

**ليزرات التغذية الراجعة تحت الحقن
الضوئي المضاعف ذي الشدة العالية**

ليزرات التغذية الراجعة تحت الحقن

الضوئي المضاعف ذي الشدة العالية

محمد بن مسحل البقمي

الحسنا للنشر والتوزيع

الطبعة الأولى : 2019

ISBN: 978-977-6535-56-5

رقم الإيداع : 4294 / 2019

ديوى : 621

136 ص ، 20 سم

{ جميع الحقوق محفوظة © }



الإسكندرية ، ج . م . ع

01553129363

03/ 5930567

المدير العام : عادل أبو الأنوار

المراجعة اللغوية : عادل أبو الأنوار

الإخراج الفني : أمير مصطفى

ليزرات التغذية الراجعة تحت الحقن
الضوئي المضاعف ذي الشدة العالية

تأليف

محمد بن مسحل البقمي



الفهرس

الموضوع	الصفحة
الفصل الأول: المقدمة والمسح الأدبي:.....	7
1-1 مقدمة	8
2-1 إنتاج الليزر	10
3-1 نبذة تاريخية	11
4-1 تصنيف الليزرات	12
1-4-1 ليزرات أشباه الموصلات	14
1-1-4-1 التوصيف العام	16
5-1 الحقن الضوئي	24
1-5-1 حبس الحقن الضوئي	25
2-5-1 الفوضى	25
6-1 الدراسات السابقة	26
7-1 الدراسة الحالية	31
المراجع	32
الفصل الثاني : توصيفات الليزر.....	41
1-2 مقدمة	42
2-2 ليزر التغذية الراجعة الموزعة	43
1-2-2 خصائص ليزرات التغذية الراجعة الموزعة.....	46
3-2 توصيفات الليزر	46
1-3-2 العلاقة بين التيار والقدرة (منحنى L-I)	47
2-3-2 كفاءة الليزر	51
3-3-2 كسب الليزر	53
المراجع	58

59	الفصل الثالث : التجهيزات المعملية وأخذ القياسات
61	1-3 الحقن الضوئي المفرد
61	1-1-3 المخطط العملي
63	2-1-3 الأجهزة المستخدمة في الدراسة
63	1-2-1-3 الليزرات المستخدمة
65	2-2-1-3 أجهزة التحكم
73	3-2-1-3 أجهزة التحليل
75	3-1-3 الإجراءات العملية
76	1-3-1-3 التحضيرات العامة
77	2-3-1-3 إجراءات القياس
79	2-3 الحقن الضوئي المضاعف
81	3-3 مخاطر الليزر وإجراءات السلامة
85	الفصل الرابع : النتائج والمناقشة.....
86	1-4 الحقن الضوئي المفرد
89	2-4 الحقن الضوئي المضاعف
	3-4 دراسة تأثير تغيير درجة الحرارة وشدة التيار على خريطة
102	الاستقرارية.....
103	1-3-4 تأثير تغيير درجة الحرارة على خريطة الاستقرارية
107	2-3-4 تأثير تغيير شدة التيار على خريطة الاستقرارية
111	المراجع
113	الفصل الخامس : الخاتمة والتوصيات
114	1-5 الخاتمة
117	2-5 التوصيات
119	الملاحق
120	معادلات التغير
122	قانون مستوى الحقن بالديسبل
123	ثبت المصطلحات

الفصل الأول

المقدمة والمسح الأدبي

**INTRODUCTION AND
LITERATURE REVIEW**

1-1 مقدمة Introduction

لقد أصبح مجال الليزر اليوم من أهم المجالات في جوانب الحياة المختلفة ، حيث أدى اكتشافه إلى طفرة كبيرة في المجال التقني وأصبح أداةً مهمةً جداً في الصناعات والطب والاتصالات وغيرها من المجالات . ولم تتوقف عجلة التطوير والتوسع في مجال الليزر فهي في ازدياد مع مرور الزمن ، فمنذ الحصول على أول ليزر عام 1960م ازداد عدد الليزرات وأنواعها بشكل كبير وكثرت التطبيقات المختلفة لها . وقبل البدء في ذكر تاريخ اكتشاف الليزر والمراحل التي مر بها يحسن بنا أن نعرّف الليزر ، فما هو الليزر ؟

إن مصطلح الليزر هو عبارة عن الأحرف الأولى للعبارة الإنجليزية :

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

والتي تعني تكبير الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع .

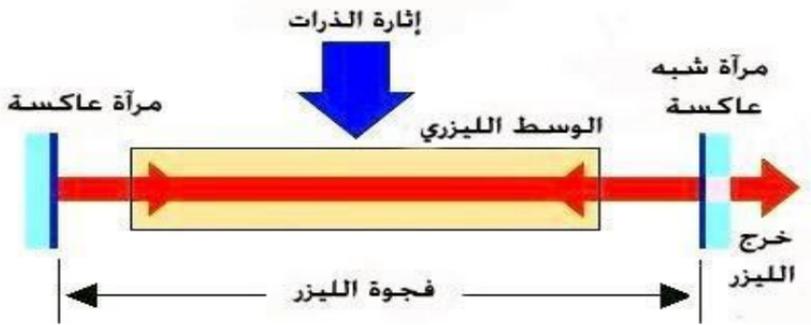
وعملية التكبير هذه تحتاج إلى جهاز متكامل للقيام بهذه العملية وهو ما يعرف بجهاز الليزر والذي يتكون من ثلاثة مكونات أساسية وهي :

1- الوسط الفعّال (Active Medium)

2- التغذية الراجعة (Feedback)

3- الضخ (Pumping)

والشكل (1-1) يوضح تركيب جهاز الليزر .



شكل (1-1) : مخطط يوضح مكونات جهاز الليزر .

2-1 إنتاج الليزر Producing Laser

يعتمد إنتاج الليزر على إثارة ذرات المادة - الوسط الفعال - بأي طريقة من طرق الإثارة المختلفة فهناك الضخ الكهربائي والضخ الكيميائي والضخ الضوئي وغير ذلك ، ولنفرض أن المادة تعرضت إلى ضخ ضوئي (إشعاع) وهي في حالتها العادية والتي تشغل فيها مستوى الطاقة السفلي E_1 حيث تمتص الذرة الفوتون الساقط فتُستثار إلكتروناتها إلى المستوى الأعلى E_2 - على افتراض أن الذرة ذات مستويين للطاقة - وهذا الانتقال يسمى الامتصاص المستحث (stimulated absorption) وحيث أن الذرة تميل بطبيعتها إلى الرجوع إلى المستوى السفلي ولا تبقى في وضع الإثارة إلا وقت قصير جداً (جزء من البليون من الثانية)

فهي تعود إلى ذلك المستوى الأرضي مطلقه فوتوناً له طاقة مقدارها

$$h\bar{\nu} = E_2 - E_1 = \Delta E :$$

وقد يكون انبعاث الفوتون تلقائياً بدون أي مؤثر كما في السابق ويسمى الانبعاث التلقائي (spontaneous emission) ، وقد يكون مستحثاً بفوتون آخر ويسمى الانبعاث المستحث stimulated emission) ، وهذا الأخير يشكل أساس الحصول على شعاع الليزر ، ومما يميز الليزر أن الفوتون المستحث يكون له نفس طاقة الفوتون الحاث وكذلك تكون الموجات المصاحبة لهما متوافقة في الطور والاستقطابية .

3-1 نبذة تاريخية Brief History

من الممكن القول بأن أينشتاين هو المؤسس لتقنية الليزر حيث تنبأ عام 1917 م بإمكانية حث الذرات غير المستقرة لتبعث كمات ضوئية لها نفس خصائص الكمات المستحثة تحت ظروف معينة . وفي عام 1954 م استطاع Townes and Schawlow الحصول على أول شعاع مكبرفي المنطقة تحت الحمراء والمرئية من الطيف الكهرومغناطيسي وقد سمي هذا الشعاع بالميزر [1]. ثم جاء العالم Maiman عام 1960 م وتمكّن من إنتاج أول ليزر مرئي [2] مستخدماً مادة الياقوت (Ruby) الصلبة كوسط للتكبير حيث يسخن بواسطة مصباح وميض لينتج ضوءاً أحمرأ طوله الموجي 694.3 نانومتر. وفي نفس العام تمكّن Ali Javan وآخرون من إنتاج أول غاز ليزري مستخدمين غازي الهيليوم والنيون . وفي عام 1962 م قام Kumar Patel وآخرون بإنتاج ليزرات الغازات الخاملة وليزرات خليط الأكسجين ، كما تم أيضاً إنتاج ليزرات أشباه الموصلات لتشع ضوءاً في المنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء. وتم إنتاج ليزر نيوديميوم – ياج لأول مرة في عام 1964 م بواسطة Geusic and Smith [3] . ثم تواصل إنتاج العديد من الليزرات بأحجام وأشكال مختلفة والبحث عن تطبيقات مميزة لها.

4-1 تصنيف الليزرات Classification of lasers

بناءً على الطبيعة الفيزيائية للوسط الفعّال تصنف الليزرات إلى أربعة أصناف هي :

1- ليزرات العوازل المطعّمة Doped-Insulator Lasers

يحتوي الوسط الفعّال فيها على شوائب أيونية مغمورة داخل التركيب البلوري لمادة صلبة ، ويسمى هذا النوع من الليزرات ليزرات الحالة الصلبة . ومن الأمثلة على هذه الليزرات ليزر الياقوت وليزرات نيوديميوم – ياج وغيرهما .

2- ليزرات أشباه الموصلات Semiconductor Lasers

على الرغم من أنها تصنع من مواد صلبة إلا أنها تختلف جذرياً عن الليزرات الصلبة ، وهذا الاختلاف يكون في تركيب مستويات الطاقة وفي ميكانيكية الضخ ، وسنتناول هذه الليزرات بشكل أوسع بإذن الله ؛ لأنها محور الدراسة .

3- الليزرات الغازية Gas Lasers

تستعمل الغازات في هذا النوع من الليزرات كأوساط فعّالة ، وتقسّم الليزرات الغازية إلى ثلاثة أقسام رئيسية : ذرية وأيونية وجزيئية . ومن الأمثلة عليها ليزر هيليوم – نيون وليزر ثاني أكسيد الكربون وغيرهما .

4- ليزرات الصبغات السائلة Dye Lasers

تمتاز السوائل عن الغازات والمواد الصلبة بعدة مميزات تجعلها أوساطاً ليزرية فعالة ومناسبة ، وهناك العديد من السوائل الصالحة لاستخدامها في ذلك ، ولكن أهمها السوائل المعتمدة على الصبغات العضوية المذابة في السوائل المناسبة ولهذا سميت بذلك ، ومن الأمثلة على هذه الليزرات الرودامين المذاب في الإيثانول [4] ، يوجد تصنيف آخر لليزرات يعتمد على ديناميكية الليزرات [5] والتي يمكن وصفها بمجموعة المعادلات المعروفة بمعادلات ماكسويل – بلوك (Maxwell-Bloch equations) للمجال الكهربائي والاستقطابية والتوزيع العكسي حيث أن الضوء يتكون حسب نظرية ماكسويل من موجات كهرومغناطيسية تتعامد فيها مركبات المجال الكهربائي مع مركبات المجال المغناطيسي ويكون اتجاه المركبتين في اتجاه متعامد مع اتجاه حركة الموجة ويقال عن المجال في هذه الحالة بأن استقطابه خطي حيث يشير دائماً إلى اتجاه واحد ، وأما التوزيع العكسي فيقصد به الحالة التي يكون فيها عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكبر من أو يساوي عددها في المستويات الأقل طاقة التي تكون فيها الذرات في وضع الاستقرار ، ولأجل إنتاج الليزر فلا بد من الحصول على التوزيع العكسي في المادة الفعالة في جهاز الليزر. وعلى هذا فإنه يمكن تصنيف الليزرات اعتماداً على معدل اضمحلال هذه الكميات الثلاث إلى ثلاثة أصناف:

1- ليزرات الفئة أ Class A Lasers

في هذا الصنف فإن متوسط عمر الفوتون في الوسط الليزري أكبر بكثير من الثوابت الزمنية للإسترخاء في حالة الاستقطابية و التوزيع العكسي ($T_{ph} \gg T_p, T_n$) حيث أن :

T_{ph} : الزمن اللازم لانبعث الفوتون .

T_p : الزمن اللازم ليتم الطور دورة كاملة .

T_n : الزمن اللازم لإعادة الإتحد بين الالكتران والفجوة .

وبناءً على ذلك فإن معادلات ماكسويل تختصر إلى معادلة واحدة تصف سعة المجال الكهربائي . وتعد هذه الليزرات هي الليزرات الأكثر استقراراً بين أصناف الليزرات الأخرى ، ومن أهم ما يميزها أنه لا يحدث لها فوضى إلا بمؤثر خارجي ، ومن الأمثلة عليها ليزرات الهيليوم – النيون المرئية وليزرات أيون الأرجون وليزرات الصبغة .

2- ليزرات الفئة ب Class B Lase

يكون الثابت الزمني لاستقطابية المادة صغيراً بالمقارنة بالثوابت الزمنية الأخرى ($T_{ph}, T_n \gg T_p$) وعليه فإن معادلات ماكسويل توصف بمعادلتين تفاضليتين للمجال والتوزيع العكسي. ومن أهم ما يميز هذا النوع من الليزرات هو حدوث ذبذبة الإسترخاء . يندرج تحت هذا الصنف العديد من الليزرات مثل ليزرات أشباه الموصلات وليزرات ثاني أكسيد الكربون وليزرات الحالة الصلبة وغيرها .

3- ليزرات الفئة ج Class C Lasers

في هذا الصنف من الليزررات تكون الثوابت الزمنية لذبذبات الإسترخاء للمجال والاستقطابية والتوزيع العكسي شبه متساوية $(T_{ph} \cong T_n \cong T_p)$ ، ولا تحدث الفوضى في النظام الليزري إلا بعد العتبة الثانية لليزر . ومن أهم الأمثلة على هذه الليزررات ليزرات النشادر ، وبشكل عام فإن ليزرات الأشعة تحت الحمراء وتحت الحمراء البعيدة تصنف ضمن ليزرات ج . ومما يجدر بالذكر الإشارة إلى أن هذه الليزررات ليس لها أي تطبيق تجاري .

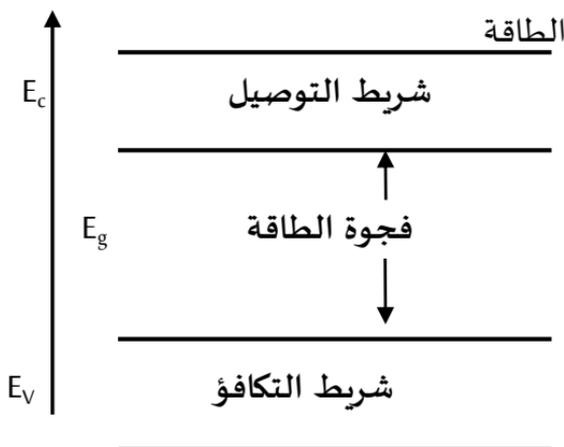
1-4-1 ليزرات أشباه الموصلات Semiconductor Lasers

تعد الليزررات المستخدمة في هذه الدراسة ليزرات أشباه موصلات ذات التغذية الراجعة الموزعة (Distributed feedback , DFB) ومن أجل ذلك فسوف نتوسع في إعطاء توصيف عام لهذه الليزررات .

تعتبر ليزرات أشباه الموصلات من أكثر الليزررات كفاءة وفعالية نظراً لصغر أحجامها ورخص أثمانها وحاجتها لقدرة أقل من الطاقة . لهذه الليزررات تطبيقات جمة من أبرزها استخدامها في تقنية الاتصالات عن طريق ما يعرف بالألياف البصرية التي تعد أحدث ما توصل إليه العلم في عالم الاتصالات . واستخدام ليزرات أشباه الموصلات لم يتوقف عند الاتصالات التقليدية بل تعدى ذلك إلى استخدامها الناجح في عمليات تشفير الاتصالات ونقل المعلومات عن طريق الحقن الضوئي لهذه الليزررات .

1-1-4-1 التوصيف العام General Description

تعتمد ليزرات أشباه الموصلات في تركيبها على الوصلة الثنائية (p-n junction) المصنوعة من مواد شبه موصلة، وتتم عملية الليزر عن طريق إعادة إتحاد الحاملات بين شريطي التوصيل والتكافؤ. وعلى الرغم من أن هذه الليزرات مصنوعة من مواد صلبة إلا أنها تختلف عن الليزرات الصلبة في تركيب مستويات الطاقة، حيث تشغل الإلكترونات في أشباه الموصلات شريطاً من عدد كبير من مستويات الطاقة بحيث يحتوي كل شريط على مستويات الطاقة المتقاربة من بعضها. عند درجة حرارة منخفضة إلى حد ما تبدأ مستويات الطاقة في الامتلاء حتى تصل إلى حد معين تصبح المستويات التي بعده فارغة، والذي يهمننا من هذه المستويات هو آخر شريط ممتلئ وأول شريط فارغ وكذلك الفجوة بينهما، حيث يسمى الشريط الممتلئ هذا بشريط التكافؤ (Valence band) و الشريط الفارغ يسمى شريط التوصيل (Conduction band) والفجوة بينهما تسمى فجوة الطاقة (Energy Gap) كما هو موضح بالشكل (1-2) الذي يوضح تركيب شريط الطاقة.



شكل (2-1) : رسم تخطيطي لشريط التوصيل وشريط التكافؤ وفجوة الطاقة بينهما في أشباه الموصلات .

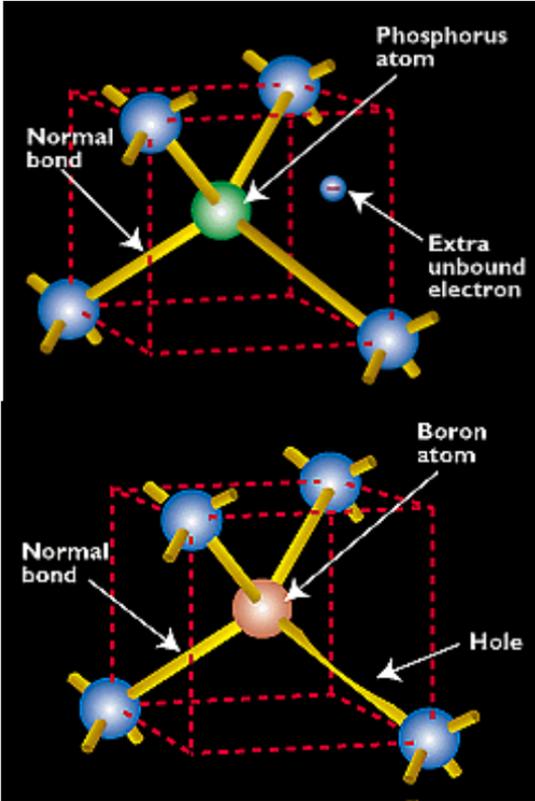
عند رفع درجة حرارة شبه الموصل فإن الإلكترونات في شريط التكافؤ تُستثار لتتجه إلى شريط التوصيل متسببة في التوصيل الكهربائي ، وكل الكترولون ينتقل من شريط التكافؤ إلى شريط التوصيل فإنه يترك خلفه ثقباً أو فجوة (hole) ويكون هذا الثقب مساهماً في التوصيل الكهربائي بفرضه جسيماً يعطى خصائص فيزيائية معينة من أهمها تمييزه بأنه ذو شحنة موجبة ، بمعنى أن ناقلات التيار الكهربائي في مادة شبه الموصل هي الإلكترونات والثقوب .

