

انتاج اجهزة ميزر سهلة التشغيل

أهارون بلانك Aharon Blank

أعيقت التطبيقات التقنية للميزرات masers – الميكروويف المناظر لليزرات lasers – بسبب شروط التشغيل الغير عملية. اجهزة ميزر الحالة الصلبة تعمل عند درجة حرارة الغرفة قد تغير هذا. انظر صفحة 353

يعتبر الضجيج noise جزء اساسي في أي نظام الكتروني، ويأتي في صور كثيرة. كلنا يعرف الضجيج الناتج عن اجهزة الراديو عندما نحاول ان نستمتع إلى محطة بعيدة، كما ان الضجيج الذي يظهر على شاشة التلفزيون عندما يكون على محطة غير مضبوطة بدقة. لقد حاول العلماء والمهندسون على مدار اعوام التخلص من الضجيج وجعل الراديو والتلفزيون واجهزة الهواتف الجوالة افضل واوضح. ولقد وجد ان افضل طريقة لتقليل الضجيج هو تشغيل الانظمة الالكترونية عند درجات حرارة منخفضة. في الصفحة 353 من هذا العدد وصف اوكسبورو Oxborrow وزملائه [1] مصدر ميكروويف في الحالة الصلبة ومكبر له مستوى ضجيج منخفض ويعمل في درجة حرارة الغرفة. من المحتمل ان يكون لهذا الجهاز تطبيقات في الاتصالات الفضائية واجهزة راديو الفلك واجهزة طيف الميكروويف.

يمكن تقسيم مصادر الضجيج إلى تلك التي تكون اساسية مع الاشارة وهنا لا يمكن عمل شيء كثير تجاهها، واخرى تكون مضافة إلى الاشارة، مثل انظمة الكشف والرصد الالكترونية واجهزة الاستقبال أو التكبير. مصادر الضجيج الخارجية هذه يمكن ان تقلل ولكن التعامل المناسب مع الاشارات والضجيج يعتمد بشكل كبير على خصائص تردداتها. ان واحدة من حزم الترددات الهامة تلك المستخدمة في انظمة الكشف والرصد والتكبير حيث تعتمد تلك الانظمة على حزم ترددت الميكروويف والتي يكون ترددها في المدى من 1 إلى 100 GHz (كل 1GHz يعادل 10^9 Hz). يستخدم هذا الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي بشكل واسع في اجهزة الرادار واتصالات الهواتف الجوالة وراديو الفلك (والتي تشمل ايضا على البحث عن الاشارات القادمة من الاستكشافات الفضائية) والعديد من تقنيات دراسة طيف الميكروويف.

في اول تطبيقين من هذه التطبيقات فان مستويات الضجيج التي تأتي مع الاشارة تكون عالية. وهذا يعني ان ان اجهزة التكبير والكواشف المنخفضة التكلفة يمكن ان تستخدم عند درجة حرارة الغرفة بدون زيادة كبيرة في مستوى الضجيج وعليه لا يكون هناك أي تدهور في جودة الاشارات المقاسة. على أي حال في التطبيقات المذكورة الاخرى، يمكن ان يكون الضجيج المصاحب للإشارة منخفض جدا. وهذا يعني انه يمكن الحصول على حساسية عالية للإشارات الضعيفة اذا كانت اجهزة الرصد الالكترونية والتكبير لهذه الاشارات ليس لها أي ضجيج يذكر.

من اوائل الطرق المستخدمة لتكبير الاشارات الضعيفة في مدى ترددات الميكروويف ولا تزال افضل الطرق تلك التي تعتمد على استخدام الميزر maser – وهو جهاز لتكبير امواج الميكروويف بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع. علما بان الميزرات هي الاجهزة التي سبقت اختراع الليزرات. وقد حصل تشارليز تونيز Charles Townes على جائزة نوبل في العام 1964 لاختراعه جهاز الميزر ومنحت جائزة نوبل في العام 1978 لكل من ارنو بنزياس Arno Penzias وروبيرت ويلسون Robert Wilson لاكتشافهم اشعاع الميكروويف الخلفي الكوني – الاشعاع الناتج من الانفجار العظيم Big Bang. الاكتشاف الاخير كان ممكنا فقط بواسطة استخدام مكبر الميزر الذي كان ضجيج المصاحب للإشارة صغيرا جدا بحيث لا يمكن الا ان

