مجلة التربية والعلم - المجلد (21) العدد (4) لسنة 2008

دراسة التضمين الضوئي للترانزستور ثنائي القطبية ذي النبيطة المكشوفة باستخدام الليزر شبه الموصل

مصعب صالح محمد **تغريد محمود يونس**

كلية التربية / قسم الفيزياء

جامعة الموصل

الاستلام **القبول**

16 / 08 / 2007 **13 / 01 / 2008**

Abstract:

The effects of semiconductor laser light on static and dynamic characteristics of bipolar exposed transistor had been studied experimentally. There was no significant influence on these characteristics in the absence of semiconductor light on transistor device. Analog optical modulation of bipolar transistor had been realized with semiconductor laser light direct modulation, while there was evident effect of injection current of semiconductor laser on the harmonic of spectrum modulation of transistor output. Optical modulation of bipolar transistor had been realized using pulse width modulation technique, and there was no deformation in pulse shape out from collector of the transistor modulated by small duration time pulses. Deformation in pulse shape out of the bipolar transistor has been observed when semiconductor laser modulated by large duration time pulses that is decrease qualification of data transfer.

الملخص:

أجريت في هذا البحث دراسة عملية حول تأثير ضوء الليزر شبه الموصل على الخصائص الاستاتيكية والديناميكية للترانزستور ثنائي القطبية ذي النبيطة المكشوفة. ولم يشاهد من النتائج التجريبية تأثير ملحوظ على هذه الخصائص بوجود ضوء الليزر شبه الموصل المسلط على نبيطة الترانزستور. فيما تم تحقيق التضمين الضوئي التماثلي للترانزستور ثنائي القطبية

بتأثير ضوء الليزر شبه الموصل المضمن بطريقة مباشرة وقد كان لتيار الحقن لليزر شبه الموصل تأثير واضح في التوافقيات لطيف التضمين لخرج الترانزستور إذ لوحظ حصول زيادة في ذروة التوافقيات بزيادة التيار فوق القيمة $1.1I_{th}$. تم تحقيق التضمين الضوئي للترانزستور باستخدام تقنية تضمين عرض النبضة، ولوحظ عدم حصول تشوه في شكل النبضات الخارجة من جامع الترانزستور المضمن بنبضات قصيرة الأمد فيما لوحظ حصول تشوه في شكل النبضات الخارجة عند تضمين الليزر شبه الموصل بأمد نبضات اكبر من 2µsec مما يقلل من كفاءة نقل المعلومات.

المقدمـة:

إن عملية إدخال المعلومات على حزمة ضوء الليزر شبه الموصل تدعى بالتضمين. وهذه العملية يمكن أن تتحقق إما بطريقة مباشرة وذلك بإدخال تغيرات (معلومات) على تيار الحقن لليزر شبه الموصل وهذا ينتج تغيرات في القدرة الضوئية المنبعثة من الليزر، أو بطريقة غير مباشرة وذلك باستخدام مضمن خارجي بحيث يحصل للخرج الليزري تعديل لمستوى ثابت للقدرة الضوئية المنبعثة من الليزر. ويمكن اعتبار التضمين الخارجي وسيلة جيدة للتضمين لكنه محكوم بعرض خط طيفي محدد بعدة GHz [1] . ويتم التضمين التماثلي لثنائي الليزر بجعل تيار السوق فوق العتبة واعتمادا على حزمة إشارة المعلومات. الشرط الأساسي لمثل هذا النوع من التضمين هو وجود علاقة خطية بين الضوء الخارج من الليزر وتيار الحقن. على أية حال فان الهبوط في الإشارة ينتج من اللاخطية، ذلك أن خصـائص الاسـتجابة العـابرة للـيزر (Transit response) تجعل من تضمين الشدة التماثلي سريع التأثر بالية التضمين البيني Intermodulation ولتأثيرات ظاهرة تقاطع التضمين Cross- modulation وهذه السلبيات يمكن تقليلها باستخدام تضمين عرض النبضةPulse width modulation أو التضمين المشفر النبضيPulse code modulation أو استخدام تقنيات خاصة لتعويض التشويه في الإشارة**[2].** تطبيقات التضمين التماثلي المباشر تشمل؛ الكيبل المحوري للقنوات التلفزيونية، وروابط المحطات الأرضية للاتصالات باستخدام الهاتف النقال (Mobile) ، والهوائي النائي (Antenna remoting) . ويمكن بسهولة تضمين ثنائي الليزر نبضيا اذ أن عمر الفوتون يكون اصغر بكثير من عمر الحاملات وهذا هو شرط يجب أن يتحقق لإنجاز عملية التضمين. إن الحاجة الأساسية لعمل الليزر بشكل خاص في هذا المجال تكمن في امتلاكه كفاءة ميل عالية وبالتالي الحصول على ربح كبير في الاقتران مع الليف البصري فضلا عن أن الضوضاء قليلة في الليزر، فانه

يساعد في تقليل نسبة ضوضاء الارتباط وتشويه قليل أو منخفض وهذا يخدم في زيادة مدى الإرسال دون ضوضاء[3] .

