



الفصل الخامس

أنواع الليزر

صنفت انواع الليزر حسب المادة الفعالة المستخدمة وهي :

- 1- ليزر الحالة الصلبة
- 2- ليزر الحالة السائلة
- 3- ليزر الحالة الغازية
- 4- ليزر شبه الموصل
- 5- الليزر الكيميائي
- 6- ليزر الإلكترون الحر

وعلى الرغم من كون الوسط الفعال في ليزر شبه الموصل هو مادة بحالة صلبة الا ان جوهر عمل هذا النوع من الليزر يختلف تماما عن ليزر الحالة الصلبة وكذلك يختلف الليزر الكيميائي عن كل هذه الاصناف في ميكانيكية ضخ الطاقة اليه.

ليزر الحالة الصلبة

يكون الوسط الفعال فيه عبارة عن بلورة عازلة او قطعة زجاج لها خطوط طيفية حادة وهي مواد صلبة شفافة شديدة التماسك تقاوم الحرارة . وتعمل الايونات المطعمة والمتواجدة بنسب قليلة (0.01 - 0.1) في البلورات الايونية كوسط فعال . تكون مادة الليزر الصلبة على شكل قضيب (طوله 6 سم وقطر 6 ملم) صقل طرفاه ليصبحا على درجة عالية من النعومة والتوازي ويدعى بقضيب الليزر الذي يوضع بين مرآتين متقابلتين (او يطلّى طرفاه ليشكلا مرآتي المرنان) ويضخ بصريا باستخدام مصباح ومضني والذي غالبا ما يكون ذو تصميم لولبي يحيط بقضيب الليزر

ان الانتقالات المستخدمة تتضمن مستويات تعود الى القشرة الداخلية غير المملوءة لهذه الايونات وبالتالي لا تتأثر بشدة بمجال البلورة مما يجعلها انتقالات حادة (اي ان قيمة σ عالية وقيمة τ لها طويلة نسبيا) بهذا يكون معدل الضخ عند العتبة واطي نسبيا .

$$G = -\alpha = \sigma (N_2 - N_1)$$

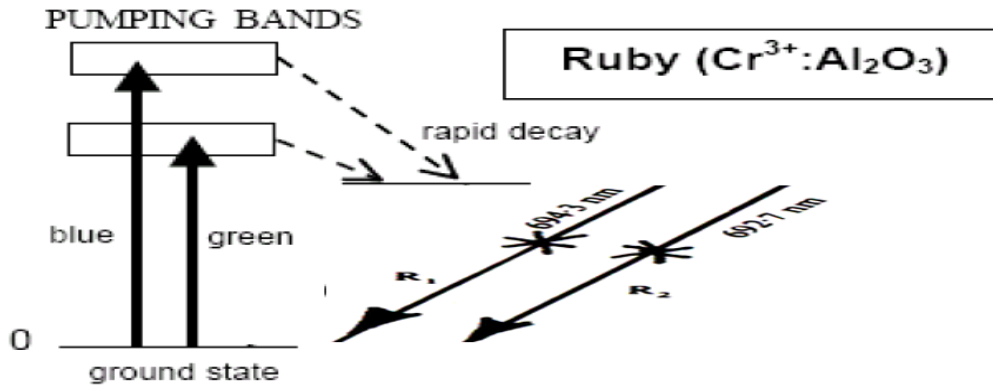
$$N_{th} = N_2 - N_1 = \frac{R_{th}}{A_{21}} = R_{th} \tau_2$$



ويكون نتاج الليزر نبضي في معظم الحالات بسبب كون الضخ البصري ومضي وطول موجة هذا النوع من الليزر يقع في المدى القريب من الأشعة تحت الحمراء (1-2.6 مايكرومتر). كذلك يمكن الحصول على ليزر مستمر باستخدام مصدر ضوئي ذو نتاج ثابت الطاقة في عملية الضخ.