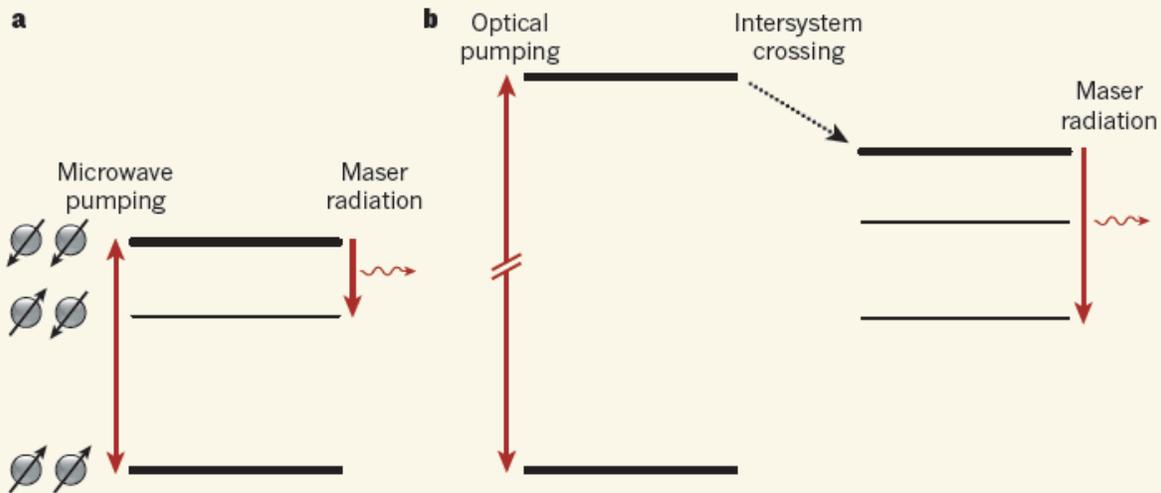
يكون الضجيج الذي تم رصده بأجهزتهم المعتمدة على الميزر الا ان يكون صادرا عن الاشعاع الخلفي الكوني [2].

اجهزة الميزر التي استخدمت في هذه التجارب اعتمدت على بلورات مطعمة بمواد بارا مغناطيسية – تلك التي تحتوي على الكرونيين لهما غزل غير متزاوج. وجدت في هذه الانظمة ن الالكترونات الغير متزاوجة تكون في ادنى مستوى طاقة للوسط. لكن اذا تم اثارة البلورات بإشعاع ميكروويف، فانه من الممكن ان نصل لحالة بحيث تكون هذه الالكترونات موجودة في المستوى المثار اكثر من مستوى الطاقة المنخفض (هذه التقنية تعرف بانقلاب التعداد population inversion) ومن ثم استحثاتها للعودة إلى مستوى الطاقة المنخفض وتطلق اشعاع بنفس التردد والطور للإشعاع الساقط (الشكل 1a). بهذه الطريقة فان اشعاع الميكروويف المار في البلورة يكبر. هذا الانبعاث والتكبير يناظر فكرة عمل الليزر ولكنه يحدث عند ترددات منخفضة جدا.

في مثل هذه الميزرات فان الضجيج المصاحب والذي يكون ناتجا في الاساس عن عملية الانبعاث التلقائي منخفض جدا وقريب من الحد الفيزيائي له. لذا فان تصاميم مشابهة لا زالت تستخدم اليوم في العلوم الاساسية، كذلك في اتصالات الفضاء المتقدمة وتطبيقات الراديو الفضائي. على أي حال للحصول على انقلاب التعداد، يتطلب ان يبرد الميزر بواسطة الهيليوم السائل عند درجة حرارة 4.2 كلفن. هذا وبالإضافة الى ان طاقته الناتجة المحدودة وان تشغيله يتطلب استخدام مجال مغناطيسي ثابت كبير جعل من استخدام الميزرات نادرا. علاوة على انه في الاعوام الاخيرة تقدمت تقنية الميكروويف لتصبح مستويات الضجيج في انظمة التكبير المعتمدة على اشباه الموصلات التقليدية والموصلات فائقة التوصيل عند درجات الحرارة المنخفضة تقارن بالميزرات وبطاقة افضل ونطاق ترددي اكبر وباقل تعقيدات فيزيائية اقل [3, 4].