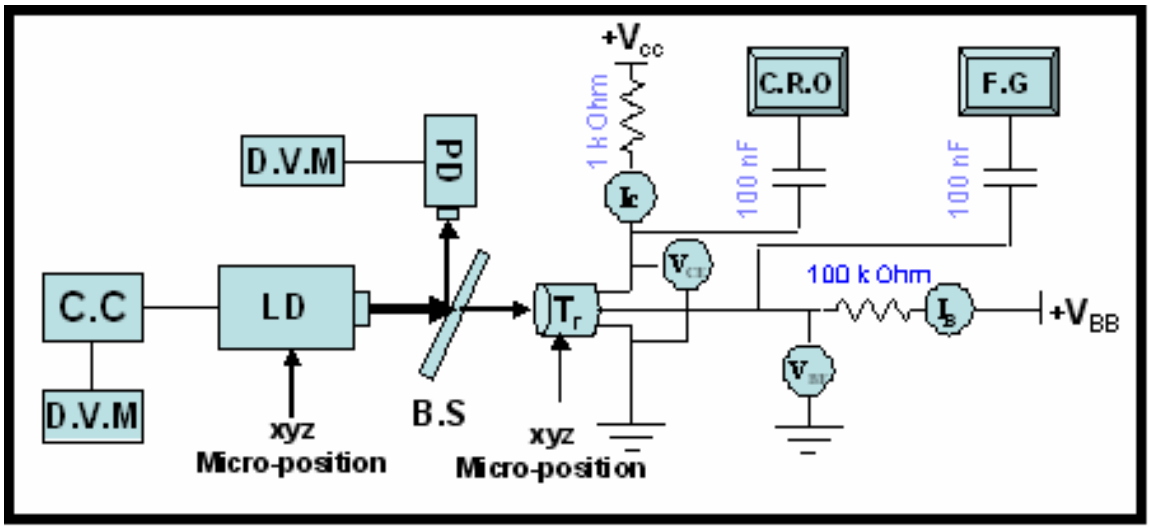
تعتبر عملية المزج الضوئي– الالكتروني Optical Electronic Modulation(OEM) القائمة على قاعدة الترانزستورات ثنائية القطبية الهجينية Hybrid Bipolar (HBT) Transistors عملية ذات جدوى مفيدة جدا في المناطق التي تحتوي على عناصر وظيفتها تحقيق الاتصال والربط للمراحل المتعددة في أنظمة المزج المتعدد للحاملات الضوئية الثانوية [4] حيث يظهر السلوك غير الخطي العالي في هذه المناطق وأداء بكفاءة ممتازة في الترددات العالية واستجابة ضوئية مرتفعة ومميزة [5].

في هذا البحث تمت دراسة تأثير ضوء الليزر شبه الموصل ذي القدرة المنخفضة (P_{out} <1mW) في الخصائص الأستاتيكية والديناميكية للترانزستور ثنائي القطبية ذي النبيطة المكشوفة، وكذلك دراسة تأثير تيار الحقن لليزر شبه الموصل في خصائص طيف التضمين لخرج الترانزستور المحقون بضوء الليزر المضمن بترددات مختلفة. فيما تم تحقيق التضمين الضوئي لعرض النبضة للترانزستور ولعرض نبضات مختلفة.

الجانب العملي:

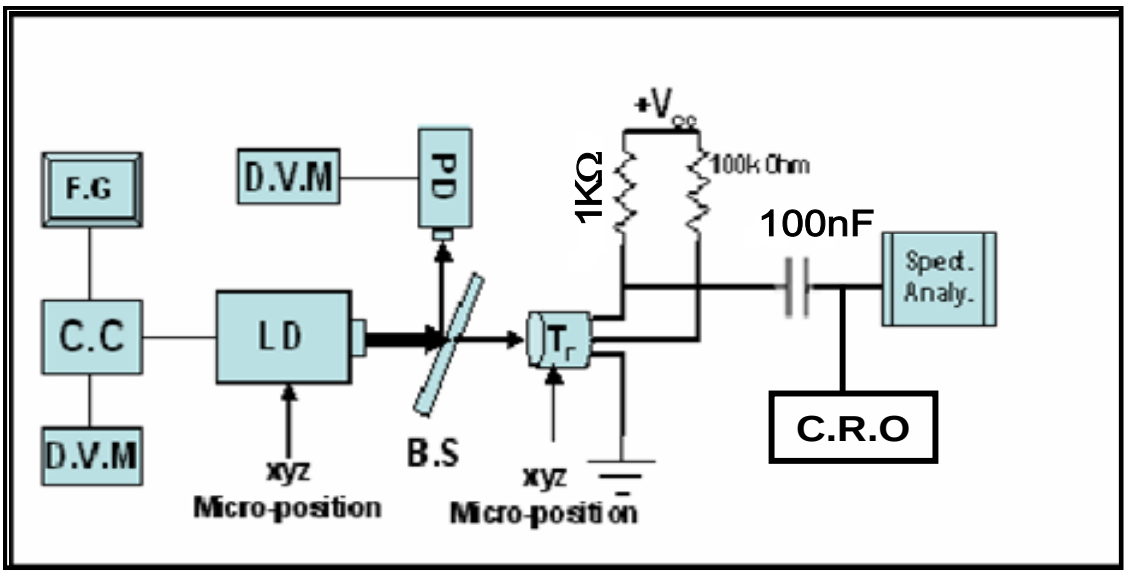
الشكل (1) يوضح الترتيب التجريبي الخاص بدراسة تأثير ضوء الليزر شبه الموصل في الخصائص الأستاتيكية والديناميكية للترانزستور ثنائي القطبية ذي النبيطة المكشوفة. والليزر المستخدم (LD) هو من النوع التجاري (AlGaInP) ويعطي ضوءا أحمر بطول موجي يتراوح بين nm(680 ~ 630) والقدرة الضوئية المنبعثة منه لا تتجاوز 1mW وتيار العتبة لهذا الليزر يبلغ 17mA ولتشغيل هذا الليزر بصورة مستقرة تم استخدام دائرة سوق للتيار current control (c.c) والتي تعطي تياراً متغيراً يدوياً وبدقة تصل إلى (0.01mA) ويتم قياس التيار باستخدام الفولتميتر الرقمي Digital Voltmeter (DVM)، فيما يتم تحديد القدرة الضوئية المنبعثة باستخدام الكاشف الضوئي وهو من نوع PIN مع وجود مجزئ حزمة ضوء الليزر (Beam splitter B.S) ، الترانزستور المستخدم(Tr) في هذه الدراسة هو من نوع (Si-NPN) ذي الرقم التسلسلي التجاري (2N2222) ويمتلك المواصفات الآتية:
(V_{CEQ}=15V,I_{CQ}=20mA,P_{diss}=0.3W) وتم إزالة الغلاف المعدني الذي يغطي النبيطة

لتصبح نبيطة الترانزستور مكشوفة إذ أنه ليس من النوع الذي يغطى بمادة الايبوكسي ذات اللون الأسود ولذلك سمي الترانزستور ذي النبيطة المكشوفة.



