

الفصل الثامن

المنابع الضوئية

الفصل الثامن المصادر الضوئية Light Sources

نقدم في هذا الفصل طبيعة وأنواع المصادر الضوئية المستخدمة في نظم الألياف البصرية وكذلك دراسة خصائصها . تشمل هذه الدراسة مواصفات عدة أنواع من الثنائيات الباعثة للضوء (LED's) Light Emitting Diodes وثنائيات الليزر Laser Diodes (LD) ومعرفة ملائمتها للتطبيقات المختلفة وسنقدم بإيجاز بعض الدوائر الالكترونية المستخدمة مع هذه المصادر وعناصر تصميمها .

٨-١ خصائص عامة General Characteristics

تتصف المصادر الضوئية بخاصية تحويل الإشارات الكهربائية إلى إشارات ضوئية تمكن من استخدامها في أنظمة الاتصالات البصرية ولكي تستخدم هذه المصادر لا بد أن تحقق الصفات التالية :

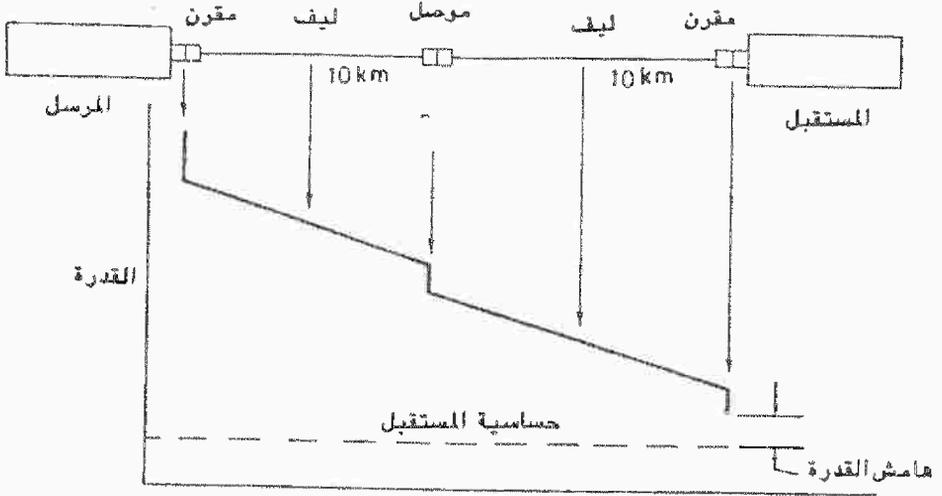
- ١ - يجب أن تكون شدة الضوء أو القدرة البصرية كبيرة لدرجة تمكن من استخدامها في الاتصالات بعيدة المدى .
- ٢ - أن تسمح بنيتها باقتران فعال للضوء في الليف البصري .
- ٣ - أن يكون الطول الموجي المنبعث من المنبع ملائماً للبصريات الليفية Fiber Optics والأطوال الموجية الشائعة الاستخدام في نظم الاتصالات البصرية هي $1.55\mu\text{m}$, $1.3\mu\text{m}$, $0.82\mu\text{m}$.
- ٤ - عرض الخط أو عرض الطيف يجب أن يكون ضيقاً لكي يستخدم في إرسال معدل معطيات عال .
- ٥ - عرض النطاق يجب أن يكون عالياً أو زمن الاستجابة يجب أن يكون قصيراً لإرسال معدل معطيات عال . وأن تكون الدوائر الالكترونية بسيطة .

- ٦ - أن تكون القدرة المنبعثة من المنبع مستقرة ولا تتأثر بتغير درجة الحرارة أو الظروف المحيطة ويجب أن يكون المنبع الضوئي ذو اعتمادية عالية .
- ٧ - أن تكون تكلفته مناسبة للنظام البصري .
- بعد ذكر الصفات الرئيسية للمنايع الضوئية سنقوم الآن بشرح كل صفة من هذه الصفات .

١-١-٨ القدرة والكفاءة Power and Efficiency

من الطرق المتبعة في تخطيط نظم الاتصالات البصرية هي استخدام حسابات القدرة ويطلق عليها ميزانية القدرة power budget وتمثل هذه الميزانية الفرق بين القدرة المرسله والقدرة المستلمة والتي تعتمد على عناصر كثيرة ضمن النظام ، نبدأ هذه الطريقة بمعرفة الحد الأدنى من القدرة الواجب استلامها عند جهاز الاستقبال P_R received power ولنقل أنها 100nw والتي تعادل 40dBm - . نفرض أن الفقد في قناة الاتصال المبين في الشكل (١-٨) هو 30dB منها 24dB تمثل الفقد في الليف البالغ طوله 20km و 6dB أخرى نتيجة الموصلات والمقارن عندئذ نكون قد وصلنا إلى بداية الليف البصري عند المنبع الضوئي وهذا يعني أن تكون القدرة المقرونة بالليف لا تقل عن $40dBm + 30dBm = -10dBm$ أي 0.1mw .

تبلغ القدرة المنبعثة من الثنائيات الباعثة للضوء حوالي 1mw بينما تبلغ القدرة المنبعثة من ثنائيات الليزر بضع مللي وات . والسؤال الآن هل بإمكاننا الحصول على 0.1mw من خلال استخدام مثلاً ثنائي باعث للضوء بقدرة 1mw . الإجابة على هذا السؤال تعتمد على كفاءة الاقتران بين المنبع والليف η_c .



الشكل (٨-١) مخطط وصلة ميزانية القدرة

وللحصول على 1mw من القدرة البصرية قد نحتاج إلى قدرة كهربائية تزيد عن مائة ضعف (100- 500mw) إذ أن هناك عنصراً آخران يدخلان ضمن الحسابات آنفة الذكر وهما الكفاءة الكمية quantum efficiency وتمثل عدد الفوتونات المولدة مقابل كل إلكترون يحقن في مادة المنبع ويرمز لها بالرمز η_Q وتسمى أيضاً بالكفاءة الداخلية والكفاءة الخارجية أو كفاءة القدرة η_p تعرف كالتالي :

$$\eta_p = \frac{P_s}{P_c} \dots\dots\dots (8.1)$$

حيث أن P_s هي القدرة البصرية المتبعثة و P_c هي القدرة الكهربائية الداخلة إلى المنبع الضوئي . ما يهمنى الآن هو مقدار الضوء الممكن اقترانه بالليف ممثلاً بكفاءة الاقتران η_c :

$$\eta_c = \frac{P_f}{P_s} \dots\dots\dots (8.2)$$

حيث أن P_f هي القدرة المقرونة بالليف و P_s القدرة البصرية المنبعثة من المنبع ، أما الكفاءة

η_T للنسبته device فتعطي العلاقة بين القدرة البصرية المقرونة بالليف P_f والقدرة الكهربائية الداخلة P_e أي أن :

$$\eta_T = \eta_P \times \eta_C = \left(\frac{P_s}{P_e} \times \frac{P_f}{P_s} \right) = \frac{P_f}{P_e} \dots\dots\dots (8.3)$$

وتعتمد كفاءة الاقتران على بنية المنبع وتوزيع شدة الإضاءة المنبعثة منه بالإضافة إلى فتحة النفوذ العددية للليف .

٢-١-٨ كفاءة الاقتران Coupling Efficiency

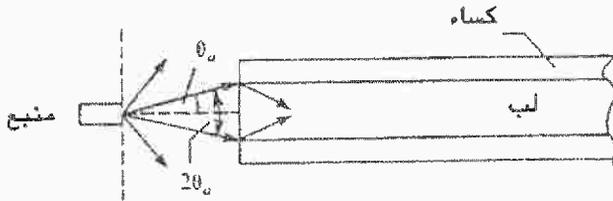
تختلف الثنائيات الباعثة للضوء LED وثنائيات الليزر LD عن بعضها من حيث كفاءة القدرة والكفاءة الكمية لكن كفاءة الاقتران في كلا النوعين لها صفات موحدة . تعتمد كفاءة الاقتران على (١) المساحة الفعالة وتوزيع الضوء المنبعث من المنبع (٢) فتحة النفوذ العددية ومقطع الليف البصري ، ولتبسيط الأمر نفرض الآتي :-

- ١ - المساحة الفعالة للمنبع أي التي تبعث الضوء أقل من مساحة مقطع الليف .
- ٢ - أن يغطي الضوء المنبعث لب الليف كما في الشكل ٢-٨ أ .
- ٣ - إن توزيع شدة الضوء لامبرتي Lambertian كما في الشكل (٢-٨ ب) .

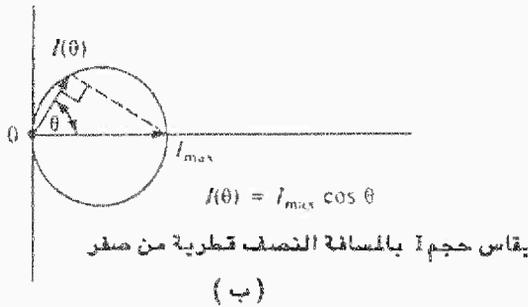
تعتمد كفاءة الاقتران على نمط الاشعاع المنبعث من المنبع الضوئي وتشع الباعثات الثنائية الضوء ضمن توزيع لامبرتي كما في الشكل (٢-٨ ب) حيث تتناقص القدرة كتابع لجيب تمام الزاوية θ ($\cos\theta$) حيث أن θ هي الزاوية بين اتجاه الرؤية والعصود على السطح . يكون سطح الباعث مضطرباً بشكل منتظم ويتناقص كدالة لجيب تمام الزاوية θ ($\cos\theta$) وتنقص قيمة القدرة إلى 50% من قيمة ذروتها عند الزاوية $60^\circ \pm$ حيث يبلغ عرض النطاق عند منتصف القدرة 120° لباعث لامبرتي كالباعث السطحي ، وتبلغ كفاءة الاقتران η_C لهذه الحالة .

$$\eta_c = \sin^2 \theta = (NA)^2 \dots\dots\dots (8.4)$$

إن الشعاع الوارد للليف من خارج زاوية قبوله لن يقترن وحيث أن زاوية القبول محددة بفتحة النفوذ العددية والتي عادة ماتكون قليلة فإن كمية كبيرة من الضوء سوف ترفض ، فعلى سبيل المثال لو أن فتحة النفوذ العددية (NA=0.24) فإن زاوية المخروط الكلية هي 28° ومعنى هذا أن الشعاع خارج هذه الزاوية لن يتمكن من الاقتران بالليف .



(١)



الشكل (٨ - ٢) اقتران المنبع الضوئي بالليف البصري (أ) الاقتران بالليف
(ب) توزيع الشدة لمنبع لامبرتي

مثال ٨-١:

أوجد القدرة المقرونة بين ثنائي سطحي باعث للضوء وليف بصري إذا كانت قيمة فتحة النفوذ العددية $NA = 0.24$ و $NA = 0.4$ على فرض أن قدرة خرج الثنائي هي 1.2mw ومساحة الانبعاث أقل من لب الليف ؟

الحل :

باستخدام المعادلة (8.4) نجد أن كفاءة الاقتران η_C عندما تكون $NA = 0.24$

$$\eta_C = (0.24)^2 = 0.0576 \text{ (or } 5.76 \% \text{)}$$

$$\eta_C = \frac{P_f}{P_s} = .0576$$

$$P_f = .0576 \times 1.2 = 69 \mu w$$

عندما تكون $NA = 0.4$ فإن :

$$\eta_C = (.4)^2 = 0.16 \text{ (or } 16 \% \text{)}$$

$$P_f = .016 \times 1.2 = 192 \mu w$$

من هذا المشال نرى أن كفاءة الاقتران تزداد بازدياد فتحة النفوذ العددية ولا بد أن

تتذكر أن زيادة فتحة النفوذ العددية تؤدي إلى تشتيت أكبر ومعدل معطيات أقل .

٣-١-٨ الطول الموجي وعرض الخط Wavelength and Linewidth

ذكرنا في الفصل الرابع وجود ثلاث نوافذ تشغيلية للأطوال الموجية الأولى تقع بين

800-900nm والثانية عند 1300nm والثالثة عند 1550nm لذا فإن المنابع الضوئية

المستخدمة يجب أن تعمل ضمن هذه الأطوال الموجية . يتأثر تشتيت المادة وتشتيت دليل

الموجة بعرض خط المنبع الضوئي المستخدم وكلما قل عرض الخط كلما زادت سعة النطاق مما

يعطي معدل معطيات أعلى . والأبحاث جارية الآن لإرسال معطيات بمعدل يتراوح بين 100

Gbps و 1000 Gbps .

٤-١-٨ عرض النطاق وزمن الاستجابة Bandwidth and Response Time

تحمّل موجة المعلومات المراد إرسالها على موجة أخرى تدعى بالموجة الحاملة carrier

لنعصل على موجة تتضمن معلومات قابلة للإرسال عبر الألياف البصرية تدعى بالموجة

المشكّلة modulated wave أو موجة التشكيل modulation wave وفي

نظام الاتصالات البصري تستخدم تشكيل الشدة intensity modulation لتحميل الموجات الكهربائية على الموجات الضوئية ويتم ذلك بتغيير شدة الإضاءة أو القدرة المنبعثة من المنبع. ترسل المعطيات الرقمية عن طريق فتح وغلق المنبع الضوئي "ON" و"OFF" والتي تقابل "1" و "0" على التوالي والمنبع النافع هو الذي نتصن من فتحه وغلقه بسهولة وبسرعة .