1. ليزر الياقوت

اكتشف عام 1960 والوسط الفعال هو بلورة الياقوت (*Ruby*) وهي عبارة عن أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) المطعم بأيونات الكروم (Cr^{3+}) بنسبة تطعيم حوالي (5%) من الوزن الكلي بتركيز أيونات فعالة حوالي $10^{22} m^{-3}$. يكون لون البلورة أحمر وقطر بلورة الياقوت يتراوح ما بين (1-20 mm) وطولها (50-100 mm).
أما الإشعاع اللازم للضخ البصري فيقع في مدى الضوء الصادر من مصباح الزينون x_e الومضي بضغط 600 ملي بار. ويعمل بنظام المستويات الثلاثية (*Triple-Level System*) ويحتاج تبريد جيد جداً ونمط التشغيل نبضي والطول الموجي لشعاع الليزر الخارج (694.3 nm) الأقوى (و 692.7 nm) كذلك يمكن تشغيل ليزر الياقوت بموجة مستمرة *CW* إذا ما استخدم للضخ مصدر ضوئي ثابت الشدة مثل مصباح زئبقي بضغط عالي أو باستخدام ليزر آخر.
ويستخدم ليزر الياقوت في تطبيقات عملية مثل التصوير المجسم وتجارب تعيين المدى



الشكل 1-5: مخطط مستويات الطاقة لأيونات الكروميوم في البيئة البلورية ذو الثلاث مستويات

علل: تكون ليزرات الحالة الصلبة ذات قدرات عالية جداً ؟

جواب:

لأن تركيز الأيونات الفعالة التي تنتج الليزر يكون كبيراً $(10^{22}-10^{25})cm^{-3}$ وتسمى هذه نسبة التطعيم. بينما يكون تركيز الأيونات الفعالة في أحسن الحالات $(10^{18}-10^{20})cm^{-3}$ في الحالة السائلة والغازية.

سؤال: ما هي الوظيفة الأساسية للبلورة التي تحتضن الأيونات الفعالة في ليزرات الحالة الصلبة؟

جواب: هنالك ثلاث وظائف أساسية للبلورة الحاضنة هي أنها تمثل وسط مستقر تتوزع فيه الأيونات الفعالة وهذا يحدد قدرة شعاع الليزر الخارج. كما أنها تحدد كثافة الأيونات الفعالة/نسبة التطعيم. وكذلك فإن نوع البلورة يؤثر على الطول الموجي لشعاع الليزر الخارج.



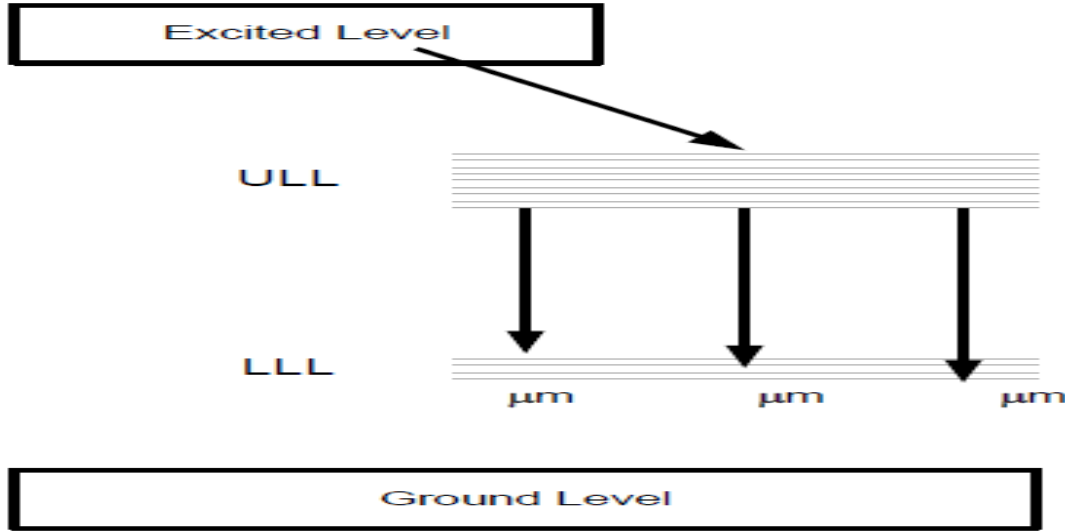
2. ليزر النيوديميوم

هو الليزر الأكثر شيوعاً لأنواع ليزر الحالة الصلبة ويعمل بخطة ضخ ذو أربع مستويات وهو على نوعين :