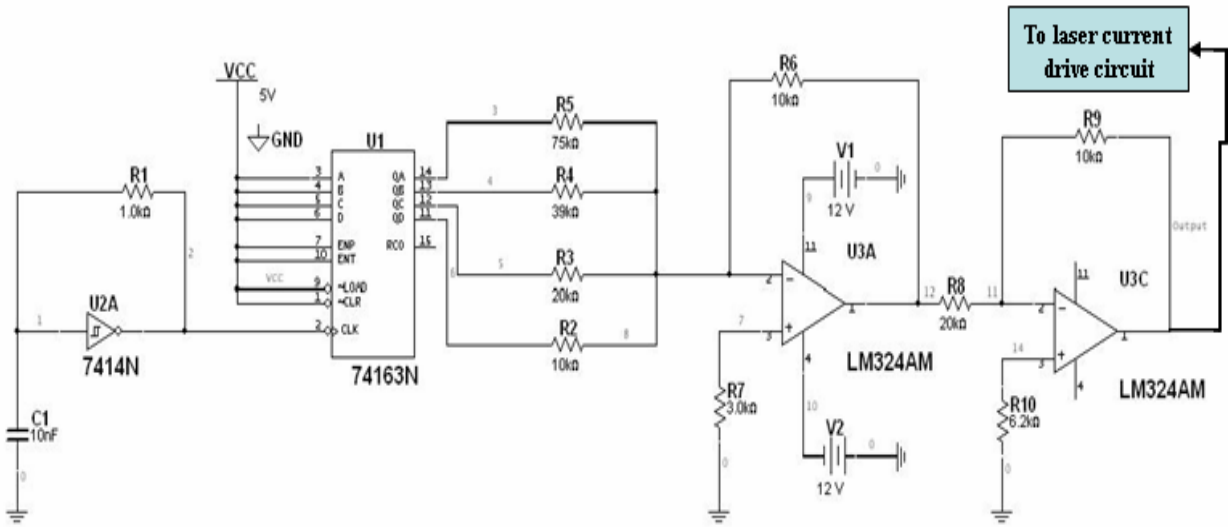
الشكل (1): الترتيب التجريبي المستخدم في دراسة تأثير ضوء الليزر شبه الموصل على الخصائص الاستاتيكية والديناميكية للترانزستور ثنائي القطبية ذي النبيطة المكشوفة. (LD):ثنائي الليـزر، (C.C): دائـرة سـوق الليزر، (D.V.M): فولتميتر رقمي، (PD): كاشف ضـوئي، (Tr): الترانزسـتور ذي النبيطـة المكـشوفة، (I_c):أميتر لقياس تيار الجامع، (V_{CE}):فولتميتر لقياس فولتية الجامع –باعث، (C.R.O):راسم ذبذبات الأشعة المهبطية، (F.G):مولد ترددات.

الشكل (2) يمثل الترتيب التجريبي المستخدم في دراسة تأثير تردد التضمين وتيار الحقن لليزر شبه الموصل المضمن بتردد ثابت في خصائص طيف التضمين لخرج الترانزستور ثنائي القطبية حيث تم استخدام طريقة سوق القاعدة في مكبر الترانزسـتور وكـذلك استخـدام محلل الطيف (Spectrum Analyzer) لتحليل طيف الإخراج للترانزستور بعد إدخال ضوء الليزر شبه الموصل المضمن عليه،ومحلل الطيف هذا يعمل بالترددات بين (9kHz ~ 3GHz)، أما مولد الموجات (Function generator) المستخدم لتضمين ضوء الليزر بطريقة مباشرة والمرتبط إخراجه بدائرة سوق الليزر شبه الموصل فهو يعطي أشكال مختلفة من الإشارة متغيرة التردد يدوياً (0 ~ 2MHz) ويمكن التحكم بسعة الإشارة الخارجة يدويا أيضاً.



الشكل (2): الترتيب التجريبي المستخدم في دراسة تأثير تيار الحقن لليزر شبه الموصل وتردد التضمين على خصائص التضمين الضوئي للترانزستور باستخدام تضمين عرض النبضة.

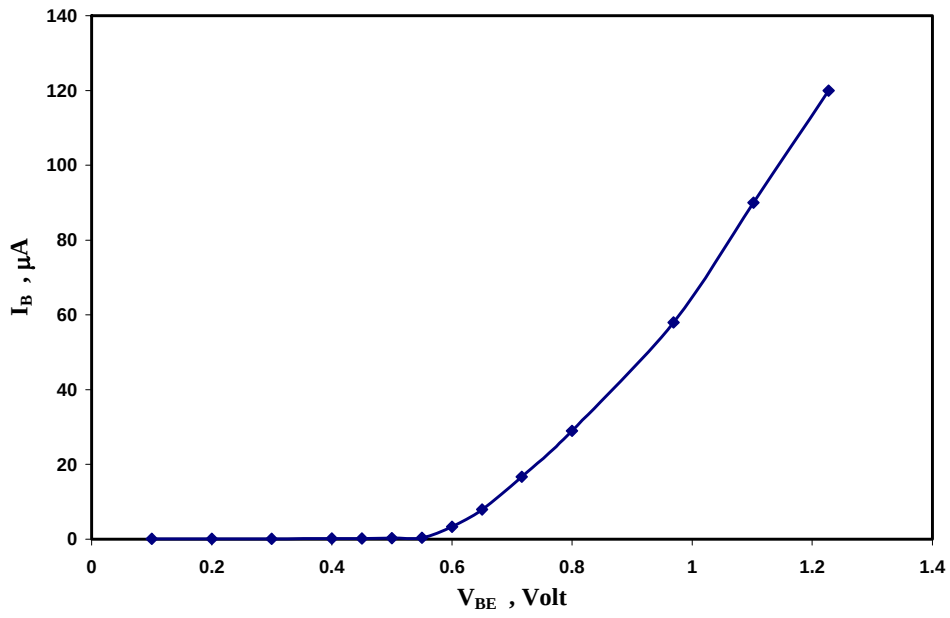
فضلا عن استخدام نفس الترتيب التجريبي في الشكل (2) لدراسة التضمين الضوئي للترانزستور ثنائي القطبية باستخدام تضمين عرض النبضة وتأثيره في شكل النبضات الخارجة من الترانزستور المضمن ضوئيا وذلك باستبدال مولد الموجات (F.G) بدائرة الكترونية خاصة وجاهزة تقوم بتوليد نبضات بعرض محدد (P.W.M) وهي موضحة في الشكل (3).