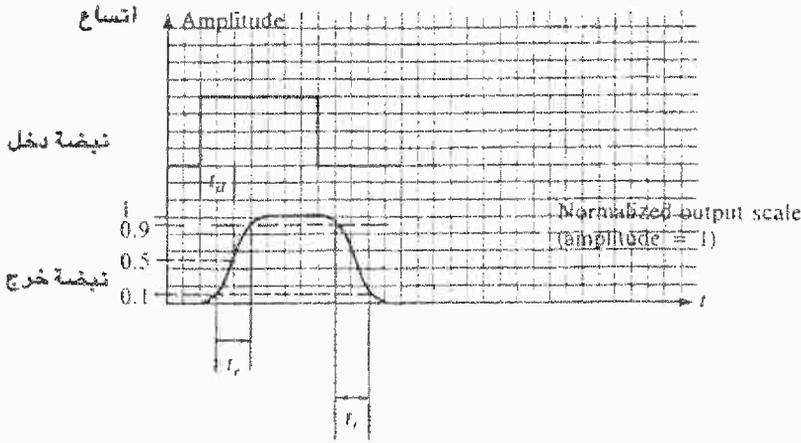
وللتعبير عن سرعة فتح وغلق المنبع تستخدم زمن الصعود t_r والنزول t_f للنبضة ونرى في الشكل (٨-٣) نبضة دخل مثالية والنبضة الناتجة من تشغيل وغلق المنبع حيث تمثل t_r الوقت اللازم لكي ترتفع قدرة المنبع من 10% إلى 90% من القدرة الكلية الخارجة وتمثل t_f الزمن اللازم لتتخف القدرة من 90% إلى 10% من القدرة الكلية الخارجة .

من أجل معدل معطيات عالي يجب أن تكون قيم t_r و t_f للمنبع منخفضة وعادة ما يذكر المصنع قيمها لأي منبع يقوم بتصنيعه - العلاقة بين عرض النطاق البصري f_{3dB} وزمن صعود النبضة يعبر عنها بالتالي :

$$f_{3dB} = \frac{0.35}{t_r} \dots\dots\dots (8.5)$$

يجب أن تكون الدوائر الالكترونية المستخدمة لتشكيل الموجه الحاملة وهي موجة المنبع بسيطة . ينطبق هذا الشرط على الدوائر المستخدمة في الثنائيات الباعثة للضوء LED لكن الدوائر المستخدمة مع ثنائيات الليزر أكثر تعقيداً ويجب أن لا ننسى في نفس الوقت فوائد استخدام ثنائيات الليزر .

عند استخدام تشكيل شدة الإضاءة التماثلية فإن شدة الضوء تمثل اتساع amplitude الإشارة المرسله . وللحصول على إشارة مرسله مطابقة يجب أن تكون العلاقة خطية بين الطاقة الضوئية واتساع الإشارة الداخلة للمنبع ما أمكن .



الشكل (٣-٨) زمن الصعود t_r وزمن الهبوط t_f وزمن التأخير t_d

٥-١-٨ الاستقرار والاعتمادية Stability and Reliability

يجب أن تعتمد الطاقة الضوئية الصادرة من المنبع الضوئي على الإشارة الكهربائية الداخلة له فقط وأن لا تتأثر بتغيير درجة الحرارة أو الظروف المحيطة . استخدمت طرق متعددة لتبريد الجيل الأول من ثنائيات الليزر مما حد من استخدامها في البداية وقلل من استقرارها أو الاعتماد عليها . ولاتزال ثنائيات الليزر حساسة لدرجة الحرارة ولكن بصورة أقل مما كانت عليه . يبلغ العمر الافتراضي للمنبع المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية حوالي ١١ سنة .

٦-١-٥ التكلفة Cost

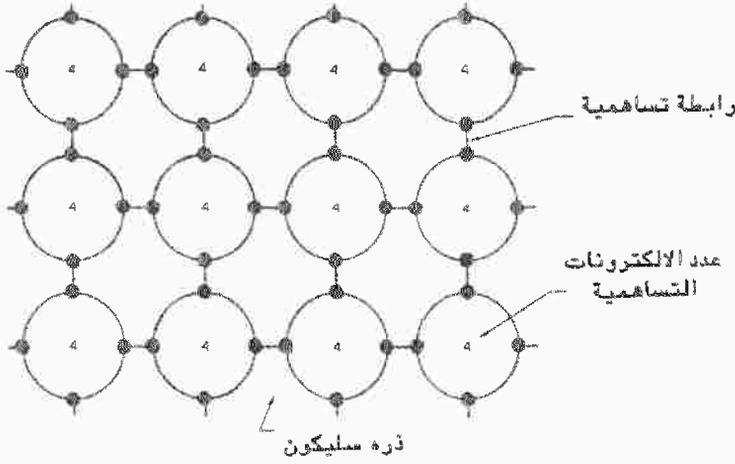
تعتبر الثنائيات الباعثة للضوء أبسط تركيباً وأقل تكلفة من ثنائيات الليزر وقد استخدمت بكثرة في الجيل الأول من أنظمة الاتصالات البصرية ولاتزال تستخدم على نطاق واسع في الأنظمة التي لا تحتاج إلى قدرة عالية وترسل بمعدل معطيات منخفض أو

متوسط . تستخدم ثنائيات الليزر في الأنظمة التي تحتاج إلى قدرة عالية ومعدل معطيات مرتفع والدوائر المستخدمة لتشغيلها أكثر تعقيداً من تلك المستخدمة مع الثنائيات الباعثة للضوء وتكلفتها أعلى . يبلغ متوسط سعر الثنائي الباعث للضوء بضع دولارات ومتوسط سعر ثنائي الليزر بضع مئات من الدولارات .

٢-٨ وصلة PN PN Junction

تستخدم إشباه الموصلات semiconductors بشكل واسع في تصنيع منابع وكواشف ضوئية تستخدم في أجهزة الإرسال والاستقبال للأنظمة اللييفية البصرية . إن إشباه الموصلات كالسليكون والجرمانيوم هي مواد تقع من حيث التوصيل الكهربائي بين المواد العازلة كالزجاج والخشب والمواد الموصلة كالتحاس والألمنيوم . نظراً لأهمية إشباه الموصلات لا بد من إعطاء فكرة موجزة عنها وتقديم طريقة تكوين وصلة PN التي تكون البنية الأساسية في الثنائيات الكهروضوئية المستخدمة في البصريات اللييفية كالليزر والثنائيات الضوئية والكواشف بالإضافة إلى الثنائيات والترانزستورات .

تحتوي ذرة السليكون على سبيل المثال على أربعة إلكترونات في المدار الخارجي outer shell ويسمى بنطاق التكافؤ valence band . تكون هذه الإلكترونات روابط bonds تمسك الذرات مع بعضها لتعطي البنية البلورية crystalline structure لهذا العنصر . تسمى هذه الروابط بالروابط التساهمية أو المتكافئة covalent bonds حيث تشترك الذرات المتجاورة في الإلكترونات الموجودة في المدار الخارجي . عندئذ يصعب عدد الإلكترونات في المدار الخارجي لكل ذرة ثنائي الكترونات ، أربعة من الذرة وأربعة من الذرات المتجاورة وتكون كل الإلكترونات ضمن الروابط التساهمية ولا يوجد أي منها طليق كما هو في الشكل (٤-٨) .



شكل رقم (٨ - ٤) الروابط التساهمية لذرات السليكون

لو أضفنا إلى مادة السليكون النقية intrinsic silicon مادة أخرى لها خصمة الكترونات متكافئة أي خصمة الكترونات في المدار الخارجي فإن أربعة منها ستشترك في تكوين رابطة تساهمية ويبقى الالكترون الخامس طليقاً يتحرك في البنية البلورية عندئذ يقال أنه إلكترون طليق ولكن ضمن مايسمى بنطاق التوصيل conduction band . تصيح مادة السليكون الآن ذات شحنة سالبة نظراً لوجود الالكترونات الزائدة ويطلق على هذه المادة نوع N حيث ترمز N إلى سالب Negative . لو أضفنا مادة لها ثلاثة إلكترونات في المدار الخارجي إلى مادة السليكون النقي فإن هذه الالكترونات ستشارك في تكوين الرابطة التساهمية ويبقى أحد مواقع الرابطة التساهمية فارغاً بدون الكترون ويطلق على هذا الفراغ بالفجوة أو الثقب . وتعامل الفجوة كحاملة شحنة شبيهة بالالكترون غير أنها موجبة وتبدو المادة وكأنها تحتوي على فجوات زائدة موجبة . لذا يطلق عليها اسم مادة نوع P حيث ترمز P إلى موجب Positive . لتصنيع الشائي نحتاج إلى إحضار مادة شبه موصلة نقية

تطعم doped بمواد شائبة impurities من مواد العمود الثالث من الجدول الدوري مثل الألمنيوم أو الجاليوم لتكوين طبقة P ومواد شائبة من العمود الخامس من الجدول الدوري مثل الزرنيخ لتكوين طبقة N . عند توصيل هاتين الطبقتين مع بعضهما تبدأ الالكترونات الزائدة بالتحرك من طبقة N نحو طبقة P وتتحرك الفجوات من طبقة P نحو طبقة N لتعبر الحد الفاصل وتبدأ الالكترونات والفجوات بالاتحاد recombination غير ما يسمى بوصلة PN (PN Junction) . ومعنى الاتحاد هنا هو أن الالكترونات الطليقة تقع في الفجوات فتتحول من نطاق التوصيل إلى نطاق التكافؤ وتصبح جزءاً من الروابط التساهمية للذرات . ويختفي الالكترون والفجوة كحاملات شحنة وينتج عن هذا الالتحام إشعاع طاقة قد تكون ضوءاً أو حرارة . إن أكثر الذرات مشاركة في هذه العملية هي تلك الواقعة على مقربة من الحد الفاصل بين طبقتي P و N . حيث أن الذرات على جانب N لديها الكترون زائد وتسمى الذرات الواهبة أو المعطية donor atoms لاستعدادها لإعطاء الالكترون الزائد ، أما على جانب P فلديها نقص إلكترون واحد أي وجود فجوة وهي مستعدة لقبول إلكترون واحد فتسمى بالذرات القابلة acceptor atoms . عندما يتم الاتحاد تتأين الذرات الواهبة لتكون أيوناً موجباً وتتأين الذرات القابلة لتكون أيوناً سالباً فيتكون من جراء ذلك حقل كهربائي electric field يكون حاجزاً مانعاً لمرور مزيداً من الالكترونات والفجوات مالم تستخدم طاقة خارجية ، وتسمى المنطقة الخالية من هذه الشحنات بالمنطقة الفقيرة depletion region أو وصلة PN أو منطقة الشحنة الفراغية - space charge region .

إن الثنائي الباعث للضوء LED هو شبه موصل PN كما هو في الشكل (٨-١٥) ينبعث الضوء منه عندما ينطبق عليه جهد أمامي forward bias أي أن القطب السالب من البطارية يربط في طبقة N والقطب الموجب للبطارية يربط في طبقة P . ينتج عن ذلك أن الالكترونات تحقن في طبقة N أو بمعنى آخر أن الالكترونات ذات الشحنة السالبة تتنافر مع القطب السالب للبطارية فتتجه نحو المنطقة الفقيرة عند الوصلة بين P و N . أما الفجوات فتحقن في منطقة P وتتجه نحو المنطقة الفقيرة عند الوصلة بين P و N أو

الالكترونات ذات الشحنة السالبة في P تنجذب نحو القطب الموجب للبطارية . تتحد الالكترونات القادمة من طبقة N مع الفجوات القادمة من طبقة P في المنطقة النقيرة فينتج عن هذا الاتحاد انبعاث طاقة على شكل ضوء أو حرارة تحكّمها في ذلك مهادلة بلانك حيث أن :

$$E_g = hf = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots (8.6)$$

أو

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \dots\dots\dots (8.7)$$

تقدر طاقة الثغرة energy gap بالجول وطول الموجه λ بالمترو و h هي ثابت بلانك ويساوي $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ أما إذا قدرنا طاقة الثغرة بالالكترون فولت وطول الموجه بالميكرون فإن المعادلة (8.7) تصبح على الشكل التالي :

$$\lambda = \frac{1.24}{E_g} \dots\dots\dots (8.8)$$

تمتلك المواد المختلفة والسبائك طاقات نطاق ثغرة مختلفة ويبين الجدول (٨-١) المواد الباعثة الشائعة واطوال موجات التشفيل والطاقات التقريبية لنطاق الثغرة . نرى من هذا الجدول إمكانية اختيار الطول الموجي لأشباه الموصلات المصنعة من Al Ga As و In Ga As و As و In Ga As P وذلك بتفسير نسب الذرات المكونة . إذ يؤدي هذا إلى تفسير طاقة نطاق الثغرة وكذلك طول موجة الانبعاث حسب المعادلة (8.7) .

جدول (٨-١) شبه موصلات باعثة للضوء

طاقة نطاق الثغرة E_g ev	مدى الطول الموجي μm	المادة
1.4	0.9	Ga As
1.4-1.55	0.8-0.9	Al Ga As
0.95- 1.24	1.0 - 1.3	In Ga As
0.73-1.35	0.9 - 1.7	In Ga As P

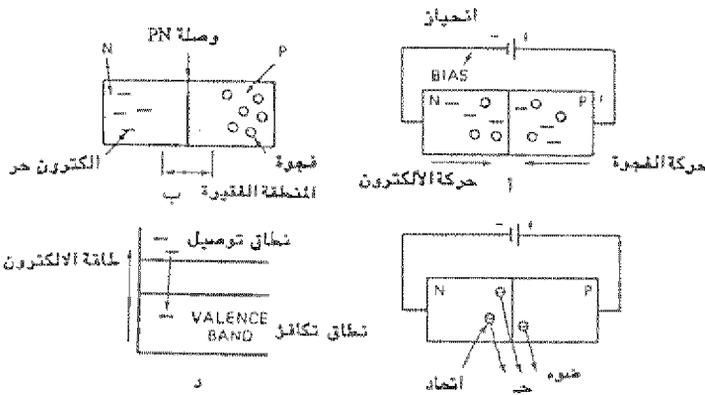
٣-٨ الثنائيات الباعثة للضوء Light Emitting - Diodes

تستخدم الثنائيات الباعثة للضوء في كثير من الأجهزة الالكترونية كالحاسبات والساعات الرقمية وأجهزة الفيديو وغيرها غير أن تلك المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية أكثر تعقيداً من الثنائي الذي تم شرحه في البند السابق ، ولو أن مبدأ تشغيلها واحد . وسبب هذا التعقيد هو الرغبة في بناء متبع له خواص توائم متطلبات نظم البصريات الليفية . تشمل هذه المتطلبات الحصول على طول موجي معين وعلى شكل اشعاع محدد . تسمى وصلة PN التي تم شرحها في البند (٢-٨) بالوصلة المتجانسة homojunction لأنها تصنع من مادة شبه موصلة واحدة مثل السليكون أو الجرمانيوم . تشع الثنائيات الباعثة الضوء ، والمصنعة من هذه المواد ، الضوء من سطحها ومن جوانب وصلة PN مما يؤدي إلى انبعاث الضوء في كافة الاتجاهات مما يؤدي إلى إشعاع منخفض لا يمكن استخدامه بصورة فعالة مع الألياف البصرية .