- ليزر النيوديميوم-ياك (*Neodymium:YAG*)

يعتبر واحد من أهم أنواع الليزر عموماً وقد اكتشف عام 1964 الوسط الفعال هو بلورة الياك (*YAG*) وهي عبارة عن أكسيد اليتريوم ألنيوم ($Y_3Al_5O_{12}$) المطعم بأيونات النيوديميوم (Nd^{+3}) بنسبة تطعيم لا تتجاوز (1.5%) يكون لون البلورة أرجواني. يتم الضخ باستخدام المصباح الوميضي بكفاءة لا تتجاوز (1.5%) أو باستخدام ليزر أشباه الموصلات بكفاءة تصل إلى (70%) ويحتاج تبريد جيد ونمط العمل مستمر ونبضي. الأطوال الموجية لشعاع الليزر الخارج ثلاثة هي ($1.4\mu m$) و ($1.06\mu m$) الأقوى و ($0.9\mu m$)

تمتاز بلورة الياك بمقاومة عالية ضد التلف وصلادة ضد الكسر ونوعية بصرية عالية.



الشكل 2-5

- ليزر النيوديميوم-زجاج (*Neodymium:Glass*)

الوسط الفعال هو الزجاج المطعم بأيونات النيوديميوم (Nd^{+3}) بنسبة تطعيم تصل إلى (6%) يكون لون البلورة أرجواني. وأبعاد البلورة من بضعة مايكرون إلى طول 2 متر وقطر 8 سم .

ويتم الضخ باستخدام المصباح الوميضي بكفاءة لا تتجاوز (1.5%) أو باستخدام ليزر أشباه الموصلات بكفاءة تصل إلى (70%) ويعمل بنظام المستويات الرباعية وتحتاج تبريد جيد. ونمط العمل نبضي الأطوال الموجية لشعاع الليزر الخارج ثلاثة هي ($1.4\mu m$) و ($1.06\mu m$) الأقوى و ($0.9\mu m$). لليزر النيوديميوم تطبيقات عديدة في تصنيع المعادن وتعيين المدى والجراحة الليزرية



ليزرات الحالة السائلة (ليزر الصبغة) (Dye Lasers)

اكتشف عام 1965 والوسط الفعال فيه عبارة عن صبغة عضوية (*Organic Dye*) مذابة في محلول مناسب مثل الماء أو الكحول الأيثلي وغيرها. تكون جزيئة الصبغة كبيرة الحجم مقارنة بالجزيئات الصلبة والغازية. ويتضمن كل مستوى إلكتروني في جزيئة الصبغة عددا كبيرا من المستويات الدورانية والاهتزازية بحيث تصبح المستويات الإلكترونية عريضة نسبيا وعند انتقال جزيئة الصبغة المثيجة من مستوى إلكتروني عال إلى مستوى إلكتروني واطئ فإن الطول الموجي المنبعث يعتمد على فرق الطاقة بين المستويات الثانوية (الدورانية والاهتزازية) لكلا المستويين الإلكترونيين وبذلك يمكن الحصول على شعاع الليزر بأطوال موجية متعددة بحيث يكون خط الطيف الليزري عريضا ولتقليل عرض الخط الطيفي لنتاج ليزر الصبغة تستخدم المواشير ومحزرات الحيود ضمن منظومة الليزر ويمكن توليف ليزر الصبغة للحصول على طول موجي واحد من حزمة الليزر ليتذبذب داخل المرنان ويشتت الأطوال الموجية الأخرى خارج المنظومة للحصول على شعاع الليزر بطول موجي واحد . ويعمل بنمط مستمر ونبضي ومصدر الضخ يتم باستخدام المصباح الوميضي (*Flash Lamp*) كما في ليزرات الحالة الصلبة. يمكن أن يتم ضخ الوسط الفعال باستخدام شعاع ليزر آخر مثل ليزر بخار النحاس (*Cu-vapor Laser*) وهذه الطريقة تكون ذات كفاءة أعلى من طريقة الضخ بالمصباح الوميضي.

تستخدم ليزرات الصبغة الأبحاث العلمية كالدراسات الطيفية والكيمائية الضوئية وفصل النظائر الكيميائية وخاصة نظائر اليورانيوم.