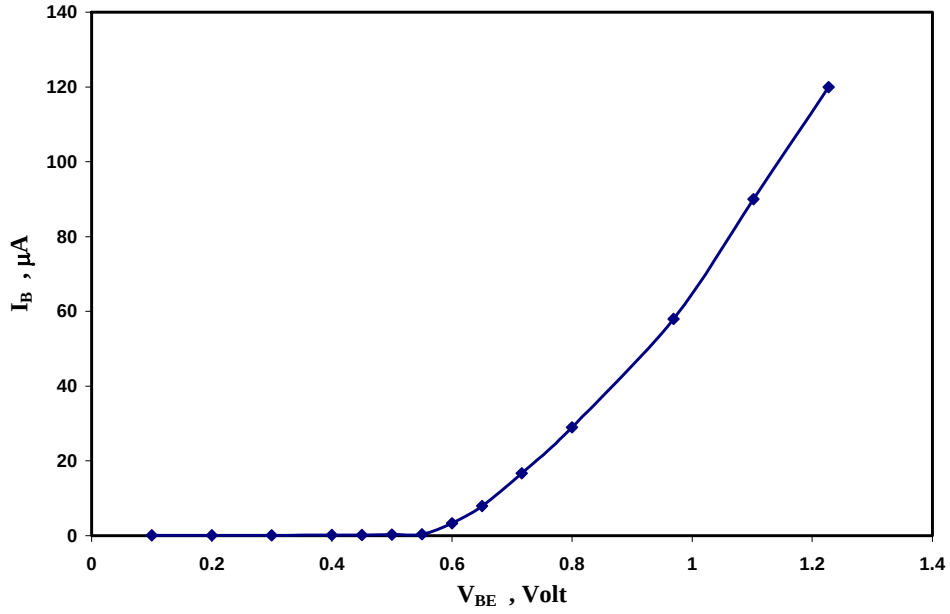
الشكل (3): دائرة الكترونية خاصة لتوليد نبضات ذات عرض محدد لتضمين ضوء الليزر شبه الموصل ومن ثم حقن ضوءه إلى الترانزستور ثنائي القطبية.

النتائج والمناقشة:

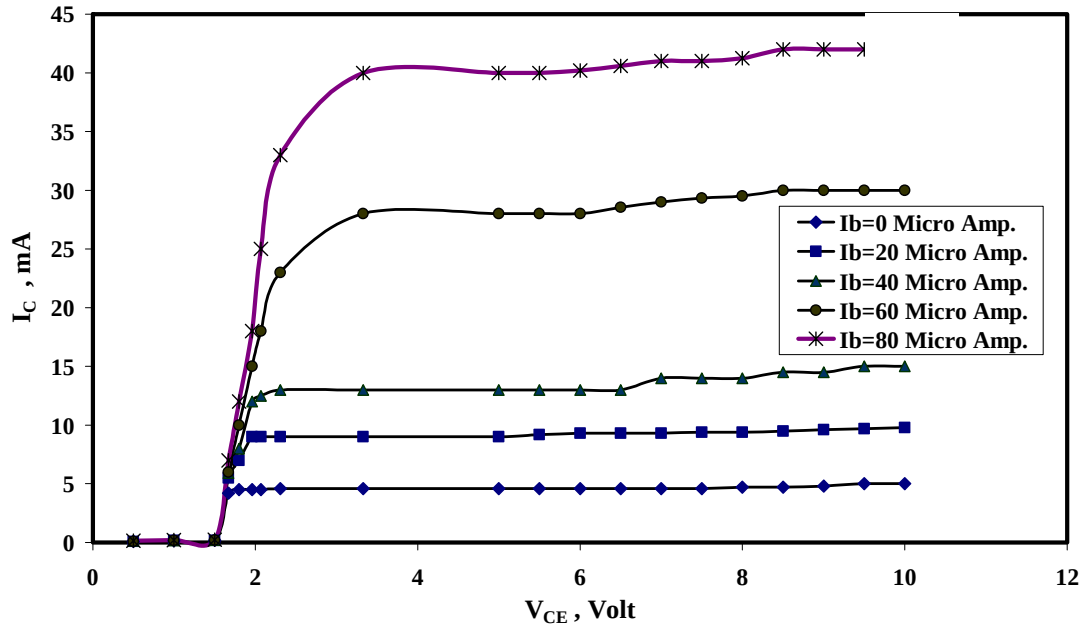
تم استخدام الترتيب التجريبي الموضح في الشكل (1) وذلك لدراسة تأثير ضوء الليزر على الخصائص الاستاتيكية للترانزستور 2N2222 ، وقد لوحظ من خلال خصائص الإدخال في حالة وجود ضوء الليزر وكذلك عند غياب ضوء الليزر بأنه لا يوجد تأثير يذكر على هذه الخصائص لاحظ الشكل (4) (أ) و(ب). ويعزى سبب ذلك إلى القدرة الضوئية المنخفضة لليزر شبه الموصل والتي لا تساهم في توليد حاملات إضافية في نبيطة الترانزستور تعمل على زيادة تيار القاعدة I_B . كذلك لم يلاحظ تأثير لضوء الليزر في خصائص الإخراج للترانزستور لاحظ الشكل (5)(أ) و(ب). كذلك تم اختبار تأثير ضوء الليزر شبه الموصل على الخصـائص الديناميـكية (A_v- f) ولم يلاحظ تأثير ذو أهمية على التكبير لهذا الترانزستور بسبب وجود ضوء الليزر شبه الموصل، لاحظ الشكل (6)(أ) و(ب).