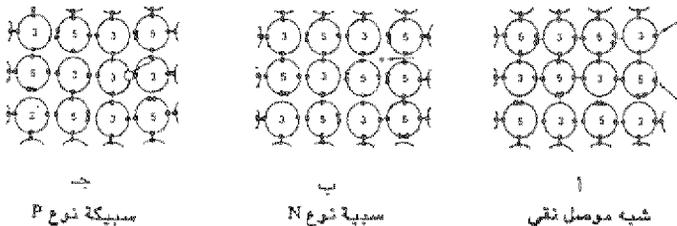
لحل هذه المشكلة تستخدم ثنائيات ذات وصلات غير متجانسة heterojunction وهي وصلات PN مكونة من مواد لها نفس البنية البلورية لكن مستويات طاقاتها ومعاملات انكسارها مختلفة . تقوم الثنائيات المصنعة من مواد غير متماثلة بحصر الحاملات carriers (الالكترونات والفجوات) في المنطقة الفعالة من الرقاقة chip المصنع عليها الثنائي - إن اختلافات معامل الانكسار يؤدي على سبيل المثال إلى حصر الضوء وتوجيهه بنفس الطريقة التي يحصر فيها الضوء في الليف البصري وهذا يعني إن الشعاع الناتج سيكون عالياً .

لتصنيع الثنائيات ذات الوصلة غير المتجانسة heterojunction LED نستخدم سبائك من مواد من عناصر العمودين الثالث والخامس من الجدول الدوري تمتلك عناصر العمود الثالث ثلاثة الكترونات في المدار الخارجي وتمتلك عناصر العمود الخامس خمسة الكترونات في المدار الخارجي . عند خلط combine عدد متساوٍ من ذرات لها ثلاثة الكترونات في المدار الخارجي مع عدد متساوٍ من ذرات لها خمسة الكترونات في المدار الخارجي سنحصل على بنية مشابهة لبلورة السليكون النقي كما هو مبين في الشكل

(٦-٨ أ) . تكون الذرات روابط متكافئة وتحتفي الشحنات الطليقة . للحصول على مادة من نوع N نخلط عدد أكبر من ذرات المجموعة الخامسة مع ذرات المجموعة الثالثة . تمتلك البنية الناتجة عن ذلك الكثرونات زائدة طليقة . وبالمثل يمكن تكوين بنية من نوع P وذلك بخلط عدد أكبر من ذرات المجموعة الثالثة مع ذرات من المجموعة الخامسة فنحصل على فجوات زائدة طليقة . من أكثر المواد شيوعاً في هذا المجال هي ذرات الجاليوم من المجموعة الثالثة وذرات الزرنيخ من المجموعة الخامسة . يبين الشكل (٦-٨ أ) بنية شبه موصل يحتوي على عددٍ متساوٍ من ذرات الجاليوم والزرنيخ في الشكل (٦-٨ ب) بنية جاليوم زرنيخ Ga As نوع N (عدد ذرات الزرنيخ أكبر من عدد ذرات الجاليوم) وفي الشكل (٦-٨ ج) بنية زرنيخ الجاليوم Ga As نوع P (عدد ذرات الجاليوم أكبر من عدد ذرات الزرنيخ) .



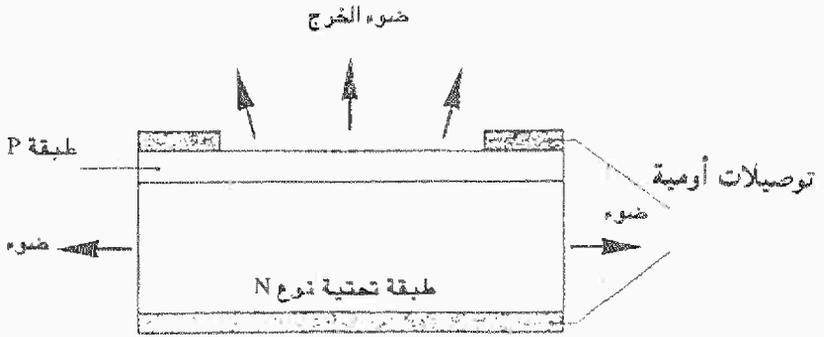
الشكل (٦-٨) النظرية المبسطة لتشغيل الثنائي الباعث للضوء



الشكل (٦-٨) الالكثرونات والفجوات في سبيكة زرنيخ الجاليوم GaAs

٨-٣-١ ثنائي مستوي Planar LED

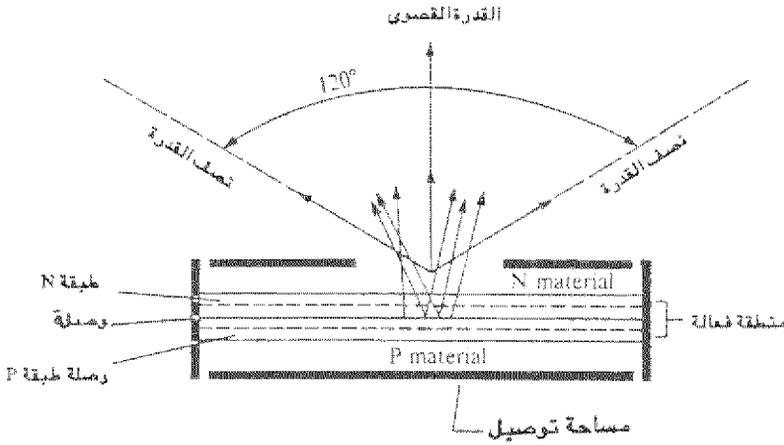
يمثل هذا النوع أبسط أنواع الثنائيات الباعثة للضوء وتصنع بطريقة التبخير أو السائل الطبقي epitaxial على طبقة تحتية من سبيكة Ga As ويتم بهذه الطريقة تفلغل طبقة P في طبقة تحتية من نوع N لنحصل على الوصلة الموضحة بالشكل (٨-٧) . يؤدي استخدام الجهد الأمامي أو الانحياز الأمامي forward bias إلى مرور التيار خلال الوصلة فينتج إشعاع تلقائي spontaneous لامبرتي . ينبعث هذا الإشعاع من كافة الأسطح . غير أن كمية قليلة من الضوء تهرب من البنية نظراً للانعكاسات داخل بنية الثنائي مما يؤدي إلى انخفاض كفاءة الثنائي .



الشكل (٨-٧) بنية ثنائي باعث للضوء مستوي حيث نرى انبعث الضوء من كافة الاتجاهات

لتحسين انجاز الثنائي المستوي البسيط اضيفت طبقات أخرى من نوع P و N للبنية . يوضح الشكل (٨-٨) ثنائي باعث للضوء بعدة طبقات تسمى البنية غير المتجانسة heterostructure . تختلف طبقات N و P عن بعضها بنوع وتركيز الشوائب المضافة . وفي هذه البنية يرتفع تركيز الالكترونات والفجوات في المنطقة الفعالة active region

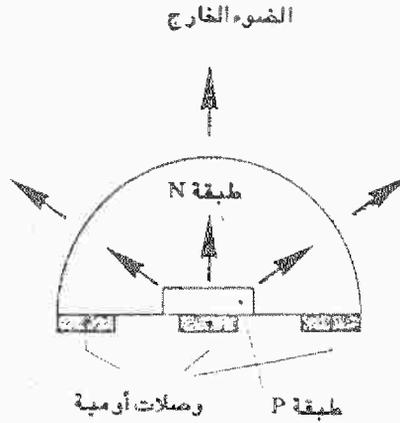
ويؤدي ذلك إلى حصر الضوء المنبعث ضمن هذه المنطقة فيشع إلى أعلى . تقوم طبقة P السفلى بعكس الإشعاع بينما طبقات N شفافة . تبلغ زاوية الحزمة عند نقاط منتصف القدرة حوالي 120° يستخدم هذا الثنائي في أجهزة التحكم بالتلفزيون والفيديو وأجهزة الإنذار وفي أحيان قليلة أنظمة الاتصالات البصرية .



الشكل (٨ - ٨) باعث سطحي بعدة طبقات

٨-٣-٢ ثنائي القبة Dome LED

يبين الشكل (٨-٩) بنية ثنائي القبة الباعث للضوء . يتكون هذا الثنائي من نصف كرة من سبيكة زرنيخ الجاليوم Ga As نوع N محيطة بمنطقة من نوع P . يُختار قطر القبة ليعطي أقصى مقدار من الانبعاث الداخلي ضمن الزاوية المخرجة بين سطح سبيكة Ga As والهواء المحيط بها . يمتلك هذا الثنائي كفاءة قدرة خارجية تزيد عما هي عليه في الثنائي المستوى . يستخدم هذا الثنائي في الأجهزة المنزلية كالتلفزيون والفيديو والإنذار وأجهزة السيطرة .

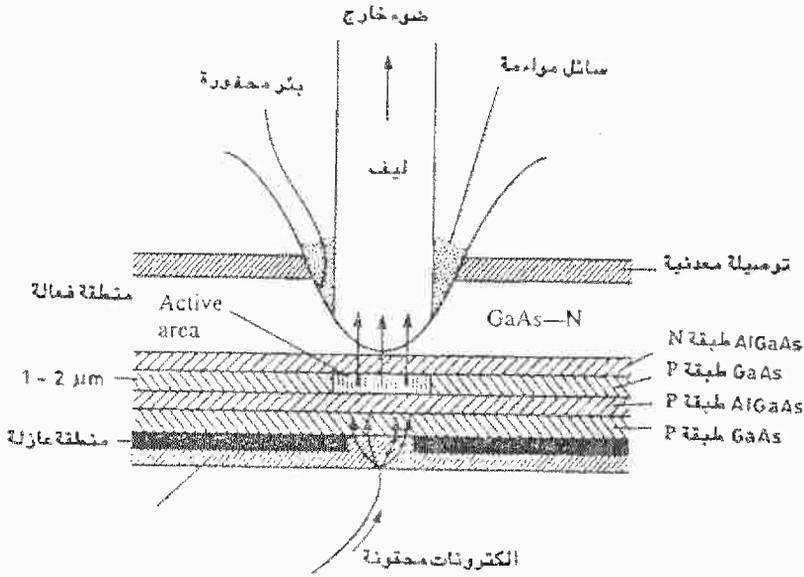


الشكل (٨ - ٩) ثنائي القبة

٣-٣-٨ ثنائي باحث سطحي (نوع Burrus) Surface Emitter LED

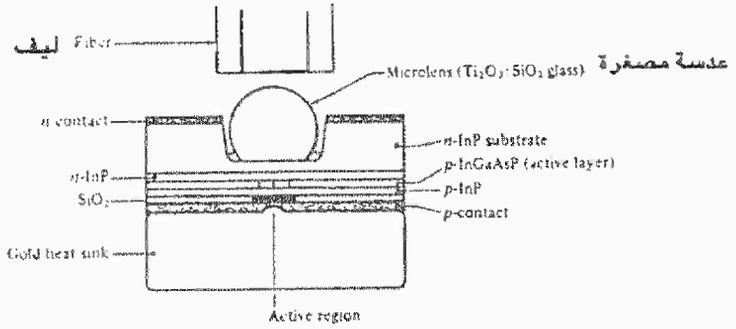
تم تطوير هذا الثنائي من قبل مختبرات بل (Bell Labs) في الولايات المتحدة الأمريكية ويسمى أحياناً ثنائي بوروس Burrus نسبة إلى الشخص الذي طوره ويعتبر هذا الثنائي من أكثر الثنائيات الباعثة للضوء كفاءة .

نرى في الشكل (٨-١٠) أن المساحة الفعالة جعلت صغيرة عن طريق السماح بالاتصال الكهربائي من خلال جزء من سطح P السفلي . تعمل طبقة ثاني أكسيد السليكون SiO_2 على عزل الطبقة المعدنية من طبقة P . تستخدم طبقتي P السفليتين (Al Ga As و Ga As) غرضين أولهما عكس الضوء وثانيهما حصر الحاد الالكترونات والفجوات في المساحة القريبة من وصلة PN . تقوم الحفرة الدائرية المحفورة في طبقة N العليا بتركيز الضوء المنبعث من المساحة الفعالة على الليف البصري .

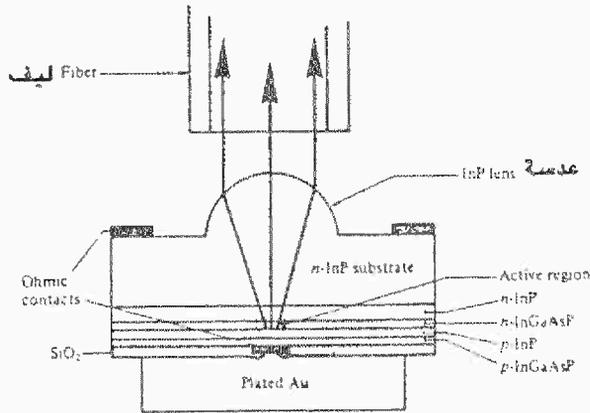


الشكل (٨-١٠) ثنائي باعث سطحي نوع بوروس Burrus

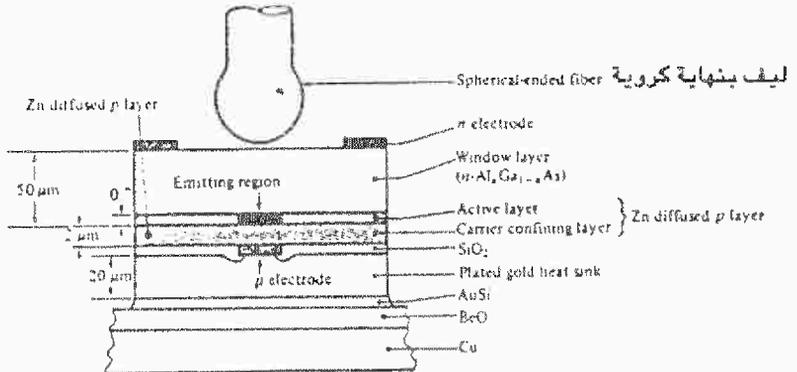
- رأينا في الثنائيات التي قدمناها أن الضوء الصادر منها ينبعث في زوايا كبيرة مما يقلل من كفاءة اقترانه بالليف البصري. استخدمت طرق عديدة لتبشير focusing الضوء المنبعث من هذه الثنائيات ، إضافة إلى الحفرة الدائرية التي تم ذكرها ، وهي :
- ١ - استخدام عدة صغيرة جداً كما في الشكل (٨-١١) .
 - ٢ - استخدام عدسة نصف كروية كما في الشكل (٨-١٢) .
 - ٣ - تشكيل طرف الليف البصري القريب من الثنائي على هيئة عدسة كما هو في الشكل (٨-١٣) .