تمتاز ليزرات الحالة السائلة بما يلي:

1. إمكانية الحصول على حزمة عريضة من الأطوال الموجية لليزر وهذا يسمى (*Tuning*) التنعيم
2. سهولة تكوين الوسط الفعال (إذابة الصبغة في المحلول)
3. إمكانية تغيير تركيز الصبغة بسهولة (تقليله بتخفيف المحلول أو زيادته بتركيز المحلول)
4. لا توجد عيوب بلورية
5. سهولة عملية التبريد من خلال تحريك المحلول

مساوي ليزرات الحالة السائلة هي:

1. عدم الاستقرار بسبب حركة السائل
2. يمكن أن يسبب المذيب إلى منع توليد الليزر
3. تتأثر بالحرارة بشكل كبير جدا
4. تتحلل الصبغة عند تعرضها إلى الضوء

من أبرز أنواع ليزرات الصبغة:

1. ليزر الصبغة رودامين 6 (*R6G*) ويبعث في المدى (570-610) nm
2. ليزر الصبغة رودامين B (*RB*) ويبعث في المدى (605-635) nm
3. ليزر صبغة الكومارين (*Coumarin*) ويبعث في المدى (400-575) nm
4. ليزر صبغة البوليميثان (*Polymethane*) ويبعث في المدى (710-950) nm



ليزر الحالة الغازية (Gas Lasers)

الوسط الفعال هو عبارة عن أنبوب من الزجاج أو السيراميك يحتوي على غاز واحد مثل ليزرات الأركون والزينون والهيدروجين والنيتروجين أو خليط من غازين مثل ليزرات الهيليوم-نيون وفلوريد الهيدروجين وكلوريد الزينون أو خليط من أكثر من غازين مثل ليزرات $CO_2:N_2:He$.

كما تقسم الليزرات الغازية إلى أنواع عديدة حسب آلية توليد الليزر إلى:

1. ليزرات الغازات المتعادلة مثل $(He-Ne)$ $(He-Cd)$

2. ليزرات الغازات الأيونية مثل $(Ar+)$ و $(Kr+)$

3. ليزرات الغازات الجزيئية مثل (CO_2) و (KrF)

يكون تركيز الذرات أو الجزيئات حوالي $(10^{18}-10^{19})m^{-3}$ لذلك يكون حجم منظومة الليزر الغازي أكبر من حجم منظومة ليزر الحالة الصلبة.

لا يمكن ضخ الليزر الغازي باستخدام المصباح الوميضي لأن نطاق الامتصاص للغاز يكون ضيقا جدا وبالتالي عملية الضخ تكون غير كفوءة. ومصدر الضخ هو عبارة عن جهاز قدرة كهربائية يقوم بتحويل القدرة الكهربائية إلى قطبين كهربائيين في الأنبوب (الأنود والكاثود) الذي يحتوي على الغاز (أو الغازات) فيحدث التفريغ الكهربائي للغاز (توليد البلازما) ويتولد الليزر.

يمكن أن يتم تبريد أنبوب التفريغ الكهربائي من خلال مرور ماء أو هواء بارد حول الأنبوب أو من خلال ضخ الغازات (أو الغازات) بسرعة كبيرة إلى داخل أنبوب التفريغ.

عادة تكون مرآة الليزر الغازي ملصوقة على أنبوب التفريغ كما يمكن فصلها عنه.

• ليزر الهيليوم-نيون (Helium-Neon)

هو عبارة عن نوع من ليزر الغاز يستخدم أنبوبة من زجاج الكوارتز والوسط الفعال خليط من غازي الهيليوم والنيون بنسبة 1:10 موضوعين في أنبوبة زجاجية طولها $(10-80)cm$ وقطرها $(2-10)mm$ تحت ضغط $(0.6 mm Hg)$ ومرأتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الأنبوبة إحداهما عاكسة والأخرى شبة منفذة بالإضافة إلى مجال كهربائي عالي التردد أو فرق جهد مستمر يسלט على الغاز داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربائي وإثارة ذرات الغاز. يعتبر هذا الليزر مهماً لأنه قليل الكلفة وكثير الاستخدامات ويعمل بنمط مستمر (CW) وليس خطر عند الاستخدام الطول الموجي الخارج هو $(632.8nm)$ في المنطقة الحمراء