وفي مادة شبه الموصل النقية يجب أن يكون عدد الالكترونات مساوياً لعدد الثقوب ، ويمكن تغيير هذا العدد بتغيير درجة الحرارة.

يوجد هنالك طريقة أخرى لتغيير نسبة توزيع الالكترونات والثقوب وهي مهمة جداً لعمل ليزرات أشباه الموصلات ، وهذه الطريقة تعتمد على تطعيم مادة شبه الموصل بذرات مادة لها تكافؤ مختلف عن ذرات المادة المضيفة . فلو طعمنا مادة السليكون ذي التكافؤ الرباعي بمادة الفوسفور ذي التكافؤ الخماسي فإن كل ذرة فوسفور سوف تحل محل ذرة من السليكون ، وحيث أن تكافؤ ذرة الفوسفور خماسي فسوف تستخدم أربعة الكترونات لتكوين الرابطة مع أربعة الكترونات من ذرات السليكون ، وينتج عن هذا زيادة الكترون مرتبط بذرة الفوسفور ارتباطاً ضعيفاً فلا يلبث أن ينفصل ويرقى إلى شريط التوصيل ليصبح مساهماً في عملية التوصيل. وفي هذه الحالة فإن ذرات الفوسفور تسمى ذرات مانحة (donor) لمنحها الكترونأً لشريط التوصيل ، وتعرف المادة المضيفة بأنها من نوع n لأنه حصل في هذه العملية زيادة عدد الالكترونات على الثقوب ، الشكل (1-3، أ) .

وإذا ما أردنا زيادة نسبة الثقوب فإننا نقوم بتطعيم مادة شبه الموصل بذرات مادة لها تكافؤ أقل من تكافؤ ذرات المادة المضيفة .

ومن الأمثلة على ذلك تطعيم مادة السليكون بذرات مادة البورون ذي التكافؤ الثلاثي ، تسمى ذرات البورون هنا بالقبالة (acceptor) وتعرف المادة المضيفة بأنها من النوع p ، الشكل (3-1، ب).



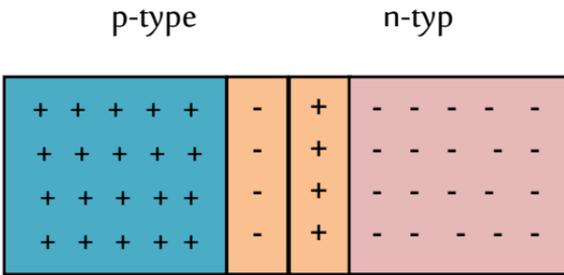
(ب)

(أ)

شكل (3-1): (أ) بلورة من النوع n ، (ب) بلورة من النوع p عند توصيل مادتين إحداهما من النوع n بمادة من النوع p فإنه يتكون لدينا ما يسمى وصلة p-n (p-n junction) والتي تعتبر من الأساسيات المهمة جداً في الأجهزة الإلكترونية

وهذه الوصلة تعمل كثنائي (diode) - وهو الجهاز الذي يعمل على تمرير التيار في اتجاه واحد فقط - ولهذه الوصلة ميزة أخرى مهمة وهي أنها تستطيع أن تبعث إشعاعاً عند مرور التيار خلالها وذلك تحت شروط محددة وهذا هو مبدأ عمل الثنائي باعث الضوء (Light Emitting Diode,LED)

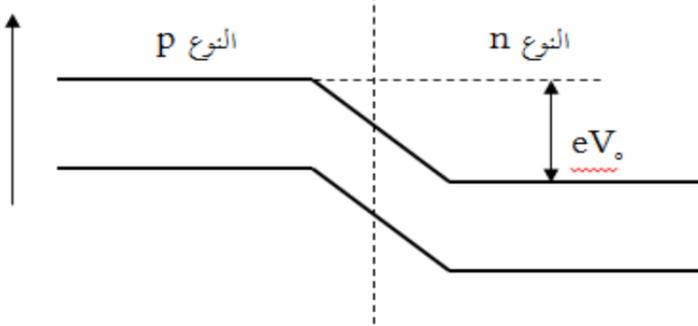
عند صنع وصلة p-n وذلك بوضع المادتين p و n على بعضهما متصلتين ، وبسبب وجود الكترولونات في شريط التوصيل للمادة n أكثر منها في شريط التوصيل للمادة p ، فإن الالكترولونات تناسب من شريط التوصيل للمادة n إلى شريط التوصيل للمادة p ، وكذلك فإن الثقوب تناسب من شريط التكافؤ للمادة p إلى شريط التكافؤ للمادة n لأنها أكثر في المادة p منها في المادة n . وبما أن الالكترولونات والثقوب مشحونة كهربياً فإن هذا الانسياب يجعل جانبي الوصلة مشحونين ، فيصبح جانب المادة n موجب الشحنة وجانب المادة p سالب الشحنة كما هو موضح في الشكل (4-1).



شكل(4-1): وصلة p-n مشحونة الجانبين بسبب انسياب الالكترولونات والفتحات.

يتولد بين هذه الشحنات مجال كهربائي يقاوم انسياب الالكترونات والثقوب ، وعندما يتم منع ذلك الانسياب تماماً فإننا نصل إلى حالة تسمى حالة الاتزان ، والتي بعدها يحصل تراكم للشحنات ينتج عنه ظهور حاجز للطاقة في الحد الفاصل بين المادتين ارتفاعه eV_0 كما هو موضح بالشكل (5-1) حيث أن V_0 تعرف بجهد الانتشار (diffusion potential).

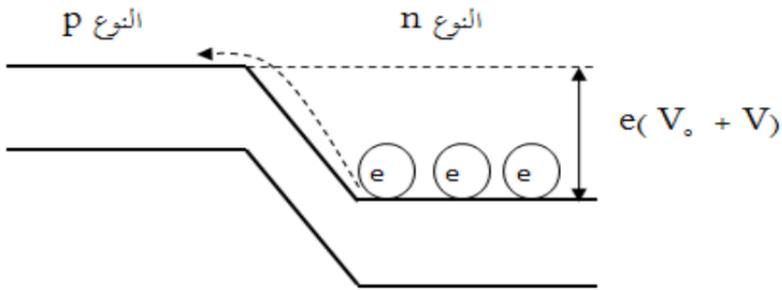
الطاقة



شكل (5-1): تولد حاجز الطاقة (ارتفاعه eV_0) عند تكوين الوصلة p-n
 عند تطبيق جهد خارجي (V) على الوصلة p-n
 فهذا التطبيق إما أن يكون تحييزاً عكسياً أو تحييزاً أمامياً :

أ- في حالة التحيز العكسي (reverse bias):

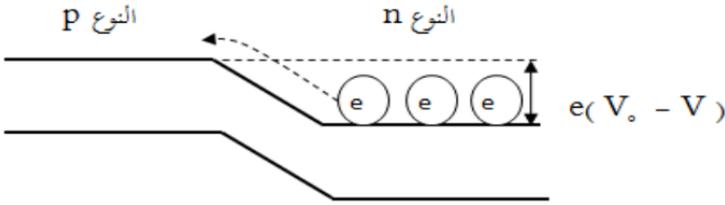
توصل المادة n بالقطب الموجب والمادة p بالقطب السالب، وعند ذلك يصبح جهد الحاجز الكلي عند الفاصل كبيراً [$e (V_o + V)$] فتواجه الإلكترونات الموجودة في المادة n صعوبة في تسلق حاجز الجهد ، ولكن يوجد عدد قليل من الإلكترونات الموجودة في المادة p تنتقل إلى المادة n لينتج عن هذا الانتقال تيار صغير جداً [شكل (6-1)].



شكل (6-1) : حالة التحيز العكسي في وصلة p-n

ب- في حالة التحيز الأمامي (forward bias) :

يتم عكس الأقطاب في هذه الحالة بحيث توصل المادة n بالقطب السالب والمادة p بالقطب الموجب ، فيتناقص ارتفاع حاجز الجهد ليصبح $[= e (V_0 - V)]$ مما يسهل على الإلكترونات تسلق حاجز الجهد لينتج عن ذلك تيار كبير نسبياً [شكل (7-1)] .

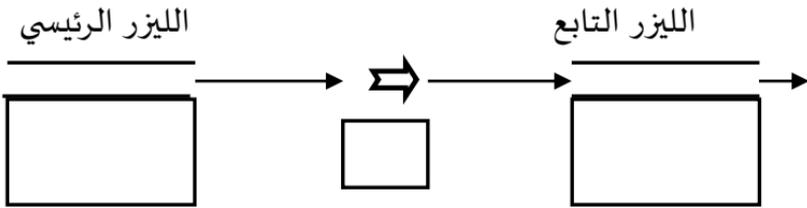


شكل (7-1) حالة التوصيل الأمامي في وصلة p-n

بقي أن نشير إلى أن الوصلة تصنع عادةً إما من نوع واحد من مادة شبه الموصل ، فتسمى الوصلة المتجانسة (homojunction) ، أو تصنع من أنواع مختلفة فتسمى حينئذٍ بالوصلة المتغايرة (heterojunction) .

5-1 الحقن الضوئي Optical Injection

يعرف الحقن الضوئي بأنه ضخ خرج ليزرٍ ما داخل فجوة ليزر آخر حيث يسمى الأول بالليزر الرئيسي (master laser, ML) بينما يسمى الآخر بالليزر التابع (slave laser, SL) ، والشكل (8-1) يوضح ببساطة عملية الحقن .



شكل (8-1) : الحقن الضوئي في ليزرات أشباه الموصلات .

لقد درست الليزرزات المحقونة ضوئياً على نطاق واسع بسبب الديناميكيات اللاخطية الهائلة لها ، واعتماداً على الفرق في التردد (frequency detuning بين الليزرين وشدة الحقن injection strength) فإن الديناميكيات المختلفة التي يمكن ملاحظتها والمتولدة بسبب الحقن الضوئي عديدة ومنها حالات الاستقرار (stable وعدم الاستقرار (unstable) وحبس الحقن injection locking) والفوضى (chaos) والعديد من السلوكيات الأخرى [6-12] ، حيث جذبت بعض هذه السلوكيات الكثير من الاهتمام في السنوات المتأخرة خاصة في مجال الاتصالات [13].

1-5-1 حبس الحقن الضوئي Optical Injection Locking

حبس الحقن هو تقنية تعمل على جعل المتذبذب حر الرنين (SL) يتذبذب متوافقاً مع متذبذب آخر مستقر (ML) ، بمعنى أن أحدهما يتحكم في ذبذبة الآخر. وتعد هذه التقنية طريقة واعدة في مجال أنظمة الاتصالات الضوئية ، بالإضافة إلى أنها تفيد كثيراً في دراسة خصائص الليزر .

يحصل الحبس عندما يكون تردد الليزر الرئيسي قريباً من تردد الليزر التابع [14] ، حيث أن فوتونات الليزر التابع تفضل أن تتردد بنفس تردد الليزر الرئيسي ، وهذا هو شرط حصول الحبس .

2-5-1 الفوضى Chaos

تعد الفوضى حالة تذبذبية غير دورية وغير منتظمة تنجم في الغالب عن الظواهر اللاخطية للأنظمة الفيزيائية [15] ، وليست الفوضى خاصة بالليزر بل هي موجودة في كثير من المجالات كالهندسة والكيمياء والأحياء وغيرها ، وعلى الرغم من اختلاف المجالات إلا أن بعض الأنظمة الفوضوية يمكن وصفها بمعادلات تفاضلية متماثلة [16]. وبما أن دراستنا سوف تنصب على ليزرات أشباه الموصلات على وجه التحديد فالذي سوف نهتم به هو الديناميكيات الفوضوية في هذا الصنف من الليزرات خصوصاً عند الحقن الضوئي ، حيث تظهر هذه الليزرات تشكيلة غنية من السلوكيات الفوضوية التي تعد أساساً مهماً في عملية التشفير في مجال الاتصالات الضوئية [13].

6-1 الدراسات السابقة revious Studies

في عام 1865م لاحظ Christian Huygens أن بندولي ساعتين معلقتين بجوار بعضهما يتوافقان زمنياً في مدى يسمى مدى الحبس، بحيث يعتبر أحدهما محبوساً للآخر ويؤثران على بعضهما البعض ، أما خارج هذا المدى فيصبح كل منهما متذبذباً حراً . وقد وصفت هذه الظاهرة نظرياً من قبل Van der Pol عام 1927 م [17] بالتفصيل . ومنذ ذلك الحين قدمت العديد من النظريات لدراسة هذه الظاهرة وكان من أبسطها تلك التي قدمها Adler عام 1946م [6] والتي حاول فيها تفسير العديد من الملاحظات على هذه الظاهرة وأثبت بأن هذا الحبس يمكن أن ينطبق أيضاً على الدوائر الإلكترونية ليكون بذلك قد ساهم في فتح آفاق جديدة في مجال الاتصالات والالكترونيات الكهربائية ، ولكن النموذج الذي وضعه كان صالحاً للتطبيق عند مستويات حقن منخفضة فقام Paciorek بتوسيع هذه النظرية لتشمل مستويات أعلى من الحقن [14]. وفي عام 1969م قدم Kurokawa نموذجاً أكثر شمولية [18] ، ليقوم باحثون آخرون بتطويره ليشمل مستوى حقن أعلى ، وهذه النظريات السابقة قد طبقت على المتذبذبات الكهربائية .

ولكن بعد ذلك تمت دراسة ظاهرة حبس الحقن في حالة المتذبذبات الأخرى بما فيها الليزر ، حيث تمت دراسة هذه الظاهرة في المجال الليزري لأول مرة عام 1966م بواسطة: Stover and Steier لليزري الهيليوم والنيون [19] . توالت الدراسات النظرية والتجريبية بعد ذلك في السبعينيات في مجال حبس الحقن الضوئي مركزة على فهم الظواهر الفيزيائية المختلفة ثم درست ليزرات أشباه الموصلات المحبوسة ضوئياً على نطاق واسع منذ عام 1980م وذلك لأهميتها في مجال الاتصالات على وجه الخصوص إذ يمكن القول بأن ثورة الاتصالات البصرية قد بدأت من ههنا . أجرى Kobayashi and Kimura أول تجربة حقن ضوئي لليزر أشباه الموصلات [7] وقاما بدراسة السلوكيات الاستاتيكية والديناميكية لليزر المحبوسة ضوئياً ، ثم توالت البحوث على هذه الليزر لتتضمن عرض نطاق الحبس وتردد ذبذبة الاسترخاء [20-22] وخصائص الحبس الديناميكية والاستاتيكية [23,24] والفوضى [25] ودراسة الحقن سواء كان ضعيفاً أم قوياً [26-28] والاتصالات الفوضوية ودراسة العديد من الديناميكيات في هذا المجال [8,12,29] . ولقد اهتم الباحثون بهذا النوع من الدراسة بسبب السلوكيات الكثيرة والمهمة التي تنشأ عن مثل هذه الظواهر ، وكان هذا الاهتمام من وقت مبكر حيث أجرى Lang عام 1982م دراسة لخصائص الحبس الناشئ عن عملية الحقن لليزر أشباه الموصلات [30]

ثم قدم بعض الباحثين عام 1985م تحليلاً نظرياً تفصيلياً لشروط الحبس وخصائص الإستقرارية لليزرات أشباه الموصلات المحبوسة بسبب الحقن ، مع الإشارة إلى تطبيق هذا الحبس في أنظمة النقل المتماusk [31]. قدّم Simpson وآخرون عام 1995م دراسة أظهرت زيادة عرض نطاق التضمين وتخفيض مستوى الضوضاء في ليزرات أشباه الموصلات بسبب الحقن الضوئي [22]. كما قام Meng وآخرون عام 1998م لأول مرة بالتوصل إلى تقليل التشوه اللاخطي في ليزرات التغذية الراجعة عن طريق حبس الحقن الضوئي [32]. وعليه فقد أصبحت ليزرات أشباه الموصلات الخاضعة للحقن الضوئي موضوعاً مثيراً للبحث خلال العقود القليلة الماضية ، وخاصةً فيما يتعلق بالحبس الناشئ عن عملية الحقن .

أما فيما يتعلق بالفوضى في الأنظمة الليزرية فقد وجد Lorenz عام 1963م أن الأنظمة اللاخطية يمكن أن تظهر ديناميكيات فوضوية [33] وذلك عند دراسة سلوك تدفق سائل حملي كنموذج للتدفق الجوي . وقد أثبت Haken عام 1975م [34] بأن الليزرات تعد أنظمة لاخطية مشابهة للنموذج الذي وضعه Lorenz وأنها تظهر سلوكاً فوضوياً .

وقد اقترح Haken نموذجاً حلقياً لليزر واعتبر ذرات الوسط الليزري ذات مستويين من مستويات الطاقة،

ليطلق على المعادلات التي تصف الحالة الفوضوية لليزر في ما بعد معادلات Lorenz-Haken . تمت دراسة السلوك الفوضوي في نظام الليزر الحلقي نظرياً [35] عن طريق Ikeda عام 1979م. في عام 1980م درس Lang and Kobayashi الفوضى وعدم الاستقرار في ليزرات أشباه الموصلات [36] ، كما لاحظ Brock Weiss and الفوضى في ليزرات النشادر تحت الحمراء لأول مرة عام 1986م [37] ، ثم تواصلت العديد من الدراسات على ظاهرة الفوضى في ليزرات أشباه الموصلات حتى ناقش Colet and Roy عام 1994م دراسة تظهر إمكانية استخدام الفوضى في مجال الاتصالات معتمدة على تزامن الفوضى في الأنظمة باستخدام ليزرين فوضويين [38]. تتابع الباحثون بعد ذلك في دراسة الاتصالات البصرية المعتمدة على الفوضى خاصة فيما يتعلق بتطبيقات التشفير في مجال الاتصالات [13,39] .

وقد كانت معظم الدراسات في مجال الحقن الضوئي في ليزرات أشباه الموصلات في الثمانينات [40-43] تتم عند مستويات حقن منخفضة ($k < -10$ dB) - حيث أن مستوى الحقن k يشير إلى النسبة بين قدرة الليزر الرئيسي إلى قدرة الليزر التابع - باستثناء بعض الجهود القليلة في محاولة الحقن عند مستوى أعلى ، ثم بعد ذلك اتجه الاهتمام في التسعينات إلى رفع مستوى الحقن (0 dB $< k < 10$ dB) لما لوحظ من زيادة استقرار الليزر مع زيادة مستوى الحقن ، وللاحتياج إلى ذلك في أنظمة الطاقة العالية [44,45] .