الشكل (٨-١١) استخدام العدسة المصفرة لقرن الضوء بالليف البصري

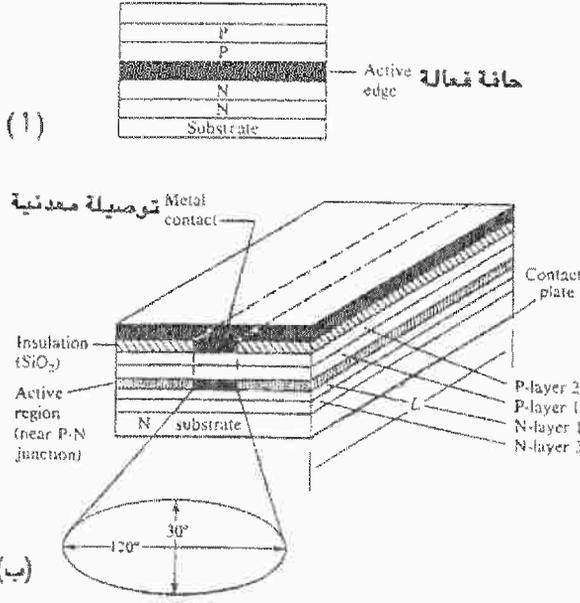


شكل (٨-١٢) استخدام عدسة متكاملة على شكل قبة لقرن الضوء للليف البصري



الشكل (٨-١٣) استخدام ليف بنهاية كروية لقرن الضوء المنبعث من الثنائي

عند شراء الثنائي تقوم الشركة بإرفاق ليف بطول ٣٠ سم مشبث أحد طرفيه في الثنائي مستخدمين أحد الطرق المذكورة أعلاه لقرن الضوء والطرف الآخر يقوم المستخدم بتوصيله مع ليف النظام البصري .



الشكل (٨-١٤) ثنائي باعث حافتي (أ) منظر جانبي (ب) رسم تفصيلي

٤-٣-٨ ثنائي باعث حافتي Edge Emitter LED

يمثل هذا النوع ثاني أكثر أنواع الثنائيات الباعثة للضوء شيوعاً ويشبه في تركيبه، إلى حد كبير ثنائيات الليزر ، ويخرج الضوء المنبعث من هذا الثنائي من حافة واحدة كما هو في الشكل (٨-١٤) أما الحافة الأخرى فتحتوي على عاكس يعكس الإشعاع القادم له من الداخل . تخدم الطبقات المتعددة غرضين . طبقة P1 وطبقة N1 . تركيز الإلكترونات والفجوات المحقونه من قبل جهد التغذية في المنطقة الفعالة . تتولى الطبقات P2 و N2 حصر الضوء المراد قسرب المنطقة الفعالة . بهذه الطريقة يتم الحصول على تركيز عال للالكترونات والفجوات ، يؤدي هذا بدوره إلى زيادة في الضوء المنبعث . كذلك فإن الضوء

المنبعث من الحافة ينبعث على طول الثنائي بطول L وليس محصوراً على المنطقة الفعالة قرب الحافة . تتولى الطبقتان P2 و N2 توجيه الضوء نحو الحافة . تسمح الطبقة العازلة المكونة من ثاني أكسيد السليكون SiO_2 بالاتصال مع طبقات الثنائي على طول شريط stripe ضيق . يؤدي ذلك إلى تركيز التيار المحقون في منطقة صغيرة ويحسن من كفاءة الضوء المولد . ويتميز الضوء المنبعث من هذا الثنائي أن زاوية انطلاقه ضيقة مما يزيد من كفاءة الضوء الداخل إلى الليف البصري وعادة ماتكون زاوية الانطلاق في حدود 30° في الاتجاه العمودي على وصلة PN و يبلغ 120° في الاتجاه الموازي نظراً لعدم وجود ما يحصر الضوء في هذا الاتجاه . وتستخدم ثنائيات الحافة عندما تكون فتحة النفوذ العددية NA أقل من 0.3 بينما تستخدم الثنائيات السطحية عندما تكون فتحة النفوذ العددية أكبر من 0.3 تتراوح قدرة ثنائي الحافة على إيصال الضوء إلى الليف البصري بين 0, 5 و ٤ و ٦ أضعاف قدرة الثنائيات السطحية عندما تكون فتحة النفوذ العددية صغيرة ، وفي كلا الثنائيين يمكن زيادة كفاءة إيصال الضوء إلى الليف البصري باستخدام العدسات .

٨-٤ خصائص الثنائي الباعث للضوء Characteristics of LED

يتطلب تشغيل الثنائي الباعث للضوء معرفة العناصر الخمس التالية :-

- (١) الكفاءة (٢) تناسب الجهد مع التيار والقدرة مع التيار (V-I, P-I curves) (٣)
- عرض الخط linewidth (٤) زاوية الإشعاع (٥) زمن الاستجابة و عرض النطاق .

١ - الكفاءة Efficiency

ترتبط الكفاءة بين القدرة الكهربائية الداخلة إلى الثنائي والقدرة الضوئية الخارجة منه ويجب أن تكون حذرین هنا في تعريف المقصود من القدرة الخارجة . سبق لنا وأن أشرنا إلى أن الكفاءة الكمية η_Q ترتبط بين التيار الداخل والضوء المولد داخلياً وليس الضوء المنبعث من الثنائي (بند ٨-١-١) . عملياً تتفسير η_Q بين 50% و 80% وهذا يعني أن ليس كل

الالكترونيات المحقونة تستطيع توليد الضوء بل أن 50% تقريباً تستطيع توليد الضوء .

وتبسيط الأمر تعرف η_Q كما يلي :

$$\eta_Q = P_{int} / P_e \dots\dots\dots (8.9)$$

حيث أن P_{int} هي القدرة الضوئية المولدة داخلياً و P_e هي القدرة الكهربائية المبذولة

dissipated وتختلف η_Q عن η_p المعطاة في المعادلة (8.1) .

لا بد لنا من إدراك أن الضوء المنبعث من الثنائي أقل من الضوء المولد داخلياً P_{int}

لعوامل عديدة وهي :

(١) يجب أن يمر الضوء المولد خلال عدة طبقات من شبه الموصل قبل أن يصل خارج الثنائي .

(٢) يؤدي الاختلاف بين معامل انكسار الثنائي (3.5-3.7) ومعامل انكسار الهواء (1.0)

إلى انعكاس جزء من الضوء داخل الثنائي مما يؤدي إلى فقد لا يستهان به . لذا نجد أن قيمة

الكفاءة الخارجية η_p صغيرة جداً (0.5% - 2%) . يضاف إلى ماسبق أن ليس كل الضوء

المنبعث يمكن اقترانه بل جزء منه فقط كما ذكر في المعادلة (8.2) .

مثال ٢-٨ :

أوجد القدرة المنبعثة P_S لثنائي باعث للضوء فيه

$$\eta_p = 1\%$$

$$I_D = 50 \text{ m A} \quad (\text{تيار الثنائي})$$

$$V_F = 1.6 \text{ V} \quad (\text{هبوط جهد الثنائي})$$

الحل :

القدرة الكهربائية للثنائي $P_e = \text{الجهد} \times \text{التيار}$

$$I_D \times V_F = P_e$$

$$80\text{mw} = 50 \times 10^{-3} \times 1.6 = P_e$$

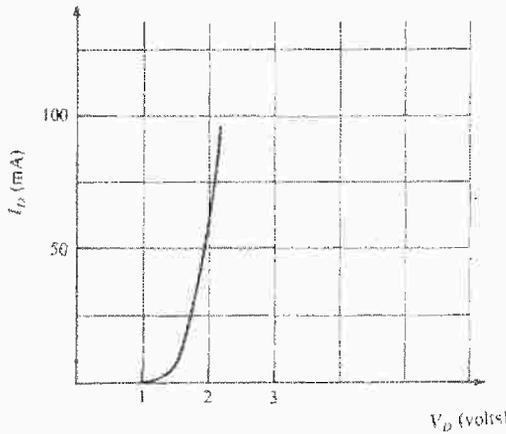
$$\eta_p = \frac{P_S}{P_e} \quad : \text{ من المعادلة (8.1) }$$

$$P_s = \eta_p P_e = \frac{1}{100} \times 80 \text{ mw} \\ = 800 \mu\text{m}$$

لاحظنا هنا أن $800 \mu\text{w}$ تشع في كافة الاتجاهات وجزء منها فقط يمكن اقترانه بالليف .

٢- علاقات الجهد مع التيار والقذرة مع التيار: V-I and P-I Relationships:

إن العلاقة بين الجهد والتيار في الثنائي الباعث للضوء تشبه العلاقة في الثنائي العادي . نرى في الشكل (٨-١٥) منحنى للعلاقة بين الجهد الأمامي والتيار للثنائي الباعث للضوء . يتراوح هبوط الجهد الأمامي بين 1.3V و 2V والتيار الأمامي المستمر بين 50mA و 100mA . أما في التشغيل النبضي فالحد الأقصى للتيار النبضي حوالي 3A . سبق وأن أشرنا عند مناقشة كفاءة الثنائي الباعث للضوء بأن القدرة الخارجة تتناسب طردياً والتيار الداخل ، ونرى في الشكل (٨-١٦) منحنين يمثل المنحنى رقم 1 العلاقة بين التيار والقذرة الناتجة لثنائي باعث للضوء بقدرة عالية والمنحنى رقم 2 العلاقة بين التيار والقذرة لثنائي باعث للضوء بقدرة منخفضة .



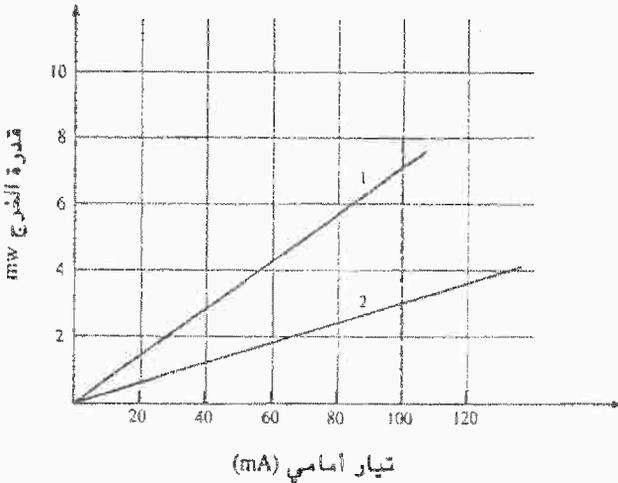
الشكل (٨ - ١٥) منحنى العلاقة بين الجهد الأمامي والتيار الأمامي لثنائي باعث للضوء

إذا كان التيار i هو الشحنة المحقونة بالثانية . عندئذ يكون عدد الشحنات بالثانية $N = \frac{i}{q}$ ، حيث أن q هي شحنة الالكترون فإذا كان η_Q هو الجزء من هذه الشحنات الذي سيتحدد وينتج فوتونات سيكون خرج القدرة البصرية :

$$P = \eta_Q i N E_g = \frac{\eta_Q i E_g}{q} \dots\dots\dots (8.10)$$

تعبير المعادلة (8.10) عن العلاقة الخطية بين القدرة الضوئية والتيار . في هذه العلاقة تم تقدير طاقة الشفرة E_g energy gap بالجول . إذا قدرت E_g بالالكترون فولت فإن المعادلة (8.10) تصبح :

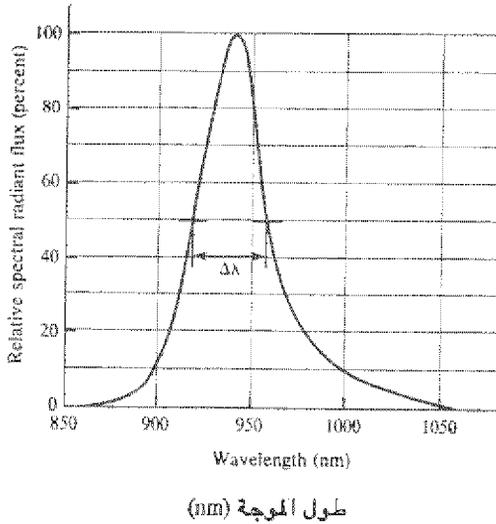
$$P = \eta_Q i E_g \dots\dots\dots (8.11)$$



الشكل (٨-١٦) سريان الإشعاع مقابل التيار الأمامي المستمر لثنائي باعث للضوء نموذجي

٣ - عرض الخط Linewidth

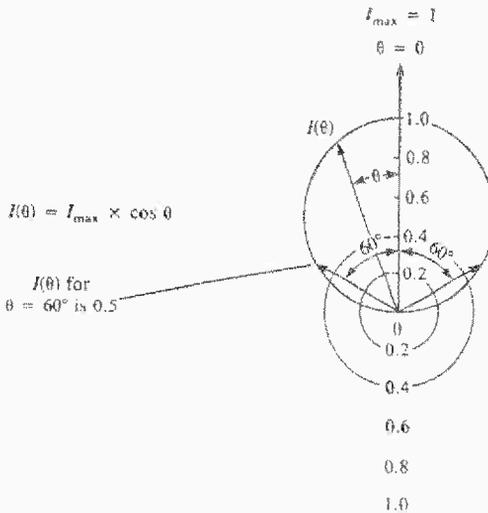
يتصف الضوء المنبعث من الثنائيات الباعثة للضوء بكبير عرض الخط مقارنة بالضوء المنبعث من ثنائي الليزر . تختلف تسمية عرض الخط تبعاً للشركة المصنعة، تستخدم عدة تسميات لوصف مدى الطول الموجي للأنبعاث مثل عرض الطيف، استجابة الطيف spectral response، جريان إشعاع الطيف spectral radiant flux وطيف الانبعاث emission spectrum . نرى في الشكل (٨-١٧) منحنى استجابة الطيف لثنائي باعث للضوء نموذجي . يعرف عرض الخط على أنه مدى الأطوال الموجية الواقعة بين نقطتي انخفاض القدرة إلى نصف قيمة القدرة القصوى . يبلغ عرض الخط للثنائي في الشكل (٨-١٧) حوالي 40nm (بين 920nm و 960nm) وكما أشرنا سابقاً عندما تكون $\Delta\lambda$ كبيرة فإن التشتيت يزداد ويؤدي ذلك بدوره إلى تخفيض عرض نطاق التشكيل وتخفيض معدل المعطيات .