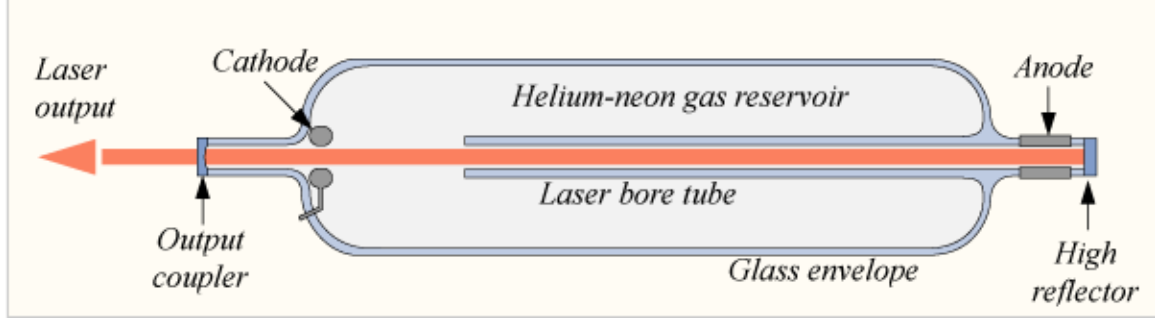
طريقة العمل

- 1- يعمل فرق الجهد على إثارة ذرات الهيليوم المثارة إلى مستويات طاقة أعلى
- 2- عند تصادم ذرات الهيليوم المثارة مع ذرات النيون غير المثارة تحدث إثارة لذرات النيون نتيجة تقارب قيم طاقه مستويات اثارتها ويتحقق التأهيل المعكوس لذرات النيون حيث تتراكم في مستوى الإثارة شبه المستقر (فترة العمر له كبيرة نسبيا حوالي 0.001 ثانية
- 3- تهبط بعض ذرات النيون تلقائيا إلى مستوى ادنى وتنتج فوتونات طاقتها تساوى الفرق بين طاقتي المستويين تقوم بحث ما بقى من ذرات النيون في المستوى شبه المستقر لكي يحدث انبعاث مستحث
- 4- تحدث انعكاسات متكررة تبادلية للفوتونات التي تتحرك موازية لمحور الأنبوبة على المرأتين في نهايتي الأنبوبة (التجويف الرنيني) فيحدث تضخيم لهذا الإشعاع



5 عندما تصل شدة الإشعاع إلى حد معين يخرج جزء منه من خلال المرآة العاكسة جزئياً على شكل شعاع ليزر ويبقى باقي الإشعاع داخل الانبوبة لتستمر عملية الانبعاث وإنتاج الليزر

6- ذرات النيون تعود لتتأثر بالتصادم مع ذرات الهيليوم التي بدورها تتأثر بفعل التفريغ الكهربائي داخل الانبوبة وهكذا..



الشكل 3-5 مخطط لمنظومة ليزر الهيليوم-نيون

الاستخدامات

يستخدم في المختبرات العلمية واغراض الترصيف وقراءة الرموز وغيرها

• ليزر ايون الأركون Ar^+ (Argon Ion)

الوسط الفعال هو غاز الأركون المتأين وله طولين موجيين خارجيين هما الأزرق 488 nm والأخضر الممزرق 514.5 nm طول أنبوب التفريغ m (2-1) و تيار التفريغ الكهربائي بحدود 50 A وفولتية مقدارها (250 V) والتبريد يتم بواسطة الماء يتم تأهيل المستوى الأعلى لانتقال الليزر بعملية تصادم متتاليتين مع الألكترونات الناتجة من التفريغ الكهربائي فالتصادم الأول يؤين الذرة والثاني يحرض هذا الايون. يستخدم في التطبيقات الطبية وخاصة جراحة العيون وكذلك في ضخ ليزرات أخرى مثل ليزر الصبغة.