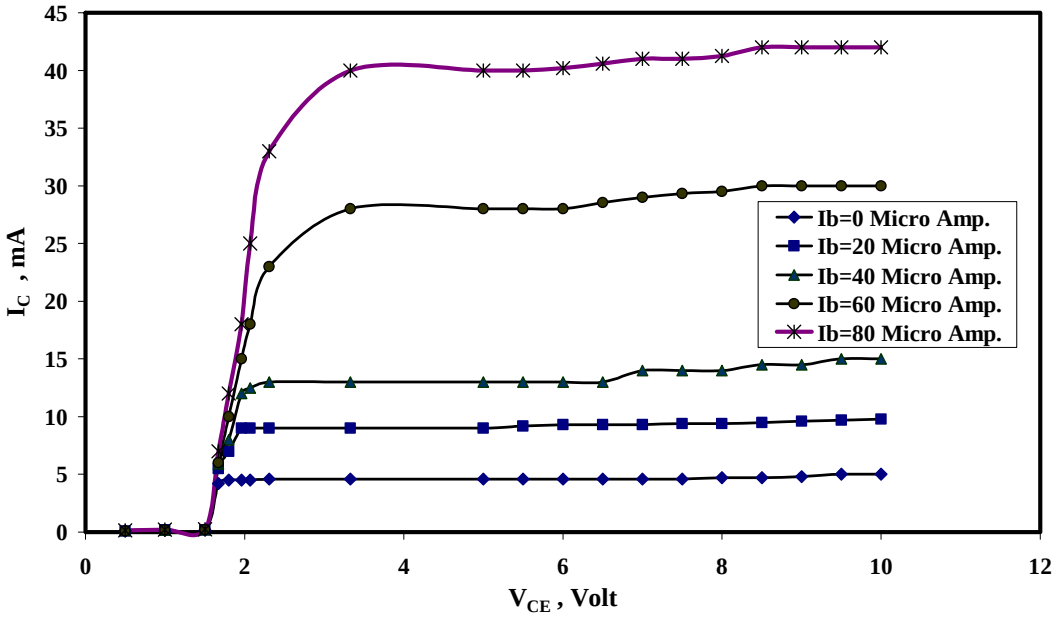
الشكل (4) (أ): خصائص الإدخال للترانزستور 2N2222 ذي النبيطة المكشوفة بوجود ضوء الليزر على النبيطة.



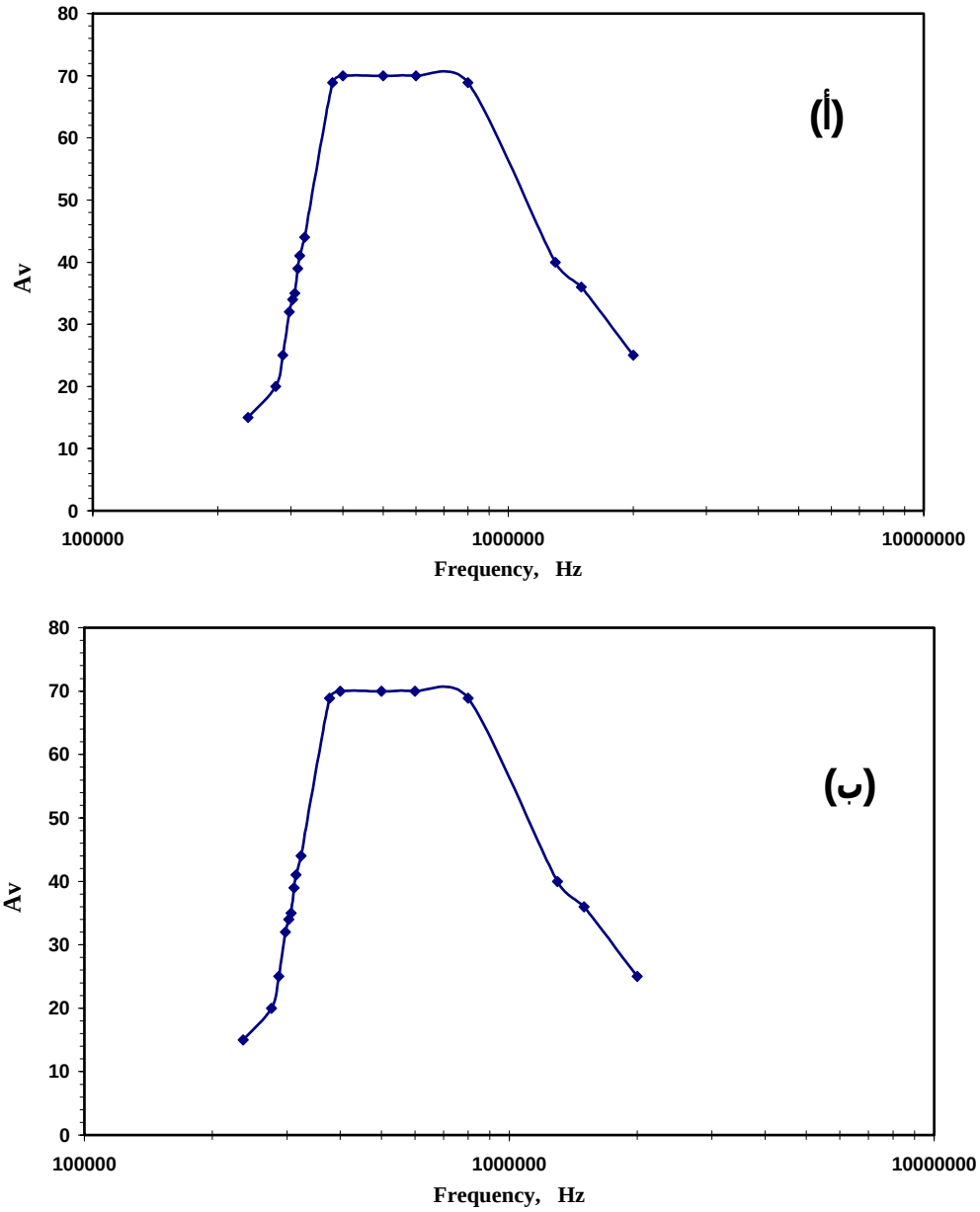
الشكل (4) (ب): خصائص الإدخال للترانزستور 2N2222 ذي النبيطة المكشوفة في حالة عدم وجود ضوء الليزر على النبيطة.



الشكل (5)(أ): خصائص الإخراج للترانزستور 2N2222 ذي النبيطة المكشوفة بوجود ضوء الليزر على النبيطة.



