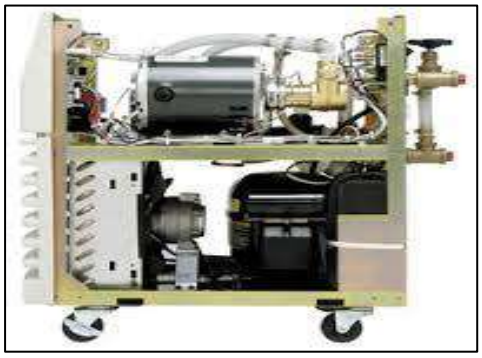
شكل (3-4) مخطط دورة التثليج

وفق الشكل السابق فإن الحرارة تنتقل من اليسار الى اليمين أي من الحيز المطلوب تبريده الى الخارج وفي خمس مراحل هي:

- المرحلة الاولى: ضخ الهواء الى داخل الحيز المطلوب، ويطلق عليها دورة الهواء الداخلي (Indoor air Loop).
- المرحلة الثانية: ضخ الماء المبرد عبر المشعاع، ويطلق عليها دورة الماء المبرد (Chilled Water Loop).
- المرحلة الثالثة: مرحلة التبريد والتثليج بطريقة تغير الطور وتتم من طريق تسخين الماء البارد (ماء مكثف) ويطلق عليها دورة مضخات الضاغط (Compressor Pumps Loop).
- المرحلة الرابعة: مرحلة تكثيف الماء (Condenser Water Loop) إذ إنَّ الماء يمتص الحرارة من مكثف المبرد ومضخة الماء المكثف وترسله الى برج التبريد.
- المرحلة الخامسة: وهي مرحلة طرد الحرارة الى الخارج ويطلق عليها دورة برج التبريد (Cooling Tower Loop) او الوحدة الخارجية (Outdoor Unit).

3-6 صيانة اجهزة التبريد بالماء

عزيزي الطالب لقد مر عليك سابقا أن منظومات الليزر تصنف على اساس قدرتها أو طاقتها الخارجة، ومقدار ما تولده من حرارة يكون ذا تأثير كبير على الناتج الليزري، لذا فإن تصميم هذه المنظومات يتطلب دقة عالية في كل اجزاء المنظومة بما في ذلك الملحقات الخاصة بالتبريد ففي المنظومات ذات الطاقة المتوسطة والعالية فإنه يتطلب وضع تصاميم التبريد على اساس خفض درجات الحرارة بشكل سريع وبانسياب عالٍ.

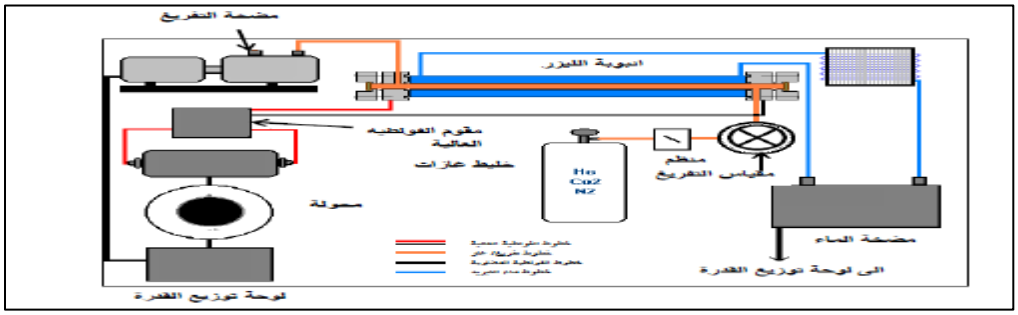


شكل (3–5) منظومة التبريد المعتمدة على الماء.

إنَّ أفضل طريقة لاجراء عملية التبريد هذه هو باستعمال السوائل أو الموائع ويجب الأخذ بنظر الاعتبار الاسس الاتية:

1. التوصيلية الحرارية.
2. امكانية توفيره.
3. الكلفة الواطئة.
4. عدم وجود مخاطر باستعماله.

عند تشغيل بعض منظومات الليزر الايونية ذات القدرات العالية (5 kW – 55 kW) تتولد حرارة عالية جدا تتسبب بارتفاع درجة حرارة المنظومة بدرجة كبيرة إذ لاينفع معها استعمال المروحة لاجراء عملية التبريد، لذا يتم اللجوء الى التبريد بالماء. إنَّ كفاءة هذه المنظومات الايونية تتراوح بين (0.02% – 0.04 %).



شكل (3–7) منظومة تبريد بالماء ملحقة بمنظومة ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون.

أما إذا تجاوزت الحرارة الناتجة المقدار (2.5 kW) أي إنَّ القدرة اكبر من (500 mw) يصبح من الواجب استبدال منظومة التبريد باخرى تعتمد على الماء او أي سوائل اخرى.

إنَّ استعمال الماء لتبريد منظومات الليزر له مساوئ تتمثل بـ:

1. ضغط الماء، إذ بزيادة الضغط لقيم عالية فإنه يؤدي الى توليد اهتزازات يكون لها تأثير سلبي على الخرج الليزري.

2. نقاوة الماء واحتوائه على الاملاح التي قد تترسب على جدران انبوبة البلازما مما يكون له اثر سلبي على عمر المنظومة التشغيلي.

لذلك ولتجنب مثل هذه الاثار السلبية يجب:

اولا: <u>الحفاظ على معدل الجريان مستقراً</u>

ان تغير معدل الجريان يؤدي الى تغير درجة الحرارة في حجرة الليزر والذي قد يؤدي الى حصول بعض المشاكل منها:

- إنجراف أو انحراف القدرة الليزرية الخارجة.
- إنجراف أو انحراف التردد الخارج.
- إنحراف الحزمة الليزرية الناتجة عن مسارها.

ثانيا: <u>عدم السماح للجريان السريع</u>

ان زيادة معدل الجريان (جريان سريع) عن المعدل الطبيعي يؤدي الى توليد اهتزازات في حجرة الليزر والذي يولد مشاكل عدة منها:

- تذبذب سعة الليزر الخارجة.
- عدم استقرار التردد الناتج.
- تغيرات مفاجئة وسريعة في اتجاه الحزمة الليزرية.

يمكن السيطرة على استقرارية معدل الجريان بوساطة استعمال منظمات ومقاييس الضغط الالكترونية

<u>تذكر عزيزي الطالب</u>

اقصى مقدار لقدرة الليزر الناتجة التي يمكن استعمال ملحقات التبريد بالهواء معها هي (500 mW) والتي تعطي طاقة حرارية مقدارها (2.5 kW) .

ثالثا: <u>عدم السماح للجريان البطيء</u>

تزود اغلب منظومات الليزر بمتحسسات للجريان توضع داخل وحدة مجهز القدرة، إذ عند الجريان البطيء فان المتحسس سوف يقطع الدائرة الكهربائية ويوقف عمل مجهز القدرة وبالتالي تتوقف منظومة الليزر عن العمل لتجنب حصول الضرر.

رابعا: <u>تجنب زيادة الضغط</u> إنَّ زيادة الضغط تؤدي الى زيادة الاجهاد على انابيب نقل الماء وكذلك (الواشرات) وبالتالي يحصل التسريب في وحدة التبريد أو داخل منظومة الليزر نفسها.

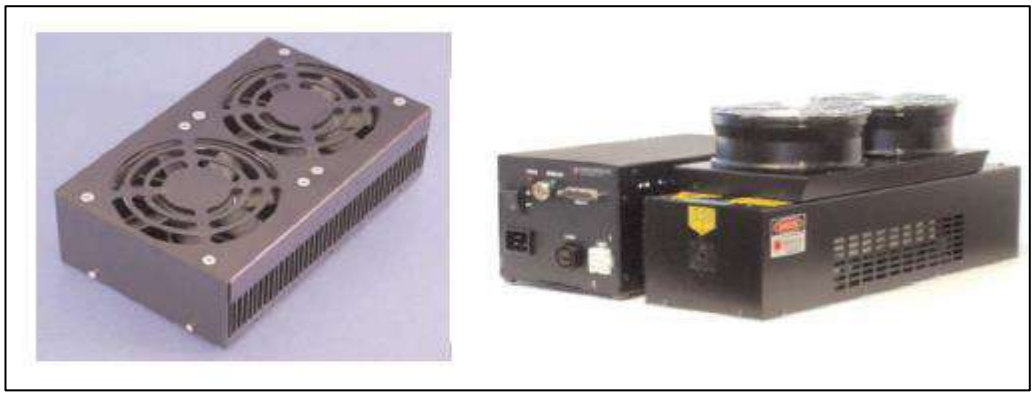
بعض انواع وحدات التبريد بالماء

لاجل التعرف على كيفية وضع التصاميم الخاصة بوحدات التبريد بالماء للمنظومات الليزرية واجراء الصيانة الدورية لها يجب اولا التعرف على انواع هذه الوحدات، إذ تقسم وحدات التبريد المعتمدة على الماء لثلاثة انواع رئيسة هي:

1. وحدات الجريان المستمر: وفيها يمر الماء البارد خلال منظومة الليزر لمرة واحدة فقط ولايعود كما هو الحال باستعمال ماء الحنفية الاعتيادي مباشرة.
2. المبادل الحراري ذو الدائرة المغلقة: وفيها يدور ماء التبريد بمسار مغلق إذ يمر بوساطة منظومة الليزر والمبادل الحراري. ان الحرارة المتولدة عند تشغيل الليزر تطرح خارجا بوساطة المبادل الحراري والذي بدوره يبرد الماء او الهواء.
3. وحدات التبريد المغلقة: وفيها يدور ماء التبريد بمسار مغلق يتضمن منظومة الليزر ووحدة التبريد. ان الحرارة المتولدة عند تشغيل الليزر تطرح خارجا من قبل وحدة التبريد المسؤولة عن خفض درجات الحرارة الى درجات واطئة جدا وتتم باستعمال خزان الماء او السائل الذي يبرد ثم يرسل عبر المسار المغلق الى منظومة الليزر لاجراء عملية التبادل الحراري والعودة الى الخزان مرة اخرى.

3-7 صيانة أجهزة التبريد بالهواء

كما ذكرنا سابقا إنَّ اغلب منظومات الليزر وخصوصا الليزرات ذوات القدرة الواطئة تحتاج الى تبريد قليل بسبب الحرارة القليلة التي تنتج وفق مفهوم التبادل الحراري فإنّهُ من الممكن أنْ تخرج الحرارة الى خارج المنظومة دون الحاجة الى وجود ملحق اضافي خصوصا اذا كان التشغيل بسيطا وليس بشكل مستمر، أو تدعو الحاجة الى استعمال المروحة (اما ان تكون واحدة او اكثر).



شكل (3-8) مراوح الهواء الملحقة بمنظومة الليزر.

اسئلة ومسائل الفصل الثالث

س1: اختر الاجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. إنَّ معدل انتقال الحرارة هو:
   a. معدل البروتونات المنتقلة لوحدة الزمن.
   b. معدل الفوتونات المنتقلة لوحدة الزمن.
   c. كمية الحرارة المنتقلة لوحدة الزمن.
   d. كمية القدرة الكهربائية المنتقلة لوحدة الزمن.
2. المواد جيدة التوصيل الكهربائي هي:
   a. مواد رديئة التوصيل الحراري.
   b. مواد رديئة التوصيل الضوئي.
   c. مواد جيدة التوصيل الحراري.
   d. مواد جيدة التوصيل الضوئي.
3. إنَّ تيار التسخين يتناسب:
   a. عكسيا مع مساحة المقطع العرضي والفرق بدرجات الحرارة وطرديا مع الطول.
   b. طرديا مع مساحة المقطع العرضي وعكسيا مع الطول وفرق درجات الحرارة.
   c. طرديا مع مساحة المقطع العرضي والطول وعكسيا مع الفرق بدرجات الحرارة.
   d. طرديا مع مساحة المقطع العرضي والفرق بدرجات الحرارة وعكسيا مع الطول.
4. يعرف الانحدار الحراري على انه:
   a. فرق درجات الحرارة لوحدة الزمن.
   b. فرق درجات الحرارة لوحدة الطول.
   c. فرق درجات الحرارة لوحدة الكتلة.
   d. فرق درجات الحرارة لوحدة الحجم.
5. يتساوى التيار الحراري لمادتين عندما يكون:
   a. الانسياب متجانسا.
   b. الانسياب مستقرا.
   c. الانسياب متساويا.
   d. الانسياب متكافئا.
6. طاقة الاشعاع المنبعث من الجسم الاسود تتناسب تناسبا:
   a. طرديا مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة (ماعدا الصفر المطلق).
   b. طرديا مع الاس الثالث لدرجة الحرارة المطلقة (ماعدا الصفر المطلق).

c. عكسيا مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة (ماعدا الصفر المطلق).

d. عكسيا مع الاس الثالث لدرجة الحرارة المطلقة (ماعدا الصفر المطلق).

7. إنَّ قدرة الليزر الخارجة:

a. تزداد مع زيادة درجة الحرارة المتولدة.

b. تقل مع زيادة درجة الحرارة المتولدة.

c. تتساوى مع درجة الحرارة المتولدة.

d. لاتتاثر بدرجة الحرارة المتولدة.

8. تتكون دورة التثليج من:

a. مرحلة واحدة.

b. ثلاث مراحل.

c. خمس مراحل.

d. اربع مراحل.

9. تصمم منظومات التبريد لمنظومات الليزر ذات الطاقة المتوسطة والعالية على اساس:

a. خفض درجات الحرارة بشكل بطيء وبانسياب واطيء.

b. خفض درجات الحرارة بشكل سريع وبانسياب واطيء.

c. خفض درجات الحرارة بشكل بطيء وبانسياب عالٍ.

d. خفض درجات الحرارة بشكل سريع وبانسياب عالٍ.

10. اقصى مقدار لقدرة الليزر الناتجة والتي يمكن استعمال ملحقات تبريد الهواء معها هي:

a. 500 W.

b. 250 W.

c. 500 mW.

d. 250 mW.

س2 : علل ما يأتي:

1. تعد المعادن من المواد جيدة التوصيل الحراري .

2. لماذا تحتاج مجهزات الليزرات ذات القدرة الواطئة الى مروحة واحدة فقط لتبريدها؟

3. لماذا يجب استعمال ماء ذي نقاوة عالية وخالي من الاملاح في منظومات التبريد الملحقة بالليزرات؟

س3: ضع علامة صح او خطأ ثم صحح الخطأ للعبارات الاتية:

1. طاقة الاشعاع المنبعث من الجسم الاسود تتناسب تناسبا طرديا مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة (ماعدا الصفر المطلق).

2. المبادل الحراري هو الجهاز الذي ينجز عملية تبادل الحرارة في وسط مادي واحد.

3. بزيادة قدرة الليزر المتولدة تقل درجة الحرارة المتولدة داخل الحجرة الليزرية.
4. إنْ وحدات تيار التسخين (H) هي وحدات الطاقة لوحدة الزمن (J/s) اي وحدات قدرة (W).
5. إنْ معدل طاقة الاشعاع المنبعث من سطح مادة ساخنة يتناسب مع المساحة السطحية لتلك المادة.

س4: اذكر انماط انتقال الحرارة.

س5: على ماذا ينص قانون ستيفان – بولتزمان للاشعاع؟ عزز اجابتك بالعلاقة الرياضية.

س6: ماهي أنواع المبادلات الحرارية المعتمدة على الماء؟

س7: وضح مراحل دورة التثليج.

س8: ماهي الاسس التي يجب أخذها بنظر الاعتبار عند اجراء التبريد بالسوائل؟

س9: اذكر أنواع وحدات التبريد المعتمدة على الماء واشرح واحدة منها.

س10: انبوب زجاجي سمك جداره (10 mm) وطوله (80 cm) استعمل في منظومة ليزر غازي بحيث وضع داخل انبوب زجاجي اخر بقطر اكبر يسمح بجريان ماء بدرجة حرارة ($4^{o}C$) درجة سليزية. اذا كانت درجة حرارة الغاز داخل الانبوب الاول هي ($90\ ^{o}C$) وان المساحة السطحية لهذا الانبوب هي ($0.7\ m^2$)، مامقدار كمية الحرارة المتصلة بالحمل اذا علمت ان معدل انتقال الحرارة للزجاج هي ($2.2\ W/m^2.K$).

س11: قرص نحاسي قطره (5 cm) سخن بدرجة حرارة ($600\ ^{o}C$). مامقدار الطاقة الكلية المنبعثة من القرص عن طريق الإشعاع؟ إذا علمت إن الانبعاثية هي (0.7) (يهمل الانبعاث من السطح الجانبي للقرص).

س12– كيف يمكن اختيار التبريد المناسبة لمنظومة الليزر ؟

س13– ماالمقصود بالتثليج ؟ وما هو مبدا عمله ؟ ثم ارسم مخططا يوضح منظومة التبريد ؟

س14– ماهو المبادل الحراري ؟ ثم اذكر بعض تطبيقاته؟

س15– كيف نتجنب الآثار السلبية لاستعمال الماء في تبريد منظومات الليزر ؟

الفصل الرابع

صيانة منظومات ليزر الحالة الصلبة

Solid State Laser Systems Maintenance

الاهداف:

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على:

1- التعرف على انواع الحجرات العاكسة لمنظومات ليزر الحالة الصلبة.
2- صيانة مجهزات القدرة بنوعيها نبضي ومستمر.
3- صيانة دوائر القدح والسيطرة.

محتويات الفصل:

4-1 مقدمة.
4-2 صيانة انواع الحجرات العاكسة.
4-3 صيانة ضخ القضيب الليزري.
4-4 صيانة مجهزات القدرة النبضي والمستمر.
4-5 صيانة دوائر القدح والسيطرة.
اسئلة ومسائل

1-4 مقدمة

يستعمل ليزر الحالة الصلبة (Solid State Laser-SSL) مادة بلورية صلبة لوسط فعال ليزري ويضخ بصريا، كما تعلمت ذلك عزيزي الطالب في دراستك السابقة. وينبغي عدم الخلط بين ليزر أشباه الموصلات أو ليزر الدايود والذي هو حالة من حالات ليزرات "الحالة الصلبة" ولكن ليزر الدايود دائما يضخ بالتيار المساق.

وتستعمل أشعة ليزر الحالة الصلبة في جميع أنواع التطبيقات منها القطع والحفر واللحام ووضع العلامات وعلاج الحرارة، وتصنيع الدوائر المطبوعة التي تستعمل في الدوائر الالكترونية والدوائر المتكاملة وفنون الجرافيك (الطباعة الراقية والنسخ)، وفي التطبيقات الطبية والجراحية، وغيرها من أنواع القياس، والبحث العلمي، والاعلانات، وغيرها الكثير التي تتطلب طاقة ذروة عالية. ومن تطبيقات ليزر الياك النبضي YAG Laser ذي الطاقة العالـــية في الاستخدامات العسكرية ومنها تجارب الدفع الصاروخي. كما وان أكبر ليزر في العالم هو من نوع ليزر الحالة الصلبة.

شكل (4-1) : صورة لليزر الحالة الصلبة ذي حجم كبير منصوب على بارجة حربية

بشكل عام يتكون تركيب اي نظام في ليزرات الحالة الصلبة من ثلاثة اجزاء رئيسة هي:

A. الوسط الفعال (Active medium): هو مادة صلبة اما يكون على شكل بلورة الياك YAG او زجاج Glass وتسمى هذه المواد بالمضيف Host، يتم إدخال أيونات فعالة او مواد خاملة داخل المضيف مثل ايونات النيديميوم Nd^{+3} او الكروم ثلاثي التكافؤ Cr^{+3} او رباعي التكافؤ Cr^{+4} او التيتانيوم Ti^{+3} مثل هذه الليزرات النيديميوم-ياك (Nd: YAG) والنيديميوم-زجاج (Nd: Glass) والتيتانيوم-زفير (Ti: Sapphire) وهنالك بلورات ليزرية اخرى مثل الياقوت (Ruby) والألكسندرايت (Alexandrite).

هنالك مميزات للوسط الفعال لليزرات الحالة الصلبة:

1. امتلاك المواد المستعملة بالوسط الفعال خطوط فلورة حادة وحزم امتصاص عريضة.
2. تمتاز هذه المواد بعمر مكوث الالكترون (Life Time) الطويل نسبيا في مستوى المتهيج الذي يصل الى (1 ms).

B. مصدر الضخ (Pumping Source): يستعمل في الغالب المصباح الوميضي (Flash Lamp) إذ يتم تسليط جهد كهربائي بين طرفي المصباح الوميضي فينتج أشعة ضوئية تمتصها بلورة الوسط الفعال لتتهيج. يمكن أن يتم ضخ بلورة الوسط الفعال باستعمال شعاع ليزر آخر

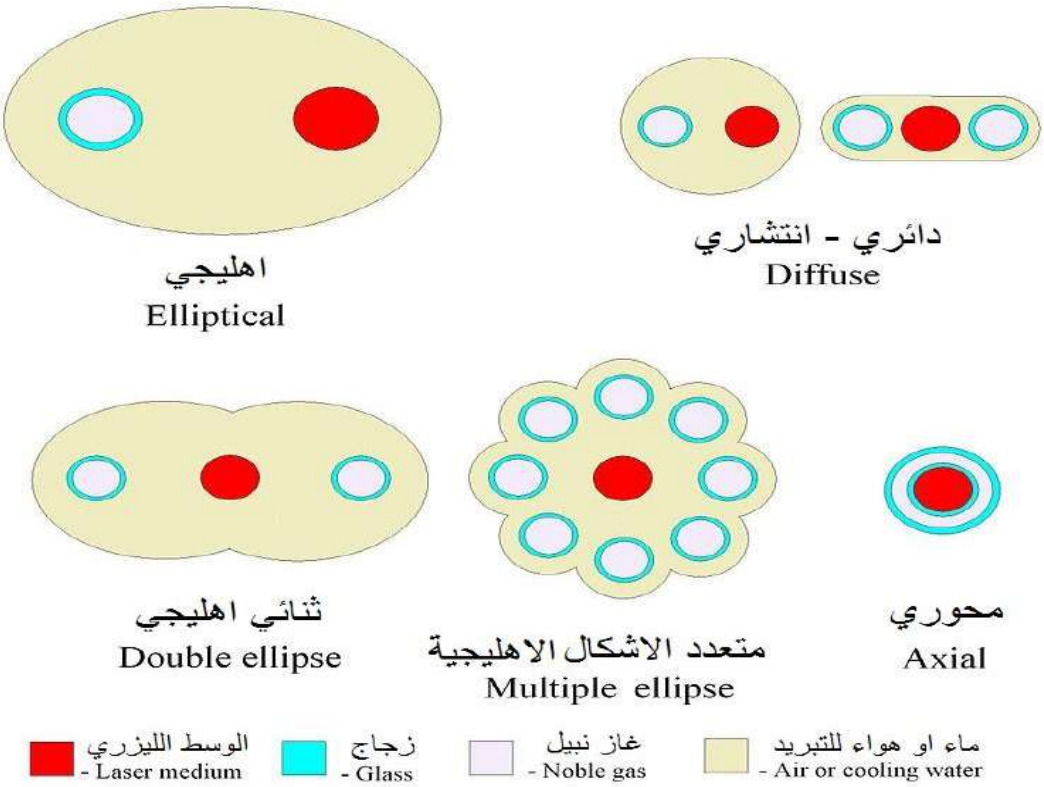
مثل ليزر أشباه الموصلات وهذه الطريقة تكون ذات كفاءة أعلى من طريقة الضخ بالمصباح الوميضي.

C. مجهز القدرة (Power Supply): هو دائرة كهربائية تقوم بتجهيز المصباح الوميضي بالقدرة اللازمة لتشغيله. يمكن أن يعمل مجهز القدرة بشكل نبضي (Pulsed) أو بشكل مستمر وهذا يؤثر على نمط تشغيل الليزر. هنالك دوائر بسيطة ومتعددة لمجهزات القدرة وفق نوع التصميم والقدرة الخارجة المطلوبة.

عموما تنتج اجهزة ليزر الحالة الصلبة اشعة ليزر باطوال موجية مختلفة تتراوح بين الاشعة الفوق البنفسجية والاشعة تحت الحمراء. إنَّ من أهم المميزات التي تتميز بها ليزرات الحالة الصلبة هي أنَّ جميع اجزاء المنظومة الليزرية تكون متراصة (Compact) وامكانية حملها واستعمالها ميدانيا.

2-4 صيانة انواع الحجرات العاكسة

هنالك بعض الاعتبارات الواجب اتخاذها عند تصميم الحجرة العاكسة وهي حجم الحجرة ونوعية المادة المستعملة في طلاء الحجرة مثل (الطلاء بالذهب او الفضة او الالمنيوم) والشكل الهندسي لها مثل (دائري او بيضوي او اهليجي) وايضا عدد المصابيح المطلوب وضعها لتهيج الوسط الفعال فضلاً عن شكل المصباح المستعمل فكما تعلمت عزيزي الطالب أن هنالك نوعين من المصابيح إما أنَّ يكون على شكل خطي (Linear) او لولبي (Helical). يوجد العديد من اشكال حجرات الضخ المختلفة والموضحة في الشكل (4-2)، والتي تعتمد على مصدر الضخ وعلى شكل الوسط الفعال.



شكل (4-2): يوضح اشكال الشائعة للحجرات العاكسة.

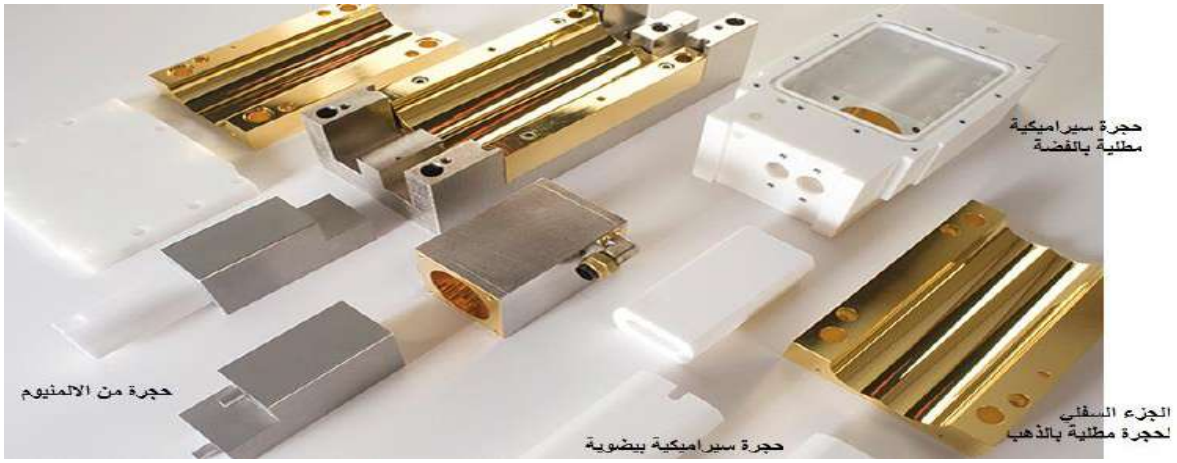
تعد حجرات الضخ ذات القطع البيضوي (Elliptical) من اكثر حجرات الضخ شيوعا واستعمالا واكثرها كفاءة في توزيع ونقل اشعاع الضخ من المصباح الى الوسط الفعال في هذه الحجرات يوضع المصباح الخطي في أحد مراكز التبؤر ويوضع الوسط الفعال في مركز التبؤر الثاني، في هذه الحالة نضمن تركيز الضوء المنعكس من حجرة الضخ في الوسط الفعال، ولزيادة كفاءة انتقال الاشعة المنبعثة من المصباح يكون وضع المصباح والوسط الفعال بشكل متقارب ومتوازي، اما في حالة استخدام المصابيح الحلزونية لضخ الوسط الفعال فيتم استعمال اسطوانات دائرية عاكسة.

يراعى في تصميم حجرات الليزر العاكسة أمر مهم جدا وهو نوع المادة المستعملة في تصنيعها فهنالك مواد عدة تستعمل منها: الذهب (Gold) والفضة (Silver)، والألمنيوم (Aluminum)، والبوليمرات (Polymers)، والسيراميك (Ceramic)، والألومينا (Alumina)، وماكور - مادة سيراميكية - (Macor)، وكبريتات الباريوم (Barium Sulfate) ولكل واحد منها خصائصها البصرية والتي تعتمد على معامل الانعكاس ومقاومتها لظروف التشغيل، الجدول (4-1) مقارنة بين انعكاسية لبعض المواد العاكسة التي تستعمل في تصنيع حجرات الليزرات وفق اطوالها الموجية.

في الليزرات الحديثة استعملت مؤخرا حجرات عاكسة سيراميكية، وهي ضمن الحجرات التي تعمل بشكل جيد ولا سيما في ضخ ليزر الياقوت والنيديميوم-ياك، وهذا النوع من الحجرات ذات فعالية عالية من حيث التكلفة كبديلة للحجرات المعدنية المطلية. كما أنها تستعمل على نطاق واسع بوصفها عاكسات جيدة للمصابيح ذات الكثافة العالية.

ومن مميزاتها:

A. مقاومة للتأكل الكيماوي.
B. ذات قوة ومتانة عالية.
C. انعكاسية عالية على مدى نطاق واسع من الاطوال الموجية.
D. تمتلك توصيل حراري جيد.
E. الاستقرارية الكهربائية في جميع درجات حرارة التشغيل كونها مادة غير موصلة.

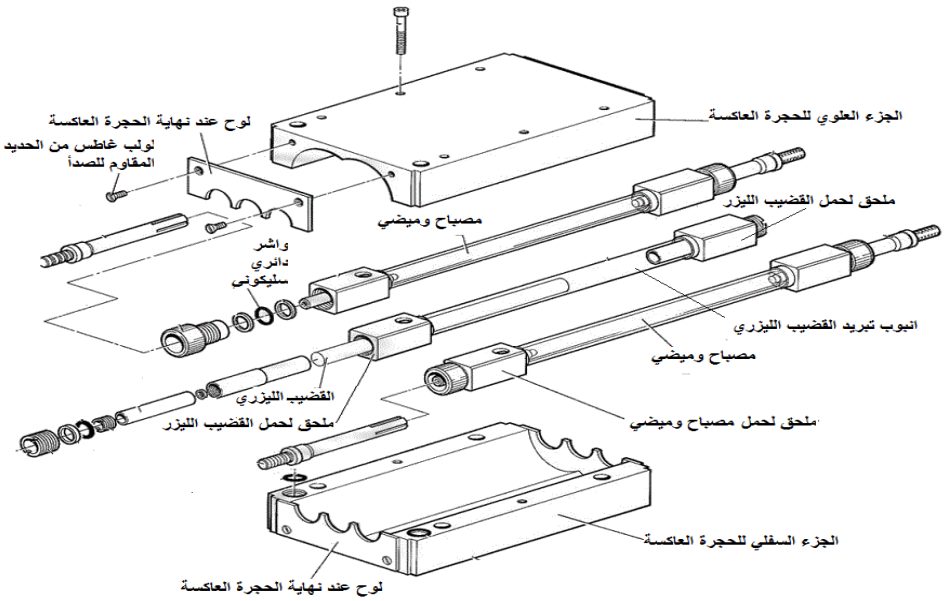


شكل (4-3): يبين مجموع من الحجرات العاكسة مصنعة من مواد مختلفة (ذهب و الالمنيوم وفضة وسيراميك).

لصيانة الحجرات الليزرية المشوهة أو التالفة - كما في الشكل (4-4) - واعادتها إلى العمل من جديد، وذلك باستعمال تفكيك الحجرة وعزل كل جزء عاكس على حده. إذ يتم فحص سطح العاكس وتحديد الاماكن المشوهة والتالفة، وبعدها يتم العمل عليها بأعادة تصنيعه او اصلاحه وذلك بان ترمم

العيوب الموجودة وطلائها على النحو المطلوب لتحقيق أداء افضل، بما في ذلك بريقها أو الخصائص الانعكاسية والانتشارية. ويكون هنالك نوعان من الطلائات وهو الطلاء بالذهب والطلاء بالفضة. ولكل واحد منهما مميزاته، فمثلا عند الطلاء بالذهب فانه يكون عاكس ممتاز لكل مدى طيف الاشعة تحت الحمراء (Infrared Spectrum) ويكون الطلاء غير قابل لتشويه أو الاكسدة لذا يستعمل الذهب لطلاء حجرات الليزر ذات التطبيقات الصناعية. أما الطلاء باستعمال الفضة فيوفر انعكاسية عالية على مدى طيفي واسع. إذ ان العاكسات الفضية تُعد مثالية للتطبيقات التي تتطلب ضخ باشعة فوق البنفسجية، وعند الأطوال الموجية المرئية والأشعة تحت الحمراء، وبعد الانتهاء من عملية الصيانة يتم اعادة تجميعها من جديد ومثال على ذلك لاحظ الشكل (4-5).

شكل (4-4): توضح بعض من الحجرات العاكسة ومكوناتها التالفة.



شكل (4-5): يوضح تركيب حجرة عاكسة بيضوية مزدوجة ذات مصباحين.

يجب الاخذ بنظر الاعتبار كفاءة انتقال الطاقة داخل اي حجرة عاكسة عند التصميم، وتعرف على انها نسبة الطاقة الممتصة من قبل الوسط الفعال الى الطاقة المنبعثة من قبل المصباح، وتحدد الكفاءة (η) بالشكل الهندسي لحجرة الضخ فضلاً عن الكفاءة البصرية لحجرة الليزر ووفق طبيعة السطح الخارجي للوسط الفعال ايضاً (ان كان سطح صقيل او سطح خشن) فضلاً عن شكل الوسط الفعال (قضيب Rod، او حلقي Annular، او متوازي مستطيلاتRectangular-Slab). ، ويمكن حساب كفاءة انتقال الطاقة من المعادلة التالية:

$$\eta=\eta_{ge}.\eta_{op} \quad \text{.....(1-4)}$$

إذ η_{ge}: كفاءة الانتقال للشكل الهندسي لحجرة الليزر.