• ليزر ثنائي أوكسيد الكربون (CO_2 Laser)

الوسط الفعال هو عبارة عن خليط من غازات ثنائي أوكسيد الكربون (CO_2) والنيروجين (N_2) والهيليوم (He) بنسب معينة. يوضع الخليط في أنبوب زجاجي يحتوي قطبين كهربائيين (الكاثود والأنود) ويتم تسليط الجهد الكهربائي على خليط الغازات بين القطبين فيتولد الليزر من غاز CO_2 أما دور غاز النيروجين فهو تحسين عملية الضخ (عملية انتقال الطاقة الرنيني) أما دور غاز He فهو تبريد غاز CO_2 ويمكن ان يعمل هذا الليزر بالنمط المستمر والنبضي وينتج قدرات عالية جدا. يستخدم هذا الليزر في مجالات كثيرة جدا في عمليات القطع واللحام والجراحة الطبية وتحديد المدى وهو أكثر أنواع الليزرات استخدام وتصل كفاءة هذا الليزر إلى حوالي (30 %) وهي كفاءة عالية مقارنة بباقي أنواع الليزر. ويبعث مجموعة من الأطوال الموجية ما بين (9.2 – 10.8) ميكرومتر ولكن الطول الموجي الأقوى هو $10.6\mu\text{m}$



هنالك ستة أنواع من هذا الليزر هي:

1. ليزر الجريان الطولي والتفريغ المحوري (*Longitudinal-Flow Axial- Discharge CO2 Laser*)
2. ليزر الجريان السريع (*Fast Flow CO2 Laser*)
3. ليزر الأنبوب المختوم (*Sealed-off CO2 Laser*)
4. ليزر التهييج المستعرض للغاز (*TE CO2 Laser*)
5. ليزر التهييج المستعرض عند الضغط الجوي (*TEA CO2 Laser*)
6. ليزر الغاز الديناميكي (*Dynamic Gas CO2 Laser*)

• ليزر إكسايمر *excimer laser*

هو نوع من الليزر الغازي واسمه مشتق من المصطلح الإنجليزي *Excited Dimer* (تعني الجزيئات الثنائية المثارة) اكتشف عام 1970 ينتج أشعة فوق البنفسجية ويستخدم عادة في جراحة العيون وفي صناعة أشباه الموصلات .

ويستخدم ليزر الإكسايمر عادة مخلوطا من غازين خاملين مثل الأرجون والكريبتون أو الزينون وغاز نشيط مثل الفلور أو الكلور . وعند الوصول إلى حالة مناسبة من الإثارة الكهربائية في مخلوط الغاز تتكون جزيئات وسطية تسمى إكسايمر وهي جزيئات لا تتكون إلا في حالة إثارة وبذلك تنتج ضوء الليزر الذي يكون في نطاق الأشعة فوق البنفسجية وله طول موجة محدد. ويحدد نوع الجزيئي المستخدم طول الموجة لليزر إكسايمر. وتعبأ الغازات المستخدمة في زجاجات بأسطوانات جهاز الليزر التي ينتج فيه الإكسايمر. ويجب تجديد مخلوط الغازات بين حين وآخر حيث أن خواص المخلوط تتغير بالاستخدام وأيضا تتغير أثناء أوقات عدم الاستخدام،

ويمكن إنتاج ليزر إكسايمر في هيئة نبضات فقط وبلغ زمن النبضة بين 4 و 40 نانوثانية . ويبلغ معدل إنتاج النبضات في الليزر من هذا النوع حالياً عدة كيلو هيرتز على الأكثر. ويستخدم ليزر إكسايمر كثيراً في الصناعة حيث تبلغ طاقة النبضات نحو 2 و 1 جول.

• ليزر أشباه الموصلات (*Semiconductor Laser*)

تم اكتشاف هذا النوع من الليزر عام 1961 وهو يعتبر من ليزرات الحالة الصلبة لأن الوسط الفعال عبارة عن مادة صلبة ولكنه ليس بلورة مطعمة بأيونات فعالة وإنما تركيب من مواد شبه موصلة مانحة (*n-type*) وقابلة (*p-type*) وتمثل حزمة التوصيل (*Conduction band*) مستوى الليزر العلوي وحزمة التكافؤ (*Valence Band*) مستوى الليزر السفلي ويتم الضخ من خلال تيار كهربائي يحرك الإلكترونات والفجوات ما بين هاتين الحزمتين.