وكانت أغلب البحوث سابقاً تركز على حقن الليزر بليزر واحد فقط، ولكن وجد أن ديناميكيات الليزر المحقون ضوئياً الخاضع لأكثر من شعاع حقن تكون أكثر تعقيداً من الليزر المحقون بشعاع مفرد . وقد درس Troger وآخرون معه [46] الليزر الخاضع للحقن بضوء خارجي من عدة ليزرات وذلك عام 1999 م ، ثم توالت الدراسات بعد ذلك في مجال الحقن بأكثر من ليزر [47,48].

7-1 الدراسة الحالية Current Study

إن ليزرات أشباه الموصلات كغيرها من الأنظمة الديناميكية اللاخطية التي تظهر تشكيلة كبيرة من الظواهر التي تستحق الدراسة ، خصوصاً أنها أصبحت تشكل جزءاً مهماً في كثير من المجالات كالاتصالات والطوايع وغيرها من المجالات .

وفي هذا البحث سوف نقوم بدراسة سلوكيات ليزر أشباه موصلات (ذي التغذية الراجعة الموزعة) عندما يخضع للحقن الضوئي المضاعف (ليزرين) عند مستويات قدرة عالية نسبياً خاصة استقرارية الليزر والفوضى الناشئة ، حيث يتم أولاً توصيف كافة معاملات الليزر ، ثم يتم حقن الليزر بليزر أحادي عند مستويات قدرة عالية قبل أن يخضع الليزر للحقن المضاعف عند مستويات قدرة عالية ، سيوفر هذا البحث المزيد من التفسيرات الفيزيائية لسلوكيات الليزرات اللاخطية ، كما سيبين التطبيقات المحتملة للحقن المضاعف ذي الشدة العالية .

References : المراجع

- [1] A. L. Schawlow And C. H. Townes, " Infrared and Optical Masers, " *Physical Review*, vol. 112, pp. 1940-1949 , 1958.
- [2] T. H.Maiman," Stimulated Optical Radiation in Ruby," *Nature*, vol. 187, pp. 493-494 , 1960.
- [3] C R Chatwin,*Lasers*, Elsevier Ltd,2005.
- [4] J. Wilson And J. F. B. Hawkes,*Lasers Principles And Applications*, Prentice Hall, Europe, 1992. (Arabic Translation By A. Al-Dwayyan And M. A-Salhi)
- [5] J. Ohstubo, *Semiconductor Lasers, Stability, Instability And Chaos*, Springer, Berlin,2006. Chapter 2.
- [6] R. Adler, "A Study Of Locking Phenomena In Oscillators," *Proceedings Of Ire*, vol. 34, pp. 351 –357, 1946. Reprinted In *Proceedings Of IEEE*, vol. 61, pp. 1380-1385, 1973.
- [7] S. Kobayashi And T. Kimura, "Injection Locking Characteristics Of An Algaas Semiconductor Laser," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. 16, pp. 915-917, 1980.
- [8] S. Wiczorek, B. Krauskopf, T. Simpson, And D. Lenstra, "The Dynamical Complexity Of Optically Injected Semiconductor Lasers," *Physics Reports*, vol. 416, pp. 1-128, 2005.

[9] J. Mork, B. Tromborg, And J. Mark, "Chaos In Semiconductor Lasers With Feedback: Theory And Experiment," IEEE J. Quantum Electron., vol. Qe-28, pp. 93-107, 1992.

[10] Valerio Annovazzi-Lodi, Alessandro Scir'E, Marc Sorel, And Silvano Donati, "Dynamic Behavior And Locking Of A Semiconductor Laser Subjected To External Injection" IEEE Journal Of Quantum Electronics, vol. 34, pp. 2350-2357, December 1998.

[11] X. Wang, L. Chrostowski, "High-Speed Q-Modulation Of Injection-Locked Semiconductor Lasers " IEEE Photonics Journal, vol. 3, pp. 936-945, October 2011.

[12] Huijun Kong, Zhengmao Wu, Jiagui Wu, Yingke Xie, Xiaodong Lin, Guangqiong Xia,"Experimental Observations On The Nonlinear Behaviors Of Dfb Semiconductor Lasers Under External Optical Injection",Chaos, Solitons And Fractals, , vol. 36, pp.18-24, 2008.

[13] J. Liu, H. Chen, And S. Tang, "Optical-Communication Systems Based On Chaos In Semiconductor Lasers," IEEE Trans. Circuits Syst., I, vol. 48, pp. 1475–1483, Dec. 2001.

[14] L. Paciorek, "Injection Locking Of Oscillators," Proceedings Of IEEE, vol. 53, pp. 1723–1727,1965.

- [15] K. Aoki, *Nonlinear Dynamics And Chaos In Semiconductors*, Iop Publishing Ltd, 2001.
- [16] J. Ohstubo, *Chaotic Dynamics In Semiconductor Lasers With Optical Feedback*, Elsevier Science, 2002.
- [17] B. Van Der Pol, "Forced Oscillations In A Circuit With Nonlinear Resistance," *Philosophical Magazine*, vol. 3, pp. 65-80, 1927.
- [18] K. Kurokawa, "Some Basic Characteristics Of Broadband Negative Resistance Oscillator Circuits," *Bell System Technology*, vol. 48, pp. 1937–1955, 1969.
- [19] H. L. Stover And W. H. Steier, "Locking Of Laser Oscillators By Light Injection", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 8, pp. 91-93, 1966.
- [20] I. Petitbon, P. Gallion, G. Debarge, And C. Chabran, "Locking Bandwidth And Relaxation Oscillations Of An Injection-Locked Semiconductor Laser," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 24, pp. 148–154, Feb. 1988.
- [21] L. Goldberg, H. Taylor, And J. Weller, "Locking Bandwidth Asymmetry In Injection Locked Gaalas Lasers," *Electron. Lett.*, vol. 18, pp. 986–987, 1982.
- [22] T. B. Simpson, J. M. Liu, And A. Gavrielides, "Bandwidth Enhancement And Broadband Noise Reduction In Injection-Locked

Semiconductor Lasers," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 7, pp. 709-711, Jul. 1995.

[23] S. Hwang And J. Liu, "Dynamical Characteristics Of An Optically Injected Semiconductor Laser," Optics Communications, vol. 183, pp. 195-205, 2000.

[24] L. Li, "Static And Dynamic Properties Of Injection-Locked Semiconductor Lasers," IEEE J. Quantum Electron., vol. 30, pp. 1701–1708, Aug. 1994.

[25] V. Kovanis, A. Gavrielides, T. B. Simpson, And J. M. Liu, "Instabilities And Chaos In Optically Injected Semiconductor Lasers", Appl. Phys. Lett., vol. 67, pp. 2780–2783, 1995.

[26] T. Simpson, J. Liu, K. Huang, And K. Tai, "Nonlinear Dynamics Induced By External Optical Injection In Semiconductor Laser," Quantum Semiclassical Optics, vol. 9, pp. 765-784, 1997.

[27] G. H. M. Tartwijk And D. Lensto, "Semiconductor Laser With Optical Injection And Feedback," Quantum Semiclass. Opt., vol. 7, pp. 87–143, July 1995.

[28] K. Peterman, "External Optical Feedback Phenomena In Semiconductor Lasers," IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., vol. 1, pp. 480–489, June 1995.

[29] Yan-Dong Chu, Xian-Feng Li, Jian-Gang Zhang, Ying-Xiang Chang, "Nonlinear Dynamics Analysis Of A Modified Optically Injected Semiconductor Lasers Model," Chaos, Solitons And Fractals, vol. 41, pp. 14–27, 2009.

[30] R. Lang, "Injection Locking Properties Of A Semiconductor Laser", IEEE J. Quantum Electron., vol. Qe-18, pp. 976-983, 1982.

[31] F. Mogensen, H. Olesen, And G. Jacobsen, "Locking Conditions And Stability Properties For A Semiconductor Laser With External Light Injection", IEEE J. Quantum Electron., vol. Qe-21, pp. 784-793, 1985.

[32] X. J. Meng, T. Chau, D. T. K. Tong, And M. C. Wu, "Suppression Of Second Harmonic Distortion In Directly Modulated Distributed Feedback Lasers By External Light Injection," Electron. Lett., vol. 34, pp. 2040-2041, Oct. 1998.

[33] E. Lorenz, "Deterministic nonperiodic flow," Journal of the Atmospheric Sciences., vol. 20, pp. 130-141, 1963.

[34] H. Haken, "Analogy between higher instabilities in fluids and lasers," *Physics Letters.*, vol. 53A, pp. 77-78, 1975.

[35] K. Ikeda, "Multiple-valued Stationary State and its Instability of the Transmitted Light by a Ring Cavity System", *Opt. Commun.*, vol. 30, pp. 257-261, 1979.

[36] R. Lang and K. Kobayashi, "External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. 16, pp. 347-355, 1980.

[37] C. O. Weiss and J. Brock, "Evidence for Lorenz-type chaos in a laser," *Phys. Rev. Lett.* vol. 57, pp. 2804–2806, 1986.

[38] P. Colet and R. Roy, "Digital-communication with synchronized chaotic lasers," *Opt. Lett.*, vol. 19, pp. 2056–2058, 1994.

[39] V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, and A. Sciré, "Synchronization of chaotic lasers by optical feedback for cryptographic applications," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 33, pp. 1449–1454, 1997.

[40] F. Mogensen, H. Olesen, And G. Jacobsen, "Fm Noise Suppression And Linewidth Reduction In An Injection-Locked Semiconductor Laser," *Electronics Letters*, vol. 21, pp. 696-697, Aug. 1985.

[41] K. Iwashita And K. Nakagawa, "Suppression Of Mode Partition Noise By Laser Diode Light Injection," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 82, pp. 1657-1662, Oct. 1982.

[42] S. Kobayashi And T. Kimura, "Optical Fm Signal Amplification By Injection Locked And Resonant Type Semiconductor Laser Amplifiers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 18, pp. 575-581, Apr. 1982.

[43] S. Kobayashi And T. Kimura, "Coherence On Injection Phase-Locked Algaas Semiconductor Laser," *Electron. Lett.*, vol. 16, pp. 668-670, Aug. 1980.

[44] Atsushi Murakami, Kenta Kawashima, And Kazuhiko Atsuki, ("Cavity Resonance Shift And Bandwidth Enhancement In Semiconductor Lasers With Strong Light Injection",*IEEE Journal Of Quantum Electronics*, vol. 39, October 2003.

[45] N. Al-Hosiny ,R. El-Agmy, M.M. Abd El-Raheem, M.J. Adams, Distributed Feedback (Dfb) Laser Under Strong Optical Injection, *Opt. Commun.*,vol. 283,pp. 579–582, 2010.

[46] J. Troger, L. Thevenaz, P. Nicati, And P. A. Robert, "Theory And Experiment Of A Singlemode Diode Laser Subject To External Light Injection From Several Lasers," *J. Lightwave Technology*, vol. 17, pp. 629-636, 1999.

[47] Wei Li, Ning Hua Zhu, Li Xian Wang, Jian Hong Ke, Shuo Fu Chen, Xiao Qiong Qi, Bang Hong Zhang, And Liang Xie,""Frequency-Pushing Effect In Single-Mode Diode Laser Subject To External Dual-Beam Injection" *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, vol. 46, pp. 796-803, May 2010.

[48] Xiao-Qiong Qi And Jia-Ming Liu," Dynamics Scenarios Of Dual-Beam Optically Injected Semiconductor Lasers",*IEEE Journal Of Quantum Electronics*, vol. 47, June 2011.

الفصل الثاني

توصيفات الليزر

CHARACTERIZATION OF THE LASER

1-2 مقدمة Introduction

عند دراسة أي ليزر فإنه من المهم التعرف على مواصفات هذا الليزر لأن هذه التوصيفات تساعد كثيراً في تقييم أداء الليزر ، وكذلك في اختيار نقطة تشغيل الليزر المناسبة ، كما أنها تساهم في فهم الظواهر الديناميكية لليزر .

إن الليزر المراد دراسته في هذا البحث هو ليزر شبه موصل من الليزر ذات التغذية الراجعة الموزعة

- Distributed Feedback (DFB)-

والذي يطلق عليه في هذا البحث الليزر التابع (Slave Laser (SL حيث يتم حقنه ضوئياً ودراسة السلوكيات الناتجة عن هذه العملية .

وهو ليزر تجاري ذو نمط مفرد مصنع بواسطة شركة:

(Thorlabs TCLDM9)، له طول موجي 1550 nm وتيار

عتبة مقداره 8.55 mA عند درجة حرارة 25.23°C ، ولا يحتوي بداخله على عازل (Isolator) وذلك لتتم عملية

الحقن ، كما أنه موصل بفايبر ويطلق عليه حينئذٍ

Pigtailed، والجداول (1-4) يوضح أهم الخصائص التصنيعية لهذا الليزر .

2-2 ليزر التغذية الراجعة الموزعة

Distributed Feedback Laser

هو نوع من ثنائيات الليزر (Laser Diode) التي يكون تركيب الوسط الفعّال فيها عبارة عن محزوز حيود (Diffraction Grating)

يعمل كعاكس موزع في مدى من الطول الموجي وهو في ذلك يؤدي إلى إحداث التغذية الراجعة للأشعة الضوئية التي تتسبب في إثارة ذرات الوسط الفعّال في ذهابها وإيابها لكي يتم إنتاج شعاع الليزر. وقد اقتُرح هذا النوع من الليزر في عام 1971م [1].

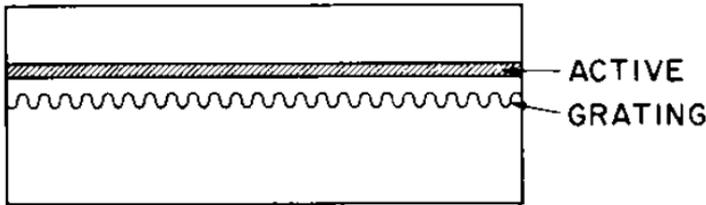
Specification الخاصية	Value القيمة
Max. Laser Current التيار الأقصى لليزر	2 A
Laser Pin Configurations ترتيب أرجل الليزر	A, B, C, D, and E LD Packages, Switch Selectable
RF Modulation Frequency مدى تضمين التردد الراديوي	100 kHz to 500 MHz
RF Input Impedance مقاومة مدخل التردد الراديوي	50Ω
Max RF Power أقصى قدرة للتردد الراديوي	200 mW
Laser Polarity Select قطبية الليزر المختارة	External Slide Switches
Laser Interface نوع وصلة الليزر	DB9 Female

جدول (1-2): أهم الخصائص التصنيعية لليزر المستخدم.

في هذا النوع من الليزر لا يستعمل مرآتان منفصلتان كما في تصميم الليزر التقليدية ، حيث أن محزوز الحيود يعمل هنا عمل المرآة ويمثل أداة انتقائية لأطوال موجية معينة تنعكس داخل فجوة الليزر لتتم عملية الليزر لأشعة ذات أطوال موجية محددة .

عند استخدام الليزر في مجال الاتصالات وجد أن هذه الليزرات تحدث بعض المشاكل عند استخدامها في المسافات البعيدة كضعف استقرار الإشارة الضوئية واتساع النطاق الطيفي لها ، وهذا غير جيد في مجال الاتصالات .

كان الحل لهذه المشاكل متمثلاً في استخدام ليزرات التغذية الراجعة ، حيث كانت الفكرة تكمن في وضع محزوز حيود يسمى محزوز براغ (Bragg Grating) داخل فجوة ليزر فابري- برو ويكون ممتداً على طول الفجوة كما هو موضح في الشكل (1-2) والذي يؤدي وجوده إلى حدوث انعكاسات عديدة داخل الفجوة .



شكل (1-2) : مخطط توضيحي لليزر التغذية الراجعة .

وقد استخدم تركيب التغذية الراجعة الموزعة (DFB) بشكل واسع في ليزرات أشباه الموصلات للحصول على النمط المفرد الطولي للأطياف الموجية .

1-2-2 خصائص ليزرات التغذية الراجعة الموزعة

Specifications of DFB lasers

تمتاز ليزرات التغذية الراجعة الموزعة بمزايا عديدة ، من أهمها :

- 1- تظهر خطوطاً طيفية ضيقة جداً .
- 2- لها ضوضاء منخفضة .
- 3- تنتج إشعاعاً أحادي التردد .
- 4- تتميز بمداهمها الموجي الكبير جداً .
- 5- تتميز بعتبة منخفضة وكسب عالي .
- 6- تتيح اختيار الطول الموجي المراد لعملية الليزر .
- 7- لها أهمية كبيرة في مجال الاتصالات خاصة عند المسافات البعيدة .

3-2 توصيفات الليزر

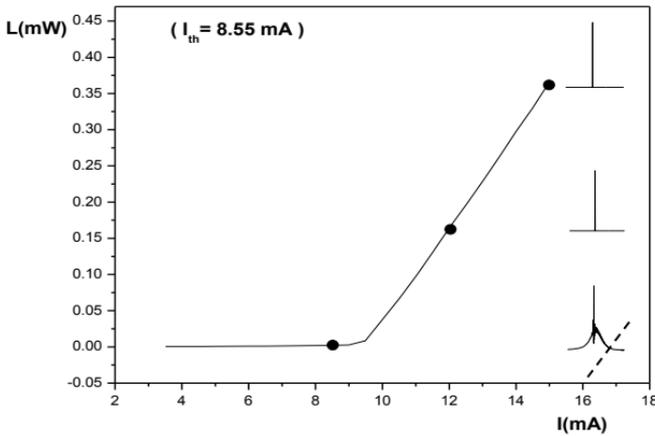
Characterization of the laser

قد تم عمل توصيفات لليزر المستخدم في هذا البحث شاملة منحى العلاقة بين التيار والقدرة الذي يطلق عليه:
(L-I curve) ، وكذلك كفاءة الليزر (Laser Efficiency) وكسب الليزر (Laser Gain) أيضاً ، وهي كالتالي:

1-3-2 العلاقة بين التيار والقدرة

(منحنى L-I) :

يعد المنحنى (L-I) مهماً عند دراسة سلوكيات الليزر حيث نستطيع من خلاله معرفة نقاط التشغيل المناسبة وكذلك كفاءة الليزر. ولقد تم رسم هذا المنحنى والذي يمثّل العلاقة بين التيار المطبق (I) على الليزر وقدرة الخرج (P) ، وهذه العلاقة معروفة كثيراً بالعلاقة L-I ، حيث أن L يرمز إلى قدرة خرج الضوء (Light output power) . برسم هذه العلاقة كما بالشكل التالي (2-2) يتضح أن عملية الانبعاث المستحث (الليزرية) قد أصبحت مغلّبة عند قيمة من التيار ($I = 8.55 \text{ mA}$) والتي تسمى تيار العتبة (threshold current, I_{th}) حيث يزداد كسب الليزر عن الفقد الحاصل في فجوته عند هذه القيمة .