η_{op}: الكفاءة البصرية لحجرة الليزر والتي تعرف.

$$\eta_{op} = r_w (1-r_r) (1-a) (1-f) \quad \text{.....(2-4)}$$

r_w: انعكاسية السطح الداخلي لحجرة الليزر عند الطول الموجي المطلوب

r_r: خسارة الانعكاسية عند السطح الخارجي للقضيب الليزري او خسارة الانعكاسية للغلاف الزجاجي المستعمل في عملية تبريد الوسط الفعال.

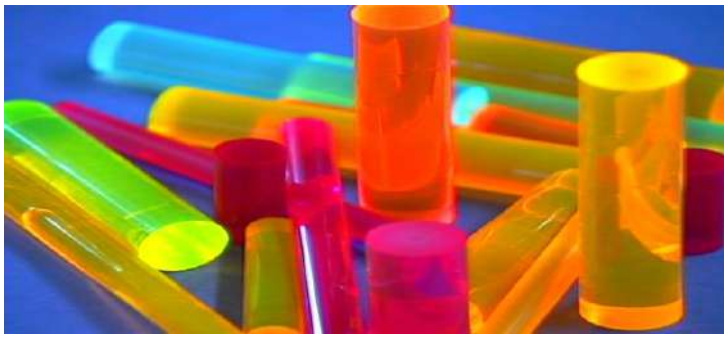
a: خسائر الامتصاص في الوسط المحصور بين الوسط الفعال والمصباح (السائل المستعمل في عملية التبريد والغلاف الخارجي الذي يحيط بالوسط الفعال او المصباح والمستعمل في عملية التبريد).

f: نسبة المساحة غير العاكسة من الحجرة الى المساحة الكلية لحجرة الليزر.

3-4 صيانة ضخ القضيب الليزري

كما تعلم عزيزي الطالب أنَّ الضخ البصري هي الطريقة المستعملة لإثارة ذرات الوسط الفعال من حالتها الأرضية إلى المستويات العليا وذلك من أجل تحقيق التوزيع المعكوس (Population Inversion) اللازم لتوليد الفعل الليزري في ليزر الحالة الصلبة، أنَّ إحداث هذا التوزيع المعكوس يكون بأساليب مختلفة للأنظمة الليزرية، ويتم ذلك باستعمال مضخات بصرية، هنالك نوعان رئيسان لضخ الوسط الفعال لليزر الحالة الصلبة وهي اما أنَّ نستعمل مصابيح (Lamps) أو أنَّ نستعمل ليزر شبة موصل لعملية الضخ.

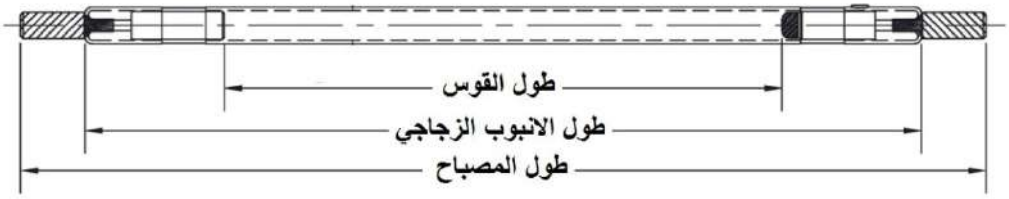
يثار او يتهيج الوسط الليزري (القضيب الليزري او الوسط الفعال) من طريق امتصاص الضوء الذي ينتج بوساطة مصباح الضخ (Pumping Lamp) الواقعة بالقرب من القضيب الليزري. يشترط في الضخ البصري ان يكون مطابقا للطيف المنبعث من مصباح الضخ مع طيف الامتصاص للقضيب الليزري، لذا يعد أي ضوء منبعث من المصباح ذو طول موجي لا يمتص من قبل الوسط الفعال هو ضياع وهدر للطاقة وهذا ينعكس على كفاءة الضخ. يوضح الشكل (4-6) بعض من بلورات المستعملة كوسط فعال لليزرات الحالة الصلبة وكما يظهر من الشكل اختلاف في الوان البلورات انما يدل على اختلاف بالامتصاص الطيفي لها.



شكل (4-6) : بعض اشكال بلورات الوسط الفعال الليزري

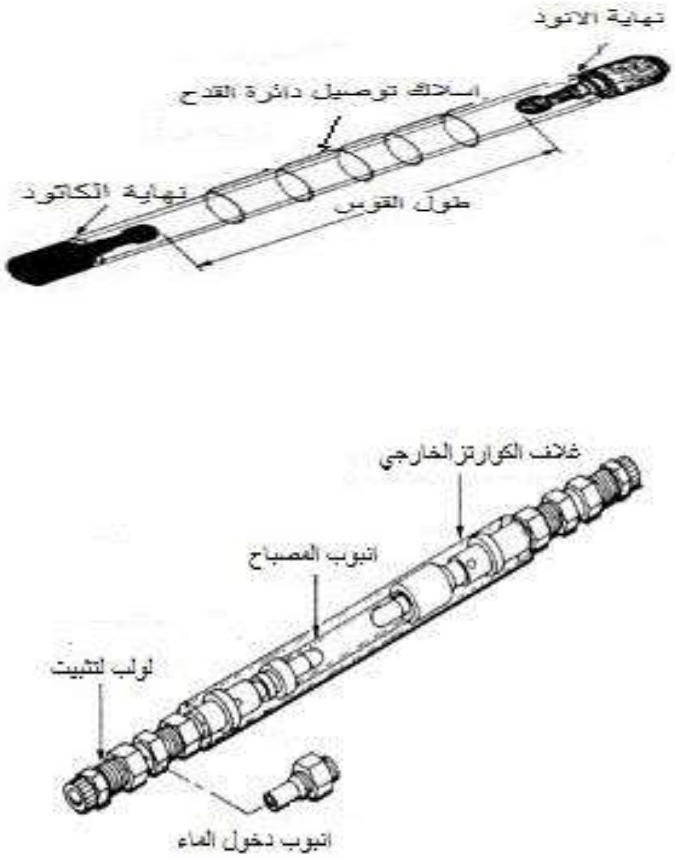
بشكل اساس يتكون نظام الضخ البصري لليزر الحالة الصلبة من مصباح، ومجهز قدرة لتشغيل المصباح، وحجرة عاكسة لتوجيه الضوء من المصباح الى الوسط الفعال الليزري الموجودان داخل الحجرة، وقد تم مناقشة ودراسة حجرات الضخ العاكسة في البند (4-2) واما بالنسبة لمجهزات القدرة فسنناقشها في البند القادم (4-4) لذا سندرس هنا عزيزي الطالب مكونات تصميم المصابيح الوميضية وأنواعها المستعملة في الضخ البصري.

من اهم المصابيح المستعملة هو المصباح الوميضي (Flashlamp): يصنع هذا النوع من المصابيح من أنابيب كوارتز (Quartz) بسمك نموذجي 1mm وتمتلئ مصابيح بغازات نبيلة مثل غاز الزينون بضغط من (400-300 torr) (1Torr =mm Hg). وتختم في كلا الطرفين للأنبوب بقطبين كهربائيين إذ يلحم الكوارتز مع الاقطاب بنوع من الاصماغ مثل الابوكسي (Resin Epoxy) أو يصهر الكوارتز على الاقطاب. يظهر في الشكل (4-7) رسم توضيحي لمصباح الزينون الوميضي الخطي.



شكل (4-7): مخطط يمثل مصباح الزينون الوميضي

صمم هذا المصباح بحيث يكون عملية تبريده بالهواء ويزود بسلك خارجي مصنوع من مادة التنكستن بقطر (0.5 mm) وطول (8-4 cm) وفق طول المصباح ويلف حول المصباح لغرض تحقيق التأين الاولي لغاز المصباح لقدحه. إذ تسلط على هذا السلك نبضة ذات جهد عالٍ لتأين الغاز الموجود داخل المصباح. وهناك مصابيح يستعمل فيها المياه للتبريد وكما مبين بالشكل (4-8) تصميم مصباح وميضي خطي مملوء بغاز الزينون، اذ يزود بغلاف زجاجي لمرور ماء التبريد والذي يحصر بواشر مطاطي دائري (O-ring Rubber) عند كل من نهايتيه لضمان عدم تسريب الماء وتتدفق مياه التبريد عبر انابيب بنهايتيه حول المصباح. لا يوجد لهذا المصباح سلك قدح، لذا يتم ربطه على التوالي مع دائرة القدح التي بدورها تسلط نبضة عالية الجهد على القطب الموجب للمصباح لتأين الغاز داخل المصباح وتسمى بعملية القدح الداخلية.

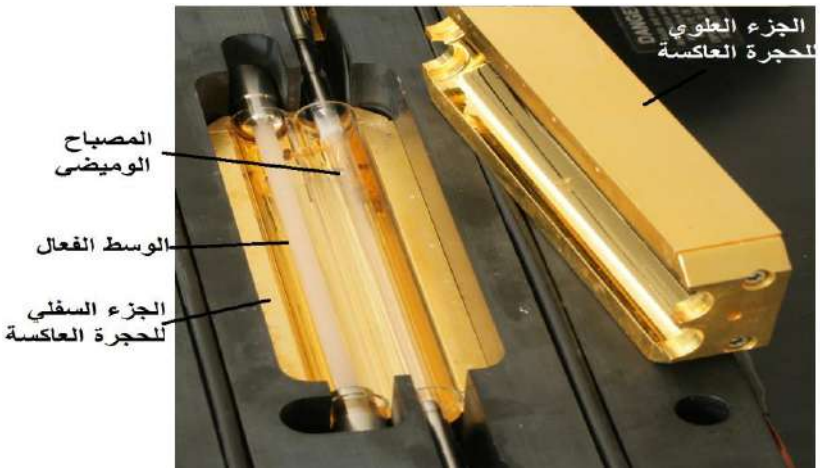


شكل (4-8) : المصباح الزينون الوميضي الخطي المبرد بالماء

اما في حالة استعمال دائرة قدح خارجية، إذ يلف سلك القدح حول انبوب الماء، و هذا يتطلب ارتفاع في فولطية القدح، لذا عادة ما يتم تشغيل المصابيح المبردة بالمياه عموما بدائرة قدح داخلية، عند تصميم المصابيح الوميضية يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار الامور التالية:

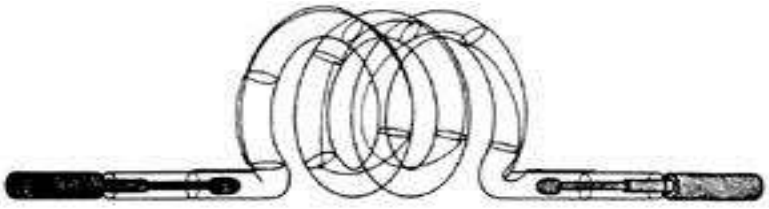
1. اختيار المصباح بطول قضيب الليزر نفسه تقريبا.
2. يجب ان يكون قطر التجويف الداخلي للمصباح بنفس القطر للقضيب الليزري.

إنَّ هذا الاختيار للأبعاد تجعل من قوس التفريغ الداخلي للمصباح بحجم قضيب الليزري نفسه. عند التصميم يجب مراعاة وضع المصباح والقضيب الليزري داخل الحجرة العاكسة معا بشكل متوازيين لمحور الحجرة كما في الشكل (4-9).



شكل (4-9): يبين حجرة ليزرية فيها بلورة الوسط الفعال مع المصباح الوميضي بشكل متوازٍ

اما النوع الثاني من المصابيح الوميضية فيكون بشكل حلزوني كما مبين بالشكل (4-10). يصنع هذا النوع من المصابيح بوساطة لف أنابيب الكوارتز بشكل حلزوني، يحتوي المصباح الحلزوني المبين في الشكل على سلك خارجي للقدح، وتكون عملية تبريده بالهواء. في حين المصابيح من دون سلك القدح تستعمل لها انبوب يحوي المصباح ليمر به ماء التبريد. يتم وضع القضيب الليزري في مركز المصباح الحلزوني كما في الشكل (4-11). توفر المصابيح الحلزونية ضخ أكثر تجانسا للقضبان الليزري من المصابيح الخطية، ولكن كفاءتها الكلية اقل.



شكل (4-10): مخطط لمصباح وميضي حلزوني.

تعرف المسافة بين الأقطاب، على أنها "طول قوس" وهي المنطقة الفعالة كما مبين في الشكل (4-7) وتعتمد مقاومة المصباح على هذه المسافة عند التفريغ الكهربائي. يعبر عن دوائر التفريغ الكهربائي بشكل بسيط بدائرة كهربائية تحوي مقاومة ومتسعة ومحاثة ويرمز لها RLC. عندما تكون قيمة مقاومة المصباح عالية فهذا يعني أنه ينتج نبضات كهربائية وبصرية أطول، لذا فإنَّ المصابيح الحلزونية تستعمل بشكل واسع في الليزرات ذات امد نبضة طويلة.

شكل (4-11): يوضح موضع البلورة او الوسط الفعال الليزري داخل المصباح

هل تعلم؟ تملئ بعض المصابيح بغاز الكريبتون والذي يكون ناتج طيفه اوسع من المصابيح المملوءه بغاز الزينون ويكون ضوءه الناتج في منطقة تحت الحمراء من الطيف الضوئي، لذا يكون هذا النوع من المصابيح ذات امتصاص ملائم في ضخ بلورات النيديميوم-ياك والنيديميوم-زجاج.

لا تستعمل مصابيح الكريبتون بشكل واسع بسبب تكلفتها العالية.من جهة اخرى، فمصابيح الزينون أيضا لها خرج كافي في المنطقة الطيفية المطلوب إلا إنَها أقل كفاءه ولكنها مقبولة. الشكل (4-12) يوضح اشكال مختلفة من المصابيح الوميضية.

شكل (4-12): مجموعة مختلفة من المصابيح الوميضية

يمكن تشغيل المصابيح الوميضية التي تم شرحها سابقا بنمطين هما النبضي والمستمر.

4-4 صيانة مجهزات القدرة النبضي والمستمر

في ليزرات الحالة الصلبة توجد نوعان رئيسان من مجهزات القدرة والتي تستعمل لغرض الاثارة البصرية وتهيج الوسط الفعال لتوليد الليزر، ويتم ذلك من طريق تشغيل المصباح المستعمل في الليزر.
النوع الاول من مجهزات القدرة هي مجهزات القدرة النبضية (Pulse Power Supplies): يتم تصميم مجهزات القدرة لليزر الحالة الصلبة النبضي بتخزين الطاقة الكهربائية في المكثفات وإيصالها على شكل نبضة إثارة إلى الوسط الليزري النشط. إذ يستعمل نبضة التيار بتسليطها على مصباح الضخ البصري لليزر الحالة الصلبة. يتم تحقيق نواتج عالية لطاقة قصوى من المصباح الوميضي من طريق تخزين الطاقة الكهربائية ببطء في المكثفات ذات الجهد العالي وتفريغها بشكل سريع للغاية (في اجزاء ملم ثانية أو أقل) في المصباح الوميضي. يتم تحديد كمية الطاقة المخزنة لخزن المكثف بوساطة قيمة سعة المكثف (والتي تقاس بوحدات الفاراد Farads) وقيمة الجهد المسلط على المكثف. يمكن حساب الطاقة المخزنة في المكثف بالمعادلة التالية:

$$E=1/2(CV^2) \quad \text{(3-4)}$$

إذان E = الطاقة الكهربائية المخزنة (جول Joule).
C = السعة المكثف (الفارادات Farads).

V = قيمة الجهد على طرفيه مكثف (فولط Volts).

مثال (1): في مجهز القدرة لليزر الياقوت استعمل مكثف لتخزين الطاقة لليزر الياقوت له سعة 385µF وشحن بجهد 5000 V. جد الطاقة المخزنة في مكثف؟

الحل:

$$E=1/2(CV^2)$$

$$= (0.5)(385 \times 10^{-6}\ F)(5 \times 10^{3}\ V)^2$$

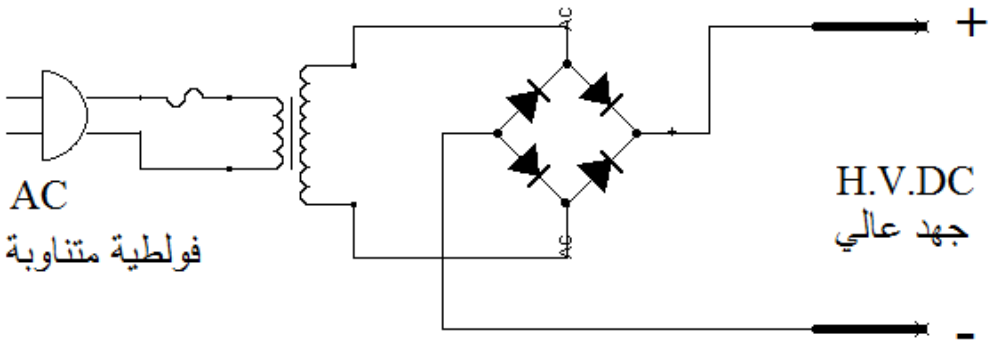
$$E = 4812.5\ J$$

وتستعمل نوعان في تصميم دوائر تفريغ المكثف للمصابيح الوميضية في الليزر. هما دائرة تفريغ RLC وشبكة تشكيل-النبضه (Pulse-Forming Network) (PFN). إن اختيار احدى الدوائر المذكوره انفا هو ليتم استخدامها لتطبيق معين يعتمد على طول النبضة المطلوبة، وشكل النبضة والطاقة تفريغها، ورغبة المصمم بقيمة جهد الشحن. وبصفة عامة، تستعمل الدوائر RLC لتوليد نبضة ذات ارتفاع قصير في حين تستعمل PFNs عند الحاجة لتوليد نبضه ذات ارتفاع طويل.

تتكون مجهزات القدرة بشكل عام من العناصر الثلاثة التالية:

A. وحدة تخزين الطاقة وتشكيل النبضة، وعادة ما يكون شبكة LC. إذ كما ذكرنا يتم تخزين الطاقة بالمكثف، ، ,وان دائرة RLCيتم تشكيل المقاومة وهي مقاومة التفريغ الكهربائي لغاز المصباح الوميضي.

B. تجهيز الشحن من طريق مجهز قدرة مستمر DC ذو فولطية عالية (High-Voltage) إذ يكون عادة كليوفولط عدة يستعمل لشحن المكثف بطاقة التخزين إلى الجهد التشغيل المناسب. وبابسط اشكاله والشائع جدا هو قنطرة المقوم إذ يتكون من اربعة دايودات مع محول لرفع الجهد كما في الشكل (4-13).

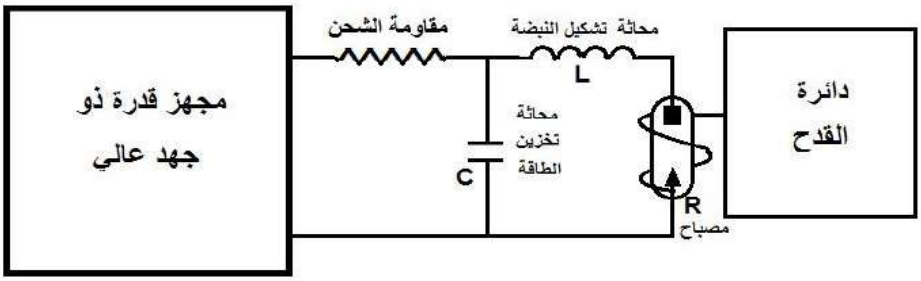


شكل (4-13) : يوضح مجهز قدرة ذو جهد عالي مستمر

إذ ترفع المحولة من جهد واطئ الى جهد عالٍ وتعمل الدايودات على تحويل الفولطية من متناوب الى مستمر.

C. تسيطر دائرة القدح على نبضة القدح التي تعمل على تأيين الغاز داخل المصباح الوميضي لتبدأ عملية التفريغ الكهربائي. إنَّ نظام تخزين الطاقة عادة ما يكون عند الحد الأقصى للجهد الذي هو أقل من جهد انهيار تفريغ الغاز. وبالتالي، لا بد من نبضه ذات الجهد العالي لبدأ التأين. سيتم شرح تفصيلي لدائرة القدح في البند القادم.

يوضح الشكل (4-14) رسم تخطيطي مبسط لمجهز القدرة النبضي الذي يستعمل لتشغيل المصباح في ليزر الحالة الصلبة نبضي. ويستعمل مجهز قدرة ذو جهد عالٍ مستمر DC لشحن المكثف لتخزين الطاقة. تربط ايضا كما في الشكل (4-14) مقاومة تسمى مقاومة الشحن (Charging Resistor)، إنَّ وجود هذه المقاومة ضروري لتحمي مجهز القدرة من طريق الحد من التيار أثناء الشحن. عندما يتم شحن مكثف تماما، في العادة تكون الدائرة الكهربائية بحالة قطع (Open Circuit)، ولكن هذه الحالة ليست دائما في جميع انواع مجهزات القدرة. عندها يتم تزويد نبضه القدح إلى المصباح بوساطة دائرة القدح ذات الجهد العالي المربوطة على سلك القدح. تؤين المصباح ويسمح للمكثف على تفريغ الطاقة خلال الاقطاب الطرفيه للمصباح. اما وظيفة وجود المحاثة هي لنقل تفريغ الطاقة بشكل افضل.



شكل (4-14): يوضح رسم تخطيطي لمجهز القدرة النبضي

النوع الثاني من مجهزات القدرة هي مجهزات القدرة المستمرة (Continuous Power Supplies) وهذا النوع من مجهزات القدرة لتشغيل المصابيح الوميضي بنمط تشغيلي مستمر، إذ إن هناك ثلاثة انظمة تشغيلية مختلفة لها ليتم تشغيلها:

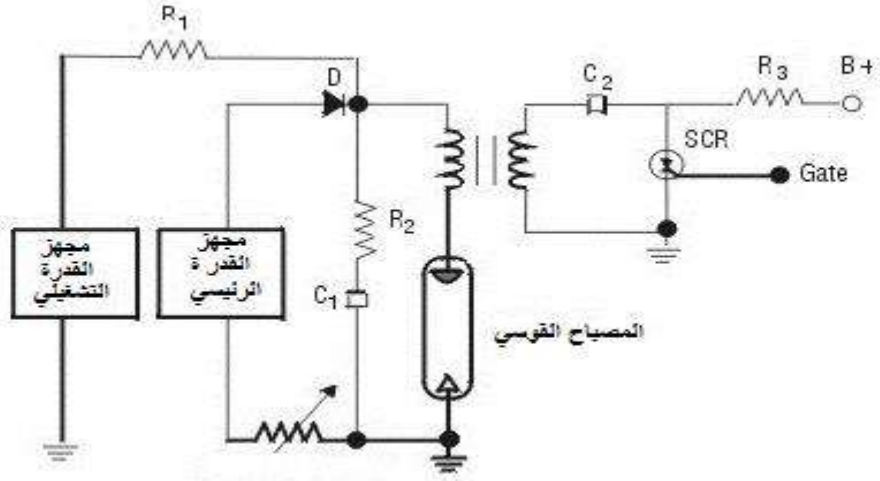
- تشكيل القوس الاولي والقدح.
- التفريغ الكهربائي غير المحدود.
- التشغيل المستقر.

في مرحلتي القدح والتفريغ غير المحدود، فإنَّ المصباح يشتغل بشكل وميضي. ولكن في مرحلة التشغيل المستقر، يعمل المصباح بشكل مستمر وبانخفاض لكثافة التيار. ان عملية القدح، تكون بداية التفريغ الكهربائي لغاز المصباح، هي مماثلة لتلك التي تمت مناقشتها في التشغيلي الوميضي. يبدأ القدح بشرارة تتولد داخل فجوة المصباح بين الأقطاب والتي بدورها تخلق مسار موصل بين القطبين. يجب أن تكون قيمة جهد الانهيار عبر هذا المسار أقل من الجهد المجهز للمصباح من قبل الدائرة الخارجية، لذلك سوف يبدأ التيار في التدفق من خلال المصباح.

فعند التصميم لمجهزات القدرة ذات النمط التشغيلي المستمر يؤخذ بنظر الاعتبار احتواءه على ثلاثة عناصر رئيسة كما وانها تتوافق مع أنظمة التشغيل الثلاثة المذكور انفا. المكونات الرئيسة الثلاثة هي:

- دائرة القدح لبدأ التفريغ.
- دائرة البدأ لسيطرة على المصباح قوسي خلال فترة من التوسع في القوس الكهربائي للمصباح عندما يبدأ بالعمل.
- مجهز القدرة المستمر للحفاظ على عملية استمرار المصباح بالعمل خلال استقرار التفريغ.

يظهر في الشكل (4-15) دائرة كهربائية أنموذجية لتشغيل مصباح بنمط مستمر. القيم الدقيقة للفولطية والتيار، تعتمد على معلمات الدائرة وعلى ظروف معينة وهي ضغط الغاز، طول القوس، قطر المصباح، والطاقة المطلوبة، ولكن الشكل يوضح العناصر الأساسية والقيم المشار إليها يمكن عدها مثلاً.

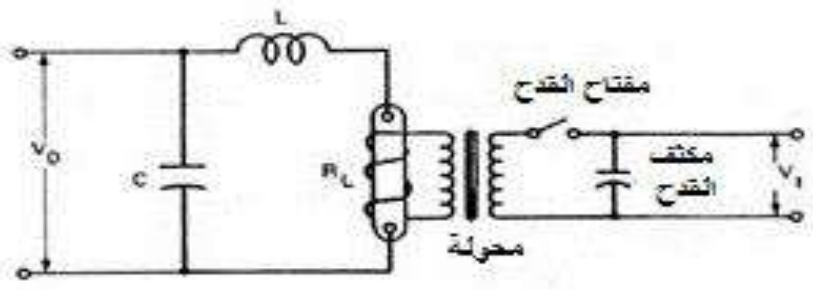


شكل (4-15): دائرة نموذجية لتشغيل مستمر لمصابيح الكريبتون.

5-4 صيانة دوائر القدح والسيطرة

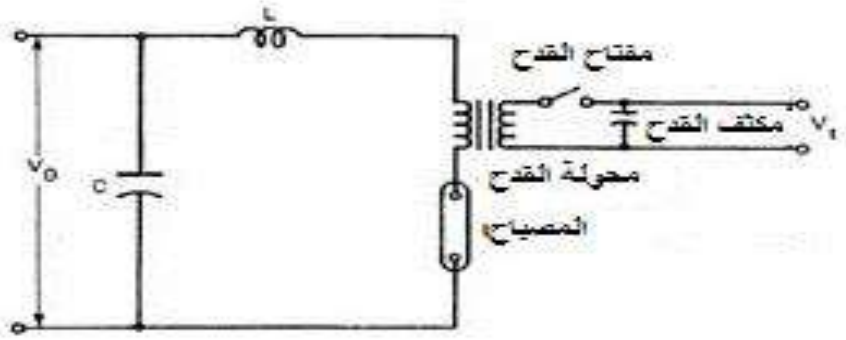
إنَّ مكثف التخزين لدوائر التفريغ للمصابيح الوميضية عادة ما تكون مصممة بحيث أقصى جهد الشحن في المكثف يكون أقل من جهد التأين لغاز المصباح الوميضي. في هذه الظروف، غاز المصباح لايكون متأين لذلك سوف يكون المصباح بمنزلة مفتاح مفتوح كهربائيا ويحول دون تفريغ كهربائي للغاز فلا يعمل المصباح. تكمل الدائرة أي يمر التيار فيها ويتم تفريغها بتأيين المصباح وذلك بتسليط نبضة الجهد تتجاوز جهد التأين للمصباح. وإما أنْ يتم تسليط هذا النبضة بسلك القدح الخارجي أو يتم تسليطها مباشرة بتوصيلها على التوالي مع أنود المصباح.

يتم تحقيق القدح الخارجي بوساطة دائرة كهربائية كما هو مبين في الشكل (4-16). الملف الثانوي لمحولة القدح الخارجي تتصل بسلك القدح والذي يلف حول مغلف المصباح. عند إغلاق مفتاح القدح، تفرغ مكثف القدح بوساطة الملف الابتدائي للمحولة. هذا المحولة هي محولة رفع للجهد لها دور كبير برفع وانتاج الجهد العالي، ان قصر الامد لجهد الخرج النبضي، عادة يكون بحدود 15kv بمدة 10^{-6}s. هذه النبضة عادة ما توفر للمصباح القدح المطلوب لتأيينه.



شكل (4-16): مخطط لدائرة قدح خارجية لمصباح وميضي

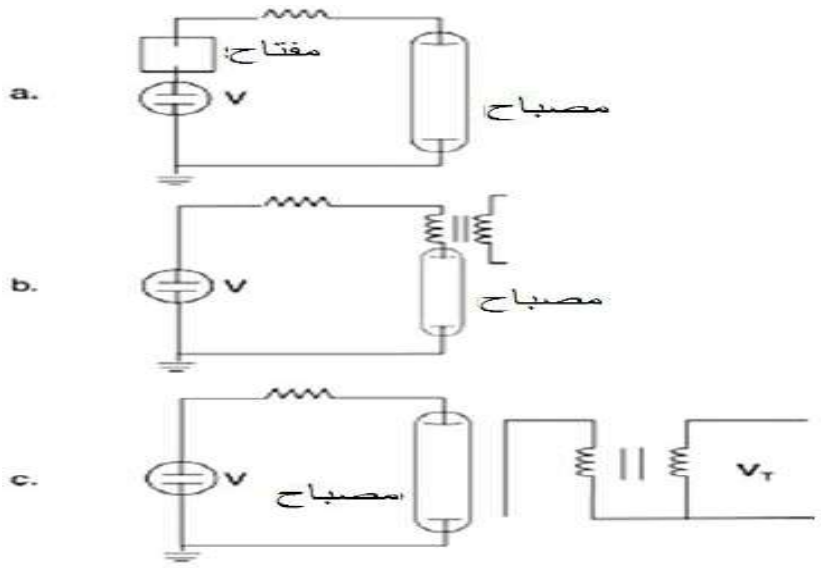
الطريقة الأخرى لقدح المصباح الوميضي هي دائرة قدح التوالي استعمال محولة قدح تربط على التوالي لحقن الشحنات لتأيين الغاز كما هو مبين في الشكل (4-17). في هذه الحالة، يتم توصيل المحولة على التوالي مع أنود المصباح الوميضي، ويتم تسليط نبضة ذات جهد عالٍ مباشرة إلى قطب الانود الموجب مما يسبب في انهيار الغاز نتيجة بالإفراط في تجهيز الفولطية للمصباح الوميضي. يجب أن ينقل الملف الثانوي لمحولة القدح تيار التفريغ بأكمله. لذا عند تصميم محولة القدح، يجب الاخذ بنظر الاعتبار أن تكون المقاومة الكهربائية لملفها الثانوي ذات قيمة صغيرة، في العادة تكون هذه المقاومة أقل من عشر من قيمة مقاومة المصباح. الملف الثانوي لهذة المحولة يلف بأستعمال سلك غليظ أو بشكل شريط من النحاس وذلك للحد من مقاومته.



شكل (4-17): رسم تخطيطي لحقن قدح التوالي للمصباح الوميضي.

المحاثه الكهربائية للملف الثانوي للمحولة تكون على التوالي مع المصباح أيضاً ويجب اعتبارها من تصميم دوائر المحاثه الكهربائية النموذجية لربط التوالي في هذه الطريقة للمحولة حوالي 100 mH. في العديد من الحالات، فإن الملف الثانوي لهذه المحولة كافٍ لتفادي الحاجة إلى أي محاثة إضافية.

يبين الشكل (4-18) عدد من انواع دوائر القدح المربوطة على التوالي لمصباح يشتغل بنمط مستمر. كما هو معروف فان الغرض من القدح هو تمكين وصول المصباح الى حالة التأين، بما يكفي لبدأ التفريغ الداخلي لأنبوب المصباح. إذ يسلط جهد عالٍ عبر أنبوب المصباح يكفي لتجاوز عتبة الجهد الذاتي لغاز المصباح. ويبين الشكل (4-18) ثلاثة انواع من الدوائر الممكنة لقدح المصباح. في الجزء العلوي من الشكل، الجهد الأولي مرتفع بما يكفي لكسر الغاز في الأنبوب وبدء التفريغ. هذه الطريقة تسمى أحيانا طريقة الجهد الزائد او الحمل (Overvoltage Method). وحتى لا يبدأ التفريغ بشكل عفوي او تلقائي، يجب أن يكون الجهد معزول كهربائيا من الأنبوب بوساطة مفتاح، مثل هذه المفاتيح الثيراترون أو شرارة الفجوة. عندما يتم تشغيل مفتاح القدح، يتم تسليط الجهد عبر المصباح وتبدأ عملية التفريغ.



شكل (4-18) : يبين انوع دوائر القدح للمصابيح القوسية

عندما يتم استعمال المصابيح لضخ الليزرات، تستعمل الطرائق الاخرى الأكثر شيوعا من طريقة الجهد الزائد لقدح المصابيح بنمط تشغيلي مستمر. الجزء الأوسط من الشكل (4-18) يبين ربط توالي لدائرة القدح، وتسمى أيضا متوالية حقن القدح. تستعمل هذا الطريقة محولة "في-الخط"،"in-line". إذ يلف سلك متين بالملف الثانوي للمحولة، وتربط على التوالي مع مصباح في دائرة التفريغ الرئيسة. عندما يتم تسليط نبضة جهد على الملف الابتدائي للمحولة، يتولد جهد في الملف الثانوي للمحولة يتجاوز هذا الجهد جهد انهيار المصباح ويبدأ التفريغ. هذه الطريقة للقدح المصابيح القوسية الأكثر شيوعا والمستعمل لليزر الحالة الصلبة ذو التشغيل المستمر. إذ إنَّ لها دقة عالية، وخاصة مع مصابيح الكريبتون ذات الضغط العالي، بسبب القدح يحدث انخفاض في جهد انحياز المسلط على طرفي المصباح.