الان اكسبورو Oxborrow وزملائه تمكنوا من حل اكبر مشكلة تواجه تشغيل ميزر الحالة الصلبة. لقد صمموا جهاز يعمل عند درجة حرارة الغرفة – هذا ما لم يتم عمله من قبل حتى مع مرور خمسة عقود على اختراع ميزر الحالة الصلبة. لقد قاموا بهذا باستخدام نظام خاص: بلورة من مركب عضوي وهو p -terphenyl مطعم بجزيئات الـ pentacene. يمكن اثارة جزيئات الـ pentacene ضوئيا للحصول على انقلاب تعداد كبير لعملية التكبير وتقليل الضجيج في الميزر.

بالاضافة إلى ان اكسبورو Oxborrow وزملائه قاموا بتشغيل مذبذب الميكروويف مع فقد (خسارة) منخفض للطاقة. مثل هذه المذبذبات منخفضة الفقد في الطاقة تضمن ان الجهاز يعمل كمكبر بدلا من موهن معقد وباهظ الثمن. مبدئيا، يمكن استخدام الميزر الجديد كمكبر لإشارات الميكروويف الضعيفة والتي تمتلك ضجيج قليل بدون الحاجة إلى عملية التبريد. على الجانب السلبي فان تردده يضبط باستخدام مجال مغناطيسي خارجي مثل انظمة الميزر القديمة. على أي حال، من ناحية التشغيل فان الامر اقل تعقيدا من الانظمة التي تستخدم اجهزة التبريد. اجهزة ميكروويف عديدة اخرى مثل مذبذبات YIG والتي تستخدم المجالات المغناطيسية الخارجية لضبط التردد تستخدم تجاريا بشكل واسع.



الشكل 1 عملية اثاره الميزرات. a يمتلك ميزر الحالة الصلبة التقليدي ثلاثة مستويات طاقة (الخطوط الافقية)، تقابل ثلاثة تشكيلات ممكنة لغزل الكترونيين غير متزاوجة (الكرات، والاسهم السوداء تشير إلى حالات الغزل). اثاره الوسط الذري بإشعاع الميكروويف ينقل غزل الالكترونات من مستوى الطاقة المنخفض إلى مستوى مثار حتى يصبح التعداد الالكتروني للمستويات متساوي. استرخاء الالكترونات إلى لمستوى طاقة متوسط ينتج عنه اشعاع الميزر. سمك الخطوط يشير لتعداد كل مستوى. b في ميزر اكسبورو Oxborrow وزملائه [1] الالكترونات في جزيئات الـ pentacene داخل البلورة المضيفة تثار ضوئياً وتتعرض لعملية تعرف باسم intersystem crossing حيث تسترخي إلى مستوى ثلاثي بحيث يكون اعلى مستوى طاقة هو الاكثر تعدادا. الاسترخاء من هذا المستوى للمستوى الاقل الثلاثي يصاحبه انبعاث اشعاع الميزر.

في النهاية، يولد الميزر المثار ضوئياً نبضات اشعاع الميكروويف بدلا من اشارة مستمرة. في الحالة المثالية من المفترض ان تعمل مكبرات الاشعاع ومصادره بالنمط المتصل والذي يكون اكثر فائدة من النمط النبضي. الا ان مع التحسينات الاضافية – مثل تقليل الحجم والية اثاره ضوئية بكفاءة اعلى واستخدام اكثر من مذئذب على التوازي – يمكن ان يكون الجهاز مفيدا للتطبيقات سابقة الذكر. على سبيل المثال يعتبر الميزر الجديد الخطوة الاولى نحو الاتصالات الفضائية حيث يمكن التحدث الى الفضاء باستخدام الهوائيات عند درجة حرارة الغرفة.

Aharon Blank is in the Schulich Faculty of Chemistry, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa 32000, Israel. e-mail: ab359@tx.technion.ac.il

1. Oxborrow, M., Breeze, J. D. & Alford, N. M. *Nature* **488**, 353–356 (2012).
2. Penzias, A. A. & Wilson, R. W. *Astrophys. J.* **142**, 419–421 (1965).
3. Schlee, J. *IEEE Electron. Device Lett.* **33**, 664–666 (2012).

4. Eom, B. H., Day, P. K., LeDuc, H. G. & Zmuidzinas, J. *Nature Phys.* **8**, 623–627 (2012).