تعتبر مادة كالسيوم – أرسنيد (*GaAs*) أكثر المواد شبه الموصلة التي تستخدم كقاعدة لتصنيع ليزرات أشباه الموصلات وهذا النوع من ليزرات أشباه الموصلات يبعث في المنطقة تحت الحمراء القريبة حول الطول الموجي 0.87 مايكرومتر.

مميزات ليزرات أشباه الموصلات

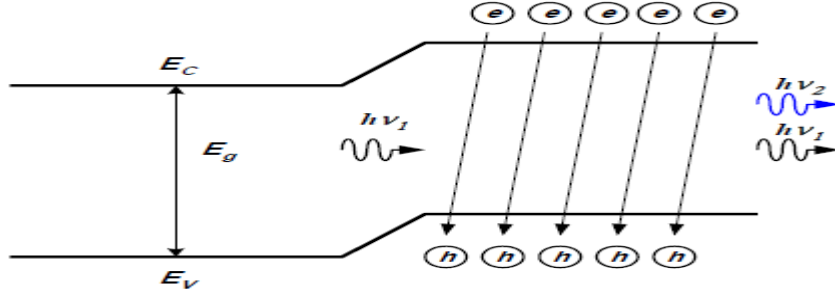
1. صغيرة الحجم
2. رخيصة الثمن
3. يتم ضخها مباشرة باستخدام التيار الكهربائي
4. كفاءتها عالية تصل إلى 32%
5. يمكن التحكم بشدة شعاع الليزر المنبعث من خلال التحكم بتيار الضخ الكهربائي
6. يمكن تنعيم الليزر الخارج أي الحصول على أطوال موجية محددة من نفس الجهاز.



• ليزرات ثنائي الوصلة (*p-n Junction Lasers*)

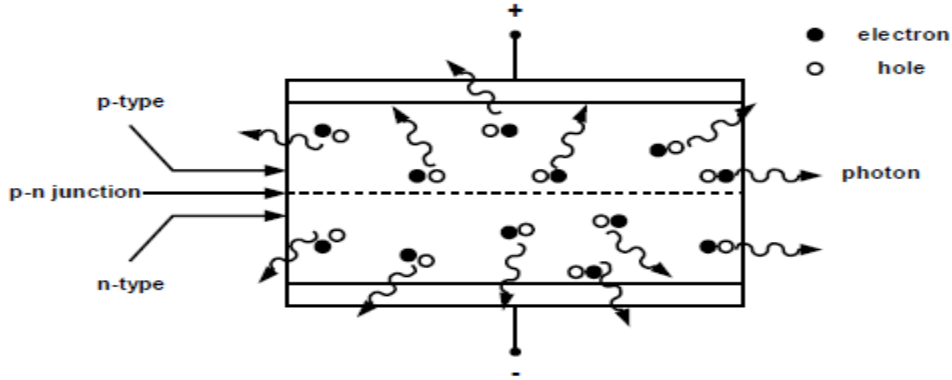
عند سقوط موجة ضوئية (فوتون) يمتلك طاقة أكبر من فجوة الطاقة (E_g) للمادة شبه الموصلة فإن الإلكترونات تتهيج وتصعد من المستوى الأرضي (حزمة التكافؤ) إلى المستوى المتهيج (حزمة التوصيل) وتترك وراءها فجوات. تبقى الإلكترونات في المستوى المتهيج فترة زمنية محددة تسمى فترة (*Level Lifetime*) عمر المستوى وتنزل بعد ذلك إلى المستوى الأرضي مرة أخرى وتتحد مع الفجوات وتبعث إشعاع. وهذه العملية تمثل الانبعاث التلقائي.

إذا كانت الإلكترونات في المستوى المتهيج وسقط فوتون يمتلك طاقة تساوي فجوة الطاقة (E_g) فإن الإلكترونات تنحرف على النزول إلى المستوى الأرضي وتتحد مع الفجوات وتبعث إشعاع. وهذه العملية تمثل الانبعاث المحفز التي هي شرط توليد الليزر



شكل 4-5 مخطط للمستويات الطاقة للليزر أشباه الموصلات ذي الوصلة الثنائية

هذا النوع من ليزرات أشباه الموصلات ذات الوصلة الثنائية تعمل في حالة الانحياز الأمامي (*Forward Bias*) أي أن الطرف الموجب لمصدر الفولتية يربط إلى الجزء الأمامي (*p-type*) والجزء السالب لمصدر الفولتية يربط إلى الجزء السالب لثنائي الوصلة (*n-type*) وإن الوصلة الثنائية تمثل المنطقة الفعالة التي يتولد فيها وينبعث منها الليزر كما هو واضح من الشكل