شكل (2-2) : العلاقة بين التيار المطبق على الليزر وقدرة خرج الليزر
(منحنى L-I)

يمكن تقسيم المنحنى L-I إلى قسمين أحدهما يسمى منطقة الانبعاث التلقائي (spontaneous emission) وتكون قبل خروج الليزر والمنطقة الأخرى يطلق عليها الانبعاث المستحث (stimulated emission) والتي تمثل خروج الليزر . ينتج الانبعاث التلقائي عند تيار منخفض دون تيار العتبة ويتناسب بشكل خطي مع التيار المطبق كما هو ملاحظ ، وعند زيادة التيار فوق تيار العتبة يبدأ الليزر بالخروج من الوصلة ويكون ازدياد خروج شعاع الليزر متسارعاً بشكل كبير مع زيادة التيار . من الملاحظ على منحنى (L-I) ثبات ميل هذا المنحنى وذلك دليل على الكفاءة الجيدة لليزر المستخدم .

وتمثل النقاط الثلاث على المنحنى الأطياف المناظرة في يمين الشكل. وقد أمكننا الحصول على أطيف مختلفة لإشعاع الليزر عند قيم مختلفة للتيار وذلك قبل تيار العتبة وبعده - وهي تمثل مراحل خروج الليزر- وهذه الأطياف موضحة في الشكل (2-3) حيث نستطيع تقسيمها إلى قسمين :

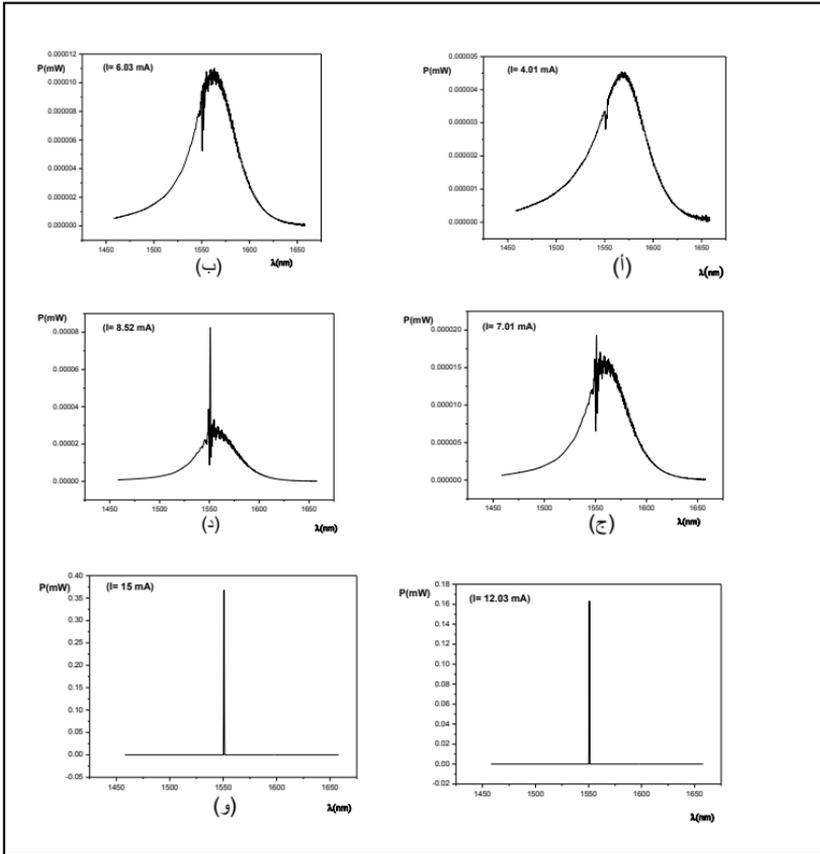
1- الأطياف قبل العتبة :

يشمل هذا القسم الأطياف الأربعة الأولى (أ ، ب ، ج ، د) ، وتميز هذه الأطياف بأن لها عرض طيفي واسع وشدة منخفضة وكلما زاد التيار الكهربائي بدأ العرض الطيفي يضيق وأخذت الشدة في الازدياد. نلاحظ أن الطيفين (ج، د) يمثلان بداية نشوء الليزر وفيهما يبدأ الكسب في فجوة الليزر يتغلب على الفقد كما سيمر معنا عند مناقشة موضوع كسب الليزر .

2- الأطياف بعد العتبة :

يظهر من الطيفين (هـ ، و) أن الليزر قد خرج فعلياً وأنه لا وجود للانبعاث التلقائي ظاهراً وأن الهيمنة التامة تكون للانبعاث المستحث . كما يتضح من خلال مقارنة الطيفين ببعضهما زيادة الشدة عند زيادة التيار الكهربائي فالطيف (و) له شدة أكبر من (هـ) لأنه عند تيار مقداره 15mA بينما (هـ) عند تيار 12.03 mA .

وبشكل عام فإن الأطياف قبل العتبة لها عرض طيفي واسع وشدة منخفضة والأطياف بعد العتبة لها عرض طيفي ضيق وشدة عالية.



شكل (2-3) : مراحل خروج الليزر، حيث أن (أ)، (ب)، تمثل انبعاث الفوتونات قبل تيار العتبة انبعاثاً تلقائياً. (ج)، (د) تمثل بداية نشوء الليزر. (هـ)، (و) تمثل خرج الليزر وذلك بعد تيار العتبة.

2-3-2 كفاءة الليزر (Laser Efficiency)

يتم التعرف على كفاءة الليزر عن طريق منحنى $L-I$ ، حيث يشير ميل الخط المستقيم إلى كفاءة الليزر ويطلق على الكفاءة حينئذٍ (the slope efficiency) وذلك لأن الكفاءة تمثل تناسب بين خرج الليزر وشدة التيار الداخل إلى الفجوة :

$$\eta = \text{output} / \text{input}$$

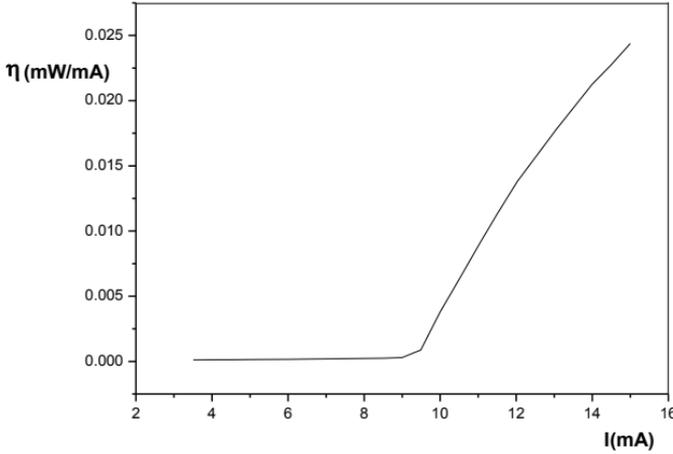
$$\eta = P / I$$

تختلف كفاءة الليزر عن بعضها البعض باختلاف بعض العوامل ، حيث تعتمد كفاءة الليزر على عدة عوامل هي :

- 1- مدى فاعلية قدرة الضح في التحول إلى التوزيع المعكوس .
- 2- احتمالات الانتقالات العديدة من مستوى الطاقة العلوي .
- 3- مجموع الفقد في النظام الليزري .

يمكن الحصول على منحنى الكفاءة عملياً وذلك برسم العلاقة بين كفاءة الليزر وشدة التيار كما بالشكل (2-4) ويتبين من هذا المنحنى أن الليزر المستخدم ذو كفاءة جيدة، حيث أن الكفاءة تزداد مع زيادة التيار المطبق على الليزر كما هو ملاحظ وذلك بعد تيار العتبة . يلاحظ من المنحنى أن

الكفاءة قبل تيار العتبة مساوية للصفر لأن هذه المنطقة مختصة بالانبعاث التلقائي ولم تتم عملية توليد الليزر بعد.



شكل (4-2) : منحنى الكفاءة والذي يمثل العلاقة بين كفاءة الليزر وشدة التيار الكهربائي.

3-3-2 كسب الليزر Laser Gain

تعتمد عملية الليزر على طريقة التغذية الراجعة التي يتم بها تفعيل عملية ضخ الوسط الليزري لكي تتم عملية تكبير الأشعة داخل هذا الوسط والذي يطلق عليه المرنان الليزري: (laser resonator) .

ولا يتم إنتاج الليزر إلا عند مستوى معين من الضخ يسمى شرط العتبة وذلك عندما يكون أكثر من نصف ذرات الوسط الفعال في حالة إثارة ، أما قبل هذا المستوى فإن هنالك تنافساً بين الفوتونات المنبعثة تلقائياً والفوتونات المستحثة في الطريق إلى توليد شعاع الليزر ويصاحب هذا التنافس عمليتي الكسب والفقد في الشعاع .

نعني بكسب الليزر تكبير شعاع الليزر لتكون شدته النهائية أكبر من الشدة الابتدائية ، وعليه فإن الكسب الكلي للنظام الليزري خلال دورة كاملة يعطى بالعلاقة التالية :

$$\text{معامل الكسب الكلي} = \frac{\text{الشدة النهائية}}{\text{الشدة الابتدائية}}$$

على الرغم من توفير المرنان لعملية الكسب إلا أن بعض
الفقد في شعاع الليزر يحدث داخل الفجوة نتيجة بعض
العوامل التالية :

- 1- التشتت نتيجة عدم تجانس معامل الانكسار.
 - 2- الحيود بسبب فتحة حزمة الليزر في المرنان.
 - 3- امتصاص الشعاع من السطح الداخلي للمرنان.
 - 4- حدوث انتقالات غير مرغوب فيها في الوسط
الليزري مسببة امتصاصاً لبعض الأشعة.
- لتوليد الليزر داخل منظومة الليزر فلا بد أن يتحقق شرط
العتبة وهو:

$$\text{مجموع الكسب} = \text{مجموع الفقد}$$

ومن الجدير بالذكر أن القيمة الفعلية للكسب تعتمد على
عاملين رئيسيين هما :

أ- التوزع المعكوس.

ب- الخصائص الفيزيائية للوسط الليزري.

ومما ينبغي التنبيه عليه أيضاً أن الليزر ذات وسط
الكسب العالي لا يكون لها بالضرورة كفاءة عالية ، حيث أنه
قد مر معنا سابقاً ذكر العوامل التي تعتمد عليها كفاءة
الليزر وليس منها معامل الكسب .

يعد كسب الليزر عاملاً مهماً في أداء الليزر، وقد لقي اهتماماً
كبيراً منذ اكتشاف الليزر [2-5].

واعتماداً على طريقة Hakki–Paoli [6] فإنه يتم الحصول على طيف الكسب وذلك بقياس عمق التضمين الناشئ عن الرنين في طيف الانبعاث

وطبقاً لهذه الطريقة فإن الكسب (g_m) يعطى كالتالي :

$$g_m = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{\sqrt{r_i} + 1}{\sqrt{r_i} - 1} \right) \quad (1-2)$$

حيث أن :

L : طول فجوة الليزر والذي يمكن إيجاده عن طريق العلاقة التالية :

$$L = \frac{\lambda^2}{2n_g \Delta\lambda_m} \quad (2-2)$$

حيث :

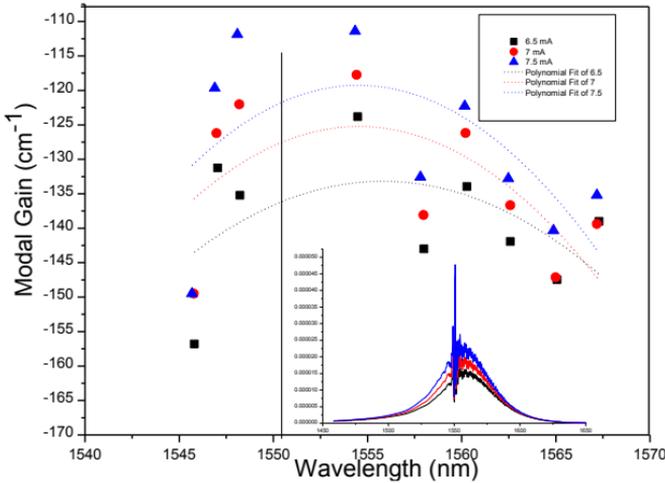
λ : الطول الموجي لليزر ، $\Delta\lambda_m$: الفرق بين قمتين متتاليتين
 n_g : معامل انكسار المجموعة ، r_i : عمق التضمين لطيف الكسب، والذي يعطى كالتالي:

$$r_i = \frac{P_i + P_{i+1}}{2V_i} \quad (3-2)$$

حيث أن :

P_i, P_{i+1} : القمتين المتتاليتين ، V_i : العمق ما بين القمتين .

وبإيجاد قيمة الكسب عن طريق المعادلة (1-2) عند قيم مختلفة للتيار تحت تيار العتبة يمكن رسم علاقة الكسب كالتالي :



شكل (5-2) : طيف الكسب لليزر التابع عند قيم مختلفة للتيار تحت تيار العتبة.

وهذا الرسم- شكل(5-2)- يتضح من خلاله أن الليزر المستخدم له معامل كسب جيد حيث يزداد الكسب مع زيادة شدة التيار المستخدم ، حيث قمنا بدراسة الكسب عند ثلاث قيم للتيار هي 6.5, 7, 7.5 mA ولاحظنا زيادة ارتفاع منحنى الكسب مع زيادة التيار الكهربائي .

الجدول التالي (2-4) يوضح قيم أهم العوامل لليزر التابع التي حصلنا عليها عملياً :

Parameter العامل	Symbol الرمز	Value القيمة	Unit الوحدة
Central Wavelength الطول الموجي المركزي	λ	1550.4	<i>nm</i>
Threshold current تيار العتبة	I_{th}	8.55	<i>mA</i>
Slope efficiency at ($1.6I_{th}$) كفاءة الميل عند 1,6 من تيار العتبة	$\Delta P/\Delta I$	0.07	<i>mW/mA</i>
Mode Spacing (ASE) فرق النمط	$\Delta\lambda_m$	1.2	<i>nm</i>
Cavity Length (ASE) طول الفجوة	L	0.27	<i>mm</i>

جدول (2-4): أهم عوامل الليزر المستخدم المقاسة عملياً .

References : المراجع

- [1] Eduard W. Taylor, "Space and Enhanced Radiation Induced Effects in Key Photonic Technology," IEEE Aerospace Conference Proceedings, ISBN 0-7803-54273, Snowmass/Aspen, CO, March 1999.
- [2] E. Oomura, W. Susaki, K. Ikeda, and M. Ishii, "Gain spectra in single mode oscillating (AlGa)As TJS lasers," Japan. J. Appl. Phys., vol. 17, no. 5, pp. 953-954, 1978.
- [3] D. Cassidy, "Technique for measurement of the gain spectra of semiconductor diode lasers," J. Applied Physics, vol. 56, pp. 3096-3099, 1984.
- [4] C. B. Su, "Dielectric grating induced by cavity standing-wave as a new explanation of the origin of nonlinear gain in semiconductor lasers," Electron. Lett., vol. 24, pp. 370-372, 1988.
- [5] K. L. Hall, J. Mark, E. P. Ippen, and G. Eisenstein, "Femtosecond gain dynamics in InGaAsP optical amplifiers," Appl. Phys. Lett., vol. 56, pp. 1740-1742, 1990.
- [6] B. Hakki and T. Paoli, "Gain spectra in GaAs double-heterostructure injection lasers," J. Applied Physics, vol. 46, pp. 1299-1205, 1975.

الفصل الثالث

التجهيزات المعملية وأخذ القياسات

**Laboratory Equipments and Taking
Measurements**

إن دراستنا لعملية الحقن الضوئي المضاعف لليزر أشباه الموصلات تتطلب وجود ثلاثة ليزرات لأنها عبارة عن تسليط شعاعي ليزر داخل فجوة ليزر ثالث مما يتسبب في إحداث السيناريوهات المختلفة . وقد مررنا في الفصل الأول أن هذه الدراسة كانت تجرى لسنوات عديدة باستخدام ليزر حاقن واحد ثم تطورت الأبحاث بعد ذلك لتشمل الحقن بأكثر من ليزر وكانت الاهتمامات منصبة على الدراسة عند مستوى حقن ضعيف أو متوسط .

وحيث أننا سوف ندرس الحقن الضوئي المضاعف - أي بليزرين - عند مستوى عالي من الحقن ($K > 0.01$) فلا بد قبل ذلك من دراسة الحقن الضوئي المفرد عند مستوى حقن عالي أيضاً ، ومن ثم نقوم بعد ذلك بالحقن بليزر آخر لمقارنة خريطتي الاستقرار في الحالتين وملاحظة بعض الديناميكيات في حالة الحقن المضاعف .

1-3 الحقن الضوئي المفرد Single Optical Injection

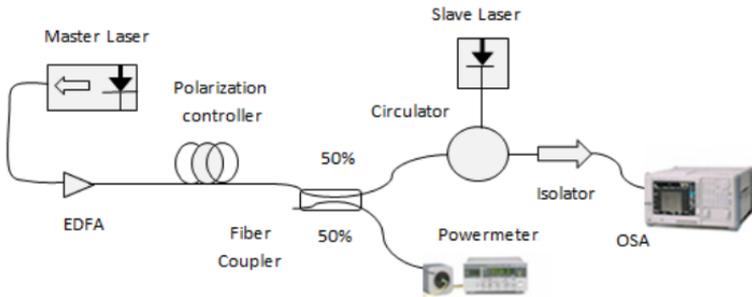
1-1-3 المخطط العملي Experimental setup

يوضح الشكل (1-3) المخطط العملي المستخدم في عملية الحقن الضوئي المفرد ، حيث يتكون من ليزرين أحدهما يسمى الليزر الحاقن أو الرئيسي (Master Laser, ML) والآخر يسمى الليزر المحقون أو التابع (Slave Laser, SL) بالإضافة إلى عدد من أجهزة التحكم وأجهزة التحليل والتي سوف نقوم بوصفها بالتفصيل . عند تتبع مسار حزمة الليزر من خلال هذا المخطط العملي لعملية الحقن نجد أن الشعاع يخرج من الليزر الحاقن المحتوي في تركيبه على عازل لا يسمح لشعاع الليزر بالعودة إلى قلب الليزر ، يعبر هذا الشعاع خلال الألياف البصرية المستخدمة في توصيل الدائرة الكهربائية ويعمل وجود عازل ضوئي في مسار الشعاع على منع عكس اتجاه الليزر. يمر الشعاع بعد ذلك بجهاز مضخم الألياف البصرية (EDFA) ليقوم بتضخيم الشعاع للحصول على قدرة عالية مناسبة للحقن العالي ،

كما يمر الشعاع بجهاز التحكم في الاستقطاب لضبط الاستقطاب بين الليزرين ثم يتم بعد ذلك تقسيم شعاع الليزر إلى فرعين عن طريق مزدوج ليفي

(Fiber Coupler) ليتجه أحدهما إلى جهاز قياس القدرة لمعرفة مستوى الحقن والآخر إلى دائرة توزيع (Circulator)

ليتم عن طريقها حقن الشعاع داخل فجوة الليزر التابع - الذي لا يحتوي على عازل لتتم عملية الحقن - فيخرج الشعاع بعد الحقن متجهاً إلى جهاز محلل الطيف الضوئي (OSA) لعرض إشارة خرج



الليزر.

شكل (1-3): المخطط العملي للحقن الضوئي المفرد .

2-1-3 الأجهزة المستخدمة في الدراسة

Used Devices

لقد أشرنا فيما سبق إلى شرح مبسط لعملية الحقن الضوئي والدائرة المستخدمة في ذلك ، وفيما يلي سوف نتطرق إلى الأجهزة التي تم استخدامها بشيءٍ من التفصيل.