الطريقة الثالثة هي القدح الخارجي، كما هو موضح في الجزء السفلي من الشكل (4-18)، توظف نبضة عالية للجهد، وربما تكون 15 كيلو فولط، الذي يمر عبر سلك القدح الملفوف حول الجزء الخارجي من المصباح. إنَّ وجود الجهد العالي هو لحث الغاز في المصباح على التأين، والذي يكفي لبدأ عملية التفريغ. إنَّ القدح الخارجي يحتوي على بعض المميزات المرغوبة للمصممين منها استعمال المحولات ذات تكلفة أقل التي يتم استعمالها. ولكن هذه الطريقة لها مساوئ تعريض الجهد العالي الخارج من المصباح القوسي ويؤدي الى توليد المزيد من التداخل الكهرومغناطيسي Electro Magnetic Interference (EMI).

اسئلة الفصل

س1: ضع علامة صح أو خطأ امام العبارات التالية وصحح الخطأ:

1- يعد ليزر الحالة الصلبة اول ليزر تم تصنيعه.

2- تتكون ليزرات الحالة الصلبة من الوسط الفعال ومصدر الضخ.

3- يتم تشغيل ليزرات الحالة الصلبة بشكل نبضي فقط.

4- تعد الحجرة العاكسة الدائرية الاكثر شيوعا.

5- يتكون نظام الضخ البصري لليزر الحالة الصلبة من مصباح، ومجهز قدرة.

س2: أذكر أهم مميزات الوسط الفعال لليزرات الحالة الصلبة؟

س3: علل ما يلي:

1- لا تستعمل مصابيح الكريبتون بشكل واسع؟

2- يفضل استعمال طريقة قدح المصابيح في دائرة خارجية بدل من دائرة داخلية ضمن مجهز القدرة؟

س4: اجب عن ماياتي :-

1- ما الاعتبارات الواجب اتباعها عند تصميم الحجرة العاكسة؟

2- ما المواد المستعملة في تصنيع الحجرات العاكسة؟

3- ما مميزات الحجرات العاكسة السيراميكية؟

4- تتكون مجهزات القدرة النبضية لليزرات الحالة الصلبة بشكل عام من ثلاث عناصر بشكل عام ثلاثة عناصر فما هي؟

س5: املأ الفراغات التالية:

1- يستعمل ليزر الحالة الصلبة مادة ..... كوسط فعال ليزري ويضخ .....

2- الوسط الفعال هو مادة صلبة اما يكون على شكل بلورة الياك او زجاج وتسمى هذه .....

3- هنالك نوعان من المصابيح إما أنْ يكون على شكل ..... او .....

4- يجب الاخذ بنظر الاعتبار كفاءة ..... داخل اي حجرة عاكسة عند التصميم

5- يعد أي ضوء منبعث من المصباح ذو طول موجي لا يمتص من قبل الوسط الفعال هو ..... وهذا ينعكس على .....

6- يستعمل الانبوب الخارجي الذي يحيط بمصباح الوميضي بـ.....

س6: في مجهز القدرة لليزر النيدميوم –ياك استعمال مكثف في تخزين الطاقة لليزر النيديميوم ياك له سعة 250 µF وشحن بجهد 5 MV. جد الطاقة المخزنة في مكثف؟

س7: وضح برسم تخطيطي مجهز القدرة النبضي لليزرات الحالة الصلبة؟ مبيناً مبدأ عمله؟

س8- كيف يتم صيانة الحجرات اللنجدية المشوهة او التالفة واعادتها الى العمل من جديد ؟

س9- بماذا يمتاز الطلاء بالذهب عن الطلاء بالفضة للحجرات العاكسة الليزرية ؟

س10- بماذا يشترط في الفخ البصري ؟ ومم يتكون ؟

س11- قارن بين دائرة القدح الخارجية ودائرة قدح التوالي للمصابيح الوميضية معززا اجابتك برسم الدوائر الكهربائية ؟

س12- وضح بالرسم أنواع دوائر القدح للمصابيح القوسية مع التاشير على الأجزاء

الفصل الخامس
صيانة منظومات الليزر الغازي
Gas Laser Systems Maintenance

الاهداف:

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على التعرف على:

1- اجزاء الليزرات الغازية بنوعيها الطولية والمستعرضة.
2- صيانة اقطاب التفريغ الكهربائي بنوعيها الاصبعية والمستعرضة.
3- صيانة مجهزات القدرة واعطاء فكرة اولية عن دوائر التأين الاولي والتفريغ الرئيس.

محتويات الفصل:

1-5 مقدمة.
2-5 صيانة المنظومات ذات الجريان الطولي لليزرات الغازية.
3-5 صيانة المنظومات ذات الجريان المستعرض لليزرات الغازية.
4-5 صيانة منظومات المختومة لليزرات الغازية.
5-5 صيانة الاقطاب الكهربائية لليزرات الغازية.
6-5 صيانة مجهزات القدرة لليزرات الغازية.
7-5 العوامل المؤثرة في التصميم على قدرة الخرج الليزري.
اسئلة ومسائل

1-5 مقدمة

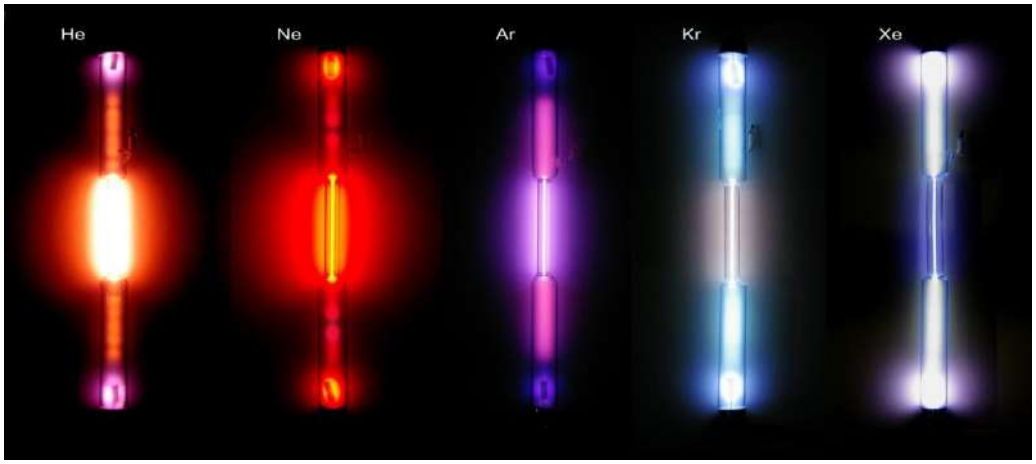
تعد الليزرات الغازية من اشهر انواع الليزرات المستعملة في مجال الصناعة، إذ تكون بعضها ذات قدرة واطئة وبعضها الاخر ذات قدرة عالية جدا وفق نوع التطبيق. اذ تعمل هذه الليزرات بنمط تشغيلي (Operation Mode) نبضي مثل ليزر CO_2 النبضي (Pulsed) أو بنمط تشغيلي مستمر Continuous Wave مثل ليزر CO_2 موجه الموجة (Waveguide CO_2 Laser) وليزر الهيليوم-نيون (Laser He-Ne). وفي بعض الاحيان يتم تشغلها بمعدل تكراري عالٍ (بتردد عالي) يشبه المستمر ويسمى شبه المستمر (Quasi-CW). ويضخ هذه النوع من الليزرات كهربائيا بشكل عام بتوظيف احد انواع مجهزات القدرة النبضي او المستمر او التردد الراديوية والتي سيتم شرحها لاحقا بشكل تفصيلي، اما المرنان فهنالك انواع مختلفة تم تناولها سابقا.

إنَّ الليزرات الغازية تغطي الطيف الضوئي كله، من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء البعيدة. ومع ذلك، فإن طيفها لايكون بشكل مستمر: إذ يكون بشكل انبعاثات بخطوط طيفية ضيقة جدا.

فكر؟

هل تعلم عزيزي الطالب لماذا يتم ضخ الليزرات الغازية كهربائيا ولايمكن ضخها بصريا؟

ومن اهم الليزرات الغازية الأكثر شيوعا هي:
ليزر الهيليوم-نيون Helium-Neon Laser (He-Ne laser)
ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون Carbon Dioxide Laser (CO_2 laser)
ليزر الاركون Argon Laser (Ar laser)
ليزر النيتروجين Nitrogen Laser (N_2 laser)
وهنالك انواع اخرى لايسع المجال لذكرها هنا.



شكل (5-1) صورة تبين مجموعة من المصابيح الغازية في حالة تفريغ كهربائي والناتج عنها خطوط طيفية لعدد من الغازات النبيلة.

وتشترك جميع الليزرات الغازية اعلاه في التصميم الميكانيكي والبصري والضخ وسنتناول في هذا الفصل التصميم بصورة عامة، إذ تتضمن منظومات الليزر الغازية لكل الانواع اعلاه مع بعض الاختلافات الطفيفة في المواد المستخدمة في التصميم توجد ثلاثة مكونات رئيسة وهي:

انبوبة التفريغ: تحتوي على الوسط الغازي الفعال.

مجهز القدرة: يساعد على تهيج الوسط الفعال عبر قطبين كهربائيين.

المرنان: يساعد على زيادة التوزيع العكسي في الوسط الفعال بوساطة التغذية الخلفية.

وتقسم الليزرات الغازية وفق طبيعة الوسط الفعال على أقسام عدة فأما أن يكون الوسط الفعال الغازي ذرات متعادلة مثل ليزر الهيليوم–نيون (He-Ne)، أو يكون أيونات مثل ليزر الاركون (Ar^+)، أو يكون جزيئات وهذا الأخير بدوره يقسم على أقسام عدة إذ تسمى بالليزرات الجزيئية وتقسم الليزرات الغازية الجيزئية الى اقسام عدة وهي :-

1- الليزرات الجزيئية المعتمدة على الانتقالات الدورانية الاهتزازية إذ تستعمل هذه الليزرات الانتقالات بين المستويات الاهتزازية لنفس الحالة الإلكترونية وان فرق الطاقة بين المستويات لهذا النوع من الانتقالات تجعل هذه الليزرات تتذبذب في المنطقة الوسطى والبعيدة من الأشعة

تحت الحمراء (Middle and Far I-R) ومثال على هذا النوع من الليزر هو ليزر ثنائي أوكسيد الكربون CO_2.

> هل تعلم
> ان قطع نهايتي الانبوب بزاوية بروستر هو للحصول على ضوء مستقطب نستفيد منه في العديد من التطبيقات الصناعية

2 -الليزرات الجزيئية المعتمدة على الانتقالات الدوارنية النقية: وتستعمل هذه الليزرات الانتقالات بين المستويات الدورانية المختلفة للحالة الاهتزازية نفسها والأطوال الموجية لهذا النوع من الليزرات يقع في منطقة تحت الحمراء البعيدة، وان من الصعب الحصول على فعل ليزري في هذا النوع من الليزرات لان سرعة الاسترخاء بين المستويات الدورانية تكون كبيرة جدا. ويتم توليد هذا النوع من الليزرات بطريقة الضخ الضوئي وعادة ما يستعمل ليزر ثنائي أوكسيد الكربون في عملية الضخ الضوئي مثال على هذه الأنواع الأخرى لليزرات هو (الميثان وحامض الفورميك).

3- الليزرات الجزيئية المعتمدة على الانتقالات الاهتزازية ـ الإلكترونية: وتستعمل هذه الليزرات الانتقالات بين المستويات الاهتزازية لمستويات إلكترونية مختلفة وتقع التذبذبات الليزرية لهذا النوع في المنطقة المرئية أو فوق البنفسجية مثل ليزر النيتروجين (N_2).

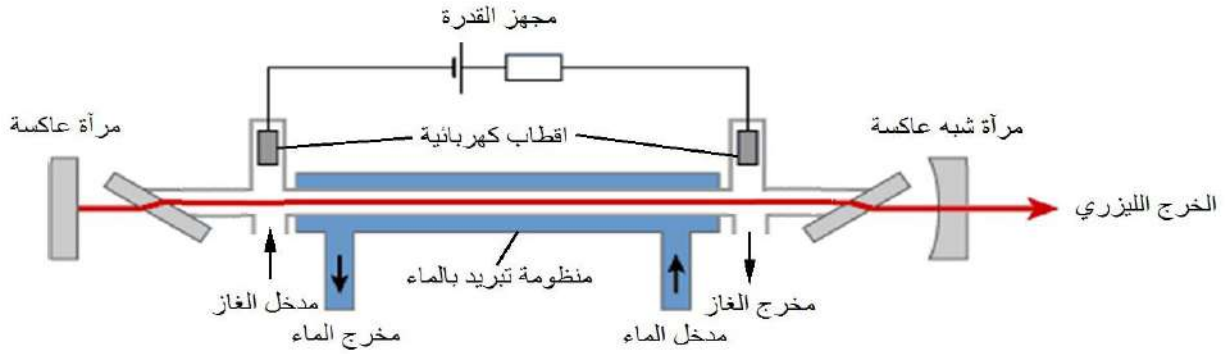
إنَّ الليزرات الغازية الجزيئية تعتمد على الانتقالات بين المستويات الطاقية الاهتزازية-الدورانية لان جزيئة مادة ما بصورة عامة تتكون من ذرتين فإنها تحتوي على مستويات طاقة دورانية واهتزازية فضلا عن المستويات الإلكترونية. تختلف هذه المستويات فيما بينها وفق طاقاتها وفق منطقة الطول الموجي لها كما موضح في الجدول (5-1)، إذ تكون الطاقة الكلية للجزيئة مساوية لمجموع الطاقات الدورانية والاهتزازية والإلكترونية.

جدول 5-1: الخصائص الطيفية والطاقية للانتقالات في الجزيئات

المنطقة الطيفية (الطول الموجي)	الطاقة (eV)	انواع الانتقالات
(1nm -3μm) فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء القريبة	1-10	الالكترونية
(3μm - 30μm) تحت الحمراء المتوسطة والقريبة	0.1-2	الاهتزازية
(30μm - >100μm) المايكروية-تحت الحمراء البعيدة	10^{-5}-10^{-3}	الدورانية

2-5 صيانة المنظومات ذات الجريان الطولي لليزرات الغازية

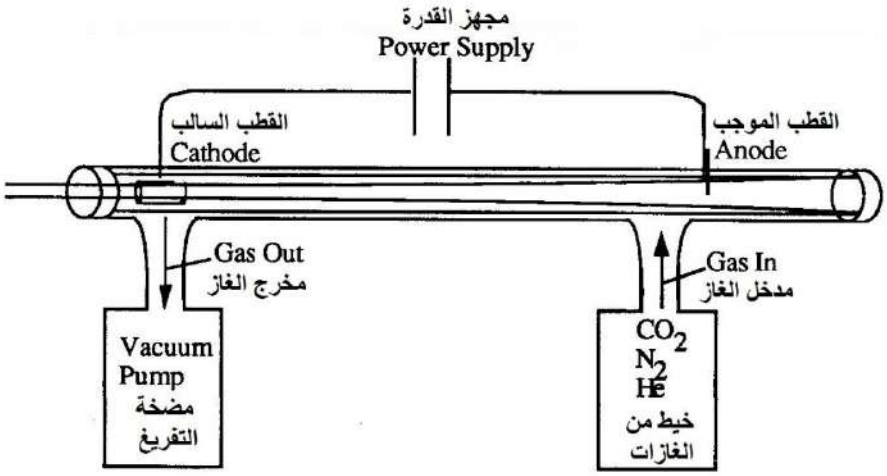
تعد هذه التقنية من ابسط تقنيات الليزرات الغازية، وقد استعمل هذا النظام في المراحل الأولى لتطوير العديد من الليزرات الغازية مثل ليزرات الهيليوم – نيون (633 nm) He-Ne Lasers وليزر النيتروجين (337 nm) N_2 Laser وليزر ثاني اوكسيد الكاربون CO_2 Laser (9.2 – 11.4 μm)، وهذا التصميم من الليزرات بشكل عام هو أنبوب يمر من خلاله الخليط الغازي و يتم تهيجه كهربائيا كما في الشكل (2-5). يحاط هذا الأنبوب بغطاء يجري فيه الماء لأجل تبريد الخليط وعند نهايته توضع مرآتان أحدهما ذات انعكاسية تامة والأخرى ذات انعكاسية جزئية وقد تكون هذه المرايا داخلية أي بتماس مع الغاز أو خارجية (مفصولتان عن أنبوب التفريغ) وفي حالة الأخير يتم قطع طرفي انبوب التفريغ بزاوية بروستر لتقليل خسائر الانعكاس.



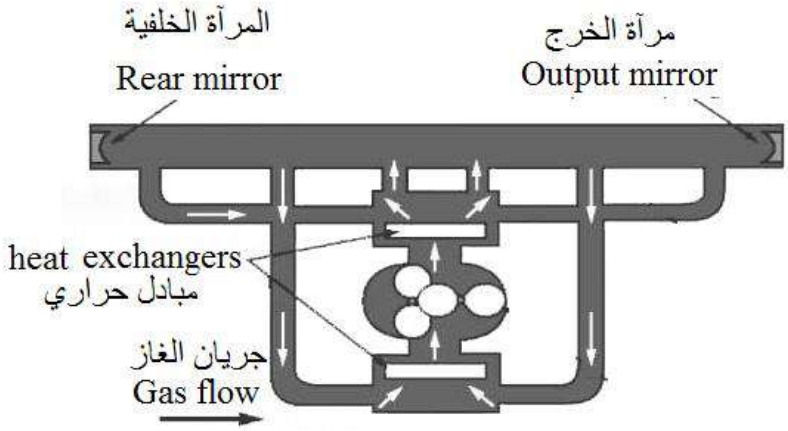
شكل (2-5): مخطط لمنظومة ليزر غازية ذات الجريان الطولي

فكر؟
ما علاقة قطع زاوية بروستر بمعامل انكسار مادة النافذة البصرية المستخدمة

يمتاز هذا النوع من الليزرات الغازية بإن المجال الكهربائي المسلط يكون موازيا لاتجاه جريان الغاز والمحور البصري وان الفائدة الرئيسة في جريان الغاز هو إزالة النواتج الحاصلة من تفكك الغاز وهذا بدوره سيؤثر سلباً على الفعل الليزري. مع ذلك لا تعد عملية تفكك الغاز مشكلة كبيرة لان خليط الغازات سوف يتجدد باستمرار إذ يخرج الغاز المتأين ويحل محله غاز بارد بجريان مستمر. يمتاز هذا النوع من الليزرات بإن منطقة التفريغ الكهربائي طويلة نسبيا لذلك تحتاج المنظومة بأن تكون سرعة جريان الغاز عالية جدا مما يوفر كفاءة تبريد بواسطة الحمل الحراري وذلك لان زمن العبور للغاز لمنطقة التفريغ يتناسب تناسبا عكسيا مع كفاءة التبريد بالحمل. كما إنها تحتاج إلى ارتفاع فرق الجهد المسلط بسبب كبر طول المنظومة مقارنة مما هو عليه في التهييج المستعرض –البند القادم-. وبصورة عامة تكون لليزرات ذات الجريان الطولي حد أعلى للقدرة يمكن الحصول عليه وهذا ناشئ من مشكلة الحرارة التي تتبدد حوالي (80%) من القدرات الداخلة لأنبوب التفريغ على هيئة حرارة وتزال هذه الحرارة عن طريق انتشارها من مركز الأنبوب إلى الجدران التي تكون مبردة. وتقسم ليزرات الجريان الطولي وفق سرعة الجريان إلى جريان بطيء (Slow Flow) وجريان سريع (Fast Flow) وكما في الشكلين (3-5) و(4-5).



شكل (5-3): يوضح تصميم منظومة ليزر الجريان الطولي البطئ



شكل (5-4): يوضح تصميم منظومة ليزر الجريان الطولي السريع

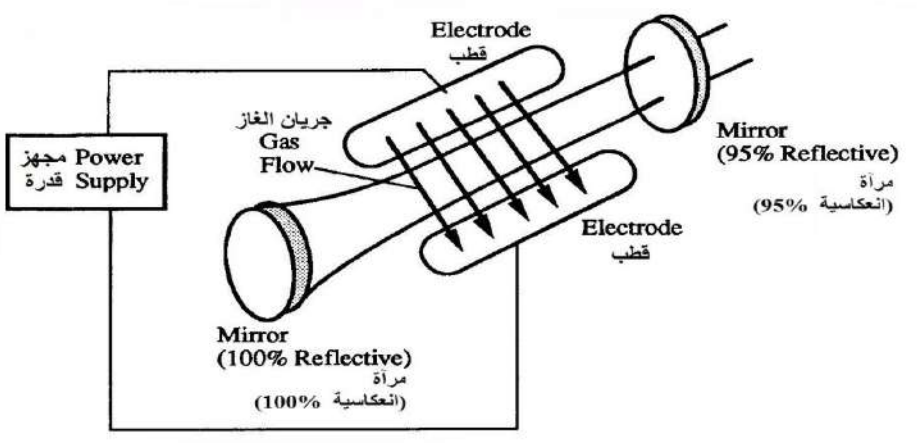
يتم سحب الخلطة الغازية في الجريان البطيء في منطقة التفريغ الكهربائي إلى خارج المنظومة تماما لأنه لا يمكن الاستفادة منها لأحداث الفعل الليزري لذلك يتطلب وجود مصدر دائم للخلطة الغازية بعد عبورها منطقة التفريغ الكهربائي إلى خارج المنظومة أي يكون استهلاك الغازات كبيرا ومكلفا ويوضح شكل (5-3) منظومة ليزر الغاز ذي الجريان البطئ.

أما في حالة الجريان السريع فيتم سحب الخلطة الغازية بعد اجتيازها منطقة التفريغ وامرارها بوساطة مبادل حراري (Heat exchanger) ثم يمرر عبر حجرة تحتوي على عوامل مساعدة Catalysts لإعادة نواتج تفكك جزيئات الوسط الفعال الغازي نتيجة التفريغ الكهربائي ومن ثم تعاد الخلطة الغازية المبردة إلى حجرة التفريغ. ان السبب في الحصول على قدرات عالية في هذا النوع من الجريان يعود لحركة الغاز السريعة التي تلعب دورا رئيسا في تبريد الأنبوب الليزري حيث يقوم بإزالة الطاقة المتبددة كحرارة من الحجرة البصرية أي إن الجريان السريع يوفر تبريداً تقليدياً للغاز في أنبوب التفريغ وهذا مفيد للتطبيقات الصناعية مثل القطع واللحام والمعالجة الحرارية.

ينتج من الجريان السريع للغاز خلال أنبوب التفريغ اضطراب (Turbulence) للخليط الغازي وهذا يسبب تشوه للمسار البصري بسبب الاختلاف في قيمة معامل الانكسار فعليه فإن معظم ليزرات الجريان السريع التي تستعمل التهييج المستمر (D.C) للوسط الفعال تعاني من المشاكل التي قد ترافق أداء هذا النوع من الجريان. شكل (5-4) يوضح منظومة ليزر ثنائي أوكسيد الكربون ذي الجريان السريع.

3-5 صيانة المنظومات ذات الجريان المستعرض لليزرات الغازية

في هذا النوع من الليزرات يكون جريان الغاز بصورة عمودية على اتجاه التفريغ والمستوي الذي يحويهما يكون عمودياً على المحور البصري (ليزرات المجال الكهربائي المستعرض Transverse Electric Field)، وتكون هذه الطريقة الأكثر كفاءة لتبديد الحرارة المتولدة في أنبوب التفريغ ويتم تبريده من طريق مبادل حراري. إذا كان جريان الغاز سريعا إلى حد كافٍ فان الحرارة سوف تزال من طريق الحمل بدلا من طريقة الانتشار وتعد هذه التقنية في التبريد هي الأكثر كفاءة إذ إنها تقلل الفترة الزمنية التي يقضيها الغاز في منطقة التفريغ مما يسهل عملية التبريد، ويتم الحفاظ على تدفق الغاز بواسطة منفاخ او مروحة Blower، ان تصميم الأقطاب على جانبي تجويف الانبوبه تحتاج الى فولطية صغيرة نسبيا من أجل احداث تفريغ كهربائي للغاز وبتيار عالٍ وذلك نظراً للمسافات الفاصلة الصغيرة. إنَّ قدرة الخرج العظمى لهذا النوع من الليزرات أعلى بكثير مما هو عليه للجريان الطولي وإنَّ الضغط الكلي الأمثل يكون أعـلى من (50 Torr) وبالتالي نحصل على قدرة خارجة (بحدود 10 kW). يتميز ليزر ($TE\ CO_2$) بصغر المسافة بين الأقطاب الكهربائية مما يجعل قيمة الفولطية اللازمة لأحداث عملية التهييج صغيرة وليس كما هو الحال في التهيج الطولي وتتميز أيضا بصغر حجم المنظومة فضلا عن قدرته وكفاءته العالية بسبب الإيداع الكبير للطاقة الداخلة، والشكل (5-5) يوضح منظومة ليزر CO_2ذي التهيج المستعرض.



شكل (5-5): ليزر ذو الجريان المستعرض

تعد فولتية الانهيار دالة للضغط المسلط والمسافة بين الاقطاب الرئيسة للتفريغ كما في المعادلة:

$$V_{Bd} = f(Pd) \quad \text{.....(1-5)}$$

إذ V_{Bd} فولطية انهيار الغاز، وP هو قيمة الضغط داخل الانبوب وd هو المسافة الفاصلة بين الاقطاب.

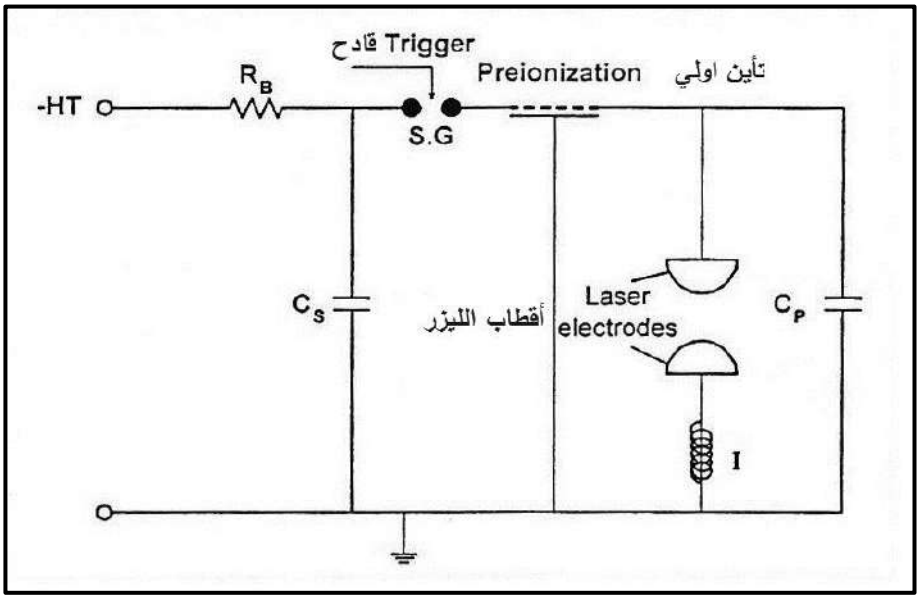
فكر؟
لماذا لا يمكن الحصول على ليزرات قدرة عالية بالتشغيل المستمر؟

هنالك ليزرات غازية تكون قيمة الضغط داخل الحجرة عند الضغط الجوي وهكذا نوع من المنظومات يستثار عرضيا (Lasers TEA (Transveresly Excited at Atmospheric Laser CO_2 فمثلا في ليزرات غاز ثنائي أوكسيد الكاربون ذات المجال الكهربائي المستعرض المستمر من الصعب زيادة ضغط التشغيل فوق (100 Torr) لأنه عند هذا الضغط ومع كثافات التيار المستعملة في تحفيز الغاز تحدث عدم الاستقرارية للتفريغ ويؤدي ذلك إلى تكوين الأقواس الكهربائية داخل حجرة التفريغ لان زيادة الضغط تتطلب زيادة مناظرة لها في جهد انهيار التفريغ الكهربائي تقدر بحدود عدة ميكافولط، وللتغلب على هذه المشكلة يجب إجراء مايأتي:

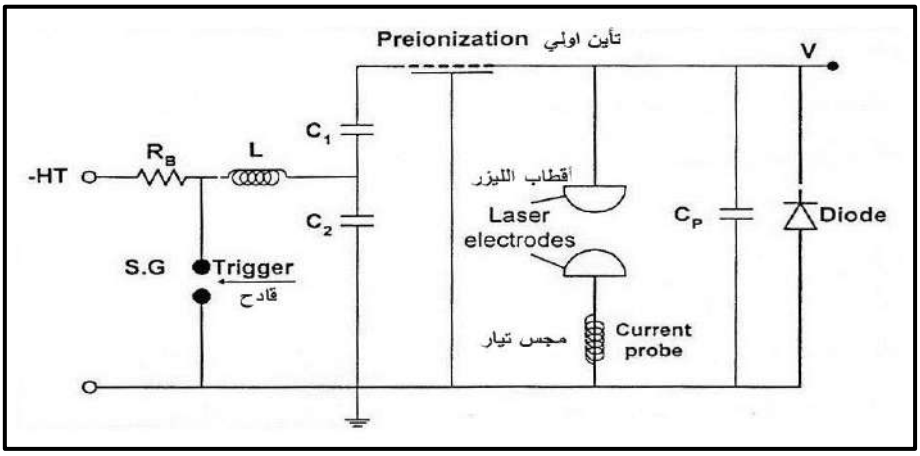
1. تسليط فرق جهد على الأقطاب المستعرضة بشكل نبضي فإذا كان زمن النبضة قصيرا" إلى حد كاف (جزء ms) فان عدم استقرارية التفريغ سوف لا يتوافر لها الوقت الكافي وبذلك يمكن زيادة ضغط التشغيل حتى يصل إلى ضغط جوي واحد أو أعلى وتسمى هذه الليزرات بليزرات التهيج المستعرض عند الضغط الجوي (Transveresly Excited Atmospheric) وتقدر قدرة الخرج الليزري بحدود (20 MW) وكفاءة أعلى من (15%).
2. تسليط نوع من التأين يسبق مباشرة الفولطية النبضية المهيجة للغاز وتسمى بالتأين الابتدائي (Preionization) فيوفر كثافة إلكترونية كافية في الوسط الفعال قبل البدء بعملية التفريغ الكهربائي بين الأقطاب الرئيسة وبهذا يساعد على انتظام التفريغ التوهجي وعـدم حـــدوث التفريغ القوسي.

هل تعلم
ان تشغيل الليزرات الغازية بالتهيج المستعرض يحتاج الى نمط تشغيل نبضي ودوائر انتقال الشحنة وتأين اولي للغاز باستعمال اقطاب تأين اضافية على جانبي اقطاب التفريغ الكهربائي

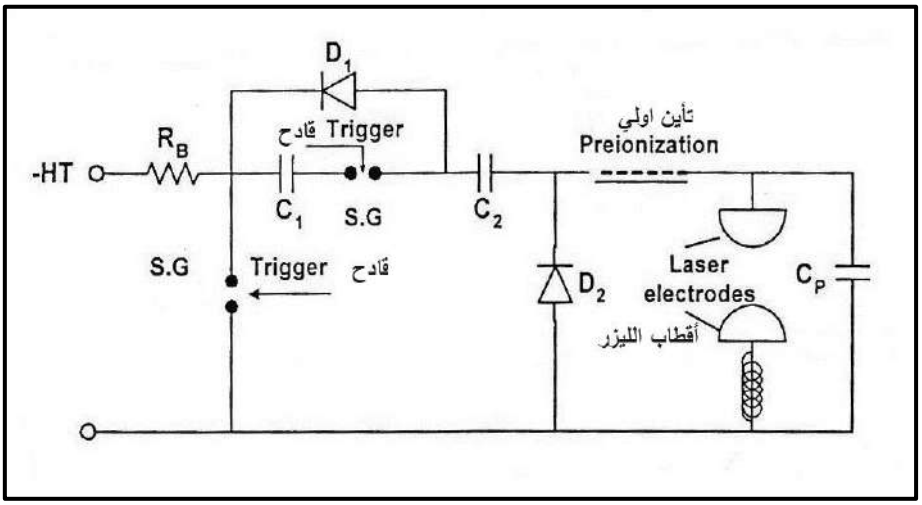
توجد اربعة انواع شائعة من دوائر انتقال شحنة للتفريغ بين الاقطاب الرئيسة والثانوية وهي:
- دائرة التفريغ المباشر وتسمى احيانا دائرة الشحن ذات المتسعة الواحدة.
- دائرة المحاثة-متسعة.
- دائرة المتسعة-محاثة اقطاب التأين الاولي.
- دائرة مولد ماركوس.