الشكل (٨ - ١٧) منحنى استجابة الطيف لثنائي باعث للضوء نموذجي

٤ - زاوية الإشعاع Angle of Radiation

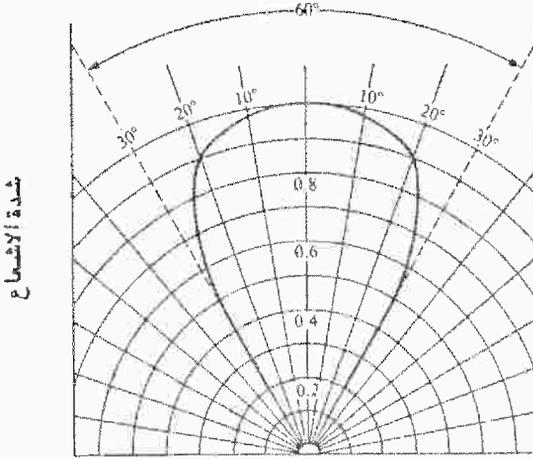
تناسب شدة الشعاع المنبعث من الثنائي الباعث للضوء تناسباً طردياً مع جيب تمام زاوية الإشعاع. يسمى توزيع الشعاع هذا بالتوزيع اللامبرتي ويسمى المنبع الباعث لهذا الشعاع بأنه منبع لامبرتي. يوضح الشكل (٨-١٨) هذا التوزيع. عند الحظ المتعامد على سطح المنبع تكون قيمة الزاوية $\theta = 0$ عندها تبلغ شدة الإشعاع أعلى قيمة لها. كلما زادت قيمة θ كلما قلت شدة الإضاءة. عند $\theta = \pm 60^\circ$ تهبط شدة الإضاءة إلى نصف قيمتها عند $\theta = 0^\circ$. تكون الزاوية الكلية بين نقطتي منتصف القدرة 120° (-60 to $+60^\circ$).



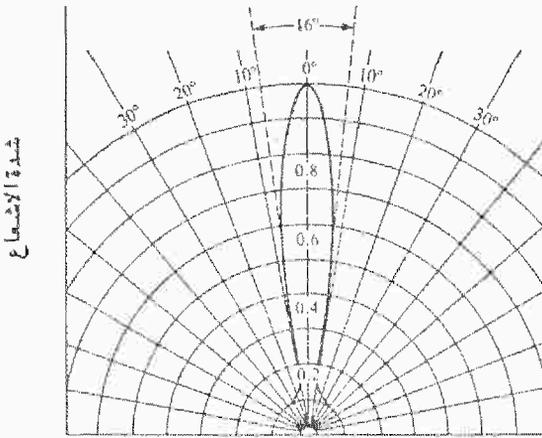
الشكل (٨-١٨) توزيع لمنبع لامبرتي

نستطيع الإقلال من زاوية الأشعاع دون 120° باستخدام العدسات أو تصنيع ثنائيات بتصاميم خاصة والتي تم شرحها في البنود ٨-٣-٢ و ٨-٣-٣ و ٨-٣-٤. نرى في الشكل (٨-١٩) رسماً لتوزيع شدة الإضاءة لقيم زوايا إشعاع مختلفة لنوعين من الثنائيات

الباعثة للضوء. نرى في الشكل (٨-١٩) أن عرض حزمة الإشعاع عند نقاط منتصف القدرة تقع بين $+30^\circ$ و -30° . وفي الشكل (٨-١٩ب) يبلغ عرض حزمة الضوء 16° ($+8^\circ$ و -8°)



أ - زاوية الإشعاع



ب - زاوية الإشعاع

الشكل (٨-١٩) رسم بياني نموذجي لزاوية الإشعاع مقابل الشدة النسبية

(أ) زاوية إشعاع واسعة تتراوح بين 30° - $+30^\circ$

(ب) زاوية إشعاع ضيقة نتيجة استخدام العدسات وتتراوح بين 8° - $+8^\circ$

٥ - زمن الاستجابة وسعة النطاق Response Time and Bandwidth

يحدد زمن الاستجابة سرعة نقل المعلومات ومعدل المعطيات . إن المقصود بزمن الاستجابة هنا هو سرعة فتح وغلق الثنائي الباعث للضوء . يشير هذا التعريف إلى الاشعاع الضوئي وليس للتيار الثنائي . ذكرنا في البند ٨-١-٤ العلاقة بين زمن الصعود وعرض النطاق . استخدمت الثنائيات الباعثة للضوء لإرسال عرض نطاق مقداره 30MHz .

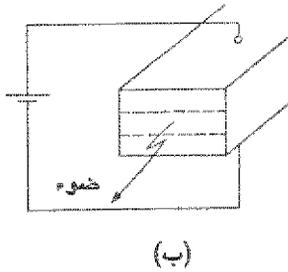
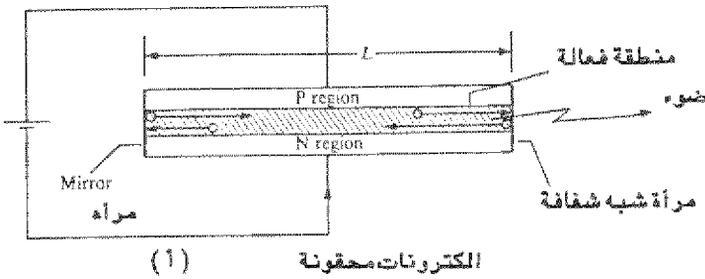
٥-٨ ثنائيات الليزر Laser Diodes

تتكون كلمة ليزر من الأحرف الأولى للكلمات الانجليزية Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation وتعني تضخيم الضوء بالانبعاث المثار للإشعاع .

رغم تشابهه بنى الثنائيات الباعثة للضوء وثنائيات الليزر فإنهما يختلفان في طريقة انبعاث الضوء . يعتمد اشعاع الضوء في الليزر على الانبعاث المثار stimulated emission حيث تقوم الفوتونات المولدة نتيجة الانحياز الأمامي بالاصطدام بالالكترونات فتسبب انتقال الالكترونات من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى طاقة أعلى . تبعاً لذلك تقوم هذه الالكترونات بتوليد فوتونات جديدة تصطدم مع إلكترونات أكثر فتسبب انتقالها إلى مستويات طاقة أعلى وهلم جرا . للوصول إلى الانبعاث المثار نحتاج في بداية الأمر إلى (١) مصدر تحفيز مثل منبع ضوء خارجي أو انبعاث تلقائي كما هي الحال في الثنائي الباعث للضوء . (٢) حصر الفوتونات المولدة في مساحة صغيرة لزيادة فرص تصادم الالكترونات الضوئية . في ثنائي الليزر ، تتولد الفوتونات الابتدائية بسبب الالكترونات المحقونة بواسطة التيار الكهربائي . تحصر الفوتونات المولدة في المساحة الفعالة عن طريق مرآيا موضوعة في نهايتي الثنائي . يبدأ الانبعاث المثار عندما يكون عدد الالكترونات في مستويات الطاقة العليا أكبر من عددها في مستويات الطاقة الدنيا أي الحالة الأرضية ground state وتسمى هذه الحالة بالانقلاب السكاني population inversion .

٨-٥-١ ثنائي ليزر بوحدة متجانسة Homojunction Laser Diode

نرى في الشكل (٨-٢٠) رسماً مبسطاً لبنية ثنائي ليزري شبه موصل. تتجه الفوتونات المولدة نتيجة تيار الحقن إلى المرايا الموجودة على حافتي الشانتي وتنعكس إلى داخل المساحة الفعالة. تستمر الالكترونات والفوتونات ذهاباً وإياباً حتى نحصل على الانبعاث المتأثر. لا بد أن نشير هنا إلى أن أحد المرايا أو كلاهما يسمح بمرور جزء من الضوء إلى خارج الثنائي. إذ تتمكن من استخدام الضوء الخارج من أحد المرايا ونليس الضوء الخارج من المرآة الأخرى بصفة دائمة كما أن كافة ثنائيات الليزر تبعث الضوء من الحافة.



الشكل (٨-٢٠) بنية ليزر شبه موصل أساسية

(أ) منظر جانبي (ب) مستط

من أجل الحصول على موجة مستقرة ساكنة يجب أن يكون طول الشئاني مساوياً إلى عدد صحيح من نصف طول الموجة أي :

$$l = \frac{m\lambda}{2} \dots\dots\dots (8.12)$$

حيث λ هو طول الموجة كما هو في مادة الشئاني و m عدد صحيح موجب. من هذه المعادلة نستطيع أن نصنع شئاني ليزر يبعث الضوء بالطول الموجي المرغوب وبالإمكان كتابة (8.12) على النحو التالي :

$$\lambda = \frac{2l}{m} \dots\dots\dots (8.13)$$

للحصول على الترددات الطيفية المولدة في الشئاني نستخدم المعادلة (8.13) والعلاقة

$$v = \frac{c}{n} \text{ نجد أن :}$$

$$f = \frac{mc}{2nl} \dots\dots\dots (8.14)$$

حيث أن n هو معامل الانكسار داخل المساحة الفعالة . تكون مجموعة الترددات الطيفية هذه الأنماط الطولية longitudinal modes كما في الشكل (٨-٢١) .
المسافة بين نمطين متجاورين هي :

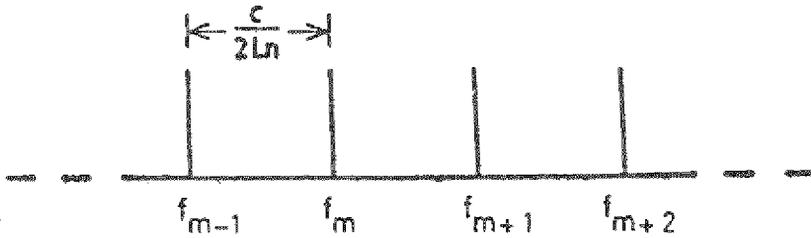
$$\Delta f_c = \frac{c}{2ln} \dots\dots\dots (8.15)$$

ولمعرفة عدد الأنماط المولدة داخل شئاني الليزر لابد أن نعرف عرض الخط $\Delta \lambda$ والمسافة بين أطوال موجات الطنين resonance عن بعضها $\Delta \lambda_c$ حيث أن :

$$\frac{\Delta f_c}{f} = \frac{\Delta \lambda_c}{\lambda_0} \dots\dots\dots (8.16)$$

حيث أن λ_0 هو متوسط الطول الموجي في الفراغ الحر و $f = \frac{c}{\lambda_0}$ هي متوسط التردد من المعادلة (8.16) نجد أن :

$$\Delta \lambda_c = \frac{\lambda_0 \Delta f_c}{f} = \frac{\lambda_0^2 \Delta f_c}{c} \dots\dots\dots (8.17)$$



الشكل (٨-٢١) ترددات الطنين في ليزر ثنائي - الأنماط الطولية

مثال ٨-٣ :

- أوجد عدد الأنماط الطولية المولدة وتباعد الترددات والأطوال الموجية لثنائي باعث للضوء مصنع من سبيكة زرنيخ جاليوم ألمونيوم Al Ga As طولها $l = 0.4 \text{ mm}$ ومتوسط طولها الموجي $0.84 \mu\text{m}$ ومعامل انكساره 3.65 وعرض خطها 2 mm .

الحل :

باستخدام المعادلة (8.15) نحصل على تباعد الأنماط في مجال الترددات

$$\Delta f_c = \frac{c}{2L \ln} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times (0.4 \times 10^{-3}) \times 3.65} = 103 \times 10^9 \text{ Hz}$$

- لإيجاد المسافة بين نمط وآخر في مجال الأطوال الموجية $\Delta \lambda_c$ نستخدم المعادلة (8.17)

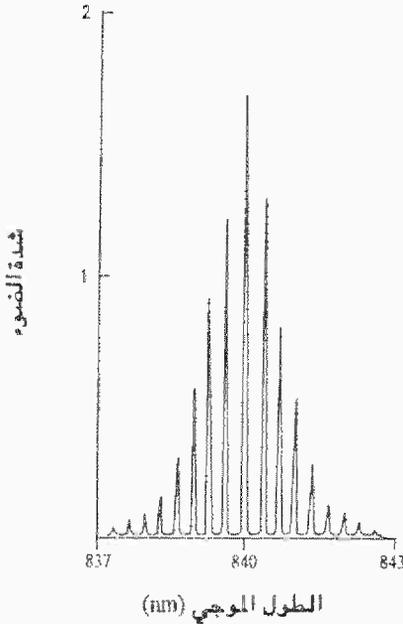
$$\Delta \lambda_c = \frac{\lambda_o^2 \Delta f_c}{c} = \frac{(0.84 \times 10^{-6})^2 \times (103) \times 10^9}{3 \times 10^8}$$

$$= 24.22 \times 10^{-11} = 0.2422 \text{ nm}$$

عدد الأنماط المولدة هو :

$$\frac{\Delta \lambda}{\Delta \lambda_c} = \frac{2 \text{ nm}}{0.2422} = 8$$

يوضح الشكل (٨-٢٢) هذه الأنماط . بالإمكان أن يكون عرض كل نمط صفراً لو كانت المرايا تعكس بشكل تام ولكن الواقع العملي غير ذلك فرسمت الانماط موسعة قليلاً . حيث أن تشوه النبضة نتيجة تشتيت المادة يعتمد على الانبساط بين أقصر وأطول موجة منبعثة من المصدر وتوزيع القدرة بين الانماط الطولية غير مهم . بالإمكان الحصول على ثنائيات ليزرية بنمط واحد باستخدام تصاميم أكثر تعقيداً وأكثر تكلفة من الثنائيات الليزرية متعددة النمط .