1-2-1-3 الليزرات المستخدمة

Used Lasers

نستخدم في هذه الدراسة ليزرين من ليزرات أشباه الموصلات ذات التغذية الراجعة وهما :

1- الليزر الرئيسي Master Laser

إن الليزر المستخدم في بحثنا هذا كليزر حاقن هو الليزر الموضح بالشكل (2-3) وهو ليزر تجاري ذو نمط مفرد من ليزرات أشباه الموصلات ذات التغذية الراجعة المصنَّع بواسطة شركة Thorlabs (وموديله (TL1550-B-SM) ويستخدم في حقن الليزر التابع بإشارة ضوئية تعمل على إحداث الديناميكيات المختلفة له .

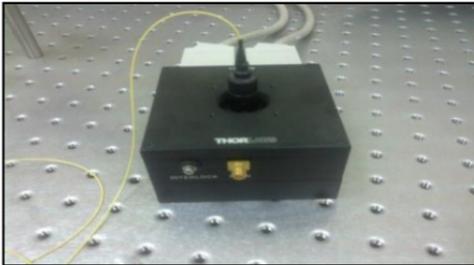
يتميز هذا الليزر الحاقن بمدى موجي يتراوح بين 1505 - 1620 nm بقدرته قصوى 5 mW والطول الموجي المركزي له 1550 nm ، كما أن درجة حرارة تشغيل هذا الليزر تتراوح بين 15 – 30 °C .



شكل(3-2): الليزر الرئيسي (ML) المستخدم في عملية الحقن المفرد .

2- الليزر التابع Slave Laser

هو ليزر شبه موصل تجاري ذو نمط مفرد ، وقد سبق توصيفه بشكل كامل في الفصل الثاني ، والشكل (3-3) يمثل صورة لهذا الليزر .



شكل(3-3): الليزر التابع (SL)

يتم حقن إشارة الليزر الرئيسي داخل تجويف هذا الليزر فيسمى حينئذٍ الليزر المحقون ، ويسمى أيضاً ليزراً تابعاً ؛ لأنه يتأثر تبعاً لتغير الليزر الرئيسي (الحاقن) ، بل يكون في بعض الأحيان تحت السيطرة الكاملة لليزر الحاقن . وقد تم عمل التوصيفات اللازمة له في الفصل الثاني كما تقدم لأنه يعتبر محور البحث في هذه الدراسة .

2-2-1-3 أجهزة التحكم Control Devices

نحتاج إلى العديد من أجهزة التحكم في هذه الدراسة نظراً للحساسية العالية لأشعة الليزر التي تتطلب استخدام أجهزة عالية الدقة تتحكم في مساراتها اتجاه الليزر وتساهم كثيراً في الحصول على الإشارة الضوئية المناسبة للدراسة .

استخدمنا في بحثنا هذا العديد من الأجهزة التي تعمل على التحكم في إشارات الليزر المنتقلة خلال الدائرة الكهربائية وهي :

1- عازل ضوئي Optical Isolator

يستخدم العازل الضوئي في جعل شعاع الليزر يمر في اتجاه واحد دون أن ينعكس ، وهذا العازل قد يكون داخل تركيب الليزر كما في الليزر الحاقن (ML) وقد يكون أثناء انتقال الشعاع عبر الألياف الضوئية فيوضع لمنع انعكاس شعاع الليزر . من المهم استخدام العوازل الضوئية في دراسة سلوكيات الليزر لأن انعكاس الشعاع يتسبب في عدم استقرار الليزر وحدوث حقن ضوئي ذاتي وإحداث نتائج غير صحيحة .

في هذه الدراسة قمنا بوضع العازل الضوئي بعد دائرة التوزيع (circulator) مباشرة وذلك ليتم دفع الإشارة الضوئية بعد عملية الحقن وضمان عدم انعكاسها في طريقها إلى جهاز محلل الطيف الضوئي . والعازل الضوئي الذي استخدمناه هو ليف بصري من النوع (SMF-28) يعمل عند طول موجي 1550 nm وله فقد إدخال مقداره 0.20 dB ، وله طرفان موصلان بألياف بصرية كما في الصورة الموضحة بالشكل (4-3) .



شكل (4-3): العازل الضوئي المستخدم .

بعض الليزررات لا تحتوي على عازل ضوئي في تركيبها الأساسي والسبب في ذلك هو الحاجة إلى دخول الشعاع إلى قلب الليزر وخروجه منه كما في تركيب الليزر التابع في هذه الدراسة حيث يكون خاضعاً للحقن ، ولإتمام عملية الحقن فلا بد أن يكون جهاز الليزر غير محتوٍ على عازل ضوئي .

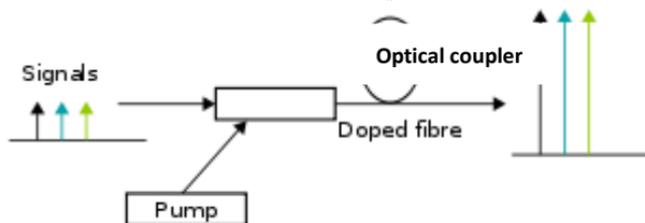
2- مضخم الألياف البصرية المطعم بعنصر الإربيوم Erbium Doped Fiber Amplifier(EDFA)

المضخمات الضوئية هي أجهزة تعمل على تضخيم الإشارة الضوئية مباشرة دون الحاجة إلى تحويلها إلى إشارة الكترونية ، وهي ذات أهمية في مجال الاتصالات الضوئية .

تستخدم المضخمات الضوئية بشكل عام في فيزياء الليزر للحصول على أنظمة ليزر عالية القدرة . هنالك العديد من الطرق التي يمكن أن تستخدم في تكبير الإشارات الضوئية ، ومن أهمها مضخمات الألياف البصرية المطعمة .

مضخمات الألياف البصرية المطعمة (Doped fiber amplifiers)

هي مضخمات ضوئية تستخدم الليف البصري المطعم كوسط كسب لتضخيم الإشارة الضوئية ، وتتم عملية التضخيم من خلال تفاعل الإشارة الضوئية مع الأيونات المطعمة ، ومن أشهر هذه المضخمات الضوئية المضخم الليفي المطعم بعنصر الإربيوم حيث يتم تطعيم ليف السليكا بأيونات الإربيوم ثلاثية التكافؤ. تعتمد فكرة عمل هذا المضخم على إثارة أيونات الإربيوم عن طريق الضخ حتى تنتقل إلى مستوى طاقة أعلى ثم تعطي ذرات الإربيوم بعضاً من طاقتها للإشارة الضوئية وتعود إلى مستوى الطاقة الأقل . إن الطاقة التي اكتسبتها الإشارة الضوئية تكون على شكل فوتونات تزيد من طاقة الإشارة فتعمل على تكبيرها مع محافظتها على نفس الطور والاتجاهية قبل عملية التكبير، والشكل (3-5) يمثل مخططاً لعمل المضخم الليفي المطعم .



شكل (3-5): مخطط بسيط لفكرة عمل المضخم الليفي المطعم .

المضخم الليفي المطعم بعنصر الإربيوم المستخدم في بحثنا هذا من النوع (Optosci) ونستفيد منه في تضخيم قدرة إشارة الليزر الحاقن للحصول على الحقن العالي عند طول موجي 1550 nm. لهذا الجهاز إشارة كسب صغيرة مقدارها 25 dB .

الشكل (6-3) يمثل صورة ملتقطة لجهاز المضخم الليفي المستخدم في المعمل .



الشكل (6-3) : جهاز EDFA .

3- جهاز التحكم في الاستقطاب

Polarization controller (PC)

تعد خاصية الاستقطاب من أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية ، وبما أن الليزر عبارة عن ضوء مستقطب فهو يتكون من موجات كهرومغناطيسية مستقطبة . ونعني بالضوء المستقطب ذلك الضوء الذي يكون اتجاه ذنبه المجال الكهربائي في موجاته موحداً . يعتمد أداء الليزر على استقطابية شعاع الليزر ولذلك فنحن بحاجة إلى استخدام جهاز لضبط الاستقطاب بين الليزرين وللمحافظة على اتجاه الاستقطاب أثناء عمل الليزرين . حيث أن اختلاف الاستقطاب بين الليزرين يؤدي إلى ضعف التفاعل بينهما .

إن الجهاز المستخدم هنا للتحكم في الاستقطاب هو جهاز من النوع (FPC560) يسمح بتغيير حالة استقطاب الضوء يدوياً . يتكون هذا الجهاز الموضح في الشكل (3-7) من ثلاث حلقات يبلغ قطر الحلقة الواحدة 56 mm ، ويتم إمرار الليف البصري الناقل للشعاع عبر محور يخترق هذه الحلقات ، وبتغيير اتجاه الحلقات يتغير اتجاه الاستقطاب خلال مدى واسع من الأطوال الموجية يتراوح بين 500-1650 nm .



الشكل (7-3): جهاز التحكم في الاستقطاب .

4- المزدوج الليفي (FC) Fibre coupler

استخدمنا في دراستنا مزدوجاً ليفياً يعمل على تقسيم إشارة الحقن - الخارجة من الليزر الرئيسي - إلى قسمين وتكون النسبة تقريباً 50:50 أي أن نصف قيمة التيار تقريباً تقاس على جهاز power meter والنصف الآخر يتجه لحقن الليزر التابع . والمقصود من هذه العملية هو قياس مستوى الحقن عن طريق قياس قدرة الليزر الحاقن. والمزدوج الليفي المستخدم هنا موصل بألياف بصرية كما في الشكل (8-3) وله المواصفات المبينة في الجدول (1-3) .



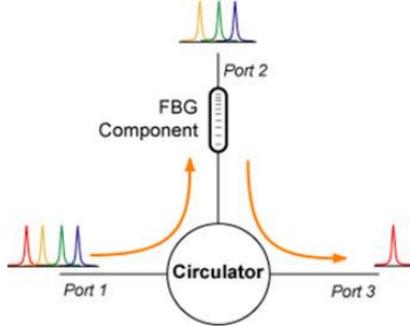
الشكل (8-3) : المزدوج الليفي المستخدم.

5- دائرة التوزيع Circulator

هي دائرة مكونة من ثلاثة مداخل ضوئية موصلة بألياف بصرية كما يظهر في الشكل (3-9) بحيث يدخل شعاع الليزر القادم من الليزر الرئيسي من خلال هذه الدائرة إلى الليزر التابع لإتمام عملية الحقن ثم يخرج الشعاع المحقون متجهاً إلى جهاز OSA . يسير الشعاع داخل هذه الدائرة في اتجاه واحد فقط ولها ثلاثة أذرع ، أحدها يعمل كمدخل للأشعة والثاني كمخرج ومدخل في آن واحد والثالث كمخرج فقط .

جدول (3-1): مواصفات المزدوج الليفى المستخدم في دراستنا .

characterization الخاصية	Value القيمة
Fiber type نوع الليف البصري	SMF
Operating wavelength الطول الموجي للتشغيل	1550 1310/nm
Insertion loss فقد الإدخال	3.12 / 3.29 dB
Coupling ratio نسبة المزاوجة	49.40 / 49.2090



شكل(9-3): دائرة التوزيع المستخدمة في دراستنا .

3-2-1-3 أجهزة التحليل

Analysis Devices

استخدمنا جهازين لتحليل الإشارات الضوئية بحيث يقيس أحدهما القدرة ويعمل الآخر على رسم الأطياف الضوئية لليزرات المستخدمة ، وهذان الجهازان هما :

1- جهاز قياس القدرة Power meter

يقيس جهاز power meter كما أسلفنا قدرة الإشارة الضوئية الحاقنة التي تخرج من الليزر الرئيسي وذلك لقياس مستوى الحقن. والجهاز المستخدم في دراستنا مصنع بواسطة شركة (Thorlabs) من النوع (PM100) و يقيس القدرة في مدى (0.001 V/mW – 1000 V/mW)



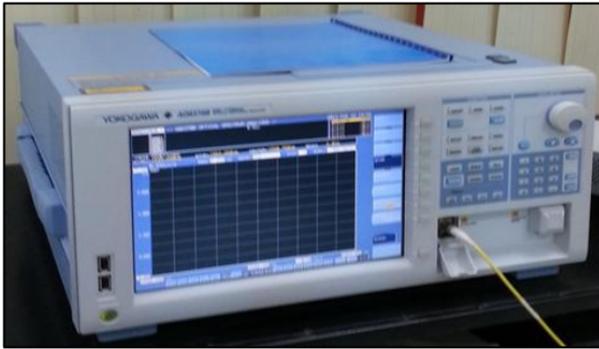
شكل (3-10): جهاز قياس القدرة .

2- محلل الطيف الضوئي

Optical Spectrum Analyzer (OSA)

هو الجهاز الذي يقوم بتحليل الإشارة المجمعة الخارجة من الليزر التابع بعد الحقن ويعمل على رسم شدة الشعاع الخارج كدالة في الطول الموجي . الجهاز المستخدم هنا من النوع :

(Yokogawa AQ6370B) الذي يغطي مدى واسعاً من الطول الموجي يتراوح من (600 – 1700 nm) بقدرة قصوى مقدارها 20 dBm . تبلغ حساسية هذا الجهاز ± 0.02 nm في المدى الذي نجري الدراسة عنده وتكون خطية الطول الموجي له عند هذا المدى ± 0.01 nm ، كما أن له قدرة على تحليل الطول الموجي تتراوح بين (0.02 to 2 nm) . يتميز هذا الجهاز أيضاً بإمكانية تشغيله باستخدام ألياف بصرية وحيدة النمط أو متعددة الأنماط .



شكل(3-11): جهاز محلل الطيف الضوئي .

3-1-3 الإجراءات العملية Experimental Procedures

تشمل الإجراءات العملية كل ما نقوم به في المعمل من تحضيرات ضرورية قبل إجراء التجربة ومن الطريقة المتبعة لأخذ القياسات العملية .

1-3-1-3 التحضيرات العامة

General Preparations

1- تغطية النوافذ الزجاجية للمختبر والتقليل من استخدام الزجاج حيث أن الشعاع المنعكس عنه له تأثيرات سلبية على صحة الباحث .

2- يتم تنظيف أسلاك التوصيل المستخدمة في الدائرة الكهربائية جيداً لأنها حساسة جداً للغبار والملوثات الأخرى وإذا ما تم استخدامها بدون التنظيف الجيد فإنها لا تعطي النتائج المرغوبة . فأقل ذرة غبار قد تتسبب في خفض قدرة الشعاع الضوئي بشكل ملحوظ ، وقد استخدمنا في عملية التنظيف مادة الكحول والمناديل الورقية الخاصة بالألياف وتم ذلك برفق نظراً لحساسية الألياف الضوئية .

3- تم التعرف على كيفية التعامل الأمثل مع الليزرات المستخدمة والأخذ بإجراءات الأمان المذكورة في آخر هذا الفصل.

2-3-1-3 إجراءات القياس

Measurement Procedures

لقد قمنا بعمل توصيفات أساسية لليزر التابع وذلك لتحديد تيار العتبة والتعرف على مدى كفاءة الليزر ، وقد مر معنا ذلك في الفصل الثاني .

لدراسة الحقن الضوئي لليزر نقوم بالإجراءات العملية التالية :

1- نبدأ بتشغيل الليزر التابع مع ضبط درجة الحرارة وشدة تيار الضخ عند نقطة التشغيل وهي في هذه الدراسة عند قيمة $I_{th} = 1.6$ تقريباً . وهذه النقطة سوف تكون نقطة تشغيل ثابتة طيلة الدراسة في ما عدا دراسة تأثير تيار الحقن .

2- نقيس قدرة الليزر التابع بواسطة جهاز قياس القدرة power meter ، وذلك لتحديد مستوى الحقن .

3- نقوم بتشغيل الليزر الرئيسي عند طول موجي معين قريباً من الطول الموجي للتابع .

4- نصل الدائرة الكهربائية كما في الشكل (3-1) والتي سبق الكلام عن مكوناتها .

5- نأخذ قراءة لقدرة الليزر الرئيسي ونقوم بالتحكم فيه عن طريق تغيير طول الموجي حتى نحصل على الديناميكيات المطلوب دراستها وهي ظاهرتي الحبس (Locking) والفوضى (Chaos) .

- 6- نسجل الطول الموجي لليزر الرئيسي عند بدء الحبس وانتهائه ، وكذلك نفس الأمر للفوضى .
- 7- نقوم بتغيير قدرة الليزر الرئيسي لدراسة الحبس والفوضى عند كل مستوى حقن .
- 8- نقوم برسم العلاقة بين الفرق في التردد (Δf , frequency) detuning ومستوى الحقن (K , injection level).
- يمكن تسجيل طيف الليزر كما يظهر على جهاز OSA .

يحتوي عازلاً ضوئياً يمنع انعكاس أشعة الليزر ، ويمكن التحكم في تغيير القدرة ودرجة الحرارة عن طريق نفس جهاز الليزر .



شكل (3-13): الليزر الرئيسي الثاني ML₂ .



شكل (3-14): صورة للدائرة الكهربائية المستخدمة.

3-3 مخاطر الليزر وإجراءات

السلامة Laser Hazard

تبعث أغلب الليزرزات التطبيقية المستخدمة في المختبرات أشعة خطيرة يجب الحذر عند التعامل معها ، وتختلف درجة خطورة الليزرزات باختلاف الخصائص المميزة لخرج الليزر وطريقة التعامل مع هذه الليزرزات . من المعلوم أن الليزر يمتاز بتوازي أشعته الذي يكسب الليزر طاقة عالية تستطيع الانتقال إلى داخل أنسجة جسم الإنسان . يؤدي امتصاص الأنسجة لأشعة الليزر إلى إتلاف وظائف خلايا الجسم خاصة خلايا الجلد ، وتكون العين هي أكثر أجزاء الجسم تعرضاً للتلف بسبب تركيز أشعة الليزر الساقطة على العين في نقطة معينة بفعل عدسة العين مما قد يؤدي إلى تلف القرنية أو الشبكية اعتماداً على الطول الموجي للشعاع الساقط حيث أن الأطوال الموجية الأقصر هي الأكثر ضرراً . لقد تمكن الباحثون من تحديد الأخطار المحتملة عند التعرض لإشعاع ليزرٍ ما وقاموا بوضع تصنيفات لليزرزات اعتماداً على درجة الخطر المحتمل . وكان التصنيف الحديث لدرجات الليزر قد تم فيه تصنيف الليزرزات إلى سبعة أصناف مبينة في الجدول التالي :

CLASS الصف	CHARACTERIZATION التوصيف
Class 1	آمنة بسبب ضعف الإشعاع .
Class 1M	آمنة بسبب كبر قطر الحزمة الضوئية وانحرافها إلا أنها تكون خطيرة عند مرورها بالبصريات المكبرة.
Class 2	تكون ضارة إذا سلطت على الشبكية لفترة زمنية طويلة نسبياً.
Class 2M	تشبه ليزرات الصف السابق إلا إذا مرت بالبصريات المكبرة فتكون ضارة.
Class 3R	تعتبر آمنة إذا تم التعامل معها بحذر.
Class 3B	غير آمنة مطلقاً.
Class 4	تعتبر خطيرة جداً.