الشكل 6-5 مخطط توضيحي لليزر أشباه الموصلات ذي الوصلة الثنائية

هذا النوع من ليزرات أشباه الموصلات يعمل بالنمط النبضي فقط لأنه يحتاج إلى تيار انحياز أمامي عالي وكذلك بسبب ارتفاع درجة حرارة التركيب الذي يتلف الليزر. ويعتمد الطول الموجي لشعاع الليزر على قيمة فجوة الطاقة للمادة شبه الموصلة.



الليزر الكيميائي *Chemical laser*

في هذا النوع تكون المادة الفعالة الكيميائية بحالة صلبة أو سائلة أو بحالة بخار غاز. وتتكون جزيئة الوسط الفعال نتيجة التفاعل الكيميائي بين المواد المستخدمة وتؤدي الطاقة المتحررة من التفاعل الى تهيج هذه الجزيئات مسببة الانبعاث المحفز بين مستوياتها التذبذبية لذا يقع معظم الاشعاع في مدى الاشعة تحت الحمراء .

ان تركيب الجهاز يعتمد على نوع التفاعل ومواده الكيميائية وتشغيله لا يحتاج الى دوائر الكترونية معقدة ولا الى مصادر خارجية لضخ الطاقة الا انه يحتاج بشكل مستمر ضخ المواد اللازمة للتفاعل . ان الليزر الكيميائي يمكن ان ينتج نبضات ليزر بقدرة اعلى ما تنتجه الانواع الاخرى . استخدامات هذا النوع من الليزر تقع اغلبها في الاغراض العسكرية

انواع الليزر الكيميائي

1. ليزر فلوريد الهيدروجين HF 2- ليزر كلوريد الهيدروجين HCl 3- ليزر بروميد الهيدروجين HBr

4- ليزر فلوريد الديتريوم DF

ليزر الإلكترون الحر

أن الوسط الفعال في هذا النوع من الليزر عبارة عن شعاع الإلكترونات، وهذه الإلكترونات محررة تماماً من الذرات، وتمر بطريقة خاصة خلال مجال مغناطيسي للتحكم في مسارها.

ويعد ليزر الإلكترونات الحرة، من الناحية النظرية، مصدر ضوء بالغ التكيف، إذ يمكن موافقته لأي طول موجي مطلوب، وهو يعمل بقدرة عالية. أما الليزر الأخرى، فإنها تنتج الضوء عند أطوال موجية محددة، تتفق مع انتقالات الطاقة في أوساطها الليزرية.

يبين الشكل ادناه الرسم التخطيطي لتكوين ليزر الإلكترون الحر، حيث تنطلق الإلكترونات من معجل خطي يقذف الإلكترونات الحرة بطاقة 14 كيلووات وتزداد سرعة شعاع الإلكترونات حتى تصل إلى سرعة الضوء تقريبا ثم يتذبذب الشعاع خلال مُدْبَذب بشكل دوري ليقطع مجال مغناطيسي ناتج من ترتيب مغناط بشكل أقطاب متناوبة ضمن تجويف الليزر على طول طريق الشعاع يدعى "المتمايل" (*undulator*) لكي يجبر الإلكترونات على اتخاذ شكل جيبي اثناء مرورها فيه. ونتيجة لزيادة سرعة الإلكترونات وتذبذبه على طول المسار ينطلق الفوتون. وهكذا بالنسبة لبقيّة الإلكترونات حيث تَبْدَأُ بَبْعْثِ إشعاعٍ متشاكه يتم تغذيته وتكبيره بين مرآيا المرنان مما يُؤدّي إلى زيادة قوّة الإشعاع وإنتاج الليزر.

استعمل ليزر الإلكترون الحر في المجال الطبي عام 1999 في الجراحة لازالة الانسجة التالفة في المخ ، وكذلك استعمل في المجال العسكري كسلاح ذو طاقة مُوجّه ضدّ الصّواريخ