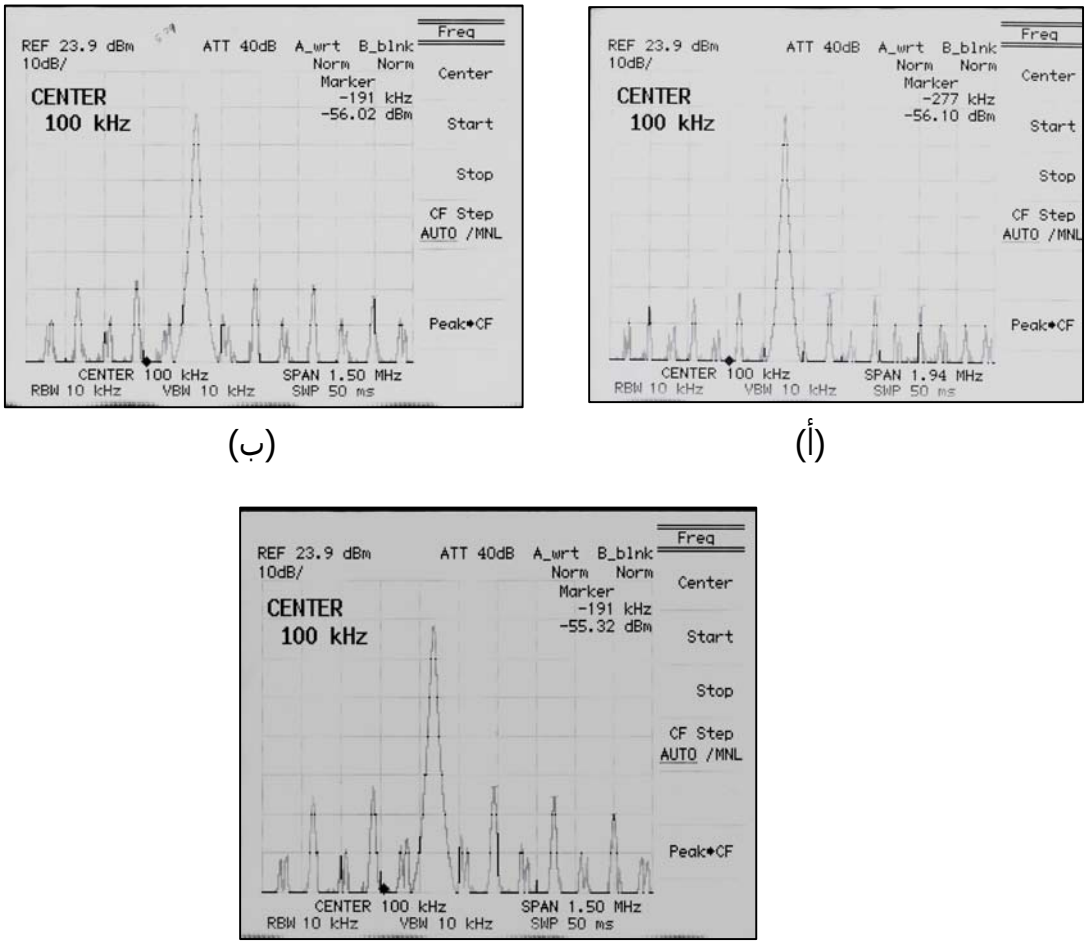
الشكل (5)(ب): خصائص الإخراج للترانزستور 2N2222 ذي النبيطة المكشوفة بعدم وجود ضوء الليزر على النبيطة.



الشكل (6): الخصائص الديناميكية للترانزستور 2N2222 بوجود ضوء الليزر على النبيطة (أ) وفي حالة عدم وجود ضوء الليزر (ب).

باستخدام الترتيب التجريبي الموضح في الشكل (2) تم دراسة تأثير تيـار الحقـن لليـزر شـبه الموصل في خصائص طيف التضمين لخرج الترانزستور ثنائي القطبية، الشكل(7) (أ،ب،ج) يمثل صور محال الطيف، وفيه يظهر طيف التضمين للترانزستور بعد حقنه بضوء الليـزر المـضمن

بتردد 100kHz وكان تيار الحقن لليزر؛ دون العتبة ($I=0.82I_{th}$) الشكل(7)(أ)، وعند العتبة ($I=I_{th}$) الشكل(7)(ب)، وفوق العتبة ($I=1.2I_{th}$) الشكل(7)(ج). يلاحظ من الأشكال بان تأثير تيار الحقن لليزر المضمن واضح في التوافقية الأساسية إذ كانت الزيادة في ذروة التوافقية الأساسية بحدود 8dBm في حين انخفضت الزيادة في ذروة التوافقية الأولى بتأثير زيادة تيار الحقن لليزر شبه الموصل لتصل إلى 6dBm عند تيار حقن قدره I_{th} 1.2 وللتوافقية الثانية كانت 4dBm ويعزى سبب ذلك إلى آلية توليد التوافقيات غير الأساسية والتي تنشأ من التناظر والتي تكون ضعيفة في طبيعتها [6]، علاوة على أن العرض الضيق لنطاق الكشف للترانزستور المحقون لا يسمح بالاستجابة للتوافقيات الأولى والثانية بنفس الاستجابة للتوافقية الأساسية [7].

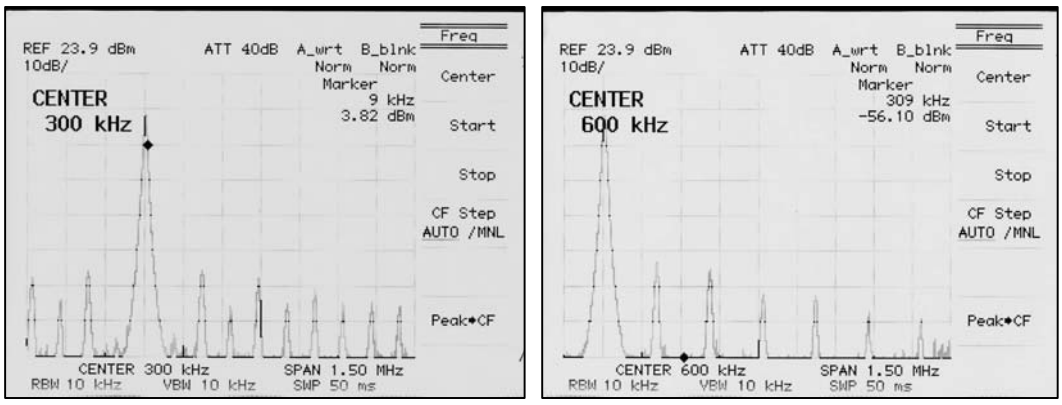


(ب) (أ)

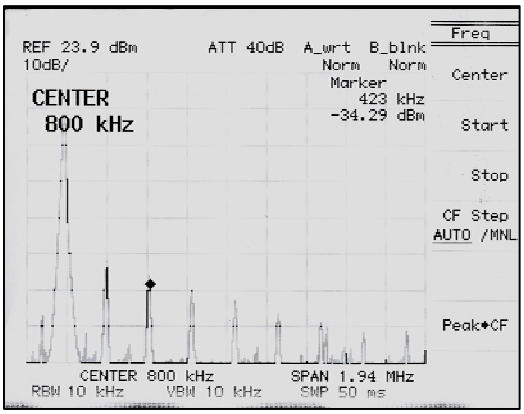
(ج)

الشكل(7): طيف التضمين للترانزستور بعد حقنه بضوء الليزر المضمن بتردد 100kHz وكان تيار الحقن لليزر؛ (أ) دون العتبة$I=0.7I_{th}$ ، (ب) عند العتبة $I=I_{th}$ ، (ج) فوق العتبة$I=1.2I_{th}$.