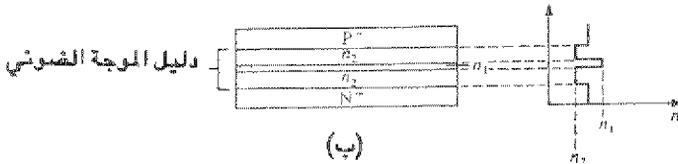
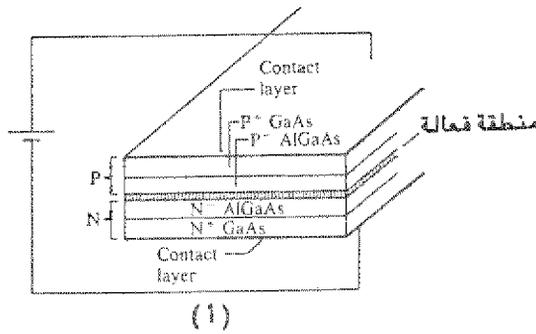


الشكل (٨-٢٢) طيف الانبعاث لليزر ثنائي متعدد النمط

٢-٥-٨ Heterostructure Laser Diode ثنائي ليزر ببنية غير متجانسة

يوضح الشكل (٨-٢٣) البنية الأساسية لليزر مكون من عدة طبقات من سبيكة زرنيخ الجاليوم مطعمة بشوائب بنسب مختلفة للحصول على طبقات N و P وبتركيز مختلف لكل طبقة . الغرض من ذلك هو حصر المساحة الفعالة والحصول على قيم محددة لمعامل الانكسار ورفع كفاءة الإشعاع .

ترمز إشارة + في P^+ أو N^+ إلى إرتفاع تركيز الشوائب في المادة وترمز إشارة - في P^- أو N^- إلى قلة في تركيز الشوائب في المادة .



الشكل (٨-٢٣) ثنائي ليزر ببنية غير متجانسة

(أ) رسم تخطيطي لمكونات ثنائي الليزر

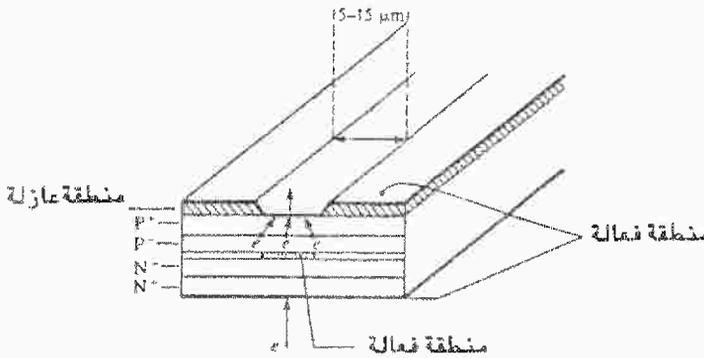
(ب) منظر جانبي لمعاملات الانكسار

يتطلب حجم الليف البصري الصغير أن يكون المنبع صغيراً أيضاً . لذا توضع طبقة من زرنيخ الجاليوم عند الوصلة وبمسافة تتراوح بين $0.2 \mu m$ و $0.5 \mu m$ حيث تمثل هذه المساحة الفعالة . تؤدي إضافة هذه الطبقة من زرنيخ الجاليوم إلى زيادة المحاد الالكترونات

مع الفجوات ، يؤدي ذلك بدوره إلى رفع كفاءة الاشعاع . طبقات P^- و N^- لها معاملات انكسار n_2 أقل من معامل انكسار طبقة زرنيخ الجاليوم n_1 . تشكل هذه الطبقات دليل موجي يقوم بحصر الضوء في المنطقة الفعالة . في الشكل (٨-٢٣ب) نرى المنظر الجانبي لمعاملات الانكسار أثناء الذكر .

ينبعث الضوء من مقدمة ومؤخرة الثنائي حيث توجد مرابا عاكسة (نسبة الانعكاس حوالي 99%) . يستخدم الضوء الخارج من الأمام في نظم الاتصالات والضوء الخارج من الخلف لقياس كمية الضوء الخارج بصفة مستمرة .

ينبعث الضوء من العرض الإجمالي للثنائي الموضح في الشكل (٨-٢٣) . تحدد هذه العناصر القدرة الخارجة وعدد الأنماط والأطوال الموجية المرغوبة . من هذه الأنواع ثنائي الليزر الشريطي stripe الموضح في الشكل (٨-٢٤) . ينحصر الضوء المولد في طبقة يتراوح عرضها بين $5 \mu m$, $15 \mu m$ لتناسب مقطع الليف .



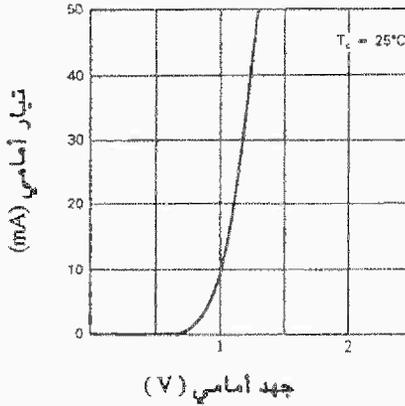
الشكل (٨-٢٤) بنية غير متجانسة لثنائي ليور شريطي

٦-٨ Characteristics of Laser Diodes خصائص ثنائيات الليزر

نشرح في هذا البند خصائص ثنائي الليزر وهي (١) علاقة الجهد بالتيار (٢) تيار العتبة والقدرة الخارجة (٣) الطول الموجي (٤) زاوية الاشعاع (٥) زمن الصعود وزمن الهبوط (٦) الاعتمادية .

١ - علاقة الجهد بالتيار Voltage - Current Relationship

لا يختلف الثنائي الليزري عن الثنائي العادي عند استخدام الجهد الأمامي . يتزايد التيار الأمامي بسرعة مع الجهد كما في الشكل (٨-٢٥) .

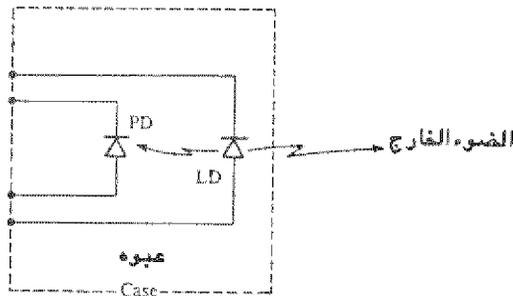


الشكل (٨-٢٥) العلاقة بين الجهد الأمامي والتيار الأمامي لثنائي عادي

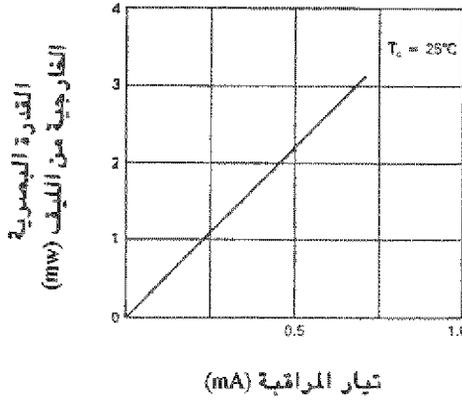
٢ - تيار العتبة والقعدة الخارجة Threshold Current and Output Power

يعتبر تيار العتبة من المعلمات الهامة في تشغيل ثنائي الليزر إذ يمثل تيار العتبة أقل تياراً أمامي نحتاجه لكي يبدأ الثنائي عمله .

عندما بدأ تشغيل الجيل الأول من الثنائيات الليزرية كان تيار العتبة I_{th} حوالي 500 mA وفي التصميم الحديثة تم تقليص المساحة الفعالة وتتراوح قيمة I_{th} في ثنائيات الليزر المستخدمة حالياً بين 30mA و 100mA ، أدى ذلك إلى إستخدام دوائر الكترونية مبسطة والاققلال من القدرة المبذوة . يؤدي تغير درجة الحرارة إلى تغير مقدار القدرة الخارجة . لذا تبرد الثنائيات الليزرية كي نحصل على قيمة ثابتة لقدرة الخرج P_{out} . للحصول على قيمة ثابتة لـ P_{out} لابد من مراقبة قيمتها باستخدام ثنائي ضوئي يستقبل الضوء الخارج من النهاية الخلفية - كما في الشكل (٨-٢٦) وتغذي ثنائي الليزر دائرة راجعة مبربوطة بالثنائي الضوئي للتحكم في التيار المستخدم لثنائي الليزر . ترتبط القدرة الخارجة من الليف بتيار المراقبة I_{mon} بملاقة خطية كما هو في الشكل (٨-٢٧) .



الشكل (٨-٢٦) رسم تخطيطي لعبوة تحتوي على ثنائي ليزر وثنائي ضوئي



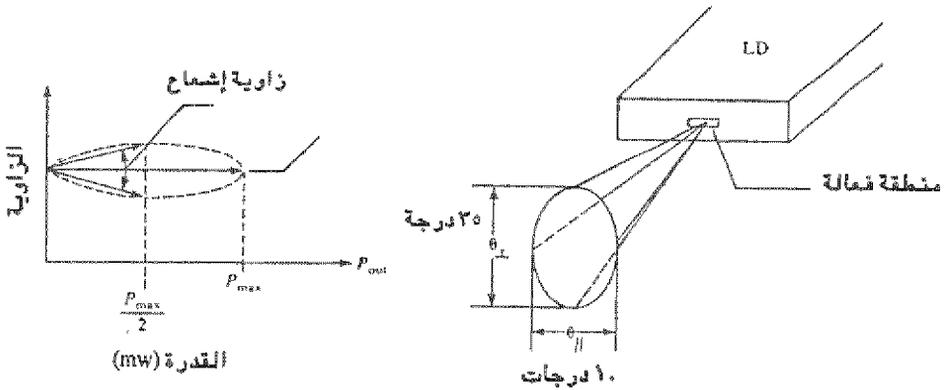
الشكل (٨-٢٧) العلاقة بين القدرة الخارجة من الليزر و تيار المراقبة

٣ - الطول الموجي وعرض الخط Wavelength and Linewidth

تتميز الثنائيات الليزرية بعرض خط ضيق يتراوح بين 1nm و 5nm مما يجعلها مناسبة لإرسال معدل عال من المعطيات . تستخدم معظم هذه الثنائيات في الأطوال الموجية الطويلة التي تقع حوالي 1300nm . يتأثر طيف انبعاث الأنماط الطولية بدرجة الحرارة شأنه في ذلك شأن القدرة P_{out} . معنى هذا أن الطول الموجي الأقصى ينزاح بتغير درجة الحرارة . قد نرغب الحصول على أقصى انبعاث عند 1300nm بدرجة حرارة الغرفة ولنقل $25^{\circ}C$. لو ارتفعت الحرارة مثلاً إلى $40^{\circ}C$ ربما يكون أقصى انبعاث عند 1310nm . يعتمد هذا الانزياح أيضاً على قيمة قدرة الخرج .

٤ - زاوية الإشعاع Angle of Radiation

إن زاوية الإشعاع في ثنائي الليزر أقل مما هي عليه في حالة الثنائي الباعث للضوء .
 يمكن تقسيم زوايا الإشعاع إلى زاويتين وهما الزاوية العمودية θ_{\perp} والزاوية الأفقية θ_{11} .
 نرى في الشكل (٨-٢٨) نموذج إشعاع لثنائي ليزر حيث نرى أن الزاوية العمودية θ_{\perp} قيمتها 35° والأفقية θ_{11} تساوي 10° . يؤدي صغر زاوية الانبعاث إلى تسهيل اقتران الضوء بين ثنائي الليزر والليف البصري . نرى في الشكل (٨-٢٨) أن ضوء الليزر يتبع قانون الانعراج diffraction حيث أن تباعد الحزمة يتناسب عكسياً مع أبعاد المشع . ينطبق هذا على الضوء المتماسك coherent وهي توضح تباعد الحزمة العريضة المطابقة إلى البعد الضيق للعنفة وتباعد الحزمة الأصغر المطابقة للبعد العريض للعنفة .



الشكل (٨-٢٨) زوايا الحزمة الضوئية لثنائي الليزر

(أ) الزاوية المتعامدة θ_{\perp} والزاوية الأفقية θ_{11}

(ب) تعريف زاوية الحزمة - الزاوية الكاملة عند نقطتي

منتصف القدرة

٥ - زمن الصعود وزمن الهبوط Rise and Fall Time
تبلغ قيم زمن الصعود وزمن الهبوط في بعض الثنائيات الليزرية حوالي 0.5ns و 0.7ns على التوالي . تعادل هذه القيم عرض نطاق تشكيل أكثر من 500 MHz .
استخدمت ثنائيات حديثة بعرض نطاق تشكيل يفرق هذه القيمة .

٦ - الاعتمادية Reliability

تطورت ثنائيات الليزر ذات البنية غير المتجانسة المصنعة من زرنيخ جاليوم الألمنيوم منذ بداية السبعينات وأصبحت أكثر وثوقية . تجاوزت أعمار الثنائيات التي تعمل عند درجة حرارة الغرفة مدة ١١ سنة . يتدنى مستوى الثنائيات الليزرية بشكل أسرع عند تشغيلها بدرجات حرارة مرتفعة .