جدول(2-3): التصنيف الحديث لدرجات الليزر .

بناءً على هذا التصنيف فإن الليزرات التي نتعامل معها في بحثنا هي من الصف (Class 3B) حيث أن لها خرج في حدود 50 mW ، وليزرات هذا الصف يتراوح خرجها بين 5 mW و 500 mW .

- عند العمل في مختبرات الليزر ينبغي التنبه إلى الأمور التالية :
 - وضع علامات تحذيرية في أماكن التعرض للإشعاع توضح مستوى الخطورة .
 - استخدام النظارات الواقية من أشعة الليزر .
 - التأكد من عدم تسرب أي شعاع من مصدر الليزر وذلك بإحكام إغلاقه جيداً .
 - عدم توجيه الليزر إلى الأجزاء الحساسة في الجسم كالعينين .
 - يفضل استعمال إضاءة عالية داخل المختبر وأن تكون جدران المختبرات انعكاسية منخفضة .
 - منع التدخين في مختبرات الليزر لأنه قد يسبب تلف المواد البصرية الموجودة .
 - يستحسن استخدام مصدّات الأشعة عالية الامتصاص .

الفصل الرابع

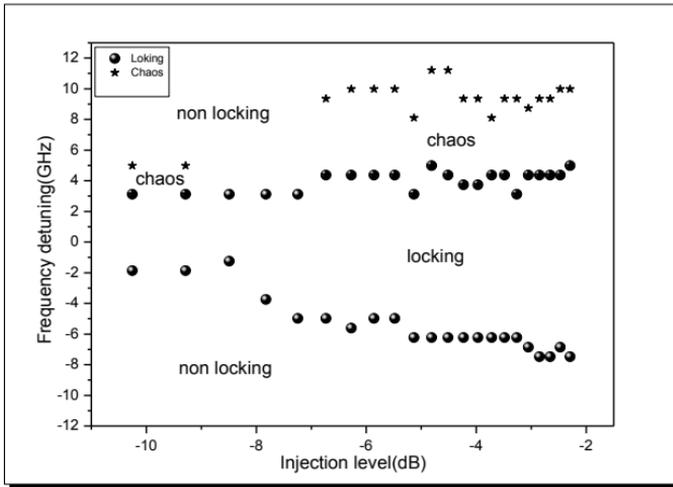
النتائج والمناقشة

Results and Discussion

1-4 الحقن الضوئي المفرد Single Optical Injection

لدراسة تأثير الحقن الضوئي العالي على ليزر التغذية الراجعة يتحتم علينا أولاً رسم خريطة الحبس العملية أو ما تسمى بخريطة الاستقرار (stability map) (1-4).

توضح هذه الخريطة الديناميكيات كدالة في كل من مستوى الحقن - نسبة قدرة الإشارة الحاقنة إلى قدرة الإشارة المحقونة محسوبة بالديسبل (انظر الملاحق) - و فرق التردد الذي يشير إلى الفرق بين تردد الليزر الحاقن والليزر المحقون .



شكل (1-4): خريطة الاستقرار تحت حقن ضوئي عالي مفرد .

هذه الخريطة تبين أنه عند أي قيمة معينة لمستوى الحقن فإنه قد تم مسح شامل لفرق التردد بين الليزرين من الجانبين الموجب والسالب ($\Delta f = f_{ml} - f_{sl}$). يمكن من خلال هذه الخريطة الكشف عن حدود الحبس ، كما يمكن ملاحظة وجود منطقتين رئيسيتين حيث تسمى الأولى منطقة الحبس (locking region) وهي الموضحة بالدوائر ، وفيها يكون الليزر المحقون تحت السيطرة الكاملة لليزر الحاقن أي أن فوتونات الليزر المحقون تفضل الاهتزاز داخل المرنان بذات التردد الذي تملكه فوتونات الليزر الحاقن. تعرف استقرارية النظام ههنا عندما تكون القمم المتكوّنة على جانبي القمة الرئيسية للحبس ضعيفة جداً مقارنة بالقمة الرئيسية وتحديدأ عندما تكون شدتها حوالي 20 dB- مقارنة بالقمة الرئيسية . أما المنطقة الثانية في هذه الخريطة فهي منطقة اللاحبس (non locking region) وهي المنطقة المحيطة بمنطقة الحبس والتي يلاحظ فيها وجود الفوضى في الجهة الموجبة من هذه الخريطة مشابهة للخرائط المدروسة عند مستويات الحقن ذات الشدة الضعيفة والمتوسطة [1,2].

يوجد بعض الفروق بين هذه الخريطة وخرائط الحقن المنخفض التي يكون مستوى الحقن فيها أضعف من 10 dB- ، حيث أن الخرائط في حالة مستويات الحقن الضعيفة والمتوسطة يكون أغلبها مغطى بالحبس غير المستقر أما منطقة الحبس المستقر فتكون محصورة في منطقة صغيرة عند مستوى الحقن الضعيف جداً وذلك بالقرب من الجانب السالب لمحور فرق التردد [3,4] .

في حالة الحقن الضوئي ذي الشدة العالية كما في هذا البحث فإن الخريطة تغطى بالحبس المستقر على وجه العموم . من الفروق بين الخرائط المختلفة الشدة أيضاً أن الليزر في حالة الحقن الضعيف يظهر خارج منطقة الحبس بعض الظواهر مثل ظاهرة النبض pulsation phenomena وظاهرة four wave mixing (FWM) ، أما في حالة الحقن العالي أو المتوسط فإن ظاهرة الفوضى تكون ملاحظة [5] .

لا يلاحظ عند الحقن تحت شدة عالية أي ظواهر واضحة كتلك الموجودة في حالة الحقن المنخفض لأن الليزر المسيطر ذا القدرة العالية يخمد الديناميكيات اللاخطية المحتملة ما عدا الفوضى فتلاحظ بشكل كبير حيث نجد من الشكل (4-1) أن الفوضى موجودة لكنها تنتشر في الجزء الموجب من فرق التردد أما الجزء السالب فلا يلاحظ فيه أي فوضى تذكر والسبب في ذلك أن الجزء الموجب تكون الأطوال الموجية فيه أقل وبالتالي فإن طاقة الليزر الحاقن في هذه الجهة تكون أكبر فيؤثر في الليزر التابع بشكل أكبر نظراً لحساسية النظام الليزري للطاقة العالية . مما يميز الليزر المحقون عند الحقن العالي أيضاً أن منطقة الحقن التي تسمى منطقة النطاق الطيفي للحبس (Locking Bandwidth , LB) تتسع بشكل أكبر بكثير منها في حالة الحقن الضعيف ، ويزداد عرض هذه المنطقة بازدياد شدة الحقن كما هو ملاحظ في خريطتنا خاصة الحد السفلي (السالب) للحبس فهو في اتساع مع زيادة الحقن.

يلاحظ من الخريطة السابقة عدم وجود تناظرين النقاط المتقابلة على حدي الحبس مشابهة في ذلك الخرائط المدروسة عند مستويات الحقن الضعيفة [6,7] .

2-4 الحقن الضوئي المضاعف Dual Optical Injection

عندما يخضع الليزر التابع للحقن بليزرين فإن الدائرة الكهربائية المستخدمة هي نفس الدائرة المستخدمة في حالة الحقن الضوئي المفرد مع إضافة ليزر حاقن آخر .

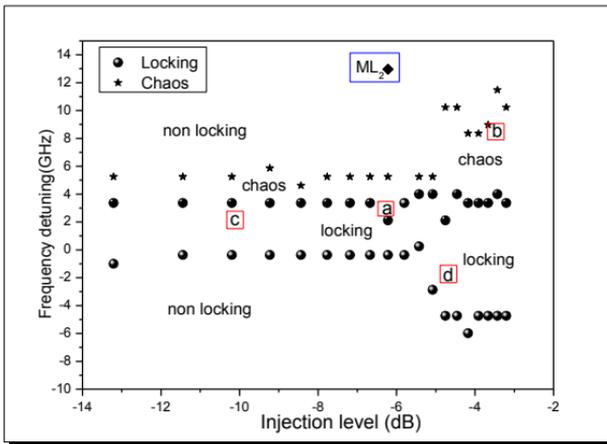
تمت دراسة الليزر الخاضع للحقن الضوئي المضاعف عند مستويات حقن ومواقع مختلفة لليزر الحاقن الثاني ، وفيما يلي سوف ندرس خرائط الاستقرار عند حالات الحقن المختلفة .

في الحالة الأولى :

تم حقن الليزر الرئيسي الثاني (ML_2) بطول موجي أقل من الليزر التابع - أي بتردد أكبر وبالتالي فرق ترددي موجب - عند مستوى حقن مقداره ($k_2 = -6.22$ dB) و فرق تردد ($\Delta f_2 = 12.97$ GHz) مع بقاء هذا الليزر ثابتاً طوال الدراسة مع تغيير الليزر الحاقن الأول .

يتبين من خريطة الاستقرار (2-4) في هذه الحالة أن الليزر الحاقن الثاني يمكن أن يعمل كوسيلة جيدة لتغيير خريطة الاستقرار لليزر المحقون ، وكذلك يعمل على زيادة الفوضى .

نلاحظ من خلال هذه الخريطة وجود منطقتين إحداهما منطقة حبس والأخرى منطقة لاحتبس كما في حالة الحقن بليزر واحد ، ولكن يلاحظ أن منطقة الحبس المستقر تكون هنا أضيق منها في حالة الحقن بليزر واحد بسبب حساسية النظام العالية لوجود إشارة الحقن الإضافية كما يلاحظ أيضاً زيادة استقرار الليزر تحت الحقن بالليزرين . يظهر من خلال الخريطة أيضاً أن الفوضى تمتد في الجهة الموجبة من فرق التردد وتكون متصلة على طول الحد الأعلى لمنطقة الحبس بخلاف الحقن بليزر واحد فلم تلاحظ الفوضى على هذا الامتداد بالكامل .



شكل (2-4):

خريطة الاستقرار تحت الحقن الضوئي المضاعف عند $\Delta f_2 = 12.97 \text{ GHz}$ ، الحروف من a إلى d تعود للأطياف في الشكل (3-4).

الشكل (3-4) يوضح أطيايف مختلفة لنظام الحقن تحت مستويات حقن مختلفة وفروق تردد مختلفة بالنسبة لليزر الحاقن الأول مع ثبات موقع ومستوى حقن الليزر الحاقن الثاني .

يظهر الشكل (a,3-4) سلوك فوضوي للنظام عندما يتم حقن الليزر الأول عند مستوى حقن $k_1 = -6.22$ dB وفارق تردد $\Delta f_1 = 2.74$ GHz هذه النقطة موضحة في خريطة الاستقرار في الشكل (2-4) - حيث يلاحظ وجود عدة قمم وعدم حدوث حبس لليزر المحقون لكنه يتأثر بعملية الحقن والدليل على ذلك الإزاحة البسيطة لهذا الليزر عن موقعه حيث تم دفعه إلى طول موجي أعلى - الجانب السالب من محور فرق التردد - مع احتفاظه بشدته العالية ، كما يظهر من خلال الطيف ثبات الليزرين الحاقنين تقريباً في موقعيهما . عند مقارنة هذه الخريطة بخريطة الحقن بليزر واحد عند نفس الظروف من مستوى الحقن وفارق التردد نجد أن الليزر المحقون كان محبوساً لليزر الحاقن الأول في غياب الليزر الثاني في الخريطة (1-4) ، أما عند وجود الليزر الحاقن الثاني كما في الشكل (2-4) فإن النظام يكون في حالة فوضى . وهذا يدل على أن الحقن بليزر آخريزيد من نسبة الفوضى في النظام .

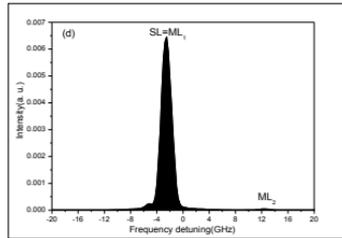
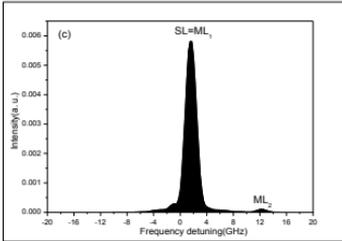
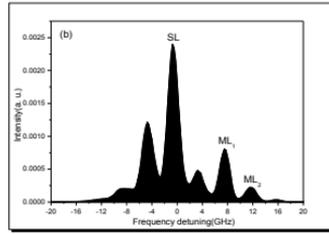
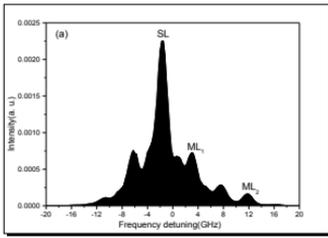
يتبين من الشكل (b,3-4) أيضاً أن النظام في هذه الحالة يوصف بالفوضى كما مر معنا سابقاً وذلك عند:

($k_1 = -3.43$ dB , $\Delta f_1 = 8.36$ GHz) مع ملاحظة أن موقع الليزر

الحاقن الأول أبعد عن الليزر المحقون منه في الشكل (a,3-4)

إلا أن مستوى الحقن أعلى ، وهذا يشير إلى أن الفوضى تزداد مع زيادة مستوى الحقن .

يتضح من الشكل (c,3-4) أن الليزر المحقون يكون محبوساً بالكامل لليزر الحاقن الأول عند ($k_1 = -10.12 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = 2.12 \text{ GHz}$) في وجود الليزر الحاقن الثاني، حيث يقوم الليزر الأول بسحب الليزر المحقون في اتجاهه وجعله تحت السيطرة الكاملة ويكون الليزر الحاقن هو المسيطر تماماً على حركة الليزر المحقون .

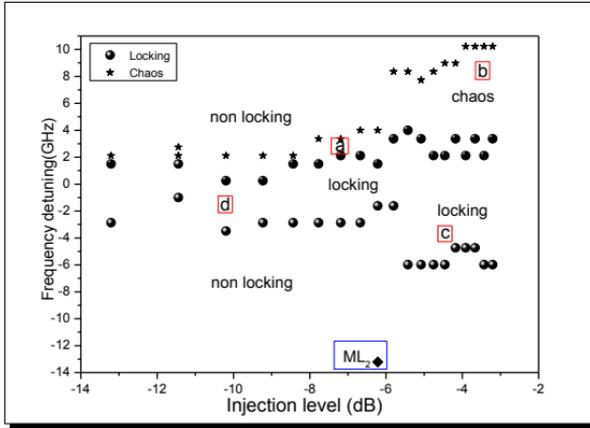


شكل (3-4): أطياف مختلفة لليزر المحقون بليزيرين عند مستويات حقن وفروق تردد مختلفة، وذلك عند ($k_2 = -6.22 \text{ dB}$, $\Delta f_2 = 12.97 \text{ GHz}$)

كذلك فإن الليزر المحقون يكون محبوباً لليزر الحاقن الأول في وجود الآخر وذلك عند ($k_1 = -4,75 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = -1.62 \text{ GHz}$) كما في الشكل (d,3-4) والحقن هنا يكون في موضع اتساع منطقة الحبس كما في الشكل (2-4) .

ولأن الحقن كان عند مستوى من الحقن أعلى منه في الشكل (4-3) فإن شدة إشارة الحبس تكون أكبر هنا كما هو ملاحظ ، وتم هنا سحب الليزر المحقون إلى الجهة السالبة من فرق التردد في اتجاه الليزر الحاقن ليكون تحت السيطرة الكاملة . تلاحظ أيضاً الاستقرارية العالية لليزر تحت الحبس في كلا الحالتين حيث أنه لم يلاحظ تكوّن أي قمم أثناء عملية الحبس .

الحالة الثانية : عند حقن الليزر الرئيسي الثاني (ML_2) في الجانب السالب من فرق التردد $\Delta f_2 = -13.2 \text{ GHz}$ عند نفس مستوى الحقن في الحالة السابقة $k_2 = -6.22 \text{ dB}$ فإننا نلاحظ من الشكل (4-4) زيادة الديناميكا الفوضوية أيضاً عنها في حالة الحقن بليزر واحد فقط، كما نلاحظ تكوّن منطقتي الحبس واللاحبس كالسابق وأن منطقة الحبس تكون أضيق منها في حال الحقن بليزر واحد .



شكل (4-4): خريطة الاستقرار تحت الحقن الضوئي المضاعف عند

$$, k_2 = -6.22 \text{ dB } \Delta f_2 = -13.2 \text{ GHz } ,$$

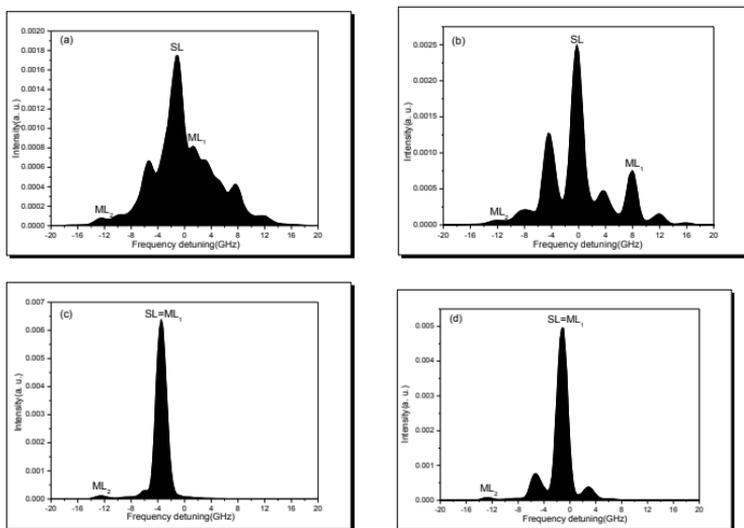
الحروف من a إلى d ترمز إلى مواقع الأطياف الموضحة في الشكل (5-4) .

هذه الخريطة تشبه كثيراً الخريطة السابقة (2-4) والتي تم فيها حقن الليزر الثاني في الجانب الموجب لفرق التردد ، ويلاحظ على الخريطين (2-4) ، (4-4) أن موقع الليزر الحاقن الثاني له تأثير جيد على خريطة الاستقرار لليزر حيث يعمل على سحب منطقة الحبس جهة الجانب الذي يوجد فيه.

تبين الأطياف الموضحة في الشكل (5-4) نظام الحقن تحت مستويات حقن مختلفة لليزر الحاقن الأول وعند فروق تردد مختلفة له مع ثبات مستوى حقن الليزر الحاقن الثاني وثبات موقعه وأماكن هذه الأطياف موضحة في الشكل (4-4).

نلاحظ من الطيف (a،5-4) أن النظام هنا يعد نظاماً فوضوياً وفيه تم حقن الليزر الحاقن الأول عند $k_1 = -7.19$ dB في الجانب الموجب من فرق التردد أي بطول موجي أقل من الطول الموجي لليزر المحقون ، وقريباً من الليزر المحقون $\Delta f_1 = 2.74$ GHz لكنه خارج منطقة الحبس . يلاحظ أن الليزر المحقون قد تمت إزاحته عن موقعه متأثراً بالفوضى الحاصلة في النظام .