الشكل (8)(أ،ب،ج) يوضح طيف التضمين لخرج الترانزستور 2N2222 ذي النبيطة المكشوفة بعد حقنه بضوء الليزر شبه الموصل المضمن بالترددات؛ 300kHz (أ)، و 600kHz (ب)، و 800kHz (ج) وبتيار حقن قدره($1.2I_{th}$). يلاحظ من مقارنة الأشكال الثلاثة وجود ضوضاء أو تشويه في التضمين من النوع الداخلي (Intermodulation distortion) وتكون واضحة في طيف التضمين لخرج الترانزستور عند التردد 300kHz واختفاء هذه الضوضاء عند تردد التضمين 600kHz وظهور بعض الضوضاء القليلة عند التردد 800kHz . ويعزى سبب ذلك إلى أن التردد 300kHz يكون واقعا دون عرض النطاق الترددي Δf الذي يعمل به الترانزستور بشكل جيد والذي يقع بين 2 ~ 0.450)MHz)، فضلاً عن أن هناك حقيقة تقول بان مستوى الضوضاء يعتمد على قوة الإشارة وبما أن قوة الإشارة في كل ترددات التضمين واحدة وان توزيع الضوضاء يكون توزيعاً كاوسيا لكل من الضوضاء الحرارية بسبب الأجزاء الالكترونية وضوضاء المضخم لذلك يلاحظ بان الضوضاء الظاهرة في حالة تردد التضمين 300kHz متساوية التوزيع على طيف التضمين. كما ظهرت بعض التشوهات البينية Intermodulation distortion ويعزى سبب ذلك إلى وجود إشارة ضعيفة متناوبة يمكن أن تدخل من مجهز القدرة V_{cc} الذي يغذي دائرة الترانزستور ويمكن تلافي هذا التشوه وذلك بإدخال مرشح ذو تردد ملائم لتمرير هذه الإشارة الضعيفة إلى الأرضي والتخلص منها.



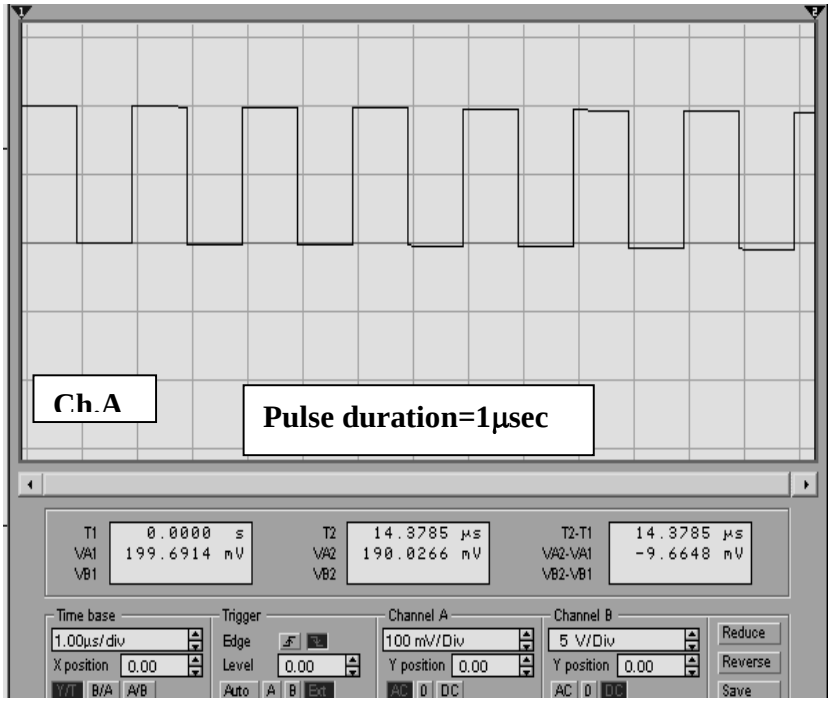
(ب) (أ)



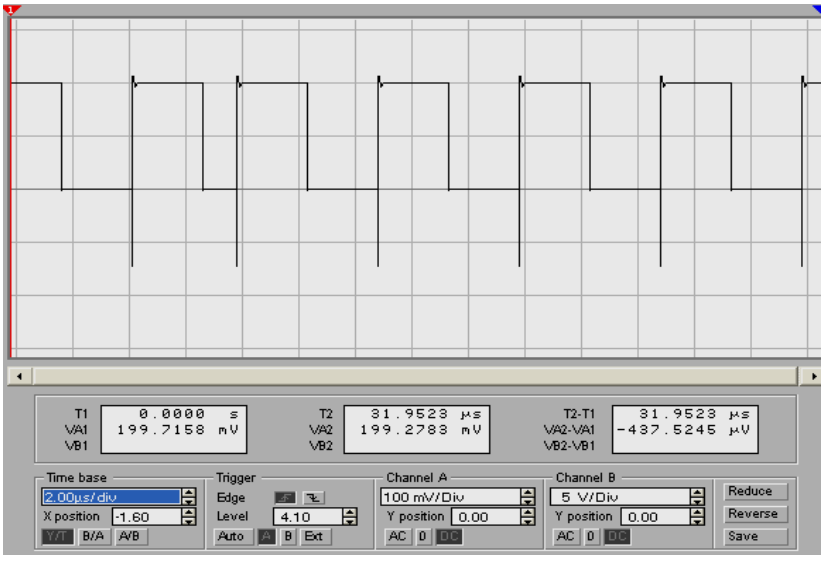
(ج)