٧-٨ دوائر إلكترونية Electronic Circuitry

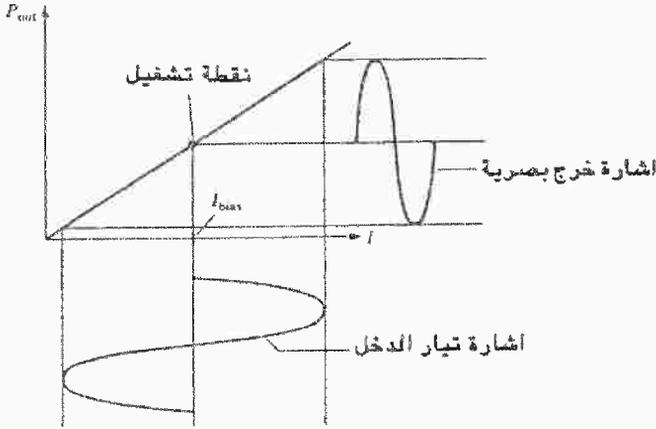
تتميز الدوائر الإلكترونية المستخدمة في تشغيل الثنائيات الباعثة للضوء LEDs ببساطتها لأن الثنائيات الباعثة للضوء لا تحتاج إلى تثبيت الجهد أو التيار . كذلك لا تحتاج إلى تبريد أو طاردات حرارة heat sinks أو عناصر تبريد إلكترونية .

على النقيض من ذلك نجد أن الدوائر الإلكترونية المستخدمة في تشغيل ثنائيات الليزر تبدي مشاكل كثيرة لمصمم الدائرة وذلك للأسباب التالية :

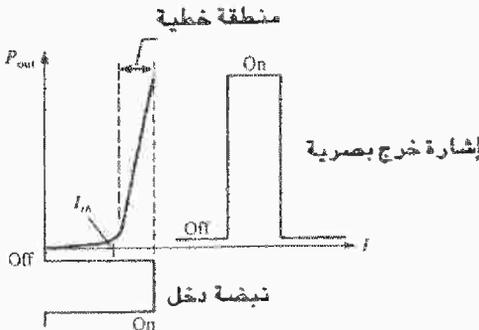
- ١ - وجود تيار العتبة ٢ - اعتماد تيار العتبة على التقادم ٣ - اعتماد تيار العتبة على درجة الحرارة ٤ - اعتماد القدرة على درجة الحرارة ٥ - اعتماد طول موجة البث على درجة الحرارة .

فرق آخر بين ثنائيات LED و LD هو أن ثنائيات الليزر تستخدم فقط في حالة التطبيقات الرقمية أو النبضية . بينما تستخدم ثنائيات LEDs في الإرسال الرقمي

والتماثلي . يعود ذلك إلى العلاقة غير الخطية بين التيار والقدرة الخارجة لثنائيات الليزر LD. نرى في الشكل (٨-٢٩) منحنيات العلاقة بين التيار والقدرة لثنائيات LED وLD.



أ



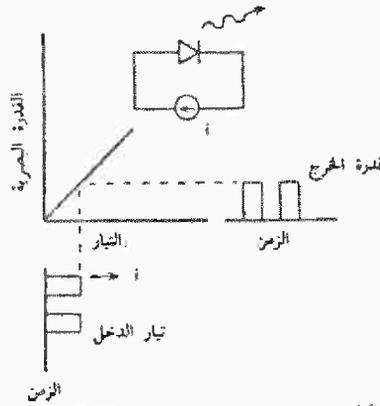
الشكل (٨-٢٩) علاقة الدخل بالخرج ب

(أ) ثنائي باعث للضوء (ب) حالة تبديل "ON" و "OFF" لثنائي ليزر

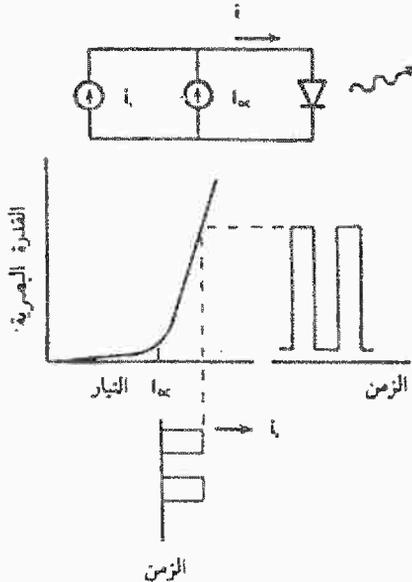
حيث أن الإشارة المؤثرة بعد I_{th}

في الشكل (٨-٢٩) نرى أن المنطقة الخطية واسعة لثنائيات LED مما يجعلها ملائمة للتشكيل التماثلي . في ثنائيات LD نرى أن المنطقة الخطية صغيرة كما في الشكل (٨-٢٩ب) مما يعيق استخدامها في التشكيل التماثلي . يتطلب استخدام ثنائي LED في التشكيل التماثلي

وجود تيار انحياز حتى يتم تشغيله في المنطقة الخطية حتي تسمح بظهور الإشارات الموجبة والسالبة كما في الشكل (٨-٢٩). في التطبيقات الرقمية لانحتاج إلى تيار انحياز لتشغيل ثنائيات LED كما في الشكل (٨-٣٠) بينما نحتاج إلى تيار انحياز مستمر I_{DC} مقداره I_{th} ليكون تيار العمل عند العتبة عندما يكون تيار الإشارة صفراً كما في الشكل (٨-٣٠ ب).



(١) تشكيل رقمي لثنائي LED



(ب) تشكيل رقمي لثنائي ليزر

الشكل (٨-٣٠) استخدام ثنائي LED وثنائي الليزر في التطبيقات الرقمية

(أ) لانحتاج إلى تيار انحياز (ب) ضرورة وجود تيار انحياز

٨-٧-١ دوائر تشغيل LED الرقمية LED Digital Drive Circuits

نستخدم دوائر مبسطة لتشغيل ثنائي LED قد تكون مبنية من قطع منفردة من ترانزستورات ومقاومات أو على شكل دوائر متكاملة integrated circuits ، في الشكل (٨-٣١) نرى دائرة مبسطة . يتشبع الترانزستور عند استخدام جهد مقداره 3V أو أكثر أي أن تيار الانحياز الأمامي I_F لـ LED يساوي تيار المجمع المشبع $I_{c\ sat}$. لإيجاد I_F نحتاج لمعرفة $I_{c\ sat}$. في الشكل (٨-٣١) نستخدم قانون خروشوف Kirchoff's للجهد على دائرة الخرج لنحصل على :

$$I_F = I_{c\ sat} = \frac{V_{CC} - V_F}{R_1} \dots\dots\dots (8.18)$$

حيث أن V_{CC} هو جهد الانحياز المستمر و V_F هو هبوط الجهد الأمامي للثنائي ، $I_{c\ sat}$ هو تيار المجمع المشبع وقيمة $V_{CE} = 0$. نستطيع اختيار R_B للحصول على تيار القاعدة I_B اللازم لتشبع الترانزستور .

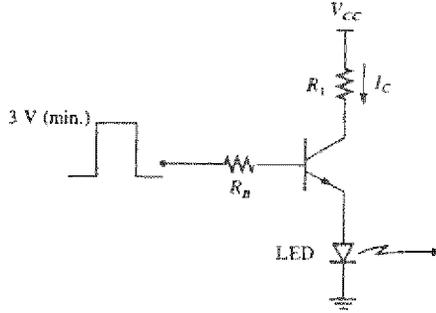
$$I_B \geq \frac{I_{c\ sat}}{\beta} \dots\dots\dots (8.19)$$

حيث أن β هو معامل تكبير الترانزستور = $\frac{I_C}{I_B}$.

باستخدام قانون خروشوف Kirchoffs للجهد على دائرة الدخل في الشكل

(٨-٣١) فإن :

$$I_B = \frac{V_{in} - V_{BE} - V_F}{R_B} \dots\dots\dots (8.20)$$



الشكل (٣١-٨) دائرة إلكترونية تستخدم الترانزستور لتشغيل ثنائي LED

مثال ٨ - ٤ :

أوجد قيم R_1 و R_2 في الشكل (٣١-٨) إذا كانت $V_{CC} = 12$ و $\beta = 120$ و $I_F = 40\text{mA}$ و $V_F = 1.2\text{V}$ و $V_{in} = 3\text{V}$ إذا كان الترانزستور مصنع من السليكون .

الحل : من المعادلة (8.18) نجد أن :

$$I_F = 40\text{ mA} = \frac{12 - 1.2}{R_1}$$

$$R_1 = 270\ \Omega$$

من المعادلة (8.19) نجد أن :

$$I_B = \frac{40}{120} = 333\ \mu\text{A}$$

وباستخدام المعادلة (8.20) نحصل على :

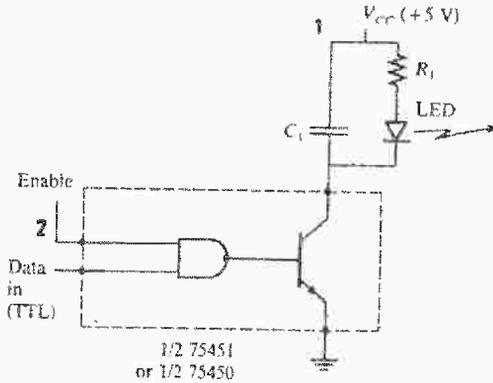
$$I_B = 333 \times 10^{-6} = \frac{3 - 0.7 - 1.2}{R_B}$$

$$R_B = 3.3\ \text{K}\Omega$$

نلاحظ أن $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ لترانزستور السليكون Si و $V_{BE} = 0.3\text{ V}$ لترانزستور الجرمانيوم Ge بالإمكان استخدام دوائر متكاملة بدلاً من الترانزستور لتشغيل ثنائي LED حيث نرى في الشكل (٨-٣٢) دائرة قياسية رقم 75450 أو 75451 والتي تحتوي على بوابة Nand وترانزستور. عند استخدام جهد مقداره 5V على النهاية رقم 1 يبدأ الثنائي بالعمل والمعلقات الداخلة من النهاية رقم 2 تتحكم بالثنائي. نستطيع اختيار قيمة R_1 لتشغيل الثنائي LED عند قيم محددة للتيار الأمامي I_F كما يلي:

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} \dots\dots\dots (8.21)$$

وضع المكثف C_1 للتخفيف من الارتفاعات المفاجئة والعشوائية للجهد وتبلغ قيمة المكثف حوالي 1nF .

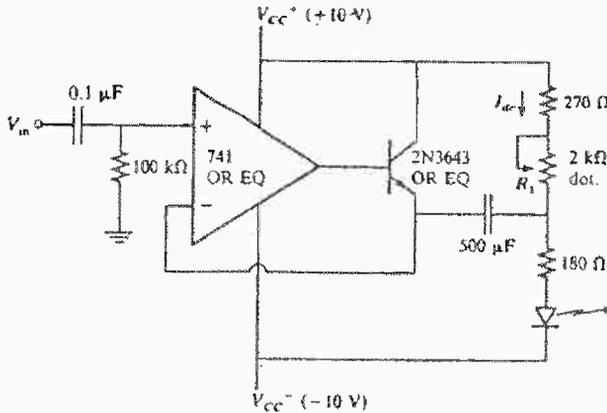


الشكل (٨ - ٣٢) دائرة الكترونية متكاملة لتشغيل ثنائي LED

٢-٧-٨ دوائر تشغيل LED التماثلية LED Analog Drive Circuits:

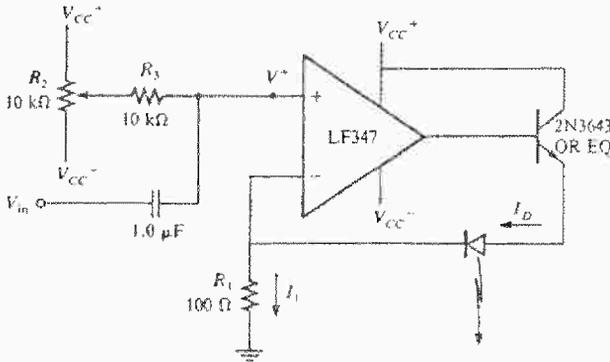
يحتاج تشغيل ثنائيات LED إلى استخدام تيار انحياز مستمر كما ورد في الشكل (٢٩-٨) . تتسبب الإشارة الداخلة إلى تغيير تيار LED فوق وتحت تيار الانحياز .

يبين الشكل (٣٣-٨) أحد الدوائر الشائعة الاستخدام التي تعتمد على وجود المضخم التشغيلي Operational Amplifier . اختيرت المقاومات للحصول على تيار الانحياز المناسب . تتراوح قيمة تيار الانحياز بين 7.5mA و 40mA وذلك حسب قيمة R_1 . على سبيل المثال في هذه الدائرة تتغير قيمة تيار الثنائي بين -10mA و +10mA عندما تتغير قيمة الإشارة الداخلة من -2V و +2V . دائرة أخرى تستخدم التغذية الراجعة feedback نراها في الشكل (٣٤-٨) .