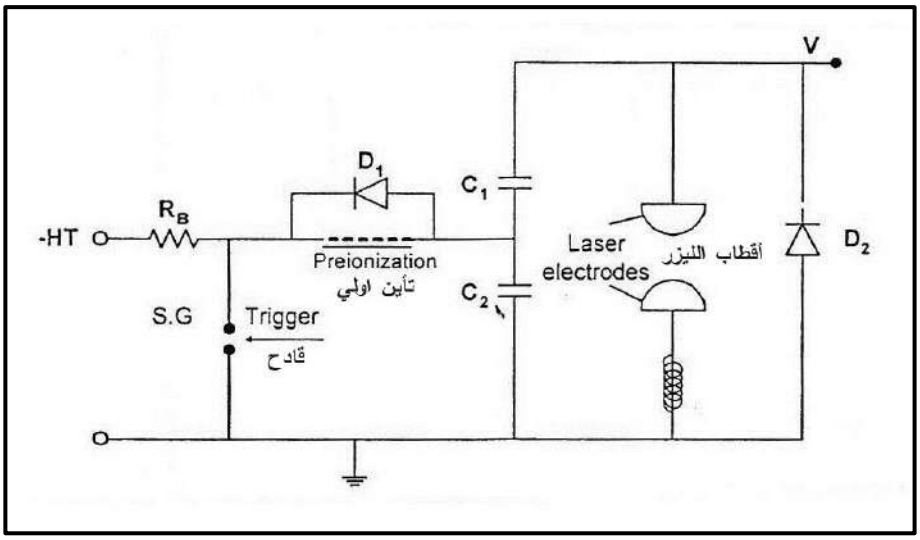
شكل (5-6) دائرة التفريغ المباشر.



شكل (5-7) دائرة المحاثة - متسعة.



شكل (5-8) دائرة المتسعة – محاثة اقطاب التأين.



شكل (5-9) دائرة مولد ماركوس.

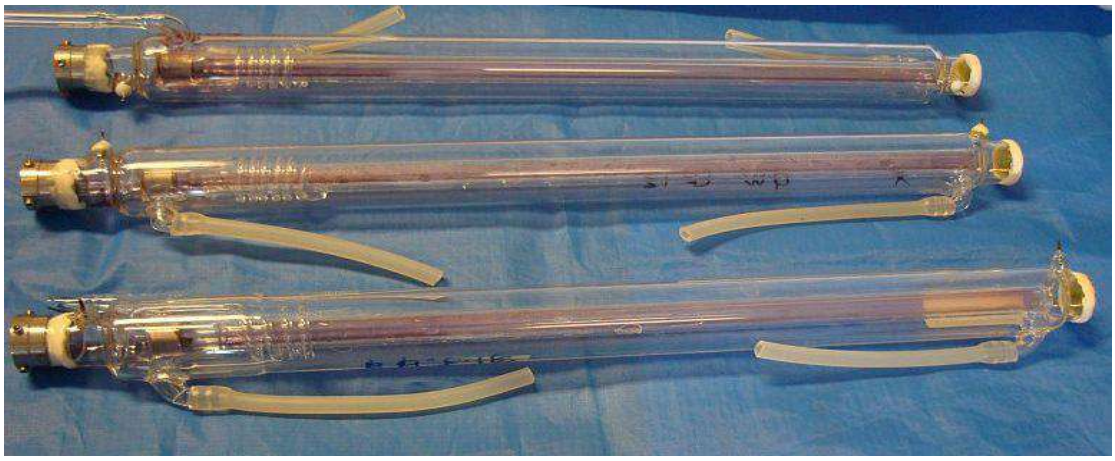
4-5 صيانة منظومات الليزرات المختومة لليزرات الغازية

الليزر الغازي المختوم، في هذا النوع، يتم تعبئة الوسط الفعال بخليط مناسب من غازات الليزر المعني ويختم بغلق الانبوب بمادة صمغية أو لحيم منطقة الغلق لمنع التسريب، يتم تسليط الجهد الكهربائي العالي على الأقطاب الكهربائية الموجودة على طرفي انبوب الغاز، مثلا في الخليط الغازي لليزر CO_2 يتم خلط نسب من الغازات (CO_2:N_2:He) إذ تكون بنسب (1:1:8) والتي تعد الخلطة الرئيسة والمهمة لتشغيل ليزرات CO_2. إنَّ الإلكترونات المتسارعة تحدث تهيجاً لجزيئات الغاز الموجود ويتولد فعل الليزر. العيوب الرئيسة مع هكذا نوع من الليزرات هو التفكك الحاصل للغاز فمثلا في ليزر CO_2 يتفكك جزيئات الغاز إلى CO والأكسجين بمرور الوقت. للحد من هذا التأثير، يتم إضافة عامل مساعد او محفز إلى خليط الغاز. أَن هذا العامل المساعد يعمل على إسترجاع تفاعل التفكك ويعيد جزيئة CO_2 والتي تكون متطلبه للفعل الليزري. وتكون هذه العوامل المساعدة على شكل غازات اضافية او مواد صلبة.

تكمن أهمية هذا النوع من الليزرات الغازية في فوائدها وكما يأتي:

1. إن الخرج الليزري يكون أكثر استقرارا طيفيا.
2. إمكانية تصنيعه بأصغر حجما (Compact) وقابليته على الحمل (Portable).
3. إمكانية إن يحتفظ بالغازات وذلك بتقليل من كلفة الصيانة وإدامة التشغيل.

آما ابرز سلبية في هذا النوع من الليزر يكمن في إن الربح يقل بشكل تدريجي وان فترة الاشتغال تكون محدودة. يستعمل هذا النوع في الاتصالات والتطبيقات البحثية أكثر ما هو عليه في التطبيقات الصناعية وفي عمليات الجراحة الدقيقة.



شكل (5-10): يوضح حجرة الوسط الفعال لليزر الغاز المختوم باحجام مختلفة مضاف اليه خزان الماء للتبريد

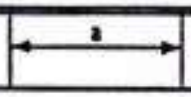
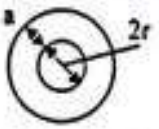
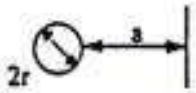
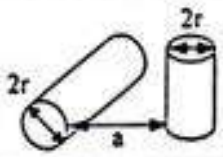
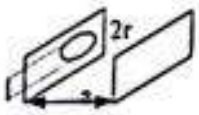
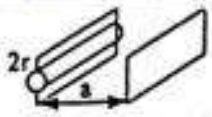
5-5 صيانة الاقطاب الكهربائية لليزرات الغازية

كما تعلمت عزيز الطالب في الفصل الثاني إنَّ عملية الضخ الكهربائي من طريق تسليط مجال كهربائي بين الأقطاب إذ يعمل المجال على تعجيل الإلكترونات المنبعثة من قطب الكاثود إلى قطب الانود بطاقات كافية وتعمل هذه الإلكترونات على تأين جزيئات الوسط الفعال الغازي وتوليد أيونات وإلكترونات حرة أي تكوين ما يسمى بالبلازما. والسؤال هنا ما فائدة الاقطاب وما ومدى تأثيرها على عملية انتاج الليزر؟ في تصميم الليزرات الغازية تعنى اهمية كبيرة لشكل وتصميم الاقطاب داخل الحجرة الليزرية او الانبوبة الليزرية. وتعتمد شكل وحجم القطب على نوع الوسط الغازي والقدرة الليزرية الخارجة وعلى نمط ونوع التشغيل للمنظومة الليزرية ايضاً. كما يهدف التصميم للاقطاب الى توليد مجال كهربائي منتظم وبالتالي امكانية الحصول على قدرة عالية من جهاز الليزر.

هل تعلم عزيز الطالب ان عملية تكوين البلازما تعتمد على كثافة الإلكترونات ودرجة حرارتها.

فمثلا عندما يكون تصميم الاقطاب بشكل مسطح تماما وذات حافات حادة فإنَّ المجال الكهربائي يتمركز في مناطق ضيقة مما يؤدي الى حدوث الاقواس الكهربائية. لذا يلجأ المصممون الى جعل الاقطاب محدبة عند نهاياتها كما في الجدول (5-2). اذ يبين الجدول اشكال اقطاب التفريغ الكهربائي وأنواعه البسيطة ولتهيج الطولي.

الجدول (5-2): يبين اشكال مختلفة للاقطاب.

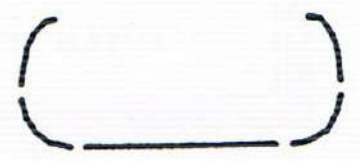
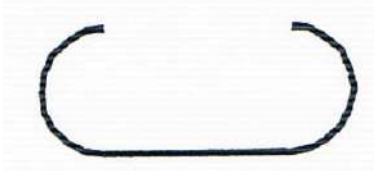
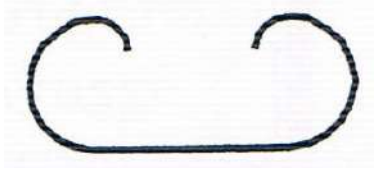
الشكل		Formula For E
لوحين مستويين متوازيين		U/a
كرتين متحدة المركز		$\frac{U}{a}.\frac{r+a}{r}$
كرة ولوح مستوي		$0.9\frac{U}{a}.\frac{r+a}{r}$
كرتين بينهما مسافة معينة		$0.9\frac{U}{a}.\frac{r+a/2}{r}$
أسطوانتين متحدتين المحور		$\frac{U}{2.3r\lg\frac{r+a}{r}}$
اسطوانة ولوح مستوي متوازيين		$0.9\frac{U}{2.3r\lg\frac{r+a}{r}}$
أسطوانتين متوازيتين		$0.9\frac{U/2}{2.3r\lg\frac{r+a/2}{r}}$
أسطوانتين متعامدتين		$0.9\frac{U/2}{2.3r\lg\frac{r+a/2}{r}}$
شكل شبه كروي على احد اللوحين المتوازيين		3U/a ; (a>>r)
شكل شبه اسطواني على احد اللوحين المتوازيين		2U/a ; (a>>r)

إذ تمثل: u : فرق الجهد المسلط a : المسافة بين قطبين r : نصف قطر القطب الدائري

وهناك انواع خاصة اصبعية اشبه بالبراغي تثبت بفلنجة حامل المرايا ونهايتها مكورة لذلك سميت اصبعية كما بالشكل (5-11).

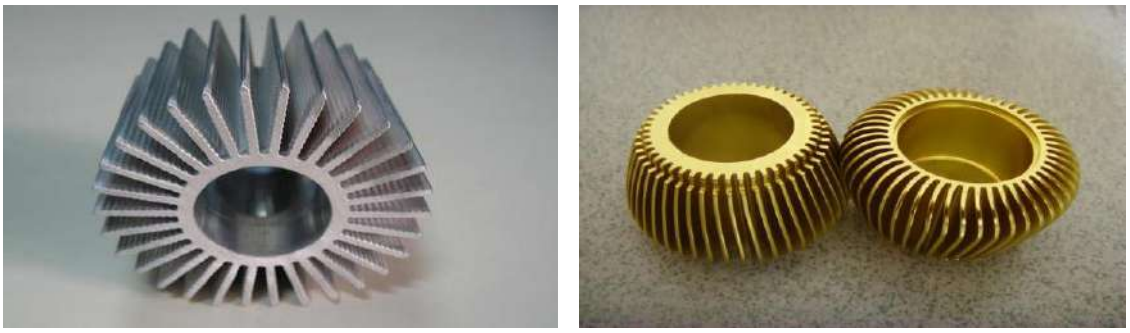
شكل (5-11): يوضح قطب اصبعي

اما في حالة التهيج المستعرض فاستعملت طرائق فيزياوية ورياضية عدة لتصميم الاقطاب والقادرة على توليد مجال كهربائي منتظم وتسمى باقطاب المجال الكهربائي المنتظم كما في الجدول (5-3).

اسم الشكل	شكل القطب
Rogowski راواكاسكي	
Chang تشانغ	
4^{th} order Ernst الترتيب الرابع لشكل ارنست	
8^{th} order Ernst الترتيب الثامن لشكل ارنست	

هل تعلم عزيز الطالب ان هنالك كثيرا من البرامج الحاسوبية متخصصة التي تستخدم لتصميم الاقطاب الكهربائية لليزرات وحسابات قبل البدأ بالتشغيل الميكانيكي للاقطاب

يحدث تبادل الطاقة بين جسيمات الغاز (الايونات والالكترونات) والاقطاب بشكل رئيس من طريق التصادمات (Collisions) والتي تؤدي تسخين الاقطاب وتوليد الحرارة داخلها. وهذه بدورها تكون مشكلة يواجهها المصممون لمنظومات الليزر. يكمن الحل بأن تكون الأقطاب على شكل مشعات (زعانف) لأغراض التبريد الذاتي بالهواء إذ تعمل هذه المشعات على زيادة المساحة السطحية للانتشار الحراري، وتكون هذه المشعات على شكل حفر (أخاديد) بعمق 10%من قطر القطب والمسافة بين أخدودين 5% من قطر القطب وكما موضح في الشكل (5-12)



شكل (5-12): يوضح بعض اشكال الزعانف لتبريد القطب

هل تعلم عزيزي الطالب أن هناك نوعين من التصادمات الاول هو التصادم المرن (Elastic Sollision) والذي يتم فيه تبادل الطاقة الحركية فقط. إنَّ غالبية التصادمات في الغازات تكون من النوع المرن وسبب ذلك هو أن التركيب الذري أو الجزيئي للغاز لا يتغير. أما الثاني فهو التصادم غير المرن (Inelastic Collision) فإنه يتضمن تبادل طاقة التهيج أو طاقة التأين (أو طاقة التفكك في الغازات الجزيئية) علاوة على الطاقة الحركية. لذا فإن الإلكترون الذي يصطدم بذرة متعادلة يمكن أن يهيج تلك الذرة وبذلك يزيد من الطاقة الكامنة فيها على حساب نقصان الطاقة الحركية للإلكترون.

يصنع القطب الكهربائي عادة من مادة الحديد المقاوم للصدأ (Stainless-Steel) او من النحاس ويكون تثبيت القطب الكهربائي داخل الانبوب الليزري الغازي وذلك بتثبيته بمادة لاصقة على مادة عازلة كهربائيا مثل مادة التفلون (Teflon) أو مادة البيرسبكس (Perspex) أو مادة سيراميكية (Ceramics) وكما في الشكل (5-13) وهي طريقة تعد بسيطة وغير معقدة. ويثبت بجانب قطب المرايا.

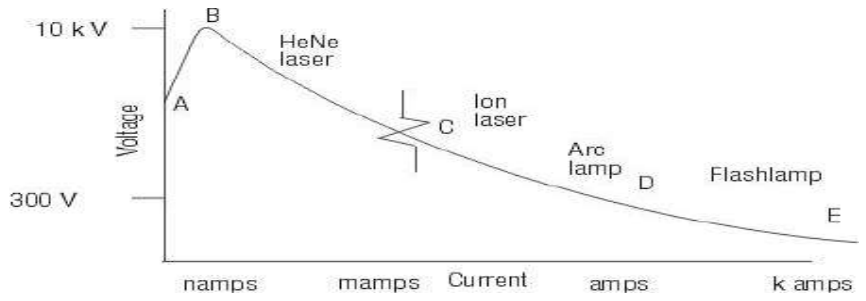
شكل (5-13): يوضح تركيب القطب الكهربائي بتصميم اخر للقطب مع الانبوب الليزري

هنالك أمور يراعى الانتباه لها اثناء صيانة الاقطاب:

- تنظيف القطب بسبب تجمع جزيئات الغازات والتي تتكون كأكسدة بشكل مواد صلبة تتجمع على القطب.
- بمرور الزمن يتلاشى اللاصق فيجب ان يعاد لصقه مرة ثانية بعد تنظيف القطب جيدا.

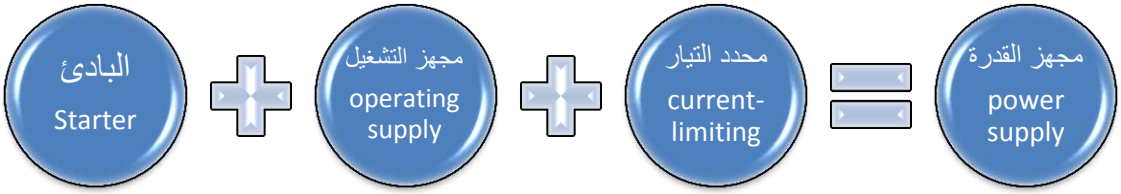
6-5 صيانة مجهزات القدرة لليزرات الغازية

تتشابه مجهزات القدرة ذات النمط المستمر لليزرات الغازية في التصميم لتلك المستعملة في مجهزات قدرة التيار المباشر. مجهزات قدرة ليزر الغاز تميل إلى أن تكون مجهزات القدرة من نوع DC ذات تيار محدود منتظم. التصاميم هي في الأساس نفسها لجميع الليزرات الغازية التي تعتمد على التفريغ. اما تفاصيل كل مجهز قدرة فتعتمد على خصائص الجهد-التيار المتولد داخل الغاز واللازم لتكوين الفعل الليزري. يتصف التفريغ الكهربائي في الغازات وفق خصائص منحني الجهد-التيار المبين في الشكل (5-14). الخصائص الدقيقة للغاز، بطبيعة الحال، تعتمد على طبيعة الغاز، وضغطه، فضلا عن طول وقطر حجرة التفريغ الكهربائي. عند قيم منخفضة من الجهد المسلط على الغاز كما مبين في الشكل (5-14)، لا يوجد تدفق للتيار. كلما كانت زيادة في الجهد، ومع بقاء التيار الأساس صفراً. وعند الوصول إلى بعض الجهد العالي نسبيا عند النقطة (A) كما في الشكل (5-14). عند هذه النقطة يبدأ تيار صغير جدا في التدفق بسبب كمية صغيرة من التأين التي هي دائما موجودة. يتم توفير هذه الكمية الصغيرة من التأين نتيجة وجود النشاط الإشعاعي الطبيعي والأشعة الكونية. ويشار إلى تيار صغير ما قبل انهيار التيار داخل الحجرة. تكون قيمة التيار في هذه المنطقة قليلة إذ تكون بضع Nanoamperes. ويزيد التيار قبل انهيار الغاز ببطء حتى تصل قيمة الجهد الـى نقطة B - كمـا في الشكل (5-14) - تدعى نقطة انهـيار الجـهـد (ربما حوالي 10 kV). عند هذه القيمة يكون عدد كبير من جزيئات الغاز قد اصبح متأينا. التوصيلة للغاز تزداد وتتسارع الإلكترونات إلى سرعات عالية ولذا يمكن أن تنقل ما يكفي من الطاقة لتأيين المزيد من الجزيئات عن طريق الاصطدامات. وهكذا كلما زاد التيار، فان مقاومة الغاز تنخفض والجهد المطلوب للحفاظ على التفريغ يقل فعلا مع زيادة التيار (منطقة C في الشكل). وعند هذه الحالة تدعى مقاومة الغاز بالمقاومة السلبية. إنَّ التيار سوف يستمر في الزيادة، خلال المنطقة D (أمبير) لآلاف الأمبيرات (منطقة E)، مع أقل وأقل للجهد اللازم للاستمرار. وهكذا، فإن التيار يجب أن يكون محدود من طريق إدخال المقاومة الإيجابية في الدائرة. وهذه المقاومة الإيجابية يجب إنْ تكون ضمن حدود مقبولة.



شكل (5-14): منحنى التيار- الجهد لمنحنى التفريغ الكهربائي للغاز

ان متطلبات التصميم الدقيقة لمجهزات القدرة لليزرات الغازية تستند على خصائص منحني خليط الغاز الذي يتم تهيجه كما في الشكل (5-14)، هنالك ثلاثة عناصر أساسية تستعمل في تصميم جميع مجهزات القدرة لليزرات الغازية: العنصر الاول دائرة البادئ او الإشعال (Starter or Ignition Circuit)، والعنصر الثاني مجهز التشغيل (Operating Supply)، والعنصر الثالث محدد التيار (Current-Limiting) كما مبين في الشكل (5-15).



شكل (5-15) مخطط كتلي يوضح التركيب العام لمجهز القدرة لليزرات الغازية

• دائرة الباديء او الاشعال: في هذا الجزء من مجهزات القدرة يتم توفير نبضة الجهد الأولي (Initial Voltage Pulse). يجب أن تتجاوز قيمتها ذروة نبض جهد انهيار الغاز. إذ تساق النبضة المتولدة في الغاز من النقطة (B) وإلى المنطقة (C).

• مجهزات التشغيل: أما في هذا الجزء فيوفر تدفق التيار المستمر خلال خليط الغاز، بعد أن اوصلت دائرة البادئ الى المنطقة (C). يجب أن يعمل مجهز القدرة بالجهد المناسب والعمل بقيمة للتيار معينة لسريانه خلال الغاز.

• محدد التيار: وهذا الجزء يحد من التيار خلال الغاز إلى القيمة المطلوبة، ويحظر الزيادة غير المحدوده من التيار. وعادة ما يأخذ شكل المقاومة الموازنة (Ballast Resistor) على التوالي مع انبوب التفريغ. لذلك يجب على المصمم ان يختار مقاومة ذات معامل حراري عالٍ. كذلك تقوم هذه المقاومة بحماية مجهز القدرة وأنبوب التفريغ من التيار العالي المار في الدائرة وذلك بسبب تغيير مقاومة المزيج الغازي.

شكل (5-16): يوضح صورة لمجهز القدرة مع المقاومة مع الانبوب الليزري

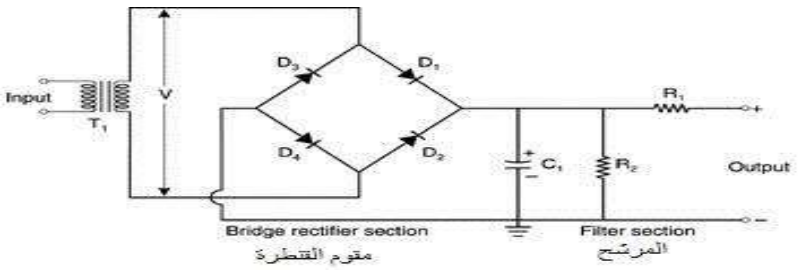
من جهة اخرى يتم تشغيل العديد من أجهزة ليزر الغاز مثل CO_2 وبخار المعادن، والإكسايمر بنمط نابض او نبضي Pulsed Mode. إنَّ في هذه الليزرات تواجه المصممين مشاكل أكبر في تصميم مجهزات القدرة بسبب ان المقاومة الناتجة من الغاز تغير بسرعة خلال نبضة الليزر. اي ان المقاومة الكهربائية للغاز تتغير على مدى واسع جدا. إذ ينهار (Breakdown) هذا الغاز ويبدأ بالتفريغ، إذ تنخفض المقاومة الكهربائية بسرعة. يصبح من الصعب السيطرة على التيار بسرعة كافية. ومن هذه المقدمة يمكن أنْ نعد مجهزات القدرة لليزرات الغازية تقسم على نوعين هي: مجهزات القدرة المستمرة والنبضية.

A. صيانة مجهزات القدرة المستمر

تسمى الليزرات التي تستعمل بها هذا النوع من مجهزات القدرة بليزرات ذات التهيج بالتيار المستمر او ذات النمط التشغيلي المستمر يتم تجهيز القدرة الكهربائية للأنبوب الليزري من طريق زوج أو أكثر من أقطاب التفريغ المثبتة عند نهايتيه وبذلك يتم تهيج الوسط الفعال طوليا وتعد هذا التقنية من أقدم الطرائق المستعملة للتهيج ونستطيع من خلالها الحصول على أستقرارية عالية للتفريغ الكهربائي ومقدار عالٍ من الفولطية ويتطلب الأمر مجهزات قدرة كهربائية ذات فولطية مستمرة عالية تزيد عن (10kv) اعتمادا" على المسافة الفاصلة بين تلك الأقطاب وضغط خليط الغازات.

مثال على هكذا مجهزات قدرة هو مقـــــوم القنـــطرة (The Rectifier Bridge) كما هو مبـيـــن في الشكل (5-16). وهذا هو مقوم موجة كاملة مع مرشح RC (Filter) للتخفيف من التذبذبات في الجهد المسلط وجعلها اكثر مشابهة بالتيار المستمر (DC). يعني مصطلح موجة كاملة وهو أن تستعمل كلا من النصف الموجب والسالب للدورة التيار المتناوب المراد تقويمه، في مقابل ذلك من مقوم نصف موجة، والذي يستعمل واحد فقط من الدورة الموجب والسالبة. ان مقوم الموجة الكاملة يتطلب أكثر من مكونات مما يمكن أن يتوافر في مقوم نصف الموجة، ولكن وقت التفريغ الكهربائي للمكثف C_1 هو أقصر من نصف موجة تقويم. بالتالي فإن مجهزات القدرة ذات تقويم الموجة الكاملة لها تموج أقل من مجهزات القدرة ذات التقويم نصف الموجة.

T_1: 120 to 3000 V
C_1: 1 μ F, 5000 V DC
R_1: 100 kΩ , 10 W
R_2: 5 MΩ , 5 W
D_{1-4}: 5000 PIV



الشكل (5-17): مجهز قدرة ذو تقويم موجة كاملة بتيار مستمر

في موحد الموجة الكاملة، عند نهاية العلوي من المحولة T_1 تكون الفولطية موجبة يتدفق التيار عبر الصمامات الثنائية D_1 و D_4. هذا بدوره سيشحن المكثف C_1 إلى ذروة القيمة من الجهد V للمحولة. عندما يكون الطرف الأدنى من المحولة T_1 تكون الفولطية موجبة يتدفق التيار عبر الصمامات الثنائية D_2 و D_3. هذه أيضا سيشحن المكثف C_1 إلى الجهد V. المقاومة R_1 هي مقاومة الموازنة، ولكنها تعمل أيضا كعنصر في المرشح RC. قيمة R_1 قد تكون متغيرة لضبط تيار الأنبوب إلى القيمة المطلوبة. مقاومة الاستنزاف Bleeder Resistor R2 تسمح للشحن بالاستنزاف من المكثف C1

عندما يتم اطفاء او قطع التيار الكهربائي. إنَّ القيم المعطاة لمكونات الدائرة الالكترونية في الشكل (5-17) هي نموذجية لعملية تشغيل ليزر الهيليوم نيون بطول أنبوب حوالي 40 cm. للحصول على قيم معينة، فإن الثابت الزمني لمرشح الدائرة يكون حوالي 0.1 ثانية، وهو وقت أطول بكثير من فترة خط الجهد في محطات المحولات الأولية. وهكذا فإن الجهد الناتج سيكون ثابت نسبيا، مع تموج قليلا.

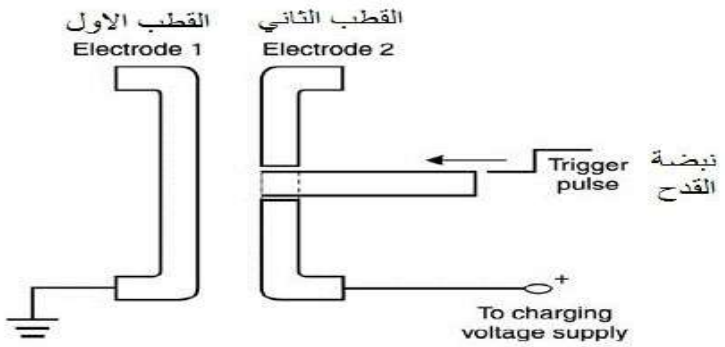
B. صيانة مجهزات القدرة النبضي

هنالك الكثير من الليزرات الغازية تعمل بشكل مستمر. بعد بدء التشغيل، لاتحتاج لنبضة عالية للجهد. ونحن الآن ننتقل إلى مناقشة مجهزات القدرة لليزرات الغاز التي كثيرا ما يتم عملها بنمط نبضي، يستعمل في هذا النوع من التهيج مجهز قدرة بفولطية خرج متناوبة بتردد يتراوح (50-60 Hz) ذو فولطية عالية وتيار قليل اعتمادا على الضغط والمسافة بين الأقطاب، ويكون التفريغ فيه على شكل سلسلة من الفترات القصيرة التي تنطفئ لاكثر من نصف دورة. ويتشابه هذا النوع من التهيج بالتهيج المستمر من حيث تآكل أقطابه وتحلل الغاز فيه واحتياجه إلى مصدر قدرة كبير الحجم وعالي الفولطية. حيث توجد حاجة لوجود مدة او امد قصير لنبضات ذات الجهد العالي. تمهيدا لمناقشة هذه النوع، يجب علينا أولا وصف لتصميم عناصر التحويل (Switching Elements) ذات الجهد العالي التي غالبا ما يتم توظيفها مع ليزرات الغاز النبضية. وهنالك نوعان من مفاتيح عالية الجهد (High-Voltage Switches) التي سنقوم بشرحها هي فجوات الشرارة (Spark Gaps) والثايريترون Thyratrons. هذان النوعان من المفاتيح عادة تستعمل مع ليزر الغاز. في بعض الحالات وقد استعملت أنواع أخرى من المفاتيح ذات الجهد العالي، بما في ذلك مفاتيح الحالة الصلبة (Solid-State Switches).

إنَّ فجوة الشرارة هو جهاز بسيط من الناحية النظرية. وهو يتألف من قطبين مفصولة بمواد عازلة. يمكن أن تكون هذه المواد غازات، او مواد صلبة، أو سائلة، ولكن الغاز هو المادة الأكثر استعمالاً وهو ايضا موضوع مناقشتنا لذا سنعد فجوات الشرارة مملوءة بالغاز. يتم تسليط الجهد عبر فجوة الشرارة، أي أقل من جهد انهيار للغاز. بعد ذلك يتم تسليط نبضة القدح وتنهار مقاومة الغاز. غالبا ما يتألف القدح بكل بساطة من تسليط الجهد الزائد لحظة بين الأقطاب. ثم تنهار مقاومة الغاز ويتدفق التيار عبر الفجوة.

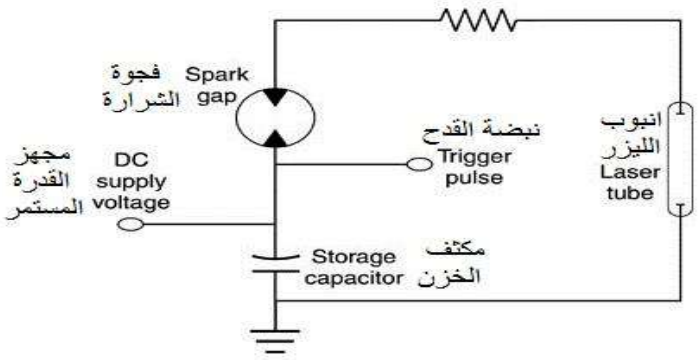
إنَّ انهيار الجهد المطلوب داخل الانبوب يعتمد على طبيعة الغاز، وضغطه، وشكله والمسافة الفاصلة بين الأقطاب. كما إنَّ للأقطاب الكهربائية المستوية المتباعدة بسنتيمتر واحد، وبصرف النظر عن إنَّ ضغط الغاز هو واحد جو، سيكون انهيار الجهد هو 1.3 kvكيلو فولط للنيون، 3.4 kvكيلو فولط للأركون، و 12 kvكيلو فولط للهيدروجين، 22.8 kvكيلو فولط للنيتروجين، و23 kvكيلو فولط للهواء. ويمكن تخفيض هذه القيم باستعمال الأقطاب المدببة.

يظهر في الشكل (5-18) احد الاشكال الممكنه لتكوين الاقطاب الكهربائية الموجودة في فجوة الشرارة. يتم تسليط الجهد بين الأقطاب. عند وصول نبضة القدح على قطب القدح، إذ يتجاوز الجهد جهد الانهيار عبر الغاز والغاز بين الأقطاب لينهار ويصبح الغاز موصلاً. علينا أن نلاحظ أن فجوة الشرارة يمكن أن تستعمل في قطبية معاكسة أيضاً.



شكل (5-18): رسم تخطيطي لبنية أحد أنواع فجوة الشرارة. القطب الثاني هو على هيئة حلقة مع وجود ثقب في الوسط.

إنَّ فجوات الشرارة عادة ما يتم توظيفها كمفاتيح اغلاق ذو جهد عالٍ. يظهر في الشكل (5-19) الاستعمال الأمثل لإحداث تفريغ نبضي في أنبوب ليزر الغاز. يتم شحن مكثف التخزين إلى جهد فوق جهد الانهيار لانبوب الليزر، ولكن يتم عزل الأنبوب من فجوة الشرارة. عندما تقدح فجوة الشرارة، فإنَّ أنبوب الليزر هو في حالة الجهد الزائد وينهار. مكثف تخزين الطاقة يتفرغ كهربائيا خلال الأنبوب، فتنتج بعد ذلك نبضة تحتوي على ضوء الليزر.



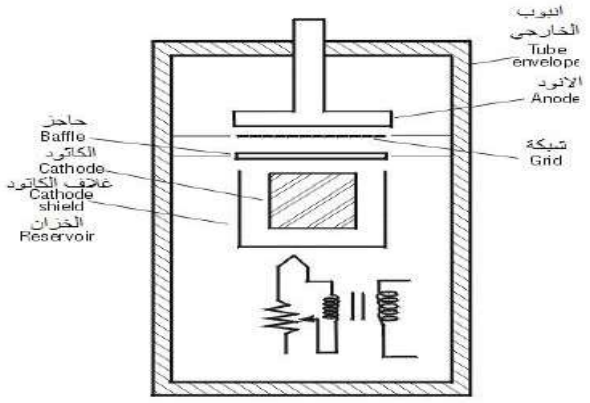
شكل (5-19): يوضح دائرة التفريغ النبضي في انبوب الليزر الغازي باستخدام فجوة الشرارة

يجب إزالة الجهد الكهربائي المسلط من فجوة الشرارة لاستعادة الفجوة إلى حالتها المفتوحة. إنَّ وقت الاستعادة يعتمد على طبيعة وضغط الغاز وعلى الشكل الهندسي لهذه الفجوة. إذ يمكن أن يجعله المصمم طويلا مثل مللي ثانية. ولذا فإنَّ فجوات الشرارة عادة لا يستعملها المصممون عندما يتطلب الامر نبضة ذات ارتفاع لمعدل-تكراري نبضي.