الشكل (8): طيف التضمين لخرج الترانزستور 2N2222 ذي النبيطة المكشوفة بعد حقنه بضوء الليزر شبه الموصل المضمن بالترددات ؛(أ) 300kHz (ب) 600kHz ،(ج) 800kHz وبتيار حقن قدره ($1.2I_{th}$)

تم استخدام الترتيب التجريبي الموضح في الشكل (2) لدراسة التضمين الضوئي للترانزستور ثنائي القطبية باستخدام تضمين عرض النبضة وتأثيره في شكل النبضات الخارجة من الترانزستور المضمن ضوئياً، الشكل (9) يوضح شكل النبضات الخارجة من جامع الترانزستور بعد تضمينه ضوئيا بواسطة الليزر شبه الموصل المضمن بطريقة تضمين عرض النبضة، ويلاحظ من الشكل (9)(أ) أن شكل النبضات لم يعاني من أي تشوه يذكر مما يدل على كفاءة عملية التضمين الضوئي عند أمد النبضة هذا (1μsec)، فيما كان عمق التضمين لليزر شبه الموصل (m<0.1) حيث ان $m = \frac{\Delta I}{I_o - I_{th}}$ [8] إذ تمثل ΔI التغيرات في التيار بسبب الإشارة المحملة، I_o تيار العمل لليزر ، I_{th} تيار العتبة. فعندما تكون m<0.1 عندئذ يمكن تطبيق تحليلات الإشارة الصغيرة مما يدل على انه يمكن استخدام تحليلات الإشارة الصغيرة لمثل هذا النوع من التضمين. عند زيادة أمد النبضة الخارجة من دائرة التضمين الالكترونية وتحميلها على الليزر شبه الموصل ومن ثم تضمينها ضوئيا إلى الترانزستور يلاحظ ظهور نتوء في بداية نمو النبضة مما يسبب بحصول تشوه في شكل النبضات وخصوصا في حالة نهوض النبضة ،لاحظ الشكل (9)(ب) حيث كان أمد النبضات المضمنة (τ>2μsec) ويعزى سبب هذا التشوه إلى أن أمد تواجد النبضة يكون أكبر من زمن توليد الحاملات في نبيطة لترانزستور ومن ثم حصول انخفاض في كفاءة نقل المعلومة ضوئيا إلى الترانزستور وذلك لصغر منطقة توليد الحاملات في نبيطة الترانزستور (d~50μm) لذلك يفضل استخدام الترددات العالية أو النبضات شديدة القصر وذلك لضمان تقارب زمن توليد الحاملات مع زمن النبضة التي تحمل المعلومة.



(أ)



(ب)

الشكل (9): النبضات الخارجة من الترانزستور 2N2222 المضمن ضوئيا باستخدام الليزر شبه الموصل بطريقة تضمين عرض النبضة. بتردد تضمين (أ) 500kHz ،(ب) 200kHz.

الاستنتاجات:

يمكن الخروج بعدد من الاستنتاجات من هذا العمل تلخص بالاتي:

1. لا يوجد تأثير ملحوظ لضوء الليزر شبه الموصل ذي القدرة الضوئية المنخفضة في الخصائص الأستاتيكية والديناميكية للترانزستور ثنائي القطبية ذي النبيطة المكشوفة.
2. لوحظ حصول عملية تضمين ضوئي تماثلي مباشر للترانزستور بتأثير ضوء الليزر المضمن بطريقة مباشرة وبترددات مختلفة.
3. تزداد ذروة التوافقيات لطيف التضمين لخرج الترانزستور بزيادة تيار الحقن لليزر شبه الموصل وهذه الزيادة تكون بشكل ملحوظ في التوافقية الأساسية وتقل للتوافقيات الأولى والثانية.
4. تظهر ضوضاء الخرج للترانزستور المضمن ضوئيا بترددات تقع دون مدى الترددات التي يعمل عليها الترانزستور وكان توزيع الضوضاء متساويا على طيف التضمين.
5. يمكن تضمين الترانزستور ضوئيا باستخدام تقنية تضمين عرض النبضة، ولوحظ عدم حصول تشوه في شكل النبضات الخارجة من الترانزستور المضمن بنبضات قصيرة الأمد، فيما لوحظ حصول تشوه في شكل النبضات عند تضمين الليزر شبه الموصل بأمد نبضات طويلة مما يقلل من كفاءة نقل المعلومة.

المصـادر:

1. J. Gower, "Optical communication systems" Prentice–Hall International, Inc., London,1984.

2. J. T. Verdeyen, "Laser Electronics" 2nd Ed., Prentice– Hall International Editions, New Jersey, 1989.

3. David Bailey, Edwin Wright, "Practical Fiber Optics" IDC Technologies, Great Britain 2003.

4. Yoram Betser, Jacob Larsi, Vector Sidrovo, Shimon Cohen, Dan Ritter, Meir Orenstein, Gadi Eisenstein, Alwyn J. Seeds, and Asher Mdjar, "An Integrated Hetrojunction Bipolar Transistor Cascode Opto-Electronic Mixer" IEEE TRANSACTION ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol.47, No.7, pp. 1358-1362, 1999.

5. Jacob Lasri, Albert Bilenca, Gadi Elsenstien, and Dan Ritter, "Optoelectronic Mixing, Modulation, and Injection Locking in Millimeter-Wave Self-Oscillating InP/InGaAs Hetrojunction Bipolar Photo Transistors-Single and Dual Transistor Configurations" IEEE TRANSACTION ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol.49, No.10, pp.1934-1937, 2001.

6. Sajeef John and Marian Florescu, "Photonic bandgap materials :towards an all-optical micro-transistor" J. Opt. A:Pure and Applied Optics, Printed in the UK, pp. S103-S115, 2001.

7. N. K. Dutta, J. Lopata, P. R. Berger, S. J. Wang, P. R. Smith, D. L. Sivco, and A. Y. Cho, "10 GHz bandwidth monolithic *p-i-n* modulation-doped field effect transistor photo receiver" Appl. Phys. Lett., Vol.63, No.15, pp.2115-2116, 1993.

8. G. H. B. Thompson, "Physics of Semiconductor Laser Devices" John Wiley & Sons, New York, 1980.