الشكل (٣٣-٨) دائرة إلكترونية تماثلية شائعة الاستخدام

في تشغيل ثنائي LED

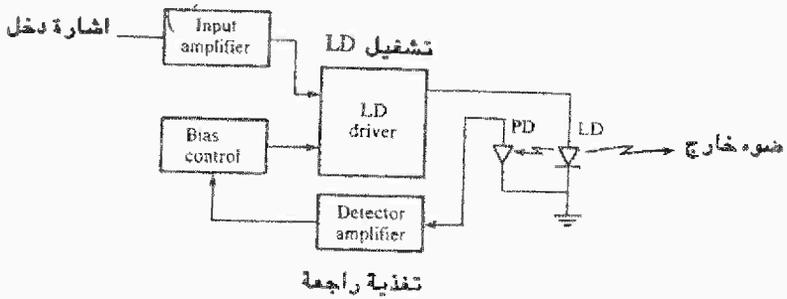


الشكل (٨ - ٣٤) دائرة تماثلية لتشغيل ثنائي LED تستخدم التغذية الراجعة

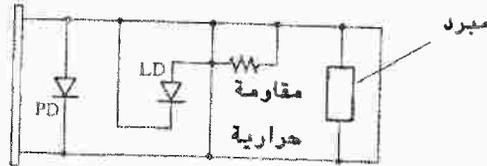
٣-٧-٨ دوائر تشغيل ثنائيات الليزر Laser Diode Drive Circuits

أن الدوائر المستخدمة في تشغيل ثنائيات الليزر أكثر تعقيداً من تلك المستخدمة في تشغيل ثنائيات LED لأن هذه الدوائر تستخدم لتثبيت تيار الانحياز وللإقلال من تأثير درجة الحرارة . يشغل ثنائي LD بتيار انحياز I_{ff} والنبضة الداخلة تفتح أو تغلق الثنائي . رأينا في الشكل (٨-٣٠ب) العلاقة بين النبضة الداخلة والقدرة الخارجة . يستخدم الثنائي الضوئي photodiode لتثبيت القدرة الخارجة ومراقبتها من تأثير تغير درجة الحرارة . يوضح الشكل (٨-٣٥) مخطط صندوقي لدائرة التغذية الراجعة حيث تتحكم القدرة الخارجة P_{out} بتيار الدائرة من خلال الثنائي الضوئي ومضخم الكشف detector amplifier لضمان ثبوت قيمة القدرة الخارجة . على سبيل المثال يكشف الثنائي الضوئي ارتفاع P_{out} فيؤدي إلى الاقلال من قيمة تيار الانحياز الداخل إلى LD فيقلل من قيمة P_{out} . هناك طرق أخرى لتثبيت تيار الانحياز باستخدام نبضة المقاومة

الحرارية thermistor حيث تنخفض قيمة المقاومة بارتفاع درجة الحرارة . تربط هذه المقاومة الحرارية على التوالي مع ثنائي الليزر LD كما في الشكل (٨-٣٦) . عند ارتفاع درجة الحرارة ترتفع قيمة I_{th} ، كما في الشكل (٨-٣٧) ، نظراً لأن المقاومة الحرارية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة فإنها تتسبب بارتفاع قيمة I_{th} فتلاحق تغير قيمة I_{th} .

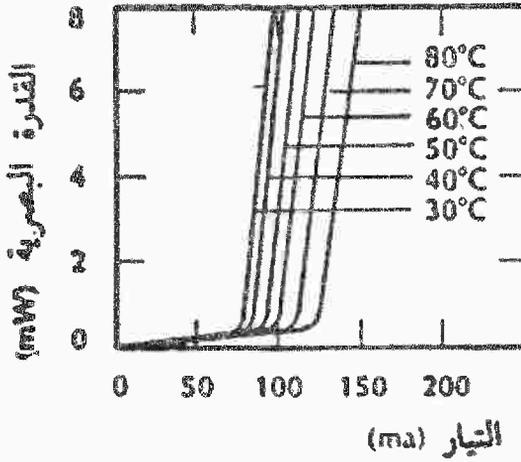


الشكل (٨ - ٣٥) رسم تخطيطي لدائرة تثبيت درجة الحرارة لثنائي ليزر



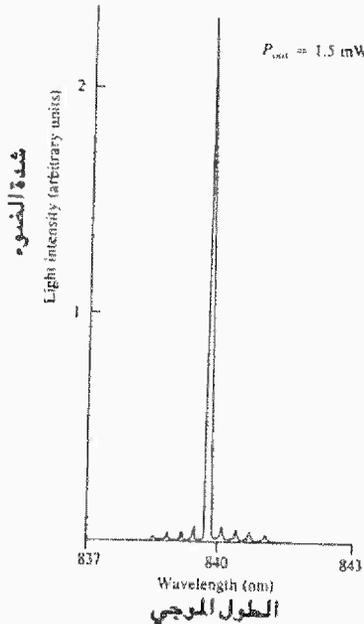
الشكل (٨ - ٣٦) عينة دائرة الكترونية متكاملة لثنائي

ليزر رقم ND.L 5007 P



الشكل (٨ - ٣٧) تغير تيار العتبة I_{th} والقدرية مع درجة الحرارة

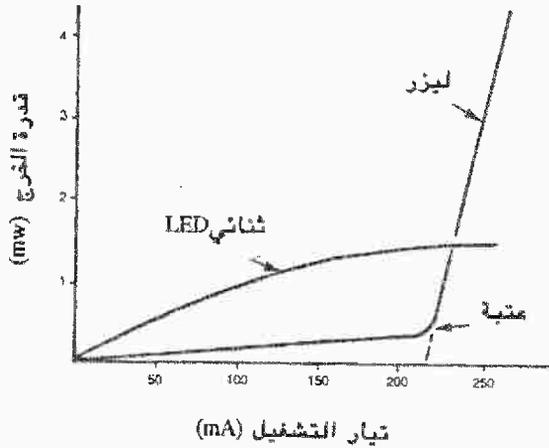
عند تشغيل ثنائي الليزر بتيار أكثر من تيار العتبة قليلاً فإن الثنائي يبعث أنماطاً متعددة. عند تزايد التيار يتناقص عرض الخط ويتناقص عدد الأنماط الطولية. عند تيار كبير بما فيه الكفاية سيحتوي الطيف المنبعث على نمطاً واحداً كما في الشكل (٨-٣٨)، عرض خطه أصغر بكثير من عرض خط ثنائي الليزر متعدد الأنماط. يبلغ عرض الخط بحدود 0.2nm .



الشكل (٨ - ٣٨) طيف الانبعاث لثنائي ليزر أحادي النمط

٨-٨ الخلاصة Summary

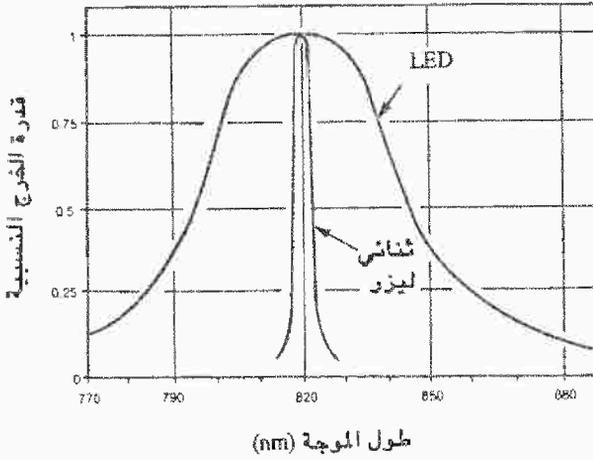
قدمنا في هذا الفصل نوعين من الثنائيات المستخدمة في الاتصالات البصرية وهما الثنائي الباعث للضوء LED وثنائي الليزر LD . تلخص في الجدول (٨-٢) صفات وتطبيقات كل نوع . تصنع هذه الثنائيات من أشباه الموصلات وشرحنا بإيجاز المبادئ الأساسية لتشغيلها . وجدنا أن مبادئ التشغيل متشابهة إلى حد ما ونوضح في الشكل (٨-٣٩) العلاقة بين القدرة الخارجة والتيار الأمامي للثنائي الباعث للضوء وثنائي الليزر . إن القدرة المنبعثة من الثنائي LED أكبر من تلك المنبعثة من ثنائي الليزر عند تشغيله بتيار يقل عن تيار العتبة I_{th} . بعد تيار العتبة ترتفع القدرة المنبعثة من ثنائي الليزر بسرعة مع ارتفاع تيار التشغيل . بصفة عامة تقل القدرة الخارجة من الثنائيات السابق شرحها حسب التسلسل التالي : (١) ثنائي الليزر (٢) ثنائي الحافة الباعث للضوء (٣) ثنائي العتبة (٤) الثنائي الباعث السطحي .



الشكل (٨ - ٣٩) منحنيات العلاقة بين التيار والقدرة لثنائي LED

وثنائي ليزر

- تختلف ثنائيات الليزر عن الثنائيات الباعثة للضوء بسعة طينها أو عرض خطها .
- ونرى في الشكل (٨ - ٤٠) رسماً نموذجياً لعرض طيف LED وعرض طيف LD .
- بالإمكان الاقلال من عرض طيف LD باستخدام ثنائي ليزر أحادي النمط .



الشكل (٨ - ٤٠) عرض الطيف لثنائي LED وثنائي ليزر

أدى تطوير ثنائيات LED بانبعثت عالٍ لاستخدامها مع ألياف متدرجة وقليلة الفقد ذات تشتيت منخفض إلى عدم الاعتماد على ثنائيات ليزر متعددة النمط ، استخدمت ثنائيات LED في الجيل الأول من نظم الاتصالات الليفية لنقل معدل معطيات منخفض ومسافات قصيرة مستخدمين أليافاً بمعامل انكسار عتبي . غير أن تطوير ثنائيات LED كالباعث الهافى edge emitter أو الألياف المتدرجة أديا إلى استخدام ثنائيات LED للمسارات المعتدلة ومعدل معطيات أو سعة نطاق معتدلة . أما للمسارات الطويلة ومعدلات المعطيات العالية فيمكننا استخدام ثنائيات ليزر مع ألياف متدرجة أو أحادية النمط . تتطلب المسارات الطويلة جداً ومعدلات المعطيات المرتفعة جداً استخدام

الاستخدامات في منطقة الأطوال الموجية الطويلة عند حوالي $1.3\mu\text{m}$ و $1.55\mu\text{m}$ حيث تحصل على توهين وتشتيت منخفضين .
 إن الدوائر المستخدمة لتشغيل ثنائيات الليزر أكثر تعقيداً وتكلفة من تلك المستخدمة لتشغيل ثنائيات LED لأنها تحتاج إلى تثبيت التيار والإقلال من تأثير تغير درجات الحرارة .

المجدول (٢-٨) خواص نموذجية لمصادر ثنائية ضوئية (LD,LED)

الخاصة	ثنائي باعث للضوء LED	ثنائي ليزر LD	ثنائي ليزر أحادي النمط
العرض الطيفي (nm)	20 - 100	1-5	< 0.2
زمن الصعود (ns)	2 - 250	0.1-1	> 2000
عرض نطاق التشكيل MHz	< 300	< 2000	> 2000
كفاءة الاقتران (بدون عدسات)	منخفضة جداً	معتدلة	معتدلة
الليف الموافق	عتبي متعدد النمط $0.8-0.9\mu\text{m}$ ليف متعدد النمط عند $1.55\mu\text{m}$, $1.3\mu\text{m}$	متدرج متعدد النمط أحادي النمط	أحادي النمط
الحساسية لدرجة الحرارة	منخفضة	عالية	عالية
درجة تعقيد الدائرة	بسيطة	معقدة	معقدة
العمر (ساعات)	10^5	$10^4 - 10^5$	$10^4 - 10^5$
التكاليف	منخفضة	مرتفعة	عالية
مجال التطبيقات	مسارات متوسطة معدلات معطيات معتدلة	مسارات طويلة معدلات معطيات عالية	مسارات طويلة جداً معدلات معطيات عالية جداً

الفصل الثامن

أسئلة

- ١ - ماهي أهم خصائص المنبع الضوئي ؟
- ٢ - ما الفرق بين الكفاءة الكمية والكفاءة الخارجية ؟
- ٣ - ما أهمية كفاءة الاقتران ؟
- ٤ - ماهو توزيع الشدة الامبرتي ؟
- ٥ - ماهي العلاقة بين كفاءة الاقتران وفتحة النفوذ العددية ؟
- ٦ - ماهي العلاقة بين زمن الصعود وعرض النطاق ؟
- ٧ - لماذا تستخدم أشباه الموصلات في تصنيع الثنائيات الضوئية ؟
- ٨ - ماهي الروابط التساهمية ؟
- ٩ - عرف الفجوة ؟
- ١٠ - ماهي وصلة PN ؟
- ١١ - ما الفرق بين LED و LD ؟
- ١٢ - أين تقع المنطقة الفقيرة وكيف تتكون ؟
- ١٣ - قارن بين الوصلة المتجانسة وغير المتجانسة ؟
- ١٤ - ماهي أنواع LED's ، رتبها حسب قدرتها الخارجة ؟
- ١٥ - ماهي طرق التبيير لزيادة كفاءة الاقتران ؟
- ١٦ - ماهي خصائص الثنائي الباعث للضوء LED's ؟
- ١٧ - ماهو المقصود بعرض الخط ؟
- ١٨ - قارن بين عرض خط LED و LD ؟
- ١٩ - ما المقصود بكلمة ليزر وكيف يعمل ؟
- ٢٠ - ماهو تيار العتبة لثنائي LD ؟
- ٢١ - هل يمكن استخدام LED للإرسال التماثلي والرقمي ؟ أشرح ذلك ؟

- ٢٢ - هل يمكن استخدام LD للإرسال التماثلي والرقمي؟ اشرح ذلك .
٢٣ - متى يكون استخدام الانحياز الأمامي ضروري عند استخدام LED ؟
٢٤ - لماذا يستخدم المتبع الضوئي المذبذب ؟

مسائل

- ١ - يتمكن LED من قسرن 10dBm - من القدرة البصرية في ليف بصري فإذا كان الفقد الكلي للموصلات والألياف حوالي 30dB . فما مقدار القدرة المستقبلية عند الكاشف؟
- ٢ - أوجد القدرة الداخلة لليف إذا كانت $\eta_p = 1\%$ و $\eta_c = 5\%$ والقدرة الداخلة لثنائي LED هي 100mw .
- ٣ - أوجد قيمة η_e الدنيا إذا كانت القدرة المقرونة بالليف $200\mu\text{w}$ وفتحة نفوذ الليف العددية 0.24 والقدرة الداخلة لثنائي LED تساوي 250mw .
- ٤ - أوجد القدرة المقرونة من منبع LED قدرته 1.2mw إلى ليف بصري زاوية قبوله 54° .
- ٥ - أوجد عرض النطاق إذا كان زمن الصعود 100s ؟
- ٦ - أوجد الطول الموجي والتردد إذا كانت طاقة الفوتون 1.6ev ؟
- ٧ - أوجد طاقة نطاق الثغرة لثنائي LED يعمل عند $\lambda = 1.3\mu\text{m}$.
- ٨ - احسب طاقة الفوتون عند $0.82\mu\text{m}$, $0.65\mu\text{m}$, $1.3\mu\text{m}$ ، وأيهما يملك طاقة أكبر فوتون الأشعة المرئية أم فوتون الأشعة تحت الحمراء ؟
- ٩ - كم عدد الفوتونات التي تصل بالثانية إلى مستقبل إذا كانت القدرة 5nw عند طول موجي $0.82\mu\text{m}$.