أما النوع الثاني فهو الثايريترون، اذ توفر أنابيب الثايريترون خصائص أداء أعلى من فجوات الشرارة، ولكن هي أكثر تكلفة ايضاً. والثايريترون بشكل عام هو أنبوب تفريغ غازي له عناصر عدة ذو كاثود ساخن. يتم تصنيعها من أنابيب زجاجية أو سيراميكية، كما انّهُ يحتوي على أنودات معدنية، حيث تكون واحدة أو أكثر على شكل شبكات. تسيطر شبكة الانودات على بداية التيار المستمر حتى يتسنى للأنبوب تأثير القدح. تملأ جميع انابيب الثايريترون بالهيدروجين أو الديوتيريوم تحت ضغط منخفض.

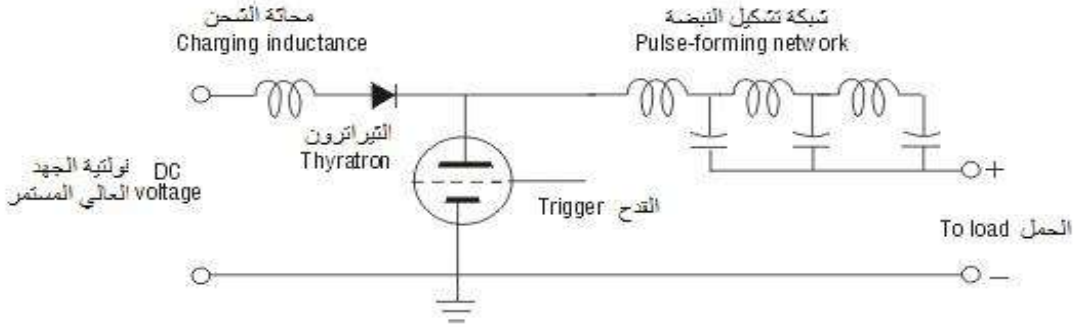
وغالبا ما تستعمل الثايريترونات في النماذج الليزرية الاولى والقديمة. ومعظمها تم استبدالها بمفاتيح الحالة الصلبة التي توفر عمر أطول، ولكن ربما لا تزال كثير من الثايريترونات في الليزرات القديمة.

يبين الشكل (5-20) البنية الداخلية الانموذجية المبسطة لثايريترون. يصنع الأنود في العادة من النحاس أو موليبدينوم والكاثود من التنكستن المطلي لزيادة الانبعاثات من الالكترونات. يقع خلف الشبكة حاجز كدرع للشبكة من الإلكترونات الشاردة المنبعثة من كاثود. وهنالك خزان (Reservoir) كما هو مبين يحتوي على مادة مثل هيدريد التيتانيوم. عندما يتم تسخين الخزان فإنها تصنع ضغط للبخار توازن فيه الهيدروجين. وهذا أمر ضروري لأنه يمتص الهيدروجين بوساطة أنبوب والأقطاب.



شكل (5-20): الرسم التخطيطي النموذجي للثيراترون

يجب ان يهدف تصميم الدائرة الالكترونية لمجهزة القدرة بوصفها دائرة نبضية بحيث تكون اجزاءها مطابقة للممانعة الناتجة من الحمل ذلك يجب ان يراعى من قبل المصمم لكونه مهم. ويوضح الشكل (5-21) شبكة من المكثفات والمحاثات في الجزء الخاص بالتفريغ من الدائرة لتشكيل النبضة اللازمة. إذ يحدد التيار الكهربائي بسبب الحث. لذا تم تصميم هذه الشبكة من المكثفات والمحاثات لتشكيل نبضة لتحسين كفاءة الدائرة بتجميع الطاقة كلها في الحمل. فضلا عن ذلك، لتوفير الشحن الرنيني داخل انبوب الليزر وذلك بارتفاع لمعدل نبضة التكرار، يتم إدخال الحث الشحن.



شكل (5-21): دائرة مجهز القدرة النبضي يستخدم الثايريترون القادح

بعد أن تجرى النبضة داخل الأنبوب ينخفض التيار إلى الصفر، فتبدأ الإلكترونات والأيونات في الثايريترون بالاتحاد بسرعة وجعل الجهاز متعادل كهربائيا. بعد ذلك فانها تكون مستعدة لتسليط جهد عالٍ آخر.

تكون الثايريترونات المليئة بالهيدروجين لديها أوقات للاسترداد أقصر من الأجهزة المليئة بالديوتيريوم، ولكن يوفر الديوتيريوم استرخاء أعلى للجهد. إنَّ الثايريترونات قادرة على التحول والتبديل بمعدلات أكبر من 20 kh كيلوهرتز. ويكون لها تشويه قصير جدا، ربما 1-2 ncنانوثانية، بالمقارنة مع التشويه

20 ncنانوثانية بفجوات الشرارة. لذا يفضل الثارترونات على فجوات الشرارة عندما يتطلب دقة عالية بزمن النبضة. إلاّ إنّها أكثر تكلفة من فجوات الشرارة.
كلا من الثايريترونات وفجوات الشرارة كثيرا ما تستعمل للتبديل والتحويل بالتشغيل والاطفاء السريع لمجهزات القدرة المشغلة لليزرات الغازية النبضية.

7-5 العوامل المؤثرة في التصميم على قدرة الخرج الليزري

تعد قدرة الخرج الليزري من الأمور المهمة في تصميم ليزرات الغاز إذ تتحدد قيمتها بمختلف التطبيقات لليزرات لذا فهنالك عوامل عدة يجب مراعاتها في التصميم هي كما يأتي:

1. **<u>طول أنبوب التفريغ</u>**: إنَّ استخدام أنابيب بأطوال تزيد عن (5 m) تساعد في زيادة قدرة الخرج الليزري لعدة مئات من الواط اذا كان بالتشغيل المستمر. إنَّ الزيادة في طول أنبوب التفريغ تتحدد بزيادة القدرة المجهزة والتي تحدد انتظام التفريغ على طول الأنبوب. يمثل طول أنبوب التفريغ الكهربائي طول الوسط الفعال في الليزرات الغازية وبالإمكان زيادة طول أنبوب التفريغ للحصول على ربحية عالية لليزر إذ تتناسب الربحية مع طول الوسط الفعال بشكل لوغاريتمي وحسب العلاقة الآتية.

$$G=\exp(gL_a) \quad \text{.....(2-5)}$$

إذ إنَّ : G= ربح القدرة(w)

g= الربح لوحدة الطول (cm^{-1}).

L_a= طول الوسط الفعال (cm).

2. **<u>قطر أنبوب التفريغ</u>:** إن زيادة قطر أنبوب التفريغ يؤدي إلى نقصان القدرة الليزرية الخارجة إذْ تسبب زيادته قلة تصادم الجزيئات المارة مع جدار الأنبوب المبرد بسبب بعده عن مركز الوسط الفعال وبذلك تقل كفاءة التبريد لهذه الجزيئات، كذلك عندما يكون طول الوسط الفعال صغيراً فإنَّ القطر الكبير سوف يؤدي إلى تعزيز الأنماط المستعرضة (TEM) ذات الرتب العالية، لذا يحبذ استعمال أنابيب ذات أقطار صغيرة لتقليل خسائر الحيود إلى اقل حد ممكن والذي يسمح بالعمل في النمط الأساس ذي المرتبة الصغرى (TEM_{00}).
إنَّ قطر أنبوب التفريغ له تأثير على القيمة المثلى لتيار التفريغ والذي يعتمد بدوره على ضغط الغاز إذ إنَّ القيمة الكبيرة للقطر تعطي قيمة كبيرة للتيار الأمثل وهذا يؤدي الى قيمة صغيرة للضغط الأمثل.
3. **<u>ضغط الغاز</u>:** يعد الضغط عاملا مهماً في زيادة القدرة الخارجة داخل الوسط الفعال، ويحدد ضغط الغاز كثافة جزيئات الوسط الفعال داخل أنبوب التفريغ، وبالتالي يحدد مقدار فولطية التفريغ اللازمة لضخ هذه الجزيئات. إن العلاقة بين الضغط والقدرة تكمن انه بزيادة الضغط تزداد عدد الجزيئات المتهيجة لأحداث الفعل الليزري. وإن لكل تقنية هناك حدود للضغط المستخدم ففي الليزرات الطولية يكون الضغط واطيء بحدود(torr 50-20)، ولكن في الليزرات المستعرضة قد يصل الضغط إلى أكثر من (15 atm).

4. **<u>مكونات ونسب الخليط الغازي</u>:** إنَّ نسب الخليط الغازي له تأثير كبير على قدرة الخرج الليزري. قد أثبتت الدراسات إنَّ بالإمكان الحصول على اعظم قدرة خرج ليزري بتغييرها واضافة غازات الى الغاز الفعال، كذلك فان لكل غاز تأثير معين على قدرة الخرج الليزري فمثلا يعمل النيتروجين الموجود في خلطة ليزر CO_2 يعمل كمستودع للطاقة فينقلها إلى المستوي (001)، فيما يعمل الهيليوم في الليزر نفسه على المساعدة في عملية تبريد الوسط الفعال ومجانسة التفريغ الكهربائي، كذلك تشكل مكونات الخلطة الغازية دورا مهماً في إبقاء الليزر يعمل لأطول فترة ممكنة قبل تفكك جزيئاته بفعل طاقة التفريغ الكهربائي. وذلك لان جزيئات الغاز الاساس لها معامل تفكك (□/p) (Dissociation Coefficient) والذي يكون دالة لزمن بقاء الغاز داخل أنبوب التفريغ وكذلك دالة لنسبة المجال الكهربائي المسلط إلى ضغط الغاز الكلي (E/P) ويمكن حساب معامل التفكك لجزيئة CO_2 بالمعادلة الآتية:

$$\left(\frac{\alpha}{P}\right)_{E/N} = 3.6\times10^{16}\frac{eA}{tI}\ln\frac{[CO_2]_\circ}{[CO_2]_1} \qquad \text{.....(3-5)}$$

اذ إن:

e شحنة الإلكترون، A مساحة المقطع العرضي لأنبوب التفريغ، I تيار التفريغ و t زمن بقاء الغاز داخل إنبوب التفريغ.

5. **<u>تيار التفريغ</u>**: إنَّ تيار التفريغ الكهربائي يحدد معدل ضخ جزيئات الغاز (التوزيع المعكوس) في أنبوب التفريغ عن طريق التهيج الإلكتروني المباشر كذلك تهييج المستويات الاهتزازية للجزيئة. كما إن قدرة الخرج الليزري تعتمد على تيار التفريغ والذي يعتمد بدوره على ضغط الغاز، إن الزيادة في قيمة التيار للحدود المثلى للعمل تسبب زيادة في الربح وقدرة الخرج الليزري. وزيادة التيار عن القيمة المثلى تؤدي إلى زيادة درجة حرارة الغاز فتؤدي إلى تقليل الربح، لذا يتطلب الأمر زيادة في سرعة جريان الغاز داخل الأنبوب كذلك تبريد الوسط الفعال بشكل كفوء.
6. **<u>درجة حرارة أنبوب التفريغ</u>:** كما أوضحنا في أساليب التبريد إن استعمال الماء في تبريد جدران أنبوب التفريغ يقلل من درجة حرارة الغاز. وإن عملية التبريد هذه تزيد من قدرة الخرج الليزري من خلال تقليل الاسترخاء الحراري للمستوى الليزري العلوي.

إنَّ عملية التبريد تعتمد على نوع الجريان، فمثلا في ليزرات CO_2 ذات الجريان البطئ يكون للتبريد عند الجدران تأثير واضح على أداء الليزر، أما في الليزرات ذات الجريان السريع فان الحرارة المتولدة في منطقة التفريغ يتم التخلص منها من طريق حركة الغاز نفسه. إذ إنَّ زمن انتشار هذه الحرارة إلى جدران الأنبوب أطول بكثير من زمن عبور الغاز لقناة التفريغ، لذلك من الضروري إجراء موازنة بين سرع جريان الغاز ودرجة حرارة ماء التبريد.

7. **<u>معدل جريان الغاز</u>**: يعرف معدل جريان الغاز بأنه كمية المائع المتدفق لوحدة الزمن عبر مساحة مقطع معين. وان زيادة معدل جريان الغاز له تأثير مهم جدا على زيادة قدرة الخرج الليزري، وقد وجد إن أعلى قدرة يمكن الحصول عليها عندما تكون سرعة الجريان بمقدار يجعل الغاز يتبدل بمعدل (مائة) مرة في الدقيقة. أما عندما تكون نسب جريان الغاز أكثر من (مائة) مرة في الدقيقة فان القدرة الخارجة تتعزز بوساطة التبريد بالحمل عن التبريد بالانتشار في تبريد الوسط الفعال. فكلما زادت سرعة الجريان سوف يتم نقل الحرارة المتولدة في حجرة التفريغ بكفاءة افضل إلى خارج منطقة التفريغ وذلك بسبب رفع كمية الحجم المتدفق للغاز في وحدة الزمن.

8. **<u>نوع التهيج:</u>** هناك طرق عدة لتهيج الوسط الفعال منها التهيج الطولي وأخرى التهيج المستعرض وفي الحالتين يمكن الحصول على قدرة خرج ليزري بشكل مستمر أو نبضي، كذلك من الممكن تشغيل المنظومات في كلا الحالتين بالضغوط الواطئة (تحت الضغط الجوي) أو بضغوط عالية تصل إلى ضغوط جوية عدة.

اسئلة الفصل

س1: ما الفرق بين تصميم منظومة ليزر الغاز ذي الجريان الطولي السريع والبطيء؟ واي منهما افضل؟

س2: ما فائدة العوامل المساعدة المستعملة في تصميم منظومات الليزر الغازي ذي الجريان السريع؟

س3: ما العلاقة التي تربط بين فولطية الانهيار وفولطية التشغيل والمسافة بين الاقطاب؟

س4: بماذا تتميز ليزرات التهيج المستعرض عن ليزرات التهيج الطولي؟

س5: ما هي العوامل المؤثرة في التصميم على قدرة الخرج الليزري بالنسبة لليزرات الغازية؟

س6: ماذا يقصد بالليزر الغازي المختوم؟ وما هي اهمية هذا النوع من الليزرات؟

س7: ما هي العناصر الاساسية لجميع مجهزات القدرة لليزرات الغازية واشرح واحدة؟

س8: علل ما يأتي:

1- لماذا تعد تقنية التبريد المستعرض اكفأ من الطولي؟
2- لماذا الفولطية التي تحتاجها منظومات التهيج المستعرض قليلة نسبيا؟
3- لماذا تحتاج منظومة الليزر الغازية للجريان بالحجرة؟
4- لماذا المجال المسلط يكون موازياً لاتجاه جريان الغاز؟
5- لماذا نربط مقاومة على التوالي في مجهزات القدرة لليزرات الغازية؟

س9: ضع علامة صح او خطأ ثم صحح الخطأ:

1- إنَّ الليزرات الغازية تغطي الطيف الضوئي كله، من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء البعيدة.
2- يتم الحصول على قدرات واطئة في المنظومات ذات الجريان السريع.
3- لاتحتاج ليزرات الحالة الغازية ذات الجريان المستعرض الى فولطيات عالية.
4- إمكانية تصميم وتصنيع ليزر الجريان الطولي كمنظومة قابلة للحمل وذات حجم صغير.
5- يعتمد شكل وحجم القطب على نوع الوسط الغازي والقدرة الليزرية الخارجة ونمط ونوع التشغيل للمنظومة الليزرية.

س10: املأ الفراغات التالية:

1- يمكن تشغيل الليزرات الغازية بنمطين .....و .....

2- تقسم الليزرات الغازية وفق طبيعة الوسط الفعال على أقسام عدة .....

و.....و.....

3- تمتاز منظومات ليزرات ذات الجريان الطولي بإن المجال الكهربائي المسلط يكون

.....

4- تقسم ليزرات الجريان الطولي وفق سرعة الجريان على ..... و..... .

5- تحدث تبادل الطاقة بين جسيمات الغاز (الايونات والالكترونات) والاقطاب بشكل رئيس من طريق ..... والتي تؤدي الى .....

6-إنَّ متطلبات التصميم الدقيقة لمجهزات القدرة لليزرات الغازية تستند على .....

7-إنَّ زيادة قطر أنبوب التفريغ يؤدي إلى نقصان .....

س11- مافائدة الاقطاب الكهربائية ؟ وما مدى تاثير ها على عملية انتاج الليزر ؟

س12- وضح الفرق بين التصادم المرن والتصادم غير المرن ؟

س13- ماهي الامور التي يجب الانتباة لها اثناء صيانة الاقطاب الكهربائية ؟

س14- ما المقصود بفجوة الشرارة ؟ ثم وضح ذلك برسم تخطيطي ؟

س15- وضح برسم تخطيطي التفريغ النبضي في انبوب الليزر الغازي باستخدام فجوة الشرارة ؟ مبينا مبدا عملة ؟

س16- اشرح تصميم الثاير يترون ؟ ثم وضوح ذلك برسم تخطيطي ؟

الفصل السادس

صيانة منظومات ليزر الصبغة

Dye Laser Maintenance

الأهداف:

يكون الطالب قادرا على:

- إعطاء فكرة عن صيانة خلايا السائل فضلا عن صيانة منظومات الضخ وكذلك التعرف على صيانة مجهزات القدرة و المنظومات الملحقة بها.

المحتويات:

1-6 مقدمة.
2-6 صيانة خلايا السائل.
3-6 صيانة منظومات ضخ ليزر الصبغة.
4-6 ميكانيكية تهيج ليزر الصبغة.
5-6 صيانة مجهزات القدرة.
6-6 صيانة المنظومات البصرية.
أسئلة ومسائل الفصل.

1-6 مقدمة (Introduction):

يعد ليزر الصبغة احد أنواع الليزرات الشائعة الاستعمال وخاصة في مجال الطب وعلم الأطياف والكيمياء وذلك لما يتمتع به من إمكانية توليف عالية. إذ يمكن توليفه لمدى واسع من الأطوال الموجية حوالي من (250 -1100 nm).

والميزة المهمة التي يتميز بها ليزر الحالة السائلة عن بقية الليزرات بأنه يمكن بوساطته الحصول على مدى واسع من الترددات تمتد من الأشعة الفوق البنفسجية (UV) إلى الأشعة تحت الحمراء (IR) مرورا بالطيف المرئي أي على طول مدى واسع من ترددات الطيف الكهرومغناطيسي مع إنَّ اغلب ليزرات الحالة السائلة تقع ضمن المدى المرئي (Visible) حوالي (400-700 nm)

تعد ليزرات الحالة السائلة خطيرة ويجب اخذ الحذر عند التعامل معها أو عملية بنائها وتصنيعها إذ إنَّ منظوماتها تتضمن فولطيات عالية وقد تحوي على سوائل سامة فضلا عن إشعاعات الليزر التي تكون طاقاتها عالية.

2-6 صيانة خلايا السائل

Maintenance Of Dye Cells

إن صبغات الليزر هي مركبات عضوية ذات تركيب معقد نوعا ما ولها وزن جزيئي عالٍ (عدة مئات) لاحتوائها على سلسلة من ذرات الكاربون المرتبطة بأواصر مزدوجة ومنفردة متعاقبة مع إنَّ كلمة صبغة تعني بالمعنى العام مادة ملونة إلا إنَّ هناك العديد من المواد العضوية المتفلورة عديمة اللون وتستعمل في ليزرات الصبغة.

إنَّ لكل صبغة ليزرية حزمة امتصاص وفلورة خاصة بها فإذا كانت حزمة الفلورة في الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي يبدو إشعاعها بلون معين وان كانت في المنطقة تحت الحمراء أو فوق البنفسجية فيكون إشعاعها غير مرئي.

إنَّ المركبات العضوية التي لا تحوي في تركيبها على أواصر ثنائية أو ثلاثية (مركبات عضوية مشبعة) تمتص عادة الطيف الكهرومغناطيسي الواقع ضمن الأطوال الموجية التي تقل عن (160 nm) أي

ضمن المنطقة فوق البنفسجية من الطيف والتي تقابل فوتون بطاقة (7.24 eV) وهذه الطاقة الضوئية هي أعلى من طاقة تفكك اغلب الأواصر الكيميائية، لذا فان عملية التحلل الضوئي للأواصر تكون سهلة الحصول في مثل هذه المركبات العضوية وعليه فان هذا النوع من المركبات العضوية لا تصلح لان تكون وسطاً فعالاً لأشعة الليزر.

إنَّ اكبر طول موجي تعمل به ليزرات الصبغة يتعدد بالاستقرارية الحرارية للصبغات الموظفة أوساطا فعالة في منظومات الليزر إذ إنَّ الصبغات التي تمتص ضمن المنطقة تحت الحمراء القريبة تمتلك مستويات أحادية منخفضة طاقيا وعلى فرق طاقي قليل جدا بينها وبين المستويات الثلاثية شبه المستقرة. يتم امتصاص مثل هذه الأطوال الموجية بالتهيج الحراري للجزيئات (جزيئات الصبغة) وتتفاعل هذه مع جزيئات المذيب أو جزيئات الأوكسجين المذاب أو الشوائب الموجودة ضمن الوسط الفعال مسببة حصول نواتج تفاعل متحللة ويعطي ثابت التفاعل (K_1) كما بالمعادلة رقم (1):

$$K_1 = A \exp(-Ea / RT) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

اذ ان:

A: ثابت ارنيس (Arrhenius Constant) وقيمته غالبا بين (s^{-1})(10^{10} - 10^{14}).

Ea: طاقة التنشيط (Activation Energy) J/mole.

R: الثابت العام للغازات، قيمته (8.31 J.K/mole).

T: درجة الحرارة المطلقة للمحلول (K).

إنَّ عمر النصف (half – life time) لمحاليل هذه الصبغات هو:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{K_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

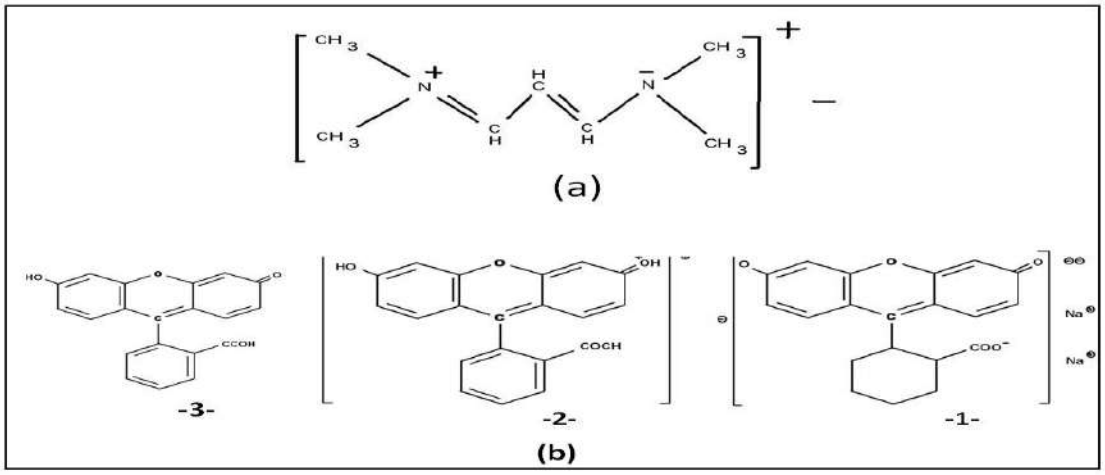
وعلى افتراض إنَّ اقصر عمر فعلي لهذه المحاليل يوم واحد فانه وفق المعادلات أعلاه تكون قيمة طاقة التنشيط (32.28 K J/mol) وهذا يقابل طول موجي قدره (1.2 µm) وطاقة قدرها (1.02 eV) علما إنَّ قيمة الثابت (A =10 s) فان طاقة التنشيط سوف تقابل طول موجي قدره (1.7 µm) أي فوتون بطاقة (0.73 e.V) وهذا يعني إنه ليس من السهل الحصول على صبغة تمتص أشعة عند أطوال موجية اكبر من (1.7 µm) وتبقى مستقرة في المحلول عند درجة حرارة الغرفة.

يعتمد اقصر طول موجي تعمل به منظومات ليزر الصبغة النبضية على امتصاصية الصبغات التي تحوي على أواصر مزدوجة مرافقة والتي تصل امتصاصيتها الطيفية إلى (220 nm) لذا فان انبعاثها سيكون عند المدى الطيفي الذي يفوق (250 nm). ومن الخواص العامة للصبغات أيضا خاصيتها الكهربائية،وتقسم الصبغات العضوية على قسمين: مركبات أيونية (مشحونة)، ومركبات متعادلة كهربائيا (غير مشحونة)، وهذا التقسيم يحدد بصورة رئيسة درجة انصهارها وضغط بخارها وقابلية الإذابة في المحاليل المختلفة وكفاءة الانتقالات التي تحدث بين مستوياتها الطاقية.

تمتاز الصبغات غير المشحونة مثل البيوتلاين وكذلك اغلب المركبات الاروماتية مثل الانثراسين والبيرين والبيربلين والكومارين بدرجة انصهار منخفضة وضغط بخار عالٍ وقابلية ذوبان جيدة في المذيبات غير القطبية مثل البنزين والاوكتان والسايكلوهكسان والكلوروفورم.

أما الصبغات الأيونية فتنقسم على الصبغات الأيونية الموجبة والسالبة، ففي الأولى وهي تشمل صبغات السيانين (هي أملاح تتألف من ايونات موجبة وأخرى سالبة) تكـــون درجة انصهارها عالية وضغط بخارها واطئ وقابلية ذوبانها عالية فـــي المذيبات ذات القطبية العالية مثل الكحول ولها قابلية ذوبان اقل في المذيبات الأقل قطبية. ومثل ذلك يقال علـــــى الصبغات الأيونية السالبة.

كـــما أن هناك صبغات يمكن أن تتواجد في الحالات الثلاث أعلاه (المتعادلة والأيونية الموجبة والأيونية السالبة) معتمدة على درجة حامضية (PH) المحلول مثل الفلورسين، كما موضح في الشكل (6-1).



الشكل (6-1):يوضح

A: التركيب الجزيئي لصبغة سيانين بسيطة (ذات الايون الموجب).

B: التركيب الجزيئي لصبغة الفلورسين في:

1) محلول هيدروكسيد الصوديوم ذي الجذر الثنائي السالب.

2) محلول الكحول المتعادل.

3) محلول حامض الهيدروكلوريك موجب الشحنة.

كذلك تمتاز الصبغات بصورة عامة بمعامل انخماد عالي القيمة وهذا بدوره يمنع اختراق أشعة المصدر الضاخ إلى عمق الصبغة إن كانت في الطور الصلب ويكـون الاختراق سطحيا ولسمك مايكرومترات عدة أي أن المنطقة المثارة من الصبغة تكون رقيقة جدا.

3-6 صيانة منظومات ضخ ليزر ألصبغه

Maintenance Of Systems For Dye Laser

هناك نوعان من الطرائق المستعملة لضخ ليزر الصبغة هما:

1- الضخ النبضي.

2- الضخ المستمر.

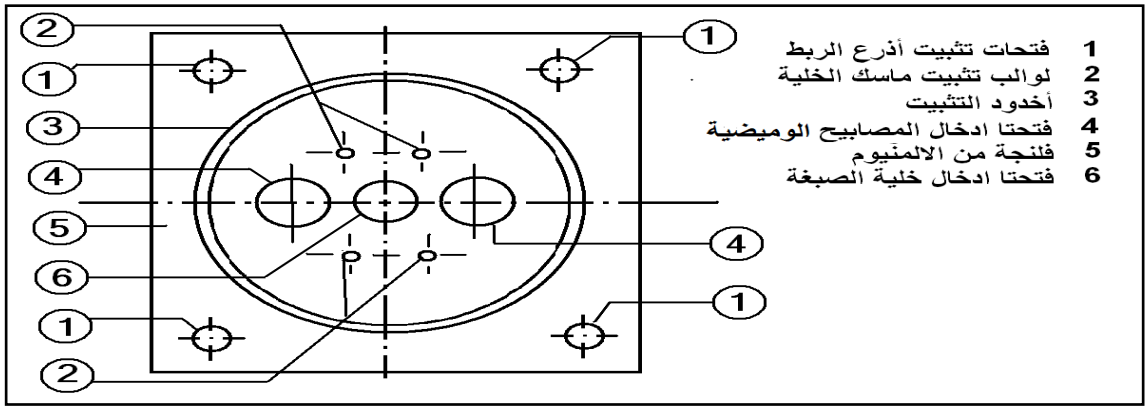
1-3-6 الأجزاء الميكانيكية لمنظومة ضخ ليزر الصبغه(السائل):

تتكون هذه المنظومة من الأجزاء التالية:

1- فلنجة عدد (2) من الألمنيوم وبأبعاد محفور في كـل منهما من الداخل أخدود دائري يستقر فيه العاكس، فضلا عن احتواء كل منهما على فتحة في منتصفها بقطر تستقر فيها خلية الصبغة وتثبت فـــي أعلى هذه الفتحة وأسفلها ماسكات خلية الصبغة والتي تثبت بوساطة أربعة لوالب. كما أنَّ لكل فلنجة فتحتين جانبيتين على طرفي الفتحة المركزية كل منهما بقطر تخترقها المصابيح الوميضية الخطية التي تقع عـــلى جانبي خلية الصبغة، فضلا عن ذلك يتم إدخال الهواء المضغوط من هاتين الفتحتين لتبريد المصابيح الوميضية.

وتوجد في أركانها الأربعة، أربعة ثقوب كل منها بقطرلتثبيت أذرع الربط للمنظومة، كما موضح في الشكل (6-2).

2- أذرع الـــــربط لتثبيت الفلنجات والعاكس بعضها إلى بعض لضمان قوة ربط للمنظومة وعددها (4 اذرع).

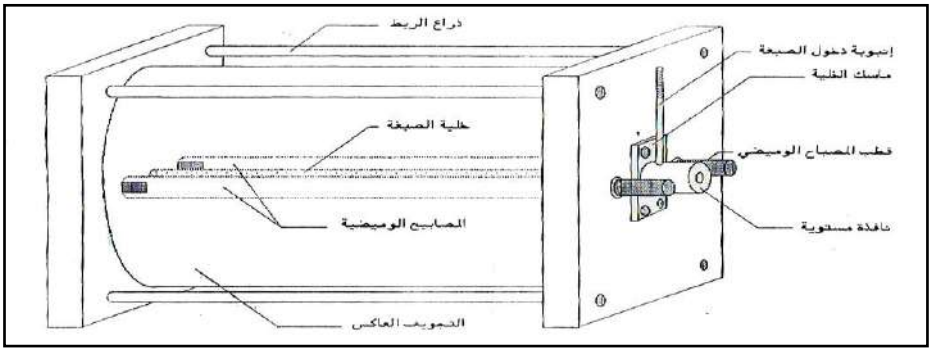


الشكل(6-2): يوضح مقطع عرضي للفلنجة في المنظومة

3- ماسكات الخلية، وهي شفتين من مادة الزجاج البلاستيكي (البيرسبكس) تتيح لنا التحكم في مستوى خلية الصبغة (رفعها أو خفضها) وبالتالي تسهيل عملية الترصيف الضوئي.

4- قطعة كبيرة من الزجاج البلاستيكي تحتوي على ثقوب لتثبيت فجوة الليزر عليها، وتم إجراء التسليك الكهربائي عبرها، وهذا يتيح للباحث في المنظومة الأولي أن يكون بمأمن من التماس الكهربائي وبالتالي يكون جانب الأمان عاليا وبخاصة أن الفولطيات الكهربائية العاملة فيها عالية نسبيا.

5- حوامل مجموعة المرايا والأقطاب وعددها (6). كما موضح في الشكل (6-3).



الشكل (6-3): يوضح منظومة ليزر الصبغة.

الشكل (6-4): يوضح منظومة لليزر الصبغة مصنعة بشكل حرفي وذات إمكانيات بسيطة

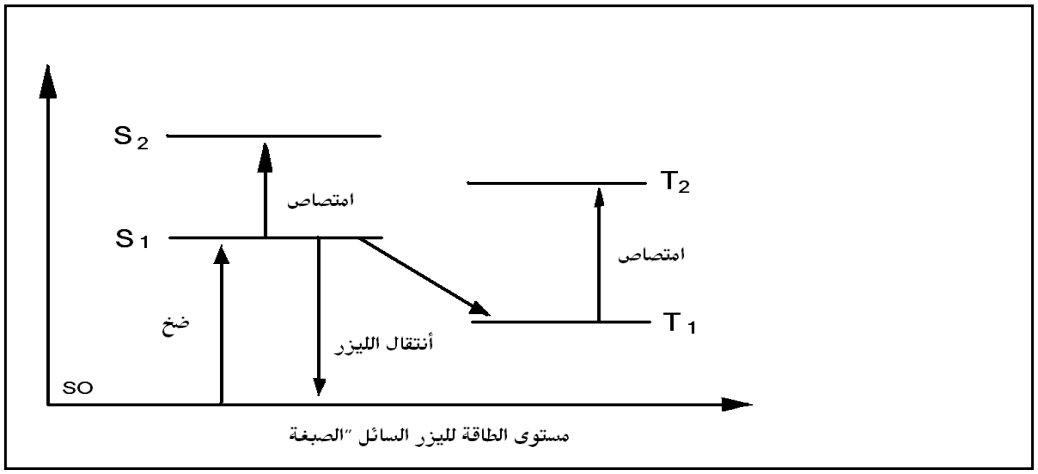
4-6 ميكانيكية تهيج ليزر الصبغة

Mechanical Irritation Of Dye Laser

يتم ضخ ليزرات الصبغة عـادة باستعمال مصباح وميضي أو بوساطة شعاع ليزري آخر بحيث الطول الموجي للضوء الضاخ اقصر من الطول الموجي للشعاع الليزري المطلوب توليده فمثلا للحصول على شعاع الليزر بلون ازرق ينبغي ضخ الوسط الفعال بضوء فوق البنفسجي.