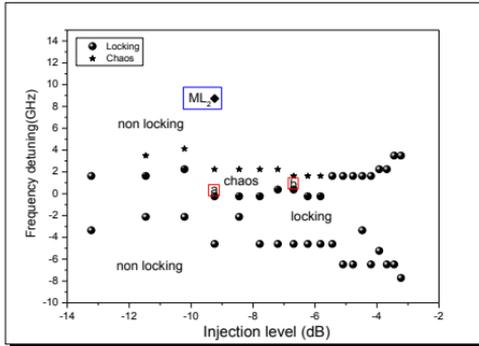
عند حقن الليزر الأول مرة أخرى عند مستوى حقن أعلى $k_1 = -3.43$ dB وبعيداً عن الليزر المحقون $\Delta f_1 = 8.36$ GHz يلاحظ هنا أيضاً أن النظام في حالة فوضى - شكل (b، 5 -4) - لكنه أقل اضطراباً من الحالة السابقة التي كان فيها الليزر الأول قريباً من الليزر المحقون والدليل على ذلك بقاء الليزر المحقون في مكانه واحتفاظه بشدة أعلى منه في الحالة السابقة .



شكل (4-5): أطياف مختلفة لليزر المحقون بليزرين عند مستويات حقن وفروق تردد مختلفة، وذلك عند $\Delta f_2 = -13.2$ GHz ، $k_2 = -6.22$ dB ، مواقع هذه الأطياف موضحة في الشكل (4-4) .

يتبين من الطيف (c, 5-4) حدوث عملية الحبس لليزر المحقون وذلك عند $(\Delta f_1 = -3.49$ GHz , $k_1 = -4.46$ dB) حيث يكون تحت السيطرة التامة لليزر الحاقن الأول في وجود الليزر الحاقن الآخر. عند تقليل مستوى الحقن مع تقريب الليزر الحاقن الأول من الليزر المحقون وذلك عند $(\Delta f_1 = -1.62$ GHz , $k_1 = -10,2$ dB) كما هو موضح في الشكل (d, 5-4) فإنها تحصل عملية حبس لليزر

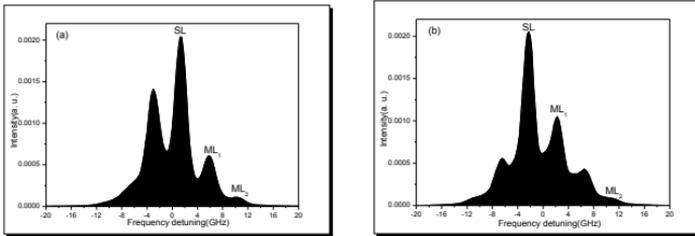
ولكن أقل استقراراً من الحبس في الحالة السابقة وتكون إشارة الحبس أقل شدة والسبب يعود إلى انخفاض مستوى الحقن، وهذا يشير إلى أن زيادة مستوى الحقن تزيد من استقرارية النظام. الحالة الثالثة : عند حقن الليزر الحاقن الثاني (ML_2) عند مستوى حقن $k_2 = -9.24$ dB وعلى بعد $\Delta f_2 = 8.73$ GHz أي حقنه في الجانب الموجب من فرق التردد - فإننا نلاحظ كما هو مبين في الخريطة (6-4) تكوّن منطقتي حبس ولاحبس كالخرائط السابقة ، وعند مقارنة هذه الخريطة بخريطة (2-4) نجد أن هذه الخريطة أقل فوضي كما هو ملاحظ على الرغم من قرب الليزر الحاقن الثاني من الليزر المحقون إلا أن السبب يعود إلى انخفاض مستوى الحقن ، وهذا يدل على أن مستوى الفوضى يتأثر طردياً بمستوى حقن الليزر الثاني .



شكل (6-4): خريطة الاستقرارية تحت الحقن الضوئي المضاعف عند $\Delta f_2 = 8.73$ GHz ، $k_2 = -9.24$ dB ، الحروف a ، b ترمز إلى مواقع الأطياف الموضحة في الشكل (7-4) .

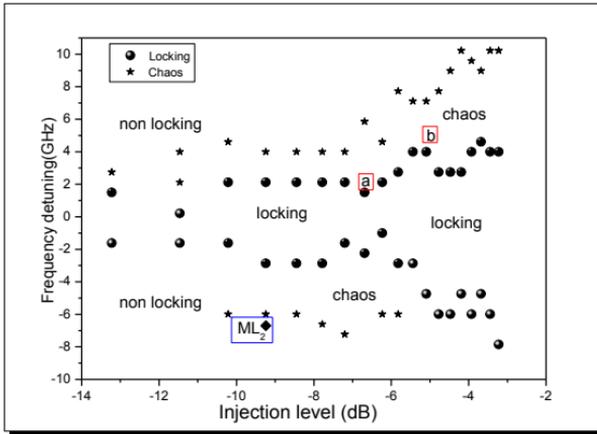
كما نلاحظ أن الليزر الحاقن الثاني في الخريطة (2-4) يعمل على جذب حدي الحبس باتجاهه نظراً لشدة الحقن العالية له بينما لم يلاحظ هذا التأثير في الخريطة (4-6) لانخفاض مستوى حقن الليزر فيها .

الشكل (4-7) يوضح طيفين للفوضى عند مستويي حقن مختلفين لليزر الحاقن الأول و فرق التردد متقارب في الحالتين ، نلاحظ أن الطيف (a) تم فيه التأثير على الليزر المحقون وذلك بجذبه ناحية موقع الليزرين الحاقنين في الجانب الموجب من فرق التردد وذلك عند ($k_1 = -9.24 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = 0.3 \text{ GHz}$) وعند زيادة مستوى الحقن عند موقع قريب من الموقع الأول ($k_1 = -6.7 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = 0.99 \text{ GHz}$) كما هو موضح في الطيف (b) فإن النظام يبقى في حالة فوضى ولكن تم دفع الليزر المحقون في الجانب السالب من فرق التردد وهذا بسبب زيادة مستوى الحقن حيث أن زيادته تؤدي إلى زيادة الفوضى .



شكل (4-7): طيفان للفوضى لليزر المحقون بليزرين، وذلك عند
 $k_2 = -9.24 \text{ dB}$ $\Delta f_2 = 8.73 \text{ GHz}$ ،
مواقع هذه الأطياف موضحة في الشكل (4-6).

الحالة الرابعة : عند حقن الليزر الحاقن الثاني (ML_2) في الجانب السالب من فرق التردد وذلك عند $\Delta f_2 = -6.7$ GHz وعند مستوى حقن منخفض $k_2 = -9.24$ dB نلاحظ وجود منطقتي حبس و لاجبس كما في الخرائط السابقة ، والملاحظ في هذه الخريطة (4-8) زيادة الفوضى بشكل كبير وظهورها لأول مرة في الجانب السالب من فرق التردد على الرغم من أن مستوى الحقن منخفض مقارنة بالخريطة (4-4) ولعل سبب زيادة الفوضى هو قرب الليزر الحاقن الثاني من الليزر المحقون . وهذا يقودنا إلى أن من أسباب زيادة الفوضى في النظام الليزري هو تقليل الفرق في التردد بمعنى أنه كلما اقترب الليزر الحاقن من المحقون زادت احتمالية الفوضى بنسبة كبيرة .

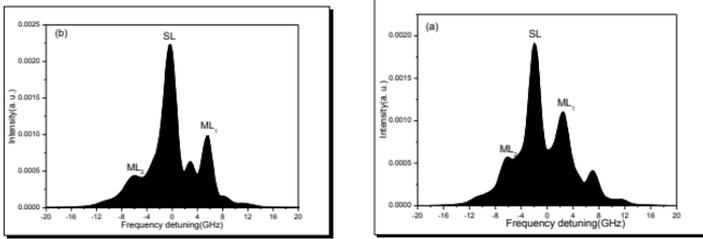


شكل(4-8): خريطة الاستقرارية تحت الحقن الضوئي المضاعف عند

$$\Delta f_2 = -6.7 \text{ GHz}, k_2 = -9.24 \text{ dB}$$

الحرفان a , b يرمزان إلى موقعي الطيفيين الموضحين في الشكل (4-9) .

يتضح من الشكل (4-9) طيفان للفوضى حيث نجد أن الطيف (a) الذي يكون عند ($k_1 = -6.7 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = 2.12 \text{ GHz}$) تكون فيه الفوضى أشد منها عند الطيف (b) الذي له ($k_1 = -5.1 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = 5.24 \text{ GHz}$) وذلك يظهر في ابتعاد الليزر المحقون عن مكانه وفي انخفاض شدته نتيجة منافسة القمم المتكوّنة للقمة الرئيسية لليزر المحقون ، والسبب في ذلك هو انخفاض فرق التردد في الطيف (a) عنه في الطيف (b) ، وهذا يؤكد أيضاً أن زيادة الفوضى في النظام الليزري تناسب طردياً مع اقتراب الليزر الحاقن من الليزر المحقون .

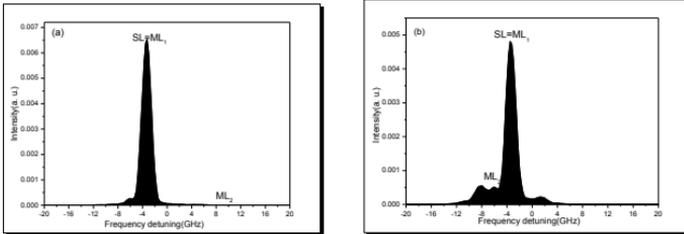


شكل(4-9): طيفان للفوضى لليزر المحقون بليزرين ،
 وذلك عند $\Delta f_2 = -6.7 \text{ GHz}$, $k_2 = -9.24 \text{ dB}$ ،
 مواقع هذه الأطياف موضحة في الشكل (4-8).

عند مقارنة الخريطين (4-6) و (4-8) ببعضهما نجد أن مستوى الحقن لليزر الثاني يكون ثابتاً في الخريطين وقد تم حقنه مرة في الجانب الموجب من فرق التردد ومرة في الجانب السالب ، على التوالي . في الخريطة الأولى يكون الليزر أكثر استقراراً وذلك يتضح جلياً في قلة الفوضى بالنسبة للخريطة الثانية ،

وبدل ذلك على أن حقن إشارة الليزر الثاني في الجانب السالب من فرق التردد يعمل على اضطراب النظام أكثر من الحقن في الجانب الموجب .

الطيف (a، 10-4) يوضح استقرار الليزر تحت الحبس عند ($k_1 = -3.93 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = -3.37 \text{ GHz}$) وهو مأخوذ من الخريطة (6-4) ، أما الطيف (b، 10-4) الذي يكون عند ($k_1 = -3.68 \text{ dB}$, $\Delta f_1 = -4.12 \text{ GHz}$) فهو مأخوذ من الخريطة (8-4) . وبالمقارنة بين الطيفين نجد أن الليزر في الطيف (a) أعلى شدة من الليزر في الطيف (b) والقمم المتكونة أقل وهذا يدل على أن ليزر الطيف (a) أكثر استقراراً وذلك لأن حقن الليزر الثاني تم في الجانب الموجب من فرق التردد الأكثر استقراراً كما سبق .



شكل (10-4) : طيفان للحبس المستقر على الجانبين من فرق التردد عند نفس مستوى الحقن $k_2 = -9.24 \text{ dB}$.

3-4 دراسة تأثير تغيير درجة الحرارة وشدة التيار

على خريطة الاستقرارية:

**Study of the effect of changing temperature and
intensity of the current on stability map:**

لقد تمت دراسة أثر درجة الحرارة وشدة التيار على خريطة الاستقرارية لأنهما يعدان من أهم العوامل المؤثرة على النظام الليزري حيث أن الليزر حساس جداً لهذين العاملين .

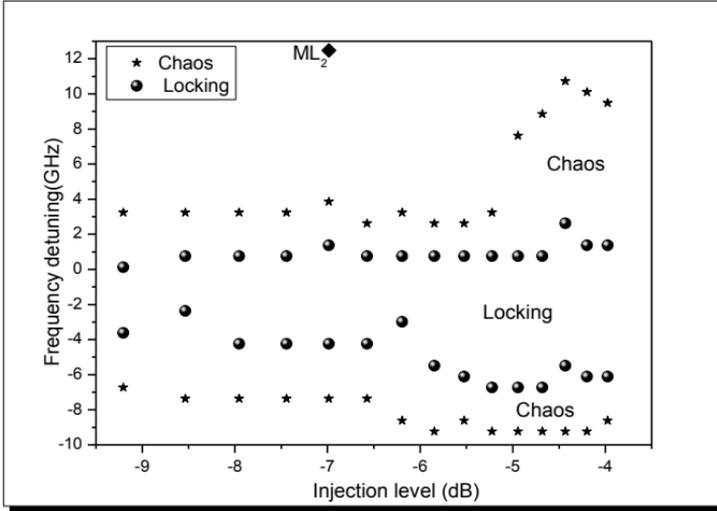
4-3-1 تأثير تغيير درجة الحرارة على خريطة الاستقرار:

The effect of changing temperature on stability map

من العوامل المؤثرة في أداء الليزرات عموماً درجة حرارة الوسط الليزري ، وقد قمنا في هذه الدراسة ببحث أثر هذا المتغير على عملية الحقن الضوئي ونتائجها ، ولدراسة تأثير تغيير درجة حرارة النظام الليزري على الفوضى فقد قمنا برسم خريطة الاستقرار لليزر المحقون بليزرين وذلك عند ثلاث درجات حرارة مختلفة ، بحيث نثبت أحد الليزرين الحاقنين (ML_2) عند مستوى حقن وفرق تردد معينين لخرائط الاستقرار الثلاث ونجري مسحاً للأطوال الموجية لليزر الآخر (ML_1) عند مستويات حقن عديدة لهذا الليزر لملاحظة مدى تأثير تغيير درجة الحرارة على الديناميكيات المراد دراستها خلال عملية الحقن .

في البداية يتم حقن الليزر التابع عند درجة حرارة منخفضة ($21.10\text{ }^\circ\text{C}$) ، ويتضح من خريطة الاستقرار (4-11) عند هذه الدرجة انتشار الفوضى بنسبة كبيرة حيث تنتشر على جانبي منطقة الحبس ويكون عرض منطقة الفوضى أكبر بشكل ملاحظ في الجانب السالب من فرق التردد إلا عند مستويات الحقن العالية فيزيد عرض هذه المنطقة في الجانب الموجب وذلك بسبب الطاقة العالية لليزر الحاقن في هذا الجانب حيث أن الأطوال الموجية تكون أقل .

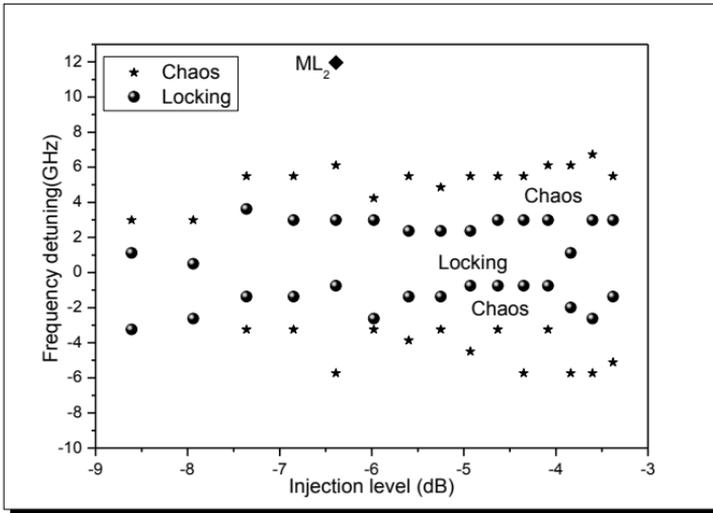
كما نلاحظ من خلال هذه الخريطة زيادة الفوضى بازدياد شدة الحقن .



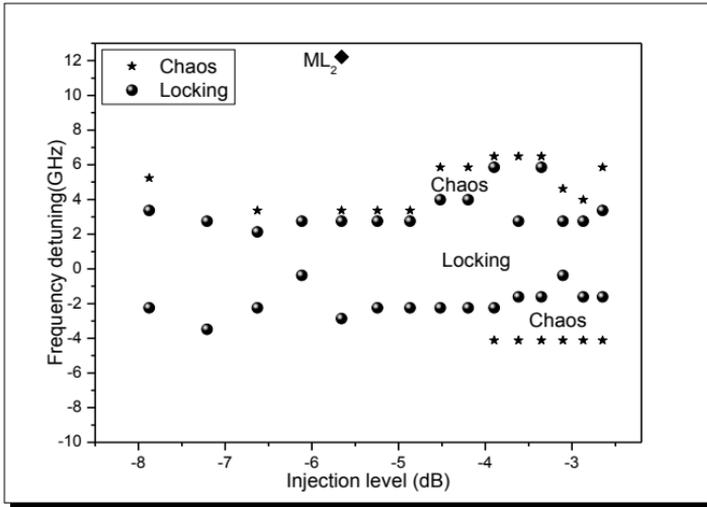
شكل (11-4): خريطة الاستقرار عند درجة حرارة (21.10 °C) .

عند رفع درجة حرارة الليزر التابع إلى (25.20 °C) فإننا نلاحظ من الخريطة (12-4) تكوّن الفوضى في الجهتين الموجبة والسالبة من فرق التردد لكنها تكون بشكل أقل مقارنة بالخريطة السابقة (11-4) . كما أن منطقة الحبس تكون هنا أضيق ، والفوضى تكون غير منضبطة مع ارتفاع شدة الحقن في الجانب السالب من فرق التردد .

وعند رسم خريطة الاستقرارية لليزر المحقون عند درجة حرارة (28.16 °C) فإن الفوضى تقل مقارنة بالخريطين السابقتين كما هو ملاحظ من خلال الخريطة (4-13) التي يظهر فيها أن الفوضى في الجانب السالب من فرق التردد تكون محصورة في منطقة صغيرة عند شدة الحقن العالية ، أما في الجانب الموجب حيث الطاقة العالية لليزر الحاقن فتنشر الفوضى فيه على امتداد حد الحبس تقريباً ولكن منطقة الحبس تكون غير متسعة .



شكل (4-12): خريطة الاستقرارية عند درجة حرارة (25.20 °C) .



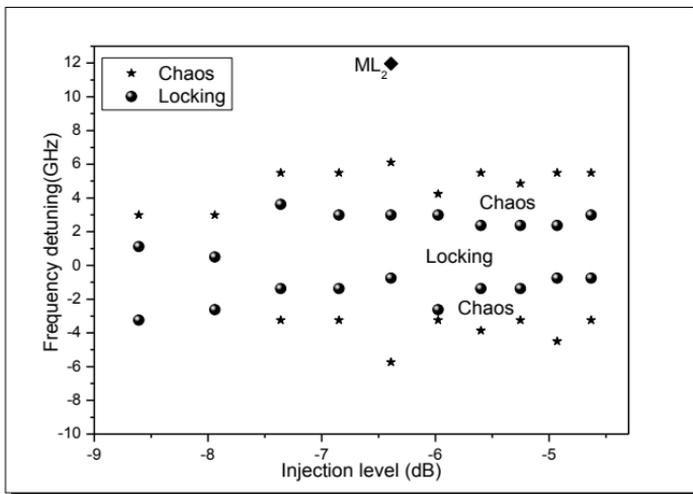
شكل (4-13): خريطة الاستقرار عند درجة حرارة (28.16 °C) .