تتكون مستويات الطاقة النموذجية في ليزر الصبغة مـــن نوعين مـن المستويات الالكترونية وهما المستويات الالكترونية الأحادية (Single States) (S_0, S_1, S_2) والمستويات الكترونية ثلاثية (TripletStates) (T_1, T_2) كما هو موضح بالشكل (6-5).

إن لكل مستوى من هذه المستويات يكون على شكل حزمة عريضة تتضمن مستويات اهتزازية ودورانية فعند ضخ الوسط الفعال تنتقل جزيئات الصبغة من المستوى (S_0) إلـــى المستوى الالكتروني المتهيج الأول (S_1) وعند هبوط هذه الجزيئات تحفيزيا إلـــى المستوى المستقر ينبعث شعاع الليزر ومن الجدير بالذكر أن الطول الموجي لشعاع الليزر المنبعث يعتمد بالدرجة الأولى على نقطة بداية هبوط الجزيئات من المستوى(S_1) إلى نقطة استقرار الجزيئات في المستوى (S_0) أي تعتمد علـــى المواقع الاهتزازية والدورانية فـــي المستويين الالكترونيين (S_0 , S_1) وبذلك يمكن توليف ليزر الصبغة بسهولة للحصول عـــلى أطوال موجية مختلفة وضمن مدى واسع نسبيا.



الشكل (6-5): يوضح مستويات الطاقة لليزر السائل (الصبغة)

6-5 صيانة مجهز القدرة

Maintenance Of Power Supply

لغرض توليد فولطية عالية واللازمة لعملية قدح المصابيح الوميضية ومفاتيح الفولطية العالية ولأغراض المنظومة الأخرى، فان هناك حاجة إلى مجهز قدرة ذي كفاءة عالية.

إنَّ مجهز القدرة المستعمل في منظومة ليزر الصبغة واللازم لتشغيل المصباح الوميضي فهو نفسه المستعمل لتشغيل ليزرات الحالة الصلبة والذي تم شرحه ومناقشته في الفصل الرابع بالتفصيل.

6-6 صيانة المنظومات البصرية

Maintenance Of Optical System

إن كفاءة الضخ الضوئي باستعمال المصابيح الوميضية تعتمد على ترتيب فجوة ليزر معينة تحتوي على مصدر الضخ الضوئي وخلية الوسط الفعال، ويراعى في تصميمها تجنب الحرارة غير المنتظمة

(Non – Uniform Heating) لمحلول الصبغة والتي تسبب تغير في خصائص شعاع الليزر.

6-6-1 أجزاء المنظومة البصرية (Parts Of Optical System):

1- العاكس (Reflector):

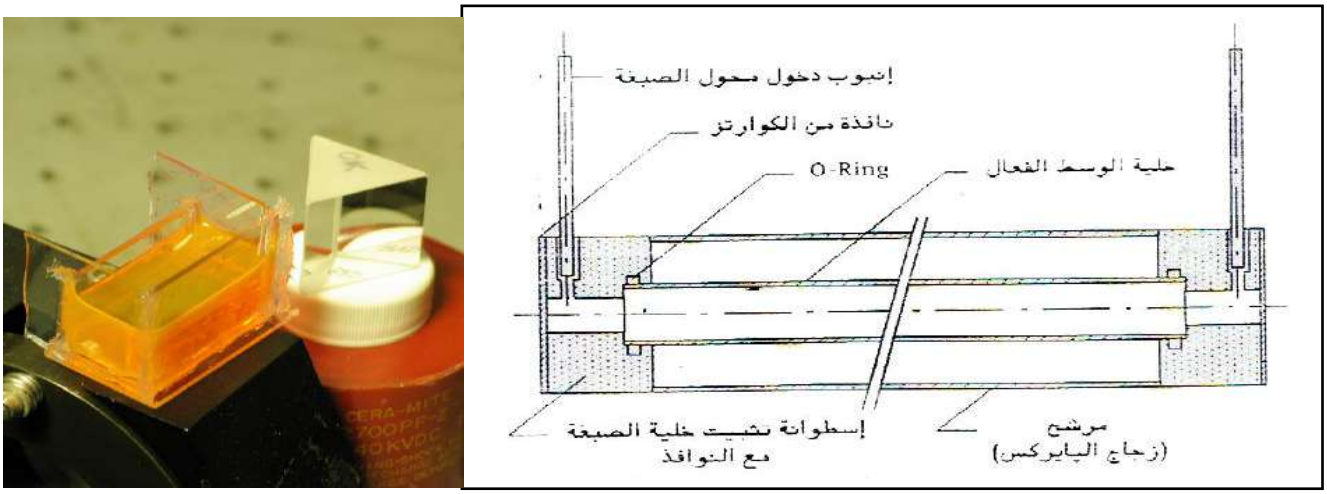
وهو اسطوانة من مادة البيرسبكس مطلية من الداخل بمادة الألمنيوم الذي يمتاز بانعكاسية عالية للأطوال الموجية المرئية المنبعثة من المصباح ألوميضي، والتي تصل إلى حوالي (92 %) لضمان اكبر استفادة ممكنة من طاقة الضخ الضوئي.

2- خلية الصبغة (Dye Cell):

وهي زوج من الاسطوانات الزجاجية متحدة المركز، أحداهما من الكوارتز والتي يجري فيها سائل الصبغةأما الثانية فهي اسطوانة من زجاج البايركس الذي يعمل كمرشح يمنع وصول الأشعة فوق البنفسجية إلى الوسط الفعال،مثبتة على نهاية خلية الصبغة اسطوانة من الألمنيوم تعمل على ربط خلية الصبغة بالنافذة المصنوعة من مادة الكوارتز ويتم الربط بين الخلية وهذه الاسطوانة بوساطة

الحلقة المطاطية (0 – Ring) الموجودة داخل الاسطوانة دون الحاجة إلى لصقها مما يضمن سهولة وفتح وربط الخلية.

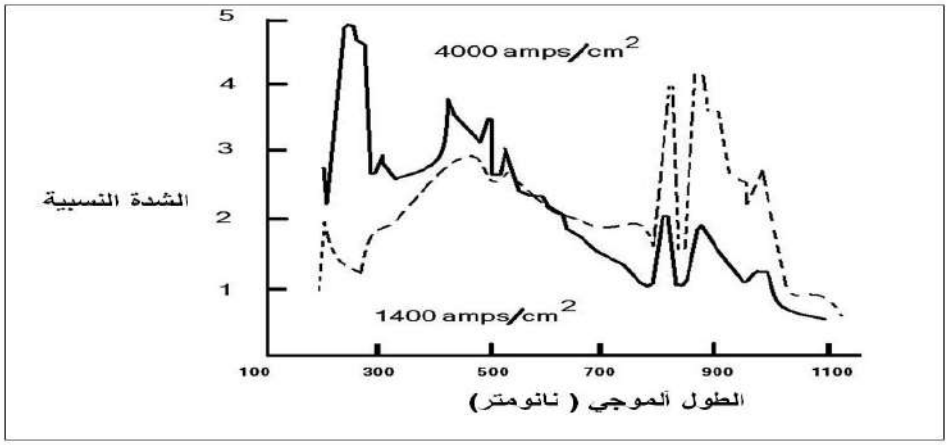
إن للاسطوانة المصنعة مـــن الألمنيوم فتحة عليا لغرض دخول الصبغة لأجل تدويرها وتبريدها خارجيا، تثبت هذه الاسطوانة بوساطة ماسكات في الوجه الأمامي للمنظومة، وكما موضح في الشكل (6-6).



الشكل (6-6): يوضح خلية الصبغة و المرشح المثبت عليها مع اسطوانة تثبيت الخلية مع النوافذ وخلية الليزر الصبغة مبسطة

3- المصباح الوميضي الخطي (The Linear Pulsed Lamp):

يعد غاز الزينون مـــن أفضل الغازات الخاملة المستعملة فـــي ملأ المصابيح الوميضية من حيث كفاءته في تحويل الطاقة الكهربائية الداخلة إلى طاقة ضوئية خـــــارجة. وتتـــراوح كفاءة تحويله فـــي الظروف التشغيلية المثالية بيـــن (25 - 60 %)، وتزداد كفاءته بزيادة كثافة التيار (Current Density) ويوضح الشكل (7-6) اعتماد شـــدة المدى الطيفي لخرج المصباح ألوميضي على كثافة التيار.



الشكل (6-7) يوضح طيف انبعاث مصباح الزينون الوميضي كدالة لكثافة تيار التشغيل

لقد استخدم مصباح الزينون الوميضي الخطي الموضح في الشكل (8-6) لضخ الـوسط الفعال لاحتواء طيف انبعاثه على نطاق الحزمة الضوئية الملائمة لضخ الوسط الفعال الليزري من (570 nm - 450) بـالنسبة لصبغة الرودامين (R6G).

الشكل (8-6): يوضح المصباح الوميضي الخطي المستخدم في المنظومة

4- المرنان (Resonater):

يتكون المرنان البصري (Optical Resonator) في المنظومة من مرآتين مثلا أحداهما عاكسة كليا مقعرة والثانية مستوية للأطوال الموجية

. ويمتاز هذا النوع مـــن المرنانات باستقرارية عالية وسهولة ترصيفه

أسئلة الفصل السادس

س1 - ضع علامة صح حول الإجابة الصحيحة:

1- الطول الموجي للضوء الضاخ:

a- أقصر من الطول الموجي للشعاع الليزري الناتج.

b- أطول من الطول الموجي للشعاع الليزري الناتج.

c- مساوي للطول الموجي للشعاع الليزري الناتج.

2- اغلب ليزرات الحالة السائلة تقع ضمن المدى المرئي:

a- (400 - 700 nm).

b- (320 - 400 nm).

c- (700 – 500 nm).

4- يمتد ليزر الحالة السائلة على طول مدى واسع من ترددات:

a- الطيف الكهربائي.

b- الطيف الكهرومغناطيسي.

c- الطيف المغناطيسي.

5- تقسم الصبغات العضوية الموظفة أوساطا فعالة على:

a- مركبات أيونية (مشحونة).

b- مركبات متعادلة كهربائيا (غير مشحونة).

c- مركبات أيونية (مشحونة)، ومركبات متعادلة كهربائيا (غير مشحونة).

6- تعتمد شدة المدى الطيفي لخرج المصباح الوميضي على:

a- طول المصباح.

b- كثافة التيار.

c- قيمة الفولتية المسلطة على طرفي اقطاب المصباح.

س2- عدد الأجزاء الميكانيكية لمنظومة ضخ ليزر الصبغة (السائل)؟

س3- ما هي مستويات الطاقة في ليزر الصبغة ،وضح ذلك بالرسم؟

س4- عدد أجزاء المنظومة البصرية، مع ذكر فائدة كل جزء؟

س5- ما هي الصفات التي تمتاز بها الصبغات غير المشحونة؟

س6- ما هي العوامل التي تعتمد عليها كفاءة الضخ الضوئي باستخدام المصابيح الوميضية في المنظومات البصرية؟

الفصل السابع

صيانة منظومات ليزر اشباه الموصلات

Semiconductor Laser Maintenance

الاهداف:

الهدف المتوخى من هذا الفصل هو تعريف الطالب على كيفية وضع التصاميم واجراء الصيانة لبعض منظومات ليزر اشباه الموصلات.

محتويات الفصل:

7-1 مقدمة.

7-2 صيانة الوصلة p-n junction.

7-3 صيانة مجهزات القدرة.

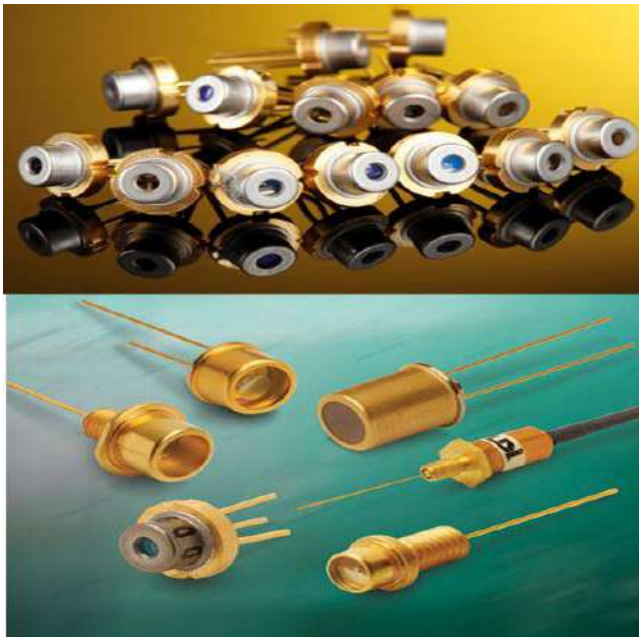
7-4 صيانة دوائر التضمين وفك التضمين.

اسئلة الفصل

1-7 مقدمة

تعد ليزرات اشباه الموصلات من الليزرات ذات الاهمية البالغة بسبب بعض المزايا والخصائص المهمة وهي صغر حجمها وامكانية توليف الخرج الليزري للحصول على اطوال عدة موجية عدة

لقد كانت ولادة أول ليزر شبه موصل بعد اكتشاف الليزر بعامين على يد مجموعتين بحثيتين باشراف روبرت هول في أحد مراكز ابحاث شركة جنرال الكترك (General Electric) إذ تم تصنيع اول ليزر شبه موصل من نبيطة زرنيخيد الكاليوم (Gallium Arsenide) ومنذ ذلك الوقت وحتى الان استمرت الابحاث والدراسات من اجل وضع افضل التصاميم لبناء منظومات ليزرات اشباه الموصلات ذات التطبيقات الواسعة الانتشار لذا بات من الضروري التركيز على التعريف باهمية ومكانة هذا النوع من الليزرات ويغطي هذا الفصل جزءا يسيرا من ذلك.



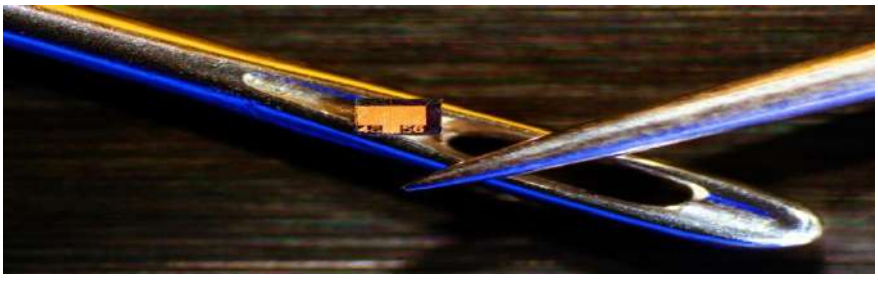
شكل (7-1) يوضح مجموعة من ليزرات الدايود

تكمن ميزة هذا النوع عن بقية الليزرات الاخرى لصغر حجمه وعملية تشغيله البسيطة وامكانية تصنيعه بابعاد بأجزاء الملمتر وبكفاءة عالية، اي بمعنى أنها تحتاج لقدرات واطئة بالتشغيل، على سبيل المثال ليزر الدايود ذو قدرة 10 mW يحتاج الى قدرة كهربائية بحدود 100 mW والتي قد توفرها بطارية بكل سهولة. بينما تحتاج الى قدرة 10 W لتشغيل ليزر هيليوم- نيون (Helium–Neon Laser). وكمثال اخر فإن ليزر بخار النحاس (copper vapor laser) ذو قدرة ليزرية 40W وهو واحد من اكثر الليزرات الغازية كفاءة يحتاج الى قدرة كهربائية قدرها 5 kW لتشغيله. ذلك يعني أنَّ

تجهيز هذه القدرة على شكل ثلاثي الطور (Three Phase). بينما يكون ليزر شبه الموصل المرتب كمجموعة (Laser Diode Array) ذو قدرة ليزرية قدرها 40 W يحتاج لتشغيله 200 W من القدرة الكهربائية. بمعنى انه يحتاج لقدرة كهربائية اقل من معدل القدرة المجهزة للحاسوب المكتبي، ان الكفاءة العالية ليست فقط في تقليل قيمة الطاقة عند تشغيل الليزر ايضا بتقليل الحجم والكلفة وتعقيد التجهيز الكهربائي بشكل كبير.

شكل (7–2) يوضح صغر حجم ليزر الدايود مقارنة بعمله نقدية

إنَّ ليزرات الدايود أو أشباه الموصلات تكون سهلة الاستعمال جدا وتمتلك مقارنة مع الليزرات الاخرى، إذ تتجمع اجزاءها كجهاز واحد بمفتاح سيطرة واحد لتشغيله. كما تمتلك عمر تشغيلي يدوم لألاف الساعات في تطبيقات الجهد المنخفض. في الوقت الحاضر أستُعملت ليزرات الدايود بشكل محدود وذلك لكون اعلى قدرة له تعد منخفضة. قابليتها للتلف البصري والكهربائي وايضاً لها مجموعة محدودة من الاطوال الموجية. وتجرى في الوقت الحاضر بحوث لادخال تحسينات على الثلاثة الاخيرة.



شكل (7–3) يوضح قطعة من شبه الموصل التي تستعمل كوسط فعال لليزر الدايود

7–2 صيانة الوصلة p-n junction

تعد المواد شبه الموصلة من المواد ذات خصائص بصرية وكهربائية تمكن من تحقيق تطبيقات واسعة المجال كالكواشف الضوئية والمصادر الباعثة للضوء كالصمامات او الثنائيات Diodes، وكما هو

معروف فان المواد شبه الموصلة تكون على نوعين وفق المواد الشائبة المضافة فهي اما سالبة يطلق عليها n-negative تمتلك الكترونات حرة سالبة الشحنة او موجبة p-positive تمتلك فجوات حرة موجبة الشحنة ويصنع الثنائي من ربط النوعين مع بعض بحيث تتشكل وصلة او مفرق ومن هنا جاءت التسمية (وصلة p-n junction). إنّ إضافة الفجوات والإلكترونات الحرة إلى شبه الموصل يتم بوساطة عملية تدعى التشويب.

يطلق على كل من الالكترونات والفجوات بـ حاملات الشحنة

ان شبه الموصل النقي يكون موصل غير جيد بسبب حاملات الشحنة القليلة العدد، ويمكن زيادة التوصيلية بزيادة عدد حاملات الشحنة بوساطة عملية تدعى (التشويب) Doping.

التشويب: هي عملية اضافة مواد الى شبه الموصل الغاية منها زيادة عدد حاملات الشحنة وتحويله الى شبه موصل مشاب.

يعد السيليكون من المواد شبه الموصلة ذات التطبيقات الواسعة، فعنصر السيليكون رباعي التكافؤ يمتلك 4 الكترونات حرة الحركة في المدار الخارجي وبالتالي عند اضافة ذرات (مشوبة للمادة) من إحد العناصر ثلاثية التكافؤ (مثلا عنصر بورون B او عنصر الألمنيوم Al، عنصر الغاليوم Ga أو عنصر الإنديوم In) حتى تركيز 1%من المادة فأن شريحة السيلكون في درجة حرارة الغرفة تصبح غنية بالفجوات (Holes) إذ تحتاج الذرة طاقة مقدارها [0.025 eV] لكي تستطيع أن تستوعب الكترون ويصبح لها تكافؤ 4 وبالتالي يصبح هناك فجوة حرة الحركة وينتج عنه شبه موصل موجب P.

من المعروف إنَّ الطاقة الحرارية في درجة حرارة الغرفة تتمثل بالمقدار:

$$KT/q=0.025\ eV$$

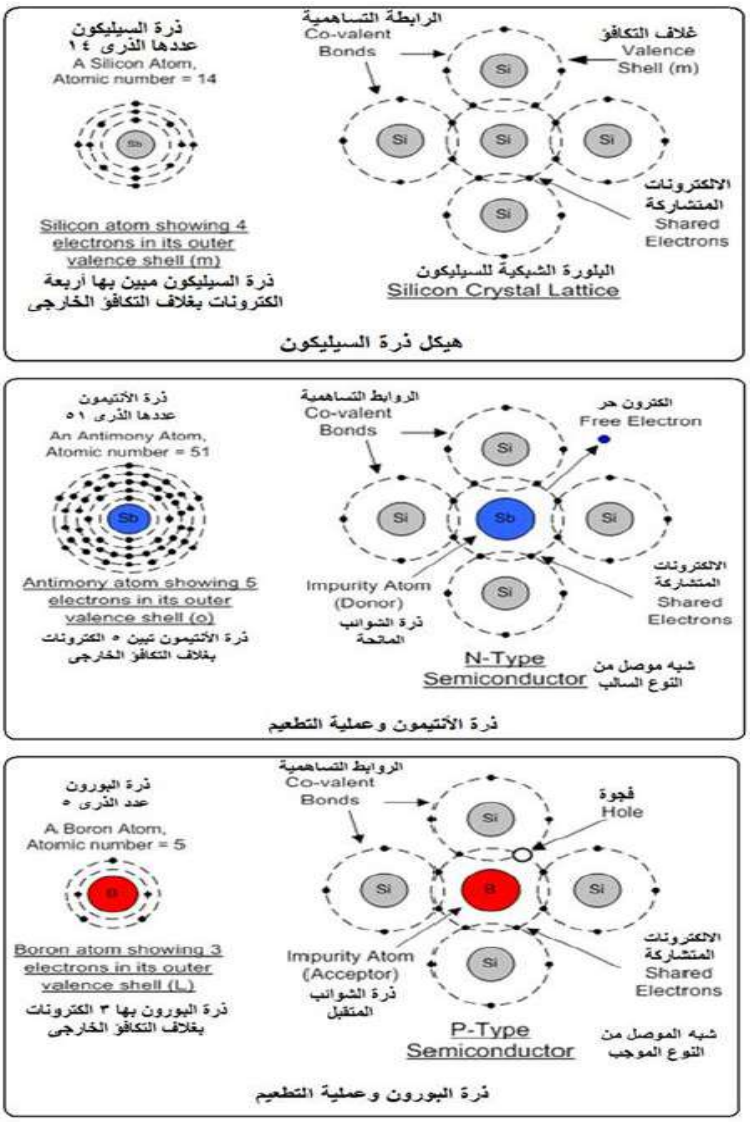
إذ إنَّ:

K: ثابت ستيفان – بولتزمان ($5.67\ X10^{-8}\ W/m^2\ K^4$).

T: درجة الحرارة المطلقة.

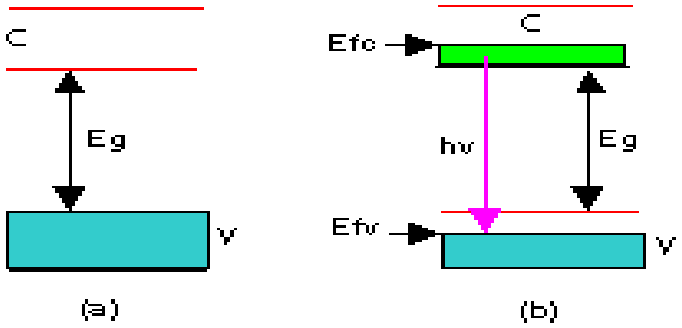
q: الشحنة ($1.6\ x10^{-19}\ C$).

وبالتالي نستطيع أنَّ نفرض ان درجة حرارة الغرفة كافية لكي نحصل على أيونات سالبة بمقدار تركيز المادة الشائبة نفسه التي تم أدخالها وبالتالي فان تركيز الفجوات (Holes) الحرة سوف يعادل تركيز المادة المشوبة هذا بالنسبة لشبه الموصل من نوع (p) وبنفس الطريقة يتم ادخال شوائب من احدى العناصر خماسية التكافؤ (الأنتيمون Sb، النيتروجين N، الفوسفور P أو الزرنيخ) بدرجة حرارة الغرفة الى شريحة السيليكون فتكون غنية بالألكترونات الحرة وينتج شبه موصل من نوع (n)، والشكل (7–4) يبين هيكلية السيليكون النقي والمشوب بنوعيه p،n .



شكل (7–4) : بنية شبه الموصل النقي والمشوب

إنَّ مبدأ عمل ليزر شبه الموصل يختلف كثيرا عن ليزرات الحالة الصلبة والليزرات الغازية. إذ تنتج الاشعة عن طريق اعادة اتحاد (Recombination) الفجوات مع الالكترونات.



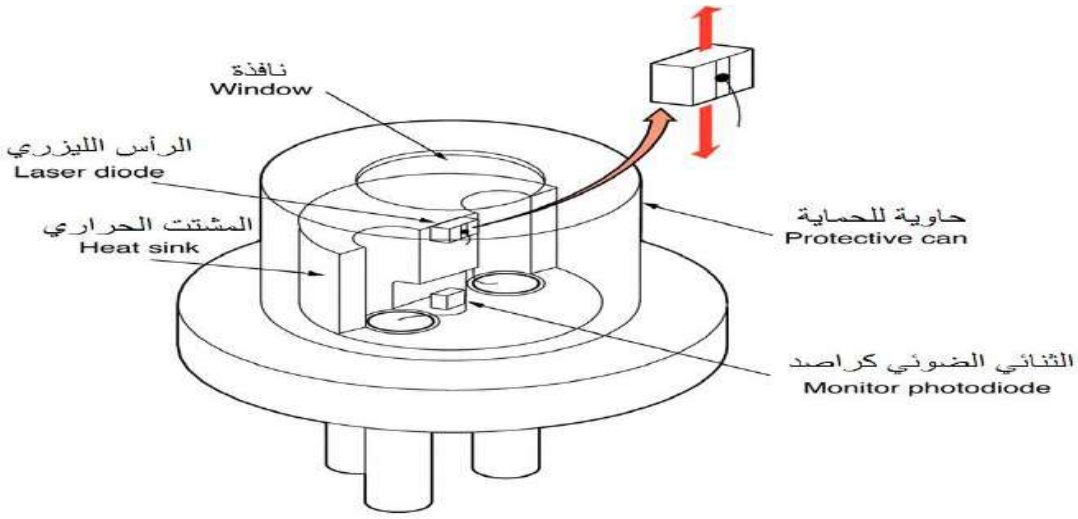
الشكل (7–5): مبدأ عمل ليزر اشباه الموصلات.

لكل مادة شبه موصلة زوج من الحزم الالكترونية يطلق على أحدها حزمة التكافؤ (Valance Band) ويرمز لها بالرمز (V) ويطلق على الاخرى حزمة التوصيل (Conduction Band) ويرمز لها بالرمز (C)، ومن البديهي إنَّ مستوى الطاقة لحزمة التوصيل هو أعلى من حزمة التكافؤ وفي الحالة المستقرة عند درجة حرارة الغرفة فإنّ حزمة التوصيل تكون فارغة تماما من الالكترونات، وحزمة التكافؤ مملؤة تماماً بالالكترونات. وبطريقة ما تتم اثارة وتحفيز بعض الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل .ولمدة زمنية قد تصل الى (1 ps) بيكوثانية (10^{-12}) ثانية فان الإلكترونات في حزمة التوصيل سوف تهبط إلى أدنى المستويات غير المشغولة من الحزمة، تسمى الحدود العليا من مستويات الطاقة للإلكترون في مستوى فيرمي (Fermi) لحزمة التوصيل E_{FC}. وفي الوقت نفسه تظهر الفجوات في حزمة التكافؤ والإلكترونات بالقرب من أعلى حزمة التكافؤ والتي تهبط إلى أدنى المستويات غير المشغولة من الحزمة وتترك فراغا مكانها لتحدد مستوى طاقة جديد يدعى مستوى فيرمي لحزمة التكافؤ E_{FV}.

إنَّ انتقال الالكترونات من حزمة التوصيل الى حزمة التكافؤ واتحاده مع فجوات ينتج عنها انبعاث فوتونات (اشعاع) يطلق عليه اشعاع اعادة الاتحاد.

إنّ عملية ضخ ليزر اشباه الموصلات يمكن ان تتحقق بطرق عدة منها:

1. باستعمال ليزر اخر.
2. باستعمال حزمة الكترونية.
3. كثافة التيار الكهربائي الذي يتدفق عبر وصلة p-n. إذ إنَّ ليزر شبه الموصل (ليزر الدايود) يكون على شكل صمام ثنائي كالثنائي الباعث للضوء الاعتيادي (Light Emitting Diode LED) والشكل (7–6) يوضح مخطط لليزر الدايود.



شكل (7-6): يوضح رسم تخطيطي لليزر الدايود

عندما يكون إنحياز الدايود امامي فان الفجوات في منطقة p منه تكون قد حقنت في منطقة n، وكذلك فان الالكترونات في منطقة n منه تكون قد حقنت في منطقة p. اذا الالكترونات والفجوات تكون في المنطقة نفسها، فستكون بينهم عملية اتحاد إذ إنَّ الالكترون يسقط في الفجوة ويبعث فوتون بطاقة مساوية بقيمتها لفجوة الطاقة. وهذا ما يسمى بالانبعاث التلقائي (Spontaneous Emission)، و هو المصدر الرئيس للضوء في الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED).

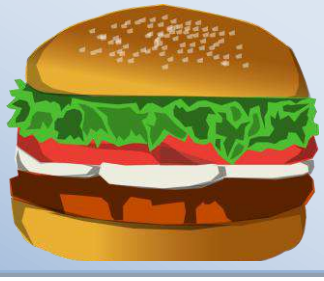
إنَّ عملية التضخيم قد تتحقق في المدة الزمنية التي قد يتواجد فيها الالكترون والفجوة قبل اعادة الاتحاد وهذه الفترة تكون بحدود (الميكروثانية) (µs).

هنالك مبدأن لتوليد فعل ليزري: التوزيع العكسي (Population Inversion) والتغذية الرجعية (Feedback). لخلق توزيع معكوس يجب جعل مستوى الطاقة العلوي يحتوي على تركيز الكترونات اكبر من المستوى الادنى وفي هذه الحالة سنحتاج الى كثافة تيار عالٍ. وبالنسبة للتغذية الرجعية فتكون بجعل تركيب عاكس بصيغة مرنان لليزر الدايود أو شبة الموصل. وفي العادة يكون ذلك بقطع نهاية الوصلة p-n وصقلها وجعلها عاكسة للضوء كحجرة ليزرية.

يتكون ليزر الدايود في أبسط اشكاله من كتلة من شبه الموصل جزء منها شبة موصل سالب (المانح) n-Type والجزء الليزر يحتوي على طبقات اضافية، إنَّ هذا الطبقات الاضافية غير المشوبة والمنفصلة عادة ما تُشكل بهيئة طبقات بينية (Sandwich) أو محصورة بين طبقات اساسية لتحسين عمل الليزر.

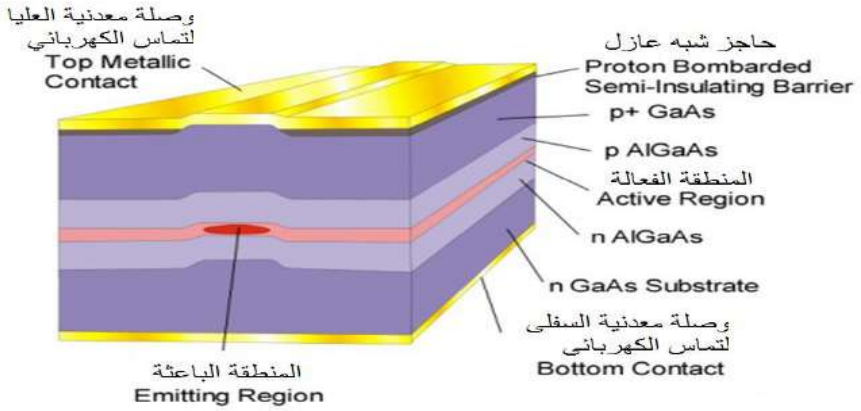
هل تعلم

ان كلمة الساندويتش Sandwich سميت بهذا الاسم نسبة إلى جون مونتاجو الحاكم الرابع لمدينة ساندويتش الإنجليزية، امر خادمه بأن يحضر له قطعة من اللحم بين شريحتي خبز، وبما انه كان حاكم البلدة فقد اعتاد سكان هذه البلدة ان يقولون "مثل ساندويتش" اي نريد ان نأكل كما يأكل ساندويتش وقد استعملت كمصطلح تقني لوصف التراكيب الطبيقية وذلك للتقريب الى الاذهان وقد استعمل في هذا الفصل



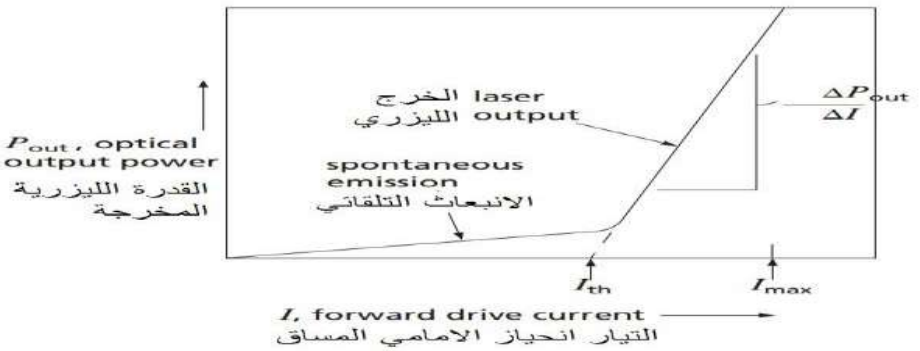
يبدأ تصنع ليزر الدايود بركيزة (Substrate) من شبة موصل ثنائي(Binary Semiconductor) عادة (GaAs or Inp) مع مستوى شوائب بسيط عليها. والطبقات الاضافية ممكن أنْ تكون شكلت من خلال انتشار للشوائب المختلفة في مساحات محددة من سطح الركيزة. إنَّ الجمع بين الطبقات المتعددة لليزر الدايود واشكالها السطحية وذلك بوساطة التصنيع سوف يساعد على السيطرة بانسيابية التيار وبتوجيه ضوء الليزر بانتاج الليزر. إنَّ إندماج بنيات ليزر الدايود بطبقات معينة يجعلها اكثر اتجاهية للخرج الليزري من الانبعاث التلقائي لمصباح الدايود (LED).

كما إنّ صقل وتنعيم الجوانب لبنية الدايود وجعل السطح املس سوف يعكس الضوء في شبه الموصل. كما هو الحال في الانواع الاخرى من الليزرات، فالانبعاث التلقائي الابتدائي والمنعكس داخل الحجرة العاكسة ذهاباً أو اياباً يؤدي الى انبعاث محفز وتوليد المزيد من الضوء الليزري على طول محور تجويف من وصله شبه الموصل PN. وكمحصلة للمزيج الضوئي في رحلة الذهاب والاياب لحجرة ليزر شبه الموصل يكون أعلى من الخسارة وبالنتيجة سيولد التذبذب الليزري.



شكل (7–7) : وصلة pn المطورة باضافة الطبقات الاضافية

إنَّ ليزر الدايود سوف ينتج انبعاث محفز فقط في حالة التيار الكهربائي في وصلة شبه الموصل pn-junction كافي ليكون توزيع معكوس. وهذا التيار يسمى تيار العتبة Threshold Current. في الشكل (7–8) يمثل تيار ليزر الدايود مع الخرج الليزري. فعندما تكون قيمة التيار أدنى من حد العتبة تبدد الطاقة بدون خرج ليزري. إنَّ من المعلمات الفيزيائية الحرجة هي كثافة التيار Current Density وتقاس بالامبير لكل سنتمتر مربع من مساحة الوصلة لشبة الموصل فاذا كانت قيمتها أقل من حد العتبة فيكون ليزر الدايود مثل مصباح الدايود ذو الانبعاث التلقائي (LED).

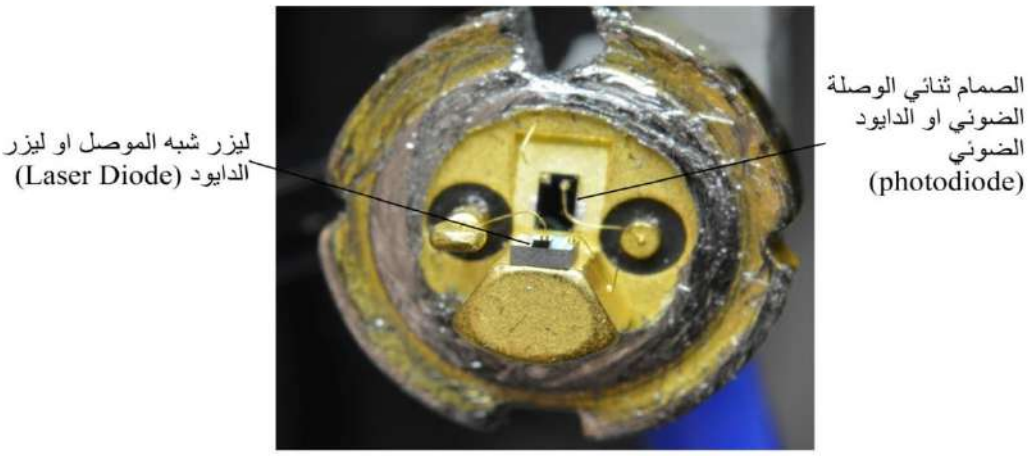


شكل (7–8): مخطط بياني لتناسب الخرج الليزري مع تيار الانحياز الامامي لليزر الدايود

7–3 صيانة مجهزات القدرة

تعد مجهزات القدرة لليزرات اشباه الموصلات بسيطة نسبيا مقارنةً ببقية الليزرات، اذ توفر لليزر تنظيم للتيار الكهربائي، وفي الغالب تصنع دوائر مجهزات القدرة بشكل اعقد لتنظيم التيار الكهربائي والضوء الليزري الناتج ايضا. مع أن دائرة منظم التيار الكهربائي تكفي لتكون كمجهز قدرة، كهربائيا، لهكذا ليزر،

لكن بسبب تغير خصائص ليزر الدايود نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وصلة شبه الموصل له أثناء التشغيل، فإن الضوء الناتج لليزر سينخفض كلما كان الجهاز أكثر سخونه. لهذا السبب، غالبا ما يتم توظيف تغذية رجعية (Feedback) للضوء. يتم تجهيز العديد من ليزرات الدايود (على سبيل المثال، صورة حقيقية لليزر الدايود في الشكل (7–9) مع الصمام ثنائي الوصلة الضوئي او الدايود الضوئي (Photodiode) على الجانب المعاكس لمخرج الجهاز ، وذلك للكشف عن الضوء الخارج من الليزر وحساب لكمية التيار الكهربائي والسماح للدائرة الالكترونية لجهاز الدايود الضوئي للتعويض عن درجة الحرارة، وذلك بتغيير التيار الكهربائي لجهازالليزر من أجل المحافظة على ضوء الليزر بخرج مستقر وثابت. وبوساطة ما ورد انفا يتم تحديد متطلبات مكونات الليزر لتشغيله بصورة سليمة وعلمية وعملية بسهولة نظرا لأنها تتميز بثلاث محطات طرفية Terminals: الاولى هي ليزر الدايود، والأخرى الدايود الضوئي، و الثالثة الدائرة الالكترونية المشتركة بينهما كما في شكل (7–10).

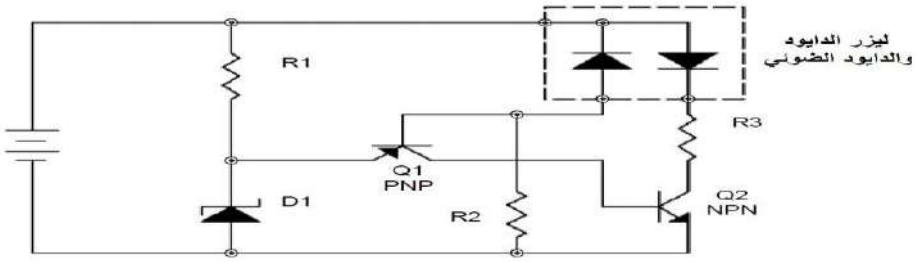


شكل (7–9) : ليزر شبه الموصل او ليزر الدايود

شكل (7–10) مخطط لمكونات ليزر الدايود

يظهر في شكل (7–11) مخطط توضيحي لدائرة الكترونية كمجهز قدرة لليزر الدايود. تنظم الدائرة الالكترونية البسيطة التيار الكهربائي المار خلال ليزر الدايود، للحفاظ على ثبات كمية الضوء الساقط

على الدايود الضوئي. إذ عندما يسقط ضوء الليزر من ليزر الدايود على الدايود الضوئي، الدايود الضوئي على جهة اليسار من مجموعة الدايودين في شكل (7–11)، فان التيار الكهربائي المار في قاعدة (Base) الترانزستور Q_1 سوف يقل. وفي المقابل، التيار الكهربائي المار من خلال جامع (Collector) الترانزستور Q_1 ينخفض، كما يفعل التيار الكهربائي المار في قاعدة (Base) الترانزستور Q_2. فان التيار الكهربائي المار في جامع (Collector) الترانزستور Q_2 ينخفض فبالتالي يقل الخرج الليزري للدايود. عندما يقل الضوء الناتج من التيار الكهربائي لليزر، تزداد قيمة التيار للدايود الضوئي المار في قاعدة (Base) الترانزستور Q_1 وتحدث عملية عكسية. الى أنْ تصل الدائرة إلى التوازن بين الدايودين. لذا فان التيار الكهربائي في نهاية المطاف يصل الى قيمة ثابتة.



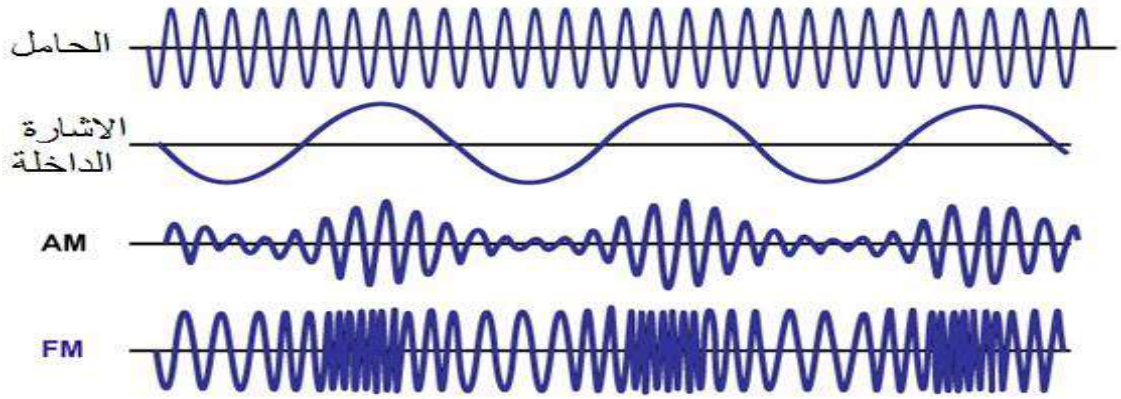
شكل (7–11) : مساق مجهز القدرة لليزر الدايود

تفتقر وحدة التحكم المبسطة الظاهرة في الشكل (7–11) ميزات لحماية الدايود من التلف. إنَّ ميزة وحدات التحكم بالدايود المتقدمة المحددة مسبقا على التيار الكهربائي لليزر الدايود إذ إنَّ التيار الكهربائي المفرط يؤدي حتماً إلى تدمير ليزرالدايود. كذلك، التيار الكهربائي المار عبر الليزر يجب أن يُثبط (يكون ذلك في العادة من طريق وضع مكثف من القاعدة (Base) إلى الباعث (Emitter) للترانزستور Q_2) لضمان عدم التذبذب، والتي قد تسبب بالوصول الزائف الى قيمة التيار الكهربائي الضارة. فضلا عن السيطرة على التيار الكهربائي لليزر الدايود، وكثيرا ما يُرغب بوضع وحدة تحكم بدرجة الحرارة، والتي تستعمل كمبرد حراري للحفاظ على درجة حرارة بثبات ليزرات الدايود لتحقيق الاستقرار لاطوالها الموجية. والتي وفرت بالتغذية الرجعية لدرجة الحرارة، وتمكين وحدة التحكم لاستشعار درجة الحرارة الفعلية لليزر الدايود والسيطرة على التيار الكهربائي بوساطة وحدة التبريد وفقا لذلك. فان التحكم في درجة الحرارة يُستعمل في العموم لمنظومة PID (Proportional–Integral–Derivative) (النسبي–المتكامل–التفاضلية) بسيطرة خوارزمية للمراقبة الدقيقة.

7–4 صيانة دوائر التضمين وفك التضمين

أصبحت مؤخرا استعمال الليزرات أشباه الموصلات كأدوات مفيدة في العديد من مجالات البحوث العلمية ومصادر غير مكلفة لضوء ليزر أحادي الطول الموجي له القابلية على التناغم (توليف). لذا فقد

استعملت ليزرات اشباه الموصلات في مجال الاتصالات ونقل المعلومات من طريق ضوء الليزر. إنَّ العملية التي تكون اساسية هي عملية التضمين. فالسؤال هنا ما هي عملية التضمين؟ تعرف عملية التضمين بأنها عملية تراكب موجتين أحدهما الموجة الحاملة وتكون ذات تردد عالٍ، والموجة المحمولة ذات تردد منخفض. مثال على ذلك البث في الراديو: ترسل محطة الإذاعة صوت المذيع كموجة ذات تردد منخفض محمله على موجة كهرومغناطيسية ذات تردد عالٍ. ويستقبلهما جهاز الراديو وبه دوائر الكترونية خاصة تفك الموجتين عن بعضهما بعضاً، وتكبر الموجة المحمولة كهربائيا وتوصلها بمكبر الصوت فنسمع المذيع من جهاز الراديو. اي ان التضمين أو التراكب يتم بين الموجة الحاملة (ذات تردد عالٍ)، و الموجة المحمولة تسمى بالإشارة المعدِّلة وهي تحمل المعلومات المراد نقلها. فك التضمين هي العملية العكسية إذ تستخرج الإشارة المعدلة من الموجة الحاملة. عادة ما نسمي المعلومات المراد تحميلها إشارة التضمين (Modulating Signal) ونرمز لترددها f_m، في حين نسمي إشارة الإرسال التي تحمل المعلومات الناقل أو الحامل (Carrier) وعادة ما تكون إشارة جيبية ونرمز لترددها f_c بعد إتمام عملية التضمين، الاشارة الناتجة تسمى الاشارة المضمنة (Modulated Signal). توجد ثلاثة انواع من التضمين التماثلي هي: تضمين السعة (Amplitude Modulation) و تضمين التردد (Frequency Modulation) و تضمين الطور (Phase Modulation) وكذلك يوجد تضمين النبضة (التضمين الرقمي) وكما موضح بالشكل (7-12).



شكل (7-12) : اشكال لانواع من الموجات المضمنة

يعرف تضمين السعة اختصاراً AM وهو أقدم الانواع وأكثرها انتشاراً، إذ تتغير سعة (ارتفاع) إشارة الناقل (Carrier) تبعاً لتغيّر ارتفاع أو سعة الاشارة المراد نقلها وإرسالها عبر قناة الاتصال. يتم إدخال الاشارة المراد تحميلها ونقلها على أحد مدخلي دائرة تضمين السعة في حين يتم إدخال إشارة الحامل على المدخل الثاني، اي إن سعة (ارتفاع) الموجة الحامل أصبح متغيراً وليس ثابتاً.

يعرف تضمين الترتدد اختصاراً بالرمز FM إذ يتغير تردد إشارة الناقل تبعاً لتغيّر ارتفاع أو سعة الإشارة المراد نقلها وإرسالها عبر قناة الاتصال. في هذه الحالة سعة أو ارتفاع موجة الحامل تبقى ثابتة.

من بين أكثر الخصائص جاذبية من الناحية التقنية لليزر الدايود هو إمكانية التضمين مباشرة بوساطة تغيير حقن التيار الكهربائي. بما أن تردد الليزر وخرج الطاقة تعتمد على كل من درجة الحرارة الوصلة الثنائية وحقن التيار الكهربائي، اذ تتطلب هذه العملية استقرارا لهذه الكميات بتنظيم دقيق. على سبيل المثال، سرعة التحول بين اطفاء وتشغيل الليزر وبتحديد معدل لتوليد الإشارات الرقمية وبالتالي يمكننا نقل المعلومات. إذ ستكون عدد الفوتونات المضمنه تعادل التغير الحاصل بقدرة الخرج الليزري.

اسئلة الفصل

س1: علل ما يأتي:

1. تعد ليزرات اشباه الموصلات من الليزرات ذات الاهمية البالغة؟
2. تحتاج ليزرات اشباه الموصلات لقدرات واطئة بالتشغيل؟
3. لماذا يعد السيليكون من المواد شبه الموصلة ذات التطبيقات الواسعة؟
4. لماذا تعد مجهزات القدرة لليزرات اشباه الموصلات بسيطة نسبيا مقارنة ببقية الليزرات؟

س2: ضع علامة صح او خطأ وصحح الخطأ امام العبارات التالية:

1. يطلق على كل من الالكترونات والفجوات بـ حاملات الشحنة.
2. التشويب هي عملية اضافة مواد الى شبه الموصل الغاية منها الحد من زيادة عدد حاملات الشحنة.
3. يعرف تضمين التردد اختصاراً بالرمز FM إذ يتغير ارتفاع إشارة الناقل تبعاً لتغيّر تردد الإشارة المراد نقلها وإرسالها.
4. ان انتقال الالكترونات من حزمة التوصيل الى حزمة التكافؤ واتحاده مع فجوات ينتج عنها امتصاص فوتونات.
5. ان إضافة الفجوات والإلكترونات الحرة إلى شبه الموصل يتم بوساطة عملية تدعى التشويب.

س3: املأ الفراغات التالية:

1. يتميز ليزر الدايود عن بقية الليزرات الاخرى لـ..... و..... وامكانية تصنيعه بابعاد أجزاء الملمتر و.....
2. المواد شبه الموصلة تكون على نوعين وفق المواد الشائبة المضافة فهي إما .....أو .....
3. .....هي عملية اضافة مواد الى شبه الموصل الغاية منها زيادة عدد حاملات الشحنة.

4..... هي عملية تراكب موجتين أحدهما الموجة الحاملة وتكون ذات تردد عالٍ، والموجة المحمولة ذات تردد منخفض.

س4: كيف يمكن الحصول على وصلة (p-n junction)؟

س5: هنالك مبدأين في توليد الفعل الليزري لليزرات اشباه الموصلات ما هي؟

س6: عدد طرائق الضخ لليزرات اشباه الموصلات؟

س7: ماهي حزم الطاقة لمواد اشباه الموصلات ؟ثم وضح ذلك بالرسم ؟

س8: وضح ماهي العلامة بين تيار ليزر الدايود مع الخرج الليزري ؟

س9: مافائدة وجود الصمام الثنائي الوصلة (الدايود الضوئي) في ليزرات الدايود ؟

الفصل الثامن

صيانة المنظومات الملحقة بالليزر

Maintenance for Laser Accessories

الأهداف:

أن يكون الطالب قادرا على إجراء الصيانة للمنظومات الملحقة بالليزر كمجسات الفولطية العالية ومضخات التفريغ وأجهزة القياس.

المحتويات:

8-1 مقدمة.

8-2 صيانة مفاتيح عامل النوعية.

8-3 صيانة مضخات التفريغ.

8-4 صيانة الملحقات البصرية.

أسئلة ومسائل الفصل

8-1 مقدمة (Introduction)

بعد التعرف على بعض المنظومات الملحقة بالليزر ووضع التصاميم الخاصة بها لابد من التعرف كذلك على كيفية إجراء الصيانة لها. إن هذا الفصل يشتمل على التعرف على صيانة الأجزاء الملحقة بمنظومات الليزر منها ما هو ميكانيكي ومنها ما يختص بالدوائر الكهربائية وغيرها.

8-2 صيانة مفاتيح عامل النوعية (Q-Switching Maintenance)

من مميزات ليزرات الطاقة العالية (العاملة بالنمط النبضي) هو توليدها للنبضات العملاقة (Giant Pulses) إذ إن (النبضة العملاقة هي النبضة ذات قدرة ذروة عالية جدا وأمد قصير جدا). يتم توليد مثل هكذا نبضات بإضافة ملحق أساس مهم جدا يطلق عليه ملحق ضبط عامل النوعية أو مفتاح عامل النوعية وسبب تسميته مفتاح وذلك لان وظيفته حجز أو حجب الفوتونات المتولدة وتجميعها وبعد ذلك يتم السماح لها جميعا بالمرور ولفترة زمنية قصيرة جدا ويعاد الغلق مرة أخرى وهكذا.

تعد الطريقة الميكانيكية من الطرائق العملية لضبط عامل النوعية إذ تعتمد على تدوير المرآة الخلفية العاكسة كليا بتثبيتها على قاعدة تدور باستعمال محرك مرحلي (Stepper Motor) تحدد سرعته أمد النبضة المتولدة.

إنَّ مفتاح عامل النوعية (Q-switching) يطلق عليه أحيانا مولد النبضة العملاقة وتستعمل هذه التقنية لتوليد نبضات ليزر ذات طاقة عالية (جيجا واط) (Giga Watt) مقارنة مع نفس الليزر نفسه بطاقة واطئة عند تشغيله بالنمط المستمر (CW).

8-2-1 أساس عمل مفتاح عامل النوعية

تعد تقنية ضبط عامل النوعية من التقنيات المهمة جدا المستعملة في تشغيل ليزرات الحالة الصلبة بالنمط النبضي بوساطة تثبيت مكون معين داخل المرنان يعمل على حبس شعاع الليزر لمدة زمنية تؤدي إلى زيادة التوهين ويرافقه نقصان في عامل النوعية.

ملاحظة

القيمة العالية لعامل النوعية تعني نقصان الخسائر خلال الرحلة الواحدة(Round Trip) للفوتونات داخل المرنان.

في بداية ضخ الوسط الفعال فإن مفتاح عامل النوعية يكون في حالة غلق ولا يسمح بمرور الفوتونات (أشعة) وهذا بدوره يوفر توزيع معكوس أعلى وزيادة في كبيرة في عدد الفوتونات المتولدة (ليزر) ولكن دون الحصول على الخرج الليزري خارج المرنان.

بزيادة مدة غلق المفتاح فان الوسط الفعال يكون في حالة إشباع (Saturation) أي يتم تخزين كمية كبيرة من الطاقة داخل الوسط وتزداد معه شدة الإشعاع داخل المرنان بشكل سريع وكبير جدا وفي لحظة فتح مفتاح عامل النوعية فان ذلك يؤدي الى نضوب هذه الطاقة (الشدة) وتوليد نبضة ذات قدرة ذروية عالية جدا وأمد نبضة قصير. على أساس ذلك، وبعملية السيطرة على فتح وغلق مفتاح عامل النوعية أطلق على العملية بـ (ضبط عامل النوعية).

قد يتبادر إلى الذهن السؤال الأتي:

كيف يمكننا تصميم مكون ميكانيكي أم بصري لضبط مفتاح عامل النوعية؟

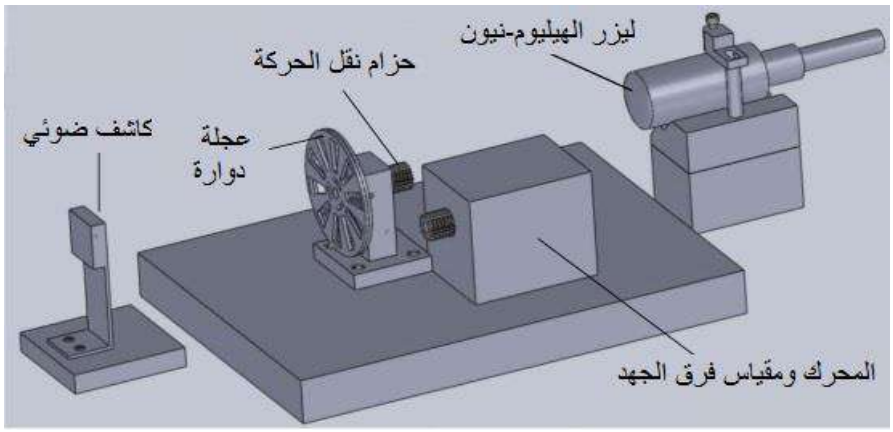
والجواب يكمن في معرفة أنواع مفاتيح عامل النوعية. إذ يوجد نوعان رئيسان لمفاتيح عامل النوعية وهما:

1- مفتاح عامل النوعية الفعال (Active Q-Switching).

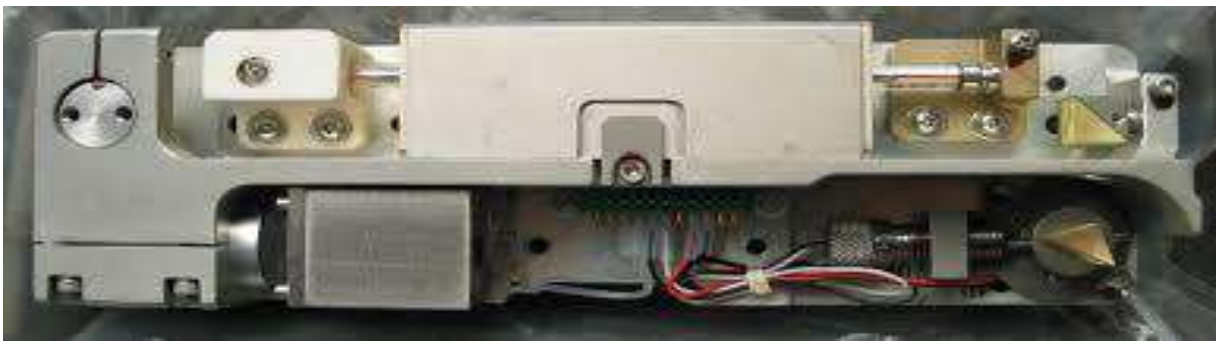
2- مفتاح عامل النوعية السلبي أو غير الفعال (Passive Q-Switching).

النوع الأول يتميز بإمكانية السيطرة عليه خارجيا (خارج حجرة الليزر الرئيسة) ويقسم على أقسام عدة مختلفة ووفق آلية عمله كأن تكون آلية ميكانيكية كالمغلاق (Shutter) أو دولاب التقطيع (Chopper Wheel) كما في الشكل (8-1) أو موشور أو مرآة دوارين كما موضح بالشكل (8-2). وكذلك ممكن أن تكون آلية العمل مرتبطة بالخصائص البصرية لبعض المواد ومدى تغيرها تبعا لتغير المؤثر الخارجي الذي قد يكون موجات صوتية عندها يطلق عليه (سمعي-بصري)(Acousto-Optic) أو قد يكون مجال كهربائي وفي هذه الحالة يطلق عليه (كهربائي-بصري)(Electro-Optic).

ان القسم الثاني والمعتمد على الخصائص البصرية يستند الى ظاهرة مهمة جدا تستعمل في الاتصالات وهي التضمين Modulation.



شكل(8-1): يوضح دولاب التقطيع



شكل8-2: يوضح الموشور الدوار

8-2-2 التضمين (Modulation):

كما تعلمت عزيزي الطالب في الفصل السابع وبناءا على ما سبق يمكننا تعريف المضمن إذ إنَّ:

المضمن هو جهاز يستعمل لتحميل إشارة المعلومات على الإشارة الناقلة

إذن فان أي من مكونات ضبط مفتاح عامل النوعية يعد مضمنا مستندا على آلية التضمين السعوي إذ بوساطته تتم السيطرة على شدة (سعة) موجة الليزر الناتجة.

وكما ذكر في الفقرة السابقة فان القسم الثاني من ضبط مفتاح عامل النوعية الفعال يعتمد على تغيير بعض الخصائص البصرية وفق المؤثر الخارجي ويكون أنواع عدة:

a-السمعي – بصري(Acousto-Optic)

إن التأثير السمعي – بصري يمثل احد فروع الفيزياء والذي يختص بدراسة تفاعل موجات الصوت مع موجات الضوء كما في حيود الليزر.

المبدأ الأساس في ظاهرة الحيود السمعي – بصري هو حيود موجات الضوء المخترقة لوسط من مادة معينة تحت تأثير موجات صوت تغطي الوسط بأكمله

إذن يعتمد التضمين في هذه الطريقة على حيود الضوء والذي يطلق عليه حيود براغ (Bragg Diffraction) ومعامل التضمين($\mathcal{K}$) يمكن إيجاده باستعمال العلاقة الآتية:

$$\mathcal{K} = \frac{2\pi\lambda\ell f^2}{nv^2} \quad \text{.....(1-8)}$$

إذ إن:

λ: الطول الموجي للضوء الساقط.(m)

ℓ: طول الخلية أو الوسط المضمن. (m)

f: تردد موجة الصوت. (HZ)

v: سرعة موجة الصوت.(m/s)

n: معامل انكسار الوسط.

مثال 8-1:

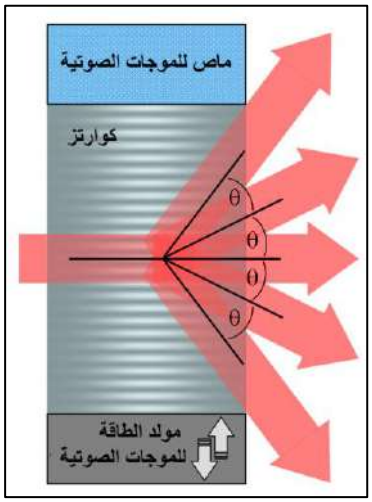
احسب معامل التضمين لحزمة ليزر ذات طول موجي (1.06 µm) تخترق خلية من زجاج البايركس طولها (10 cm) ومعامل انكسارها 1.474 إذا وضعت هذه الخلية تحت تأثير موجات صوت ترددها (150 kHz) بسرعة داخل زجاج البايركس مقدارها (5100 m/s).

الجواب:

$$\mathcal{K} = \frac{2\pi\lambda\ell f^2}{nv^2} = \frac{2 * 3.14 * 1.06 * 10^{-6} * 10 * 10^{-2} * (150 * 10^3)^2}{1.474 * (5100)^2}$$

$$\mathcal{K} = \frac{1.4977.8}{3833874} = 3.9067 * 10^{-4}$$

بالإمكان السيطرة على خصائص حزمة الليزر المارة في وسط معين إذا تمت السيطرة على معلمات موجة الصوت (سعة ، طور ، تردد واستقطاب) المؤثرة على الوسط نفسه والشكل(8-3) يوضح ذلك:



شكل8-3 : يوضح تضمين حزمة الليزر باستعمال بلورة الكوارتز

يجب على المصمم ان يراعي الدقة في وضع التصاميم الخاصة بالوسط المضمن للحصول على اعلى شدة للضوء النافذ.

B- التضمين الكهروبصري (Electro-Optic Modulation)

من مميزات هذا النوع من التضمين اعتماده تغيير خصائص حزمة الضوء المار خلال وسط معين من طريق السيطرة على مجال كهربائي (Electric Field) مسلط على الوسط.

يمكن تحقيق هذا النوع من التضمين بوساطة العديد من المكونات إذ تعتمد بالدرجة الأساس على نوعين من التغيرات:

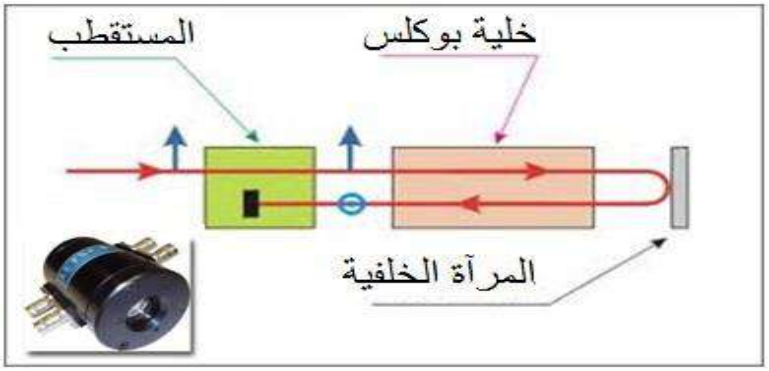
- تغير الامتصاص Change of The Absorption.
- تغير معامل الانكسار Change of The Refractive Index.

تعد الطريقة الثانية هي الطريقة الشائعة الاستعمال كمفتاح لضبط مفتاح عامل النوعية إذ إنَّ معامل الانكسار يتناسب تناسبا طرديا مع شدة المجال الكهربائي.

ولتحقيق هذه الطريقة يتم الاعتماد على تفسير تأثيرين هما:

1- تأثير بوكلس Pockels Effect

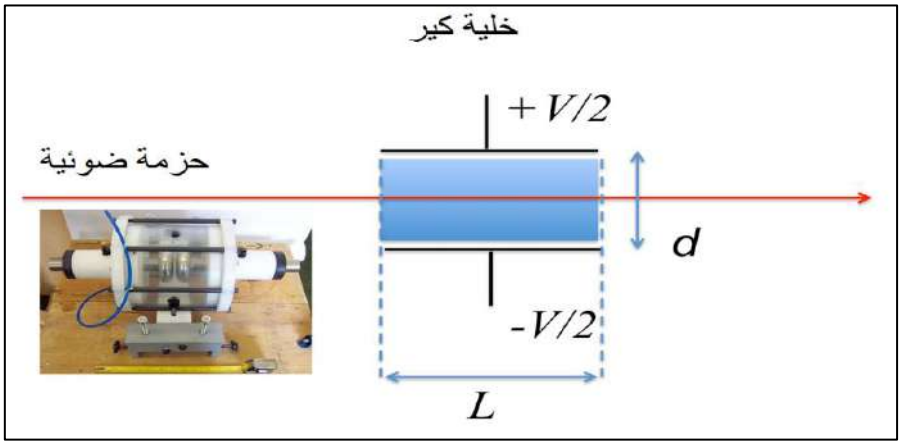
يتناسب معامل الانكسار تناسبا خطيا مع المجال الكهربائي المسلط، الشكل 8-4 يبين خلية بوكلس.



شكل8-4: يوضح خلية بوكلس

2- تأثير كير Kerr Effect

يتناسب معامل الانكسار طرديا مع مربع المجال الكهربائي المسلط، ويطلق عليه كذلك التأثير الكهروبصري الرباعي.



شكل 8-5: يوضح خلية كير

3-8 صيانة مضخات التفريغ (Vacuum Pump Maintenance)

كما تعرفت عزيزي الطالب فان اغلب منظومات الليزر وخصوصا الغازية منها ذات الجريان المفتوح تحتاج بشكل أساس لتفريغ حيز الحجرة الرئيسة (أنبوبة التفريغ) من الهواء والغازات لذلك فان مثل هذه المنظومات تحتاج إلى مكونات وملحقات لإتمام عمل الليزر ومن هذه المكونات مضخات التفريغ Vacuum Pumps

تعرف المضخة بأنها أداة ذات فعل ميكانيكي تستعمل لتحريك الموائع (سوائل أم غازات) من حيز معين مغلق إلى المحيط الخارجي.