من خلال ما سبق يتبين أن تغيير درجة حرارة الليزر التابع يعد عاملاً مهماً في تغيير خريطة الاستقرار حيث يعمل انخفاض درجة الحرارة على تحسين خريطة الاستقرار وإظهار الديناميكيات المدروسة - الحبس والفوضى - بشكل أفضل وذلك لأن زيادة درجة حرارة الليزر مع ثبات شدة التيار ينتج عنها زيادة الفقد في النظام الليزري فيؤثر ذلك على مستوى أداء الليزر حيث أن بعض الخصائص المهمة لليزرات أشباه الموصلات كالقدرة وعرض النطاق الطيفي من الممكن أن تتأثر بشكل سلبي بارتفاع درجة الحرارة [8] ولذا فإن المشهور أن دراسة الليزرات تتم عند درجات حرارة منخفضة وثابتة

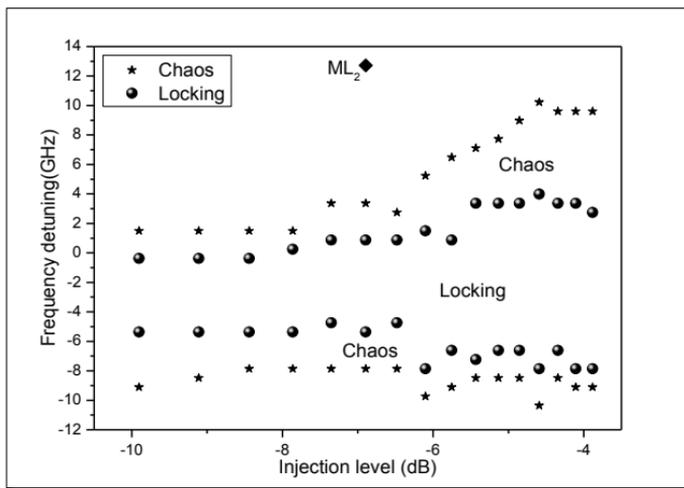
2-3-4 تأثير تغيير شدة التيار على خريطة الاستقرار The effect of changing intensity of the current on stability map

يعد تيار الحقن عاملاً مهماً من العوامل المؤثرة في أداء الليزر بشكل عام وعند دراسة استقرارية النظام الليزري على وجه الخصوص وهو الموضوع الذي يهمننا هنا .

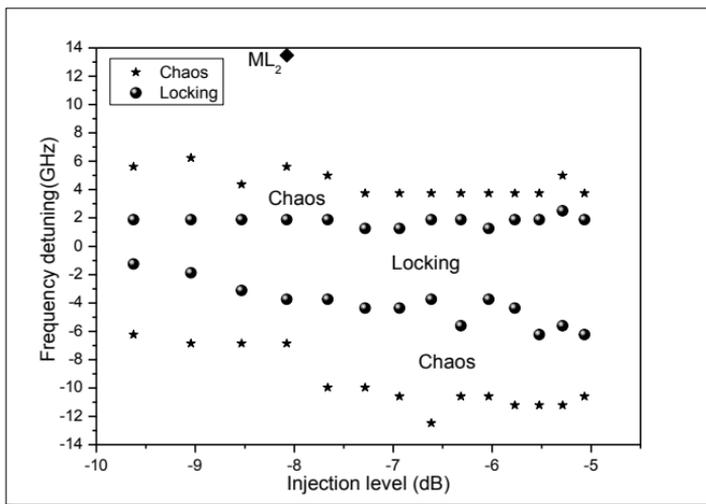
لدراسة تأثير تغيير شدة التيار على خريطة الاستقرار في حالة الحقن الضوئي المضاعف فقد قمنا برسم ثلاث خرائط استقرارية لليزر المحقون إحداهما عند شدة تيار مقداره 13.5 mA وهي الخريطة الممثلة بالشكل (4-14) والثانية عند 14 mA والممثلة بالشكل (4-15) والخريطة الثالثة عند 15.38 mA والموضحة بالشكل (4-16).



شكل (14-4): خريطة الاستقرارية عند تيار (13.5 mA) .



شكل (15-4): خريطة الاستقرارية عند تيار (14 mA)



شكل(4-16): خريطة الاستقرار عند تيار (15.38 mA) .

عند مقارنة الخرائط الثلاث ببعضها نجد أن زيادة شدة التيار المطبق تعمل على تغيير خريطة الاستقرار ، فالملاحظ على الخريطين (4-15) و (4-16) أن منطقة الحبس فيهما تتسع بازدياد شدة الحقن كما أن الفوضى كذلك تزداد بازدياد شدة الحقن وتنتشر على جانبي حدي الحبس في الجهتين الموجبة والسالبة من فرق التردد وإن كان عرض منطقة الفوضى في الأولى أكبر في الجهة الموجبة من فرق التردد وعند رفع تيار الحقن أصبحت منطقة الفوضى أكبر في الجهة السالبة كما هو ملاحظ من الخريطة (4-16) وهذا يدل على حساسية الليزر لتيار الحقن الذي يعمل على تغيير خريطة الاستقرار ، بينما عند ملاحظة الخريطة (4-14)

حيث تقل شدة التيار فإن منطقة الحبس لا يحصل فيها اتساع مع ارتفاع شدة الحقن كما أن الفوضى غير منتظمة مع زيادة الحقن أيضاً.

ولا شك أن النتائج التي حصلنا عليها من تغير خريطة الاستقرارية بزيادة الفوضى واتساع منطقة الحبس مع زيادة شدة التيار المطبق على الليزر هي نتائج متوقعة بسبب ارتفاع كفاءة الليزر المستخدم في هذه الدراسة بازياد شدة التيار، حيث أنه قد مر معنا سابقاً في الفصل الثاني رسم منحنى الكفاءة لليزر المدروس والذي تعرفنا من خلاله على الكفاءة الجيدة له بازياد شدة التيار.

المراجع: References

- [1] F. Mogensen, H. Olesen, and G. Jacobsen, "Locking conditions and stability properties for a semiconductor laser with external light injection," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. QE-21, pp. 784-793, 1985.
- [2] R. Lang, "Injection locking properties of a semiconductor laser," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. QE-18, pp. 976-983, 1982.
- [3] I. Petitbon, P. Gallion, G. Debarge, and C. Chabran, "Locking bandwidth and relaxation oscillations of an injection-locked semiconductor laser," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 24, pp. 148-54, 1988.
- [4] V. Annovazzi-Lodi, A. Scire, M. Sorel, and S. Donati, "Dynamic behavior and locking of a semiconductor laser subjected to external injection," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. 34, pp. 2350-2357, 1998.
- [5] R. Hui, A. D'Ottavi, A. Mecozzi, and P. Spano, "Injection locking in distributed feedback semiconductor lasers," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. 27, pp. 1688-1695, 1991.

[6] N. Al-Hosiny, I. Henning, M. Adams," Correlation of electron density changes with optical frequency shifts in optically injected semiconductor lasers," IEEE J. Quantum Electron. vol. 42, pp 570-580, 2006.

[7] N. Al-Hosiny, I. Henning, M. Adams,"Tailoring enhanced chaos in optically injected semiconductor lasers," Opt. Commun. vol 269, pp 166-173, 2007.

[8] Ab-Rahman and Nurain,"The effect of temperature on the performance of uncooled semiconductor laser diode in optical network," Computer Science, vol. 8, pp 84-88, 2012.

الفصل الخامس

الخاتمة والتوصيات

Conclusion and Recommendations

Conclusion الخاتمة 1-5

في هذا البحث تمت دراسة ليزرات أشباه الموصلات ذات التغذية الراجعة الموزعة (DFB) الخاضعة للحقن الضوئي المضاعف ذي الشدة العالية ($K > -10 \text{ dB}$). وقد تبين من هذه الدراسة أن هذه الليزرات ذات حساسية عالية للحقن الضوئي، حيث وجدنا أن عملية الحقن بهذه الطريقة تعد وسيلة جيدة جداً للتحكم في خريطة الاستقرار وإنتاج بعض السلوكيات اللاخطية المهمة. وقد تم التركيز على ظاهرتين من أهم الظواهر الناشئة عن عملية الحقن الضوئي حيث أن هاتين الظاهرتين تفيدان كثيراً في مجال الاتصالات وفي عملية التشفير على وجه التحديد، وهاتان الظاهرتان هما الحبس (Locking) والفوضى (Chaos). وقد وجدنا أنه عند حقن الليزر بليزر آخر ذي شدة عالية فإن خريطة الاستقرار للنظام الليزري تغطي عموماً بالحبس المستقر، كما يتم إخماد الديناميكيات اللاخطية المحتملة التي تظهر عند مستويات الحقن المنخفضة ما عدا ظاهرة الفوضى فإنها تلاحظ عند مستويات الحقن العالية بشكل كبير، كما أن نطاق الحبس يتسع بشكل كبير مقارنة بحالات الحقن الضعيف وهذا الاتساع في منطقة الحبس يعطي مجالاً أكبر لحبس الليزر في أماكن متعددة في مدى واسع من الطول الموجي.

وقد لاحظنا حساسية النظام لوجود إشارة الحقن الإضافية وذلك عند الحقن المضاعف بواسطة ليزرين فإن حقن إشارتين ضوئيتين يعمل على توليد العديد من السلوكيات الديناميكية اللاخطية ، حيث أن إشارة الليزر الحاقن الثاني تعمل كأداة جيدة للتحكم في خريطة الاستقرارية وتساهم في زيادة فوضى النظام الليزري ، وقد وجدنا أيضاً أن زيادة مستوى حقن إشارة الليزر الحاقن الثاني تزيد من نسبة الفوضى ، كما أن الفوضى تزيد كلما اقترب الليزر الحاقن الثاني من الليزر المحقون .

وقد وجدنا أيضاً أن حقن إشارة الليزر الثاني في الجانب السالب من فرق التردد يعمل على اضطراب النظام أكثر من الحقن في الجانب الموجب ، كما أن الفوضى تنتشر في الجهة الموجبة من فرق التردد - حيث الأطوال الموجية الأقل - أكبر منها في الجهة السالبة ؛ وذلك بسبب حساسية النظام الليزري للطاقة العالية . كما قمنا ببحث بعض العوامل المؤثرة على أداء ليزر التغذية الراجعة في هذه الدراسة ، حيث توصلنا إلى أن ارتفاع درجة حرارة النظام الليزري يؤثر سلباً على أداء الليزر حيث لاحظنا انخفاض نسبة الفوضى وضيق منطقة الحبس مع ارتفاع درجة الحرارة لذلك فإنه يفضل أن تدرس الليزرات عند درجات حرارة منخفضة.

وقد وجدنا أيضاً أن زيادة شدة التيار المطبق على الليزر تعمل على زيادة نسبة الفوضى في النظام واتساع منطقة الحبس نظراً للكفاءة الجيدة لليزر المستخدم مع زيادة تيار الحقن حيث أن زيادة التيار تعمل على حث ذرات الوسط الليزري بصورة أكبر لتتم عملية الليزر بفعالية عالية منتجة السلوكيات المرغوبة.

مما ينبغي التنبيه عليه أن نشير إلى أن زيادة الفوضى في نظام الليزر تفيد كثيراً في مجال التشفير لأنها تتيح الفرصة بشكل كبير لدفن الإشارة المرسلّة حتى يصعب الحصول عليها . كذلك يستفاد من عملية الحبس في مجال الاتصالات في ثبات الليزر واستقراره لكي يتم إرسال الإشارة بشكل صحيح.

2-5 التوصيات Recommendations

إن عملية حقن الليزر بأكثر من إشارة ضوئية تعد طريقة بسيطة ومناسبة للحصول على تشكيلة غنية من السلوكيات المرغوبة خاصة عند مستويات الحقن ذات الشدة العالية .

من أجل ذلك فإنه من المحتمل أن زيادة مستوى الحقن مع زيادة عدد الليزررات الحاقنة أيضاً تعمل على زيادة نسبة وجود تلك السلوكيات بشكل كبير ليتمكن دراسة هذا النوع من الليزررات بصورة أعم .

في دراستنا هذه التي بين أيدينا قد بحثنا تأثير إضافة إشارة الحقن الثانية عند مستوى حقن عالي وكانت عملية الحقن تتم خارج منطقة الحبس للنظام الليزري ، ولعل الفرصة تكون مواتية فيما بعد لدراسة هذا التأثير عند حقن الإشارة الإضافية داخل منطقة الحبس أو الجمع بين الحقن داخل وخارج هذه المنطقة عند استخدام أكثر من إشارة حقن إضافية . كما أنه من الممكن دراسة هذه الظواهر تحت الحقن الضوئي الثلاثي أو الرباعي ، لمعرفة الشروط الأمثل للحصول على منطقة حبس أو فوضى موسعة .

الملاحق

APPENDIXES

معادلات التغير The rate equations

تمثل هذه المعادلات النموذج النظري للحقن الضوئي المضاعف في ليزرات أشباه الموصلات ، وهي معادلات التغير لسعة المجال الكهربائي لليزر التابع وطوره وكثافة الحاملات على التوالي :

$$\frac{d}{dt} E_0(t) = \frac{1}{2} G_N \Delta N(t) E_0(t) + \eta [E_1 \cos(\Delta t_1) + E_2 \cos(\Delta t_2)] \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \phi_0(t) = \frac{1}{2} \alpha G_N \Delta N(t) + \eta \left[\frac{E_1}{E_0(t)} \sin(\Delta t_1) + \frac{E_2}{E_0(t)} \sin(\Delta t_2) \right] \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} N(t) = J - \frac{N(t)}{\tau_s} - G_N (N(t) - N_0) E_0^2(t) \quad (3)$$

حيث :

$E_0(t)$: المجال الكهربائي لليزر التابع .

E_1 : المجال الكهربائي لليزر الرئيسي الأول .

E_2 : المجال الكهربائي لليزر الرئيسي الثاني .

G_N : معامل كسب الليزر .

$\Delta N(t)$: التوزيع المعكوس .

η : معامل المزوجة .

$\phi_0(t)$: طور الليزر التابع .

α : معامل زيادة الخط الطيفي .

N_0 : كثافة الحاملات .

J : كثافة تيار الحقن .

τ_s : زمن العمر للانبعاث التلقائي .

$$\Delta t_m = \Delta \omega_m t - \phi_0 t$$

حيث أن :

$\Delta \omega_m$: فرق التردد الزاوي بين الليزر التابع والليزر الرئيسي .

$$\Delta \omega_m = \omega_m - \omega_0$$

القانون المستخدم لحساب مستوى الحقن بالديسبل

$$\text{dB} = 10 \log (P_{\text{ml}} / P_{\text{sl}})$$

ثبت المصطلحات : (انجليزي / عربي)

A

امتصاص

absorption

الوسط الفعال

active medium

القبلة

acceptor

التضخيم

amplification

المضخم

amplifier

B

شريط

band

عرض النطاق الطيفي

bandwidth

شعاع

beam

التحيز

bias

محزوز براغ

Bragg grating

C

كثافة الحاملات

carrier density

فجوة

cavity

الفوضى

chaos

التوصيف

characterization

التصنيف

classification

دائرة التوزيع

circulator

شريط التوصيل

conduction band-Ec

التشفير

cryptography

D

محزوز حيود

diffraction grating

جهد الانتشار

diffusion potential

ليزر التغذية الراجعة الموزعة

distributed feedback laser

مانحة

donor

عوازل مطعمة

doped insulators

مضاعف

dual

ليزرات الصبغة السائلة

dye Lasers

E

انبعاث

emission

الطاقة

energy

F

التغذية الراجعة

feedback

ازدواج الليف

fiber Coupler

ليف بصري

fiber optic

انحياز أمامي

forward bias

مزج أربع موجات

four wave mixing

فرق التردد

frequency detuning

G

الكسب

gain

فجوة

gap

الليزرات الغازية

gas Lasers

H

وصلة غير متجانسة

heterojunction

وصلة متجانسة

homojunction

ثقب

hole

I

حقن

injection

حبس الحقن

injection locking

شدة الحقن

injection strength

عازل

isolator

L

كفاءة الليزر

laser efficiency

كسب الليزر

laser gain

خرج الليزر

laser output

الليزرة

lasing

الثنائي باعث الضوء

Light Emitting Diode – (LED)

قدرة خرج الضوء

light output power

خطي

linear

عرض الخط الطيفي

linewidth

M

الليزر الرئيسي

master laser

معادلات ماكسويل-بلوك

Maxwell-Bloch equations

التضمين

modulation

حبس النمط

mode locking

N

لا خطي

non linear

لا حبس

non locking

O

ضوئي

optical

اتصالات ضوئية

optical communications

ليف ضوئي

optical fiber

حقن ضوئي

optical injection

بصريات

optics

متذبذب

oscillator

راسم ذبذبات

oscilloscope

P

وصلة p-n

p-n junction

استقطاب

polarization

التوزيع العكسي

population inversion

الضخ

pumping

R

إشعاع

radiation

معادلات التغير

rate equations

رتان

resonant

مرنان

resonator

انحياز عكسي

reverse bias

ليزر حلقي

ring laser

ياقوت

ruby

S

ليزر شبه موصل

semiconductor Laser

إشارة

signal

نمط مفرد

single mode

ليزر تابع

slave laser

أطياف

spectra

طيف

spectrum

محلل طيفي

spectrum analyzer

انبعاث تلقائي

spontaneous emission

مستقر

stable

انبعاث محثوث

stimulated emission

T

تيار العتبة

threshold current

U

غير مستقر

unstable

V

شريط التكافؤ

valence band-Ev

W

الطول الموجي

wavelength

Y

ياج

YAG

Summary

Semiconductor lasers are considered the most reliable and effective lasers due to their small size, low cost and low power. These lasers have been involved in many applications such as in communication through the optical fiber which is the latest technology in communications world. The implementation of the semiconductor lasers did not stop at the traditional communication but has reached the cryptography using optical injection technique. In this technique, the output of a laser is injected inside the cavity of another laser. This controllable chaos can be implemented in many applications including bandwidth enhancement and cryptographical communication.

In this study, a semiconductor (Distributed Feedback DFB) laser behaviors were studied under the injection of dual laser beam at relatively high power levels. Firstly, the laser was fully characterized before it was subjected to single optical injection at low power. The dual optical injection then took place at high injection power.

We demonstrate from this study that injection of the laser with more than a light signal at high injection levels works as a good tool for controlling the stability map, as this process will lead to increased chaos in the laser system and serve many in the cryptography process in the field of communications.

We also studied the effect of temperature change and change the intensity of the current on performance laser subject to dual optical injection, we found that the laser is very sensitive to these factors and concluded that the low temperature is favorite to get on the map stability, appropriate to study the desired behaviors and increasing current is appropriate for that with enhancement of chaos and breadth of the locking region.



ج . م . ع

(+2) 01553129363

(+2) 03/ 5930567

الحسنة للنشر والتوزيع 