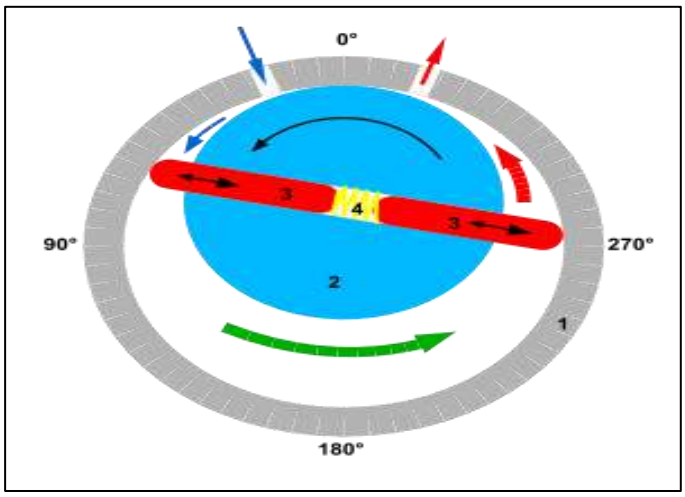
تصنف المضخات وفق طريقة تحريكها للمائع الى ثلاث مجاميع رئيسة هي:

1- مضخة الرفع المباشر Direct lift Pump.

2- مضخة الإزاحة Displacement Pump.

3- مضخة الجاذبية الأرضية Gravity Pump.

ولكل صنف من أصناف المضخات التي ذكرت صمم العديد منها على أساس آلية العمل المطلوبة ومن ابسطها هي المضخات الدوارة (Rotary Pumps) وتعتمد أساسا على إزاحة المائع داخل حجرة التفريغ من منفذ الدخول إلى منفذ الخروج ويطلق عليها المضخات الدوارة ذات الريش (Rotary Vane Pumps) وهي مضخات إزاحة موجبة تحتوي على ريش رقيقة كالتي يحتويها التوربين وتثبت على المحور الدوار (Rotor) داخل حجرة مغلقة كما مبين في الشكل (8-6).



الشكل 8-6: يوضح مخطط توضيحي لحجرة التفريغ في المضخة الدوارة

وفق المخطط الموضح في الشكل (8-6) فإنَّ:

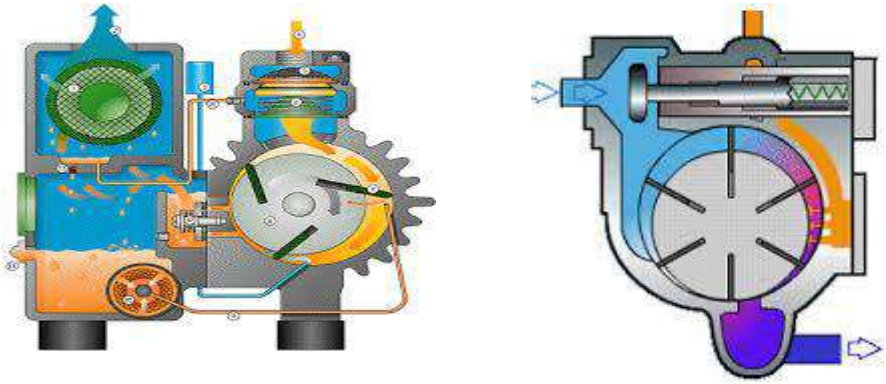
1. يمثل جدار حجرة التفريغ.
2. يمثل المحور الدوار.
3. يمثل الريش الدوارة.
4. يمثل النابض.

تصمم ابسط أنواع المضخات ذات الريش من محور دوار غير متمركز مع مركز حجرة التفريغ الاسطوانية الشكل، دوران المحور يؤدي إلى حركة لا تمركزية.

كما في المخطط السابق فان الريش تكون منزلقة بحركة خطية إلى الداخل والخارج بحيث تولد حجرات تؤدي بالنتيجة إلى حصول عملية التفريغ فعند منفذ الدخول فان حجرات الريش المتولدة يزداد حجمها بحيث تمتلئ بالمائع الذي يدفع إلى الداخل بفعل الضغط الجوي.

من الجهة الثانية وعند منفذ الخروج فان حجم الحجرات يتناقص مما يؤدي إلى دفع المائع خارج حجرة التفريغ وبالاستمرار

قد يصل الضغط لأفضل مضخات التفريغ الدوارة بحدود (10^{-3}) مللي تور (MTor) للمرحلة الواحدة، لذا ولأجل زيادة كفاءة التفريغ والوصول بالضغط لقيم واطئة جدا قد يلجأ المصممون إلى جعل المضخة تعمل بمراحل متعددة (Multistage) بحيث يمكن تحقيق ضغوط واطئة قد تصل إلى (10^{-6}) مللي تور. والشكل (8–7) يوضح صورة منظور جانبي للمضخة الدوارة.



شكل 8-7: يوضح منظور جانبي للمضخة الدوارة

إنَّ اغلب مضخات التفريغ الملحقة بمنظومات الليزر الغازية على وجه الخصوص هي من نوع المضخات الدوارة المملوءة بالزيت، وبناءا على ما سبق فإنَّ مضخات التفريغ الدوارة تتكون من ثلاثة أجزاء رئيسة هي:

1- المحرك الكهربائي (Electrical Motor).
2- حجرة التفريغ (Vacuum Chamber).
3– خزان الزيت (Oil Tank).

عمل المحرك الكهربائي هو تدوير المحور الرئيس المسؤول عن تدوير الريش داخل الحجرة وان قلب المضخة هو حجرة التفريغ ووجود خزان الزيت لتدوير زيت بمواصفات عالية وخاصة إن وظيفته هي تقليل

الاحتكاك وكذلك تبريد أجزاء حجرة التفريغ الرئيسة. فضلا عن احتواء المضخة على صمامات بمواصفات قياسية.

دائما في مختبرات الليزر وفضلا عن قطع الأدوات الاحتياطية للأجزاء المستهلكة يجب وجود مضخة احتياط تستعمل عند إجراء الصيانة للمضخة الملحقة بالمنظومة لتجنب توقف منظومة الليزر عن العمل.

8-3-1 تبديل زيت المضخة:

تعد المضخات الدوارة المملوءة بالزيت الجيل الأول لهذا النوع، وبتطور التقنيات التصميمية والتصنيعية فقد توصل المصممون إلى بناء مضخات تشابه مولدات التوربين لا تحتاج ولا لقطرة زيت واحدة تدعى المضخات التوربينية الجزيئية (Turbomolecular Pump) والموضحة بالشكل (8-8):

شكل 8-8 :يوضح مضخة توربينية جزيئية

لايوجد جدول زمني محدد لتبديل زيت المضخة إذ انه يعتمد بالدرجة الأساس على المنظومات التي تستعمل معها المضخة وكذلك نوع التطبيقات وكيف يتم إجراؤها. وبشكل عام يتطلب إجراء تبديل الزيت عند التشغيل الاعتيادي كل(3000) ساعة تشغيل إي كل أربعة أشهر أو عند ملاحظة تغير لون الزيت خصوصا عند تشغيل المضخة عند الحدود القصوى.

8-3-2 خطوات تبديل الزيت:

a. تشغل المضخة تشغيلا اعتياديا لمدة زمنية قصيرة (عدة دقائق) ليسخن الزيت قليلا ثم يتم إيقافها وهذا الإجراء يؤدي إلى سهولة انسياب الزيت وتفريغ الخزان بالكامل.
b. رفع الغطاء الخارجي ومرشح (Filter) الزيت الموجود عند الفتحة العلوية لمنفذ دخول الزيت للسماح للهواء الجوي بالضغط على سطح الزيت داخل الخزان.

c. توضع المضخة بشكل مائل قليلا ليسمح للزيت الانسياب خارج الخزان.
d. يفتح قفل فتحة خروج الزيت ويستبدل بأخر جديد مع الحلقة المطاطية.
e. يضاف زيت جديد بمواصفات تطابق تماما مواصفات الزيت الأصلي وبالكمية المطلوبة إذ يمكن تحديدها بوساطة النافذة الزجاجية الجانبية.
f. يعاد تركيب الغطاء الخارجي.

إن إجراءات تبديل الزيت مشابهة تماما لتلك التي نجريها للمحركات كمحركات السيارات والمولدات الكهربائية مع توخي الحذر والدقة.

يجب الانتباه إلى بعض الإجراءات الضرورية وهي:

- يجب تشغيل المضخة في محيط بدرجة حرارة مناسبة.
- يجب عدم تشغيل المضخة بطاقتها القصوى تجنبا للزيادة الكبيرة التي قد تحصل بدرجة حرارة الزيت.
- المراقبة الدورية لمستوى الزيت بوساطة النافذة الزجاجية الجانبية.
- مراقبة منفذ الدخول للحجرة الرئيسة ووجود مرشح الغاز فيه وعدم تلفه أو احتوائه على مواد سائلة أو صلبة.
- مراقبة تسريب الزيت من بعض أجزاء المضخة.

الشكل 8-9:يوضح أجزاء المضخة المؤشرة والمطلوبة عند تبديل الزيت

8-4 تصميم الملحقات البصرية (Design of Optical Accessories)

هناك ملحقات بصرية ضرورية للمنظومات الليزرية عند التطبيق، إذ لا تتم إي معاملات حرارية للتطبيقات الصناعية أو التطبيقات العسكرية مثل مقدرات المدى الليزرية أو تطبيقات طبية مثل استئصال إي ورم إلا بوجود منظومة بصرية ملحقة مع منظومة الليزر ومنها:

موسع الحزمة:

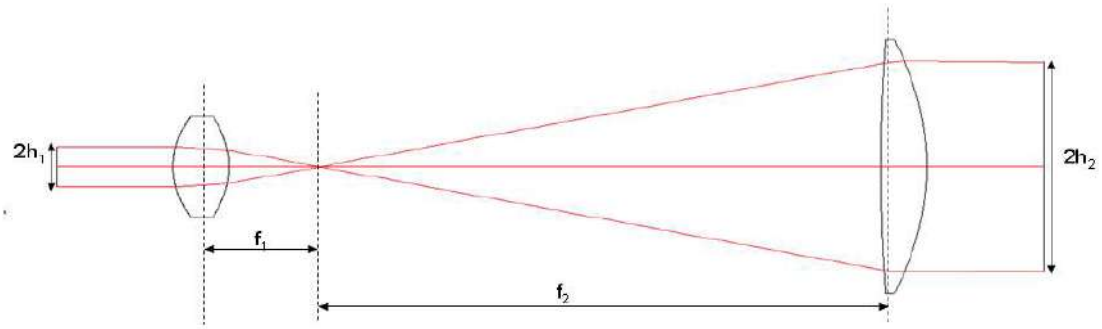
وهي منظومة بصرية تنتمي إلى مجموعة التلسكوبات، ويتكون من أثنين من المكونات البصرية (مرايا، عدسات)، ويستعمل لتغيير بعض مواصفات حزمة الضوء الساقطة عليه من حيث قطرها وزاوية انفراجها، يستخدم موسع الحزمة في اغلب مختبرات الليزر والبصريات. هنالك العديد من موسعات الحزم الجاهز والمتوفر في الأسواق، ولكن في كثير من الأحيان لا تغطي جميع التكبيرات أو لا تغطي النطاق الطيفي كله لذا نحتاج إلى تصنيعها. وفي أغلب الحالات يستعمل للحصول على حزمة متوازية بإنفراجية قليلة ولمسافات بعيدة لذلك يعد ضروريا في الكثير من التطبيقات الصناعية والعسكرية في قياس المسافات والمديات البعيدة للمحافظة على شدة استضاءة مقبولة.

تصاميم موسعات الحزمة:

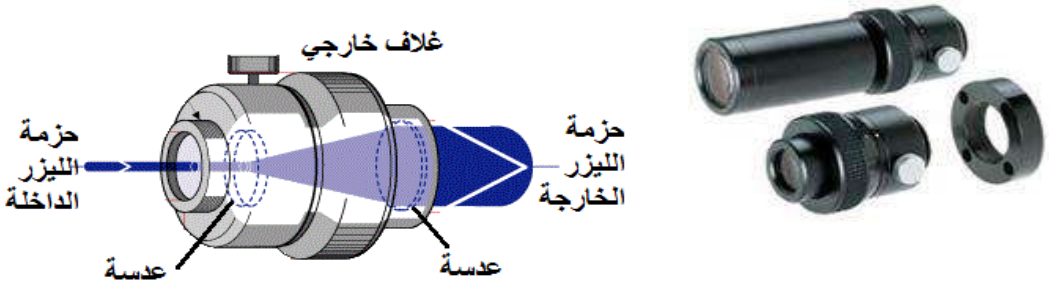
لتصميم وتصنيع موسع الحزمة، فمن المهم أن نعرف بعض العلاقات البصرية البسيطة، وكذلك ما هي المدخلات والمخرجات المطلوبة في التصميم.

موسعات الحزم البسيطة، وفي معظم أشكالها الأساسية وبأبسط أنواع تصاميمها –وكما في الشكل (8–10)– والتي ممكن تنفيذها مختبريا، عموما تتكون من عدستين أحداهما تكون بقطر صغير وتسمى العدسة العينية وتكون أمام المصدر والأخرى تكون بقطر كبير وتسمى بالعدسة الشيئية. ويجب أن يراعى بالتصميم أو التصنيع أن يكون قطر العدسة الأولى أكبر من قطر الحزمة الداخلة لمصدر الليزر. على سبيل المثال، إذا كان قطر حزمة الليزر الداخلة في موسع الحزمة هو(10mm)، فيجب أن تكون قطر ألعدسة هو(12) mm. كما ويراعى عند التصميم قطر العدسة الإخراج لموسع الحزمة يجب أن يكون اكبر من قطر الحزمة المطلوب الخارجة من الموسع.

أن التكبير في نظام عدستين يساوي نسبة للأبعاد البؤرية للعدسات، والذي هو أيضا مساوٍ لنسبة أنصاف الأقطار لتقوسات العدسات.



شكل (8–10): يوضح رسم تخطيطي لموسع الحزمة متكون من عدستين.



شكل (8–11): يوضح صورة لموسع الحزمة متكون من عدستين

$M=f_2/f_1=R_2/R_1=d_2/d_1$.....(2-8)

إذ إنَّ M قيمة التكبير لموسع الحزمة، f_1 و f_2 البعد البؤري للعدسة الإدخال والإخراج على التوالي، R_1 وR_2 نصف قطر تكور عدسة الإدخال والإخراج و d_1 وd_2 قطر حزمة الليزر الخارجة والداخلة لموسع الحزمة.

المسافة بين العدستين مساويا لمجموع البعد البؤري للعدسات.

$d=f_1+f_2$

مثال(8-2): قطر شعاع منبعث من ليزر الهيليوم نيون هو(1.2 cm). وتم استُعمل موسع حزمة مصنوعة من العدستين موجبتين لهما أبعاد بؤريه (1 cm) و (6 cm). احسب: قطر الحزمة الخارجة والداخلة من الموسع؟

الحل:

إن قطر الحزمة الخارجة تستطيع ايجاده من خلال الغلاقة الاتية :-

$d_2/d_1=f_2/f_1$

$d_2 = d_1 x f_2/f_1$

$d_2 = 1.2\ x(6/1)$

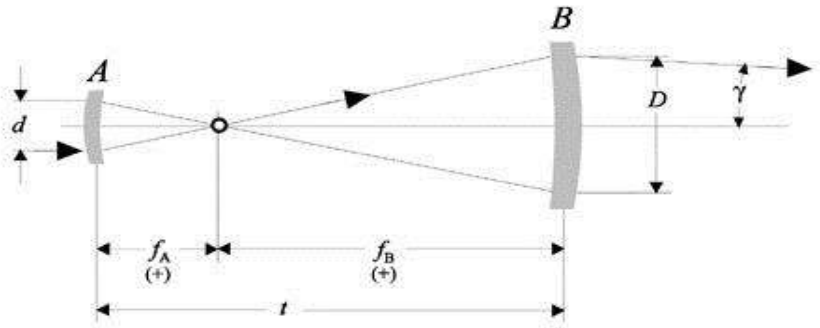
$d_2 = 7.2$ cm

هناك أنواع مختلفة لموسعات الحزمة يتم فيها توظيف العدسات وهو قطر الحزمة الخارجة من الموسع وهذه الموسعات تستعمل لتغطيه أغلب

التطبيقات، وهي:

تصميم كبلر Keblerian Design:

هو من أنواع التلسكوبات الفضائية إذ يستعمل حاجز ذو فتحة ضيقة عند موقع البؤرة الحقيقية للعدسة العينية للتخلص من الضوء غير المرغوب فيه خارج مدى قطر الفتحة الضيقة وهذا هو تصميم المرشح الفضائي والموضح في الشكل (8-12).

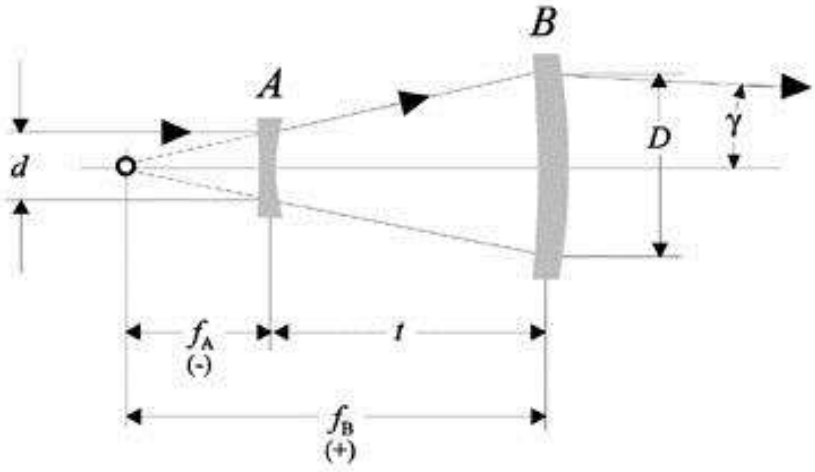


D=fa+f

شكل (8-12): يوضح استعمال العدسات لتصميم موسع الحزمة من نوع كبلر

تصميم غاليليو (Galilean Design):

في هذا النوع يمكن توسيع الحزمة دون أن تمر بالبؤرة الحقيقية ويستعمل هذا النوع في الليزرات المستمرة ذات القدرة العالية أو الليزرات النبضية، كما موضح في الشكل (8–13). وبسبب الطاقة العالية المركزة فإن التطبيقات تكون عند الغلاف الجوي لتجنب حدوث الانهيار، في الهواء.



d=(-fa)+(+fb

شكل (8-13): يوضح استخدام العدسات لتصميم الموسع نوع غاليليو

إن الطول الإجمالي لموسع الحزمة هو جمع الأبعاد البؤرية للعدسات والمكونات البصرية المستعملة في تصنيعه.

هل تعلم ؟
إن تصميم غاليليو يكون أقصر من تصميم كبلر بسبب استعماله لعدسات سالبة علما أن قوة التكبير لهما هى نفسها.

الاعتبارات التصميمية

1- التغلب على الزيغ البصري

يجب الأخذ بنظر الاعتبار المكونات ألأساسية لأية منظومة بصرية والمواد المصنعة منها عند وضع التصاميم لها وتنفيذها (تصنيعها)، ومن المكونات الأساسية هي العدسات ولذا يجب معرفة أهم المشاكل التي تعترض استخدام العدسات ومحاولة التغلب عليها أو تقليلها إلى أدنى حد ممكن ومن أهم هذه المشاكل هو الزيغ (Aberration) ويكون على أنواع عدة منها:

a- الزيغ الكروي (Spherical Aberration).
b- زيغ المذنب (Coma Aberration).
c- زيغ اللانقطية (Astigmatism).
d- تكور مجال الصورة (Image-Field Curvature).
e- الزيغ اللوني (Chromatic Aberration).

هل تعلم ؟
إن اكثرانواع الزيغ في هكذا عدسة شائع هو الزيغ الكروي

إذا تطلب الأمر استعمال عدسات مفردة في مثل هذه المنظومات فإن أفضل تصميم لمثل هذه المكونات هي العدسات الهلالية لتقليل الزيغ الكروي الناتج.

1- اختيار مادة العدسة: ومن الاعتبارات التصميمية المهمة هو اختيار المادة التي تصنع منها العدسة، إذ تتم اعتمادا على أمور عدة منها الطول الموجي و قدرة حزمة الليزر المستعملة ويجب مسبقا معرفة النفاذية والأنعكاسية والامتصاصية للمادة المستعملة ومدى ملائمتها مع الحزمة وهي على أنواع عدة منها:

- **سيلينيد الخارصين (ZnSe)**

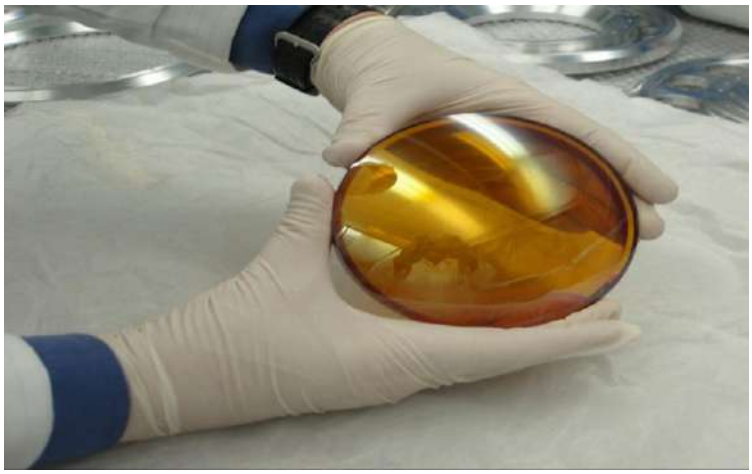
يفضل استعمال مادة (ZnSe) مع منظومات القدرة العالية المستمرة ولونها اصفر وتمتلك هذه المادة نفاذية عالية للأطوال الموجية ضمن المدى المرئي وتحت الحمراء القريبة والمتوسطة والتي تكون مفيدة لغرض الترصيف والاستعمال الفعلي. ويمكن تبريدها بوساطة الهواء بسبب امتصاصيتها الواطئة والتوصيلية الحرارية العالية، لذلك يمكن استعمالها في منظومات تصل قدرتها إلى حد(500

W) وبشكل مستمر، وإذا تم التبريد بوساطة الماء فيمكن استعمالها في منظومات تعمل بصورة مستمرة وقدرة تصل إلى عدة kW/cm.

شكل (8–14) :يوضح صورة أنواع من عدسات سيلينيد الخارصين

هل تعلم؟

أن مادة سيلينيد الخارصين ZnSe مادة ذات لون اصفر وسامة، لذا عند التعامل مع هذه العدسة يجب لبس القفازات.



شكل (8–15) :يوضح استعمال القفازات أثناء التعامل من العدسات المكونة من مواد سامة

- **الجرمانيوم (Ge)**

تستعمل مادة الجرمانيوم مع الليزرات المستمرة ذات القدرة الواطئة ومع الليزرات النبضية أيضا، وللجرمانيوم عتبة عالية وكلفة اقل من تلك التي لمادة (ZnSe). يمكن استعمال الجرمانيوم مع حزمة

ليزرية مستمرة بقدرة تصل إلى (40 W) مع تبريد بوساطة الهواء لأنها ذات امتصاصية عالية للطول الموجي (10.6 m)، كذلك فهو ذو توصيلية حرارية عالية ويتلف بزيادة قدرة حزمة الليزر المستخدمة، ولا يمرر الأطوال الموجية المرئية أي لايمكن ترصيف موسع الحزمة باستعمال حزمة الليزر المرئي (He-Ne).

- **تولورايد الكادميوم (CdTe)**

إن مادة تولورايد الكادميوم هي الاختيار الأمثل للأطوال الموجية تحت الحمراء إلى حد(25 m) إذ إنَّ لها نفاذية عالية ضمن هذا المدى وكلفته قليلة. يمكن استعماله مع حزمة ليزرية تصل قدرتها إلى مئات عدة من الواط وبصورة مستمرة. إن تصنيعه محدد بالنسبة للعدسات إذ إنَّ قطر العدسة المصنعة لا يتجاوز (5 cm) وهذه المادة لا تمرر الأطوال الموجية المرئية.

التكبير والانفراجية (Magnification and Divergence):

يعرف التكبير بأنه التغير الحاصل في الحزمة بسبب بصريات موسع الحزمة وهو على نوعين رئيسين:

a- التكبير الخطي (Linear Magnification): وهو المسؤول عن تغير قطر الحزمة التي تمر خلال الموسع ويعطى بالعلاقة:

$$M_L = \frac{EFL\ (Output)}{EFL\ (input)} \quad \text{.....(3-8)}$$

إذ إن:

EFL(Output): البعد البؤري الفعال لعدسة الخروج

EFL (Input) : البعد البؤري الفعال لعدسة الدخول. ويمكن إن يعطى بالعلاقة:

M_L= diameter of output beam / diameter of input beam

M_L= قطر الحزمة الخارجة / قطر الحزمة الداخلة .....(4-8)

b- التكبير الزاوي (Angular Magnification):

وهو المسؤول عن تغيير اتجاه الحزمة وانفراجيتها. عندما تدخل الحزمة بزاوية معينة (θ□) مع المحور البصري تخرج بزاوية أخرى (β□)، ويعطى التكبير (Ma) بالعلاقة الآتية:

$$M_a = \frac{\alpha}{\beta} \quad \text{.....(5-8)}$$

أما إنفراجية الحزمة فإنها تحدث عند مرور شعاع الضوء خلال فتحات ضيقة ويحدث لها حيود عند الحافات وبالتالي حدوث زيادة في قطر الحزمة كلما ابتعدنا عن المصدر. وتعطى الانفراجية بالعلاقة الآتية:

M_b = divergence of input beam / divergence of output beam

M_b = انفراجية الحزمة الداخلة / انفراجية الحزمة الخارجة .....(6-8)

الترصيف (Alignment):

يعد ترصيف موسع الحزمة البصري لأي منظومة مهم جدا لأنه في الأنظمة غير المرصفة يمكن أن يؤثر في توزيع طاقة الحزمة وتجميعها ويؤدي إلى ظهور عيبين بصريين مهمين هما:

a- الزيغ الكروي (Spherical Aberration)

يحدث عند سقوط الأشعة على العدسة بصورة موازية للمحور البصري فتنكسر عند خروجها منه ولا تتجمع في نقطة واحدة. وللتقليل من حدوث الزيغ الكروي في العدسات يراعى مرور الشعاع خلال عدسة الدخول والخروج بالنقطة نفسها (المستوي).

b- زيغ اللانقطية (Astigmatism)

يحدث عند سقوط ا لأشعة غير الموازية للمحور البصري على الموسع فتنكسر وفق زاوية سقوطها ومن هنا يحدث الأستكماتزم، للتغلب على هذا العيب يتم إعادة ترصيف الحزمة مع الموسع.

أسئلة ومسائل الفصل الثامن

س1- اختر الإجابة الصحيحة لكل مما ياتي؟

1- تعرف النبضة العملاقة على أنها:

a- نبضة ذات قدرة ذروة عالية جدا وأمد طويل جدا.

b- نبضة ذات قدرة ذروة عالية جدا وأمد قصير جدا.

c- نبضة ذات قدرة ذروة واطئة وأمد طويل جدا.

d- نبضة ذات قدرة ذروة واطئة وأمد قصير جدا.

2- إن مفتاح عامل النوعية (Q-switching) يطلق عليه:

a- مولد النبضة القصيرة.

b- مرحل النبضة العملاقة.

c- مولد النبضة العملاقة.

d- مرحل النبضة القصيرة.

3- إنَّ عملية ضبط عامل النوعية هي:

a- عملية السيطرة على نافذة بروستر.

b- عملية السيطرة على دائرة القدح.

c- عملية السيطرة على جريان ماء التبريد.

d- عملية السيطرة على فتح وغلق مفتاح عامل النوعية.

4- المضمن هو جهاز يستعمل:

a- لتحميل إشارة المعلومات على الإشارة الناقلة.

b- لإلغاء إشارة المعلومات على الإشارة الناقلة.

c- لإلغاء الإشارة الناقلة.

d- لتحميل الإشارة الناقلة على إشارة المعلومات.

5- المبدأ الأساس في ظاهرة الحيود السمعي-البصري هي:

a- حيود موجات الصوت المخترقة لوسط من مادة معينة تحت تأثير موجات ضوء تغطي الوسط بأكمله.

b- حيود موجات ضوء المخترقة لوسط من مادة معينة تحت تأثير موجات صوت تغطي الوسط بأكمله.

c- حيود موجات ضوء المخترقة لوسط من مادة معينة من دون إي تأثير من موجات صوت تغطي الوسط بأكمله.

d- حيود موجات الصوت المخترقة لوسط من مادة معينة من دون تأثير لموجات الضوء التي تغطي الوسط بأكمله.

6- التضمين الكهروبصري يعتمد بالدرجة الأساس على نوعين من التغيرات هي:

a- تغير الخشونة والاستطارة.

b- تغير النفاذ والانعكاس.

c- تغير الامتصاص ومعامل الانكسار.

d- تغير الكتلة والحجم.

7- ابسط أنواع المضخات ذات الريش تتكون من:

a- محور دوار متمركز وحجرة تفريغ كروية الشكل.

b- محور دوار غير متمركز وحجرة تفريغ كروية الشكل.

c- محور دوار غير متمركز وحجرة تفريغ اسطوانية الشكل.

d- محور دوار متمركز وحجرة تفريغ اسطوانية الشكل.

8- ادني ضغط يمكن الحصول عليه باستعمال مضخة تفريغ دوارة ولمرحلة واحدة هو:

a- بحدود 10^{-3} مللي تور.

b- بحدود 10^{-1} مللي تور.

c- بحدود 10^{-5} مللي تور.

d- بحدود 10^{-7} مللي تور.

9- تحتاج المضخات التوربينية الجزيئية في عملها إلى:

a- 2 لتر من الزيت.

b- 3 لتر من الزيت.

c- 4 لتر من الزيت.

d- ولا قطرة زيت واحدة.

س2- ضع علامة صح أو خطأ وصحح الخطأ أمام العبارات التالية

1- النبضة العملاقة هي النبضة ذات قدرة ذروة عالية جدا وأمد قصير جدا.

2- القيمة العالية لعامل النوعية تعني زيادة الخسائر خلال الرحلة الواحدة (Round Trip) للفوتونات داخل المرنان.

3- المضمن هو جهاز يستعمل لتحميل إشارة المعلومات على الإشارة الناقلة.

4- يتناسب معامل الانكسار تناسبا خطيا مع المجال الكهربائي المسلط في تأثير بوكلس.

س3- علل ما يلي:

1- تعد تقنية ضبط عامل النوعية من التقنيات المهمة جدا المستعملة في تشغيل ليزرات الحالة الصلبة بالنمط النبضي؟

2- لايوجد جدول زمني محدد لتبديل زيت مضخة التفريغ؟

3- لماذا نستخدم القفازات عند التعامل مع العدسات؟

س4- ما فائدة وجود مفتاح ضبط عامل النوعية في بعض منظومات الليزر؟

س5- اذكر خطوات تبديل زيت المضخة الدوارة؟

س6- وضح الفرق بين تأثير بولكس وتأثير كير؟

س7- إلى كم مجموعة تصنف المضخات؟ اذكرها ثم تكلم عنها بإيجاز؟

س8- كيف يمكن الوصول الضغط إلى (10^{-7}) داخل حجرة مغلقة باستعمال مضخات تفريغ دواره.

س9- ما هي الأجزاء الرئيسة لمضخات التفريغ الدوارة؟ وما هو دور كل منها؟

س10- سقطت حزمة ليزر بطول موجي مقداره(632.8 nm)على خلية من مادة ذات معامل انكسار مقداره (1.48) وطولها (15 cm) ومسلط عليها موجات صوتية بتردد مقداره (70 kHz)، فإذا علمت أنَّ سرعة موجات الصوت داخل مادة الخلية هي (650 m/s). احسب مقدار معامل التضمين الحاصل لحزمة الليزر.

س11 – موسع حزمة متكون من عدستين واحدة موجبة والاخرى سالبة. اذا علمت أنَّ الابعاد البؤرية للعدستين هي (f_1=30cm و f_2=-10cm)، حدد موقع العدستين مع الرسم وما هو قطر الحزمة الخارجة من الموسع اذا علمت أنَّ قطر الحزمة الداخله عليه هو (5 mm)؟

س12: ماهو اساس عمل مفتاح عامل النوعية ؟

س13: ماهو موسع الحزمة ؟ مالغرض من استعماله ؟ اذكر تصاميمة الشائعة ؟

س14: ماهي انواع التفريغ البصري ؟

س15: عرف التكبير ؟ ولماذا يختلف التكبير الخطي عن التكبير الخطي عن التكبير الزاوي وضح ذلك ؟

س16: ماهي العبود البصرية المهمة التي تظهر في الانظمة غير الموصفة لموسع الحزمة البصري وضحها مع الشرح؟

المصادر

1. Colin E Webb and Julian D. C. Jones, “Handbook of Laser Technology and Applications I&II”, Institute of Physics Publishing, 2004.
2. W. Koechner, “Solid-State Laser Engineering”, 6th Edition, Springer Science+Business Media, Inc., 2006.
3. Breck Hitz, J. J. Ewing and Jeff Hecht, “Introduction to Laser Technology”, 3rd Edition, IEEE Press, New York, 2001.
4. Mark Csele, “Fundamentals of light sources and lasers”, John Wiley & Sons, Inc., 2004
5. William S. C. Chang, “Principles of Lasers and Optics”, Cambridge University Press, New York, 2005.
6. Marvin J. Weber, “Handbook of Lasers”, CRC Press LLC, 2001
7. V. V. Antsiffrov and G. I. Smirnov, “Physics of Solid-State Lasers”, Cambridge International Science Publishing, 2005.
8. Toshiaki Suhara, “Semiconductor Laser Fundamentals”, Marcel Dekker, INC, New York, 2004.
9. Masamori Endo and Robert F. Walter, “Gas Lasers”, CRC Press, 2007.
10. H. Weber, G. Herziger, R. Poprawe, “Laser Physics and Applications”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.